

# 目 錄

目 錄.....	1
<b>1、緒章 .....</b>	<b>4</b>
1.1 定義 .....	4
1.2 隧道簡史 .....	5
1.3 鐵路隧道 .....	7
1.4 台灣鐵路隧道.....	10
<b>2、隧道基本構造 .....</b>	<b>11</b>
<b>3、隧道種類與型式 .....</b>	<b>14</b>
3.1 鐵路隧道分類.....	14
3.2 鐵路隧道形狀與淨空 .....	17
3.3 鐵路隧道洞門.....	20
<b>4、隧道結構與型式之演進 .....</b>	<b>24</b>
4.1、隧道施工方法之演進 .....	24
4.1.1 人工及機械開鑿時期.....	24
4.1.2 炸藥運用時期.....	27
4.1.3 施工機械自動化時期.....	30
4.2、隧道結構之演進 .....	32
<b>5、台灣鐵路隧道 .....</b>	<b>36</b>
5.1 縱貫線鐵路隧道 .....	36
5.1.1 台灣鐵路隧道之始.....	36
5.1.2 竹仔嶺隧道沿革.....	37
5.1.3 台北地下鐵路隧道.....	38
5.1.4 其他縱貫線鐵路隧道 .....	42
5.2 台中線鐵路隧道 .....	43
5.3 東線鐵路隧道.....	45
5.4 宜蘭線鐵路隧道 .....	47
5.5 北迴線鐵路隧道 .....	50
5.6 南迴線鐵路隧道 .....	53
5.7 各支線鐵路隧道 .....	59
5.7.1 內灣線鐵路隧道.....	59
5.7.2 平溪線鐵路隧道.....	60

5.7.3 集集線鐵路隧道.....	61
5.7.4 其他支線鐵路隧道.....	63
<b>6、隧道工程三部曲：規劃、設計與施工.....</b>	<b>64</b>
6.1 三義隧道工程簡介 .....	64
6.1.1 興建緣起.....	64
6.1.2 工程範圍.....	64
6.1.3 地質條件.....	65
6.1.4 設計與施工.....	66
6.1.5 施工作業流程 .....	66
6.1.6 環保措施.....	68
6.2 隧道工程規劃.....	68
6.2.1 地質調查.....	68
6.2.2 選線原則.....	73
6.3 隧道設計__NATM 之基本設計 .....	76
6.3.1 工程地質特性 .....	76
6.3.2 水文地質特性 .....	76
6.3.3 地震活動.....	77
6.3.4 岩體分類.....	77
6.3.5 主隧道基本設計.....	80
6.3.6 穿越高速公路段.....	81
6.4 隧道施工__NATM 之施工 .....	82
6.4.1 主隧道施工.....	82
6.4.2 豎井施工.....	85
6.4.3 穿越高速公路段之施工.....	87
6.5 總結 .....	93
6.6 集集地震災害搶修與復舊 .....	93
<b>7、隧道災害搶修 .....</b>	<b>94</b>
7.1 隧道口.....	94
7.2 隧道內淹水 .....	95
7.2.1 納莉颱風台北地下隧道災害搶修與復舊.....	96
7.3 隧道壁體劣化與剝落.....	101
7.4 地震對隧道的影響 .....	105
7.4.1 新山線三義 1 號隧道震後調查.....	106
7.4.2 舊山線隧道震後調查.....	111
7.4.3 震災損傷及破壞原因分析.....	113
7.5 三義隧道震災搶修與復舊工法 .....	115
7.5.1 復舊對策與流程.....	115

7.5.2 三義隧道之震害修復.....	116
<b>8、隧道安全.....</b>	<b>122</b>
8.1 隧道檢查.....	122
8.1.1 檢查之目的.....	122
8.1.2 檢查之依據.....	122
8.1.3 檢查之種類與內容.....	122
8.2 隧道消防設施.....	125
8.3 隧道通風口及逃生避難設施.....	126
<b>9、隧道內之行車事故與處理.....</b>	<b>129</b>
9.1 新南澳隧道內貨物列車追撞事故搶修.....	129
9.2 新南澳隧道概述.....	129
9.2.1 土建結構物.....	129
9.2.2 軌道結構.....	131
9.3 事故發生及搶修經過.....	132
9.3.1 事故發生經過.....	132
9.3.2 搶修經過（動員人力、機具、方法等）.....	134
9.4 總結.....	136
<b>10、現階段的隧道維修與管理.....</b>	<b>142</b>
10.1 隧道維修與補強.....	142
10.2 隧道補強對策與工法.....	143
10.2.1.剝落對策.....	143
10.2.2.裂縫對策.....	145
10.2.3.漏水對策.....	146
10.2.4.其它對策.....	148
<b>參考文獻.....</b>	<b>149</b>
<b>附錄一 台灣鐵路隧道表.....</b>	<b>151</b>
<b>附錄二、台灣鐵路局廢棄隧道一覽表.....</b>	<b>156</b>

# 1、緒章

## 1.1 定義

何謂「隧道」？簡而言之，可以如此定義：「不挖除地層上方岩石或土壤而建造的地下通道」。

據此，則可以稱為「隧道」的地下結構體數量，豈不多到難以數計？  
也不盡然！

定義上既說明是「建造」出來的，當然也得以人工完成的才算，所以，範圍縮小至人類所開鑿的「地下通道」。早期人類於穴居時代，除了利用天然洞穴外，即學會逐漸以人工方式開鑿供居住的洞窟，但這些洞穴並不是相互聯通，足以提供往來交通使用的通道，故仍不能稱為「隧道」。

歸納起來，堪稱之為「隧道」者，至少應包括下列幾項要素：

- 1、地面以下的結構體。
- 2、由人工或機具所建造。
- 3、有出入口可連通兩個以上端點。
- 4、能供物資流通或人類交通使用。

至於本書中所述的「鐵路隧道」，除了上述條件外，則是專指火車、鐵路被運用於人類交通及貨物運輸以後，所開鑿的隧道而言。



## 1.2 隧道簡史

迄今所知最古老的「隧道」，約出現於 4000 年前（西元前 2180～前 2160 年），為古巴比倫的希米拉米斯皇后時代，也是第一座為交通目的而建造的隧道。古巴比倫人為了連通皇宮與位在幼發拉底河對岸的神廟，建造了一條穿越河床底下的隧道，長約 1 公里，斷面為 3.6 公尺×4.5 公尺，初步使用了支撐、襯砌等技術，可以說是最早期的隧道施工技術了。不過當時並沒有地下挖掘技術，而是採用明挖法，即是先將河流改道，待隧道施工完成後，再將移除的土石回填，恢復河床面。

上述古巴比倫隧道結構完善，側壁是用天然瀝青灰漿砌磚，頂蓋則覆以拱形襯砌。顯然，古巴比倫人早已累積了相當高明的隧道建造技術與方法，也能利用適當材料做成隧道施工所需的基本元件，如磚塊、擋土版、支撐桿件等。

此外，在埃及古墓與廟宇的考古中，也發現許多數千年前建於岩石中的隧道。而在中國發掘的古墓穴中也多留有夯土形成的隧道，做為棺槨運送通道及人員進出走道，其壁體有砌石、砌磚、木構支撐等。

城牆興起之後，開鑿隧道成為攻城戰的方法之一，挖掘隧道用以破壞城牆、堡壘，或直接通達城內，這種作戰方式同時出現於東西方文明。二千多年前的羅馬人與希臘人間的城堡爭奪戰，即使用隧道挖掘戰法，直接潛入城內；中國則出現於戰國初期，在《墨子》一書中提出了十二種攻城方法，其中便有：「穴、空洞」兩種挖掘隧道的戰法。

約 2700 年前，猶太人在耶路撒冷興建一條 200 公尺長的隧道，內部斷面 0.7m×0.7m，用以引泉水至城內。另在薩摩斯島上的希臘隧道，建於 2600 年前，長 1.5 公里，斷面 1.8m×1.8m，其目的也是為了給水。最有名的給水隧道是 1800 年前雅典時代的哈德良王朝所建，迄今仍為羅馬市政府自來水廠使用，已成為觀光景點。

中世紀黑暗時代，匈牙利人曾在薩麥克班亞地方建造一條長達 5.6 公里的排水隧道，在當時可稱之為世界第一。這些早期的岩石隧道，開鑿時已使用黑色炸藥，在此之前，開鑿岩石是用錘、楔、人力，有時將岩石燒熱，在噴以冷水，使岩石突然縮收而龜裂，利用的是熱脹冷縮原理。隧道開鑿技術在人類學會運用炸藥之後，快速進展，開始出現長達數公里的隧道。

西元前 36 年，古意大利人在那不勒斯和普佐里之間開鑿的「普西里伯道路隧道」，長約 1500 公尺，寬 8 公尺，高 9 公尺，是在凝灰岩中鑿成的一條長隧道。而中國最早用於交通的隧道是古褒斜道上的石門隧道(圖 1.2-1)、(圖 1.2-2)，建成於東漢永平九年(西元 66 年)。古隧道為省去襯砌，多建於較堅硬的岩石中。由於缺乏比較完善的工具和設備，當時隧道的修築技術水平很低，一座很短的隧道大多需十幾年至幾十年的時間才能建成。



(圖 1.2-1、圖 1.2-2) 中國陝西省石門隧道

19 世紀 20 年代，蒸汽機的出現以及鐵路和煉鋼工業的發展，促進了隧道及地下工程的發展。1826~1830 年在英國利物浦至曼徹斯特間的路線上，於硬岩中修建了兩座最早的鐵路隧道。1843 年在英國泰晤士河，修建了第一條水底道路隧道。1860 年開始修建倫敦地下鐵道。這個時期在歐洲大陸還修建了幾座較長的鐵路公路隧道，如瑞士辛普朗鐵路隧道(長 19.8 公里)、聖哥達公路隧道等；隨著施工技術的發展，還修建了不少穿越江河的水底隧道。

但一直到 20 世紀 50 年代，人們才逐步總結出各種類型隧道及地下工程的規劃、設計和施工的基本原理，在土木工程中逐漸形成了一個獨立的工程領域。

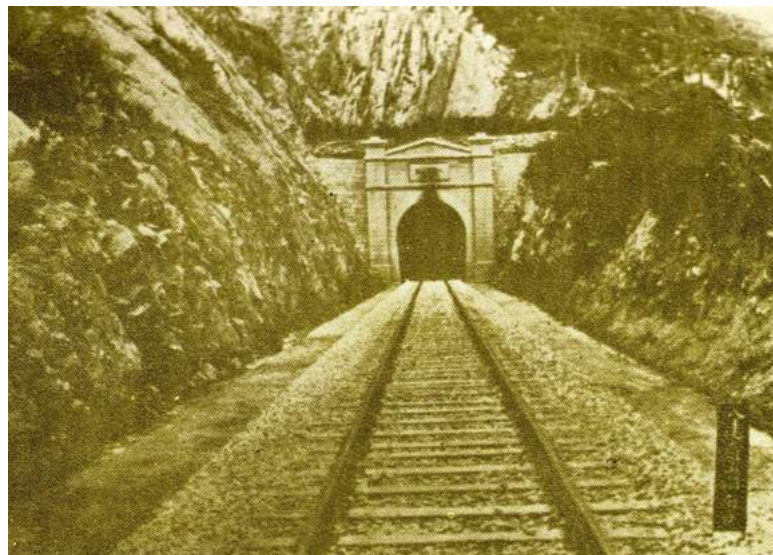


圖 1.2-3 中國京張鐵路八達嶺隧道

### 1.3 鐵路隧道

所謂鐵路隧道，是指修建在地下或水下並鋪設鐵路供機車車輛通行的建築物。根據其所在位置可分為三大類：第一類，為縮短距離和避免大坡道而從山嶺或丘陵下穿越的稱為山岳隧道。第二類，為穿越河流或海峽而從河下或海底通過的稱為水下隧道。第三類，為適應鐵路通過大城市的需要而在城市地下穿越的稱為城市隧道。三類隧道中，修建最多的是山岳隧道。

鐵路線路在穿越天然高程或平面障礙時修建的地下通道。高程障礙是指地面起伏較大的地形障礙，如分水嶺、山峰、丘陵、峽谷等。平面障礙是指江河、湖泊、海灣、城鎮、工礦企業、地質不良地段等。鐵路隧道是克服高程障礙的有效方法，有時甚至是唯一的方法。它可使線路的標高降低、長度縮短並減緩其縱向坡度，而提高運量和行車速度。鐵路線路遇到平面障礙時，可採用繞行或隧道穿越兩種方法。前者往往是不經濟的甚至是不可能的，如江河、海峽等，採用隧道則常是一種最好的解決方法。

自英國於 1826 年起在蒸汽機車牽引的鐵路上開始修建長 770 公尺的泰勒山單線隧道和長 2474 公尺的維多利亞雙線隧道以來，英、美、法等國相繼修建了大量鐵路隧道。截至 2006 年底最長的是瑞士的勒奇山隧道（Loetschberg），總長 34 公里，1994 年開始開鑿，2005 年 4 月 28 日貫通，2007 年正式通車，中國青藏鐵路風火山隧道全長 1338 公尺，軌面標高 4905 公尺，是現今世界最高的標準軌距鐵路隧道(截至 2006 年底)。在 19 世紀 60 年代以前，修建的隧道都用人工鑿孔和黑火藥爆破方法施工。1861 年修建穿越阿爾卑斯山脈的仙尼斯峰鐵路隧道時，首次應用風動鑿岩機代替人工鑿孔。1867 年修建美國胡薩克鐵路隧道時，開始採用硝化甘油炸藥代替黑火藥，使隧道施工技術及速度得到進一步發展。

在 20 世紀初期，歐洲和北美洲一些國家鐵路形成鐵路網，其中較長的瑞士和義大利間的辛普朗鐵路隧道長 19.8 公里。美國長約 12.5 公里的新喀斯喀特鐵路隧道和加拿大長約 8.1 公里的康諾特鐵路隧道都採用中央導坑法施工。其施工平均年進度分別為 4.1 和 4.5 公里，是當時最快的施工進度。至 1950 年，世界鐵路隧道最多的國家有義大利、日本、法國和美國。日本至 20 世紀 70 年代末，總建成的鐵路隧道約 3800 座，總長約 1850 公里，其中 5 公里以上的長隧道達 60 座，為世界上鐵路長隧道最多的國家。1974 年建成的新關門雙線隧道，長 18675 公尺，為當時世界最長的海底鐵路隧道。1981 年建成的大清水雙線隧道，長 22228 公尺，為世界最長的山嶺鐵路隧道。連接本州和北海道的青函海底隧道，長達 53850 公尺，為當今世界最長的海底鐵路隧道。

20 世紀 60 年代以來，隧道機械化施工水準有很大提高。全斷面液壓鑿岩台車和其他大型施工機具相繼用於隧道施工。噴錨技術的發展和新奧法的應用為隧道工程開闢了新的途徑。掘進機的採用徹底改變了隧道開挖的鑽爆方式。盾構構造不斷

完善，已成為鬆軟、含水地層修建隧道最有效的工具。世界上長度超過 15 公里的鐵路隧道如（表 1.3-1）所示，從表中也可看出，隨著施工技術的日新月異，隧道有愈做愈長的趨勢，尤以近年來高速鐵路發展快速，竟出現幾座長達 50 公里以上的隧道。

表 1.3-1 世界上長度超過 15 公里的鐵路隧道表

隧道名稱	所在國家	總長度（公尺）	軌道數	建造年代
大清水	日本	22800	雙	1971~1979
辛普朗 I 號	瑞士~義大利	19803	單	1893~1906
辛普朗 II 號	瑞士~義大利	19323	單	1912~1923
新關門	日本	18713	雙	1970~1975
亞平寧	義大利	18579	雙	1920~1934
六甲	日本	16250	雙	1967~1971
樺名	日本	15350	雙	1972~1980
聖馬爾科	義大利	15040	單	1961~1970
金井	韓國（南韓）	20333	雙（高鐵）	1998~2004
Vaglia	義大利	18561	雙（高鐵）	1996~2006
青函海底	日本	53850	雙	1964~1988
英法海底	英國~法國	49000	雙（高鐵）	1987~1993
列奇堡	瑞士	34000	雙（高鐵）	1998~2007
聖哥達	瑞士	57000	雙（高鐵）	1998~施工中
瓜達拉馬	西班牙	28377	單（雙線）	2002~施工中



圖 1.3-1 日本青函海底隧道



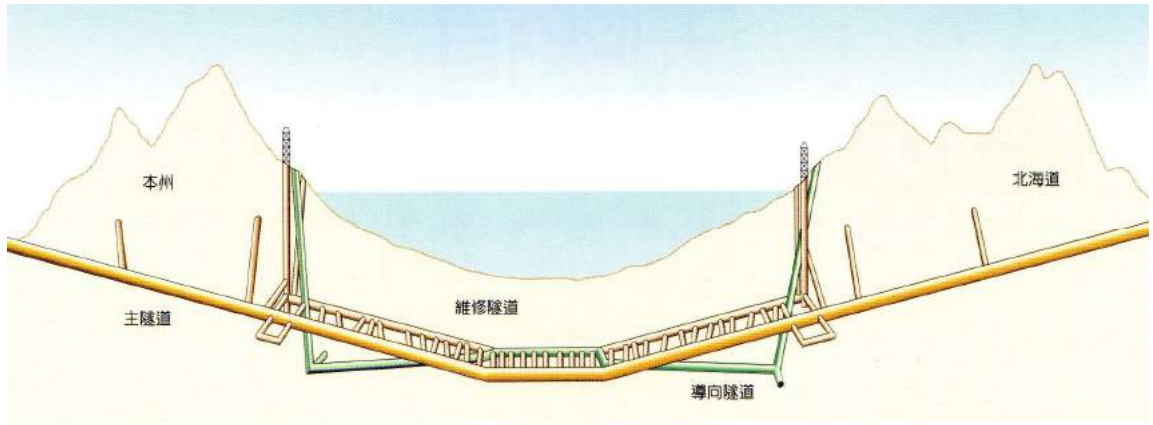


圖 1.3-2 日本青函海底隧道

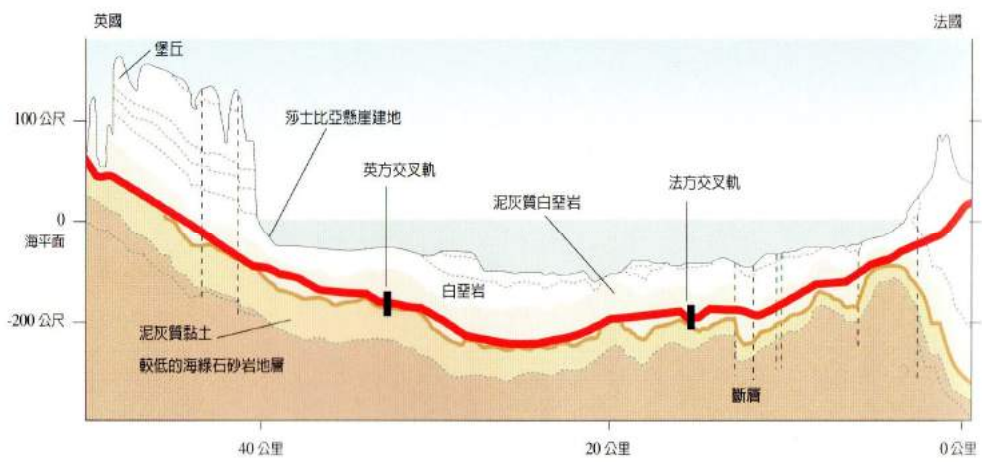


圖 1.3-3 英法海底隧道

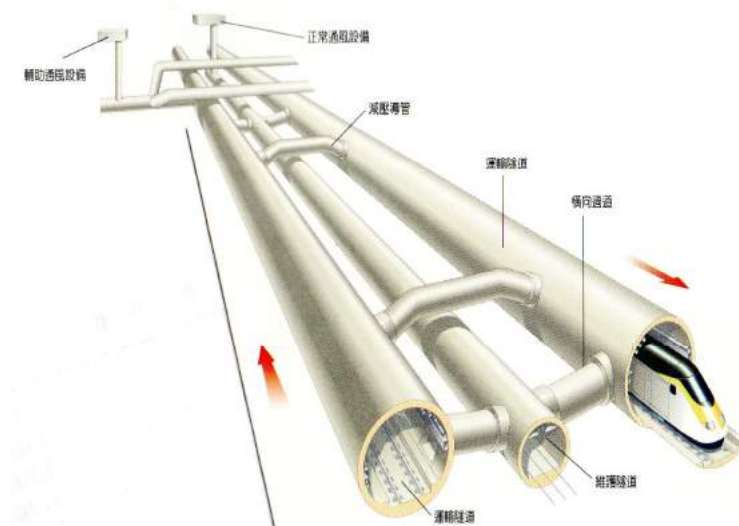


圖 1.3-4 英法海底隧道

## 1.4 台灣鐵路隧道

台灣鐵路於 1887 年開工創建（清光緒十三年），首段路線「基隆至台北」開通於 1891 年（清光緒十七年），迄今已歷 120 年，由於早期的鐵路建設以橋梁、隧道工程最為費工費時、造價昂貴，所以，當一段路線的重要橋梁、隧道完工時，也差不多是該段鐵路通車之時。尤其以穿越窮山峻嶺的隧道工程，是最為費時費工的關鍵工程。

台灣鐵路第一座隧道，也是最為國人所熟知的「獅球嶺隧道」，此隧道全長 235 公尺，為單線鐵路隧道。

很幸運地，這座台灣鐵路創建時最早開鑿的第一座隧道，直到現在仍保存良好，靜靜佇立於基隆市的獅球嶺上，供後人憑弔、緬懷先人創業之艱辛；而同等重要的橋梁，當年跨越基隆河的那座八堵橋，卻已遺蹤渺渺無覓處，此正反應出「橋梁」與「隧道」兩種結構體之基本特質。「橋梁」跨河，立足於河床上，河川流量多變，隨季節而時有災害，舊橋梁維修保存不易，常是一代新橋換舊橋；「隧道」穿山腹而過，山不易動，穩定度高，縱有路線更迭，興建新隧道，舊隧道也會被保留下來，或供儲藏、或供避難、或改為行人通道、或做為其他用途，所以，常見一代新隧伴舊隧，兩隧並存的現象。

## 2、隧道基本構造

隧道之基本構造可分為，隧道主體及隧道附屬設施兩部分；各與建造此隧道時之用途、隧道所在地質、當時的施工技術等條件有關。

隧道主體，一般係指隧道支保、襯砌、洞門、排水設施、路面等隧道結構體之總稱。隧道附屬設施，泛指隧道維持正常營運上所需之通風、照明、防災、電力、監控等附屬設施，包含上述附屬設施運作上所需之相關設備。

隧道於規劃設計階段一般先從路線之佈置與斷面大小等功能需求開始。隧道斷面大小則應符合行車空間，其平面線形與縱坡需符合鐵路規範要求外，尚需考慮曲線段之加寬現象。

隧道之佈置與設計應以地質為優先考慮之因素，選擇地質最佳之洞口與路線，同時就路線地質條件設計需要之隧道。隧道設計所需考量之基本因素，包括地盤特性、斷面形狀、開挖方法、地震、特殊荷重等。

斷面形狀：隧道內空斷面形狀與尺寸，除應含淨空斷面外，尚應包括配置附屬設備所需要之空間（包括通風、照明、防災、電力、內裝修飾等）及襯砌施工誤差需要之寬容量等，以確保隧道之安全性及經濟性。

此外，隧道施工階段所採用的工法、材料、開挖及支撐系統等，也對隧道完工後的基本構造、型態、甚至斷面形狀大小，造成一定程度的影響。例如，台鐵於施工東線鐵路自強隧道時，因產生重大災變，施工停滯，最後引進「新奧工法」解決，也因支撐方法做了重大改變，隧道的斷面、襯砌厚度、仰拱底版等皆與傳統工法所施做的隧道不同。尤有甚者，台鐵隧道施工時，亦嘗因覆蓋層不足，屢屢坍方，最後，改採明挖工法施工，導致隧道斷面由橢圓形變為矩形，構造與主、附屬設施之配置也隨之改變。

以下各項構造，如襯砌與仰拱，為隧道基本構造元素；其他多係施工階段所採用的基本設施，一般並不視為隧道的永久結構，然而，對隧道而言，其重要性卻不亞於隧道永久結構的附屬設施，尤其是，對營運後之維修保養作業方面，施工過程的紀錄與施工方法、設施，乃至於災害搶修方法，都將對該隧道結構產生深遠的影響。

隧道支撐：包括初期支撐與二次支撐（混凝土襯砌）。初期支撐通常在隧道開挖後立即安裝，以支持地盤。通常以噴凝土及岩栓為之；二次支撐則用為初期支撐之防水或防火層，或改善其外觀、改進空氣或水之流通性。

傳統鋼支撐：當地質條件不適用於採岩栓或噴凝土或二者組成之支撐系

統，覆蓋淺且有偏壓之洞口段以及隧道分叉段，可考慮以鋼支撐系統代替岩栓－噴凝土支撐系統。鋼支撐一般採用 I 形鋼或 H 形鋼，斷面對稱之結構鋼。

二次支撐：一般係指混凝土襯砌，可分為：

裝飾性襯砌：視初期支撐為永久支撐，其能力足夠支持岩盤長期載重，無須再以二次襯砌補強。此時之二次襯砌以裝飾及改善通風性能為目的，為無筋混凝土。

結構性襯砌：初期支撐為鋼支撐、擠壓或膨脹性岩盤、長期潛變之岩盤、斷層帶、破碎帶、有高地下水壓或內壓之隧道等，其二次襯砌需承受各種不同之載重，是謂結構性襯砌，通常由鋼筋混凝土為之。

噴凝土：以提供地盤封面及形成薄殼承受荷重為目的。如遇噴凝土黏著不良之地盤、挖掘後自立性不良之地盤或變形較大之地盤，均可採用鋼線網或鋼纖維予以補強。

岩栓：以提供即時支撐，增加地盤強度、勁度及韌性為目的。岩栓是隧道圍岩之主要補強構件，局部安裝時可支持特定岩塊，避免鬆動墜落。成為系統安裝於隧道周圍時，可增強岩體之強度、勁度及韌性。目前使用之岩栓有全長螺紋鋼棒、竹節鋼棒、扭轉鋼棒。

鋼肋：其功能為在噴凝土與岩栓發揮作用前，提供部分支撐力，及補強噴凝土與岩栓構成之支撐系統。常用之鋼料有 H 型鋼、U 型鋼及輕型桁架。

傳統鋼支撐：由鋼支撐、鋼繫桿、木撐桿、木承載塊及木質或鋼矢板等組成立體結構。

仰拱：其功用在於閉合支撐系統，使開挖斷面岩體形成拱效應，以抑制隧道向內之變形。就功能上而言，初期支撐與二次支撐於必要時均應考量設置仰拱；當地質不良時，仰拱將與支撐構造成為一體以形成環圈，作為構造之一部份，增加其強度以抵抗地壓。仰拱由噴凝土、混凝土或鋼筋混凝土構築而成。

二次支撐：隧道開挖後以噴凝土、岩栓、鋼肋所形成的主要支撐構件可視為初期支撐（外襯砌）。俟外襯砌使隧道變位趨於安定後，再就地澆置之混凝土襯砌稱為二次支撐（內襯砌）。內襯砌之目的在提高水密性、防止漏水、提供隧道內部安全設施（照明、通風、消防、偵測等等機電設備）之安裝，及方便隧道之例行檢查與維護。內襯砌於鐵路隧道多為就地澆注之無筋混凝土，但地質不佳或變化地段，得檢討是否需用鋼筋混凝土取代。

洞門型式：洞門構造應具有安定洞口坡面及防範自然災害之功能，其造

形應與周圍景觀調和。洞門之型式可依形狀分為重力型、壁面型及突出型三類。

洞外銜接：隧道洞口與橋樑、路堤、渠道或擋土結構銜接時，應評估銜接結構物與隧道間相對位移與沉陷之影響。

防水設施：防水設施之目的係為提供隧道內乾燥環境，且為謀滲水不致對二次襯砌及隧道內設施有不良影響。防水設施一般有下列方式：

二次襯砌以水密性混凝土施作以減少收縮龜裂及蜂巢。

二次襯砌表面以水泥系材料塗敷。

二次襯砌表面以瀝青系、尿素系等流體狀塗料塗敷。

於二次襯砌混凝土外側，包覆防水膜。

排水設施：當允許地下水排入隧道時，隧道應設適當之進水管道及排水通路，以利排除。但同時仍應有適當之防水措施，拘限地下水儘從預設之管道進入隧道。

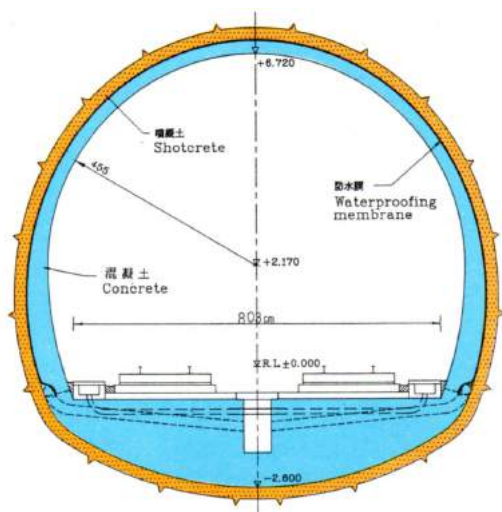


圖 2-1 台鐵隧道主要結構（標準型）

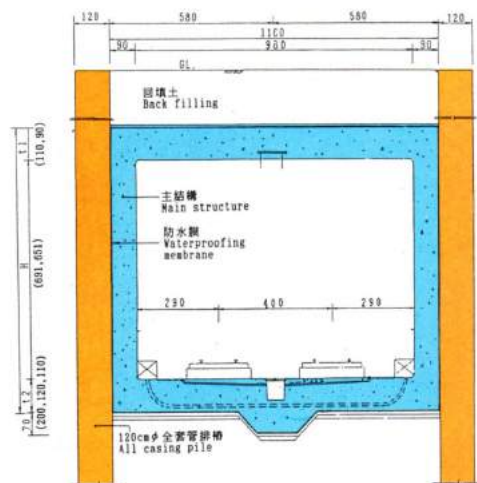


圖 2-2 台鐵隧道主要結構（矩形）

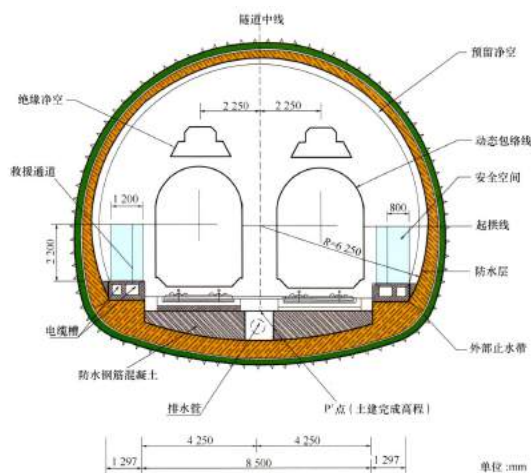


圖 2-3 台灣高鐵隧道主要斷面結構（標準型）



照片 2-1 台灣高鐵隧道

# 3、隧道種類與型式

## 3.1 鐵路隧道分類

隧道種類繁多，分類原則各依其目的與用途而異，例如演述隧道建築史，可依隧道的建造年代而分類，可依其用途、功能而分類，亦可依重要性而分類。對工程技術領域而言，隧道可依下列原則加以歸類。

### 一、依建造材料分類

- 1.天然岩盤隧道
- 2.木構造支撐隧道
- 3.塊石堆砌隧道
- 4.磚造隧道
- 5.混凝土隧道
- 6.鋼筋混凝土隧道
- 7.預鑄鋼筋混凝土節塊隧道
- 8.鋼纖維混凝土隧道
- 9.鋼構造（鋼版、鋼支保）隧道
- 10.鋼肋、鋼絲網及噴凝土混合構造隧道
- 11.多種材料複合式隧道

### 二、依建造目的與用途分類

1. 交通運輸隧道：包括鐵、公路、捷運、地鐵等運輸系統之隧道。
2. 給排水隧道
3. 維生系統通路隧道
4. 通風逃生隧道
5. 其他特殊用途隧道：如軍事作戰、儲藏等目的。

### 三、依隧道所在地之地質特性分類

1. 山岳隧道
2. 都會地區隧道
3. 河底隧道
4. 海底隧道

### 四、依斷面形狀分類

1. 馬蹄形隧道：台鐵早期隧道多屬此型。
2. 拱圈直立形隧道：頂拱圈半圓形或拱弧形、側壁直立，台鐵現有隧道多

屬此依類型。

3. 半圓形隧道：
4. 圓形隧道：
5. 橢圓形隧道：台鐵近年新建之隧道斷面多屬此類型
6. 矩形隧道：一般採用於鐵路的明挖隧道路段
7. 多孔型隧道：
8. 複合型隧道：
9. 扁圓蛋形隧道：
10. 多邊弧形組合型隧道

### 五、依施工方法分類

1. 傳統工法：
2. 鑽掘機械：
3. 全斷面自動機械施工法：
4. 沉箱隧道施工法
5. 潛盾工法
6. 新奧工法（NATM）：

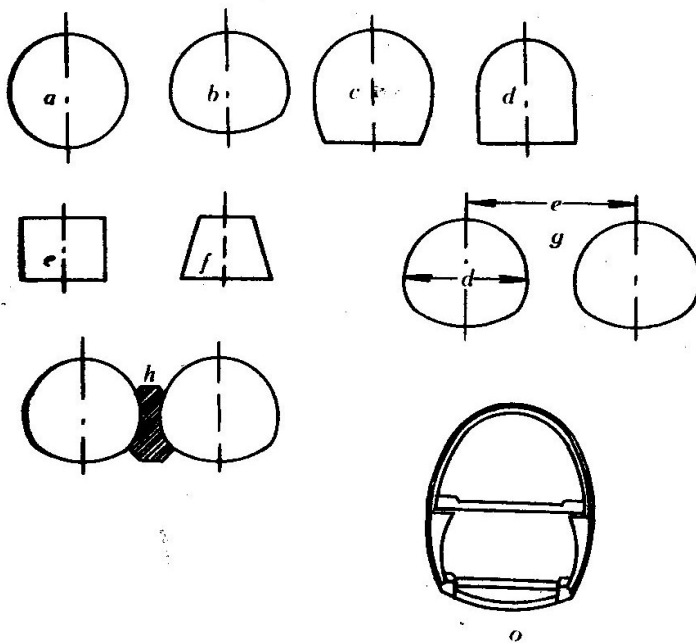


圖 3.1-1 各式隧道斷面形狀：a 圓形 b 橢圓 c 馬蹄形 d 拱圈直立形 e.f 矩形 g 多孔形 h 雙子形 o 雙層隧道

就鐵路隧道而言，又有傳統鐵路、高速鐵路、都市地鐵（捷運系統）、輕鐵、快鐵等區分，一般統稱之為「軌道」運輸系統，似較為貼切，至於「鐵路」一詞，在台灣似較偏向於專指「傳統鐵路」，也等於是台鐵的代名詞。但是縱然如前述，一再將範圍縮小至傳統的台鐵隧道，也有以下數種分類方式。

#### 一、依軌道數而分

- 1.單軌隧道
- 2.雙軌隧道
- 3.多軌隧道

#### 二、依電化淨空而分

- 1.電氣化區間隧道
- 2.非電氣化區間隧道

#### 三、依路線線形而分

- 1.直線段隧道
- 2.單曲線段隧道
- 3.複合曲線段隧道

此外，當然也能依建造材料分為磚造、混凝土造、鋼纖維噴凝土等；依形狀分為馬蹄形、圓拱形、矩形等；依地層條件分為都市地下型、山岳型、河底隧道等；或依地質條件分為礫石層、岩石層、土質層、破碎帶等；依通過山岳位置分為山腹型、坡角型等。



### 3.2 鐵路隧道形狀與淨空

隧道形狀不論如何改變，都必須滿足最小淨空需求，而淨空需求與該路線營運息息相關，路線上行駛的各型列車種類，各有其車輛界限，新車種採購時也必須受路線最小淨空的條件所限制。台鐵因車種繁多，路線興建期又處於不同年代，考量政府財政，計畫改建改線向來皆分階段實施，所以定有電化、非電化，一般建築、橋梁、隧道等多種建築界限。（圖 3.2-1~圖 3.2-4）

台中線鐵路原為建於日據時代，當時採用的馬蹄形斷面隧道，一直使用至鐵路電氣化時，面臨淨空不足問題，台鐵工程司採取的方法，是將隧道降挖至一定深度後，重鋪軌道。（施工照片 3.2-1~照片 3.2-6）

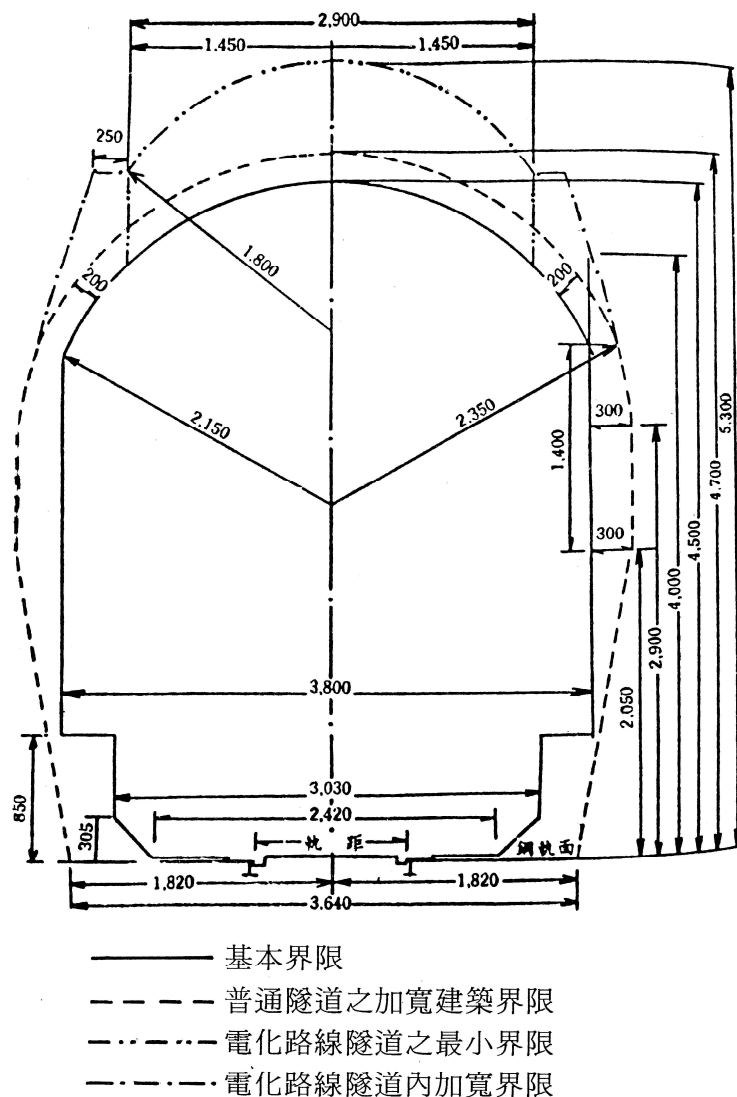


圖 3.2-1 新建電化路線隧道建築界限圖

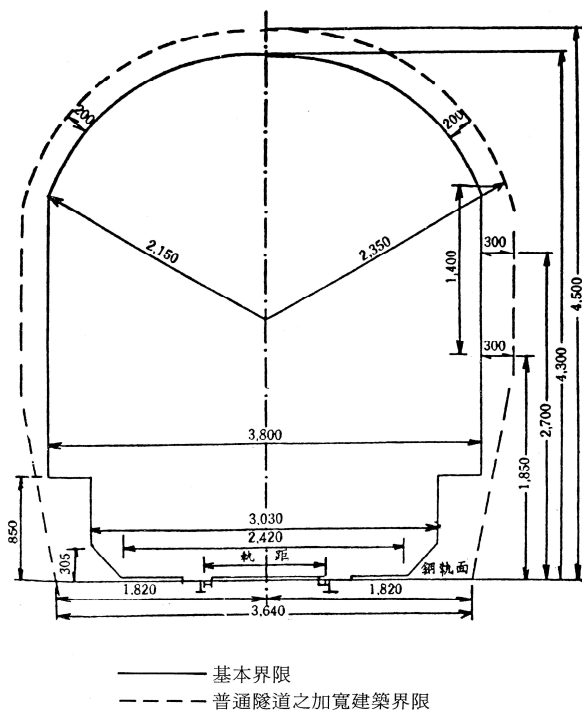


圖 3.2-2 非電化路線隧道建築界限圖

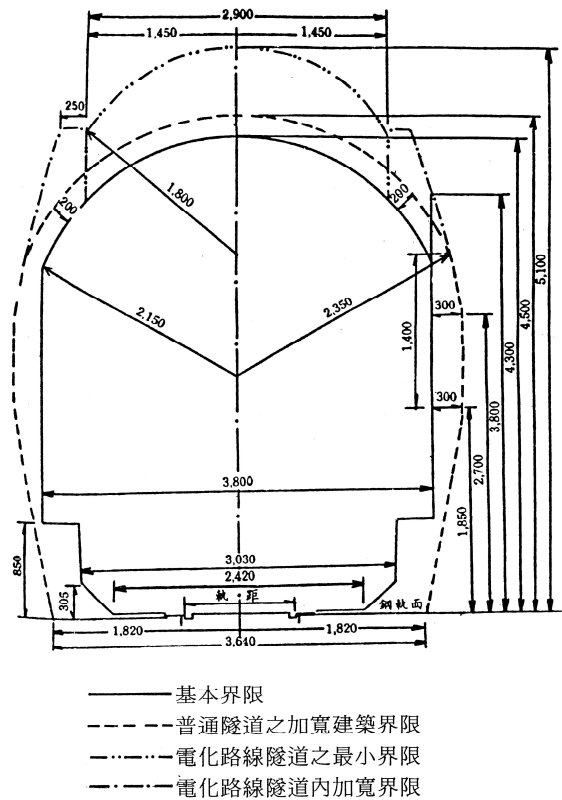


圖 3.2-3 改建電化路線隧道建築界限圖

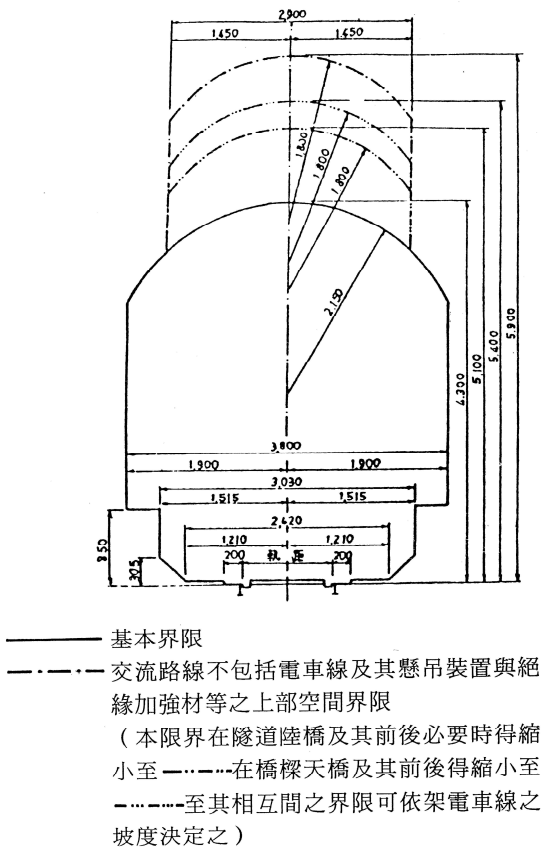


圖 3.2-4 改建電化路線建築界限圖



照片 3.2-1 台鐵隧道電化淨空改善工程



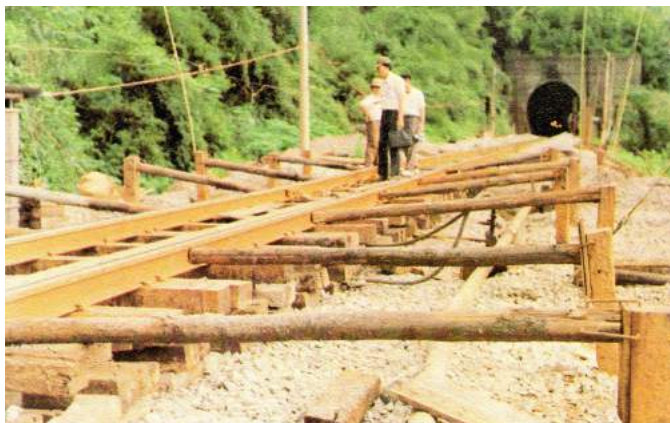
照片 3.2-2 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-3 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-4 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-5 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-6 台鐵隧道電化淨空改善工程

### 3.3 鐵路隧道洞門

隧道口洞門的作用在於支撐與擋土，來自正面仰坡和路塹邊坡的表土壓力，攔截坡面上方的木石滾落，並匯集坡面逕流水，引離隧道，以確保洞口路線的安全。隧道洞門聯繫襯砌和路塹，是整個隧道結構的主要組成部分，也是隧道進出口的標誌。（如圖 3.3-1 所示）

根據洞口地形、地質及襯砌類型等不同狀況，隧道洞門結構有以下幾種形式：  
（如圖 3.3-2~圖 3.3-11 所示）

- 一、 端牆式洞門：
- 二、 柱式式洞門：
- 三、 翼牆式洞門：
- 四、 耳牆式洞門：
- 五、 偏壓洞門：
- 六、 斜交洞門：
- 七、 明洞門：
- 八、 棚架式洞門：

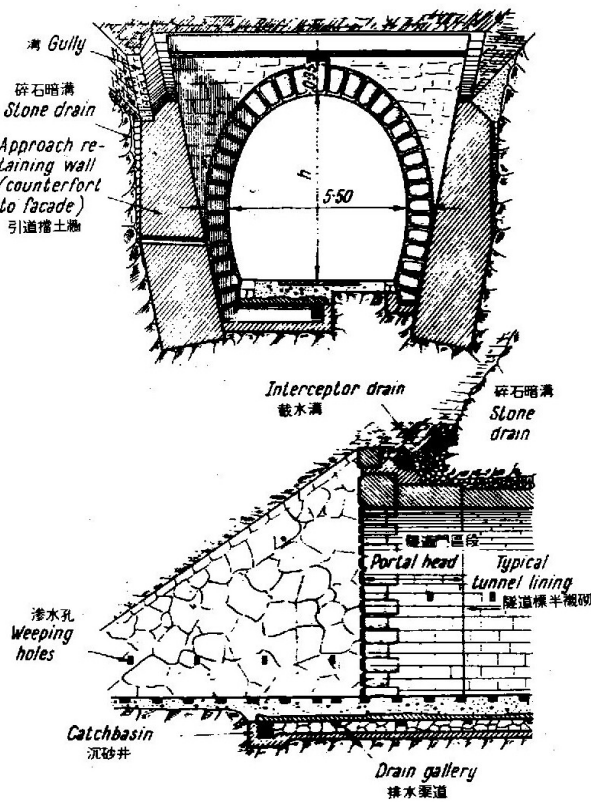


圖 3.3-1 鐵路隧道洞門（馬蹄形斷面）

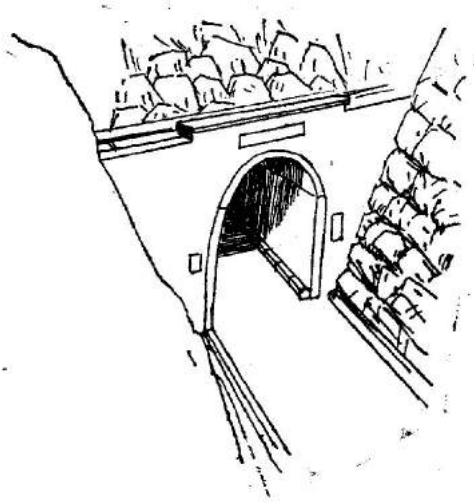


圖 3.3-2 端牆式隧道洞門

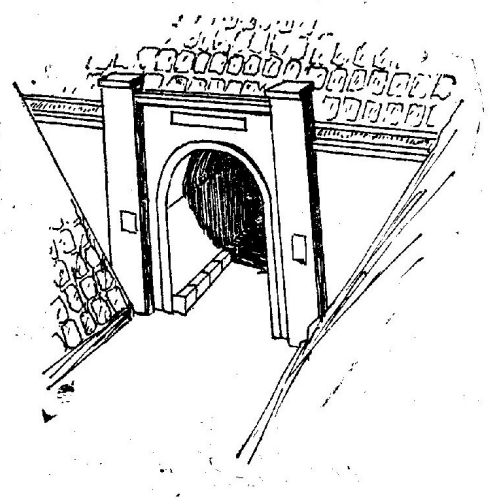


圖 3.3-3 柱式隧道洞門

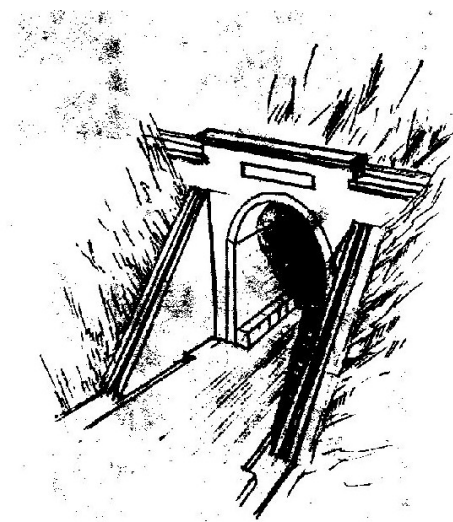


圖 3.3-4 翼牆式隧道洞門

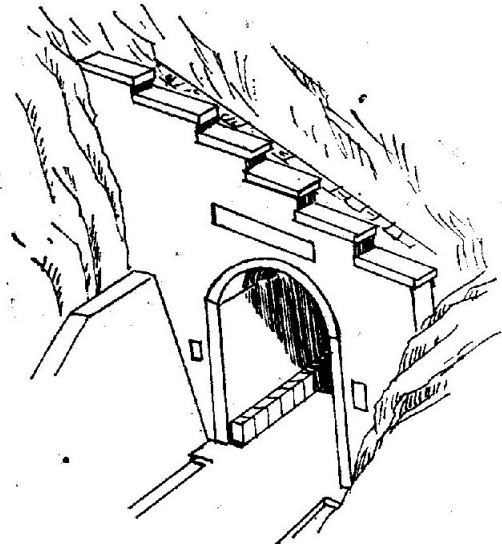


圖 3.3-5 偏壓隧道洞門

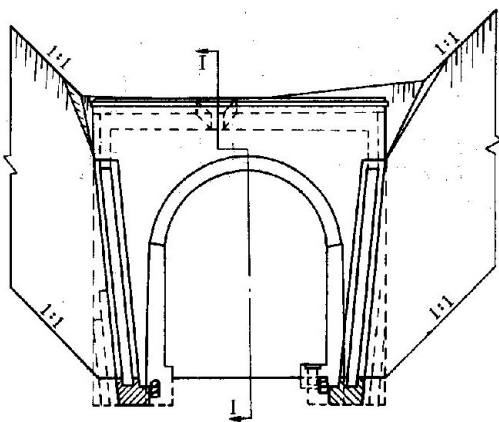
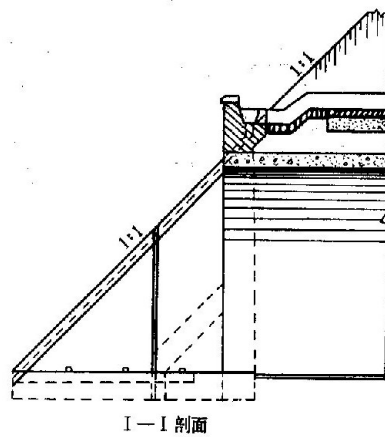


圖 3.3-6 翼牆式明隧道洞門



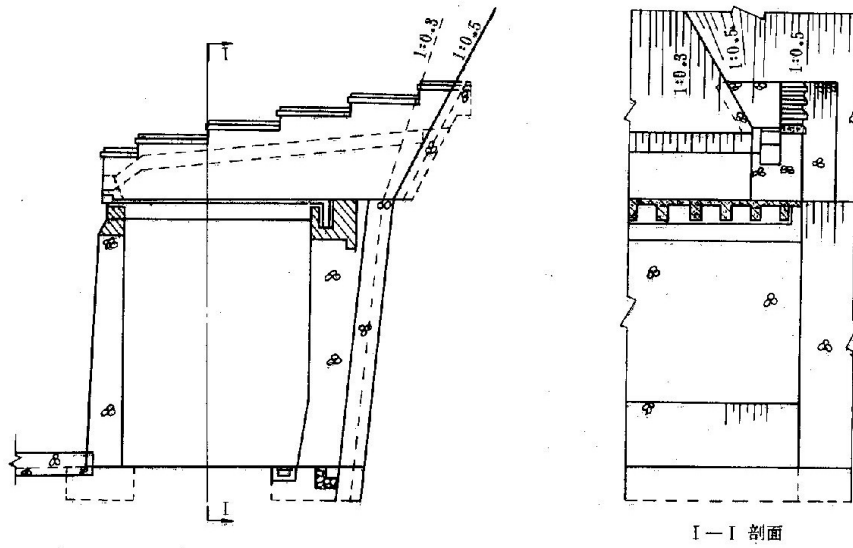


圖 3.3-7 棚架式明隧道及洞門

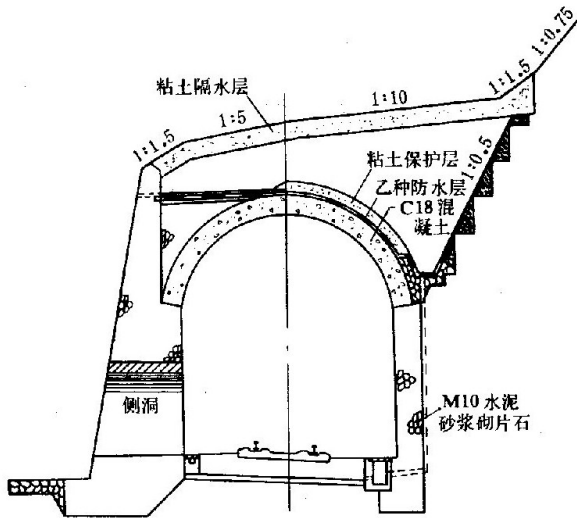


圖 3.3-8 單壓式拱型明隧道洞門

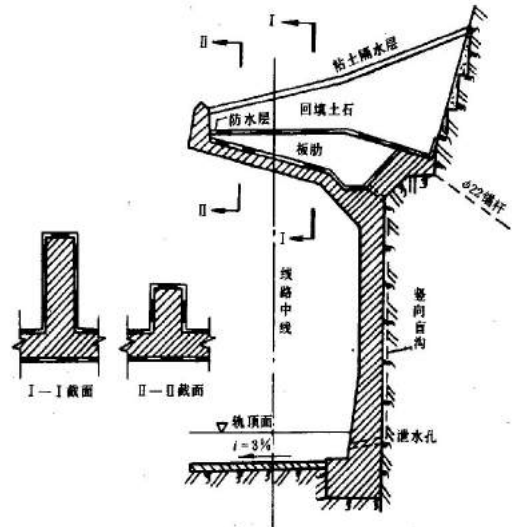


圖 3.3-9 懸臂式棚架明洞

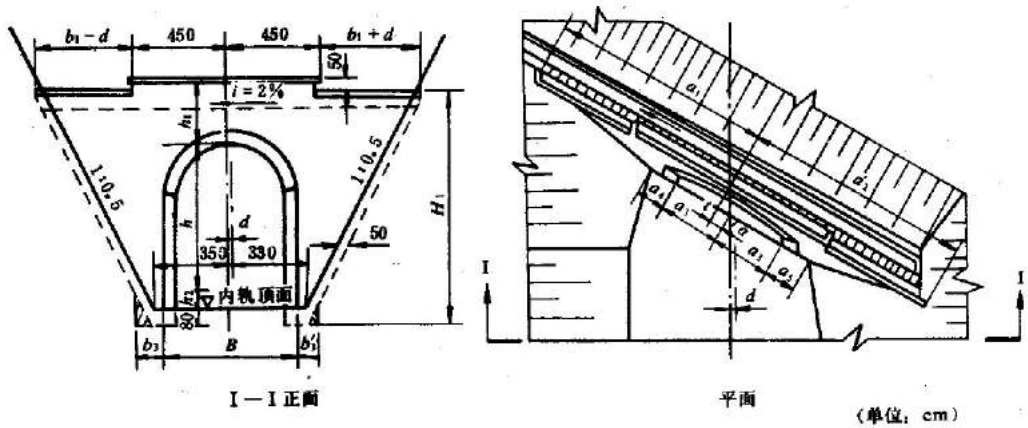


圖 3.3-10 斜交式隧道洞門

近來鐵路隧道之洞門設計亦為精緻化，除了考量景觀因素外，亦對列車進出洞口時之「活塞效應」多所研究，尤其是高鐵隧道，當列車以高速進入洞門時風壓陡升，對旅客舒適度將造成一定程度的影響，所以，洞門設計皆採斜切角度型態為主，如圖 3.3-11 所示及照片 3.3-1~3.3-8 所示。



照片 3.3-1 直切式洞門



照片 3.3-2 正切式洞門



照片 3.3-3 倒切式洞門



照片 3.3-4 曲線正切式洞門



照片 3.3-5 台灣高鐵隧道正切式洞門（八卦山隧道南口附近）

# 4、隧道結構與型式之演進

## 4.1、隧道施工方法之演進

隧道開鑿技術對隧道工程具決定性的影響，早期人類只能以人工方式開鑿隧道，縱有支撐系統的發明與演進，也無法在岩盤地質中開通長大隧道，直到火藥被運用作為隧道開鑿工具，長大隧道即紛紛出現，這是隧道工程的第一次大變革，此時，約當西元 1627 年間。爾後黑色炸藥開始被大量使用於隧道開鑿，直到 1864 年諾貝爾研發出黃色炸藥，隧道開鑿技術才又向前跨了一大步。

而隧道工程的第二次大變革則是發生在西元 1869 年間，機械式的全斷面鑽掘機、潛盾機等，被開發出來，應用於山岳區長隧道施工及都會地區的隧道工程。結果成就了跨國境、跨海峽的超長隧道，也使各大都會的地鐵系統蓬勃興起。然而，就交通建設工程的建造速度而言，隧道工程施工速度仍不及橋梁工程快速，所以，近年來各國新建地鐵系統，已紛紛採用高架陸橋形式。

### 4.1.1 人工及機械開鑿時期

最早期的隧道開鑿全靠人力，但隧道斷面積狹小，不可能同時多人在開挖面工作，所以開鑿速度非常慢，此一時期的隧道，屬於古代隧道。直到動力機械被運用，自人力、獸力、水利、風力，以至蒸氣機的發明、到內燃機等，相繼被運用於隧道工程技術，使得隧道開鑿速度突飛猛進；然而，這些機械主要仍須由人工操作。（如圖 4.1-1~圖 4.1-12 所示）

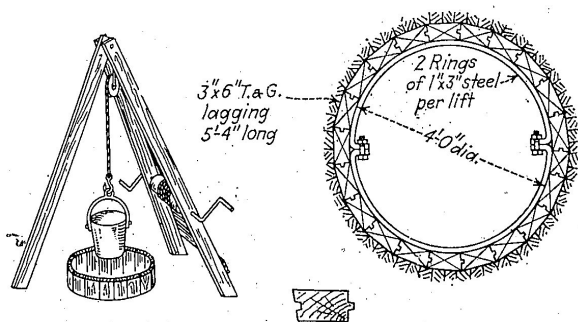


圖 4.1-1 早期隧道人工開挖施工與支撐

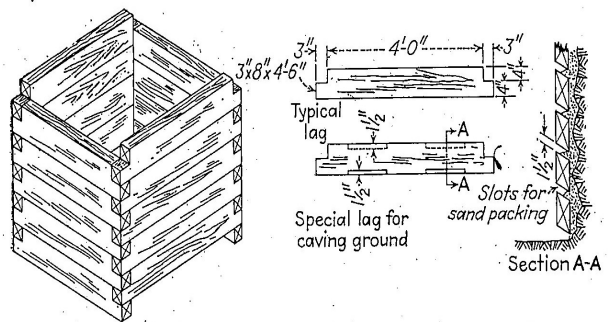


圖 4.1-2 早期隧道人工開挖施工支撐



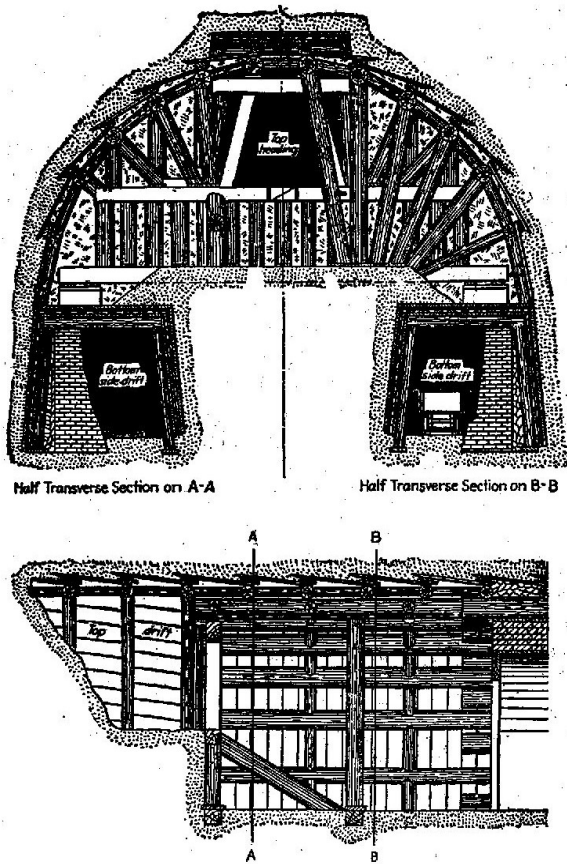


圖 4.1-3 美國巴爾迪摩鐵路隧道施工 (1891 年)

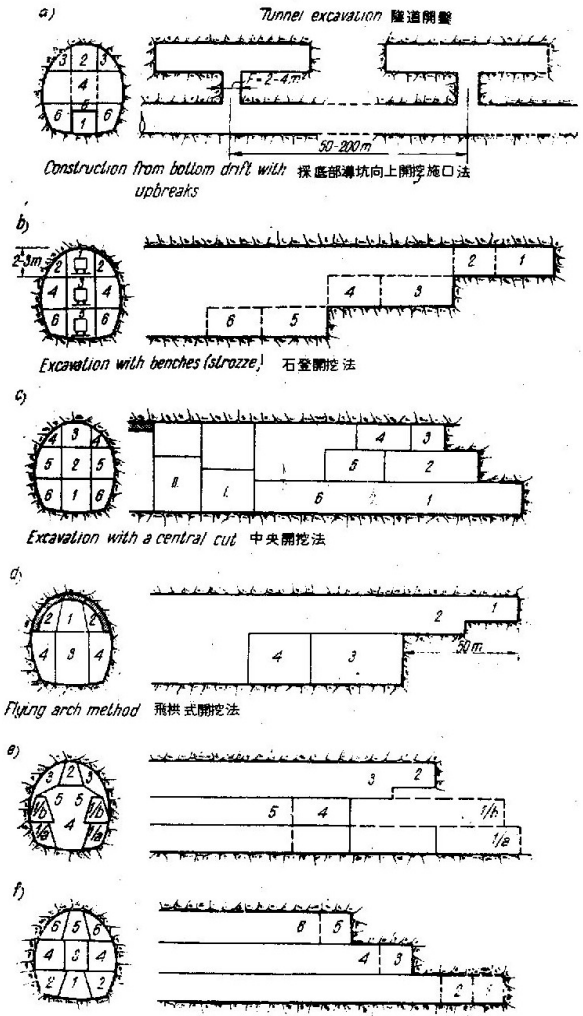


圖 4.1-4 早期鐵路隧道開挖施工步驟

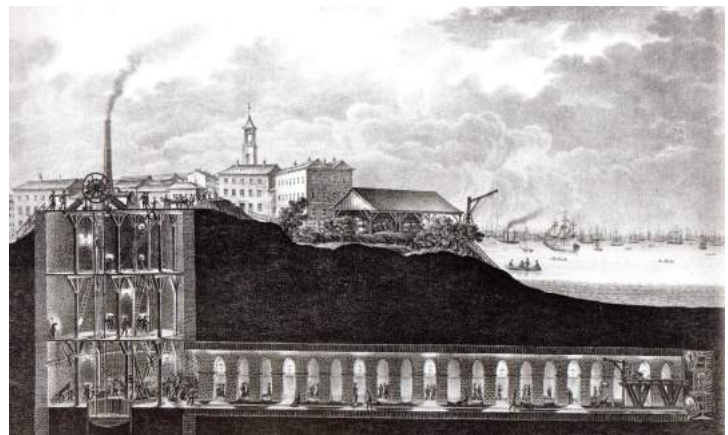
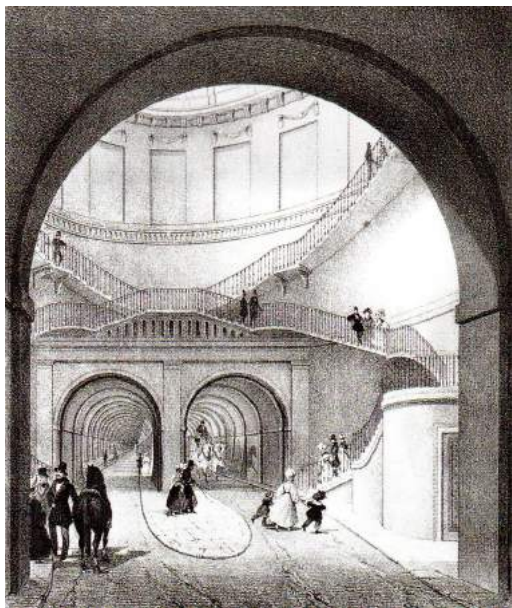


圖 4.1-5、4.1-6 英國泰晤士河水底道路隧道 施工

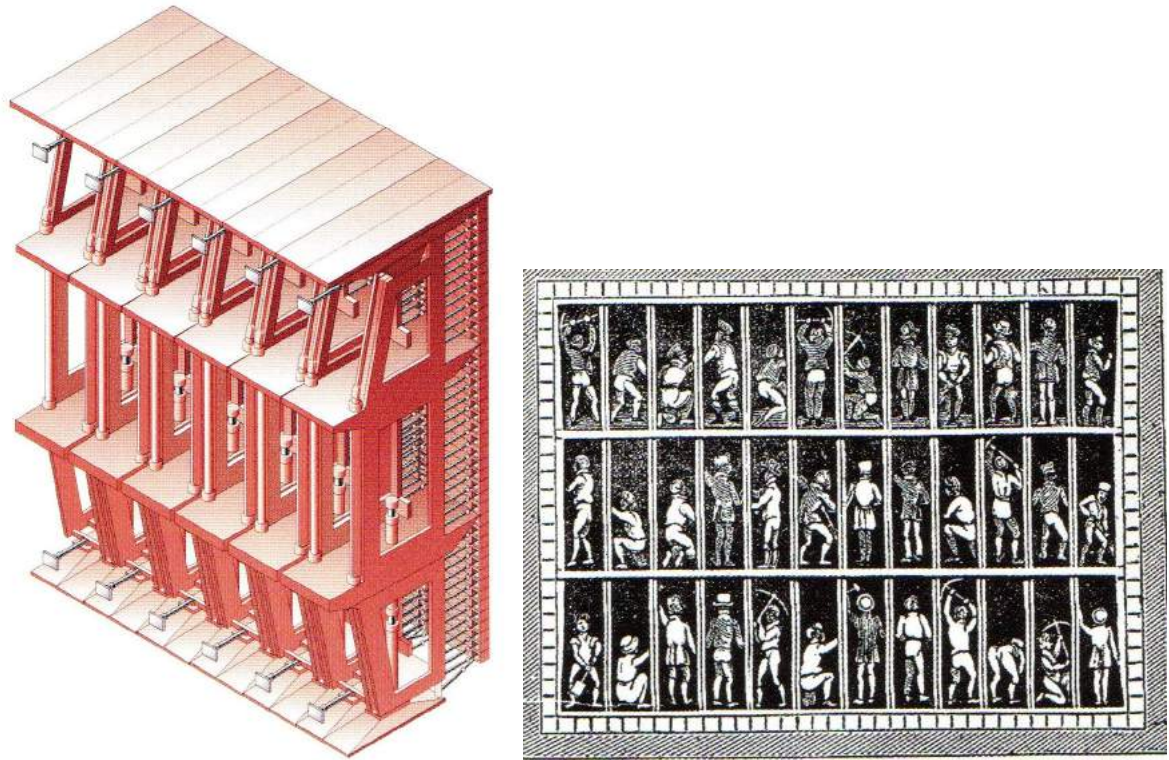


圖 4.1-7、4.1-8 英國泰晤士河水底道路隧道 施工盾構架

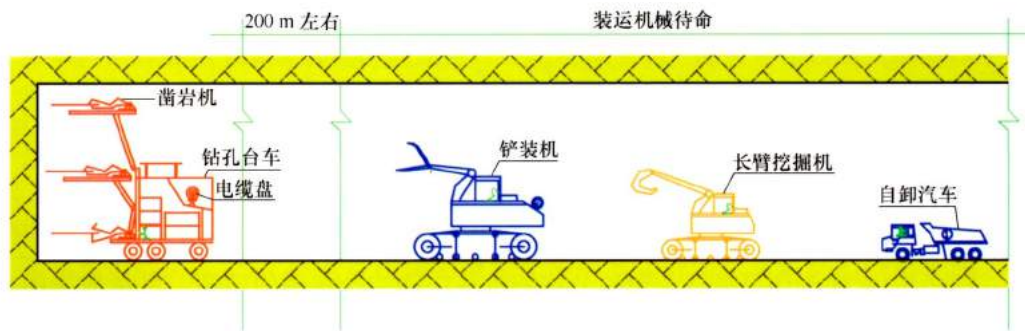


圖 4.1-9 隧道施工機械化作業(開挖.出碴)



圖 4.1-10 隧道施工機械化作業(岩錨.掛網.噴漿)

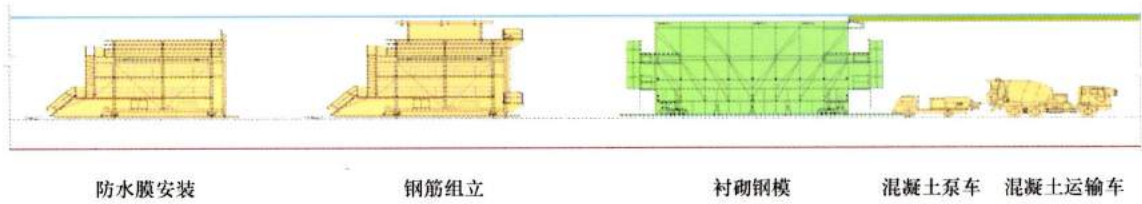


圖 4.1-11 隧道施工機械化作業(防水膜.襯砌)

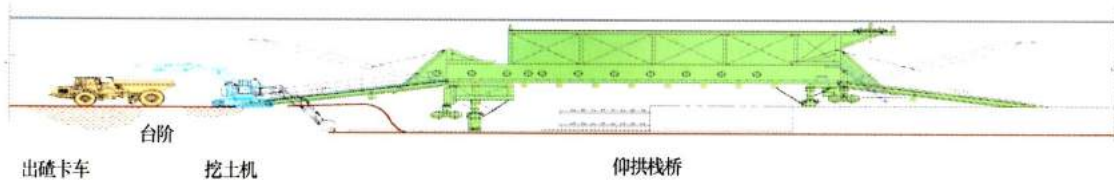


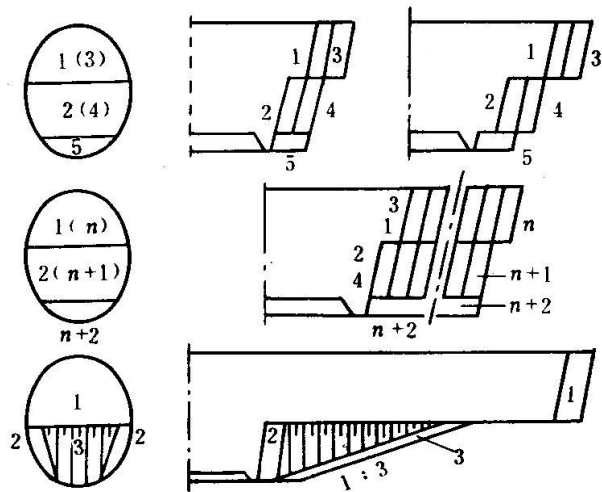
圖 4.1-12 隧道施工機械化作業(仰拱澆鑄)

#### 4.1.2 炸藥運用時期

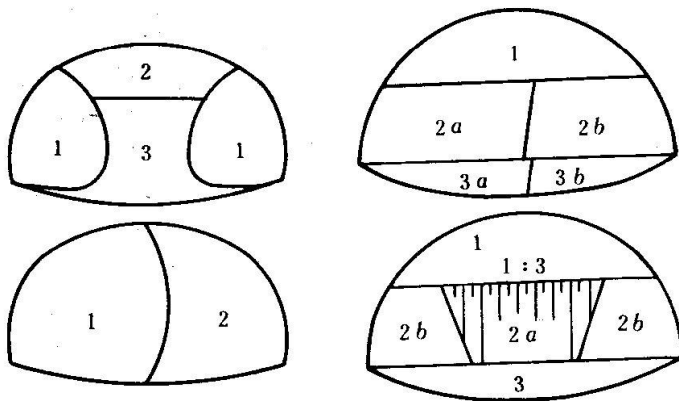
早在西元 1627 年，匈牙利便開始使用黑色炸藥開鑿隧道，隨著交通路網的發展，鐵公路路線必須穿越國境，通過山岳地帶，如阿爾卑斯山脈。要鑿穿數公里的堅硬岩石，如果沒有新的施工方法與開鑿機器的發明，幾乎不可能。

例如法國與義大利間穿越阿爾卑斯山脈的謝尼斯山鐵路隧道，全長 12.8 公里，於 1857 年開鑿施工，剛開始採用水壓鑿岩機，後來經研發人員改良為氣壓式鑽機，效率更高，但要鑿通十幾公里的山腹岩石，仍遙遙無期；碰巧 1864 年諾貝爾改良研發出黃色炸藥，立即被用於開鑿隧道工程上，此隧道終能於 1871 年順利完工通車。

國內鐵路隧道施工的進度，在人工機械開挖時期，前導坑開挖速度約可達到每月 30 公尺，後來引進新奧工法，開挖斷面更大，更有利於開挖面的爆破作業，炸藥品質、安裝與爆破技術也有長足的進步，前導坑掘進速度可達到每月 60 公尺以上，但整體的隧道施工進度，仍受災變次數、湧水、通風、襯砌等因素的影響。（如圖 4.1-7 及圖 4.1-8）



(a)



(b)

(c)

不同大小截面的开挖方式

(a)开挖面  $F=32\sim 48\text{m}^2$ ; (b)开挖面  $F=63\sim 82\text{m}^2$ ;

(c)开挖面  $F=110\sim 157\text{m}^2$ 。

圖 4.1-7 各種斷面之隧道開挖 施工步驟示意圖

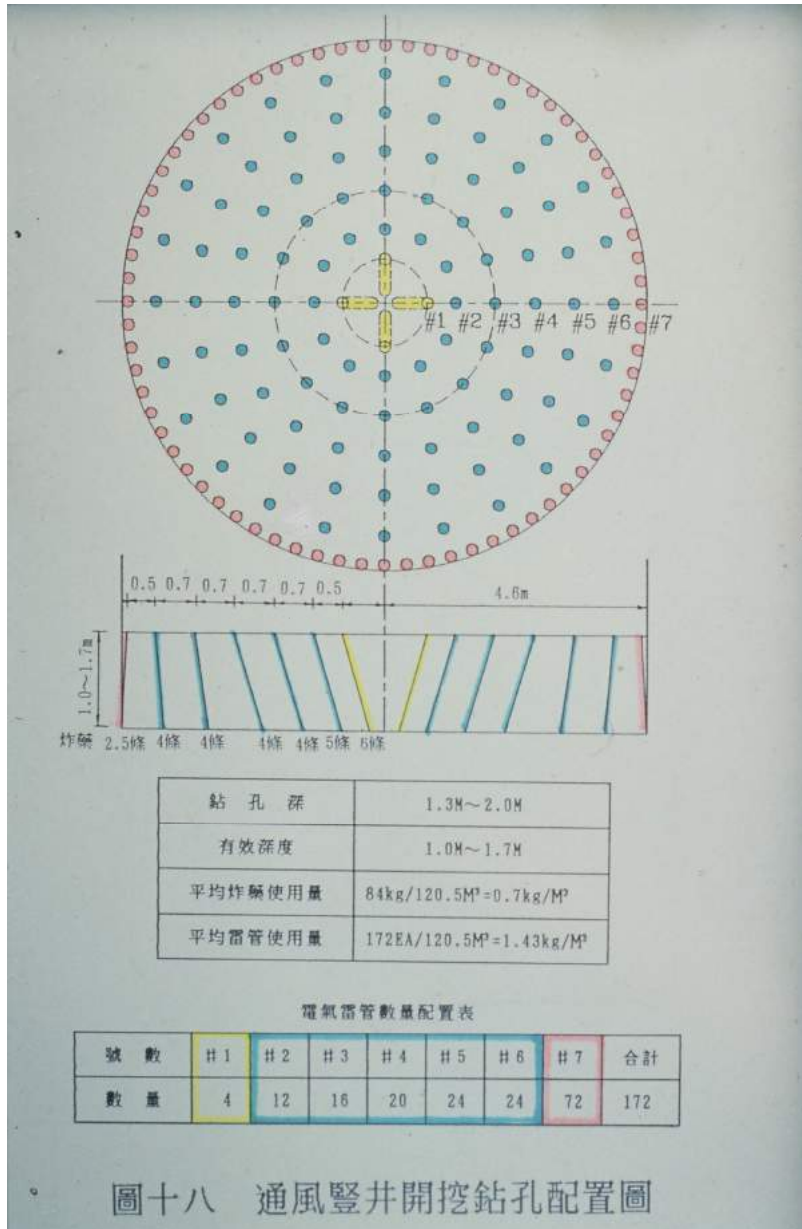


圖 4.1-8 隧道開挖 鑽孔炸藥裝填施工步驟示意圖

### 4.1.3 施工機械自動化時期

爲了開鑿超長隧道，如穿越阿爾卑斯山脈隧道、或橫過英吉利海峽的海底隧道，全斷面隧道鑽掘機被研發出來，並不斷改良，在都會地下型隧道施工，則發展潛盾式全斷面隧道鑽掘機，將隧道鑽掘作業流程標準化，如同工廠生產線一般，使隧道工程進度可達到每月 200 公尺以上。



照片 4.1-1 英法海底隧道施工時之全斷面鑽掘機

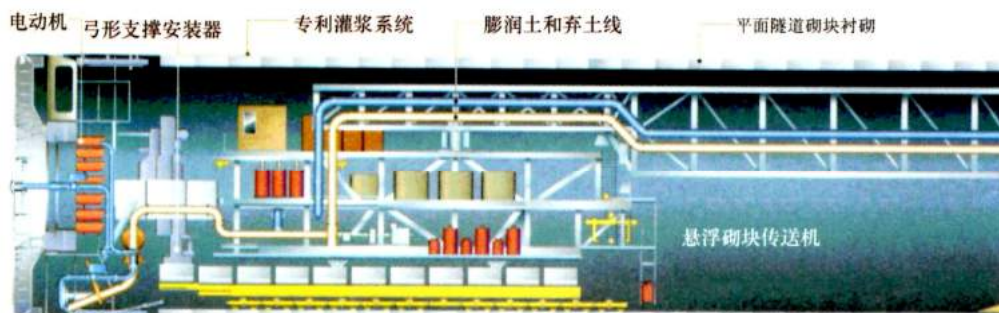
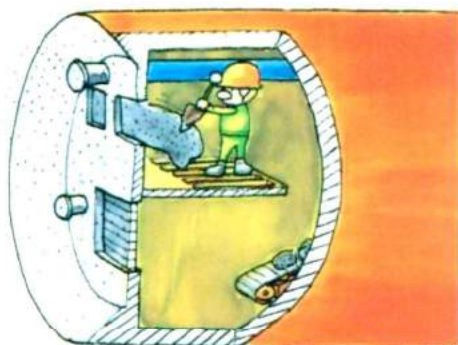


圖 4.1-9 荷蘭 潛盾式全斷面鑽掘機構造示意圖



照片 4.1-2 隧道鑽掘機 TBM (tunnel boring machine)



(a) 網格式盾構



(b) 插刀盾構

敞開式盾構



(a) 輻條式盾構



(b) 面板式盾構

封闭式盾構



(a) 复合式盾構



(b) 复合式盾構

圖 4.1-10 各式全斷面隧道鑽掘機示意圖

台灣鐵公路隧道施工亦曾先後引進全斷面隧道鑽掘機，可惜皆以失敗收場，較為知名的案例是台鐵局於興建北迴線時，觀音隧道工程施工引進稱為「鑽寶」的隧道鑽掘機，但因經常遇到破碎帶湧水與坍孔，至整部機械被埋，搶救、修復不堪負荷，最後只好放棄，改採傳統工法。較近的案例是公路局的北宜高速公路「雪山隧道」施工，也引進當時號稱世界最先進的全斷面隧道鑽掘機，稱之為「大約翰」，施工進度更樂觀地預估可達每月 200 公尺，結果也是災變不斷，損失慘重，最後，

仍舊是依靠改良式的台灣版「新奧工法」完成。

推究「全斷面隧道鑽掘機」在台灣水土不服的原因，在於台灣山岳地區多處斷層帶，地質極為破碎、地下水層豐富多變，與歐美地區的地質條件完全不同。然而，台灣在都會區地下隧道工程，引進的「潛盾式全斷面隧道鑽掘機」，卻是成功的，因土壤性質縱有不同，地質調查可以做到很精確，預知開挖面狀況，在機械特性可容許範圍內，擬妥對策或應變措施；而在山岳隧道，則地質調查無法取得足夠的直接數據。

## 4.2、隧道結構之演進

隧道結構依建造年代，約可分為以下幾種型式，次第演進。

- 一、天然岩盤人力開鑿而成的隧道，不加襯砌與支撐。
- 二、天然地盤人力開鑿而成的隧道，加木支撐。
- 三、人工機械開鑿而成的隧道，加塊石襯砌。
- 四、人工機械開鑿而成的隧道，加磚襯砌。
- 五、人工機械開鑿而成的隧道，加混凝土襯砌。
- 六、人工機械開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土襯砌。
- 七、人工機械開鑿而成的隧道，加鋼纖維噴凝土壁體。
- 八、潛盾式全斷面鑽掘機開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土預鑄環片襯砌。
- 九、全斷面鑽掘機開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土預鑄環片襯砌。



圖 4.2-1 早期人工開鑿隧道（天然岩洞）



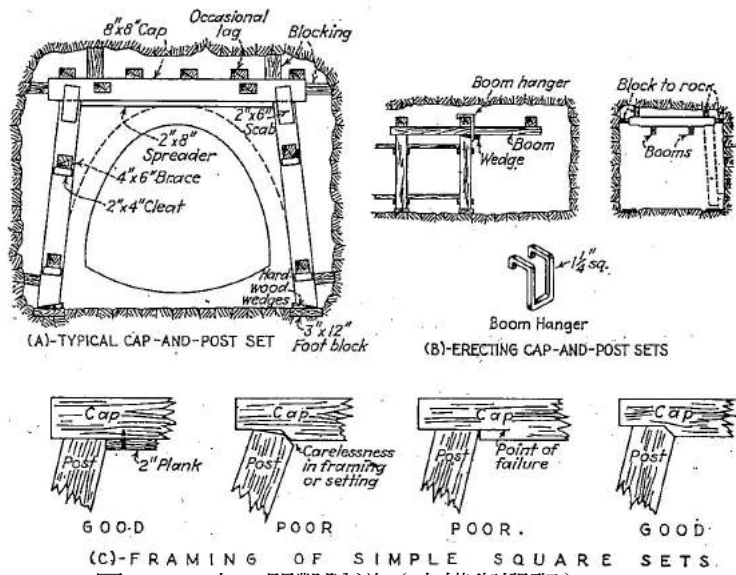
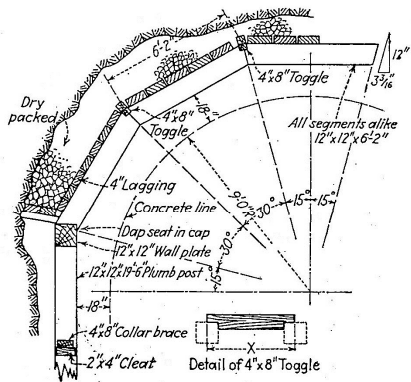


圖 4.2-2 人工開鑿隧道（木構與襯砌）



—Typical five-piece sets for single-track railroad tunnel, dry-packed; heading-and-bench method of driving.



圖 4.2-3、圖 4.2-4 人工開鑿隧道（五段式鋼支保與襯砌）

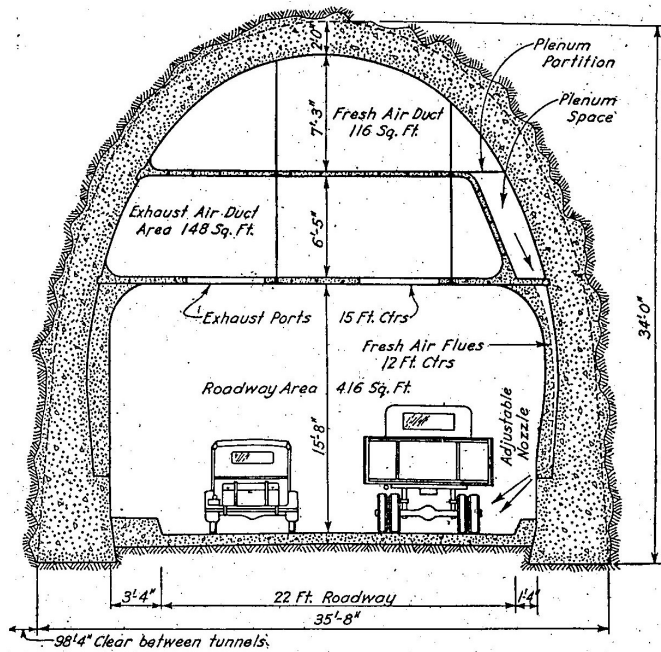


圖 4.2-5 大量機械化開鑿隧道（鋼支保與混凝土襯砌）



照片 4.2-1、4.2-2 台灣最早的鐵路隧道（獅球嶺）



照片 4.2-3、照片 4.2-4 台灣早期的疊塊石與砌磚隧道（舊宜蘭線鐵路三爪子隧道西口）

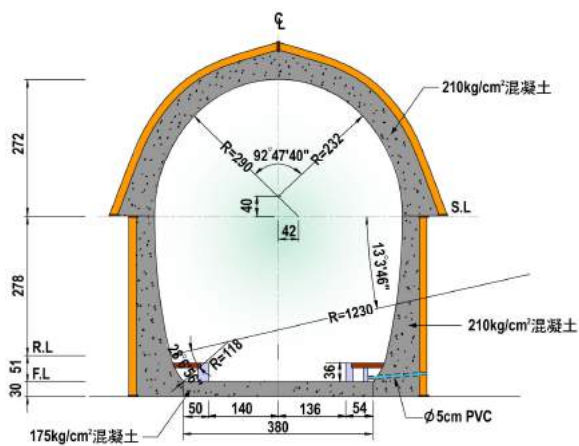


圖 4.2-6 單線隧道美國鋼支保工法標準斷面圖

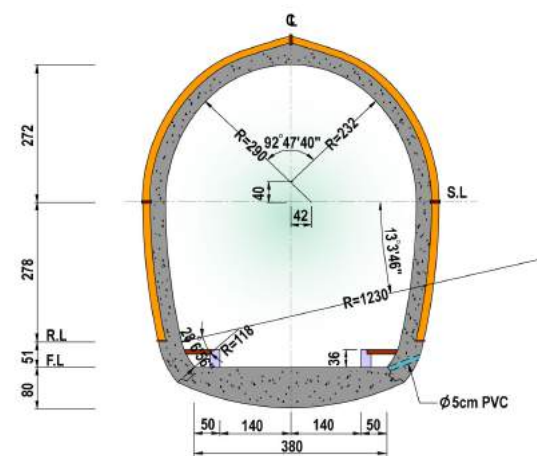
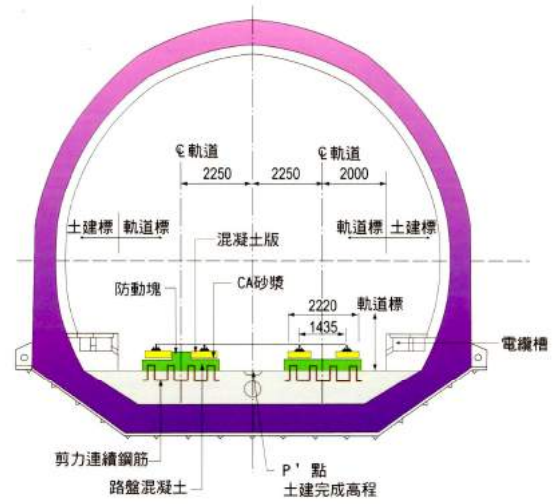


圖 4.2-7 單線隧道新奧工法標準斷面圖



照片 4.2-5 預鑄環片襯砌與無碴軌道隧道



隧道段版式軌道橫斷面圖

圖 4.2-8 台灣高鐵隧道斷面與軌道結構示意圖

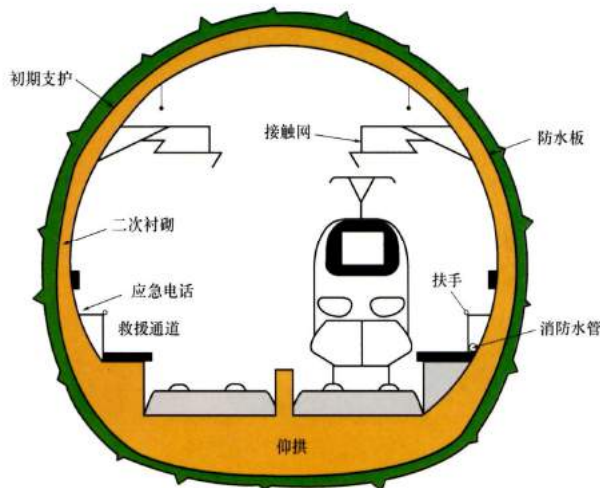


圖 4.2-9 英國高鐵隧道斷面結構示意圖

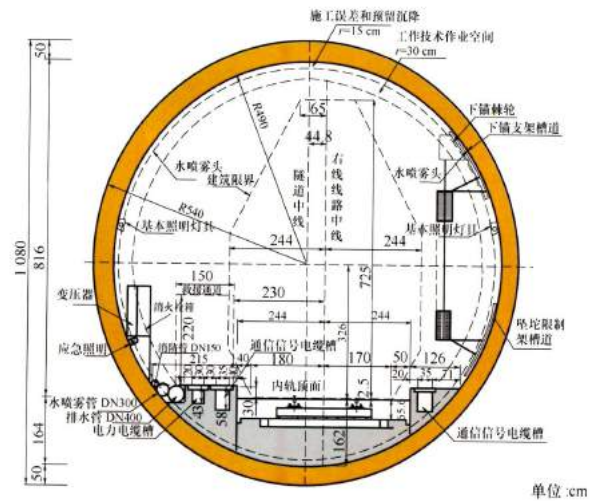


圖 獅子洋隧道圓形段橫断面布置

圖 4.2-10 中國高鐵獅子洋隧道斷面(圓形)

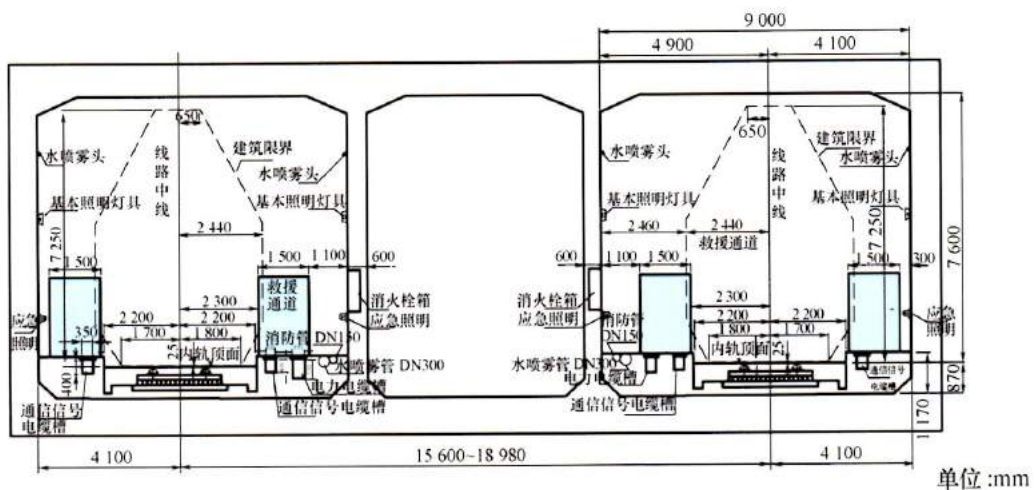


圖 4.2-11 中國高鐵獅子洋隧道明挖斷面(矩形)

# 5、台灣鐵路隧道

迄至 2011 年止，台灣鐵路營運使用中有 132 座，總長度 151 公里，分布於環島鐵路各線，詳細資料收錄於本書附錄一。另有曾為鐵路使用，而今廢置的舊鐵路隧道 38 座，大部分仍完好堪用，分別詳列於本書附錄二中，這些舊隧道有的已被指定為古蹟，供民眾參觀遊憩，如基隆的獅球嶺、宜蘭線的草嶺隧道；有的已改為自行車道或闢建改為公路車道，如舊山線的苗栗隧道、東勢支線的東勢隧道；有的則規劃成為新的觀光輕便鐵路線繼續使用，如舊山線、深澳支線各隧道；然而，有更多的廢置舊隧道則仍埋沒於荒煙漫草之中，等待再利用機會。（詳細資料臚列於本書附錄二部分）

## 5.1 縱貫線鐵路隧道

### 5.1.1 台灣鐵路隧道之始

縱貫線台北～基隆段開通於 1891 年秋，相當於清光緒 17 年，民國前 20 年，是台灣鐵路通車營運的新紀元，當時全線 28.6 公里，最重要的橋梁隧道結構物就只一橋一隧，一橋是跨越基隆河的鐵橋，今已不復見；一隧就是穿過獅球嶺的隧道。幸運地，這座獅球嶺隧道留存至今，仍可供遊人參觀憑覽，一興思古悠情。

從這座古隧道的岩壁鑿痕、襯砌磚石材料、斷面形狀、大小及走在洞內的縱坡起伏，即可領略當年施工的艱辛，及工業技術發展水平，若再參觀過台北 228 公園內的騰雲號火車頭，在腦中稍微模擬一下，那輛古老的蒸汽火車頭拖曳著一列木製客車廂，氣喘呼呼地爬上山坡，鑽入這個漆黑小山洞的情形。車廂內的旅客，在呼嘯低吼汽笛聲中，突然陷入一片黑暗，伸手不見五指，只剩隆隆的輪軌交鳴，正自驚疑，霎那重間又重放光明，大夥忙著望向窗外，已翻越一座山，到達山的另一側，怎不令人拍案驚奇呢！這些火車頭被命名為：騰雲、御風、超塵、掣電、攝景，正表明時人對這批冒煙怪物的神奇感覺。

這座台灣鐵路第一隧道建成迄今百餘年，但真正使用時間只七年多而已，1895 年日本佔據台灣，同時也接收了台北～基隆段鐵路，發現這段鐵路縱坡太大、彎道多且曲線線形不良，加上原跨越基隆河的鐵橋又屢被沖毀，乃重新規畫改道路線，新線大抵與目前的台鐵台北～基隆段路線廊帶一致，自基隆市龍門里附近穿過山區，鑿通乙座竹仔嶺隧道，出隧道南口不遠即碰到基隆河，新建橋梁乙座，台鐵稱之為八堵橋，因過此橋即八堵車站。

### 5.1.2 竹子嶺隧道沿革

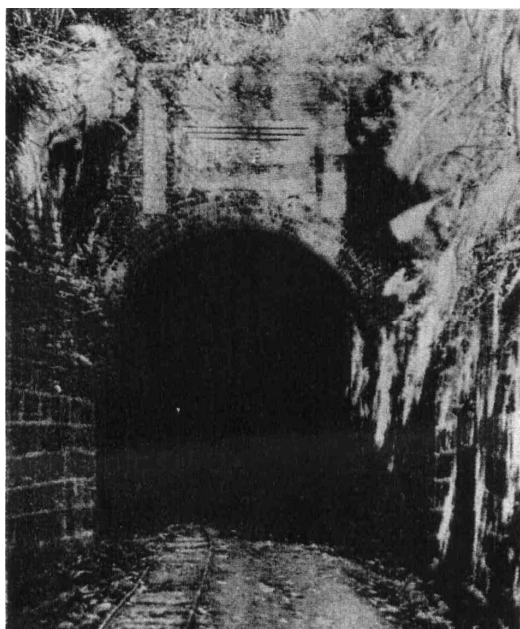
台灣最早開通的鐵路是 1891 年所築成台北到基隆段，當中穿越獅球嶺的隧道段，即目前被列為國家三級古蹟的獅球嶺隧道，全長 235m，於 1889 年 7 月鑿通。

甲午戰後，1895 年日本進佔台灣，首先修復騰雲、御風兩部機車及台北、基隆間的路線，恢復列車行駛。但翻越獅球嶺乙段路線狀況甚差，乃重新規畫改線東移，另於今基隆市仁愛區龍門里附近開鑿新隧道。1898 年，全長 541m 雙線磚造隧道竣工，稱為竹子寮隧道，縱貫鐵路改經此隧道後跨越基隆河，抵新設的八堵車站。

1923 年為配合運輸需求，復於竹子寮隧道東側鑿通乙座雙線隧道，全長 556m，拱環為磚造，兩側壁為砌粗石構造。兩隧比鄰並存，後來台鐵稱 1923 年所建的為宜蘭線竹子嶺隧道，而更早 1898 年所建者為縱貫線竹子嶺隧道。

縱貫線的竹子嶺隧道使用迄今已歷 107 年，現仍身居縱貫鐵路上由基隆通往台北盆地的重要孔道，每日百餘班次列車南北穿梭其間。後來政府推動基隆河流域治理計畫，跨河鋼桁架橋一併改建，樑底高程提高 1.5m，該路段鐵路軌面高程亦相對提高，隧道段同時面臨改建，台鐵乃利用已停駛之宜蘭線竹子嶺隧道以擴孔施工方式重建。

新隧道為雙軌斷面，全長 555.6m，採新奧工法施工，以全斷面防水膜及鋼筋混凝土壁體結構設計，於 2003 年底開工，2005 年底竣工通車，是為新一代之鐵路縱貫線「竹子嶺隧道」。



照片 5.1-1 獅球嶺隧道



照片 5.1-2 竹子寮隧道



照片 5.1-3 竹子嶺隧道



照片 5.1-4 新竹子嶺隧道（南口題字）



照片 5.1-5 竹子嶺隧道新舊並列



照片 5.1-6 新竹子嶺隧道（北口題字）

### 5.1.3 台北地下鐵路隧道

現在的台北地下鐵路隧道長達 20 餘公里，堪稱台灣隧道之最，這是長達 30 年持續不輟的建設成果；時至今日，旅客搭乘台鐵或高鐵列車，往返南北，當列車進入台北地區仍可見到沿線許多鐵路工程建設，如火如荼地日夜趕工，台灣的鐵路建設可以說「從來都沒有停止過！」。

最早是 1979 年 7 月 26 日奉行政院台六十八交字第 7479 號函核定，啓動了台灣的「台北市區鐵路地下化工程」建設。1980.10 由籌備處聘請德國鐵路顧問公司進行規劃，1981.10 完成初步規劃。隨著北市地下鐵路工程處成立，1983.7.12 舉行動工典禮，首先動土興建週邊工程。直到 1989.9.2 主體工程完工通車移交至台鐵使用，新台北車站也同時啓用，此一時期的地下隧道範圍止於華山~萬華間，單座雙軌隧道，長約 4.42 公里。

就在第一代的台北市區鐵路地下化工程完工通車的前一年，政府又啓動第二階段的鐵路建設計畫，「台北市區鐵路地下化東延松山工程專案」將松山（不含）~華山間地下化，建造雙座雙軌隧道。原地面騰空土地和鄭州路則改建為平面道路及台北市東西向快速道路，即後來被定名為「市民大道」的東西向市區平面道路。地下化鐵路部分，南隧道於 1992.8.3 完工啓用；北隧道於 1994.6.18 完工啓用；市民大道快速道路在 1997.9.7 完工通車。此一階段隧道自華山地區預留之隧道岔口起至松山車站止，全長為 5.33 公里。

台北市區鐵路地下化工程，第三階段建設計畫是「萬華板橋地區鐵路地下化工程專案」，於 1992.9.14 奉行政院核定，同日舉行動工典禮，台北~萬華間原台北車站地下化專案之雙軌隧道（萬板專案完工後改稱北隧道）延長至板橋，先期完工之南隧道施工期暫時由台鐵使用，地下化完工後台鐵移回北隧道，南隧道移轉為台灣高鐵使用，完成後原鐵道成為目前的中華路林蔭大道。

萬華~板橋間地下化，雙座雙軌隧道（台鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道），地下後原地面鐵道成為[艋舺大道](#)、[華翠大橋](#)、[縣民大道](#)。地下化鐵路部分隧道長約 7 公里，南隧道於 1999.7.21 完工啓用；北隧道於 2002.10.31，縣民大道快速道路在 2002.7.27 完工通車。新建隧道通過新店溪河底為台灣北部地區第一座河底隧道。

第四階段或稱第四期的台北市區鐵路地下化建設計畫，是「松山南港鐵路地下化工程專案」（簡稱「南港專案」），南港專案已經於 1998.8.27 奉行政院台八十七交字第 42387 號函核定實施計畫。1998.11.1 開工，預定於 2011.8 全面完工，總共 12 年 10 個月，目前還在松山站及南港站的二期工程及高鐵松山~汐止橫科基地間隧道施工當中。其中隧道工程包括：主隧道西起基隆路口（松山專案引道），東至七堵，全長為 19.4 公里。基隆路至大坑溪間興建台鐵及高鐵雙軌隧道各一座，各長 5.4 公里，大坑溪至北二高跨越橋興建台鐵汐止段山岳隧（引）道一座，長 2 公里。





表 5.1-1 台北地下隧道各分段資料表

各段隧道名稱	路線名	全長(公尺)	備註
南港專案汐止段山嶽隧道及引道	臺鐵縱貫線	1,600	
南港專案大坑溪段隧道(引道)	台灣高鐵	436	高鐵地下段往橫科基地；施工中
南港專案研究院路段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵 台北捷運南港線	上/下 797 南港線 740	臺鐵使用下層隧道(含北宜線預留段隧道)，高鐵使用上層隧道，台北捷運使用中層斜交共構隧道；施工中
南港專案向陽路段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	上/下 945	合併有共同管道隧道；臺鐵使用下層隧道，高鐵使用上層隧道；施工中
南港專案客車場段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 1,250	合併有共同管道隧道；臺鐵使用北隧道(往東漸變為下層)，高鐵使用南隧道(往東漸變為上層)；施工中
南港專案虎林街段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 810	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道；施工中
松延案隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 5,330	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道
臺北車站地下化臺北車站地下化段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	4,420 高鐵共用段 2,600	華山－臺北間與高鐵共用，臺北－萬華間為臺鐵使用之臺北萬華段北側隧道
萬板專案臺北萬華段南側隧道	高鐵	1,820	臺鐵曾臨時使用
萬板專案萬華板橋段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 7,000	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道
萬板專案新店溪過河段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 520	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道

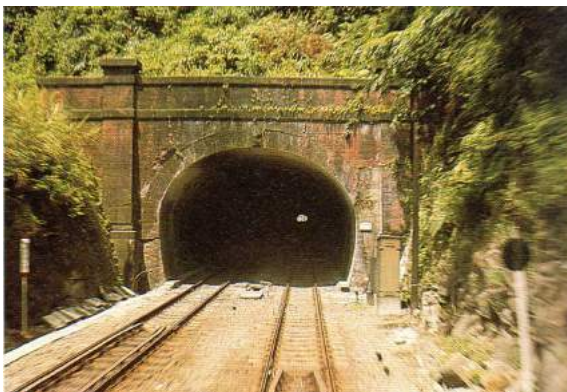


照片 5.1-7、8 台北地下隧道洞口（南口樹林端）

#### 5.1.4 其他縱貫線鐵路隧道

縱貫鐵路（含海線）除了台北都會區的 21 公里地下隧道外，全線 408.5 公里，只有隧道 6 座，分別是前述的基隆~八堵間「竹仔嶺隧道」，以及七堵（上下行分開，計為兩座）、新五堵、山佳、大甲等【詳附錄一】。其中，山佳隧道位於山佳站北，原路段以小曲線沿山腳進入站場，並無隧道，但該處山坡覆蓋層薄，每遇豪雨經常坍方成災，台鐵列為危險路段多年。在獲得政府經費補助後，台鐵將路線向山側偏移約 30 公尺，新建雙軌隧道乙座，全長 155 公尺，包含北口明挖段 40 公尺，及南口施工假隧道部分。本隧道建成後，在坡角處形成一大擋土結構體，對隧道上方高邊坡具保護作用。

大甲隧道長 80 公尺，穿越水尾溪，屬河底隧道。另舊五堵隧道在新五堵隧道通車後廢棄，地方亦迭有保存之議。



照片 5.1-9 縱貫線舊八堵隧道



照片 5.1-10 縱貫線舊七堵隧道



照片 5.1-11 縱貫線舊五堵隧道



照片 5.1-12 縱貫線舊七堵隧道北口及右側高樓

## 5.2 台中線鐵路隧道

台中線起自竹南，迄於彰化，原為縱貫線之一段，竹南~彰化間海線鐵路完工通車後，縱貫線改以海線為準，竹南~彰化間山線鐵路，則改稱為台中線。由興築至完工的年代，約在 1899~1908 年間，路線多經山區，全長 91.4 公里，隧道即佔 10.5 公里，分別為豐富、苗南、銅鑼、三義、三泰、泰安、后里等七座，其中以三義隧道全長 7.35 公里為最長。

舊山線鐵路於 1997 年新山線通車後閒置，鐵道愛好者與地方人士、民代等，積極爭取政府投注經費維護，並將舊山線改為觀光遊憩路線。沿線有隧道 12 座，其中三義~勝興~泰安間的 1 號至 7 號隧道，穿出洞口即緊接高架橋梁跨越峽谷，橋隧相連，明暗交錯，蔚成景觀。其間更有廢棄鐵道路線設施、古老木構車站，從百年前台中大地震殘存的「斷橋」遺跡，旅人行走於油桐花盛開的林蔭山道，徜徉溪澗，更發懷舊思古悠情。



照片 5.2-1 舊山線苗栗隧道



照片 5.2-2 新銅鑼隧道



照片 5.2-3 勝興舊隧道



照片 5.2-4 後龍舊隧道



照片 5.2-5 苗栗站北新舊山線苗南隧道



照片 5.2-6 苗栗隧道南口施工及舊線

### 5.3 東線鐵路隧道

臺東線是指**花蓮舊站**—台東舊站間的傳統鐵路幹線，常被稱為花東線。臺東線原先包含了花蓮海岸線及臺東海岸線，而在東拓後兩條海岸線廢止。

日本時代於 1898 年開始探勘台灣東部的鐵路路線，並於 1910.2.1 開始建設花蓮至璞石閣(今玉里)間的輕便鐵路，採 762mm 軌距，但也前瞻性地保留了 1067mm 軌距的建築標準，以期日後能與西部縱貫線相互銜接。該段鐵路於 1919.5.17 完工，共費時 7 年 4 個月及 434 萬日圓。

璞石閣(今玉里)以南的工程，列為當時的二期建設計畫，因為需求不甚迫切，當局決定暫緩興建。而卑南(今台東)至里壠(今關山)間的鐵路，則由當時的台東開拓會社所建，於 1919 年 12.16 通車。1920 年代初期，當局在交通系統一元化政策下，將台東開拓會社興建的台東—里壠間的鐵路予以收買，改為官營，並於 1921 年續築璞石閣至里壠間的鐵路，終於在 1926 年完成總長 171.8 公里的台東線鐵路，並於 1926 年 3.27 於璞石閣舉行全線通車典禮。

臺東線軌距從 762 公釐拓寬為 1,067 公釐，在花蓮連接北迴線而與宜蘭線、縱貫線相通。拓寬工程進行的同時北迴鐵路已經完工，當時台北南下的列車可直駛花蓮新站後到達吉安，並在該站轉乘窄軌的台東線火車，直到 1982.6.26 全線四條軌鐵道完工通車。但舞鶴—三民間的自強隧道因工程嚴重延誤，列車暫時以原有舊線經掃叭隧道運行，直到 1985 年初才正式完成。

目前台東線鐵路有隧道 11 座，總長度近 12 公里，都是近幾年才改建的混凝土結構隧道



照片 5.3-1 光復河底隧道施工



照片 5.3-2 光復河底隧道施工



照片 5.3-3 光復河底隧道竣工



照片 5.3-4 自強隧道南口



照片 5.3-5 台東線溪口 2 號隧道



照片 5.3-6 台東線中興隧道



照片 5.3-7 台東線山里隧道群



照片 5.3-8 台東線山里隧道群



照片 5.3-7 台東線山里隧道群



照片 5.3-8 台東線山里隧道群

## 5.4 宜蘭線鐵路隧道

宜蘭線是指八堵~蘇澳間的傳統鐵路幹線。全長 93.6km，於 1986 年 1 月 9 日完工通車。2000 年八堵~羅東間完成雙軌電氣化工程，2003 年羅東~蘇澳間完成雙軌電氣化工程。宜蘭線於 1917 年動工興建，工程分別從路線的南、北兩端進行。到了 1919 年，南端的蘇澳至礁溪段，以及北端的基隆至瑞芳段通車。1920 年，南端路段延伸至大里，北端路段延伸到猴硐（侯硐）。原本順利進行的工程，後來卻因經費不足而暫緩施工，直到 1924 年 12 月，宜蘭線才全線通車。

全線有隧道 25 座，除了三貂嶺隧道、草嶺隧道兩座長度達 2 公里上，都是短小隧道，但因路線穿越台灣東北角山區，地形地質條件不佳，又處於長年多雨地區，每年颱風豪雨期間，經常發生災害，路線維修保養較為困難。(照片 5.4-1~照片 5.4-18) (照片 5.4-6 至 照片 5.4-18 來源：[httpwww.panoramio.comuser4213222with\\_photo\\_id=50555046](httpwww.panoramio.comuser4213222with_photo_id=50555046) 作者：cjyyou)



照片 5.4-1、照片 5.4-2 舊草嶺隧道（洞口題字：白雲飛處）



照片 5.4-3 宜蘭線示德隧道南口



照片 5.4-4 宜蘭線外澳隧道北口



照片 5.4-5 宜蘭線龍溪隧道南口



照片 5.4-6 宜蘭線五份隧道南口



照片 5.4-7 宜蘭線五份隧道北口(東正線)



照片 5.4-8 宜蘭線五份隧道北口(西正線)



照片 5.4-9 宜蘭線雙溪隧道北口



照片 5.4-10 宜蘭線雙溪隧道南口





照片 5.4-11 宜蘭線更新隧道北口



照片 5.4-12 宜蘭線更新隧道南口



照片 5.4-13 宜蘭線更枋隧道北口



照片 5.4-14 宜蘭線更枋隧道南口



照片 5.4-15 宜蘭線合興隧道北口



照片 5.4-16 宜蘭線合興隧道南口



照片 5.4-17 宜蘭線合興隧道北口明洞式棚架



照片 5.4-18 宜蘭線福隆隧道南口

## 5.5 北迴線鐵路隧道

北迴線，又稱為北迴鐵路，是指蘇澳新站至花蓮間的傳統鐵路幹線，路線全長距離 79.1km，開業時間：1980.2.1，全線為雙軌電化區間。

北迴線為台灣「十大建設」之一。在北迴線興建之前，自花蓮至臺東的臺東線一直都是獨立營運，未能與西部幹線相互連結。旅客往來臺北花蓮需於蘇澳車站轉乘公路局班車經由蘇花公路，甚至搭乘往來基隆花蓮兩港的客船。蘇澳端原本計畫從蘇澳車站沿今臺灣水泥蘇澳廠側線延長至今永樂車站，但因地區居民反對而改從南聖湖車站（今蘇澳新站）起始，並新增永春車站（已廢止）。

1973 年，娜拉颱風侵襲，造成交通嚴重受創。為了解決交通問題，因此研議了三個方案：拓寬蘇花公路、另建雙線公路以及興建北迴鐵路。其中第三個方案所需費用比第二個方案低，效益也比較大。當時的臺灣省政府主席謝東閔於行政院院會中報告後，由當時的行政院長蔣經國裁示興建，並列入十大建設當中。同年 12 月 25 日，北迴線正式動工，並於 1980 年 2 月 1 日全線通車。沿線築有大、小橋樑共 91 座，隧道 16 座，全長達 31,029 公尺，其中觀音隧道長 7,757 公尺，為當時全台灣最長的隧道。

自 1980 年 2 月正式通車營運以來，帶動東西部交流及互動，加以東部觀光事業、天然資源之陸續開發，客貨運量急速增加，致使原有單線鐵路不敷使用，每逢重要節慶及假日，總是一票難求。1992 年起，北迴線開始進行雙軌化、重軌化、電氣化與號誌控制改良工程。由於沿線多高山峻嶺，雙軌化工程在許多路段均重新開闢新線，並開挖許多長隧道。位於武塔＝漢本間的新觀音隧道成為全台灣最長的鐵路隧道，總長 10,307 公尺，取代原本舊線的觀音、鼓音及谷風隧道。大部分工程於 2003 年 6 月底完工，並於 7 月 4 日在花蓮舉行電氣化通車典禮，由時任總統陳水扁進行開幕剪綵儀式。2005 年 1 月，先前受到新永春隧道湧水問題，以及南澳隧道軌道改善工程延遲影響的雙軌化工程全部完成。完工後北迴線列車班次密度大幅增加，並且有效縮短臺北至花蓮的行車時間。



照片 5.5-1 新舊清水隧道



照片 5.5-2 新觀音隧道



照片 5.5-3 北迴鐵路隧道



照片 5.5-4 北迴線和仁隧道



照片 5.5-5 北迴線和仁隧道



照片 5.5-6 北迴線和平隧道



照片 5.5-4 北迴線新觀音隧道南口



照片 5.5-5 北迴線舊觀音隧道北口

## 5.6 南迴線鐵路隧道

南迴線鐵路全線 98.2 公里，於 1980 年開工興建，1991 年底完工通車，工期長達 11 年，主要是路線穿越中央山脈，隧道特別多，工程艱鉅。全線隧道 37 座，長度 1 公里以上隧道即有 12 座，其中「中央隧道」全長 8.07 公里，為台鐵第二長大隧道。全線隧道總長度達 40.1 公里，佔路線總長的 40.8%，車行其間，幾乎一半時間都跑在隧道內。

隧道施工的方法，主要是依據地質條件，隧道斷面大小以及隧道長度等來決定，以達到安全、經濟原則，南迴鐵路隧道的開挖，以採用傳統工法和新興工法為主，有的隧道因地質變化太大，因而交替採用兩種工法施工，一般而言，長大隧道及地質較惡劣的隧道，都採用新興工法施工，短隧道大都採用傳統工法施工。

傳統工法亦稱為美國鋼支保工法(American Steel Support Method)簡稱 ASSM，基本上係於隧道開挖後立即架設重型鋼支保，並配合打設木矢板支撐岩盤壓力，然後再施作襯砌混凝土，以構成隧道整體支撐系統。其主要工作程序為鑽孔、開炸、出碴、架設鋼支保，構成一作業循環，開挖一適當長度後再進行襯砌。一般傳統工法為因應不同地質情況及相關機具設備其開挖方式可分為：(1)全斷面開挖；(2)上下半斷面開挖；(3)底設導坑先進上半斷面開挖；(4)側壁導坑先進上半環狀斷面開挖。

傳統的隧道開挖，除了特別堅硬的地質，可以採用全斷面開挖或者上、下半斷面工法施工外。在一般比較脆弱的地質層則必須採用底設導坑工法開挖。

其施工程序是先從隧道中間底部開挖一個導坑向前推進。在導坑開挖前進約五十到六十公尺距離之後。視地質情況開始擴挖上半斷面部份。並利用底設導坑來出碴。上半斷面擴挖完成後，架設 H 型鋼支保並打入矢板做為支撐，承受岩石的壓力。

鋼支保的間隔是依照地質情況來決定，通常為零點八公尺到一點二公尺之間距組立一對鋼支保，如此逐步開挖，前進了大約三十到五十公尺，隨即利用鋼模灌注拱部襯砌混凝土，接著以跳蛙方式開挖下半側壁部份，必要時也必須架設鋼支保，然後灌注側壁混凝土。在遇到風化劇烈或破碎斷層等惡劣地質時，則採用側壁導坑工法施工。首先在隧道下方兩側先開挖兩個導坑同時並進，再灌注混凝土先完成兩側側壁，然後再用環狀開挖方式，挖除拱圈部份的土石，並且以 H 型鋼支保支撐，隨後再進行上半斷面其餘部份的開挖，接著襯砌拱圈部份的混凝土，最後再挖除下半部的土心部份。將整個隧道分為好幾個層次逐步依序完成，是南迴鐵路安朔隧道東洞口進洞採用側壁導坑施工的情形。

最後等整個隧道開挖並且襯砌完成後，再由隧道中心向兩側洞口逐步拆除運輸軌道，並灌注底部仰拱混凝土以及排水溝。傳統的隧道施工方法，主要是以架設鋼支保，並鋪設矢板及襯砌混凝土來支撐地盤的壓力，使後續的工程逐步進行。

最近二十年間，歐洲的奧地利使用了一種新的隧道施工方法，稱為新奧地利工法，簡稱為新奧工法，新奧工法(New Austrian Tunneling Method)簡稱 NATM，乃於隧道開挖後首先利用鋼絲網及噴凝土封面以防止岩屑掉落與繼續風化現象，然後再以岩栓及輕型鋼支保等柔性支撐系統作為首次襯砌，提供岩體約束力量，使隧道周圍之地盤構成一承載環，作為隧道支撐之一部份，同時再配合計測地層變位，襯砌應力變化與岩栓軸力等資料，據以研判支撐是否足夠，彈性修正支撐方式與支撐材料數量，調整開挖斷面與開挖程序，俟計測岩盤變位穩定後再行辦理二次襯砌，其目的為外表修飾及提高結構安全係數之用。隧道工程主要施工程序為鑽孔、開炸、出渣、架設柔性支撐系統(包括噴凝土、岩栓、輕型鋼支保等)、計測，構成一作業循環。依計測結果與開挖長度始決定二次襯砌施工時機與施工方式。一般地質情況下，隧道設計依開挖順序其施工方式可分為：(1)全斷面開挖；(2)上下半台階開挖；(3)多段台階開挖。另依岩體類別不同，新奧工法支撐系統則分為 A、B、C、D、E 五種支撐型式，如表 5.6-1 所示。

表 5.6-1 新奧工法支撐系統型式表

支撐型式 (Typ.)	噴凝土厚度	鋼支保型式	岩栓	前 進 鋼 筋	適用範圍	
					Rock Type	RMR
A 型	第一層 10cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 5m 長度之岩 栓	有	V	<20
B 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 5m 長度之岩 栓	有	IV	21-40
C 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 4m 長度之岩 栓	無	III	41-60
D 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H125×125	打設 3m 與 4m 長度之岩 栓	無	II	61-80
E 型	第一層 5cm 第二層 10cm	無	打設 3m 與 4m 長度之岩 栓	無	I	>81

資料來源：「南迴鐵路工程－工程輯要」(南迴鐵路工程處，民國 81 年)

南迴鐵路 37 座隧道中，以中央、安朔、金需、大鳥等四座隧道最長，這四座隧道都在三公里以上，是南迴鐵路重點工程的關鍵性工程，因此，都分別以斜坑、豎坑、橫坑來增加工作面，同時幫助解決隧道內的通風，及將來營運後隧道內污染空氣問題。其中，中央隧道由於長達八公里多，共闢建了兩座豎坑來幫助解決隧道通風問題，東豎坑坑體直徑為五公尺，這座豎坑也於七十八年十月二十三日先行興建完成。西豎坑位於高峭的山頂上，標高有五百一十四公尺，深度達三百四十一公

尺，於民國七十七年元月上旬採用新奧工法動工開挖。這座豎坑施工中由於經常遇到大量湧水，進度一直不很理想，為克服湧水問題，乃改採傳統導坑工法施工，常開挖到一百六十五公尺深時，突然遭遇到一段湧水破碎帶，每分鐘湧水量高達一點七噸，經工程人員採用化學灌漿等方法方予克服突破，為趕工期及有效解決坑內排水與出碴問題，民國 84 年 4 月經研議決定由西德引進昇井工法施工，這種工法在國內是首次被引進採用。昇井工法是利用直徑二十八點六公分鑽桿，從豎坑上方中央鑽到豎坑底部，然後在鑽桿底部安裝一個直徑一點五公尺的擴孔鑽頭，由下往上提升旋轉鑽掘，先開挖一個直徑一點五八尺的導坑，然後再擴挖豎坑未開挖的斷面，將來擴挖時，可利用這個導坑來排水與出碴。



照片 5.6-1 古莊 1 號隧道北口



照片 5.6-2 古莊 3 號隧道北口



照片 5.6-3 古莊 4 號隧道北口



照片 5.6-4 古莊 7 號隧道口



圖 5.6-1 南迴鐵路隧道施工



圖 5.6-2 南迴鐵路隧道



圖 5.6-3 中央隧道施工



圖 5.6-4 南迴鐵路隧道施工



圖 5.6-5 大竹 4 號隧道口邊坡防護



圖 5.6-6 古莊隧道群



圖 5.6-7 大武 2 號隧道口



圖 5.6-8 安朔隧道





圖 5.6-9 金崙隧道南洞口



圖 5.6-10 金崙隧道北洞口



圖 5.6-11 多良一號隧道北洞口



圖 5.6-12 多良一號隧道南洞口



圖 5.6-13 大竹二號隧道北洞口



圖 5.6-14 大竹二號隧道南洞口



圖 5.6-15 大竹一號隧道北洞口



圖 5.6-16 大竹一號隧道南洞口



圖 5.6-17 大鳥隧道北洞口



圖 5.6-18 大鳥隧道北洞口上邊坡砂岩層露頭



圖 5.6-19 大鳥隧道南洞口



圖 5.6-20 大武二號隧道北洞口



圖 5.6-21 大武二號隧道南洞口覆蓋層



圖 5.6-22 大武二號隧道南洞口



圖 5.6-23 安朔隧道北洞口



圖 5.6-24 安朔隧道南洞口

## 5.7 各支線鐵路隧道

### 5.7.1 內灣線鐵路隧道

內灣線於 1944 年開始動工，但隨即因第二次世界大戰時資金不足而告中止，直到日本戰敗時仍未復工。戰後，政府延續建設計畫，並提升路線標準，亦略更改路線經過橫山。1947 年 11 月 15 日首先通車至竹東，時稱竹東線；之後於 1950 年 12 月 27 日延伸至十分寮（合興）；1951 年 9 月 11 日全線完工並改為今名。內灣線沿途產業眾多，林業、石灰業、水泥業為主要貨運收入來源，並兼負內灣、竹東等地通勤及旅遊人潮，為台鐵數條客運支線中虧損較低的。近年來隨著前往內灣觀看螢火蟲、體驗客家文化的風潮興起，遊客的載客量又略有上升。未來配合台灣高速鐵路新竹站聯外交通計畫，將自竹中車站闢建與本線分歧的六家線以相連。

內灣線全長 27.9km，新竹~內灣間有隧道 5 座，分別是竹東、合興、南河、九芎坪、明隧道等，其中，九芎坪隧道南口因經常坍方，台鐵局於 1997 年以箱涵結構隧道，向南延長 30 公尺後，災害方告止息。（照片 5.7-1~照片 5.7-4，註：以上照片取自瑞克之 Blogger）。



照片 5.7-1 內灣支線隧道



照片 5.7-2 內灣支線隧道



照片 5.7-3 內灣支線九芎坪隧道



照片 5.7-4 內灣支線九芎坪隧道

### 5.7.2 平溪線鐵路隧道

平溪線最初是爲了運輸自沿線礦坑開採而得的煤礦而興建此路線，後來並兼辦客運。路線全長 12.9km，三貂嶺到菁桐間有隧道 6 座，分別命名爲 1 號~6 號隧道。

平溪線於 1921 年 7 月全線完工，原本是台陽礦業株式會社所出資興建的運煤專用鐵路。1929 年轉賣給台灣總督府鐵道部，經過整建之後開始兼辦客運，80 年代由於平溪區內煤礦場大多關閉，以及人口流失等因素，平溪線的營運虧損，台灣鐵路管理局曾經打算停止營運平溪線鐵路。經過地方人士的積極爭取，因而保留，爲目前僅存的台鐵四大支線鐵路（平溪線、內灣線、集集線、林口線），也成爲目前仍繼續營運的鐵路支線當中，歷史最悠久也是風景最美麗的客運支線。平溪線沿基隆河河谷興建，沿途有原始的河谷景觀、壺穴、瀑布，生態資源豐富。平溪線沿線旅遊景點甚多，包括三貂嶺瀑布群、十分瀑布、眼鏡洞、四廣潭、台灣煤礦博物館、平溪老街、孝子山、平溪三尖、菁桐老街、石底煤礦遺址等；近年來平溪每年固定舉辦「天燈節」，平溪線也發揮了大量輸送遊客的功能。



照片 5.7-5 平溪支線隧道



照片 5.7-6 平溪支線隧道



照片 5.7-7 平溪支線隧道



照片 5.7-8 平溪支線隧道

### 5.7.3 集集線鐵路隧道

集集線是臺鐵最長的鐵路支線，也是南投縣至今唯一仍在營運的鐵路線，路線全長：29.7km，自二水至車埕間有隧道 9 座。

最初興建原因與水力發電有關，今日已成為熱門旅遊路線；南投縣政府稱此線為「南投縣觀光鐵道」。1919 年（日治時期大正八年），基於台灣電力株式會社興建日月潭門牌潭發電所（日月潭第一發電所，現·大觀第一發電廠）、日月潭第二發電所（現·鉅工發電廠）的運輸需要，集集線開始興建。1921 年完工，1922 年開始辦理客運業務。1927 年由台灣總督府買收並進行路線改善，成為鐵道部所轄支線。1999 年 9 月 21 日發生的九二一大地震，造成集集線毀壞嚴重：集集車站傾斜，多處路線鐵軌也挫曲變型。直到 2002 年 2 月 6 日才修復通車，並持續轉型成為台灣著名觀光鐵路之一，（註：照片 5.7-9~照片 5.7-15，取自 Cheng-en Cheng 之 Blogger）。



照片 5.7-9 集集支線 1 號隧道



照片 5.7-10 集集支線 2 號隧道



照片 5.7-11 集集支線中興隧道



照片 5.7-12 集集支線 4 號隧道



照片 5.7-13 集集支線 5 號隧道



照片 5.7-14 集集支線 6 號隧道



照片 5.7-14 集集支線明隧道



照片 5.7-15 集集支線明隧道

#### 5.7.4 其他支線鐵路隧道

深澳線支線，於 1989 年停止客運業務，僅保留一小段作為深澳電廠煤運專用線。2007 年因電廠改建，目前全線停用，並進行整建以恢復客運。路線距離：瑞芳~深澳 6.0km；深澳~濂洞間 6.3km（已廢止），其間有 3 座百米左右的小隧道。

深澳線沿線區域原本有日治時期 1936 年完工營運，經基隆八尺門、八斗子、深澳至水湳洞（濂洞）的礦業鐵路，戰後初期由台灣金屬礦業公司承接，但因財務狀況不佳、無力經營後，於 1962 年 8 月 26 日全線廢止。

台鐵另行新建由八斗子改彎向瑞芳接軌，路線標準較佳的深澳線。瑞芳—深澳段於 1965 年 4 月 8 日開通，並且開始辦理整車貨運；1967 年 8 月 25 日延伸通車至水湳洞，兼辦客、貨運。

後來為配合北部濱海公路興建，海濱、濂洞兩站於 1977 年 12 月 1 日停止營運；次年 1 月 11 日海濱站恢復營運。但隨著道路完工後公路交通的競爭，全線最後仍於 1989 年 8 月 21 日停止辦理客、貨運，僅保留瑞芳站至深澳火力發電廠的區間，供運煤列車行駛。但因深澳火力發電廠將進行拆除改建，自 2007 年 9 月 6 日起全面停止運煤業務，深澳線因而暫時停駛。

由於座落於八斗子的國立海洋科技博物館預定於 2011 年開館，相關部門在建館之初即計畫利用本線恢復客運業務。但地方亦有利用其路基興建基隆輕軌計畫聯結至基隆車站的見解，但最後仍決定優先深澳線恢復客運，並斥資五千五百萬元改善路線標準。恢復客運的深澳線每日開行 62 列次，區間為瑞芳—海科館間。目前瑞芳—海科館間已整建完成，預定 2011 年海科館站月台完工後通車。至於海科館之後，經一號隧道至八斗子車站段由於可眺望海景，亦在改善路線範圍內，但初期暫不恢復客運。



照片 5.7-16 深澳支線隧道



照片 5.7-17 基隆港支線仙洞隧道

## 6、隧道工程三部曲：規劃、設計與施工

當鐵路路線穿越山岳地區時，隧道工程往往成爲影響建造成本與施工期的關鍵，甚至在可行性研究階段，隧道工程也是路廊選擇的主要考量因素。所以，隧道工程自規劃、設計到施工，三個階段環環相扣，緊扣整體重大工程計畫的成敗，中途是很難改弦易轍，加以變更的。例如，我國建造北宜高速公路，當雪山隧道施工遭遇困難而延誤時，全線其他路段工程都已接近完工，路線無法做任何更動，只能硬著頭皮，排除萬難，完成這座隧道。本章將以作者曾經參與施做，較爲熟悉的台鐵三義隧道爲實例，闡釋隧道工程自規劃階段，以至於設計、施工階段，所需考慮的因素、面臨的問題，及解決對策，由於本隧道採新奧工法施工，所以內容亦以介紹新奧工法爲主。

### 6.1 三義隧道工程簡介

#### 6.1.1 興建緣起

台灣西部縱貫鐵路行經苗栗、台中兩縣時，分爲海線及山線，其中山線經過苗栗、豐原、台中等重要都市，爲台灣鐵路局主要客運幹線之一，在高鐵通車以前，台灣南北鐵路運輸有 70% 以上客運列車均經由山線行駛。

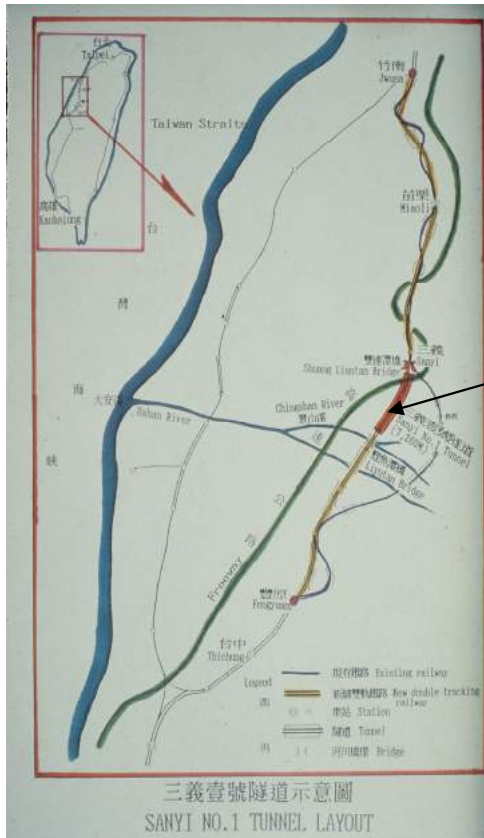
現有路線因穿越中部山區丘陵地帶，橋樑隧道特多且始建於日據時代，設施標準甚低。最大坡度 2.6%，最小半徑 300 公尺，故行車速度與牽引噸數均受限制，形成運輸瓶頸。

鐵路局於 1988 年間提報「山線雙軌計畫」及成立工程處積極展開作業，其中有關一號隧道工程之修正計畫於 1992 年間奉行政院核定。即三義、泰安、后里間之路線截彎取直後，原有一號至八號等八座隧道僅剩新的一號、二號、三號等三座，其中一號、二號兩座隧道、鯉魚潭橋及三義站場等項工程由山線雙軌工程處第三土木施工所辦理，而位在三義鄉的一號隧道新建工程，則以「統包契約方式」交予承包商負責施工。

#### 6.1.2 工程範圍

三義一號隧道工程北端自縱貫鐵路山線三義車站南邊(STA.159K+740)跨越西湖溪後穿越高速公路，再通過苗栗丘陵區延伸至南端景山溪北岸山坡處(STA.167K+467.4)止，路線全長爲 7727.4 公尺，其中隧道部份總長爲 7260.4 公尺(如附圖 6.1-1)。



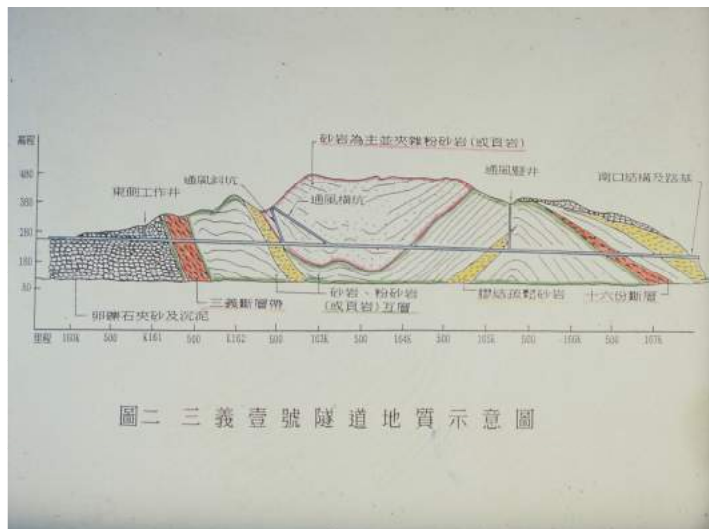


台鐵台中線三義隧道，全長 7354.17 公尺，1992 年開工興建，年竣工通車。

圖 6.1-1 三義隧道位置示意圖

### 6.1.3 地質條件

隧道沿線地形屬丘陵台地，起伏不大，覆蓋厚度介於 7~250 公尺之間，岩層分佈主要為卵礫石層、砂岩、砂頁岩互層等（如附圖 6.1-2 所示）。岩石強度不高，介於  $150\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 400\text{kg}/\text{cm}^2$ ，其中三義斷層破碎帶（290M）、十六份斷層帶（60M）及地下水等因素存在，增加施工之困難度。



圖二 三義壹號隧道地質示意圖

圖 6.1-2 三義隧道地質示意圖

## 6.1.4 設計與施工

依據各項地質調查及試驗分析結果，並參考 CSIR 岩體分類法，將隧道沿線之岩體歸納為五大類（如附表 6.1-1），以為隧道支撐之設計。

本工程主體隧道採新奧工法（NATM）設計及施工，施工期為五十個月，工期緊迫，為如期完工，全工程分為八個區段施工（如附圖 6.1-3）：一、雙連潭橋及路基。二、明挖覆蓋段（含沈箱段）。三、穿越高速公路段。四、東側工作井及向南工作面。五、斜坑及南北向工作面。六、橫坑及南北向工作面。七、通風豎井及向北工作面。八、南口向北工作面及洞口結構。本工程自 1992.4.9 開工，於 1998.9.25 全部竣工。

## 6.1.5 施工作業流程

鐵路局基於現有一百三十二座隧道之維修經驗，對本隧道工程特別要求設計加鋪一層全斷面 EVA 防水膜，以改善過去鐵路隧道常出現滲、漏水，造成電車線斷電，影響行車的情形。

採用新奧工法之施工作業流程如【附圖 6.1-4】所示，以上半斷面之施工為例，開挖面積約 47m<sup>2</sup>，其中作業時間為正常狀況時之平均值。

表 6.1-1 三義隧道岩體分類標準表

**三義一號隧道岩體分類標準**

類別	分 類 描 述
I	1.為安定之岩體。2.主要為塊狀砂岩或砂岩粉砂岩之互層。3.破裂程度很小，無斷層帶通過。4.可能局部滲水或湧水，對岩體強度影響甚小。
II	1.輕度破裂岩體。2.主要由砂岩，頁岩互層組成，夾薄層頁岩。3.破裂程度輕微，局部地區破碎較嚴重，若無適當支撐將導致楔形破壞。
III	1.中度破裂或擠壓性之岩體。2.主要由砂岩，粉砂岩互層組成，夾薄層頁岩。3.破裂程度顯著增加，並多數與斷層帶共同發生，存在不利之連續面方位。
IVa	1.高度破裂或擠壓性之岩體。2.大部分為層面間距相當小而厚度相當大之砂頁岩薄互層。3.高度破裂且交錯頻繁之斷層帶會造成顯著的岩體強度減低，此類岩體主要和大斷層帶有關。4.滲水量仍不嚴重。
IVb	1.高度破裂或擠壓性之岩體。2.地質特性和 IVa 類相似。3.而大量之滲水和廣泛之斷層帶將會對隧道開挖面造成不穩定之現象。
Va	1.軟弱無凝聚力之地盤（主要為紅土礫石層）。2.為不同型式之覆土層，大部分為大卵石及礫石夾雜砂質及沉泥質土壤。
Vb	1.軟弱無凝聚力之地盤。2.類似 Va 類，而大量之滲水，加上地質鬆軟，致使開挖面出現不穩定現象。

