

提升軌框搬運車抽換 PC 枕道岔之效率探討

目 錄

壹、前言	2
貳、工程設計規劃、訓練	2
一、預算設計規劃	2
二、工程訓練	2
(一)觀摩學習	2
(二)軌框搬運車操作人員實務訓練	2
(三)臨時軌拆鋪訓練	3
(四)抽換道岔作業工作分配	3
參、技術提升之分析	4
一、舊木枕道岔拆除	4
二、更換扣夾	4
三、軌距固定桿	4
四、釋放內力	4
五、固結轉轍岔枕	6
六、運台車配置	6
現有配重情形	9
#12 預估配重表	11
#10 預估配重分析	12
#10 預估配重表	14
#16 預估配重分析	14
#16 預估配重表	16
七、改善聯絡軌	16
八、專人瞭望	17
九、訂製運送台車	17
十、臨時軌製作採購需求	18
十一、製作尖軌限位器	18
肆、檢討注意事項	19

提升軌框搬運車抽換 PC 枕道岔之效率探討

壹、前言：

鐵路局花蓮工務段花蓮分駐所路線養護轄區內含和平站、和仁站、崇德站、新城站、北埔站、花蓮站及花蓮港站等七站，各站道岔均於 84 至 89 年間由東工處完成鋪設木枕型道岔，迄今十餘年已達抽換程度。而北迴線行車速度已達 130 公里，每日列車密度 160 餘次，然路局為了達到營收平衡，逐年精簡人力，造成路線養護工作吃緊，行車安全備感壓力。為積極推動道岔 PC 化，改善路線穩定性，提升行車安全性，降低養護頻率，遂利用大處新購之軌框搬運車進行道岔抽換工作。

貳、工程設計規劃、訓練：

一、預算設計規劃：

預算編製前應決定該區間可封鎖路線時間長短、工作時間需求、道岔組立位置、抽換道岔進行方式、機械及人力數量、材料進出與儲備場所等因素，在設計規劃時，於施工單價分析內及施工說明書內說明施工方式，避免與立約廠商造成爭議。

二、工程訓練：

(一). 觀摩學習：

1. 技術人員及操作軌框搬運車人員至宜蘭段觀摩了解作業方式、各個工作階段使用時間、作業安全性及工作環境。
2. 觀摩後開會檢討，提出適合新城站抽換之方法。
3. 提出設備改善及修改作業方式。

(二). 軌框搬運車操作人員實務訓練：

1. 商請鋼樑隊技術人員指導訓練，讓操作人員了解機械性能、各部功能及保修事項。
2. 於花蓮站側線組立#12PC 道岔一套，施行實況搬運操作，分析各種情況，尋找可能發生狀況。

(三). 臨時軌拆鋪訓練：

召集參與工作技術員與道班人員實際組立與拆除臨時軌並估算工作時間。

(四). 抽換道岔作業工作分配：

1. 共同作業：

- (1)各組勤前教育。
- (2)機具材料自主檢查。

2. 分配作業：

- (1)第一組為辦理路線封鎖斷電組：負責向車站辦理路線封鎖斷電申請、解除及工作場地之接地、拆除接地線工作。
- (2)第二組為列車瞭望組：負責工作牌設立，列車瞭望工作。
- (3)第三組為照明組：負責工作場地照明。
- (4)第四組為工作組：負責拆除舊道岔、挖除舊道碴、進新道碴、鋪設臨時軌、拆除臨時軌、安裝新道岔、配合軌框搬運車做撥道與起道及砸道工作。
- (5)第五組為軌框搬運車操作組：負責將 PC 枕道岔由組立地點搬運至抽換地點安裝，鋪設、拆除聯絡軌，並配合工作組做道岔定位安裝、起道與撥道工作後將軌框搬運車駛至停留股道。
- (6)第六組為測量組：測量鋪設高程、開挖高程與軌道方向定位工作。
- (7)第七組為工程維修車組：配合工作組，拖曳石碴車裝載挖除之舊碴與回填新碴。
- (8)第八組為電務人員：負責調整電動轉轍器並測試號誌。

參、技術提升之分析：

一、舊木枕道岔拆除：依據觀摩宜蘭工務段施行步驟，該段將舊道岔於切換地點現場拆除後，再以怪手拖吊將歸類零件吊離軌道，花費工時約 1.5 小時，耗時過久。

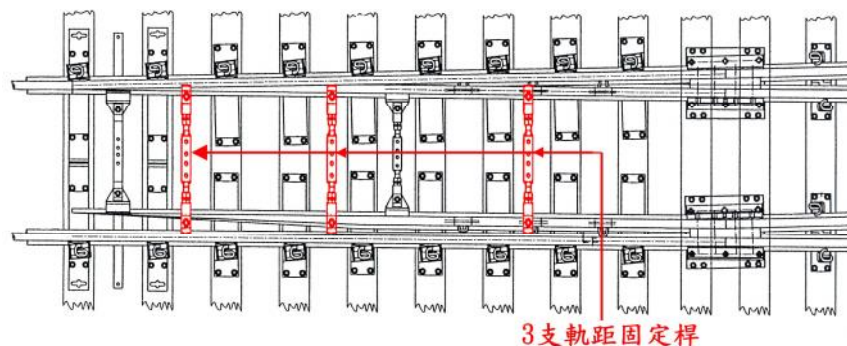
改善方式：將舊道岔以鋸軌機切為兩段，再以怪手吊至路肩旁空地俟切換完成後再拆除。若無空地可利用，先將舊道岔吊至鄰線再以載運台車載至置放地點。萬一發生其他原因使 PC 枕道岔無法運送至切換地點時，可將舊道岔吊回原位置，再以魚尾鉸連接，不致影響行車。本方式經實際作業需半小時，可節省 1 小時工時。