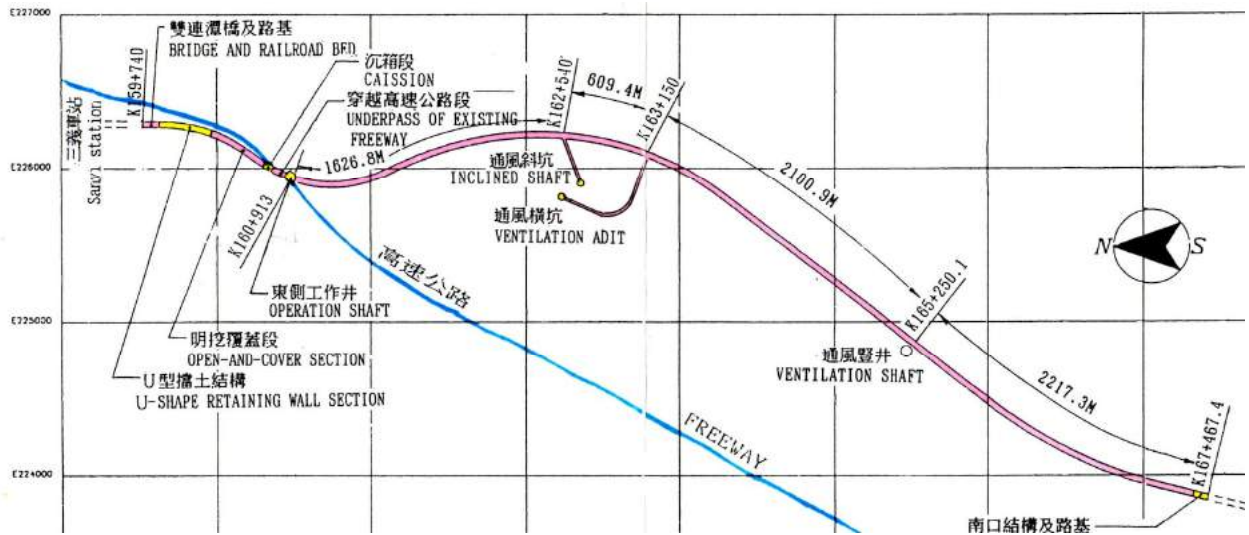


圖 6.1-3 三義隧道工作面佈置示意圖

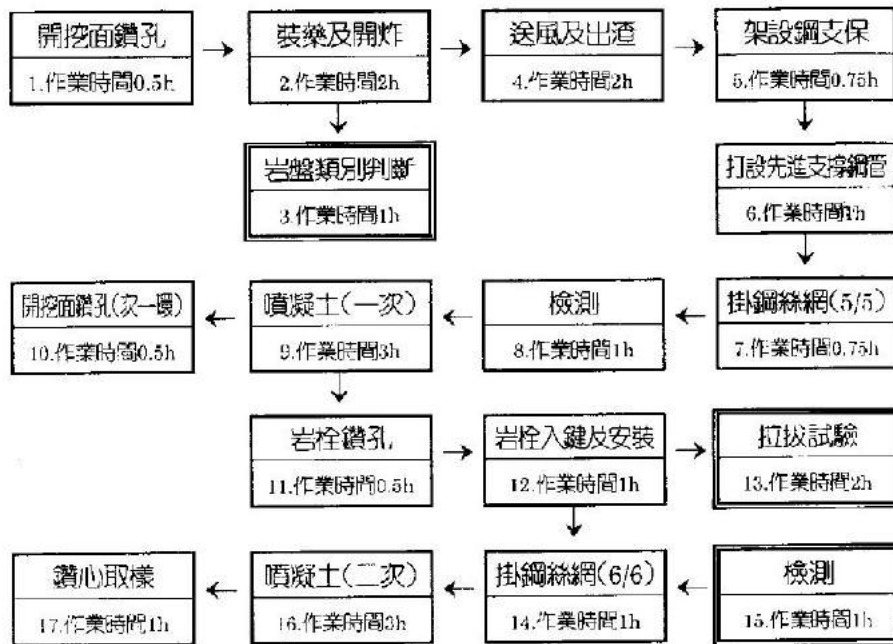


圖 6.1-4 三義隧道新奧工法之施工作業流程圖

## 6.1.6 環保措施

依據 1988 年行政院「環境保護基本法草案」，所謂環境污染問題可分為空氣污染、水污染、廢棄物、毒性物質、土壤污染、噪音、惡臭、振動與地盤下陷等九大類型。本工程大部份施工作業皆於地下進行，對於出碴又設有專用之棄碴區並經地方環保單位核可，故尚能達到目前要求之環保標準。

在本工程中列有「環保措施費」乙項，以總工程費 1% 計，

主要執行項目為：

噪音監測與管制。

振動監測與管制。

放流水監測與管制。

告示牌及圍籬等安全防護設施。

車輛產生之灰塵防護措施。

棄碴場水土保持計劃與執行。

其他相關之環境保護措施。

## 6.2 隧道工程規劃

### 6.2.1 地質調查

三義隧道工程自三義站南方 K159+740 起，至景山溪北岸鯉魚村 K167+467.4 止，全長 7727.4 公尺，隧道北口在三義站南方 1017 公尺處，南口在鯉魚潭聖王崎下，隧道長度預估為 7378 公尺，隧道西側有國道中山高速公路及省道尖豐公路，隧道上方之產業道路交織，交通頗為便捷。

隧道工址涵蓋區域，為一切割台地之地形，屬於苗栗丘陵，地形起伏不大，整區地勢呈東南向西北傾斜，最高處在柺子湖附近，標高約 550 公尺，最低處為重河附近，標高約 280 公尺。

隧道工程與地質之關係非常密切，但因地質情況不易掌握，尤其長隧道未知地質之因素更為複雜。隧道路線之選擇及沿線所通過地區詳細地質情況之瞭解，攸關隧道工程之成敗及進度，此外，若隧道座落在不穩定地盤內，在使用後或因天災地變而發生損毀現象，仍難逃失敗之命運。以下針對選線階段所做之「地質調查」，定線後結構體設計與施工計劃擬定所涉及之「地質調查」作業內容，做一系統性說明。

## 一、調查計劃

調查計劃擬定之前，對於隧道沿線之地質之文獻如水文、地震、過去災害地下礦坑分佈及其他有關報告資料，做了詳盡之資料蒐集，略述如下：

### (A) 工址地質概況

#### 1. 地形

本區主要山脊線之走向大致為北東方向，次要山脊線則呈南北或北西方向，以八櫃附近為一分界，八櫃以北為起伏不大之山脊與山谷地形，八櫃以南則為地勢平緩之紅土台地地形，至南方聖王崎下及伯公溪和西湖農場邊緣則形成台地崖，地勢高低變化較大。

#### 2. 水文

本工址內主要河川為北側之西湖溪及南側之伯公溪，其間有一德興池，德興池以北，河流流向均由南向北，最後注入西湖溪，德興池附近之溪流則注入德興池，德興池以南則以北向南或東往西注入伯公溪匯整後流入大安溪，自民國五十年至七十七年廿八年間年雨量平均為 2245.5 公釐，雨季集中在 5~9 月。除西湖溪、伯公溪水量較豐外，其餘支流平常水量均小，大部份已開墾成農地，河流短促，河谷地形不顯著。

#### 3. 地震活動：

本區為地震活動頻繁之區域，屬於現行建築技術規則地震分區圖中之強震區，其地震震源明顯集中於地表下九公里深附近。經查證相關的研究，統計過去 100 年台灣區大地震之資料 ( $M \geq 6.0$ )，推算本區未來 100 年可能最大地震加速度之預期值為 250gal。

#### 4. 地層

本區地層依地質時間由新至老可概分為近世的沖積層、崖錐層及紅土台地、更新世的嶺料山層、中新世的十六分頁岩、關刀山砂岩及南莊層。

#### 5. 斷層與褶皺

本工程可能遭遇之斷層包括三義斷層、銅鑼斷層及十六分斷層，由於斷層對隧道工程為最不利之惡劣條件，斷層除了本身是一弱化岩體外，因斷層所引起之地下水問題亦為施工上嚴重之困擾，因此隧道通過斷層帶之長度愈短愈好，接近斷層帶時，宜儘量採取與斷層呈高角度通過之佈置。

由於岩層之地質構造為南莊層的 A 層位於 B 層之下，以向斜或背斜構造與隧道相交，對隧道工程而言，隧道與褶皺呈較大角度斜交時，在通過背斜褶皺軸部時，可能局部遭遇較破碎之岩體，在向斜之軸部，則可能遭遇地下水問題。隧道若沿向

斜軸平行開挖，可能引發龐大之地下湧水，隧道附近地表有河流存在，則尚可能產生壓力地下水，引起施工上極大之困擾。隧道沿背斜軸平行通過時，因背斜軸部常有張力裂隙存在，若隧道頂部覆蓋較淺，則隧道施工時，地下水之多寡常與天氣有關，因雨水易沿裂隙滲入隧道，增加隧道岩層之風化速率，岩體強度易受到相當程度之影響，尤其是長隧道，因施工工期長，在未完全襯砌前，岩體之弱化常引起施工上之諸多困難。

## (B) 各項地質調查之調查方法及目的

除了上述有關文獻外，爲了更深入瞭解地質因素，本處並進行了下列之地質調查工程：

### 1. 地表地質調查：

地表地質調查爲地質調查中最基本之工作，由現場踏勘實際觀察沿線之地形及露頭地質資料，以研究分析計劃隧道通過地區之地層分佈（走向、傾斜）、地質構造、斷層、褶皺、地表水、湧泉等水文資料，作爲路線選擇之參考。

### 2. 航照判釋：

根據民國六十六年農林航測隊所攝製之壹萬柒仟分之一比例尺航照，依色調、地形表現（水系、岩石性質）、線性（層理）分析、岩性構造等四大項進形判讀。

本項調查配合地表地質調查，對於崇山峻嶺、人跡不易到達之地區及大地構造中斷層褶皺之存在，線形分析、區域節理分佈等可獲得很好的效果，對於不穩定地盤，或現場不易察覺之部份，在航照（遙感有色照片）中常能顯示出來。對於水系分佈（如地下水位、地表水、溫泉等）亦有相當程度之幫助。

### 3. 震波探測：

利用人工開炸所產生之彈性波，探查地表下速度層之分佈以瞭解地下地質情況，由震測結果可大致研判地下岩層之強度、固結情況，破碎帶或斷層之存在，此種調查涵蓋面積較大，一般多沿當時所選路線加以進行。

### 4. 地質鑽探：

定線後沿隧道線進行地質鑽探，其孔數及位置，若地形許可，每一公里一孔爲原則，隧道兩端洞口及通風井及其他必要處再加鑽孔，本階段除採取岩心供岩石力學試驗以研判地下地質外，尚可進行下列各項試驗：

- (1) 壓力透水試驗：求出隧道周圍地盤之透水係數。
- (2) 孔內壓力試驗：測定隧道周圍之原始應力情況。

(3) 地下水位測定：埋設水壓計長期觀測地下水位之變化。

岩石力學試驗可分為室內及現場試驗，室內試驗所採用之岩樣通常均採自鑽孔之岩心及試坑所取之大型岩樣，其試驗項目包括一般指數性質（比重、孔隙率單位重、含水率、吸水率）、單軸抗壓、抗張強度、岩石硬度等其所得資料不作為隧道開挖機械選擇之參考，岩石材料磨損試驗、抗風化試驗等可作為開挖石碴供作骨材適用性之評估。

## 二、調查結果

依據野外工址地表地質調查及航照判讀結果，本工址因受三義斷層及十六份斷層之影響而形成許多斷層破碎帶及褶皺帶，岩層之位態亦顯得不規則，同時亦有許多節理之產生，主要之地質構造分述如下：【如附圖 6.2-1】

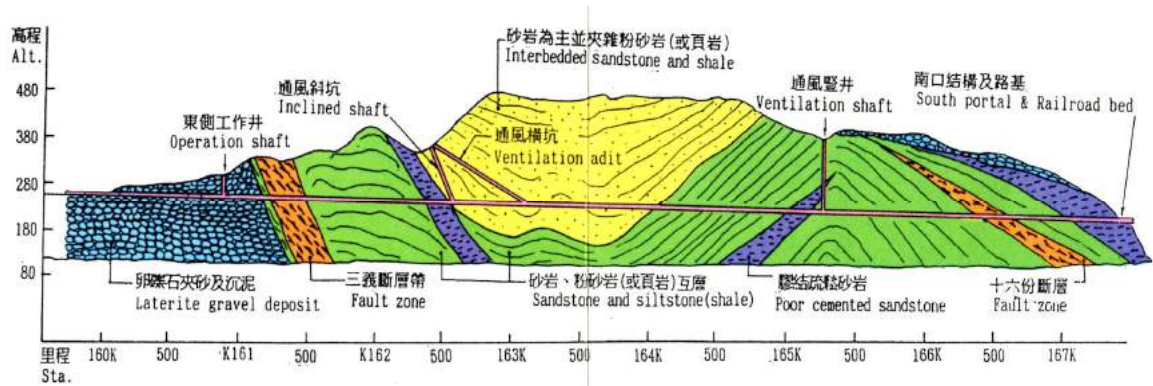


圖 6.2-1 三義斷層及十六份斷層地質示意圖

### 1. 斷層

斷層為本工址最重要之地質構造，包括三義斷層及十六份斷層，三義斷層於工址北端大致沿西湖溪主溪呈西北西走向，於三義車站西南方高速公路東側，突然轉折九十度並呈北北東走向，再向南延伸，依據野外露頭研判，推斷三義斷層為一低角度之逆衝斷層，但於出露地表時，常呈高角度的彎曲斷面，此一傾向東南之高傾角斷層於北口附近形成一狹窄破裂帶，並上衝至更新世之頭料山層上。其傾角度數與影響範圍尚無法確切的研判。

十六份斷層約呈東北東走向通過本工址南端，並於工址西南端為銅鑼斷層所截斷，其與主隧道線相交之確實位置及其影響範圍尚無法正確的研判。

### 2. 層理

由於受到三義斷層、向斜褶皺及十六份斷層等影響，岩層之位態因局部擾動而顯得不規則，地層走向一般為北 20 度至 70 度東，傾向東南，傾角約為 10 度至 50 度，同時亦有北西或東西之層面，且具有高角度之傾角。

層理厚度於砂岩及頁岩互層中約為數公分至 20 公分，於塊狀砂岩中則可達 1 公尺以上，一般而言層理開口緊閉，裂面平順。

### 3.節理

本工址之節理亦受到斷層作用及褶皺構造之影響而產生許多不同位態之節理組，其常與層理相互交切而將岩體分割成塊狀，不但減弱岩體之強度，亦可能形成地質構造破壞。

一般而言本區之主要節理有二：第一組節理為走向北 60 度至 80 度西，傾向東北，傾角 60 度至 80 度，第二組節理為走向北 50 度至 70 度東，傾向東南，傾角約 50 度至 70 度，部份節理面具有擦痕，開口並有填充物。

由於隧道開挖牽涉工程地質特性甚多，為使一般工程人員能對隧道岩盤特性有所了解，故將隧道岩盤性質量化，本階段隧道之岩體評分係採用南非 Bieniawski 之 CSIR 分類之岩體評分（Rock Mass Rating 簡稱 RMR）及挪威（NGI）Barton 之岩體分分類法（q 法）予以評分並辦理岩體分類。

## 三、結果檢討

三義隧道工程於施工前已做了詳盡之地質調查，惟地質情況之掌握不易，於施工時對實際開挖面之岩體分類應詳予記錄，一方面可做為設計施工法之印證，而本工程採用 NATM 施工，可視地質分類調整工法，一方面由實際開挖中觀察地質之變化，預測施工中可能發生之地質問題，以採取防範措施，同時並可建立完整之工程資料檔案。

北口及隧道北端之礫石層，由野外調查及水位觀測均顯示水位極高，開挖時應考慮點井打設及架設臨時擋土設施以防礫石因沖蝕而塌落。

隧道開挖現場如遇惡劣之地質狀況，應先辦理水平先進探查孔，以確認斷層之影響範圍及開挖面後方湧水之可能性。

三義斷層及十六份斷層之確切位置，影響範圍及岩盤特性均尚未充份掌握施工時應特別注意地質變化。（圖 6.2-2 及圖 6.2-3）



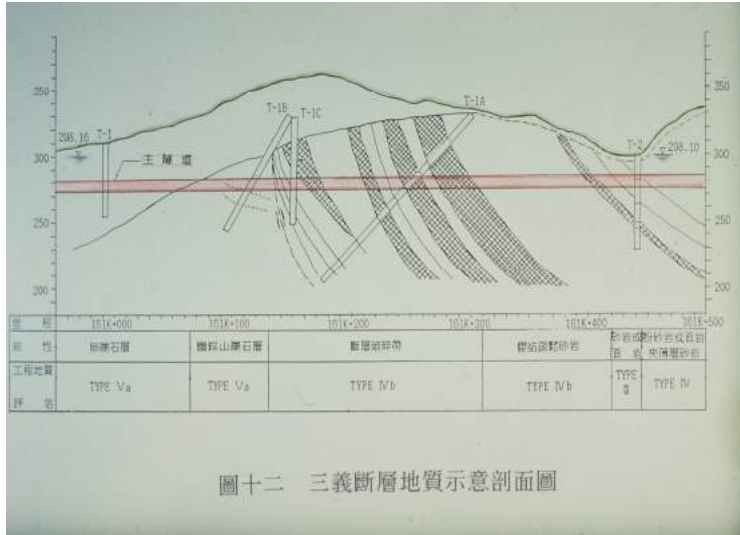


圖 6.2-2 三義斷層帶地質鑽探示意圖

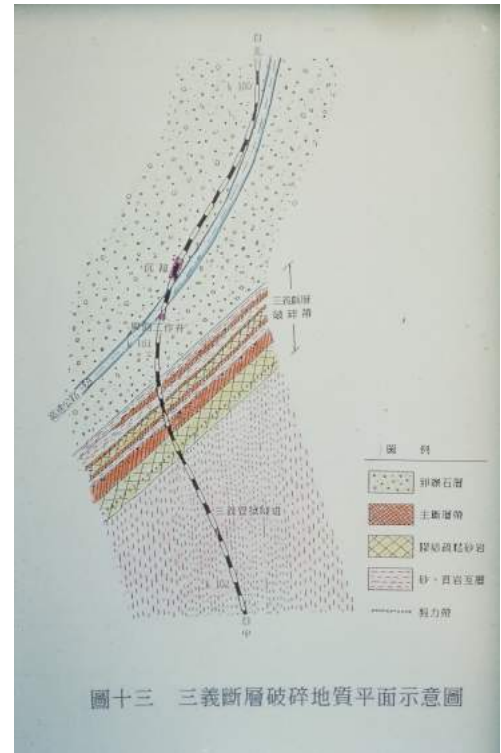


圖 6.2-3 三義斷層破碎帶位置示意圖

## 6.2.2 選線原則

### 一、概述

本路段現有線型因係早年興建，當時工程技術落後，加上山區地勢崎嶇，致使路線蜿蜒彎曲，全路段最小曲線半徑僅 300 公尺，最大縱坡高達 26‰，且隧道多、斷面又未達標準，因此該路段在坡度陡、彎道急及隧道密集之情況下，行車效率一直無法提高。

有關選線之工作，將涉及工程地質、路線標準、施工中交通維持、行車切換、用地徵收及民房拆除等，影響全工程之設計及施工均甚鉅。其中隧道工程與地質情況更有密切關係，如地質條件不良，不但工程費用增加，工期稽延，且易導致災變而產生無窮之困擾，將來路線之維修亦較費力與困難。

本路線北端既有舊線成 S 型曲線，曲線半徑僅 400 公尺，線型及坡度標準均甚差，且該路段位於三義市區內，附近有許多民房、工廠及道路，部份路線亦緊鄰高速公路，且隧道北口須由高速公路底部穿過，其覆蓋層又薄，更使路線規劃益形複雜。

## 二、路線佈設

本段新建工程之路線：自三義車站南端起，在現有線西側另增一新西主線，以擴建為雙軌。向南經過雙連潭橋，沿高速公路西側，經由西湖溪所形成之沖積平地，於穿入高速公路路堤起，進入一受三義逆衝斷層作用而抬昇之丘陵地形，其間並有一連串間夾之西北方向山谷；至八櫃後，向南經由地表為紅土礫石層所覆蓋之較平坦高地，直到聖王崎下附近鯉魚潭村銜接新建之鯉魚潭橋為止。

有關本工程選線工作，在預定經過之路線地區，需考慮之問題包括：

### 1. 三義斷層及其破碎帶之影響

因該斷層幾乎與本工程預定路線平行，雖然該斷層在預定路線之西側，但因該斷層為一向東呈低角度之逆衝斷層，斷面傾角平緩，在隧道預定深度處將無法避免須穿越斷層破碎帶。該斷層上盤之岩層係屬南莊層中弱至中強之岩體，因受到斷層之影響，路線附近地盤勢必破碎，而斷層下盤之岩層為頭料山層膠結不佳之礫石層，為一個良好的蓄水層，地下水將甚豐富。

### 2. 德興池地下水之影響

路線正好從德興池下方經過，池水很容易順岩層裂隙下滲，形成地下水滲流，此種破碎之岩層及大量地下水將造成隧道施工甚大困難。

### 3. 淺覆蓋洞口段施工之超挖影響

在隧道洞口附近覆蓋深度尚淺時，需避開疏鬆沖積層、山窪谷地、潛移崩坍區及上方有民房之淺覆土區等不利隧道工程之地質地帶。

### 4. 維持現有鐵路行車之運轉及施工空間與動線之配置

於雙連潭橋南方，現有路線成 S 型曲線，曲線半徑僅有 400 公尺，線型、坡度標準甚差，在改善路線標準之情況下，須考慮現有鐵路行車之運轉、施工時設備與挖方之進出及儘可能避免影響現有管線與減少附近民房之徵購、拆除。

### 5. 減少穿越高速公路之相互影響

本預定路線在隧道北端勢必需要穿過高速公路，為避免施工困難及施工時所可能造成高速公路路面沉陷等，傷害高速公路正常營運，所選路線與高速公路相交處應儘可能有較深之覆土深度及較大之相交角度，以減少穿越長度。

### 6. 現有平交道及穿越高速公路陸橋之地下化考量

在雙連潭橋南方約 260 公尺處現有線有一平交道，此平交道及旁邊穿過高速公路填土路堤之高速公路陸橋係三義往東至台 3 線之大湖、卓蘭重要通道，應配合此次雙軌工程一併將路線改為地下化，以取消平交道，惟因距離雙連潭橋不遠，附

近又有民房及高速公路限制，路線之線型與坡度需配合各種考慮，以兼顧各方面之要求。

#### 7. 避開隧道南口潛移崩坍區及密集之民宅區

在路線南端隧道出口處附近有一潛移崩坍區，附近亦有部份民房(鯉魚潭村)，為減低不利隧道施工之困難及減少徵購民房阻力，所選路線應儘量避開此區。

#### 8. 利用現有道路增加工作面之考量

因本隧道長度甚長，為縮短施工期，應設法增加工作面，因此路線之選擇應儘量使工作面能利用現有鄉村道路，避免須另闢施工道路，增加工程費、購地時間與購地困擾。

### 三、平面線形

規劃標準：最小曲線半徑：700 公尺以上。

兼顧地質因素、施工困難度及減少民房拆除等考量，本工程路線平面線形：自三義車站南端過雙連潭橋後，以兩半徑均為 820 公尺之曲線沿高速公路西側，在三義車站南方約 1.4 公里處再穿入高速公路，至避開三義斷層之影響後，配合地質情況、隧道南口、通風豎坑、斜坑位置及進出施工道路等因素，設置二曲線：一處半徑為 2000 公尺、另一處則為 3000 公尺，於路線南端避開鯉魚潭村與崩坍區後，銜接至鯉魚潭橋。〔如附圖 6.1-3〕

### 四、路線縱坡

規劃標準：最大坡度：千分之十五以下(隧道內千分之十以下)

有關路線之縱坡：於北端進入隧道以前，現有線除坡度大(最大 21‰)外，亦有甚多變坡點，在路線標準上並非理想。新線除要提高標準外，在此路段尚需考慮三義車站站場需要、雙連潭橋梁底淨空及重河路平交道地下化等因素。

基本設計階段規劃在三義車站場內採用+1.26‰之坡度以維持約與原車站相同之坡度，方便行車切換與運轉；在出站道岔群前再改為+12.231‰，使雙連潭橋梁底高程不致比現有舊橋低，過雙連潭橋後坡度變為-6.856‰，逐漸將路線降低，到重河路時已完全進入地下以取消現有平交道，且在地下隧道箱涵頂版上方可維持適當空間，以便便線於此處附近跨越新線時，可架設施工用之便橋，一方面維持地面便線行車，另一方面可在地下開挖新線隧道。過了重河路後，配合地面高程，為減少明挖段開挖深度，並兼顧穿過高速公路路堤之覆土厚度，採用+9.25‰之坡度漸將路線上昇，在此段坡度與前段縱坡之變坡點處，將為本工程北端高程最低點，為避免隧道內積水，考慮設置抽水站，配合抽水站之可用地，此變坡點選擇設在里程 160k+220，以利用改線後現有線之土地設置抽水機房，避免需另行購地。

在進入高速公路後之鑽掘隧道段坡度，一方面兼顧最大坡度 10‰之需求另一方面儘可能縮短通風隧道與通風豎坑長度，並配合南端鯉魚潭橋之設計高程，前段採用+6.803‰之昇坡，後段採用-9.811‰之降坡，儘可能使隧道中央提高以減短通風隧道長度，並可利於排水，當中最高處之變坡點也儘可能接近通風隧道，以利於廢氣排出。

## 6.3 隧道設計\_\_NATM 之基本設計

### 6.3.1 工程地質特性

根據既有之區域地質文獻、地表地質調查、多次現場實地勘查及鑽探資料結果，發現隧道所經過之地層，具有多種完全不同性質之岩體及不規則界面，並有三義斷層通過，此等岩質差異，如岩體固結程度及強度、岩體破裂程度、裂面情形、地下水及所含礦物成份等重要特性，均將以不等之程度影響岩體開挖後之應變行為。

本區地層依地質年代由新至老可概分為：

#### 更新世：

- 1.由砂、沉泥質砂及砂質黏土夾雜卵礫石所組成之堆積層。
- 2.由風化之岩塊及紅土礫石層塌落所堆積而成之崖錐層。
- 3.由砂、卵礫石夾雜部份沉泥所組成紅土礫石層。
- 4.由輕度膠結、組織不緻密之礫岩組成之頭料山層。

#### 中新世：

- 5.由含豐富化石成份之深灰色頁岩組成之十六份頁岩。
- 6.以細到中等顆粒、淡灰色之砂岩為主，偶夾深灰色頁岩組成之關山刀砂岩。
- 7.由白色砂岩、深灰色頁岩及砂岩、粉砂岩、頁岩互層所組成之南莊層其中尤以紅土礫石層及南莊層膠結疏鬆砂岩二者對隧道施工最具影響。

### 6.3.2 水文地質特性

三義一號隧道沿線須考慮的水文問題為：

- 1.地下水所造成之湧水。
- 2.含水層位置所在。
- 3.降雨量與地表逕流造成之地下水位高低的變化，及其對岩層滲水或湧水現象之影響。

上述均為水文分析及隧道內、外等排水系統設計時應考量之要點。

### 6.3.3 地震活動

台灣位於環太平洋地震帶上，屬於高強度地震活動頻繁之地震區域。本工程則屬於三個地震分區之西部地震帶，其地震規模一般不大，惟其震源大都位於淺層；為確保日後隧道營運之安全性，須先評估西部地震帶對三義一號隧道沿線影響之情形，以為隧道結構設計之參考。

### 6.3.4 岩體分類

經由航測照片判讀、地表地質調查及地表下探測等方式，並依據 KOHLBECK(1985)及 KOHLBECK & SCHEIDEGGER(1977) 等理論分析不連續面分佈密度，另依 WALLBRECHER(1979, 1986)理論分析不連續面方位，將隧道全線區分為五個地質均質區域 AREA 1~5：

AREA 1：有關三義斷層區域。

AREA 2：三義斷層南端，因斷層造成的褶皺影響區域。

AREA 3：向斜褶皺附近。

AREA 4：十六份斷層區域。

AREA 5：隧道南口區域。

藉由試坑和鑽孔瞭解地表下之岩體狀態、地質構造特性，進而判斷不同岩石類別之強度和物理性質。依上述調查結果及鑽孔岩心之工程地質特性，可建立有系統之岩石類別及岩體分類。

#### 1. 岩石類別

三義一號隧道工程依鑽探取樣及試驗結果（礦物成份及力學性質分析），沿線岩層可區分 A、B、C、D、E 及 F 六種。

#### 2. 岩體分類

依據不同之岩石類別及鑽孔岩心之地工特性，參酌岩體不連續面情況、風化程度、層面間距及破裂程度，三義一號隧道可分為以下三組地工岩體單元（GRU）。

#### 地工岩體分類參數的定義

##### 風化程度

- |      |   |                 |
|------|---|-----------------|
| 級別 1 | — | 新鮮岩盤            |
| 級別 2 | — | 具鐵染之不連續面        |
| 級別 3 | — | 岩石大部份具鐵染，岩石強度減低 |
| 級別 4 | — | 岩石因風化而分解        |

層面間距

- 級別 1 — 超過 30 公分
- 級別 2 — 10 至 30 公分之間
- 級別 3 — 5 至 10 公分之間
- 級別 4 — 1 至 5 公分之間
- 級別 5 — 小於 1 公分

碎裂程度（岩心塊長度）

- 級別 1 — 超過 10 公分
- 級別 2 — 3 至 10 公分之間
- 級別 3 — 1 至 3 公分之間
- 級別 4 — 小於 1 公分

GRU 1— 高強度岩體，包含岩石類別 A、B、C。

風化程度：級別 1、2。

層面間距：岩石類別 A 級別 1、2。

岩石類別 B 級別 1 至 4。

岩石類別 C 級別 1 至 4。

碎裂程度：岩石類別 A 級別 1。

岩石類別 B 級別 1、2。

岩石類別 C 級別 1、2。

GRU 2—中強度岩體包含岩石類別 A、B、C、D。

風化程度：級別 1、2、3。

層面間距：岩石類別 A 級別 2、3、4。

岩石類別 B 級別 3、4。

岩石類別 C 級別 3、4、5。

岩石類別 D 級別 3、4、5。

碎裂程度：岩石類別 A 級別 2。

岩石類別 B 級別 2。

岩石類別 C 級別 2。

岩石類別 D 級別 1、2。

GRU 3—低強度岩體包含岩石類別 A、B、C、D、E、F。

風化程度：不具意義。

層面間距：不具意義。

碎裂程度：

岩石類別 A 級別 3、4。

岩石類別 B 級別 3、4。

岩石類別 C 級別 3、4。

岩石類別 D 級別 3、4。

岩石類別 E 級別 4。

岩石類別 F 級別 4。

考慮岩體於開挖時可能之應變行爲、幾何形狀、存在之主應力狀態、相對於隧道軸線之不連續面方位及水文情況等，岩石類別及地工岩體單元（GRU）與岩體分類將有以下之關係：

GRU 1 相當於 岩體分類 I。

GRU 2 相當於 岩體分類 II、III。

GRU 3 相當於 岩體分類 IV。

經由綜合分析及研判，於基本設計階段之岩體分類系統如下：

**第 I 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，岩體力學行爲維持彈性狀態，開挖面穩定。

**第 II 類岩體：**

此類岩體爲破碎岩盤，部份堅實岩塊保持彈性狀態，然而不連續面之小位移依舊可見，裸露岩盤呈現輕微脆裂現象。

**第 III 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，不再維持彈性之力學行爲，靠近隧道處岩盤出現剪力破壞，但變形量小並且能迅速達到穩定狀態，屬於輕度擠壓性岩類，裸露岩盤出現脆裂現象。

**第 IV 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，不再維持彈性之力學行爲，靠近隧道處岩盤出現剪力破壞，顯著的變形量將產生，爾後漸趨穩定，屬於擠壓性岩類，裸露之岩盤一般均不穩定。

**第 V 類岩體：**

此類爲軟弱或無凝聚力之地盤，通常見於覆土淺之洞口段，在初次襯砌設置之前，裸露岩盤必須補強處理以維持穩定。

至於通風豎坑遭遇之岩體，初步歸納爲兩類（A 及 B）分述如下：

**A 類岩體：**

此類岩體維持彈性力學行爲，然而極發達之不連續面仍須有適當之支撐系統以維持穩定，A 類岩盤大多爲粉砂岩及砂岩互層夾雜少量頁岩，破碎情形變化很大。

**B 類岩體：**

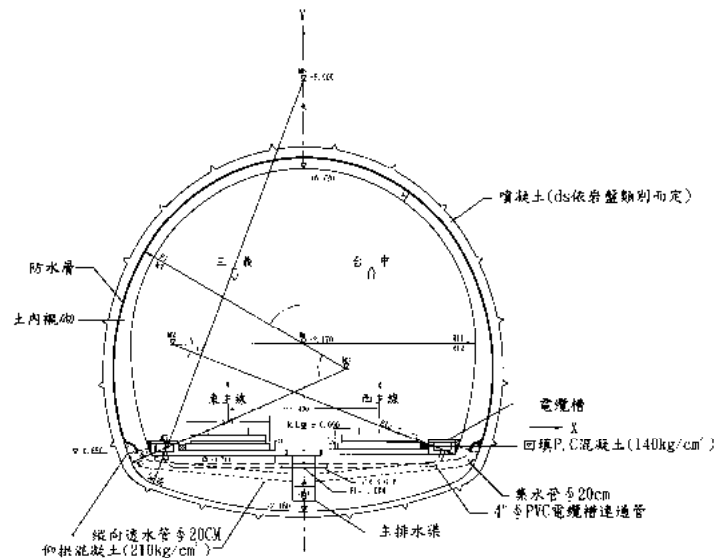
豎坑附近之岩盤呈現應力集中現象，產生之集中應力大過岩體本身強度，局部的剪力破壞使岩盤產生變形，B 類岩盤主要見於極破碎帶與斷層區域。

### 6.3.5 主隧道基本設計

本隧道設計係運用 NATM 施工理念及參考其一貫累積之施工經驗作為設計依據，NATM 之基本原理為隧道開挖後，需促使隧道周圍之岩體或地層形成自身就具備有承載岩壓之環體，為達成此目的，設計需符合以下之基本條件：

- 隧道形狀須避免產生岩體應力集中現象。
- 合適的支撐方式及施加順序。
- 變形與應力之計測及控制，使支撐達最佳效果。

為達成上述要求，除須瞭解岩體之工程行為及進行 NATM 岩體分類外，設計工作尚需包括：支撐系統、施工順序、規範中要求施工注意事項，以及施工中岩體分類修正，觀測及控制等，此一系列之過程均屬於設計考量部份。



主坑道正常段標準斷面圖

隧道主線標準斷面詳如上圖 6.3-1 標準斷面圖所示，分別適用於有仰拱、無仰拱及明挖段（U 型及箱形結構），淨空需求係依台灣鐵路交流電氣運轉路線雙線隧道淨空標準，其斷面設計之主要考慮為淨空需求、開挖後岩體應力狀況、排水系統、仰拱以及施工可行性等。隧道斷面結構包括支撐系統之噴凝土、鋼絲網及岩栓等。新奧工法有關開挖支撐之設計係依據既定之岩體分類，再憑藉 NATM 理論與經驗作出支撐系統及開挖順序，一般新奧工法施工之作業流程如附圖 6.1-3 及附圖 6.1-4 所示。然而在開挖過程中，持續的工程地質評估及現地計測，並據以修正岩體分類及支撐系統，係不可免之必要步驟。



除主隧道之外，另外顧及平時或緊急狀況之維護及通風設施需求，本工程尚包括通風隧道一條及通風豎坑一口；此外通風隧道亦將作為永久性之緊急逃生通路，除通風設施之外，兩種不同尺寸之雙側避車洞（主避車洞及標準避車洞）亦將引用於本工程。

由於基本設計階段之岩體分類及開挖支撐系統設計均是依據有限之地質調查結果所作的分析、評估及推測，是以施工期間岩體應力變化等之計測實為隧道施工之重要環節，藉此隧道計測在短時間內可獲知設置之支撐及施工結果是否適當，必要時尚可及時調整及補設額外之支撐構件，以防止岩體趨於不穩定，並藉計測之觀察，預測前方岩體狀況，有助於施工作業之調整，使工程更臻於安全而經濟。基本設計階段所建議之計測系統包括：

1. 隧道內變位測定（收斂儀及高程測量點）
2. 隧道附近地層應變量測（伸縮儀）
3. 噴凝土襯砌之應力測定（應變計）

縱觀三義壹號隧道之設計模式，係參考南迴線鐵路工程之隧道施工實例，並配合地質特性加以修正，例如東側并礫石層之開挖，覆蓋較薄之穿越高速公路段以及三義斷層帶（過河段）之特殊處理，在設計上均有相當大之突破，使其施工性、安全性及經濟性，達到所預期的效果。

### 6.3.6 穿越高速公路段

依據地質鑽探資料及地表地質調查結果顯示，一號隧道北口附近地層主要為河床堆積層及紅土卵礫石層交界區域。由於河床堆積層之透水性極佳，開挖區可能出現之大量湧水問題，係開挖安全措施選擇及考量評估之重點，採完全止水之擋土結構並配合利用抽水設備以降低地下水位將是隧道北口施工較理想之措施，經評估施工可行性及經濟性，建議選用之擋土結構為場鑄鋼筋混凝土鑽掘樁。為使北口隧道鑽掘作業不致對中山高速公路造成過大沉陷影響並且兼顧隧道開挖面之穩定，配合採用灌漿工法改良地盤及達到止水的效果。

## 6.4 隧道施工\_\_NATM 之施工

### 6.4.1 主隧道施工

#### 一、地質調查工作

三義壹號隧道在地質調查工作方面分為三階段，第一階段為定線用調查，自路線勘測檢討至路線決定為止，完成地形、地質、環境及其他一般性調查；第二階段供設計施工計劃用之調查，自隧道定線後工程開工前，完成較為精密之地質調查及周圍一帶基於實際需要之計劃調查，供機具設備用之調查。第三階段即施工中之調查，在隧道開挖面施作先進鑽探孔及 TSP (Tunnel Seismic Prediction) 調查作為施工中所發生之問題的預測與檢討，以供工程管理、設計變更及災害保險補償等作用。

#### 二、工程內容

本工程定線完成後全長 7,727.4 公尺 (K159+740~K167+467.4) 最大坡度 9.8125 ‰ 最小半徑 800 公尺，除北端 990 公尺 (K159+740~K160+730) 含路基、雙連潭橋、U 型擋牆、明挖覆蓋段及南端 47 公尺 (K167+420.4~K167+467.4) 含南洞口明挖、路基外，隧道部份全長 6690.4 公尺 (K160+730~K167+420.4)。為考量工期 50 個月內完工，規劃穿越高速公路、工作豎井向南、通風斜坑向北向南、風橫坑向南向北、豎井向北及南口向北等八個工作面施工，詳如附圖一。出碴方式主隧道內均採用輪胎工法，唯斜坑段 (L=320M) 須轉換軌道工法，配合 2 部 (75KW、160KW) 捲揚機出碴。另穿越高速段 (L=20M)、工作豎井 (L=33M) 配合 15T 門型吊車乙部、通風豎井 (L=126M) 則配合高速捲揚機一套出碴。

#### 三、地質與岩體分類

隧道沿線地形屬丘陵台地、起伏不大覆蓋厚度介於 7~250 公尺之間，岩層分佈主要為卵礫石層、砂岩、砂頁岩互層等岩石強度不高，介於 150~400 kg/c m<sup>2</sup>，其中三義斷層破碎帶 (290M) 及十六份斷層 (60M) 以及地下水因素增加施工之困難度 (如附圖 6.1-2)。隧道開挖依上述岩質條件予與各工作面，預估為 II、III、IVa、IVb、Va、Vb 等六種岩盤類別。然實際開挖後採用 III、IVa、Va 種岩盤類別施工。

#### 四、開挖與支撐型式

隧道內淨空斷面，採台鐵雙線電氣化標準，鋼軌面以上高 6.72 公尺、寬 8.08 公尺、起拱線處寬 9.10 公尺。隧道斷面之開挖、支撐與混凝土襯砌等。參考以往的施工實例及經驗，配合岩體分類及設計標準模式加以設計。隧道開挖分為第 I 類岩盤、第 II 類岩盤、第 III 類岩盤、第 IVa 類岩盤、第 IVb 岩盤、第 Va 類岩盤、第 Vb

類岩盤等七種開挖及支撐系統配合施工。

(1) 主隧道第 I、II 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進長度 1.5~2.0M，採用長台階工法施工，其施工順序為：1. 上半斷面開挖 2. 上半斷面架設鋼支保 3. 上半斷面鋼絲網鋪設及噴凝土 4. 下半斷面開挖 5. 下半斷面鋼支保架設 6. 下半斷面鋼絲網鋪設及噴凝土 7. 底樑開挖及混凝土 8. 內襯砌混凝土。

(2) 主隧道第 III 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進 1.0~1.5M，採用長台階工法施工。其施工步驟為：1. 上半斷面開挖與支撐（視地質狀況施作環狀開挖及臨時仰拱閉合） 2. 下半斷面開挖與支撐 3. 仰拱開挖與支撐 4. 內襯砌混凝土。

(3) 主隧道第 IVa、Va 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進 0.8~1.0M，採用長台階工法施工。其施工步驟為：1. 上半部視地質狀況施作固結及化學灌漿 2. 上半斷面開挖與支撐（配合環狀開挖施作臨時封面及臨時仰拱閉合） 3. 下半斷面開挖與支撐 4. 仰拱開挖與支撐 5. 內襯砌混凝土。

(4) 主隧道第 IVb、Vb 類岩盤開挖

其施工法稱側導坑先進工法，開挖每輪進 0.8~1.0M，採用短台階工法施工，適用於滲水量較大之區段。其施工步驟為：1. 開挖前施作固結及化學灌漿 2. 側導坑上半斷面開挖與支撐 3. 側導坑下半斷面開挖與支撐 4. 側導坑仰拱開挖與支撐 5. 主隧道上半斷面開挖與支撐 6. 主隧道下半斷面開挖與支撐 7. 主隧道仰拱開挖與支撐 8. 內襯砌混凝土。

## 五、隧道襯砌

隧道內襯砌之施工，必須在觀測岩體變形穩定之後（ $<2\text{mm}/\text{月}$ ），才能進行。其可能承受之外力，來自岩體之潛變或隧道外壁蓄積之滲水壓力，其目的係為隧道內面裝飾、設備安裝以及增加隧道結構之安全。此外，內襯砌亦具保護防水層之功用，其設計厚度，分為洞口段及交叉段有筋混凝土厚度為 50 公分，普通段無筋混凝土厚度為 30 公分，其 28 天之混凝土抗壓強度為  $240\text{ kg/cm}^2$ 。仰拱混凝土厚度為配合中央溝排水系統最少厚度為 50 公分，強度為  $210\text{kg/cm}^2$ 。

## 六、施工監測

隧道施工監測之目的確保隧道周圍岩盤之安定，並做為現場施工管理之指標及提供設計之參考。為確保施工安全，擬根據設計圖中之地質與支撐資料<sup>詳</sup>建立預警燈號之管制基準，以利監測工作的進行。本工程各項監測項目有頂拱沉陷、水平內空變位、斜向內空變位、伸張儀、計測岩栓、噴凝土應力計等。



照片 6.4-1 主隧道施工



照片 6.4-2 主隧道施工洞口開挖



照片 6.4-3 隧道施工下半斷面開挖



照片 6.4-4 隧道施工上半斷面開挖



照片 6.4-5 隧道施工敷設防水膜



照片 6.4-6 隧道施工襯砌



照片 6.4-7 隧道施工機械半斷面鋼模



照片 6.4-8 隧道施工機械全斷面鋼模

## 6.4.2 豎井施工

三義壹號隧道工程全長 7727.4 公尺，屬於長大隧道工程，因此對於隧道內的通風方式必須做妥善的規劃。本工程的通風管道有通風橫、斜坑及通風豎井，其位置約在主隧道長度的三分之一等分，即相隔約 2 公里，以自然空氣對流的通風方式進行隧道內的換氣。通風豎井位於主隧道里程 165k+250 處，完成面淨空為直徑 8 公尺的圓形斷面，豎井井深 126.7 公尺，在底部以連接橫坑與主隧道相連接。於井口處則加蓋豎井維修室與外界隔離。豎井的設置除了以上通風功能的考慮之外，另外也提供了主隧道施工期間的一個工作面，本工作面配合專門設計的高速捲揚機設備，使得整體工期得以縮短，此亦是本工程規劃上的特色。

### 一、地質概述

按地質調查分析報告，在地表面以下 10 公尺為礫石夾黃棕色土壤的覆蓋層，覆蓋層下方為砂岩、頁岩、粉砂岩及泥岩的互層。覆蓋層土壤的有效凝聚力  $C'=10$  KN/m<sup>2</sup>；有效抗剪角為  $\phi'=30^\circ$ 。岩盤之岩材單軸抗壓強度約為 10~30MPa，岩盤節理發達。地下水位高度約在地面下 8 公尺。綜合上述，除覆蓋層外其餘依 CSIR 岩體分類法之評分結果約為 30~50 分，屬 III、IV 類岩盤，岩盤自持性尚可，惟需注意節理、弱面夾軟泥遇水易產生滑動而形成不穩定。

### 二、豎井開挖之邊坡穩定分析

- (1) 分析剖面：依現地地勢及細部測量地形資料，取最陡坡作邊坡穩定分析。
- (2) 土壤力學參數：參考地質鑽探孔 SH-1 之取樣分析結果研判取有效凝聚力  $C'=10$  KN/m<sup>2</sup>；有效抗剪角為  $\phi'=30^\circ$ 。
- (3) 分析方法：以 "STABL-5" 電腦程式分析。
- (4) 分析結果及設計：坡面以 10CM 厚噴凝土加一層 5/5-100\*100 鋼絲網保護，並鉗設排水孔。坡頂及坡腳設置截、排水溝。

### 三、豎井結構與斷面

- (1)豎井標準斷面：豎井的施工理念為新奧工法與主隧道相同，襯砌分為噴凝土外襯砌及混凝土內襯砌兩層，噴凝土厚度為 15~25 公分依現地岩體分類所對應的支撐型式施工。混凝土厚度為 30、50 公分，在井口段 15 公尺及與連接橫坑交叉段採混凝土厚度 50 公分，其餘區段混凝土厚度則為 30 公分
- (2)豎井開挖與支撐措施：按新奧工法原理設計，因斷面形狀為圓形較有利於閉合條件。開挖採深井鑽炸工法，每環開挖深度 1~2.0M 視地質情況好壞應變調整。支撐措施則以噴凝土、鋼絲網、鋼支保、岩栓等構件按岩體分類等級組合應用
- (3)豎井排水設施：為避免地下水壓力對豎井井壁造成壓力破壞，在豎井周圍埋設四支縱向落水管，而深度每 20 公尺處則埋設環型排水管。為利於開挖每 20 公尺設置抽水轉運站凹槽一處。

### 四、豎井開挖階段計測斷面設計

豎井計測斷面分為兩種，" I "型於豎井直徑方向裝設兩組收斂計測釘做徑向變位收斂觀測，設置間距為 20 公尺；" II "型除收斂計測釘之外並加裝伸張儀以觀測豎井周圍岩盤位移變化，設置間距為 40 公尺。此外於交叉段及極惡劣地質得視需要增設計測斷面。【詳如附表 6.4-1】

表 6.4-1 豎井開挖支撐元件表

豎井斷面項目	正常段 I、II 類	正常段 III 類	正常段 IV 類	交叉段及洞口段
噴凝土(CM)	10	15	20	25
鋼絲網 5/5-100*100	內面一層	內面一層	內外面各一層	內外面各一層
岩栓(4M/支)	—	0~8	12	—

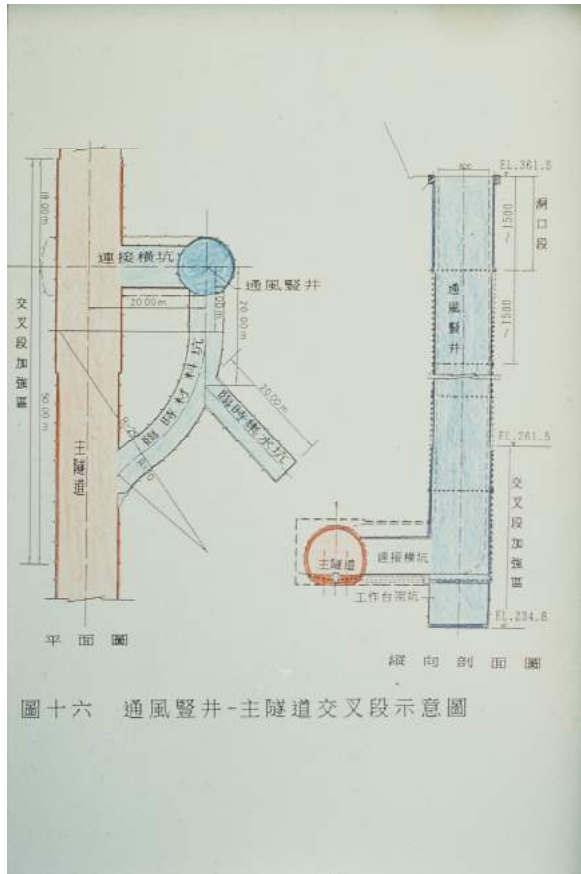


圖 6.4-1 三義隧道斷面示意圖

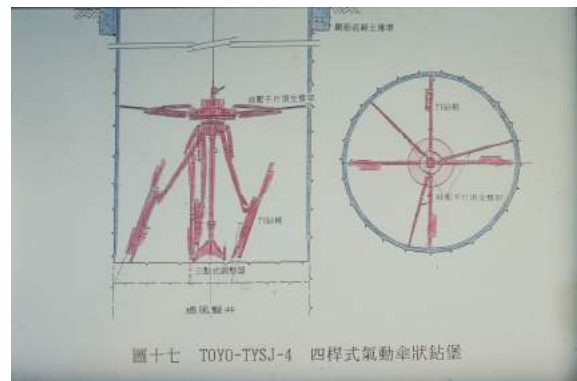


圖 6.4-2 豎井施工機械示意圖

### 6.4.3 穿越高速路段之施工

三義壹號隧道新建工程，北端穿越高速公路段於交通頻繁之中山高速公路下方之卵礫石層中開挖。穿越高速公路段全長 183.2 公尺（里程由 160K+730 至 160K+913.2）。隧道開挖斷面寬約 10.8 公尺，高約 10.4 公尺，與高速公路約成 30 度斜交（相對高速公路里程約於 147K+774 至 147K+867），其覆蓋層厚度僅 8 公尺至 20 公尺。由於本區段為紅土礫石層，石質堅硬且地下水位高，因此施工困難度相對增高，為顧及高速公路行車安全與暢通，故設計考量於隧道開挖前施工採超微粒水泥灌漿及小管幕為輔助工法，以改良地質及止水，再以新奧工法（NATM）進行隧道開挖，並配合計測儀器監測研判，俾能順利安全完成本段工程，使對高速公路行車的影響至最小程度。

#### 一、施工區域

本區域由北端沉箱段 Sta.160k+730 至南端東側工作井 Sta.160K+913.2，計 183.2m，其與高速公路交叉部份長度約 110m（自路堤坡腳起算）。施工分為南北

兩個工作面，北端為沉箱工作井(15.6m X 15.6m<sup>淨</sup> L=23.5m)、南端為東側工作井( $\phi$ =11.1m, L=33m)，兩者均須以門型吊車進行出碴及材料、機具運送。

本穿越段週遭地形起伏不大，隧道頂部覆蓋厚度由 8~20 公尺不等（含高速公路回填夯實土層約 7~8 公尺），隧道上方之高速公路兩側共有四車道，車流量頻繁趨於飽和。

## 二、地質與水文概述

本施工區域地質為卵礫石層，礫石含量約 60~90%，主要粒徑約 3 至 50 公分，呈圓球形或橢圓球形，屬河階堆積之礫石層，主要以白色石英砂岩為主，表面常有黃褐色鐵染出現。礫石間所夾細粒料以粗砂為主，內含少量沉泥及粘土，呈黃褐色，因受地下水影響，膠結性不佳，開挖面易隨滲流水而坍落。

隧道北端入口處之地下水位，在未施工前約於地表下 1 公尺。南端東側工作井水位約於地表下 5 公尺左右。由現地抽水試驗推估之滲透係數 K 值為 10<sup>-2</sup>~10<sup>-4</sup> cm/sec，地下水流方向為東南向西北。為降低穿越段施工區域之地下水。因此由東側工作井(井深 33 公尺)先降挖截流，以降低本區段之地下水位及減少本隧道開挖面之滲流。

## 三、輔助工法

基於地質狀況特殊及高速公路路面沉陷之考量，施工方法先採用超微粒水泥灌漿(或水泥漿)及管幕支撐為輔助工法，以改良並強化隧道周圍地層後再進行上半斷面開挖。隧道內每輪鑽灌 12 公尺，再開挖 9 公尺；惟在北端覆蓋較薄處，先自地表施作垂直灌漿。

### (1) 地表垂直灌漿

Sta.160K+730~790 覆蓋較薄，約 8~14m)故採由地表垂直灌漿，對於鑽孔之位置及角度容易控制，施工較易且效果較易掌握。灌漿孔配置採孔距 1.5m×1.5m，孔深依現地地形調整自 8.5 公尺至 21.5 公尺不等，使隧道周圍 3m 之範圍形成灌漿改良區灌漿材料以水泥漿為主，另視需要輔以 LW 漿液（水泥漿+水玻璃），灌漿壓力至 5Kg/cm<sup>2</sup> 後保持 20 分鐘壓力不減時始停止灌漿。

### (2) 隧道內前進灌漿

#### A. 鑽灌方法

Sta.160k+790~913.2 隧道已進入高速公路邊坡，地表覆蓋厚度增加，鑽孔長度增長，無法從高速公路及其邊坡上施鑽，故採隧道內前進灌漿。灌漿工法採每輪施作 12m，開挖 9m，保留 3m 重疊。鑽孔使用之鑽機為礦研(KOKEN) RPD-100C(4)-LB 型。灌漿管以跳島式鑽設，鑽孔分為 A 環、B 環及 C 環。由兩側向中央鑽設。鑽



孔之孔徑約 96mm，孔位仰角 10~15 度使各孔在孔底之間距不超過 1.2m，俾使灌漿後因重疊效應產生至少 3m 厚之灌漿改良區。

為使灌漿材料有效地滲入卵礫石層中之土壤達到止水與固結效果，灌漿材料採超微粒水泥（Micro fine Cement），其止水效果較優於一般水泥漿，但鑑於其成本較高，將視開挖工作面滲水狀況以水泥漿取代。下半斷面灌漿亦將以此原則調整超微粒水泥之用量，以期節省工程費用。灌漿每孔最大灌漿量每分鐘 30~35 公升，孔口壓力以 10Kg/cm<sup>2</sup> 為限，以免造成高速公路路面破壞或隆起。灌漿採跳孔施作，且由隧道內向外圍施灌，灌漿施工步驟如下圖 6.4-3 所示。

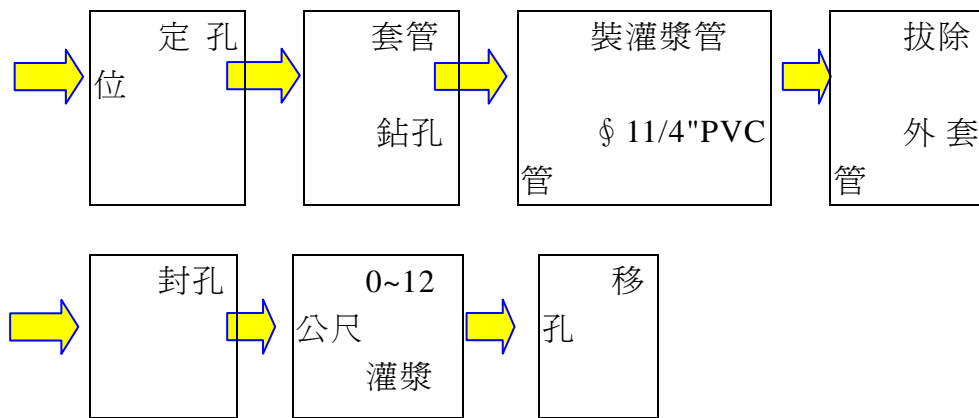


圖 6.4-3 灌漿施工流程圖

#### B. 超微粒水泥之特性及配比

超微粒水泥之粒徑為一般波特蘭 I 型水泥之 1/5，可滲入細砂達到較佳之止水及固結礫石層的目的。超微粒水泥及添加物、附加劑均不含有毒性物質。其規範如表 6.4-2 所示。

表 6.4-2 超微細水泥之規範

比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	粒徑分佈(μm)	抗壓強度(kg/cm <sup>2</sup> )
> 8,000	0~4 ≥45%	3 天強度 ≥ 200
	0~10 ≥95%	7 天強度 ≥ 350
	max. ≤ 20 μm	28 天強度 ≥ 500

本工程使用超微粒水泥有二個主要原因：

- (i) 超微粒水泥為無機質材料，不會對環境、人體、地下水及土壤造成污染。本地區附近有溪流，且居民使用地下水甚普遍，在環保理念下，比高分子系列灌漿材料適當。
- (ii) 此處卵礫石間之細粒料以粗砂為主，含部份沈泥。超微粒水泥顆粒比一般波特蘭 I 型水泥為細，在適當且相同的壓力下可滲入細砂。而一般水泥漿只

可部份滲入粗砂中。故採超微粒水泥灌漿較易達到止水與固結雙重效果。超微粒水泥(MC)灌漿材料 1m<sup>3</sup> 之漿材配比如表 6.4-3 所示。

表 6.4-3 超微細水泥漿之配比

A 液	B 液
(MC+擴散劑) : 水	水玻璃 : 水
1 : 2 (重量比)	1 : 1~5 (體積比)
71.4L(214.3 kg) : 428.6L	
計 500 L	計 500 L
註：	
(1) A : B = 1 : 1 (體積比)	
(2) 擴散劑(重量) = MC 重量 × 0.5 %	
(3) B 液之水量配比，施灌時視現場 實際需要調整之。	

### (3) 小管幕(Pipe Roof)施工

每一輪灌漿工作完成後<sup>※</sup>接著進行拱圈之管幕施工。管幕係以 38 支管徑 3.5 英吋鐵管構成，配置間距約 30cm，長度 12m，鉗孔仰角約 5~8°，視現場需要做調整。鉗孔套管(孔徑 133mm)鉗設達預定深度後將鐵管( $\phi=3.5"$ ， $t=6\text{mm}$ )置入孔中，逐節拔出鉗孔套管( $\phi 133\text{mm} \times 1.5\text{m}$ )，鐵管並可視作灌漿管，以水泥漿將鐵管及孔壁填充，使其於隧道頂拱上方形成保護環，其作用為抵抗高速公路行車可能產生之震動與防止隧道開挖時可能引致之抽心坍方。

## 四、隧道開挖及襯砌

本工程採用 NATM 岩體分類法，是以定性描述為主，並以定量之岩體分類法(RMR 與 Q 法)輔助評定，總共分爲 I 至 V 類。根據地質研判本區段爲一無凝聚力之地盤，主要爲紅土礫石層，岩盤強度偏低且地下水影響其自立性甚大，屬 Va 類岩盤。施工中再依據計測資料研判，機動調整開挖進度及支撐型式。

本區隧道開挖於每一輪(12m)灌漿及管幕施工完成後即進行。開挖分爲上半部環狀開挖、土心開挖(46 m<sup>2</sup>)洞台及仰拱三部份。開挖採用挖溝機與破碎機，以無爆破方式避免擾及高速公路之安全；支撐採剛性較強之 H-175 鋼支保與噴凝土爲主，於開挖後儘速進行以減少隧道之先期變形。

開挖及襯砌方法略述如下：

- (1) 先進行上半部環狀開挖，每輪前進 1m，支撐採 H175 鋼支保(洞口段 10m 採 H200)與 25cm 噴凝土及長 4m 之岩栓，再開挖土心部份。臨時仰拱(厚

20cm) 於每一輪進 9 公尺開挖完成後隨即構築，以求開挖面閉合並減緩隧道之變形量。

- (2) 上半部開挖進入高速公路下方時，利用灌漿時段進行混凝土襯砌，每模 9m。如此可防高速公路路面沉陷。上半部內襯砌完成後開始施作下半部左右兩側鑽孔及灌漿。
- (3) 洞台開挖以路塹方式先挖中央保留兩側，再由上半部襯砌接縫處採跳島式交錯進行側壁開挖(含鋼絲網、鋼支保及噴凝土)，每次擴挖 3m 並予襯砌後，其餘錯開部份(6m)採一次開挖及襯砌。
- (4) 洞台開挖間視地下水滲流量及計測資料研判，必要時施作側壁或仰拱之灌漿處理。
- (5) 仰拱開挖與襯砌每一分塊長 5m。

## 五、施工監測

本工程隧道開挖後所引致之沉陷量分析係採用 ITASCA Consulting Group Inc., U.S.A. 公司所開發之有限差分(finite difference) 軟體 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 程式為分析工具，模擬隧道開挖過程及支撐過程之應力－應變行為，以數值分析法來從事隧道分析與設計。

依據 FLAC 程式模擬隧道開挖過程所引致之沉陷量，當上半部完成時，頂拱沉陷約 21mm，路面沉陷約 13mm；全斷面開挖完成時，頂拱沉陷約 47mm，路面則約 35mm。前述路面沉陷影響範圍分別為 28m 與 40m。自地表面埋設伸張儀、傾斜儀及沉陷點，隧道內則埋設內空變位計、頂拱沉陷釘，觀測地表沉陷量及礫石層隧道內之變位情形，定期監測並嚴格控制沉陷量，掌握施工狀況俾便採取應變措施。

Sta.160K+775~905 地表恰位於高速公路及路堤，無法鉗設伸張儀及傾斜儀。因此地表僅以沉陷點來觀測變位狀況，其測點佈置以沿隧道中線兩側各 20m 為範圍，隧道內之配置儀器計測斷面。

本穿越段全長 183 公尺，計有 11 個監測斷面，包括地表沉陷點 152 處，測點遍及高速公路路肩、中隔島及隧道沿線之地面，其計測頻率如表 6.4-4 所示。另高速公路車道沉陷量測視路肩或中隔島測點有異常現象時，即通知高速公路局管制交通進行量測。

表 6.4-4 高速公路穿越段施工監測頻率

計測項目	量測頻率
內空變位 頂拱沉陷	開挖階段：每天量測 灌漿階段：2~3 天量測一次
伸張儀	7~8 天量測一次
傾斜儀	每月量測一次
地表沉陷	每 10 天量測一次
水位觀測井	每月量測一次

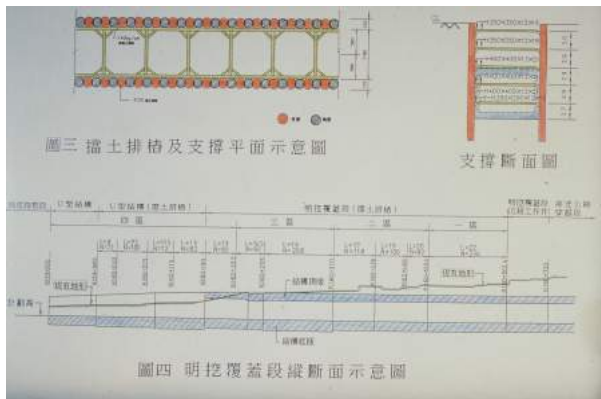


圖 6.4-3 三義隧道明挖覆蓋段示意圖

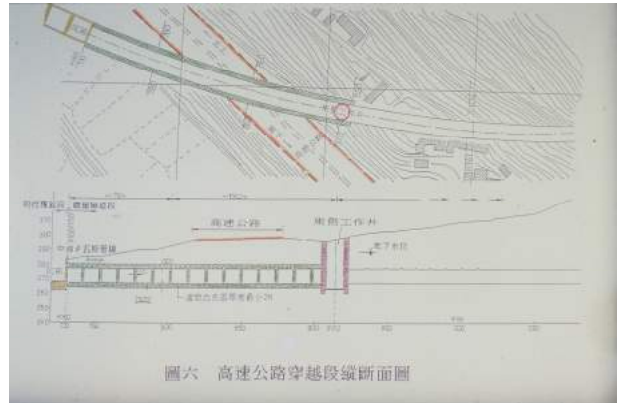


圖 6.4-4 三義隧道穿越高速公路段示意圖



照片 6.4-9 三義隧道北洞口



照片 6.4-10 三義隧道北口連接新鯉魚潭橋

## 6.5 總結

新奧工法在引進台灣已逾廿年，由其是在鐵路隧道工程方面，自七〇年代東線鐵路拓建的自強隧道起，歷經八〇年代的北迴鐵路新建工程、宜蘭線鐵路拓寬工程，迄至九〇年代的南迴線鐵路新建工程，累積了相當的施工經驗，也培養了一批優秀的工程師，不過，三義隧道含蓋北口段長逾一公里的卵礫石帶，則是以前所沒有做過的，故在規劃、設計、施工等各個階段都格外謹慎。

鐵路山線三義隧道工程規模僅次於南迴線中央隧道及北迴線觀音隧道，為一雙軌鐵路隧道，路線所穿越地層之地質情況複雜（其中尤以紅土礫石層及南莊層膠結疏鬆砂岩二者對隧道施工最具影響），除面臨三義斷層、十六份斷層及其破碎帶之影響外，亦須克服大量地下水之湧入問題；穿越高速公路下之隧道施工技術及高速公路路面沉陷量控制技巧則係對承包商施工品質的嚴酷考驗，此外，尚需避開隧道南口潛移崩坍區及密集之民宅區，施工中同時要維持現有鐵路行車等限制，均使本工程之施工困難度增加，更具挑戰性。

工程自路線研選之初，即順利地完成路線規劃及後續之地質調查與基本設計工作，係確保後來長達四年多施工過程，能順利進行之重要前置作業，而本隧道工程亦以統包契約方式，交由承包商施工完成，為目前台灣鐵路排名第三之長大隧道。

## 6.6 集集地震災害搶修與復舊

三義壹號隧道自 1992 年 4 月開挖，至 1996 年 2 月貫通，1998 年 9 月完工通車，有效提昇鐵路山線之路線設施標準，達成提高行車速率與牽引噸數之建設目標。

1999 年 9 月 21 日台灣中部發生芮氏規模 7.3 之集集大地震，車籠埔斷層錯動，三義壹號隧道距車籠埔斷層北側延伸段約 11km，距震央約 55km。依斷層錯動相對位置區分，隧道落於下盤區域。依據中央氣象局（1999）發布之地震資訊，隧道附近地震震度為 5 級（80~250gals）。

包括三義隧道在內，中部地區五十餘座隧道發生襯砌混凝土龜裂或掉落、側壁內擠、路面龜裂與隆起等程度不一的受損現象。相較於許多地表結構物幾近毀滅性之破壞，山岳隧道之受損程度可謂輕微。惟隧道處於封閉空間，受震損害後搶修不易，往往費時甚長，影響交通，加之隧道通常為兩地交通之捷徑，隧道受震損害對救災與復建工作影響甚大。

有關三義壹號隧道的緊急搶修，及復舊工程，將於下一章 7.5 節中詳述。

# 7、隧道災害搶修

## 7.1 隧道口

隧道口災害一般最為常見者，是洞口兩側山坡坍方，有時也伴隨洪水直沖而下，淹沒路基，造成此一現象，主要係隧道工程建造時，基於經濟考量，在隧道深入山腹前，兩端洞口附近覆土深度較淺的引道段，都採用明挖路塹斷面，路線兩側皆置以擋土牆、護坡等設施，致原山坡面之地表逕流水，更易順地勢集中流向隧道口，台鐵的隧道口災害多屬此種型態。



照片 7.1-1 隧道口災害



照片 7.1-2 隧道口災害



照片 7.1-3 南迴線枋山隧道口災害



照片 7.1-4 南迴線大竹4號枋山隧道南口及多良1號橋台邊坡坍塌



照片 7.1-5 山線大甲溪橋向后豐隧道方向 洞口大片邊坡為卵礫石層 易崩塌

## 7.2 隧道內淹水

隧道內災害以湧水最為常見，主要是因為早期的隧道工程，首重導水，而非防水，這在施工階段本無可厚非；但隧道完工後，若經年滲漏水，對隧道結構之耐久性，較為不利。近年來，隧道之壁體外側，多加上一層防水膜，有些則採全斷面防水設計，故新建隧道滲漏水情形已經獲得改善。

然而，本節所謂的「隧道內淹水」，指的是隧道內滲漏水量超過邊溝（或側溝）所能排放之流量，結果造成隧道內淹水，若水位滿溢至鋼軌底，將導致軌道電路中斷，列車停駛；而前述現象多發生在台鐵老舊隧道，經連日豪大雨之後。

以北迴線永春隧道為例，便曾發生多次隧道內淹水災害，鐵路局投入經費多次改善，效果仍不顯著，工程司為徹底解決此一問題，甚至將隧道內道碴、枕木、路基全部取消，全部改為柱列式軌道，鋼軌以下斷面皆用來做為排水斷面，還不夠用，最後，再將兩側壁附掛滿排水管，災害依舊發生，造成行車中斷。台鐵局不得

已，籌資花大錢在原隧道旁邊，增建一條排水隧道，將永春隧道內的「洪水」側向導入排水隧道，現在到永春隧道南口仍可見一大一小兩個隧道洞口，大的走火車，小的宣洩洪水的特殊景象。

另外，納莉颱風時水淹台北地下隧道災害及搶修，又是有別於前述的「隧道內淹水」的情況。

## 7.2.1 納莉颱風台北地下隧道災害搶修與復舊

2001.9.14~9.19 納莉颱風襲台，為期六天的豪雨，對北台灣造成極大的災害，臺北地下隧道因氾濫市區的洪水灌入，全段隧道被淹沒，當市區洪水退去時，隧道內卻仍充滿水無法排除，最後，幾乎動員全台大型抽水機，從各個通風口、逃生通道，全面抽水，歷經十日，方才將隧道內積水抽乾，恢復通車。

此後，政府其他部門，記取教訓，紛紛改善堤防、閘門，台鐵亦將抽水馬達改移至地面上的機房，配合基隆河上游的導水隧道，及中下游疏濬整治計畫相繼完成，台北市區已逐漸遠離淹水的夢魘。

### 一、台北地下隧道進水區段

鐵路台北地下隧道自松山引道經台北車站、萬華車站、板橋車站至第一大料崁溪引道口全長 15.450 公里，另有機廠支線之機廠引道及維修用之華山引道。隧道內除通風口、緊急逃生口及光復臨時站、復興臨時站與地面相連通。其餘均在地下 6 公尺以下（圖 7.2-1）。

### 二、台北地下隧道受災情形

本次台北隧道進水係因基隆河水暴漲，洪水越堤漫流市區，致松山地區全區淹水，再經由松山引道及機廠引道灌入隧道中，自引道口向西依次淹沒光復臨時站、復興臨時站、台北站、西門臨時站一直至 30K+190 止（圖 7.2-2）。

### 三、搶修經過（施工主任筆記摘錄）：

#### 九月十七日

早上八點雨勢仍未停止，台北市內大部份道路均已積水，人車無法通行，為了到達松山引道口附近，遶道市民大道高架橋（鐵路地下化隧道上方）到達光復臨時站時，馬路上到處是積水。由逃生口進入隧道內發現隧道內積水已超過月台層快淹至 U-1 層，概估有五公尺高以上。經由局裏防災中心連絡得知水流仍由松山引道及機廠引道不停地流入隧道中，且已連絡地鐵處及水利處趕赴現場抽水，中午十二點時，地鐵處抽水馬達已到但光復臨時站因電力設施淹水跳脫，已無電源而無法抽水，而水利處之大型機具最後到達復興臨時站，經由吊車打開隧道上頂蓋吊下大型抽水機，此時已是晚上八點。經由組裝機器、安排管路及安裝臨時照明及通風設



備等終於開始抽水，而地鐵處之抽水馬達則載至華山引道由六號逃生口配管抽水。

台北站之積水已有月台層高度，經由現場會勘，決定由各月台層樓梯直接抽至一樓大廳外。此時回到復興站已是九月十八日凌晨三點，水利處一台大型抽水機已開始運作抽水，地鐵處也已在華山進行抽水，台北站的軍方也陸續加強抽水中。

### 九月十八日

水利處於上午九點，又支援一部大型抽水機於復興站加入抽水行列。另外，上午中國石油公司人員到現場探勘，因深度太深無法支援因而作罷。中午時，地鐵處於西門站架設抽水馬達開始進行抽水工程。晚上，軍方又由台北站支援六部 P250 抽水機並於光復站重新成立抽水點。

中午時，台北車站因淹水使得各項給水消防設施及幫浦均故障無法使用，進而使整個大樓處於無水可用之狀態，遂緊急商議廠商進入台北站預備水塔搭設臨時給水管路及加壓馬達將水打入屋頂水塔，解決無水可用之窘境。

### 九月十九日

上午十點高工局支援機具先到達台北站，以接駁方式，先將月台下積水抽至月台排水陰井，再由軍方於月台上之抽水機抽至一樓戶外，此時台北站已可見到軌道面了。隨即商議平日維修廠商進行整修抽水控制盤及維修各項馬達以加速抽水之速率。

中午軍方提供馬達十具運抵復興站，預計晚間發電機入場後，即可安裝加入抽水行列，但為先搶通萬華－台北間隧道，將其中四具 15HP 馬力之沉水馬達先載運至延平北路站組裝抽水。晚間，地鐵處華山站已抽水完成，預定移至洛陽街二號抽水站重新配管抽水，加速搶通萬華－台北間隧道。

### 九月二十日

延平北路站 15HP 馬力之抽水馬達組裝完成開始抽水，但因水位下降速度快，故需經常延伸抽水位置，不斷延伸電線及水管。

下午二點，台北站內月台層已全部抽水完畢，但地下二層之 U2C、U2B 仍有積水，乃由高工局持續進行抽水工程。下午二點半，民航局提供二具抽水機進駐復興站安裝抽水。另地鐵處於華山站移至洛陽街二號抽水站安裝之抽水機也組裝完成開始抽水，並於西門站對原安裝於北隧道二號抽水站之抽水馬達進行恢復功能之搶修。

### 九月二十一日

上午九點時台北站內抽水全數完成，並立即進行復舊工作，清洗軌道及車站月台，於各污水坑及雨水坑安裝臨時控制盤回復台北站功能，並加速修復消防設備。

下午七點，萬華－台北間隧道內僅存少許積水，而此時也僅靠延平北路站 15HP 馬力之抽水馬達及西門站原安裝於北隧道二號抽水站之抽水馬達抽水，為加速抽水，乃協調軍方，調派 15 名士官兵到現場堆砌砂包拉水帶及電纜線，一直至凌晨才將馬達安裝至定位再抽水。

### 九月二十二日

上午八時，延平北路站抽水工程全數完成，立即拆除馬達收水帶及電纜，利用平板車載至華山引道口，由吊車吊至安東站繼續組裝抽水。同時進行復舊工作並清洗軌道，並由軍方安排消毒車消毒，且立即進行試車，下午二點台北－萬華間正式通車。

地鐵處西門站之機具則移至敦化站，重新配管抽水。復興站水利處支援抽水機因為揚程問題，必須兩台串聯，其中一台吸水，另一台則抽水，才能將水抽出隧道。

### 九月二十三日

由於台北－萬華間正式通車，故搶修重心移至松山－台北間隧道。地鐵處洛陽街抽水工程全數完成，也並遷移至建國站重新組裝設立抽水點。另外水利處也增加支援，另加派六台大型抽水機，以兩台串聯方式組合，共增加三組加入抽水行列。

### 九月二十四日

軍方支援光復站抽水之人員機具於晚間六點時，抽水工程全數完成，所有人員則分為兩批，分別移至延吉站及八德站設立抽水點支援抽水工程。

另復興站水利處抽水機因東部另有颱風來襲，將一部機具調回花東地區作防護措施，故又調派另一地區機具支援一部抽水機組裝抽水。

### 九月二十五日

復興站抽除積水已退至月台層下，且台北電務段修復發電機及變電站，重新供應復興站地下一層電力，故將安東站四組抽水馬達轉由復興站供電，原使用發電機則運至建國站，供應原來五號抽水站馬達運轉。此時松山－台北間隧道積水已分為兩區，分別為延吉至復興及復興至八德兩區。

### 九月二十六日

上午八點復興站已抽水至軌道面，大型抽水機因管徑大已無法抽水，只好請吊車依依將各河川局抽水機吊起，並陸續以卡車載離開；安東站由於沉水馬達口徑較小一直到晚上十點才無法抽水停止運轉。

### 九月二十七日

本日凌晨四點，經推算隧道內積水量尚餘二萬二千餘立方。

下午四點，軍方八德站之抽水工作，則因抽至軌道面已無法再到抽水，人員機具均退到大安站；隨後地鐵處建國站也完成了抽水工程，復興至八德區均已抽水完成。此時僅餘延吉至復興區大安及敦化仍進行抽水作業中。

### 九月二十八日

上午十點大安站已抽水完成，此時僅敦化站仍在抽水，中午時北側已抽不到水，僅餘南側二組抽水馬達抽水；另原六號抽水站之抽水經修復已回復抽水功能，加速抽水直至晚上十點才全部抽水完成。立即進行清洗軌道及試車工作，並於十一點通車，纏鬥十餘天之抽水終於結束，惟後續之抽水仍須人工不定時查看，以維路

線之順暢。

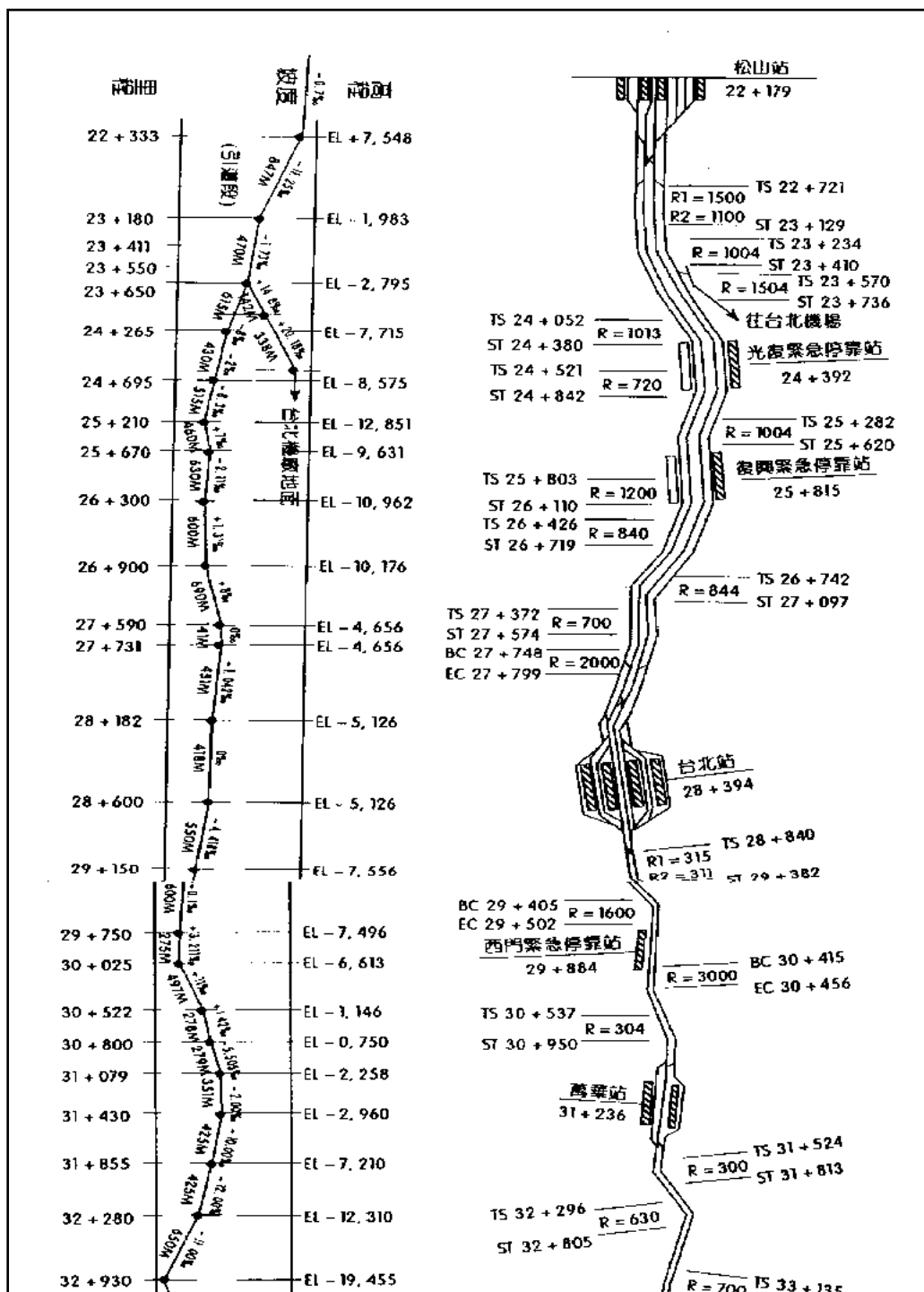


圖 7.2-1 台北地下隧道相對高程及平面位置圖

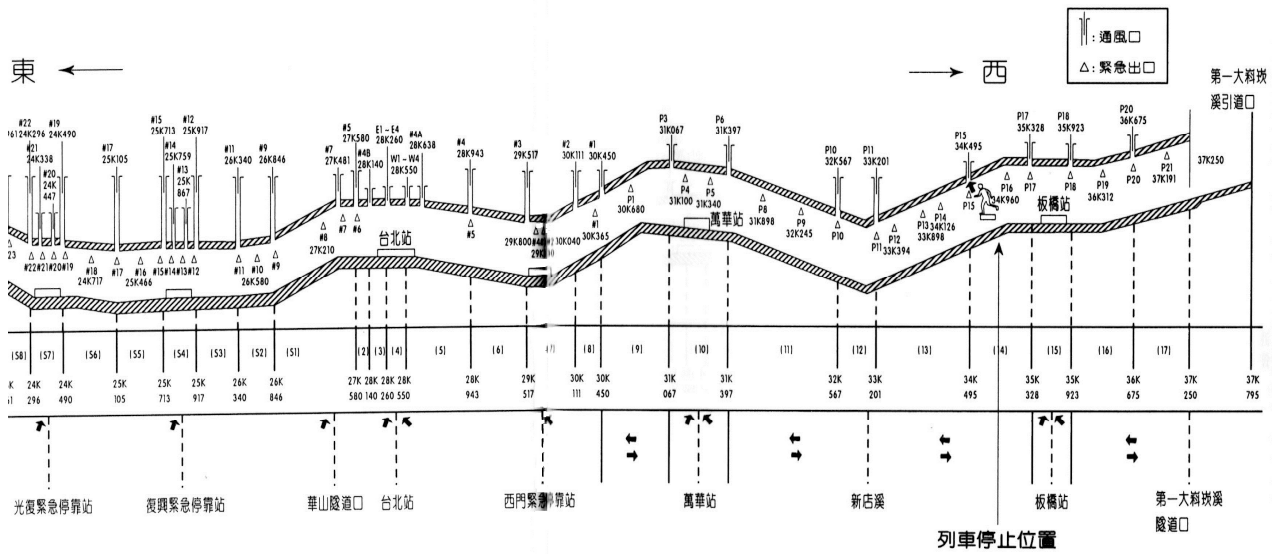


圖 7.2-2 台北地下隧道通風口及緊急逃生口位置圖



照片 7.2-1 隧道內緊急安裝抽水機配管配線抽水



照片 7.2-2 隧道內緊急配置抽水管抽水



照片 7.2-3 安東街緊急出口處抽水現況



照片 7.2-4 軌道污泥清理

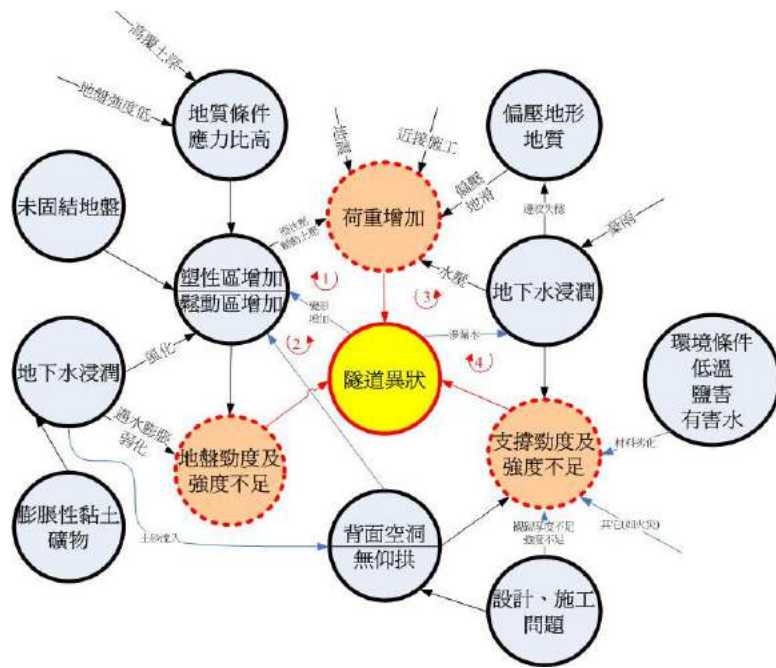
### 7.3 隧道壁體劣化與剝落

隧道壁體多屬無鋼筋混凝土結構，若長期處於滲漏水狀態，較易劣化，使微細裂縫快速發展，若裂縫相互連接，則最後可能導致整塊混凝土剝落。此時，若列車剛好通過，可能造成嚴重的行車事故，甚至，若剝落的混凝土塊太大，掉入路線淨空內，亦將肇致行車事故。所以，當巡路人員發現有混凝土剝落之虞時，即以災害視之，立刻進行搶修程序。

隧道異狀之發生因素，大致上可分為外在因素與內在因素如（表 7.3-1）所示，所謂外在因素泛指外在環境受改變所引致之外力增加或襯砌材料劣化；而內在因素係指在設計上或興建時施工不良所造成無法承受外力之現象。而各影響因素間之相互關係可以隧道異狀網狀關係圖（圖 7.3-1）來加以說明。隧道異狀的生成，其直接因素為荷重增加、支撐構件及周圍地盤之強度及勁度的減低；而間接關聯的滲漏水問題，則會增加對材質劣化及空洞生成的不利影響，進而加速異狀生成及惡化。

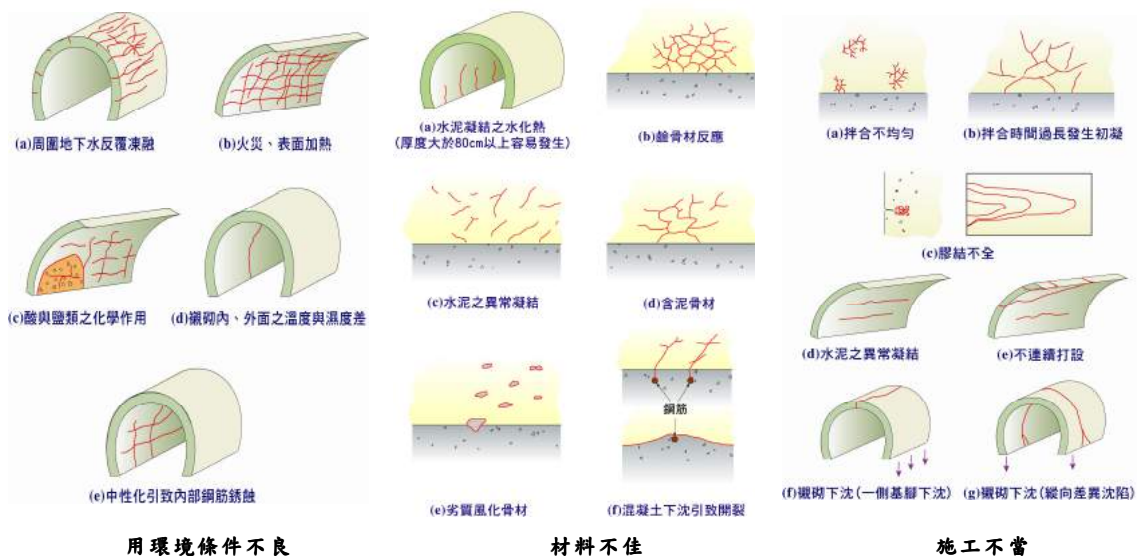
表 7.3-1 隧道異狀原因分類表

因素分類		自然因素	人為因素
外在因素	外力	地 形：偏壓、地滑。 地 質：膨脹壓、擠壓、隧道上方鬆動岩土重壓、地盤沈陷、基腳之地盤承载力不足。 地下水：水壓、 脹壓。 其 它：地震、地殼變動。	鄰近施工(開挖、回填、蓄排水)。 其它(列車行駛振動、空氣壓力變動等)。
	環境	老 化：中性化、風化、劣化。 地下水：漏水、有害水。 其 它： 害、 害。	火災 煙害
內在因素	材料		骨材含泥量、異常凝結、 骨材反應、溫差應力(與養護有關)、乾縮(與養護有關)。
	施工	混凝土打設時之氣溫、濕度	養護不良、過早拆模、拆模時引發之突發荷重、粒料分離、襯砌背後空洞、不均質之打設、混凝土模具下陷、接縫、施工縫施作不良、打設中斷(形成冷縫)、支保下沉、振動、防水工施作不良、襯砌厚度不足。
	設計		防水工設計不良、襯砌厚度不足、混凝土強度不足、側壁陡直、側壓土重不足、無設計仰拱、排水工不良、保護層不足，無隔熱設計。



外在因素中之外力又可概分為三大類，即塑性壓、鬆動土壓及偏壓。當襯砌厚度不足、背後空洞或施工接續不良則隧道易因周圍地盤塑性化所形成之壓力而產生異狀；而當襯砌背後空洞造成地盤鬆動落下，亦會造成隧道襯砌破壞；當襯砌長期承受左右非對稱之偏壓，也有可能引致隧道發生異狀。

因使用環境條件不良、材料不佳或施工不當所引致隧道襯砌異狀則如圖 7.3-2 所示。若將襯砌採材料力學的自由體視之，其受外力而產生破裂之類型，可分為彎矩破壞、剪力破壞及軸力破壞，實際上則常混合各種類型，如圖 7.3-3 所示。混凝土類襯砌，亦常因化學作用生成膨脹性化合物，而產生內應力，造成襯砌剝離之現象。而因環境之外在因素而導致隧道襯砌劣化之物理及化學機制如圖 7.3-4 所示。



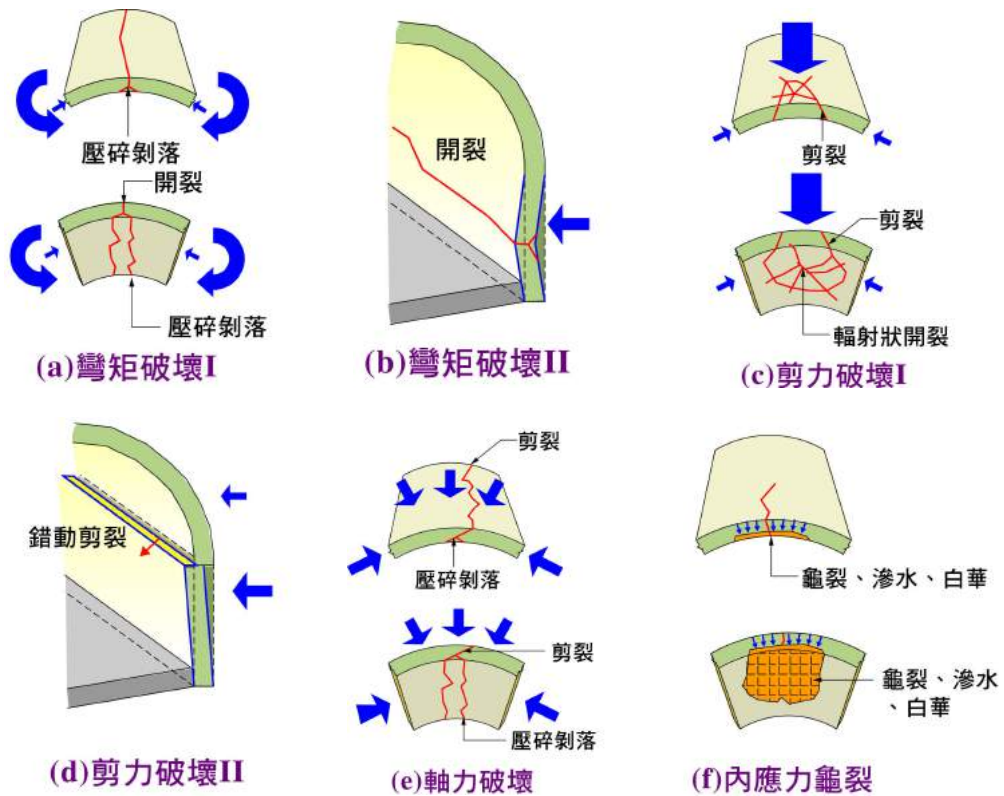


圖 7.3-3 隧道襯砌破裂模式示意圖

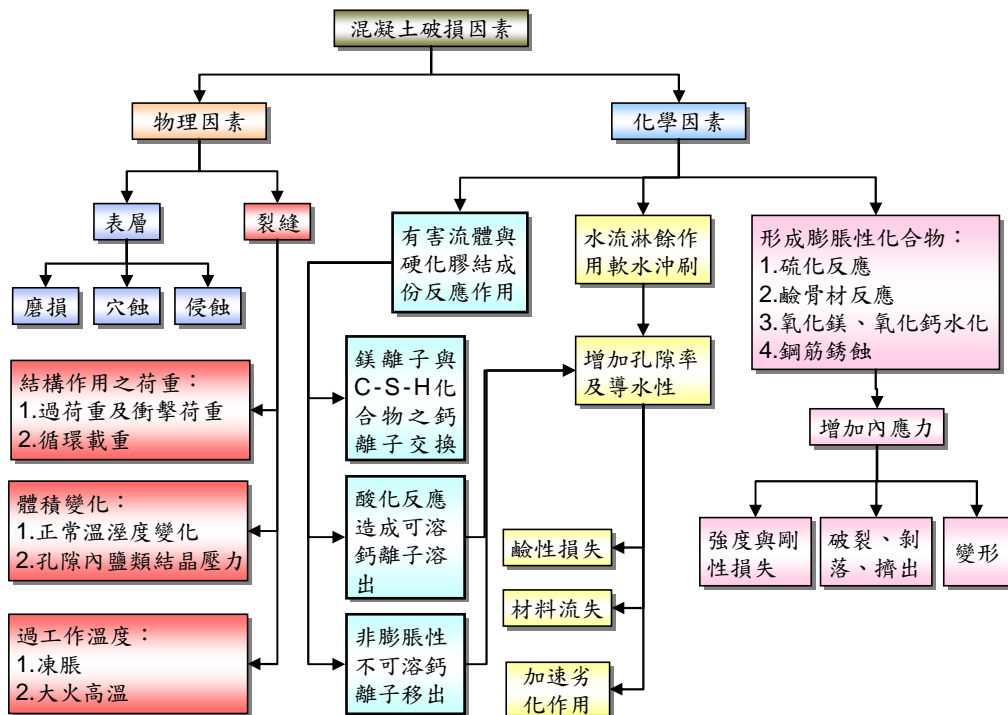


圖 7.3-4 隧道襯砌劣化之物理及化學機制

綜合上述外在及內在因素，歸納整理本計畫七座隧道異狀之可能原因如下：

#### 一、剝落

剝落之原因包括

- (1)外力變化使裂縫閉合產生之剝落；
- (2)施工縫滲漏水侵蝕產生之剝落；
- (3)混凝土襯砌滲水濕潤劣化產生之剝落；
- (4)冷縫劣化閉合產生之剝落；
- (5)環向裂縫劣化閉合產生之剝落；
- (6)綜合上述裂縫閉合或劣化產生之剝落。

#### 二、縱向開口裂縫

襯砌承受偏壓、塑性壓等外力時，襯砌受彎向內位移，內緣張應力大於襯砌極限強度，則襯砌內緣開裂，發生縱向開口裂縫。一般常見在起拱線位置或側壁中央部位，可單獨發生或伴隨其他裂縫出現在其他部位。

#### 三、縱向閉口裂縫

襯砌兩側受擠壓，且頂拱背後圍岩疏鬆，則兩側起拱線位置可能發生縱向開口裂縫向內位移，而頂拱處則可能出現壓裂閉口裂縫，向上位移。

#### 四、環向裂縫

隧道易因溫濕度變化引起混凝土襯砌之收縮應變，使混凝土襯砌面發生環向裂縫，一般常見在易受外界溫濕度影響之洞口段。

#### 五、滲水

因南迴線金崙等七座隧道全線均無鋪設防水膜，ASSM 工法之水平施工縫起拱線處、垂直施工縫及冷縫等位置，易產生滲水現象。

#### 六、白華

「白華」是水泥水化物中的氫氧化鈣  $\text{Ca(OH)}_2$  溶於水滲出混凝土表面而析出，再與空氣中二氧化碳  $\text{CO}_2$  生成碳酸鈣  $\text{CaCO}_3$ ，固著於混凝土表面並呈白色。白華如果集中於一處，顯示該處混凝土搗實不均或已經產生裂縫。



## 7.4 地震對隧道的影響

一般等級的地震鮮少對隧道結構造成影響，回顧台灣西部山線鐵路自有儀器觀測地震以來百年間（1898~1999），災情最為嚴重之十一次地震災害中，有二次嚴重影響西部山線鐵路隧道行車；一次為 1935 年之新竹~台中烈震，另一次為 1999 年集集大地震。在 1999 年集集大地震後，台灣西部鐵路新舊隧道共計 19 座（如圖 7.4-1），經過現場調查、檢討及歸納隧道襯砌震害可分為五類：（1）環向混凝土剝落（2）縱向平行裂縫（3）頂拱混凝土剝落（4）側壁混凝土裂縫、剝落（5）小型避車洞裂縫。

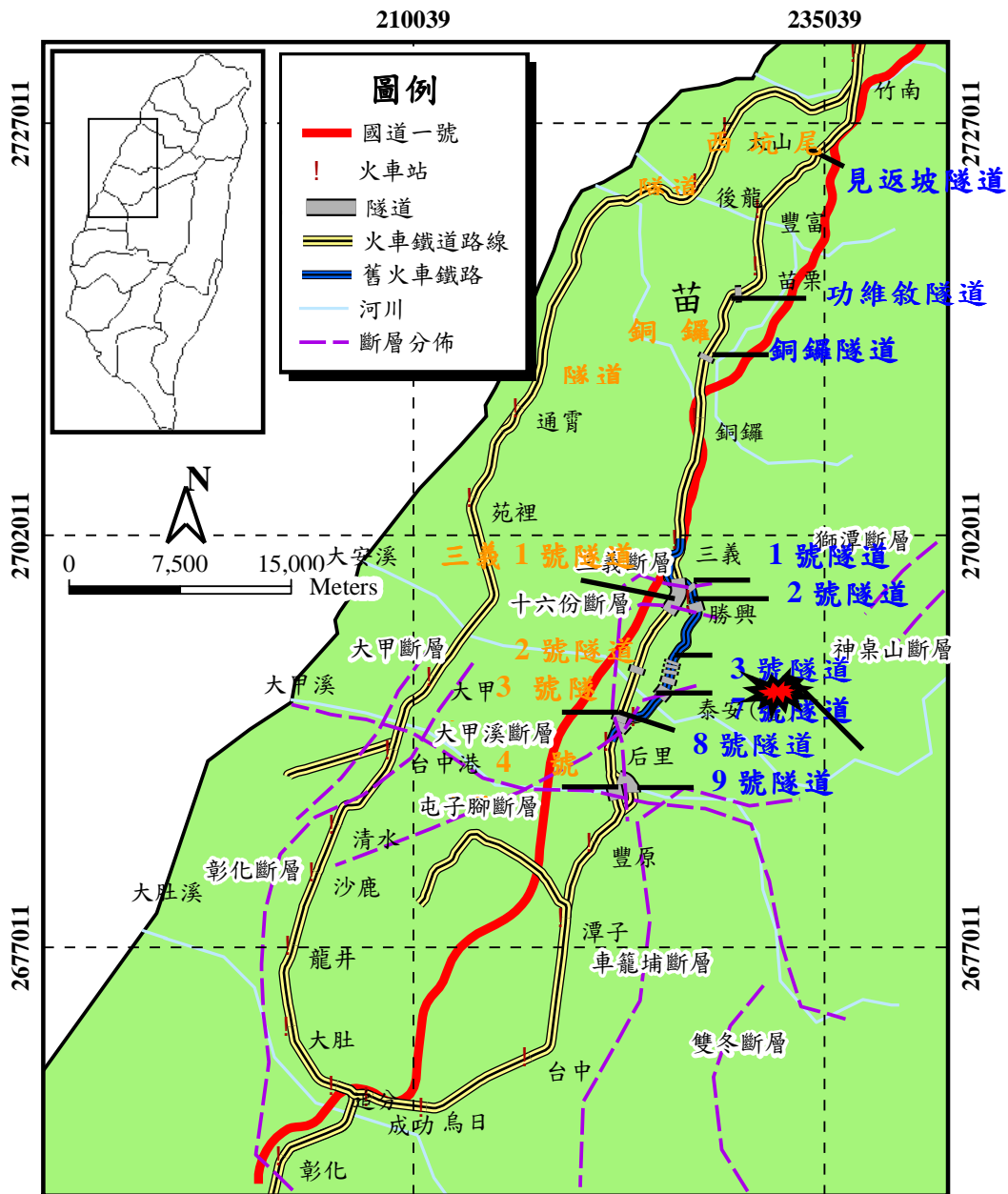


圖 7.4-1 集集地震斷層帶與鐵路隧道相關位置示意圖

## 7.4.1 新山線三義 1 號隧道震後調查

鐵路山線三義隧道為西部山線於 921 地震災害最嚴重的區間，依結構及設施功能分三部份描述，一為隧道本體，其次為軌道部份，三為電車線部份，分述如下：（如表 7.4-1 及圖 7.4-2a 所示）

### 一、隧道本體

#### 1. 在里程 K161 附近之襯砌震害計參處：

- (1) 161K+300 附近：大型避車洞上方頂拱混凝土全部剝落寬度約 3m，坍塌之混凝土堆積約 10m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-2）
- (2) 161K+380 附近：頂拱混凝土剝落，範圍約 4m（環向）×1m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 6m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-3）
- (3) 161K+395~430：裂縫分佈連續達 3 模內襯砌混凝土範圍，161K+395 附近東側壁混凝土剝落，裂縫向上向南延伸，於頂拱上方寬度約 50 cm，至 161K+400 附近為止，餘 161K+420 並與西側避車洞壁附近之裂縫連接。（詳圖 7.4-4）

#### 2. 在里程 K164 附近之襯砌震害計參處：

- (1) 164K+740 附近：預拱混凝土剝落，範圍約 2.5m（環向）×4m（縱向），並有裂縫向南延伸。（詳圖 7.4-5）
- (2) 164K+758~810：裂縫分佈連續達 5 模內襯砌混凝土範圍，北端 164K+758~771 南端 164K+802~810 範圍各有 1-2 條明顯之裂縫約略平行頂拱，中段則形成閉合之裂縫，開口寬度最大約達 5 cm，坍塌之混凝土堆積約 10m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-6）
- (3) 164K+842~880：裂縫分佈連續達 3 模內襯砌混凝土範圍，北端 164K+841~860 範圍裂縫已閉合，隨時有掉落之虞，南端 164K+860~878 之裂縫約略平行頂拱，開口寬度最大約達 1.5 cm。（詳圖 7.4-7）

#### 3. 在里程 K165 附近之襯砌震害計兩處：

- (1) 165K+630 頂拱混凝土剝落，範圍約 3m（環向）×7m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 2m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-8）
- (2) 165K+800 附近：頂拱混凝土剝落，範圍約 3m（環向）×5m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 1m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-9）

### 二、軌道部份（詳圖 7.4-10 所示）

由於地震造成地盤上下、前後、左右之搖動，易使路線之鋼軌框彎曲變形。

1. 161K+300 雙線軌道挫屈 30m。

2. 161K+380 雙線軌道挫屈 25m。西線向西偏 44 cm，東線向西偏移 54 cm。

### 三、電車線部份

因火車之電力系統及支撐架，直接固定隧道頂拱上方，地震災害頂拱襯砌剝落時，會連帶扯下電車線及支架。

- 1.161K+380 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 80 公尺之電車線懸垂。
- 2.164K+800 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 80 公尺之電車線懸垂。
- 3.165K+630 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 100 公尺。

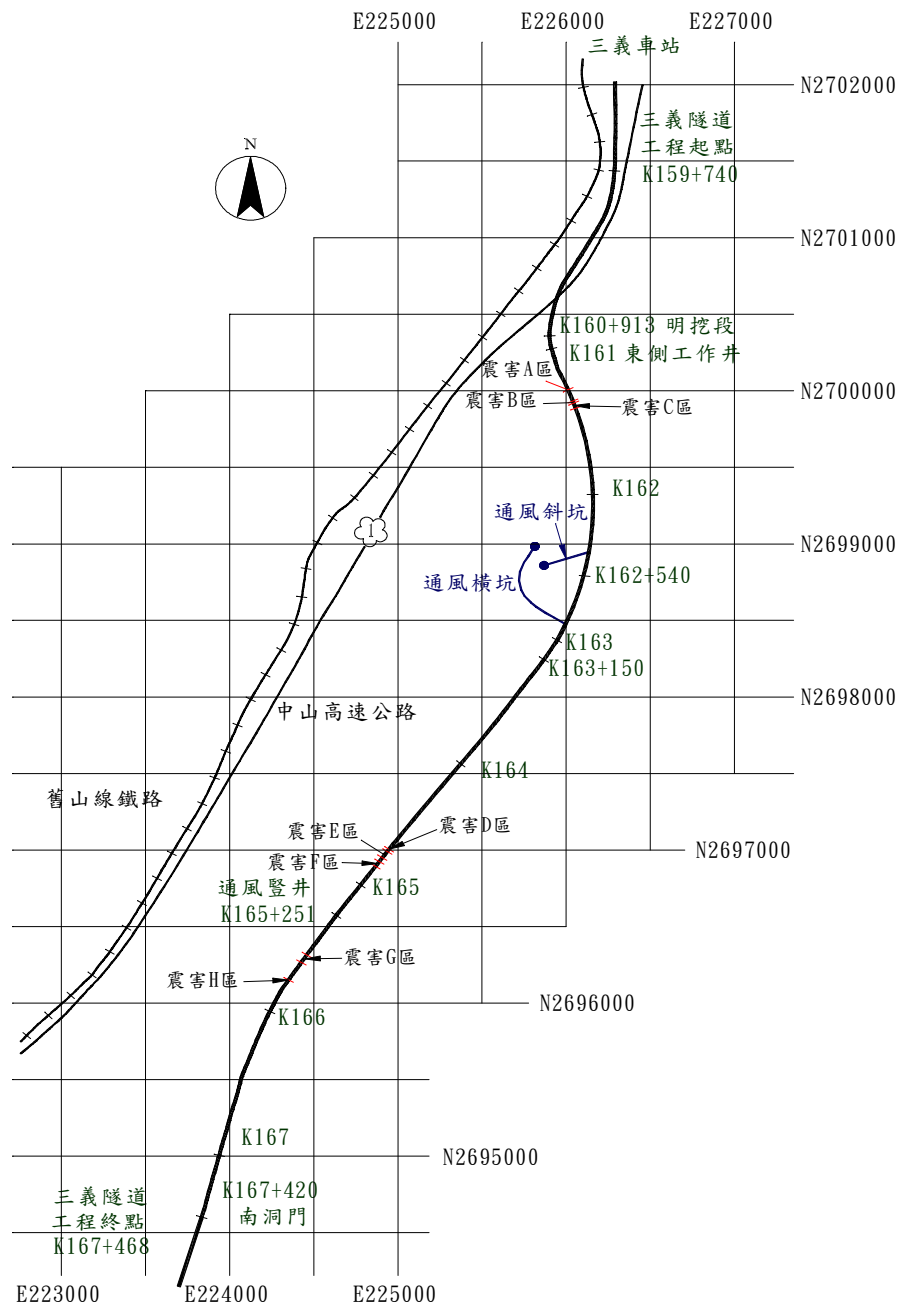


圖 7.4-2a 三義 1 號隧道震害位置示意圖

表 7.4-1 三義 1 號隧道震害影響因素

區段	震害位置	覆蓋厚度(m)	特殊地質構造	岩體等級(RMR)	施工災害	輔助工法／特殊處理	變形／開挖直徑(%)	支撐應力	結構配置	襯砌混凝土密實度及完整性
A	161K+300 附近	45	三義斷層帶	IVa (19)	—	5 次灌漿補強	4.1	—	大型避車洞	局部不佳
B	161K+300 附近	33	三義斷層帶	IVa (14)	岩體破碎。抽心坍塌	1 次灌漿補強	0.3 (註 1)	—	小型避車洞	良好
C	161K+300~410	24~33	三義斷層帶	IVa (27~30)	—	—	0.3 (註 1)	岩栓軸力 8 噸	小型避車洞	不佳
D	164K+740 附近	122	—	III (43)	—	—	1.5	—	小型避車洞	局部不佳
E	164K+758~810	126	—	III (46~47)	—	—	1.5~1.8	襯砌應力 235ksc	—	良好
F	164K+842~880	130~150	—	IVa (19)	—	1 次灌漿補強	2.3	—	—	不佳
G	165K+600~660	105~110	—	III (35~37)	岩體破碎且遇水弱化，擠壓支撐破壞	前進支撐，環控，灌漿並重設支撐	3.6~5.5	—	—	不佳
H	165K+800 附近	125	寬 1.5m 剪裂帶	IVa (38)	—	—	2.5	—	小型避車洞	不佳

註：該位置接近隧道貫通點 161K+385，變形監測可能無法有效反映隧道行爲。

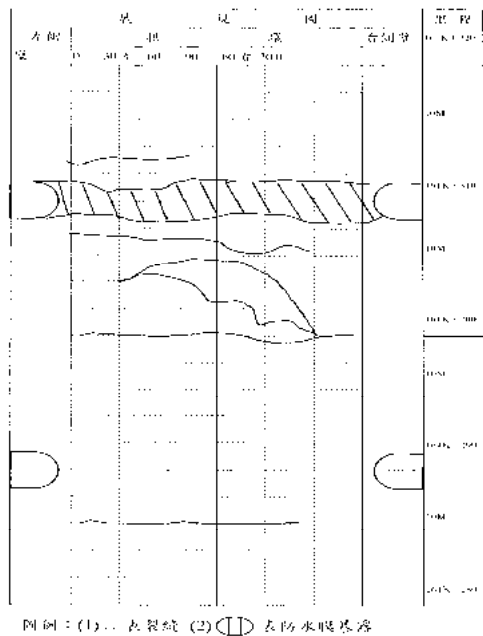


圖 7.4-2 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+280~320) (1999.9.27)

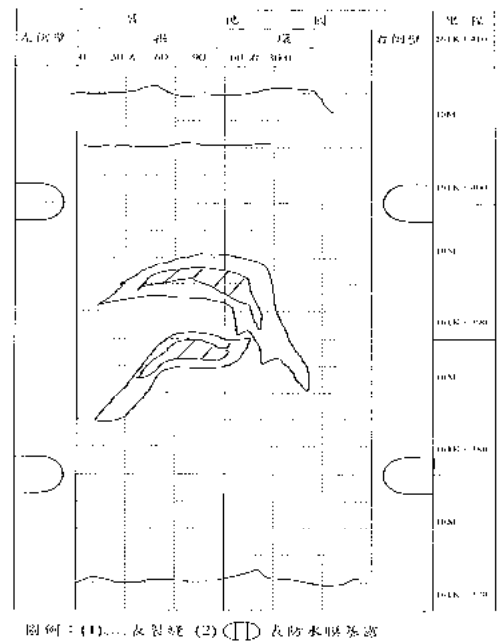


圖 7.4-3 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+370~410) (1999.9.27)

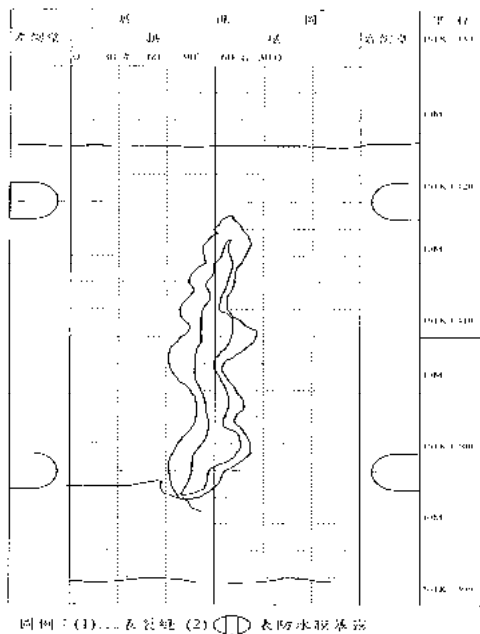


圖 7.4-4 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+390~430) (1999.9.27)

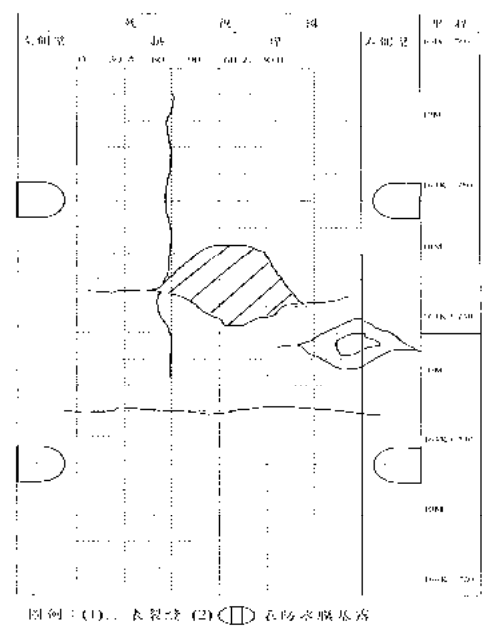


圖 7.4-5 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(164K+720~760) (1999.9.27)

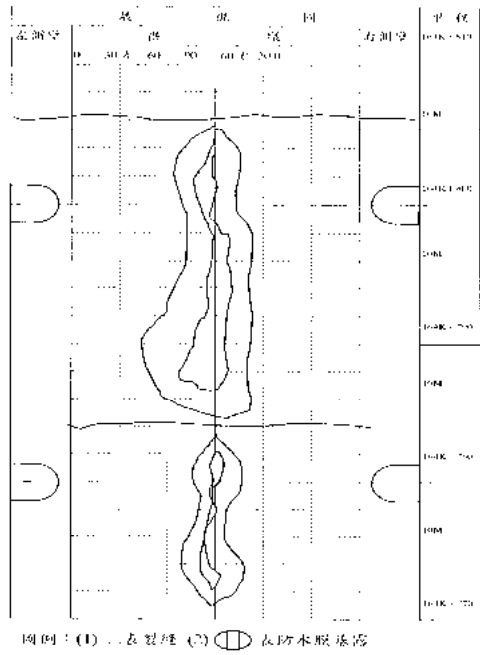


圖 7.4-6 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(164K+770~810) (1999.9.27)

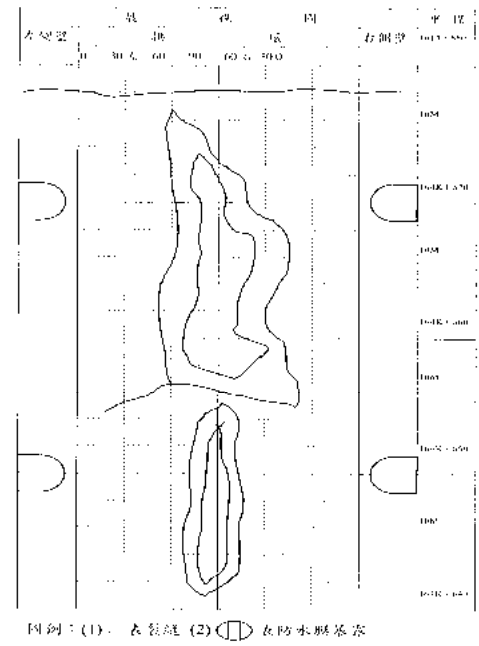


圖 7.4-7 三義 1 號隧道裂縫示意圖

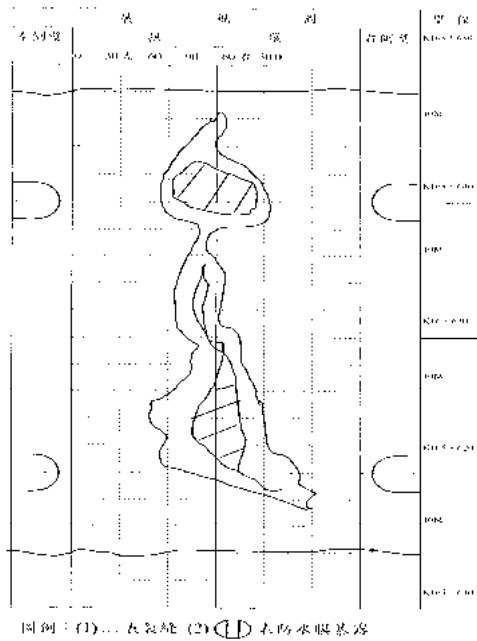


圖 7.4-8 三義 1 號隧道裂縫示意圖

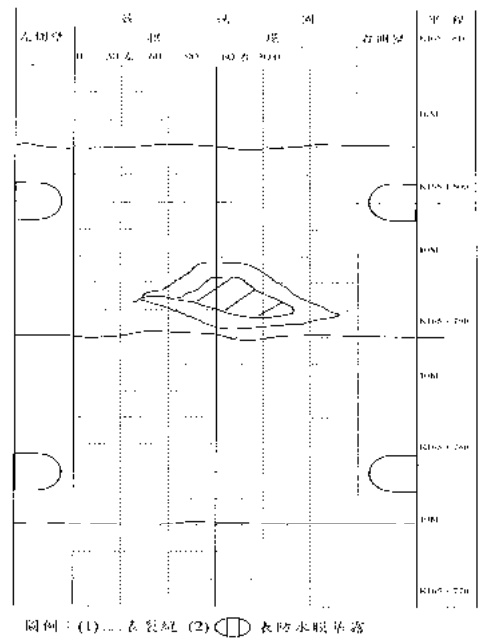


圖 7.4-9 三義 1 號隧道裂縫示意圖

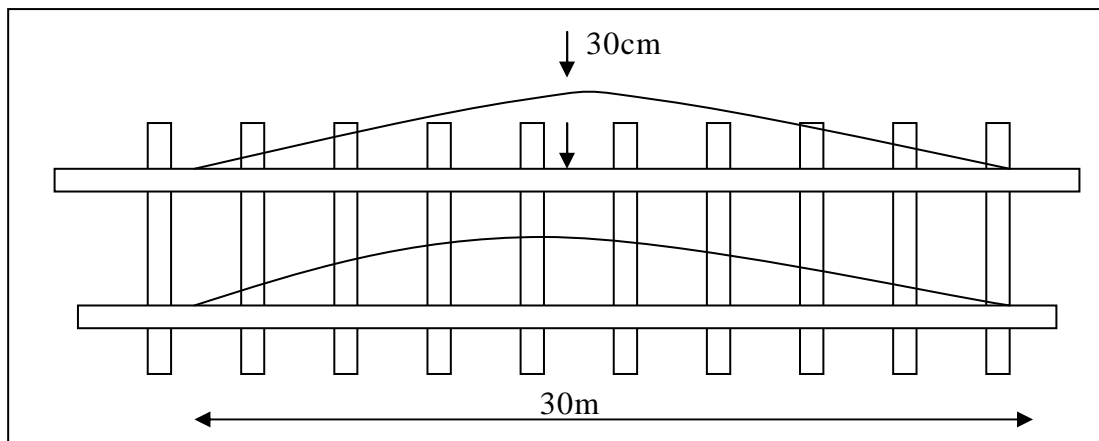


圖 7.4-10 軌框挫屈示意圖

#### 7.4.2 舊山線隧道震後調查

最初台鐵舊山線 12 座隧道建於 1898~1935，原始襯砌設計皆為磚砌，自 1935 年關刀山地震後，1938 年重建改為混合式；洞口、破碎段、地質不良段等襯砌使用鋼筋混凝土，一般地段用純混凝土加補強筋，地質良好地段使用 2 至 5 層磚砌作為襯砌。又於 1978 年台灣鐵路電氣化時，因隧道內淨空不足，將隧道底部之仰拱降低或部份鑿除。

一、舊山線於 1978.9.23 廢棄，其後 1998.9.24 至 2000.7.1 期間 1 號~8 號隧道派人定期維修及保養，但 9 號隧道完全廢棄，相關設施全數拆除，現場調查時請當時保養單位領班利用空檔時間，翻山越嶺徒步將各隧道實地進行踏勘，並拍照與量測工作及比照 1999 年集集大地震前後襯砌龜裂情況作業紀錄。以下作重點式描述。

- 1、1 號隧道經現地勘察，1999 年集集大地震時無震害發生。
- 2、2 號隧道發現有兩處襯砌裂縫 (a) 距北洞口約 100m 處，有一道環狀裂縫。(b) 距南洞口約 380 m 處有一段長 55m，東西兩側壁近等間隔 1~2m，高度約 3m 之垂直裂縫。
- 3、3 號隧道經現地勘察，1999 年集集大地震時無震害發生。
- 4、4 號隧道經現地勘察發現，近南洞口約 10m 處東西兩側各一道高約 3m 之垂直裂縫是 1999 年集集大地震造成，另一處於南洞口正上方牌坊頂有 2 道垂直各 1m 裂縫及 1m 之水平裂縫，為 1999 年集集大地震造成的。
- 5、5 號、6 號、7 號、8 號、9 號等五座隧道，經現地勘察，於 1999 年集集大地震時無震害。

二、另舊山線竹南至銅鑼間有 3 座隧道，經現地勘查結果如下述：

- 1、.西坑尾（日據時代稱見返坡隧）。
- 2、.苗栗隧道（日據時代稱功維敘隧道）。
- 3、.南勢隧道（日據時代稱銅鑼灣隧道）。

以上三座於 1998.9.23 廢駛經現地勘查 1999 年集集大地震時皆無震害。

表 7.4-2 舊山線隧道震後調查成果（92.12.27）

項次	隧道名稱	震害位置	覆蓋厚度 (m)	襯砌材質或施工方式	震害描述	備註
1	<b>舊山線 1 號隧道</b> K163+851~164+81 l=230m	無	8m~25m		921 地震無損害	92.12.27 現地調查
2	<b>2 號隧道</b> 164+950~K165+475 l=724m		13m~24m			
		K165+021			全環狀裂縫	
		K165+040 ~095		底拱為混凝土 襯砌為 3~5 層磚	高 3m 垂直裂縫等間 隔長 55m 間隔約	
3	<b>3 號隧道</b> K168+926~K167+433 l=511m	無	10m~67m		921 地震無損害	
4	<b>4 號隧道</b> K169+571~619 l=48m		5m~10m			
		南洞口附近 K169+610		此部份襯砌為混凝土 加環狀及縱向鋼 筋	東西兩側高約 3m 之 垂直裂縫	
		南洞口牌坊 正上方		垂直裂縫約 2m，水 平裂縫約 0.5m		
5	<b>5 號隧道</b> K169+687~924 l=236.5m	無	3m~25m		921 無震害	
6	<b>6 號隧道</b> K170+098~326 l=228m	無	7m~15m		921 無震害	
7	<b>7 號隧道</b> K170+530~171+791 l=1,261m	無	2m~65m		921 無震害	
8	<b>8 號隧道</b> K174+52~571 l=519m	無	3m~30m		921 無震害	
9	<b>9 號隧道</b> K177+839~179+109 l=1,269m	無	3m~102m		921 無震害	93.2.18 現場調查



### 7.4.3 震災損傷及破壞原因分析

根據上述歸納新舊山線隧 1999 年集集大地震現調成果表，予以各別檢討，震災損傷及破壞原因，如下述：

#### 一、舊山線 12 座隧道

- 1.竹南至三義間 3 座隧道於 1999 年集集大地震時未遭破壞，除南勢隧道被封閉外，其它豐富隧道及功維敘（苗栗）隧道已由地方政府接收，並開放民眾休閒用途。隧道未破壞的理由，可研判為該區震度小、隧道為小斷面、屬短隧道、無斷層帶經過、洞口及軟弱帶其襯砌為 R.C 結構耐震性足夠，故無震害。
- 2.三義至后里間共 8 座隧道，其中 1 號、3 號、5 號、6 號、7 號、8 號無震害。其理由可推估為，雖緊臨屯子腳斷層，但此斷層並未隨車籠埔斷層錯動而共振及造成錯動情況發生，且無其它斷層經過，襯砌耐震足夠，震度不大等因素。而 2 號隧道北段東側襯砌有震害，兩側等間隔長 55m 之垂直裂縫，由相關地質調查資料可推論，該隧道南口附近有 16 份斷層經過，且該斷層有隨 1999 年集集大地震之共振影響，且該處襯砌為磚砌，耐震強度不足，故有震害。另 4 號隧道南洞附近有一處半環狀裂縫及洞口上方牌坊有 0.5M~1M 之水平及垂直裂縫，其理由可推估為覆土層薄（5~10m），且為短隧道（L：48m），近似頭重腳輕之建物，然該處之襯砌為 R.C 結構，故於 1999 年集集大地震有震害，但輕微。另一理由為覆土層較小，以致受地表震動強烈，因而遭破壞。
- 3.后里至豐原間，只有 9 號隧道，其他址北口為后里台地，南口為大甲溪北岸，然南口左側方約 300 公尺處為三義斷層南端露頭，1999 年集集大地震時，山頂寬約 70m，厚約 30m，高約 75m 之體積塌滑至大甲溪北岸。且距離車籠埔北端轉折新生斷層帶最近（約 1.5km），但 9 號隧道經現調結果，幾乎無震害，其理由，可推估為無斷層經過，位於車籠埔斷層北端新生地震斷層之下盤，因斷層及河川與山岳之阻隔效應，加以覆土深度夠，及襯砌耐震強度足，故無震害。

#### 二、新山線 7 座隧道

- 1.竹南至三義間計 3 座隧道，經現調查結果皆無震害，其理由依現調資料及相關文獻可推論：因無斷層經過，1999 年集集大地震時該區震度不大（ $\leq 200\text{gal}$ ），為短隧道（ $\leq 1\text{km}$ ），洞口皆為 R.C 加強，施工困難段皆有特別加固處理，且為 NATM 施工使整個襯砌為一體較耐震。
- 2.三義至豐原間計 4 座隧道，除 1 號及 4 號隧道除外，其中 2 號及 3 號隧道皆無震害，其理由可推估為，無斷層經過，該區震度不大（ $\leq 200\text{gal}$ ），為短隧道（ $\leq 1\text{km}$ ），洞口皆為 R.C 加強，且為 NATM 施工襯砌為閉合結構足可抵抗當時震害。其它兩座另外討論如下：
  - （1）4 號隧道南口緊鄰大甲溪北岸三義斷層露頭左側約 300m 處，除該南

洞口兩側陡峭之裸露卵礫石壁面，稍有卵石被震落外，隧道內襯砌皆無震害，其理由可依據相關地震文獻及現調資料可推估為：因 1999 年集集大地震車籠埔斷層北端轉折新生地震斷層之下盤，且因斷層、河川與山岳阻隔效應，故 1999 年集集大地震影響，另因為短隧道，洞口有 R.C 補強及 NATM 施工，襯砌強度足抵抗當時震度，及三義斷層未經過該隧道。

(2) 三義 1 號隧道為新舊 19 座隧道中於 1999 年集集大地震中受震害最嚴重的隧道，其理由如下述：

- A. 該隧道北端有三義斷層經過，其斷層破碎帶長達約 290m，南端有十六份斷層帶經過造成地質不良、破碎帶、施工不良地段。因岩層性質變異較大，造成震波能量局部大量釋放，而造成損害。另一因素為三義斷層帶上覆土層只有 30~40m，易受地表震動破壞。
- B. 車籠埔斷層錯動，有帶動三義斷層及十六份斷層之三義 1 號隧道區域，確有地層錯動現象發生，只是不甚顯著。但在隧道線形方向（南北向）地盤並無明顯錯動傾向，隧道兩側地盤（東西向）則為整體地盤相對性的有東側抬高、西側下沉現象。
- C. 本隧道基本設計地震力為 200gal，依據距離三義 1 號隧道最近之建中國小測站(TCU128)，於 1999 年集集大地震測得各東西向之 PGA(PeakGroundAccerelation 即尖峰地表加速度)，值為 141.04 gal，南北向為 162.94 gal，求得合成向量為 214.2 gal 大於基本設計地震為 200gal，故有震害。
- D. 地震力大於設計地震力，但本隧道除洞口、交叉段、穿越高速公路段、明挖段有排放鋼筋外，其它處襯砌皆為純混凝土，故耐震不足而被震裂。
- E. 本隧道內每隔 20m 對稱設置小型避車洞及每隔 300m 對稱設置大型避車洞，依現調資料及破壞模式可推論，隧道設置避車洞受震時顯示應力集中及結構破壞之弱點。
- F. 依據資料照片，可看出震害嚴重地段，大塊襯砌掉落後，防水膜完好，防水膜可能阻隔噴凝土及二次襯砌，故一旦遭受震動強烈易使襯砌受張力破壞。

## 7.5 三義隧道震災搶修與復舊工法

### 7.5.1 復舊對策與流程

根據台鐵的「災害事故緊急通報流程」，當四級以上地震發生後，首先進行緊急調查作業，掌握隧道人車通行之危險度與災害擴大或發生二次災害之可能性，以作為緊急措施之依據。在此階段無法整體動員，機具器材亦無法充分具備，調查之重點係觀察隧道設施的受損情況。受損嚴重時，車輛無法通行，必須以徒步方式進行調查，有時亦可能遭遇無法進入調查、形成未調查區域的情況。通常在地震發生後 12~24 小時內，立刻進行整理、分析並判斷緊急調查的結果。最晚應在 72 小時內，掌握管轄內所有隧道的情況，並作出有無立即危險的判斷，以作為交通管制之依據。

緊急調查結果為掉落物清除、防護網鋪設、危險區標示、交通管制或禁止通行時緊急措施的主要依據，以防止災害進一步擴大。且往後的初步維修與正式復舊時，對其方針、重點區域的判斷具有極大的助益。

緊急調查與緊急措施實施後，即需進行第二階段更詳細的調查，即所謂的初步調查，此時必須由整體轉往細節部分，由概要轉往詳細的調查，逐次地轉移調查重點。初步調查階段發現緊急調查忽略的重大災害情況時，亦可進行緊急措施。初步調查的目的在維護緊急交通輸送機能與防止大規模二次災害，進行必要的初步維修工程。

初步調查的要點如下：

1. 緊急調查時所忽略或在無法調查的地區，是否有嚴重的受損情況。
2. 維護與確保初步交通的方法。
3. 至正式復舊為止的期間，是否可能延續發生大規模災害。
4. 一次災害或 3 項所指的設施受損造成民通受阻時，是否可能對於災區造成嚴重的影響。

由初步檢查結果得到隧道結構安全及車輛通行安全之判定，做出隧道安全、尚屬安全、危險之等級評估，以作為初步維修之依據。

第三階段乃利用初步維修工程所建立之緊急輸送機能與一般交通狀況維護的成果，進行隧道原貌重建之正式復舊作業。在本階段中，依安全檢測結果評估安全等級，決定正式復舊之隧道細部資料與復舊優先順序，進行復舊工法之施工計畫並提出預算申請。正式復舊工作的重點除了恢復震前之原貌與機能外，更應達到比原先結構更高的耐震能力，可承受較此次震度相同或更高的震度而安全無虞。

由安全檢測結果得到隧道目前為正常、可能破壞、即將破壞及嚴重破壞等四個安全等級，其對應的處理措施分別為平時檢查、擇期處理、儘快處理及立即處理等。

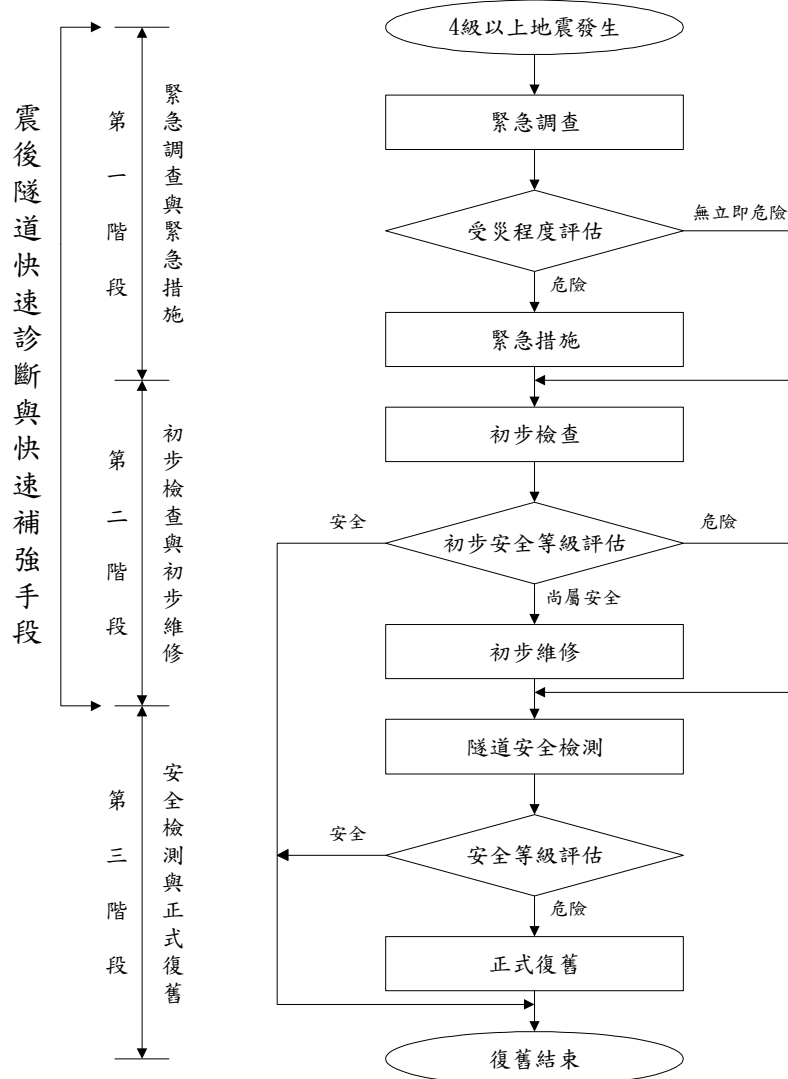


圖 7.5-1 隧道震後調查及復舊流程

## 7.5.2 三義隧道之震害修復

### 一、震後隧道結構調查與修復計畫之擬定

9月21日1時47分地震發生後，鐵路局工務處各工務段立即動員基層員工全面勘查震後路線狀況，於凌晨5時左右全部掌握包括三義壹號隧道等受損情況，並循程序向上通報。當日上午總工程司室、山線工程處、工務處與電務處等單位均派員赴隧道勘查，並於中午左右開始進行修復計畫作業。

修復計畫考量鐵路隧道之特性，分為軌道、隧道主體與電車線三部份。因軌道為出入隧道之最佳方式，且襯砌受損段總長度僅約隧道長度之3%，因此清除掉落的混凝土並回復軌道為隧道修復作業的第一步，此項工作於23日上午完成，雙線軌道貫通。

軌道回復作業期間，工程處擬妥隧道修復計畫。初步決定以H-100型鋼支保

加工成隧道襯砌拱圈形狀，配合掛網噴凝土修復整環掉落的內襯砌，龜裂與局部受損的襯砌，則自起拱線位置切溝，以相同的支撐構件補強。

基於三義壹號隧道受損影響中部鐵路運輸至鉅，且隧道的儘速貫通有助於救災作業，交通部限令隧道於 10 月 8 日前搶通。為避免修復作業期間，施工承商、工務段、電力段等單位共用有限的兩條軌道，造成施工干擾，隧道修復作業分搶通與加固兩階段進行。

第一階段委請榮工公司進行受損襯砌的修補，以「搶通隧道」為主要目標，補強作業期間，由台中工務段利用空檔進行砸道與軌道整修作業，襯砌補強與軌道修復全部完成後，交由電力段搶修懸臂組與電車線等，完成後再進行列車試運轉。

第一階段完成後，採透地雷達掃瞄災害段隧道頂拱，探查地震造成隧道周圍岩體鬆動範圍與襯砌完整性較差之處，以作為第二階段隧道加固之依據。隧道加固係利用夜間 11 時至翌日 6 時停駛時段，進行受損襯砌結構之填補縫隙、全面防水與提高岩體強度等補強作業。三義壹號隧道震後結構調查與修復計畫之流程如圖 7.5-2 所示。

## 二、襯砌結構補強與加固

震後隧道襯砌結構補強之方法甚多，通常視襯砌損害型態選擇適當的方式進行。唯地震規模如強烈至損壞隧道之程度，地面結構物往往亦發生相當嚴重的毀壞，故施工機具與補強材料取得的時效性、運輸的難易程度等因素，亦影響隧道襯砌的補強方式。

鐵路局工務處於震後軌道回復期間，即迅速初步擬定受損的襯砌採用鋼支保配合掛網噴凝土補強的修復計畫，聯合大地工程顧問公司亦依據初步調查結果，參考國內外隧道襯砌受損補強之經驗，迅速針對不同的襯砌受損型態，建議不同的補強措施，如圖 7.5-2 至圖 7.5-5 所示。

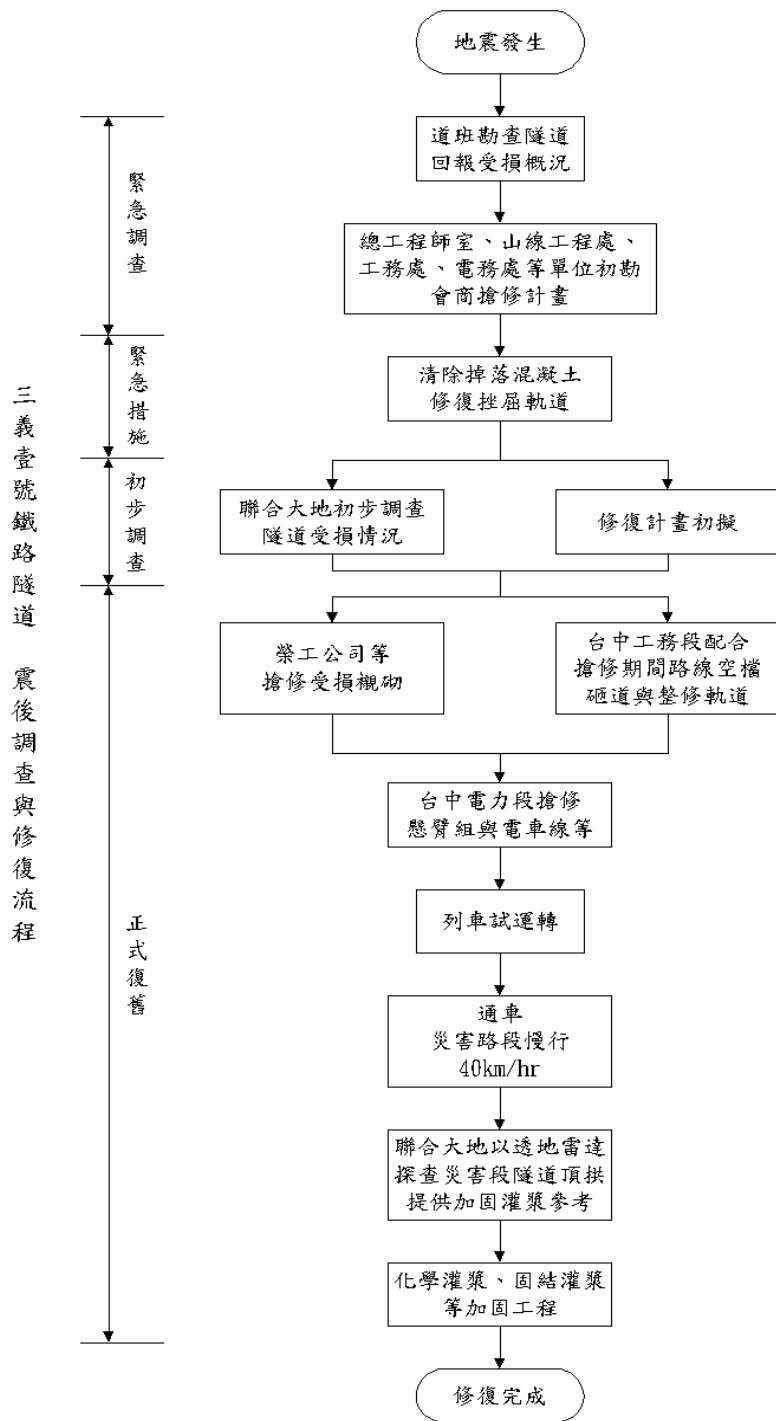
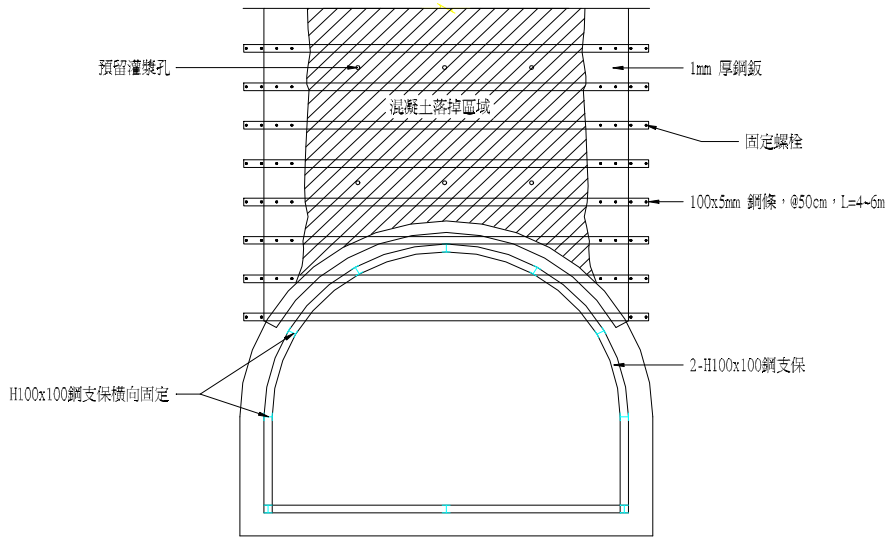
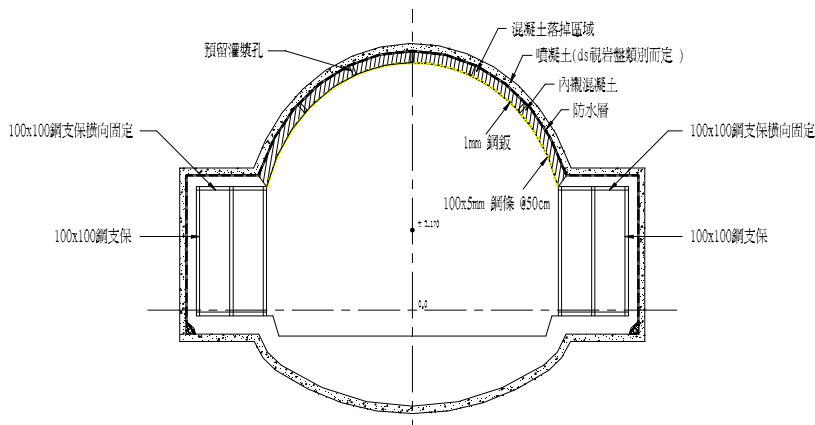


圖 7.5-2 三義壹號隧道震後結構調查與修復計畫之流程



(a)正視圖



(b)側視圖

圖 7.5-3 聯合大地建議之環向混凝土掉落補強方式

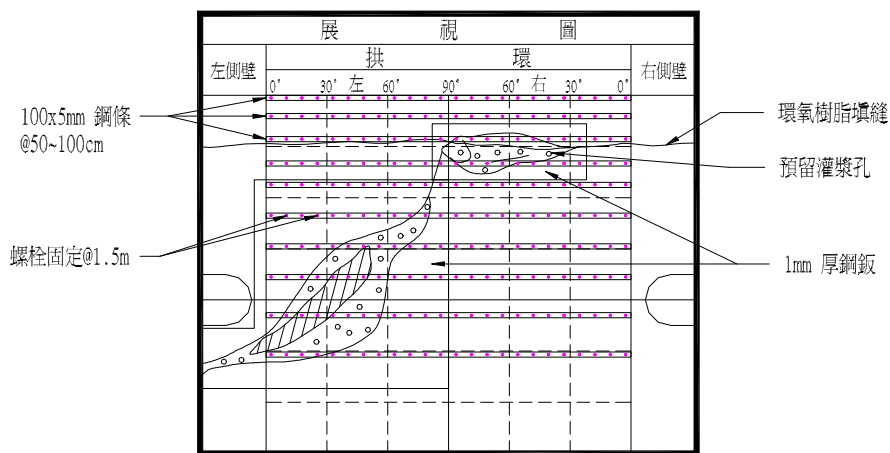


圖 7.5-4 聯合大地建議之側壁混凝土掉落補強方式

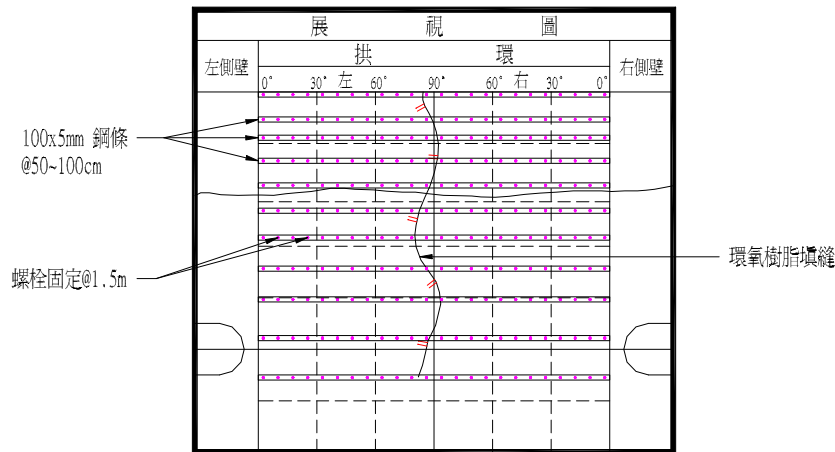


圖 7.5-5 聯合大地建議之襯砌頂拱龜裂補強方式

唯實際應用時，以鋼支保、鋼材為主的補強工法卻遭遇諸多執行的障礙，包括（1）鋼支保需於現地建立加工場或場製完成後運送，地震後大量鋼料的取得、加工與運輸皆過於費時費工；（2）局部龜裂或掉落的襯砌需切溝安裝鋼支保，施工困難度較高且相當費時；（3）震後重型機具嚴重不足，補強所需的施工機具囿於榮工公司之調度，需仰賴坪林隧道開挖面停工支援，加之鋼支保過重，組立所需機具較多，組立時間較久，可能影響隧道搶通時間等因素，第一階段搶通作業遂採取所需機具較少、補強材料較易於短期間內取得以及施工難度較低且時間較快之方式，主要以岩栓配合掛網噴凝土補強襯砌結構，以支撐鋼軌補強避車洞，並以矽膠填注裂縫等。

因岩栓係由內襯砌向外施鑽，防水膜勢遭破壞而影響隧道的防水性，加上震後災害段隧道周圍岩體鬆動範圍可能擴大，襯砌混凝土亦可能存有局部裂隙，因此於隧道搶通後，進行襯砌表層 60cm 的化學灌漿以及周圍岩體 2~2.5m 範圍的固結灌漿，以提高災害段周圍岩體強度並加固襯砌強度。

### 三、三義隧道實際採用的補強與加固措施

三義隧道實際採用的補強與加固措施如圖 7.5-6~圖~7.5-8 所示。

緊急措施完成後，鐵路管理局、聯合大地顧問公司亦迅速完成現場初步調查作業，有效掌握震後隧道狀況，於集集大地震後大規模餘震持續發生的過程，瞭解隧道異狀的變化。由隧道內多處混凝土襯砌掉落以及餘震後異狀明顯擴大的現象研判，隧道屬於危險等級，乃直接進入正式復舊狀態，縮短搶修作業時間。另外，為確保隧道搶修之成效與隧道永久的安全性，於隧道搶通後，採較精密的透地雷達掃描隧道頂拱，進行安全檢測作業，其成果並進一步作為隧道加固補強的依據。艱鉅且複雜的復舊工程於 17 日內搶通，73 日完成加固補強，顯示復舊流程靈活彈性，有效降低三義壹號隧道震後受損對災區交通運輸造成的不便。



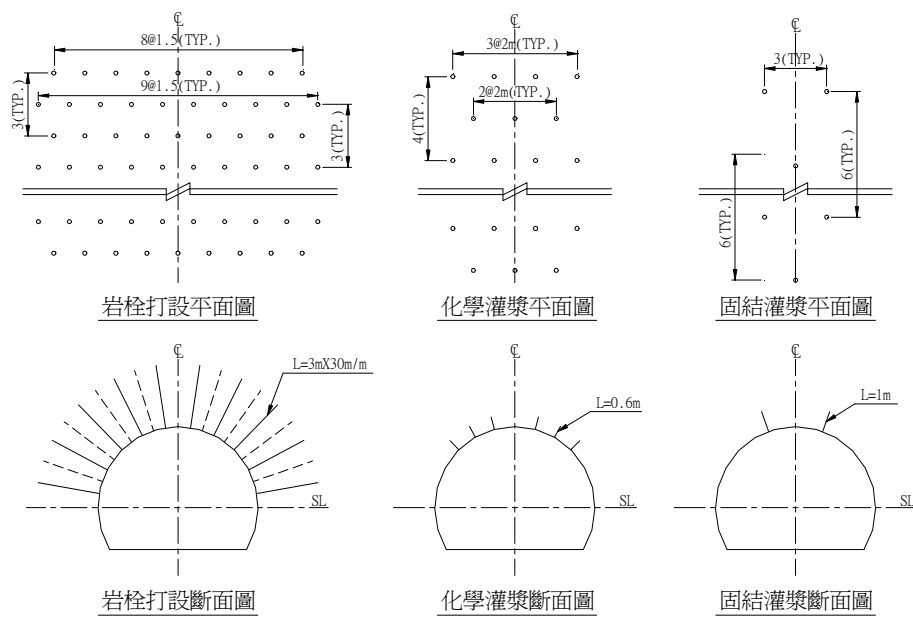
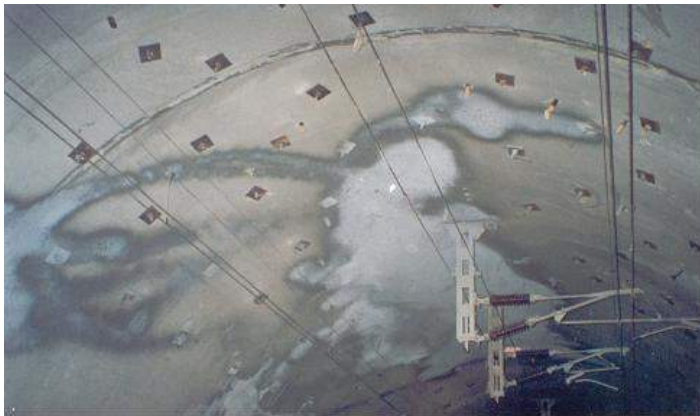


圖 7.5-6 三義壹號隧道受損襯砌結構修復方式



照片 7.5-1 三義壹號隧道受損襯砌岩栓補強



照片 7.5-2 三義壹號隧道受損襯砌掛網噴凝土補強

## 8、隧道安全

一般論及「隧道安全」應包括兩個範疇，即施工中的安全防護與風險管控；以及完工後，營運期間的隧道維護與安全管理，兩階段的目標與作為各不相同。在本章所謂的「隧道安全」主要係指完工後，進入營運管理階段的鐵路隧道而言。此一階段的「隧道安全」工作首重檢查，主管部門透過各種定期與不定期的「檢查」，找出有害隧道結構的各種初期病徵，施以監管、維修或補強加固等措施，以確保「隧道安全」。其次，則是對於可能危害「隧道安全」的災變，預先做好應變措施，將災變傷害減至最低，包括防火、防水、通風、逃生通道、緊急避難維生系統等設施。

### 8.1 隧道檢查

#### 8.1.1 檢查之目的

隧道檢查之首要目的在於了解隧道之現狀，早期發現對隧道安全性與功能性有不良影響之異狀，並掌握異狀之概略程度，期能儘早實施適當處理對策，以確保鐵路運輸之安全與順暢。因此，檢查為鐵路隧道維護管理業務之重要一環，透過其執行，方能掌握隧道之現狀，及早發現異狀，判定是否應採應急措施與對策，以及是否進一步執行安全檢測。

檢查之另一目的係持續性的掌握異狀之程度及發展，此為有效執行隧道維護管理所不可或缺之作業，故檢查體制之建立與落實極為重要。對於過去曾發生異狀之處亦需持續觀察注意，以防異狀再度發生，或擴大至危及隧道安全之程度。檢查所累積之資料亦可回饋至設計與施工上，並做為隧道維護管理作業中之修復改善依據。

#### 8.1.2 檢查之依據

台灣鐵路隧道檢查係依據我國交通部 86 年 12 月頒行之「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」，及台灣鐵路管理局工務處制定之「鐵路橋隧檢查作業要點」，辦理相關作業。

#### 8.1.3 檢查之種類與內容

隧道檢查的種類依隧道使用現況、檢查內容及檢查時機，可分為平時檢查、定期檢查、臨時檢查等三類。各項檢查之工作項目則依隧道種類及重要性等，所實施之內容、重點與頻率亦不相同。各段可參酌各隧道之安全性要求加以修訂，以適合隧道之特性及使用功能。

### 一、平時檢查

平時檢查之目的在於早期發現異狀，因此原則上配合各隧道所轄工務段之養護體系，於例行巡迴檢查時一併實施，並以隧道全長為對象。平時檢查原則上係由檢查員於車輛上或步行，以目視檢查與紀錄。

隧道平時檢查係為掌握隧道周邊狀況、了解混凝土襯砌有無明顯破損、掉落或漏水等狀況之發生，其主要檢查對象及項目為：

檢查對象	檢查項目
襯砌	剝落、漏水、可見裂縫
洞門	剝落
排水設施	積水、側溝破損

### 二、定期檢查

定期檢查係以步行目視與紀錄為主，主要在檢查隧道襯砌表面龜裂之長度、寬度或密度等有无變化或延展之情形，必要時藉助簡易之儀器量測異狀變化情形並記錄之，以為維護管理工作之參考。檢查對象與項目為：

檢查對象	檢查項目
襯砌	龜裂、錯動、浮起、剝離、剝落、伸縮縫及施工縫位移、漏水
洞門	龜裂、錯動、浮起、剝離、剝落、傾倒、沉陷、鋼筋外露
排水設施	積水、沉砂、龜裂、錯動
軌道	軌道線形變化、平整度、扣件鎖緊度
附屬設施	通風、照明設施等損害狀況

檢查重點及檢查工具如下所示：

裂縫調查：皮尺、裂縫尺、游標尺。

剝落：鐵鎚。

材料劣化：鐵鎚（用於襯砌打擊回音）或史密特錘。

漏水：量測水量或水壓之儀器。

其他：照相機、錄影機、照明器材、清掃用具、交通管制器材。

### 三、臨時檢查

當出現下列狀況時：大量豪雨期間或之後、地震之後、隧道內發生事故時、特殊狀況（如鄰近隧道施工），需進行臨時檢查。隧道臨時檢查之目的在於短期內掌握隧道動口週邊及隧道主體之受損情況，評估有無造成二次災害之危險因素及其安全性，並據以擬定緊急搶修與管制措施，防止災害擴大。

一般而言，臨時檢查以短期內完成隧道受損之必要項目為原則，其項目宜盡量少而單純。臨時檢查對象與項目，如附表所示。

臨時檢查對象與項目表

臨時檢查對象	臨時檢查項目
襯砌	剝落、錯動開裂、鋼筋外露、伸縮縫及施工縫位移、湧水等災害狀況
洞門	傾倒、沉陷、鋼筋外露等災害狀況
排水設施	排水溝、集水井等損害狀況
軌道	軌道線形變化、平整度、扣件鎖緊度
附屬設施	通風、照明設施等損害狀況

實施臨時檢查，原則上以維修查道車方式為之，惟由於地震後或豪雨後等狀況所引致之路線中斷，機動車輛可能無法接近隧道災區，因此臨時檢查可採人員步行目視觀察，以進行記錄之方式實施；或者如狀況允許使用機動車輛，以目視作業方式就隧道全線進行快速檢查，必要時才下車確認，以保持機動性。一般攜帶器材包括下列項目：

照明器材（手電筒或投光燈）

記錄表、照相機或攝錄影機。

通訊器材。

交通管制器材。

## 8.2 隧道消防設施

依據交通部於 2007 年制定之「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，隧道長度在 1 公里以上者，其防火避難設施及消防安全設備應依本規範設置。其中，第四章包括：隧道防火設施、隧道避難設施、隧道滅火設備、隧道警報設備、隧道避難逃生設備、消防搶救上必要設備等各節，對於新建隧道內外有關的消防逃生設施均做了詳細規範。

另高鐵隧道因多屬新建，具有較完備的隧道內消防設施，也率皆建立各自的防火機制（如圖 8.2-1~圖 8.2-3 所示）。

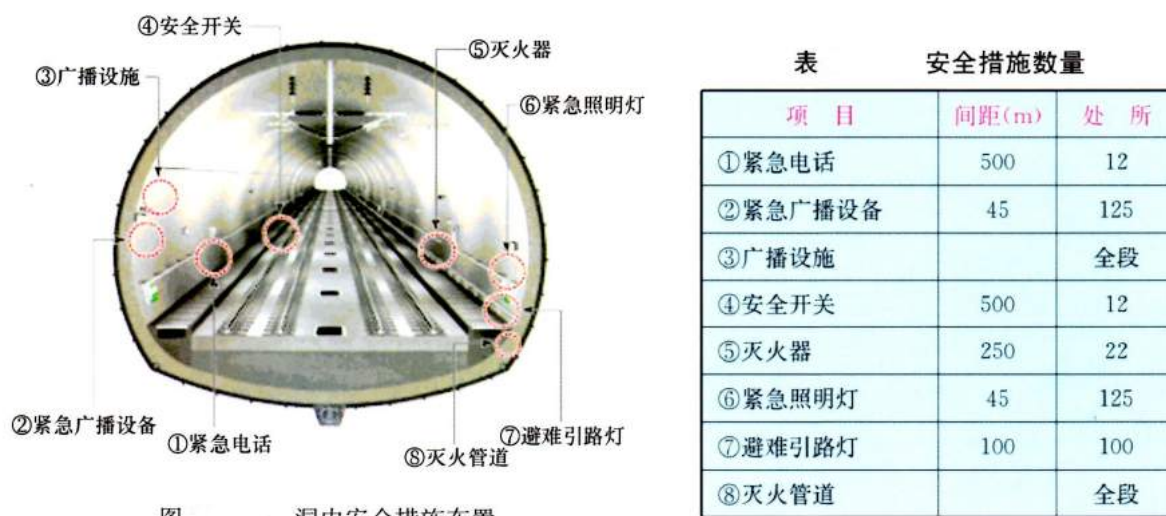


圖 洞內安全措施布置

圖 8.2-1 高鐵隧道內火災與安全設備 及配置數量表

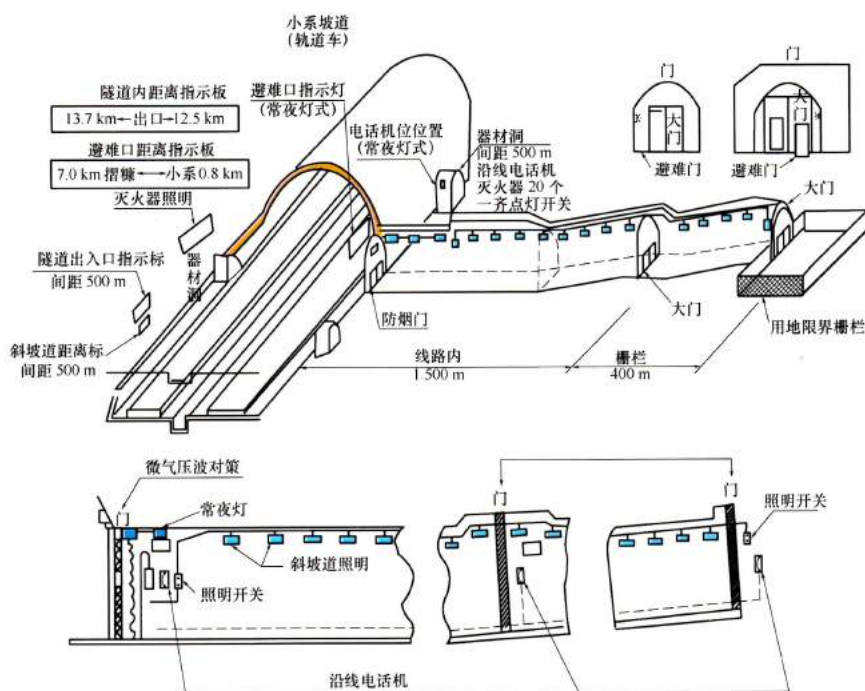


圖 8.2-1 日本新幹線隧道內火災對策與設備示意圖

### 8.3 隧道通風口及逃生避難設施

如前節所述，台鐵與臺灣高鐵的隧道內防災及緊急避難設施，是依據「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」而設置的。（如圖 8.3-1~圖 8.3-4 所示）

地下隧道通風系統，主要係提供以下功能：

- 1.提供隧道內足夠新鮮空氣。
- 2.降低隧道內溫度。
- 3.排除隧道內廢氣。
- 4.發生火災時兼具排煙功能。

長大隧道除兩端洞口外，都必須設有通風口，通常在施工階段，即規劃妥通風橫坑、斜坑、豎井等，先做為出碴，及人員、機具進出通道，以增加工作面，完工後則提供為通風用途。橫坑、斜坑配合機械通風，豎井則利用高程溫差效應，自然通風效果較佳。臺北地下隧道通風系統，因通風口到隧道內高程差不大，自然通風效果較小，而以採用機械通風為主。

此外，逃生設施則包括：緊急出口、安全步道、連通道、排煙室，以及逃生動線上各種標誌、指示燈號、照明設備、沿線電話、無線電話系統等。

臺北地下隧道設有「中央監控系統」，負責監管權隧道之安全，下轄五個子系統，即火警警報監控系統、電力及隧道照明監控系統、環境管理監控系統、安全監控系統、其他設備監控系統等。近年來，又增加了火災發生時煙控系統，及豪雨市區淹水時水位警報系統等。

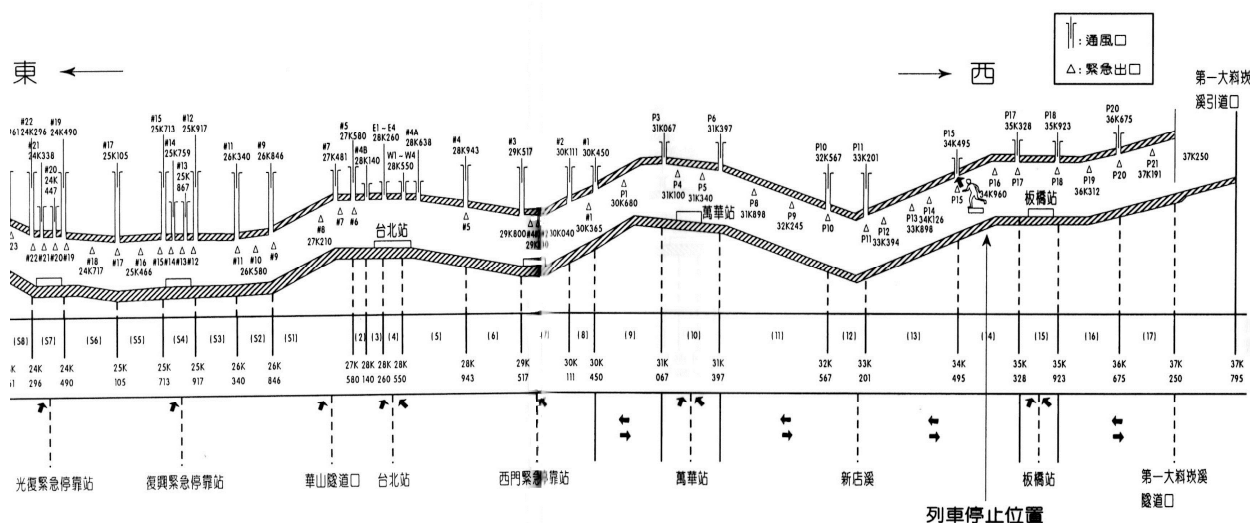


圖 8.3-1 台北市區鐵路地下隧道緊急逃生出口位置示意圖

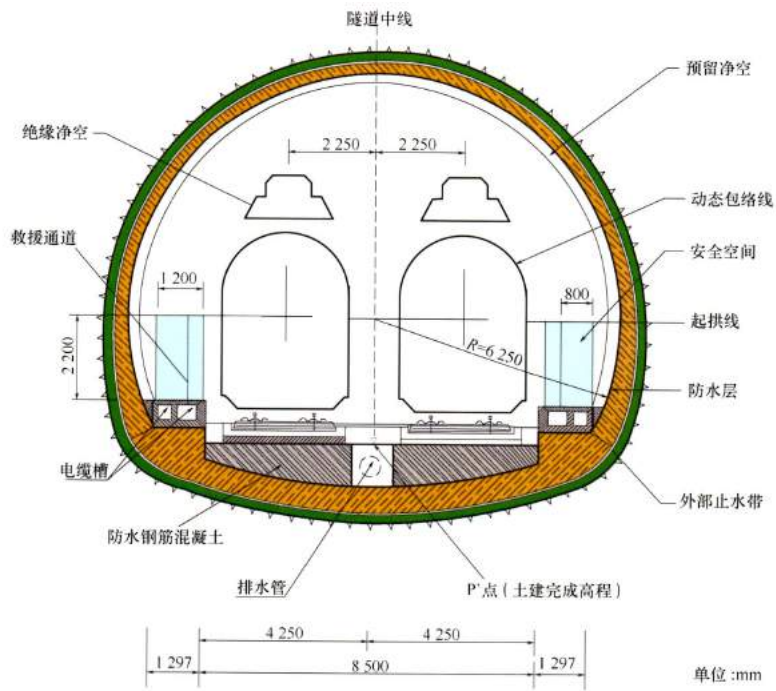


圖 8.3-2 台灣高鐵隧道標準斷面圖

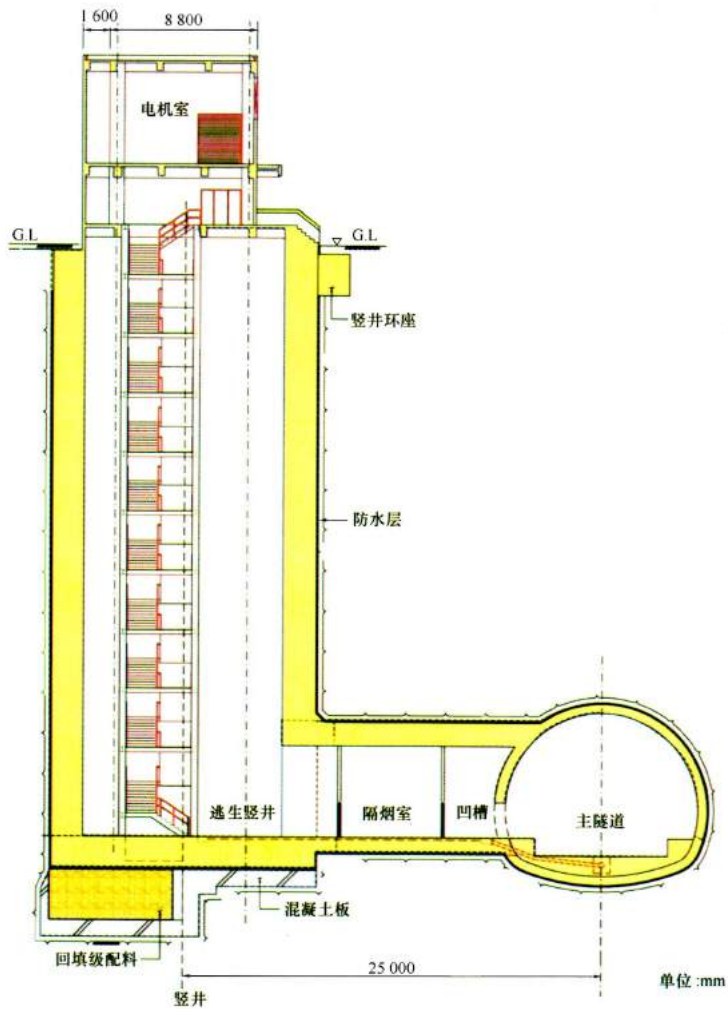


圖 8.3-3 台灣高鐵林口隧道豎井斷面及逃生設施圖

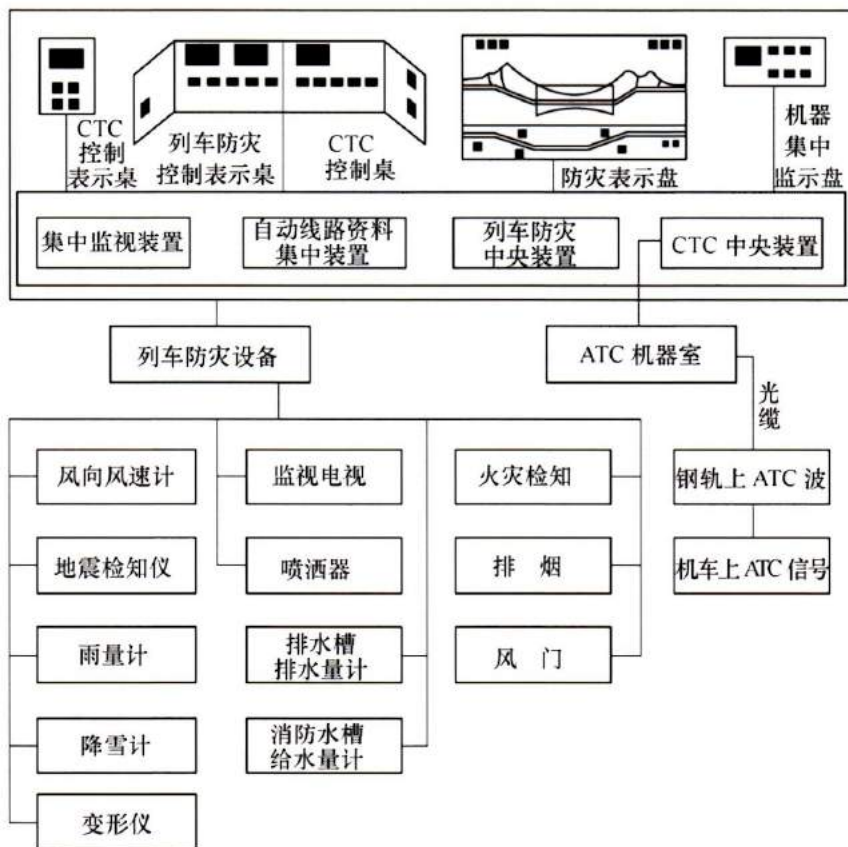


圖 8.3-4 日本青函隧道防災調度中心監控系統示意圖



## 9、隧道內之行車事故與處理

由於隧道內空間狹小，若發生行車事故，較難救援，故一般超長隧道大都在設計時就會考慮緊急救援通道，或預留逃生通道，但有一些台鐵早期的隧道，甚至，近年新建造的隧道，因經濟考量並未預留搶修機制，此類隧道內發行車事故之機率極低，然一旦發生，救援及搶修工作極為困難，本章將以作者曾參與搶修的台鐵隧道內行車事故為例，說明此一狀況，及其緊急應變方法。

### 9.1 新南澳隧道內貨物列車追撞事故搶修

本件事故發生於 2003.11.5 晚上 8:38，台鐵北迴線新南澳隧道內，由於該隧道僅為單軌斷面，淨空不大，平時維修人員行走於兩側步道，遇列車通過時，必須迅速進入每廿公尺乙處的避車洞內。此種以最小需求斷面設計的鐵路隧道，可降低建造成本，但較不利於維修，以往台鐵在權衡經濟成本與維修成本考量下，隧道的設計斷面皆以滿足最小淨空需求為原則。

然而，在本次事故中，因列車追撞力道強大，許多節車廂被擠壓變形，有些被頂起橫向撞擊隧道壁，竟將全斷面塞滿，破碎鐵皮、鋼板、車體構件，卡住隧道側壁，動彈不得，除了前後兩端，完全沒有救援人員可以進出的空隙，毀損車廂交疊卡在隧道內，連救援機車也拉不動。這是作者服務台鐵廿餘年，參與多次事故搶修，所見過最為棘手的案例。

### 9.2 新南澳隧道概述

#### 9.2.1 土建結構物

新南澳隧道位於北迴線東澳~南澳間(如圖 9.2-1)，由東部鐵路改善工程興建，於 92 年 7 月 4 日完成電氣化通車，為一典型 RC 結構設計，設計標準：行車速度 130km/hr。主要材料設計強度:隧道洞門結構及隧道內襯砌混凝土為  $210\text{kg/cm}^2$ ，仰拱混凝土為  $175\text{kg/cm}^2$ ，擋土牆、排水溝為  $210\text{kg/cm}^2$ ，隧道噴泥土為  $210\text{kg/cm}^2$  (採鋼纖噴泥土)，鋼筋(中級鋼)  $2800\text{kg/cm}^2$ ，鋼絲網  $1400\text{ kg/cm}^2$ ，結構鋼件為符合 ASTM\_A36，岩栓符合 CNS\_SD42。斷面設計，依照鐵路建設作業程序辦理設計施工，隧道斷面示意圖如圖 9.2-2 所示。



2003.11.5 台鐵北迴線南澳隧道內  
列車追撞事故發生地點

圖 9.2-1 北迴線新南澳隧道位置圖

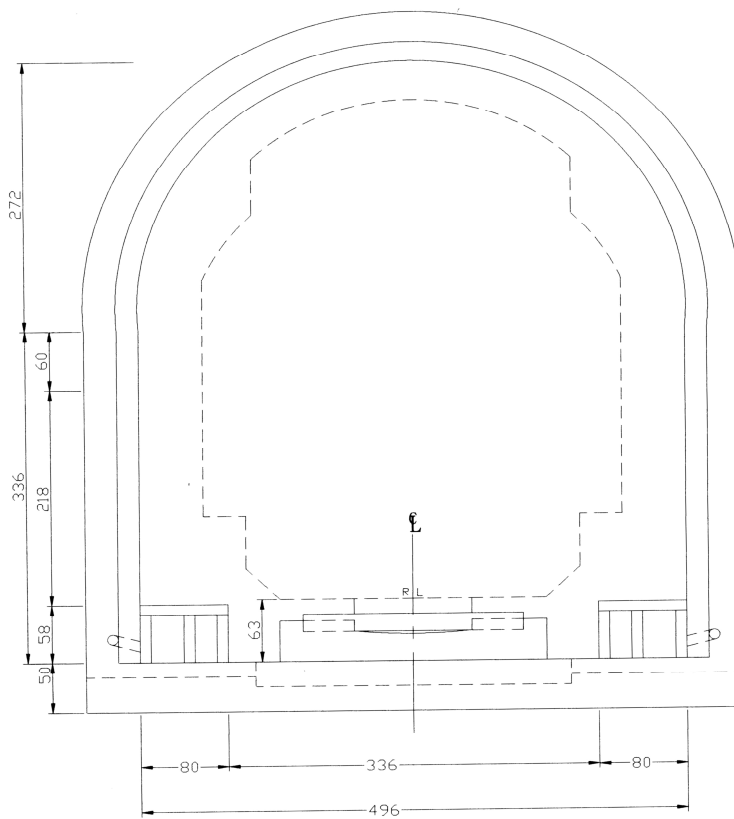


圖 9.2-2 新南澳隧道斷面圖 S=1/40

## 9.2.2 軌道結構

軌道結構採用無道碴防震軌道（直結式 PC 枕防震軌道）。設計標準:軌距 1067+0~-2mm, 軌道 50N 長焊鋼軌, 設計載重 KS-18 標準活載重, 行車速度 130km/hr, 軌道混凝土強度 350kg/cm<sup>2</sup>, 仰拱混凝土為 175kg/cm<sup>2</sup>, 軌道平、斷面示意圖如圖 9.2-3、圖 9.2-4 所示。

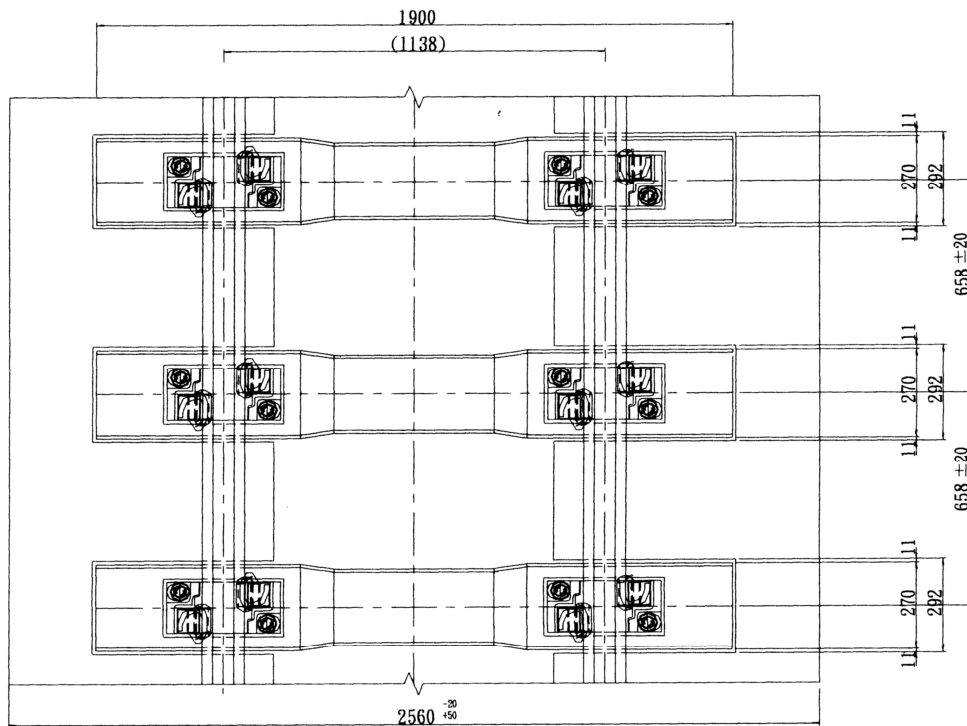


圖 9.2-3 無道碴軌道平面示意圖

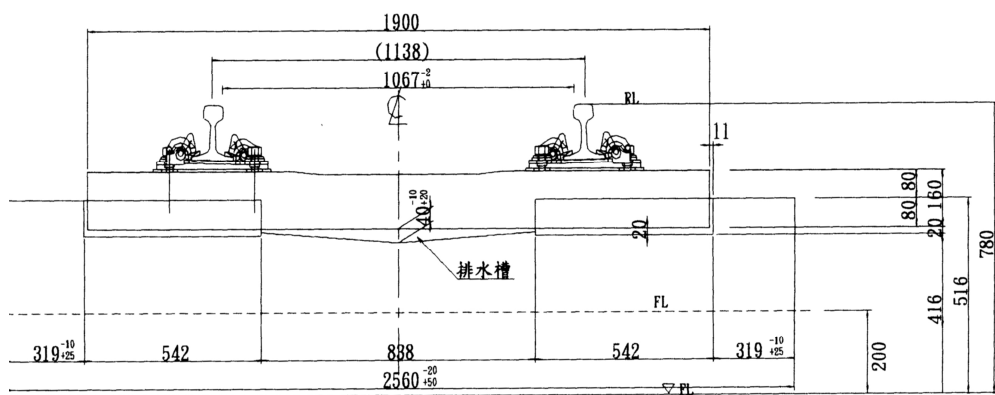


圖 9.2-4 無道碴軌道斷面示意圖

## 9.3 事故發生及搶修經過

### 9.3.1 事故發生經過

一、92年11月5日20時38分北上第734次重聯貨物列車，行經北迴線（新南澳隧道）k11+800處撞及同向北上第896次貨物列車，致造成二次列車共十輛車（含機車）出軌，其中第896次列車之守車車廂全毀。該區間（東澳~南澳間）因舊南澳隧道為配合鐵路電化需要辦理淨空及仰拱改善，致目前僅單線運轉，由於單線隧道內搶修工作困難，造成本次事故路線中斷達36小時30分。

#### 二、出軌狀況

（一）第896次為滿載石灰石重車，末節守車遭前後重車擠壓全毀，末端第二節車廂後軸全出軌。

（二）第734次為重聯空車，前部機車因撞擊時受前車阻力與後方推力作用加上地處半徑800曲線鋼軌受過大橫壓力扭曲變形後傾倒，機車全軸落軌，又因後繼車輛前推效應，使機車前端及後端分別撞及隧道左右側壁。第一節至第七節為散裝水泥空車，經觀察直結式軌道pc枕損壞及無滑行痕跡研判應為擠壓跳上出軌，一至七節出軌情形為：第一節後軸全出軌、第二節後軸全出軌、第三至七節全軸出軌，第八節後軸輪緣爬上鋼軌頂部，車輛出軌情形詳如圖9.3-1所示。

#### 三、軌道損壞情形

50N鋼軌扭曲變形70公尺、直結式軌道用PC枕斷損14根、橡膠墊片破損100塊、尼龍絕緣座損壞200塊、彈簧扣夾損害110個。

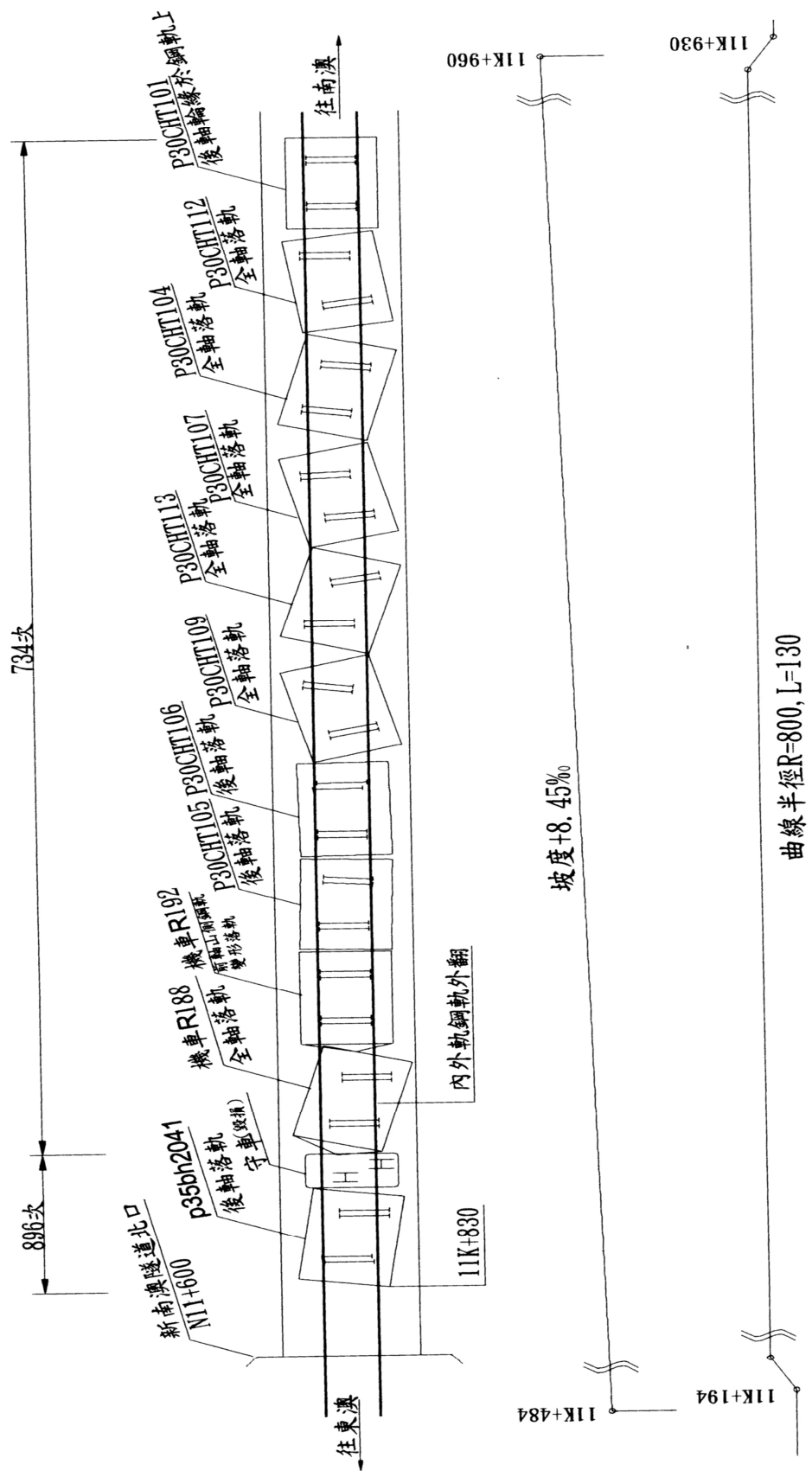


圖 9.3-1 896 及 734 次貨物列車追撞出軌示意圖

### 9.3.2 搶修經過（動員人力、機具、方法等）

- 一、1105/2050 本段辦公室值班人員接獲事故通報後，立即依照緊急事故通報連絡系統分別通知養路監工、分駐所主任、養路主任、段長（處長由段長通報），同時間由養路監工連絡道班人員前往搶修。1105/2155 段長率領同仁抵達現場，經現場勘查後，研商並擬訂搶修對策，並立即準備搶修材料及機械，事故現場如照片一~二十四。
- 二、1105/2345 宜蘭機務分段及花蓮機務段搶修車陸續抵達事故現場，隨後台北檢車段、七堵機務段人員亦相繼趕到現場，同時立即展開搶修。
- 三、1105/2359 將北洞口第一車（重車 P35BH2041）往北拖行 5 公尺，再以油壓千斤頂頂升後軸並作橫移，於 1106/0630 復軌，1106/0700 拖離現場。
- 四、1106/0310 第 734 次第八節（P30PHT101）以油壓千斤頂配合挖土機復軌後拖離現場。
- 五、1106/0620 第 734 次第七節（P30PHT112）嚴重出軌先以挖土機將車身扶正同時向南拖行 4 公尺，前軸油壓千斤頂架設完成後，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 六、1106/0710 以挖土機分三次將毀損守車以強拖方式將其拖出隧道外（距離 200M），1106/0835 守車清除完畢。
- 七、1106/0950 第 734 次第六節（P30PHT104）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行，接著前軸油壓千斤頂架設施工，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 八、1106/1600 第 734 次第五節（P30PHT107）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行，接著前軸油壓千斤頂架設施工，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 九、1106/2040 R188 機車以油壓千斤頂（六個，每個頂升力 60 噸）頂升前、後軸並作橫向移動定位及固定支撐後於 1106/2045 由工務搶修人員將機車下方扭曲變形鋼軌用乙炔分段切斷取出（每段約 3~5M）後，再以臨時短鋼軌（4~5M）以人力縱向逐根植回，1106/2245 完成供 R118 機車使用之臨時軌道。1106/2255 機務開始 R118 機車復軌工作，1107/0055 復軌完畢，1107/0135 R118 機車拖離現場。
- 十、1107/0200 第 734 次第四節（P30PHT113）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行（方便前軸油壓千斤頂架設施工），再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。

- 十一、1107/0205 R192 機車以油壓千斤頂頂升前軸並作橫向移動定位及固定支撐後，由工務將機車下方扭曲變形鋼軌用乙炔分段切斷取出（每段約 3~5M）後，再以臨時短鋼軌（4~5M）以人力縱向逐根植回，1107/0255 完成供 R192 機車使用之臨時軌道。機務開始 R192 機車復軌工作，1107/0300 復軌完畢，1107/0340 R192 機車牽引後掛之車輛（P30PHT105）駛離現場。
- 十二、1107/0305 第 734 次第三節（P30PHT109）先以怪手將車身扶正同時向南拖行（方便前軸油壓千斤頂架設施工），再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 十三、1107/0435 第 734 次第二節（P30PHT106）以油壓千斤頂頂升後軸復軌後拖離現場。
- 十四、1107/0450 機務搶修車完成搶修駛離現場。
- 十五、1107/0450（工務、電力共同施工）由工務搬運軌道材料及機具進行搶修，將原先植入之短鋼軌抽換為新 50N 鋼軌，軌道復舊完畢，經檢查軌道無影響行車之虞，於 1107/0725 撤離現場，電力單位仍繼續搶修復舊工作，直至 1107/0905 完成復舊及測試工作。
- 十六、1107/0908 恢復正常運轉。
- 十七、本次搶修參與人力分析:機務單位（宜蘭機務分段、台北檢車段、花蓮機務段、七堵機務段）共派出四組搶修車，十二班搶修人力計 240 人次。宜蘭工務段雇用二部 120 型挖土機（有橡膠履帶設備），一部電搖車，六部鐵擔車，五部山越器，二部鑽孔機，二部鋼軌鋸軌機，乙炔切斷器二組，投入搶修人力計約 150 人次。

## 9.4 總結

本次追撞事故出軌車輛多達十輛，且發生於隧道內，又單線隧道斷面積小，搶修材料、機具進出不易，施工單位因搶修需要常需交替進場，各單位之協調、配合攸關搶修時效。所幸本件事故損壞嚴重部份均位於北側，且距北洞口僅有 200 公尺，是以未肇致搶修時間之延宕。

本案事故出軌地點之軌道結構為無道碴防震軌道（即直結式 PC 枕防震軌道），由東部鐵路改善工程處興建，刻正委請技術顧問研擬搶修標準作業程序及辦法。所幸本次事故因撞擊後出軌未造成滑行，亦未造成大量 PC 枕斷損，否則後果將更為嚴重。

為提昇事故搶修效率，隧道內列車出軌事故搶修技術、機具設備，宜指定相關權責單位再深入研究、探討，以祈縮短搶修時間。另有關無道碴防震軌道（直結式 PC 枕防震軌道）搶修作業程序及辦法，更應早日訂定完成，以備不時之需。





(照片 9-1) 896 次列車守車遭撞擊全毀情形



(照片 9-2) 734 次機車撞擊 896 次 R188 前軸出軌情形



(照片 9-3) 734 次重聯機車撞擊 896 次 R188 後軸出軌情形



(照片 9-4) 734 次機車撞擊 896 次 R192 前軸出軌情形



(照片 9-5) 734 次散裝水泥車全軸出軌情形



(照片 9-6) 734 次散裝水泥車全軸出軌情形



(照片 9-7) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-8) 734 次散裝水泥車出軌



(照片 9-9) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-10) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-11) 896 次石灰石斗車搶修情形



(照片 9-12) 896 次列車守車清除情形



(照片 9-13) 896 次列車守車清除情形



(照片 9-14) 734 次 R188 機車扶正後工務切斷鋼軌



(照片 9-15) 機車扶正墊高後由工務取出損壞鋼軌



(照片 9-16) 工務舖設臨時軌道情形



(照片 9-17) 工務辦理軌道舖設復舊情形



(照片 9-18) 工務辦理軌道舖設復舊情形



(照片 9-19) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-20) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-21) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-22) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-23) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-24) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-25) 軌道受損情形



(照片 9-26) 軌道受損情形



(照片 9-27) 隧道側壁受出軌車輛撞擊痕跡



(照片 9-28) 彈性軌枕受損情形



(照片 9-29) 896 次守車移出軌道外



(照片 9-30) 運務段於東澳車站辦理公車接駁

# 10、現階段的隧道維修與管理

隧道維修管理系統在監測技術、衛星定位及無線網路傳輸的應用下，更加完善，使工程司能巨細靡遺隨時掌握所有隧道狀況。而隧道之維修保養工作，也在材料科學的進步與施工技術發達下，更見成熟。

## 10.1 隧道維修與補強

在進行隧道之調查、安全檢測及異狀原因推估後，如發現隧道已有異常狀態之發生，為恢復隧道的使用功能、安全性及耐久性，必須進行隧道維修與補強之設計及施工。為即時排除隧道之異狀，除選擇適當的維修補強工法外，並需檢討實施之規模、施工性、經濟性及施工時期等。

由於隧道與其他型式的結構物相較，其維修與補強施工所受的限制較多，選擇維修與補強工法時，必須充分掌握隧道之異狀原因、異狀現象、環境條件、結構條件、施工作業限制條件等，以擬定適當之維修與補強計畫。

選擇維修與補強工法之最重要考量因素為正確掌握隧道異狀原因，才能對症下藥，恢復隧道功能。隧道異狀原因可大致分為下列三項：

1. 外力變化
2. 襯砌材質老化
3. 漏水及其他因素（襯砌背面空洞、襯砌厚度不足、無設置仰拱等）

各種隧道異狀原因很少單獨發生，大部份均多種原因同時發生而造成異狀，抑或肇因於興建階段之設計、施工不良。且由於隧道係地下結構物，作用於襯砌之外力及襯砌狀態甚難充分明確掌握，一般均依異狀之特徵或簡單之檢測結果，據以推估異狀原因，其推估過程中，經驗因素比重仍大。由於鐵路隧道之維修與補強施工上，常有時間性限制，往往需在短時間內完成，以維護交通順暢，故採用機動性高且施工簡便快速之施工法是維修與補強技術考慮重點。為施工法之選擇必須依安全檢測及隧道異狀原因推估結果（如鬆動土壓、材質劣化、滲漏、背面空洞、襯砌厚度不足等），並對隧道之重要性及異狀作綜合性安全評估，研判隧道體有無結構穩定之問題後，方可選擇有效解決隧道病因、恢復營運功能及延長使用年限之最佳施工方式。

外力變化之維修與補強工法：

針對導致隧道發生異狀之外力變化因素，如鬆動土壓、偏壓及邊坡潛移、地層滑動、塑性壓、水壓、地盤下陷、地盤承载力不足、地震、隧道洞口段，所採取之維修與補強對策工法如表所示。惟表中所示僅為選擇維修與補強工法時之一般性

參考原則，工程司仍應根據各隧道之特性、以往從事隧道工程之經驗，配合適當之分析檢討，以選擇有效之工法。

## 10.2 隧道補強對策與工法

隧道安全等級評定結果與隧道施工工法(ASSM 或 NATM)具有相關性，而隧道之維修補強對策，需依據異狀種類、發生原因、劣化程度、範圍、規模大小與位置，妥善規劃設計隧道維修補強作業，一般採用之隧道維修補強對策如下各節所述。

### 10.2.1.剝落對策

#### TYPE A1－局部剝落填補(起拱線以上)

若襯砌起拱線以上有混凝土塊局部掉落之可能時，須先予以敲除、埋設剪力釘，再以混凝土或水泥砂漿予以填補，如圖 10.2-1 所示。

#### TYPE A2－局部剝落填補(起拱線以下)

若襯砌起拱線以下有混凝土塊局部剝落之可能時，得考量先將劣化範圍鑿除，再以無收縮水泥砂漿填補，，如圖 10.2-2 所示。

#### TYPE A3－鋼板補強

若襯砌剝落範圍較大且混凝土塊有掉落之可能時，則採用鋼板補強，四周以螺栓錨碇，如圖 10.2-3 所示。

#### TYPE A4－碳纖維網補強

若襯砌有較大面積混凝土塊掉落之可能時，則貼覆碳纖維網(CF)防止其下墜，如圖 10.2-4 所示。

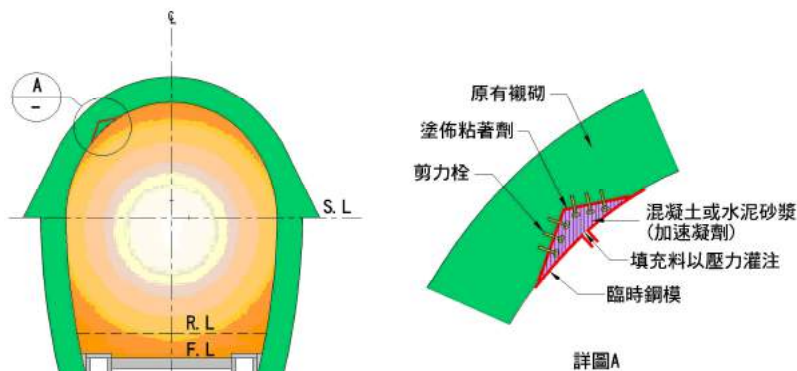


圖 10.2-1 襯砌起拱線以上局部剝落填補示意圖(TYPE A1)

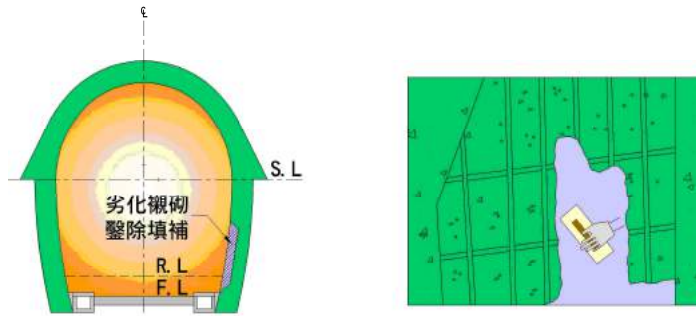


圖 10.2-2 襯砌起拱線以下局部剝落填補示意圖(TYPE A2)

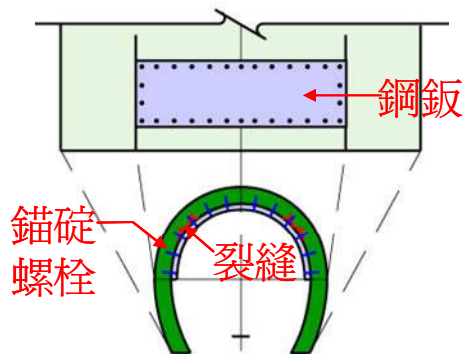


圖 10.2-3 襯砌鋼板補強示意圖(TYPE A3)

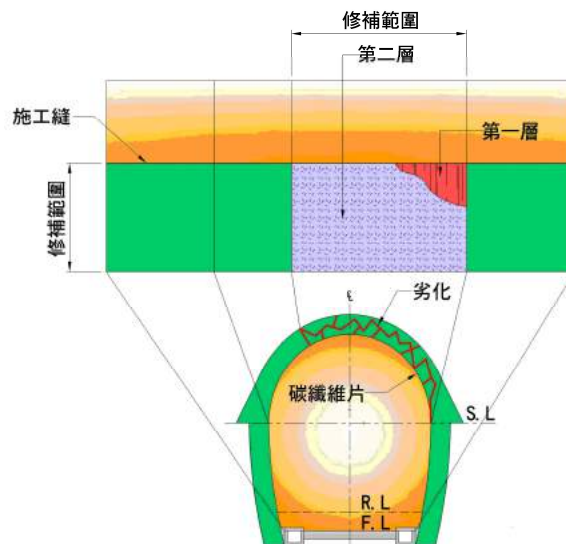


圖 10.2-4 襯砌碳纖維網補強示意圖(TYPE A4)



## 10.2.2. 裂縫對策

### TYPE B1－裂縫補強(止水)灌漿

若僅為局部之細微裂縫，則採用如圖 10.4-5 所示之裂縫補強(止水)灌漿。

### TYPE B2－岩栓補強

若為大規模之構造型裂縫，則除了 TYPE B1－裂縫補強灌漿外，尚須考量採用岩栓補強，如圖 10.4-6 所示。

### TYPE B3－固結灌漿

若為大規模之構造型裂縫，且疑似襯砌厚度不足，則除了 TYPE B1－裂縫補強灌漿外，尚須考量採用固結灌漿以提高圍岩之強度並將其與襯砌固結成一結構體，如圖 10.4-7 所示。

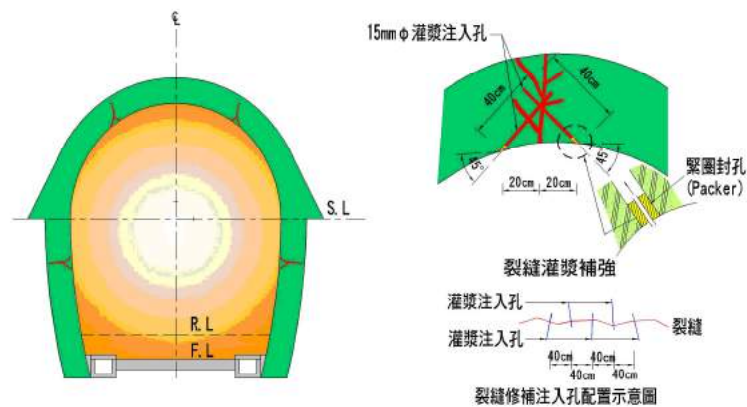


圖 10.4-5 襯砌裂縫補強(止水)灌漿示意圖(TYPE B1)

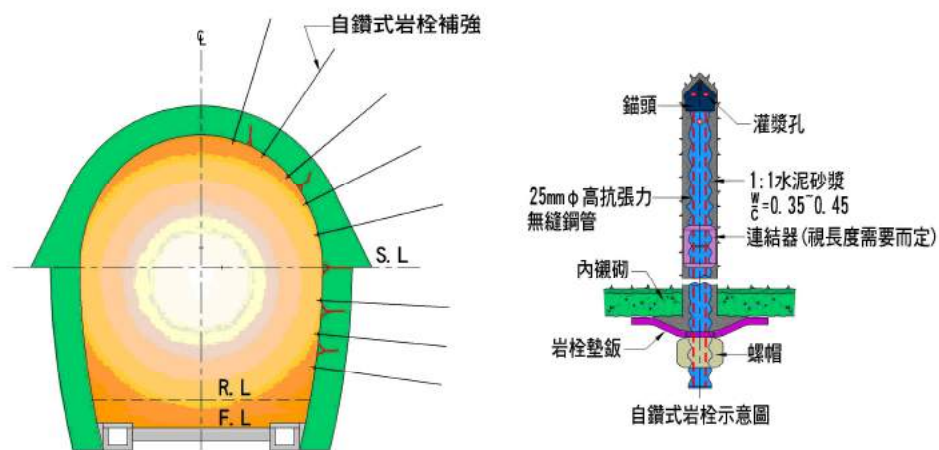


圖 10.4-6 岩栓補強工法示意圖(TYPE B2)

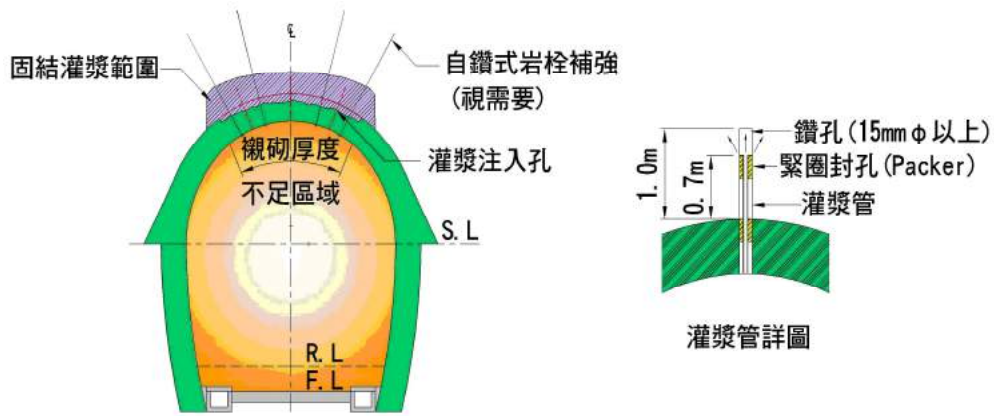


圖 10.4-7 固結灌漿補強工法示意圖(TYPE B3)

### 10.2.3.漏水對策

若滲漏水程度為滲水或滴水，則可採用止水工法。裂縫之止水將採用灌注止水材之補強工法(TYPE B1)，如圖 10.4-5 所示；而施工縫之止水得考量採用急結水泥予以填補(TYPE C1)，如圖 10.4-8 所示。

若滲漏水程度為湧水或噴水，則採用導水工法，包括：TYPE C2－側壁單排導水工法(圖 10.4-9)、TYPE C3－施工縫導水工法(圖 10.4-10)、TYPE C4－導水版導水工法(圖 10.4-11)等三種。

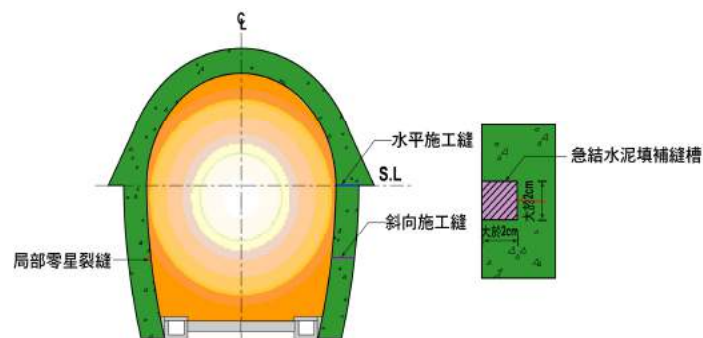


圖 10.4-8 施工縫止水工法示意圖(TYPE C1)

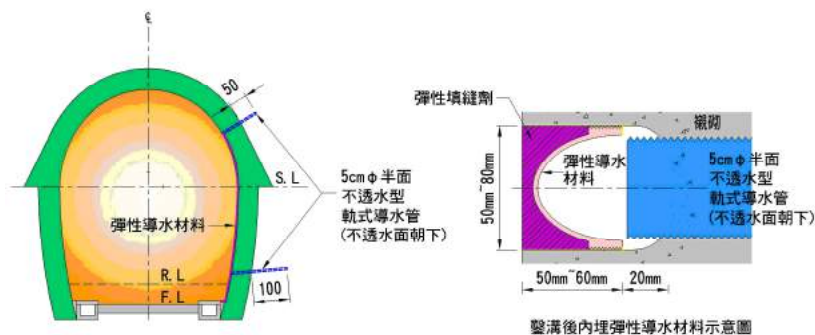


圖 10.4-9 側壁單排導水工法示意圖(TYPE C2)

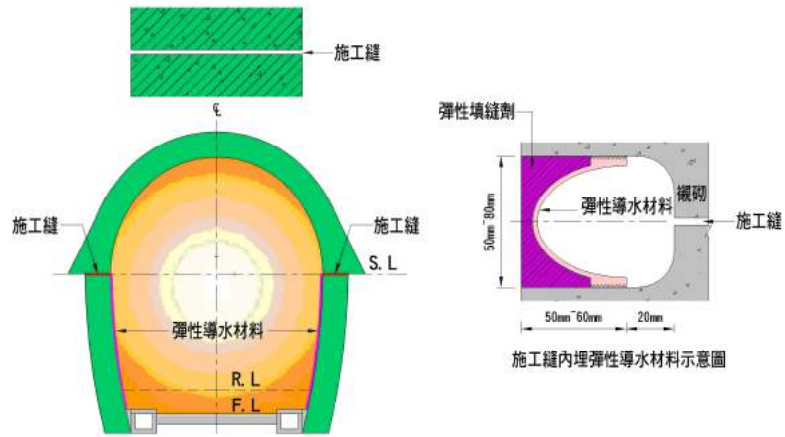


圖 10.4-10 施工縫導水工法示意圖(TYPE C3)

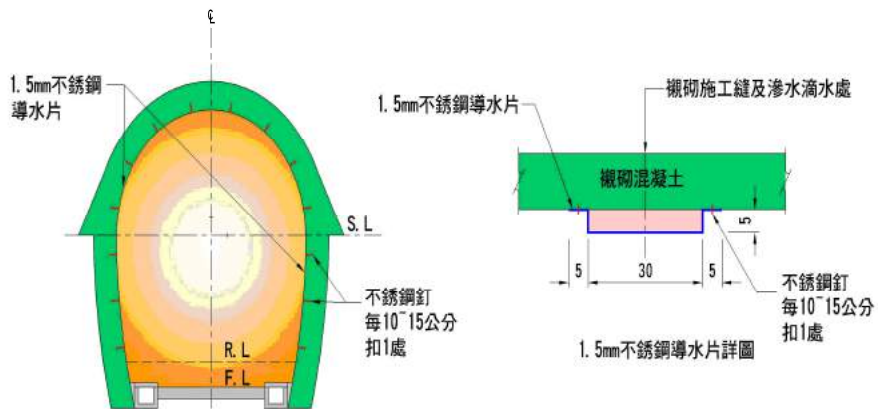


圖 10.4-11 導水版導水工法示意圖(TYPE C4)

#### 10.2.4.其它對策

##### TYPE D1 – 背填灌漿

當透地雷達探查發現襯砌背後有疏鬆或空洞現象存在時，採用背填灌漿之補強方式，如圖 10.4-12 所示。

##### TYPE D2 – 鋼筋補強

針對偏壓、斷層破碎帶或施工異常區段，如多良一號隧道 60k+200~ 60k+410，採用切槽鋼筋補強工法，如圖 10.4-13 所示。

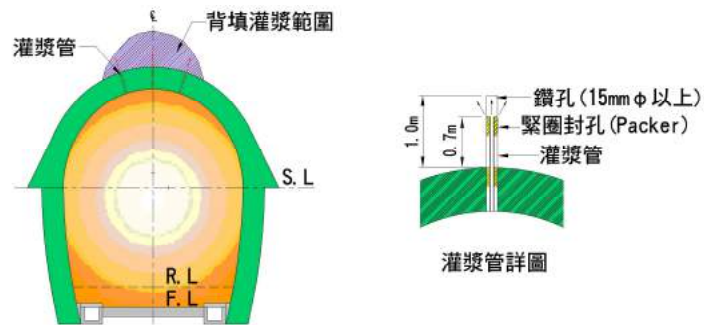


圖 10.4-12 背填灌漿工法示意圖(TYPE D1)

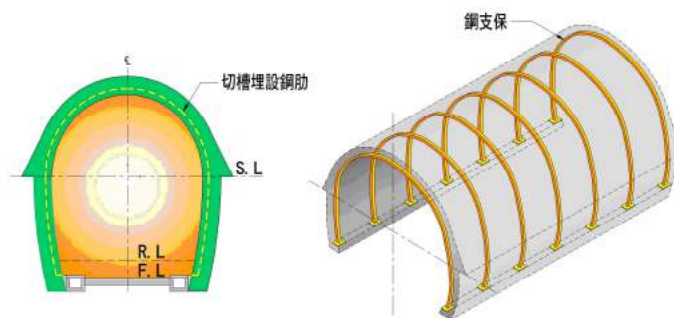


圖 10.4-13 鋼筋補強工法示意圖(TYPE D2)

# 參考文獻

1. 「Practical Tunnel Driving」, Harold W. Richardson & Robert S. Mayo, 歐亞書局, 1978.10 台北。
2. 「TUNNEL ENGINEERING HANDBOOK」, John O. Bickel & T R. Kuesel, Van Nostrand Reinhold Company, Inc. , 1992.U.S.A. Florida。
3. Coenraad Esveld, 「MODERN RAILWAY TRACK」, MRT-Productions, 2001。
4. 中華民國隧道協會, 「隧道工程用語 辭彙」, 科技圖書公司, 2000 年 4 月。
5. 「隧道工程學」(The Art of Tunnelling), by Karoly Szechy, 段品莊譯, 臺灣鐵路管理局(北迴鐵路工程處印行), 1978.4。
6. 汪彝之, 「實用隧道工程學」, 大中國圖書公司, 1992 年 10 月。
7. 張吉佐、劉弘祥, 「山岳隧道工程—設計與實例手冊」, 1999 年 9 月。
8. 賴德湘、吳小虹, 「筆路開基—基隆鐵道之創見與發展」, 基隆市立文化中心, 2001 年 12 月。
9. 劉文駿、王威傑、楊森豪, 「百年台灣鐵道」, 城邦文化, 2003 年 9 月。
10. 中國鐵道部第二勘測設計院, 鐵路工程設計技術手冊「隧道」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
11. 中國鐵道部, 「洞門」, 中國鐵道出版社, 1990 年, 北京。
12. 中國鐵道部, 「隧道」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
13. 中國鐵道部工務局, 「隧道」, 中國鐵道出版社, 1997 年, 北京。
14. 陳豪雄、殷杰, 「隧道工程」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
15. 鍾桂彤, 「鐵路隧道」, 中國鐵道出版社, 1996 年, 北京。
16. 吳波, 「隧道施工安全風險管理」, 中國鐵道出版社, 2010 年, 北京。
17. 中國鐵道部工程設計鑑定中心, 「高速鐵路隧道」, 中國鐵道出版社, 2006 年, 北京。
18. 張德水, 「台灣政治、種族、地名沿革」, 前衛出版社, 2011 年 01 月, 台北。
19. 臺灣鐵路管理局, 「無遠弗屆的脈動」\_\_台灣的建設(鐵路篇), 1998 年 9 月, 台北。
20. 洪致文, 「台灣鐵道印象」, 南天書局, 1999 年 1 月, 台北。
21. 交通部臺灣區國道新建工程局, 「隧道工程」施工技術解說圖冊, 2006 年 3 月, 台北。
22. 黃樹民, 「台灣往日情懷」, 人人出版公司, 2002 年 3 月, 台北。
23. 喬英忍等, 「世界鐵道綜覽」, 中國鐵道出版社, 2003 年 9 月, 北京。
24. 黃民仁, 「新世紀鐵路工程學」, 文笙書局, 2007 年 3 月, 台北。
25. 中國土木水利工程學會 土木史委員會, 「台灣土木史叢書」--交通工程誌, 中國土木水利工程學會, 2008 年 1 月, 台北。
26. 榮民工程事業管理處, 「北迴鐵路完工報告」, 1982 年 5 月。
27. 臺灣鐵路管理局山線雙工程處, 「鐵路山線竹南至豐原間雙軌工程簡介」, 1998

年 6 月。

28. 孫祺等 4 人，集集大地震三義 1 號隧道震害與修復，「台鐵資料」季刊第 306 期，2001 年 6 月，台北。
29. 范吉櫟、莊育蓁、壽克堅，1999 年集集大地震台灣西部山線鐵路隧道災害之調查、檢討與分析，「台鐵資料」季刊第 320 期，2004 年 12 月，台北。
30. 李佳翰、王兆賢、陳志榮，南迴線金崙等七座隧道安全檢測與改善規劃設計，「台鐵資料」季刊第 333~336 期。
31. 孫祺，鐵路舊山線三義～后里間橋梁隧道檢測，「台鐵資料」季刊第 321~323 期，2005.3~2005.9，台北。
32. 詹積谷譯，建築界限，「台鐵資料」季刊第 324 期，2005.12，台北。
33. 南港紀要第一輯（80.7~86.6），1999 年 09 月，交通部台北市區地下鐵路工程。
34. 台北市區鐵路地下工程 工程紀要系列（第一輯～第四輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
35. 松專紀要系列（第一輯～第三輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
36. 萬板紀要系列（第一輯～第四輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
37. 久保田 博，「鐵道工學」，越後堂株式會社，2004 年 2 月，東京。
38. 天野光三等，「圖說鐵道工學」，丸善株式會社，2005 年 6 月，東京。

# 附錄一 台灣鐵路隧道表

編號	路線名稱	隧道名稱	區間	位置	全長 (M)	淨寬 (M)	淨高 (M)	襯砌材料		備註
								拱環	側壁	
縱隧 1	縱貫線	竹子嶺(雙)	基隆-八堵	2K+406.1~2K+947.45	541.35	8.00	5.12	磚	磚	
縱隧 2	縱貫線	七堵(下雙)	七堵-五堵	6K+937.47~7K+081.77	144.30	8.00	5.12	混凝土	混凝土	
縱隧 3	縱貫線	七堵(上單)	七堵-五堵	6K+951.5~7K+083.68	132.18	4.80	5.12	磚	粗石	
縱隧 4	縱貫線	新五堵	七堵-五堵	10K+313.15~10K+492	434.61	4.57	5.00	磚	磚	
縱隧 5	縱貫線	台北地下鐵(雙)	松山-樹林	16K+220~37K+180	20,960.	9.51	5.95	R.C	R.C	
縱隧 6	縱貫線	山佳	樹林-山佳	44K+429~44K+584	155.00			R.C	R.C	19014 萬元 93.11.29 開 工，98.5.23 竣工
縱隧 7	縱貫線	大甲(雙)	大甲-甲南	181K+299.3~181K+379.6	80.30	8.50	5.28	磚	混凝土	
小 計					22,447.7					
中隧 1	台中線	豐富(雙)	豐富-苗栗	133K+092.5~133K+739.5	647.00			混凝土	混凝土	
中隧 2	台中線	苗南(雙)	苗栗-南勢	143K+333~144K+315	982.00			混凝土	混凝土	
中隧 3	台中線	銅鑼(雙)	南勢-銅鑼	148K+086~148K+416	330.00			混凝土	混凝土	
中隧 4	台中線	三義(雙)	三義-泰安	159K+701.5~167K+055.6	7,354.17		7.29	混凝土	混凝土	159K+701.5~160K+341 為明挖覆蓋段
中隧 5	台中線	三泰(雙)	三義-泰安	168K+073~168K+333	260.00			混凝土	混凝土	
中隧 6	台中線	泰安(雙)	泰安-后里	171K+365.5~171K+882.5	517.00			混凝土	混凝土	
中隧 7	台中線	后豐(雙)	后里-豐原	175K+016.5~175K+471.5	455.00	9.10	7.29	混凝土	混凝土	明挖段 126M 為鋼 筋混凝土
小 計					10,545.2					
宜隧 1	宜蘭線	四瑞一號(雙)	四腳亭-瑞芳	4K+639~5K+015	376.00	8.00	5.16	混凝土	混凝土	
宜隧 2	宜蘭線	四瑞二號(雙)	四腳亭-瑞芳	5K+673~5K+963	290.00	8.20	5.16	混凝土	混凝土	
宜隧 3	宜蘭線	深澳(上單)	四腳亭-瑞芳	7K+326~7K+362	36.00					
宜隧 4	宜蘭線	深澳(下單)	四腳亭-瑞芳	7K+302~7K+374	72.00	4.50	4.56	磚	粗石	
宜隧 5	宜蘭線	龍潭(雙)	瑞芳-侯硐	9K+563~9K+710	147.00					
宜隧 6	宜蘭線	龍鎮(雙)	瑞芳-侯硐	9K+888~9K+957	69.00					
宜隧 7	宜蘭線	柑坪(雙)	瑞芳-侯硐	9K+969~10K+048	79.00					

宜隧 8	宜蘭線	頌德(下單)	瑞芳-侯硐	10K+630~10K+792	162.00						
宜隧 9	宜蘭線	瑞芳(上單)	瑞芳-侯硐	10K+662~10K+790	128.00						
宜隧 10	宜蘭線	福住(雙)	瑞芳-侯硐	11K+192~11K+583	391.00						
宜隧 11	宜蘭線	示德(雙)	瑞芳-侯硐	12K+603~13K+181	578.00						
宜隧 12	宜蘭線	三貂嶺(雙)	三貂嶺-牡丹	16K+465~18K+541	2,076.0						
宜隧 13	宜蘭線	五份(下單)	牡丹-雙溪	22K+055~22K+262	207.00						
宜隧 14	宜蘭線	五份(上單)	牡丹-雙溪	22K+118~22K+198	80.00						
宜隧 15	宜蘭線	雙溪(雙)	雙溪-貢寮	23K+264~23K+384	120.00						
宜隧 16	宜蘭線	共和(雙)	雙溪-貢寮	23K+766~24K+224	458.00						
宜隧 17	宜蘭線	長潭(雙)	雙溪-貢寮	24K+627~24K+894	267.00						
宜隧 18	宜蘭線	福隆(雙)	福隆-石城	33K+345~33K+520	175.00						
宜隧 19	宜蘭線	草嶺(雙)	福隆-石城	33K+991~36K+271	2,280.0	4.70	4.50	混凝土	混凝土		
宜隧 20	宜蘭線	大里(雙)	大里-大溪	41K+392~41K+639	247.00						
宜隧 21	宜蘭線	大溪(雙)	大里-大溪	43K+307.5~44K+009	701.50						
宜隧 22	宜蘭線	合興(雙)	大溪-龜山	45K+668~46K+580	912.00						
宜隧 23	宜蘭線	梗枋(雙)	大溪-龜山	47K+230~47K+480	250.00						
宜隧 24	宜蘭線	更新(雙)	龜山-外澳	50K+488~50K+638	150.00						
宜隧 25	宜蘭線	外澳(雙)	龜山-外澳	51K+408~51K+722	314.00						
小 計					10,565.5						
平隧 1	平溪線	第一號(單)	三貂嶺-十分	0K+993.61~1K+288.16	294.55	4.30	4.27	混凝土	混凝土		
平隧 2	平溪線	第二號(單)	三貂嶺-十分	1K+368.34~1K+388.46	20.12	4.30	4.36	自然岩	自然岩		
平隧 3	平溪線	第三號(單)	三貂嶺-十分	1K+438.77~1K+508.2	69.43	4.35	4.26	自然岩	自然岩		
平隧 4	平溪線	第四號(單)	三貂嶺-十分	2K+394~2K+428.93	34.93	4.28	4.41	自然岩	自然岩		
平隧 5	平溪線	第五號(單)	三貂嶺-十分	2K+515.65~2K+580.75	65.10	4.41	4.38	自然岩	自然岩		
平隧 6	平溪線	第六號(單)	三貂嶺-十分	4K+540.72~4K+631.06	90.34	4.35	4.25	混凝土	混凝土		
小 計					574.47						
深隧 1	深澳線	瑞澳(單)	瑞芳-八斗子	2K+267.39~2K+377.39	110.00	4.40	4.54	混凝土	混凝土		
深隧 2	深澳線	第一號(單)	瑞芳-八斗子	4K+317.19~4K+419.25	102.06						
深隧 3	深澳線	第二號(單)	八斗子-深澳	5K+508.63~5K+667.59	157.96						
小 計					370.02						
內隧 1	內灣線	竹東(單)	竹中-竹東	13K+895~14K+275	380.00	4.80	4.43	混凝土	混凝土		
內隧 2	內灣線	合興(單)	九讚頭-合興	23K+904~24K+029	125.00	4.70	4.92	混凝土	混凝土		
內隧 3	內灣線	南河(單)	合興-內灣	24K+949.3~25K+115.8	166.50	4.90	4.68	混凝土	混凝土		
內隧 4	內灣線	九芎坪(單)	合興-內灣	26K+835~27K+017	182.00	5.10	5.03	混凝土	混凝土	86 年南端 延長 30M 箱涵	
內隧 5	內灣線	明隧道(單)	合興-內灣	27K+200~27K+323.2	123.20						
小 計					976.70						



集隧 1	集集線	第一(單)	龍泉-集集	17K+432~17K+815	383.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 2	集集線	第二(單)	集集-水里	22K+932~23K+745	813.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 3	集集線	第三(單)	集集-水里	23K+747~24K+315	568.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 4	集集線	中興(單)	集集-水里	24K+685~24K+775	90.00	4.46	4.78	混凝土	混凝土	
集隧 5	集集線	第四(單)	水里-車埕	27K+811~27K+951	140.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 6	集集線	第五(單)	水里-車埕	28K+890~28K+999	109.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 7	集集線	第六(單)	水里-車埕	29K+438~29K+505	67.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 8	集集線	明隧一號	集集-水里	K25+130~K25+160	30.00			R.C	R.C	民國 91 年建
集隧 9	集集線	明隧二號	集集-水里	K25+360~K25+500	140.00			R.C	R.C	民國 91 年建
小 計					2,340.0					
北隧 1	北迴線	蘇澳一號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+338~2K+537	199.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 2	北迴線	新蘇澳一號(單)	蘇澳新站-永樂	1K+936~2K+139	203.00					
北隧 3	北迴線	蘇澳二號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+585~2K+698	113.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 4	北迴線	新蘇澳二號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+492~3K+221	729.00					
北隧 5	北迴線	蘇澳三號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+145~3K+351	206.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 6	北迴線	新蘇澳三號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+296145~3K+626	330.00					
北隧 7	北迴線	蘇澳四號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+480~3K+719	239.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 8	北迴線	新蘇澳四號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+661~3K+916	255.00					
北隧 9	北迴線	永春(單)	永樂-東澳	5K+444.5~9K+465	4,020.50	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 10	北迴線	新永春(單)	永樂-東澳	5K+224~9K+684	4,460.00					
北隧 11	北迴線	新東澳	永樂-東澳	10K+424~10K+597	173.00					
北隧 12	北迴線	南澳(單)	東澳-南澳	11K+733~17K+019	5,286.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 13	北迴線	新南澳(單)	東澳-南澳	11K+600~16K+945	5,345.00					
北隧 14	北迴線	新武塔	南澳-武塔	20K+483~22K+117	1,634.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 15	北迴線	新觀音	武塔-漢本	24K+097~34K+404	10,307.0	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 16	北迴線	新和平	和平-和仁	43K+560~46K+655	3,095.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 17	北迴線	和仁(單)	和仁-崇德	48K+487.5~50K+898.5	2,411.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 18	北迴線	新和仁(單)	和仁-崇德	48K+345~50K+877	2,532.00					
北隧 19	北迴線	清水(單)	和仁-崇德	51K+188.3~53K+294.3	2,106.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 20	北迴線	新清水(單)	和仁-崇德	51K+110~53K+320	2,210.00					

北隧 21	北迴線	崇德(單)	和仁-崇德	53K+457.3~56K+139.3	2,682.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 22	北迴線	新崇德(單)	和仁-崇德	53K+460~56K+100	2,640.00					
小 計					51,175.5					
東隧 1	東幹線	溪口一號(單)	溪口-南平	24K+356~24K+398	42.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 2	東幹線	溪口二號(單)	溪口-南平	24K+815.2~26K+413.8	1,598.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 3	東幹線	鳳林	鳳林-萬榮	34K+581.5~35K+445	864.00					
東隧 4	東幹線	光復(單)	萬榮-光復	39K+132.05~41K+488.3	2,356.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 5	東幹線	自強(單)	瑞穗-三民	67K+485.79~70K+385	2,900.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 6	東幹線	山里一號(單)	山里-卑南	148K+880.13~149K+150.6	390.50	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 7	東幹線	山里二號(單)	山里-卑南	149K+306.12~149K+543.1	262.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 8	東幹線	山里三號(單)	山里-卑南	149K+588~149K+948	360.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 9	東幹線	山里四-五號(單)	山里-卑南	150K+063.15~150K+303.6	706.50	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 10	東幹線	山里六號(單)	山里-卑南	150K+810.02~152K+191.5	1,401.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 11	東幹線	山里七號(單)	山里-卑南	152K+327.98~153K+350.6	1,053.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
小 計					11,933.0					
南隧 1	南迴線	嘉和遮體(單)	內獅-枋山	6K+801.9~7K+981.9	1,180.0					
南隧 2	南迴線	枋電一號(單)	內獅-枋山	12K+664~12K+704	40.00	4.32	5.50			
南隧 3	南迴線	枋電二號(單)	內獅-枋山	12K+980~13K+065	85.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 4	南迴線	枋山一號(單)	枋山-枋野	13K+945~14K+245	300.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 5	南迴線	枋山二號(單)	枋山-枋野	14K+917~15K+502	585.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 6	南迴線	枋山三號(單)	枋山-枋野	15K+795~16K+483	688.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 7	南迴線	枋山四號(單)	枋山-枋野	17K+170~17K+326	156.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 8	南迴線	枋山五號(單)	枋山-枋野	17K+729~17K+934	205.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 9	南迴線	枋野一號(單)	枋山-枋野	18K+218~20K+027	1,809.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 10	南迴線	枋野二號(單)	枋山-枋野	20K+777~21K+497	720.00	4.32	5.50	R.C	R.C	單線 670M，雙 線 50M
南隧 11	南迴線	枋野三號(單)	枋野-古莊	22K+004~23K+364	1,360.0	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 12	南迴線	中央(雙)	枋野-古莊	23K+745~31K+815	8,070.0	8.50	6.72	R.C	R.C	

南隧 13	南迴線	菩安(雙)	枋野-古莊	32K+243~32K+382	139.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 14	南迴線	安朔三號(雙)	枋野-古莊	32K+648~38K+131	5,483.0	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 15	南迴線	古莊一號(雙)	枋野-古莊	38K+548~38K+726	178.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 16	南迴線	古莊二號(雙)	枋野-古莊	38K+828~39K+113	285.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 17	南迴線	古莊三號(雙)	枋野-古莊	39K+319~40K+009	690.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 18	南迴線	古莊四號(單)	古莊-大武	40K+728~40K+881	153.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 19	南迴線	古莊五號(單)	古莊-大武	41K+108~41K+478	370.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 20	南迴線	古莊六號(單)	古莊-大武	41K+948~42K+126	178.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 21	南迴線	古莊七號(單)	古莊-大武	42K+192~42K+393	201.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 22	南迴線	大武一號(單)	古莊-大武	42K+523~42K+895	372.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 23	南迴線	大武二號(單)	大武-瀧溪	44K+018~45K+198	1,180.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 24	南迴線	大鳥(單)	大武-瀧溪	46K+146~49K+800	3,654.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 25	南迴線	加津林(單)	大武-瀧溪	50K+230~50K+704	474.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 26	南迴線	富山(單)	大武-瀧溪	52K+451~52K+525	74.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 27	南迴線	大竹一號(單)	大武-瀧溪	53K+513~54K+965	1,452.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 28	南迴線	大竹二號(單)	大武-瀧溪	55K+807.55~57K+043.55	1,236.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 29	南迴線	大竹三號(單)	大武-瀧溪	57K+520.5~57K+717.9	197.40	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 30	南迴線	瀧溪(單)	瀧溪-金崙	58K+575.67~58K+713.24	138.17	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 31	南迴線	大竹四號(單)	瀧溪-金崙	58K+748.6~58K+918.6	170.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 32	南迴線	多良一號(單)	瀧溪-金崙	58K+967.7~60K+616.7	1,649.0	4.32	5.50	R.C	R.C	北端雙線 80M
南隧 33	南迴線	多良二號(單)	瀧溪-金崙	61K+247.6~61K+293	45.40	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 34	南迴線	多良二之一號(單)	瀧溪-金崙	61K+345.7~62K+868.7	1,523.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 35	南迴線	金崙(單)	金崙-太麻里	64K+127.05~68K+519.05	4,392.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 36	南迴線	香蘭(單)	金崙-太麻里	69K+122.5~69K+427.5	305.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 37	南迴線	新吉(單)	太麻里-知本	77K+223.25~77K+591.25	368.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
小 計					40,105.0					
合 計 (132 座)					151,033					

## 附錄二、台灣鐵路局廢棄隧道一覽表

### 縱貫線北段

No.	隧道名稱	長度( m )	單/雙線	所在區間	備註
1	獅球嶺隧道	235	單線	基隆 - 八堵	台灣第一座鐵路隧道 使用年代 1890~1898
2	竹子嶺隧道	556	雙線	三坑 - 八堵	2006/1/11 停用
3	南港隧道	97	雙線	汐科 - 南港	2008/9/21 停用
4	茶山隧道	438	單線	山佳 - 鶯歌	使用年代 1901~1925
5	崎頂一號隧道	131	雙線	香山 - 崎頂	使用年代 1928~1978 整修後改為遊憩步道
6	崎頂二號隧道	67	雙線	香山 - 崎頂	使用年代 1928~1978 整修後改為遊憩步道

### 舊山線

No.	隧道名稱	長度( m )	單/雙線	所在區間	備註
7	造橋隧道	193	單線	造橋- 豐富	整修後改為生態園區
8	苗栗隧道	441	單線	苗栗- 南勢	整修後改為遊憩步道
9	南勢隧道	240	單線	南勢- 銅鑼	廢棄
10	一號隧道	230	單線	三義- 勝興	待路線復駛後重新使用
11	二號隧道	725	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
12	三號隧道	511	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
13	四號隧道	48	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
14	五號隧道	237	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
15	六號隧道	228	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
16	七號隧道	1262	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
17	八號隧道	515	單線	泰安- 后里	廢棄
18	九號隧道	1270	單線	后里- 豐原	成為后豐鐵馬道一部

縱貫線海線					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
19	第一白沙屯隧道	295	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1921~1973
20	第二白沙屯隧道	162	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1921~1973
21	第三白沙屯隧道	56	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1920~1973

宜蘭線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
22	三瓜子隧道	111	單線	三貂嶺 - 牡丹	使用年代 1921~1985
23	三貂嶺隧道	1852	單線	三貂嶺 - 牡丹	使用年代 1922~1985
24	舊草嶺隧道	2166	單線	福隆 - 石城	使用年代 1924~1985 整修後改爲自行車道

舊北迴線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
25	武塔一號隧道	345	單線	南澳 - 武塔	廢棄
26	武塔二號隧道	185	單線	南澳 - 武塔	廢棄
27	觀音隧道	7740	單線	武塔 - 漢本	廢棄
28	鼓音隧道	401	單線	武塔 - 漢本	廢棄
29	谷風隧道	1959	單線	武塔 - 漢本	廢棄
30	和平隧道	2969	單線	和平 - 和仁	廢棄

舊東線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
31	掃叭隧道	1110	單線	舞鶴 - 三民	使用年代 1916~1984

深澳線

No.	隧道名稱	長度(m)	單/雙線	所在區間	備註
32	瑞澳隧道	待查	單線	瑞芳 - 八斗子	待路線復駛後使用
33	一號隧道	待查	單線	瑞芳 - 八斗子	待路線復駛後使用
34	二號隧道	待查	單線	八斗子 - 深澳電廠	廢棄
35	三號隧道	待查	單線	瑞濱 - 海濱	廢棄
36	四號隧道	待查	單線	海濱 - 濂洞	廢棄

東勢線 1991.9.1 停駛

No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
37	東勢隧道	23	單線	梅子 - 東勢	成爲東豐自行車綠廊一部

淡水線 1988.7.16 停駛

No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
38	關渡隧道	120	單線	關渡 - 竹圍	1997 改爲台北捷運淡水線之雙線隧道

### 作者學經歷檔案

陳鴻麟，1959年生於台灣屏東，1982年淡江大學土木系畢業，1993年交通大學交通運輸研究所畢業，土木技師高考及格，鐵路特考員級、高員級及格。1986年進入鐵路局服務，歷任工務處橋隧科助理工務員、工務員、幫工程司、副工程司、正工程司、副長級正工程司。職務經歷：工務處橋隧科隧道股股長、橋梁股股長、台北工務段副段長、宜蘭工務段段長、台北工務段段長，工務處橋隧科科長、副處長。山線雙軌工程處三義施工所主任，土木組長，專案工程處處長等職。

E\_mail：honling.chen@msa.hinet.net

# 目 錄

目 錄.....	1
<b>1、緒章 .....</b>	<b>4</b>
1.1 定義 .....	4
1.2 隧道簡史 .....	5
1.3 鐵路隧道 .....	7
1.4 台灣鐵路隧道.....	10
<b>2、隧道基本構造 .....</b>	<b>11</b>
<b>3、隧道種類與型式 .....</b>	<b>14</b>
3.1 鐵路隧道分類.....	14
3.2 鐵路隧道形狀與淨空 .....	17
3.3 鐵路隧道洞門.....	20
<b>4、隧道結構與型式之演進 .....</b>	<b>24</b>
4.1、隧道施工方法之演進 .....	24
4.1.1 人工及機械開鑿時期.....	24
4.1.2 炸藥運用時期.....	27
4.1.3 施工機械自動化時期.....	30
4.2、隧道結構之演進 .....	32
<b>5、台灣鐵路隧道 .....</b>	<b>36</b>
5.1 縱貫線鐵路隧道 .....	36
5.1.1 台灣鐵路隧道之始.....	36
5.1.2 竹仔嶺隧道沿革.....	37
5.1.3 台北地下鐵路隧道.....	38
5.1.4 其他縱貫線鐵路隧道 .....	42
5.2 台中線鐵路隧道 .....	43
5.3 東線鐵路隧道.....	45
5.4 宜蘭線鐵路隧道 .....	47
5.5 北迴線鐵路隧道 .....	50
5.6 南迴線鐵路隧道 .....	53
5.7 各支線鐵路隧道 .....	59
5.7.1 內灣線鐵路隧道.....	59
5.7.2 平溪線鐵路隧道.....	60



5.7.3 集集線鐵路隧道.....	61
5.7.4 其他支線鐵路隧道.....	63
<b>6、隧道工程三部曲：規劃、設計與施工.....</b>	<b>64</b>
6.1 三義隧道工程簡介 .....	64
6.1.1 興建緣起.....	64
6.1.2 工程範圍.....	64
6.1.3 地質條件.....	65
6.1.4 設計與施工.....	66
6.1.5 施工作業流程 .....	66
6.1.6 環保措施.....	68
6.2 隧道工程規劃.....	68
6.2.1 地質調查.....	68
6.2.2 選線原則.....	73
6.3 隧道設計__NATM 之基本設計 .....	76
6.3.1 工程地質特性 .....	76
6.3.2 水文地質特性 .....	76
6.3.3 地震活動.....	77
6.3.4 岩體分類.....	77
6.3.5 主隧道基本設計.....	80
6.3.6 穿越高速公路段.....	81
6.4 隧道施工__NATM 之施工 .....	82
6.4.1 主隧道施工.....	82
6.4.2 豎井施工.....	85
6.4.3 穿越高速公路段之施工.....	87
6.5 總結 .....	93
6.6 集集地震災害搶修與復舊 .....	93
<b>7、隧道災害搶修 .....</b>	<b>94</b>
7.1 隧道口.....	94
7.2 隧道內淹水 .....	95
7.2.1 納莉颱風台北地下隧道災害搶修與復舊.....	96
7.3 隧道壁體劣化與剝落.....	101
7.4 地震對隧道的影響 .....	105
7.4.1 新山線三義 1 號隧道震後調查.....	106
7.4.2 舊山線隧道震後調查.....	111
7.4.3 震災損傷及破壞原因分析.....	113
7.5 三義隧道震災搶修與復舊工法 .....	115
7.5.1 復舊對策與流程.....	115

7.5.2 三義隧道之震害修復.....	116
<b>8、隧道安全.....</b>	<b>122</b>
8.1 隧道檢查.....	122
8.1.1 檢查之目的.....	122
8.1.2 檢查之依據.....	122
8.1.3 檢查之種類與內容.....	122
8.2 隧道消防設施.....	125
8.3 隧道通風口及逃生避難設施.....	126
<b>9、隧道內之行車事故與處理.....</b>	<b>129</b>
9.1 新南澳隧道內貨物列車追撞事故搶修.....	129
9.2 新南澳隧道概述.....	129
9.2.1 土建結構物.....	129
9.2.2 軌道結構.....	131
9.3 事故發生及搶修經過.....	132
9.3.1 事故發生經過.....	132
9.3.2 搶修經過（動員人力、機具、方法等）.....	134
9.4 總結.....	136
<b>10、現階段的隧道維修與管理.....</b>	<b>142</b>
10.1 隧道維修與補強.....	142
10.2 隧道補強對策與工法.....	143
10.2.1.剝落對策.....	143
10.2.2.裂縫對策.....	145
10.2.3.漏水對策.....	146
10.2.4.其它對策.....	148
<b>參考文獻.....</b>	<b>149</b>
<b>附錄一 台灣鐵路隧道表.....</b>	<b>151</b>
<b>附錄二、台灣鐵路局廢棄隧道一覽表.....</b>	<b>156</b>

# 1、緒章

## 1.1 定義

何謂「隧道」？簡而言之，可以如此定義：「不挖除地層上方岩石或土壤而建造的地下通道」。

據此，則可以稱為「隧道」的地下結構體數量，豈不多到難以數計？  
也不盡然！

定義上既說明是「建造」出來的，當然也得以人工完成的才算，所以，範圍縮小至人類所開鑿的「地下通道」。早期人類於穴居時代，除了利用天然洞穴外，即學會逐漸以人工方式開鑿供居住的洞窟，但這些洞穴並不是相互聯通，足以提供往來交通使用的通道，故仍不能稱為「隧道」。

歸納起來，堪稱之為「隧道」者，至少應包括下列幾項要素：

- 1、地面以下的結構體。
- 2、由人工或機具所建造。
- 3、有出入口可連通兩個以上端點。
- 4、能供物資流通或人類交通使用。

至於本書中所述的「鐵路隧道」，除了上述條件外，則是專指火車、鐵路被運用於人類交通及貨物運輸以後，所開鑿的隧道而言。



## 1.2 隧道簡史

迄今所知最古老的「隧道」，約出現於 4000 年前（西元前 2180～前 2160 年），為古巴比倫的希米拉米斯皇后時代，也是第一座為交通目的而建造的隧道。古巴比倫人為了連通皇宮與位在幼發拉底河對岸的神廟，建造了一條穿越河床底下的隧道，長約 1 公里，斷面為 3.6 公尺×4.5 公尺，初步使用了支撐、襯砌等技術，可以說是最早期的隧道施工技術了。不過當時並沒有地下挖掘技術，而是採用明挖法，即是先將河流改道，待隧道施工完成後，再將移除的土石回填，恢復河床面。

上述古巴比倫隧道結構完善，側壁是用天然瀝青灰漿砌磚，頂蓋則覆以拱形襯砌。顯然，古巴比倫人早已累積了相當高明的隧道建造技術與方法，也能利用適當材料做成隧道施工所需的基本元件，如磚塊、擋土版、支撐桿件等。

此外，在埃及古墓與廟宇的考古中，也發現許多數千年前建於岩石中的隧道。而在中國發掘的古墓穴中也多留有夯土形成的隧道，做為棺槨運送通道及人員進出走道，其壁體有砌石、砌磚、木構支撐等。

城牆興起之後，開鑿隧道成為攻城戰的方法之一，挖掘隧道用以破壞城牆、堡壘，或直接通達城內，這種作戰方式同時出現於東西方文明。二千多年前的羅馬人與希臘人間的城堡爭奪戰，即使用隧道挖掘戰法，直接潛入城內；中國則出現於戰國初期，在《墨子》一書中提出了十二種攻城方法，其中便有：「穴、空洞」兩種挖掘隧道的戰法。

約 2700 年前，猶太人在耶路撒冷興建一條 200 公尺長的隧道，內部斷面 0.7m×0.7m，用以引泉水至城內。另在薩摩斯島上的希臘隧道，建於 2600 年前，長 1.5 公里，斷面 1.8m×1.8m，其目的也是為了給水。最有名的給水隧道是 1800 年前雅典時代的哈德良王朝所建，迄今仍為羅馬市政府自來水廠使用，已成為觀光景點。

中世紀黑暗時代，匈牙利人曾在薩麥克班亞地方建造一條長達 5.6 公里的排水隧道，在當時可稱之為世界第一。這些早期的岩石隧道，開鑿時已使用黑色炸藥，在此之前，開鑿岩石是用錘、楔、人力，有時將岩石燒熱，在噴以冷水，使岩石突然縮收而龜裂，利用的是熱脹冷縮原理。隧道開鑿技術在人類學會運用炸藥之後，快速進展，開始出現長達數公里的隧道。

西元前 36 年，古意大利人在那不勒斯和普佐里之間開鑿的「普西里伯道路隧道」，長約 1500 公尺，寬 8 公尺，高 9 公尺，是在凝灰岩中鑿成的一條長隧道。而中國最早用於交通的隧道是古褒斜道上的石門隧道(圖 1.2-1)、(圖 1.2-2)，建成於東漢永平九年(西元 66 年)。古隧道為省去襯砌，多建於較堅硬的岩石中。由於缺乏比較完善的工具和設備，當時隧道的修築技術水平很低，一座很短的隧道大多需十幾年至幾十年的時間才能建成。



(圖 1.2-1、圖 1.2-2) 中國陝西省石門隧道

19 世紀 20 年代，蒸汽機的出現以及鐵路和煉鋼工業的發展，促進了隧道及地下工程的發展。1826~1830 年在英國利物浦至曼徹斯特間的路線上，於硬岩中修建了兩座最早的鐵路隧道。1843 年在英國泰晤士河，修建了第一條水底道路隧道。1860 年開始修建倫敦地下鐵道。這個時期在歐洲大陸還修建了幾座較長的鐵路公路隧道，如瑞士辛普朗鐵路隧道(長 19.8 公里)、聖哥達公路隧道等；隨著施工技術的發展，還修建了不少穿越江河的水底隧道。

但一直到 20 世紀 50 年代，人們才逐步總結出各種類型隧道及地下工程的規劃、設計和施工的基本原理，在土木工程中逐漸形成了一個獨立的工程領域。

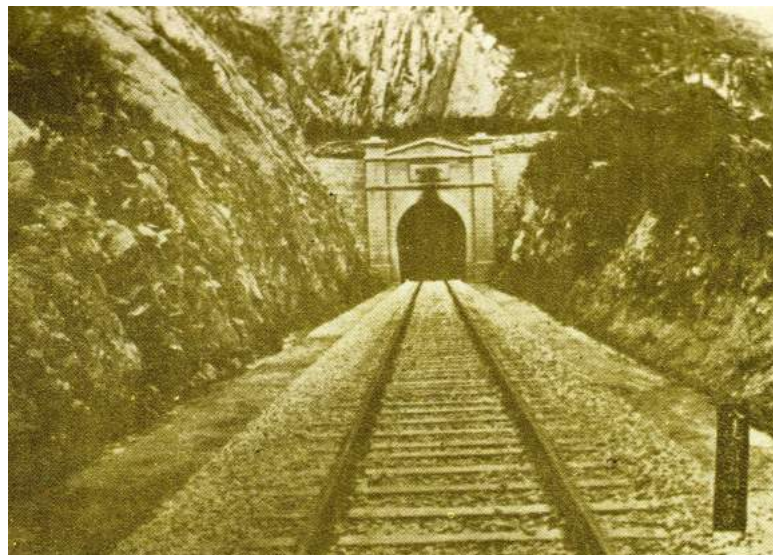


圖 1.2-3 中國京張鐵路八達嶺隧道

### 1.3 鐵路隧道

所謂鐵路隧道，是指修建在地下或水下並鋪設鐵路供機車車輛通行的建築物。根據其所在位置可分為三大類：第一類，為縮短距離和避免大坡道而從山嶺或丘陵下穿越的稱為山岳隧道。第二類，為穿越河流或海峽而從河下或海底通過的稱為水下隧道。第三類，為適應鐵路通過大城市的需要而在城市地下穿越的稱為城市隧道。三類隧道中，修建最多的是山岳隧道。

鐵路線路在穿越天然高程或平面障礙時修建的地下通道。高程障礙是指地面起伏較大的地形障礙，如分水嶺、山峰、丘陵、峽谷等。平面障礙是指江河、湖泊、海灣、城鎮、工礦企業、地質不良地段等。鐵路隧道是克服高程障礙的有效方法，有時甚至是唯一的方法。它可使線路的標高降低、長度縮短並減緩其縱向坡度，而提高運量和行車速度。鐵路線路遇到平面障礙時，可採用繞行或隧道穿越兩種方法。前者往往是不經濟的甚至是不可能的，如江河、海峽等，採用隧道則常是一種最好的解決方法。

自英國於 1826 年起在蒸汽機車牽引的鐵路上開始修建長 770 公尺的泰勒山單線隧道和長 2474 公尺的維多利亞雙線隧道以來，英、美、法等國相繼修建了大量鐵路隧道。截至 2006 年底最長的是瑞士的勒奇山隧道（Loetschberg），總長 34 公里，1994 年開始開鑿，2005 年 4 月 28 日貫通，2007 年正式通車，中國青藏鐵路風火山隧道全長 1338 公尺，軌面標高 4905 公尺，是現今世界最高的標準軌距鐵路隧道(截至 2006 年底)。在 19 世紀 60 年代以前，修建的隧道都用人工鑿孔和黑火藥爆破方法施工。1861 年修建穿越阿爾卑斯山脈的仙尼斯峰鐵路隧道時，首次應用風動鑿岩機代替人工鑿孔。1867 年修建美國胡薩克鐵路隧道時，開始採用硝化甘油炸藥代替黑火藥，使隧道施工技術及速度得到進一步發展。

在 20 世紀初期，歐洲和北美洲一些國家鐵路形成鐵路網，其中較長的瑞士和義大利間的辛普朗鐵路隧道長 19.8 公里。美國長約 12.5 公里的新喀斯喀特鐵路隧道和加拿大長約 8.1 公里的康諾特鐵路隧道都採用中央導坑法施工。其施工平均年進度分別為 4.1 和 4.5 公里，是當時最快的施工進度。至 1950 年，世界鐵路隧道最多的國家有義大利、日本、法國和美國。日本至 20 世紀 70 年代末，總建成的鐵路隧道約 3800 座，總長約 1850 公里，其中 5 公里以上的長隧道達 60 座，為世界上鐵路長隧道最多的國家。1974 年建成的新關門雙線隧道，長 18675 公尺，為當時世界最長的海底鐵路隧道。1981 年建成的大清水雙線隧道，長 22228 公尺，為世界最長的山嶺鐵路隧道。連接本州和北海道的青函海底隧道，長達 53850 公尺，為當今世界最長的海底鐵路隧道。

20 世紀 60 年代以來，隧道機械化施工水準有很大提高。全斷面液壓鑿岩台車和其他大型施工機具相繼用於隧道施工。噴錨技術的發展和新奧法的應用為隧道工程開闢了新的途徑。掘進機的採用徹底改變了隧道開挖的鑽爆方式。盾構構造不斷

完善，已成為鬆軟、含水地層修建隧道最有效的工具。世界上長度超過 15 公里的鐵路隧道如（表 1.3-1）所示，從表中也可看出，隨著施工技術的日新月異，隧道有愈做愈長的趨勢，尤以近年來高速鐵路發展快速，竟出現幾座長達 50 公里以上的隧道。

表 1.3-1 世界上長度超過 15 公里的鐵路隧道表

隧道名稱	所在國家	總長度（公尺）	軌道數	建造年代
大清水	日本	22800	雙	1971~1979
辛普朗 I 號	瑞士~義大利	19803	單	1893~1906
辛普朗 II 號	瑞士~義大利	19323	單	1912~1923
新關門	日本	18713	雙	1970~1975
亞平寧	義大利	18579	雙	1920~1934
六甲	日本	16250	雙	1967~1971
樺名	日本	15350	雙	1972~1980
聖馬爾科	義大利	15040	單	1961~1970
金井	韓國（南韓）	20333	雙（高鐵）	1998~2004
Vaglia	義大利	18561	雙（高鐵）	1996~2006
青函海底	日本	53850	雙	1964~1988
英法海底	英國~法國	49000	雙（高鐵）	1987~1993
列奇堡	瑞士	34000	雙（高鐵）	1998~2007
聖哥達	瑞士	57000	雙（高鐵）	1998~施工中
瓜達拉馬	西班牙	28377	單（雙線）	2002~施工中



圖 1.3-1 日本青函海底隧道

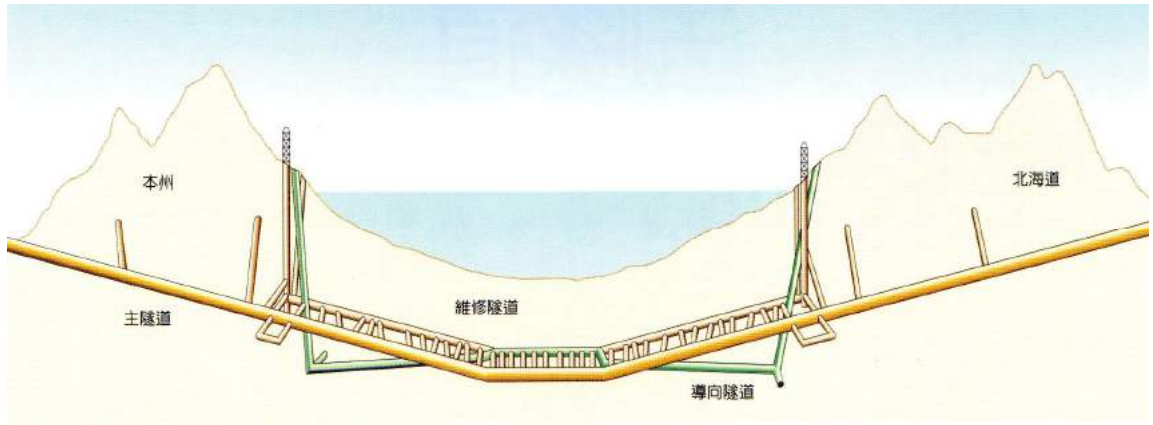


圖 1.3-2 日本青函海底隧道

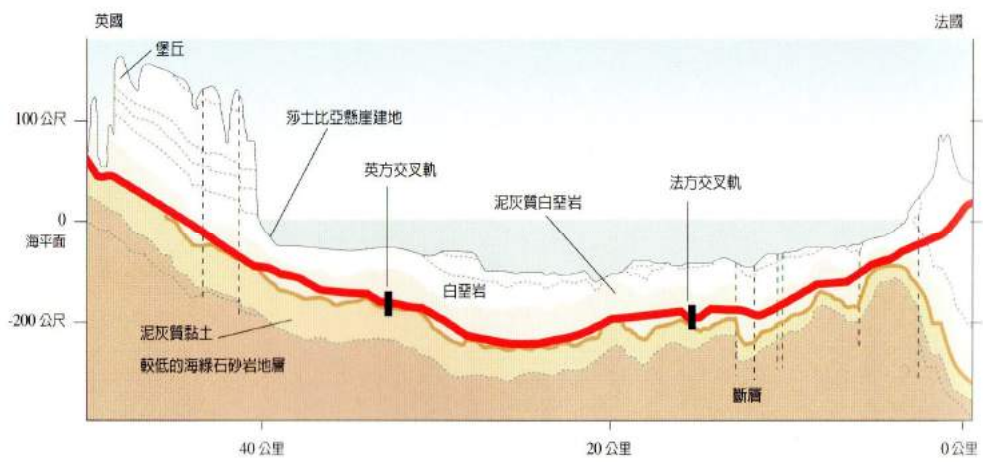


圖 1.3-3 英法海底隧道

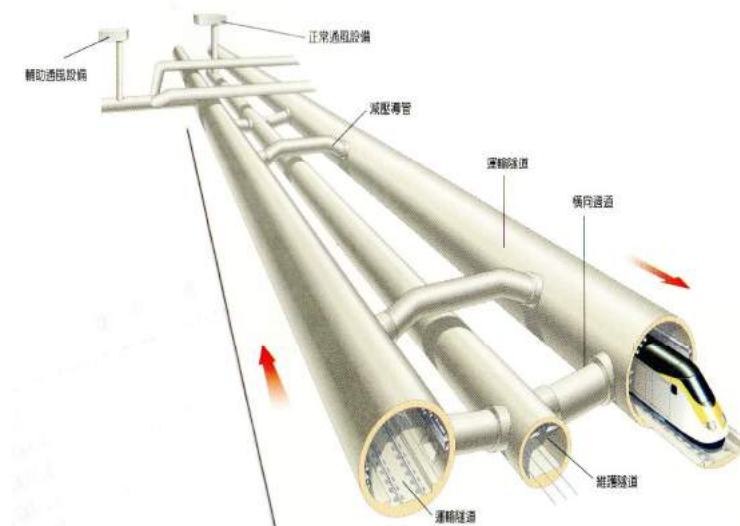


圖 1.3-4 英法海底隧道



## 1.4 台灣鐵路隧道

台灣鐵路於 1887 年開工創建（清光緒十三年），首段路線「基隆至台北」開通於 1891 年（清光緒十七年），迄今已歷 120 年，由於早期的鐵路建設以橋梁、隧道工程最為費工費時、造價昂貴，所以，當一段路線的重要橋梁、隧道完工時，也差不多是該段鐵路通車之時。尤其以穿越窮山峻嶺的隧道工程，是最為費時費工的關鍵工程。

台灣鐵路第一座隧道，也是最為國人所熟知的「獅球嶺隧道」，此隧道全長 235 公尺，為單線鐵路隧道。

很幸運地，這座台灣鐵路創建時最早開鑿的第一座隧道，直到現在仍保存良好，靜靜佇立於基隆市的獅球嶺上，供後人憑弔、緬懷先人創業之艱辛；而同等重要的橋梁，當年跨越基隆河的那座八堵橋，卻已遺蹤渺渺無覓處，此正反應出「橋梁」與「隧道」兩種結構體之基本特質。「橋梁」跨河，立足於河床上，河川流量多變，隨季節而時有災害，舊橋梁維修保存不易，常是一代新橋換舊橋；「隧道」穿山腹而過，山不易動，穩定度高，縱有路線更迭，興建新隧道，舊隧道也會被保留下來，或供儲藏、或供避難、或改為行人通道、或做為其他用途，所以，常見一代新隧伴舊隧，兩隧並存的現象。

## 2、隧道基本構造

隧道之基本構造可分為，隧道主體及隧道附屬設施兩部分；各與建造此隧道時之用途、隧道所在地質、當時的施工技術等條件有關。

隧道主體，一般係指隧道支保、襯砌、洞門、排水設施、路面等隧道結構體之總稱。隧道附屬設施，泛指隧道維持正常營運上所需之通風、照明、防災、電力、監控等附屬設施，包含上述附屬設施運作上所需之相關設備。

隧道於規劃設計階段一般先從路線之佈置與斷面大小等功能需求開始。隧道斷面大小則應符合行車空間，其平面線形與縱坡需符合鐵路規範要求外，尚需考慮曲線段之加寬現象。

隧道之佈置與設計應以地質為優先考慮之因素，選擇地質最佳之洞口與路線，同時就路線地質條件設計需要之隧道。隧道設計所需考量之基本因素，包括地盤特性、斷面形狀、開挖方法、地震、特殊荷重等。

斷面形狀：隧道內空斷面形狀與尺寸，除應含淨空斷面外，尚應包括配置附屬設備所需要之空間（包括通風、照明、防災、電力、內裝修飾等）及襯砌施工誤差需要之寬容量等，以確保隧道之安全性及經濟性。

此外，隧道施工階段所採用的工法、材料、開挖及支撐系統等，也對隧道完工後的基本構造、型態、甚至斷面形狀大小，造成一定程度的影響。例如，台鐵於施工東線鐵路自強隧道時，因產生重大災變，施工停滯，最後引進「新奧工法」解決，也因支撐方法做了重大改變，隧道的斷面、襯砌厚度、仰拱底版等皆與傳統工法所施做的隧道不同。尤有甚者，台鐵隧道施工時，亦嘗因覆蓋層不足，屢屢坍方，最後，改採明挖工法施工，導致隧道斷面由橢圓形變為矩形，構造與主、附屬設施之配置也隨之改變。

以下各項構造，如襯砌與仰拱，為隧道基本構造元素；其他多係施工階段所採用的基本設施，一般並不視為隧道的永久結構，然而，對隧道而言，其重要性卻不亞於隧道永久結構的附屬設施，尤其是，對營運後之維修保養作業方面，施工過程的紀錄與施工方法、設施，乃至於災害搶修方法，都將對該隧道結構產生深遠的影響。

隧道支撐：包括初期支撐與二次支撐（混凝土襯砌）。初期支撐通常在隧道開挖後立即安裝，以支持地盤。通常以噴凝土及岩栓為之；二次支撐則用為初期支撐之防水或防火層，或改善其外觀、改進空氣或水之流通性。

傳統鋼支撐：當地質條件不適用於採岩栓或噴凝土或二者組成之支撐系

統，覆蓋淺且有偏壓之洞口段以及隧道分叉段，可考慮以鋼支撐系統代替岩栓－噴凝土支撐系統。鋼支撐一般採用 I 形鋼或 H 形鋼，斷面對稱之結構鋼。

二次支撐：一般係指混凝土襯砌，可分為：

裝飾性襯砌：視初期支撐為永久支撐，其能力足夠支持岩盤長期載重，無須再以二次襯砌補強。此時之二次襯砌以裝飾及改善通風性能為目的，為無筋混凝土。

結構性襯砌：初期支撐為鋼支撐、擠壓或膨脹性岩盤、長期潛變之岩盤、斷層帶、破碎帶、有高地下水壓或內壓之隧道等，其二次襯砌需承受各種不同之載重，是謂結構性襯砌，通常由鋼筋混凝土為之。

噴凝土：以提供地盤封面及形成薄殼承受荷重為目的。如遇噴凝土黏著不良之地盤、挖掘後自立性不良之地盤或變形較大之地盤，均可採用鋼線網或鋼纖維予以補強。

岩栓：以提供即時支撐，增加地盤強度、勁度及韌性為目的。岩栓是隧道圍岩之主要補強構件，局部安裝時可支持特定岩塊，避免鬆動墜落。成為系統安裝於隧道周圍時，可增強岩體之強度、勁度及韌性。目前使用之岩栓有全長螺紋鋼棒、竹節鋼棒、扭轉鋼棒。

鋼肋：其功能為在噴凝土與岩栓發揮作用前，提供部分支撐力，及補強噴凝土與岩栓構成之支撐系統。常用之鋼料有 H 型鋼、U 型鋼及輕型桁架。

傳統鋼支撐：由鋼支撐、鋼繫桿、木撐桿、木承載塊及木質或鋼矢板等組成立體結構。

仰拱：其功用在於閉合支撐系統，使開挖斷面岩體形成拱效應，以抑制隧道向內之變形。就功能上而言，初期支撐與二次支撐於必要時均應考量設置仰拱；當地質不良時，仰拱將與支撐構造成為一體以形成環圈，作為構造之一部份，增加其強度以抵抗地壓。仰拱由噴凝土、混凝土或鋼筋混凝土構築而成。

二次支撐：隧道開挖後以噴凝土、岩栓、鋼肋所形成的主要支撐構件可視為初期支撐（外襯砌）。俟外襯砌使隧道變位趨於安定後，再就地澆置之混凝土襯砌稱為二次支撐（內襯砌）。內襯砌之目的在提高水密性、防止漏水、提供隧道內部安全設施（照明、通風、消防、偵測等等機電設備）之安裝，及方便隧道之例行檢查與維護。內襯砌於鐵路隧道多為就地澆注之無筋混凝土，但地質不佳或變化地段，得檢討是否需用鋼筋混凝土取代。

洞門型式：洞門構造應具有安定洞口坡面及防範自然災害之功能，其造

形應與周圍景觀調和。洞門之型式可依形狀分為重力型、壁面型及突出型三類。

洞外銜接：隧道洞口與橋樑、路堤、渠道或擋土結構銜接時，應評估銜接結構物與隧道間相對位移與沉陷之影響。

防水設施：防水設施之目的係為提供隧道內乾燥環境，且為謀滲水不致對二次襯砌及隧道內設施有不良影響。防水設施一般有下列方式：

二次襯砌以水密性混凝土施作以減少收縮龜裂及蜂巢。

二次襯砌表面以水泥系材料塗敷。

二次襯砌表面以瀝青系、尿素系等流體狀塗料塗敷。

於二次襯砌混凝土外側，包覆防水膜。

排水設施：當允許地下水排入隧道時，隧道應設適當之進水管道及排水通路，以利排除。但同時仍應有適當之防水措施，拘限地下水儘從預設之管道進入隧道。

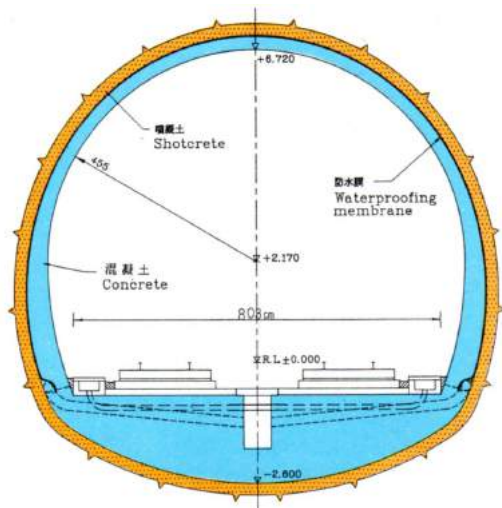


圖 2-1 台鐵隧道主要結構（標準型）

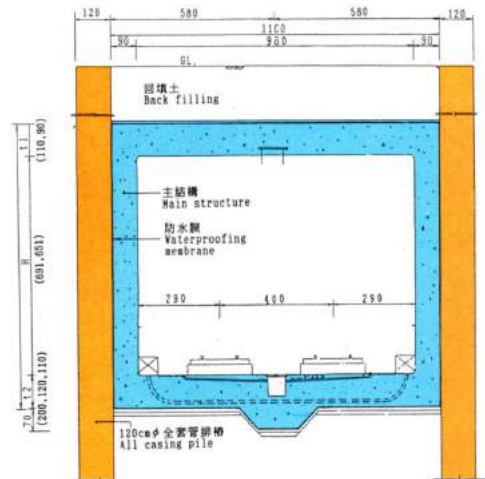


圖 2-2 台鐵隧道主要結構（矩形）

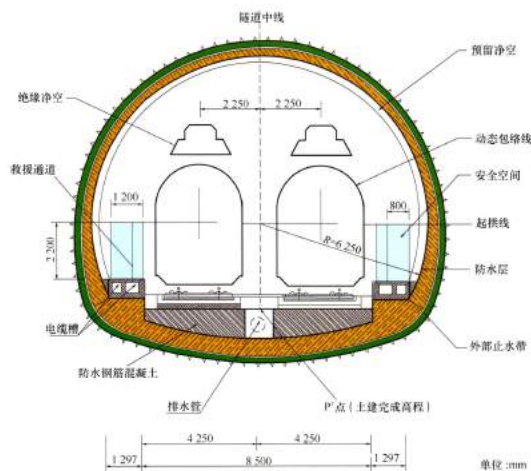
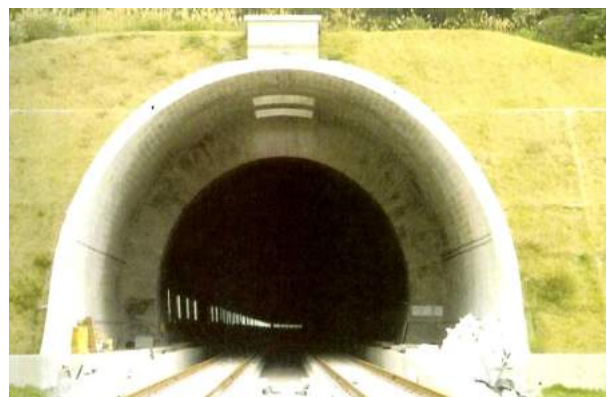


圖 2-3 台灣高鐵隧道主要斷面結構（標準型）



照片 2-1 台灣高鐵隧道

# 3、隧道種類與型式

## 3.1 鐵路隧道分類

隧道種類繁多，分類原則各依其目的與用途而異，例如演述隧道建築史，可依隧道的建造年代而分類，可依其用途、功能而分類，亦可依重要性而分類。對工程技術領域而言，隧道可依下列原則加以歸類。

### 一、依建造材料分類

- 1.天然岩盤隧道
- 2.木構造支撐隧道
- 3.塊石堆砌隧道
- 4.磚造隧道
- 5.混凝土隧道
- 6.鋼筋混凝土隧道
- 7.預鑄鋼筋混凝土節塊隧道
- 8.鋼纖維混凝土隧道
- 9.鋼構造（鋼版、鋼支保）隧道
- 10.鋼肋、鋼絲網及噴凝土混合構造隧道
- 11.多種材料複合式隧道

### 二、依建造目的與用途分類

1. 交通運輸隧道：包括鐵、公路、捷運、地鐵等運輸系統之隧道。
2. 給排水隧道
3. 維生系統通路隧道
4. 通風逃生隧道
5. 其他特殊用途隧道：如軍事作戰、儲藏等目的。

### 三、依隧道所在地之地質特性分類

1. 山岳隧道
2. 都會地區隧道
3. 河底隧道
4. 海底隧道

### 四、依斷面形狀分類

1. 馬蹄形隧道：台鐵早期隧道多屬此型。
2. 拱圈直立形隧道：頂拱圈半圓形或拱弧形、側壁直立，台鐵現有隧道多

屬此依類型。

3. 半圓形隧道：
4. 圓形隧道：
5. 橢圓形隧道：台鐵近年新建之隧道斷面多屬此類型
6. 矩形隧道：一般採用於鐵路的明挖隧道路段
7. 多孔型隧道：
8. 複合型隧道：
9. 扁圓蛋形隧道：
10. 多邊弧形組合型隧道

#### 五、依施工方法分類

1. 傳統工法：
2. 鑽掘機械：
3. 全斷面自動機械施工法：
4. 沉箱隧道施工法
5. 潛盾工法
6. 新奧工法（NATM）：

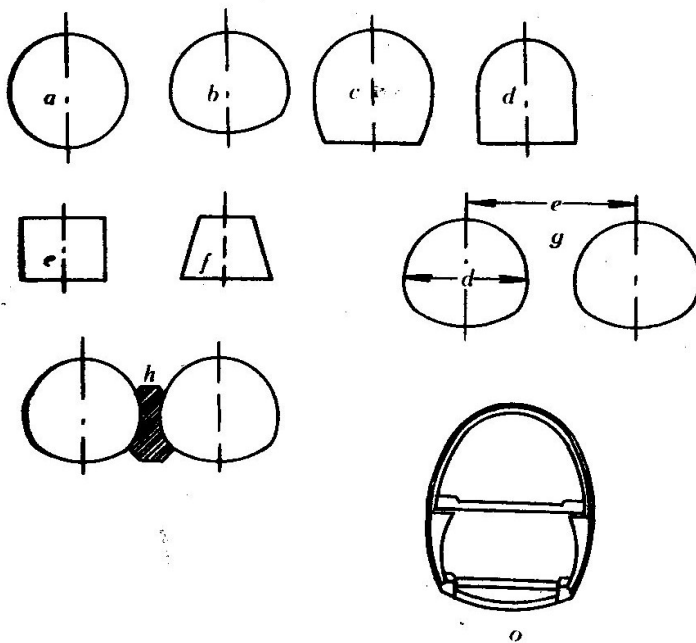


圖 3.1-1 各式隧道斷面形狀：a 圓形 b 橢圓 c 馬蹄形 d 拱圈直立形 e.f 矩形 g 多孔形 h 雙子形 o 雙層隧道

就鐵路隧道而言，又有傳統鐵路、高速鐵路、都市地鐵（捷運系統）、輕鐵、快鐵等區分，一般統稱之為「軌道」運輸系統，似較為貼切，至於「鐵路」一詞，在台灣似較偏向於專指「傳統鐵路」，也等於是台鐵的代名詞。但是縱然如前述，一再將範圍縮小至傳統的台鐵隧道，也有以下數種分類方式。

#### 一、依軌道數而分

- 1.單軌隧道
- 2.雙軌隧道
- 3.多軌隧道

#### 二、依電化淨空而分

- 1.電氣化區間隧道
- 2.非電氣化區間隧道

#### 三、依路線線形而分

- 1.直線段隧道
- 2.單曲線段隧道
- 3.複合曲線段隧道

此外，當然也能依建造材料分為磚造、混凝土造、鋼纖維噴凝土等；依形狀分為馬蹄形、圓拱形、矩形等；依地層條件分為都市地下型、山岳型、河底隧道等；或依地質條件分為礫石層、岩石層、土質層、破碎帶等；依通過山岳位置分為山腹型、坡角型等。

### 3.2 鐵路隧道形狀與淨空

隧道形狀不論如何改變，都必須滿足最小淨空需求，而淨空需求與該路線營運息息相關，路線上行駛的各型列車種類，各有其車輛界限，新車種採購時也必須受路線最小淨空的條件所限制。台鐵因車種繁多，路線興建期又處於不同年代，考量政府財政，計畫改建改線向來皆分階段實施，所以定有電化、非電化，一般建築、橋梁、隧道等多種建築界限。（圖 3.2-1~圖 3.2-4）

台中線鐵路原為建於日據時代，當時採用的馬蹄形斷面隧道，一直使用至鐵路電氣化時，面臨淨空不足問題，台鐵工程司採取的方法，是將隧道降挖至一定深度後，重鋪軌道。（施工照片 3.2-1~照片 3.2-6）

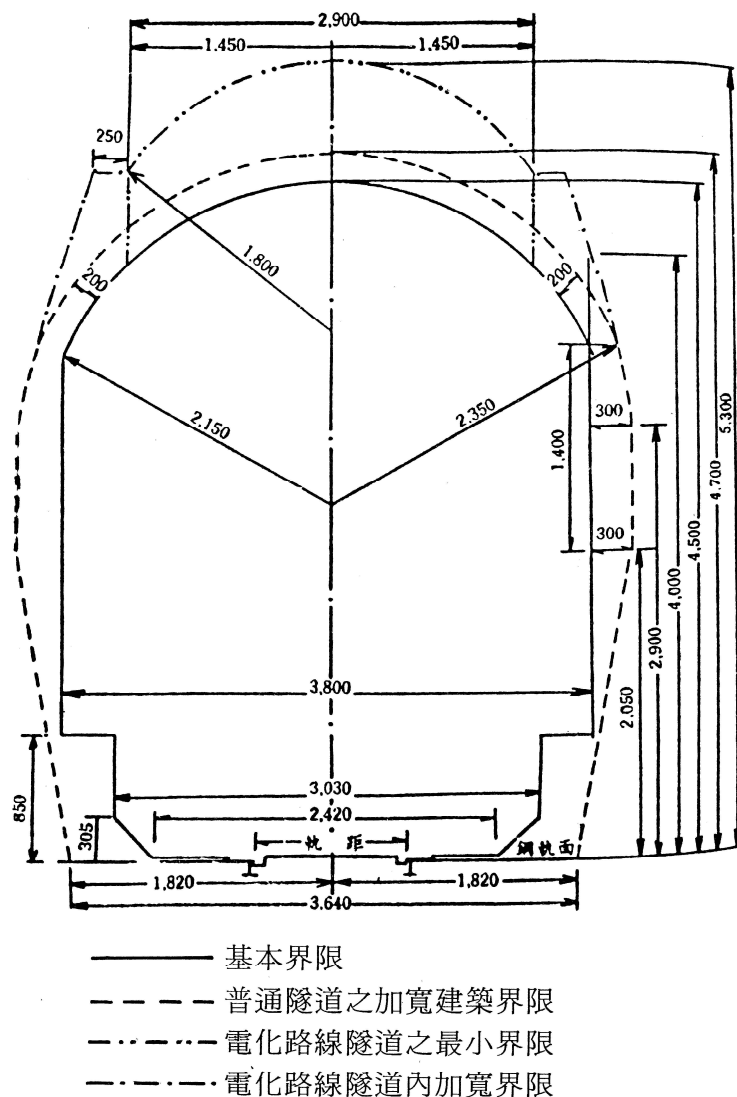


圖 3.2-1 新建電化路線隧道建築界限圖



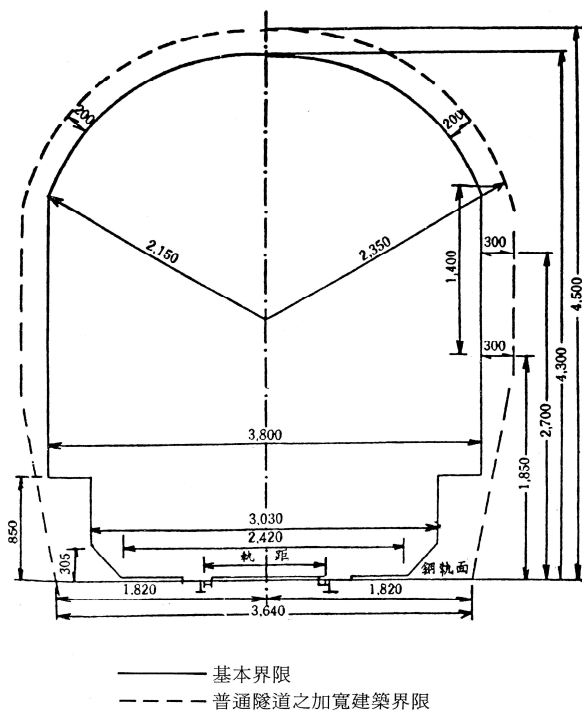


圖 3.2-2 非電化路線隧道建築界限圖

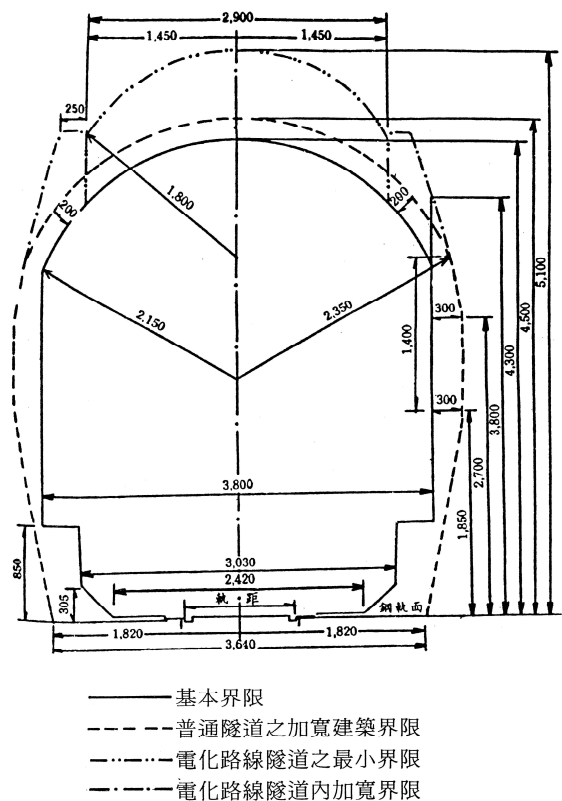


圖 3.2-3 改建電化路線隧道建築界限圖

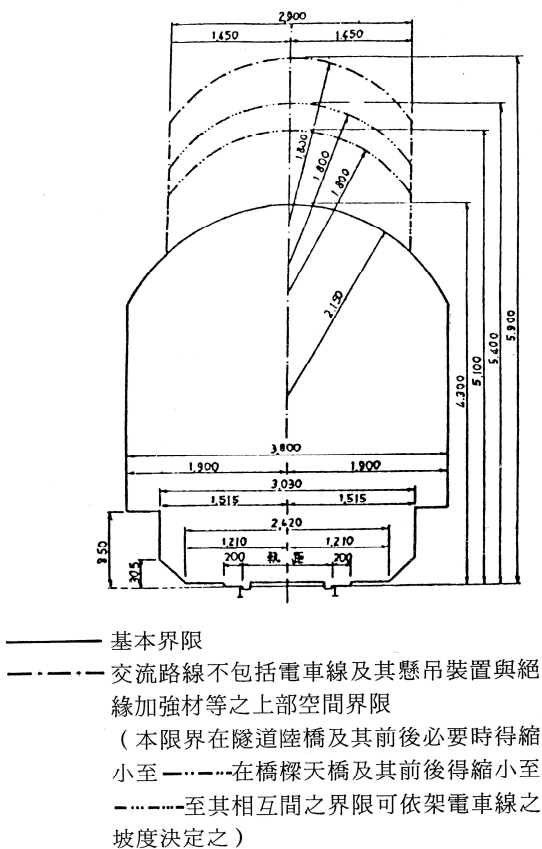


圖 3.2-4 改建電化路線建築界限圖



照片 3.2-1 台鐵隧道電化淨空改善工程



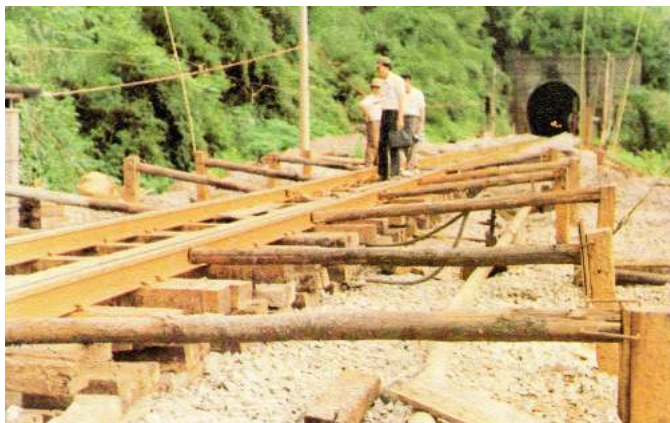
照片 3.2-2 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-3 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-4 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-5 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-6 台鐵隧道電化淨空改善工程

### 3.3 鐵路隧道洞門

隧道口洞門的作用在於支撐與擋土，來自正面仰坡和路塹邊坡的表土壓力，攔截坡面上方的木石滾落，並匯集坡面逕流水，引離隧道，以確保洞口路線的安全。隧道洞門聯繫襯砌和路塹，是整個隧道結構的主要組成部分，也是隧道進出口的標誌。（如圖 3.3-1 所示）

根據洞口地形、地質及襯砌類型等不同狀況，隧道洞門結構有以下幾種形式：  
（如圖 3.3-2~圖 3.3-11 所示）

- 一、 端牆式洞門：
- 二、 柱式式洞門：
- 三、 翼牆式洞門：
- 四、 耳牆式洞門：
- 五、 偏壓洞門：
- 六、 斜交洞門：
- 七、 明洞門：
- 八、 棚架式洞門：

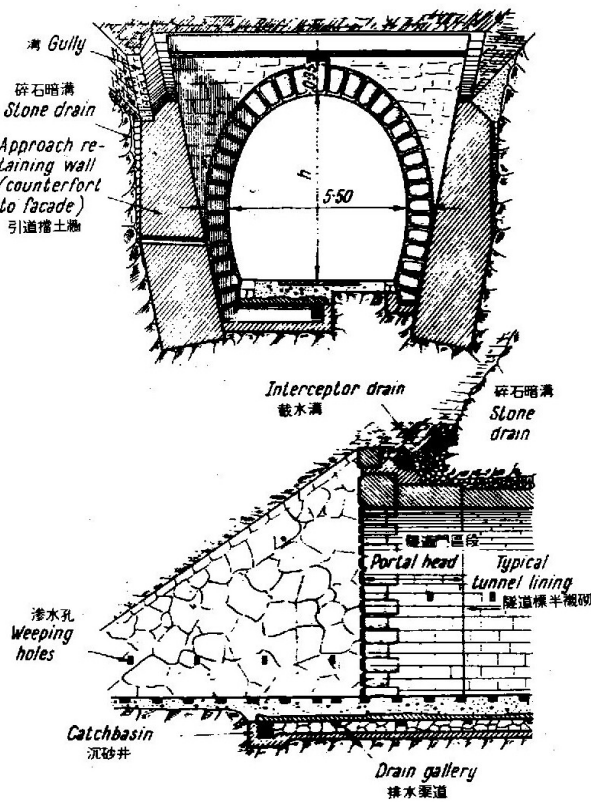


圖 3.3-1 鐵路隧道洞門（馬蹄形斷面）

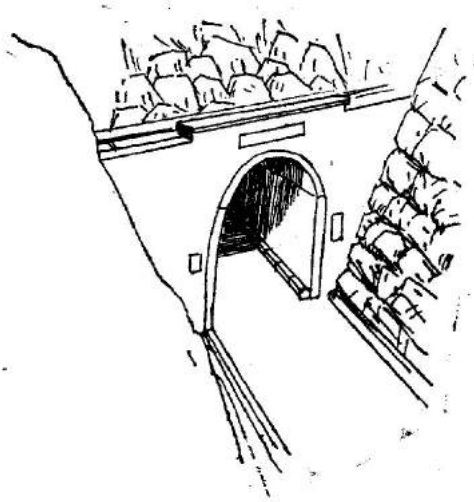


圖 3.3-2 端牆式隧道洞門

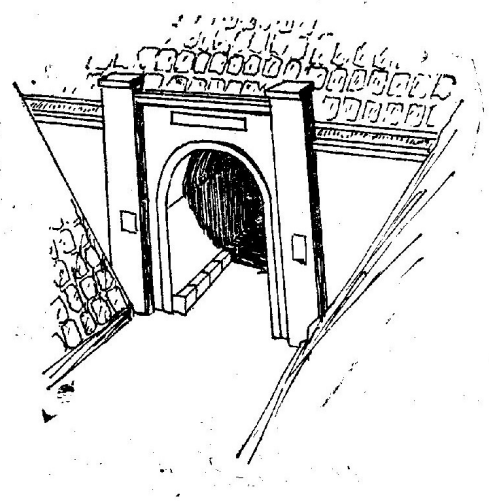


圖 3.3-3 柱式隧道洞門

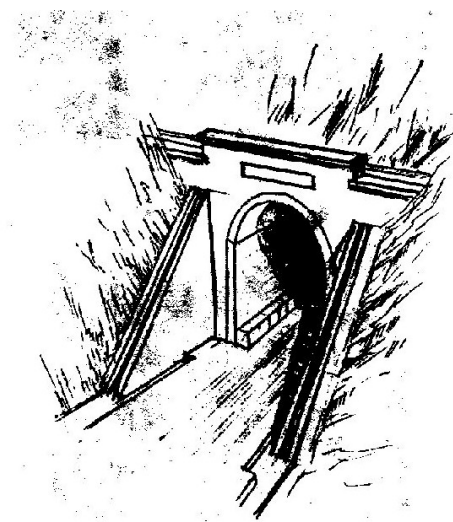


圖 3.3-4 翼牆式隧道洞門

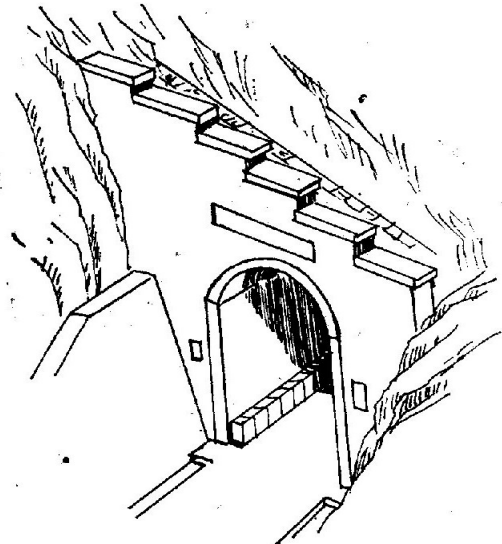


圖 3.3-5 偏壓隧道洞門

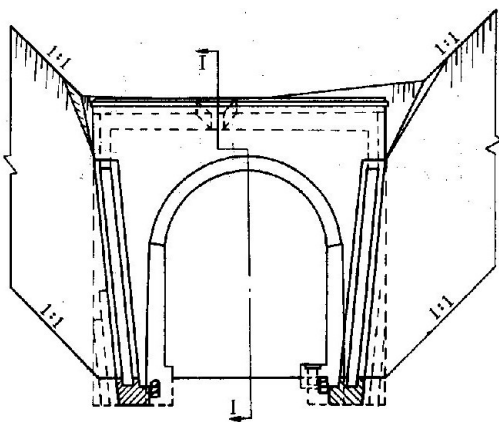
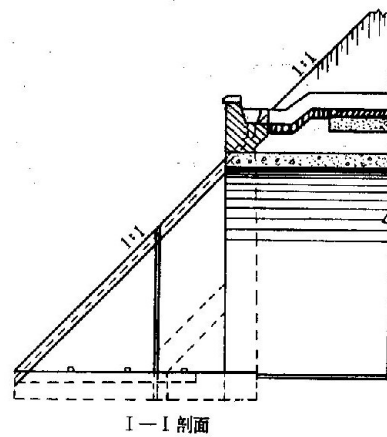


圖 3.3-6 翼牆式明隧道洞門



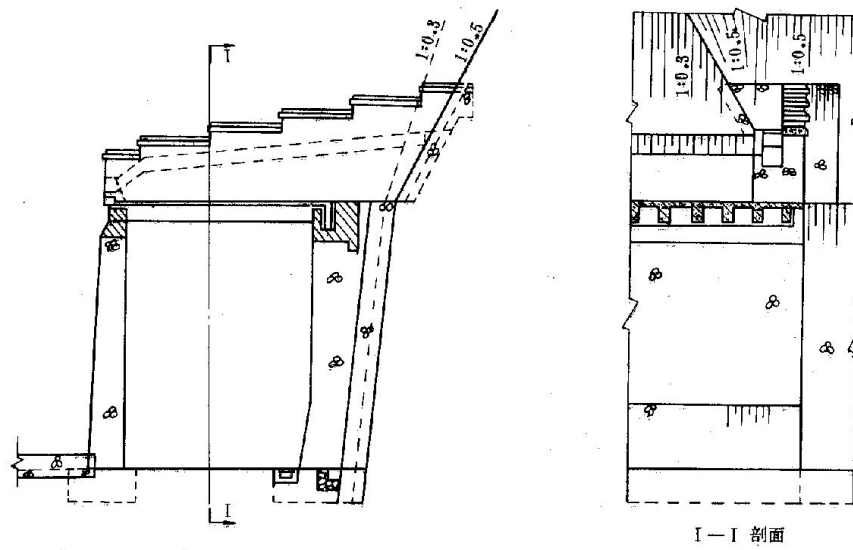


圖 3.3-7 棚架式明隧道及洞門

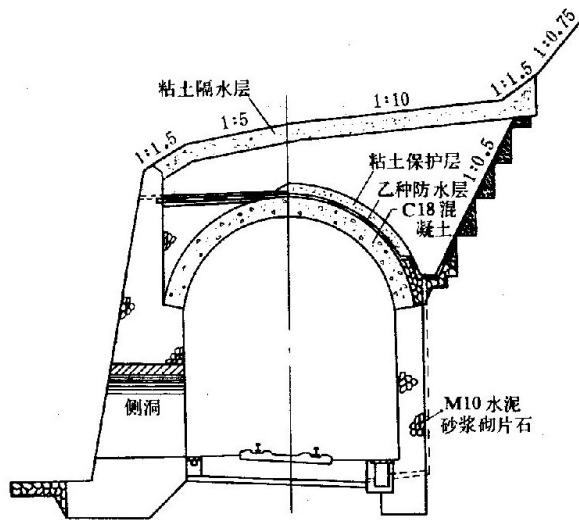


圖 3.3-8 單壓式拱型明隧道洞門

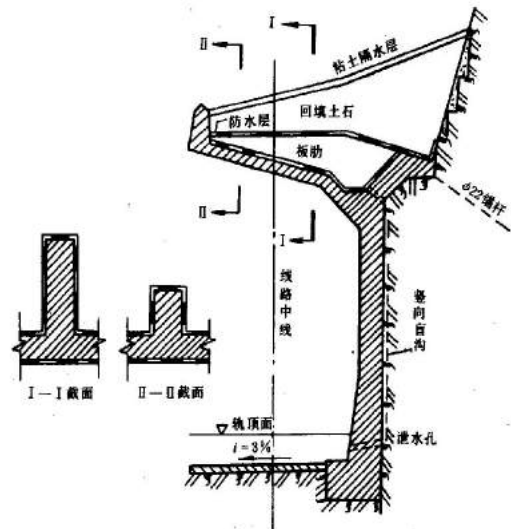


圖 3.3-9 懸臂式棚架明洞

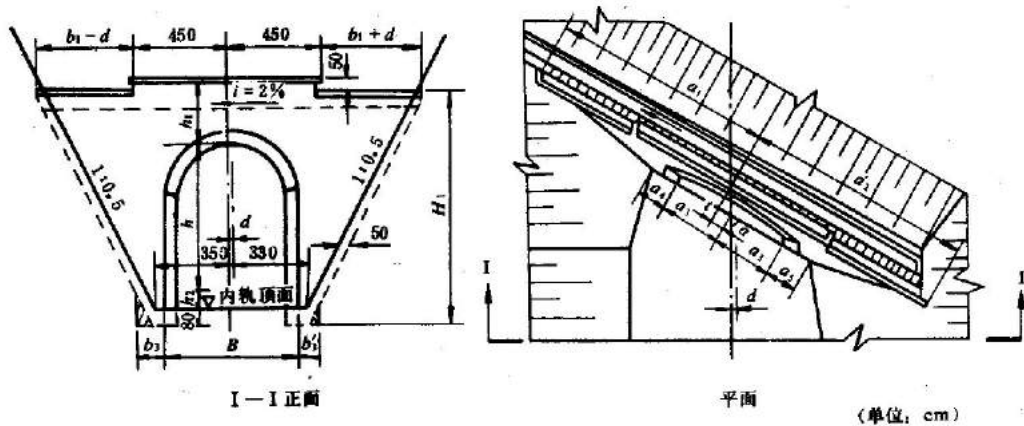


圖 3.3-10 斜交式隧道洞門

近來鐵路隧道之洞門設計亦為精緻化，除了考量景觀因素外，亦對列車進出洞口時之「活塞效應」多所研究，尤其是高鐵隧道，當列車以高速進入洞門時風壓陡升，對旅客舒適度將造成一定程度的影響，所以，洞門設計皆採斜切角度型態為主，如圖 3.3-11 所示及照片 3.3-1~3.3-8 所示。



照片 3.3-1 直切式洞門



照片 3.3-2 正切式洞門



照片 3.3-3 倒切式洞門



照片 3.3-4 曲線正切式洞門



照片 3.3-5 台灣高鐵隧道正切式洞門（八卦山隧道南口附近）

# 4、隧道結構與型式之演進

## 4.1、隧道施工方法之演進

隧道開鑿技術對隧道工程具決定性的影響，早期人類只能以人工方式開鑿隧道，縱有支撐系統的發明與演進，也無法在岩盤地質中開通長大隧道，直到火藥被運用作為隧道開鑿工具，長大隧道即紛紛出現，這是隧道工程的第一次大變革，此時，約當西元 1627 年間。爾後黑色炸藥開始被大量使用於隧道開鑿，直到 1864 年諾貝爾研發出黃色炸藥，隧道開鑿技術才又向前跨了一大步。

而隧道工程的第二次大變革則是發生在西元 1869 年間，機械式的全斷面鑽掘機、潛盾機等，被開發出來，應用於山岳區長隧道施工及都會地區的隧道工程。結果成就了跨國境、跨海峽的超長隧道，也使各大都會的地鐵系統蓬勃興起。然而，就交通建設工程的建造速度而言，隧道工程施工速度仍不及橋梁工程快速，所以，近年來各國新建地鐵系統，已紛紛採用高架陸橋形式。

### 4.1.1 人工及機械開鑿時期

最早期的隧道開鑿全靠人力，但隧道斷面積狹小，不可能同時多人在開挖面工作，所以開鑿速度非常慢，此一時期的隧道，屬於古代隧道。直到動力機械被運用，自人力、獸力、水利、風力，以至蒸氣機的發明、到內燃機等，相繼被運用於隧道工程技術，使得隧道開鑿速度突飛猛進；然而，這些機械主要仍須由人工操作。（如圖 4.1-1~圖 4.1-12 所示）

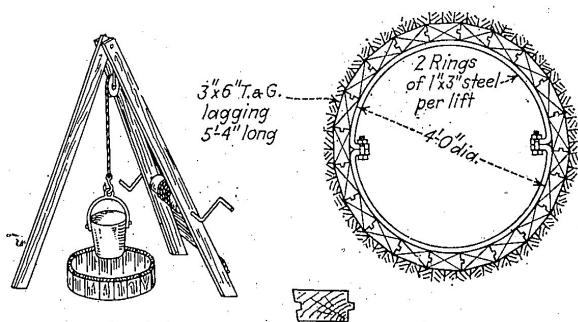


圖 4.1-1 早期隧道人工開挖施工與支撐

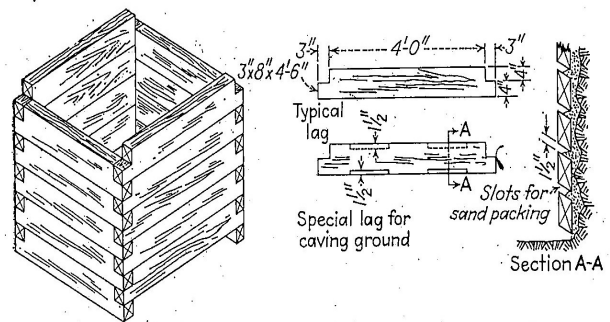


圖 4.1-2 早期隧道人工開挖施工支撐

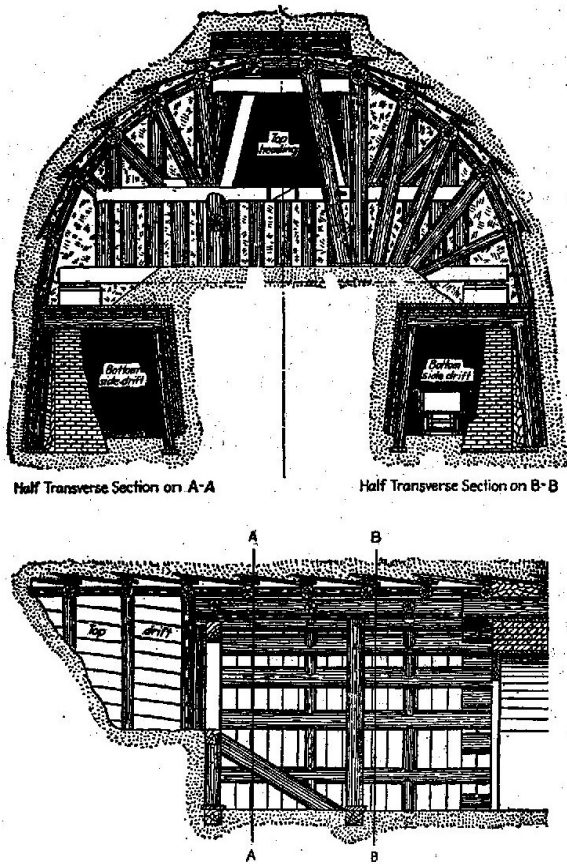


圖 4.1-3 美國巴爾迪摩鐵路隧道施工 (1891 年)

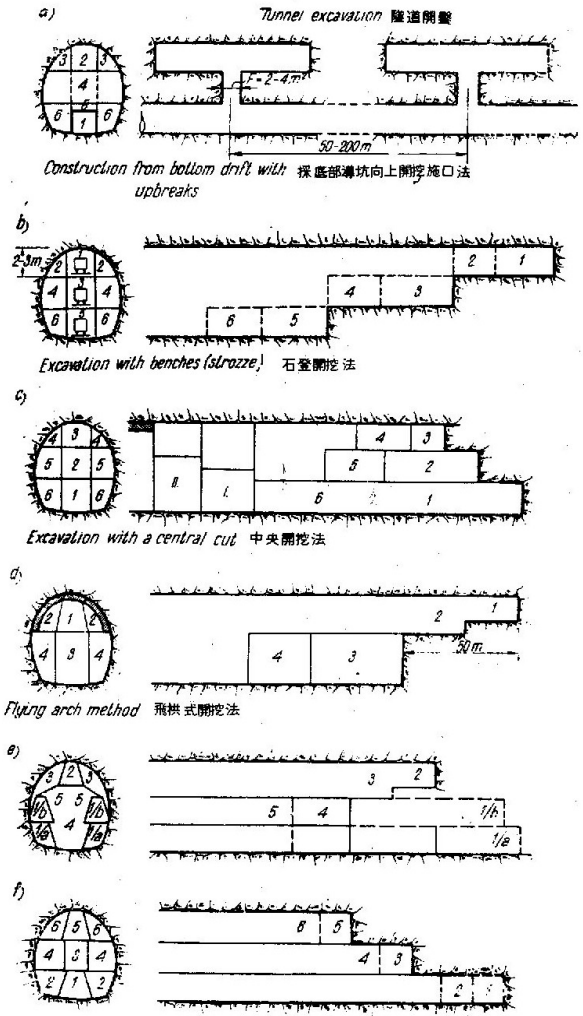


圖 4.1-4 早期鐵路隧道開挖施工步驟

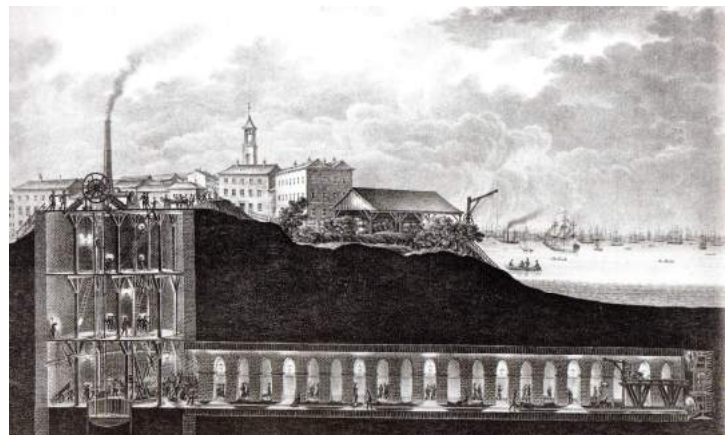
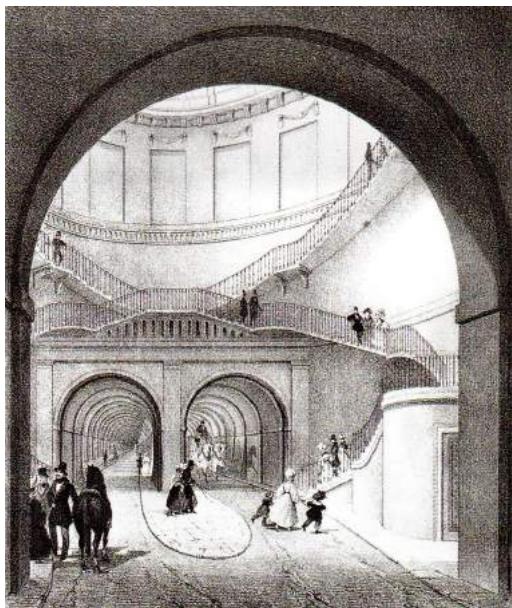


圖 4.1-5、4.1-6 英國泰晤士河水底道路隧道 施工



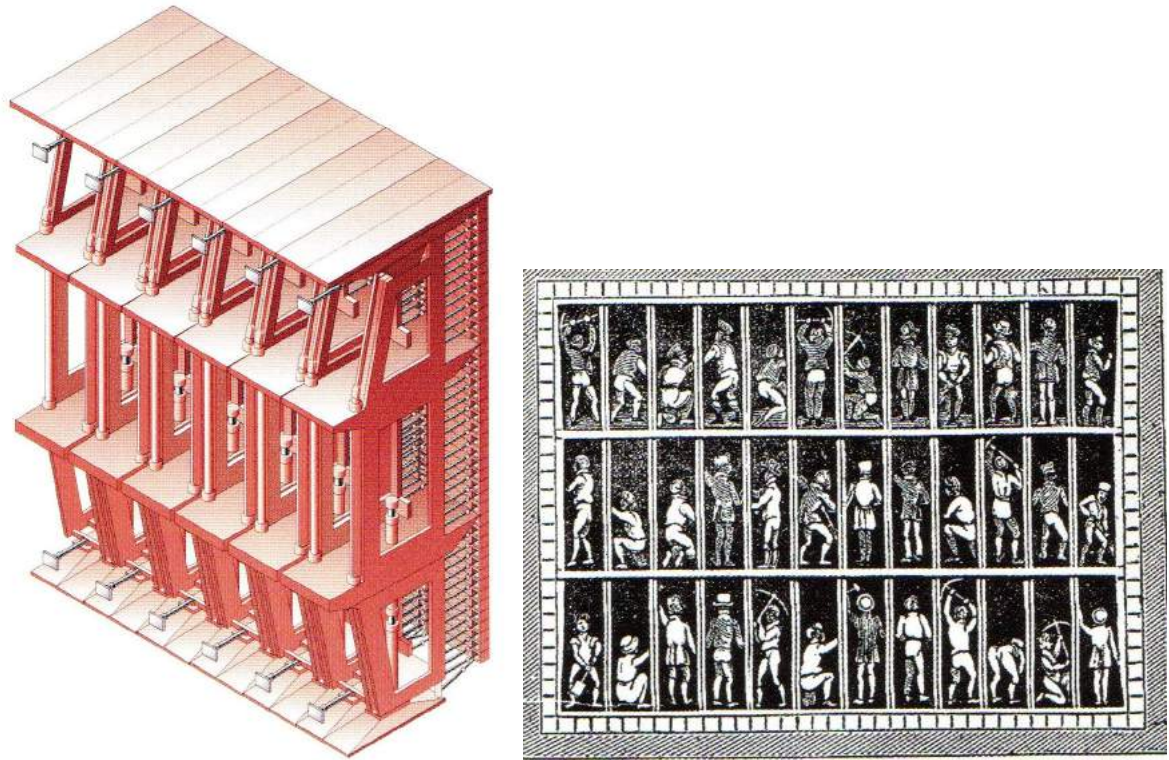


圖 4.1-7、4.1-8 英國泰晤士河水底道路隧道 施工盾構架

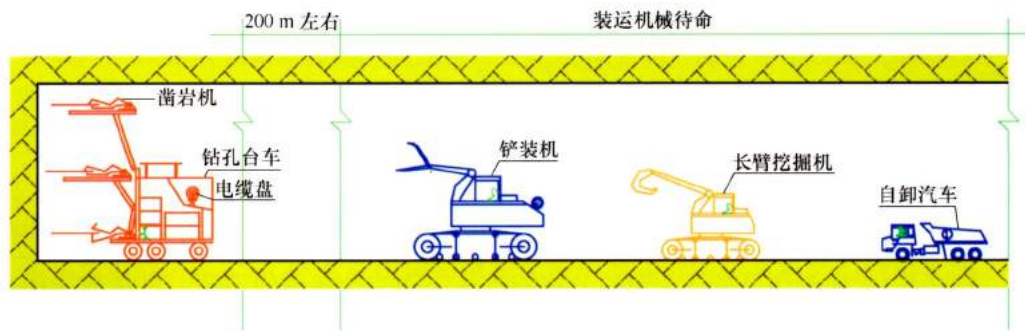


圖 4.1-9 隧道施工機械化作業(開挖.出碴)



圖 4.1-10 隧道施工機械化作業(岩錨.掛網.噴漿)

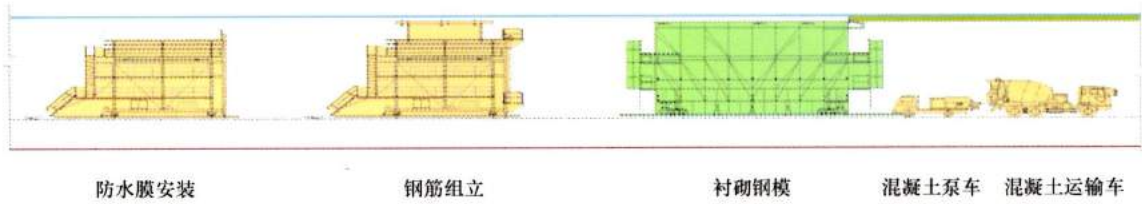


圖 4.1-11 隧道施工機械化作業(防水膜.襯砌)

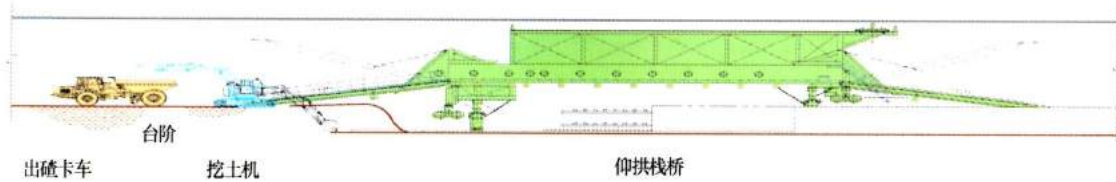


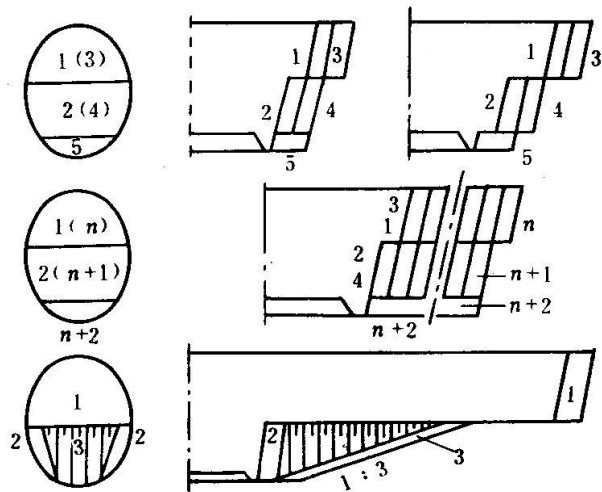
圖 4.1-12 隧道施工機械化作業(仰拱澆鑄)

#### 4.1.2 炸藥運用時期

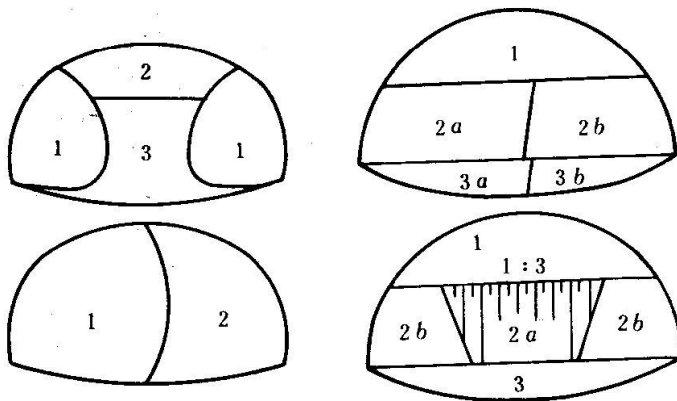
早在西元 1627 年，匈牙利便開始使用黑色炸藥開鑿隧道，隨著交通路網的發展，鐵公路路線必須穿越國境，通過山岳地帶，如阿爾卑斯山脈。要鑿穿數公里的堅硬岩石，如果沒有新的施工方法與開鑿機器的發明，幾乎不可能。

例如法國與義大利間穿越阿爾卑斯山脈的謝尼斯山鐵路隧道，全長 12.8 公里，於 1857 年開鑿施工，剛開始採用水壓鑿岩機，後來經研發人員改良為氣壓式鑽機，效率更高，但要鑿通十幾公里的山腹岩石，仍遙遙無期；碰巧 1864 年諾貝爾改良研發出黃色炸藥，立即被用於開鑿隧道工程上，此隧道終能於 1871 年順利完工通車。

國內鐵路隧道施工的進度，在人工機械開挖時期，前導坑開挖速度約可達到每月 30 公尺，後來引進新奧工法，開挖斷面更大，更有利於開挖面的爆破作業，炸藥品質、安裝與爆破技術也有長足的進步，前導坑掘進速度可達到每月 60 公尺以上，但整體的隧道施工進度，仍受災變次數、湧水、通風、襯砌等因素的影響。（如圖 4.1-7 及圖 4.1-8）



(a)



(b)

(c)

不同大小截面的开挖方式

(a)开挖面  $F=32\sim 48\text{m}^2$ ; (b)开挖面  $F=63\sim 82\text{m}^2$ ;

(c)开挖面  $F=110\sim 157\text{m}^2$ 。

圖 4.1-7 各種斷面之隧道開挖 施工步驟示意圖

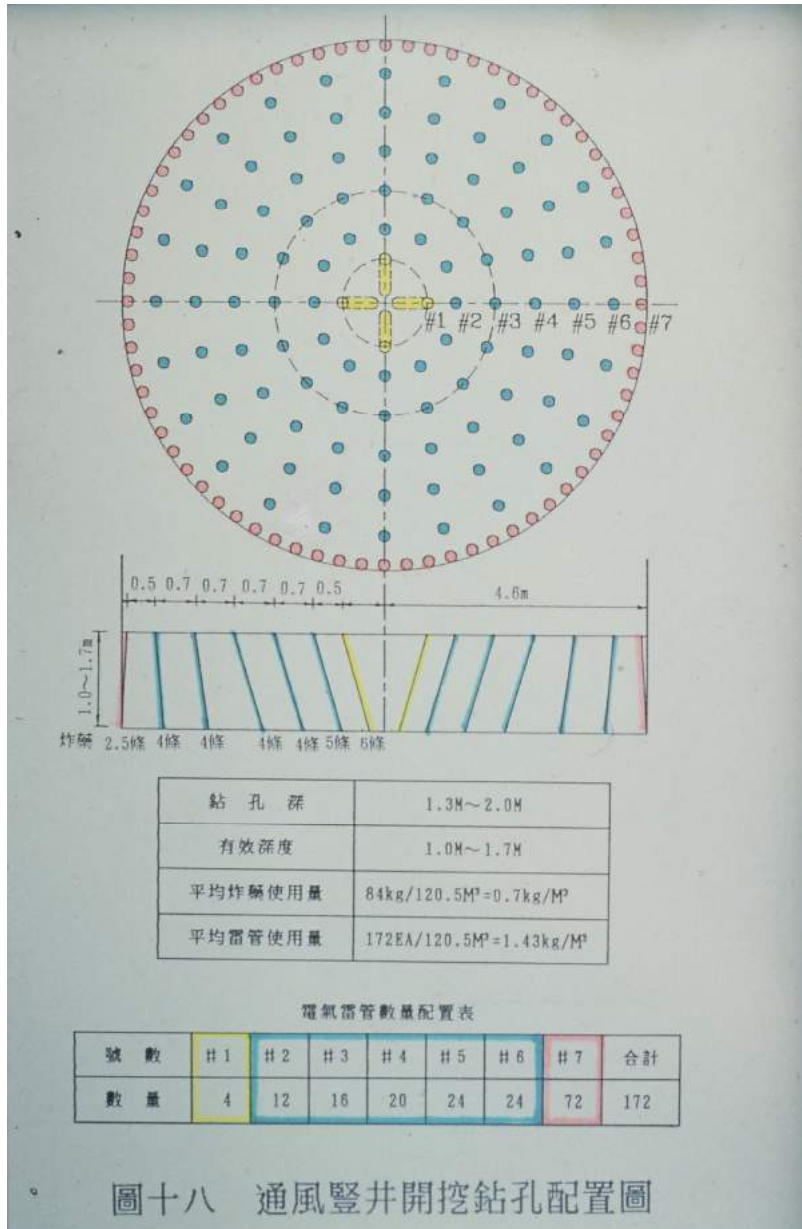


圖 4.1-8 隧道開挖 鑽孔炸藥裝填施工步驟示意圖

### 4.1.3 施工機械自動化時期

爲了開鑿超長隧道，如穿越阿爾卑斯山脈隧道、或橫過英吉利海峽的海底隧道，全斷面隧道鑽掘機被研發出來，並不斷改良，在都會地下型隧道施工，則發展潛盾式全斷面隧道鑽掘機，將隧道鑽掘作業流程標準化，如同工廠生產線一般，使隧道工程進度可達到每月 200 公尺以上。



照片 4.1-1 英法海底隧道施工時之全斷面鑽掘機

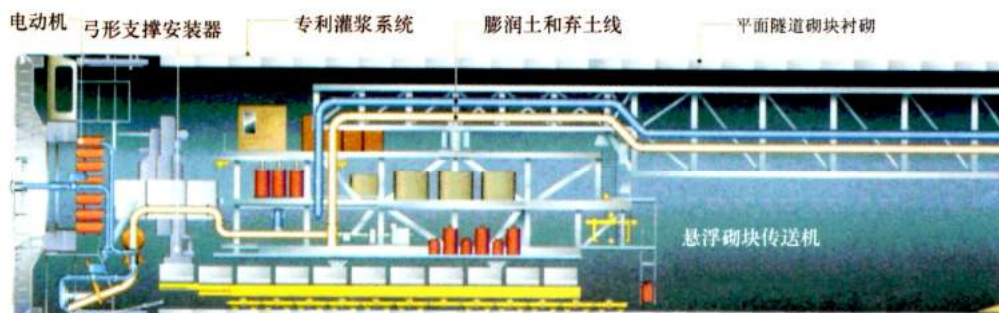
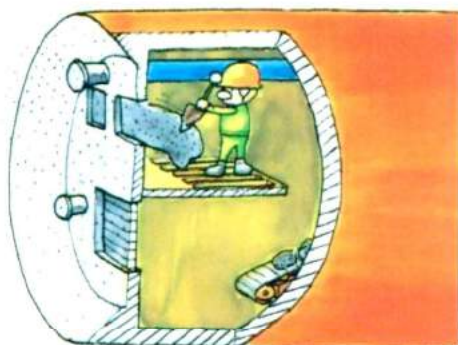


圖 4.1-9 荷蘭 潛盾式全斷面鑽掘機構造示意圖



照片 4.1-2 隧道鑽掘機 TBM (tunnel boring machine)



(a) 網格式盾構



(b) 插刀盾構

敞開式盾構



(a) 輻條式盾構

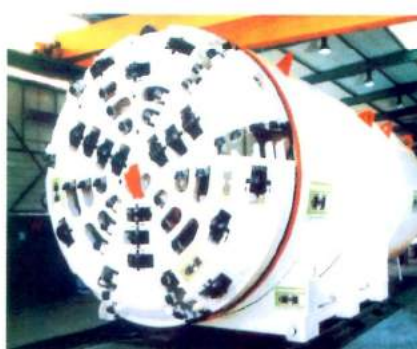


(b) 面板式盾構

封闭式盾構



(a) 复合式盾構



(b) 复合式盾構

圖 4.1-10 各式全斷面隧道鑽掘機示意圖

台灣鐵公路隧道施工亦曾先後引進全斷面隧道鑽掘機，可惜皆以失敗收場，較為知名的案例是台鐵局於興建北迴線時，觀音隧道工程施工引進稱為「鑽寶」的隧道鑽掘機，但因經常遇到破碎帶湧水與坍孔，至整部機械被埋，搶救、修復不堪負荷，最後只好放棄，改採傳統工法。較近的案例是公路局的北宜高速公路「雪山隧道」施工，也引進當時號稱世界最先進的全斷面隧道鑽掘機，稱之為「大約翰」，施工進度更樂觀地預估可達每月 200 公尺，結果也是災變不斷，損失慘重，最後，

仍舊是依靠改良式的台灣版「新奧工法」完成。

推究「全斷面隧道鑽掘機」在台灣水土不服的原因，在於台灣山岳地區多處斷層帶，地質極為破碎、地下水層豐富多變，與歐美地區的地質條件完全不同。然而，台灣在都會區地下隧道工程，引進的「潛盾式全斷面隧道鑽掘機」，卻是成功的，因土壤性質縱有不同，地質調查可以做到很精確，預知開挖面狀況，在機械特性可容許範圍內，擬妥對策或應變措施；而在山岳隧道，則地質調查無法取得足夠的直接數據。

## 4.2、隧道結構之演進

隧道結構依建造年代，約可分為以下幾種型式，次第演進。

- 一、天然岩盤人力開鑿而成的隧道，不加襯砌與支撐。
- 二、天然地盤人力開鑿而成的隧道，加木支撐。
- 三、人工機械開鑿而成的隧道，加塊石襯砌。
- 四、人工機械開鑿而成的隧道，加磚襯砌。
- 五、人工機械開鑿而成的隧道，加混凝土襯砌。
- 六、人工機械開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土襯砌。
- 七、人工機械開鑿而成的隧道，加鋼纖維噴凝土壁體。
- 八、潛盾式全斷面鑽掘機開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土預鑄環片襯砌。
- 九、全斷面鑽掘機開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土預鑄環片襯砌。



圖 4.2-1 早期人工開鑿隧道（天然岩洞）

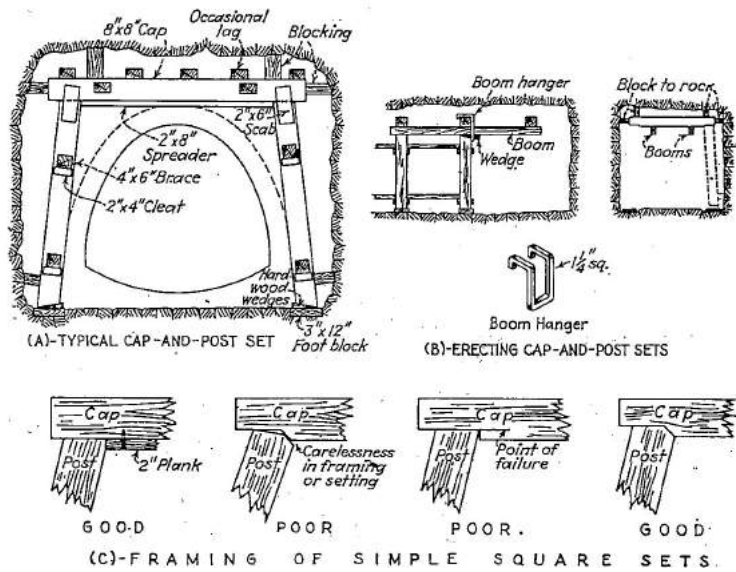
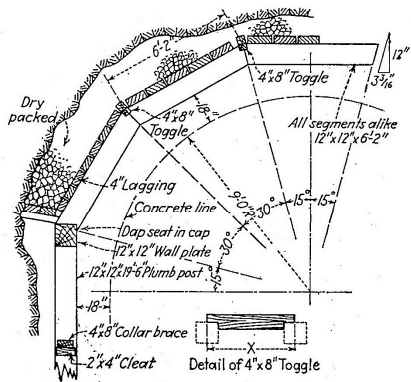


圖 4.2-2 人工開鑿隧道（木構與襯砌）



—Typical five-piece sets for single-track railroad tunnel, dry-packed; heading-and-bench method of driving.

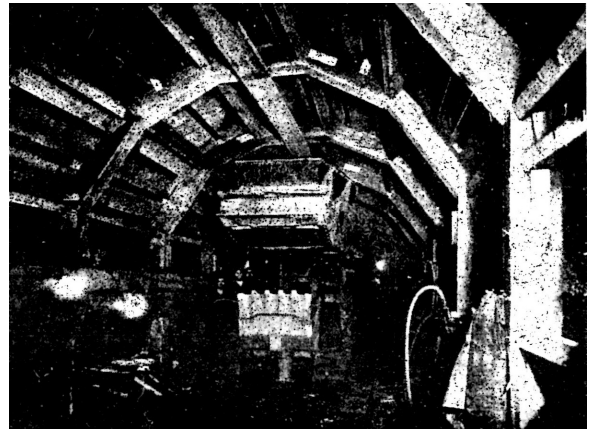


圖 4.2-3、圖 4.2-4 人工開鑿隧道（五段式鋼支保與襯砌）

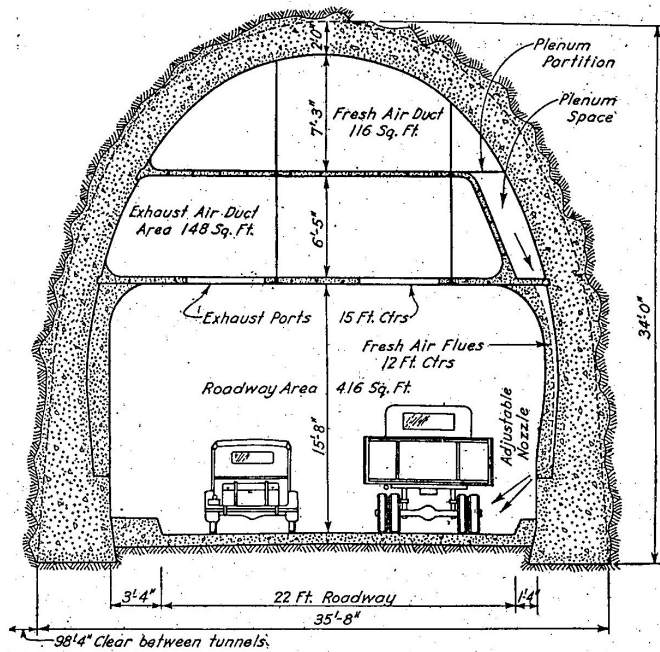


圖 4.2-5 大量機械化開鑿隧道（鋼支保與混凝土襯砌）





照片 4.2-1、4.2-2 台灣最早的鐵路隧道（獅球嶺）



照片 4.2-3、照片 4.2-4 台灣早期的疊塊石與砌磚隧道（舊宜蘭線鐵路三爪子隧道西口）

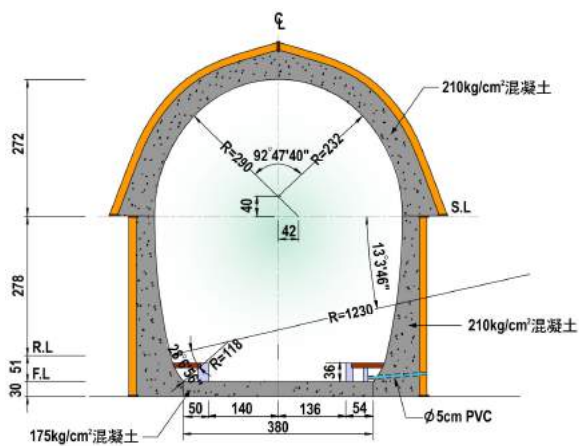


圖 4.2-6 單線隧道美國鋼支保工法標準斷面圖

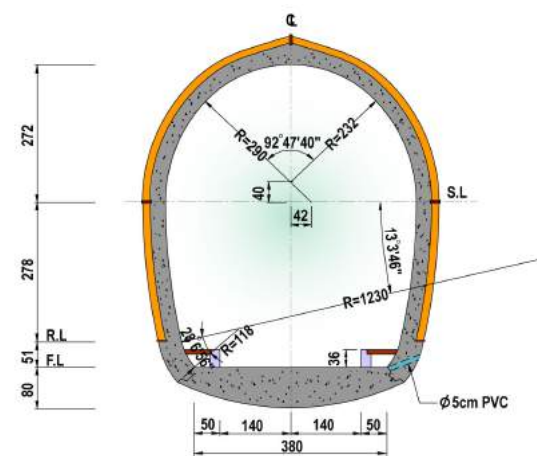


圖 4.2-7 單線隧道新奧工法標準斷面圖



# 5、台灣鐵路隧道

迄至 2011 年止，台灣鐵路營運使用中有 132 座，總長度 151 公里，分布於環島鐵路各線，詳細資料收錄於本書附錄一。另有曾為鐵路使用，而今廢置的舊鐵路隧道 38 座，大部分仍完好堪用，分別詳列於本書附錄二中，這些舊隧道有的已被指定為古蹟，供民眾參觀遊憩，如基隆的獅球嶺、宜蘭線的草嶺隧道；有的已改為自行車道或闢建改為公路車道，如舊山線的苗栗隧道、東勢支線的東勢隧道；有的則規劃成為新的觀光輕便鐵路線繼續使用，如舊山線、深澳支線各隧道；然而，有更多的廢置舊隧道則仍埋沒於荒煙漫草之中，等待再利用機會。（詳細資料臚列於本書附錄二部分）

## 5.1 縱貫線鐵路隧道

### 5.1.1 台灣鐵路隧道之始

縱貫線台北～基隆段開通於 1891 年秋，相當於清光緒 17 年，民國前 20 年，是台灣鐵路通車營運的新紀元，當時全線 28.6 公里，最重要的橋梁隧道結構物就只一橋一隧，一橋是跨越基隆河的鐵橋，今已不復見；一隧就是穿過獅球嶺的隧道。幸運地，這座獅球嶺隧道留存至今，仍可供遊人參觀憑覽，一興思古悠情。

從這座古隧道的岩壁鑿痕、襯砌磚石材料、斷面形狀、大小及走在洞內的縱坡起伏，即可領略當年施工的艱辛，及工業技術發展水平，若再參觀過台北 228 公園內的騰雲號火車頭，在腦中稍微模擬一下，那輛古老的蒸汽火車頭拖曳著一列木製客車廂，氣喘呼呼地爬上山坡，鑽入這個漆黑小山洞的情形。車廂內的旅客，在呼嘯低吼汽笛聲中，突然陷入一片黑暗，伸手不見五指，只剩隆隆的輪軌交鳴，正自驚疑，霎那重間又重放光明，大夥忙著望向窗外，已翻越一座山，到達山的另一側，怎不令人拍案驚奇呢！這些火車頭被命名為：騰雲、御風、超塵、掣電、攝景，正表明時人對這批冒煙怪物的神奇感覺。

這座台灣鐵路第一隧道建成迄今百餘年，但真正使用時間只七年多而已，1895 年日本佔據台灣，同時也接收了台北～基隆段鐵路，發現這段鐵路縱坡太大、彎道多且曲線線形不良，加上原跨越基隆河的鐵橋又屢被沖毀，乃重新規畫改道路線，新線大抵與目前的台鐵台北～基隆段路線廊帶一致，自基隆市龍門里附近穿過山區，鑿通乙座竹仔嶺隧道，出隧道南口不遠即碰到基隆河，新建橋梁乙座，台鐵稱之為八堵橋，因過此橋即八堵車站。

### 5.1.2 竹子嶺隧道沿革

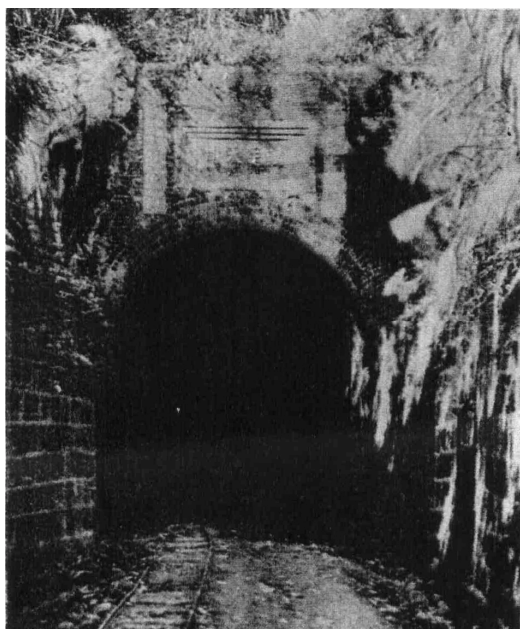
台灣最早開通的鐵路是 1891 年所築成台北到基隆段，當中穿越獅球嶺的隧道段，即目前被列為國家三級古蹟的獅球嶺隧道，全長 235m，於 1889 年 7 月鑿通。

甲午戰後，1895 年日本進佔台灣，首先修復騰雲、御風兩部機車及台北、基隆間的路線，恢復列車行駛。但翻越獅球嶺乙段路線狀況甚差，乃重新規畫改線東移，另於今基隆市仁愛區龍門里附近開鑿新隧道。1898 年，全長 541m 雙線磚造隧道竣工，稱為竹子寮隧道，縱貫鐵路改經此隧道後跨越基隆河，抵新設的八堵車站。

1923 年為配合運輸需求，復於竹子寮隧道東側鑿通乙座雙線隧道，全長 556m，拱環為磚造，兩側壁為砌粗石構造。兩隧比鄰並存，後來台鐵稱 1923 年所建的為宜蘭線竹子嶺隧道，而更早 1898 年所建者為縱貫線竹子嶺隧道。

縱貫線的竹子嶺隧道使用迄今已歷 107 年，現仍身居縱貫鐵路上由基隆通往台北盆地的重要孔道，每日百餘班次列車南北穿梭其間。後來政府推動基隆河流域治理計畫，跨河鋼桁架橋一併改建，樑底高程提高 1.5m，該路段鐵路軌面高程亦相對提高，隧道段同時面臨改建，台鐵乃利用已停駛之宜蘭線竹子嶺隧道以擴孔施工方式重建。

新隧道為雙軌斷面，全長 555.6m，採新奧工法施工，以全斷面防水膜及鋼筋混凝土壁體結構設計，於 2003 年底開工，2005 年底竣工通車，是為新一代之鐵路縱貫線「竹子嶺隧道」。



照片 5.1-1 獅球嶺隧道



照片 5.1-2 竹子寮隧道



照片 5.1-3 竹子嶺隧道



照片 5.1-4 新竹子嶺隧道（南口題字）



照片 5.1-5 竹子嶺隧道新舊並列



照片 5.1-6 新竹子嶺隧道（北口題字）

### 5.1.3 台北地下鐵路隧道

現在的台北地下鐵路隧道長達 20 餘公里，堪稱台灣隧道之最，這是長達 30 年持續不輟的建設成果；時至今日，旅客搭乘台鐵或高鐵列車，往返南北，當列車進入台北地區仍可見到沿線許多鐵路工程建設，如火如荼地日夜趕工，台灣的鐵路建設可以說「從來都沒有停止過！」。

最早是 1979 年 7 月 26 日奉行政院台六十八交字第 7479 號函核定，啓動了台灣的「台北市區鐵路地下化工程」建設。1980.10 由籌備處聘請德國鐵路顧問公司進行規劃，1981.10 完成初步規劃。隨著北市地下鐵路工程處成立，1983.7.12 舉行動工典禮，首先動土興建週邊工程。直到 1989.9.2 主體工程完工通車移交至台鐵使用，新台北車站也同時啓用，此一時期的地下隧道範圍止於華山~萬華間，單座雙軌隧道，長約 4.42 公里。

就在第一代的台北市區鐵路地下化工程完工通車的前一年，政府又啓動第二階段的鐵路建設計畫，「台北市區鐵路地下化東延松山工程專案」將松山（不含）~華山間地下化，建造雙座雙軌隧道。原地面騰空土地和鄭州路則改建為平面道路及台北市東西向快速道路，即後來被定名為「市民大道」的東西向市區平面道路。地下化鐵路部分，南隧道於 1992.8.3 完工啓用；北隧道於 1994.6.18 完工啓用；市民大道快速道路在 1997.9.7 完工通車。此一階段隧道自華山地區預留之隧道岔口起至松山車站止，全長為 5.33 公里。

台北市區鐵路地下化工程，第三階段建設計畫是「萬華板橋地區鐵路地下化工程專案」，於 1992.9.14 奉行政院核定，同日舉行動工典禮，台北~萬華間原台北車站地下化專案之雙軌隧道（萬板專案完工後改稱北隧道）延長至板橋，先期完工之南隧道施工期暫時由台鐵使用，地下化完工後台鐵移回北隧道，南隧道移轉為台灣高鐵使用，完成後原鐵道成為目前的中華路林蔭大道。

萬華~板橋間地下化，雙座雙軌隧道（台鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道），地下後原地面鐵道成為[艋舺大道](#)、[華翠大橋](#)、[縣民大道](#)。地下化鐵路部分隧道長約 7 公里，南隧道於 1999.7.21 完工啓用；北隧道於 2002.10.31，縣民大道快速道路在 2002.7.27 完工通車。新建隧道通過新店溪河底為台灣北部地區第一座河底隧道。

第四階段或稱第四期的台北市區鐵路地下化建設計畫，是「松山南港鐵路地下化工程專案」（簡稱「南港專案」），南港專案已經於 1998.8.27 奉行政院台八十七交字第 42387 號函核定實施計畫。1998.11.1 開工，預定於 2011.8 全面完工，總共 12 年 10 個月，目前還在松山站及南港站的二期工程及高鐵松山~汐止橫科基地間隧道施工當中。其中隧道工程包括：主隧道西起基隆路口（松山專案引道），東至七堵，全長為 19.4 公里。基隆路至大坑溪間興建台鐵及高鐵雙軌隧道各一座，各長 5.4 公里，大坑溪至北二高跨越橋興建台鐵汐止段山岳隧（引）道一座，長 2 公里。

迄目前為止（2011 年 5 月）台北鐵路地下化專案板橋－南港間、台鐵隧道及板橋－松山間高鐵隧道全線通車，尚餘松山站及南港站的二期工程及高鐵松山－汐止橫科基地間隧道未竣工。而總計卅年來建成台北地下隧道總長已達 20.96 公里，其中部分提供台灣高鐵使用，大多仍由台鐵使用及管理，若加以細分，可包括以下各段如表 5.1-1 及圖 5.1-1 所示。

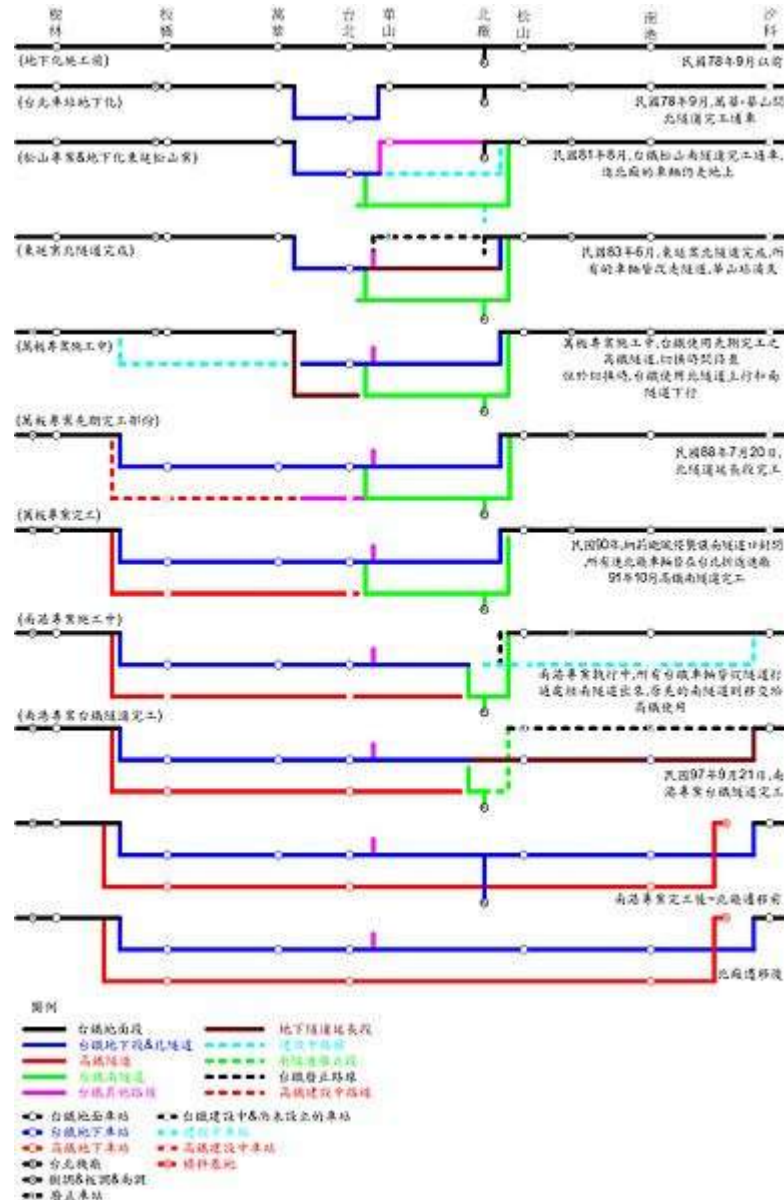


圖 5.1-1 台北地下隧道各分段位置示意圖

表 5.1-1 台北地下隧道各分段資料表

各段隧道名稱	路線名	全長(公尺)	備註
南港專案汐止段山嶽隧道及引道	臺鐵縱貫線	1,600	
南港專案大坑溪段隧道(引道)	台灣高鐵	436	高鐵地下段往橫科基地；施工中
南港專案研究院路段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵 台北捷運南港線	上/下 797 南港線 740	臺鐵使用下層隧道(含北宜線預留段隧道)，高鐵使用上層隧道，台北捷運使用中層斜交共構隧道；施工中
南港專案向陽路段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	上/下 945	合併有共同管道隧道；臺鐵使用下層隧道，高鐵使用上層隧道；施工中
南港專案客車場段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 1,250	合併有共同管道隧道；臺鐵使用北隧道(往東漸變為下層)，高鐵使用南隧道(往東漸變為上層)；施工中
南港專案虎林街段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 810	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道；施工中
松延案隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 5,330	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道
臺北車站地下化臺北車站地下化段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	4,420 高鐵共用段 2,600	華山－臺北間與高鐵共用，臺北－萬華間為臺鐵使用之臺北萬華段北側隧道
萬板專案臺北萬華段南側隧道	高鐵	1,820	臺鐵曾臨時使用
萬板專案萬華板橋段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 7,000	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道
萬板專案新店溪過河段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 520	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道





照片 5.1-7、8 台北地下隧道洞口（南口樹林端）

#### 5.1.4 其他縱貫線鐵路隧道

縱貫鐵路（含海線）除了台北都會區的 21 公里地下隧道外，全線 408.5 公里，只有隧道 6 座，分別是前述的基隆~八堵間「竹仔嶺隧道」，以及七堵（上下行分開，計為兩座）、新五堵、山佳、大甲等【詳附錄一】。其中，山佳隧道位於山佳站北，原路段以小曲線沿山腳進入站場，並無隧道，但該處山坡覆蓋層薄，每遇豪雨經常坍方成災，台鐵列為危險路段多年。在獲得政府經費補助後，台鐵將路線向山側偏移約 30 公尺，新建雙軌隧道乙座，全長 155 公尺，包含北口明挖段 40 公尺，及南口施工假隧道部分。本隧道建成後，在坡角處形成一大擋土結構體，對隧道上方高邊坡具保護作用。

大甲隧道長 80 公尺，穿越水尾溪，屬河底隧道。另舊五堵隧道在新五堵隧道通車後廢棄，地方亦迭有保存之議。



照片 5.1-9 縱貫線舊八堵隧道



照片 5.1-10 縱貫線舊七堵隧道



照片 5.1-11 縱貫線舊五堵隧道



照片 5.1-12 縱貫線舊七堵隧道北口及右側高樓

## 5.2 台中線鐵路隧道

台中線起自竹南，迄於彰化，原為縱貫線之一段，竹南~彰化間海線鐵路完工通車後，縱貫線改以海線為準，竹南~彰化間山線鐵路，則改稱為台中線。由興築至完工的年代，約在 1899~1908 年間，路線多經山區，全長 91.4 公里，隧道即佔 10.5 公里，分別為豐富、苗南、銅鑼、三義、三泰、泰安、后里等七座，其中以三義隧道全長 7.35 公里為最長。

舊山線鐵路於 1997 年新山線通車後閒置，鐵道愛好者與地方人士、民代等，積極爭取政府投注經費維護，並將舊山線改為觀光遊憩路線。沿線有隧道 12 座，其中三義~勝興~泰安間的 1 號至 7 號隧道，穿出洞口即緊接高架橋梁跨越峽谷，橋隧相連，明暗交錯，蔚成景觀。其間更有廢棄鐵道路線設施、古老木構車站，從百年前台中大地震殘存的「斷橋」遺跡，旅人行走於油桐花盛開的林蔭山道，徜徉溪澗，更發懷舊思古悠情。



照片 5.2-1 舊山線苗栗隧道



照片 5.2-2 新銅鑼隧道



照片 5.2-3 勝興舊隧道



照片 5.2-4 後龍舊隧道



照片 5.2-5 苗栗站北新舊山線苗南隧道



照片 5.2-6 苗栗隧道南口施工及舊線

### 5.3 東線鐵路隧道

臺東線是指**花蓮舊站**—台東舊站間的傳統鐵路幹線，常被稱為花東線。臺東線原先包含了花蓮海岸線及臺東海岸線，而在東拓後兩條海岸線廢止。

日本時代於 1898 年開始探勘台灣東部的鐵路路線，並於 1910.2.1 開始建設花蓮至璞石閣(今玉里)間的輕便鐵路，採 762mm 軌距，但也前瞻性地保留了 1067mm 軌距的建築標準，以期日後能與西部縱貫線相互銜接。該段鐵路於 1919.5.17 完工，共費時 7 年 4 個月及 434 萬日圓。

璞石閣(今玉里)以南的工程，列為當時的二期建設計畫，因為需求不甚迫切，當局決定暫緩興建。而卑南(今台東)至里壠(今關山)間的鐵路，則由當時的台東開拓會社所建，於 1919 年 12.16 通車。1920 年代初期，當局在交通系統一元化政策下，將台東開拓會社興建的台東—里壠間的鐵路予以收買，改為官營，並於 1921 年續築璞石閣至里壠間的鐵路，終於在 1926 年完成總長 171.8 公里的台東線鐵路，並於 1926 年 3.27 於璞石閣舉行全線通車典禮。

臺東線軌距從 762 公釐拓寬為 1,067 公釐，在花蓮連接北迴線而與宜蘭線、縱貫線相通。拓寬工程進行的同時北迴鐵路已經完工，當時台北南下的列車可直駛花蓮新站後到達吉安，並在該站轉乘窄軌的台東線火車，直到 1982.6.26 全線四條軌鐵道完工通車。但舞鶴—三民間的自強隧道因工程嚴重延誤，列車暫時以原有舊線經掃叭隧道運行，直到 1985 年初才正式完成。

目前台東線鐵路有隧道 11 座，總長度近 12 公里，都是近幾年才改建的混凝土結構隧道



照片 5.3-1 光復河底隧道施工



照片 5.3-2 光復河底隧道施工



照片 5.3-3 光復河底隧道竣工



照片 5.3-4 自強隧道南口



照片 5.3-5 台東線溪口 2 號隧道



照片 5.3-6 台東線中興隧道



照片 5.3-7 台東線山里隧道群



照片 5.3-8 台東線山里隧道群



照片 5.3-7 台東線山里隧道群



照片 5.3-8 台東線山里隧道群

## 5.4 宜蘭線鐵路隧道

宜蘭線是指八堵~蘇澳間的傳統鐵路幹線。全長 93.6km，於 1986 年 1 月 9 日完工通車。2000 年八堵~羅東間完成雙軌電氣化工程，2003 年羅東~蘇澳間完成雙軌電氣化工程。宜蘭線於 1917 年動工興建，工程分別從路線的南、北兩端進行。到了 1919 年，南端的蘇澳至礁溪段，以及北端的基隆至瑞芳段通車。1920 年，南端路段延伸至大里，北端路段延伸到猴硐（侯硐）。原本順利進行的工程，後來卻因經費不足而暫緩施工，直到 1924 年 12 月，宜蘭線才全線通車。

全線有隧道 25 座，除了三貂嶺隧道、草嶺隧道兩座長度達 2 公里上，都是短小隧道，但因路線穿越台灣東北角山區，地形地質條件不佳，又處於長年多雨地區，每年颱風豪雨期間，經常發生災害，路線維修保養較為困難。(照片 5.4-1~照片 5.4-18) (照片 5.4-6 至 照片 5.4-18 來源：[httpwww.panoramio.comuser4213222with\\_photo\\_id=50555046](httpwww.panoramio.comuser4213222with_photo_id=50555046) 作者：cjyyou)



照片 5.4-1、照片 5.4-2 舊草嶺隧道（洞口題字：白雲飛處）



照片 5.4-3 宜蘭線示德隧道南口



照片 5.4-4 宜蘭線外澳隧道北口



照片 5.4-5 宜蘭線龍溪隧道南口



照片 5.4-6 宜蘭線五份隧道南口



照片 5.4-7 宜蘭線五份隧道北口(東正線)



照片 5.4-8 宜蘭線五份隧道北口(西正線)



照片 5.4-9 宜蘭線雙溪隧道北口



照片 5.4-10 宜蘭線雙溪隧道南口



照片 5.4-11 宜蘭線更新隧道北口



照片 5.4-12 宜蘭線更新隧道南口



照片 5.4-13 宜蘭線更枋隧道北口



照片 5.4-14 宜蘭線更枋隧道南口



照片 5.4-15 宜蘭線合興隧道北口



照片 5.4-16 宜蘭線合興隧道南口



照片 5.4-17 宜蘭線合興隧道北口明洞式棚架



照片 5.4-18 宜蘭線福隆隧道南口



## 5.5 北迴線鐵路隧道

北迴線，又稱為北迴鐵路，是指蘇澳新站至花蓮間的傳統鐵路幹線，路線全長距離 79.1km，開業時間：1980.2.1，全線為雙軌電化區間。

北迴線為台灣「十大建設」之一。在北迴線興建之前，自花蓮至臺東的臺東線一直都是獨立營運，未能與西部幹線相互連結。旅客往來臺北花蓮需於蘇澳車站轉乘公路局班車經由蘇花公路，甚至搭乘往來基隆花蓮兩港的客船。蘇澳端原本計畫從蘇澳車站沿今臺灣水泥蘇澳廠側線延長至今永樂車站，但因地區居民反對而改從南聖湖車站（今蘇澳新站）起始，並新增永春車站（已廢止）。

1973 年，娜拉颱風侵襲，造成交通嚴重受創。為了解決交通問題，因此研議了三個方案：拓寬蘇花公路、另建雙線公路以及興建北迴鐵路。其中第三個方案所需費用比第二個方案低，效益也比較大。當時的臺灣省政府主席謝東閔於行政院院會中報告後，由當時的行政院長蔣經國裁示興建，並列入十大建設當中。同年 12 月 25 日，北迴線正式動工，並於 1980 年 2 月 1 日全線通車。沿線築有大、小橋樑共 91 座，隧道 16 座，全長達 31,029 公尺，其中觀音隧道長 7,757 公尺，為當時全台灣最長的隧道。

自 1980 年 2 月正式通車營運以來，帶動東西部交流及互動，加以東部觀光事業、天然資源之陸續開發，客貨運量急速增加，致使原有單線鐵路不敷使用，每逢重要節慶及假日，總是一票難求。1992 年起，北迴線開始進行雙軌化、重軌化、電氣化與號誌控制改良工程。由於沿線多高山峻嶺，雙軌化工程在許多路段均重新開闢新線，並開挖許多長隧道。位於武塔＝漢本間的新觀音隧道成為全台灣最長的鐵路隧道，總長 10,307 公尺，取代原本舊線的觀音、鼓音及谷風隧道。大部分工程於 2003 年 6 月底完工，並於 7 月 4 日在花蓮舉行電氣化通車典禮，由時任總統陳水扁進行開幕剪綵儀式。2005 年 1 月，先前受到新永春隧道湧水問題，以及南澳隧道軌道改善工程延遲影響的雙軌化工程全部完成。完工後北迴線列車班次密度大幅增加，並且有效縮短臺北至花蓮的行車時間。



照片 5.5-1 新舊清水隧道



照片 5.5-2 新觀音隧道



照片 5.5-3 北迴鐵路隧道



照片 5.5-4 北迴線和仁隧道



照片 5.5-5 北迴線和仁隧道



照片 5.5-6 北迴線和平隧道



照片 5.5-4 北迴線新觀音隧道南口



照片 5.5-5 北迴線舊觀音隧道北口

## 5.6 南迴線鐵路隧道

南迴線鐵路全線 98.2 公里，於 1980 年開工興建，1991 年底完工通車，工期長達 11 年，主要是路線穿越中央山脈，隧道特別多，工程艱鉅。全線隧道 37 座，長度 1 公里以上隧道即有 12 座，其中「中央隧道」全長 8.07 公里，為台鐵第二長大隧道。全線隧道總長度達 40.1 公里，佔路線總長的 40.8%，車行其間，幾乎一半時間都跑在隧道內。

隧道施工的方法，主要是依據地質條件，隧道斷面大小以及隧道長度等來決定，以達到安全、經濟原則，南迴鐵路隧道的開挖，以採用傳統工法和新興工法為主，有的隧道因地質變化太大，因而交替採用兩種工法施工，一般而言，長大隧道及地質較惡劣的隧道，都採用新興工法施工，短隧道大都採用傳統工法施工。

傳統工法亦稱為美國鋼支保工法(American Steel Support Method)簡稱 ASSM，基本上係於隧道開挖後立即架設重型鋼支保，並配合打設木矢板支撐岩盤壓力，然後再施作襯砌混凝土，以構成隧道整體支撐系統。其主要工作程序為鑽孔、開炸、出碴、架設鋼支保，構成一作業循環，開挖一適當長度後再進行襯砌。一般傳統工法為因應不同地質情況及相關機具設備其開挖方式可分為：(1)全斷面開挖；(2)上下半斷面開挖；(3)底設導坑先進上半斷面開挖；(4)側壁導坑先進上半環狀斷面開挖。

傳統的隧道開挖，除了特別堅硬的地質，可以採用全斷面開挖或者上、下半斷面工法施工外。在一般比較脆弱的地質層則必須採用底設導坑工法開挖。

其施工程序是先從隧道中間底部開挖一個導坑向前推進。在導坑開挖前進約五十到六十公尺距離之後。視地質情況開始擴挖上半斷面部份。並利用底設導坑來出碴。上半斷面擴挖完成後，架設 H 型鋼支保並打入矢板做為支撐，承受岩石的壓力。

鋼支保的間隔是依照地質情況來決定，通常為零點八公尺到一點二公尺之間距組立一對鋼支保，如此逐步開挖，前進了大約三十到五十公尺，隨即利用鋼模灌注拱部襯砌混凝土，接著以跳蛙方式開挖下半側壁部份，必要時也必須架設鋼支保，然後灌注側壁混凝土。在遇到風化劇烈或破碎斷層等惡劣地質時，則採用側壁導坑工法施工。首先在隧道下方兩側先開挖兩個導坑同時並進，再灌注混凝土先完成兩側側壁，然後再用環狀開挖方式，挖除拱圈部份的土石，並且以 H 型鋼支保支撐，隨後再進行上半斷面其餘部份的開挖，接著襯砌拱圈部份的混凝土，最後再挖除下半部的土心部份。將整個隧道分為好幾個層次逐步依序完成，是南迴鐵路安朔隧道東洞口進洞採用側壁導坑施工的情形。

最後等整個隧道開挖並且襯砌完成後，再由隧道中心向兩側洞口逐步拆除運輸軌道，並灌注底部仰拱混凝土以及排水溝。傳統的隧道施工方法，主要是以架設鋼支保，並鋪設矢板及襯砌混凝土來支撐地盤的壓力，使後續的工程逐步進行。

最近二十年間，歐洲的奧地利使用了一種新的隧道施工方法，稱為新奧地利工法，簡稱為新奧工法，新奧工法(New Austrian Tunneling Method)簡稱 NATM，乃於隧道開挖後首先利用鋼絲網及噴凝土封面以防止岩屑掉落與繼續風化現象，然後再以岩栓及輕型鋼支保等柔性支撐系統作為首次襯砌，提供岩體約束力量，使隧道周圍之地盤構成一承載環，作為隧道支撐之一部份，同時再配合計測地層變位，襯砌應力變化與岩栓軸力等資料，據以研判支撐是否足夠，彈性修正支撐方式與支撐材料數量，調整開挖斷面與開挖程序，俟計測岩盤變位穩定後再行辦理二次襯砌，其目的為外表修飾及提高結構安全係數之用。隧道工程主要施工程序為鑽孔、開炸、出渣、架設柔性支撐系統(包括噴凝土、岩栓、輕型鋼支保等)、計測，構成一作業循環。依計測結果與開挖長度始決定二次襯砌施工時機與施工方式。一般地質情況下，隧道設計依開挖順序其施工方式可分為：(1)全斷面開挖；(2)上下半台階開挖；(3)多段台階開挖。另依岩體類別不同，新奧工法支撐系統則分為 A、B、C、D、E 五種支撐型式，如表 5.6-1 所示。

表 5.6-1 新奧工法支撐系統型式表

支撐型式 (Typ.)	噴凝土厚度	鋼支保型式	岩栓	前 進 鋼 筋	適用範圍	
					Rock Type	RMR
A 型	第一層 10cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 5m 長度之岩栓	有	V	<20
B 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 5m 長度之岩栓	有	IV	21-40
C 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 4m 長度之岩栓	無	III	41-60
D 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H125×125	打設 3m 與 4m 長度之岩栓	無	II	61-80
E 型	第一層 5cm 第二層 10cm	無	打設 3m 與 4m 長度之岩栓	無	I	>81

資料來源：「南迴鐵路工程－工程輯要」(南迴鐵路工程處，民國 81 年)

南迴鐵路 37 座隧道中，以中央、安朔、金需、大鳥等四座隧道最長，這四座隧道都在三公里以上，是南迴鐵路重點工程的關鍵性工程，因此，都分別以斜坑、豎坑、橫坑來增加工作面，同時幫助解決隧道內的通風，及將來營運後隧道內污染空氣問題。其中，中央隧道由於長達八公里多，共闢建了兩座豎坑來幫助解決隧道通風問題，東豎坑坑體直徑為五公尺，這座豎坑也於七十八年十月二十三日先行興建完成。西豎坑位於高峭的山頂上，標高有五百一十四公尺，深度達三百四十一公

尺，於民國七十七年元月上旬採用新奧工法動工開挖。這座豎坑施工中由於經常遇到大量湧水，進度一直不很理想，為克服湧水問題，乃改採傳統導坑工法施工，常開挖到一百六十五公尺深時，突然遭遇到一段湧水破碎帶，每分鐘湧水量高達一點七噸，經工程人員採用化學灌漿等方法方予克服突破，為趕工期及有效解決坑內排水與出碴問題，民國 84 年 4 月經研議決定由西德引進昇井工法施工，這種工法在國內是首次被引進採用。昇井工法是利用直徑二十八點六公分鑽桿，從豎坑上方中央鑽到豎坑底部，然後在鑽桿底部安裝一個直徑一點五公尺的擴孔鑽頭，由下往上提升旋轉鑽掘，先開挖一個直徑一點五八尺的導坑，然後再擴挖豎坑未開挖的斷面，將來擴挖時，可利用這個導坑來排水與出碴。



照片 5.6-1 古莊 1 號隧道北口



照片 5.6-2 古莊 3 號隧道北口



照片 5.6-3 古莊 4 號隧道北口



照片 5.6-4 古莊 7 號隧道口



圖 5.6-1 南迴鐵路隧道施工



圖 5.6-2 南迴鐵路隧道



圖 5.6-3 中央隧道施工



圖 5.6-4 南迴鐵路隧道施工



圖 5.6-5 大竹 4 號隧道口邊坡防護



圖 5.6-6 古莊隧道群



圖 5.6-7 大武 2 號隧道口



圖 5.6-8 安朔隧道



圖 5.6-9 金崙隧道南洞口



圖 5.6-10 金崙隧道北洞口



圖 5.6-11 多良一號隧道北洞口



圖 5.6-12 多良一號隧道南洞口



圖 5.6-13 大竹二號隧道北洞口



圖 5.6-14 大竹二號隧道南洞口



圖 5.6-15 大竹一號隧道北洞口



圖 5.6-16 大竹一號隧道南洞口





圖 5.6-17 大鳥隧道北洞口



圖 5.6-18 大鳥隧道北洞口上邊坡砂岩層露頭



圖 5.6-19 大鳥隧道南洞口



圖 5.6-20 大武二號隧道北洞口



圖 5.6-21 大武二號隧道南洞口覆蓋層



圖 5.6-22 大武二號隧道南洞口



圖 5.6-23 安朔隧道北洞口



圖 5.6-24 安朔隧道南洞口

## 5.7 各支線鐵路隧道

### 5.7.1 內灣線鐵路隧道

內灣線於 1944 年開始動工，但隨即因第二次世界大戰時資金不足而告中止，直到日本戰敗時仍未復工。戰後，政府延續建設計畫，並提升路線標準，亦略更改路線經過橫山。1947 年 11 月 15 日首先通車至竹東，時稱竹東線；之後於 1950 年 12 月 27 日延伸至十分寮（合興）；1951 年 9 月 11 日全線完工並改為今名。內灣線沿途產業眾多，林業、石灰業、水泥業為主要貨運收入來源，並兼負內灣、竹東等地通勤及旅遊人潮，為台鐵數條客運支線中虧損較低的。近年來隨著前往內灣觀看螢火蟲、體驗客家文化的風潮興起，遊客的載客量又略有上升。未來配合台灣高速鐵路新竹站聯外交通計畫，將自竹中車站闢建與本線分歧的六家線以相連。

內灣線全長 27.9km，新竹~內灣間有隧道 5 座，分別是竹東、合興、南河、九芎坪、明隧道等，其中，九芎坪隧道南口因經常坍方，台鐵局於 1997 年以箱涵結構隧道，向南延長 30 公尺後，災害方告止息。（照片 5.7-1~照片 5.7-4，註：以上照片取自瑞克之 Blogger）。



照片 5.7-1 內灣支線隧道



照片 5.7-2 內灣支線隧道



照片 5.7-3 內灣支線九芎坪隧道



照片 5.7-4 內灣支線九芎坪隧道

### 5.7.2 平溪線鐵路隧道

平溪線最初是爲了運輸自沿線礦坑開採而得的煤礦而興建此路線，後來並兼辦客運。路線全長 12.9km，三貂嶺到菁桐間有隧道 6 座，分別命名爲 1 號~6 號隧道。

平溪線於 1921 年 7 月全線完工，原本是台陽礦業株式會社所出資興建的運煤專用鐵路。1929 年轉賣給台灣總督府鐵道部，經過整建之後開始兼辦客運，80 年代由於平溪區內煤礦場大多關閉，以及人口流失等因素，平溪線的營運虧損，台灣鐵路管理局曾經打算停止營運平溪線鐵路。經過地方人士的積極爭取，因而保留，爲目前僅存的台鐵四大支線鐵路（平溪線、內灣線、集集線、林口線），也成爲目前仍繼續營運的鐵路支線當中，歷史最悠久也是風景最美麗的客運支線。平溪線沿基隆河河谷興建，沿途有原始的河谷景觀、壺穴、瀑布，生態資源豐富。平溪線沿線旅遊景點甚多，包括三貂嶺瀑布群、十分瀑布、眼鏡洞、四廣潭、台灣煤礦博物館、平溪老街、孝子山、平溪三尖、菁桐老街、石底煤礦遺址等；近年來平溪每年固定舉辦「天燈節」，平溪線也發揮了大量輸送遊客的功能。



照片 5.7-5 平溪支線隧道



照片 5.7-6 平溪支線隧道



照片 5.7-7 平溪支線隧道



照片 5.7-8 平溪支線隧道

### 5.7.3 集集線鐵路隧道

集集線是臺鐵最長的鐵路支線，也是南投縣至今唯一仍在營運的鐵路線，路線全長：29.7km，自二水至車埕間有隧道 9 座。

最初興建原因與水力發電有關，今日已成為熱門旅遊路線；南投縣政府稱此線為「南投縣觀光鐵道」。1919 年（日治時期大正八年），基於台灣電力株式會社興建日月潭門牌潭發電所（日月潭第一發電所，現·大觀第一發電廠）、日月潭第二發電所（現·鉅工發電廠）的運輸需要，集集線開始興建。1921 年完工，1922 年開始辦理客運業務。1927 年由台灣總督府買收並進行路線改善，成為鐵道部所轄支線。1999 年 9 月 21 日發生的九二一大地震，造成集集線毀壞嚴重：集集車站傾斜，多處路線鐵軌也挫曲變型。直到 2002 年 2 月 6 日才修復通車，並持續轉型成為台灣著名觀光鐵路之一，（註：照片 5.7-9~照片 5.7-15，取自 Cheng-en Cheng 之 Blogger）。



照片 5.7-9 集集支線 1 號隧道



照片 5.7-10 集集支線 2 號隧道



照片 5.7-11 集集支線中興隧道



照片 5.7-12 集集支線 4 號隧道



照片 5.7-13 集集支線 5 號隧道



照片 5.7-14 集集支線 6 號隧道



照片 5.7-14 集集支線明隧道



照片 5.7-15 集集支線明隧道

#### 5.7.4 其他支線鐵路隧道

深澳線支線，於 1989 年停止客運業務，僅保留一小段作為深澳電廠煤運專用線。2007 年因電廠改建，目前全線停用，並進行整建以恢復客運。路線距離：瑞芳~深澳 6.0km；深澳~濂洞間 6.3km（已廢止），其間有 3 座百米左右的小隧道。

深澳線沿線區域原本有日治時期 1936 年完工營運，經基隆八尺門、八斗子、深澳至水湳洞（濂洞）的礦業鐵路，戰後初期由台灣金屬礦業公司承接，但因財務狀況不佳、無力經營後，於 1962 年 8 月 26 日全線廢止。

台鐵另行新建由八斗子改彎向瑞芳接軌，路線標準較佳的深澳線。瑞芳—深澳段於 1965 年 4 月 8 日開通，並且開始辦理整車貨運；1967 年 8 月 25 日延伸通車至水湳洞，兼辦客、貨運。

後來為配合北部濱海公路興建，海濱、濂洞兩站於 1977 年 12 月 1 日停止營運；次年 1 月 11 日海濱站恢復營運。但隨著道路完工後公路交通的競爭，全線最後仍於 1989 年 8 月 21 日停止辦理客、貨運，僅保留瑞芳站至深澳火力發電廠的區間，供運煤列車行駛。但因深澳火力發電廠將進行拆除改建，自 2007 年 9 月 6 日起全面停止運煤業務，深澳線因而暫時停駛。

由於座落於八斗子的國立海洋科技博物館預定於 2011 年開館，相關部門在建館之初即計畫利用本線恢復客運業務。但地方亦有利用其路基興建基隆輕軌計畫聯結至基隆車站的見解，但最後仍決定優先深澳線恢復客運，並斥資五千五百萬元改善路線標準。恢復客運的深澳線每日開行 62 列次，區間為瑞芳—海科館間。目前瑞芳—海科館間已整建完成，預定 2011 年海科館站月台完工後通車。至於海科館之後，經一號隧道至八斗子車站段由於可眺望海景，亦在改善路線範圍內，但初期暫不恢復客運。



照片 5.7-16 深澳支線隧道



照片 5.7-17 基隆港支線仙洞隧道

## 6、隧道工程三部曲：規劃、設計與施工

當鐵路路線穿越山岳地區時，隧道工程往往成爲影響建造成本與施工期的關鍵，甚至在可行性研究階段，隧道工程也是路廊選擇的主要考量因素。所以，隧道工程自規劃、設計到施工，三個階段環環相扣，緊扣整體重大工程計畫的成敗，中途是很難改弦易轍，加以變更的。例如，我國建造北宜高速公路，當雪山隧道施工遭遇困難而延誤時，全線其他路段工程都已接近完工，路線無法做任何更動，只能硬著頭皮，排除萬難，完成這座隧道。本章將以作者曾經參與施做，較爲熟悉的台鐵三義隧道爲實例，闡釋隧道工程自規劃階段，以至於設計、施工階段，所需考慮的因素、面臨的問題，及解決對策，由於本隧道採新奧工法施工，所以內容亦以介紹新奧工法爲主。

### 6.1 三義隧道工程簡介

#### 6.1.1 興建緣起

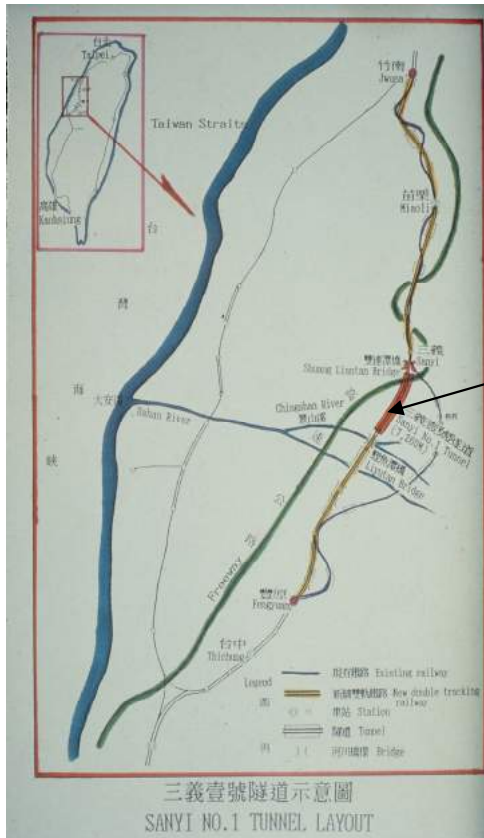
台灣西部縱貫鐵路行經苗栗、台中兩縣時，分爲海線及山線，其中山線經過苗栗、豐原、台中等重要都市，爲台灣鐵路局主要客運幹線之一，在高鐵通車以前，台灣南北鐵路運輸有 70% 以上客運列車均經由山線行駛。

現有路線因穿越中部山區丘陵地帶，橋樑隧道特多且始建於日據時代，設施標準甚低。最大坡度 2.6%，最小半徑 300 公尺，故行車速度與牽引噸數均受限制，形成運輸瓶頸。

鐵路局於 1988 年間提報「山線雙軌計畫」及成立工程處積極展開作業，其中有關一號隧道工程之修正計畫於 1992 年間奉行政院核定。即三義、泰安、后里間之路線截彎取直後，原有一號至八號等八座隧道僅剩新的一號、二號、三號等三座，其中一號、二號兩座隧道、鯉魚潭橋及三義站場等項工程由山線雙軌工程處第三土木施工所辦理，而位在三義鄉的一號隧道新建工程，則以「統包契約方式」交予承包商負責施工。

#### 6.1.2 工程範圍

三義一號隧道工程北端自縱貫鐵路山線三義車站南邊(STA.159K+740)跨越西湖溪後穿越高速公路，再通過苗栗丘陵區延伸至南端景山溪北岸山坡處(STA.167K+467.4)止，路線全長爲 7727.4 公尺，其中隧道部份總長爲 7260.4 公尺(如附圖 6.1-1)。

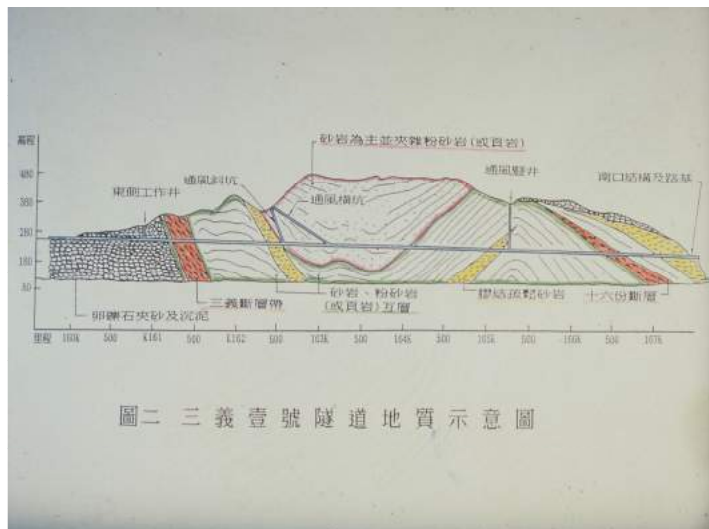


台鐵台中線三義隧道，全長 7354.17 公尺，1992 年開工興建，年竣工通車。

圖 6.1-1 三義隧道位置示意圖

### 6.1.3 地質條件

隧道沿線地形屬丘陵台地，起伏不大，覆蓋厚度介於 7~250 公尺之間，岩層分佈主要為卵礫石層、砂岩、砂頁岩互層等（如附圖 6.1-2 所示）。岩石強度不高，介於  $150\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 400\text{kg}/\text{cm}^2$ ，其中三義斷層破碎帶（290M）、十六份斷層帶（60M）及地下水等因素存在，增加施工之困難度。



圖二 三義壹號隧道地質示意圖

圖 6.1-2 三義隧道地質示意圖



### 6.1.4 設計與施工

依據各項地質調查及試驗分析結果，並參考 CSIR 岩體分類法，將隧道沿線之岩體歸納為五大類（如附表 6.1-1），以為隧道支撐之設計。

本工程主體隧道採新奧工法（NATM）設計及施工，施工期為五十個月，工期緊迫，為如期完工，全工程分為八個區段施工（如附圖 6.1-3）：一、雙連潭橋及路基。二、明挖覆蓋段（含沈箱段）。三、穿越高速公路段。四、東側工作井及向南工作面。五、斜坑及南北向工作面。六、橫坑及南北向工作面。七、通風豎井及向北工作面。八、南口向北工作面及洞口結構。本工程自 1992.4.9 開工，於 1998.9.25 全部竣工。

### 6.1.5 施工作業流程

鐵路局基於現有一百三十二座隧道之維修經驗，對本隧道工程特別要求設計加鋪一層全斷面 EVA 防水膜，以改善過去鐵路隧道常出現滲、漏水，造成電車線斷電，影響行車的情形。

採用新奧工法之施工作業流程如【附圖 6.1-4】所示，以上半斷面之施工為例，開挖面積約 47m<sup>2</sup>，其中作業時間為正常狀況時之平均值。

表 6.1-1 三義隧道岩體分類標準表

**三義一號隧道岩體分類標準**

類別	分 類 描 述
I	1.為安定之岩體。2.主要為塊狀砂岩或砂岩粉砂岩之互層。3.破裂程度很小，無斷層帶通過。4.可能局部滲水或湧水，對岩體強度影響甚小。
II	1.輕度破裂岩體。2.主要由砂岩，頁岩互層組成，夾薄層頁岩。3.破裂程度輕微，局部地區破碎較嚴重，若無適當支撐將導致楔形破壞。
III	1.中度破裂或擠壓性之岩體。2.主要由砂岩，粉砂岩互層組成，夾薄層頁岩。3.破裂程度顯著增加，並多數與斷層帶共同發生，存在不利之連續面方位。
IVa	1.高度破裂或擠壓性之岩體。2.大部分為層面間距相當小而厚度相當大之砂頁岩薄互層。3.高度破裂且交錯頻繁之斷層帶會造成顯著的岩體強度減低，此類岩體主要和大斷層帶有關。4.滲水量仍不嚴重。
IVb	1.高度破裂或擠壓性之岩體。2.地質特性和 IVa 類相似。3.而大量之滲水和廣泛之斷層帶將會對隧道開挖面造成不穩定之現象。
Va	1.軟弱無凝聚力之地盤（主要為紅土礫石層）。2.為不同型式之覆土層，大部分為大卵石及礫石夾雜砂質及沉泥質土壤。
Vb	1.軟弱無凝聚力之地盤。2.類似 Va 類，而大量之滲水，加上地質鬆軟，致使開挖面出現不穩定現象。

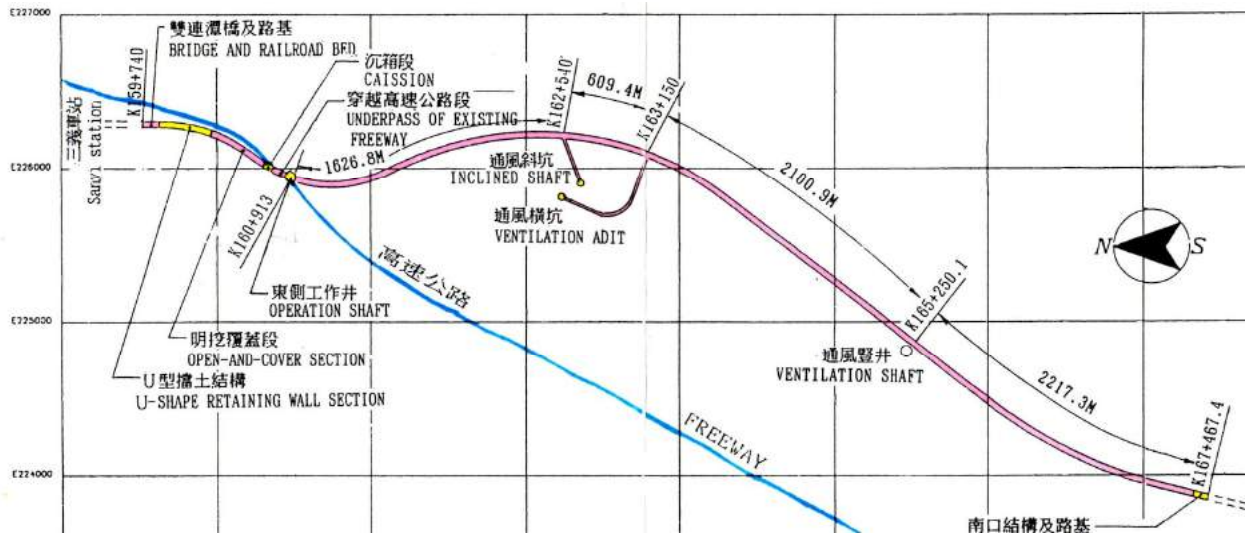


圖 6.1-3 三義隧道工作面佈置示意圖

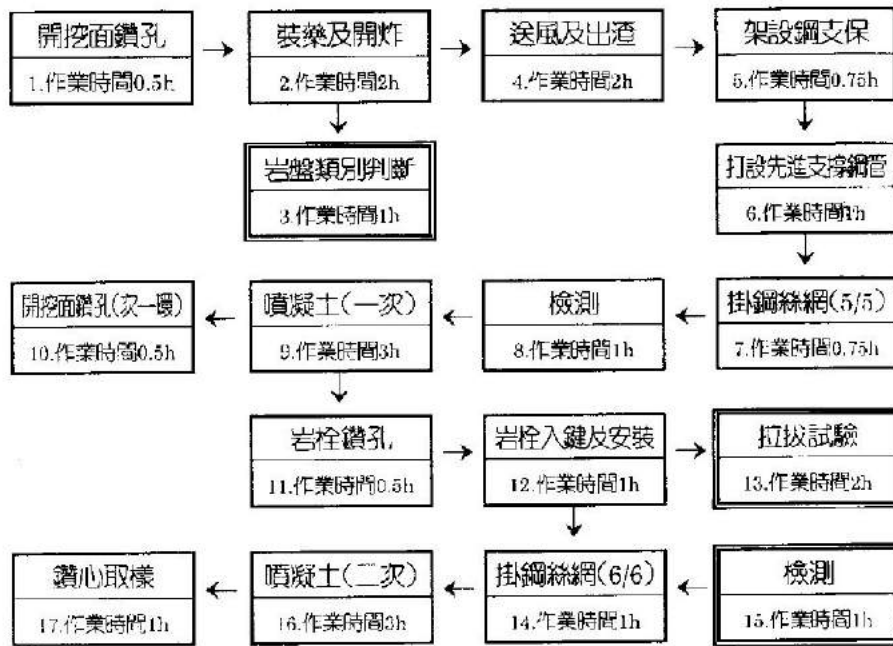


圖 6.1-4 三義隧道新奧工法之施工作業流程圖

## 6.1.6 環保措施

依據 1988 年行政院「環境保護基本法草案」，所謂環境污染問題可分為空氣污染、水污染、廢棄物、毒性物質、土壤污染、噪音、惡臭、振動與地盤下陷等九大類型。本工程大部份施工作業皆於地下進行，對於出碴又設有專用之棄碴區並經地方環保單位核可，故尚能達到目前要求之環保標準。

在本工程中列有「環保措施費」乙項，以總工程費 1% 計，

主要執行項目為：

噪音監測與管制。

振動監測與管制。

放流水監測與管制。

告示牌及圍籬等安全防護設施。

車輛產生之灰塵防護措施。

棄碴場水土保持計劃與執行。

其他相關之環境保護措施。

## 6.2 隧道工程規劃

### 6.2.1 地質調查

三義隧道工程自三義站南方 K159+740 起，至景山溪北岸鯉魚村 K167+467.4 止，全長 7727.4 公尺，隧道北口在三義站南方 1017 公尺處，南口在鯉魚潭聖王崎下，隧道長度預估為 7378 公尺，隧道西側有國道中山高速公路及省道尖豐公路，隧道上方之產業道路交織，交通頗為便捷。

隧道工址涵蓋區域，為一切割台地之地形，屬於苗栗丘陵，地形起伏不大，整區地勢呈東南向西北傾斜，最高處在柺子湖附近，標高約 550 公尺，最低處為重河附近，標高約 280 公尺。

隧道工程與地質之關係非常密切，但因地質情況不易掌握，尤其長隧道未知地質之因素更為複雜。隧道路線之選擇及沿線所通過地區詳細地質情況之瞭解，攸關隧道工程之成敗及進度，此外，若隧道座落在不穩定地盤內，在使用後或因天災地變而發生損毀現象，仍難逃失敗之命運。以下針對選線階段所做之「地質調查」，定線後結構體設計與施工計劃擬定所涉及之「地質調查」作業內容，做一系統性說明。

## 一、調查計劃

調查計劃擬定之前，對於隧道沿線之地質之文獻如水文、地震、過去災害地下礦坑分佈及其他有關報告資料，做了詳盡之資料蒐集，略述如下：

### (A) 工址地質概況

#### 1. 地形

本區主要山脊線之走向大致為北東方向，次要山脊線則呈南北或北西方向，以八櫃附近為一分界，八櫃以北為起伏不大之山脊與山谷地形，八櫃以南則為地勢平緩之紅土台地地形，至南方聖王崎下及伯公溪和西湖農場邊緣則形成台地崖，地勢高低變化較大。

#### 2. 水文

本工址內主要河川為北側之西湖溪及南側之伯公溪，其間有一德興池，德興池以北，河流流向均由南向北，最後注入西湖溪，德興池附近之溪流則注入德興池，德興池以南則以北向南或東往西注入伯公溪匯整後流入大安溪，自民國五十年至七十七年廿八年間年雨量平均為 2245.5 公釐，雨季集中在 5~9 月。除西湖溪、伯公溪水量較豐外，其餘支流平常水量均小，大部份已開墾成農地，河流短促，河谷地形不顯著。

#### 3. 地震活動：

本區為地震活動頻繁之區域，屬於現行建築技術規則地震分區圖中之強震區，其地震震源明顯集中於地表下九公里深附近。經查證相關的研究，統計過去 100 年台灣區大地震之資料 ( $M \geq 6.0$ )，推算本區未來 100 年可能最大地震加速度之預期值為 250gal。

#### 4. 地層

本區地層依地質時間由新至老可概分為近世的沖積層、崖錐層及紅土台地、更新世的嶺料山層、中新世的十六分頁岩、關刀山砂岩及南莊層。

#### 5. 斷層與褶皺

本工程可能遭遇之斷層包括三義斷層、銅鑼斷層及十六分斷層，由於斷層對隧道工程為最不利之惡劣條件，斷層除了本身是一弱化岩體外，因斷層所引起之地下水問題亦為施工上嚴重之困擾，因此隧道通過斷層帶之長度愈短愈好，接近斷層帶時，宜儘量採取與斷層呈高角度通過之佈置。

由於岩層之地質構造為南莊層的 A 層位於 B 層之下，以向斜或背斜構造與隧道相交，對隧道工程而言，隧道與褶皺呈較大角度斜交時，在通過背斜褶皺軸部時，可能局部遭遇較破碎之岩體，在向斜之軸部，則可能遭遇地下水問題。隧道若沿向

斜軸平行開挖，可能引發龐大之地下湧水，隧道附近地表有河流存在，則尚可能產生壓力地下水，引起施工上極大之困擾。隧道沿背斜軸平行通過時，因背斜軸部常有張力裂隙存在，若隧道頂部覆蓋較淺，則隧道施工時，地下水之多寡常與天氣有關，因雨水易沿裂隙滲入隧道，增加隧道岩層之風化速率，岩體強度易受到相當程度之影響，尤其是長隧道，因施工工期長，在未完全襯砌前，岩體之弱化常引起施工上之諸多困難。

## (B) 各項地質調查之調查方法及目的

除了上述有關文獻外，爲了更深入瞭解地質因素，本處並進行了下列之地質調查工程：

### 1. 地表地質調查：

地表地質調查爲地質調查中最基本之工作，由現場踏勘實際觀察沿線之地形及露頭地質資料，以研究分析計劃隧道通過地區之地層分佈（走向、傾斜）、地質構造、斷層、褶皺、地表水、湧泉等水文資料，作爲路線選擇之參考。

### 2. 航照判釋：

根據民國六十六年農林航測隊所攝製之壹萬柒仟分之一比例尺航照，依色調、地形表現（水系、岩石性質）、線性（層理）分析、岩性構造等四大項進形判讀。

本項調查配合地表地質調查，對於崇山峻嶺、人跡不易到達之地區及大地構造中斷層褶皺之存在，線形分析、區域節理分佈等可獲得很好的效果，對於不穩定地盤，或現場不易察覺之部份，在航照（遙感有色照片）中常能顯示出來。對於水系分佈（如地下水位、地表水、溫泉等）亦有相當程度之幫助。

### 3. 震波探測：

利用人工開炸所產生之彈性波，探查地表下速度層之分佈以瞭解地下地質情況，由震測結果可大致研判地下岩層之強度、固結情況，破碎帶或斷層之存在，此種調查涵蓋面積較大，一般多沿當時所選路線加以進行。

### 4. 地質鑽探：

定線後沿隧道線進行地質鑽探，其孔數及位置，若地形許可，每一公里一孔爲原則，隧道兩端洞口及通風井及其他必要處再加鑽孔，本階段除採取岩心供岩石力學試驗以研判地下地質外，尚可進行下列各項試驗：

- (1) 壓力透水試驗：求出隧道周圍地盤之透水係數。
- (2) 孔內壓力試驗：測定隧道周圍之原始應力情況。

(3) 地下水位測定：埋設水壓計長期觀測地下水位之變化。

岩石力學試驗可分為室內及現場試驗，室內試驗所採用之岩樣通常均採自鑽孔之岩心及試坑所取之大型岩樣，其試驗項目包括一般指數性質（比重、孔隙率單位重、含水率、吸水率）、單軸抗壓、抗張強度、岩石硬度等其所得資料不作為隧道開挖機械選擇之參考，岩石材料磨損試驗、抗風化試驗等可作為開挖石碴供作骨材適用性之評估。

## 二、調查結果

依據野外工址地表地質調查及航照判讀結果，本工址因受三義斷層及十六份斷層之影響而形成許多斷層破碎帶及褶皺帶，岩層之位態亦顯得不規則，同時亦有許多節理之產生，主要之地質構造分述如下：【如附圖 6.2-1】

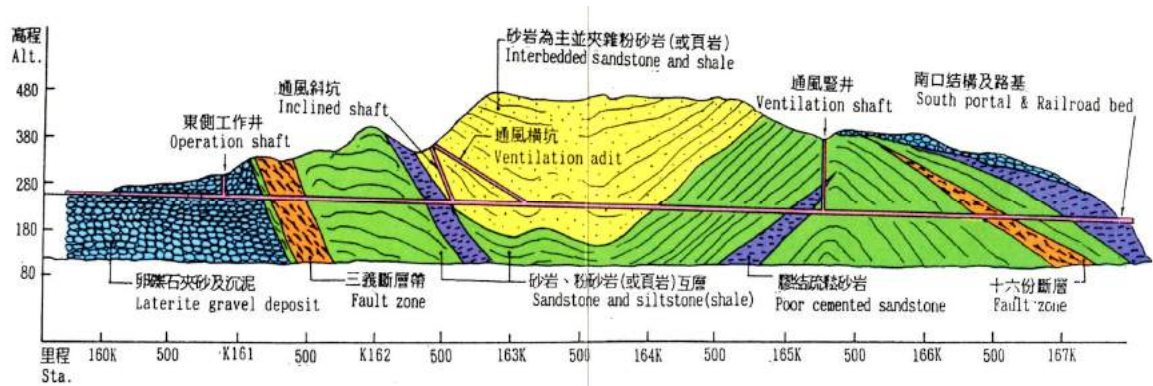


圖 6.2-1 三義斷層及十六份斷層地質示意圖

### 1. 斷層

斷層為本工址最重要之地質構造，包括三義斷層及十六份斷層，三義斷層於工址北端大致沿西湖溪主溪呈西北西走向，於三義車站西南方高速公路東側，突然轉折九十度並呈北北東走向，再向南延伸，依據野外露頭研判，推斷三義斷層為一低角度之逆衝斷層，但於出露地表時，常呈高角度的彎曲斷面，此一傾向東南之高傾角斷層於北口附近形成一狹窄破裂帶，並上衝至更新世之頭料山層上。其傾角度數與影響範圍尚無法確切的研判。

十六份斷層約呈東北東走向通過本工址南端，並於工址西南端為銅鑼斷層所截斷，其與主隧道線相交之確實位置及其影響範圍尚無法正確的研判。

### 2. 層理

由於受到三義斷層、向斜褶皺及十六份斷層等影響，岩層之位態因局部擾動而顯得不規則，地層走向一般為北 20 度至 70 度東，傾向東南，傾角約為 10 度至 50 度，同時亦有北西或東西之層面，且具有高角度之傾角。

層理厚度於砂岩及頁岩互層中約為數公分至 20 公分，於塊狀砂岩中則可達 1 公尺以上，一般而言層理開口緊閉，裂面平順。

### 3.節理

本工址之節理亦受到斷層作用及褶皺構造之影響而產生許多不同位態之節理組，其常與層理相互交切而將岩體分割成塊狀，不但減弱岩體之強度，亦可能形成地質構造破壞。

一般而言本區之主要節理有二：第一組節理為走向北 60 度至 80 度西，傾向東北，傾角 60 度至 80 度，第二組節理為走向北 50 度至 70 度東，傾向東南，傾角約 50 度至 70 度，部份節理面具有擦痕，開口並有填充物。

由於隧道開挖牽涉工程地質特性甚多，為使一般工程人員能對隧道岩盤特性有所了解，故將隧道岩盤性質量化，本階段隧道之岩體評分係採用南非 Bieniawski 之 CSIR 分類之岩體評分（Rock Mass Rating 簡稱 RMR）及挪威（NGI）Barton 之岩體分分類法（q 法）予以評分並辦理岩體分類。

## 三、結果檢討

三義隧道工程於施工前已做了詳盡之地質調查，惟地質情況之掌握不易，於施工時對實際開挖面之岩體分類應詳予記錄，一方面可做為設計施工法之印證，而本工程採用 NATM 施工，可視地質分類調整工法，一方面由實際開挖中觀察地質之變化，預測施工中可能發生之地質問題，以採取防範措施，同時並可建立完整之工程資料檔案。

北口及隧道北端之礫石層，由野外調查及水位觀測均顯示水位極高，開挖時應考慮點井打設及架設臨時擋土設施以防礫石因沖蝕而塌落。

隧道開挖現場如遇惡劣之地質狀況，應先辦理水平先進探查孔，以確認斷層之影響範圍及開挖面後方湧水之可能性。

三義斷層及十六份斷層之確切位置，影響範圍及岩盤特性均尚未充份掌握施工時應特別注意地質變化。（圖 6.2-2 及圖 6.2-3）

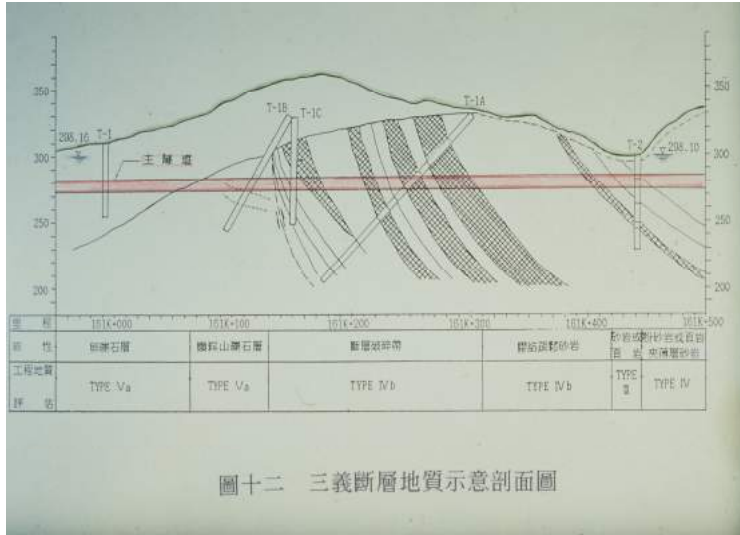


圖 6.2-2 三義斷層帶地質鑽探示意圖

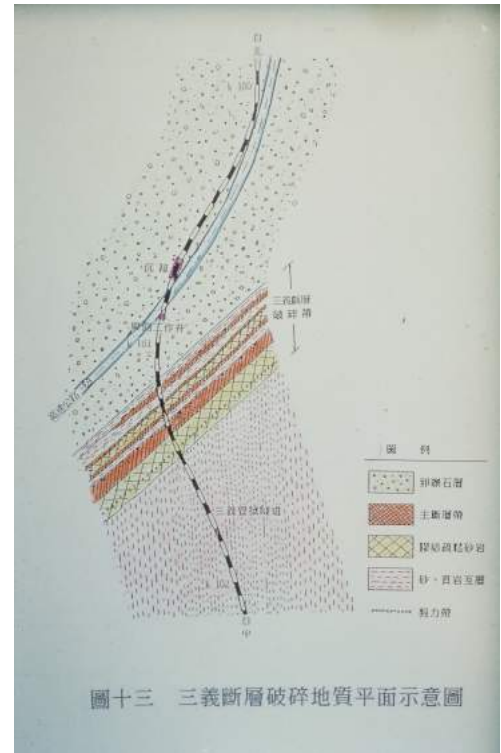


圖 6.2-3 三義斷層破碎帶位置示意圖

## 6.2.2 選線原則

### 一、概述

本路段現有線型因係早年興建，當時工程技術落後，加上山區地勢崎嶇，致使路線蜿蜒彎曲，全路段最小曲線半徑僅 300 公尺，最大縱坡高達 26‰，且隧道多、斷面又未達標準，因此該路段在坡度陡、彎道急及隧道密集之情況下，行車效率一直無法提高。

有關選線之工作，將涉及工程地質、路線標準、施工中交通維持、行車切換、用地徵收及民房拆除等，影響全工程之設計及施工均甚鉅。其中隧道工程與地質情況更有密切關係，如地質條件不良，不但工程費用增加，工期稽延，且易導致災變而產生無窮之困擾，將來路線之維修亦較費力與困難。

本路線北端既有舊線成 S 型曲線，曲線半徑僅 400 公尺，線型及坡度標準均甚差，且該路段位於三義市區內，附近有許多民房、工廠及道路，部份路線亦緊鄰高速公路，且隧道北口須由高速公路底部穿過，其覆蓋層又薄，更使路線規劃益形複雜。



## 二、路線佈設

本段新建工程之路線：自三義車站南端起，在現有線西側另增一新西主線，以擴建為雙軌。向南經過雙連潭橋，沿高速公路西側，經由西湖溪所形成之沖積平地，於穿入高速公路路堤起，進入一受三義逆衝斷層作用而抬昇之丘陵地形，其間並有一連串間夾之西北方向山谷；至八櫃後，向南經由地表為紅土礫石層所覆蓋之較平坦高地，直到聖王崎下附近鯉魚潭村銜接新建之鯉魚潭橋為止。

有關本工程選線工作，在預定經過之路線地區，需考慮之問題包括：

### 1. 三義斷層及其破碎帶之影響

因該斷層幾乎與本工程預定路線平行，雖然該斷層在預定路線之西側，但因該斷層為一向東呈低角度之逆衝斷層，斷面傾角平緩，在隧道預定深度處將無法避免須穿越斷層破碎帶。該斷層上盤之岩層係屬南莊層中弱至中強之岩體，因受到斷層之影響，路線附近地盤勢必破碎，而斷層下盤之岩層為頭料山層膠結不佳之礫石層，為一個良好的蓄水層，地下水將甚豐富。

### 2. 德興池地下水之影響

路線正好從德興池下方經過，池水很容易順岩層裂隙下滲，形成地下水滲流，此種破碎之岩層及大量地下水將造成隧道施工甚大困難。

### 3. 淺覆蓋洞口段施工之超挖影響

在隧道洞口附近覆蓋深度尚淺時，需避開疏鬆沖積層、山窪谷地、潛移崩坍區及上方有民房之淺覆土區等不利隧道工程之地質地帶。

### 4. 維持現有鐵路行車之運轉及施工空間與動線之配置

於雙連潭橋南方，現有路線成 S 型曲線，曲線半徑僅有 400 公尺，線型、坡度標準甚差，在改善路線標準之情況下，須考慮現有鐵路行車之運轉、施工時設備與挖方之進出及儘可能避免影響現有管線與減少附近民房之徵購、拆除。

### 5. 減少穿越高速公路之相互影響

本預定路線在隧道北端勢必需要穿過高速公路，為避免施工困難及施工時所可能造成高速公路路面沉陷等，傷害高速公路正常營運，所選路線與高速公路相交處應儘可能有較深之覆土深度及較大之相交角度，以減少穿越長度。

### 6. 現有平交道及穿越高速公路陸橋之地下化考量

在雙連潭橋南方約 260 公尺處現有線有一平交道，此平交道及旁邊穿過高速公路填土路堤之高速公路陸橋係三義往東至台 3 線之大湖、卓蘭重要通道，應配合此次雙軌工程一併將路線改為地下化，以取消平交道，惟因距離雙連潭橋不遠，附

近又有民房及高速公路限制，路線之線型與坡度需配合各種考慮，以兼顧各方面之要求。

#### 7. 避開隧道南口潛移崩坍區及密集之民宅區

在路線南端隧道出口處附近有一潛移崩坍區，附近亦有部份民房(鯉魚潭村)，為減低不利隧道施工之困難及減少徵購民房阻力，所選路線應儘量避開此區。

#### 8. 利用現有道路增加工作面之考量

因本隧道長度甚長，為縮短施工期，應設法增加工作面，因此路線之選擇應儘量使工作面能利用現有鄉村道路，避免須另闢施工道路，增加工程費、購地時間與購地困擾。

### 三、平面線形

規劃標準：最小曲線半徑：700 公尺以上。

兼顧地質因素、施工困難度及減少民房拆除等考量，本工程路線平面線形：自三義車站南端過雙連潭橋後，以兩半徑均為 820 公尺之曲線沿高速公路西側，在三義車站南方約 1.4 公里處再穿入高速公路，至避開三義斷層之影響後，配合地質情況、隧道南口、通風豎坑、斜坑位置及進出施工道路等因素，設置二曲線：一處半徑為 2000 公尺、另一處則為 3000 公尺，於路線南端避開鯉魚潭村與崩坍區後，銜接至鯉魚潭橋。〔如附圖 6.1-3〕

### 四、路線縱坡

規劃標準：最大坡度：千分之十五以下(隧道內千分之十以下)

有關路線之縱坡：於北端進入隧道以前，現有線除坡度大(最大 21‰)外，亦有甚多變坡點，在路線標準上並非理想。新線除要提高標準外，在此路段尚需考慮三義車站站場需要、雙連潭橋梁底淨空及重河路平交道地下化等因素。

基本設計階段規劃在三義車站場內採用+1.26‰之坡度以維持約與原車站相同之坡度，方便行車切換與運轉；在出站道岔群前再改為+12.231‰，使雙連潭橋梁底高程不致比現有舊橋低，過雙連潭橋後坡度變為-6.856‰，逐漸將路線降低，到重河路時已完全進入地下以取消現有平交道，且在地下隧道箱涵頂版上方可維持適當空間，以便便線於此處附近跨越新線時，可架設施工用之便橋，一方面維持地面便線行車，另一方面可在地下開挖新線隧道。過了重河路後，配合地面高程，為減少明挖段開挖深度，並兼顧穿過高速公路路堤之覆土厚度，採用+9.25‰之坡度漸將路線上昇，在此段坡度與前段縱坡之變坡點處，將為本工程北端高程最低點，為避免隧道內積水，考慮設置抽水站，配合抽水站之可用地，此變坡點選擇設在里程 160k+220，以利用改線後現有線之土地設置抽水機房，避免需另行購地。

在進入高速公路後之鑽掘隧道段坡度，一方面兼顧最大坡度 10‰之需求另一方面儘可能縮短通風隧道與通風豎坑長度，並配合南端鯉魚潭橋之設計高程，前段採用+6.803‰之昇坡，後段採用-9.811‰之降坡，儘可能使隧道中央提高以減短通風隧道長度，並可利於排水，當中最高處之變坡點也儘可能接近通風隧道，以利於廢氣排出。

## 6.3 隧道設計\_\_NATM 之基本設計

### 6.3.1 工程地質特性

根據既有之區域地質文獻、地表地質調查、多次現場實地勘查及鑽探資料結果，發現隧道所經過之地層，具有多種完全不同性質之岩體及不規則界面，並有三義斷層通過，此等岩質差異，如岩體固結程度及強度、岩體破裂程度、裂面情形、地下水及所含礦物成份等重要特性，均將以不等之程度影響岩體開挖後之應變行為。

本區地層依地質年代由新至老可概分為：

#### 更新世：

- 1.由砂、沉泥質砂及砂質黏土夾雜卵礫石所組成之堆積層。
- 2.由風化之岩塊及紅土礫石層塌落所堆積而成之崖錐層。
- 3.由砂、卵礫石夾雜部份沉泥所組成紅土礫石層。
- 4.由輕度膠結、組織不緻密之礫岩組成之頭料山層。

#### 中新世：

- 5.由含豐富化石成份之深灰色頁岩組成之十六份頁岩。
- 6.以細到中等顆粒、淡灰色之砂岩為主，偶夾深灰色頁岩組成之關山刀砂岩。
- 7.由白色砂岩、深灰色頁岩及砂岩、粉砂岩、頁岩互層所組成之南莊層其中尤以紅土礫石層及南莊層膠結疏鬆砂岩二者對隧道施工最具影響。

### 6.3.2 水文地質特性

三義一號隧道沿線須考慮的水文問題為：

- 1.地下水所造成之湧水。
- 2.含水層位置所在。
- 3.降雨量與地表逕流造成之地下水位高低的變化，及其對岩層滲水或湧水現象之影響。

上述均為水文分析及隧道內、外等排水系統設計時應考量之要點。

### 6.3.3 地震活動

台灣位於環太平洋地震帶上，屬於高強度地震活動頻繁之地震區域。本工程則屬於三個地震分區之西部地震帶，其地震規模一般不大，惟其震源大都位於淺層；為確保日後隧道營運之安全性，須先評估西部地震帶對三義一號隧道沿線影響之情形，以為隧道結構設計之參考。

### 6.3.4 岩體分類

經由航測照片判讀、地表地質調查及地表下探測等方式，並依據 KOHLBECK(1985)及 KOHLBECK & SCHEIDEGGER(1977) 等理論分析不連續面分佈密度，另依 WALLBRECHER(1979, 1986)理論分析不連續面方位，將隧道全線區分為五個地質均質區域 AREA 1~5：

AREA 1：有關三義斷層區域。

AREA 2：三義斷層南端，因斷層造成的褶皺影響區域。

AREA 3：向斜褶皺附近。

AREA 4：十六份斷層區域。

AREA 5：隧道南口區域。

藉由試坑和鑽孔瞭解地表下之岩體狀態、地質構造特性，進而判斷不同岩石類別之強度和物理性質。依上述調查結果及鑽孔岩心之工程地質特性，可建立有系統之岩石類別及岩體分類。

#### 1. 岩石類別

三義一號隧道工程依鑽探取樣及試驗結果（礦物成份及力學性質分析），沿線岩層可區分 A、B、C、D、E 及 F 六種。

#### 2. 岩體分類

依據不同之岩石類別及鑽孔岩心之地工特性，參酌岩體不連續面情況、風化程度、層面間距及破裂程度，三義一號隧道可分為以下三組地工岩體單元（GRU）。

#### 地工岩體分類參數的定義

##### 風化程度

- |      |   |                 |
|------|---|-----------------|
| 級別 1 | — | 新鮮岩盤            |
| 級別 2 | — | 具鐵染之不連續面        |
| 級別 3 | — | 岩石大部份具鐵染，岩石強度減低 |
| 級別 4 | — | 岩石因風化而分解        |

層面間距

- 級別 1 — 超過 30 公分
- 級別 2 — 10 至 30 公分之間
- 級別 3 — 5 至 10 公分之間
- 級別 4 — 1 至 5 公分之間
- 級別 5 — 小於 1 公分

碎裂程度（岩心塊長度）

- 級別 1 — 超過 10 公分
- 級別 2 — 3 至 10 公分之間
- 級別 3 — 1 至 3 公分之間
- 級別 4 — 小於 1 公分

GRU 1— 高強度岩體，包含岩石類別 A、B、C。

風化程度：級別 1、2。

層面間距：岩石類別 A 級別 1、2。

岩石類別 B 級別 1 至 4。

岩石類別 C 級別 1 至 4。

碎裂程度：岩石類別 A 級別 1。

岩石類別 B 級別 1、2。

岩石類別 C 級別 1、2。

GRU 2—中強度岩體包含岩石類別 A、B、C、D。

風化程度：級別 1、2、3。

層面間距：岩石類別 A 級別 2、3、4。

岩石類別 B 級別 3、4。

岩石類別 C 級別 3、4、5。

岩石類別 D 級別 3、4、5。

碎裂程度：岩石類別 A 級別 2。

岩石類別 B 級別 2。

岩石類別 C 級別 2。

岩石類別 D 級別 1、2。

GRU 3—低強度岩體包含岩石類別 A、B、C、D、E、F。

風化程度：不具意義。

層面間距：不具意義。

碎裂程度：

岩石類別 A 級別 3、4。

岩石類別 B 級別 3、4。

岩石類別 C 級別 3、4。

岩石類別 D 級別 3、4。

岩石類別 E 級別 4。

岩石類別 F 級別 4。

考慮岩體於開挖時可能之應變行爲、幾何形狀、存在之主應力狀態、相對於隧道軸線之不連續面方位及水文情況等，岩石類別及地工岩體單元（GRU）與岩體分類將有以下之關係：

GRU 1 相當於 岩體分類 I。

GRU 2 相當於 岩體分類 II、III。

GRU 3 相當於 岩體分類 IV。

經由綜合分析及研判，於基本設計階段之岩體分類系統如下：

**第 I 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，岩體力學行爲維持彈性狀態，開挖面穩定。

**第 II 類岩體：**

此類岩體爲破碎岩盤，部份堅實岩塊保持彈性狀態，然而不連續面之小位移依舊可見，裸露岩盤呈現輕微脆裂現象。

**第 III 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，不再維持彈性之力學行爲，靠近隧道處岩盤出現剪力破壞，但變形量小並且能迅速達到穩定狀態，屬於輕度擠壓性岩類，裸露岩盤出現脆裂現象。

**第 IV 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，不再維持彈性之力學行爲，靠近隧道處岩盤出現剪力破壞，顯著的變形量將產生，爾後漸趨穩定，屬於擠壓性岩類，裸露之岩盤一般均不穩定。

**第 V 類岩體：**

此類爲軟弱或無凝聚力之地盤，通常見於覆土淺之洞口段，在初次襯砌設置之前，裸露岩盤必須補強處理以維持穩定。

至於通風豎坑遭遇之岩體，初步歸納爲兩類（A 及 B）分述如下：

**A 類岩體：**

此類岩體維持彈性力學行爲，然而極發達之不連續面仍須有適當之支撐系統以維持穩定，A 類岩盤大多爲粉砂岩及砂岩互層夾雜少量頁岩，破碎情形變化很大。

**B 類岩體：**

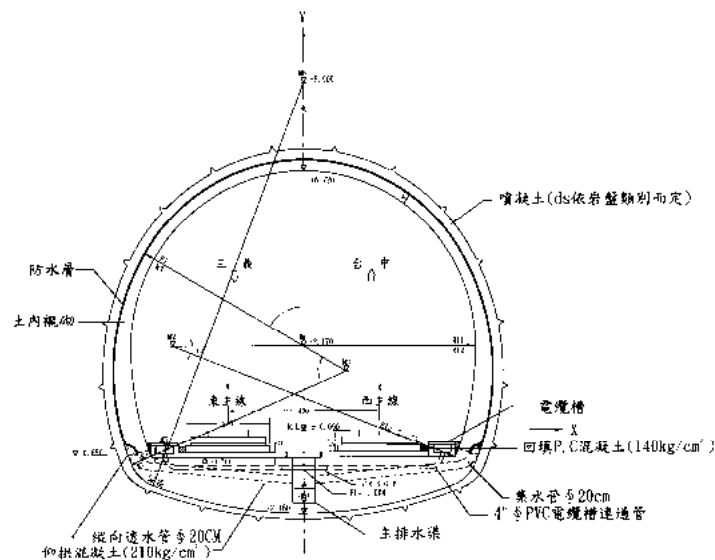
豎坑附近之岩盤呈現應力集中現象，產生之集中應力大過岩體本身強度，局部的剪力破壞使岩盤產生變形，B 類岩盤主要見於極破碎帶與斷層區域。

### 6.3.5 主隧道基本設計

本隧道設計係運用 NATM 施工理念及參考其一貫累積之施工經驗作為設計依據，NATM 之基本原理為隧道開挖後，需促使隧道周圍之岩體或地層形成自身就具備有承載岩壓之環體，為達成此目的，設計需符合以下之基本條件：

- 隧道形狀須避免產生岩體應力集中現象。
- 合適的支撐方式及施加順序。
- 變形與應力之計測及控制，使支撐達最佳效果。

為達成上述要求，除須瞭解岩體之工程行為及進行 NATM 岩體分類外，設計工作尚需包括：支撐系統、施工順序、規範中要求施工注意事項，以及施工中岩體分類修正，觀測及控制等，此一系列之過程均屬於設計考量部份。



主坑道正常段標準斷面圖

隧道主線標準斷面詳如上圖 6.3-1 標準斷面圖所示，分別適用於有仰拱、無仰拱及明挖段（U 型及箱形結構），淨空需求係依台灣鐵路交流電氣運轉路線雙線隧道淨空標準，其斷面設計之主要考慮為淨空需求、開挖後岩體應力狀況、排水系統、仰拱以及施工可行性等。隧道斷面結構包括支撐系統之噴凝土、鋼絲網及岩栓等。新奧工法有關開挖支撐之設計係依據既定之岩體分類，再憑藉 NATM 理論與經驗作出支撐系統及開挖順序，一般新奧工法施工之作業流程如附圖 6.1-3 及附圖 6.1-4 所示。然而在開挖過程中，持續的工程地質評估及現地計測，並據以修正岩體分類及支撐系統，係不可免之必要步驟。

除主隧道之外，另外顧及平時或緊急狀況之維護及通風設施需求，本工程尚包括通風隧道一條及通風豎坑一口；此外通風隧道亦將作為永久性之緊急逃生通路，除通風設施之外，兩種不同尺寸之雙側避車洞（主避車洞及標準避車洞）亦將引用於本工程。

由於基本設計階段之岩體分類及開挖支撐系統設計均是依據有限之地質調查結果所作的分析、評估及推測，是以施工期間岩體應力變化等之計測實為隧道施工之重要環節，藉此隧道計測在短時間內可獲知設置之支撐及施工結果是否適當，必要時尚可及時調整及補設額外之支撐構件，以防止岩體趨於不穩定，並藉計測之觀察，預測前方岩體狀況，有助於施工作業之調整，使工程更臻於安全而經濟。基本設計階段所建議之計測系統包括：

1. 隧道內變位測定（收斂儀及高程測量點）
2. 隧道附近地層應變量測（伸縮儀）
3. 噴凝土襯砌之應力測定（應變計）

縱觀三義壹號隧道之設計模式，係參考南迴線鐵路工程之隧道施工實例，並配合地質特性加以修正，例如東側并礫石層之開挖，覆蓋較薄之穿越高速公路段以及三義斷層帶（過河段）之特殊處理，在設計上均有相當大之突破，使其施工性、安全性及經濟性，達到所預期的效果。

### 6.3.6 穿越高速公路段

依據地質鑽探資料及地表地質調查結果顯示，一號隧道北口附近地層主要為河床堆積層及紅土卵礫石層交界區域。由於河床堆積層之透水性極佳，開挖區可能出現之大量湧水問題，係開挖安全措施選擇及考量評估之重點，採完全止水之擋土結構並配合利用抽水設備以降低地下水位將是隧道北口施工較理想之措施，經評估施工可行性及經濟性，建議選用之擋土結構為場鑄鋼筋混凝土鑽掘樁。為使北口隧道鑽掘作業不致對中山高速公路造成過大沉陷影響並且兼顧隧道開挖面之穩定，配合採用灌漿工法改良地盤及達到止水的效果。



## 6.4 隧道施工\_\_NATM 之施工

### 6.4.1 主隧道施工

#### 一、地質調查工作

三義壹號隧道在地質調查工作方面分為三階段，第一階段為定線用調查，自路線勘測檢討至路線決定為止，完成地形、地質、環境及其他一般性調查；第二階段供設計施工計劃用之調查，自隧道定線後工程開工前，完成較為精密之地質調查及周圍一帶基於實際需要之計劃調查，供機具設備用之調查。第三階段即施工中之調查，在隧道開挖面施作先進鑽探孔及 TSP (Tunnel Seismic Prediction) 調查作為施工中所發生之問題的預測與檢討，以供工程管理、設計變更及災害保險補償等作用。

#### 二、工程內容

本工程定線完成後全長 7,727.4 公尺 (K159+740~K167+467.4) 最大坡度 9.8125 ‰ 最小半徑 800 公尺，除北端 990 公尺 (K159+740~K160+730) 含路基、雙連潭橋、U 型擋牆、明挖覆蓋段及南端 47 公尺 (K167+420.4~K167+467.4) 含南洞口明挖、路基外，隧道部份全長 6690.4 公尺 (K160+730~K167+420.4)。為考量工期 50 個月內完工，規劃穿越高速公路、工作豎井向南、通風斜坑向北向南、風橫坑向南向北、豎井向北及南口向北等八個工作面施工，詳如附圖一。出碴方式主隧道內均採用輪胎工法，唯斜坑段 (L=320M) 須轉換軌道工法，配合 2 部 (75KW、160KW) 捲揚機出碴。另穿越高速段 (L=20M)、工作豎井 (L=33M) 配合 15T 門型吊車乙部、通風豎井 (L=126M) 則配合高速捲揚機一套出碴。

#### 三、地質與岩體分類

隧道沿線地形屬丘陵台地、起伏不大覆蓋厚度介於 7~250 公尺之間，岩層分佈主要為卵礫石層、砂岩、砂頁岩互層等岩石強度不高，介於 150~400 kg/c m<sup>2</sup>，其中三義斷層破碎帶 (290M) 及十六份斷層 (60M) 以及地下水因素增加施工之困難度 (如附圖 6.1-2)。隧道開挖依上述岩質條件予與各工作面，預估為 II、III、IVa、IVb、Va、Vb 等六種岩盤類別。然實際開挖後採用 III、IVa、Va 種岩盤類別施工。

#### 四、開挖與支撐型式

隧道內淨空斷面，採台鐵雙線電氣化標準，鋼軌面以上高 6.72 公尺、寬 8.08 公尺、起拱線處寬 9.10 公尺。隧道斷面之開挖、支撐與混凝土襯砌等。參考以往的施工實例及經驗，配合岩體分類及設計標準模式加以設計。隧道開挖分為第 I 類岩盤、第 II 類岩盤、第 III 類岩盤、第 IVa 類岩盤、第 IVb 岩盤、第 Va 類岩盤、第 Vb

類岩盤等七種開挖及支撐系統配合施工。

(1) 主隧道第 I、II 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進長度 1.5~2.0M，採用長台階工法施工，其施工順序為：1. 上半斷面開挖 2. 上半斷面架設鋼支保 3. 上半斷面鋼絲網鋪設及噴凝土 4. 下半斷面開挖 5. 下半斷面鋼支保架設 6. 下半斷面鋼絲網鋪設及噴凝土 7. 底樑開挖及混凝土 8. 內襯砌混凝土。

(2) 主隧道第 III 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進 1.0~1.5M，採用長台階工法施工。其施工步驟為：1. 上半斷面開挖與支撐（視地質狀況施作環狀開挖及臨時仰拱閉合） 2. 下半斷面開挖與支撐 3. 仰拱開挖與支撐 4. 內襯砌混凝土。

(3) 主隧道第 IVa、Va 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進 0.8~1.0M，採用長台階工法施工。其施工步驟為：1. 上半部視地質狀況施作固結及化學灌漿 2. 上半斷面開挖與支撐（配合環狀開挖施作臨時封面及臨時仰拱閉合） 3. 下半斷面開挖與支撐 4. 仰拱開挖與支撐 5. 內襯砌混凝土。

(4) 主隧道第 IVb、Vb 類岩盤開挖

其施工法稱側導坑先進工法，開挖每輪進 0.8~1.0M，採用短台階工法施工，適用於滲水量較大之區段。其施工步驟為：1. 開挖前施作固結及化學灌漿 2. 側導坑上半斷面開挖與支撐 3. 側導坑下半斷面開挖與支撐 4. 側導坑仰拱開挖與支撐 5. 主隧道上半斷面開挖與支撐 6. 主隧道下半斷面開挖與支撐 7. 主隧道仰拱開挖與支撐 8. 內襯砌混凝土。

## 五、隧道襯砌

隧道內襯砌之施工，必須在觀測岩體變形穩定之後（ $<2\text{mm}/\text{月}$ ），才能進行。其可能承受之外力，來自岩體之潛變或隧道外壁蓄積之滲水壓力，其目的係為隧道內面裝飾、設備安裝以及增加隧道結構之安全。此外，內襯砌亦具保護防水層之功用，其設計厚度，分為洞口段及交叉段有筋混凝土厚度為 50 公分，普通段無筋混凝土厚度為 30 公分，其 28 天之混凝土抗壓強度為  $240\text{ kg/cm}^2$ 。仰拱混凝土厚度為配合中央溝排水系統最少厚度為 50 公分，強度為  $210\text{kg/cm}^2$ 。

## 六、施工監測

隧道施工監測之目的確保隧道周圍岩盤之安定，並做為現場施工管理之指標及提供設計之參考。為確保施工安全，擬根據設計圖中之地質與支撐資料<sup>詳</sup>建立預警燈號之管制基準，以利監測工作的進行。本工程各項監測項目有頂拱沉陷、水平內空變位、斜向內空變位、伸張儀、計測岩栓、噴凝土應力計等。



照片 6.4-1 主隧道施工



照片 6.4-2 主隧道施工洞口開挖



照片 6.4-3 隧道施工下半斷面開挖



照片 6.4-4 隧道施工上半斷面開挖



照片 6.4-5 隧道施工敷設防水膜



照片 6.4-6 隧道施工襯砌



照片 6.4-7 隧道施工機械半斷面鋼模



照片 6.4-8 隧道施工機械全斷面鋼模

## 6.4.2 豎井施工

三義壹號隧道工程全長 7727.4 公尺，屬於長大隧道工程，因此對於隧道內的通風方式必須做妥善的規劃。本工程的通風管道有通風橫、斜坑及通風豎井，其位置約在主隧道長度的三分之一等分，即相隔約 2 公里，以自然空氣對流的通風方式進行隧道內的換氣。通風豎井位於主隧道里程 165k+250 處，完成面淨空為直徑 8 公尺的圓形斷面，豎井井深 126.7 公尺，在底部以連接橫坑與主隧道相連接。於井口處則加蓋豎井維修室與外界隔離。豎井的設置除了以上通風功能的考慮之外，另外也提供了主隧道施工期間的一個工作面，本工作面配合專門設計的高速捲揚機設備，使得整體工期得以縮短，此亦是本工程規劃上的特色。

### 一、地質概述

按地質調查分析報告，在地表面以下 10 公尺為礫石夾黃棕色土壤的覆蓋層，覆蓋層下方為砂岩、頁岩、粉砂岩及泥岩的互層。覆蓋層土壤的有效凝聚力  $C'=10$  KN/m<sup>2</sup>；有效抗剪角為  $\phi'=30^\circ$ 。岩盤之岩材單軸抗壓強度約為 10~30MPa，岩盤節理發達。地下水位高度約在地面下 8 公尺。綜合上述，除覆蓋層外其餘依 CSIR 岩體分類法之評分結果約為 30~50 分，屬 III、IV 類岩盤，岩盤自持性尚可，惟需注意節理、弱面夾軟泥遇水易產生滑動而形成不穩定。

### 二、豎井開挖之邊坡穩定分析

- (1) 分析剖面：依現地地勢及細部測量地形資料，取最陡坡作邊坡穩定分析。
- (2) 土壤力學參數：參考地質鑽探孔 SH-1 之取樣分析結果研判取有效凝聚力  $C'=10$  KN/m<sup>2</sup>；有效抗剪角為  $\phi'=30^\circ$ 。
- (3) 分析方法：以 "STABL-5" 電腦程式分析。
- (4) 分析結果及設計：坡面以 10CM 厚噴凝土加一層 5/5-100\*100 鋼絲網保護，並鉗設排水孔。坡頂及坡腳設置截、排水溝。

### 三、豎井結構與斷面

- (1)豎井標準斷面：豎井的施工理念為新奧工法與主隧道相同，襯砌分為噴凝土外襯砌及混凝土內襯砌兩層，噴凝土厚度為 15~25 公分依現地岩體分類所對應的支撐型式施工。混凝土厚度為 30、50 公分，在井口段 15 公尺及與連接橫坑交叉段採混凝土厚度 50 公分，其餘區段混凝土厚度則為 30 公分
- (2)豎井開挖與支撐措施：按新奧工法原理設計，因斷面形狀為圓形較有利於閉合條件。開挖採深井鑽炸工法，每環開挖深度 1~2.0M 視地質情況好壞應變調整。支撐措施則以噴凝土、鋼絲網、鋼支保、岩栓等構件按岩體分類等級組合應用
- (3)豎井排水設施：為避免地下水壓力對豎井井壁造成壓力破壞，在豎井周圍埋設四支縱向落水管，而深度每 20 公尺處則埋設環型排水管。為利於開挖每 20 公尺設置抽水轉運站凹槽一處。

### 四、豎井開挖階段計測斷面設計

豎井計測斷面分為兩種，" I "型於豎井直徑方向裝設兩組收斂計測釘做徑向變位收斂觀測，設置間距為 20 公尺；" II "型除收斂計測釘之外並加裝伸張儀以觀測豎井周圍岩盤位移變化，設置間距為 40 公尺。此外於交叉段及極惡劣地質得視需要增設計測斷面。【詳如附表 6.4-1】

表 6.4-1 豎井開挖支撐元件表

豎井斷面項目	正常段 I、II 類	正常段 III 類	正常段 IV 類	交叉段及洞口段
噴凝土(CM)	10	15	20	25
鋼絲網 5/5-100*100	內面一層	內面一層	內外面各一層	內外面各一層
岩栓(4M/支)	—	0~8	12	—

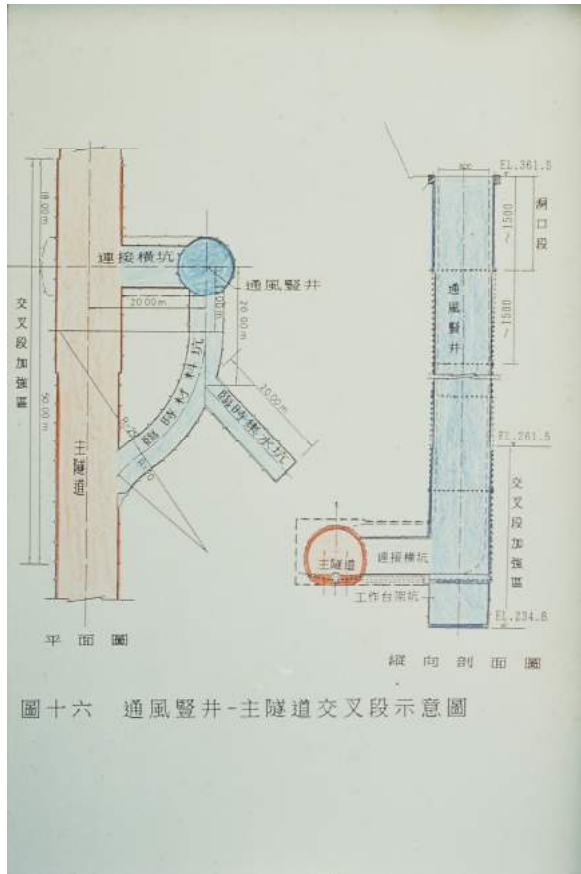


圖 6.4-1 三義隧道斷面示意圖

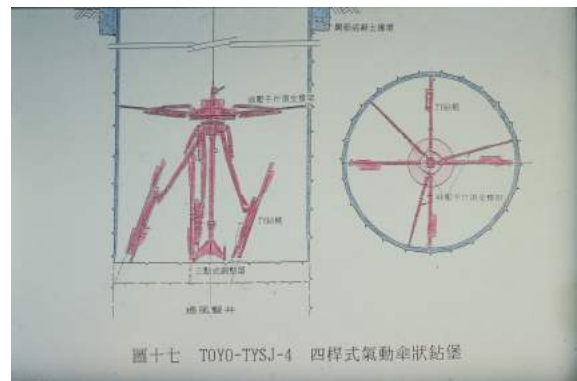


圖 6.4-2 豎井施工機械示意圖

### 6.4.3 穿越高速路段之施工

三義壹號隧道新建工程，北端穿越高速路段於交通頻繁之中山高速公路下方之卵礫石層中開挖。穿越高速路段全長 183.2 公尺（里程由 160K+730 至 160K+913.2）。隧道開挖斷面寬約 10.8 公尺，高約 10.4 公尺，與高速公路約成 30 度斜交（相對高速公路里程約於 147K+774 至 147K+867），其覆蓋層厚度僅 8 公尺至 20 公尺。由於本區段為紅土礫石層，石質堅硬且地下水位高，因此施工困難度相對增高，為顧及高速公路行車安全與暢通，故設計考量於隧道開挖前施工採超微粒水泥灌漿及小管幕為輔助工法，以改良地質及止水，再以新奧工法（NATM）進行隧道開挖，並配合計測儀器監測研判，俾能順利安全完成本段工程，使對高速公路行車的影響至最小程度。

#### 一、施工區域

本區域由北端沉箱段 Sta.160k+730 至南端東側工作井 Sta.160K+913.2，計 183.2m，其與高速公路交叉部份長度約 110m（自路堤坡腳起算）。施工分為南北

兩個工作面，北端為沉箱工作井(15.6m X 15.6m<sup>淨</sup> L=23.5m)、南端為東側工作井( $\phi$ =11.1m, L=33m)，兩者均須以門型吊車進行出碴及材料、機具運送。

本穿越段週遭地形起伏不大，隧道頂部覆蓋厚度由 8~20 公尺不等（含高速公路回填夯實土層約 7~8 公尺），隧道上方之高速公路兩側共有四車道，車流量頻繁趨於飽和。

## 二、地質與水文概述

本施工區域地質為卵礫石層，礫石含量約 60~90%，主要粒徑約 3 至 50 公分，呈圓球形或橢圓球形，屬河階堆積之礫石層，主要以白色石英砂岩為主，表面常有黃褐色鐵染出現。礫石間所夾細粒料以粗砂為主，內含少量沉泥及粘土，呈黃褐色，因受地下水影響，膠結性不佳，開挖面易隨滲流水而坍落。

隧道北端入口處之地下水位，在未施工前約於地表下 1 公尺。南端東側工作井水位約於地表下 5 公尺左右。由現地抽水試驗推估之滲透係數 K 值為 10<sup>-2</sup>~10<sup>-4</sup> cm/sec，地下水流方向為東南向西北。為降低穿越段施工區域之地下水。因此由東側工作井(井深 33 公尺)先降挖截流，以降低本區段之地下水位及減少本隧道開挖面之滲流。

## 三、輔助工法

基於地質狀況特殊及高速公路路面沉陷之考量，施工方法先採用超微粒水泥灌漿(或水泥漿)及管幕支撐為輔助工法，以改良並強化隧道周圍地層後再進行上半斷面開挖。隧道內每輪鑽灌 12 公尺，再開挖 9 公尺；惟在北端覆蓋較薄處，先自地表施作垂直灌漿。

### (1) 地表垂直灌漿

Sta.160K+730~790 覆蓋較薄，約 8~14m)故採由地表垂直灌漿，對於鑽孔之位置及角度容易控制，施工較易且效果較易掌握。灌漿孔配置採孔距 1.5m×1.5m，孔深依現地地形調整自 8.5 公尺至 21.5 公尺不等，使隧道周圍 3m 之範圍形成灌漿改良區灌漿材料以水泥漿為主，另視需要輔以 LW 漿液（水泥漿+水玻璃），灌漿壓力至 5Kg/cm<sup>2</sup> 後保持 20 分鐘壓力不減時始停止灌漿。

### (2) 隧道內前進灌漿

#### A. 鑽灌方法

Sta.160k+790~913.2 隧道已進入高速公路邊坡，地表覆蓋厚度增加，鑽孔長度增長，無法從高速公路及其邊坡上施鑽，故採隧道內前進灌漿。灌漿工法採每輪施作 12m，開挖 9m，保留 3m 重疊。鑽孔使用之鑽機為礦研(KOKEN) RPD-100C(4)-LB 型。灌漿管以跳島式鑽設，鑽孔分為 A 環、B 環及 C 環。由兩側向中央鑽設。鑽

孔之孔徑約 96mm，孔位仰角 10~15 度使各孔在孔底之間距不超過 1.2m，俾使灌漿後因重疊效應產生至少 3m 厚之灌漿改良區。

為使灌漿材料有效地滲入卵礫石層中之土壤達到止水與固結效果，灌漿材料採超微粒水泥（Micro fine Cement），其止水效果較優於一般水泥漿，但鑑於其成本較高，將視開挖工作面滲水狀況以水泥漿取代。下半斷面灌漿亦將以此原則調整超微粒水泥之用量，以期節省工程費用。灌漿每孔最大灌漿量每分鐘 30~35 公升，孔口壓力以 10Kg/cm<sup>2</sup> 為限，以免造成高速公路路面破壞或隆起。灌漿採跳孔施作，且由隧道內向外圍施灌，灌漿施工步驟如下圖 6.4-3 所示。

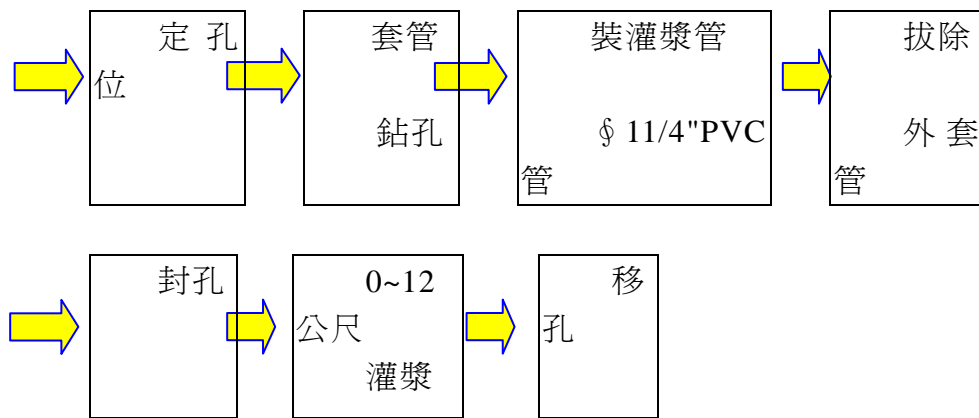


圖 6.4-3 灌漿施工流程圖

### B. 超微粒水泥之特性及配比

超微粒水泥之粒徑為一般波特蘭 I 型水泥之 1/5，可滲入細砂達到較佳之止水及固結礫石層的目的。超微粒水泥及添加物、附加劑均不含有毒性物質。其規範如表 6.4-2 所示。

表 6.4-2 超微細水泥之規範

比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	粒徑分佈(μm)	抗壓強度(kg/cm <sup>2</sup> )
> 8,000	0~4 ≥45%	3 天強度 ≥ 200
	0~10 ≥95%	7 天強度 ≥ 350
	max. ≤ 20 μm	28 天強度 ≥ 500

本工程使用超微粒水泥有二個主要原因：

- (i) 超微粒水泥為無機質材料，不會對環境、人體、地下水及土壤造成污染。本地區附近有溪流，且居民使用地下水甚普遍，在環保理念下，比高分子系列灌漿材料適當。
- (ii) 此處卵礫石間之細粒料以粗砂為主，含部份沈泥。超微粒水泥顆粒比一般波特蘭 I 型水泥為細，在適當且相同的壓力下可滲入細砂。而一般水泥漿只



可部份滲入粗砂中。故採超微粒水泥灌漿較易達到止水與固結雙重效果。超微粒水泥(MC)灌漿材料 1m<sup>3</sup> 之漿材配比如表 6.4-3 所示。

表 6.4-3 超微細水泥漿之配比

A 液	B 液
(MC+擴散劑) : 水	水玻璃 : 水
1 : 2 (重量比)	1 : 1~5 (體積比)
71.4L(214.3 kg) : 428.6L	
計 500 L	計 500 L
註：	
(1) A : B = 1 : 1 (體積比)	
(2) 擴散劑(重量) = MC 重量 × 0.5 %	
(3) B 液之水量配比，施灌時視現場 實際需要調整之。	

### (3) 小管幕(Pipe Roof)施工

每一輪灌漿工作完成後<sup>※</sup>接著進行拱圈之管幕施工。管幕係以 38 支管徑 3.5 英吋鐵管構成，配置間距約 30cm，長度 12m，鉗孔仰角約 5~8°，視現場需要做調整。鉗孔套管(孔徑 133mm)鉗設達預定深度後將鐵管(φ=3.5"，t=6mm)置入孔中，逐節拔出鉗孔套管(φ 133mmX1.5m)，鐵管並可視作灌漿管，以水泥漿將鐵管及孔壁填充，使其於隧道頂拱上方形成保護環，其作用為抵抗高速公路行車可能產生之震動與防止隧道開挖時可能引致之抽心坍方。

## 四、隧道開挖及襯砌

本工程採用 NATM 岩體分類法，是以定性描述為主，並以定量之岩體分類法(RMR 與 Q 法)輔助評定，總共分爲 I 至 V 類。根據地質研判本區段爲一無凝聚力之地盤，主要爲紅土礫石層，岩盤強度偏低且地下水影響其自立性甚大，屬 Va 類岩盤。施工中再依據計測資料研判，機動調整開挖進度及支撐型式。

本區隧道開挖於每一輪(12m)灌漿及管幕施工完成後即進行。開挖分爲上半部環狀開挖、土心開挖(46 m<sup>2</sup>)洞台及仰拱三部份。開挖採用挖溝機與破碎機，以無爆破方式避免擾及高速公路之安全；支撐採剛性較強之 H-175 鋼支保與噴凝土爲主，於開挖後儘速進行以減少隧道之先期變形。

開挖及襯砌方法略述如下：

- (1) 先進行上半部環狀開挖，每輪前進 1m，支撐採 H175 鋼支保(洞口段 10m 採 H200)與 25cm 噴凝土及長 4m 之岩栓，再開挖土心部份。臨時仰拱(厚

20cm) 於每一輪進 9 公尺開挖完成後隨即構築，以求開挖面閉合並減緩隧道之變形量。

- (2) 上半部開挖進入高速公路下方時，利用灌漿時段進行混凝土襯砌，每模 9m。如此可防高速公路路面沉陷。上半部內襯砌完成後開始施作下半部左右兩側鑽孔及灌漿。
- (3) 洞台開挖以路塹方式先挖中央保留兩側，再由上半部襯砌接縫處採跳島式交錯進行側壁開挖(含鋼絲網、鋼支保及噴凝土)，每次擴挖 3m 並予襯砌後，其餘錯開部份(6m)採一次開挖及襯砌。
- (4) 洞台開挖間視地下水滲流量及計測資料研判，必要時施作側壁或仰拱之灌漿處理。
- (5) 仰拱開挖與襯砌每一分塊長 5m。

## 五、施工監測

本工程隧道開挖後所引致之沉陷量分析係採用 ITASCA Consulting Group Inc., U.S.A. 公司所開發之有限差分(finite difference) 軟體 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 程式為分析工具，模擬隧道開挖過程及支撐過程之應力－應變行為，以數值分析法來從事隧道分析與設計。

依據 FLAC 程式模擬隧道開挖過程所引致之沉陷量，當上半部完成時，頂拱沉陷約 21mm，路面沉陷約 13mm；全斷面開挖完成時，頂拱沉陷約 47mm，路面則約 35mm。前述路面沉陷影響範圍分別為 28m 與 40m。自地表面埋設伸張儀、傾斜儀及沉陷點，隧道內則埋設內空變位計、頂拱沉陷釘，觀測地表沉陷量及礫石層隧道內之變位情形，定期監測並嚴格控制沉陷量，掌握施工狀況俾便採取應變措施。

Sta.160K+775~905 地表恰位於高速公路及路堤，無法鉗設伸張儀及傾斜儀。因此地表僅以沉陷點來觀測變位狀況，其測點佈置以沿隧道中線兩側各 20m 為範圍，隧道內之配置儀器計測斷面。

本穿越段全長 183 公尺，計有 11 個監測斷面，包括地表沉陷點 152 處，測點遍及高速公路路肩、中隔島及隧道沿線之地面，其計測頻率如表 6.4-4 所示。另高速公路車道沉陷量測視路肩或中隔島測點有異常現象時，即通知高速公路局管制交通進行量測。

表 6.4-4 高速公路穿越段施工監測頻率

計測項目	量測頻率
內空變位 頂拱沉陷	開挖階段：每天量測 灌漿階段：2~3 天量測一次
伸張儀	7~8 天量測一次
傾斜儀	每月量測一次
地表沉陷	每 10 天量測一次
水位觀測井	每月量測一次

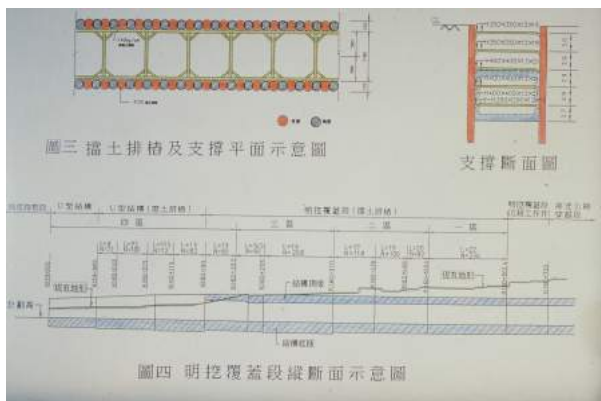


圖 6.4-3 三義隧道明挖覆蓋段示意圖

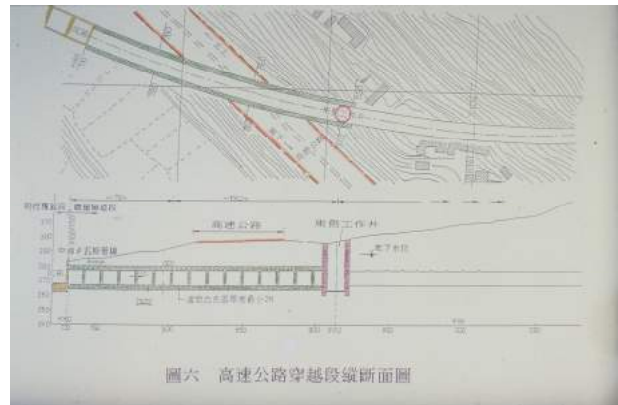


圖 6.4-4 三義隧道穿越高速公路段示意圖



照片 6.4-9 三義隧道北洞口



照片 6.4-10 三義隧道北口連接新鯉魚潭橋

## 6.5 總結

新奧工法在引進台灣已逾廿年，由其是在鐵路隧道工程方面，自七〇年代東線鐵路拓建的自強隧道起，歷經八〇年代的北迴鐵路新建工程、宜蘭線鐵路拓寬工程，迄至九〇年代的南迴線鐵路新建工程，累積了相當的施工經驗，也培養了一批優秀的工程師，不過，三義隧道含蓋北口段長逾一公里的卵礫石帶，則是以前所沒有做過的，故在規劃、設計、施工等各個階段都格外謹慎。

鐵路山線三義隧道工程規模僅次於南迴線中央隧道及北迴線觀音隧道，為一雙軌鐵路隧道，路線所穿越地層之地質情況複雜（其中尤以紅土礫石層及南莊層膠結疏鬆砂岩二者對隧道施工最具影響），除面臨三義斷層、十六份斷層及其破碎帶之影響外，亦須克服大量地下水之湧入問題；穿越高速公路下之隧道施工技術及高速公路路面沉陷量控制技巧則係對承包商施工品質的嚴酷考驗，此外，尚需避開隧道南口潛移崩坍區及密集之民宅區，施工中同時要維持現有鐵路行車等限制，均使本工程之施工困難度增加，更具挑戰性。

工程自路線研選之初，即順利地完成路線規劃及後續之地質調查與基本設計工作，係確保後來長達四年多施工過程，能順利進行之重要前置作業，而本隧道工程亦以統包契約方式，交由承包商施工完成，為目前台灣鐵路排名第三之長大隧道。

## 6.6 集集地震災害搶修與復舊

三義壹號隧道自 1992 年 4 月開挖，至 1996 年 2 月貫通，1998 年 9 月完工通車，有效提昇鐵路山線之路線設施標準，達成提高行車速率與牽引噸數之建設目標。

1999 年 9 月 21 日台灣中部發生芮氏規模 7.3 之集集大地震，車籠埔斷層錯動，三義壹號隧道距車籠埔斷層北側延伸段約 11km，距震央約 55km。依斷層錯動相對位置區分，隧道落於下盤區域。依據中央氣象局（1999）發布之地震資訊，隧道附近地震震度為 5 級（80~250gals）。

包括三義隧道在內，中部地區五十餘座隧道發生襯砌混凝土龜裂或掉落、側壁內擠、路面龜裂與隆起等程度不一的受損現象。相較於許多地表結構物幾近毀滅性之破壞，山岳隧道之受損程度可謂輕微。惟隧道處於封閉空間，受震損害後搶修不易，往往費時甚長，影響交通，加之隧道通常為兩地交通之捷徑，隧道受震損害對救災與復建工作影響甚大。

有關三義壹號隧道的緊急搶修，及復舊工程，將於下一章 7.5 節中詳述。

# 7、隧道災害搶修

## 7.1 隧道口

隧道口災害一般最為常見者，是洞口兩側山坡坍方，有時也伴隨洪水直沖而下，淹沒路基，造成此一現象，主要係隧道工程建造時，基於經濟考量，在隧道深入山腹前，兩端洞口附近覆土深度較淺的引道段，都採用明挖路塹斷面，路線兩側皆置以擋土牆、護坡等設施，致原山坡面之地表逕流水，更易順地勢集中流向隧道口，台鐵的隧道口災害多屬此種型態。



照片 7.1-1 隧道口災害



照片 7.1-2 隧道口災害



照片 7.1-3 南迴線枋山隧道口災害



照片 7.1-4 南迴線大竹4號枋山隧道南口及多良1號橋台邊坡坍塌



照片 7.1-5 山線大甲溪橋向后豐隧道方向 洞口大片邊坡為卵礫石層 易崩塌

## 7.2 隧道內淹水

隧道內災害以湧水最為常見，主要是因為早期的隧道工程，首重導水，而非防水，這在施工階段本無可厚非；但隧道完工後，若經年滲漏水，對隧道結構之耐久性，較為不利。近年來，隧道之壁體外側，多加上一層防水膜，有些則採全斷面防水設計，故新建隧道滲漏水情形已經獲得改善。

然而，本節所謂的「隧道內淹水」，指的是隧道內滲漏水量超過邊溝（或側溝）所能排放之流量，結果造成隧道內淹水，若水位滿溢至鋼軌底，將導致軌道電路中斷，列車停駛；而前述現象多發生在台鐵老舊隧道，經連日豪大雨之後。

以北迴線永春隧道為例，便曾發生多次隧道內淹水災害，鐵路局投入經費多次改善，效果仍不顯著，工程司為徹底解決此一問題，甚至將隧道內道碴、枕木、路基全部取消，全部改為柱列式軌道，鋼軌以下斷面皆用來做為排水斷面，還不夠用，最後，再將兩側壁附掛滿排水管，災害依舊發生，造成行車中斷。台鐵局不得

已，籌資花大錢在原隧道旁邊，增建一條排水隧道，將永春隧道內的「洪水」側向導入排水隧道，現在到永春隧道南口仍可見一大一小兩個隧道洞口，大的走火車，小的宣洩洪水的特殊景象。

另外，納莉颱風時水淹台北地下隧道災害及搶修，又是有別於前述的「隧道內淹水」的情況。

## 7.2.1 納莉颱風台北地下隧道災害搶修與復舊

2001.9.14~9.19 納莉颱風襲台，為期六天的豪雨，對北台灣造成極大的災害，臺北地下隧道因氾濫市區的洪水灌入，全段隧道被淹沒，當市區洪水退去時，隧道內卻仍充滿水無法排除，最後，幾乎動員全台大型抽水機，從各個通風口、逃生通道，全面抽水，歷經十日，方才將隧道內積水抽乾，恢復通車。

此後，政府其他部門，記取教訓，紛紛改善堤防、閘門，台鐵亦將抽水馬達改移至地面上的機房，配合基隆河上游的導水隧道，及中下游疏濬整治計畫相繼完成，台北市區已逐漸遠離淹水的夢魘。

### 一、台北地下隧道進水區段

鐵路台北地下隧道自松山引道經台北車站、萬華車站、板橋車站至第一大料崁溪引道口全長 15.450 公里，另有機廠支線之機廠引道及維修用之華山引道。隧道內除通風口、緊急逃生口及光復臨時站、復興臨時站與地面相連通。其餘均在地下 6 公尺以下（圖 7.2-1）。

### 二、台北地下隧道受災情形

本次台北隧道進水係因基隆河水暴漲，洪水越堤漫流市區，致松山地區全區淹水，再經由松山引道及機廠引道灌入隧道中，自引道口向西依次淹沒光復臨時站、復興臨時站、台北站、西門臨時站一直至 30K+190 止（圖 7.2-2）。

### 三、搶修經過（施工主任筆記摘錄）：

#### 九月十七日

早上八點雨勢仍未停止，台北市內大部份道路均已積水，人車無法通行，為了到達松山引道口附近，遶道市民大道高架橋（鐵路地下化隧道上方）到達光復臨時站時，馬路上到處是積水。由逃生口進入隧道內發現隧道內積水已超過月台層快淹至 U-1 層，概估有五公尺高以上。經由局裏防災中心連絡得知水流仍由松山引道及機廠引道不停地流入隧道中，且已連絡地鐵處及水利處趕赴現場抽水，中午十二點時，地鐵處抽水馬達已到但光復臨時站因電力設施淹水跳脫，已無電源而無法抽水，而水利處之大型機具最後到達復興臨時站，經由吊車打開隧道上頂蓋吊下大型抽水機，此時已是晚上八點。經由組裝機器、安排管路及安裝臨時照明及通風設

備等終於開始抽水，而地鐵處之抽水馬達則載至華山引道由六號逃生口配管抽水。

台北站之積水已有月台層高度，經由現場會勘，決定由各月台層樓梯直接抽至一樓大廳外。此時回到復興站已是九月十八日凌晨三點，水利處一台大型抽水機已開始運作抽水，地鐵處也已在華山進行抽水，台北站的軍方也陸續加強抽水中。

### 九月十八日

水利處於上午九點，又支援一部大型抽水機於復興站加入抽水行列。另外，上午中國石油公司人員到現場探勘，因深度太深無法支援因而作罷。中午時，地鐵處於西門站架設抽水馬達開始進行抽水工程。晚上，軍方又由台北站支援六部 P250 抽水機並於光復站重新成立抽水點。

中午時，台北車站因淹水使得各項給水消防設施及幫浦均故障無法使用，進而使整個大樓處於無水可用之狀態，遂緊急商議廠商進入台北站預備水塔搭設臨時給水管路及加壓馬達將水打入屋頂水塔，解決無水可用之窘境。

### 九月十九日

上午十點高工局支援機具先到達台北站，以接駁方式，先將月台下積水抽至月台排水陰井，再由軍方於月台上之抽水機抽至一樓戶外，此時台北站已可見到軌道面了。隨即商議平日維修廠商進行整修抽水控制盤及維修各項馬達以加速抽水之速率。

中午軍方提供馬達十具運抵復興站，預計晚間發電機入場後，即可安裝加入抽水行列，但為先搶通萬華－台北間隧道，將其中四具 15HP 馬力之沉水馬達先載運至延平北路站組裝抽水。晚間，地鐵處華山站已抽水完成，預定移至洛陽街二號抽水站重新配管抽水，加速搶通萬華－台北間隧道。

### 九月二十日

延平北路站 15HP 馬力之抽水馬達組裝完成開始抽水，但因水位下降速度快，故需經常延伸抽水位置，不斷延伸電線及水管。

下午二點，台北站內月台層已全部抽水完畢，但地下二層之 U2C、U2B 仍有積水，乃由高工局持續進行抽水工程。下午二點半，民航局提供二具抽水機進駐復興站安裝抽水。另地鐵處於華山站移至洛陽街二號抽水站安裝之抽水機也組裝完成開始抽水，並於西門站對原安裝於北隧道二號抽水站之抽水馬達進行恢復功能之搶修。

### 九月二十一日

上午九點時台北站內抽水全數完成，並立即進行復舊工作，清洗軌道及車站月台，於各污水坑及雨水坑安裝臨時控制盤回復台北站功能，並加速修復消防設備。

下午七點，萬華－台北間隧道內僅存少許積水，而此時也僅靠延平北路站 15HP 馬力之抽水馬達及西門站原安裝於北隧道二號抽水站之抽水馬達抽水，為加速抽水，乃協調軍方，調派 15 名士官兵到現場堆砌砂包拉水帶及電纜線，一直至凌晨才將馬達安裝至定位再抽水。



### 九月二十二日

上午八時，延平北路站抽水工程全數完成，立即拆除馬達收水帶及電纜，利用平板車載至華山引道口，由吊車吊至安東站繼續組裝抽水。同時進行復舊工作並清洗軌道，並由軍方安排消毒車消毒，且立即進行試車，下午二點台北－萬華間正式通車。

地鐵處西門站之機具則移至敦化站，重新配管抽水。復興站水利處支援抽水機因為揚程問題，必須兩台串聯，其中一台吸水，另一台則抽水，才能將水抽出隧道。

### 九月二十三日

由於台北－萬華間正式通車，故搶修重心移至松山－台北間隧道。地鐵處洛陽街抽水工程全數完成，也並遷移至建國站重新組裝設立抽水點。另外水利處也增加支援，另加派六台大型抽水機，以兩台串聯方式組合，共增加三組加入抽水行列。

### 九月二十四日

軍方支援光復站抽水之人員機具於晚間六點時，抽水工程全數完成，所有人員則分為兩批，分別移至延吉站及八德站設立抽水點支援抽水工程。

另復興站水利處抽水機因東部另有颱風來襲，將一部機具調回花東地區作防護措施，故又調派另一地區機具支援一部抽水機組裝抽水。

### 九月二十五日

復興站抽除積水已退至月台層下，且台北電務段修復發電機及變電站，重新供應復興站地下一層電力，故將安東站四組抽水馬達轉由復興站供電，原使用發電機則運至建國站，供應原來五號抽水站馬達運轉。此時松山－台北間隧道積水已分為兩區，分別為延吉至復興及復興至八德兩區。

### 九月二十六日

上午八點復興站已抽水至軌道面，大型抽水機因管徑大已無法抽水，只好請吊車依依將各河川局抽水機吊起，並陸續以卡車載離開；安東站由於沉水馬達口徑較小一直到晚上十點才無法抽水停止運轉。

### 九月二十七日

本日凌晨四點，經推算隧道內積水量尚餘二萬二千餘立方。

下午四點，軍方八德站之抽水工作，則因抽至軌道面已無法再到抽水，人員機具均退到大安站；隨後地鐵處建國站也完成了抽水工程，復興至八德區均已抽水完成。此時僅餘延吉至復興區大安及敦化仍進行抽水作業中。

### 九月二十八日

上午十點大安站已抽水完成，此時僅敦化站仍在抽水，中午時北側已抽不到水，僅餘南側二組抽水馬達抽水；另原六號抽水站之抽水經修復已回復抽水功能，加速抽水直至晚上十點才全部抽水完成。立即進行清洗軌道及試車工作，並於十一點通車，纏鬥十餘天之抽水終於結束，惟後續之抽水仍須人工不定時查看，以維路

線之順暢。

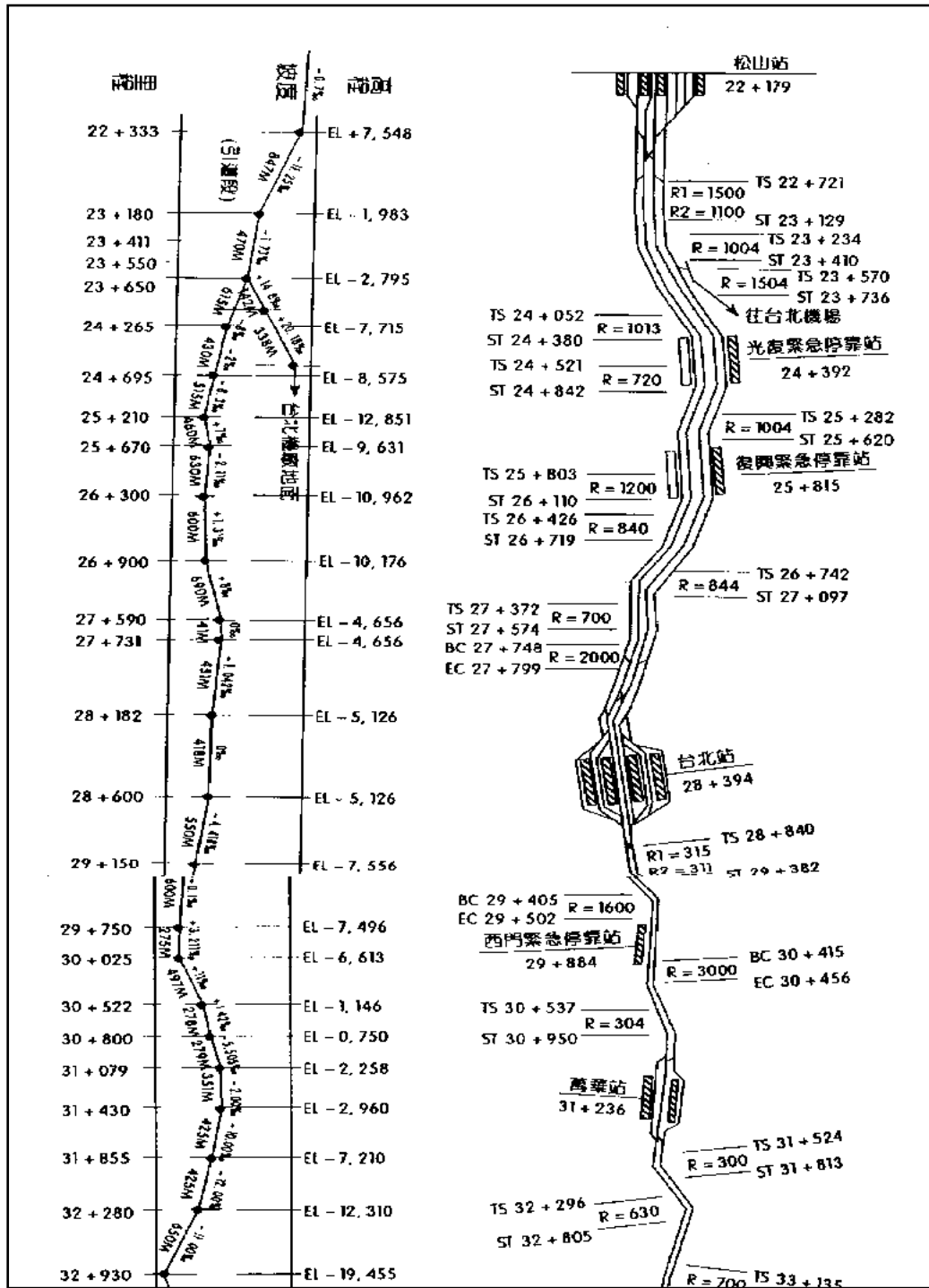


圖 7.2-1 台北地下隧道相對高程及平面位置圖

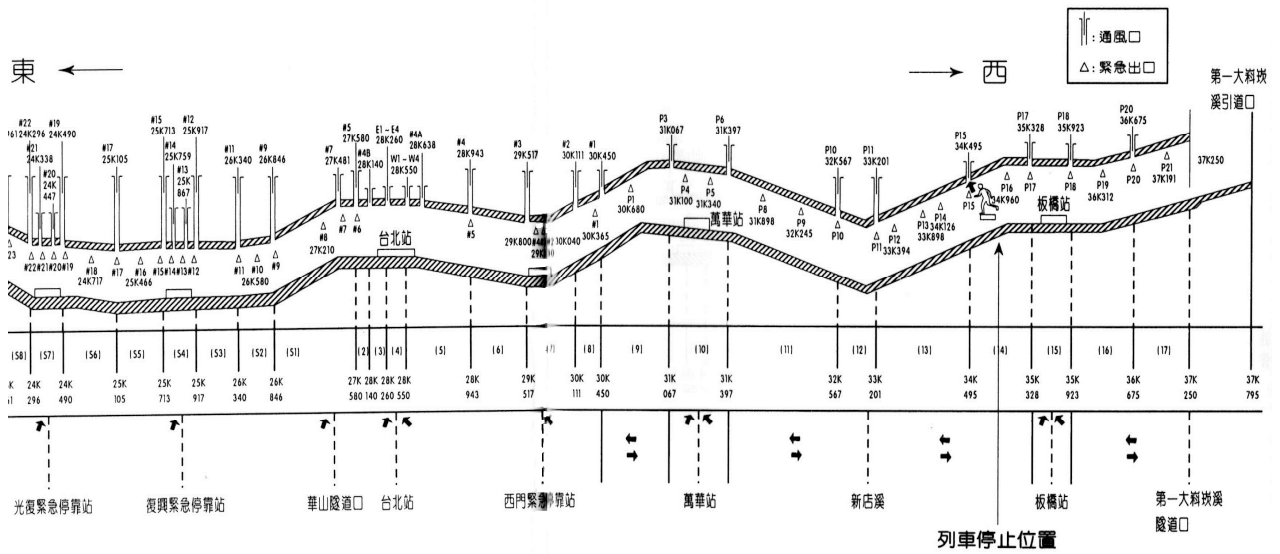


圖 7.2-2 台北地下隧道通風口及緊急逃生口位置圖



照片 7.2-1 隧道內緊急安裝抽水機配管配線抽水



照片 7.2-2 隧道內緊急配置抽水管抽水



照片 7.2-3 安東街緊急出口處抽水現況



照片 7.2-4 軌道污泥清理

### 7.3 隧道壁體劣化與剝落

隧道壁體多屬無鋼筋混凝土結構，若長期處於滲漏水狀態，較易劣化，使微細裂縫快速發展，若裂縫相互連接，則最後可能導致整塊混凝土剝落。此時，若列車剛好通過，可能造成嚴重的行車事故，甚至，若剝落的混凝土塊太大，掉入路線淨空內，亦將肇致行車事故。所以，當巡路人員發現有混凝土剝落之虞時，即以災害視之，立刻進行搶修程序。

隧道異狀之發生因素，大致上可分為外在因素與內在因素如（表 7.3-1）所示，所謂外在因素泛指外在環境受改變所引致之外力增加或襯砌材料劣化；而內在因素係指在設計上或興建時施工不良所造成無法承受外力之現象。而各影響因素間之相互關係可以隧道異狀網狀關係圖（圖 7.3-1）來加以說明。隧道異狀的生成，其直接因素為荷重增加、支撐構件及周圍地盤之強度及勁度的減低；而間接關聯的滲漏水問題，則會增加對材質劣化及空洞生成的不利影響，進而加速異狀生成及惡化。

表 7.3-1 隧道異狀原因分類表

因素分類		自然因素	人為因素
外在因素	外力	地 形：偏壓、地滑。 地 質：膨脹壓、擠壓、隧道上方鬆動岩土重壓、地盤沈陷、基腳之地盤承载力不足。 地下水：水壓、 脹壓。 其 它：地震、地殼變動。	鄰近施工(開挖、回填、蓄排水)。 其它(列車行駛振動、空氣壓力變動等)。
	環境	老 化：中性化、風化、劣化。 地下水：漏水、有害水。 其 它： 害、 害。	火災 煙害
內在因素	材料		骨材含泥量、異常凝結、 骨材反應、溫差應力(與養護有關)、乾縮(與養護有關)。
	施工	混凝土打設時之氣溫、濕度	養護不良、過早拆模、拆模時引發之突發荷重、粒料分離、襯砌背後空洞、不均質之打設、混凝土模具下陷、接縫、施工縫施作不良、打設中斷(形成冷縫)、支保下沉、振動、防水工施作不良、襯砌厚度不足。
	設計		防水工設計不良、襯砌厚度不足、混凝土強度不足、側壁陡直、側壓土重不足、無設計仰拱、排水工不良、保護層不足，無隔熱設計。

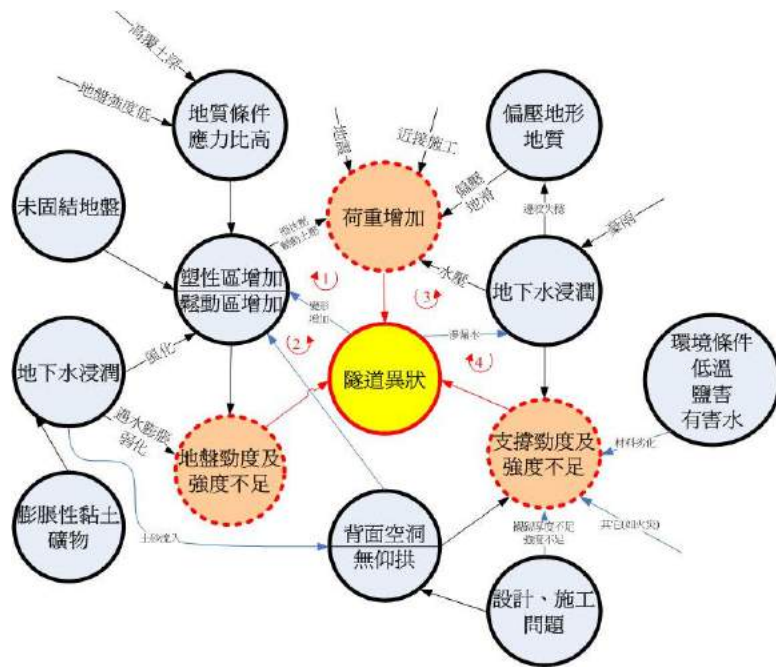


圖 7.3-1 隧道異狀原因關係圖

外在因素中之外力又可概分為三大類，即塑性壓、鬆動土壓及偏壓。當襯砌厚度不足、背後空洞或施工接續不良則隧道易因周圍地盤塑性化所形成之壓力而產生異狀；而當襯砌背後空洞造成地盤鬆動落下，亦會造成隧道襯砌破壞；當襯砌長期承受左右非對稱之偏壓，也有可能引致隧道發生異狀。

因使用環境條件不良、材料不佳或施工不當所引致隧道襯砌異狀則如圖 7.3-2 所示。若將襯砌採材料力學的自由體視之，其受外力而產生破裂之類型，可分為彎矩破壞、剪力破壞及軸力破壞，實際上則常混合各種類型，如圖 7.3-3 所示。混凝土類襯砌，亦常因化學作用生成膨脹性化合物，而產生內應力，造成襯砌剝離之現象。而因環境之外在因素而導致隧道襯砌劣化之物理及化學機制如圖 7.3-4 所示。

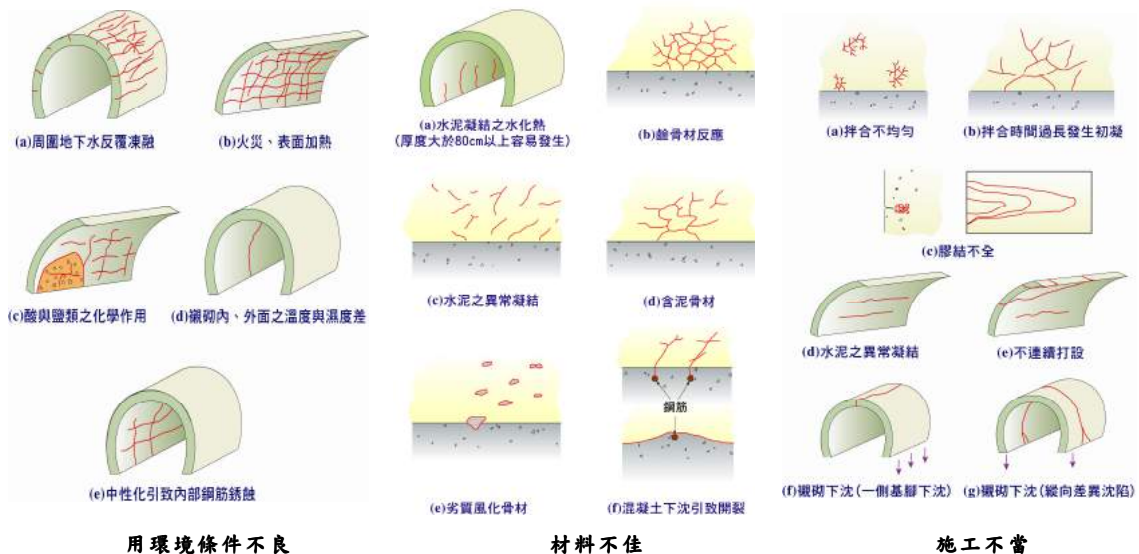


圖 7.3-2 環境、材料及施工等因素之隧道異狀

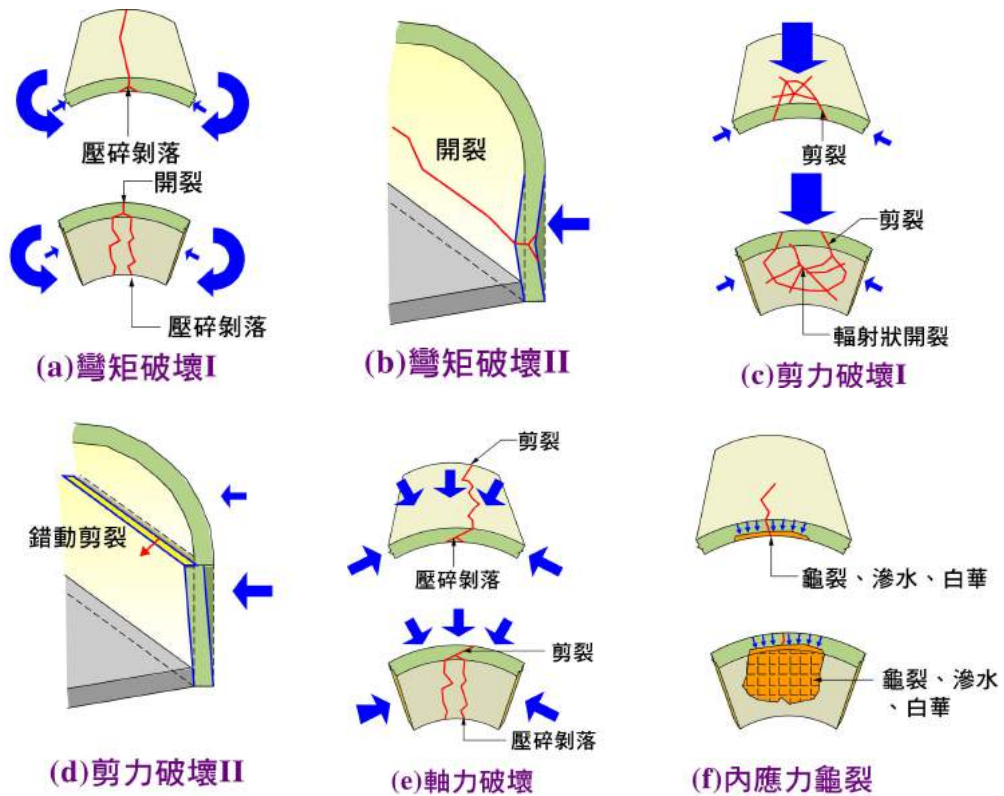


圖 7.3-3 隧道襯砌破裂模式示意圖

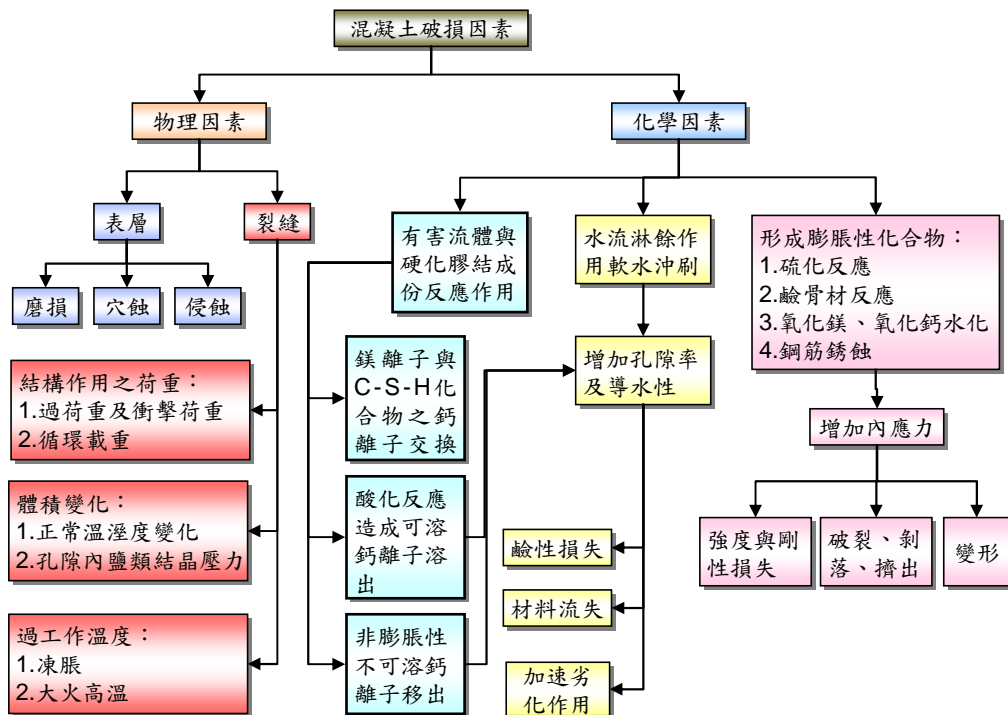


圖 7.3-4 隧道襯砌劣化之物理及化學機制

綜合上述外在及內在因素，歸納整理本計畫七座隧道異狀之可能原因如下：

#### 一、剝落

剝落之原因包括

- (1)外力變化使裂縫閉合產生之剝落；
- (2)施工縫滲漏水侵蝕產生之剝落；
- (3)混凝土襯砌滲水濕潤劣化產生之剝落；
- (4)冷縫劣化閉合產生之剝落；
- (5)環向裂縫劣化閉合產生之剝落；
- (6)綜合上述裂縫閉合或劣化產生之剝落。

#### 二、縱向開口裂縫

襯砌承受偏壓、塑性壓等外力時，襯砌受彎向內位移，內緣張應力大於襯砌極限強度，則襯砌內緣開裂，發生縱向開口裂縫。一般常見在起拱線位置或側壁中央部位，可單獨發生或伴隨其他裂縫出現在其他部位。

#### 三、縱向閉口裂縫

襯砌兩側受擠壓，且頂拱背後圍岩疏鬆，則兩側起拱線位置可能發生縱向開口裂縫向內位移，而頂拱處則可能出現壓裂閉口裂縫，向上位移。

#### 四、環向裂縫

隧道易因溫濕度變化引起混凝土襯砌之收縮應變，使混凝土襯砌面發生環向裂縫，一般常見在易受外界溫濕度影響之洞口段。

#### 五、滲水

因南迴線金崙等七座隧道全線均無鋪設防水膜，ASSM 工法之水平施工縫起拱線處、垂直施工縫及冷縫等位置，易產生滲水現象。

#### 六、白華

「白華」是水泥水化物中的氫氧化鈣  $\text{Ca(OH)}_2$  溶於水滲出混凝土表面而析出，再與空氣中二氧化碳  $\text{CO}_2$  生成碳酸鈣  $\text{CaCO}_3$ ，固著於混凝土表面並呈白色。白華如果集中於一處，顯示該處混凝土搗實不均或已經產生裂縫。

## 7.4 地震對隧道的影響

一般等級的地震鮮少對隧道結構造成影響，回顧台灣西部山線鐵路自有儀器觀測地震以來百年間（1898~1999），災情最為嚴重之十一次地震災害中，有二次嚴重影響西部山線鐵路隧道行車；一次為 1935 年之新竹~台中烈震，另一次為 1999 年集集大地震。在 1999 年集集大地震後，台灣西部鐵路新舊隧道共計 19 座（如圖 7.4-1），經過現場調查、檢討及歸納隧道襯砌震害可分為五類：（1）環向混凝土剝落（2）縱向平行裂縫（3）頂拱混凝土剝落（4）側壁混凝土裂縫、剝落（5）小型避車洞裂縫。

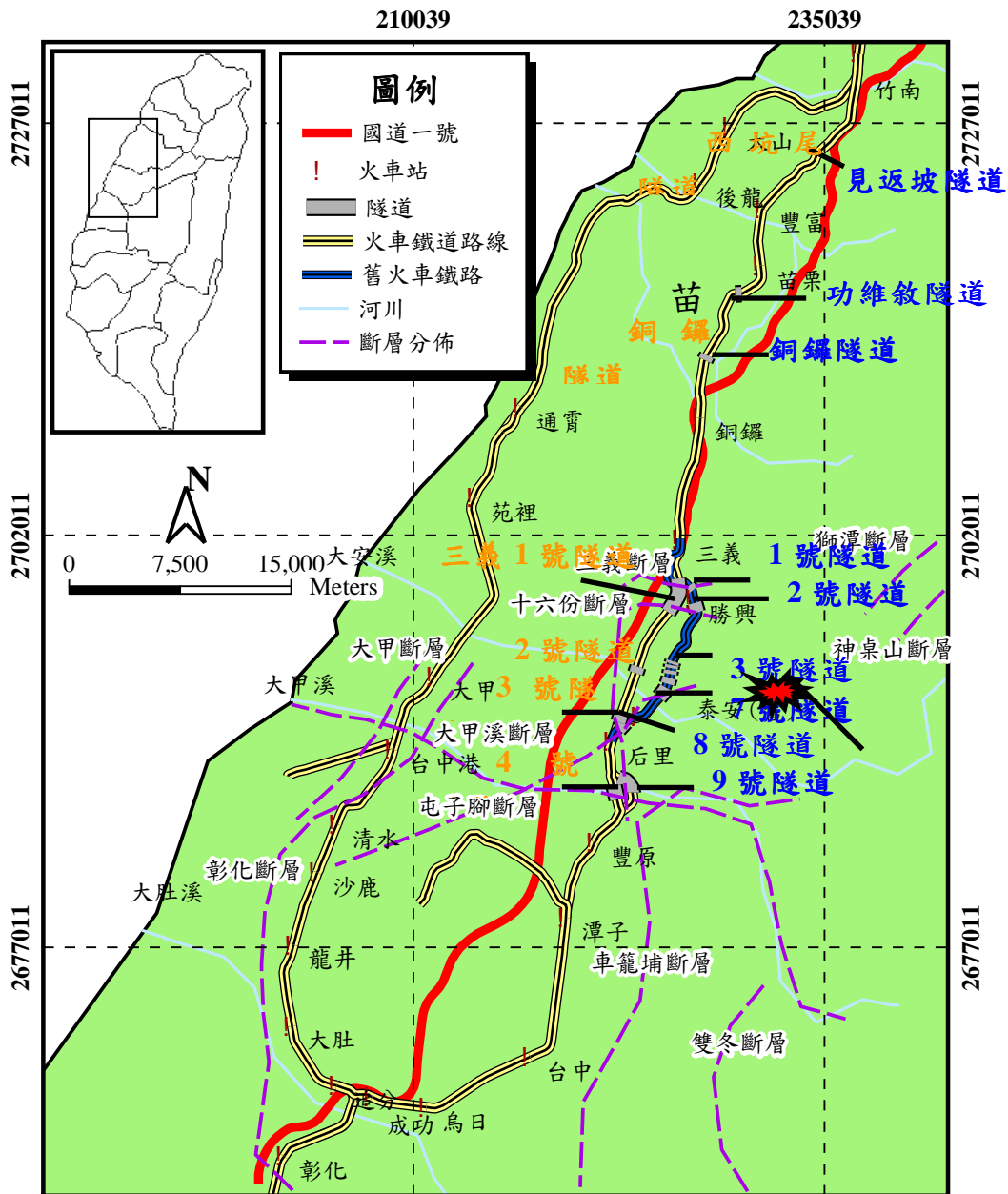


圖 7.4-1 集集地震斷層帶與鐵路隧道相關位置示意圖



## 7.4.1 新山線三義 1 號隧道震後調查

鐵路山線三義隧道為西部山線於 921 地震災害最嚴重的區間，依結構及設施功能分三部份描述，一為隧道本體，其次為軌道部份，三為電車線部份，分述如下：（如表 7.4-1 及圖 7.4-2a 所示）

### 一、隧道本體

#### 1. 在里程 K161 附近之襯砌震害計參處：

- (1) 161K+300 附近：大型避車洞上方頂拱混凝土全部剝落寬度約 3m，坍塌之混凝土堆積約 10m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-2）
- (2) 161K+380 附近：頂拱混凝土剝落，範圍約 4m（環向）×1m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 6m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-3）
- (3) 161K+395~430：裂縫分佈連續達 3 模內襯砌混凝土範圍，161K+395 附近東側壁混凝土剝落，裂縫向上向南延伸，於頂拱上方寬度約 50 cm，至 161K+400 附近為止，餘 161K+420 並與西側避車洞壁附近之裂縫連接。（詳圖 7.4-4）

#### 2. 在里程 K164 附近之襯砌震害計參處：

- (1) 164K+740 附近：預拱混凝土剝落，範圍約 2.5m（環向）×4m（縱向），並有裂縫向南延伸。（詳圖 7.4-5）
- (2) 164K+758~810：裂縫分佈連續達 5 模內襯砌混凝土範圍，北端 164K+758~771 南端 164K+802~810 範圍各有 1-2 條明顯之裂縫約略平行頂拱，中段則形成閉合之裂縫，開口寬度最大約達 5 cm，坍塌之混凝土堆積約 10m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-6）
- (3) 164K+842~880：裂縫分佈連續達 3 模內襯砌混凝土範圍，北端 164K+841~860 範圍裂縫已閉合，隨時有掉落之虞，南端 164K+860~878 之裂縫約略平行頂拱，開口寬度最大約達 1.5 cm。（詳圖 7.4-7）

#### 3. 在里程 K165 附近之襯砌震害計兩處：

- (1) 165K+630 頂拱混凝土剝落，範圍約 3m（環向）×7m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 2m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-8）
- (2) 165K+800 附近：頂拱混凝土剝落，範圍約 3m（環向）×5m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 1m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-9）

### 二、軌道部份（詳圖 7.4-10 所示）

由於地震造成地盤上下、前後、左右之搖動，易使路線之鋼軌框彎曲變形。

1. 161K+300 雙線軌道挫屈 30m。

2. 161K+380 雙線軌道挫屈 25m。西線向西偏 44 cm，東線向西偏移 54 cm。

### 三、電車線部份

因火車之電力系統及支撐架，直接固定隧道頂拱上方，地震災害頂拱襯砌剝落時，會連帶扯下電車線及支架。

- 1.161K+380 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 80 公尺之電車線懸垂。
- 2.164K+800 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 80 公尺之電車線懸垂。
- 3.165K+630 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 100 公尺。

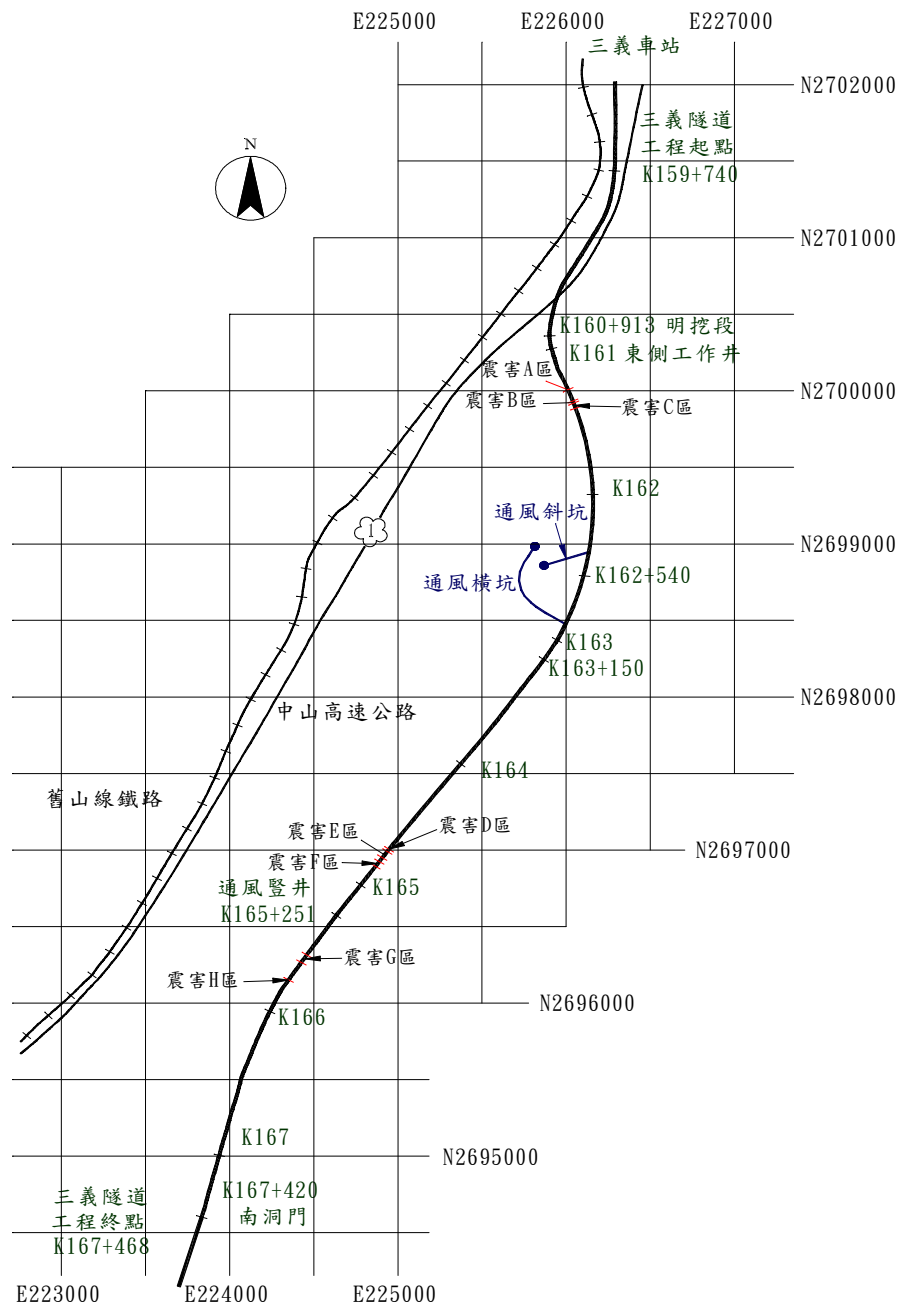


圖 7.4-2a 三義 1 號隧道震害位置示意圖

表 7.4-1 三義 1 號隧道震害影響因素

區段	震害位置	覆蓋厚度(m)	特殊地質構造	岩體等級(RMR)	施工災害	輔助工法／特殊處理	變形／開挖直徑(%)	支撐應力	結構配置	襯砌混凝土密實度及完整性
A	161K+300 附近	45	三義斷層帶	IVa (19)	—	5 次灌漿補強	4.1	—	大型避車洞	局部不佳
B	161K+300 附近	33	三義斷層帶	IVa (14)	岩體破碎。抽心坍塌	1 次灌漿補強	0.3 (註 1)	—	小型避車洞	良好
C	161K+300~410	24~33	三義斷層帶	IVa (27~30)	—	—	0.3 (註 1)	岩栓軸力 8 噸	小型避車洞	不佳
D	164K+740 附近	122	—	III (43)	—	—	1.5	—	小型避車洞	局部不佳
E	164K+758~810	126	—	III (46~47)	—	—	1.5~1.8	襯砌應力 235ksc	—	良好
F	164K+842~880	130~150	—	IVa (19)	—	1 次灌漿補強	2.3	—	—	不佳
G	165K+600~660	105~110	—	III (35~37)	岩體破碎且遇水弱化，擠壓支撐破壞	前進支撐，環控，灌漿並重設支撐	3.6~5.5	—	—	不佳
H	165K+800 附近	125	寬 1.5m 剪裂帶	IVa (38)	—	—	2.5	—	小型避車洞	不佳

註：該位置接近隧道貫通點 161K+385，變形監測可能無法有效反映隧道行爲。

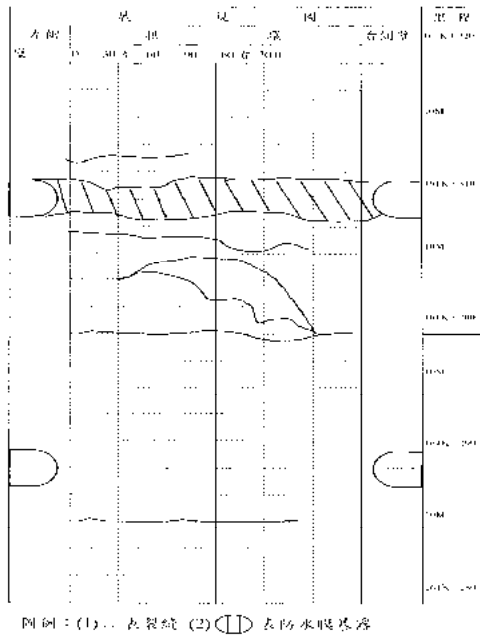


圖 7.4-2 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+280~320) (1999.9.27)

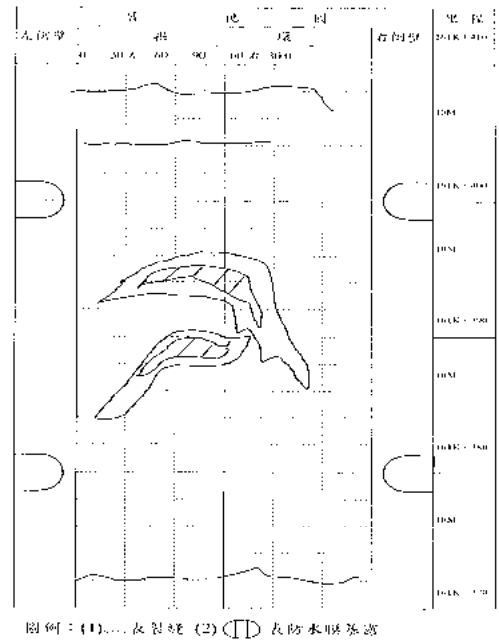


圖 7.4-3 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+370~410) (1999.9.27)

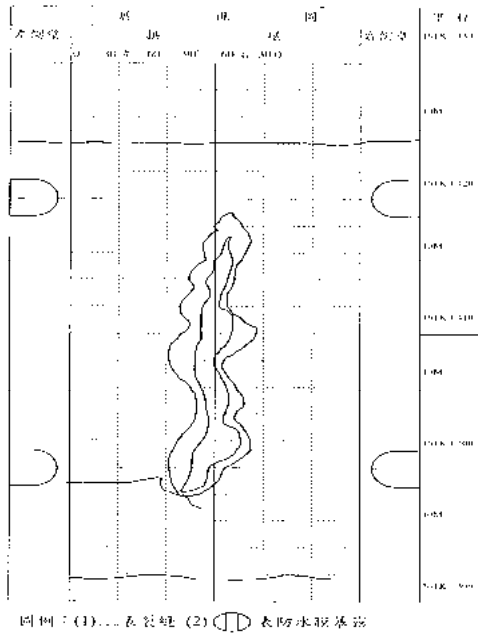


圖 7.4-4 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+390~430) (1999.9.27)

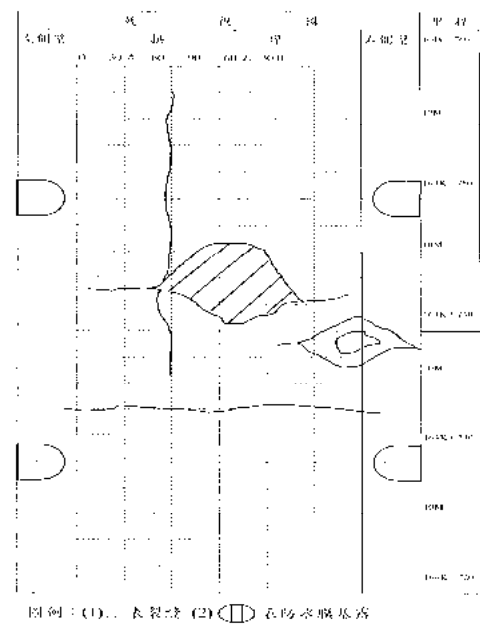


圖 7.4-5 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(164K+720~760) (1999.9.27)

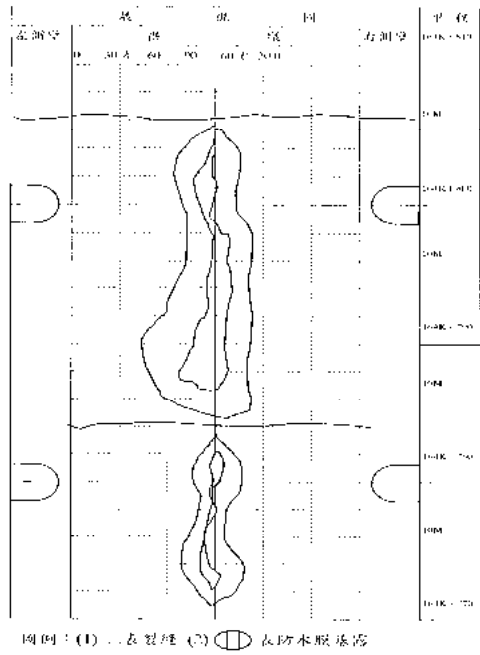


圖 7.4-6 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(164K+770~810) (1999.9.27)

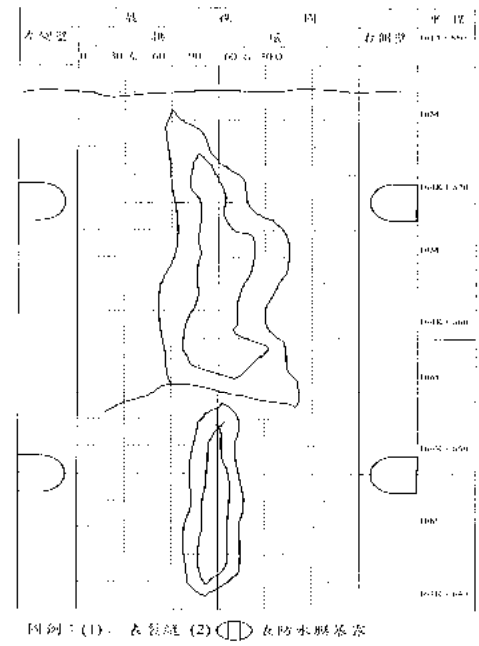


圖 7.4-7 三義 1 號隧道裂縫示意圖

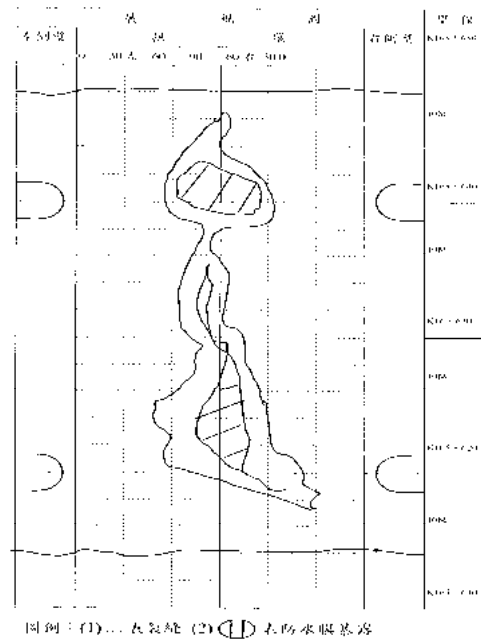


圖 7.4-8 三義 1 號隧道裂縫示意圖

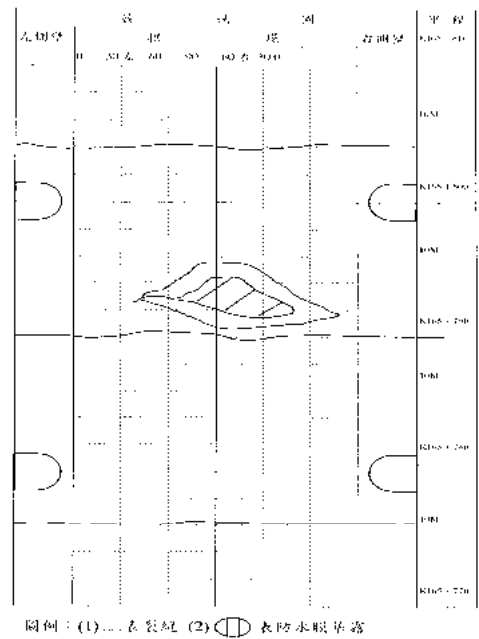


圖 7.4-9 三義 1 號隧道裂縫示意圖

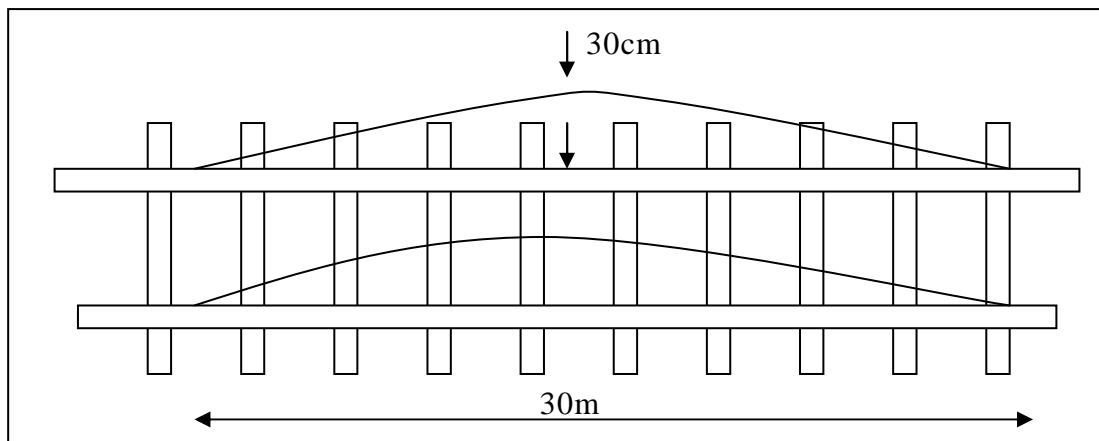


圖 7.4-10 軌框挫屈示意圖

#### 7.4.2 舊山線隧道震後調查

最初台鐵舊山線 12 座隧道建於 1898~1935，原始襯砌設計皆為磚砌，自 1935 年關刀山地震後，1938 年重建改為混合式；洞口、破碎段、地質不良段等襯砌使用鋼筋混凝土，一般地段用純混凝土加補強筋，地質良好地段使用 2 至 5 層磚砌作為襯砌。又於 1978 年台灣鐵路電氣化時，因隧道內淨空不足，將隧道底部之仰拱降低或部份鑿除。

一、舊山線於 1978.9.23 廢棄，其後 1998.9.24 至 2000.7.1 期間 1 號~8 號隧道派人定期維修及保養，但 9 號隧道完全廢棄，相關設施全數拆除，現場調查時請當時保養單位領班利用空檔時間，翻山越嶺徒步將各隧道實地進行踏勘，並拍照與量測工作及比照 1999 年集集大地震前後襯砌龜裂情況作業紀錄。以下作重點式描述。

- 1、1 號隧道經現地勘察，1999 年集集大地震時無震害發生。
- 2、2 號隧道發現有兩處襯砌裂縫 (a) 距北洞口約 100m 處，有一道環狀裂縫。(b) 距南洞口約 380 m 處有一段長 55m，東西兩側壁近等間隔 1~2m，高度約 3m 之垂直裂縫。
- 3、3 號隧道經現地勘察，1999 年集集大地震時無震害發生。
- 4、4 號隧道經現地勘察發現，近南洞口約 10m 處東西兩側各一道高約 3m 之垂直裂縫是 1999 年集集大地震造成，另一處於南洞口正上方牌坊頂有 2 道垂直各 1m 裂縫及 1m 之水平裂縫，為 1999 年集集大地震造成的。
- 5、5 號、6 號、7 號、8 號、9 號等五座隧道，經現地勘察，於 1999 年集集大地震時無震害。

二、另舊山線竹南至銅鑼間有 3 座隧道，經現地勘查結果如下述：

- 1、.西坑尾（日據時代稱見返坡隧）。
- 2、.苗栗隧道（日據時代稱功維敘隧道）。
- 3、.南勢隧道（日據時代稱銅鑼灣隧道）。

以上三座於 1998.9.23 廢駛經現地勘查 1999 年集集大地震時皆無震害。

表 7.4-2 舊山線隧道震後調查成果（92.12.27）

項次	隧道名稱	震害位置	覆蓋厚度 (m)	襯砌材質或施工方式	震害描述	備註
1	<b>舊山線 1 號隧道</b> K163+851~164+81 l=230m	無	8m~25m		921 地震無損害	92.12.27 現地調查
2	<b>2 號隧道</b> 164+950~K165+475 l=724m		13m~24m			
		K165+021			全環狀裂縫	
		K165+040 ~095		底拱為混凝土 襯砌為 3~5 層磚	高 3m 垂直裂縫等間 隔長 55m 間隔約	
3	<b>3 號隧道</b> K168+926~K167+433 l=511m	無	10m~67m		921 地震無損害	
4	<b>4 號隧道</b> K169+571~619 l=48m		5m~10m			
		南洞口附近 K169+610		此部份襯砌為混凝土 加環狀及縱向鋼筋	東西兩側高約 3m 之 垂直裂縫	
		南洞口牌坊 正上方		垂直裂縫約 2m，水 平裂縫約 0.5m		
5	<b>5 號隧道</b> K169+687~924 l=236.5m	無	3m~25m		921 無震害	
6	<b>6 號隧道</b> K170+098~326 l=228m	無	7m~15m		921 無震害	
7	<b>7 號隧道</b> K170+530~171+791 l=1,261m	無	2m~65m		921 無震害	
8	<b>8 號隧道</b> K174+52~571 l=519m	無	3m~30m		921 無震害	
9	<b>9 號隧道</b> K177+839~179+109 l=1,269m	無	3m~102m		921 無震害	93.2.18 現場調查

### 7.4.3 震災損傷及破壞原因分析

根據上述歸納新舊山線隧 1999 年集集大地震現調成果表，予以各別檢討，震災損傷及破壞原因，如下述：

#### 一、舊山線 12 座隧道

1. 竹南至三義間 3 座隧道於 1999 年集集大地震時未遭破壞，除南勢隧道被封閉外，其它豐富隧道及功維敘（苗栗）隧道已由地方政府接收，並開放民眾休閒用途。隧道未破壞的理由，可研判為該區震度小、隧道為小斷面、屬短隧道、無斷層帶經過、洞口及軟弱帶其襯砌為 R.C 結構耐震性足夠，故無震害。
2. 三義至后里間共 8 座隧道，其中 1 號、3 號、5 號、6 號、7 號、8 號無震害。其理由可推估為，雖緊臨屯子腳斷層，但此斷層並未隨車籠埔斷層錯動而共振及造成錯動情況發生，且無其它斷層經過，襯砌耐震足夠，震度不大等因素。而 2 號隧道北段東側襯砌有震害，兩側等間隔長 55m 之垂直裂縫，由相關地質調查資料可推論，該隧道南口附近有 16 份斷層經過，且該斷層有隨 1999 年集集大地震之共振影響，且該處襯砌為磚砌，耐震強度不足，故有震害。另 4 號隧道南洞附近有一處半環狀裂縫及洞口上方牌坊有 0.5M~1M 之水平及垂直裂縫，其理由可推估為覆土層薄（5~10m），且為短隧道（L：48m），近似頭重腳輕之建物，然該處之襯砌為 R.C 結構，故於 1999 年集集大地震有震害，但輕微。另一理由為覆土層較小，以致受地表震動強烈，因而遭破壞。
3. 后里至豐原間，只有 9 號隧道，其他址北口為后里台地，南口為大甲溪北岸，然南口左側方約 300 公尺處為三義斷層南端露頭，1999 年集集大地震時，山頂寬約 70m，厚約 30m，高約 75m 之體積塌滑至大甲溪北岸。且距離車籠埔北端轉折新生斷層帶最近（約 1.5km），但 9 號隧道經現調結果，幾乎無震害，其理由，可推估為無斷層經過，位於車籠埔斷層北端新生地震斷層之下盤，因斷層及河川與山岳之阻隔效應，加以覆土深度夠，及襯砌耐震強度足，故無震害。

#### 二、新山線 7 座隧道

1. 竹南至三義間計 3 座隧道，經現調查結果皆無震害，其理由依現調資料及相關文獻可推論：因無斷層經過，1999 年集集大地震時該區震度不大（ $\leq 200\text{gal}$ ），為短隧道（ $\leq 1\text{km}$ ），洞口皆為 R.C 加強，施工困難段皆有特別加固處理，且為 NATM 施工使整個襯砌為一體較耐震。
2. 三義至豐原間計 4 座隧道，除 1 號及 4 號隧道除外，其中 2 號及 3 號隧道皆無震害，其理由可推估為，無斷層經過，該區震度不大（ $\leq 200\text{gal}$ ），為短隧道（ $\leq 1\text{km}$ ），洞口皆為 R.C 加強，且為 NATM 施工襯砌為閉合結構足可抵抗當時震害。其它兩座另外討論如下：
  - （1）4 號隧道南口緊鄰大甲溪北岸三義斷層露頭左側約 300m 處，除該南



洞口兩側陡峭之裸露卵礫石壁面，稍有卵石被震落外，隧道內襯砌皆無震害，其理由可依據相關地震文獻及現調資料可推估為：因 1999 年集集大地震車籠埔斷層北端轉折新生地震斷層之下盤，且因斷層、河川與山岳阻隔效應，故 1999 年集集大地震影響，另因為短隧道，洞口有 R.C 補強及 NATM 施工，襯砌強度足抵抗當時震度，及三義斷層未經過該隧道。

(2) 三義 1 號隧道為新舊 19 座隧道中於 1999 年集集大地震中受震害最嚴重的隧道，其理由如下述：

- A. 該隧道北端有三義斷層經過，其斷層破碎帶長達約 290m，南端有十六份斷層帶經過造成地質不良、破碎帶、施工不良地段。因岩層性質變異較大，造成震波能量局部大量釋放，而造成損害。另一因素為三義斷層帶上覆土層只有 30~40m，易受地表震動破壞。
- B. 車籠埔斷層錯動，有帶動三義斷層及十六份斷層之三義 1 號隧道區域，確有地層錯動現象發生，只是不甚顯著。但在隧道線形方向（南北向）地盤並無明顯錯動傾向，隧道兩側地盤（東西向）則為整體地盤相對性的有東側抬高、西側下沉現象。
- C. 本隧道基本設計地震力為 200gal，依據距離三義 1 號隧道最近之建中國小測站(TCU128)，於 1999 年集集大地震測得各東西向之 PGA(PeakGroundAccerelation 即尖峰地表加速度)，值為 141.04 gal，南北向為 162.94 gal，求得合成向量為 214.2 gal 大於基本設計地震為 200gal，故有震害。
- D. 地震力大於設計地震力，但本隧道除洞口、交叉段、穿越高速公路段、明挖段有排放鋼筋外，其它處襯砌皆為純混凝土，故耐震不足而被震裂。
- E. 本隧道內每隔 20m 對稱設置小型避車洞及每隔 300m 對稱設置大型避車洞，依現調資料及破壞模式可推論，隧道設置避車洞受震時顯示應力集中及結構破壞之弱點。
- F. 依據資料照片，可看出震害嚴重地段，大塊襯砌掉落後，防水膜完好，防水膜可能阻隔噴凝土及二次襯砌，故一旦遭受震動強烈易使襯砌受張力破壞。

## 7.5 三義隧道震災搶修與復舊工法

### 7.5.1 復舊對策與流程

根據台鐵的「災害事故緊急通報流程」，當四級以上地震發生後，首先進行緊急調查作業，掌握隧道人車通行之危險度與災害擴大或發生二次災害之可能性，以作為緊急措施之依據。在此階段無法整體動員，機具器材亦無法充分具備，調查之重點係觀察隧道設施的受損情況。受損嚴重時，車輛無法通行，必須以徒步方式進行調查，有時亦可能遭遇無法進入調查、形成未調查區域的情況。通常在地震發生後 12~24 小時內，立刻進行整理、分析並判斷緊急調查的結果。最晚應在 72 小時內，掌握管轄內所有隧道的情況，並作出有無立即危險的判斷，以作為交通管制之依據。

緊急調查結果為掉落物清除、防護網鋪設、危險區標示、交通管制或禁止通行時緊急措施的主要依據，以防止災害進一步擴大。且往後的初步維修與正式復舊時，對其方針、重點區域的判斷具有極大的助益。

緊急調查與緊急措施實施後，即需進行第二階段更詳細的調查，即所謂的初步調查，此時必須由整體轉往細節部分，由概要轉往詳細的調查，逐次地轉移調查重點。初步調查階段發現緊急調查忽略的重大災害情況時，亦可進行緊急措施。初步調查的目的在維護緊急交通輸送機能與防止大規模二次災害，進行必要的初步維修工程。

初步調查的要點如下：

1. 緊急調查時所忽略或在無法調查的地區，是否有嚴重的受損情況。
2. 維護與確保初步交通的方法。
3. 至正式復舊為止的期間，是否可能延續發生大規模災害。
4. 一次災害或 3 項所指的設施受損造成民通受阻時，是否可能對於災區造成嚴重的影響。

由初步檢查結果得到隧道結構安全及車輛通行安全之判定，做出隧道安全、尚屬安全、危險之等級評估，以作為初步維修之依據。

第三階段乃利用初步維修工程所建立之緊急輸送機能與一般交通狀況維護的成果，進行隧道原貌重建之正式復舊作業。在本階段中，依安全檢測結果評估安全等級，決定正式復舊之隧道細部資料與復舊優先順序，進行復舊工法之施工計畫並提出預算申請。正式復舊工作的重點除了恢復震前之原貌與機能外，更應達到比原先結構更高的耐震能力，可承受較此次震度相同或更高的震度而安全無虞。

由安全檢測結果得到隧道目前為正常、可能破壞、即將破壞及嚴重破壞等四個安全等級，其對應的處理措施分別為平時檢查、擇期處理、儘快處理及立即處理等。

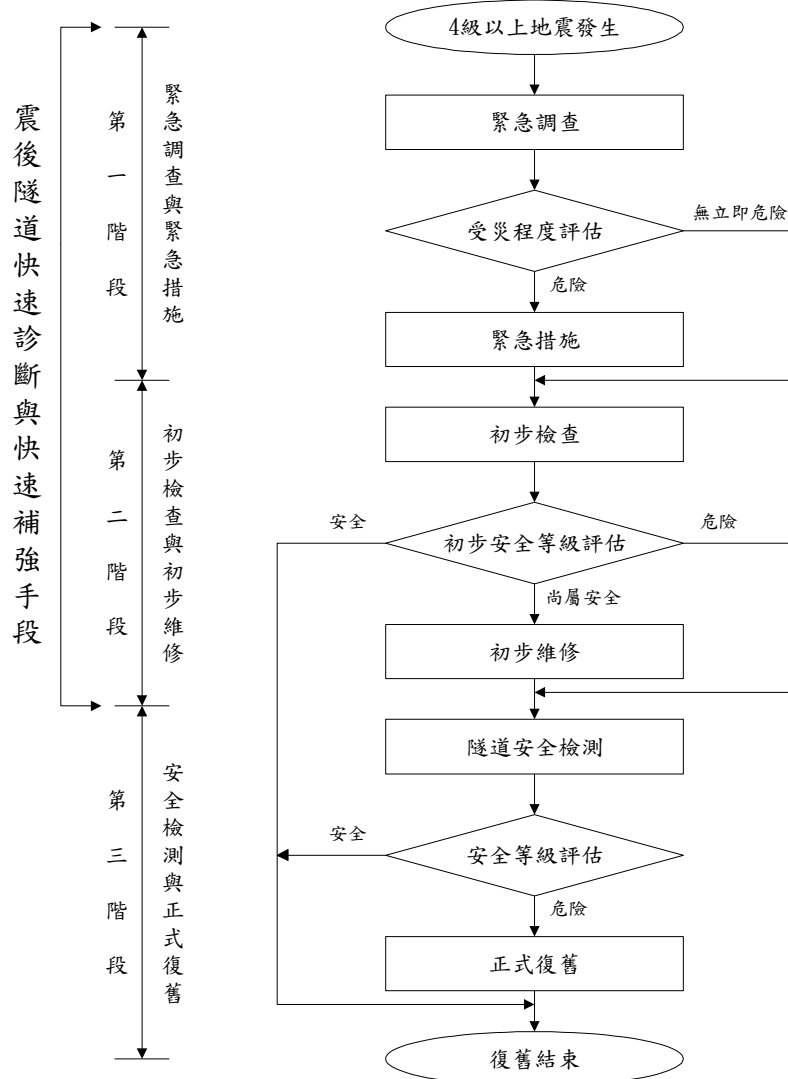


圖 7.5-1 隧道震後調查及復舊流程

## 7.5.2 三義隧道之震害修復

### 一、震後隧道結構調查與修復計畫之擬定

9月21日1時47分地震發生後，鐵路局工務處各工務段立即動員基層員工全面勘查震後路線狀況，於凌晨5時左右全部掌握包括三義壹號隧道等受損情況，並循程序向上通報。當日上午總工程司室、山線工程處、工務處與電務處等單位均派員赴隧道勘查，並於中午左右開始進行修復計畫作業。

修復計畫考量鐵路隧道之特性，分為軌道、隧道主體與電車線三部份。因軌道為出入隧道之最佳方式，且襯砌受損段總長度僅約隧道長度之3%，因此清除掉落的混凝土並回復軌道為隧道修復作業的第一步，此項工作於23日上午完成，雙線軌道貫通。

軌道回復作業期間，工程處擬妥隧道修復計畫。初步決定以H-100型鋼支保

加工成隧道襯砌拱圈形狀，配合掛網噴凝土修復整環掉落的內襯砌，龜裂與局部受損的襯砌，則自起拱線位置切溝，以相同的支撐構件補強。

基於三義壹號隧道受損影響中部鐵路運輸至鉅，且隧道的儘速貫通有助於救災作業，交通部限令隧道於 10 月 8 日前搶通。為避免修復作業期間，施工承商、工務段、電力段等單位共用有限的兩條軌道，造成施工干擾，隧道修復作業分搶通與加固兩階段進行。

第一階段委請榮工公司進行受損襯砌的修補，以「搶通隧道」為主要目標，補強作業期間，由台中工務段利用空檔進行砸道與軌道整修作業，襯砌補強與軌道修復全部完成後，交由電力段搶修懸臂組與電車線等，完成後再進行列車試運轉。

第一階段完成後，採透地雷達掃瞄災害段隧道頂拱，探查地震造成隧道周圍岩體鬆動範圍與襯砌完整性較差之處，以作為第二階段隧道加固之依據。隧道加固係利用夜間 11 時至翌日 6 時停駛時段，進行受損襯砌結構之填補縫隙、全面防水與提高岩體強度等補強作業。三義壹號隧道震後結構調查與修復計畫之流程如圖 7.5-2 所示。

## 二、襯砌結構補強與加固

震後隧道襯砌結構補強之方法甚多，通常視襯砌損害型態選擇適當的方式進行。唯地震規模如強烈至損壞隧道之程度，地面結構物往往亦發生相當嚴重的毀壞，故施工機具與補強材料取得的時效性、運輸的難易程度等因素，亦影響隧道襯砌的補強方式。

鐵路局工務處於震後軌道回復期間，即迅速初步擬定受損的襯砌採用鋼支保配合掛網噴凝土補強的修復計畫，聯合大地工程顧問公司亦依據初步調查結果，參考國內外隧道襯砌受損補強之經驗，迅速針對不同的襯砌受損型態，建議不同的補強措施，如圖 7.5-2 至圖 7.5-5 所示。

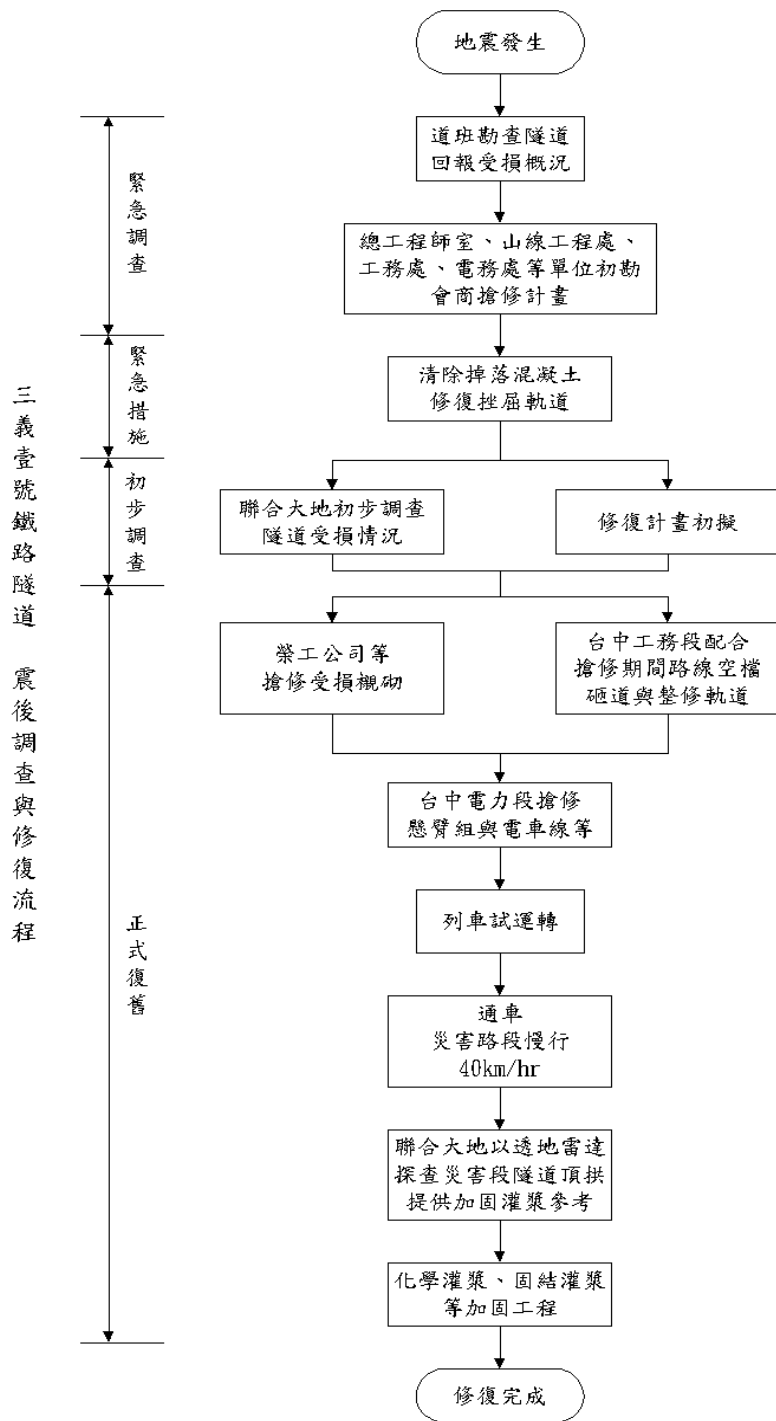
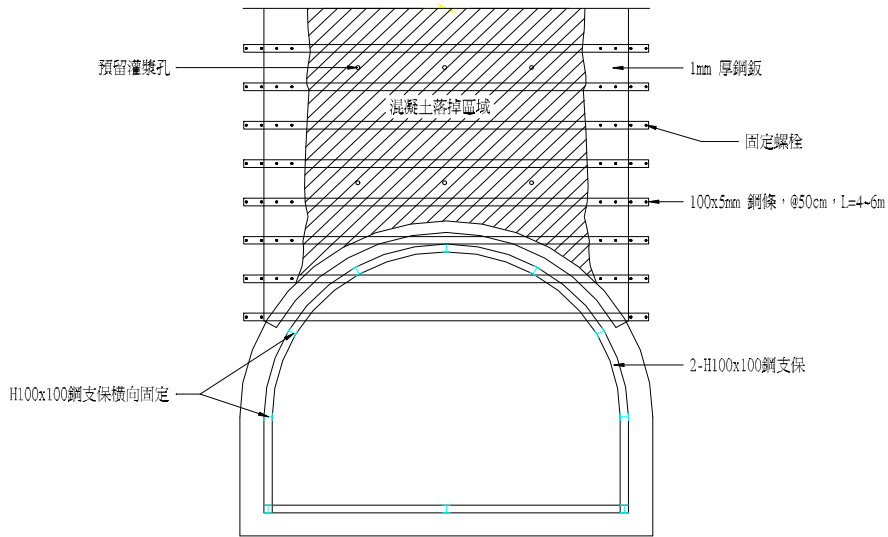
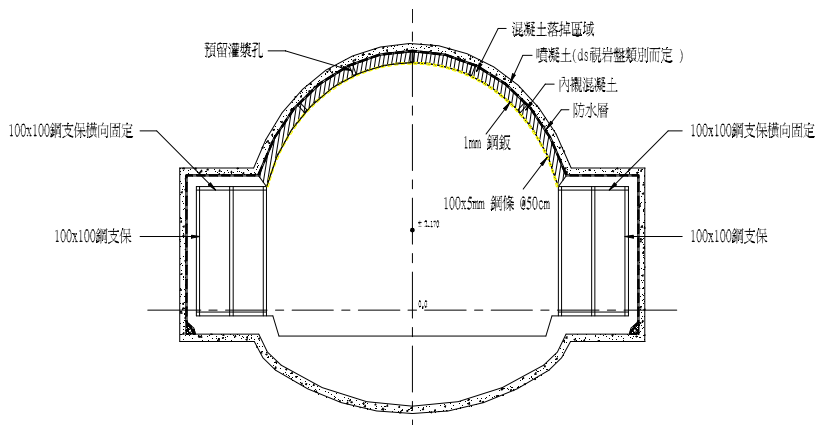


圖 7.5-2 三義壹號隧道震後結構調查與修復計畫之流程



(a)正視圖



(b)側視圖

圖 7.5-3 聯合大地建議之環向混凝土掉落補強方式

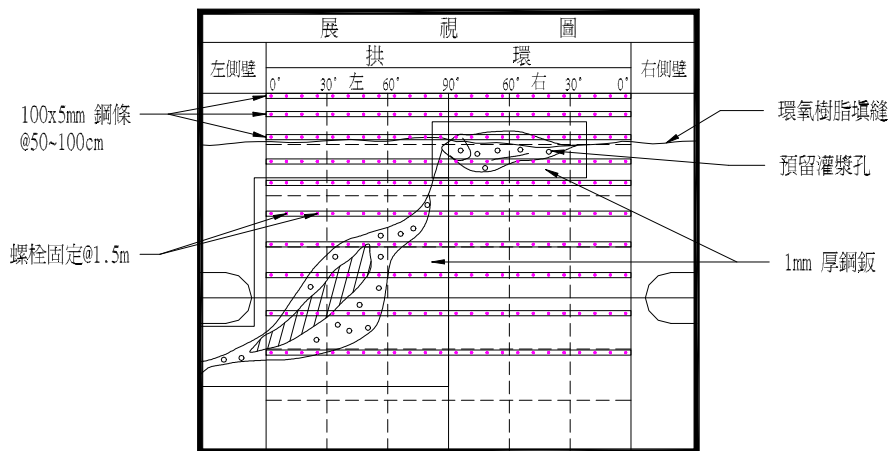


圖 7.5-4 聯合大地建議之側壁混凝土掉落補強方式

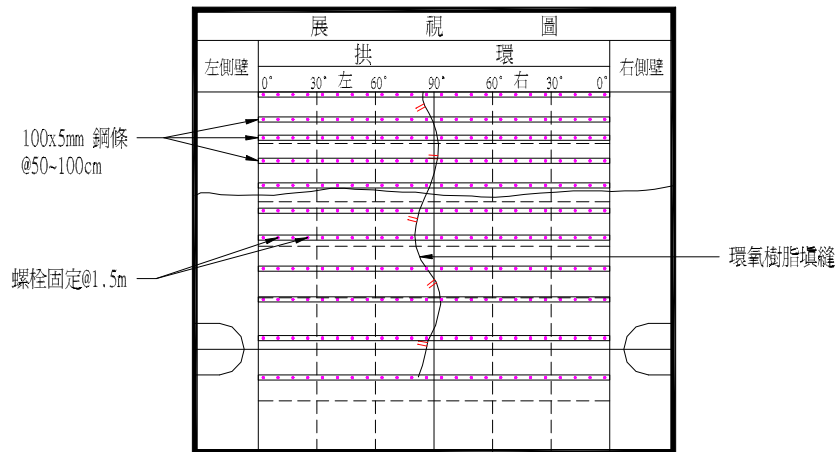


圖 7.5-5 聯合大地建議之襯砌頂拱龜裂補強方式

唯實際應用時，以鋼支保、鋼材為主的補強工法卻遭遇諸多執行的障礙，包括（1）鋼支保需於現地建立加工場或場製完成後運送，地震後大量鋼料的取得、加工與運輸皆過於費時費工；（2）局部龜裂或掉落的襯砌需切溝安裝鋼支保，施工困難度較高且相當費時；（3）震後重型機具嚴重不足，補強所需的施工機具囿於榮工公司之調度，需仰賴坪林隧道開挖面停工支援，加之鋼支保過重，組立所需機具較多，組立時間較久，可能影響隧道搶通時間等因素，第一階段搶通作業遂採取所需機具較少、補強材料較易於短期間內取得以及施工難度較低且時間較快之方式，主要以岩栓配合掛網噴凝土補強襯砌結構，以支撐鋼軌補強避車洞，並以矽膠填注裂縫等。

因岩栓係由內襯砌向外施鑽，防水膜勢遭破壞而影響隧道的防水性，加上震後災害段隧道周圍岩體鬆動範圍可能擴大，襯砌混凝土亦可能存有局部裂隙，因此於隧道搶通後，進行襯砌表層 60cm 的化學灌漿以及周圍岩體 2~2.5m 範圍的固結灌漿，以提高災害段周圍岩體強度並加固襯砌強度。

### 三、三義隧道實際採用的補強與加固措施

三義隧道實際採用的補強與加固措施如圖 7.5-6~圖~7.5-8 所示。

緊急措施完成後，鐵路管理局、聯合大地顧問公司亦迅速完成現場初步調查作業，有效掌握震後隧道狀況，於集集大地震後大規模餘震持續發生的過程，瞭解隧道異狀的變化。由隧道內多處混凝土襯砌掉落以及餘震後異狀明顯擴大的現象研判，隧道屬於危險等級，乃直接進入正式復舊狀態，縮短搶修作業時間。另外，為確保隧道搶修之成效與隧道永久的安全性，於隧道搶通後，採較精密的透地雷達掃描隧道頂拱，進行安全檢測作業，其成果並進一步作為隧道加固補強的依據。艱鉅且複雜的復舊工程於 17 日內搶通，73 日完成加固補強，顯示復舊流程靈活彈性，有效降低三義壹號隧道震後受損對災區交通運輸造成的不便。

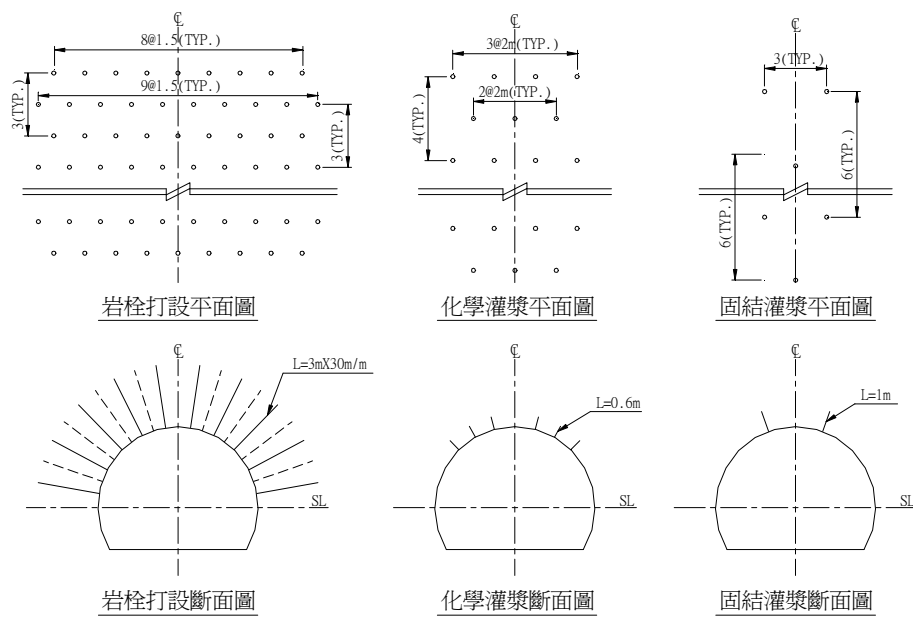
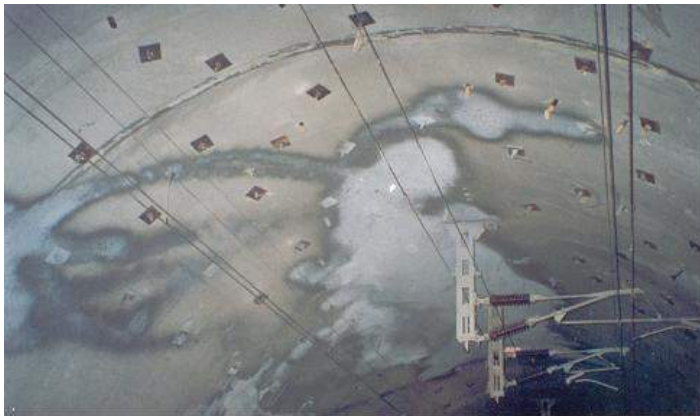


圖 7.5-6 三義壹號隧道受損襯砌結構修復方式



照片 7.5-1 三義壹號隧道受損襯砌岩栓補強



照片 7.5-2 三義壹號隧道受損襯砌掛網噴凝土補強



## 8、隧道安全

一般論及「隧道安全」應包括兩個範疇，即施工中的安全防護與風險管控；以及完工後，營運期間的隧道維護與安全管理，兩階段的目標與作為各不相同。在本章所謂的「隧道安全」主要係指完工後，進入營運管理階段的鐵路隧道而言。此一階段的「隧道安全」工作首重檢查，主管部門透過各種定期與不定期的「檢查」，找出有害隧道結構的各種初期病徵，施以監管、維修或補強加固等措施，以確保「隧道安全」。其次，則是對於可能危害「隧道安全」的災變，預先做好應變措施，將災變傷害減至最低，包括防火、防水、通風、逃生通道、緊急避難維生系統等設施。

### 8.1 隧道檢查

#### 8.1.1 檢查之目的

隧道檢查之首要目的在於了解隧道之現狀，早期發現對隧道安全性與功能性有不良影響之異狀，並掌握異狀之概略程度，期能儘早實施適當處理對策，以確保鐵路運輸之安全與順暢。因此，檢查為鐵路隧道維護管理業務之重要一環，透過其執行，方能掌握隧道之現狀，及早發現異狀，判定是否應採應急措施與對策，以及是否進一步執行安全檢測。

檢查之另一目的係持續性的掌握異狀之程度及發展，此為有效執行隧道維護管理所不可或缺之作業，故檢查體制之建立與落實極為重要。對於過去曾發生異狀之處亦需持續觀察注意，以防異狀再度發生，或擴大至危及隧道安全之程度。檢查所累積之資料亦可回饋至設計與施工上，並做為隧道維護管理作業中之修復改善依據。

#### 8.1.2 檢查之依據

台灣鐵路隧道檢查係依據我國交通部 86 年 12 月頒行之「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」，及台灣鐵路管理局工務處制定之「鐵路橋隧檢查作業要點」，辦理相關作業。

#### 8.1.3 檢查之種類與內容

隧道檢查的種類依隧道使用現況、檢查內容及檢查時機，可分為平時檢查、定期檢查、臨時檢查等三類。各項檢查之工作項目則依隧道種類及重要性等，所實施之內容、重點與頻率亦不相同。各段可參酌各隧道之安全性要求加以修訂，以適合隧道之特性及使用功能。

### 一、平時檢查

平時檢查之目的在於早期發現異狀，因此原則上配合各隧道所轄工務段之養護體系，於例行巡迴檢查時一併實施，並以隧道全長為對象。平時檢查原則上係由檢查員於車輛上或步行，以目視檢查與紀錄。

隧道平時檢查係為掌握隧道周邊狀況、了解混凝土襯砌有無明顯破損、掉落或漏水等狀況之發生，其主要檢查對象及項目為：

檢查對象	檢查項目
襯砌	剝落、漏水、可見裂縫
洞門	剝落
排水設施	積水、側溝破損

### 二、定期檢查

定期檢查係以步行目視與紀錄為主，主要在檢查隧道襯砌表面龜裂之長度、寬度或密度等有无變化或延展之情形，必要時藉助簡易之儀器量測異狀變化情形並記錄之，以為維護管理工作之參考。檢查對象與項目為：

檢查對象	檢查項目
襯砌	龜裂、錯動、浮起、剝離、剝落、伸縮縫及施工縫位移、漏水
洞門	龜裂、錯動、浮起、剝離、剝落、傾倒、沉陷、鋼筋外露
排水設施	積水、沉砂、龜裂、錯動
軌道	軌道線形變化、平整度、扣件鎖緊度
附屬設施	通風、照明設施等損害狀況

檢查重點及檢查工具如下所示：

裂縫調查：皮尺、裂縫尺、游標尺。

剝落：鐵鎚。

材料劣化：鐵鎚（用於襯砌打擊回音）或史密特錘。

漏水：量測水量或水壓之儀器。

其他：照相機、錄影機、照明器材、清掃用具、交通管制器材。

### 三、臨時檢查

當出現下列狀況時：大量豪雨期間或之後、地震之後、隧道內發生事故時、特殊狀況（如鄰近隧道施工），需進行臨時檢查。隧道臨時檢查之目的在於短期內掌握隧道動口週邊及隧道主體之受損情況，評估有無造成二次災害之危險因素及其安全性，並據以擬定緊急搶修與管制措施，防止災害擴大。

一般而言，臨時檢查以短期內完成隧道受損之必要項目為原則，其項目宜盡量少而單純。臨時檢查對象與項目，如附表所示。

臨時檢查對象與項目表

臨時檢查對象	臨時檢查項目
襯砌	剝落、錯動開裂、鋼筋外露、伸縮縫及施工縫位移、湧水等災害狀況
洞門	傾倒、沉陷、鋼筋外露等災害狀況
排水設施	排水溝、集水井等損害狀況
軌道	軌道線形變化、平整度、扣件鎖緊度
附屬設施	通風、照明設施等損害狀況

實施臨時檢查，原則上以維修查道車方式為之，惟由於地震後或豪雨後等狀況所引致之路線中斷，機動車輛可能無法接近隧道災區，因此臨時檢查可採人員步行目視觀察，以進行記錄之方式實施；或者如狀況允許使用機動車輛，以目視作業方式就隧道全線進行快速檢查，必要時才下車確認，以保持機動性。一般攜帶器材包括下列項目：

照明器材（手電筒或投光燈）

記錄表、照相機或攝錄影機。

通訊器材。

交通管制器材。

## 8.2 隧道消防設施

依據交通部於 2007 年制定之「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，隧道長度在 1 公里以上者，其防火避難設施及消防安全設備應依本規範設置。其中，第四章包括：隧道防火設施、隧道避難設施、隧道滅火設備、隧道警報設備、隧道避難逃生設備、消防搶救上必要設備等各節，對於新建隧道內外有關的消防逃生設施均做了詳細規範。

另高鐵隧道因多屬新建，具有較完備的隧道內消防設施，也率皆建立各自的防火機制（如圖 8.2-1~圖 8.2-3 所示）。

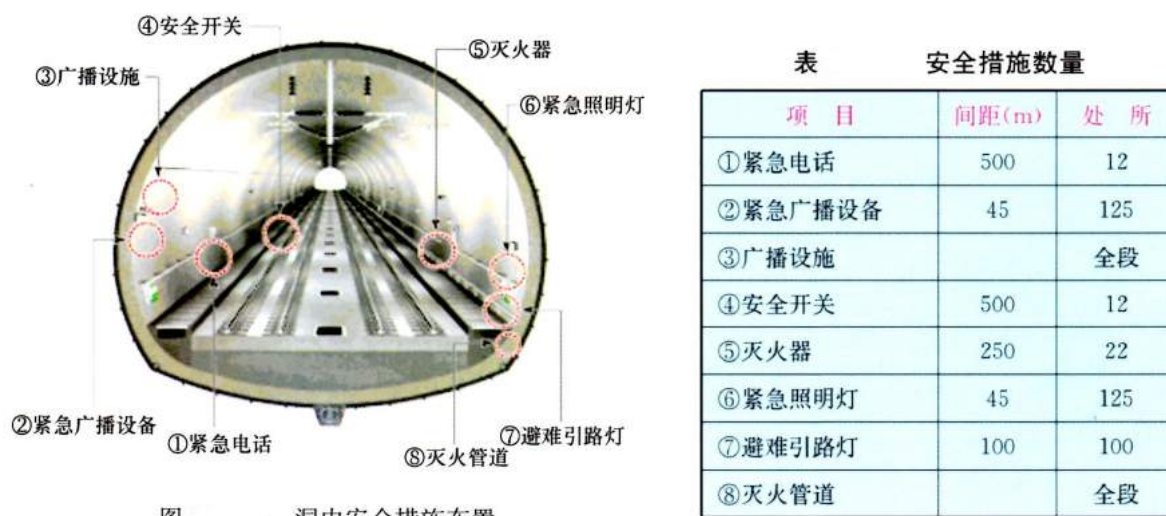


图 洞内安全措施布置

圖 8.2-1 高鐵隧道內火災與安全設備 及配置數量表

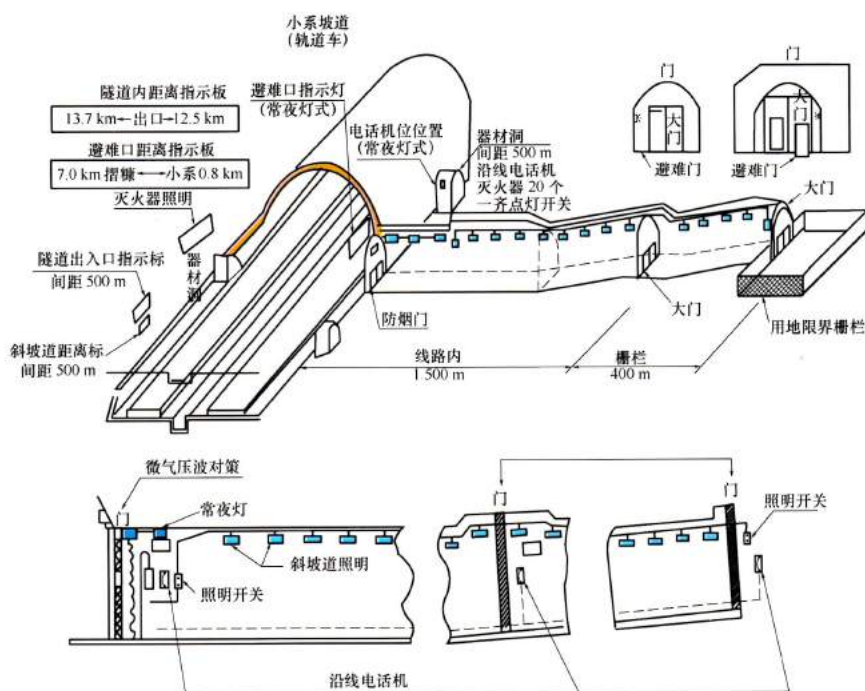


圖 8.2-1 日本新幹線隧道內火災對策與設備示意圖

### 8.3 隧道通風口及逃生避難設施

如前節所述，台鐵與臺灣高鐵的隧道內防災及緊急避難設施，是依據「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」而設置的。（如圖 8.3-1~圖 8.3-4 所示）

地下隧道通風系統，主要係提供以下功能：

- 1.提供隧道內足夠新鮮空氣。
- 2.降低隧道內溫度。
- 3.排除隧道內廢氣。
- 4.發生火災時兼具排煙功能。

長大隧道除兩端洞口外，都必須設有通風口，通常在施工階段，即規劃妥通風橫坑、斜坑、豎井等，先做為出碴，及人員、機具進出通道，以增加工作面，完工後則提供為通風用途。橫坑、斜坑配合機械通風，豎井則利用高程溫差效應，自然通風效果較佳。臺北地下隧道通風系統，因通風口到隧道內高程差不大，自然通風效果較小，而以採用機械通風為主。

此外，逃生設施則包括：緊急出口、安全步道、連通道、排煙室，以及逃生動線上各種標誌、指示燈號、照明設備、沿線電話、無線電話系統等。

臺北地下隧道設有「中央監控系統」，負責監管權隧道之安全，下轄五個子系統，即火警警報監控系統、電力及隧道照明監控系統、環境管理監控系統、安全監控系統、其他設備監控系統等。近年來，又增加了火災發生時煙控系統，及豪雨市區淹水時水位警報系統等。

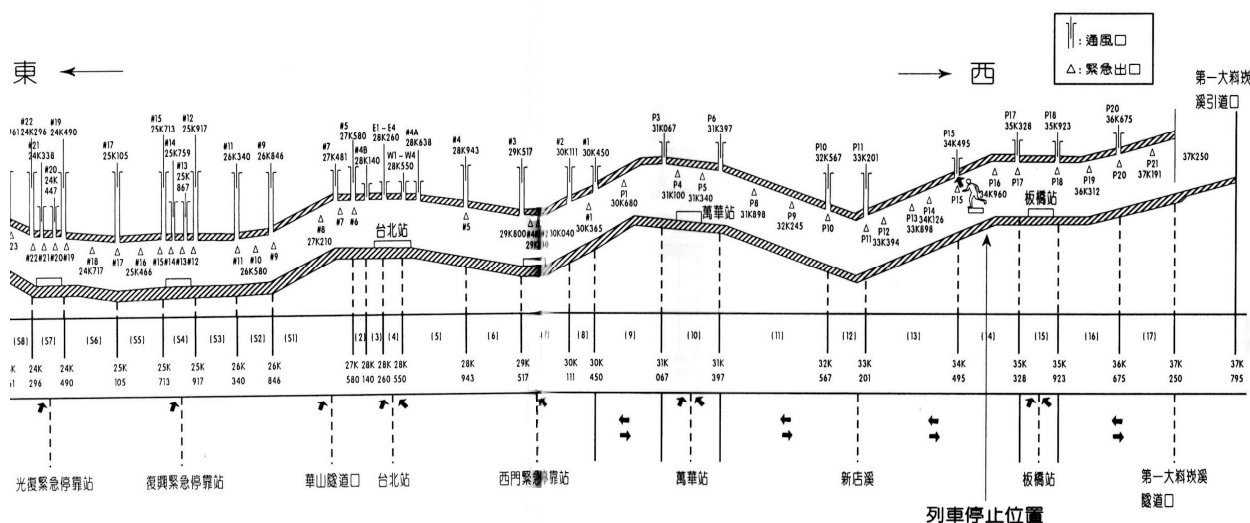


圖 8.3-1 台北市區鐵路地下隧道緊急逃生出口位置示意圖

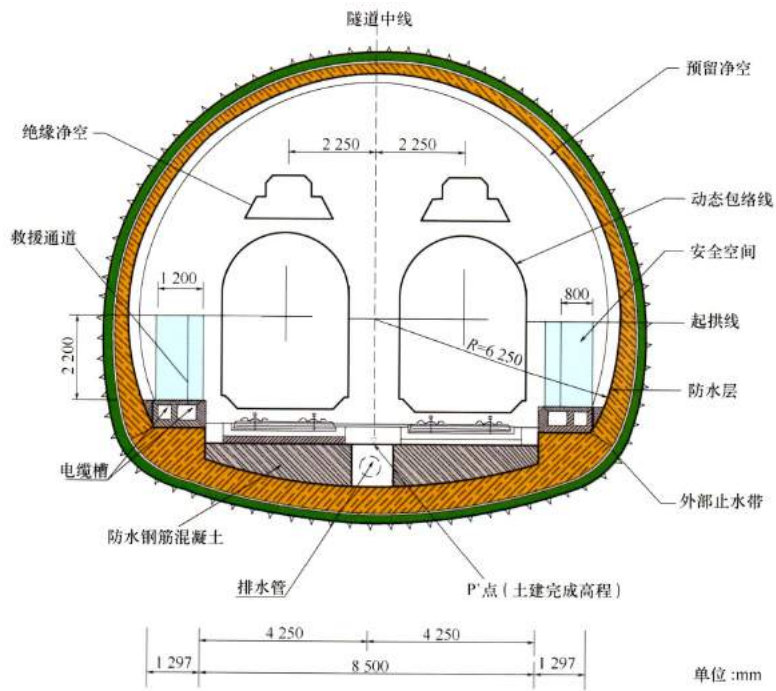


圖 8.3-2 台灣高鐵隧道標準斷面圖

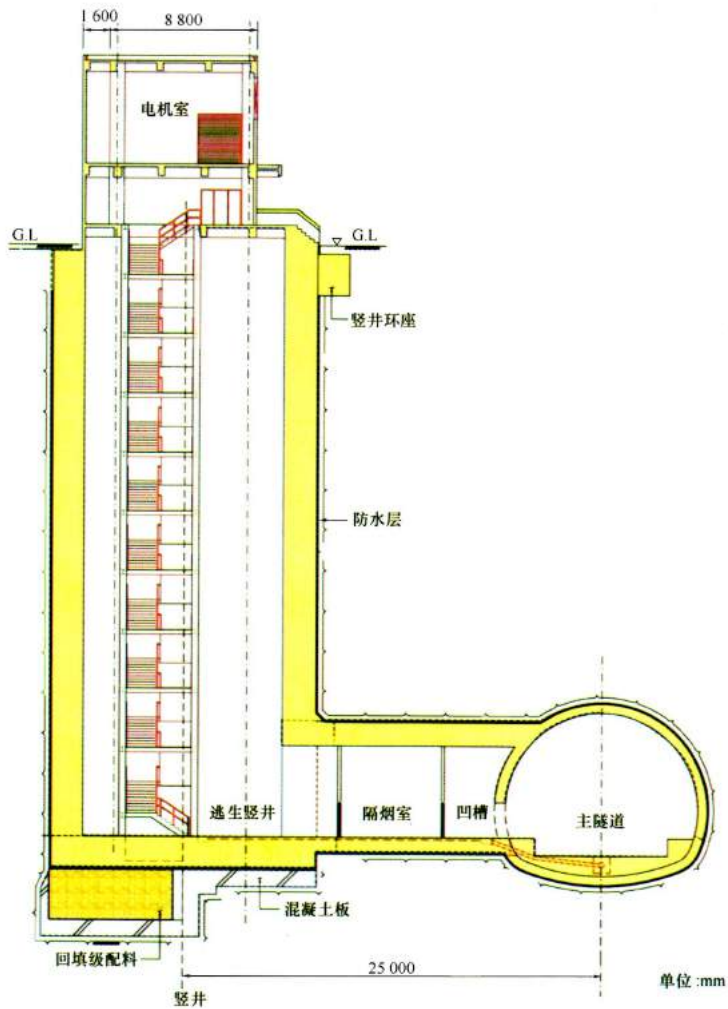


圖 8.3-3 台灣高鐵林口隧道豎井斷面及逃生設施圖

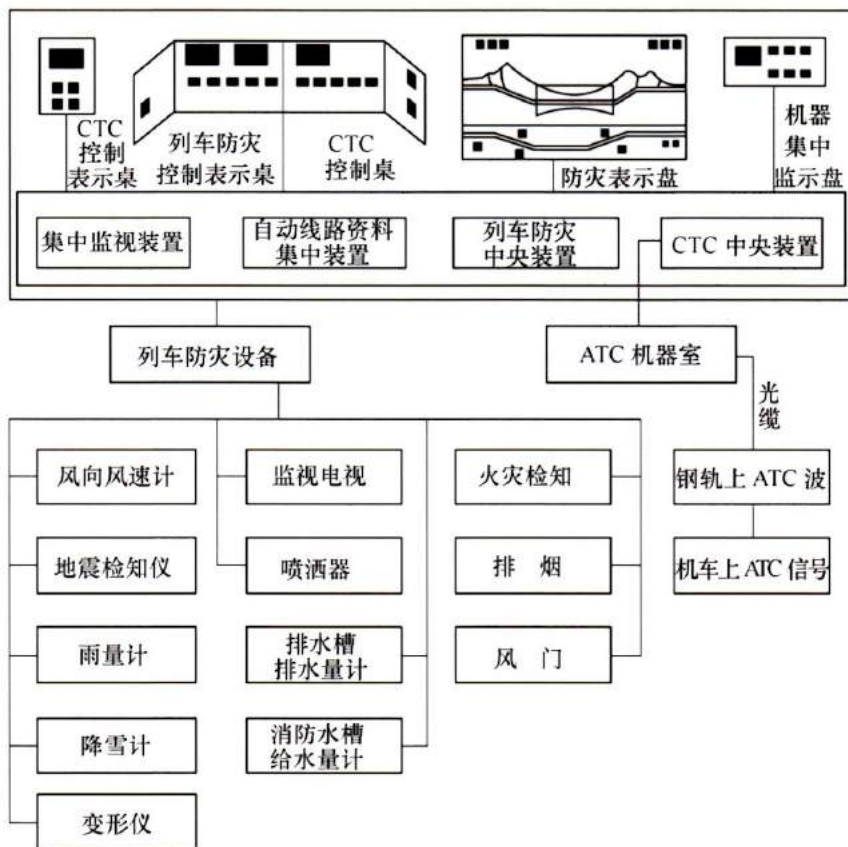


圖 8.3-4 日本青函隧道防災調度中心監控系統示意圖

## 9、隧道內之行車事故與處理

由於隧道內空間狹小，若發生行車事故，較難救援，故一般超長隧道大都在設計時就會考慮緊急救援通道，或預留逃生通道，但有一些台鐵早期的隧道，甚至，近年新建造的隧道，因經濟考量並未預留搶修機制，此類隧道內發行車事故之機率極低，然一旦發生，救援及搶修工作極為困難，本章將以作者曾參與搶修的台鐵隧道內行車事故為例，說明此一狀況，及其緊急應變方法。

### 9.1 新南澳隧道內貨物列車追撞事故搶修

本件事故發生於 2003.11.5 晚上 8:38，台鐵北迴線新南澳隧道內，由於該隧道僅為單軌斷面，淨空不大，平時維修人員行走於兩側步道，遇列車通過時，必須迅速進入每廿公尺乙處的避車洞內。此種以最小需求斷面設計的鐵路隧道，可降低建造成本，但較不利於維修，以往台鐵在權衡經濟成本與維修成本考量下，隧道的設計斷面皆以滿足最小淨空需求為原則。

然而，在本次事故中，因列車追撞力道強大，許多節車廂被擠壓變形，有些被頂起橫向撞擊隧道壁，竟將全斷面塞滿，破碎鐵皮、鋼板、車體構件，卡住隧道側壁，動彈不得，除了前後兩端，完全沒有救援人員可以進出的空隙，毀損車廂交疊卡在隧道內，連救援機車也拉不動。這是作者服務台鐵廿餘年，參與多次事故搶修，所見過最為棘手的案例。

### 9.2 新南澳隧道概述

#### 9.2.1 土建結構物

新南澳隧道位於北迴線東澳~南澳間(如圖 9.2-1)，由東部鐵路改善工程興建，於 92 年 7 月 4 日完成電氣化通車，為一典型 RC 結構設計，設計標準：行車速度 130km/hr。主要材料設計強度:隧道洞門結構及隧道內襯砌混凝土為  $210\text{kg/cm}^2$ ，仰拱混凝土為  $175\text{kg/cm}^2$ ，擋土牆、排水溝為  $210\text{kg/cm}^2$ ，隧道噴泥土為  $210\text{kg/cm}^2$  (採鋼纖噴泥土)，鋼筋(中級鋼)  $2800\text{kg/cm}^2$ ，鋼絲網  $1400\text{ kg/cm}^2$ ，結構鋼件為符合 ASTM\_A36，岩栓符合 CNS\_SD42。斷面設計，依照鐵路建設作業程序辦理設計施工，隧道斷面示意圖如圖 9.2-2 所示。





2003.11.5 台鐵北迴線南澳隧道內  
列車追撞事故發生地點

圖 9.2-1 北迴線新南澳隧道位置圖

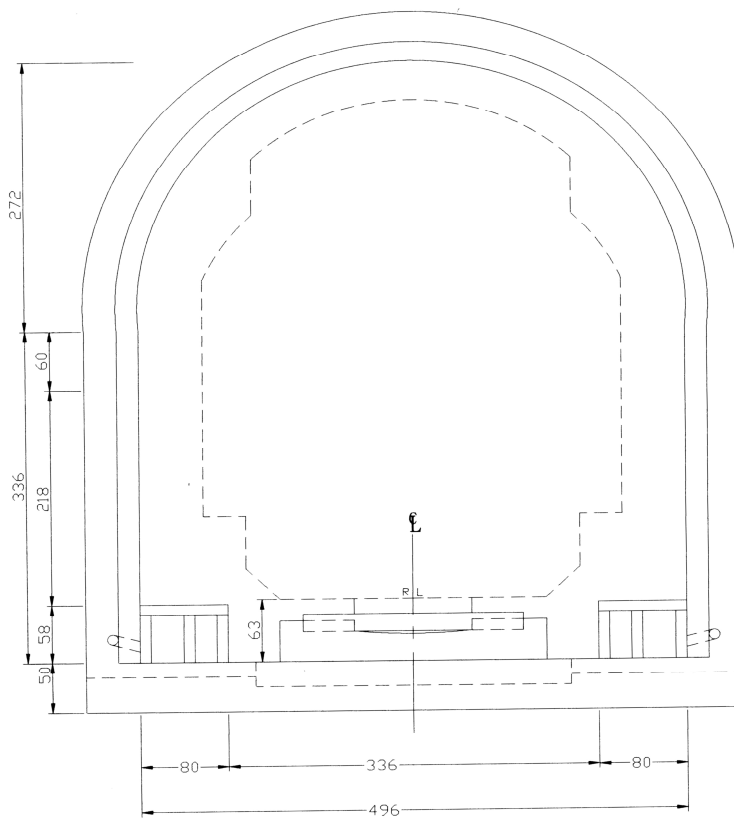


圖 9.2-2 新南澳隧道斷面圖 S=1/40

## 9.2.2 軌道結構

軌道結構採用無道碴防震軌道（直結式 PC 枕防震軌道）。設計標準:軌距 1067+0~-2mm, 軌道 50N 長焊鋼軌, 設計載重 KS-18 標準活載重, 行車速度 130km/hr, 軌道混凝土強度 350kg/cm<sup>2</sup>, 仰拱混凝土為 175kg/cm<sup>2</sup>, 軌道平、斷面示意圖如圖 9.2-3、圖 9.2-4 所示。

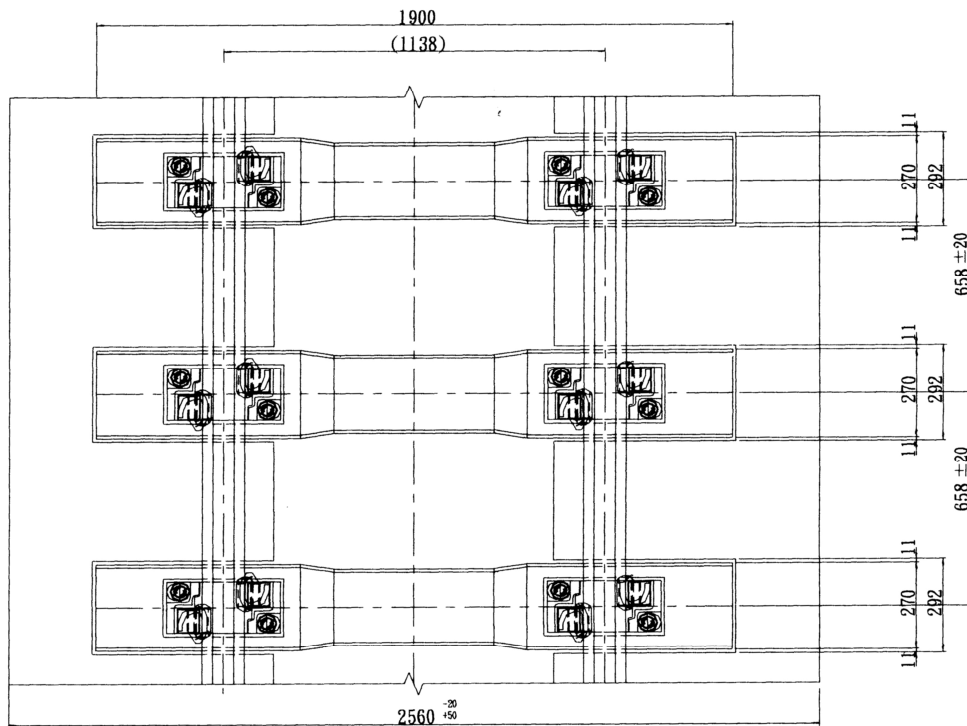


圖 9.2-3 無道碴軌道平面示意圖

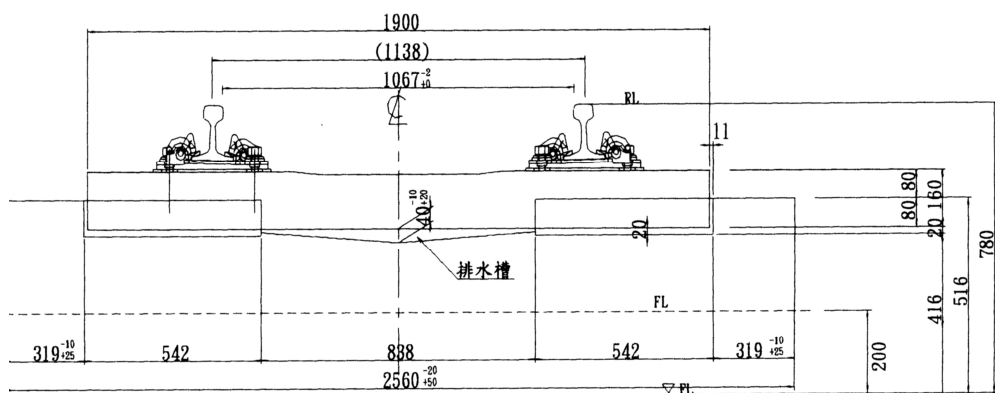


圖 9.2-4 無道碴軌道斷面示意圖

## 9.3 事故發生及搶修經過

### 9.3.1 事故發生經過

一、92年11月5日20時38分北上第734次重聯貨物列車，行經北迴線（新南澳隧道）k11+800處撞及同向北上第896次貨物列車，致造成二次列車共十輛車（含機車）出軌，其中第896次列車之守車車廂全毀。該區間（東澳~南澳間）因舊南澳隧道為配合鐵路電化需要辦理淨空及仰拱改善，致目前僅單線運轉，由於單線隧道內搶修工作困難，造成本次事故路線中斷達36小時30分。

#### 二、出軌狀況

（一）第896次為滿載石灰石重車，末節守車遭前後重車擠壓全毀，末端第二節車廂後軸全出軌。

（二）第734次為重聯空車，前部機車因撞擊時受前車阻力與後方推力作用加上地處半徑800曲線鋼軌受過大橫壓力扭曲變形後傾倒，機車全軸落軌，又因後繼車輛前推效應，使機車前端及後端分別撞及隧道左右側壁。第一節至第七節為散裝水泥空車，經觀察直結式軌道pc枕損壞及無滑行痕跡研判應為擠壓跳上出軌，一至七節出軌情形為：第一節後軸全出軌、第二節後軸全出軌、第三至七節全軸出軌，第八節後軸輪緣爬上鋼軌頂部，車輛出軌情形詳如圖9.3-1所示。

#### 三、軌道損壞情形

50N鋼軌扭曲變形70公尺、直結式軌道用PC枕斷損14根、橡膠墊片破損100塊、尼龍絕緣座損壞200塊、彈簧扣夾損害110個。

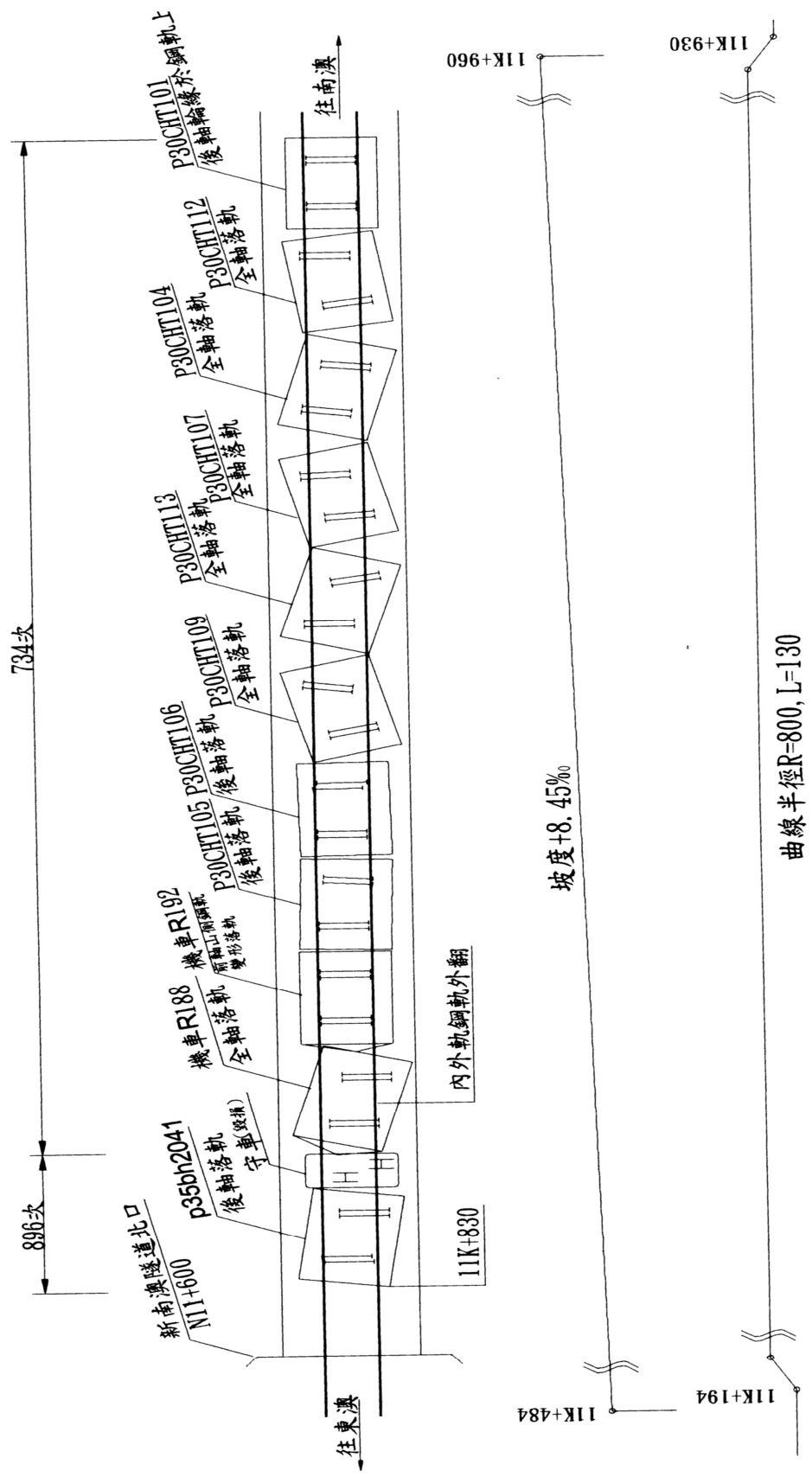


圖 9.3-1 896 及 734 次貨物列車追撞出軌示意圖

### 9.3.2 搶修經過（動員人力、機具、方法等）

- 一、1105/2050 本段辦公室值班人員接獲事故通報後，立即依照緊急事故通報連絡系統分別通知養路監工、分駐所主任、養路主任、段長（處長由段長通報），同時間由養路監工連絡道班人員前往搶修。1105/2155 段長率領同仁抵達現場，經現場勘查後，研商並擬訂搶修對策，並立即準備搶修材料及機械，事故現場如照片一~二十四。
- 二、1105/2345 宜蘭機務分段及花蓮機務段搶修車陸續抵達事故現場，隨後台北檢車段、七堵機務段人員亦相繼趕到現場，同時立即展開搶修。
- 三、1105/2359 將北洞口第一車（重車 P35BH2041）往北拖行 5 公尺，再以油壓千斤頂頂升後軸並作橫移，於 1106/0630 復軌，1106/0700 拖離現場。
- 四、1106/0310 第 734 次第八節（P30PHT101）以油壓千斤頂配合挖土機復軌後拖離現場。
- 五、1106/0620 第 734 次第七節（P30PHT112）嚴重出軌先以挖土機將車身扶正同時向南拖行 4 公尺，前軸油壓千斤頂架設完成後，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 六、1106/0710 以挖土機分三次將毀損守車以強拖方式將其拖出隧道外（距離 200M），1106/0835 守車清除完畢。
- 七、1106/0950 第 734 次第六節（P30PHT104）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行，接著前軸油壓千斤頂架設施工，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 八、1106/1600 第 734 次第五節（P30PHT107）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行，接著前軸油壓千斤頂架設施工，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 九、1106/2040 R188 機車以油壓千斤頂（六個，每個頂升力 60 噸）頂升前、後軸並作橫向移動定位及固定支撐後於 1106/2045 由工務搶修人員將機車下方扭曲變形鋼軌用乙炔分段切斷取出（每段約 3~5M）後，再以臨時短鋼軌（4~5M）以人力縱向逐根植回，1106/2245 完成供 R118 機車使用之臨時軌道。1106/2255 機務開始 R118 機車復軌工作，1107/0055 復軌完畢，1107/0135 R118 機車拖離現場。
- 十、1107/0200 第 734 次第四節（P30PHT113）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行（方便前軸油壓千斤頂架設施工），再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。

- 十一、1107/0205 R192 機車以油壓千斤頂頂升前軸並作橫向移動定位及固定支撐後，由工務將機車下方扭曲變形鋼軌用乙炔分段切斷取出（每段約 3~5M）後，再以臨時短鋼軌（4~5M）以人力縱向逐根植回，1107/0255 完成供 R192 機車使用之臨時軌道。機務開始 R192 機車復軌工作，1107/0300 復軌完畢，1107/0340 R192 機車牽引後掛之車輛（P30PHT105）駛離現場。
- 十二、1107/0305 第 734 次第三節（P30PHT109）先以怪手將車身扶正同時向南拖行（方便前軸油壓千斤頂架設施工），再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 十三、1107/0435 第 734 次第二節（P30PHT106）以油壓千斤頂頂升後軸復軌後拖離現場。
- 十四、1107/0450 機務搶修車完成搶修駛離現場。
- 十五、1107/0450（工務、電力共同施工）由工務搬運軌道材料及機具進行搶修，將原先植入之短鋼軌抽換為新 50N 鋼軌，軌道復舊完畢，經檢查軌道無影響行車之虞，於 1107/0725 撤離現場，電力單位仍繼續搶修復舊工作，直至 1107/0905 完成復舊及測試工作。
- 十六、1107/0908 恢復正常運轉。
- 十七、本次搶修參與人力分析:機務單位（宜蘭機務分段、台北檢車段、花蓮機務段、七堵機務段）共派出四組搶修車，十二班搶修人力計 240 人次。宜蘭工務段雇用二部 120 型挖土機（有橡膠履帶設備），一部電搖車，六部鐵擔車，五部山越器，二部鑽孔機，二部鋼軌鋸軌機，乙炔切斷器二組，投入搶修人力計約 150 人次。

## 9.4 總結

本次追撞事故出軌車輛多達十輛，且發生於隧道內，又單線隧道斷面積小，搶修材料、機具進出不易，施工單位因搶修需要常需交替進場，各單位之協調、配合攸關搶修時效。所幸本件事故損壞嚴重部份均位於北側，且距北洞口僅有 200 公尺，是以未肇致搶修時間之延宕。

本案事故出軌地點之軌道結構為無道碴防震軌道（即直結式 PC 枕防震軌道），由東部鐵路改善工程處興建，刻正委請技術顧問研擬搶修標準作業程序及辦法。所幸本次事故因撞擊後出軌未造成滑行，亦未造成大量 PC 枕斷損，否則後果將更為嚴重。

為提昇事故搶修效率，隧道內列車出軌事故搶修技術、機具設備，宜指定相關權責單位再深入研究、探討，以祈縮短搶修時間。另有關無道碴防震軌道（直結式 PC 枕防震軌道）搶修作業程序及辦法，更應早日訂定完成，以備不時之需。



(照片 9-1) 896 次列車守車遭撞擊全毀情形



(照片 9-2) 734 次機車撞擊 896 次 R188 前軸出軌情形



(照片 9-3) 734 次重聯機車撞擊 896 次 R188 後軸出軌情形



(照片 9-4) 734 次機車撞擊 896 次 R192 前軸出軌情形



(照片 9-5) 734 次散裝水泥車全軸出軌情形



(照片 9-6) 734 次散裝水泥車全軸出軌情形





(照片 9-7) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-8) 734 次散裝水泥車出軌



(照片 9-9) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-10) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-11) 896 次石灰石斗車搶修情形



(照片 9-12) 896 次列車守車清除情形



(照片 9-13) 896 次列車守車清除情形



(照片 9-14) 734 次 R188 機車扶正後工務切斷鋼軌



(照片 9-15) 機車扶正墊高後由工務取出損壞鋼軌



(照片 9-16) 工務鋪設臨時軌道情形



(照片 9-17) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-18) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-19) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-20) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-21) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-22) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-23) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-24) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-25) 軌道受損情形



(照片 9-26) 軌道受損情形



(照片 9-27) 隧道側壁受出軌車輛撞擊痕跡



(照片 9-28) 彈性軌枕受損情形



(照片 9-29) 896 次守車移出軌道外



(照片 9-30) 運務段於東澳車站辦理公車接駁

# 10、現階段的隧道維修與管理

隧道維修管理系統在監測技術、衛星定位及無線網路傳輸的應用下，更加完善，使工程司能巨細靡遺隨時掌握所有隧道狀況。而隧道之維修保養工作，也在材料科學的進步與施工技術發達下，更見成熟。

## 10.1 隧道維修與補強

在進行隧道之調查、安全檢測及異狀原因推估後，如發現隧道已有異常狀態之發生，為恢復隧道的使用功能、安全性及耐久性，必須進行隧道維修與補強之設計及施工。為即時排除隧道之異狀，除選擇適當的維修補強工法外，並需檢討實施之規模、施工性、經濟性及施工時期等。

由於隧道與其他型式的結構物相較，其維修與補強施工所受的限制較多，選擇維修與補強工法時，必須充分掌握隧道之異狀原因、異狀現象、環境條件、結構條件、施工作業限制條件等，以擬定適當之維修與補強計畫。

選擇維修與補強工法之最重要考量因素為正確掌握隧道異狀原因，才能對症下藥，恢復隧道功能。隧道異狀原因可大致分為下列三項：

1. 外力變化
2. 襯砌材質老化
3. 漏水及其他因素（襯砌背面空洞、襯砌厚度不足、無設置仰拱等）

各種隧道異狀原因很少單獨發生，大部份均多種原因同時發生而造成異狀，抑或肇因於興建階段之設計、施工不良。且由於隧道係地下結構物，作用於襯砌之外力及襯砌狀態甚難充分明確掌握，一般均依異狀之特徵或簡單之檢測結果，據以推估異狀原因，其推估過程中，經驗因素比重仍大。由於鐵路隧道之維修與補強施工上，常有時間性限制，往往需在短時間內完成，以維護交通順暢，故採用機動性高且施工簡便快速之施工法是維修與補強技術考慮重點。為施工法之選擇必須依安全檢測及隧道異狀原因推估結果（如鬆動土壓、材質劣化、滲漏、背面空洞、襯砌厚度不足等），並對隧道之重要性及異狀作綜合性安全評估，研判隧道體有無結構穩定之問題後，方可選擇有效解決隧道病因、恢復營運功能及延長使用年限之最佳施工方式。

外力變化之維修與補強工法：

針對導致隧道發生異狀之外力變化因素，如鬆動土壓、偏壓及邊坡潛移、地層滑動、塑性壓、水壓、地盤下陷、地盤承载力不足、地震、隧道洞口段，所採取之維修與補強對策工法如表所示。惟表中所示僅為選擇維修與補強工法時之一般性

參考原則，工程司仍應根據各隧道之特性、以往從事隧道工程之經驗，配合適當之分析檢討，以選擇有效之工法。

## 10.2 隧道補強對策與工法

隧道安全等級評定結果與隧道施工工法(ASSM 或 NATM)具有相關性，而隧道之維修補強對策，需依據異狀種類、發生原因、劣化程度、範圍、規模大小與位置，妥善規劃設計隧道維修補強作業，一般採用之隧道維修補強對策如下各節所述。

### 10.2.1.剝落對策

#### TYPE A1－局部剝落填補(起拱線以上)

若襯砌起拱線以上有混凝土塊局部掉落之可能時，須先予以敲除、埋設剪力釘，再以混凝土或水泥砂漿予以填補，如圖 10.2-1 所示。

#### TYPE A2－局部剝落填補(起拱線以下)

若襯砌起拱線以下有混凝土塊局部剝落之可能時，得考量先將劣化範圍鑿除，再以無收縮水泥砂漿填補，，如圖 10.2-2 所示。

#### TYPE A3－鋼板補強

若襯砌剝落範圍較大且混凝土塊有掉落之可能時，則採用鋼板補強，四周以螺栓錨碇，如圖 10.2-3 所示。

#### TYPE A4－碳纖維網補強

若襯砌有較大面積混凝土塊掉落之可能時，則貼覆碳纖維網(CF)防止其下墜，如圖 10.2-4 所示。

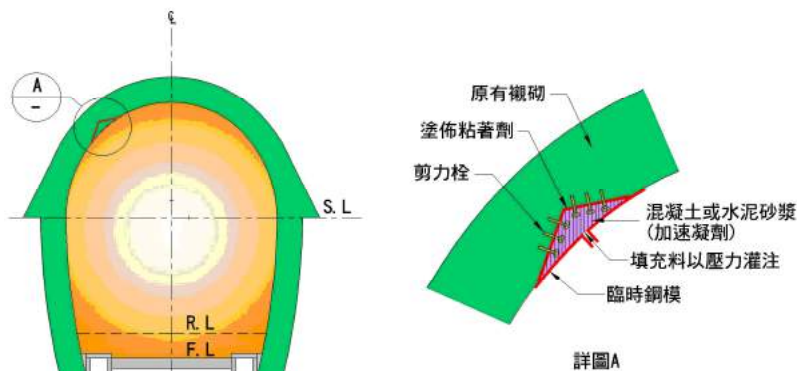


圖 10.2-1 襯砌起拱線以上局部剝落填補示意圖(TYPE A1)

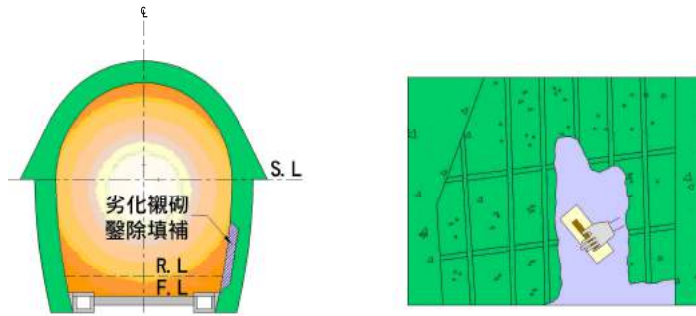


圖 10.2-2 襯砌起拱線以下局部剝落填補示意圖(TYPE A2)

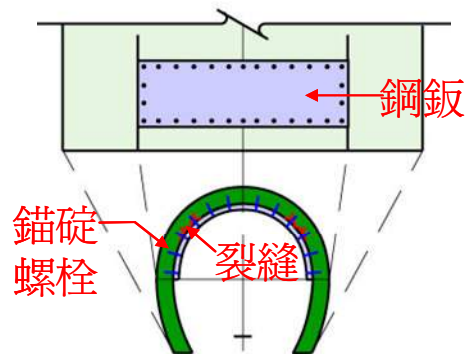


圖 10.2-3 襯砌鋼板補強示意圖(TYPE A3)

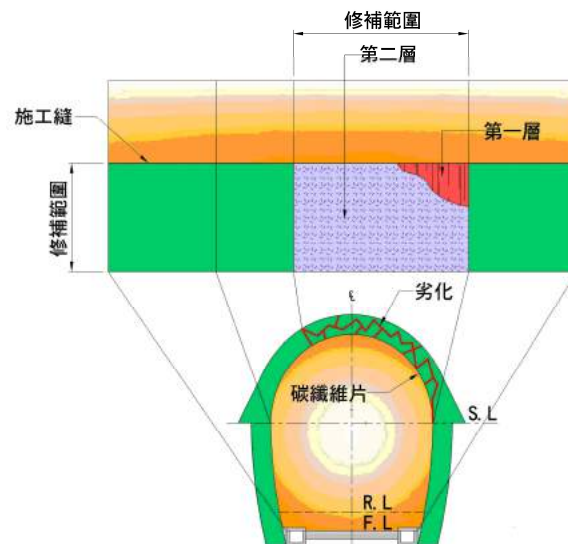


圖 10.2-4 襯砌碳纖維網補強示意圖(TYPE A4)

## 10.2.2. 裂縫對策

### TYPE B1－裂縫補強(止水)灌漿

若僅為局部之細微裂縫，則採用如圖 10.4-5 所示之裂縫補強(止水)灌漿。

### TYPE B2－岩栓補強

若為大規模之構造型裂縫，則除了 TYPE B1－裂縫補強灌漿外，尚須考量採用岩栓補強，如圖 10.4-6 所示。

### TYPE B3－固結灌漿

若為大規模之構造型裂縫，且疑似襯砌厚度不足，則除了 TYPE B1－裂縫補強灌漿外，尚須考量採用固結灌漿以提高圍岩之強度並將其與襯砌固結成一結構體，如圖 10.4-7 所示。

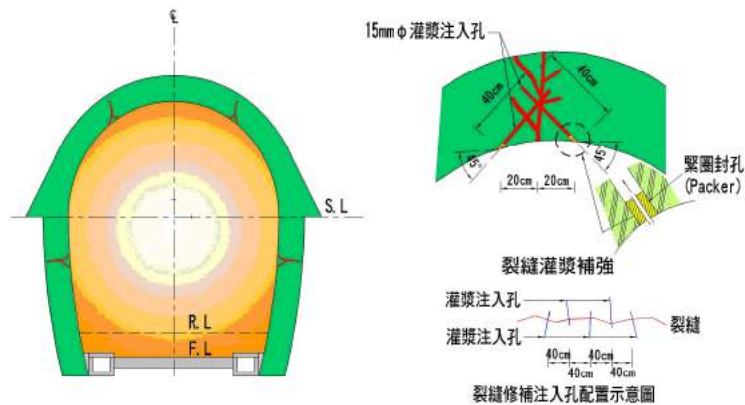


圖 10.4-5 襯砌裂縫補強(止水)灌漿示意圖(TYPE B1)

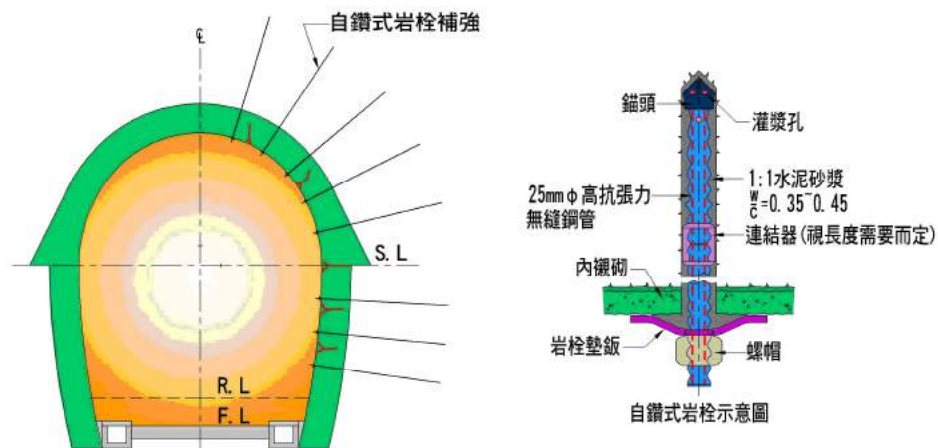


圖 10.4-6 岩栓補強工法示意圖(TYPE B2)



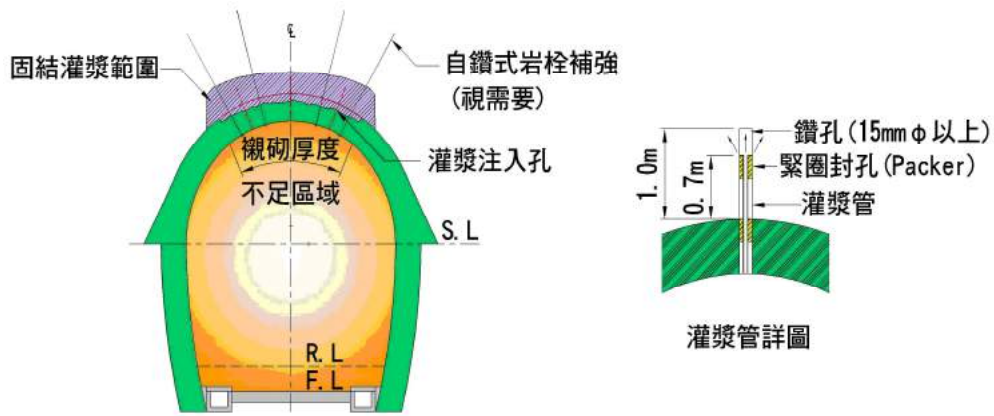


圖 10.4-7 固結灌漿補強工法示意圖(TYPE B3)

### 10.2.3.漏水對策

若滲漏水程度為滲水或滴水，則可採用止水工法。裂縫之止水將採用灌注止水材之補強工法(TYPE B1)，如圖 10.4-5 所示；而施工縫之止水得考量採用急結水泥予以填補(TYPE C1)，如圖 10.4-8 所示。

若滲漏水程度為湧水或噴水，則採用導水工法，包括：TYPE C2－側壁單排導水工法(圖 10.4-9)、TYPE C3－施工縫導水工法(圖 10.4-10)、TYPE C4－導水版導水工法(圖 10.4-11)等三種。

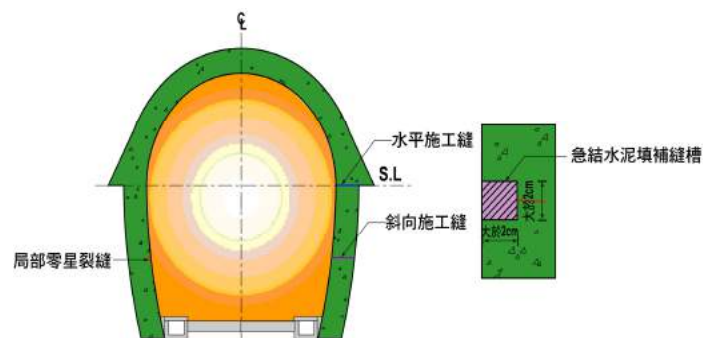


圖 10.4-8 施工縫止水工法示意圖(TYPE C1)

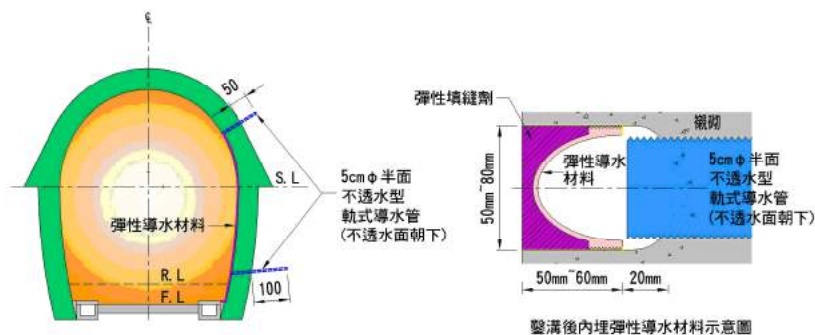


圖 10.4-9 側壁單排導水工法示意圖(TYPE C2)

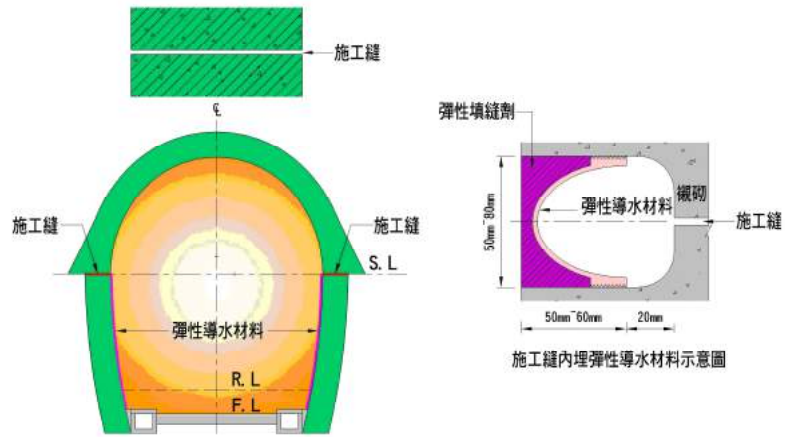


圖 10.4-10 施工縫導水工法示意圖(TYPE C3)

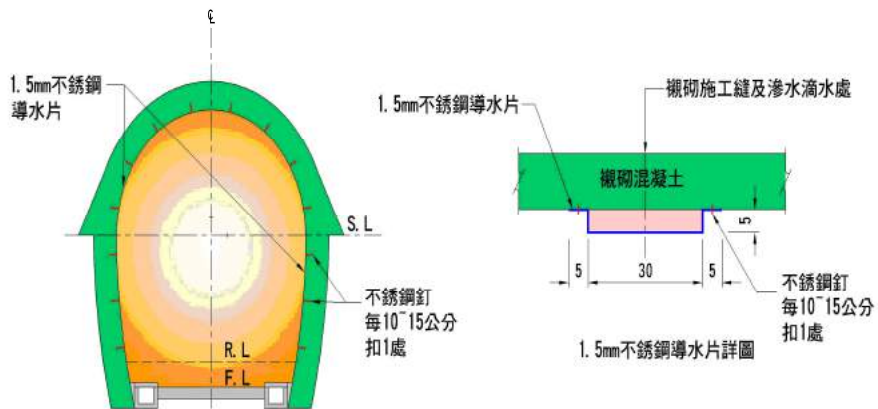


圖 10.4-11 導水版導水工法示意圖(TYPE C4)

#### 10.2.4.其它對策

##### TYPE D1 – 背填灌漿

當透地雷達探查發現襯砌背後有疏鬆或空洞現象存在時，採用背填灌漿之補強方式，如圖 10.4-12 所示。

##### TYPE D2 – 鋼筋補強

針對偏壓、斷層破碎帶或施工異常區段，如多良一號隧道 60k+200~ 60k+410，採用切槽鋼筋補強工法，如圖 10.4-13 所示。

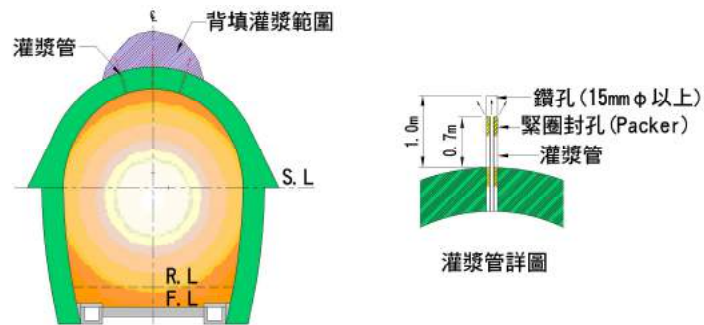


圖 10.4-12 背填灌漿工法示意圖(TYPE D1)

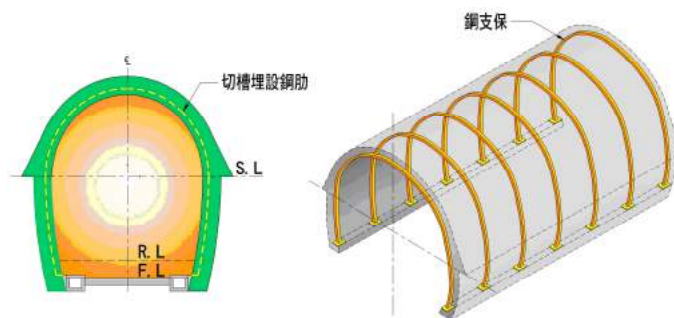


圖 10.4-13 鋼筋補強工法示意圖(TYPE D2)

# 參考文獻

1. 「Practical Tunnel Driving」, Harold W. Richardson & Robert S. Mayo, 歐亞書局, 1978.10 台北。
2. 「TUNNEL ENGINEERING HANDBOOK」, John O. Bickel & T R. Kuesel, Van Nostrand Reinhold Company, Inc. , 1992.U.S.A. Florida。
3. Coenraad Esveld, 「MODERN RAILWAY TRACK」, MRT-Productions, 2001。
4. 中華民國隧道協會, 「隧道工程用語 辭彙」, 科技圖書公司, 2000 年 4 月。
5. 「隧道工程學」(The Art of Tunnelling), by Karoly Szechy, 段品莊譯, 臺灣鐵路管理局(北迴鐵路工程處印行), 1978.4。
6. 汪彝之, 「實用隧道工程學」, 大中國圖書公司, 1992 年 10 月。
7. 張吉佐、劉弘祥, 「山岳隧道工程—設計與實例手冊」, 1999 年 9 月。
8. 賴德湘、吳小虹, 「筆路開基—基隆鐵道之創見與發展」, 基隆市立文化中心, 2001 年 12 月。
9. 劉文駿、王威傑、楊森豪, 「百年台灣鐵道」, 城邦文化, 2003 年 9 月。
10. 中國鐵道部第二勘測設計院, 鐵路工程設計技術手冊「隧道」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
11. 中國鐵道部, 「洞門」, 中國鐵道出版社, 1990 年, 北京。
12. 中國鐵道部, 「隧道」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
13. 中國鐵道部工務局, 「隧道」, 中國鐵道出版社, 1997 年, 北京。
14. 陳豪雄、殷杰, 「隧道工程」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
15. 鍾桂彤, 「鐵路隧道」, 中國鐵道出版社, 1996 年, 北京。
16. 吳波, 「隧道施工安全風險管理」, 中國鐵道出版社, 2010 年, 北京。
17. 中國鐵道部工程設計鑑定中心, 「高速鐵路隧道」, 中國鐵道出版社, 2006 年, 北京。
18. 張德水, 「台灣政治、種族、地名沿革」, 前衛出版社, 2011 年 01 月, 台北。
19. 臺灣鐵路管理局, 「無遠弗屆的脈動」\_\_台灣的建設(鐵路篇), 1998 年 9 月, 台北。
20. 洪致文, 「台灣鐵道印象」, 南天書局, 1999 年 1 月, 台北。
21. 交通部臺灣區國道新建工程局, 「隧道工程」施工技術解說圖冊, 2006 年 3 月, 台北。
22. 黃樹民, 「台灣往日情懷」, 人人出版公司, 2002 年 3 月, 台北。
23. 喬英忍等, 「世界鐵道綜覽」, 中國鐵道出版社, 2003 年 9 月, 北京。
24. 黃民仁, 「新世紀鐵路工程學」, 文笙書局, 2007 年 3 月, 台北。
25. 中國土木水利工程學會 土木史委員會, 「台灣土木史叢書」--交通工程誌, 中國土木水利工程學會, 2008 年 1 月, 台北。
26. 榮民工程事業管理處, 「北迴鐵路完工報告」, 1982 年 5 月。
27. 臺灣鐵路管理局山線雙工程處, 「鐵路山線竹南至豐原間雙軌工程簡介」, 1998

年 6 月。

28. 孫祺等 4 人，集集大地震三義 1 號隧道震害與修復，「台鐵資料」季刊第 306 期，2001 年 6 月，台北。
29. 范吉櫟、莊育蓁、壽克堅，1999 年集集大地震台灣西部山線鐵路隧道災害之調查、檢討與分析，「台鐵資料」季刊第 320 期，2004 年 12 月，台北。
30. 李佳翰、王兆賢、陳志榮，南迴線金崙等七座隧道安全檢測與改善規劃設計，「台鐵資料」季刊第 333~336 期。
31. 孫祺，鐵路舊山線三義～后里間橋梁隧道檢測，「台鐵資料」季刊第 321~323 期，2005.3~2005.9，台北。
32. 詹積谷譯，建築界限，「台鐵資料」季刊第 324 期，2005.12，台北。
33. 南港紀要第一輯（80.7~86.6），1999 年 09 月，交通部台北市區地下鐵路工程。
34. 台北市區鐵路地下工程 工程紀要系列（第一輯～第四輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
35. 松專紀要系列（第一輯～第三輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
36. 萬板紀要系列（第一輯～第四輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
37. 久保田 博，「鐵道工學」，越後堂株式會社，2004 年 2 月，東京。
38. 天野光三等，「圖說鐵道工學」，丸善株式會社，2005 年 6 月，東京。

# 附錄一 台灣鐵路隧道表

編號	路線名稱	隧道名稱	區間	位置	全長 (M)	淨寬 (M)	淨高 (M)	襯砌材料		備註
								拱環	側壁	
縱隧 1	縱貫線	竹子嶺(雙)	基隆-八堵	2K+406.1~2K+947.45	541.35	8.00	5.12	磚	磚	
縱隧 2	縱貫線	七堵(下雙)	七堵-五堵	6K+937.47~7K+081.77	144.30	8.00	5.12	混凝土	混凝土	
縱隧 3	縱貫線	七堵(上單)	七堵-五堵	6K+951.5~7K+083.68	132.18	4.80	5.12	磚	粗石	
縱隧 4	縱貫線	新五堵	七堵-五堵	10K+313.15~10K+492	434.61	4.57	5.00	磚	磚	
縱隧 5	縱貫線	台北地下鐵(雙)	松山-樹林	16K+220~37K+180	20,960.	9.51	5.95	R.C	R.C	
縱隧 6	縱貫線	山佳	樹林-山佳	44K+429~44K+584	155.00			R.C	R.C	19014 萬元 93.11.29 開工 98.5.23 竣工
縱隧 7	縱貫線	大甲(雙)	大甲-甲南	181K+299.3~181K+379.6	80.30	8.50	5.28	磚	混凝土	
小計					22,447.7					
中隧 1	台中線	豐富(雙)	豐富-苗栗	133K+092.5~133K+739.5	647.00			混凝土	混凝土	
中隧 2	台中線	苗南(雙)	苗栗-南勢	143K+333~144K+315	982.00			混凝土	混凝土	
中隧 3	台中線	銅鑼(雙)	南勢-銅鑼	148K+086~148K+416	330.00			混凝土	混凝土	
中隧 4	台中線	三義(雙)	三義-泰安	159K+701.5~167K+055.6	7,354.17		7.29	混凝土	混凝土	159K+701.5~160K+341 為明挖覆蓋段
中隧 5	台中線	三泰(雙)	三義-泰安	168K+073~168K+333	260.00			混凝土	混凝土	
中隧 6	台中線	泰安(雙)	泰安-后里	171K+365.5~171K+882.5	517.00			混凝土	混凝土	
中隧 7	台中線	后豐(雙)	后里-豐原	175K+016.5~175K+471.5	455.00	9.10	7.29	混凝土	混凝土	明挖段 126M 為鋼筋混凝土
小計					10,545.2					
宜隧 1	宜蘭線	四瑞一號(雙)	四腳亭-瑞芳	4K+639~5K+015	376.00	8.00	5.16	混凝土	混凝土	
宜隧 2	宜蘭線	四瑞二號(雙)	四腳亭-瑞芳	5K+673~5K+963	290.00	8.20	5.16	混凝土	混凝土	
宜隧 3	宜蘭線	深澳(上單)	四腳亭-瑞芳	7K+326~7K+362	36.00					
宜隧 4	宜蘭線	深澳(下單)	四腳亭-瑞芳	7K+302~7K+374	72.00	4.50	4.56	磚	粗石	
宜隧 5	宜蘭線	龍潭(雙)	瑞芳-侯硐	9K+563~9K+710	147.00					
宜隧 6	宜蘭線	龍鎮(雙)	瑞芳-侯硐	9K+888~9K+957	69.00					
宜隧 7	宜蘭線	柑坪(雙)	瑞芳-侯硐	9K+969~10K+048	79.00					

宜隧 8	宜蘭線	頌德(下單)	瑞芳-侯硐	10K+630~10K+792	162.00						
宜隧 9	宜蘭線	瑞芳(上單)	瑞芳-侯硐	10K+662~10K+790	128.00						
宜隧 10	宜蘭線	福住(雙)	瑞芳-侯硐	11K+192~11K+583	391.00						
宜隧 11	宜蘭線	示德(雙)	瑞芳-侯硐	12K+603~13K+181	578.00						
宜隧 12	宜蘭線	三貂嶺(雙)	三貂嶺-牡丹	16K+465~18K+541	2,076.0						
宜隧 13	宜蘭線	五份(下單)	牡丹-雙溪	22K+055~22K+262	207.00						
宜隧 14	宜蘭線	五份(上單)	牡丹-雙溪	22K+118~22K+198	80.00						
宜隧 15	宜蘭線	雙溪(雙)	雙溪-貢寮	23K+264~23K+384	120.00						
宜隧 16	宜蘭線	共和(雙)	雙溪-貢寮	23K+766~24K+224	458.00						
宜隧 17	宜蘭線	長潭(雙)	雙溪-貢寮	24K+627~24K+894	267.00						
宜隧 18	宜蘭線	福隆(雙)	福隆-石城	33K+345~33K+520	175.00						
宜隧 19	宜蘭線	草嶺(雙)	福隆-石城	33K+991~36K+271	2,280.0	4.70	4.50	混凝土	混凝土		
宜隧 20	宜蘭線	大里(雙)	大里-大溪	41K+392~41K+639	247.00						
宜隧 21	宜蘭線	大溪(雙)	大里-大溪	43K+307.5~44K+009	701.50						
宜隧 22	宜蘭線	合興(雙)	大溪-龜山	45K+668~46K+580	912.00						
宜隧 23	宜蘭線	梗枋(雙)	大溪-龜山	47K+230~47K+480	250.00						
宜隧 24	宜蘭線	更新(雙)	龜山-外澳	50K+488~50K+638	150.00						
宜隧 25	宜蘭線	外澳(雙)	龜山-外澳	51K+408~51K+722	314.00						
小 計					10,565.5						
平隧 1	平溪線	第一號(單)	三貂嶺-十分	0K+993.61~1K+288.16	294.55	4.30	4.27	混凝土	混凝土		
平隧 2	平溪線	第二號(單)	三貂嶺-十分	1K+368.34~1K+388.46	20.12	4.30	4.36	自然岩	自然岩		
平隧 3	平溪線	第三號(單)	三貂嶺-十分	1K+438.77~1K+508.2	69.43	4.35	4.26	自然岩	自然岩		
平隧 4	平溪線	第四號(單)	三貂嶺-十分	2K+394~2K+428.93	34.93	4.28	4.41	自然岩	自然岩		
平隧 5	平溪線	第五號(單)	三貂嶺-十分	2K+515.65~2K+580.75	65.10	4.41	4.38	自然岩	自然岩		
平隧 6	平溪線	第六號(單)	三貂嶺-十分	4K+540.72~4K+631.06	90.34	4.35	4.25	混凝土	混凝土		
小 計					574.47						
深隧 1	深澳線	瑞澳(單)	瑞芳-八斗子	2K+267.39~2K+377.39	110.00	4.40	4.54	混凝土	混凝土		
深隧 2	深澳線	第一號(單)	瑞芳-八斗子	4K+317.19~4K+419.25	102.06						
深隧 3	深澳線	第二號(單)	八斗子-深澳	5K+508.63~5K+667.59	157.96						
小 計					370.02						
內隧 1	內灣線	竹東(單)	竹中-竹東	13K+895~14K+275	380.00	4.80	4.43	混凝土	混凝土		
內隧 2	內灣線	合興(單)	九讚頭-合興	23K+904~24K+029	125.00	4.70	4.92	混凝土	混凝土		
內隧 3	內灣線	南河(單)	合興-內灣	24K+949.3~25K+115.8	166.50	4.90	4.68	混凝土	混凝土		
內隧 4	內灣線	九芎坪(單)	合興-內灣	26K+835~27K+017	182.00	5.10	5.03	混凝土	混凝土	86 年南端 延長 30M 箱涵	
內隧 5	內灣線	明隧道(單)	合興-內灣	27K+200~27K+323.2	123.20						
小 計					976.70						

集隧 1	集集線	第一(單)	龍泉-集集	17K+432~17K+815	383.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 2	集集線	第二(單)	集集-水里	22K+932~23K+745	813.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 3	集集線	第三(單)	集集-水里	23K+747~24K+315	568.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 4	集集線	中興(單)	集集-水里	24K+685~24K+775	90.00	4.46	4.78	混凝土	混凝土	
集隧 5	集集線	第四(單)	水里-車埕	27K+811~27K+951	140.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 6	集集線	第五(單)	水里-車埕	28K+890~28K+999	109.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 7	集集線	第六(單)	水里-車埕	29K+438~29K+505	67.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 8	集集線	明隧一號	集集-水里	K25+130~K25+160	30.00			R.C	R.C	民國 91 年建
集隧 9	集集線	明隧二號	集集-水里	K25+360~K25+500	140.00			R.C	R.C	民國 91 年建
小 計					2,340.0					
北隧 1	北迴線	蘇澳一號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+338~2K+537	199.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 2	北迴線	新蘇澳一號(單)	蘇澳新站-永樂	1K+936~2K+139	203.00					
北隧 3	北迴線	蘇澳二號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+585~2K+698	113.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 4	北迴線	新蘇澳二號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+492~3K+221	729.00					
北隧 5	北迴線	蘇澳三號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+145~3K+351	206.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 6	北迴線	新蘇澳三號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+296145~3K+626	330.00					
北隧 7	北迴線	蘇澳四號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+480~3K+719	239.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 8	北迴線	新蘇澳四號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+661~3K+916	255.00					
北隧 9	北迴線	永春(單)	永樂-東澳	5K+444.5~9K+465	4,020.50	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 10	北迴線	新永春(單)	永樂-東澳	5K+224~9K+684	4,460.00					
北隧 11	北迴線	新東澳	永樂-東澳	10K+424~10K+597	173.00					
北隧 12	北迴線	南澳(單)	東澳-南澳	11K+733~17K+019	5,286.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 13	北迴線	新南澳(單)	東澳-南澳	11K+600~16K+945	5,345.00					
北隧 14	北迴線	新武塔	南澳-武塔	20K+483~22K+117	1,634.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 15	北迴線	新觀音	武塔-漢本	24K+097~34K+404	10,307.0	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 16	北迴線	新和平	和平-和仁	43K+560~46K+655	3,095.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 17	北迴線	和仁(單)	和仁-崇德	48K+487.5~50K+898.5	2,411.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 18	北迴線	新和仁(單)	和仁-崇德	48K+345~50K+877	2,532.00					
北隧 19	北迴線	清水(單)	和仁-崇德	51K+188.3~53K+294.3	2,106.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 20	北迴線	新清水(單)	和仁-崇德	51K+110~53K+320	2,210.00					



北隧 21	北迴線	崇德(單)	和仁-崇德	53K+457.3~56K+139.3	2,682.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 22	北迴線	新崇德(單)	和仁-崇德	53K+460~56K+100	2,640.00					
小 計					51,175.5					
東隧 1	東幹線	溪口一號(單)	溪口-南平	24K+356~24K+398	42.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 2	東幹線	溪口二號(單)	溪口-南平	24K+815.2~26K+413.8	1,598.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 3	東幹線	鳳林	鳳林-萬榮	34K+581.5~35K+445	864.00					
東隧 4	東幹線	光復(單)	萬榮-光復	39K+132.05~41K+488.3	2,356.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 5	東幹線	自強(單)	瑞穗-三民	67K+485.79~70K+385	2,900.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 6	東幹線	山里一號(單)	山里-卑南	148K+880.13~149K+150.6	390.50	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 7	東幹線	山里二號(單)	山里-卑南	149K+306.12~149K+543.1	262.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 8	東幹線	山里三號(單)	山里-卑南	149K+588~149K+948	360.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 9	東幹線	山里四-五號(單)	山里-卑南	150K+063.15~150K+303.6	706.50	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 10	東幹線	山里六號(單)	山里-卑南	150K+810.02~152K+191.5	1,401.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 11	東幹線	山里七號(單)	山里-卑南	152K+327.98~153K+350.6	1,053.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
小 計					11,933.0					
南隧 1	南迴線	嘉和遮體(單)	內獅-枋山	6K+801.9~7K+981.9	1,180.0					
南隧 2	南迴線	枋電一號(單)	內獅-枋山	12K+664~12K+704	40.00	4.32	5.50			
南隧 3	南迴線	枋電二號(單)	內獅-枋山	12K+980~13K+065	85.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 4	南迴線	枋山一號(單)	枋山-枋野	13K+945~14K+245	300.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 5	南迴線	枋山二號(單)	枋山-枋野	14K+917~15K+502	585.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 6	南迴線	枋山三號(單)	枋山-枋野	15K+795~16K+483	688.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 7	南迴線	枋山四號(單)	枋山-枋野	17K+170~17K+326	156.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 8	南迴線	枋山五號(單)	枋山-枋野	17K+729~17K+934	205.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 9	南迴線	枋野一號(單)	枋山-枋野	18K+218~20K+027	1,809.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 10	南迴線	枋野二號(單)	枋山-枋野	20K+777~21K+497	720.00	4.32	5.50	R.C	R.C	單線 670M，雙 線 50M
南隧 11	南迴線	枋野三號(單)	枋野-古莊	22K+004~23K+364	1,360.0	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 12	南迴線	中央(雙)	枋野-古莊	23K+745~31K+815	8,070.0	8.50	6.72	R.C	R.C	

南隧 13	南迴線	菩安(雙)	枋野-古莊	32K+243~32K+382	139.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 14	南迴線	安朔三號(雙)	枋野-古莊	32K+648~38K+131	5,483.0	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 15	南迴線	古莊一號(雙)	枋野-古莊	38K+548~38K+726	178.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 16	南迴線	古莊二號(雙)	枋野-古莊	38K+828~39K+113	285.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 17	南迴線	古莊三號(雙)	枋野-古莊	39K+319~40K+009	690.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 18	南迴線	古莊四號(單)	古莊-大武	40K+728~40K+881	153.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 19	南迴線	古莊五號(單)	古莊-大武	41K+108~41K+478	370.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 20	南迴線	古莊六號(單)	古莊-大武	41K+948~42K+126	178.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 21	南迴線	古莊七號(單)	古莊-大武	42K+192~42K+393	201.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 22	南迴線	大武一號(單)	古莊-大武	42K+523~42K+895	372.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 23	南迴線	大武二號(單)	大武-瀧溪	44K+018~45K+198	1,180.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 24	南迴線	大鳥(單)	大武-瀧溪	46K+146~49K+800	3,654.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 25	南迴線	加津林(單)	大武-瀧溪	50K+230~50K+704	474.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 26	南迴線	富山(單)	大武-瀧溪	52K+451~52K+525	74.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 27	南迴線	大竹一號(單)	大武-瀧溪	53K+513~54K+965	1,452.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 28	南迴線	大竹二號(單)	大武-瀧溪	55K+807.55~57K+043.55	1,236.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 29	南迴線	大竹三號(單)	大武-瀧溪	57K+520.5~57K+717.9	197.40	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 30	南迴線	瀧溪(單)	瀧溪-金崙	58K+575.67~58K+713.24	138.17	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 31	南迴線	大竹四號(單)	瀧溪-金崙	58K+748.6~58K+918.6	170.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 32	南迴線	多良一號(單)	瀧溪-金崙	58K+967.7~60K+616.7	1,649.0	4.32	5.50	R.C	R.C	北端雙線 80M
南隧 33	南迴線	多良二號(單)	瀧溪-金崙	61K+247.6~61K+293	45.40	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 34	南迴線	多良二之一號(單)	瀧溪-金崙	61K+345.7~62K+868.7	1,523.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 35	南迴線	金崙(單)	金崙-太麻里	64K+127.05~68K+519.05	4,392.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 36	南迴線	香蘭(單)	金崙-太麻里	69K+122.5~69K+427.5	305.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 37	南迴線	新吉(單)	太麻里-知本	77K+223.25~77K+591.25	368.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
小 計					40,105.0					
合 計 (132 座)					151,033					

## 附錄二、台灣鐵路局廢棄隧道一覽表

### 縱貫線北段

No.	隧道名稱	長度( m )	單/雙線	所在區間	備註
1	獅球嶺隧道	235	單線	基隆 - 八堵	台灣第一座鐵路隧道 使用年代 1890~1898
2	竹子嶺隧道	556	雙線	三坑 - 八堵	2006/1/11 停用
3	南港隧道	97	雙線	汐科 - 南港	2008/9/21 停用
4	茶山隧道	438	單線	山佳 - 鶯歌	使用年代 1901~1925
5	崎頂一號隧道	131	雙線	香山 - 崎頂	使用年代 1928~1978 整修後改為遊憩步道
6	崎頂二號隧道	67	雙線	香山 - 崎頂	使用年代 1928~1978 整修後改為遊憩步道

### 舊山線

No.	隧道名稱	長度( m )	單/雙線	所在區間	備註
7	造橋隧道	193	單線	造橋- 豐富	整修後改為生態園區
8	苗栗隧道	441	單線	苗栗- 南勢	整修後改為遊憩步道
9	南勢隧道	240	單線	南勢- 銅鑼	廢棄
10	一號隧道	230	單線	三義- 勝興	待路線復駛後重新使用
11	二號隧道	725	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
12	三號隧道	511	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
13	四號隧道	48	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
14	五號隧道	237	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
15	六號隧道	228	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
16	七號隧道	1262	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
17	八號隧道	515	單線	泰安- 后里	廢棄
18	九號隧道	1270	單線	后里- 豐原	成為后豐鐵馬道一部

縱貫線海線					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
19	第一白沙屯隧道	295	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1921~1973
20	第二白沙屯隧道	162	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1921~1973
21	第三白沙屯隧道	56	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1920~1973

宜蘭線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
22	三瓜子隧道	111	單線	三貂嶺 - 牡丹	使用年代 1921~1985
23	三貂嶺隧道	1852	單線	三貂嶺 - 牡丹	使用年代 1922~1985
24	舊草嶺隧道	2166	單線	福隆 - 石城	使用年代 1924~1985 整修後改爲自行車道

舊北迴線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
25	武塔一號隧道	345	單線	南澳 - 武塔	廢棄
26	武塔二號隧道	185	單線	南澳 - 武塔	廢棄
27	觀音隧道	7740	單線	武塔 - 漢本	廢棄
28	鼓音隧道	401	單線	武塔 - 漢本	廢棄
29	谷風隧道	1959	單線	武塔 - 漢本	廢棄
30	和平隧道	2969	單線	和平 - 和仁	廢棄

舊東線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
31	掃叭隧道	1110	單線	舞鶴 - 三民	使用年代 1916~1984

深澳線

No.	隧道名稱	長度(m)	單/雙線	所在區間	備註
32	瑞澳隧道	待查	單線	瑞芳 - 八斗子	待路線復駛後使用
33	一號隧道	待查	單線	瑞芳 - 八斗子	待路線復駛後使用
34	二號隧道	待查	單線	八斗子 - 深澳電廠	廢棄
35	三號隧道	待查	單線	瑞濱 - 海濱	廢棄
36	四號隧道	待查	單線	海濱 - 濂洞	廢棄

東勢線 1991.9.1 停駛

No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
37	東勢隧道	23	單線	梅子 - 東勢	成爲東豐自行車綠廊一部

淡水線 1988.7.16 停駛

No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
38	關渡隧道	120	單線	關渡 - 竹圍	1997 改爲台北捷運淡水線之雙線隧道

### 作者學經歷檔案

陳鴻麟，1959年生於台灣屏東，1982年淡江大學土木系畢業，1993年交通大學交通運輸研究所畢業，土木技師高考及格，鐵路特考員級、高員級及格。1986年進入鐵路局服務，歷任工務處橋隧科助理工務員、工務員、幫工程司、副工程司、正工程司、副長級正工程司。職務經歷：工務處橋隧科隧道股股長、橋梁股股長、台北工務段副段長、宜蘭工務段段長、台北工務段段長，工務處橋隧科科長、副處長。山線雙軌工程處三義施工所主任，土木組長，專案工程處處長等職。

E\_mail：honling.chen@msa.hinet.net

# 目 錄

目 錄.....	1
<b>1、緒章 .....</b>	<b>4</b>
1.1 定義 .....	4
1.2 隧道簡史 .....	5
1.3 鐵路隧道 .....	7
1.4 台灣鐵路隧道.....	10
<b>2、隧道基本構造 .....</b>	<b>11</b>
<b>3、隧道種類與型式 .....</b>	<b>14</b>
3.1 鐵路隧道分類.....	14
3.2 鐵路隧道形狀與淨空 .....	17
3.3 鐵路隧道洞門.....	20
<b>4、隧道結構與型式之演進 .....</b>	<b>24</b>
4.1、隧道施工方法之演進 .....	24
4.1.1 人工及機械開鑿時期.....	24
4.1.2 炸藥運用時期.....	27
4.1.3 施工機械自動化時期.....	30
4.2、隧道結構之演進 .....	32
<b>5、台灣鐵路隧道 .....</b>	<b>36</b>
5.1 縱貫線鐵路隧道 .....	36
5.1.1 台灣鐵路隧道之始.....	36
5.1.2 竹仔嶺隧道沿革.....	37
5.1.3 台北地下鐵路隧道.....	38
5.1.4 其他縱貫線鐵路隧道 .....	42
5.2 台中線鐵路隧道 .....	43
5.3 東線鐵路隧道.....	45
5.4 宜蘭線鐵路隧道 .....	47
5.5 北迴線鐵路隧道 .....	50
5.6 南迴線鐵路隧道 .....	53
5.7 各支線鐵路隧道 .....	59
5.7.1 內灣線鐵路隧道.....	59
5.7.2 平溪線鐵路隧道.....	60

5.7.3 集集線鐵路隧道.....	61
5.7.4 其他支線鐵路隧道.....	63
<b>6、隧道工程三部曲：規劃、設計與施工.....</b>	<b>64</b>
6.1 三義隧道工程簡介 .....	64
6.1.1 興建緣起.....	64
6.1.2 工程範圍.....	64
6.1.3 地質條件.....	65
6.1.4 設計與施工.....	66
6.1.5 施工作業流程 .....	66
6.1.6 環保措施.....	68
6.2 隧道工程規劃.....	68
6.2.1 地質調查.....	68
6.2.2 選線原則.....	73
6.3 隧道設計__NATM 之基本設計 .....	76
6.3.1 工程地質特性 .....	76
6.3.2 水文地質特性 .....	76
6.3.3 地震活動.....	77
6.3.4 岩體分類.....	77
6.3.5 主隧道基本設計.....	80
6.3.6 穿越高速公路段.....	81
6.4 隧道施工__NATM 之施工 .....	82
6.4.1 主隧道施工.....	82
6.4.2 豎井施工.....	85
6.4.3 穿越高速公路段之施工.....	87
6.5 總結 .....	93
6.6 集集地震災害搶修與復舊 .....	93
<b>7、隧道災害搶修 .....</b>	<b>94</b>
7.1 隧道口.....	94
7.2 隧道內淹水 .....	95
7.2.1 納莉颱風台北地下隧道災害搶修與復舊.....	96
7.3 隧道壁體劣化與剝落.....	101
7.4 地震對隧道的影響 .....	105
7.4.1 新山線三義 1 號隧道震後調查.....	106
7.4.2 舊山線隧道震後調查.....	111
7.4.3 震災損傷及破壞原因分析.....	113
7.5 三義隧道震災搶修與復舊工法 .....	115
7.5.1 復舊對策與流程.....	115



7.5.2 三義隧道之震害修復.....	116
<b>8、隧道安全.....</b>	<b>122</b>
8.1 隧道檢查.....	122
8.1.1 檢查之目的.....	122
8.1.2 檢查之依據.....	122
8.1.3 檢查之種類與內容.....	122
8.2 隧道消防設施.....	125
8.3 隧道通風口及逃生避難設施.....	126
<b>9、隧道內之行車事故與處理.....</b>	<b>129</b>
9.1 新南澳隧道內貨物列車追撞事故搶修.....	129
9.2 新南澳隧道概述.....	129
9.2.1 土建結構物.....	129
9.2.2 軌道結構.....	131
9.3 事故發生及搶修經過.....	132
9.3.1 事故發生經過.....	132
9.3.2 搶修經過（動員人力、機具、方法等）.....	134
9.4 總結.....	136
<b>10、現階段的隧道維修與管理.....</b>	<b>142</b>
10.1 隧道維修與補強.....	142
10.2 隧道補強對策與工法.....	143
10.2.1.剝落對策.....	143
10.2.2.裂縫對策.....	145
10.2.3.漏水對策.....	146
10.2.4.其它對策.....	148
<b>參考文獻.....</b>	<b>149</b>
<b>附錄一 台灣鐵路隧道表.....</b>	<b>151</b>
<b>附錄二、台灣鐵路局廢棄隧道一覽表.....</b>	<b>156</b>

# 1、緒章

## 1.1 定義

何謂「隧道」？簡而言之，可以如此定義：「不挖除地層上方岩石或土壤而建造的地下通道」。

據此，則可以稱為「隧道」的地下結構體數量，豈不多到難以數計？  
也不盡然！

定義上既說明是「建造」出來的，當然也得以人工完成的才算，所以，範圍縮小至人類所開鑿的「地下通道」。早期人類於穴居時代，除了利用天然洞穴外，即學會逐漸以人工方式開鑿供居住的洞窟，但這些洞穴並不是相互聯通，足以提供往來交通使用的通道，故仍不能稱為「隧道」。

歸納起來，堪稱之為「隧道」者，至少應包括下列幾項要素：

- 1、地面以下的結構體。
- 2、由人工或機具所建造。
- 3、有出入口可連通兩個以上端點。
- 4、能供物資流通或人類交通使用。

至於本書中所述的「鐵路隧道」，除了上述條件外，則是專指火車、鐵路被運用於人類交通及貨物運輸以後，所開鑿的隧道而言。



## 1.2 隧道簡史

迄今所知最古老的「隧道」，約出現於 4000 年前（西元前 2180～前 2160 年），為古巴比倫的希米拉米斯皇后時代，也是第一座為交通目的而建造的隧道。古巴比倫人為了連通皇宮與位在幼發拉底河對岸的神廟，建造了一條穿越河床底下的隧道，長約 1 公里，斷面為 3.6 公尺×4.5 公尺，初步使用了支撐、襯砌等技術，可以說是最早期的隧道施工技術了。不過當時並沒有地下挖掘技術，而是採用明挖法，即是先將河流改道，待隧道施工完成後，再將移除的土石回填，恢復河床面。

上述古巴比倫隧道結構完善，側壁是用天然瀝青灰漿砌磚，頂蓋則覆以拱形襯砌。顯然，古巴比倫人早已累積了相當高明的隧道建造技術與方法，也能利用適當材料做成隧道施工所需的基本元件，如磚塊、擋土版、支撐桿件等。

此外，在埃及古墓與廟宇的考古中，也發現許多數千年前建於岩石中的隧道。而在中國發掘的古墓穴中也多留有夯土形成的隧道，做為棺槨運送通道及人員進出走道，其壁體有砌石、砌磚、木構支撐等。

城牆興起之後，開鑿隧道成為攻城戰的方法之一，挖掘隧道用以破壞城牆、堡壘，或直接通達城內，這種作戰方式同時出現於東西方文明。二千多年前的羅馬人與希臘人間的城堡爭奪戰，即使用隧道挖掘戰法，直接潛入城內；中國則出現於戰國初期，在《墨子》一書中提出了十二種攻城方法，其中便有：「穴、空洞」兩種挖掘隧道的戰法。

約 2700 年前，猶太人在耶路撒冷興建一條 200 公尺長的隧道，內部斷面 0.7m×0.7m，用以引泉水至城內。另在薩摩斯島上的希臘隧道，建於 2600 年前，長 1.5 公里，斷面 1.8m×1.8m，其目的也是為了給水。最有名的給水隧道是 1800 年前雅典時代的哈德良王朝所建，迄今仍為羅馬市政府自來水廠使用，已成為觀光景點。

中世紀黑暗時代，匈牙利人曾在薩麥克班亞地方建造一條長達 5.6 公里的排水隧道，在當時可稱之為世界第一。這些早期的岩石隧道，開鑿時已使用黑色炸藥，在此之前，開鑿岩石是用錘、楔、人力，有時將岩石燒熱，在噴以冷水，使岩石突然縮收而龜裂，利用的是熱脹冷縮原理。隧道開鑿技術在人類學會運用炸藥之後，快速進展，開始出現長達數公里的隧道。

西元前 36 年，古意大利人在那不勒斯和普佐里之間開鑿的「普西里伯道路隧道」，長約 1500 公尺，寬 8 公尺，高 9 公尺，是在凝灰岩中鑿成的一條長隧道。而中國最早用於交通的隧道是古褒斜道上的石門隧道(圖 1.2-1)、(圖 1.2-2)，建成於東漢永平九年(西元 66 年)。古隧道為省去襯砌，多建於較堅硬的岩石中。由於缺乏比較完善的工具和設備，當時隧道的修築技術水平很低，一座很短的隧道大多需十幾年至幾十年的時間才能建成。



(圖 1.2-1、圖 1.2-2) 中國陝西省石門隧道

19 世紀 20 年代，蒸汽機的出現以及鐵路和煉鋼工業的發展，促進了隧道及地下工程的發展。1826~1830 年在英國利物浦至曼徹斯特間的路線上，於硬岩中修建了兩座最早的鐵路隧道。1843 年在英國泰晤士河，修建了第一條水底道路隧道。1860 年開始修建倫敦地下鐵道。這個時期在歐洲大陸還修建了幾座較長的鐵路公路隧道，如瑞士辛普朗鐵路隧道(長 19.8 公里)、聖哥達公路隧道等；隨著施工技術的發展，還修建了不少穿越江河的水底隧道。

但一直到 20 世紀 50 年代，人們才逐步總結出各種類型隧道及地下工程的規劃、設計和施工的基本原理，在土木工程中逐漸形成了一個獨立的工程領域。

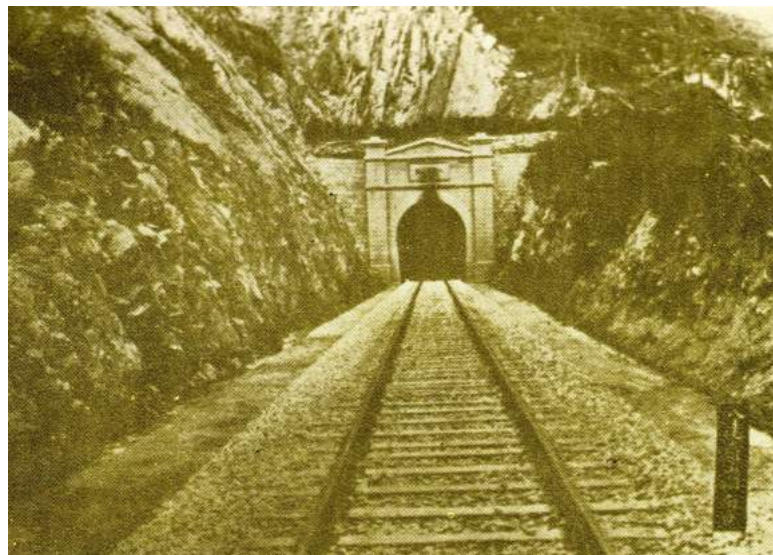


圖 1.2-3 中國京張鐵路八達嶺隧道

### 1.3 鐵路隧道

所謂鐵路隧道，是指修建在地下或水下並鋪設鐵路供機車車輛通行的建築物。根據其所在位置可分為三大類：第一類，為縮短距離和避免大坡道而從山嶺或丘陵下穿越的稱為山岳隧道。第二類，為穿越河流或海峽而從河下或海底通過的稱為水下隧道。第三類，為適應鐵路通過大城市的需要而在城市地下穿越的稱為城市隧道。三類隧道中，修建最多的是山岳隧道。

鐵路線路在穿越天然高程或平面障礙時修建的地下通道。高程障礙是指地面起伏較大的地形障礙，如分水嶺、山峰、丘陵、峽谷等。平面障礙是指江河、湖泊、海灣、城鎮、工礦企業、地質不良地段等。鐵路隧道是克服高程障礙的有效方法，有時甚至是唯一的方法。它可使線路的標高降低、長度縮短並減緩其縱向坡度，而提高運量和行車速度。鐵路線路遇到平面障礙時，可採用繞行或隧道穿越兩種方法。前者往往是不經濟的甚至是不可能的，如江河、海峽等，採用隧道則常是一種最好的解決方法。

自英國於 1826 年起在蒸汽機車牽引的鐵路上開始修建長 770 公尺的泰勒山單線隧道和長 2474 公尺的維多利亞雙線隧道以來，英、美、法等國相繼修建了大量鐵路隧道。截至 2006 年底最長的是瑞士的勒奇山隧道（Loetschberg），總長 34 公里，1994 年開始開鑿，2005 年 4 月 28 日貫通，2007 年正式通車，中國青藏鐵路風火山隧道全長 1338 公尺，軌面標高 4905 公尺，是現今世界最高的標準軌距鐵路隧道(截至 2006 年底)。在 19 世紀 60 年代以前，修建的隧道都用人工鑿孔和黑火藥爆破方法施工。1861 年修建穿越阿爾卑斯山脈的仙尼斯峰鐵路隧道時，首次應用風動鑿岩機代替人工鑿孔。1867 年修建美國胡薩克鐵路隧道時，開始採用硝化甘油炸藥代替黑火藥，使隧道施工技術及速度得到進一步發展。

在 20 世紀初期，歐洲和北美洲一些國家鐵路形成鐵路網，其中較長的瑞士和義大利間的辛普朗鐵路隧道長 19.8 公里。美國長約 12.5 公里的新喀斯喀特鐵路隧道和加拿大長約 8.1 公里的康諾特鐵路隧道都採用中央導坑法施工。其施工平均年進度分別為 4.1 和 4.5 公里，是當時最快的施工進度。至 1950 年，世界鐵路隧道最多的國家有義大利、日本、法國和美國。日本至 20 世紀 70 年代末，總建成的鐵路隧道約 3800 座，總長約 1850 公里，其中 5 公里以上的長隧道達 60 座，為世界上鐵路長隧道最多的國家。1974 年建成的新關門雙線隧道，長 18675 公尺，為當時世界最長的海底鐵路隧道。1981 年建成的大清水雙線隧道，長 22228 公尺，為世界最長的山嶺鐵路隧道。連接本州和北海道的青函海底隧道，長達 53850 公尺，為當今世界最長的海底鐵路隧道。

20 世紀 60 年代以來，隧道機械化施工水準有很大提高。全斷面液壓鑿岩台車和其他大型施工機具相繼用於隧道施工。噴錨技術的發展和新奧法的應用為隧道工程開闢了新的途徑。掘進機的採用徹底改變了隧道開挖的鑽爆方式。盾構構造不斷

完善，已成為鬆軟、含水地層修建隧道最有效的工具。世界上長度超過 15 公里的鐵路隧道如（表 1.3-1）所示，從表中也可看出，隨著施工技術的日新月異，隧道有愈做愈長的趨勢，尤以近年來高速鐵路發展快速，竟出現幾座長達 50 公里以上的隧道。

表 1.3-1 世界上長度超過 15 公里的鐵路隧道表

隧道名稱	所在國家	總長度（公尺）	軌道數	建造年代
大清水	日本	22800	雙	1971~1979
辛普朗 I 號	瑞士~義大利	19803	單	1893~1906
辛普朗 II 號	瑞士~義大利	19323	單	1912~1923
新關門	日本	18713	雙	1970~1975
亞平寧	義大利	18579	雙	1920~1934
六甲	日本	16250	雙	1967~1971
樺名	日本	15350	雙	1972~1980
聖馬爾科	義大利	15040	單	1961~1970
金井	韓國（南韓）	20333	雙（高鐵）	1998~2004
Vaglia	義大利	18561	雙（高鐵）	1996~2006
青函海底	日本	53850	雙	1964~1988
英法海底	英國~法國	49000	雙（高鐵）	1987~1993
列奇堡	瑞士	34000	雙（高鐵）	1998~2007
聖哥達	瑞士	57000	雙（高鐵）	1998~施工中
瓜達拉馬	西班牙	28377	單（雙線）	2002~施工中



圖 1.3-1 日本青函海底隧道

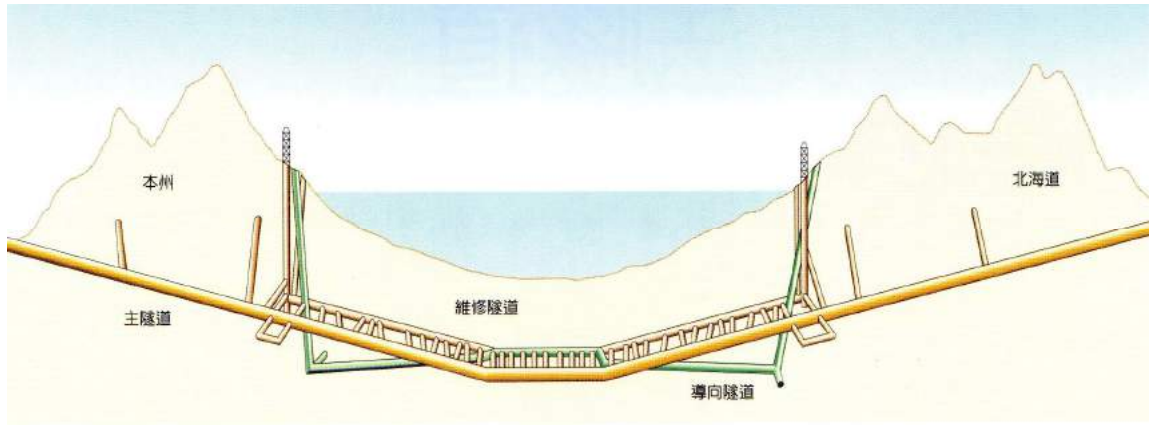


圖 1.3-2 日本青函海底隧道

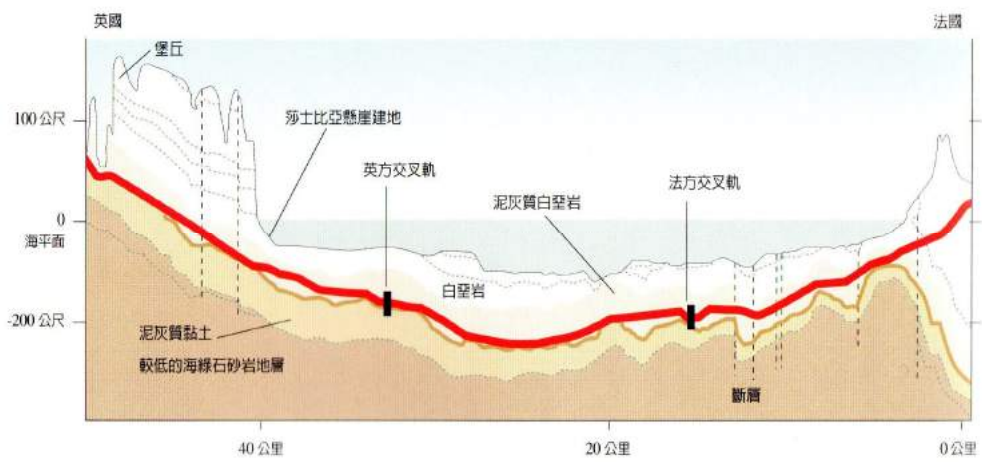


圖 1.3-3 英法海底隧道

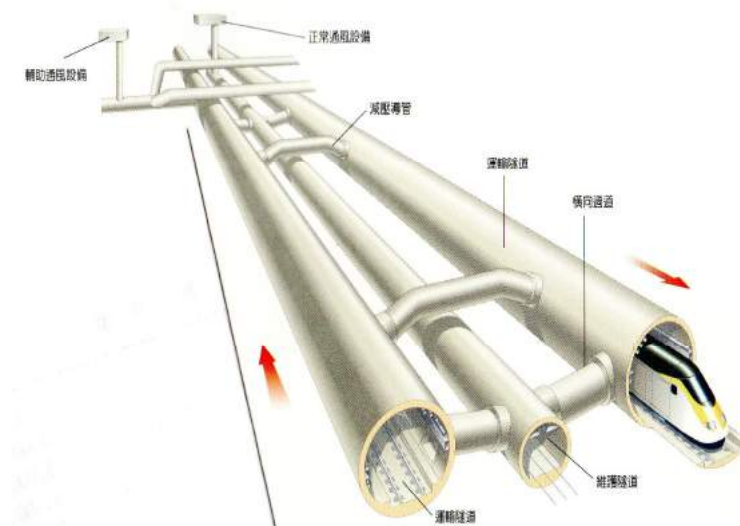


圖 1.3-4 英法海底隧道

## 1.4 台灣鐵路隧道

台灣鐵路於 1887 年開工創建（清光緒十三年），首段路線「基隆至台北」開通於 1891 年（清光緒十七年），迄今已歷 120 年，由於早期的鐵路建設以橋梁、隧道工程最為費工費時、造價昂貴，所以，當一段路線的重要橋梁、隧道完工時，也差不多是該段鐵路通車之時。尤其以穿越窮山峻嶺的隧道工程，是最為費時費工的關鍵工程。

台灣鐵路第一座隧道，也是最為國人所熟知的「獅球嶺隧道」，此隧道全長 235 公尺，為單線鐵路隧道。

很幸運地，這座台灣鐵路創建時最早開鑿的第一座隧道，直到現在仍保存良好，靜靜佇立於基隆市的獅球嶺上，供後人憑弔、緬懷先人創業之艱辛；而同等重要的橋梁，當年跨越基隆河的那座八堵橋，卻已遺蹤渺渺無覓處，此正反應出「橋梁」與「隧道」兩種結構體之基本特質。「橋梁」跨河，立足於河床上，河川流量多變，隨季節而時有災害，舊橋梁維修保存不易，常是一代新橋換舊橋；「隧道」穿山腹而過，山不易動，穩定度高，縱有路線更迭，興建新隧道，舊隧道也會被保留下來，或供儲藏、或供避難、或改為行人通道、或做為其他用途，所以，常見一代新隧伴舊隧，兩隧並存的現象。



## 2、隧道基本構造

隧道之基本構造可分為，隧道主體及隧道附屬設施兩部分；各與建造此隧道時之用途、隧道所在地質、當時的施工技術等條件有關。

隧道主體，一般係指隧道支保、襯砌、洞門、排水設施、路面等隧道結構體之總稱。隧道附屬設施，泛指隧道維持正常營運上所需之通風、照明、防災、電力、監控等附屬設施，包含上述附屬設施運作上所需之相關設備。

隧道於規劃設計階段一般先從路線之佈置與斷面大小等功能需求開始。隧道斷面大小則應符合行車空間，其平面線形與縱坡需符合鐵路規範要求外，尚需考慮曲線段之加寬現象。

隧道之佈置與設計應以地質為優先考慮之因素，選擇地質最佳之洞口與路線，同時就路線地質條件設計需要之隧道。隧道設計所需考量之基本因素，包括地盤特性、斷面形狀、開挖方法、地震、特殊荷重等。

斷面形狀：隧道內空斷面形狀與尺寸，除應含淨空斷面外，尚應包括配置附屬設備所需要之空間（包括通風、照明、防災、電力、內裝修飾等）及襯砌施工誤差需要之寬容量等，以確保隧道之安全性及經濟性。

此外，隧道施工階段所採用的工法、材料、開挖及支撐系統等，也對隧道完工後的基本構造、型態、甚至斷面形狀大小，造成一定程度的影響。例如，台鐵於施工東線鐵路自強隧道時，因產生重大災變，施工停滯，最後引進「新奧工法」解決，也因支撐方法做了重大改變，隧道的斷面、襯砌厚度、仰拱底版等皆與傳統工法所施做的隧道不同。尤有甚者，台鐵隧道施工時，亦嘗因覆蓋層不足，屢屢坍塌，最後，改採明挖工法施工，導致隧道斷面由橢圓形變為矩形，構造與主、附屬設施之配置也隨之改變。

以下各項構造，如襯砌與仰拱，為隧道基本構造元素；其他多係施工階段所採用的基本設施，一般並不視為隧道的永久結構，然而，對隧道而言，其重要性卻不亞於隧道永久結構的附屬設施，尤其是，對營運後之維修保養作業方面，施工過程的紀錄與施工方法、設施，乃至於災害搶修方法，都將對該隧道結構產生深遠的影響。

隧道支撐：包括初期支撐與二次支撐（混凝土襯砌）。初期支撐通常在隧道開挖後立即安裝，以支持地盤。通常以噴凝土及岩栓為之；二次支撐則用為初期支撐之防水或防火層，或改善其外觀、改進空氣或水之流通性。

傳統鋼支撐：當地質條件不適用於採岩栓或噴凝土或二者組成之支撐系

統，覆蓋淺且有偏壓之洞口段以及隧道分叉段，可考慮以鋼支撐系統代替岩栓－噴凝土支撐系統。鋼支撐一般採用 I 形鋼或 H 形鋼，斷面對稱之結構鋼。

二次支撐：一般係指混凝土襯砌，可分為：

裝飾性襯砌：視初期支撐為永久支撐，其能力足夠支持岩盤長期載重，無須再以二次襯砌補強。此時之二次襯砌以裝飾及改善通風性能為目的，為無筋混凝土。

結構性襯砌：初期支撐為鋼支撐、擠壓或膨脹性岩盤、長期潛變之岩盤、斷層帶、破碎帶、有高地下水壓或內壓之隧道等，其二次襯砌需承受各種不同之載重，是謂結構性襯砌，通常由鋼筋混凝土為之。

噴凝土：以提供地盤封面及形成薄殼承受荷重為目的。如遇噴凝土黏著不良之地盤、挖掘後自立性不良之地盤或變形較大之地盤，均可採用鋼線網或鋼纖維予以補強。

岩栓：以提供即時支撐，增加地盤強度、勁度及韌性為目的。岩栓是隧道圍岩之主要補強構件，局部安裝時可支持特定岩塊，避免鬆動墜落。成為系統安裝於隧道周圍時，可增強岩體之強度、勁度及韌性。目前使用之岩栓有全長螺紋鋼棒、竹節鋼棒、扭轉鋼棒。

鋼肋：其功能為在噴凝土與岩栓發揮作用前，提供部分支撐力，及補強噴凝土與岩栓構成之支撐系統。常用之鋼料有 H 型鋼、U 型鋼及輕型桁架。

傳統鋼支撐：由鋼支撐、鋼繫桿、木撐桿、木承載塊及木質或鋼矢板等組成立體結構。

仰拱：其功用在於閉合支撐系統，使開挖斷面岩體形成拱效應，以抑制隧道向內之變形。就功能上而言，初期支撐與二次支撐於必要時均應考量設置仰拱；當地質不良時，仰拱將與支撐構造成為一體以形成環圈，作為構造之一部份，增加其強度以抵抗地壓。仰拱由噴凝土、混凝土或鋼筋混凝土構築而成。

二次支撐：隧道開挖後以噴凝土、岩栓、鋼肋所形成的主要支撐構件可視為初期支撐（外襯砌）。俟外襯砌使隧道變位趨於安定後，再就地澆置之混凝土襯砌稱為二次支撐（內襯砌）。內襯砌之目的在提高水密性、防止漏水、提供隧道內部安全設施（照明、通風、消防、偵測等等機電設備）之安裝，及方便隧道之例行檢查與維護。內襯砌於鐵路隧道多為就地澆注之無筋混凝土，但地質不佳或變化地段，得檢討是否需用鋼筋混凝土取代。

洞門型式：洞門構造應具有安定洞口坡面及防範自然災害之功能，其造

形應與周圍景觀調和。洞門之型式可依形狀分為重力型、壁面型及突出型三類。

洞外銜接：隧道洞口與橋樑、路堤、渠道或擋土結構銜接時，應評估銜接結構物與隧道間相對位移與沉陷之影響。

防水設施：防水設施之目的係為提供隧道內乾燥環境，且為謀滲水不致對二次襯砌及隧道內設施有不良影響。防水設施一般有下列方式：

二次襯砌以水密性混凝土施作以減少收縮龜裂及蜂巢。

二次襯砌表面以水泥系材料塗敷。

二次襯砌表面以瀝青系、尿素系等流體狀塗料塗敷。

於二次襯砌混凝土外側，包覆防水膜。

排水設施：當允許地下水排入隧道時，隧道應設適當之進水管道及排水通路，以利排除。但同時仍應有適當之防水措施，拘限地下水儘從預設之管道進入隧道。

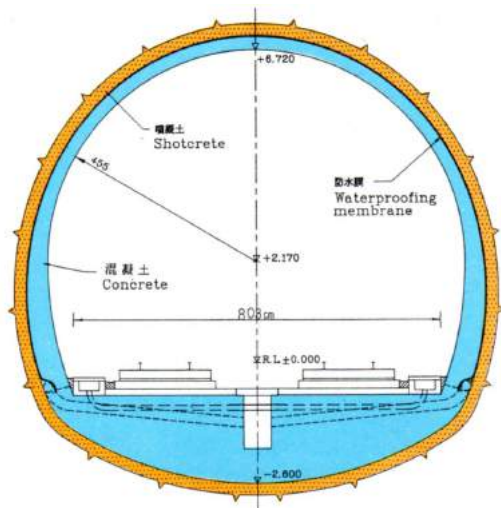


圖 2-1 台鐵隧道主要結構（標準型）

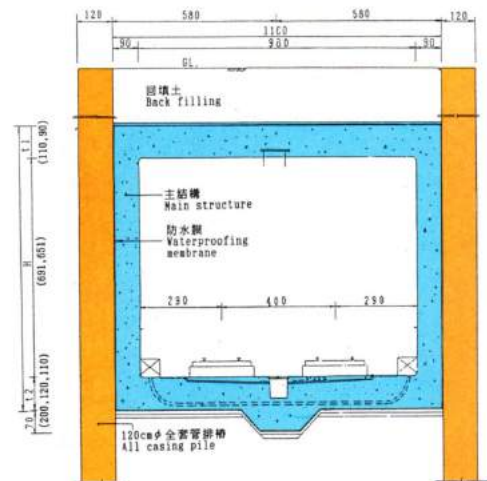


圖 2-2 台鐵隧道主要結構（矩形）

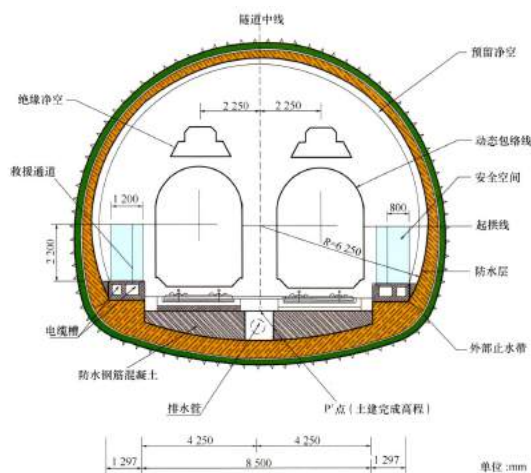
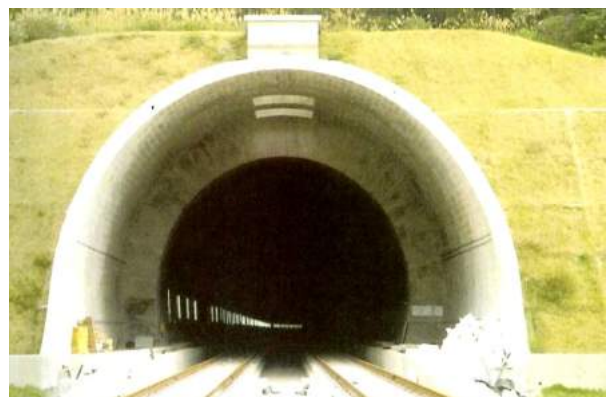


圖 2-3 台灣高鐵隧道主要斷面結構（標準型）



照片 2-1 台灣高鐵隧道

# 3、隧道種類與型式

## 3.1 鐵路隧道分類

隧道種類繁多，分類原則各依其目的與用途而異，例如演述隧道建築史，可依隧道的建造年代而分類，可依其用途、功能而分類，亦可依重要性而分類。對工程技術領域而言，隧道可依下列原則加以歸類。

### 一、依建造材料分類

- 1.天然岩盤隧道
- 2.木構造支撐隧道
- 3.塊石堆砌隧道
- 4.磚造隧道
- 5.混凝土隧道
- 6.鋼筋混凝土隧道
- 7.預鑄鋼筋混凝土節塊隧道
- 8.鋼纖維混凝土隧道
- 9.鋼構造（鋼版、鋼支保）隧道
- 10.鋼肋、鋼絲網及噴凝土混合構造隧道
- 11.多種材料複合式隧道

### 二、依建造目的與用途分類

1. 交通運輸隧道：包括鐵、公路、捷運、地鐵等運輸系統之隧道。
2. 給排水隧道
3. 維生系統通路隧道
4. 通風逃生隧道
5. 其他特殊用途隧道：如軍事作戰、儲藏等目的。

### 三、依隧道所在地之地質特性分類

1. 山岳隧道
2. 都會地區隧道
3. 河底隧道
4. 海底隧道

### 四、依斷面形狀分類

1. 馬蹄形隧道：台鐵早期隧道多屬此型。
2. 拱圈直立形隧道：頂拱圈半圓形或拱弧形、側壁直立，台鐵現有隧道多

屬此依類型。

3. 半圓形隧道：
4. 圓形隧道：
5. 橢圓形隧道：台鐵近年新建之隧道斷面多屬此類型
6. 矩形隧道：一般採用於鐵路的明挖隧道路段
7. 多孔型隧道：
8. 複合型隧道：
9. 扁圓蛋形隧道：
10. 多邊弧形組合型隧道

### 五、依施工方法分類

1. 傳統工法：
2. 鑽掘機械：
3. 全斷面自動機械施工法：
4. 沉箱隧道施工法
5. 潛盾工法
6. 新奧工法（NATM）：

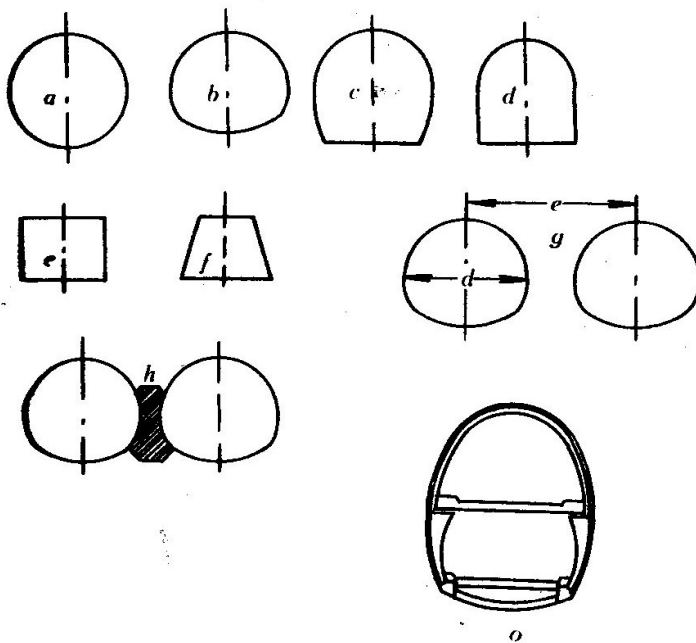


圖 3.1-1 各式隧道斷面形狀：a 圓形 b 橢圓 c 馬蹄形 d 拱圈直立形 e.f 矩形 g 多孔形 h 雙子形 o 雙層隧道

就鐵路隧道而言，又有傳統鐵路、高速鐵路、都市地鐵（捷運系統）、輕鐵、快鐵等區分，一般統稱之為「軌道」運輸系統，似較為貼切，至於「鐵路」一詞，在台灣似較偏向於專指「傳統鐵路」，也等於是台鐵的代名詞。但是縱然如前述，一再將範圍縮小至傳統的台鐵隧道，也有以下數種分類方式。

#### 一、依軌道數而分

- 1.單軌隧道
- 2.雙軌隧道
- 3.多軌隧道

#### 二、依電化淨空而分

- 1.電氣化區間隧道
- 2.非電氣化區間隧道

#### 三、依路線線形而分

- 1.直線段隧道
- 2.單曲線段隧道
- 3.複合曲線段隧道

此外，當然也能依建造材料分為磚造、混凝土造、鋼纖維噴凝土等；依形狀分為馬蹄形、圓拱形、矩形等；依地層條件分為都市地下型、山岳型、河底隧道等；或依地質條件分為礫石層、岩石層、土質層、破碎帶等；依通過山岳位置分為山腹型、坡角型等。

### 3.2 鐵路隧道形狀與淨空

隧道形狀不論如何改變，都必須滿足最小淨空需求，而淨空需求與該路線營運息息相關，路線上行駛的各型列車種類，各有其車輛界限，新車種採購時也必須受路線最小淨空的條件所限制。台鐵因車種繁多，路線興建期又處於不同年代，考量政府財政，計畫改建改線向來皆分階段實施，所以定有電化、非電化，一般建築、橋梁、隧道等多種建築界限。（圖 3.2-1~圖 3.2-4）

台中線鐵路原為建於日據時代，當時採用的馬蹄形斷面隧道，一直使用至鐵路電氣化時，面臨淨空不足問題，台鐵工程司採取的方法，是將隧道降挖至一定深度後，重鋪軌道。（施工照片 3.2-1~照片 3.2-6）

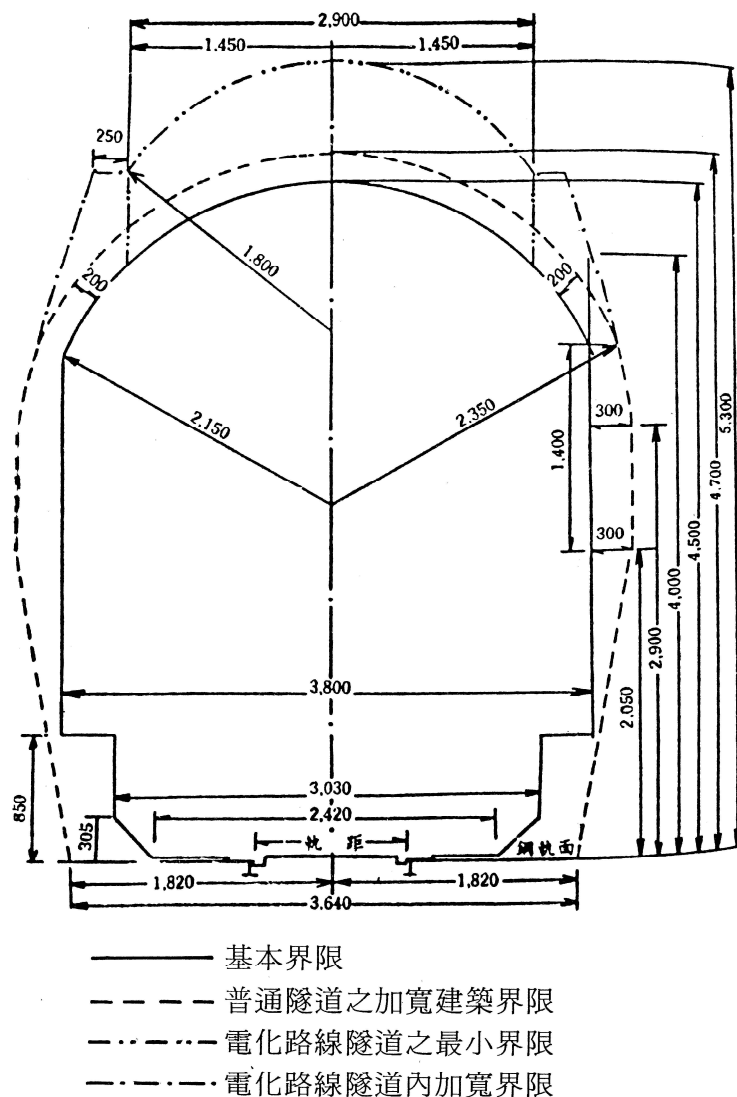


圖 3.2-1 新建電化路線隧道建築界限圖

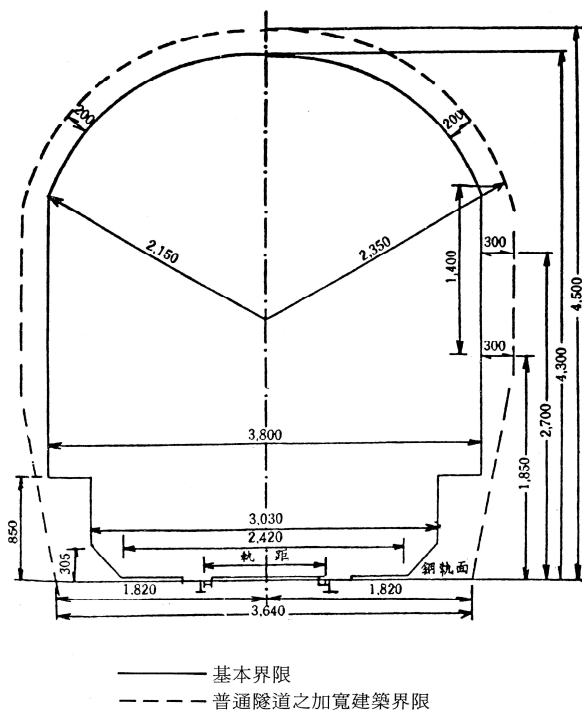


圖 3.2-2 非電化路線隧道建築界限圖

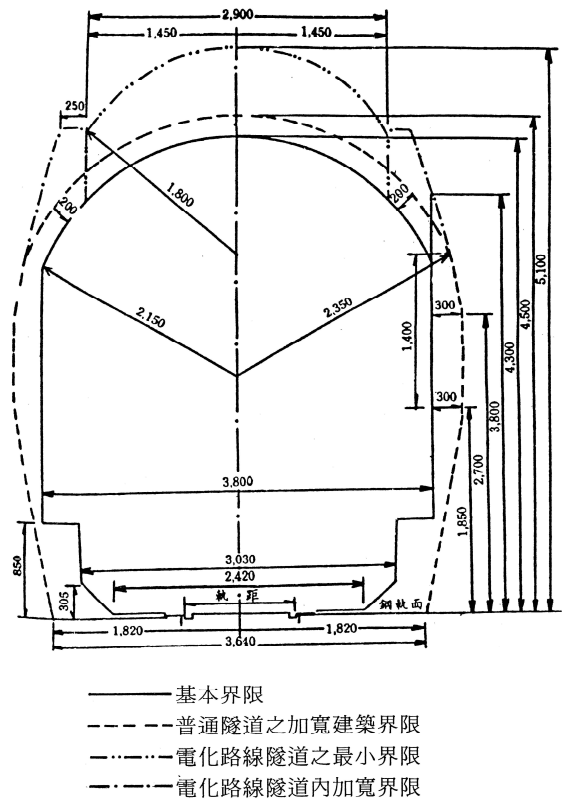


圖 3.2-3 改建電化路線隧道建築界限圖

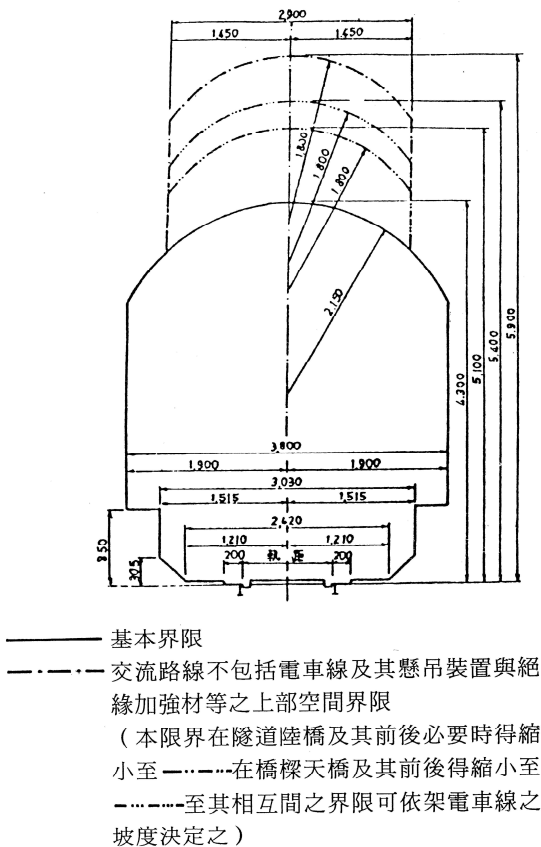


圖 3.2-4 改建電化路線建築界限圖





照片 3.2-1 台鐵隧道電化淨空改善工程



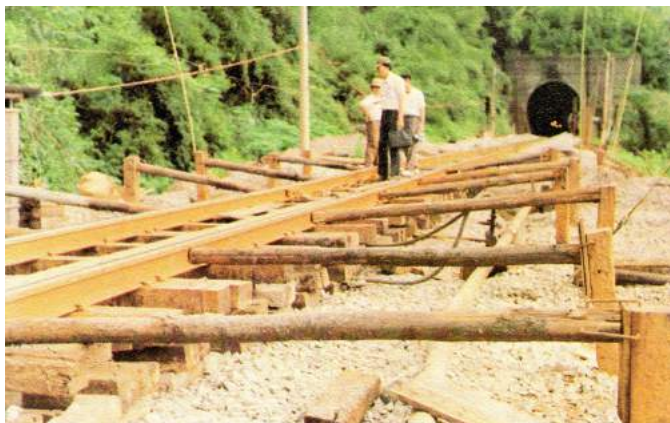
照片 3.2-2 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-3 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-4 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-5 台鐵隧道電化淨空改善工程



照片 3.2-6 台鐵隧道電化淨空改善工程

### 3.3 鐵路隧道洞門

隧道口洞門的作用在於支撐與擋土，來自正面仰坡和路塹邊坡的表土壓力，攔截坡面上方的木石滾落，並匯集坡面逕流水，引離隧道，以確保洞口路線的安全。隧道洞門聯繫襯砌和路塹，是整個隧道結構的主要組成部分，也是隧道進出口的標誌。（如圖 3.3-1 所示）

根據洞口地形、地質及襯砌類型等不同狀況，隧道洞門結構有以下幾種形式：  
（如圖 3.3-2~圖 3.3-11 所示）

- 一、 端牆式洞門：
- 二、 柱式式洞門：
- 三、 翼牆式洞門：
- 四、 耳牆式洞門：
- 五、 偏壓洞門：
- 六、 斜交洞門：
- 七、 明洞門：
- 八、 棚架式洞門：

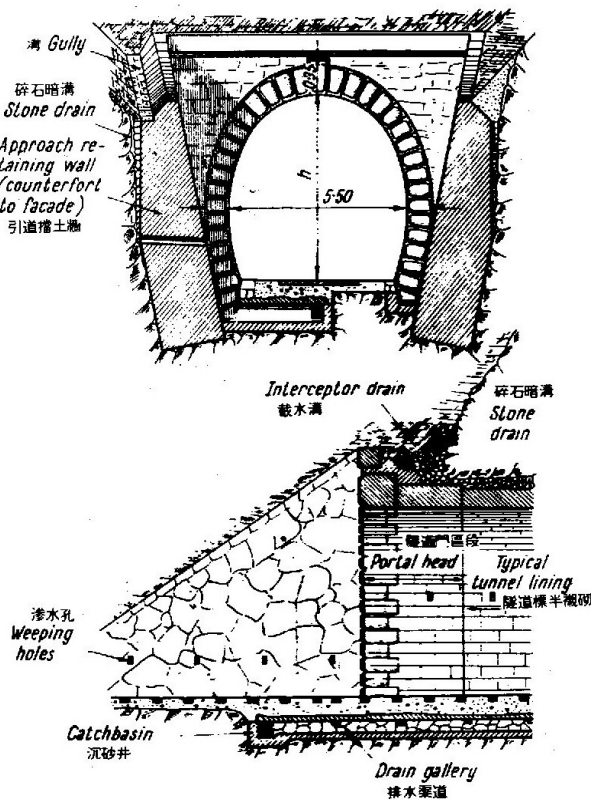


圖 3.3-1 鐵路隧道洞門（馬蹄形斷面）

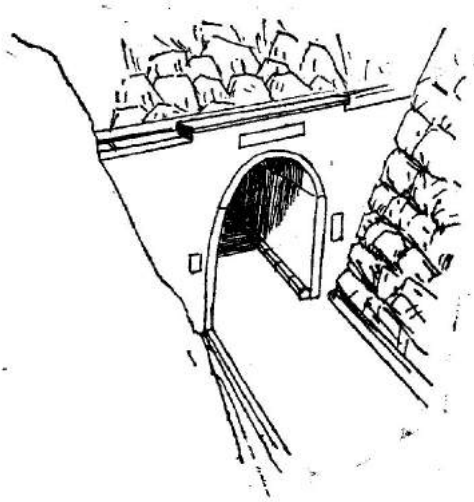


圖 3.3-2 端牆式隧道洞門

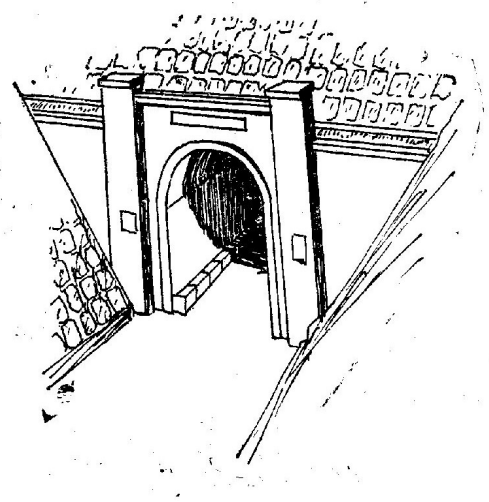


圖 3.3-3 柱式隧道洞門

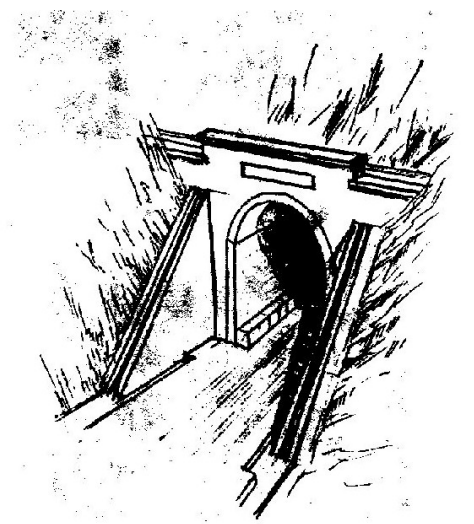


圖 3.3-4 翼牆式隧道洞門

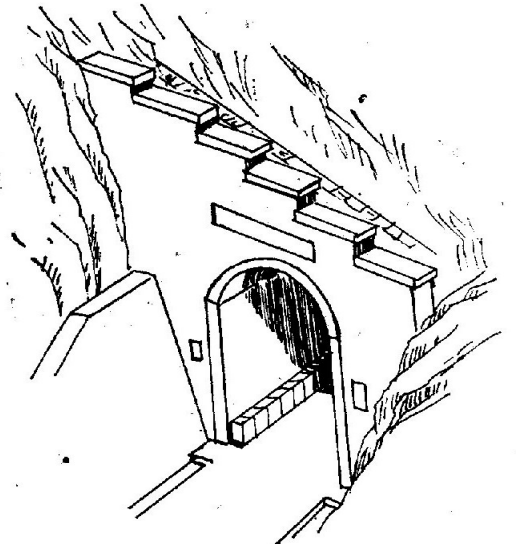


圖 3.3-5 偏壓隧道洞門

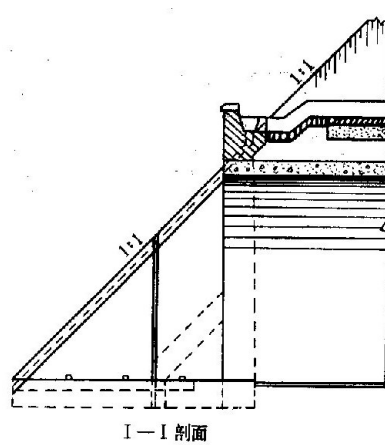
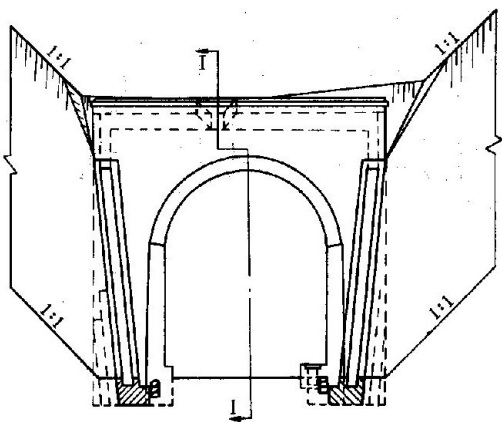


圖 3.3-6 翼牆式明隧道洞門

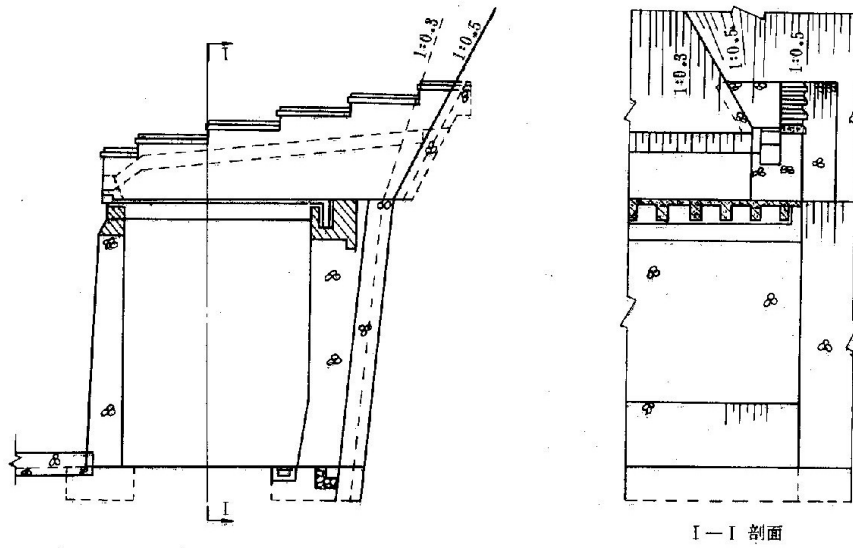


圖 3.3-7 棚架式明隧道及洞門

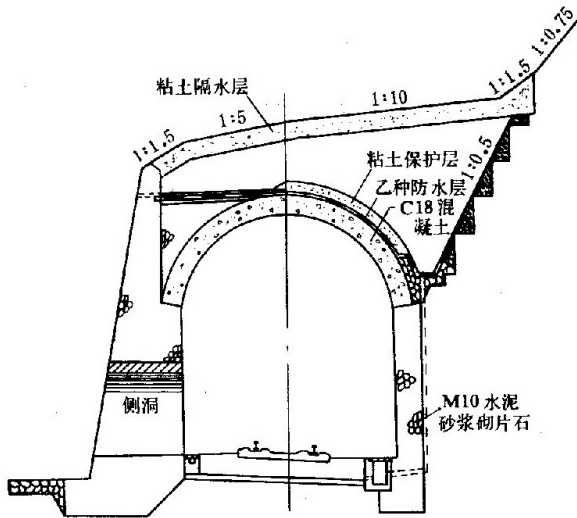


圖 3.3-8 單壓式拱型明隧道洞門

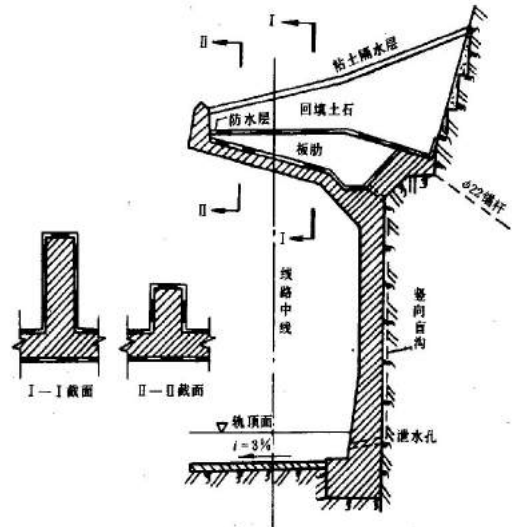


圖 3.3-9 懸臂式棚架明洞

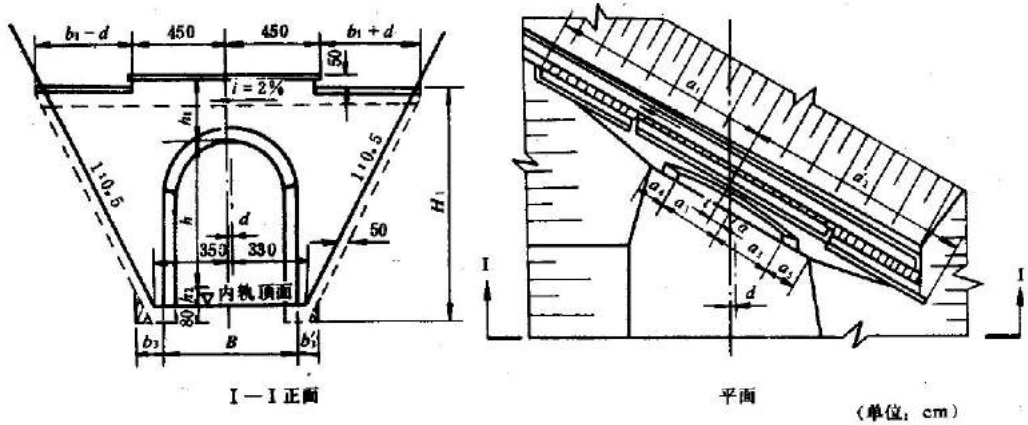


圖 3.3-10 斜交式隧道洞門

近來鐵路隧道之洞門設計亦為精緻化，除了考量景觀因素外，亦對列車進出洞口時之「活塞效應」多所研究，尤其是高鐵隧道，當列車以高速進入洞門時風壓陡升，對旅客舒適度將造成一定程度的影響，所以，洞門設計皆採斜切角度型態為主，如圖 3.3-11 所示及照片 3.3-1~3.3-8 所示。



照片 3.3-1 直切式洞門



照片 3.3-2 正切式洞門



照片 3.3-3 倒切式洞門



照片 3.3-4 曲線正切式洞門



照片 3.3-5 台灣高鐵隧道正切式洞門（八卦山隧道南口附近）

# 4、隧道結構與型式之演進

## 4.1、隧道施工方法之演進

隧道開鑿技術對隧道工程具決定性的影響，早期人類只能以人工方式開鑿隧道，縱有支撐系統的發明與演進，也無法在岩盤地質中開通長大隧道，直到火藥被運用作為隧道開鑿工具，長大隧道即紛紛出現，這是隧道工程的第一次大變革，此時，約當西元 1627 年間。爾後黑色炸藥開始被大量使用於隧道開鑿，直到 1864 年諾貝爾研發出黃色炸藥，隧道開鑿技術才又向前跨了一大步。

而隧道工程的第二次大變革則是發生在西元 1869 年間，機械式的全斷面鑽掘機、潛盾機等，被開發出來，應用於山岳區長隧道施工及都會地區的隧道工程。結果成就了跨國境、跨海峽的超長隧道，也使各大都會的地鐵系統蓬勃興起。然而，就交通建設工程的建造速度而言，隧道工程施工速度仍不及橋梁工程快速，所以，近年來各國新建地鐵系統，已紛紛採用高架陸橋形式。

### 4.1.1 人工及機械開鑿時期

最早期的隧道開鑿全靠人力，但隧道斷面積狹小，不可能同時多人在開挖面工作，所以開鑿速度非常慢，此一時期的隧道，屬於古代隧道。直到動力機械被運用，自人力、獸力、水利、風力，以至蒸氣機的發明、到內燃機等，相繼被運用於隧道工程技術，使得隧道開鑿速度突飛猛進；然而，這些機械主要仍須由人工操作。（如圖 4.1-1~圖 4.1-12 所示）

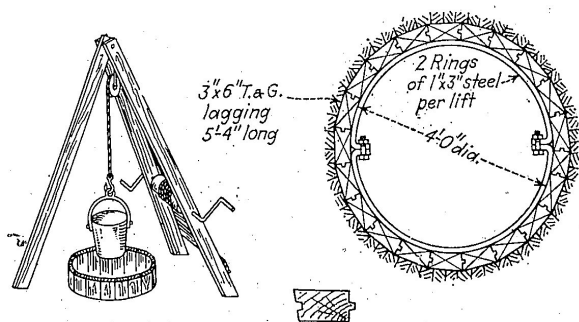


圖 4.1-1 早期隧道人工開挖施工與支撐

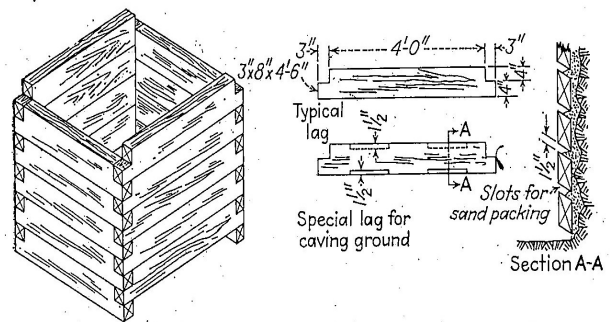


圖 4.1-2 早期隧道人工開挖施工支撐

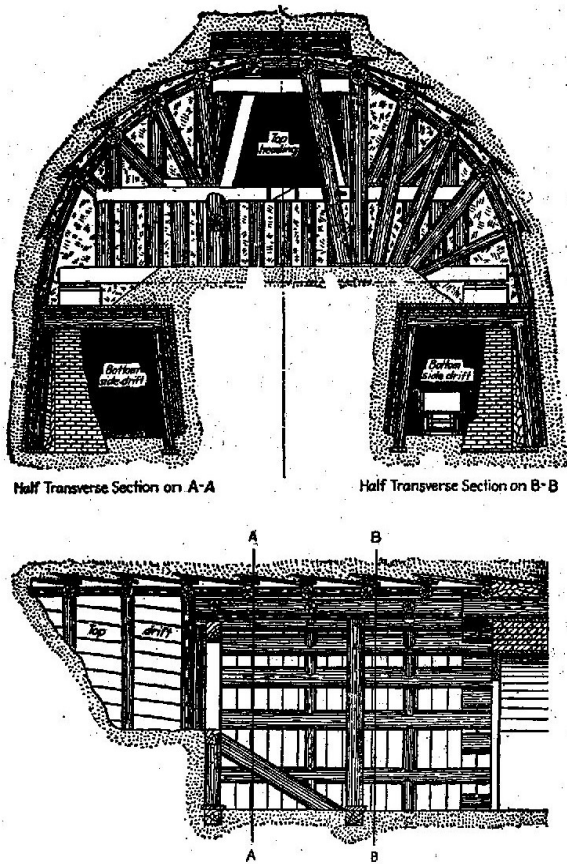


圖 4.1-3 美國巴爾迪摩鐵路隧道施工 (1891 年)

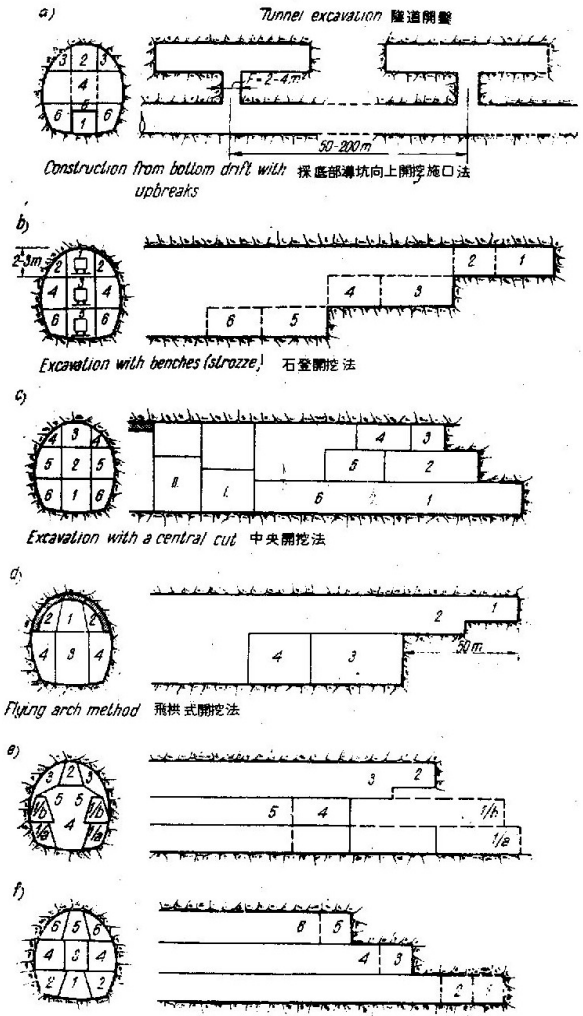


圖 4.1-4 早期鐵路隧道開挖施工步驟

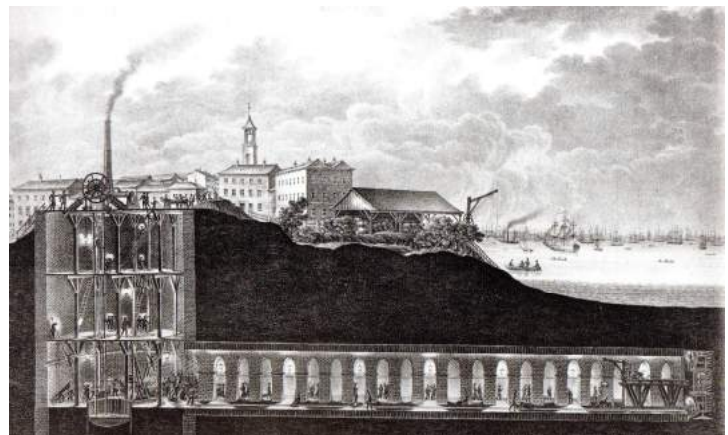
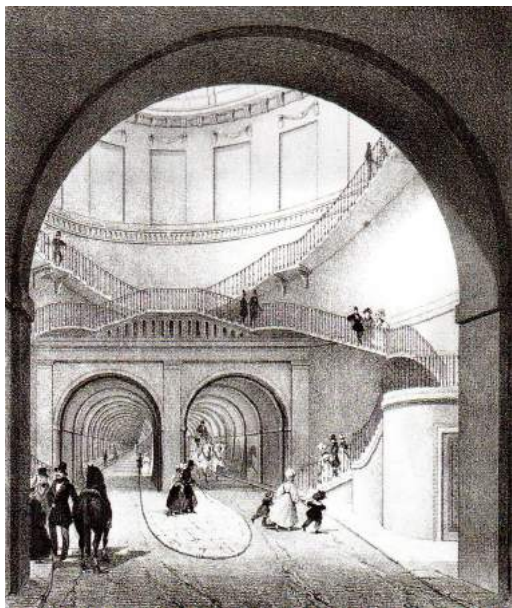


圖 4.1-5、4.1-6 英國泰晤士河水底道路隧道 施工

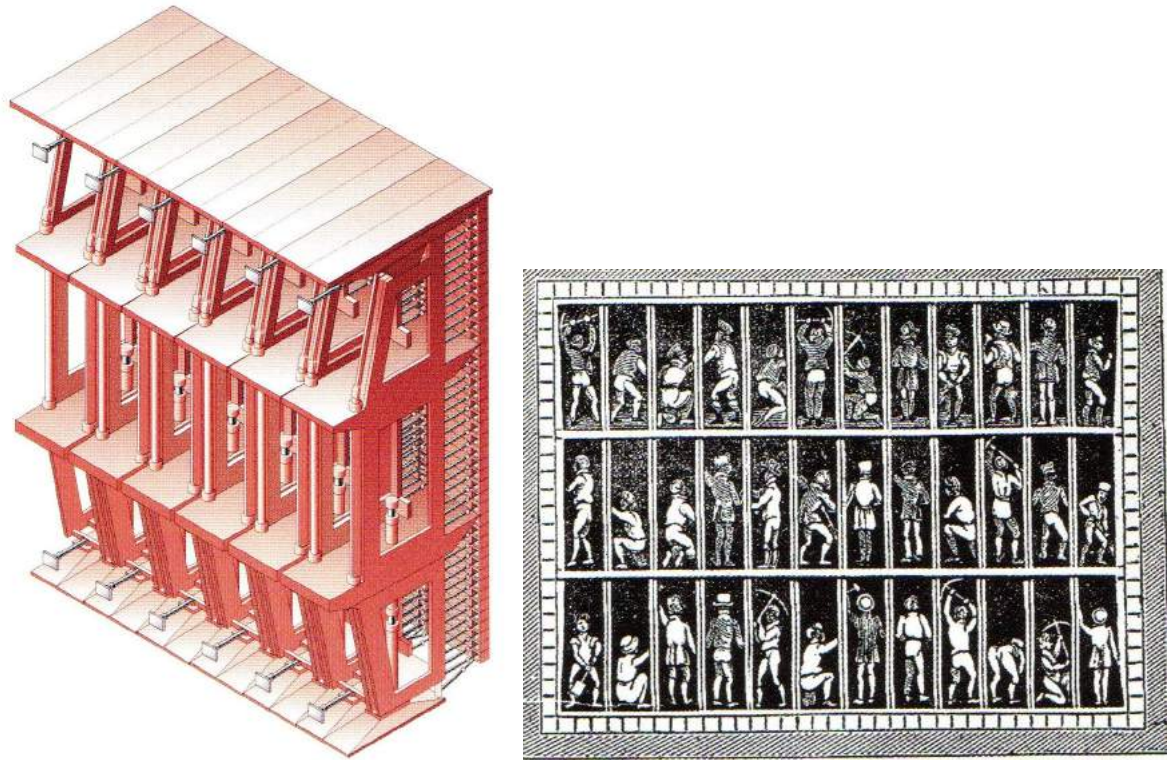


圖 4.1-7、4.1-8 英國泰晤士河水底道路隧道 施工盾構架

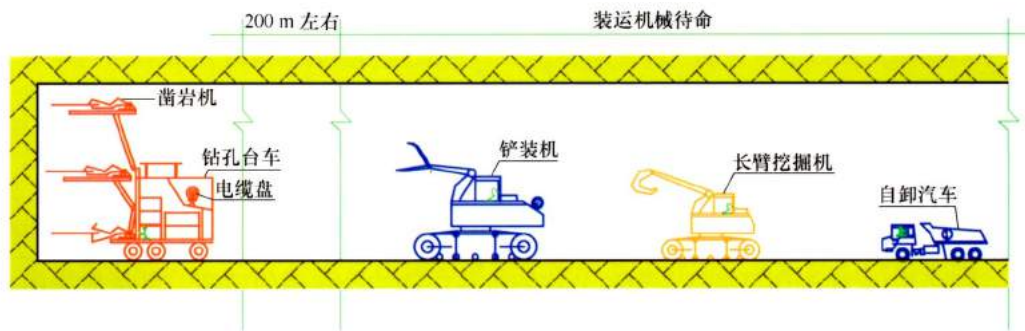


圖 4.1-9 隧道施工機械化作業(開挖.出碴)



圖 4.1-10 隧道施工機械化作業(岩錨.掛網.噴漿)



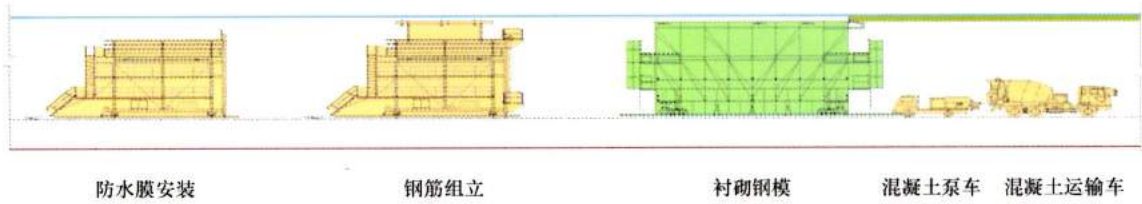


圖 4.1-11 隧道施工機械化作業(防水膜.襯砌)

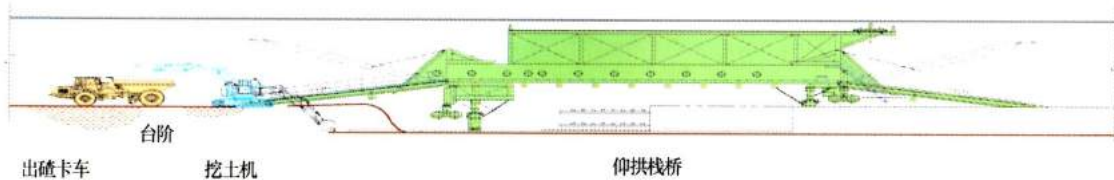


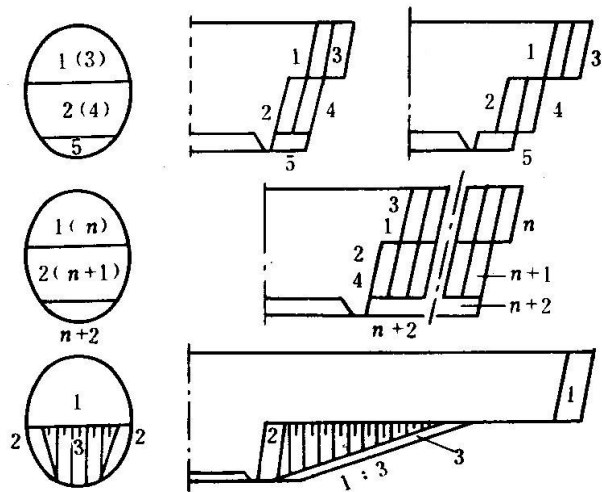
圖 4.1-12 隧道施工機械化作業(仰拱澆鑄)

#### 4.1.2 炸藥運用時期

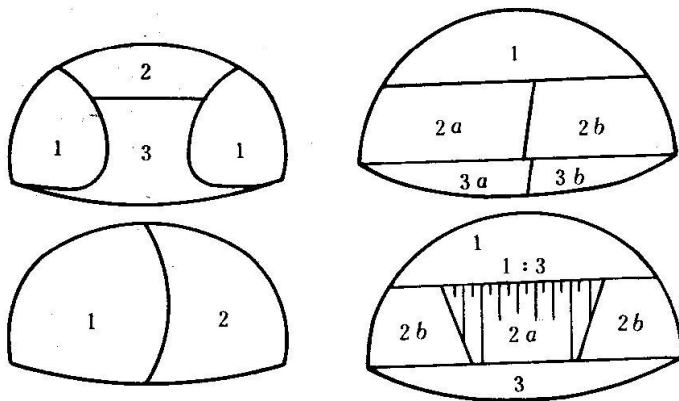
早在西元 1627 年，匈牙利便開始使用黑色炸藥開鑿隧道，隨著交通路網的發展，鐵公路路線必須穿越國境，通過山岳地帶，如阿爾卑斯山脈。要鑿穿數公里的堅硬岩石，如果沒有新的施工方法與開鑿機器的發明，幾乎不可能。

例如法國與義大利間穿越阿爾卑斯山脈的謝尼斯山鐵路隧道，全長 12.8 公里，於 1857 年開鑿施工，剛開始採用水壓鑿岩機，後來經研發人員改良為氣壓式鑽機，效率更高，但要鑿通十幾公里的山腹岩石，仍遙遙無期；碰巧 1864 年諾貝爾改良研發出黃色炸藥，立即被用於開鑿隧道工程上，此隧道終能於 1871 年順利完工通車。

國內鐵路隧道施工的進度，在人工機械開挖時期，前導坑開挖速度約可達到每月 30 公尺，後來引進新奧工法，開挖斷面更大，更有利於開挖面的爆破作業，炸藥品質、安裝與爆破技術也有長足的進步，前導坑掘進速度可達到每月 60 公尺以上，但整體的隧道施工進度，仍受災變次數、湧水、通風、襯砌等因素的影響。（如圖 4.1-7 及圖 4.1-8）



(a)



(b)

(c)

不同大小截面的开挖方式

(a) 开挖面  $F=32\sim 48\text{m}^2$ ; (b) 开挖面  $F=63\sim 82\text{m}^2$ ;

(c) 开挖面  $F=110\sim 157\text{m}^2$ 。

圖 4.1-7 各種斷面之隧道開挖 施工步驟示意圖

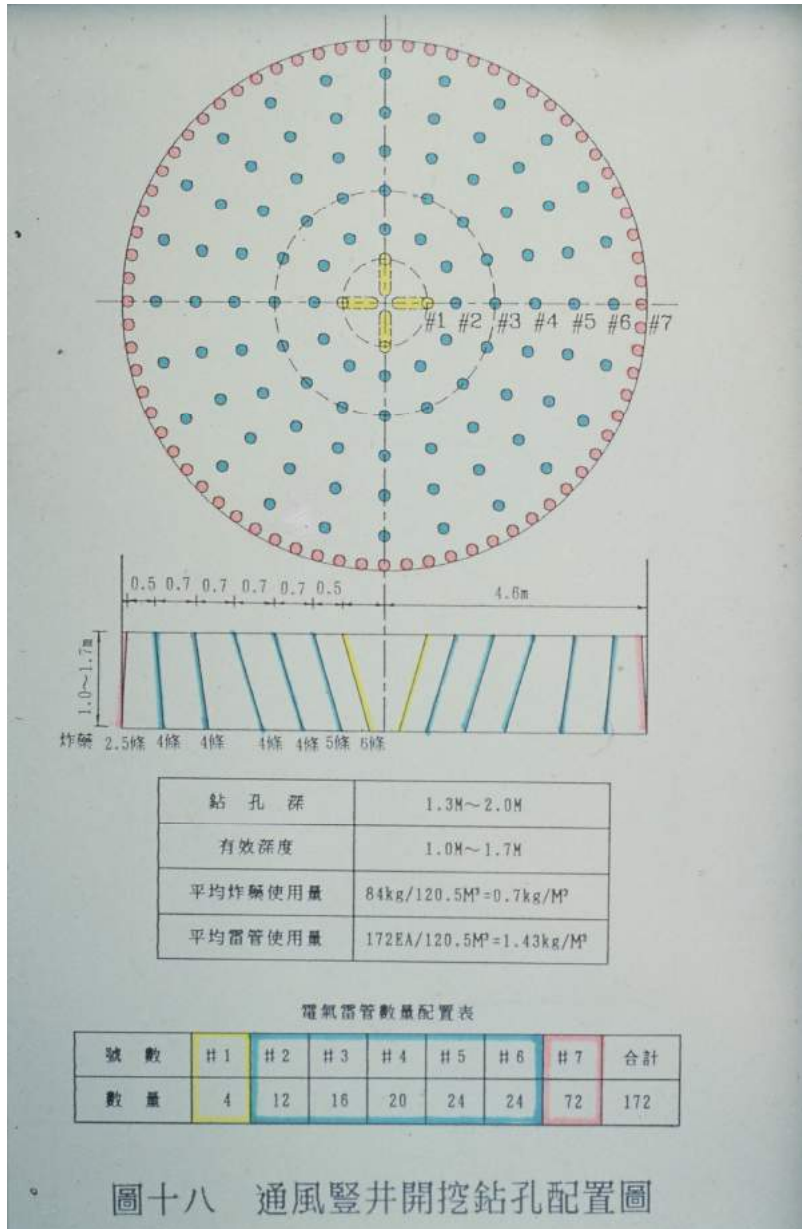


圖 4.1-8 隧道開挖 鑽孔炸藥裝填施工步驟示意圖

### 4.1.3 施工機械自動化時期

爲了開鑿超長隧道，如穿越阿爾卑斯山脈隧道、或橫過英吉利海峽的海底隧道，全斷面隧道鑽掘機被研發出來，並不斷改良，在都會地下型隧道施工，則發展潛盾式全斷面隧道鑽掘機，將隧道鑽掘作業流程標準化，如同工廠生產線一般，使隧道工程進度可達到每月 200 公尺以上。



照片 4.1-1 英法海底隧道施工時之全斷面鑽掘機

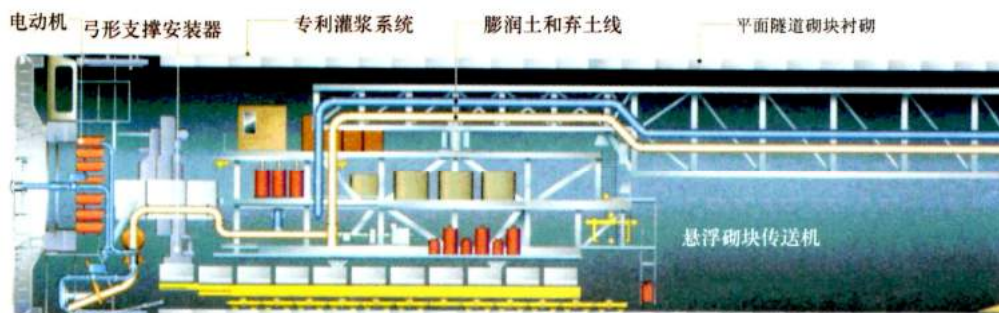


圖 4.1-9 荷蘭 潛盾式全斷面鑽掘機構造示意圖



照片 4.1-2 隧道鑽掘機 TBM (tunnel boring machine)



(a) 網格式盾構



(b) 插刀盾構

敞開式盾構



(a) 辐条式盾構



(b) 面板式盾構

封闭式盾構



(a) 复合式盾構



(b) 复合式盾構

圖 4.1-10 各式全斷面隧道鑽掘機示意圖

台灣鐵公路隧道施工亦曾先後引進全斷面隧道鑽掘機，可惜皆以失敗收場，較為知名的案例是台鐵局於興建北迴線時，觀音隧道工程施工引進稱為「鑽寶」的隧道鑽掘機，但因經常遇到破碎帶湧水與坍孔，至整部機械被埋，搶救、修復不堪負荷，最後只好放棄，改採傳統工法。較近的案例是公路局的北宜高速公路「雪山隧道」施工，也引進當時號稱世界最先進的全斷面隧道鑽掘機，稱之為「大約翰」，施工進度更樂觀地預估可達每月 200 公尺，結果也是災變不斷，損失慘重，最後，

仍舊是依靠改良式的台灣版「新奧工法」完成。

推究「全斷面隧道鑽掘機」在台灣水土不服的原因，在於台灣山岳地區多處斷層帶，地質極為破碎、地下水層豐富多變，與歐美地區的地質條件完全不同。然而，台灣在都會區地下隧道工程，引進的「潛盾式全斷面隧道鑽掘機」，卻是成功的，因土壤性質縱有不同，地質調查可以做到很精確，預知開挖面狀況，在機械特性可容許範圍內，擬妥對策或應變措施；而在山岳隧道，則地質調查無法取得足夠的直接數據。

## 4.2、隧道結構之演進

隧道結構依建造年代，約可分為以下幾種型式，次第演進。

- 一、天然岩盤人力開鑿而成的隧道，不加襯砌與支撐。
- 二、天然地盤人力開鑿而成的隧道，加木支撐。
- 三、人工機械開鑿而成的隧道，加塊石襯砌。
- 四、人工機械開鑿而成的隧道，加磚襯砌。
- 五、人工機械開鑿而成的隧道，加混凝土襯砌。
- 六、人工機械開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土襯砌。
- 七、人工機械開鑿而成的隧道，加鋼纖維噴凝土壁體。
- 八、潛盾式全斷面鑽掘機開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土預鑄環片襯砌。
- 九、全斷面鑽掘機開鑿而成的隧道，加鋼筋混凝土預鑄環片襯砌。



圖 4.2-1 早期人工開鑿隧道（天然岩洞）

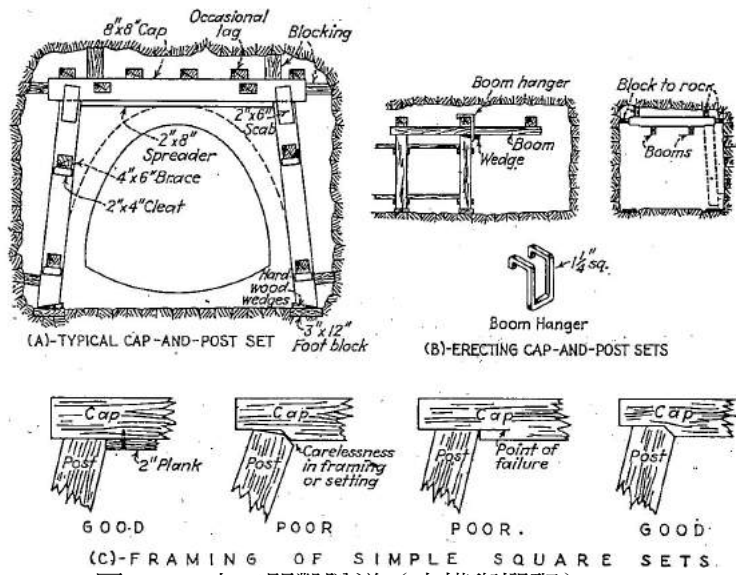


圖 4.2-2 人工開鑿隧道（木構與襯砌）

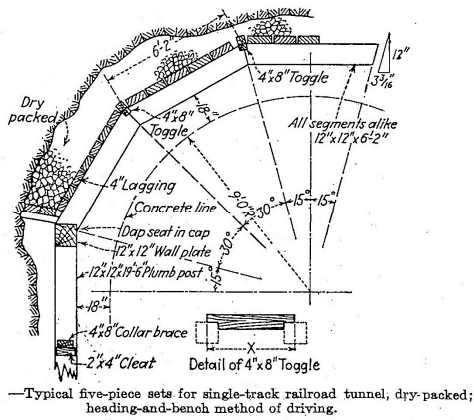


圖 4.2-3、圖 4.2-4 人工開鑿隧道（五段式鋼支保與襯砌）

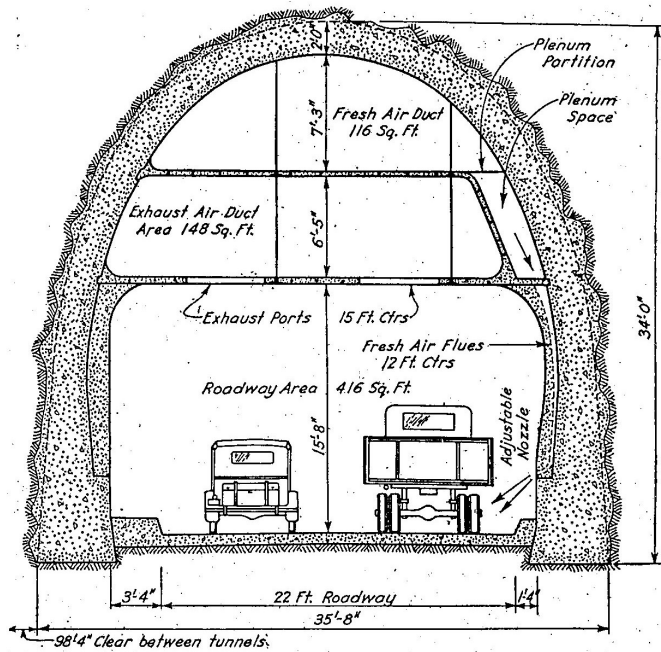


圖 4.2-5 大量機械化開鑿隧道（鋼支保與混凝土襯砌）



照片 4.2-1、4.2-2 台灣最早的鐵路隧道（獅球嶺）



照片 4.2-3、照片 4.2-4 台灣早期的疊塊石與砌磚隧道（舊宜蘭線鐵路三爪子隧道西口）

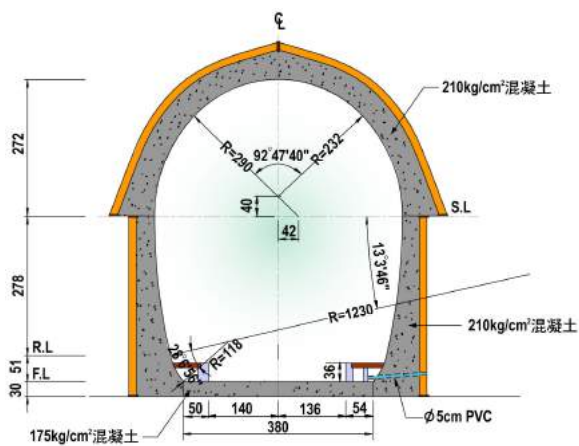


圖 4.2-6 單線隧道美國鋼支保工法標準斷面圖

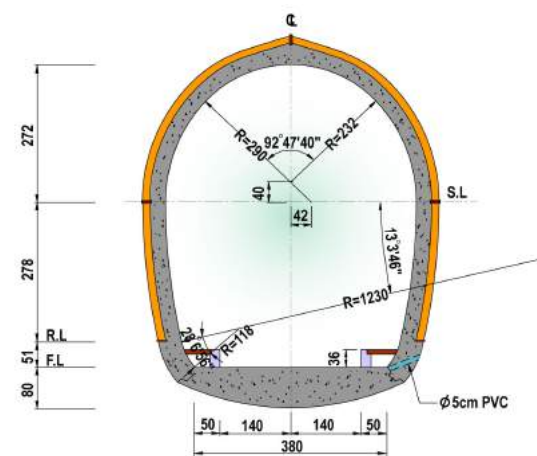
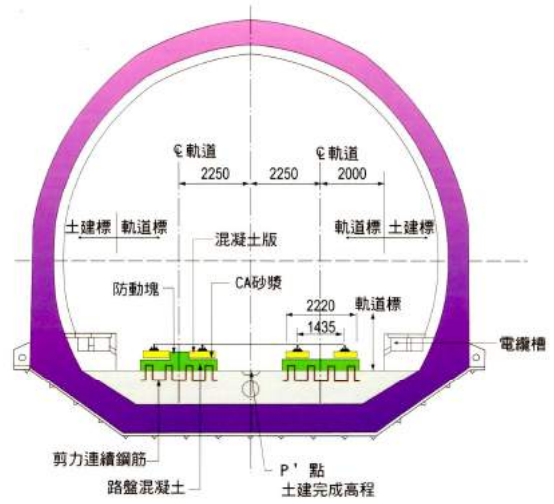


圖 4.2-7 單線隧道新奧工法標準斷面圖





照片 4.2-5 預鑄環片襯砌與無碴軌道隧道



隧道段版式軌道橫斷面圖

圖 4.2-8 台灣高鐵隧道斷面與軌道結構示意圖

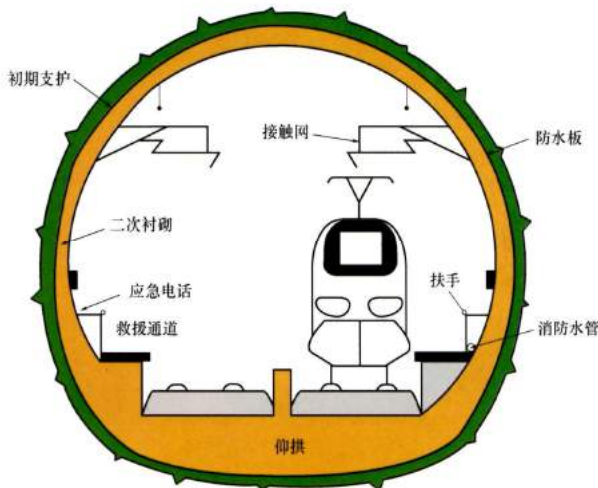


圖 4.2-9 英國高鐵隧道斷面結構示意圖

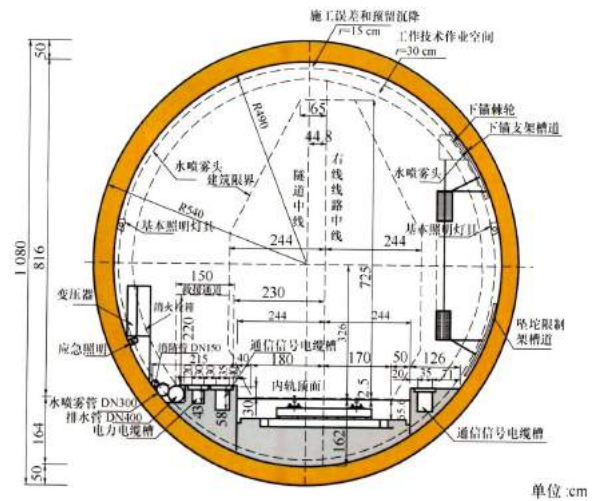


圖 獅子洋隧道圓形段橫断面布置

圖 4.2-10 中國高鐵獅子洋隧道斷面(圓形)

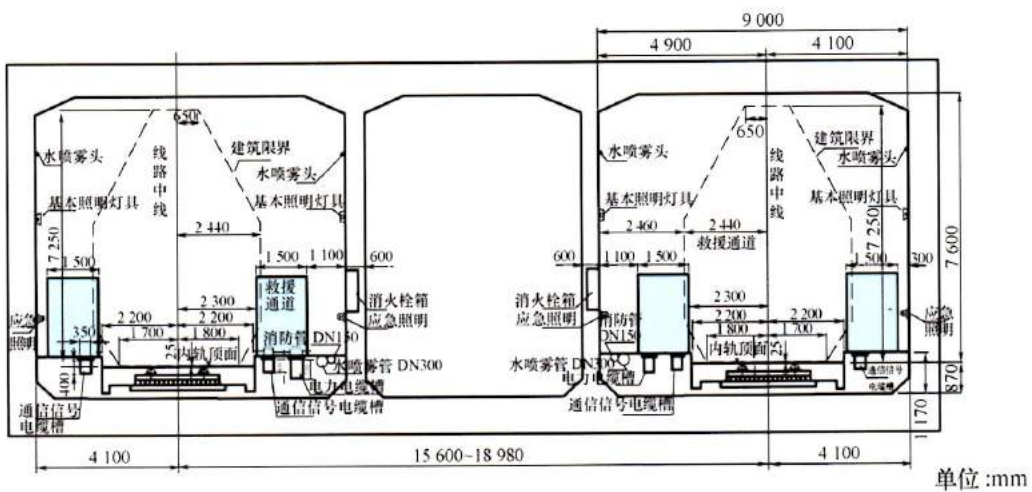


圖 4.2-11 中國高鐵獅子洋隧道明挖斷面(矩形)

# 5、台灣鐵路隧道

迄至 2011 年止，台灣鐵路營運使用中 132 座，總長度 151 公里，分布於環島鐵路各線，詳細資料收錄於本書附錄一。另有曾為鐵路使用，而今廢置的舊鐵路隧道 38 座，大部分仍完好堪用，分別詳列於本書附錄二中，這些舊隧道有的已被指定為古蹟，供民眾參觀遊憩，如基隆的獅球嶺、宜蘭線的草嶺隧道；有的已改為自行車道或闢建改為公路車道，如舊山線的苗栗隧道、東勢支線的東勢隧道；有的則規劃成為新的觀光輕便鐵路線繼續使用，如舊山線、深澳支線各隧道；然而，有更多的廢置舊隧道則仍埋沒於荒煙漫草之中，等待再利用機會。（詳細資料臚列於本書附錄二部分）

## 5.1 縱貫線鐵路隧道

### 5.1.1 台灣鐵路隧道之始

縱貫線台北～基隆段開通於 1891 年秋，相當於清光緒 17 年，民國前 20 年，是台灣鐵路通車營運的新紀元，當時全線 28.6 公里，最重要的橋梁隧道結構物就只一橋一隧，一橋是跨越基隆河的鐵橋，今已不復見；一隧就是穿過獅球嶺的隧道。幸運地，這座獅球嶺隧道留存至今，仍可供遊人參觀憑覽，一興思古悠情。

從這座古隧道的岩壁鑿痕、襯砌磚石材料、斷面形狀、大小及走在洞內的縱坡起伏，即可領略當年施工的艱辛，及工業技術發展水平，若再參觀過台北 228 公園內的騰雲號火車頭，在腦中稍微模擬一下，那輛古老的蒸汽火車頭拖曳著一列木製客車廂，氣喘呼呼地爬上山坡，鑽入這個漆黑小山洞的情形。車廂內的旅客，在呼嘯低吼汽笛聲中，突然陷入一片黑暗，伸手不見五指，只剩隆隆的輪軌交鳴，正自驚疑，霎那重間又重放光明，大夥忙著望向窗外，已翻越一座山，到達山的另一側，怎不令人拍案驚奇呢！這些火車頭被命名為：騰雲、御風、超塵、掣電、攝景，正表明時人對這批冒煙怪物的神奇感覺。

這座台灣鐵路第一隧道建成迄今百餘年，但真正使用時間只七年多而已，1895 年日本佔據台灣，同時也接收了台北～基隆段鐵路，發現這段鐵路縱坡太大、彎道多且曲線線形不良，加上原跨越基隆河的鐵橋又屢被沖毀，乃重新規畫改道路線，新線大抵與目前的台鐵台北～基隆段路線廊帶一致，自基隆市龍門里附近穿過山區，鑿通乙座竹仔嶺隧道，出隧道南口不遠即碰到基隆河，新建橋梁乙座，台鐵稱之為八堵橋，因過此橋即八堵車站。

### 5.1.2 竹子嶺隧道沿革

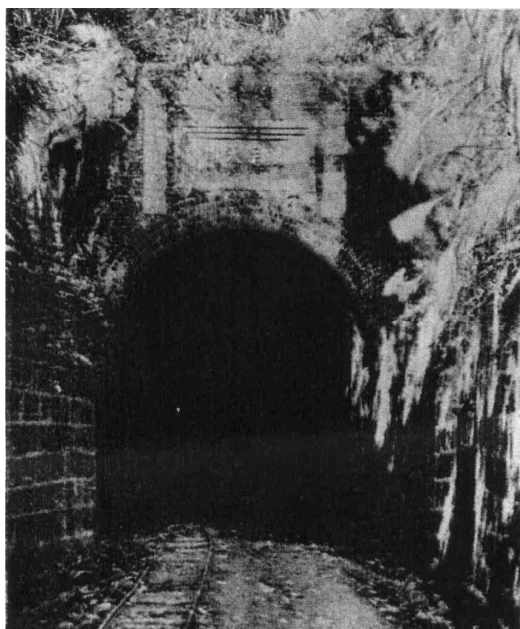
台灣最早開通的鐵路是 1891 年所築成台北到基隆段，當中穿越獅球嶺的隧道段，即目前被列為國家三級古蹟的獅球嶺隧道，全長 235m，於 1889 年 7 月鑿通。

甲午戰後，1895 年日本進佔台灣，首先修復騰雲、御風兩部機車及台北、基隆間的路線，恢復列車行駛。但翻越獅球嶺乙段路線狀況甚差，乃重新規畫改線東移，另於今基隆市仁愛區龍門里附近開鑿新隧道。1898 年，全長 541m 雙線磚造隧道竣工，稱為竹子寮隧道，縱貫鐵路改經此隧道後跨越基隆河，抵新設的八堵車站。

1923 年為配合運輸需求，復於竹子寮隧道東側鑿通乙座雙線隧道，全長 556m，拱環為磚造，兩側壁為砌粗石構造。兩隧比鄰並存，後來台鐵稱 1923 年所建的為宜蘭線竹子嶺隧道，而更早 1898 年所建者為縱貫線竹子嶺隧道。

縱貫線的竹子嶺隧道使用迄今已歷 107 年，現仍身居縱貫鐵路上由基隆通往台北盆地的重要孔道，每日百餘班次列車南北穿梭其間。後來政府推動基隆河流域治理計畫，跨河鋼桁架橋一併改建，樑底高程提高 1.5m，該路段鐵路軌面高程亦相對提高，隧道段同時面臨改建，台鐵乃利用已停駛之宜蘭線竹子嶺隧道以擴孔施工方式重建。

新隧道為雙軌斷面，全長 555.6m，採新奧工法施工，以全斷面防水膜及鋼筋混凝土壁體結構設計，於 2003 年底開工，2005 年底竣工通車，是為新一代之鐵路縱貫線「竹子嶺隧道」。



照片 5.1-1 獅球嶺隧道



照片 5.1-2 竹子寮隧道



照片 5.1-3 竹子嶺隧道



照片 5.1-4 新竹子嶺隧道（南口題字）



照片 5.1-5 竹子嶺隧道新舊並列



照片 5.1-6 新竹子嶺隧道（北口題字）

### 5.1.3 台北地下鐵路隧道

現在的台北地下鐵路隧道長達 20 餘公里，堪稱台灣隧道之最，這是長達 30 年持續不輟的建設成果；時至今日，旅客搭乘台鐵或高鐵列車，往返南北，當列車進入台北地區仍可見到沿線許多鐵路工程建設，如火如荼地日夜趕工，台灣的鐵路建設可以說「從來都沒有停止過！」。

最早是 1979 年 7 月 26 日奉行政院台六十八交字第 7479 號函核定，啓動了台灣的「台北市區鐵路地下化工程」建設。1980.10 由籌備處聘請德國鐵路顧問公司進行規劃，1981.10 完成初步規劃。隨著北市地下鐵路工程處成立，1983.7.12 舉行動工典禮，首先動土興建週邊工程。直到 1989.9.2 主體工程完工通車移交至台鐵使用，新台北車站也同時啓用，此一時期的地下隧道範圍止於華山~萬華間，單座雙軌隧道，長約 4.42 公里。

就在第一代的台北市區鐵路地下化工程完工通車的前一年，政府又啓動第二階段的鐵路建設計畫，「台北市區鐵路地下化東延松山工程專案」將松山（不含）~華山間地下化，建造雙座雙軌隧道。原地面騰空土地和鄭州路則改建為平面道路及台北市東西向快速道路，即後來被定名為「市民大道」的東西向市區平面道路。地下化鐵路部分，南隧道於 1992.8.3 完工啓用；北隧道於 1994.6.18 完工啓用；市民大道快速道路在 1997.9.7 完工通車。此一階段隧道自華山地區預留之隧道岔口起至松山車站止，全長為 5.33 公里。

台北市區鐵路地下化工程，第三階段建設計畫是「萬華板橋地區鐵路地下化工程專案」，於 1992.9.14 奉行政院核定，同日舉行動工典禮，台北~萬華間原台北車站地下化專案之雙軌隧道（萬板專案完工後改稱北隧道）延長至板橋，先期完工之南隧道施工期暫時由台鐵使用，地下化完工後台鐵移回北隧道，南隧道移轉為台灣高鐵使用，完成後原鐵道成為目前的中華路林蔭大道。

萬華~板橋間地下化，雙座雙軌隧道（台鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道），地下後原地面鐵道成為[艋舺大道](#)、[華翠大橋](#)、[縣民大道](#)。地下化鐵路部分隧道長約 7 公里，南隧道於 1999.7.21 完工啓用；北隧道於 2002.10.31，縣民大道快速道路在 2002.7.27 完工通車。新建隧道通過新店溪河底為台灣北部地區第一座河底隧道。

第四階段或稱第四期的台北市區鐵路地下化建設計畫，是「松山南港鐵路地下化工程專案」（簡稱「南港專案」），南港專案已經於 1998.8.27 奉行政院台八十七交字第 42387 號函核定實施計畫。1998.11.1 開工，預定於 2011.8 全面完工，總共 12 年 10 個月，目前還在松山站及南港站的二期工程及高鐵松山~汐止橫科基地間隧道施工當中。其中隧道工程包括：主隧道西起基隆路口（松山專案引道），東至七堵，全長為 19.4 公里。基隆路至大坑溪間興建台鐵及高鐵雙軌隧道各一座，各長 5.4 公里，大坑溪至北二高跨越橋興建台鐵汐止段山岳隧（引）道一座，長 2 公里。



表 5.1-1 台北地下隧道各分段資料表

各段隧道名稱	路線名	全長(公尺)	備註
南港專案汐止段山嶽隧道及引道	臺鐵縱貫線	1,600	
南港專案大坑溪段隧道(引道)	台灣高鐵	436	高鐵地下段往橫科基地；施工中
南港專案研究院路段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵 台北捷運南港線	上/下 797 南港線 740	臺鐵使用下層隧道(含北宜線預留段隧道)，高鐵使用上層隧道，台北捷運使用中層斜交共構隧道；施工中
南港專案向陽路段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	上/下 945	合併有共同管道隧道；臺鐵使用下層隧道，高鐵使用上層隧道；施工中
南港專案客車場段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 1,250	合併有共同管道隧道；臺鐵使用北隧道(往東漸變為下層)，高鐵使用南隧道(往東漸變為上層)；施工中
南港專案虎林街段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 810	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道；施工中
松延案隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 5,330	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道
臺北車站地下化臺北車站地下化段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	4,420 高鐵共用段 2,600	華山－臺北間與高鐵共用，臺北－萬華間為臺鐵使用之臺北萬華段北側隧道
萬板專案臺北萬華段南側隧道	高鐵	1,820	臺鐵曾臨時使用
萬板專案萬華板橋段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 7,000	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道
萬板專案新店溪過河段隧道	臺鐵縱貫線 高鐵	北/南 520	臺鐵使用北隧道，高鐵使用南隧道



照片 5.1-7、8 台北地下隧道洞口（南口樹林端）

#### 5.1.4 其他縱貫線鐵路隧道

縱貫鐵路（含海線）除了台北都會區的 21 公里地下隧道外，全線 408.5 公里，只有隧道 6 座，分別是前述的基隆~八堵間「竹仔嶺隧道」，以及七堵（上下行分開，計為兩座）、新五堵、山佳、大甲等【詳附錄一】。其中，山佳隧道位於山佳站北，原路段以小曲線沿山腳進入站場，並無隧道，但該處山坡覆蓋層薄，每遇豪雨經常坍方成災，台鐵列為危險路段多年。在獲得政府經費補助後，台鐵將路線向山側偏移約 30 公尺，新建雙軌隧道乙座，全長 155 公尺，包含北口明挖段 40 公尺，及南口施工假隧道部分。本隧道建成後，在坡角處形成一大擋土結構體，對隧道上方高邊坡具保護作用。

大甲隧道長 80 公尺，穿越水尾溪，屬河底隧道。另舊五堵隧道在新五堵隧道通車後廢棄，地方亦迭有保存之議。



照片 5.1-9 縱貫線舊八堵隧道



照片 5.1-10 縱貫線舊七堵隧道





照片 5.1-11 縱貫線舊五堵隧道



照片 5.1-12 縱貫線舊七堵隧道北口及右側高樓

## 5.2 台中線鐵路隧道

台中線起自竹南，迄於彰化，原為縱貫線之一段，竹南~彰化間海線鐵路完工通車後，縱貫線改以海線為準，竹南~彰化間山線鐵路，則改稱為台中線。由興築至完工的年代，約在 1899~1908 年間，路線多經山區，全長 91.4 公里，隧道即佔 10.5 公里，分別為豐富、苗南、銅鑼、三義、三泰、泰安、后里等七座，其中以三義隧道全長 7.35 公里為最長。

舊山線鐵路於 1997 年新山線通車後閒置，鐵道愛好者與地方人士、民代等，積極爭取政府投注經費維護，並將舊山線改為觀光遊憩路線。沿線有隧道 12 座，其中三義~勝興~泰安間的 1 號至 7 號隧道，穿出洞口即緊接高架橋梁跨越峽谷，橋隧相連，明暗交錯，蔚成景觀。其間更有廢棄鐵道路線設施、古老木構車站，從百年前台中大地震殘存的「斷橋」遺跡，旅人行走於油桐花盛開的林蔭山道，徜徉溪澗，更發懷舊思古悠情。



照片 5.2-1 舊山線苗栗隧道



照片 5.2-2 新銅鑼隧道



照片 5.2-3 勝興舊隧道



照片 5.2-4 後龍舊隧道



照片 5.2-5 苗栗站北新舊山線苗南隧道



照片 5.2-6 苗栗隧道南口施工及舊線

### 5.3 東線鐵路隧道

臺東線是指**花蓮舊站**—台東舊站間的傳統鐵路幹線，常被稱為花東線。臺東線原先包含了花蓮海岸線及臺東海岸線，而在東拓後兩條海岸線廢止。

日本時代於 1898 年開始探勘台灣東部的鐵路路線，並於 1910.2.1 開始建設花蓮至璞石閣(今玉里)間的輕便鐵路，採 762mm 軌距，但也前瞻性地保留了 1067mm 軌距的建築標準，以期日後能與西部縱貫線相互銜接。該段鐵路於 1919.5.17 完工，共費時 7 年 4 個月及 434 萬日圓。

璞石閣(今玉里)以南的工程，列為當時的二期建設計畫，因為需求不甚迫切，當局決定暫緩興建。而卑南(今台東)至里壠(今關山)間的鐵路，則由當時的台東開拓會社所建，於 1919 年 12.16 通車。1920 年代初期，當局在交通系統一元化政策下，將台東開拓會社興建的台東—里壠間的鐵路予以收買，改為官營，並於 1921 年續築璞石閣至里壠間的鐵路，終於在 1926 年完成總長 171.8 公里的台東線鐵路，並於 1926 年 3.27 於璞石閣舉行全線通車典禮。

臺東線軌距從 762 公釐拓寬為 1,067 公釐，在花蓮連接北迴線而與宜蘭線、縱貫線相通。拓寬工程進行的同時北迴鐵路已經完工，當時台北南下的列車可直駛花蓮新站後到達吉安，並在該站轉乘窄軌的台東線火車，直到 1982.6.26 全線四條軌鐵道完工通車。但舞鶴—三民間的自強隧道因工程嚴重延誤，列車暫時以原有舊線經掃叭隧道運行，直到 1985 年初才正式完成。

目前台東線鐵路有隧道 11 座，總長度近 12 公里，都是近幾年才改建的混凝土結構隧道



照片 5.3-1 光復河底隧道施工



照片 5.3-2 光復河底隧道施工



照片 5.3-3 光復河底隧道竣工



照片 5.3-4 自強隧道南口



照片 5.3-5 台東線溪口 2 號隧道



照片 5.3-6 台東線中興隧道



照片 5.3-7 台東線山里隧道群



照片 5.3-8 台東線山里隧道群



照片 5.3-7 台東線山里隧道群



照片 5.3-8 台東線山里隧道群

## 5.4 宜蘭線鐵路隧道

宜蘭線是指八堵~蘇澳間的傳統鐵路幹線。全長 93.6km，於 1986 年 1 月 9 日完工通車。2000 年八堵~羅東間完成雙軌電氣化工程，2003 年羅東~蘇澳間完成雙軌電氣化工程。宜蘭線於 1917 年動工興建，工程分別從路線的南、北兩端進行。到了 1919 年，南端的蘇澳至礁溪段，以及北端的基隆至瑞芳段通車。1920 年，南端路段延伸至大里，北端路段延伸到猴硐（侯硐）。原本順利進行的工程，後來卻因經費不足而暫緩施工，直到 1924 年 12 月，宜蘭線才全線通車。

全線有隧道 25 座，除了三貂嶺隧道、草嶺隧道兩座長度達 2 公里上，都是短小隧道，但因路線穿越台灣東北角山區，地形地質條件不佳，又處於長年多雨地區，每年颱風豪雨期間，經常發生災害，路線維修保養較為困難。(照片 5.4-1~照片 5.4-18) (照片 5.4-6 至 照片 5.4-18 來源：[httpwww.panoramio.comuser4213222with\\_photo\\_id=50555046](httpwww.panoramio.comuser4213222with_photo_id=50555046) 作者：cjyyou)



照片 5.4-1、照片 5.4-2 舊草嶺隧道（洞口題字：白雲飛處）



照片 5.4-3 宜蘭線示德隧道南口



照片 5.4-4 宜蘭線外澳隧道北口



照片 5.4-5 宜蘭線龍溪隧道南口



照片 5.4-6 宜蘭線五份隧道南口



照片 5.4-7 宜蘭線五份隧道北口(東正線)



照片 5.4-8 宜蘭線五份隧道北口(西正線)



照片 5.4-9 宜蘭線雙溪隧道北口



照片 5.4-10 宜蘭線雙溪隧道南口



照片 5.4-11 宜蘭線更新隧道北口



照片 5.4-12 宜蘭線更新隧道南口



照片 5.4-13 宜蘭線更枋隧道北口



照片 5.4-14 宜蘭線更枋隧道南口



照片 5.4-15 宜蘭線合興隧道北口



照片 5.4-16 宜蘭線合興隧道南口



照片 5.4-17 宜蘭線合興隧道北口明洞式棚架



照片 5.4-18 宜蘭線福隆隧道南口

## 5.5 北迴線鐵路隧道

北迴線，又稱為北迴鐵路，是指蘇澳新站至花蓮間的傳統鐵路幹線，路線全長距離 79.1km，開業時間：1980.2.1，全線為雙軌電化區間。

北迴線為台灣「十大建設」之一。在北迴線興建之前，自花蓮至臺東的臺東線一直都是獨立營運，未能與西部幹線相互連結。旅客往來臺北花蓮需於蘇澳車站轉乘公路局班車經由蘇花公路，甚至搭乘往來基隆花蓮兩港的客船。蘇澳端原本計畫從蘇澳車站沿今臺灣水泥蘇澳廠側線延長至今永樂車站，但因地區居民反對而改從南聖湖車站（今蘇澳新站）起始，並新增永春車站（已廢止）。

1973 年，娜拉颱風侵襲，造成交通嚴重受創。為了解決交通問題，因此研議了三個方案：拓寬蘇花公路、另建雙線公路以及興建北迴鐵路。其中第三個方案所需費用比第二個方案低，效益也比較大。當時的臺灣省政府主席謝東閔於行政院院會中報告後，由當時的行政院長蔣經國裁示興建，並列入十大建設當中。同年 12 月 25 日，北迴線正式動工，並於 1980 年 2 月 1 日全線通車。沿線築有大、小橋樑共 91 座，隧道 16 座，全長達 31,029 公尺，其中觀音隧道長 7,757 公尺，為當時全台灣最長的隧道。

自 1980 年 2 月正式通車營運以來，帶動東西部交流及互動，加以東部觀光事業、天然資源之陸續開發，客貨運量急速增加，致使原有單線鐵路不敷使用，每逢重要節慶及假日，總是一票難求。1992 年起，北迴線開始進行雙軌化、重軌化、電氣化與號誌控制改良工程。由於沿線多高山峻嶺，雙軌化工程在許多路段均重新開闢新線，並開挖許多長隧道。位於武塔＝漢本間的新觀音隧道成為全台灣最長的鐵路隧道，總長 10,307 公尺，取代原本舊線的觀音、鼓音及谷風隧道。大部分工程於 2003 年 6 月底完工，並於 7 月 4 日在花蓮舉行電氣化通車典禮，由時任總統陳水扁進行開幕剪綵儀式。2005 年 1 月，先前受到新永春隧道湧水問題，以及南澳隧道軌道改善工程延遲影響的雙軌化工程全部完成。完工後北迴線列車班次密度大幅增加，並且有效縮短臺北至花蓮的行車時間。





照片 5.5-1 新舊清水隧道



照片 5.5-2 新觀音隧道



照片 5.5-3 北迴鐵路隧道



照片 5.5-4 北迴線和仁隧道



照片 5.5-5 北迴線和仁隧道



照片 5.5-6 北迴線和平隧道



照片 5.5-4 北迴線新觀音隧道南口



照片 5.5-5 北迴線舊觀音隧道北口

## 5.6 南迴線鐵路隧道

南迴線鐵路全線 98.2 公里，於 1980 年開工興建，1991 年底完工通車，工期長達 11 年，主要是路線穿越中央山脈，隧道特別多，工程艱鉅。全線隧道 37 座，長度 1 公里以上隧道即有 12 座，其中「中央隧道」全長 8.07 公里，為台鐵第二長大隧道。全線隧道總長度達 40.1 公里，佔路線總長的 40.8%，車行其間，幾乎一半時間都跑在隧道內。

隧道施工的方法，主要是依據地質條件，隧道斷面大小以及隧道長度等來決定，以達到安全、經濟原則，南迴鐵路隧道的開挖，以採用傳統工法和新興工法為主，有的隧道因地質變化太大，因而交替採用兩種工法施工，一般而言，長大隧道及地質較惡劣的隧道，都採用新興工法施工，短隧道大都採用傳統工法施工。

傳統工法亦稱為美國鋼支保工法(American Steel Support Method)簡稱 ASSM，基本上係於隧道開挖後立即架設重型鋼支保，並配合打設木矢板支撐岩盤壓力，然後再施作襯砌混凝土，以構成隧道整體支撐系統。其主要工作程序為鑽孔、開炸、出碴、架設鋼支保，構成一作業循環，開挖一適當長度後再進行襯砌。一般傳統工法為因應不同地質情況及相關機具設備其開挖方式可分為：(1)全斷面開挖；(2)上下半斷面開挖；(3)底設導坑先進上半斷面開挖；(4)側壁導坑先進上半環狀斷面開挖。

傳統的隧道開挖，除了特別堅硬的地質，可以採用全斷面開挖或者上、下半斷面工法施工外。在一般比較脆弱的地質層則必須採用底設導坑工法開挖。

其施工程序是先從隧道中間底部開挖一個導坑向前推進。在導坑開挖前進約五十到六十公尺距離之後。視地質情況開始擴挖上半斷面部份。並利用底設導坑來出碴。上半斷面擴挖完成後，架設 H 型鋼支保並打入矢板做為支撐，承受岩石的壓力。

鋼支保的間隔是依照地質情況來決定，通常為零點八公尺到一點二公尺之間距組立一對鋼支保，如此逐步開挖，前進了大約三十到五十公尺，隨即利用鋼模灌注拱部襯砌混凝土，接著以跳蛙方式開挖下半側壁部份，必要時也必須架設鋼支保，然後灌注側壁混凝土。在遇到風化劇烈或破碎斷層等惡劣地質時，則採用側壁導坑工法施工。首先在隧道下方兩側先開挖兩個導坑同時並進，再灌注混凝土先完成兩側側壁，然後再用環狀開挖方式，挖除拱圈部份的土石，並且以 H 型鋼支保支撐，隨後再進行上半斷面其餘部份的開挖，接著襯砌拱圈部份的混凝土，最後再挖除下半部的土心部份。將整個隧道分為好幾個層次逐步依序完成，是南迴鐵路安朔隧道東洞口進洞採用側壁導坑施工的情形。

最後等整個隧道開挖並且襯砌完成後，再由隧道中心向兩側洞口逐步拆除運輸軌道，並灌注底部仰拱混凝土以及排水溝。傳統的隧道施工方法，主要是以架設鋼支保，並鋪設矢板及襯砌混凝土來支撐地盤的壓力，使後續的工程逐步進行。

最近二十年間，歐洲的奧地利使用了一種新的隧道施工方法，稱為新奧地利工法，簡稱為新奧工法，新奧工法(New Austrian Tunneling Method)簡稱 NATM，乃於隧道開挖後首先利用鋼絲網及噴凝土封面以防止岩屑掉落與繼續風化現象，然後再以岩栓及輕型鋼支保等柔性支撐系統作為首次襯砌，提供岩體約束力量，使隧道周圍之地盤構成一承載環，作為隧道支撐之一部份，同時再配合計測地層變位，襯砌應力變化與岩栓軸力等資料，據以研判支撐是否足夠，彈性修正支撐方式與支撐材料數量，調整開挖斷面與開挖程序，俟計測岩盤變位穩定後再行辦理二次襯砌，其目的為外表修飾及提高結構安全係數之用。隧道工程主要施工程序為鑽孔、開炸、出渣、架設柔性支撐系統(包括噴凝土、岩栓、輕型鋼支保等)、計測，構成一作業循環。依計測結果與開挖長度始決定二次襯砌施工時機與施工方式。一般地質情況下，隧道設計依開挖順序其施工方式可分為：(1)全斷面開挖；(2)上下半台階開挖；(3)多段台階開挖。另依岩體類別不同，新奧工法支撐系統則分為 A、B、C、D、E 五種支撐型式，如表 5.6-1 所示。

表 5.6-1 新奧工法支撐系統型式表

支撐型式 (Typ.)	噴凝土厚度	鋼支保型式	岩栓	前 進 鋼 筋	適用範圍	
					Rock Type	RMR
A 型	第一層 10cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 5m 長度之岩栓	有	V	<20
B 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 5m 長度之岩栓	有	IV	21-40
C 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H150×150	打設 3m 與 4m 長度之岩栓	無	III	41-60
D 型	第一層 5cm 第二層 10cm	H125×125	打設 3m 與 4m 長度之岩栓	無	II	61-80
E 型	第一層 5cm 第二層 10cm	無	打設 3m 與 4m 長度之岩栓	無	I	>81

資料來源：「南迴鐵路工程－工程輯要」(南迴鐵路工程處，民國 81 年)

南迴鐵路 37 座隧道中，以中央、安朔、金需、大鳥等四座隧道最長，這四座隧道都在三公里以上，是南迴鐵路重點工程的關鍵性工程，因此，都分別以斜坑、豎坑、橫坑來增加工作面，同時幫助解決隧道內的通風，及將來營運後隧道內污染空氣問題。其中，中央隧道由於長達八公里多，共闢建了兩座豎坑來幫助解決隧道通風問題，東豎坑坑體直徑為五公尺，這座豎坑也於七十八年十月二十三日先行興建完成。西豎坑位於高峭的山頂上，標高有五百一十四公尺，深度達三百四十一公

尺，於民國七十七年元月上旬採用新奧工法動工開挖。這座豎坑施工中由於經常遇到大量湧水，進度一直不很理想，為克服湧水問題，乃改採傳統導坑工法施工，常開挖到一百六十五公尺深時，突然遭遇到一段湧水破碎帶，每分鐘湧水量高達一點七噸，經工程人員採用化學灌漿等方法方予克服突破，為趕工期及有效解決坑內排水與出碴問題，民國 84 年 4 月經研議決定由西德引進昇井工法施工，這種工法在國內是首次被引進採用。昇井工法是利用直徑二十八點六公分鑽桿，從豎坑上方中央鑽到豎坑底部，然後在鑽桿底部安裝一個直徑一點五公尺的擴孔鑽頭，由下往上提升旋轉鑽掘，先開挖一個直徑一點五八尺的導坑，然後再擴挖豎坑未開挖的斷面，將來擴挖時，可利用這個導坑來排水與出碴。



照片 5.6-1 古莊 1 號隧道北口



照片 5.6-2 古莊 3 號隧道北口



照片 5.6-3 古莊 4 號隧道北口



照片 5.6-4 古莊 7 號隧道口



圖 5.6-1 南迴鐵路隧道施工



圖 5.6-2 南迴鐵路隧道



圖 5.6-3 中央隧道施工



圖 5.6-4 南迴鐵路隧道施工



圖 5.6-5 大竹 4 號隧道口邊坡防護



圖 5.6-6 古莊隧道群



圖 5.6-7 大武 2 號隧道口



圖 5.6-8 安朔隧道



圖 5.6-9 金崙隧道南洞口



圖 5.6-10 金崙隧道北洞口



圖 5.6-11 多良一號隧道北洞口



圖 5.6-12 多良一號隧道南洞口



圖 5.6-13 大竹二號隧道北洞口



圖 5.6-14 大竹二號隧道南洞口



圖 5.6-15 大竹一號隧道北洞口

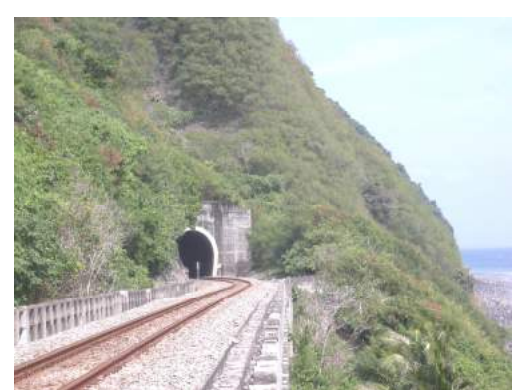


圖 5.6-16 大竹一號隧道南洞口



圖 5.6-17 大鳥隧道北洞口



圖 5.6-18 大鳥隧道北洞口上邊坡砂岩層露頭



圖 5.6-19 大鳥隧道南洞口



圖 5.6-20 大武二號隧道北洞口



圖 5.6-21 大武二號隧道南洞口覆蓋層



圖 5.6-22 大武二號隧道南洞口



圖 5.6-23 安朔隧道北洞口



圖 5.6-24 安朔隧道南洞口



## 5.7 各支線鐵路隧道

### 5.7.1 內灣線鐵路隧道

內灣線於 1944 年開始動工，但隨即因第二次世界大戰時資金不足而告中止，直到日本戰敗時仍未復工。戰後，政府延續建設計畫，並提升路線標準，亦略更改路線經過橫山。1947 年 11 月 15 日首先通車至竹東，時稱竹東線；之後於 1950 年 12 月 27 日延伸至十分寮（合興）；1951 年 9 月 11 日全線完工並改為今名。內灣線沿途產業眾多，林業、石灰業、水泥業為主要貨運收入來源，並兼負內灣、竹東等地通勤及旅遊人潮，為台鐵數條客運支線中虧損較低的。近年來隨著前往內灣觀看螢火蟲、體驗客家文化的風潮興起，遊客的載客量又略有上升。未來配合台灣高速鐵路新竹站聯外交通計畫，將自竹中車站闢建與本線分歧的六家線以相連。

內灣線全長 27.9km，新竹~內灣間有隧道 5 座，分別是竹東、合興、南河、九芎坪、明隧道等，其中，九芎坪隧道南口因經常坍方，台鐵局於 1997 年以箱涵結構隧道，向南延長 30 公尺後，災害方告止息。（照片 5.7-1~照片 5.7-4，註：以上照片取自瑞克之 Blogger）。



照片 5.7-1 內灣支線隧道



照片 5.7-2 內灣支線隧道



照片 5.7-3 內灣支線九芎坪隧道



照片 5.7-4 內灣支線九芎坪隧道

### 5.7.2 平溪線鐵路隧道

平溪線最初是爲了運輸自沿線礦坑開採而得的煤礦而興建此路線，後來並兼辦客運。路線全長 12.9km，三貂嶺到菁桐間有隧道 6 座，分別命名爲 1 號~6 號隧道。

平溪線於 1921 年 7 月全線完工，原本是台陽礦業株式會社所出資興建的運煤專用鐵路。1929 年轉賣給台灣總督府鐵道部，經過整建之後開始兼辦客運，80 年代由於平溪區內煤礦場大多關閉，以及人口流失等因素，平溪線的營運虧損，台灣鐵路管理局曾經打算停止營運平溪線鐵路。經過地方人士的積極爭取，因而保留，爲目前僅存的台鐵四大支線鐵路（平溪線、內灣線、集集線、林口線），也成爲目前仍繼續營運的鐵路支線當中，歷史最悠久也是風景最美麗的客運支線。平溪線沿基隆河河谷興建，沿途有原始的河谷景觀、壺穴、瀑布，生態資源豐富。平溪線沿線旅遊景點甚多，包括三貂嶺瀑布群、十分瀑布、眼鏡洞、四廣潭、台灣煤礦博物館、平溪老街、孝子山、平溪三尖、菁桐老街、石底煤礦遺址等；近年來平溪每年固定舉辦「天燈節」，平溪線也發揮了大量輸送遊客的功能。



照片 5.7-5 平溪支線隧道



照片 5.7-6 平溪支線隧道



照片 5.7-7 平溪支線隧道



照片 5.7-8 平溪支線隧道

### 5.7.3 集集線鐵路隧道

集集線是臺鐵最長的鐵路支線，也是南投縣至今唯一仍在營運的鐵路線，路線全長：29.7km，自二水至車埕間有隧道 9 座。

最初興建原因與水力發電有關，今日已成為熱門旅遊路線；南投縣政府稱此線為「南投縣觀光鐵道」。1919 年（日治時期大正八年），基於台灣電力株式會社興建日月潭門牌潭發電所（日月潭第一發電所，現·大觀第一發電廠）、日月潭第二發電所（現·鉅工發電廠）的運輸需要，集集線開始興建。1921 年完工，1922 年開始辦理客運業務。1927 年由台灣總督府買收並進行路線改善，成為鐵道部所轄支線。1999 年 9 月 21 日發生的九二一大地震，造成集集線毀壞嚴重：集集車站傾斜，多處路線鐵軌也挫曲變型。直到 2002 年 2 月 6 日才修復通車，並持續轉型成為台灣著名觀光鐵路之一，（註：照片 5.7-9~照片 5.7-15，取自 Cheng-en Cheng 之 Blogger）。



照片 5.7-9 集集支線 1 號隧道



照片 5.7-10 集集支線 2 號隧道



照片 5.7-11 集集支線中興隧道



照片 5.7-12 集集支線 4 號隧道



照片 5.7-13 集集支線 5 號隧道



照片 5.7-14 集集支線 6 號隧道



照片 5.7-14 集集支線明隧道



照片 5.7-15 集集支線明隧道

#### 5.7.4 其他支線鐵路隧道

深澳線支線，於 1989 年停止客運業務，僅保留一小段作為深澳電廠煤運專用線。2007 年因電廠改建，目前全線停用，並進行整建以恢復客運。路線距離：瑞芳~深澳 6.0km；深澳~濂洞間 6.3km（已廢止），其間有 3 座百米左右的小隧道。

深澳線沿線區域原本有日治時期 1936 年完工營運，經基隆八尺門、八斗子、深澳至水湳洞（濂洞）的礦業鐵路，戰後初期由台灣金屬礦業公司承接，但因財務狀況不佳、無力經營後，於 1962 年 8 月 26 日全線廢止。

台鐵另行新建由八斗子改彎向瑞芳接軌，路線標準較佳的深澳線。瑞芳—深澳段於 1965 年 4 月 8 日開通，並且開始辦理整車貨運；1967 年 8 月 25 日延伸通車至水湳洞，兼辦客、貨運。

後來為配合北部濱海公路興建，海濱、濂洞兩站於 1977 年 12 月 1 日停止營運；次年 1 月 11 日海濱站恢復營運。但隨著道路完工後公路交通的競爭，全線最後仍於 1989 年 8 月 21 日停止辦理客、貨運，僅保留瑞芳站至深澳火力發電廠的區間，供運煤列車行駛。但因深澳火力發電廠將進行拆除改建，自 2007 年 9 月 6 日起全面停止運煤業務，深澳線因而暫時停駛。

由於座落於八斗子的國立海洋科技博物館預定於 2011 年開館，相關部門在建館之初即計畫利用本線恢復客運業務。但地方亦有利用其路基興建基隆輕軌計畫聯結至基隆車站的見解，但最後仍決定優先深澳線恢復客運，並斥資五千五百萬元改善路線標準。恢復客運的深澳線每日開行 62 列次，區間為瑞芳—海科館間。目前瑞芳—海科館間已整建完成，預定 2011 年海科館站月台完工後通車。至於海科館之後，經一號隧道至八斗子車站段由於可眺望海景，亦在改善路線範圍內，但初期暫不恢復客運。



照片 5.7-16 深澳支線隧道



照片 5.7-17 基隆港支線仙洞隧道

## 6、隧道工程三部曲：規劃、設計與施工

當鐵路路線穿越山岳地區時，隧道工程往往成爲影響建造成本與施工期的關鍵，甚至在可行性研究階段，隧道工程也是路廊選擇的主要考量因素。所以，隧道工程自規劃、設計到施工，三個階段環環相扣，緊扣整體重大工程計畫的成敗，中途是很難改弦易轍，加以變更的。例如，我國建造北宜高速公路，當雪山隧道施工遭遇困難而延誤時，全線其他路段工程都已接近完工，路線無法做任何更動，只能硬著頭皮，排除萬難，完成這座隧道。本章將以作者曾經參與施做，較爲熟悉的台鐵三義隧道爲實例，闡釋隧道工程自規劃階段，以至於設計、施工階段，所需考慮的因素、面臨的問題，及解決對策，由於本隧道採新奧工法施工，所以內容亦以介紹新奧工法爲主。

### 6.1 三義隧道工程簡介

#### 6.1.1 興建緣起

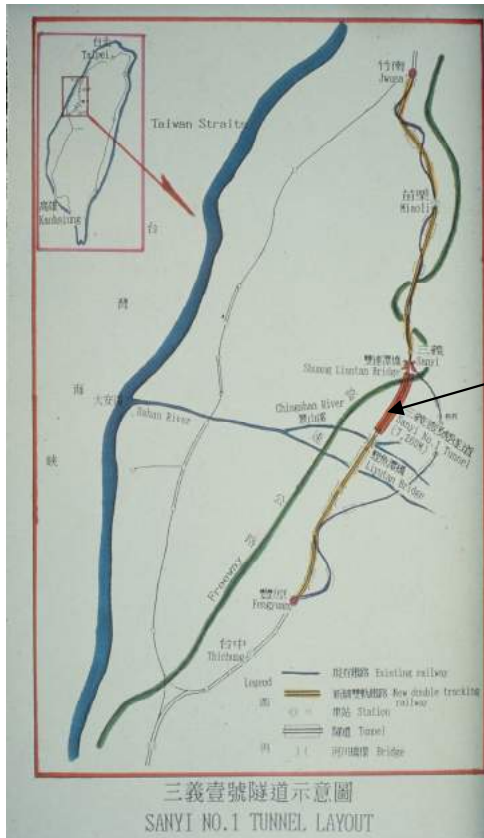
台灣西部縱貫鐵路行經苗栗、台中兩縣時，分爲海線及山線，其中山線經過苗栗、豐原、台中等重要都市，爲台灣鐵路局主要客運幹線之一，在高鐵通車以前，台灣南北鐵路運輸有 70% 以上客運列車均經由山線行駛。

現有路線因穿越中部山區丘陵地帶，橋樑隧道特多且始建於日據時代，設施標準甚低。最大坡度 2.6%，最小半徑 300 公尺，故行車速度與牽引噸數均受限制，形成運輸瓶頸。

鐵路局於 1988 年間提報「山線雙軌計畫」及成立工程處積極展開作業，其中有關一號隧道工程之修正計畫於 1992 年間奉行政院核定。即三義、泰安、后里間之路線截彎取直後，原有一號至八號等八座隧道僅剩新的一號、二號、三號等三座，其中一號、二號兩座隧道、鯉魚潭橋及三義站場等項工程由山線雙軌工程處第三土木施工所辦理，而位在三義鄉的一號隧道新建工程，則以「統包契約方式」交予承包商負責施工。

#### 6.1.2 工程範圍

三義一號隧道工程北端自縱貫鐵路山線三義車站南邊(STA.159K+740)跨越西湖溪後穿越高速公路，再通過苗栗丘陵區延伸至南端景山溪北岸山坡處(STA.167K+467.4)止，路線全長爲 7727.4 公尺，其中隧道部份總長爲 7260.4 公尺(如附圖 6.1-1)。

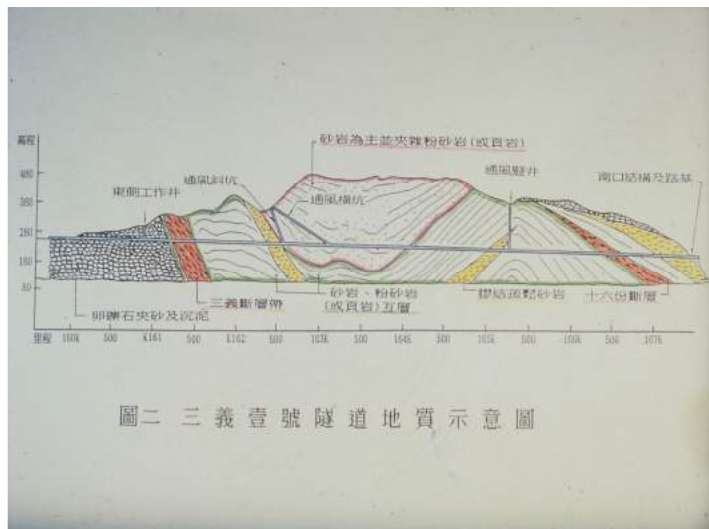


台鐵台中線三義隧道，全長 7354.17 公尺，1992 年開工興建，年竣工通車。

圖 6.1-1 三義隧道位置示意圖

### 6.1.3 地質條件

隧道沿線地形屬丘陵台地，起伏不大，覆蓋厚度介於 7~250 公尺之間，岩層分佈主要為卵礫石層、砂岩、砂頁岩互層等（如附圖 6.1-2 所示）。岩石強度不高，介於  $150\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 400\text{kg}/\text{cm}^2$ ，其中三義斷層破碎帶（290M）、十六份斷層帶（60M）及地下水等因素存在，增加施工之困難度。



圖二 三義壹號隧道地質示意圖

圖 6.1-2 三義隧道地質示意圖

## 6.1.4 設計與施工

依據各項地質調查及試驗分析結果，並參考 CSIR 岩體分類法，將隧道沿線之岩體歸納為五大類（如附表 6.1-1），以為隧道支撐之設計。

本工程主體隧道採新奧工法（NATM）設計及施工，施工期為五十個月，工期緊迫，為如期完工，全工程分為八個區段施工（如附圖 6.1-3）：一、雙連潭橋及路基。二、明挖覆蓋段（含沈箱段）。三、穿越高速公路段。四、東側工作井及向南工作面。五、斜坑及南北向工作面。六、橫坑及南北向工作面。七、通風豎井及向北工作面。八、南口向北工作面及洞口結構。本工程自 1992.4.9 開工，於 1998.9.25 全部竣工。

## 6.1.5 施工作業流程

鐵路局基於現有一百三十二座隧道之維修經驗，對本隧道工程特別要求設計加鋪一層全斷面 EVA 防水膜，以改善過去鐵路隧道常出現滲、漏水，造成電車線斷電，影響行車的情形。

採用新奧工法之施工作業流程如【附圖 6.1-4】所示，以上半斷面之施工為例，開挖面積約 47m<sup>2</sup>，其中作業時間為正常狀況時之平均值。

表 6.1-1 三義隧道岩體分類標準表

**三義一號隧道岩體分類標準**

類別	分 類 描 述
I	1.為安定之岩體。2.主要為塊狀砂岩或砂岩粉砂岩之互層。3.破裂程度很小，無斷層帶通過。4.可能局部滲水或湧水，對岩體強度影響甚小。
II	1.輕度破裂岩體。2.主要由砂岩，頁岩互層組成，夾薄層頁岩。3.破裂程度輕微，局部地區破碎較嚴重，若無適當支撐將導致楔形破壞。
III	1.中度破裂或擠壓性之岩體。2.主要由砂岩，粉砂岩互層組成，夾薄層頁岩。3.破裂程度顯著增加，並多數與斷層帶共同發生，存在不利之連續面方位。
IVa	1.高度破裂或擠壓性之岩體。2.大部分為層面間距相當小而厚度相當大之砂頁岩薄互層。3.高度破裂且交錯頻繁之斷層帶會造成顯著的岩體強度減低，此類岩體主要和大斷層帶有關。4.滲水量仍不嚴重。
IVb	1.高度破裂或擠壓性之岩體。2.地質特性和 IVa 類相似。3.而大量之滲水和廣泛之斷層帶將會對隧道開挖面造成不穩定之現象。
Va	1.軟弱無凝聚力之地盤（主要為紅土礫石層）。2.為不同型式之覆土層，大部分為大卵石及礫石夾雜砂質及沉泥質土壤。
Vb	1.軟弱無凝聚力之地盤。2.類似 Va 類，而大量之滲水，加上地質鬆軟，致使開挖面出現不穩定現象。



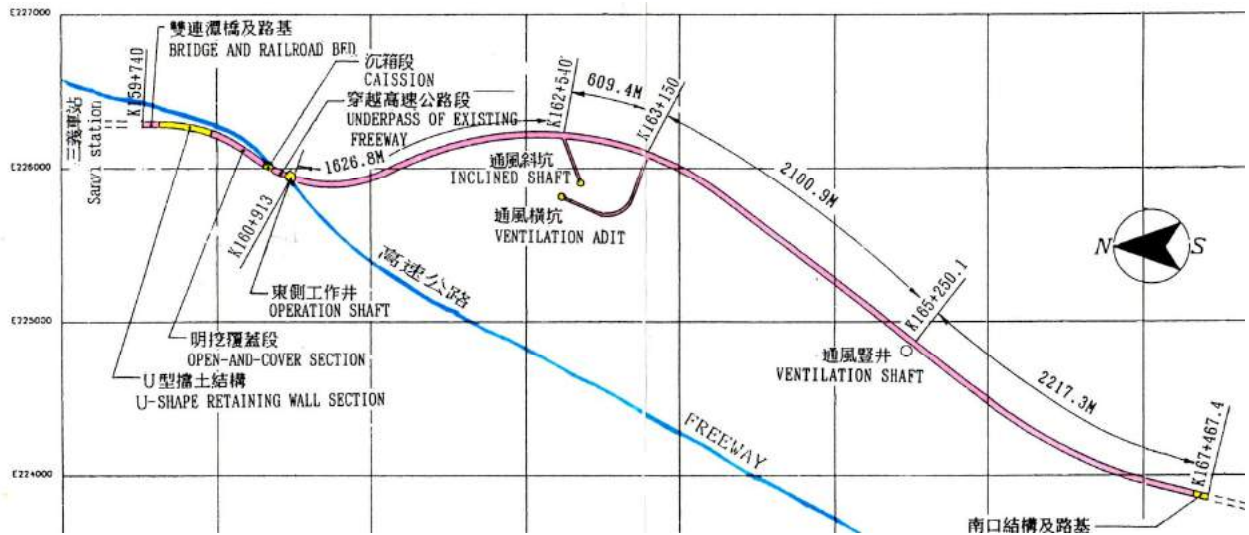


圖 6.1-3 三義隧道工作面佈置示意圖

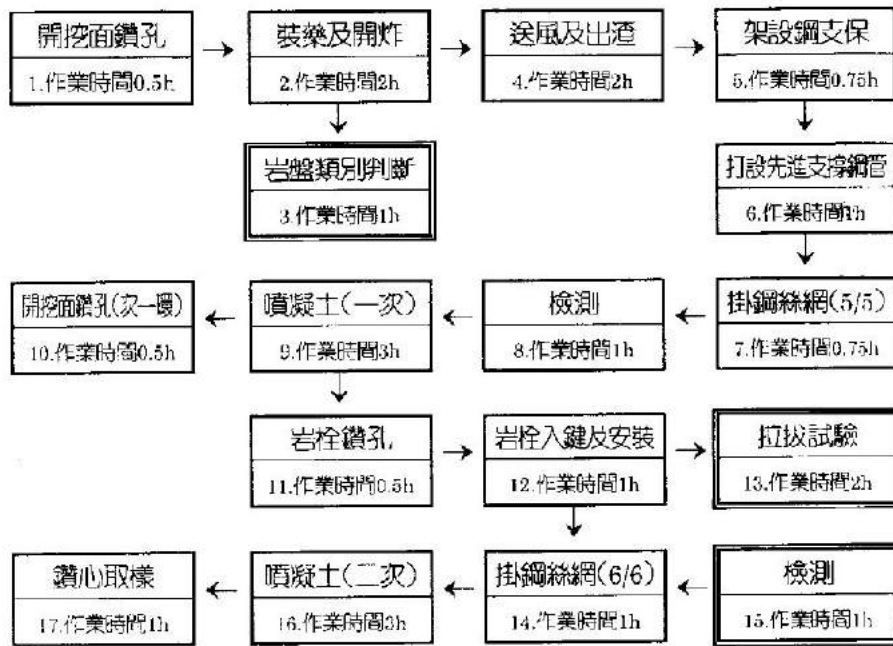


圖 6.1-4 三義隧道新奧工法之施工作業流程圖

## 6.1.6 環保措施

依據 1988 年行政院「環境保護基本法草案」，所謂環境污染問題可分為空氣污染、水污染、廢棄物、毒性物質、土壤污染、噪音、惡臭、振動與地盤下陷等九大類型。本工程大部份施工作業皆於地下進行，對於出碴又設有專用之棄碴區並經地方環保單位核可，故尚能達到目前要求之環保標準。

在本工程中列有「環保措施費」乙項，以總工程費 1% 計，

主要執行項目為：

噪音監測與管制。

振動監測與管制。

放流水監測與管制。

告示牌及圍籬等安全防護設施。

車輛產生之灰塵防護措施。

棄碴場水土保持計劃與執行。

其他相關之環境保護措施。

## 6.2 隧道工程規劃

### 6.2.1 地質調查

三義隧道工程自三義站南方 K159+740 起，至景山溪北岸鯉魚村 K167+467.4 止，全長 7727.4 公尺，隧道北口在三義站南方 1017 公尺處，南口在鯉魚潭聖王崎下，隧道長度預估為 7378 公尺，隧道西側有國道中山高速公路及省道尖豐公路，隧道上方之產業道路交織，交通頗為便捷。

隧道工址涵蓋區域，為一切割台地之地形，屬於苗栗丘陵，地形起伏不大，整區地勢呈東南向西北傾斜，最高處在柺子湖附近，標高約 550 公尺，最低處為重河附近，標高約 280 公尺。

隧道工程與地質之關係非常密切，但因地質情況不易掌握，尤其長隧道未知地質之因素更為複雜。隧道路線之選擇及沿線所通過地區詳細地質情況之瞭解，攸關隧道工程之成敗及進度，此外，若隧道座落在不穩定地盤內，在使用後或因天災地變而發生損毀現象，仍難逃失敗之命運。以下針對選線階段所做之「地質調查」，定線後結構體設計與施工計劃擬定所涉及之「地質調查」作業內容，做一系統性說明。

## 一、調查計劃

調查計劃擬定之前，對於隧道沿線之地質之文獻如水文、地震、過去災害地下礦坑分佈及其他有關報告資料，做了詳盡之資料蒐集，略述如下：

### (A) 工址地質概況

#### 1. 地形

本區主要山脊線之走向大致為北東方向，次要山脊線則呈南北或北西方向，以八櫃附近為一分界，八櫃以北為起伏不大之山脊與山谷地形，八櫃以南則為地勢平緩之紅土台地地形，至南方聖王崎下及伯公溪和西湖農場邊緣則形成台地崖，地勢高低變化較大。

#### 2. 水文

本工址內主要河川為北側之西湖溪及南側之伯公溪，其間有一德興池，德興池以北，河流流向均由南向北，最後注入西湖溪，德興池附近之溪流則注入德興池，德興池以南則以北向南或東往西注入伯公溪匯整後流入大安溪，自民國五十年至七十七年廿八年間年雨量平均為 2245.5 公釐，雨季集中在 5~9 月。除西湖溪、伯公溪水量較豐外，其餘支流平常水量均小，大部份已開墾成農地，河流短促，河谷地形不顯著。

#### 3. 地震活動：

本區為地震活動頻繁之區域，屬於現行建築技術規則地震分區圖中之強震區，其地震震源明顯集中於地表下九公里深附近。經查證相關的研究，統計過去 100 年台灣區大地震之資料 ( $M \geq 6.0$ )，推算本區未來 100 年可能最大地震加速度之預期值為 250gal。

#### 4. 地層

本區地層依地質時間由新至老可概分為近世的沖積層、崖錐層及紅土台地、更新世的嶺料山層、中新世的十六分頁岩、關刀山砂岩及南莊層。

#### 5. 斷層與褶皺

本工程可能遭遇之斷層包括三義斷層、銅鑼斷層及十六分斷層，由於斷層對隧道工程為最不利之惡劣條件，斷層除了本身是一弱化岩體外，因斷層所引起之地下水問題亦為施工上嚴重之困擾，因此隧道通過斷層帶之長度愈短愈好，接近斷層帶時，宜儘量採取與斷層呈高角度通過之佈置。

由於岩層之地質構造為南莊層的 A 層位於 B 層之下，以向斜或背斜構造與隧道相交，對隧道工程而言，隧道與褶皺呈較大角度斜交時，在通過背斜褶皺軸部時，可能局部遭遇較破碎之岩體，在向斜之軸部，則可能遭遇地下水問題。隧道若沿向

斜軸平行開挖，可能引發龐大之地下湧水，隧道附近地表有河流存在，則尚可能產生壓力地下水，引起施工上極大之困擾。隧道沿背斜軸平行通過時，因背斜軸部常有張力裂隙存在，若隧道頂部覆蓋較淺，則隧道施工時，地下水之多寡常與天氣有關，因雨水易沿裂隙滲入隧道，增加隧道岩層之風化速率，岩體強度易受到相當程度之影響，尤其是長隧道，因施工工期長，在未完全襯砌前，岩體之弱化常引起施工上之諸多困難。

## (B) 各項地質調查之調查方法及目的

除了上述有關文獻外，爲了更深入瞭解地質因素，本處並進行了下列之地質調查工程：

### 1. 地表地質調查：

地表地質調查爲地質調查中最基本之工作，由現場踏勘實際觀察沿線之地形及露頭地質資料，以研究分析計劃隧道通過地區之地層分佈（走向、傾斜）、地質構造、斷層、褶皺、地表水、湧泉等水文資料，作爲路線選擇之參考。

### 2. 航照判釋：

根據民國六十六年農林航測隊所攝製之壹萬柒仟分之一比例尺航照，依色調、地形表現（水系、岩石性質）、線性（層理）分析、岩性構造等四大項進形判讀。

本項調查配合地表地質調查，對於崇山峻嶺、人跡不易到達之地區及大地構造中斷層褶皺之存在，線形分析、區域節理分佈等可獲得很好的效果，對於不穩定地盤，或現場不易察覺之部份，在航照（遙感有色照片）中常能顯示出來。對於水系分佈（如地下水位、地表水、溫泉等）亦有相當程度之幫助。

### 3. 震波探測：

利用人工開炸所產生之彈性波，探查地表下速度層之分佈以瞭解地下地質情況，由震測結果可大致研判地下岩層之強度、固結情況，破碎帶或斷層之存在，此種調查涵蓋面積較大，一般多沿當時所選路線加以進行。

### 4. 地質鑽探：

定線後沿隧道線進行地質鑽探，其孔數及位置，若地形許可，每一公里一孔爲原則，隧道兩端洞口及通風井及其他必要處再加鑽孔，本階段除採取岩心供岩石力學試驗以研判地下地質外，尚可進行下列各項試驗：

- (1) 壓力透水試驗：求出隧道周圍地盤之透水係數。
- (2) 孔內壓力試驗：測定隧道周圍之原始應力情況。

(3) 地下水位測定：埋設水壓計長期觀測地下水位之變化。

岩石力學試驗可分為室內及現場試驗，室內試驗所採用之岩樣通常均採自鑽孔之岩心及試坑所取之大型岩樣，其試驗項目包括一般指數性質（比重、孔隙率單位重、含水率、吸水率）、單軸抗壓、抗張強度、岩石硬度等其所得資料不作為隧道開挖機械選擇之參考，岩石材料磨損試驗、抗風化試驗等可作為開挖石碴供作骨材適用性之評估。

## 二、調查結果

依據野外工址地表地質調查及航照判讀結果，本工址因受三義斷層及十六份斷層之影響而形成許多斷層破碎帶及褶皺帶，岩層之位態亦顯得不規則，同時亦有許多節理之產生，主要之地質構造分述如下：【如附圖 6.2-1】

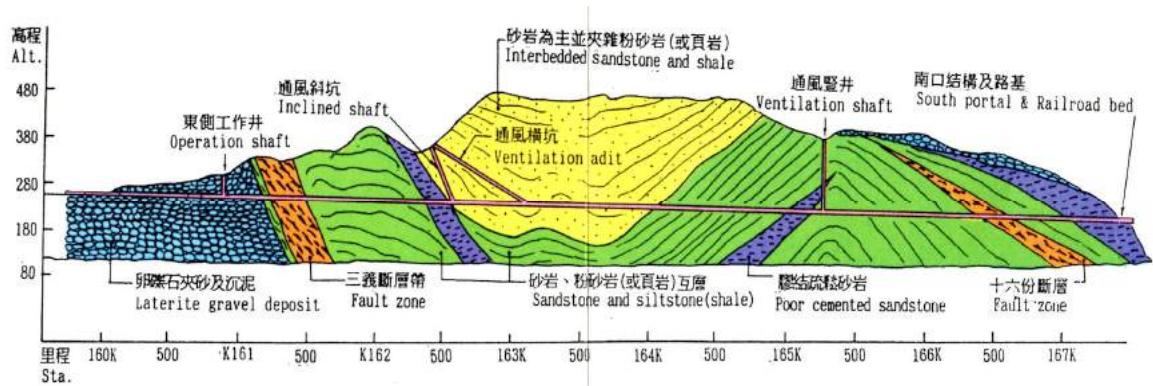


圖 6.2-1 三義斷層及十六份斷層地質示意圖

### 1. 斷層

斷層為本工址最重要之地質構造，包括三義斷層及十六份斷層，三義斷層於工址北端大致沿西湖溪主溪呈西北西走向，於三義車站西南方高速公路東側，突然轉折九十度並呈北北東走向，再向南延伸，依據野外露頭研判，推斷三義斷層為一低角度之逆衝斷層，但於出露地表時，常呈高角度的彎曲斷面，此一傾向東南之高傾角斷層於北口附近形成一狹窄破裂帶，並上衝至更新世之頭料山層上。其傾角度數與影響範圍尚無法確切的研判。

十六份斷層約呈東北東走向通過本工址南端，並於工址西南端為銅鑼斷層所截斷，其與主隧道線相交之確實位置及其影響範圍尚無法正確的研判。

### 2. 層理

由於受到三義斷層、向斜褶皺及十六份斷層等影響，岩層之位態因局部擾動而顯得不規則，地層走向一般為北 20 度至 70 度東，傾向東南，傾角約為 10 度至 50 度，同時亦有北西或東西之層面，且具有高角度之傾角。

層理厚度於砂岩及頁岩互層中約為數公分至 20 公分，於塊狀砂岩中則可達 1 公尺以上，一般而言層理開口緊閉，裂面平順。

### 3.節理

本工址之節理亦受到斷層作用及褶皺構造之影響而產生許多不同位態之節理組，其常與層理相互交切而將岩體分割成塊狀，不但減弱岩體之強度，亦可能形成地質構造破壞。

一般而言本區之主要節理有二：第一組節理為走向北 60 度至 80 度西，傾向東北，傾角 60 度至 80 度，第二組節理為走向北 50 度至 70 度東，傾向東南，傾角約 50 度至 70 度，部份節理面具有擦痕，開口並有填充物。

由於隧道開挖牽涉工程地質特性甚多，為使一般工程人員能對隧道岩盤特性有所了解，故將隧道岩盤性質量化，本階段隧道之岩體評分係採用南非 Bieniawski 之 CSIR 分類之岩體評分（Rock Mass Rating 簡稱 RMR）及挪威（NGI）Barton 之岩體分分類法（q 法）予以評分並辦理岩體分類。

## 三、結果檢討

三義隧道工程於施工前已做了詳盡之地質調查，惟地質情況之掌握不易，於施工時對實際開挖面之岩體分類應詳予記錄，一方面可做為設計施工法之印證，而本工程採用 NATM 施工，可視地質分類調整工法，一方面由實際開挖中觀察地質之變化，預測施工中可能發生之地質問題，以採取防範措施，同時並可建立完整之工程資料檔案。

北口及隧道北端之礫石層，由野外調查及水位觀測均顯示水位極高，開挖時應考慮點井打設及架設臨時擋土設施以防礫石因沖蝕而塌落。

隧道開挖現場如遇惡劣之地質狀況，應先辦理水平先進探查孔，以確認斷層之影響範圍及開挖面後方湧水之可能性。

三義斷層及十六份斷層之確切位置，影響範圍及岩盤特性均尚未充份掌握施工時應特別注意地質變化。（圖 6.2-2 及圖 6.2-3）

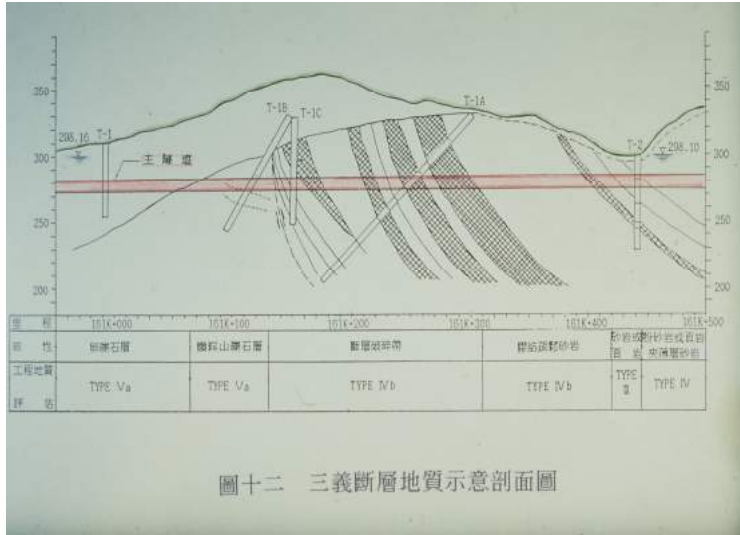


圖 6.2-2 三義斷層帶地質鑽探示意圖

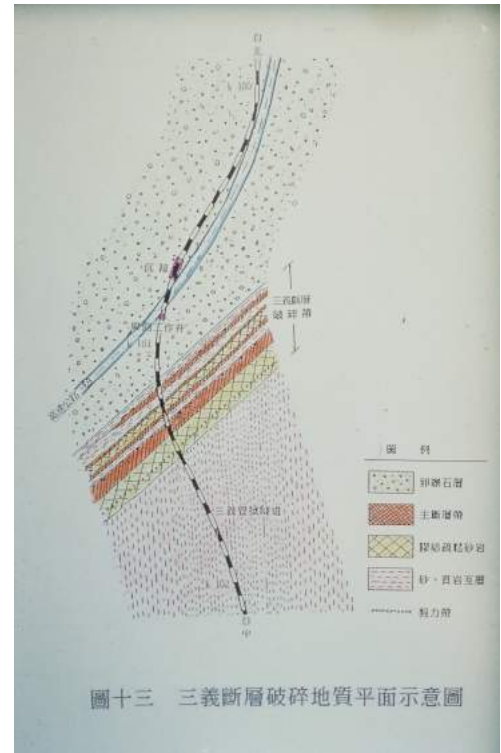


圖 6.2-3 三義斷層破碎帶位置示意圖

## 6.2.2 選線原則

### 一、概述

本路段現有線型因係早年興建，當時工程技術落後，加上山區地勢崎嶇，致使路線蜿蜒彎曲，全路段最小曲線半徑僅 300 公尺，最大縱坡高達 26‰，且隧道多、斷面又未達標準，因此該路段在坡度陡、彎道急及隧道密集之情況下，行車效率一直無法提高。

有關選線之工作，將涉及工程地質、路線標準、施工中交通維持、行車切換、用地徵收及民房拆除等，影響全工程之設計及施工均甚鉅。其中隧道工程與地質情況更有密切關係，如地質條件不良，不但工程費用增加，工期稽延，且易導致災變而產生無窮之困擾，將來路線之維修亦較費力與困難。

本路線北端既有舊線成 S 型曲線，曲線半徑僅 400 公尺，線型及坡度標準均甚差，且該路段位於三義市區內，附近有許多民房、工廠及道路，部份路線亦緊鄰高速公路，且隧道北口須由高速公路底部穿過，其覆蓋層又薄，更使路線規劃益形複雜。

## 二、路線佈設

本段新建工程之路線：自三義車站南端起，在現有線西側另增一新西主線，以擴建為雙軌。向南經過雙連潭橋，沿高速公路西側，經由西湖溪所形成之沖積平地，於穿入高速公路路堤起，進入一受三義逆衝斷層作用而抬昇之丘陵地形，其間並有一連串間夾之西北方向山谷；至八櫃後，向南經由地表為紅土礫石層所覆蓋之較平坦高地，直到聖王崎下附近鯉魚潭村銜接新建之鯉魚潭橋為止。

有關本工程選線工作，在預定經過之路線地區，需考慮之問題包括：

### 1.三義斷層及其破碎帶之影響

因該斷層幾乎與本工程預定路線平行，雖然該斷層在預定路線之西側，但因該斷層為一向東呈低角度之逆衝斷層，斷面傾角平緩，在隧道預定深度處將無法避免須穿越斷層破碎帶。該斷層上盤之岩層係屬南莊層中弱至中強之岩體，因受到斷層之影響，路線附近地盤勢必破碎，而斷層下盤之岩層為頭料山層膠結不佳之礫石層，為一個良好的蓄水層，地下水將甚豐富。

### 2.德興池地下水之影響

路線正好從德興池下方經過，池水很容易順岩層裂隙下滲，形成地下水滲流，此種破碎之岩層及大量地下水將造成隧道施工甚大困難。

### 3.淺覆蓋洞口段施工之超挖影響

在隧道洞口附近覆蓋深度尚淺時，需避開疏鬆沖積層、山窪谷地、潛移崩坍區及上方有民房之淺覆土區等不利隧道工程之地質地帶。

### 4.維持現有鐵路行車之運轉及施工空間與動線之配置

於雙連潭橋南方，現有路線成 S 型曲線，曲線半徑僅有 400 公尺，線型、坡度標準甚差，在改善路線標準之情況下，須考慮現有鐵路行車之運轉、施工時設備與挖方之進出及儘可能避免影響現有管線與減少附近民房之徵購、拆除。

### 5.減少穿越高速公路之相互影響

本預定路線在隧道北端勢必需要穿過高速公路，為避免施工困難及施工時所可能造成高速公路路面沉陷等，傷害高速公路正常營運，所選路線與高速公路相交處應儘可能有較深之覆土深度及較大之相交角度，以減少穿越長度。

### 6.現有平交道及穿越高速公路陸橋之地下化考量

在雙連潭橋南方約 260 公尺處現有線有一平交道，此平交道及旁邊穿過高速公路填土路堤之高速公路陸橋係三義往東至台 3 線之大湖、卓蘭重要通道，應配合此次雙軌工程一併將路線改為地下化，以取消平交道，惟因距離雙連潭橋不遠，附



近又有民房及高速公路限制，路線之線型與坡度需配合各種考慮，以兼顧各方面之要求。

#### 7. 避開隧道南口潛移崩坍區及密集之民宅區

在路線南端隧道出口處附近有一潛移崩坍區，附近亦有部份民房(鯉魚潭村)，為減低不利隧道施工之困難及減少徵購民房阻力，所選路線應儘量避開此區。

#### 8. 利用現有道路增加工作面之考量

因本隧道長度甚長，為縮短施工期，應設法增加工作面，因此路線之選擇應儘量使工作面能利用現有鄉村道路，避免須另闢施工道路，增加工程費、購地時間與購地困擾。

### 三、平面線形

規劃標準：最小曲線半徑：700 公尺以上。

兼顧地質因素、施工困難度及減少民房拆除等考量，本工程路線平面線形：自三義車站南端過雙連潭橋後，以兩半徑均為 820 公尺之曲線沿高速公路西側，在三義車站南方約 1.4 公里處再穿入高速公路，至避開三義斷層之影響後，配合地質情況、隧道南口、通風豎坑、斜坑位置及進出施工道路等因素，設置二曲線：一處半徑為 2000 公尺、另一處則為 3000 公尺，於路線南端避開鯉魚潭村與崩坍區後，銜接至鯉魚潭橋。〔如附圖 6.1-3〕

### 四、路線縱坡

規劃標準：最大坡度：千分之十五以下(隧道內千分之十以下)

有關路線之縱坡：於北端進入隧道以前，現有線除坡度大(最大 21‰)外，亦有甚多變坡點，在路線標準上並非理想。新線除要提高標準外，在此路段尚需考慮三義車站站場需要、雙連潭橋梁底淨空及重河路平交道地下化等因素。

基本設計階段規劃在三義車站場內採用+1.26‰之坡度以維持約與原車站相同之坡度，方便行車切換與運轉；在出站道岔群前再改為+12.231‰，使雙連潭橋梁底高程不致比現有舊橋低，過雙連潭橋後坡度變為-6.856‰，逐漸將路線降低，到重河路時已完全進入地下以取消現有平交道，且在地下隧道箱涵頂版上方可維持適當空間，以便便線於此處附近跨越新線時，可架設施工用之便橋，一方面維持地面便線行車，另一方面可在地下開挖新線隧道。過了重河路後，配合地面高程，為減少明挖段開挖深度，並兼顧穿過高速公路路堤之覆土厚度，採用+9.25‰之坡度漸將路線上昇，在此段坡度與前段縱坡之變坡點處，將為本工程北端高程最低點，為避免隧道內積水，考慮設置抽水站，配合抽水站之可用地，此變坡點選擇設在里程 160k+220，以利用改線後現有線之土地設置抽水機房，避免需另行購地。

在進入高速公路後之鑽掘隧道段坡度，一方面兼顧最大坡度 10‰之需求另一方面儘可能縮短通風隧道與通風豎坑長度，並配合南端鯉魚潭橋之設計高程，前段採用+6.803‰之昇坡，後段採用-9.811‰之降坡，儘可能使隧道中央提高以減短通風隧道長度，並可利於排水，當中最高處之變坡點也儘可能接近通風隧道，以利於廢氣排出。

## 6.3 隧道設計\_\_NATM 之基本設計

### 6.3.1 工程地質特性

根據既有之區域地質文獻、地表地質調查、多次現場實地勘查及鑽探資料結果，發現隧道所經過之地層，具有多種完全不同性質之岩體及不規則界面，並有三義斷層通過，此等岩質差異，如岩體固結程度及強度、岩體破裂程度、裂面情形、地下水及所含礦物成份等重要特性，均將以不等之程度影響岩體開挖後之應變行為。

本區地層依地質年代由新至老可概分為：

#### 更新世：

- 1.由砂、沉泥質砂及砂質黏土夾雜卵礫石所組成之堆積層。
- 2.由風化之岩塊及紅土礫石層塌落所堆積而成之崖錐層。
- 3.由砂、卵礫石夾雜部份沉泥所組成紅土礫石層。
- 4.由輕度膠結、組織不緻密之礫岩組成之頭料山層。

#### 中新世：

- 5.由含豐富化石成份之深灰色頁岩組成之十六份頁岩。
- 6.以細到中等顆粒、淡灰色之砂岩為主，偶夾深灰色頁岩組成之關山刀砂岩。
- 7.由白色砂岩、深灰色頁岩及砂岩、粉砂岩、頁岩互層所組成之南莊層其中尤以紅土礫石層及南莊層膠結疏鬆砂岩二者對隧道施工最具影響。

### 6.3.2 水文地質特性

三義一號隧道沿線須考慮的水文問題為：

- 1.地下水所造成之湧水。
- 2.含水層位置所在。
- 3.降雨量與地表逕流造成之地下水位高低的變化，及其對岩層滲水或湧水現象之影響。

上述均為水文分析及隧道內、外等排水系統設計時應考量之要點。

### 6.3.3 地震活動

台灣位於環太平洋地震帶上，屬於高強度地震活動頻繁之地震區域。本工程則屬於三個地震分區之西部地震帶，其地震規模一般不大，惟其震源大都位於淺層；為確保日後隧道營運之安全性，須先評估西部地震帶對三義一號隧道沿線影響之情形，以為隧道結構設計之參考。

### 6.3.4 岩體分類

經由航測照片判讀、地表地質調查及地表下探測等方式，並依據 KOHLBECK(1985)及 KOHLBECK & SCHEIDEGGER(1977) 等理論分析不連續面分佈密度，另依 WALLBRECHER(1979, 1986)理論分析不連續面方位，將隧道全線區分為五個地質均質區域 AREA 1~5：

AREA 1：有關三義斷層區域。

AREA 2：三義斷層南端，因斷層造成的褶皺影響區域。

AREA 3：向斜褶皺附近。

AREA 4：十六份斷層區域。

AREA 5：隧道南口區域。

藉由試坑和鑽孔瞭解地表下之岩體狀態、地質構造特性，進而判斷不同岩石類別之強度和物理性質。依上述調查結果及鑽孔岩心之工程地質特性，可建立有系統之岩石類別及岩體分類。

#### 1. 岩石類別

三義一號隧道工程依鑽探取樣及試驗結果（礦物成份及力學性質分析），沿線岩層可區分 A、B、C、D、E 及 F 六種。

#### 2. 岩體分類

依據不同之岩石類別及鑽孔岩心之地工特性，參酌岩體不連續面情況、風化程度、層面間距及破裂程度，三義一號隧道可分為以下三組地工岩體單元（GRU）。

#### 地工岩體分類參數的定義

##### 風化程度

- |      |   |                 |
|------|---|-----------------|
| 級別 1 | — | 新鮮岩盤            |
| 級別 2 | — | 具鐵染之不連續面        |
| 級別 3 | — | 岩石大部份具鐵染，岩石強度減低 |
| 級別 4 | — | 岩石因風化而分解        |

層面間距

- 級別 1 — 超過 30 公分
- 級別 2 — 10 至 30 公分之間
- 級別 3 — 5 至 10 公分之間
- 級別 4 — 1 至 5 公分之間
- 級別 5 — 小於 1 公分

碎裂程度（岩心塊長度）

- 級別 1 — 超過 10 公分
- 級別 2 — 3 至 10 公分之間
- 級別 3 — 1 至 3 公分之間
- 級別 4 — 小於 1 公分

GRU 1— 高強度岩體，包含岩石類別 A、B、C。

風化程度：級別 1、2。

層面間距：岩石類別 A 級別 1、2。

岩石類別 B 級別 1 至 4。

岩石類別 C 級別 1 至 4。

碎裂程度：岩石類別 A 級別 1。

岩石類別 B 級別 1、2。

岩石類別 C 級別 1、2。

GRU 2—中強度岩體包含岩石類別 A、B、C、D。

風化程度：級別 1、2、3。

層面間距：岩石類別 A 級別 2、3、4。

岩石類別 B 級別 3、4。

岩石類別 C 級別 3、4、5。

岩石類別 D 級別 3、4、5。

碎裂程度：岩石類別 A 級別 2。

岩石類別 B 級別 2。

岩石類別 C 級別 2。

岩石類別 D 級別 1、2。

GRU 3—低強度岩體包含岩石類別 A、B、C、D、E、F。

風化程度：不具意義。

層面間距：不具意義。

碎裂程度：

岩石類別 A 級別 3、4。

岩石類別 B 級別 3、4。

岩石類別 C 級別 3、4。

岩石類別 D 級別 3、4。

岩石類別 E 級別 4。

岩石類別 F 級別 4。

考慮岩體於開挖時可能之應變行爲、幾何形狀、存在之主應力狀態、相對於隧道軸線之不連續面方位及水文情況等，岩石類別及地工岩體單元（GRU）與岩體分類將有以下之關係：

GRU 1 相當於 岩體分類 I。

GRU 2 相當於 岩體分類 II、III。

GRU 3 相當於 岩體分類 IV。

經由綜合分析及研判，於基本設計階段之岩體分類系統如下：

**第 I 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，岩體力學行爲維持彈性狀態，開挖面穩定。

**第 II 類岩體：**

此類岩體爲破碎岩盤，部份堅實岩塊保持彈性狀態，然而不連續面之小位移依舊可見，裸露岩盤呈現輕微脆裂現象。

**第 III 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，不再維持彈性之力學行爲，靠近隧道處岩盤出現剪力破壞，但變形量小並且能迅速達到穩定狀態，屬於輕度擠壓性岩類，裸露岩盤出現脆裂現象。

**第 IV 類岩體：**

此類岩體於隧道開挖過程中，不再維持彈性之力學行爲，靠近隧道處岩盤出現剪力破壞，顯著的變形量將產生，爾後漸趨穩定，屬於擠壓性岩類，裸露之岩盤一般均不穩定。

**第 V 類岩體：**

此類爲軟弱或無凝聚力之地盤，通常見於覆土淺之洞口段，在初次襯砌設置之前，裸露岩盤必須補強處理以維持穩定。

至於通風豎坑遭遇之岩體，初步歸納爲兩類（A 及 B）分述如下：

**A 類岩體：**

此類岩體維持彈性力學行爲，然而極發達之不連續面仍須有適當之支撐系統以維持穩定，A 類岩盤大多爲粉砂岩及砂岩互層夾雜少量頁岩，破碎情形變化很大。

**B 類岩體：**

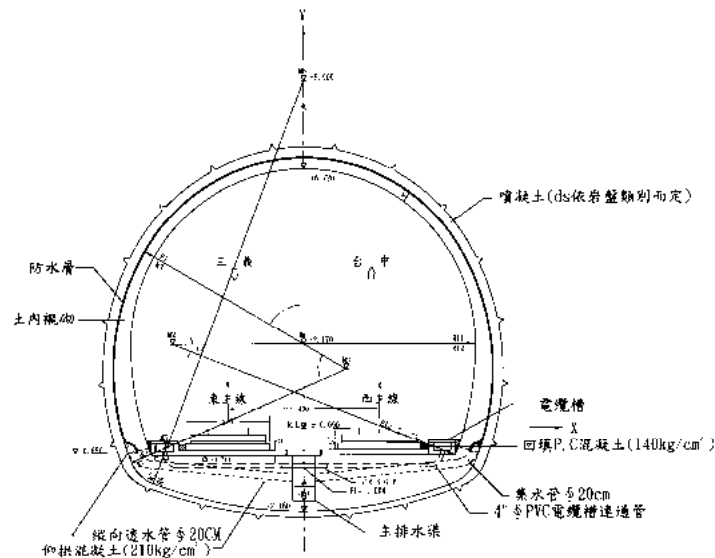
豎坑附近之岩盤呈現應力集中現象，產生之集中應力大過岩體本身強度，局部的剪力破壞使岩盤產生變形，B 類岩盤主要見於極破碎帶與斷層區域。

### 6.3.5 主隧道基本設計

本隧道設計係運用 NATM 施工理念及參考其一貫累積之施工經驗作為設計依據，NATM 之基本原理為隧道開挖後，需促使隧道周圍之岩體或地層形成自身就具備有承載岩壓之環體，為達成此目的，設計需符合以下之基本條件：

- 隧道形狀須避免產生岩體應力集中現象。
- 合適的支撐方式及施加順序。
- 變形與應力之計測及控制，使支撐達最佳效果。

為達成上述要求，除須瞭解岩體之工程行為及進行 NATM 岩體分類外，設計工作尚需包括：支撐系統、施工順序、規範中要求施工注意事項，以及施工中岩體分類修正，觀測及控制等，此一系列之過程均屬於設計考量部份。



主坑道正常段標準斷面圖

隧道主線標準斷面詳如上圖 6.3-1 標準斷面圖所示，分別適用於有仰拱、無仰拱及明挖段（U 型及箱形結構），淨空需求係依台灣鐵路交流電氣運轉路線雙線隧道淨空標準，其斷面設計之主要考慮為淨空需求、開挖後岩體應力狀況、排水系統、仰拱以及施工可行性等。隧道斷面結構包括支撐系統之噴凝土、鋼絲網及岩栓等。新奧工法有關開挖支撐之設計係依據既定之岩體分類，再憑藉 NATM 理論與經驗作出支撐系統及開挖順序，一般新奧工法施工之作業流程如附圖 6.1-3 及附圖 6.1-4 所示。然而在開挖過程中，持續的工程地質評估及現地計測，並據以修正岩體分類及支撐系統，係不可免之必要步驟。

除主隧道之外，另外顧及平時或緊急狀況之維護及通風設施需求，本工程尚包括通風隧道一條及通風豎坑一口；此外通風隧道亦將作為永久性之緊急逃生通路，除通風設施之外，兩種不同尺寸之雙側避車洞（主避車洞及標準避車洞）亦將引用於本工程。

由於基本設計階段之岩體分類及開挖支撐系統設計均是依據有限之地質調查結果所作的分析、評估及推測，是以施工期間岩體應力變化等之計測實為隧道施工之重要環節，藉此隧道計測在短時間內可獲知設置之支撐及施工結果是否適當，必要時尚可及時調整及補設額外之支撐構件，以防止岩體趨於不穩定，並藉計測之觀察，預測前方岩體狀況，有助於施工作業之調整，使工程更臻於安全而經濟。基本設計階段所建議之計測系統包括：

1. 隧道內變位測定（收斂儀及高程測量點）
2. 隧道附近地層應變量測（伸縮儀）
3. 噴凝土襯砌之應力測定（應變計）

縱觀三義壹號隧道之設計模式，係參考南迴線鐵路工程之隧道施工實例，並配合地質特性加以修正，例如東側并礫石層之開挖，覆蓋較薄之穿越高速公路段以及三義斷層帶（過河段）之特殊處理，在設計上均有相當大之突破，使其施工性、安全性及經濟性，達到所預期的效果。

### 6.3.6 穿越高速公路段

依據地質鑽探資料及地表地質調查結果顯示，一號隧道北口附近地層主要為河床堆積層及紅土卵礫石層交界區域。由於河床堆積層之透水性極佳，開挖區可能出現之大量湧水問題，係開挖安全措施選擇及考量評估之重點，採完全止水之擋土結構並配合利用抽水設備以降低地下水位將是隧道北口施工較理想之措施，經評估施工可行性及經濟性，建議選用之擋土結構為場鑄鋼筋混凝土鑽掘樁。為使北口隧道鑽掘作業不致對中山高速公路造成過大沉陷影響並且兼顧隧道開挖面之穩定，配合採用灌漿工法改良地盤及達到止水的效果。

## 6.4 隧道施工\_\_NATM 之施工

### 6.4.1 主隧道施工

#### 一、地質調查工作

三義壹號隧道在地質調查工作方面分為三階段，第一階段為定線用調查，自路線勘測檢討至路線決定為止，完成地形、地質、環境及其他一般性調查；第二階段供設計施工計劃用之調查，自隧道定線後工程開工前，完成較為精密之地質調查及周圍一帶基於實際需要之計劃調查，供機具設備用之調查。第三階段即施工中之調查，在隧道開挖面施作先進鑽探孔及 TSP (Tunnel Seismic Prediction) 調查作為施工中所發生之問題的預測與檢討，以供工程管理、設計變更及災害保險補償等作用。

#### 二、工程內容

本工程定線完成後全長 7,727.4 公尺 (K159+740~K167+467.4) 最大坡度 9.8125 ‰ 最小半徑 800 公尺，除北端 990 公尺 (K159+740~K160+730) 含路基、雙連潭橋、U 型擋牆、明挖覆蓋段及南端 47 公尺 (K167+420.4~K167+467.4) 含南洞口明挖、路基外，隧道部份全長 6690.4 公尺 (K160+730~K167+420.4)。為考量工期 50 個月內完工，規劃穿越高速公路段、工作豎井向南、通風斜坑向北向南、風橫坑向南向北、豎井向北及南口向北等八個工作面施工，詳如附圖一。出碴方式主隧道內均採用輪胎工法，唯斜坑段 (L=320M) 須轉換軌道工法，配合 2 部 (75KW、160KW) 捲揚機出碴。另穿越高速段 (L=20M)、工作豎井 (L=33M) 配合 15T 門型吊車乙部、通風豎井 (L=126M) 則配合高速捲揚機一套出碴。

#### 三、地質與岩體分類

隧道沿線地形屬丘陵台地、起伏不大覆蓋厚度介於 7~250 公尺之間，岩層分佈主要為卵礫石層、砂岩、砂頁岩互層等岩石強度不高，介於 150~400 kg/c m<sup>2</sup>，其中三義斷層破碎帶 (290M) 及十六份斷層 (60M) 以及地下水因素增加施工之困難度 (如附圖 6.1-2)。隧道開挖依上述岩質條件予與各工作面，預估為 II、III、IVa、IVb、Va、Vb 等六種岩盤類別。然實際開挖後採用 III、IVa、Va 種岩盤類別施工。

#### 四、開挖與支撐型式

隧道內淨空斷面，採台鐵雙線電氣化標準，鋼軌面以上高 6.72 公尺、寬 8.08 公尺、起拱線處寬 9.10 公尺。隧道斷面之開挖、支撐與混凝土襯砌等。參考以往的施工實例及經驗，配合岩體分類及設計標準模式加以設計。隧道開挖分為第 I 類岩盤、第 II 類岩盤、第 III 類岩盤、第 IVa 類岩盤、第 IVb 岩盤、第 Va 類岩盤、第 Vb



類岩盤等七種開挖及支撐系統配合施工。

(1) 主隧道第 I、II 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進長度 1.5~2.0M，採用長台階工法施工，其施工順序為：1. 上半斷面開挖 2. 上半斷面架設鋼支保 3. 上半斷面鋼絲網鋪設及噴凝土 4. 下半斷面開挖 5. 下半斷面鋼支保架設 6. 下半斷面鋼絲網鋪設及噴凝土 7. 底樑開挖及凝土 8. 內襯砌凝土。

(2) 主隧道第 III 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進 1.0~1.5M，採用長台階工法施工。其施工步驟為：1. 上半斷面開挖與支撐（視地質狀況施作環狀開挖及臨時仰拱閉合） 2. 下半斷面開挖與支撐 3. 仰拱開挖與支撐 4. 內襯砌凝土。

(3) 主隧道第 IVa、Va 類岩盤開挖

上半部開挖每輪進 0.8~1.0M，採用長台階工法施工。其施工步驟為：1. 上半部視地質狀況施作固結及化學灌漿 2. 上半斷面開挖與支撐（配合環狀開挖施作臨時封面及臨時仰拱閉合） 3. 下半斷面開挖與支撐 4. 仰拱開挖與支撐 5. 內襯砌凝土。

(4) 主隧道第 IVb、Vb 類岩盤開挖

其施工法稱側導坑先進工法，開挖每輪進 0.8~1.0M，採用短台階工法施工，適用於滲水量較大之區段。其施工步驟為：1. 開挖前施作固結及化學灌漿 2. 側導坑上半斷面開挖與支撐 3. 側導坑下半斷面開挖與支撐 4. 側導坑仰拱開挖與支撐 5. 主隧道上半斷面開挖與支撐 6. 主隧道下半斷面開挖與支撐 7. 主隧道仰拱開挖與支撐 8. 內襯砌凝土。

## 五、隧道襯砌

隧道內襯砌之施工，必須在觀測岩體變形穩定之後（ $<2\text{mm}/\text{月}$ ），才能進行。其可能承受之外力，來自岩體之潛變或隧道外壁蓄積之滲水壓力，其目的係為隧道內面裝飾、設備安裝以及增加隧道結構之安全。此外，內襯砌亦具保護防水層之功用，其設計厚度，分為洞口段及交叉段有筋凝土厚度為 50 公分，普通段無筋凝土厚度為 30 公分，其 28 天之凝土抗壓強度為  $240\text{ kg/cm}^2$ 。仰拱凝土厚度為配合中央溝排水系統最少厚度為 50 公分，強度為  $210\text{kg/cm}^2$ 。

## 六、施工監測

隧道施工監測之目的確保隧道周圍岩盤之安定，並做為現場施工管理之指標及提供設計之參考。為確保施工安全，擬根據設計圖中之地質與支撐資料<sup>詳</sup>建立預警燈號之管制基準，以利監測工作的進行。本工程各項監測項目有頂拱沉陷、水平內空變位、斜向內空變位、伸張儀、計測岩栓、噴凝土應力計等。



照片 6.4-1 主隧道施工



照片 6.4-2 主隧道施工洞口開挖



照片 6.4-3 隧道施工下半斷面開挖



照片 6.4-4 隧道施工上半斷面開挖



照片 6.4-5 隧道施工敷設防水膜



照片 6.4-6 隧道施工襯砌



照片 6.4-7 隧道施工機械半斷面鋼模



照片 6.4-8 隧道施工機械全斷面鋼模

## 6.4.2 豎井施工

三義壹號隧道工程全長 7727.4 公尺，屬於長大隧道工程，因此對於隧道內的通風方式必須做妥善的規劃。本工程的通風管道有通風橫、斜坑及通風豎井，其位置約在主隧道長度的三分之一等分，即相隔約 2 公里，以自然空氣對流的通風方式進行隧道內的換氣。通風豎井位於主隧道里程 165k+250 處，完成面淨空為直徑 8 公尺的圓形斷面，豎井井深 126.7 公尺，在底部以連接橫坑與主隧道相連接。於井口處則加蓋豎井維修室與外界隔離。豎井的設置除了以上通風功能的考慮之外，另外也提供了主隧道施工期間的一個工作面，本工作面配合專門設計的高速捲揚機設備，使得整體工期得以縮短，此亦是本工程規劃上的特色。

### 一、地質概述

按地質調查分析報告，在地表面以下 10 公尺為礫石夾黃棕色土壤的覆蓋層，覆蓋層下方為砂岩、頁岩、粉砂岩及泥岩的互層。覆蓋層土壤的有效凝聚力  $C'=10$  KN/m<sup>2</sup>；有效抗剪角為  $\phi'=30^\circ$ 。岩盤之岩材單軸抗壓強度約為 10~30MPa，岩盤節理發達。地下水位高度約在地面下 8 公尺。綜合上述，除覆蓋層外其餘依 CSIR 岩體分類法之評分結果約為 30~50 分，屬 III、IV 類岩盤，岩盤自持性尚可，惟需注意節理、弱面夾軟泥遇水易產生滑動而形成不穩定。

### 二、豎井開挖之邊坡穩定分析

- (1) 分析剖面：依現地地勢及細部測量地形資料，取最陡坡作邊坡穩定分析。
- (2) 土壤力學參數：參考地質鑽探孔 SH-1 之取樣分析結果研判取有效凝聚力  $C'=10$  KN/m<sup>2</sup>；有效抗剪角為  $\phi'=30^\circ$ 。
- (3) 分析方法：以 "STABL-5" 電腦程式分析。
- (4) 分析結果及設計：坡面以 10CM 厚噴凝土加一層 5/5-100\*100 鋼絲網保護，並鉗設排水孔。坡頂及坡腳設置截、排水溝。

### 三、豎井結構與斷面

- (1)豎井標準斷面：豎井的施工理念為新奧工法與主隧道相同，襯砌分為噴凝土外襯砌及混凝土內襯砌兩層，噴凝土厚度為 15~25 公分依現地岩體分類所對應的支撐型式施工。混凝土厚度為 30、50 公分，在井口段 15 公尺及與連接橫坑交叉段採混凝土厚度 50 公分，其餘區段混凝土厚度則為 30 公分
- (2)豎井開挖與支撐措施：按新奧工法原理設計，因斷面形狀為圓形較有利於閉合條件。開挖採深井鑽炸工法，每環開挖深度 1~2.0M 視地質情況好壞應變調整。支撐措施則以噴凝土、鋼絲網、鋼支保、岩栓等構件按岩體分類等級組合應用
- (3)豎井排水設施：為避免地下水壓力對豎井井壁造成壓力破壞，在豎井周圍埋設四支縱向落水管，而深度每 20 公尺處則埋設環型排水管。為利於開挖每 20 公尺設置抽水轉運站凹槽一處。

### 四、豎井開挖階段計測斷面設計

豎井計測斷面分為兩種，" I "型於豎井直徑方向裝設兩組收斂計測釘做徑向變位收斂觀測，設置間距為 20 公尺；" II "型除收斂計測釘之外並加裝伸張儀以觀測豎井周圍岩盤位移變化，設置間距為 40 公尺。此外於交叉段及極惡劣地質得視需要增設計測斷面。【詳如附表 6.4-1】

表 6.4-1 豎井開挖支撐元件表

豎井斷面項目	正常段 I、II 類	正常段 III 類	正常段 IV 類	交叉段及洞口段
噴凝土(CM)	10	15	20	25
鋼絲網 5/5-100*100	內面一層	內面一層	內外面各一層	內外面各一層
岩栓(4M/支)	—	0~8	12	—

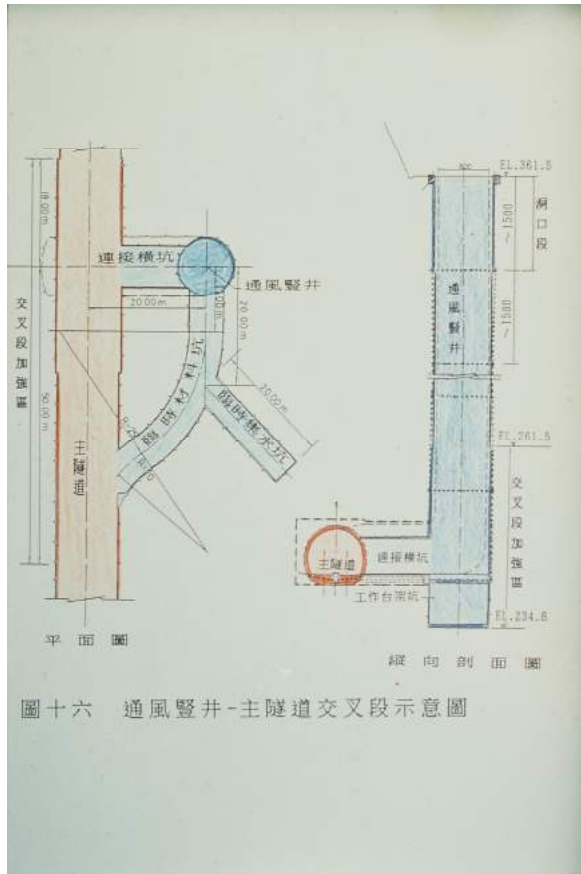


圖 6.4-1 三義隧道斷面示意圖

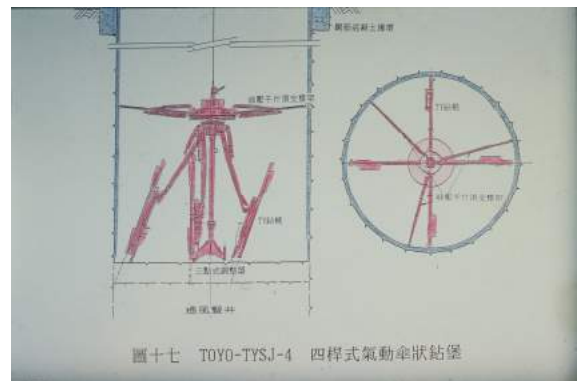


圖 6.4-2 豎井施工機械示意圖

### 6.4.3 穿越高速路段之施工

三義壹號隧道新建工程，北端穿越高速公路段於交通頻繁之中山高速公路下方之卵礫石層中開挖。穿越高速公路段全長 183.2 公尺（里程由 160K+730 至 160K+913.2）。隧道開挖斷面寬約 10.8 公尺，高約 10.4 公尺，與高速公路約成 30 度斜交（相對高速公路里程約於 147K+774 至 147K+867），其覆蓋層厚度僅 8 公尺至 20 公尺。由於本區段為紅土礫石層，石質堅硬且地下水位高，因此施工困難度相對增高，為顧及高速公路行車安全與暢通，故設計考量於隧道開挖前施工採超微粒水泥灌漿及小管幕為輔助工法，以改良地質及止水，再以新奧工法（NATM）進行隧道開挖，並配合計測儀器監測研判，俾能順利安全完成本段工程，使對高速公路行車的影響至最小程度。

#### 一、施工區域

本區域由北端沉箱段 Sta.160k+730 至南端東側工作井 Sta.160K+913.2，計 183.2m，其與高速公路交叉部份長度約 110m（自路堤坡腳起算）。施工分為南北

兩個工作面，北端為沉箱工作井（15.6m X 15.6m<sup>淨</sup> L=23.5m）、南端為東側工作井（ $\phi$ =11.1m，L=33m），兩者均須以門型吊車進行出碴及材料、機具運送。

本穿越段週遭地形起伏不大，隧道頂部覆蓋厚度由 8~20 公尺不等（含高速公路回填夯實土層約 7~8 公尺），隧道上方之高速公路兩側共有四車道，車流量頻繁趨於飽和。

## 二、地質與水文概述

本施工區域地質為卵礫石層，礫石含量約 60~90%，主要粒徑約 3 至 50 公分，呈圓球形或橢圓球形，屬河階堆積之礫石層，主要以白色石英砂岩為主，表面常有黃褐色鐵染出現。礫石間所夾細粒料以粗砂為主，內含少量沉泥及粘土，呈黃褐色，因受地下水影響，膠結性不佳，開挖面易隨滲流水而坍落。

隧道北端入口處之地下水位，在未施工前約於地表下 1 公尺。南端東側工作井水位約於地表下 5 公尺左右。由現地抽水試驗推估之滲透係數 K 值為 10<sup>-2</sup>~10<sup>-4</sup> cm/sec，地下水流方向為東南向西北。為降低穿越段施工區域之地下水。因此由東側工作井(井深 33 公尺)先降挖截流，以降低本區段之地下水位及減少本隧道開挖面之滲流。

## 三、輔助工法

基於地質狀況特殊及高速公路路面沉陷之考量，施工方法先採用超微粒水泥灌漿(或水泥漿)及管幕支撐為輔助工法，以改良並強化隧道周圍地層後再進行上半斷面開挖。隧道內每輪鑽灌 12 公尺，再開挖 9 公尺；惟在北端覆蓋較薄處，先自地表施作垂直灌漿。

### (1) 地表垂直灌漿

Sta.160K+730~790 覆蓋較薄，約 8~14m)故採由地表垂直灌漿，對於鑽孔之位置及角度容易控制，施工較易且效果較易掌握。灌漿孔配置採孔距 1.5m×1.5m，孔深依現地地形調整自 8.5 公尺至 21.5 公尺不等，使隧道周圍 3m 之範圍形成灌漿改良區灌漿材料以水泥漿為主，另視需要輔以 LW 漿液（水泥漿+水玻璃），灌漿壓力至 5Kg/cm<sup>2</sup> 後保持 20 分鐘壓力不減時始停止灌漿。

### (2) 隧道內前進灌漿

#### A. 鑽灌方法

Sta.160k+790~913.2 隧道已進入高速公路邊坡，地表覆蓋厚度增加，鑽孔長度增長，無法從高速公路及其邊坡上施鑽，故採隧道內前進灌漿。灌漿工法採每輪施作 12m，開挖 9m，保留 3m 重疊。鑽孔使用之鑽機為礦研(KOKEN) RPD-100C(4)-LB 型。灌漿管以跳島式鑽設，鑽孔分為 A 環、B 環及 C 環。由兩側向中央鑽設。鑽

孔之孔徑約 96mm，孔位仰角 10~15 度使各孔在孔底之間距不超過 1.2m，俾使灌漿後因重疊效應產生至少 3m 厚之灌漿改良區。

為使灌漿材料有效地滲入卵礫石層中之土壤達到止水與固結效果，灌漿材料採超微粒水泥（Micro fine Cement），其止水效果較優於一般水泥漿，但鑑於其成本較高，將視開挖工作面滲水狀況以水泥漿取代。下半斷面灌漿亦將以此原則調整超微粒水泥之用量，以期節省工程費用。灌漿每孔最大灌漿量每分鐘 30~35 公升，孔口壓力以 10Kg/cm<sup>2</sup> 為限，以免造成高速公路路面破壞或隆起。灌漿採跳孔施作，且由隧道內向外圍施灌，灌漿施工步驟如下圖 6.4-3 所示。

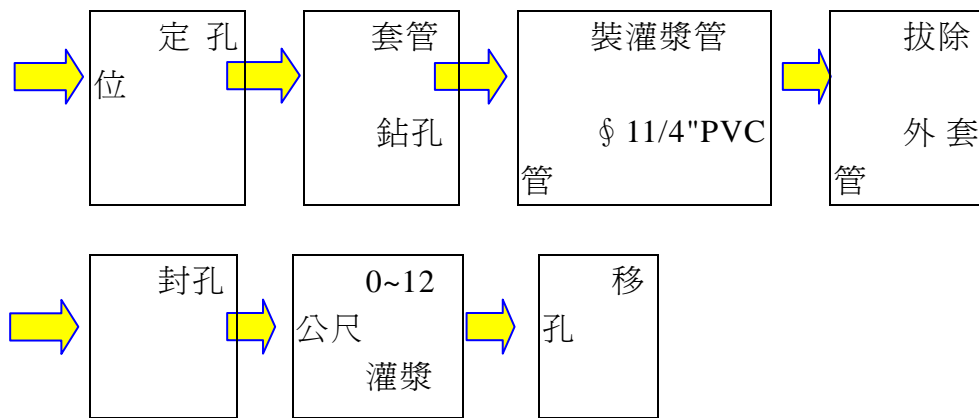


圖 6.4-3 灌漿施工流程圖

#### B. 超微粒水泥之特性及配比

超微粒水泥之粒徑為一般波特蘭 I 型水泥之 1/5，可滲入細砂達到較佳之止水及固結礫石層的目的。超微粒水泥及添加物、附加劑均不含有毒性物質。其規範如表 6.4-2 所示。

表 6.4-2 超微細水泥之規範

比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	粒徑分佈(μm)	抗壓強度(kg/cm <sup>2</sup> )
> 8,000	0~4 ≥45%	3 天強度 ≥ 200
	0~10 ≥95%	7 天強度 ≥ 350
	max. ≤ 20 μm	28 天強度 ≥ 500

本工程使用超微粒水泥有二個主要原因：

- (i) 超微粒水泥為無機質材料，不會對環境、人體、地下水及土壤造成污染。本地區附近有溪流，且居民使用地下水甚普遍，在環保理念下，比高分子系列灌漿材料適當。
- (ii) 此處卵礫石間之細粒料以粗砂為主，含部份沈泥。超微粒水泥顆粒比一般波特蘭 I 型水泥為細，在適當且相同的壓力下可滲入細砂。而一般水泥漿只

可部份滲入粗砂中。故採超微粒水泥灌漿較易達到止水與固結雙重效果。超微粒水泥(MC)灌漿材料 1m<sup>3</sup> 之漿材配比如表 6.4-3 所示。

表 6.4-3 超微細水泥漿之配比

A 液	B 液
(MC+擴散劑) : 水	水玻璃 : 水
1 : 2 (重量比)	1 : 1~5 (體積比)
71.4L(214.3 kg) : 428.6L	
計 500 L	計 500 L
註：	
(1) A : B = 1 : 1 (體積比)	
(2) 擴散劑(重量) = MC 重量 × 0.5 %	
(3) B 液之水量配比，施灌時視現場 實際需要調整之。	

### (3) 小管幕(Pipe Roof)施工

每一輪灌漿工作完成後<sup>※</sup>接著進行拱圈之管幕施工。管幕係以 38 支管徑 3.5 英吋鐵管構成，配置間距約 30cm，長度 12m，鉗孔仰角約 5~8°，視現場需要做調整。鉗孔套管(孔徑 133mm)鉗設達預定深度後將鐵管(φ=3.5", t=6mm)置入孔中，逐節拔出鉗孔套管(φ 133mmX1.5m)，鐵管並可視作灌漿管，以水泥漿將鐵管及孔壁填充，使其於隧道頂拱上方形成保護環，其作用為抵抗高速公路行車可能產生之震動與防止隧道開挖時可能引致之抽心坍方。

## 四、隧道開挖及襯砌

本工程採用 NATM 岩體分類法，是以定性描述為主，並以定量之岩體分類法(RMR 與 Q 法)輔助評定，總共分爲 I 至 V 類。根據地質研判本區段爲一無凝聚力之地盤，主要爲紅土礫石層，岩盤強度偏低且地下水影響其自立性甚大，屬 Va 類岩盤。施工中再依據計測資料研判，機動調整開挖進度及支撐型式。

本區隧道開挖於每一輪(12m)灌漿及管幕施工完成後即進行。開挖分爲上半部環狀開挖、土心開挖(46 m<sup>2</sup>)洞台及仰拱三部份。開挖採用挖溝機與破碎機，以無爆破方式避免擾及高速公路之安全；支撐採剛性較強之 H-175 鋼支保與噴凝土爲主，於開挖後儘速進行以減少隧道之先期變形。

開挖及襯砌方法略述如下：

- (1) 先進行上半部環狀開挖，每輪前進 1m，支撐採 H175 鋼支保(洞口段 10m 採 H200)與 25cm 噴凝土及長 4m 之岩栓，再開挖土心部份。臨時仰拱(厚



20cm) 於每一輪進 9 公尺開挖完成後隨即構築，以求開挖面閉合並減緩隧道之變形量。

- (2) 上半部開挖進入高速公路下方時，利用灌漿時段進行混凝土襯砌，每模 9m。如此可防高速公路路面沉陷。上半部內襯砌完成後開始施作下半部左右兩側鑽孔及灌漿。
- (3) 洞台開挖以路塹方式先挖中央保留兩側，再由上半部襯砌接縫處採跳島式交錯進行側壁開挖(含鋼絲網、鋼支保及噴凝土)，每次擴挖 3m 並予襯砌後，其餘錯開部份(6m)採一次開挖及襯砌。
- (4) 洞台開挖間視地下水滲流量及計測資料研判，必要時施作側壁或仰拱之灌漿處理。
- (5) 仰拱開挖與襯砌每一分塊長 5m。

## 五、施工監測

本工程隧道開挖後所引致之沉陷量分析係採用 ITASCA Consulting Group Inc., U.S.A. 公司所開發之有限差分(finite difference) 軟體 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 程式為分析工具，模擬隧道開挖過程及支撐過程之應力－應變行為，以數值分析法來從事隧道分析與設計。

依據 FLAC 程式模擬隧道開挖過程所引致之沉陷量，當上半部完成時，頂拱沉陷約 21mm，路面沉陷約 13mm；全斷面開挖完成時，頂拱沉陷約 47mm，路面則約 35mm。前述路面沉陷影響範圍分別為 28m 與 40m。自地表面埋設伸張儀、傾斜儀及沉陷點，隧道內則埋設內空變位計、頂拱沉陷釘，觀測地表沉陷量及礫石層隧道內之變位情形，定期監測並嚴格控制沉陷量，掌握施工狀況俾便採取應變措施。

Sta.160K+775~905 地表恰位於高速公路及路堤，無法鉗設伸張儀及傾斜儀。因此地表僅以沉陷點來觀測變位狀況，其測點佈置以沿隧道中線兩側各 20m 為範圍，隧道內之配置儀器計測斷面。

本穿越段全長 183 公尺，計有 11 個監測斷面，包括地表沉陷點 152 處，測點遍及高速公路路肩、中隔島及隧道沿線之地面，其計測頻率如表 6.4-4 所示。另高速公路車道沉陷量測視路肩或中隔島測點有異常現象時，即通知高速公路局管制交通進行量測。

表 6.4-4 高速公路穿越段施工監測頻率

計測項目	量測頻率
內空變位 頂拱沉陷	開挖階段：每天量測 灌漿階段：2~3 天量測一次
伸張儀	7~8 天量測一次
傾斜儀	每月量測一次
地表沉陷	每 10 天量測一次
水位觀測井	每月量測一次

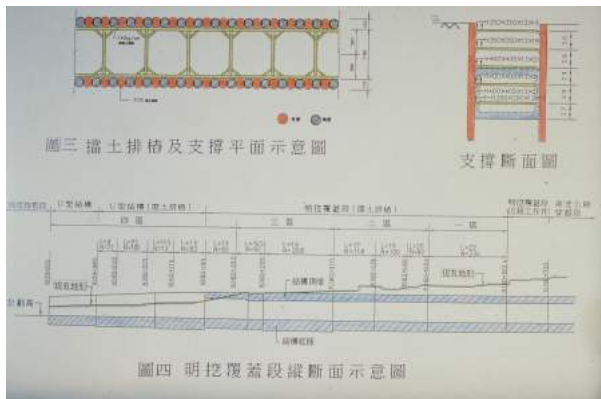


圖 6.4-3 三義隧道明挖覆蓋段示意圖

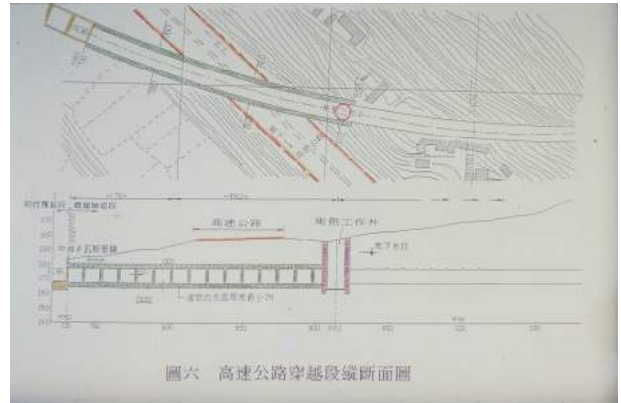


圖 6.4-4 三義隧道穿越高速公路段示意圖



照片 6.4-9 三義隧道北洞口



照片 6.4-10 三義隧道北口連接新鯉魚潭橋

## 6.5 總結

新奧工法在引進台灣已逾廿年，由其是在鐵路隧道工程方面，自七〇年代東線鐵路拓建的自強隧道起，歷經八〇年代的北迴鐵路新建工程、宜蘭線鐵路拓寬工程，迄至九〇年代的南迴線鐵路新建工程，累積了相當的施工經驗，也培養了一批優秀的工程師，不過，三義隧道含蓋北口段長逾一公里的卵礫石帶，則是以前所沒有做過的，故在規劃、設計、施工等各個階段都格外謹慎。

鐵路山線三義隧道工程規模僅次於南迴線中央隧道及北迴線觀音隧道，為一雙軌鐵路隧道，路線所穿越地層之地質情況複雜（其中尤以紅土礫石層及南莊層膠結疏鬆砂岩二者對隧道施工最具影響），除面臨三義斷層、十六份斷層及其破碎帶之影響外，亦須克服大量地下水之湧入問題；穿越高速公路下之隧道施工技術及高速公路路面沉陷量控制技巧則係對承包商施工品質的嚴酷考驗，此外，尚需避開隧道南口潛移崩坍區及密集之民宅區，施工中同時要維持現有鐵路行車等限制，均使本工程之施工困難度增加，更具挑戰性。

工程自路線研選之初，即順利地完成路線規劃及後續之地質調查與基本設計工作，係確保後來長達四年多施工過程，能順利進行之重要前置作業，而本隧道工程亦以統包契約方式，交由承包商施工完成，為目前台灣鐵路排名第三之長大隧道。

## 6.6 集集地震災害搶修與復舊

三義壹號隧道自 1992 年 4 月開挖，至 1996 年 2 月貫通，1998 年 9 月完工通車，有效提昇鐵路山線之路線設施標準，達成提高行車速率與牽引噸數之建設目標。

1999 年 9 月 21 日台灣中部發生芮氏規模 7.3 之集集大地震，車籠埔斷層錯動，三義壹號隧道距車籠埔斷層北側延伸段約 11km，距震央約 55km。依斷層錯動相對位置區分，隧道落於下盤區域。依據中央氣象局（1999）發布之地震資訊，隧道附近地震震度為 5 級（80~250gals）。

包括三義隧道在內，中部地區五十餘座隧道發生襯砌混凝土龜裂或掉落、側壁內擠、路面龜裂與隆起等程度不一的受損現象。相較於許多地表結構物幾近毀滅性之破壞，山岳隧道之受損程度可謂輕微。惟隧道處於封閉空間，受震損害後搶修不易，往往費時甚長，影響交通，加之隧道通常為兩地交通之捷徑，隧道受震損害對救災與復建工作影響甚大。

有關三義壹號隧道的緊急搶修，及復舊工程，將於下一章 7.5 節中詳述。

# 7、隧道災害搶修

## 7.1 隧道口

隧道口災害一般最為常見者，是洞口兩側山坡坍方，有時也伴隨洪水直沖而下，淹沒路基，造成此一現象，主要係隧道工程建造時，基於經濟考量，在隧道深入山腹前，兩端洞口附近覆土深度較淺的引道段，都採用明挖路塹斷面，路線兩側皆置以擋土牆、護坡等設施，致原山坡面之地表逕流水，更易順地勢集中流向隧道口，台鐵的隧道口災害多屬此種型態。



照片 7.1-1 隧道口災害



照片 7.1-2 隧道口災害



照片 7.1-3 南迴線枋山隧道口災害



照片 7.1-4 南迴線大竹4號枋山隧道南口及多良1號橋台邊坡坍塌



照片 7.1-5 山線大甲溪橋向后豐隧道方向 洞口大片邊坡為卵礫石層 易崩塌

## 7.2 隧道內淹水

隧道內災害以湧水最為常見，主要是因為早期的隧道工程，首重導水，而非防水，這在施工階段本無可厚非；但隧道完工後，若經年滲漏水，對隧道結構之耐久性，較為不利。近年來，隧道之壁體外側，多加上一層防水膜，有些則採全斷面防水設計，故新建隧道滲漏水情形已經獲得改善。

然而，本節所謂的「隧道內淹水」，指的是隧道內滲漏水量超過邊溝（或側溝）所能排放之流量，結果造成隧道內淹水，若水位滿溢至鋼軌底，將導致軌道電路中斷，列車停駛；而前述現象多發生在台鐵老舊隧道，經連日豪大雨之後。

以北迴線永春隧道為例，便曾發生多次隧道內淹水災害，鐵路局投入經費多次改善，效果仍不顯著，工程司為徹底解決此一問題，甚至將隧道內道碴、枕木、路基全部取消，全部改為柱列式軌道，鋼軌以下斷面皆用來做為排水斷面，還不夠用，最後，再將兩側壁附掛滿排水管，災害依舊發生，造成行車中斷。台鐵局不得

已，籌資花大錢在原隧道旁邊，增建一條排水隧道，將永春隧道內的「洪水」側向導入排水隧道，現在到永春隧道南口仍可見一大一小兩個隧道洞口，大的走火車，小的宣洩洪水的特殊景象。

另外，納莉颱風時水淹台北地下隧道災害及搶修，又是有別於前述的「隧道內淹水」的情況。

## 7.2.1 納莉颱風台北地下隧道災害搶修與復舊

2001.9.14~9.19 納莉颱風襲台，為期六天的豪雨，對北台灣造成極大的災害，臺北地下隧道因氾濫市區的洪水灌入，全段隧道被淹沒，當市區洪水退去時，隧道內卻仍充滿水無法排除，最後，幾乎動員全台大型抽水機，從各個通風口、逃生通道，全面抽水，歷經十日，方才將隧道內積水抽乾，恢復通車。

此後，政府其他部門，記取教訓，紛紛改善堤防、閘門，台鐵亦將抽水馬達改移至地面上的機房，配合基隆河上游的導水隧道，及中下游疏濬整治計畫相繼完成，台北市區已逐漸遠離淹水的夢魘。

### 一、台北地下隧道進水區段

鐵路台北地下隧道自松山引道經台北車站、萬華車站、板橋車站至第一大料崁溪引道口全長 15.450 公里，另有機廠支線之機廠引道及維修用之華山引道。隧道內除通風口、緊急逃生口及光復臨時站、復興臨時站與地面相連通。其餘均在地下 6 公尺以下（圖 7.2-1）。

### 二、台北地下隧道受災情形

本次台北隧道進水係因基隆河水暴漲，洪水越堤漫流市區，致松山地區全區淹水，再經由松山引道及機廠引道灌入隧道中，自引道口向西依次淹沒光復臨時站、復興臨時站、台北站、西門臨時站一直至 30K+190 止（圖 7.2-2）。

### 三、搶修經過（施工主任筆記摘錄）：

#### 九月十七日

早上八點雨勢仍未停止，台北市內大部份道路均已積水，人車無法通行，為了到達松山引道口附近，遶道市民大道高架橋（鐵路地下化隧道上方）到達光復臨時站時，馬路上到處是積水。由逃生口進入隧道內發現隧道內積水已超過月台層快淹至 U-1 層，概估有五公尺高以上。經由局裏防災中心連絡得知水流仍由松山引道及機廠引道不停地流入隧道中，且已連絡地鐵處及水利處趕赴現場抽水，中午十二點時，地鐵處抽水馬達已到但光復臨時站因電力設施淹水跳脫，已無電源而無法抽水，而水利處之大型機具最後到達復興臨時站，經由吊車打開隧道上頂蓋吊下大型抽水機，此時已是晚上八點。經由組裝機器、安排管路及安裝臨時照明及通風設

備等終於開始抽水，而地鐵處之抽水馬達則載至華山引道由六號逃生口配管抽水。

台北站之積水已有月台層高度，經由現場會勘，決定由各月台層樓梯直接抽至一樓大廳外。此時回到復興站已是九月十八日凌晨三點，水利處一台大型抽水機已開始運作抽水，地鐵處也已在華山進行抽水，台北站的軍方也陸續加強抽水中。

### 九月十八日

水利處於上午九點，又支援一部大型抽水機於復興站加入抽水行列。另外，上午中國石油公司人員到現場探勘，因深度太深無法支援因而作罷。中午時，地鐵處於西門站架設抽水馬達開始進行抽水工程。晚上，軍方又由台北站支援六部 P250 抽水機並於光復站重新成立抽水點。

中午時，台北車站因淹水使得各項給水消防設施及幫浦均故障無法使用，進而使整個大樓處於無水可用之狀態，遂緊急商議廠商進入台北站預備水塔搭設臨時給水管路及加壓馬達將水打入屋頂水塔，解決無水可用之窘境。

### 九月十九日

上午十點高工局支援機具先到達台北站，以接駁方式，先將月台下積水抽至月台排水陰井，再由軍方於月台上之抽水機抽至一樓戶外，此時台北站已可見到軌道面了。隨即商議平日維修廠商進行整修抽水控制盤及維修各項馬達以加速抽水之速率。

中午軍方提供馬達十具運抵復興站，預計晚間發電機入場後，即可安裝加入抽水行列，但為先搶通萬華－台北間隧道，將其中四具 15HP 馬力之沉水馬達先載運至延平北路站組裝抽水。晚間，地鐵處華山站已抽水完成，預定移至洛陽街二號抽水站重新配管抽水，加速搶通萬華－台北間隧道。

### 九月二十日

延平北路站 15HP 馬力之抽水馬達組裝完成開始抽水，但因水位下降速度快，故需經常延伸抽水位置，不斷延伸電線及水管。

下午二點，台北站內月台層已全部抽水完畢，但地下二層之 U2C、U2B 仍有積水，乃由高工局持續進行抽水工程。下午二點半，民航局提供二具抽水機進駐復興站安裝抽水。另地鐵處於華山站移至洛陽街二號抽水站安裝之抽水機也組裝完成開始抽水，並於西門站對原安裝於北隧道二號抽水站之抽水馬達進行恢復功能之搶修。

### 九月二十一日

上午九點時台北站內抽水全數完成，並立即進行復舊工作，清洗軌道及車站月台，於各污水坑及雨水坑安裝臨時控制盤回復台北站功能，並加速修復消防設備。

下午七點，萬華－台北間隧道內僅存少許積水，而此時也僅靠延平北路站 15HP 馬力之抽水馬達及西門站原安裝於北隧道二號抽水站之抽水馬達抽水，為加速抽水，乃協調軍方，調派 15 名士官兵到現場堆砌砂包拉水帶及電纜線，一直至凌晨才將馬達安裝至定位再抽水。

### 九月二十二日

上午八時，延平北路站抽水工程全數完成，立即拆除馬達收水帶及電纜，利用平板車載至華山引道口，由吊車吊至安東站繼續組裝抽水。同時進行復舊工作並清洗軌道，並由軍方安排消毒車消毒，且立即進行試車，下午二點台北－萬華間正式通車。

地鐵處西門站之機具則移至敦化站，重新配管抽水。復興站水利處支援抽水機因為揚程問題，必須兩台串聯，其中一台吸水，另一台則抽水，才能將水抽出隧道。

### 九月二十三日

由於台北－萬華間正式通車，故搶修重心移至松山－台北間隧道。地鐵處洛陽街抽水工程全數完成，也並遷移至建國站重新組裝設立抽水點。另外水利處也增加支援，另加派六台大型抽水機，以兩台串聯方式組合，共增加三組加入抽水行列。

### 九月二十四日

軍方支援光復站抽水之人員機具於晚間六點時，抽水工程全數完成，所有人員則分為兩批，分別移至延吉站及八德站設立抽水點支援抽水工程。

另復興站水利處抽水機因東部另有颱風來襲，將一部機具調回花東地區作防護措施，故又調派另一地區機具支援一部抽水機組裝抽水。

### 九月二十五日

復興站抽除積水已退至月台層下，且台北電務段修復發電機及變電站，重新供應復興站地下一層電力，故將安東站四組抽水馬達轉由復興站供電，原使用發電機則運至建國站，供應原來五號抽水站馬達運轉。此時松山－台北間隧道積水已分為兩區，分別為延吉至復興及復興至八德兩區。

### 九月二十六日

上午八點復興站已抽水至軌道面，大型抽水機因管徑大已無法抽水，只好請吊車依依將各河川局抽水機吊起，並陸續以卡車載離開；安東站由於沉水馬達口徑較小一直到晚上十點才無法抽水停止運轉。

### 九月二十七日

本日凌晨四點，經推算隧道內積水量尚餘二萬二千餘立方。

下午四點，軍方八德站之抽水工作，則因抽至軌道面已無法再到抽水，人員機具均退到大安站；隨後地鐵處建國站也完成了抽水工程，復興至八德區均已抽水完成。此時僅餘延吉至復興區大安及敦化仍進行抽水作業中。

### 九月二十八日

上午十點大安站已抽水完成，此時僅敦化站仍在抽水，中午時北側已抽不到水，僅餘南側二組抽水馬達抽水；另原六號抽水站之抽水經修復已回復抽水功能，加速抽水直至晚上十點才全部抽水完成。立即進行清洗軌道及試車工作，並於十一點通車，纏鬥十餘天之抽水終於結束，惟後續之抽水仍須人工不定時查看，以維路



線之順暢。

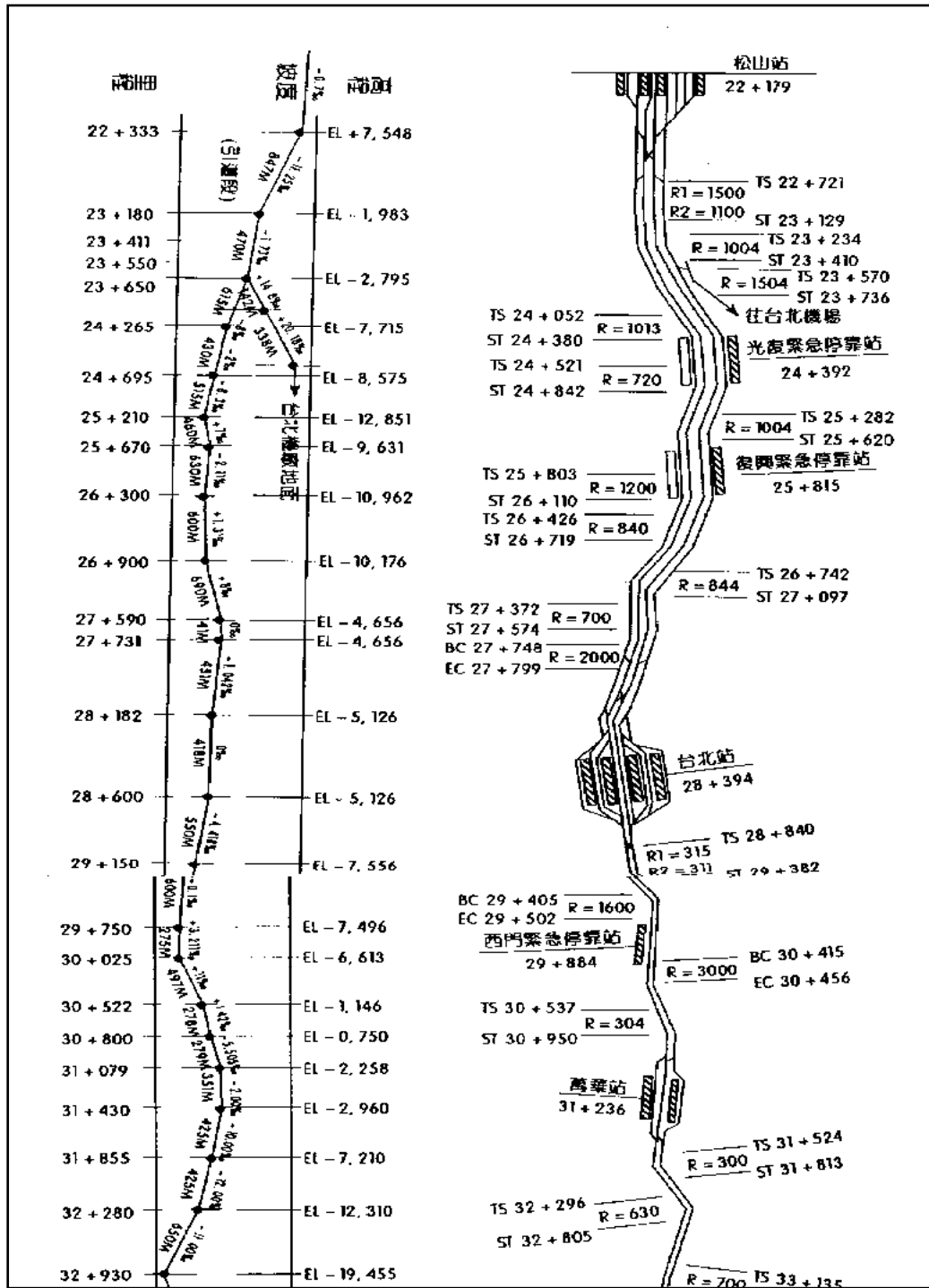


圖 7.2-1 台北地下隧道相對高程及平面位置圖

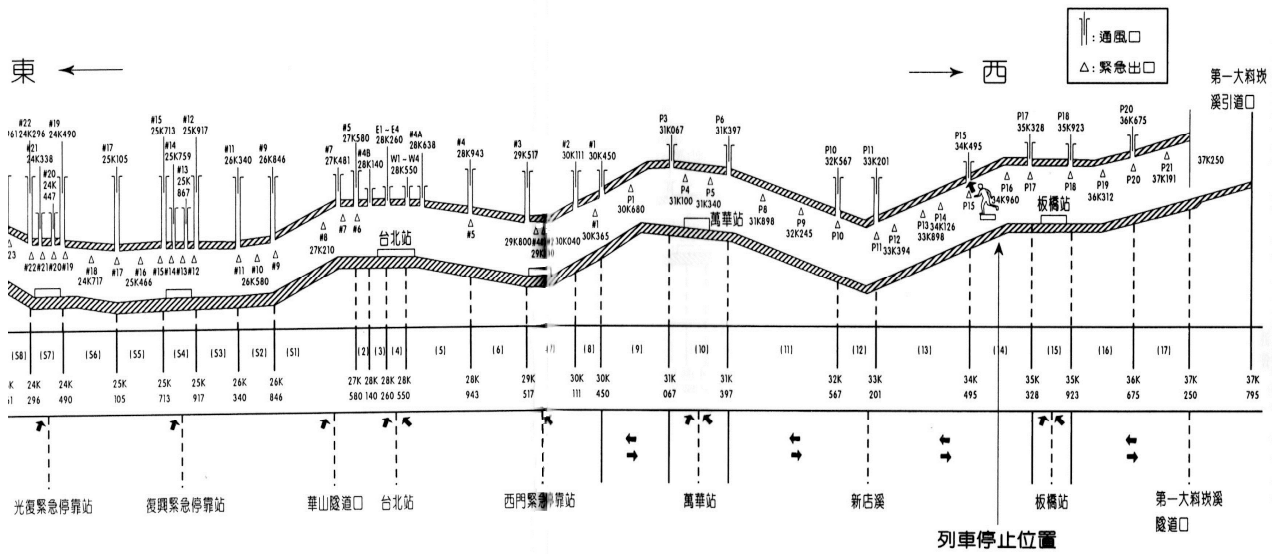


圖 7.2-2 台北地下隧道通風口及緊急逃生口位置圖



照片 7.2-1 隧道內緊急安裝抽水機配管配線抽水



照片 7.2-2 隧道內緊急配置抽水管抽水



照片 7.2-3 安東街緊急出口處抽水現況



照片 7.2-4 軌道污泥清理

### 7.3 隧道壁體劣化與剝落

隧道壁體多屬無鋼筋混凝土結構，若長期處於滲漏水狀態，較易劣化，使微細裂縫快速發展，若裂縫相互連接，則最後可能導致整塊混凝土剝落。此時，若列車剛好通過，可能造成嚴重的行車事故，甚至，若剝落的混凝土塊太大，掉入路線淨空內，亦將肇致行車事故。所以，當巡路人員發現有混凝土剝落之虞時，即以災害視之，立刻進行搶修程序。

隧道異狀之發生因素，大致上可分為外在因素與內在因素如（表 7.3-1）所示，所謂外在因素泛指外在環境受改變所引致之外力增加或襯砌材料劣化；而內在因素係指在設計上或興建時施工不良所造成無法承受外力之現象。而各影響因素間之相互關係可以隧道異狀網狀關係圖（圖 7.3-1）來加以說明。隧道異狀的生成，其直接因素為荷重增加、支撐構件及周圍地盤之強度及勁度的減低；而間接關聯的滲漏水問題，則會增加對材質劣化及空洞生成的不利影響，進而加速異狀生成及惡化。

表 7.3-1 隧道異狀原因分類表

因素分類		自然因素	人為因素
外在因素	外力	地 形：偏壓、地滑。 地 質：膨脹壓、擠壓、隧道上方鬆動岩土重壓、地盤沈陷、基腳之地盤承载力不足。 地下水：水壓、 脹壓。 其 它：地震、地殼變動。	鄰近施工(開挖、回填、蓄排水)。 其它(列車行駛振動、空氣壓力變動等)。
	環境	老 化：中性化、風化、劣化。 地下水：漏水、有害水。 其 它： 害、 害。	火災 煙害
內在因素	材料		骨材含泥量、異常凝結、 骨材反應、溫差應力(與養護有關)、乾縮(與養護有關)。
	施工	混凝土打設時之氣溫、濕度	養護不良、過早拆模、拆模時引發之突發荷重、粒料分離、襯砌背後空洞、不均質之打設、混凝土模具下陷、接縫、施工縫施作不良、打設中斷(形成冷縫)、支保下沉、振動、防水工施作不良、襯砌厚度不足。
	設計		防水工設計不良、襯砌厚度不足、混凝土強度不足、側壁陡直、側壓土重不足、無設計仰拱、排水工不良、保護層不足，無隔熱設計。

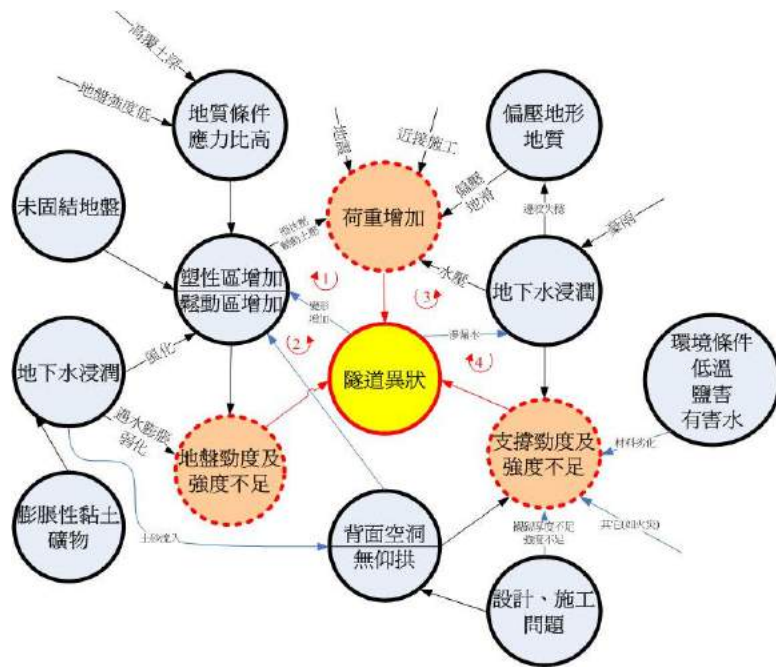


圖 7.3-1 隧道異狀原因關係圖

外在因素中之外力又可概分為三大類，即塑性壓、鬆動土壓及偏壓。當襯砌厚度不足、背後空洞或施工接續不良則隧道易因周圍地盤塑性化所形成之壓力而產生異狀；而當襯砌背後空洞造成地盤鬆動落下，亦會造成隧道襯砌破壞；當襯砌長期承受左右非對稱之偏壓，也有可能引致隧道發生異狀。

因使用環境條件不良、材料不佳或施工不當所引致隧道襯砌異狀則如圖 7.3-2 所示。若將襯砌採材料力學的自由體視之，其受外力而產生破裂之類型，可分為彎矩破壞、剪力破壞及軸力破壞，實際上則常混合各種類型，如圖 7.3-3 所示。混凝土類襯砌，亦常因化學作用生成膨脹性化合物，而產生內應力，造成襯砌剝離之現象。而因環境之外在因素而導致隧道襯砌劣化之物理及化學機制如圖 7.3-4 所示。

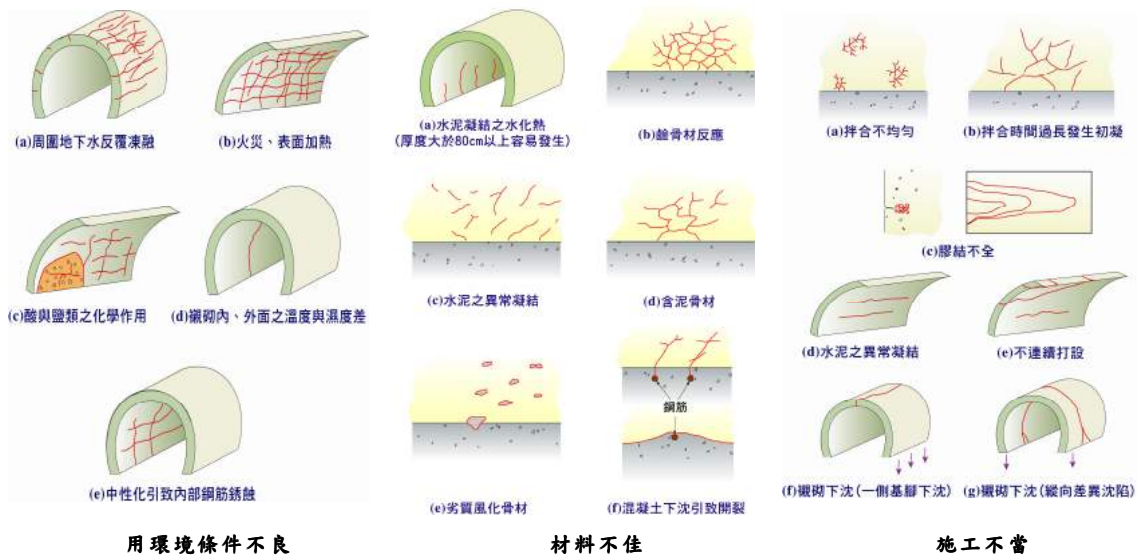


圖 7.3-2 環境、材料及施工等因素之隧道異狀

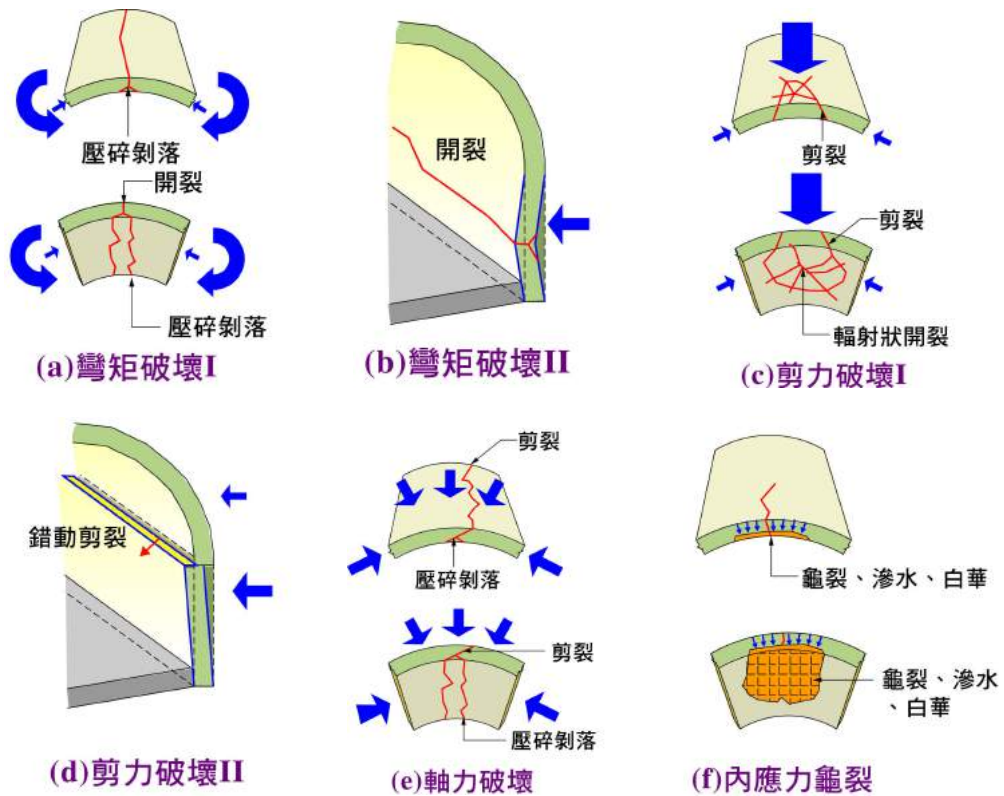


圖 7.3-3 隧道襯砌破裂模式示意圖

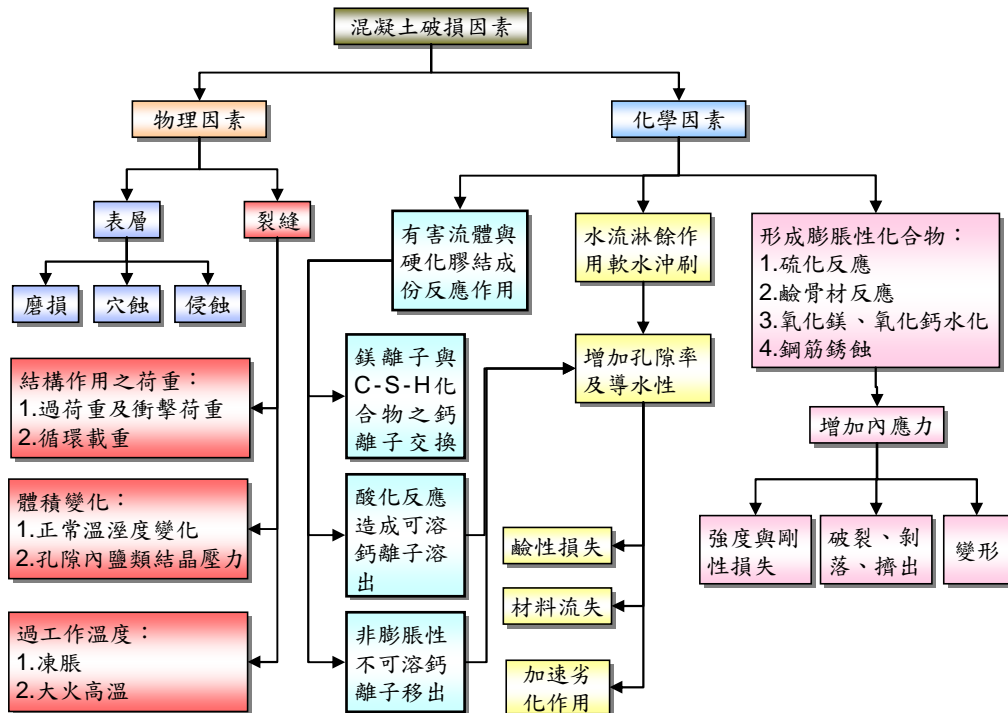


圖 7.3-4 隧道襯砌劣化之物理及化學機制

綜合上述外在及內在因素，歸納整理本計畫七座隧道異狀之可能原因如下：

#### 一、剝落

剝落之原因包括

- (1)外力變化使裂縫閉合產生之剝落；
- (2)施工縫滲漏水侵蝕產生之剝落；
- (3)混凝土襯砌滲水濕潤劣化產生之剝落；
- (4)冷縫劣化閉合產生之剝落；
- (5)環向裂縫劣化閉合產生之剝落；
- (6)綜合上述裂縫閉合或劣化產生之剝落。

#### 二、縱向開口裂縫

襯砌承受偏壓、塑性壓等外力時，襯砌受彎向內位移，內緣張應力大於襯砌極限強度，則襯砌內緣開裂，發生縱向開口裂縫。一般常見在起拱線位置或側壁中央部位，可單獨發生或伴隨其他裂縫出現在其他部位。

#### 三、縱向閉口裂縫

襯砌兩側受擠壓，且頂拱背後圍岩疏鬆，則兩側起拱線位置可能發生縱向開口裂縫向內位移，而頂拱處則可能出現壓裂閉口裂縫，向上位移。

#### 四、環向裂縫

隧道易因溫濕度變化引起混凝土襯砌之收縮應變，使混凝土襯砌面發生環向裂縫，一般常見在易受外界溫濕度影響之洞口段。

#### 五、滲水

因南迴線金崙等七座隧道全線均無鋪設防水膜，ASSM 工法之水平施工縫起拱線處、垂直施工縫及冷縫等位置，易產生滲水現象。

#### 六、白華

「白華」是水泥水化物中的氫氧化鈣  $\text{Ca(OH)}_2$  溶於水滲出混凝土表面而析出，再與空氣中二氧化碳  $\text{CO}_2$  生成碳酸鈣  $\text{CaCO}_3$ ，固著於混凝土表面並呈白色。白華如果集中於一處，顯示該處混凝土搗實不均或已經產生裂縫。

## 7.4 地震對隧道的影響

一般等級的地震鮮少對隧道結構造成影響，回顧台灣西部山線鐵路自有儀器觀測地震以來百年間（1898~1999），災情最為嚴重之十一次地震災害中，有二次嚴重影響西部山線鐵路隧道行車；一次為 1935 年之新竹~台中烈震，另一次為 1999 年集集大地震。在 1999 年集集大地震後，台灣西部鐵路新舊隧道共計 19 座（如圖 7.4-1），經過現場調查、檢討及歸納隧道襯砌震害可分為五類：（1）環向混凝土剝落（2）縱向平行裂縫（3）頂拱混凝土剝落（4）側壁混凝土裂縫、剝落（5）小型避車洞裂縫。

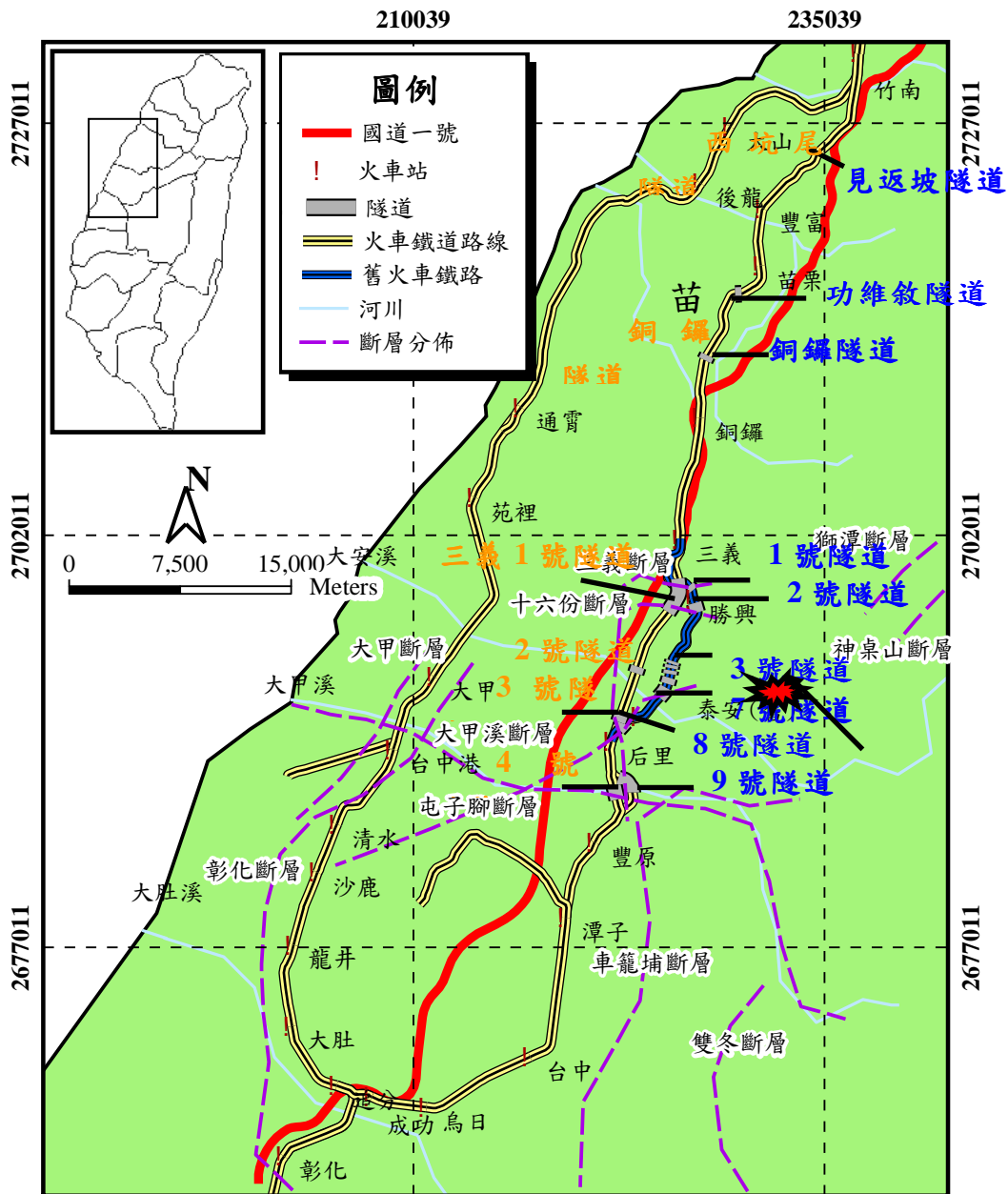


圖 7.4-1 集集地震斷層帶與鐵路隧道相關位置示意圖

## 7.4.1 新山線三義 1 號隧道震後調查

鐵路山線三義隧道為西部山線於 921 地震災害最嚴重的區間，依結構及設施功能分三部份描述，一為隧道本體，其次為軌道部份，三為電車線部份，分述如下：（如表 7.4-1 及圖 7.4-2a 所示）

### 一、隧道本體

#### 1. 在里程 K161 附近之襯砌震害計參處：

- (1) 161K+300 附近：大型避車洞上方頂拱混凝土全部剝落寬度約 3m，坍塌之混凝土堆積約 10m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-2）
- (2) 161K+380 附近：頂拱混凝土剝落，範圍約 4m（環向）×1m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 6m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-3）
- (3) 161K+395~430：裂縫分佈連續達 3 模內襯砌混凝土範圍，161K+395 附近東側壁混凝土剝落，裂縫向上向南延伸，於頂拱上方寬度約 50 cm，至 161K+400 附近為止，餘 161K+420 並與西側避車洞壁附近之裂縫連接。（詳圖 7.4-4）

#### 2. 在里程 K164 附近之襯砌震害計參處：

- (1) 164K+740 附近：預拱混凝土剝落，範圍約 2.5m（環向）×4m（縱向），並有裂縫向南延伸。（詳圖 7.4-5）
- (2) 164K+758~810：裂縫分佈連續達 5 模內襯砌混凝土範圍，北端 164K+758~771 南端 164K+802~810 範圍各有 1-2 條明顯之裂縫約略平行頂拱，中段則形成閉合之裂縫，開口寬度最大約達 5 cm，坍塌之混凝土堆積約 10m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-6）
- (3) 164K+842~880：裂縫分佈連續達 3 模內襯砌混凝土範圍，北端 164K+841~860 範圍裂縫已閉合，隨時有掉落之虞，南端 164K+860~878 之裂縫約略平行頂拱，開口寬度最大約達 1.5 cm。（詳圖 7.4-7）

#### 3. 在里程 K165 附近之襯砌震害計兩處：

- (1) 165K+630 頂拱混凝土剝落，範圍約 3m（環向）×7m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 2m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-8）
- (2) 165K+800 附近：頂拱混凝土剝落，範圍約 3m（環向）×5m（縱向），坍塌之混凝土堆積約 1m<sup>3</sup>。（詳圖 7.4-9）

### 二、軌道部份（詳圖 7.4-10 所示）

由於地震造成地盤上下、前後、左右之搖動，易使路線之鋼軌框彎曲變形。

1. 161K+300 雙線軌道挫屈 30m。

2. 161K+380 雙線軌道挫屈 25m。西線向西偏 44 cm，東線向西偏移 54 cm。



### 三、電車線部份

因火車之電力系統及支撐架，直接固定隧道頂拱上方，地震災害頂拱襯砌剝落時，會連帶扯下電車線及支架。

- 1.161K+380 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 80 公尺之電車線懸垂。
- 2.164K+800 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 80 公尺之電車線懸垂。
- 3.165K+630 處電車線吊架砸落，兩線電車線斷落長度約 100 公尺。

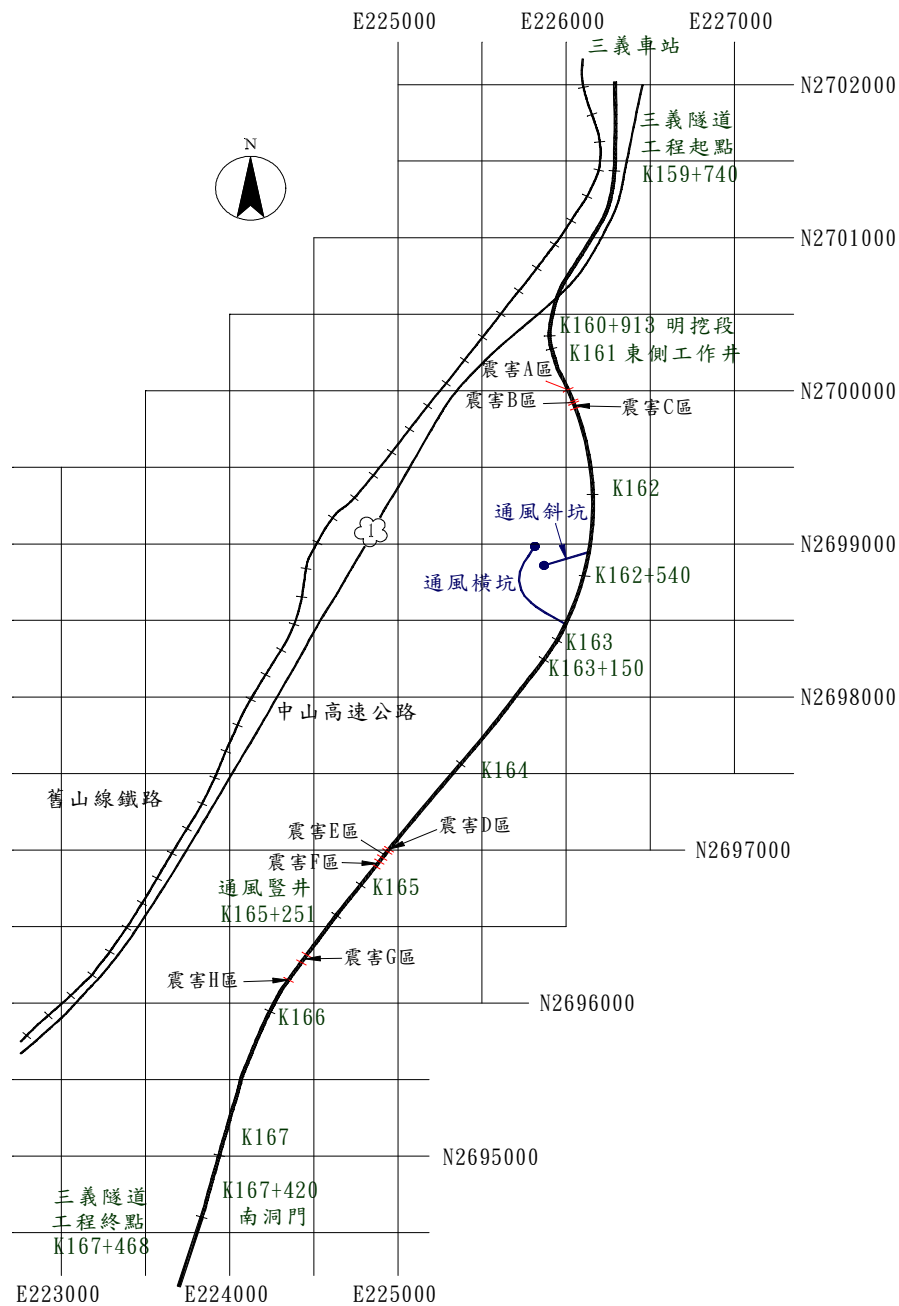


圖 7.4-2a 三義 1 號隧道震害位置示意圖

表 7.4-1 三義 1 號隧道震害影響因素

區段	震害位置	覆蓋厚度(m)	特殊地質構造	岩體等級(RMR)	施工災害	輔助工法／特殊處理	變形／開挖直徑(%)	支撐應力	結構配置	襯砌混凝土密實度及完整性
A	161K+300 附近	45	三義斷層帶	IVa (19)	—	5 次灌漿補強	4.1	—	大型避車洞	局部不佳
B	161K+300 附近	33	三義斷層帶	IVa (14)	岩體破碎。抽心坍塌	1 次灌漿補強	0.3 (註 1)	—	小型避車洞	良好
C	161K+300~410	24~33	三義斷層帶	IVa (27~30)	—	—	0.3 (註 1)	岩栓軸力 8 噸	小型避車洞	不佳
D	164K+740 附近	122	—	III (43)	—	—	1.5	—	小型避車洞	局部不佳
E	164K+758~810	126	—	III (46~47)	—	—	1.5~1.8	襯砌應力 235ksc	—	良好
F	164K+842~880	130~150	—	IVa (19)	—	1 次灌漿補強	2.3	—	—	不佳
G	165K+600~660	105~110	—	III (35~37)	岩體破碎且遇水弱化，擠壓支撐破壞	前進支撐，環控，灌漿並重設支撐	3.6~5.5	—	—	不佳
H	165K+800 附近	125	寬 1.5m 剪裂帶	IVa (38)	—	—	2.5	—	小型避車洞	不佳

註：該位置接近隧道貫通點 161K+385，變形監測可能無法有效反映隧道行爲。

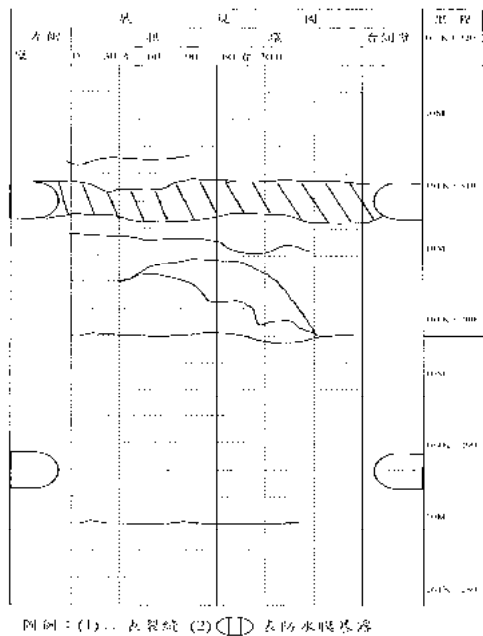


圖 7.4-2 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+280~320) (1999.9.27)

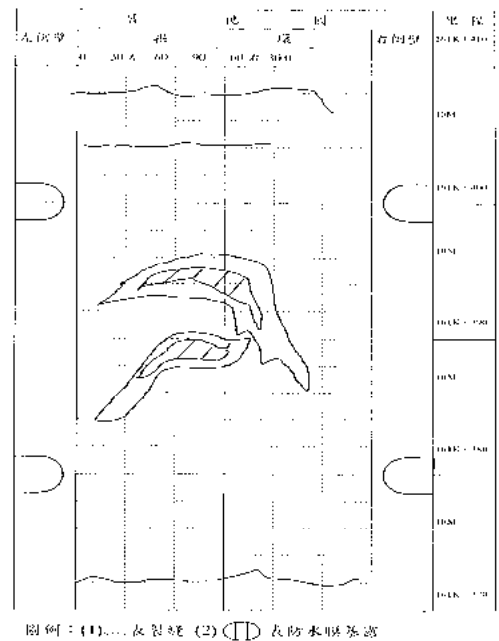


圖 7.4-3 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+370~410) (1999.9.27)

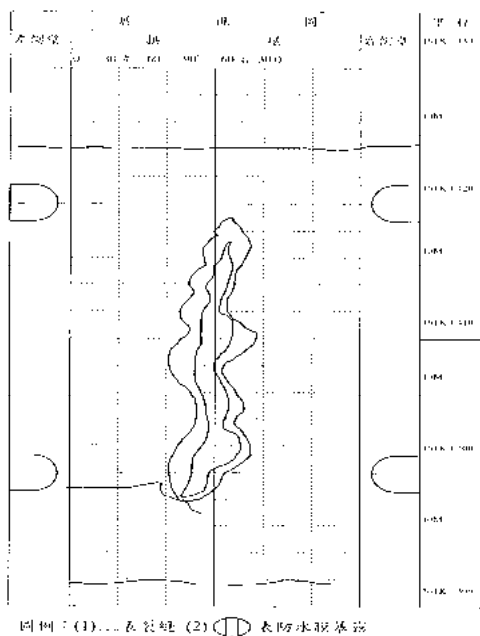


圖 7.4-4 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(161K+390~430) (1999.9.27)

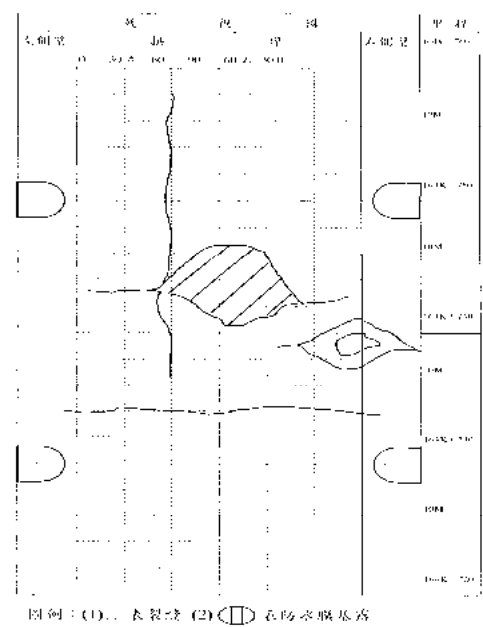


圖 7.4-5 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(164K+720~760) (1999.9.27)

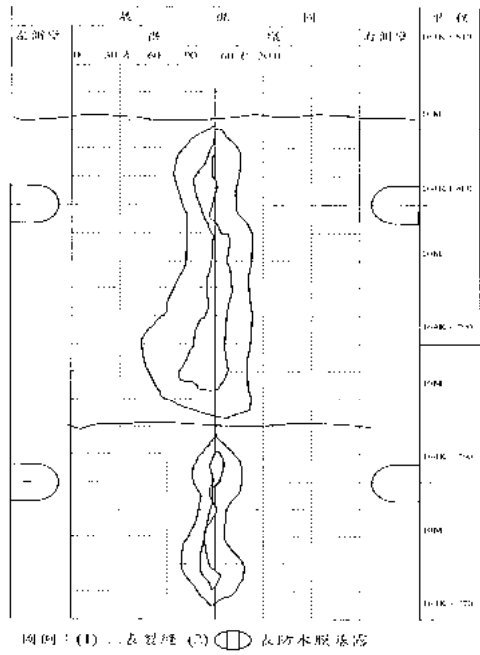


圖 7.4-6 三義 1 號隧道裂縫示意圖  
(164K+770~810) (1999.9.27)

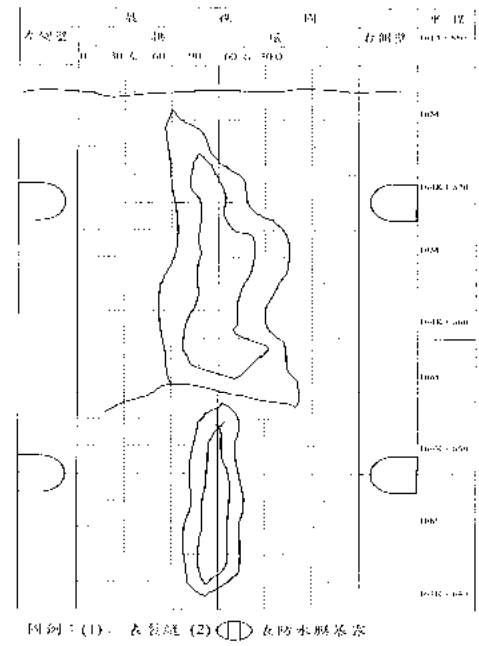


圖 7.4-7 三義 1 號隧道裂縫示意圖

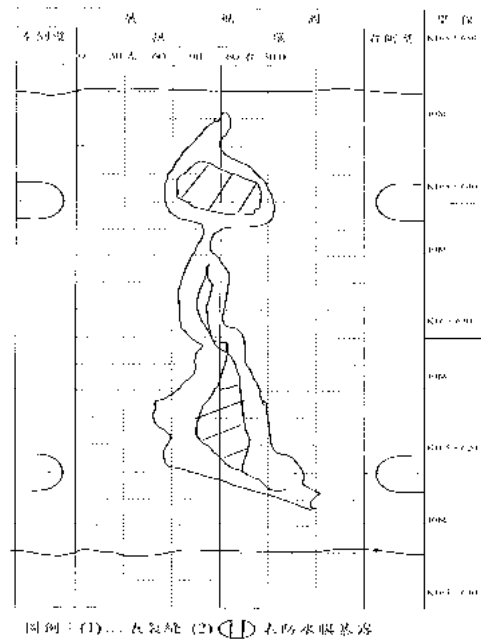


圖 7.4-8 三義 1 號隧道裂縫示意圖

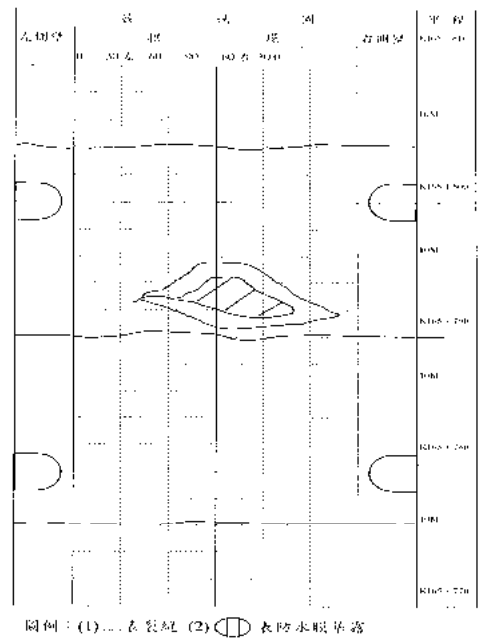


圖 7.4-9 三義 1 號隧道裂縫示意圖

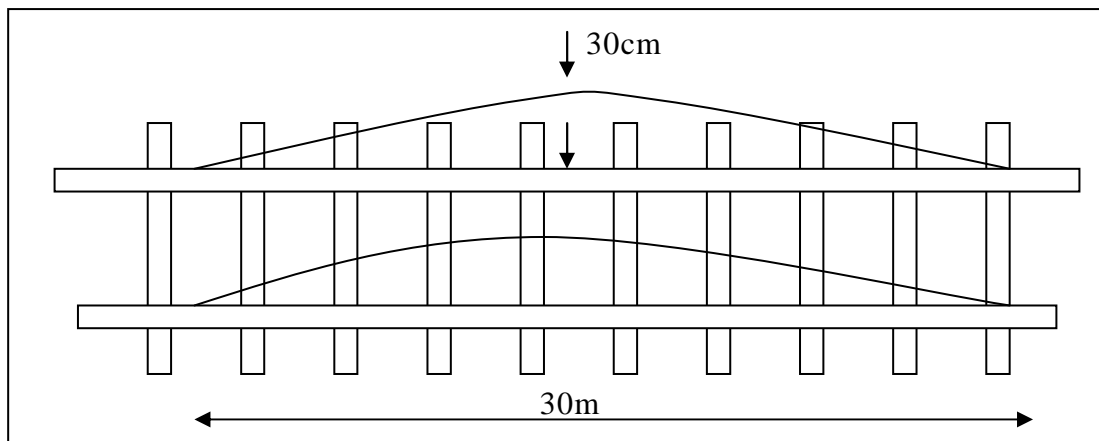


圖 7.4-10 軌框挫屈示意圖

#### 7.4.2 舊山線隧道震後調查

最初台鐵舊山線 12 座隧道建於 1898~1935，原始襯砌設計皆為磚砌，自 1935 年關刀山地震後，1938 年重建改為混合式；洞口、破碎段、地質不良段等襯砌使用鋼筋混凝土，一般地段用純混凝土加補強筋，地質良好地段使用 2 至 5 層磚砌作為襯砌。又於 1978 年台灣鐵路電氣化時，因隧道內淨空不足，將隧道底部之仰拱降低或部份鑿除。

一、舊山線於 1978.9.23 廢棄，其後 1998.9.24 至 2000.7.1 期間 1 號~8 號隧道派人定期維修及保養，但 9 號隧道完全廢棄，相關設施全數拆除，現場調查時請當時保養單位領班利用空檔時間，翻山越嶺徒步將各隧道實地進行踏勘，並拍照與量測工作及比照 1999 年集集大地震前後襯砌龜裂情況作業紀錄。以下作重點式描述。

- 1、1 號隧道經現地勘察，1999 年集集大地震時無震害發生。
- 2、2 號隧道發現有兩處襯砌裂縫（a）距北洞口約 100m 處，有一道環狀裂縫。（b）距南洞口約 380 m 處有一段長 55m，東西兩側壁近等間隔 1~2m，高度約 3m 之垂直裂縫。
- 3、3 號隧道經現地勘察，1999 年集集大地震時無震害發生。
- 4、4 號隧道經現地勘察發現，近南洞口約 10m 處東西兩側各一道高約 3m 之垂直裂縫是 1999 年集集大地震造成，另一處於南洞口正上方牌坊頂有 2 道垂直各 1m 裂縫及 1m 之水平裂縫，為 1999 年集集大地震造成的。
- 5、5 號、6 號、7 號、8 號、9 號等五座隧道，經現地勘察，於 1999 年集集大地震時無震害。

二、另舊山線竹南至銅鑼間有 3 座隧道，經現地勘查結果如下述：

- 1、.西坑尾（日據時代稱見返坡隧）。
- 2、.苗栗隧道（日據時代稱功維敘隧道）。
- 3、.南勢隧道（日據時代稱銅鑼灣隧道）。

以上三座於 1998.9.23 廢駛經現地勘查 1999 年集集大地震時皆無震害。

表 7.4-2 舊山線隧道震後調查成果（92.12.27）

項次	隧道名稱	震害位置	覆蓋厚度 (m)	襯砌材質或施工方式	震害描述	備註
1	<b>舊山線 1 號隧道</b> K163+851~164+81 l=230m	無	8m~25m		921 地震無損害	92.12.27 現地調查
2	<b>2 號隧道</b> 164+950~K165+475 l=724m		13m~24m			
		K165+021			全環狀裂縫	
		K165+040 ~095		底拱為混凝土 襯砌為 3~5 層磚	高 3m 垂直裂縫等間 隔長 55m 間隔約	
3	<b>3 號隧道</b> K168+926~K167+433 l=511m	無	10m~67m		921 地震無損害	
4	<b>4 號隧道</b> K169+571~619 l=48m		5m~10m			
		南洞口附近 K169+610		此部份襯砌為混凝土 加環狀及縱向鋼筋	東西兩側高約 3m 之 垂直裂縫	
		南洞口牌坊 正上方		垂直裂縫約 2m，水 平裂縫約 0.5m		
5	<b>5 號隧道</b> K169+687~924 l=236.5m	無	3m~25m		921 無震害	
6	<b>6 號隧道</b> K170+098~326 l=228m	無	7m~15m		921 無震害	
7	<b>7 號隧道</b> K170+530~171+791 l=1,261m	無	2m~65m		921 無震害	
8	<b>8 號隧道</b> K174+52~571 l=519m	無	3m~30m		921 無震害	
9	<b>9 號隧道</b> K177+839~179+109 l=1,269m	無	3m~102m		921 無震害	93.2.18 現場調查

### 7.4.3 震災損傷及破壞原因分析

根據上述歸納新舊山線隧 1999 年集集大地震現調成果表，予以各別檢討，震災損傷及破壞原因，如下述：

#### 一、舊山線 12 座隧道

- 1.竹南至三義間 3 座隧道於 1999 年集集大地震時未遭破壞，除南勢隧道被封閉外，其它豐富隧道及功維敘（苗栗）隧道已由地方政府接收，並開放民眾休閒用途。隧道未破壞的理由，可研判為該區震度小、隧道為小斷面、屬短隧道、無斷層帶經過、洞口及軟弱帶其襯砌為 R.C 結構耐震性足夠，故無震害。
- 2.三義至后里間共 8 座隧道，其中 1 號、3 號、5 號、6 號、7 號、8 號無震害。其理由可推估為，雖緊臨屯子腳斷層，但此斷層並未隨車籠埔斷層錯動而共振及造成錯動情況發生，且無其它斷層經過，襯砌耐震足夠，震度不大等因素。而 2 號隧道北段東側襯砌有震害，兩側等間隔長 55m 之垂直裂縫，由相關地質調查資料可推論，該隧道南口附近有 16 份斷層經過，且該斷層有隨 1999 年集集大地震之共振影響，且該處襯砌為磚砌，耐震強度不足，故有震害。另 4 號隧道南洞附近有一處半環狀裂縫及洞口上方牌坊有 0.5M~1M 之水平及垂直裂縫，其理由可推估為覆土層薄（5~10m），且為短隧道（L：48m），近似頭重腳輕之建物，然該處之襯砌為 R.C 結構，故於 1999 年集集大地震有震害，但輕微。另一理由為覆土層較小，以致受地表震動強烈，因而遭破壞。
- 3.后里至豐原間，只有 9 號隧道，其他址北口為后里台地，南口為大甲溪北岸，然南口左側方約 300 公尺處為三義斷層南端露頭，1999 年集集大地震時，山頂寬約 70m，厚約 30m，高約 75m 之體積塌滑至大甲溪北岸。且距離車籠埔北端轉折新生斷層帶最近（約 1.5km），但 9 號隧道經現調結果，幾乎無震害，其理由，可推估為無斷層經過，位於車籠埔斷層北端新生地震斷層之下盤，因斷層及河川與山岳之阻隔效應，加以覆土深度夠，及襯砌耐震強度足，故無震害。

#### 二、新山線 7 座隧道

- 1.竹南至三義間計 3 座隧道，經現調查結果皆無震害，其理由依現調資料及相關文獻可推論：因無斷層經過，1999 年集集大地震時該區震度不大（ $\leq 200\text{gal}$ ），為短隧道（ $\leq 1\text{km}$ ），洞口皆為 R.C 加強，施工困難段皆有特別加固處理，且為 NATM 施工使整個襯砌為一體較耐震。
- 2.三義至豐原間計 4 座隧道，除 1 號及 4 號隧道除外，其中 2 號及 3 號隧道皆無震害，其理由可推估為，無斷層經過，該區震度不大（ $\leq 200\text{gal}$ ），為短隧道（ $\leq 1\text{km}$ ），洞口皆為 R.C 加強，且為 NATM 施工襯砌為閉合結構足可抵抗當時震害。其它兩座另外討論如下：
  - （1）4 號隧道南口緊鄰大甲溪北岸三義斷層露頭左側約 300m 處，除該南

洞口兩側陡峭之裸露卵礫石壁面，稍有卵石被震落外，隧道內襯砌皆無震害，其理由可依據相關地震文獻及現調資料可推估為：因 1999 年集集大地震車籠埔斷層北端轉折新生地震斷層之下盤，且因斷層、河川與山岳阻隔效應，故 1999 年集集大地震影響，另因為短隧道，洞口有 R.C 補強及 NATM 施工，襯砌強度足抵抗當時震度，及三義斷層未經過該隧道。

(2) 三義 1 號隧道為新舊 19 座隧道中於 1999 年集集大地震中受震害最嚴重的隧道，其理由如下述：

- A. 該隧道北端有三義斷層經過，其斷層破碎帶長達約 290m，南端有十六份斷層帶經過造成地質不良、破碎帶、施工不良地段。因岩層性質變異較大，造成震波能量局部大量釋放，而造成損害。另一因素為三義斷層帶上覆土層只有 30~40m，易受地表震動破壞。
- B. 車籠埔斷層錯動，有帶動三義斷層及十六份斷層之三義 1 號隧道區域，確有地層錯動現象發生，只是不甚顯著。但在隧道線形方向（南北向）地盤並無明顯錯動傾向，隧道兩側地盤（東西向）則為整體地盤相對性的有東側抬高、西側下沉現象。
- C. 本隧道基本設計地震力為 200gal，依據距離三義 1 號隧道最近之建中國小測站(TCU128)，於 1999 年集集大地震測得各東西向之 PGA(PeakGroundAccerelation 即尖峰地表加速度)，值為 141.04 gal，南北向為 162.94 gal，求得合成向量為 214.2 gal 大於基本設計地震為 200gal，故有震害。
- D. 地震力大於設計地震力，但本隧道除洞口、交叉段、穿越高速公路段、明挖段有排放鋼筋外，其它處襯砌皆為純混凝土，故耐震不足而被震裂。
- E. 本隧道內每隔 20m 對稱設置小型避車洞及每隔 300m 對稱設置大型避車洞，依現調資料及破壞模式可推論，隧道設置避車洞受震時顯示應力集中及結構破壞之弱點。
- F. 依據資料照片，可看出震害嚴重地段，大塊襯砌掉落後，防水膜完好，防水膜可能阻隔噴凝土及二次襯砌，故一旦遭受震動強烈易使襯砌受張力破壞。



## 7.5 三義隧道震災搶修與復舊工法

### 7.5.1 復舊對策與流程

根據台鐵的「災害事故緊急通報流程」，當四級以上地震發生後，首先進行緊急調查作業，掌握隧道人車通行之危險度與災害擴大或發生二次災害之可能性，以作為緊急措施之依據。在此階段無法整體動員，機具器材亦無法充分具備，調查之重點係觀察隧道設施的受損情況。受損嚴重時，車輛無法通行，必須以徒步方式進行調查，有時亦可能遭遇無法進入調查、形成未調查區域的情況。通常在地震發生後 12~24 小時內，立刻進行整理、分析並判斷緊急調查的結果。最晚應在 72 小時內，掌握管轄內所有隧道的情況，並作出有無立即危險的判斷，以作為交通管制之依據。

緊急調查結果為掉落物清除、防護網鋪設、危險區標示、交通管制或禁止通行時緊急措施的主要依據，以防止災害進一步擴大。且往後的初步維修與正式復舊時，對其方針、重點區域的判斷具有極大的助益。

緊急調查與緊急措施實施後，即需進行第二階段更詳細的調查，即所謂的初步調查，此時必須由整體轉往細節部分，由概要轉往詳細的調查，逐次地轉移調查重點。初步調查階段發現緊急調查忽略的重大災害情況時，亦可進行緊急措施。初步調查的目的在維護緊急交通輸送機能與防止大規模二次災害，進行必要的初步維修工程。

初步調查的要點如下：

1. 緊急調查時所忽略或在無法調查的地區，是否有嚴重的受損情況。
2. 維護與確保初步交通的方法。
3. 至正式復舊為止的期間，是否可能延續發生大規模災害。
4. 一次災害或 3 項所指的設施受損造成民通受阻時，是否可能對於災區造成嚴重的影響。

由初步檢查結果得到隧道結構安全及車輛通行安全之判定，做出隧道安全、尚屬安全、危險之等級評估，以作為初步維修之依據。

第三階段乃利用初步維修工程所建立之緊急輸送機能與一般交通狀況維護的成果，進行隧道原貌重建之正式復舊作業。在本階段中，依安全檢測結果評估安全等級，決定正式復舊之隧道細部資料與復舊優先順序，進行復舊工法之施工計畫並提出預算申請。正式復舊工作的重點除了恢復震前之原貌與機能外，更應達到比原先結構更高的耐震能力，可承受較此次震度相同或更高的震度而安全無虞。

由安全檢測結果得到隧道目前為正常、可能破壞、即將破壞及嚴重破壞等四個安全等級，其對應的處理措施分別為平時檢查、擇期處理、儘快處理及立即處理等。

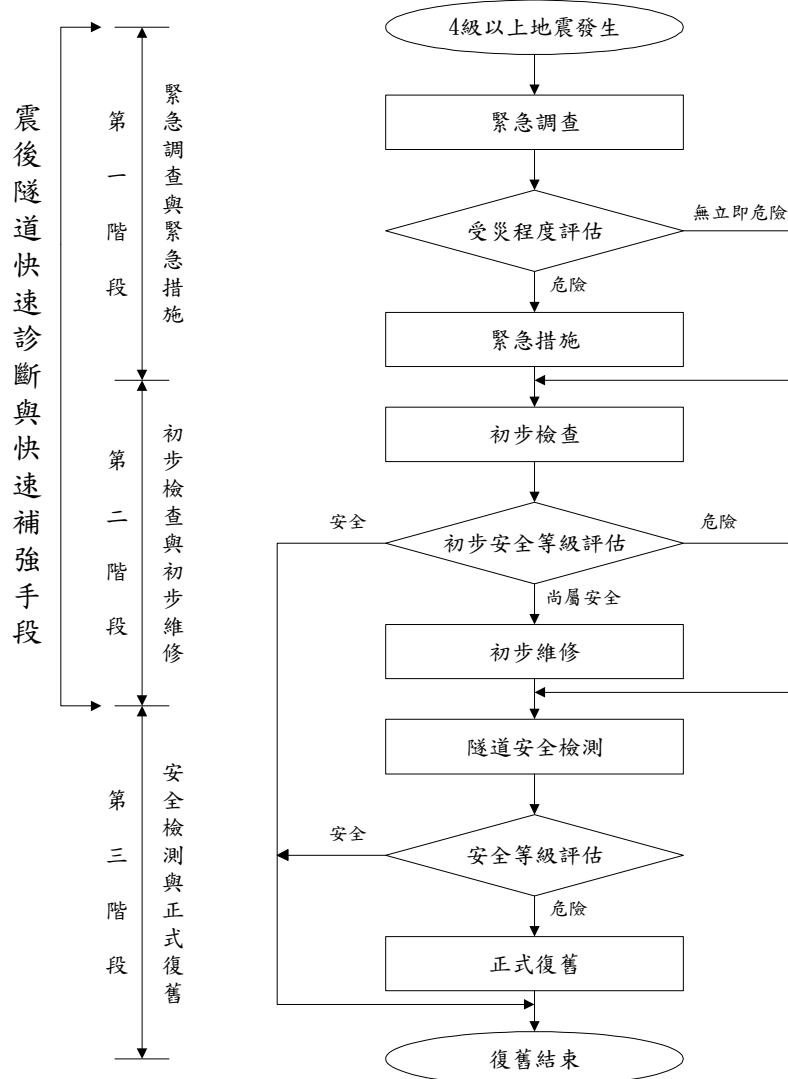


圖 7.5-1 隧道震後調查及復舊流程

## 7.5.2 三義隧道之震害修復

### 一、震後隧道結構調查與修復計畫之擬定

9月21日1時47分地震發生後，鐵路局工務處各工務段立即動員基層員工全面勘查震後路線狀況，於凌晨5時左右全部掌握包括三義壹號隧道等受損情況，並循程序向上通報。當日上午總工程司室、山線工程處、工務處與電務處等單位均派員赴隧道勘查，並於中午左右開始進行修復計畫作業。

修復計畫考量鐵路隧道之特性，分為軌道、隧道主體與電車線三部份。因軌道為出入隧道之最佳方式，且襯砌受損段總長度僅約隧道長度之3%，因此清除掉落的混凝土並回復軌道為隧道修復作業的第一步，此項工作於23日上午完成，雙線軌道貫通。

軌道回復作業期間，工程處擬妥隧道修復計畫。初步決定以H-100型鋼支保

加工成隧道襯砌拱圈形狀，配合掛網噴凝土修復整環掉落的內襯砌，龜裂與局部受損的襯砌，則自起拱線位置切溝，以相同的支撐構件補強。

基於三義壹號隧道受損影響中部鐵路運輸至鉅，且隧道的儘速貫通有助於救災作業，交通部限令隧道於 10 月 8 日前搶通。為避免修復作業期間，施工承商、工務段、電力段等單位共用有限的兩條軌道，造成施工干擾，隧道修復作業分搶通與加固兩階段進行。

第一階段委請榮工公司進行受損襯砌的修補，以「搶通隧道」為主要目標，補強作業期間，由台中工務段利用空檔進行砸道與軌道整修作業，襯砌補強與軌道修復全部完成後，交由電力段搶修懸臂組與電車線等，完成後再進行列車試運轉。

第一階段完成後，採透地雷達掃瞄災害段隧道頂拱，探查地震造成隧道周圍岩體鬆動範圍與襯砌完整性較差之處，以作為第二階段隧道加固之依據。隧道加固係利用夜間 11 時至翌日 6 時停駛時段，進行受損襯砌結構之填補縫隙、全面防水與提高岩體強度等補強作業。三義壹號隧道震後結構調查與修復計畫之流程如圖 7.5-2 所示。

## 二、襯砌結構補強與加固

震後隧道襯砌結構補強之方法甚多，通常視襯砌損害型態選擇適當的方式進行。唯地震規模如強烈至損壞隧道之程度，地面結構物往往亦發生相當嚴重的毀壞，故施工機具與補強材料取得的時效性、運輸的難易程度等因素，亦影響隧道襯砌的補強方式。

鐵路局工務處於震後軌道回復期間，即迅速初步擬定受損的襯砌採用鋼支保配合掛網噴凝土補強的修復計畫，聯合大地工程顧問公司亦依據初步調查結果，參考國內外隧道襯砌受損補強之經驗，迅速針對不同的襯砌受損型態，建議不同的補強措施，如圖 7.5-2 至圖 7.5-5 所示。

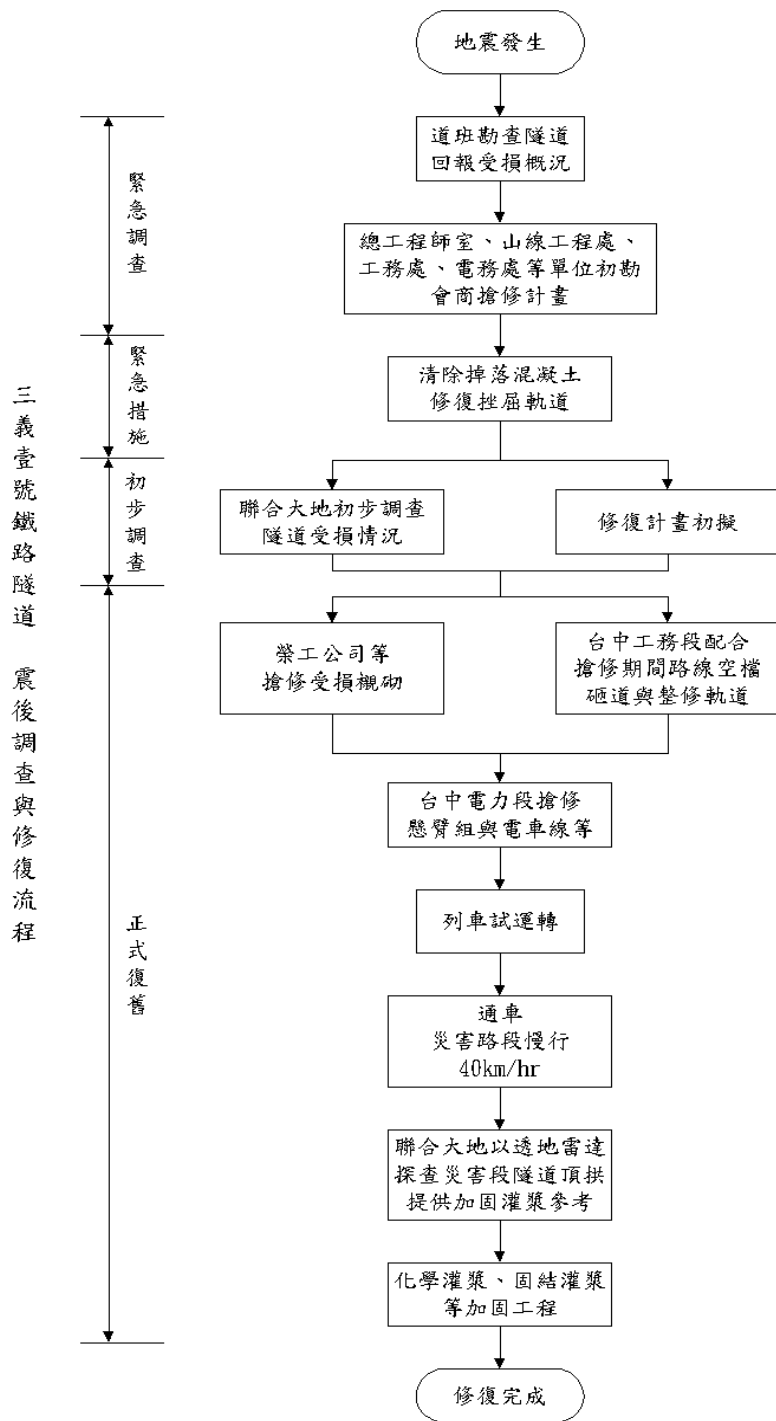
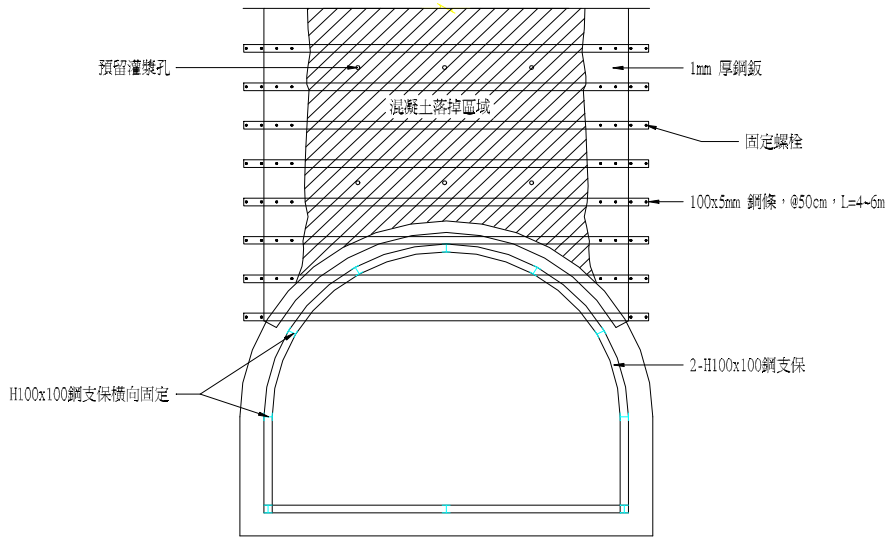
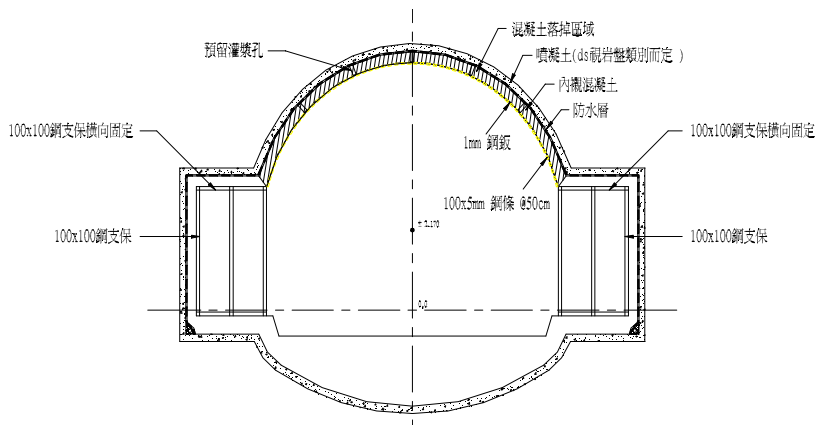


圖 7.5-2 三義壹號隧道震後結構調查與修復計畫之流程



(a)正視圖



(b)側視圖

圖 7.5-3 聯合大地建議之環向混凝土掉落補強方式

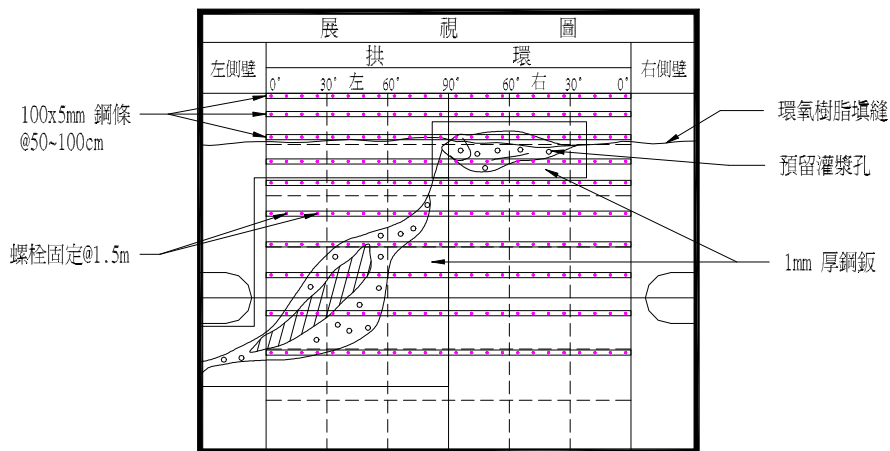


圖 7.5-4 聯合大地建議之側壁混凝土掉落補強方式

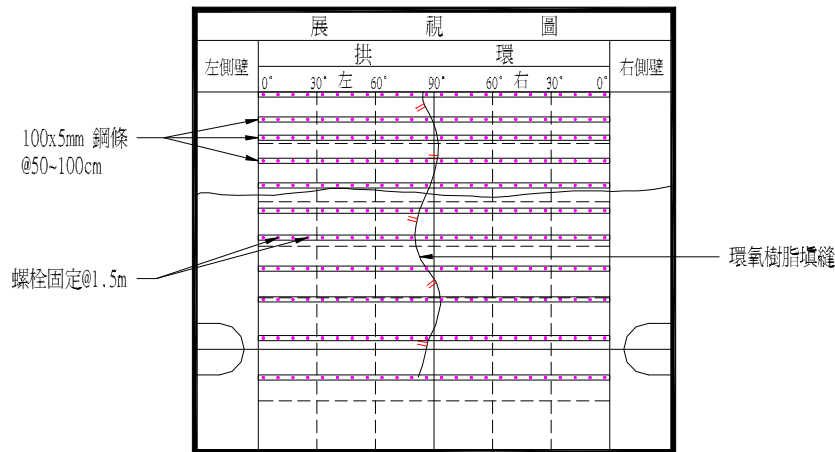


圖 7.5-5 聯合大地建議之襯砌頂拱龜裂補強方式

唯實際應用時，以鋼支保、鋼材為主的補強工法卻遭遇諸多執行的障礙，包括（1）鋼支保需於現地建立加工場或場製完成後運送，地震後大量鋼料的取得、加工與運輸皆過於費時費工；（2）局部龜裂或掉落的襯砌需切溝安裝鋼支保，施工困難度較高且相當費時；（3）震後重型機具嚴重不足，補強所需的施工機具囿於榮工公司之調度，需仰賴坪林隧道開挖面停工支援，加之鋼支保過重，組立所需機具較多，組立時間較久，可能影響隧道搶通時間等因素，第一階段搶通作業遂採取所需機具較少、補強材料較易於短期間內取得以及施工難度較低且時間較快之方式，主要以岩栓配合掛網噴凝土補強襯砌結構，以支撐鋼軌補強避車洞，並以矽膠填注裂縫等。

因岩栓係由內襯砌向外施鑽，防水膜勢遭破壞而影響隧道的防水性，加上震後災害段隧道周圍岩體鬆動範圍可能擴大，襯砌混凝土亦可能存有局部裂隙，因此於隧道搶通後，進行襯砌表層 60cm 的化學灌漿以及周圍岩體 2~2.5m 範圍的固結灌漿，以提高災害段周圍岩體強度並加固襯砌強度。

### 三、三義隧道實際採用的補強與加固措施

三義隧道實際採用的補強與加固措施如圖 7.5-6~圖~7.5-8 所示。

緊急措施完成後，鐵路管理局、聯合大地顧問公司亦迅速完成現場初步調查作業，有效掌握震後隧道狀況，於集集大地震後大規模餘震持續發生的過程，瞭解隧道異狀的變化。由隧道內多處混凝土襯砌掉落以及餘震後異狀明顯擴大的現象研判，隧道屬於危險等級，乃直接進入正式復舊狀態，縮短搶修作業時間。另外，為確保隧道搶修之成效與隧道永久的安全性，於隧道搶通後，採較精密的透地雷達掃描隧道頂拱，進行安全檢測作業，其成果並進一步作為隧道加固補強的依據。艱鉅且複雜的復舊工程於 17 日內搶通，73 日完成加固補強，顯示復舊流程靈活彈性，有效降低三義壹號隧道震後受損對災區交通運輸造成的不便。

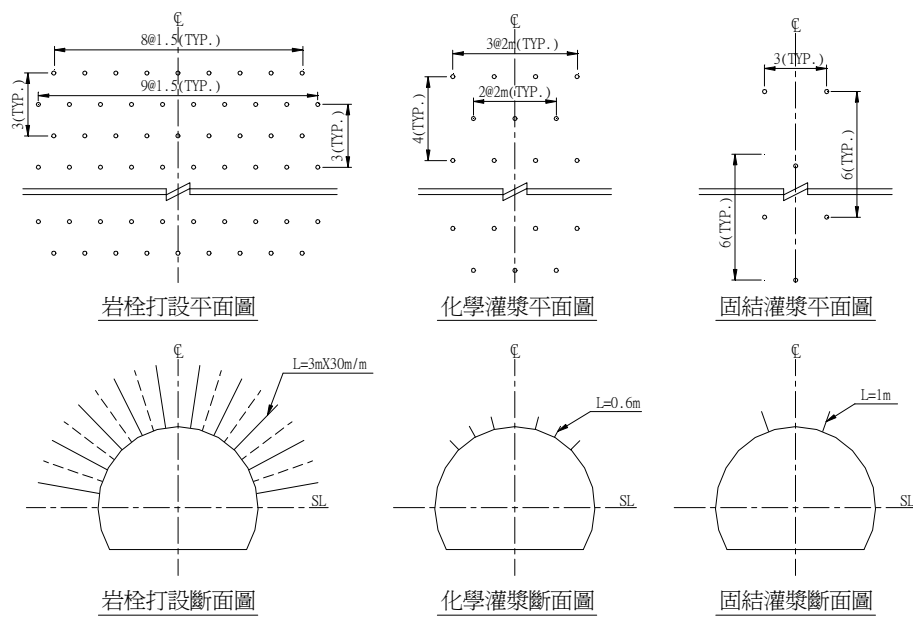
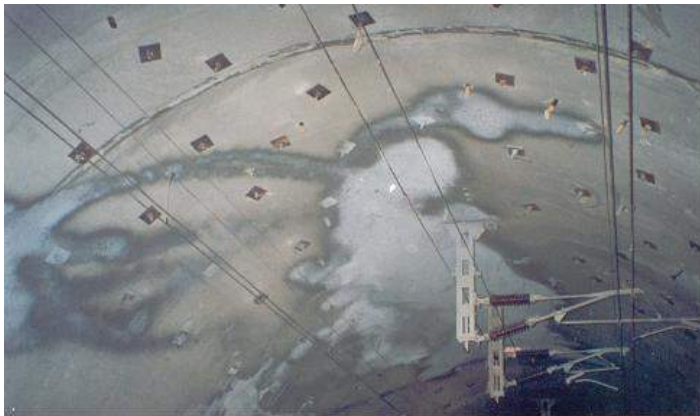


圖 7.5-6 三義壹號隧道受損襯砌結構修復方式



照片 7.5-1 三義壹號隧道受損襯砌岩栓補強



照片 7.5-2 三義壹號受損襯砌掛網噴凝土補強

## 8、隧道安全

一般論及「隧道安全」應包括兩個範疇，即施工中的安全防護與風險管控；以及完工後，營運期間的隧道維護與安全管理，兩階段的目標與作為各不相同。在本章所謂的「隧道安全」主要係指完工後，進入營運管理階段的鐵路隧道而言。此一階段的「隧道安全」工作首重檢查，主管部門透過各種定期與不定期的「檢查」，找出有害隧道結構的各種初期病徵，施以監管、維修或補強加固等措施，以確保「隧道安全」。其次，則是對於可能危害「隧道安全」的災變，預先做好應變措施，將災變傷害減至最低，包括防火、防水、通風、逃生通道、緊急避難維生系統等設施。

### 8.1 隧道檢查

#### 8.1.1 檢查之目的

隧道檢查之首要目的在於了解隧道之現狀，早期發現對隧道安全性與功能性有不良影響之異狀，並掌握異狀之概略程度，期能儘早實施適當處理對策，以確保鐵路運輸之安全與順暢。因此，檢查為鐵路隧道維護管理業務之重要一環，透過其執行，方能掌握隧道之現狀，及早發現異狀，判定是否應採應急措施與對策，以及是否進一步執行安全檢測。

檢查之另一目的係持續性的掌握異狀之程度及發展，此為有效執行隧道維護管理所不可或缺之作業，故檢查體制之建立與落實極為重要。對於過去曾發生異狀之處亦需持續觀察注意，以防異狀再度發生，或擴大至危及隧道安全之程度。檢查所累積之資料亦可回饋至設計與施工上，並做為隧道維護管理作業中之修復改善依據。

#### 8.1.2 檢查之依據

台灣鐵路隧道檢查係依據我國交通部 86 年 12 月頒行之「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」，及台灣鐵路管理局工務處制定之「鐵路橋隧檢查作業要點」，辦理相關作業。

#### 8.1.3 檢查之種類與內容

隧道檢查的種類依隧道使用現況、檢查內容及檢查時機，可分為平時檢查、定期檢查、臨時檢查等三類。各項檢查之工作項目則依隧道種類及重要性等，所實施之內容、重點與頻率亦不相同。各段可參酌各隧道之安全性要求加以修訂，以適合隧道之特性及使用功能。



### 一、平時檢查

平時檢查之目的在於早期發現異狀，因此原則上配合各隧道所轄工務段之養護體系，於例行巡迴檢查時一併實施，並以隧道全長為對象。平時檢查原則上係由檢查員於車輛上或步行，以目視檢查與紀錄。

隧道平時檢查係為掌握隧道周邊狀況、了解混凝土襯砌有無明顯破損、掉落或漏水等狀況之發生，其主要檢查對象及項目為：

檢查對象	檢查項目
襯砌	剝落、漏水、可見裂縫
洞門	剝落
排水設施	積水、側溝破損

### 二、定期檢查

定期檢查係以步行目視與紀錄為主，主要在檢查隧道襯砌表面龜裂之長度、寬度或密度等有无變化或延展之情形，必要時藉助簡易之儀器量測異狀變化情形並記錄之，以為維護管理工作之參考。檢查對象與項目為：

檢查對象	檢查項目
襯砌	龜裂、錯動、浮起、剝離、剝落、伸縮縫及施工縫位移、漏水
洞門	龜裂、錯動、浮起、剝離、剝落、傾倒、沉陷、鋼筋外露
排水設施	積水、沉砂、龜裂、錯動
軌道	軌道線形變化、平整度、扣件鎖緊度
附屬設施	通風、照明設施等損害狀況

檢查重點及檢查工具如下所示：

裂縫調查：皮尺、裂縫尺、游標尺。

剝落：鐵鎚。

材料劣化：鐵鎚（用於襯砌打擊回音）或史密特錘。

漏水：量測水量或水壓之儀器。

其他：照相機、錄影機、照明器材、清掃用具、交通管制器材。

### 三、臨時檢查

當出現下列狀況時：大量豪雨期間或之後、地震之後、隧道內發生事故時、特殊狀況（如鄰近隧道施工），需進行臨時檢查。隧道臨時檢查之目的在於短期內掌握隧道動口週邊及隧道主體之受損情況，評估有無造成二次災害之危險因素及其安全性，並據以擬定緊急搶修與管制措施，防止災害擴大。

一般而言，臨時檢查以短期內完成隧道受損之必要項目為原則，其項目宜盡量少而單純。臨時檢查對象與項目，如附表所示。

臨時檢查對象與項目表

臨時檢查對象	臨時檢查項目
襯砌	剝落、錯動開裂、鋼筋外露、伸縮縫及施工縫位移、湧水等災害狀況
洞門	傾倒、沉陷、鋼筋外露等災害狀況
排水設施	排水溝、集水井等損害狀況
軌道	軌道線形變化、平整度、扣件鎖緊度
附屬設施	通風、照明設施等損害狀況

實施臨時檢查，原則上以維修查道車方式為之，惟由於地震後或豪雨後等狀況所引致之路線中斷，機動車輛可能無法接近隧道災區，因此臨時檢查可採人員步行目視觀察，以進行記錄之方式實施；或者如狀況允許使用機動車輛，以目視作業方式就隧道全線進行快速檢查，必要時才下車確認，以保持機動性。一般攜帶器材包括下列項目：

照明器材（手電筒或投光燈）

記錄表、照相機或攝錄影機。

通訊器材。

交通管制器材。

## 8.2 隧道消防設施

依據交通部於 2007 年制定之「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，隧道長度在 1 公里以上者，其防火避難設施及消防安全設備應依本規範設置。其中，第四章包括：隧道防火設施、隧道避難設施、隧道滅火設備、隧道警報設備、隧道避難逃生設備、消防搶救上必要設備等各節，對於新建隧道內外有關的消防逃生設施均做了詳細規範。

另高鐵隧道因多屬新建，具有較完備的隧道內消防設施，也率皆建立各自的防火機制（如圖 8.2-1~圖 8.2-3 所示）。

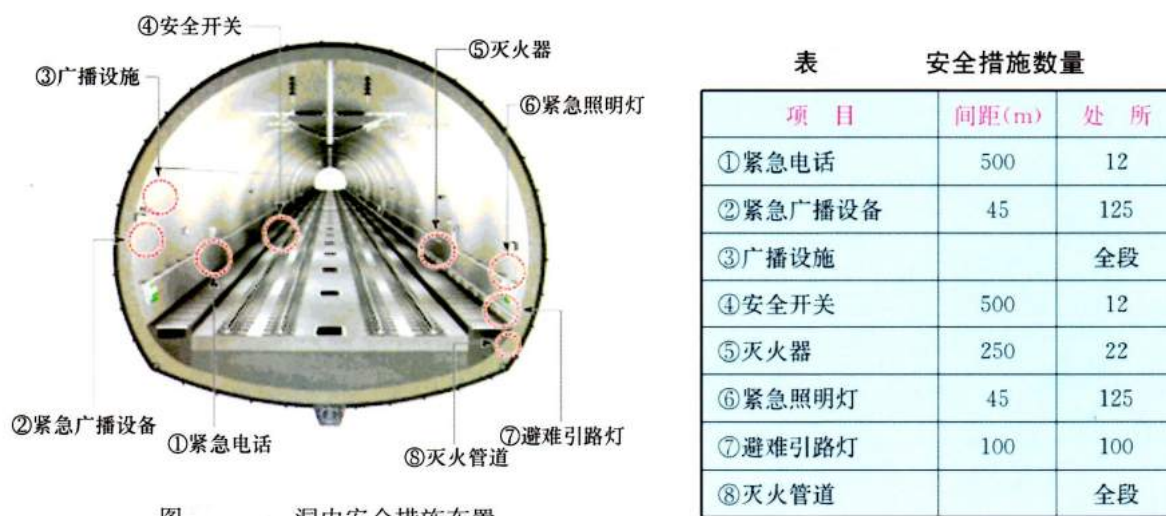


圖 洞內安全措施佈置

圖 8.2-1 高鐵隧道內火災與安全設備 及配置數量表

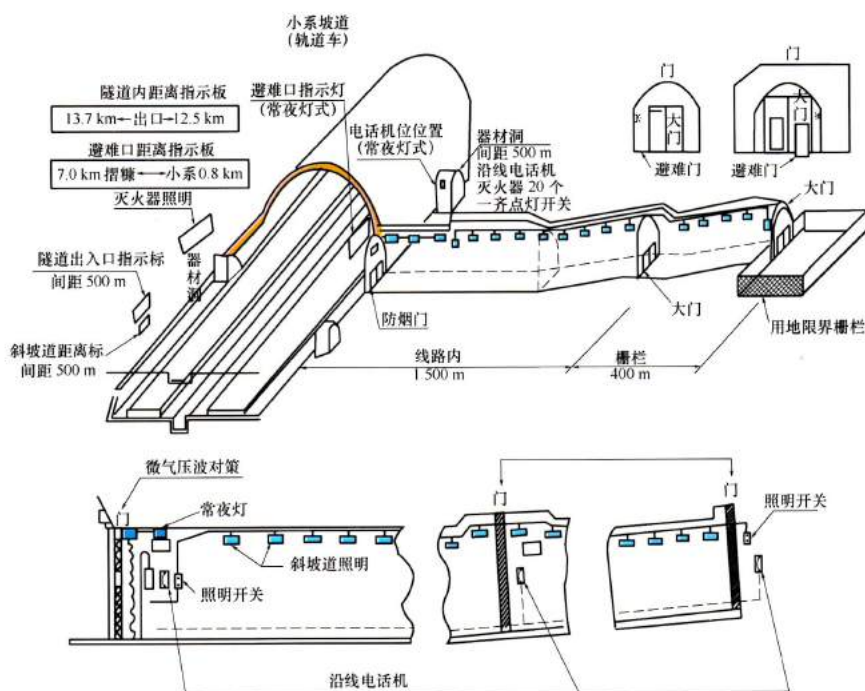


圖 8.2-1 日本新幹線隧道內火災對策與設備示意圖

### 8.3 隧道通風口及逃生避難設施

如前節所述，台鐵與臺灣高鐵的隧道內防災及緊急避難設施，是依據「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」而設置的。（如圖 8.3-1~圖 8.3-4 所示）

地下隧道通風系統，主要係提供以下功能：

- 1.提供隧道內足夠新鮮空氣。
- 2.降低隧道內溫度。
- 3.排除隧道內廢氣。
- 4.發生火災時兼具排煙功能。

長大隧道除兩端洞口外，都必須設有通風口，通常在施工階段，即規劃妥通風橫坑、斜坑、豎井等，先做為出碴，及人員、機具進出通道，以增加工作面，完工後則提供為通風用途。橫坑、斜坑配合機械通風，豎井則利用高程溫差效應，自然通風效果較佳。臺北地下隧道通風系統，因通風口到隧道內高程差不大，自然通風效果較小，而以採用機械通風為主。

此外，逃生設施則包括：緊急出口、安全步道、連通道、排煙室，以及逃生動線上各種標誌、指示燈號、照明設備、沿線電話、無線電話系統等。

臺北地下隧道設有「中央監控系統」，負責監管權隧道之安全，下轄五個子系統，即火警警報監控系統、電力及隧道照明監控系統、環境管理監控系統、安全監控系統、其他設備監控系統等。近年來，又增加了火災發生時煙控系統，及豪雨市區淹水時水位警報系統等。

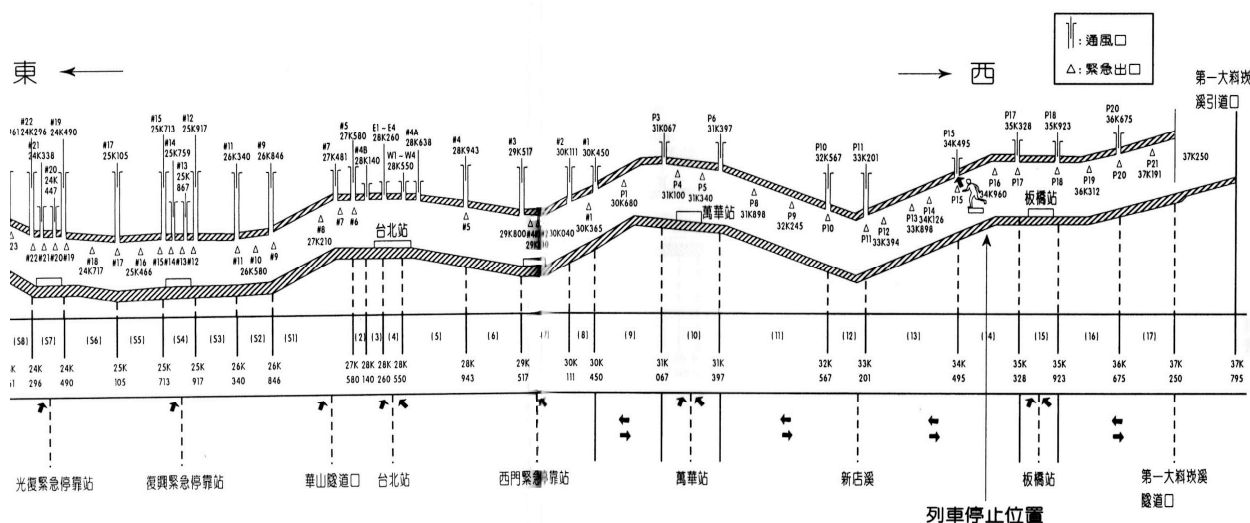


圖 8.3-1 台北市區鐵路地下隧道緊急逃生出口位置示意圖

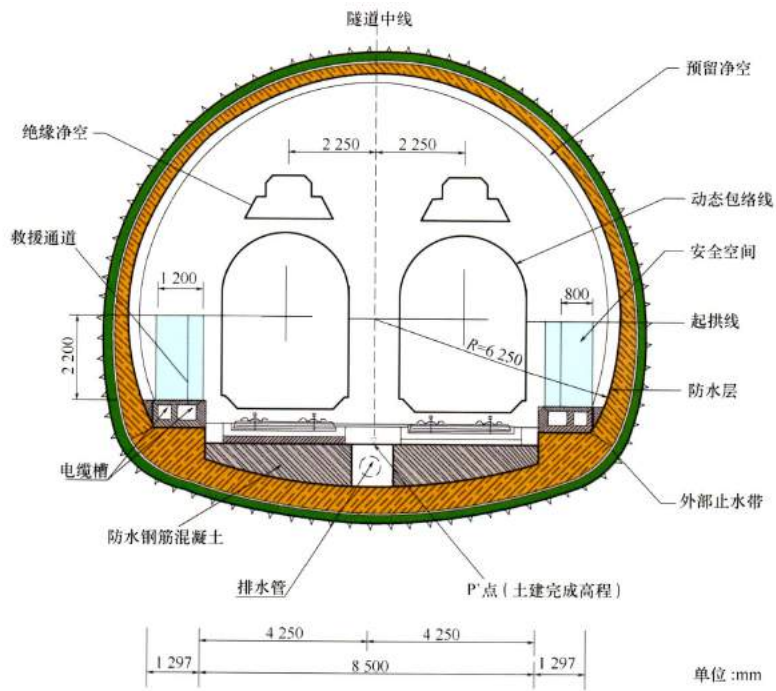


圖 8.3-2 台灣高鐵隧道標準斷面圖

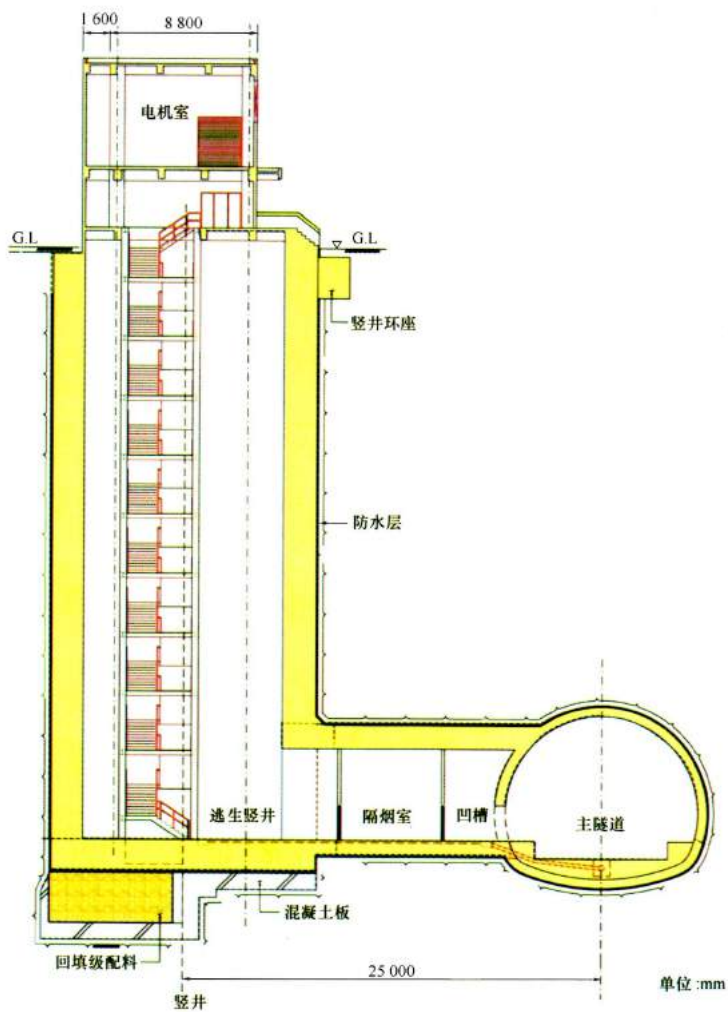


圖 8.3-3 台灣高鐵林口隧道豎井斷面及逃生設施圖

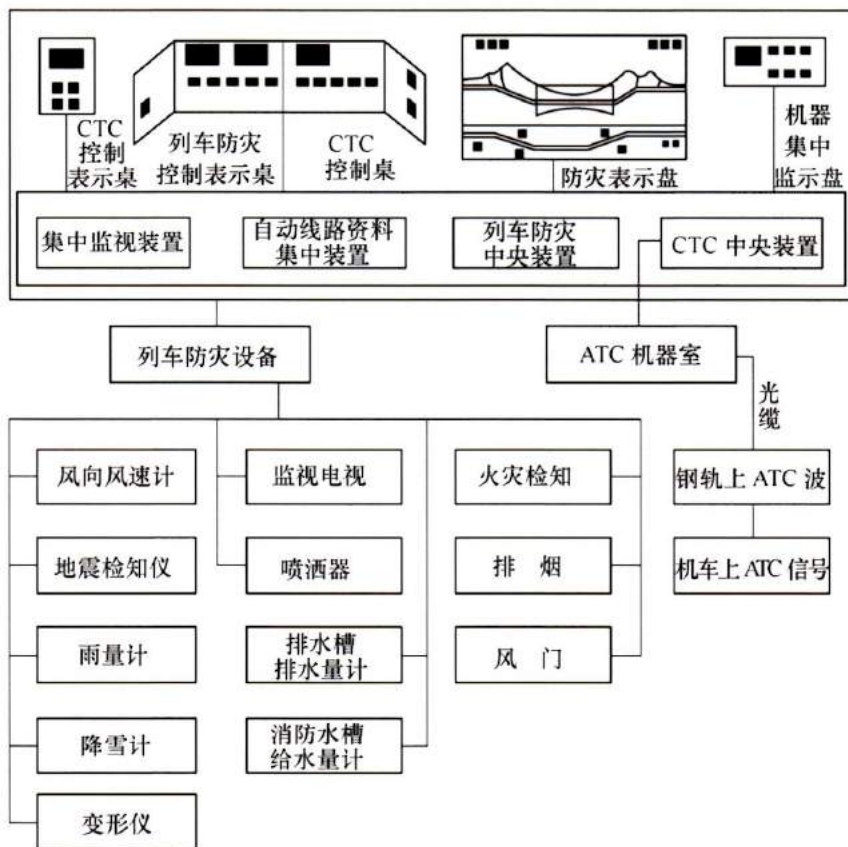


圖 8.3-4 日本青函隧道防災調度中心監控系統示意圖

## 9、隧道內之行車事故與處理

由於隧道內空間狹小，若發生行車事故，較難救援，故一般超長隧道大都在設計時就會考慮緊急救援通道，或預留逃生通道，但有一些台鐵早期的隧道，甚至，近年新建造的隧道，因經濟考量並未預留搶修機制，此類隧道內發行車事故之機率極低，然一旦發生，救援及搶修工作極為困難，本章將以作者曾參與搶修的台鐵隧道內行車事故為例，說明此一狀況，及其緊急應變方法。

### 9.1 新南澳隧道內貨物列車追撞事故搶修

本件事故發生於 2003.11.5 晚上 8:38，台鐵北迴線新南澳隧道內，由於該隧道僅為單軌斷面，淨空不大，平時維修人員行走於兩側步道，遇列車通過時，必須迅速進入每廿公尺乙處的避車洞內。此種以最小需求斷面設計的鐵路隧道，可降低建造成本，但較不利於維修，以往台鐵在權衡經濟成本與維修成本考量下，隧道的設計斷面皆以滿足最小淨空需求為原則。

然而，在本次事故中，因列車追撞力道強大，許多節車廂被擠壓變形，有些被頂起橫向撞擊隧道壁，竟將全斷面塞滿，破碎鐵皮、鋼板、車體構件，卡住隧道側壁，動彈不得，除了前後兩端，完全沒有救援人員可以進出的空隙，毀損車廂交疊卡在隧道內，連救援機車也拉不動。這是作者服務台鐵廿餘年，參與多次事故搶修，所見過最為棘手的案例。

### 9.2 新南澳隧道概述

#### 9.2.1 土建結構物

新南澳隧道位於北迴線東澳~南澳間(如圖 9.2-1)，由東部鐵路改善工程興建，於 92 年 7 月 4 日完成電氣化通車，為一典型 RC 結構設計，設計標準：行車速度 130km/hr。主要材料設計強度:隧道洞門結構及隧道內襯砌混凝土為  $210\text{kg}/\text{cm}^2$ ，仰拱混凝土為  $175\text{kg}/\text{cm}^2$ ，擋土牆、排水溝為  $210\text{kg}/\text{cm}^2$ ，隧道噴泥土為  $210\text{kg}/\text{cm}^2$  (採鋼纖噴泥土)，鋼筋(中級鋼)  $2800\text{kg}/\text{cm}^2$ ，鋼絲網  $1400\text{ kg}/\text{cm}^2$ ，結構鋼件為符合 ASTM\_A36，岩栓符合 CNS\_SD42。斷面設計，依照鐵路建設作業程序辦理設計施工，隧道斷面示意圖如圖 9.2-2 所示。



2003.11.5 台鐵北迴線南澳隧道內  
列車追撞事故發生地點

圖 9.2-1 北迴線新南澳隧道位置圖

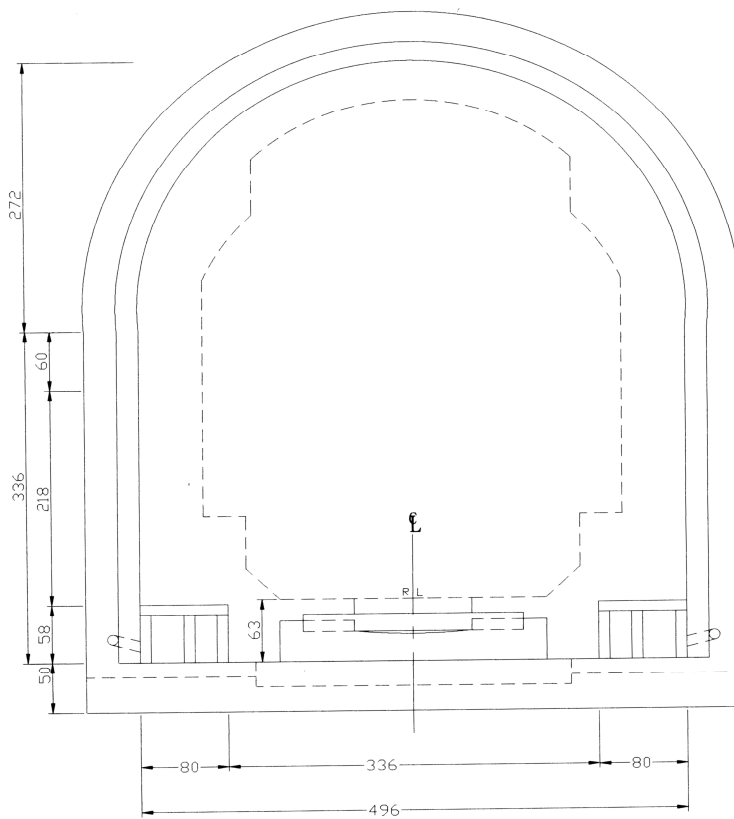


圖 9.2-2 新南澳隧道斷面圖 S=1/40



## 9.2.2 軌道結構

軌道結構採用無道碴防震軌道（直結式 PC 枕防震軌道）。設計標準:軌距 1067+0~-2mm, 軌道 50N 長焊鋼軌, 設計載重 KS-18 標準活載重, 行車速度 130km/hr, 軌道混凝土強度 350kg/cm<sup>2</sup>, 仰拱混凝土為 175kg/cm<sup>2</sup>, 軌道平、斷面示意圖如圖 9.2-3、圖 9.2-4 所示。

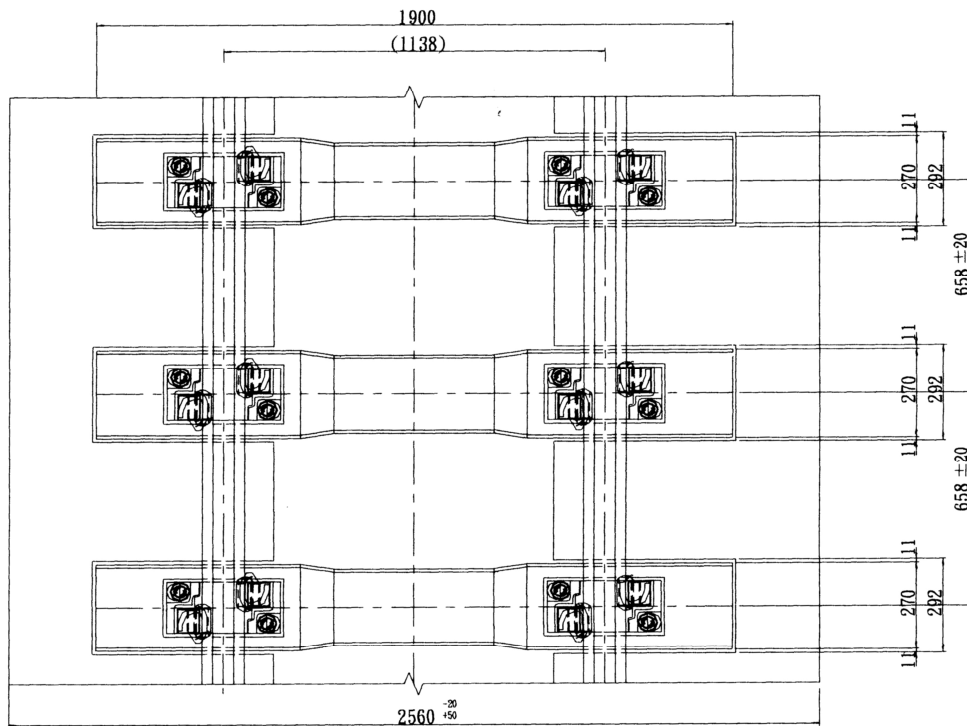


圖 9.2-3 無道碴軌道平面示意圖

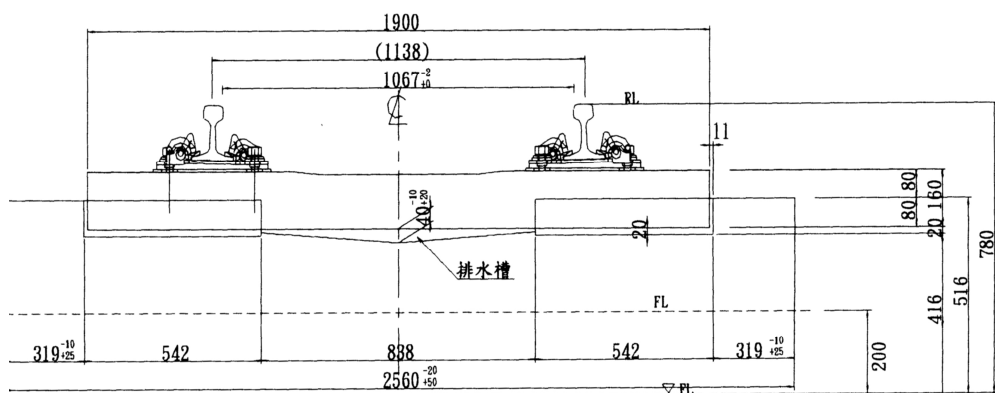


圖 9.2-4 無道碴軌道斷面示意圖

## 9.3 事故發生及搶修經過

### 9.3.1 事故發生經過

一、92年11月5日20時38分北上第734次重聯貨物列車，行經北迴線（新南澳隧道）k11+800處撞及同向北上第896次貨物列車，致造成二次列車共十輛車（含機車）出軌，其中第896次列車之守車車廂全毀。該區間（東澳~南澳間）因舊南澳隧道為配合鐵路電化需要辦理淨空及仰拱改善，致目前僅單線運轉，由於單線隧道內搶修工作困難，造成本次事故路線中斷達36小時30分。

#### 二、出軌狀況

（一）第896次為滿載石灰石重車，末節守車遭前後重車擠壓全毀，末端第二節車廂後軸全出軌。

（二）第734次為重聯空車，前部機車因撞擊時受前車阻力與後方推力作用加上地處半徑800曲線鋼軌受過大橫壓力扭曲變形後傾倒，機車全軸落軌，又因後繼車輛前推效應，使機車前端及後端分別撞及隧道左右側壁。第一節至第七節為散裝水泥空車，經觀察直結式軌道pc枕損壞及無滑行痕跡研判應為擠壓跳上出軌，一至七節出軌情形為：第一節後軸全出軌、第二節後軸全出軌、第三至七節全軸出軌，第八節後軸輪緣爬上鋼軌頂部，車輛出軌情形詳如圖9.3-1所示。

#### 三、軌道損壞情形

50N鋼軌扭曲變形70公尺、直結式軌道用PC枕斷損14根、橡膠墊片破損100塊、尼龍絕緣座損壞200塊、彈簧扣夾損害110個。

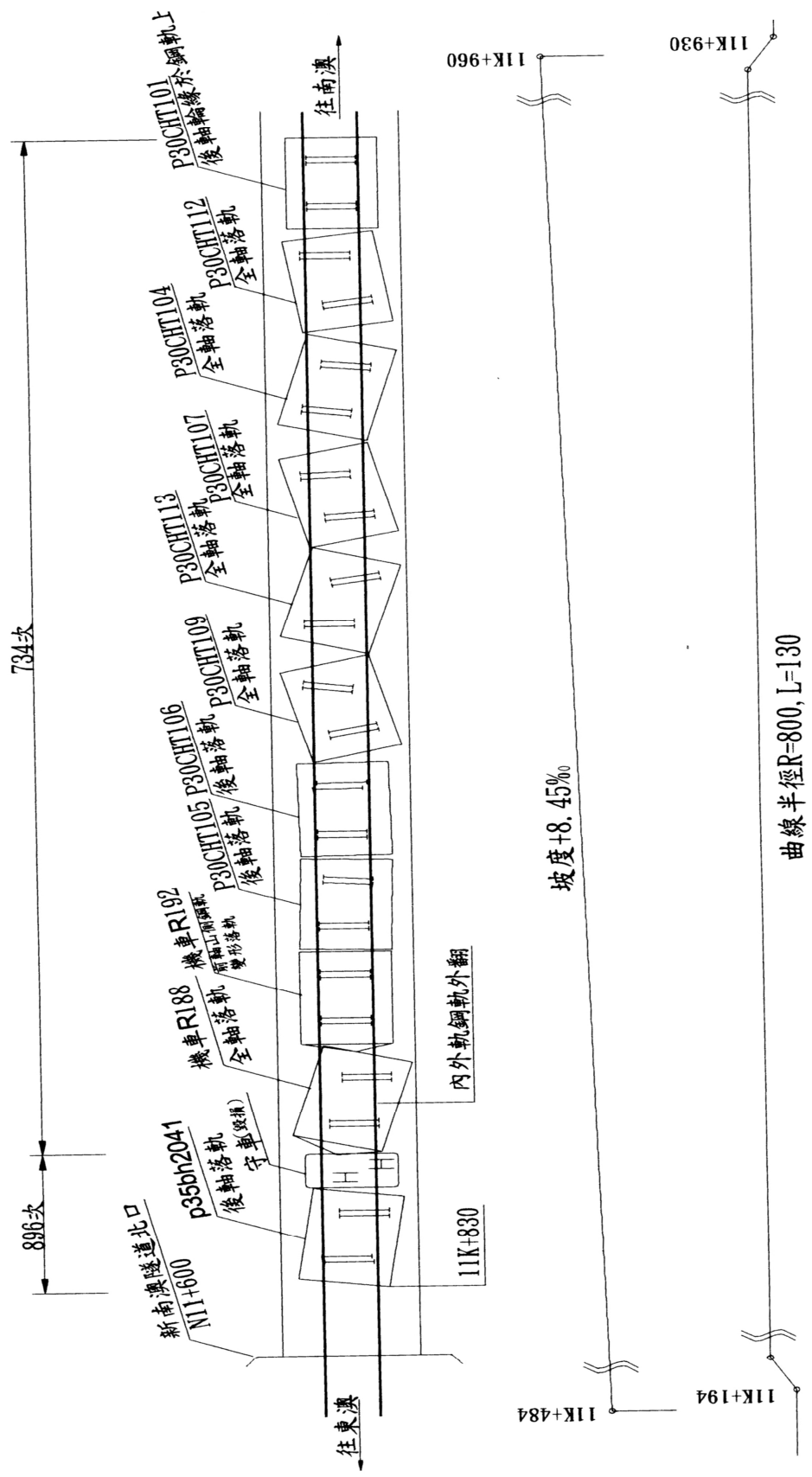


圖 9.3-1 896 及 734 次貨物列車追撞出軌示意圖

### 9.3.2 搶修經過（動員人力、機具、方法等）

- 一、1105/2050 本段辦公室值班人員接獲事故通報後，立即依照緊急事故通報連絡系統分別通知養路監工、分駐所主任、養路主任、段長（處長由段長通報），同時間由養路監工連絡道班人員前往搶修。1105/2155 段長率領同仁抵達現場，經現場勘查後，研商並擬訂搶修對策，並立即準備搶修材料及機械，事故現場如照片一~二十四。
- 二、1105/2345 宜蘭機務分段及花蓮機務段搶修車陸續抵達事故現場，隨後台北檢車段、七堵機務段人員亦相繼趕到現場，同時立即展開搶修。
- 三、1105/2359 將北洞口第一車（重車 P35BH2041）往北拖行 5 公尺，再以油壓千斤頂頂升後軸並作橫移，於 1106/0630 復軌，1106/0700 拖離現場。
- 四、1106/0310 第 734 次第八節（P30PHT101）以油壓千斤頂配合挖土機復軌後拖離現場。
- 五、1106/0620 第 734 次第七節（P30PHT112）嚴重出軌先以挖土機將車身扶正同時向南拖行 4 公尺，前軸油壓千斤頂架設完成後，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 六、1106/0710 以挖土機分三次將毀損守車以強拖方式將其拖出隧道外（距離 200M），1106/0835 守車清除完畢。
- 七、1106/0950 第 734 次第六節（P30PHT104）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行，接著前軸油壓千斤頂架設施工，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 八、1106/1600 第 734 次第五節（P30PHT107）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行，接著前軸油壓千斤頂架設施工，再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 九、1106/2040 R188 機車以油壓千斤頂（六個，每個頂升力 60 噸）頂升前、後軸並作橫向移動定位及固定支撐後於 1106/2045 由工務搶修人員將機車下方扭曲變形鋼軌用乙炔分段切斷取出（每段約 3~5M）後，再以臨時短鋼軌（4~5M）以人力縱向逐根植回，1106/2245 完成供 R118 機車使用之臨時軌道。1106/2255 機務開始 R118 機車復軌工作，1107/0055 復軌完畢，1107/0135 R118 機車拖離現場。
- 十、1107/0200 第 734 次第四節（P30PHT113）先以挖土機將車身扶正同時向南拖行（方便前軸油壓千斤頂架設施工），再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。

- 十一、1107/0205 R192 機車以油壓千斤頂頂升前軸並作橫向移動定位及固定支撐後，由工務將機車下方扭曲變形鋼軌用乙炔分段切斷取出（每段約 3~5M）後，再以臨時短鋼軌（4~5M）以人力縱向逐根植回，1107/0255 完成供 R192 機車使用之臨時軌道。機務開始 R192 機車復軌工作，1107/0300 復軌完畢，1107/0340 R192 機車牽引後掛之車輛（P30PHT105）駛離現場。
- 十二、1107/0305 第 734 次第三節（P30PHT109）先以怪手將車身扶正同時向南拖行（方便前軸油壓千斤頂架設施工），再以油壓千斤頂頂升前、後軸復軌後拖離現場。
- 十三、1107/0435 第 734 次第二節（P30PHT106）以油壓千斤頂頂升後軸復軌後拖離現場。
- 十四、1107/0450 機務搶修車完成搶修駛離現場。
- 十五、1107/0450（工務、電力共同施工）由工務搬運軌道材料及機具進行搶修，將原先植入之短鋼軌抽換為新 50N 鋼軌，軌道復舊完畢，經檢查軌道無影響行車之虞，於 1107/0725 撤離現場，電力單位仍繼續搶修復舊工作，直至 1107/0905 完成復舊及測試工作。
- 十六、1107/0908 恢復正常運轉。
- 十七、本次搶修參與人力分析:機務單位（宜蘭機務分段、台北檢車段、花蓮機務段、七堵機務段）共派出四組搶修車，十二班搶修人力計 240 人次。宜蘭工務段雇用二部 120 型挖土機（有橡膠履帶設備），一部電搖車，六部鐵擔車，五部山越器，二部鑽孔機，二部鋼軌鋸軌機，乙炔切斷器二組，投入搶修人力計約 150 人次。

## 9.4 總結

本次追撞事故出軌車輛多達十輛，且發生於隧道內，又單線隧道斷面積小，搶修材料、機具進出不易，施工單位因搶修需要常需交替進場，各單位之協調、配合攸關搶修時效。所幸本件事故損壞嚴重部份均位於北側，且距北洞口僅有 200 公尺，是以未肇致搶修時間之延宕。

本案事故出軌地點之軌道結構為無道碴防震軌道（即直結式 PC 枕防震軌道），由東部鐵路改善工程處興建，刻正委請技術顧問研擬搶修標準作業程序及辦法。所幸本次事故因撞擊後出軌未造成滑行，亦未造成大量 PC 枕斷損，否則後果將更為嚴重。

為提昇事故搶修效率，隧道內列車出軌事故搶修技術、機具設備，宜指定相關權責單位再深入研究、探討，以祈縮短搶修時間。另有關無道碴防震軌道（直結式 PC 枕防震軌道）搶修作業程序及辦法，更應早日訂定完成，以備不時之需。



(照片 9-1) 896 次列車守車遭撞擊全毀情形



(照片 9-2) 734 次機車撞擊 896 次 R188 前軸出軌情形



(照片 9-3) 734 次重聯機車撞擊 896 次 R188 後軸出軌情形



(照片 9-4) 734 次機車撞擊 896 次 R192 前軸出軌情形



(照片 9-5) 734 次散裝水泥車全軸出軌情形



(照片 9-6) 734 次散裝水泥車全軸出軌情形



(照片 9-7) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-8) 734 次散裝水泥車出軌



(照片 9-9) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-10) 734 次散裝水泥車出軌情形



(照片 9-11) 896 次石灰石斗車搶修情形



(照片 9-12) 896 次列車守車清除情形





(照片 9-13) 896 次列車守車清除情形



(照片 9-14) 734 次 R188 機車扶正後工務切斷鋼軌



(照片 9-15) 機車扶正墊高後由工務取出損壞鋼軌



(照片 9-16) 工務鋪設臨時軌道情形



(照片 9-17) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-18) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-19) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-20) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-21) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-22) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-23) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-24) 工務辦理軌道鋪設復舊情形



(照片 9-25) 軌道受損情形



(照片 9-26) 軌道受損情形



(照片 9-27) 隧道側壁受出軌車輛撞擊痕跡



(照片 9-28) 彈性軌枕受損情形



(照片 9-29) 896 次守車移出軌道外



(照片 9-30) 運務段於東澳車站辦理公車接駁

# 10、現階段的隧道維修與管理

隧道維修管理系統在監測技術、衛星定位及無線網路傳輸的應用下，更加完善，使工程司能巨細靡遺隨時掌握所有隧道狀況。而隧道之維修保養工作，也在材料科學的進步與施工技術發達下，更見成熟。

## 10.1 隧道維修與補強

在進行隧道之調查、安全檢測及異狀原因推估後，如發現隧道已有異常狀態之發生，為恢復隧道的使用功能、安全性及耐久性，必須進行隧道維修與補強之設計及施工。為即時排除隧道之異狀，除選擇適當的維修補強工法外，並需檢討實施之規模、施工性、經濟性及施工時期等。

由於隧道與其他型式的結構物相較，其維修與補強施工所受的限制較多，選擇維修與補強工法時，必須充分掌握隧道之異狀原因、異狀現象、環境條件、結構條件、施工作業限制條件等，以擬定適當之維修與補強計畫。

選擇維修與補強工法之最重要考量因素為正確掌握隧道異狀原因，才能對症下藥，恢復隧道功能。隧道異狀原因可大致分為下列三項：

1. 外力變化
2. 襯砌材質老化
3. 漏水及其他因素（襯砌背面空洞、襯砌厚度不足、無設置仰拱等）

各種隧道異狀原因很少單獨發生，大部份均多種原因同時發生而造成異狀，抑或肇因於興建階段之設計、施工不良。且由於隧道係地下結構物，作用於襯砌之外力及襯砌狀態甚難充分明確掌握，一般均依異狀之特徵或簡單之檢測結果，據以推估異狀原因，其推估過程中，經驗因素比重仍大。由於鐵路隧道之維修與補強施工上，常有時間性限制，往往需在短時間內完成，以維護交通順暢，故採用機動性高且施工簡便快速之施工法是維修與補強技術考慮重點。為施工法之選擇必須依安全檢測及隧道異狀原因推估結果（如鬆動土壓、材質劣化、滲漏、背面空洞、襯砌厚度不足等），並對隧道之重要性及異狀作綜合性安全評估，研判隧道體有無結構穩定之問題後，方可選擇有效解決隧道病因、恢復營運功能及延長使用年限之最佳施工方式。

外力變化之維修與補強工法：

針對導致隧道發生異狀之外力變化因素，如鬆動土壓、偏壓及邊坡潛移、地層滑動、塑性壓、水壓、地盤下陷、地盤承载力不足、地震、隧道洞口段，所採取之維修與補強對策工法如表所示。惟表中所示僅為選擇維修與補強工法時之一般性

參考原則，工程司仍應根據各隧道之特性、以往從事隧道工程之經驗，配合適當之分析檢討，以選擇有效之工法。

## 10.2 隧道補強對策與工法

隧道安全等級評定結果與隧道施工工法(ASSM 或 NATM)具有相關性，而隧道之維修補強對策，需依據異狀種類、發生原因、劣化程度、範圍、規模大小與位置，妥善規劃設計隧道維修補強作業，一般採用之隧道維修補強對策如下各節所述。

### 10.2.1.剝落對策

#### TYPE A1－局部剝落填補(起拱線以上)

若襯砌起拱線以上有混凝土塊局部掉落之可能時，須先予以敲除、埋設剪力釘，再以混凝土或水泥砂漿予以填補，如圖 10.2-1 所示。

#### TYPE A2－局部剝落填補(起拱線以下)

若襯砌起拱線以下有混凝土塊局部剝落之可能時，得考量先將劣化範圍鑿除，再以無收縮水泥砂漿填補，，如圖 10.2-2 所示。

#### TYPE A3－鋼板補強

若襯砌剝落範圍較大且混凝土塊有掉落之可能時，則採用鋼板補強，四周以螺栓錨碇，如圖 10.2-3 所示。

#### TYPE A4－碳纖維網補強

若襯砌有較大面積混凝土塊掉落之可能時，則貼覆碳纖維網(CF)防止其下墜，如圖 10.2-4 所示。

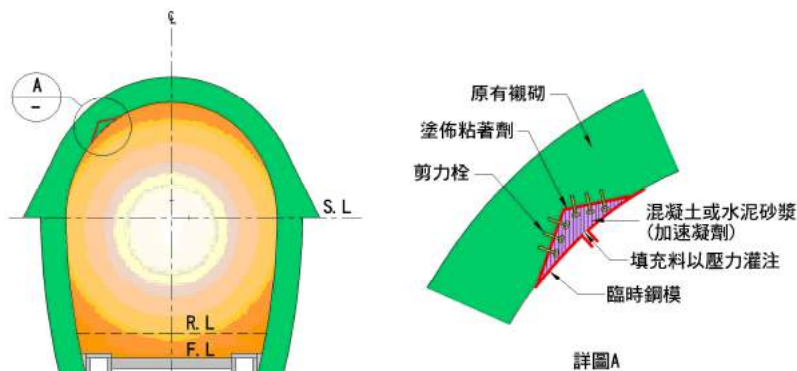


圖 10.2-1 襯砌起拱線以上局部剝落填補示意圖(TYPE A1)

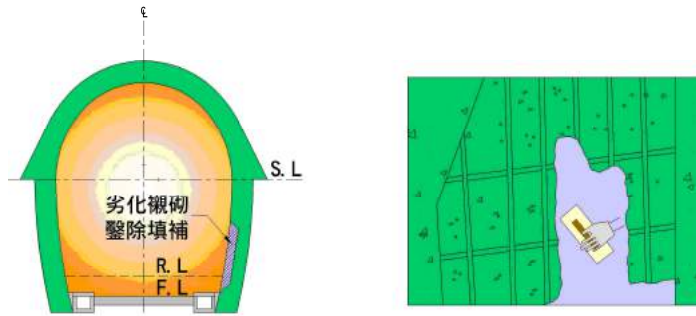


圖 10.2-2 襯砌起拱線以下局部剝落填補示意圖(TYPE A2)

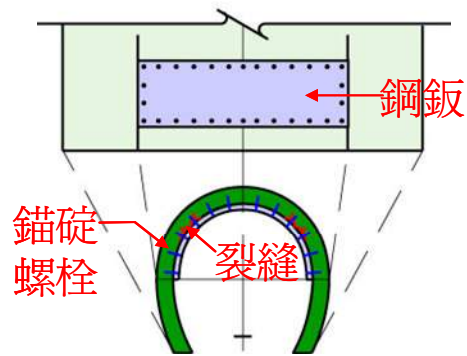


圖 10.2-3 襯砌鋼板補強示意圖(TYPE A3)

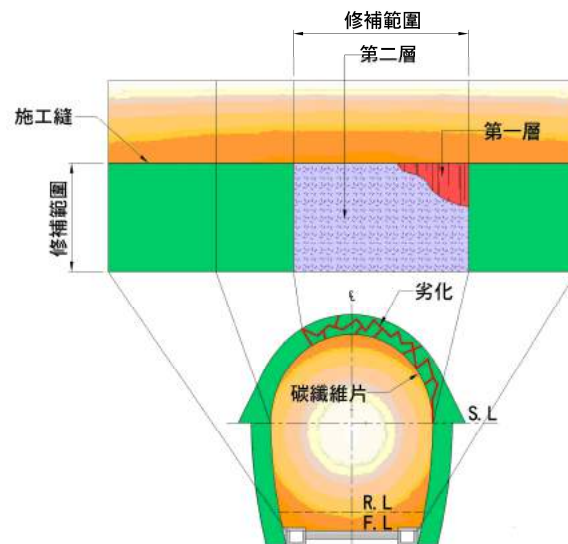


圖 10.2-4 襯砌碳纖維網補強示意圖(TYPE A4)

## 10.2.2. 裂縫對策

### TYPE B1－裂縫補強(止水)灌漿

若僅為局部之細微裂縫，則採用如圖 10.4-5 所示之裂縫補強(止水)灌漿。

### TYPE B2－岩栓補強

若為大規模之構造型裂縫，則除了 TYPE B1－裂縫補強灌漿外，尚須考量採用岩栓補強，如圖 10.4-6 所示。

### TYPE B3－固結灌漿

若為大規模之構造型裂縫，且疑似襯砌厚度不足，則除了 TYPE B1－裂縫補強灌漿外，尚須考量採用固結灌漿以提高圍岩之強度並將其與襯砌固結成一結構體，如圖 10.4-7 所示。

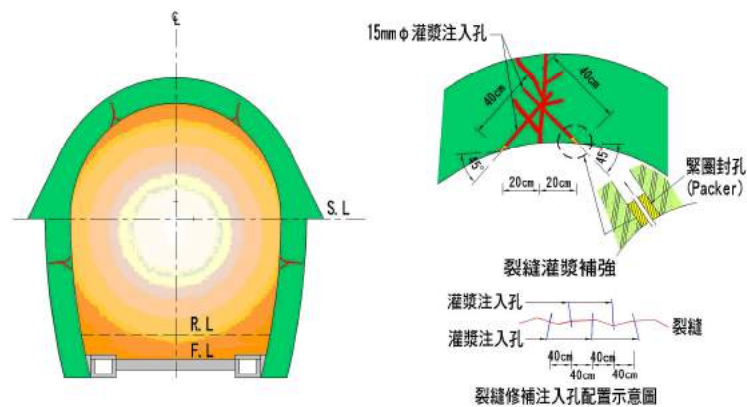


圖 10.4-5 襯砌裂縫補強(止水)灌漿示意圖(TYPE B1)

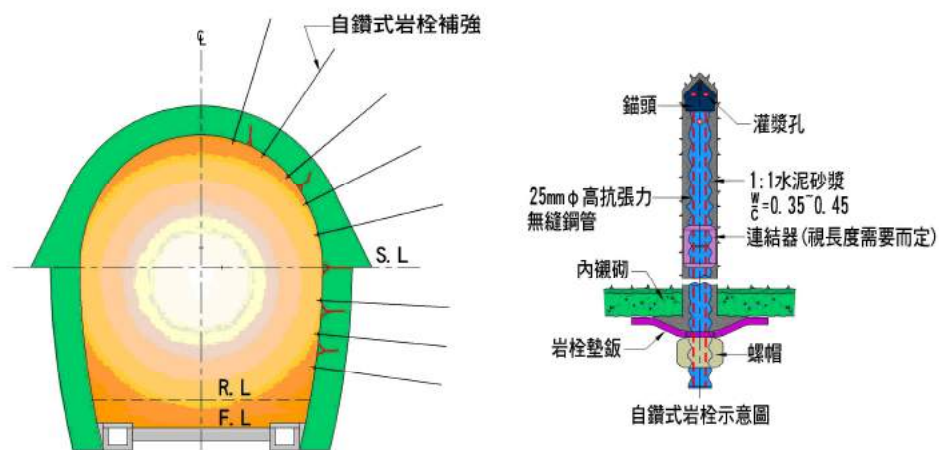


圖 10.4-6 岩栓補強工法示意圖(TYPE B2)

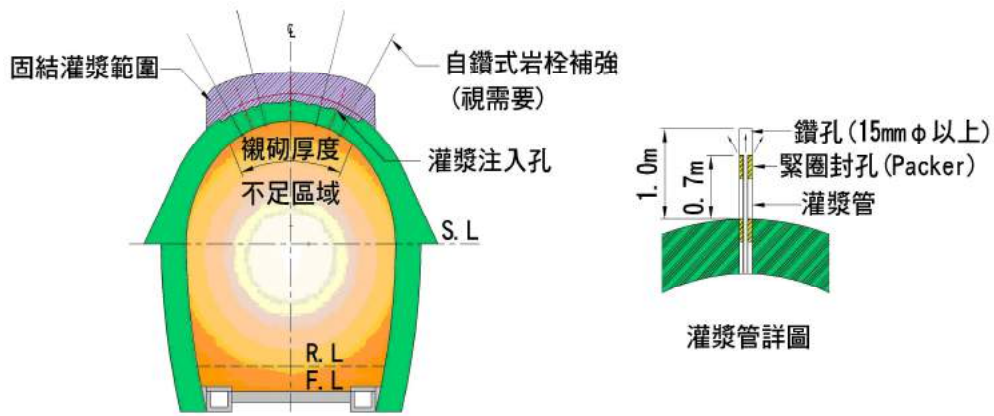


圖 10.4-7 固結灌漿補強工法示意圖(TYPE B3)

### 10.2.3.漏水對策

若滲漏水程度為滲水或滴水，則可採用止水工法。裂縫之止水將採用灌注止水材之補強工法(TYPE B1)，如圖 10.4-5 所示；而施工縫之止水得考量採用急結水泥予以填補(TYPE C1)，如圖 10.4-8 所示。

若滲漏水程度為湧水或噴水，則採用導水工法，包括：TYPE C2－側壁單排導水工法(圖 10.4-9)、TYPE C3－施工縫導水工法(圖 10.4-10)、TYPE C4－導水版導水工法(圖 10.4-11)等三種。

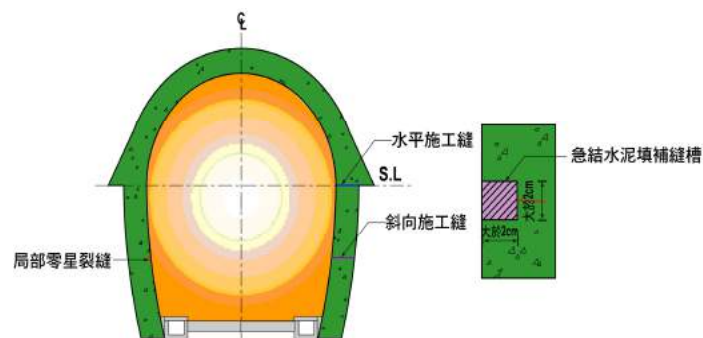


圖 10.4-8 施工縫止水工法示意圖(TYPE C1)

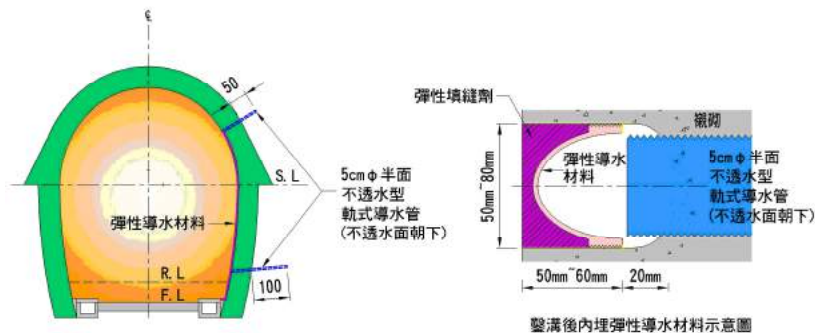


圖 10.4-9 側壁單排導水工法示意圖(TYPE C2)



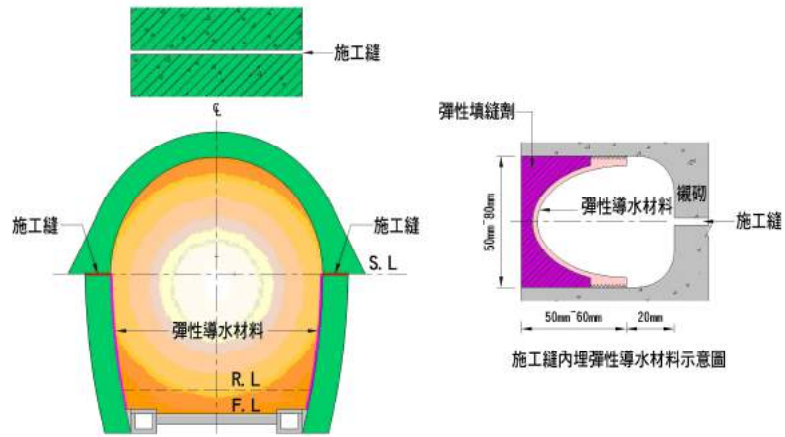


圖 10.4-10 施工縫導水工法示意圖(TYPE C3)

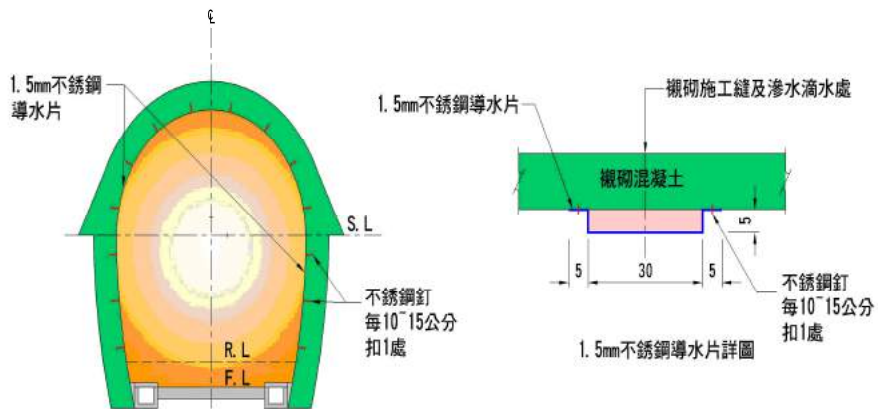


圖 10.4-11 導水版導水工法示意圖(TYPE C4)

#### 10.2.4.其它對策

##### TYPE D1 – 背填灌漿

當透地雷達探查發現襯砌背後有疏鬆或空洞現象存在時，採用背填灌漿之補強方式，如圖 10.4-12 所示。

##### TYPE D2 – 鋼筋補強

針對偏壓、斷層破碎帶或施工異常區段，如多良一號隧道 60k+200~ 60k+410，採用切槽鋼筋補強工法，如圖 10.4-13 所示。

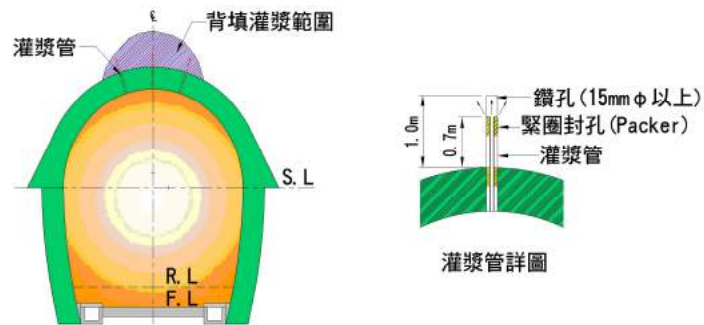


圖 10.4-12 背填灌漿工法示意圖(TYPE D1)

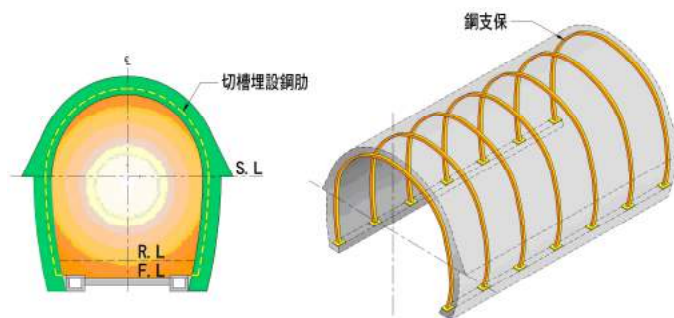


圖 10.4-13 鋼筋補強工法示意圖(TYPE D2)

# 參考文獻

1. 「Practical Tunnel Driving」, Harold W. Richardson & Robert S. Mayo, 歐亞書局, 1978.10 台北。
2. 「TUNNEL ENGINEERING HANDBOOK」, John O. Bickel & T R. Kuesel, Van Nostrand Reinhold Company, Inc. , 1992.U.S.A. Florida。
3. Coenraad Esveld, 「MODERN RAILWAY TRACK」, MRT-Productions, 2001。
4. 中華民國隧道協會, 「隧道工程用語 辭彙」, 科技圖書公司, 2000 年 4 月。
5. 「隧道工程學」(The Art of Tunnelling), by Karoly Szechy, 段品莊譯, 臺灣鐵路管理局(北迴鐵路工程處印行), 1978.4。
6. 汪彝之, 「實用隧道工程學」, 大中國圖書公司, 1992 年 10 月。
7. 張吉佐、劉弘祥, 「山岳隧道工程—設計與實例手冊」, 1999 年 9 月。
8. 賴德湘、吳小虹, 「筆路開基—基隆鐵道之創見與發展」, 基隆市立文化中心, 2001 年 12 月。
9. 劉文駿、王威傑、楊森豪, 「百年台灣鐵道」, 城邦文化, 2003 年 9 月。
10. 中國鐵道部第二勘測設計院, 鐵路工程設計技術手冊「隧道」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
11. 中國鐵道部, 「洞門」, 中國鐵道出版社, 1990 年, 北京。
12. 中國鐵道部, 「隧道」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
13. 中國鐵道部工務局, 「隧道」, 中國鐵道出版社, 1997 年, 北京。
14. 陳豪雄、殷杰, 「隧道工程」, 中國鐵道出版社, 1995 年, 北京。
15. 鍾桂彤, 「鐵路隧道」, 中國鐵道出版社, 1996 年, 北京。
16. 吳波, 「隧道施工安全風險管理」, 中國鐵道出版社, 2010 年, 北京。
17. 中國鐵道部工程設計鑑定中心, 「高速鐵路隧道」, 中國鐵道出版社, 2006 年, 北京。
18. 張德水, 「台灣政治、種族、地名沿革」, 前衛出版社, 2011 年 01 月, 台北。
19. 臺灣鐵路管理局, 「無遠弗屆的脈動」—台灣的建設(鐵路篇), 1998 年 9 月, 台北。
20. 洪致文, 「台灣鐵道印象」, 南天書局, 1999 年 1 月, 台北。
21. 交通部臺灣區國道新建工程局, 「隧道工程」施工技術解說圖冊, 2006 年 3 月, 台北。
22. 黃樹民, 「台灣往日情懷」, 人人出版公司, 2002 年 3 月, 台北。
23. 喬英忍等, 「世界鐵道綜覽」, 中國鐵道出版社, 2003 年 9 月, 北京。
24. 黃民仁, 「新世紀鐵路工程學」, 文笙書局, 2007 年 3 月, 台北。
25. 中國土木水利工程學會 土木史委員會, 「台灣土木史叢書」--交通工程誌, 中國土木水利工程學會, 2008 年 1 月, 台北。
26. 榮民工程事業管理處, 「北迴鐵路完工報告」, 1982 年 5 月。
27. 臺灣鐵路管理局山線雙工程處, 「鐵路山線竹南至豐原間雙軌工程簡介」, 1998

年 6 月。

28. 孫祺等 4 人，集集大地震三義 1 號隧道震害與修復，「台鐵資料」季刊第 306 期，2001 年 6 月，台北。
29. 范吉櫟、莊育蓁、壽克堅，1999 年集集大地震台灣西部山線鐵路隧道災害之調查、檢討與分析，「台鐵資料」季刊第 320 期，2004 年 12 月，台北。
30. 李佳翰、王兆賢、陳志榮，南迴線金崙等七座隧道安全檢測與改善規劃設計，「台鐵資料」季刊第 333~336 期。
31. 孫祺，鐵路舊山線三義～后里間橋梁隧道檢測，「台鐵資料」季刊第 321~323 期，2005.3~2005.9，台北。
32. 詹積谷譯，建築界限，「台鐵資料」季刊第 324 期，2005.12，台北。
33. 南港紀要第一輯（80.7~86.6），1999 年 09 月，交通部台北市區地下鐵路工程。
34. 台北市區鐵路地下工程 工程紀要系列（第一輯～第四輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
35. 松專紀要系列（第一輯～第三輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
36. 萬板紀要系列（第一輯～第四輯），交通部台北市區地下鐵路工程。
37. 久保田 博，「鐵道工學」，越後堂株式會社，2004 年 2 月，東京。
38. 天野光三等，「圖說鐵道工學」，丸善株式會社，2005 年 6 月，東京。

# 附錄一 台灣鐵路隧道表

編號	路線名稱	隧道名稱	區間	位置	全長 (M)	淨寬 (M)	淨高 (M)	襯砌材料		備註
								拱環	側壁	
縱隧 1	縱貫線	竹子嶺(雙)	基隆-八堵	2K+406.1~2K+947.45	541.35	8.00	5.12	磚	磚	
縱隧 2	縱貫線	七堵(下雙)	七堵-五堵	6K+937.47~7K+081.77	144.30	8.00	5.12	混凝土	混凝土	
縱隧 3	縱貫線	七堵(上單)	七堵-五堵	6K+951.5~7K+083.68	132.18	4.80	5.12	磚	粗石	
縱隧 4	縱貫線	新五堵	七堵-五堵	10K+313.15~10K+492	434.61	4.57	5.00	磚	磚	
縱隧 5	縱貫線	台北地下鐵(雙)	松山-樹林	16K+220~37K+180	20,960.	9.51	5.95	R.C	R.C	
縱隧 6	縱貫線	山佳	樹林-山佳	44K+429~44K+584	155.00			R.C	R.C	19014 萬元 93.11.29 開 工，98.5.23 竣工
縱隧 7	縱貫線	大甲(雙)	大甲-甲南	181K+299.3~181K+379.6	80.30	8.50	5.28	磚	混凝土	
小計					22,447.7					
中隧 1	台中線	豐富(雙)	豐富-苗栗	133K+092.5~133K+739.5	647.00			混凝土	混凝土	
中隧 2	台中線	苗南(雙)	苗栗-南勢	143K+333~144K+315	982.00			混凝土	混凝土	
中隧 3	台中線	銅鑼(雙)	南勢-銅鑼	148K+086~148K+416	330.00			混凝土	混凝土	
中隧 4	台中線	三義(雙)	三義-泰安	159K+701.5~167K+055.6	7,354.17		7.29	混凝土	混凝土	159K+701.5~160K+341 為明挖覆蓋段
中隧 5	台中線	三泰(雙)	三義-泰安	168K+073~168K+333	260.00			混凝土	混凝土	
中隧 6	台中線	泰安(雙)	泰安-后里	171K+365.5~171K+882.5	517.00			混凝土	混凝土	
中隧 7	台中線	后豐(雙)	后里-豐原	175K+016.5~175K+471.5	455.00	9.10	7.29	混凝土	混凝土	明挖段 126M 為鋼 筋混凝土
小計					10,545.2					
宜隧 1	宜蘭線	四瑞一號(雙)	四腳亭-瑞芳	4K+639~5K+015	376.00	8.00	5.16	混凝土	混凝土	
宜隧 2	宜蘭線	四瑞二號(雙)	四腳亭-瑞芳	5K+673~5K+963	290.00	8.20	5.16	混凝土	混凝土	
宜隧 3	宜蘭線	深澳(上單)	四腳亭-瑞芳	7K+326~7K+362	36.00					
宜隧 4	宜蘭線	深澳(下單)	四腳亭-瑞芳	7K+302~7K+374	72.00	4.50	4.56	磚	粗石	
宜隧 5	宜蘭線	龍潭(雙)	瑞芳-侯硐	9K+563~9K+710	147.00					
宜隧 6	宜蘭線	龍鎮(雙)	瑞芳-侯硐	9K+888~9K+957	69.00					
宜隧 7	宜蘭線	柑坪(雙)	瑞芳-侯硐	9K+969~10K+048	79.00					

宜隧 8	宜蘭線	頌德(下單)	瑞芳-侯硐	10K+630~10K+792	162.00						
宜隧 9	宜蘭線	瑞芳(上單)	瑞芳-侯硐	10K+662~10K+790	128.00						
宜隧 10	宜蘭線	福住(雙)	瑞芳-侯硐	11K+192~11K+583	391.00						
宜隧 11	宜蘭線	示德(雙)	瑞芳-侯硐	12K+603~13K+181	578.00						
宜隧 12	宜蘭線	三貂嶺(雙)	三貂嶺-牡丹	16K+465~18K+541	2,076.0						
宜隧 13	宜蘭線	五份(下單)	牡丹-雙溪	22K+055~22K+262	207.00						
宜隧 14	宜蘭線	五份(上單)	牡丹-雙溪	22K+118~22K+198	80.00						
宜隧 15	宜蘭線	雙溪(雙)	雙溪-貢寮	23K+264~23K+384	120.00						
宜隧 16	宜蘭線	共和(雙)	雙溪-貢寮	23K+766~24K+224	458.00						
宜隧 17	宜蘭線	長潭(雙)	雙溪-貢寮	24K+627~24K+894	267.00						
宜隧 18	宜蘭線	福隆(雙)	福隆-石城	33K+345~33K+520	175.00						
宜隧 19	宜蘭線	草嶺(雙)	福隆-石城	33K+991~36K+271	2,280.0	4.70	4.50	混凝土	混凝土		
宜隧 20	宜蘭線	大里(雙)	大里-大溪	41K+392~41K+639	247.00						
宜隧 21	宜蘭線	大溪(雙)	大里-大溪	43K+307.5~44K+009	701.50						
宜隧 22	宜蘭線	合興(雙)	大溪-龜山	45K+668~46K+580	912.00						
宜隧 23	宜蘭線	梗枋(雙)	大溪-龜山	47K+230~47K+480	250.00						
宜隧 24	宜蘭線	更新(雙)	龜山-外澳	50K+488~50K+638	150.00						
宜隧 25	宜蘭線	外澳(雙)	龜山-外澳	51K+408~51K+722	314.00						
小 計					10,565.5						
平隧 1	平溪線	第一號(單)	三貂嶺-十分	0K+993.61~1K+288.16	294.55	4.30	4.27	混凝土	混凝土		
平隧 2	平溪線	第二號(單)	三貂嶺-十分	1K+368.34~1K+388.46	20.12	4.30	4.36	自然岩	自然岩		
平隧 3	平溪線	第三號(單)	三貂嶺-十分	1K+438.77~1K+508.2	69.43	4.35	4.26	自然岩	自然岩		
平隧 4	平溪線	第四號(單)	三貂嶺-十分	2K+394~2K+428.93	34.93	4.28	4.41	自然岩	自然岩		
平隧 5	平溪線	第五號(單)	三貂嶺-十分	2K+515.65~2K+580.75	65.10	4.41	4.38	自然岩	自然岩		
平隧 6	平溪線	第六號(單)	三貂嶺-十分	4K+540.72~4K+631.06	90.34	4.35	4.25	混凝土	混凝土		
小 計					574.47						
深隧 1	深澳線	瑞澳(單)	瑞芳-八斗子	2K+267.39~2K+377.39	110.00	4.40	4.54	混凝土	混凝土		
深隧 2	深澳線	第一號(單)	瑞芳-八斗子	4K+317.19~4K+419.25	102.06						
深隧 3	深澳線	第二號(單)	八斗子-深澳	5K+508.63~5K+667.59	157.96						
小 計					370.02						
內隧 1	內灣線	竹東(單)	竹中-竹東	13K+895~14K+275	380.00	4.80	4.43	混凝土	混凝土		
內隧 2	內灣線	合興(單)	九讚頭-合興	23K+904~24K+029	125.00	4.70	4.92	混凝土	混凝土		
內隧 3	內灣線	南河(單)	合興-內灣	24K+949.3~25K+115.8	166.50	4.90	4.68	混凝土	混凝土		
內隧 4	內灣線	九芎坪(單)	合興-內灣	26K+835~27K+017	182.00	5.10	5.03	混凝土	混凝土	86 年南端 延長 30M 箱涵	
內隧 5	內灣線	明隧道(單)	合興-內灣	27K+200~27K+323.2	123.20						
小 計					976.70						

集隧 1	集集線	第一(單)	龍泉-集集	17K+432~17K+815	383.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 2	集集線	第二(單)	集集-水里	22K+932~23K+745	813.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 3	集集線	第三(單)	集集-水里	23K+747~24K+315	568.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 4	集集線	中興(單)	集集-水里	24K+685~24K+775	90.00	4.46	4.78	混凝土	混凝土	
集隧 5	集集線	第四(單)	水里-車埕	27K+811~27K+951	140.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 6	集集線	第五(單)	水里-車埕	28K+890~28K+999	109.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 7	集集線	第六(單)	水里-車埕	29K+438~29K+505	67.00	4.46	4.47	磚	混凝土	
集隧 8	集集線	明隧一號	集集-水里	K25+130~K25+160	30.00			R.C	R.C	民國 91 年建
集隧 9	集集線	明隧二號	集集-水里	K25+360~K25+500	140.00			R.C	R.C	民國 91 年建
小 計					2,340.0					
北隧 1	北迴線	蘇澳一號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+338~2K+537	199.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 2	北迴線	新蘇澳一號(單)	蘇澳新站-永樂	1K+936~2K+139	203.00					
北隧 3	北迴線	蘇澳二號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+585~2K+698	113.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 4	北迴線	新蘇澳二號(單)	蘇澳新站-永樂	2K+492~3K+221	729.00					
北隧 5	北迴線	蘇澳三號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+145~3K+351	206.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 6	北迴線	新蘇澳三號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+296145~3K+626	330.00					
北隧 7	北迴線	蘇澳四號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+480~3K+719	239.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 8	北迴線	新蘇澳四號(單)	蘇澳新站-永樂	3K+661~3K+916	255.00					
北隧 9	北迴線	永春(單)	永樂-東澳	5K+444.5~9K+465	4,020.50	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 10	北迴線	新永春(單)	永樂-東澳	5K+224~9K+684	4,460.00					
北隧 11	北迴線	新東澳	永樂-東澳	10K+424~10K+597	173.00					
北隧 12	北迴線	南澳(單)	東澳-南澳	11K+733~17K+019	5,286.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 13	北迴線	新南澳(單)	東澳-南澳	11K+600~16K+945	5,345.00					
北隧 14	北迴線	新武塔	南澳-武塔	20K+483~22K+117	1,634.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 15	北迴線	新觀音	武塔-漢本	24K+097~34K+404	10,307.0	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 16	北迴線	新和平	和平-和仁	43K+560~46K+655	3,095.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 17	北迴線	和仁(單)	和仁-崇德	48K+487.5~50K+898.5	2,411.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 18	北迴線	新和仁(單)	和仁-崇德	48K+345~50K+877	2,532.00					
北隧 19	北迴線	清水(單)	和仁-崇德	51K+188.3~53K+294.3	2,106.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 20	北迴線	新清水(單)	和仁-崇德	51K+110~53K+320	2,210.00					

北隧 21	北迴線	崇德(單)	和仁-崇德	53K+457.3~56K+139.3	2,682.00	4.76	5.35	混凝土	混凝土	
北隧 22	北迴線	新崇德(單)	和仁-崇德	53K+460~56K+100	2,640.00					
小 計					51,175.5					
東隧 1	東幹線	溪口一號(單)	溪口-南平	24K+356~24K+398	42.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 2	東幹線	溪口二號(單)	溪口-南平	24K+815.2~26K+413.8	1,598.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 3	東幹線	鳳林	鳳林-萬榮	34K+581.5~35K+445	864.00					
東隧 4	東幹線	光復(單)	萬榮-光復	39K+132.05~41K+488.3	2,356.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 5	東幹線	自強(單)	瑞穗-三民	67K+485.79~70K+385	2,900.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 6	東幹線	山里一號(單)	山里-卑南	148K+880.13~149K+150.6	390.50	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 7	東幹線	山里二號(單)	山里-卑南	149K+306.12~149K+543.1	262.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 8	東幹線	山里三號(單)	山里-卑南	149K+588~149K+948	360.00	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 9	東幹線	山里四-五號(單)	山里-卑南	150K+063.15~150K+303.6	706.50	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 10	東幹線	山里六號(單)	山里-卑南	150K+810.02~152K+191.5	1,401.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
東隧 11	東幹線	山里七號(單)	山里-卑南	152K+327.98~153K+350.6	1,053.0	4.67	5.35	混凝土	混凝土	
小 計					11,933.0					
南隧 1	南迴線	嘉和遮體(單)	內獅-枋山	6K+801.9~7K+981.9	1,180.0					
南隧 2	南迴線	枋電一號(單)	內獅-枋山	12K+664~12K+704	40.00	4.32	5.50			
南隧 3	南迴線	枋電二號(單)	內獅-枋山	12K+980~13K+065	85.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 4	南迴線	枋山一號(單)	枋山-枋野	13K+945~14K+245	300.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 5	南迴線	枋山二號(單)	枋山-枋野	14K+917~15K+502	585.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 6	南迴線	枋山三號(單)	枋山-枋野	15K+795~16K+483	688.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 7	南迴線	枋山四號(單)	枋山-枋野	17K+170~17K+326	156.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 8	南迴線	枋山五號(單)	枋山-枋野	17K+729~17K+934	205.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 9	南迴線	枋野一號(單)	枋山-枋野	18K+218~20K+027	1,809.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 10	南迴線	枋野二號(單)	枋山-枋野	20K+777~21K+497	720.00	4.32	5.50	R.C	R.C	單線 670M，雙 線 50M
南隧 11	南迴線	枋野三號(單)	枋野-古莊	22K+004~23K+364	1,360.0	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 12	南迴線	中央(雙)	枋野-古莊	23K+745~31K+815	8,070.0	8.50	6.72	R.C	R.C	



南隧 13	南迴線	菩安(雙)	枋野-古莊	32K+243~32K+382	139.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 14	南迴線	安朔三號(雙)	枋野-古莊	32K+648~38K+131	5,483.0	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 15	南迴線	古莊一號(雙)	枋野-古莊	38K+548~38K+726	178.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 16	南迴線	古莊二號(雙)	枋野-古莊	38K+828~39K+113	285.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 17	南迴線	古莊三號(雙)	枋野-古莊	39K+319~40K+009	690.00	8.50	6.72	R.C	R.C	
南隧 18	南迴線	古莊四號(單)	古莊-大武	40K+728~40K+881	153.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 19	南迴線	古莊五號(單)	古莊-大武	41K+108~41K+478	370.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 20	南迴線	古莊六號(單)	古莊-大武	41K+948~42K+126	178.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 21	南迴線	古莊七號(單)	古莊-大武	42K+192~42K+393	201.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 22	南迴線	大武一號(單)	古莊-大武	42K+523~42K+895	372.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 23	南迴線	大武二號(單)	大武-瀧溪	44K+018~45K+198	1,180.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 24	南迴線	大鳥(單)	大武-瀧溪	46K+146~49K+800	3,654.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 25	南迴線	加津林(單)	大武-瀧溪	50K+230~50K+704	474.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 26	南迴線	富山(單)	大武-瀧溪	52K+451~52K+525	74.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 27	南迴線	大竹一號(單)	大武-瀧溪	53K+513~54K+965	1,452.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 28	南迴線	大竹二號(單)	大武-瀧溪	55K+807.55~57K+043.55	1,236.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 29	南迴線	大竹三號(單)	大武-瀧溪	57K+520.5~57K+717.9	197.40	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 30	南迴線	瀧溪(單)	瀧溪-金崙	58K+575.67~58K+713.24	138.17	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 31	南迴線	大竹四號(單)	瀧溪-金崙	58K+748.6~58K+918.6	170.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 32	南迴線	多良一號(單)	瀧溪-金崙	58K+967.7~60K+616.7	1,649.0	4.32	5.50	R.C	R.C	北端雙線 80M
南隧 33	南迴線	多良二號(單)	瀧溪-金崙	61K+247.6~61K+293	45.40	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 34	南迴線	多良二之一號(單)	瀧溪-金崙	61K+345.7~62K+868.7	1,523.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 35	南迴線	金崙(單)	金崙-太麻里	64K+127.05~68K+519.05	4,392.0	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 36	南迴線	香蘭(單)	金崙-太麻里	69K+122.5~69K+427.5	305.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
南隧 37	南迴線	新吉(單)	太麻里-知本	77K+223.25~77K+591.25	368.00	4.32	5.50	R.C	R.C	
小 計					40,105.0					
合 計 (132 座)					151,033					

## 附錄二、台灣鐵路局廢棄隧道一覽表

### 縱貫線北段

No.	隧道名稱	長度( m )	單/雙線	所在區間	備註
1	獅球嶺隧道	235	單線	基隆 - 八堵	台灣第一座鐵路隧道 使用年代 1890~1898
2	竹子嶺隧道	556	雙線	三坑 - 八堵	2006/1/11 停用
3	南港隧道	97	雙線	汐科 - 南港	2008/9/21 停用
4	茶山隧道	438	單線	山佳 - 鶯歌	使用年代 1901~1925
5	崎頂一號隧道	131	雙線	香山 - 崎頂	使用年代 1928~1978 整修後改為遊憩步道
6	崎頂二號隧道	67	雙線	香山 - 崎頂	使用年代 1928~1978 整修後改為遊憩步道

### 舊山線

No.	隧道名稱	長度( m )	單/雙線	所在區間	備註
7	造橋隧道	193	單線	造橋- 豐富	整修後改為生態園區
8	苗栗隧道	441	單線	苗栗- 南勢	整修後改為遊憩步道
9	南勢隧道	240	單線	南勢- 銅鑼	廢棄
10	一號隧道	230	單線	三義- 勝興	待路線復駛後重新使用
11	二號隧道	725	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
12	三號隧道	511	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
13	四號隧道	48	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
14	五號隧道	237	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
15	六號隧道	228	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
16	七號隧道	1262	單線	勝興- 泰安	待路線復駛後重新使用
17	八號隧道	515	單線	泰安- 后里	廢棄
18	九號隧道	1270	單線	后里- 豐原	成為后豐鐵馬道一部

縱貫線海線					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
19	第一白沙屯隧道	295	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1921~1973
20	第二白沙屯隧道	162	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1921~1973
21	第三白沙屯隧道	56	單線	龍港-白沙屯	使用年代 1920~1973

宜蘭線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
22	三瓜子隧道	111	單線	三貂嶺 - 牡丹	使用年代 1921~1985
23	三貂嶺隧道	1852	單線	三貂嶺 - 牡丹	使用年代 1922~1985
24	舊草嶺隧道	2166	單線	福隆 - 石城	使用年代 1924~1985 整修後改爲自行車道

舊北迴線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
25	武塔一號隧道	345	單線	南澳 - 武塔	廢棄
26	武塔二號隧道	185	單線	南澳 - 武塔	廢棄
27	觀音隧道	7740	單線	武塔 - 漢本	廢棄
28	鼓音隧道	401	單線	武塔 - 漢本	廢棄
29	谷風隧道	1959	單線	武塔 - 漢本	廢棄
30	和平隧道	2969	單線	和平 - 和仁	廢棄

舊東線廢棄隧道					
No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
31	掃叭隧道	1110	單線	舞鶴 - 三民	使用年代 1916~1984

深澳線

No.	隧道名稱	長度(m)	單/雙線	所在區間	備註
32	瑞澳隧道	待查	單線	瑞芳 - 八斗子	待路線復駛後使用
33	一號隧道	待查	單線	瑞芳 - 八斗子	待路線復駛後使用
34	二號隧道	待查	單線	八斗子 - 深澳電廠	廢棄
35	三號隧道	待查	單線	瑞濱 - 海濱	廢棄
36	四號隧道	待查	單線	海濱 - 濂洞	廢棄

東勢線 1991.9.1 停駛

No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
37	東勢隧道	23	單線	梅子 - 東勢	成爲東豐自行車綠廊一部

淡水線 1988.7.16 停駛

No.	隧道名稱	長度 ( m )	單/雙線	所在區間	備註
38	關渡隧道	120	單線	關渡 - 竹圍	1997 改爲台北捷運淡水線之雙線隧道

### 作者學經歷檔案

陳鴻麟，1959年生於台灣屏東，1982年淡江大學土木系畢業，1993年交通大學交通運輸研究所畢業，土木技師高考及格，鐵路特考員級、高員級及格。1986年進入鐵路局服務，歷任工務處橋隧科助理工務員、工務員、幫工程司、副工程司、正工程司、副長級正工程司。職務經歷：工務處橋隧科隧道股股長、橋梁股股長、台北工務段副段長、宜蘭工務段段長、台北工務段段長，工務處橋隧科科長、副處長。山線雙軌工程處三義施工所主任，土木組長，專案工程處處長等職。

E\_mail：honling.chen@msa.hinet.net