二、更換扣夾：原使用 PC 枕扣夾（1809）直徑 16mm，扣夾力不足，於軌框搬運機測試訓練時，運送途中 PC 枕易掉落。

改善方式：全部改用直徑 20mm 扣夾(PANDROL e TYPE，北迴線無道岔道床使用)，經更換後，PC 枕不曾掉落。

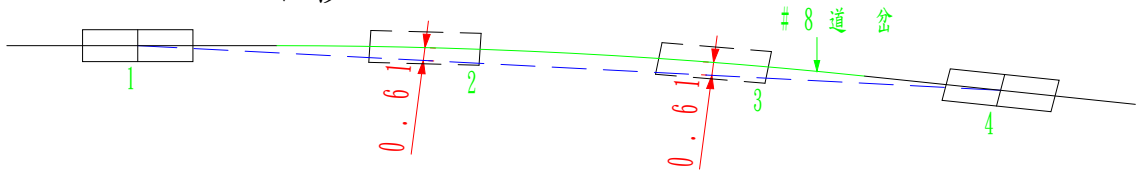
三、軌距固定桿：因尖軌處之岔枕僅基本軌外側裝設扣夾，軌框搬運機進入曲線時 PC 道岔兩基本軌會產生曲率不同之變形，使該處之岔枕扣夾變鬆，降低扣夾力，使基本軌滑出滑床版槽外，導致 PC 枕掉落。

改善方式：在尖軌長度平均分配使用三支軌距固定桿，固定兩基本軌位置，確保兩基本軌之軌距，經加固後，PC 枕不曾掉落。

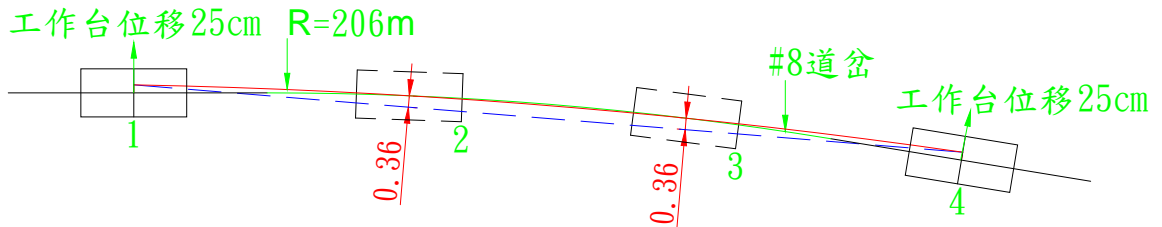


四、釋放內力：運台車載運 PC 枕道岔經過#8 道岔反位時，原第 2 運台車雖已將工作台之橫移釋放，因 PC 道岔勁性強、彈力大，如遇軌道因素不良時，易將第 2、3 運台車彈向外軌側出軌。本所於新城站切換 #18A 時，運台車通過#18 即發生第 2 運台車出軌情形。

改善方式：以#8 道岔曲線半徑 107.1 公尺計，軌道搬移機車組通過曲線中點時，第 2、3 台運台車上之 PC 道岔將產生 61 cm 之位移。



若將第 1、4 台車向曲線外側位移 25 cm，可使第 2、3 台運台車之位移降至 36 cm，相當於通過半徑 206 公尺之曲線，介於十號單開(曲線半徑 162.6 公尺)及十二號單開(曲線半徑 243.2 公尺)之間，視道岔為彈性構件，內力可降低 $(61-36)/61=41\%$ 。

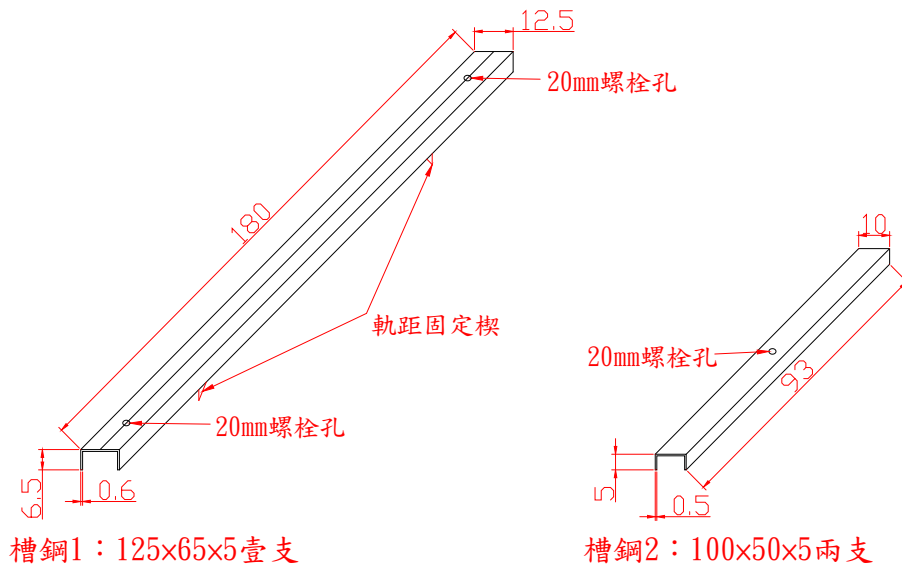
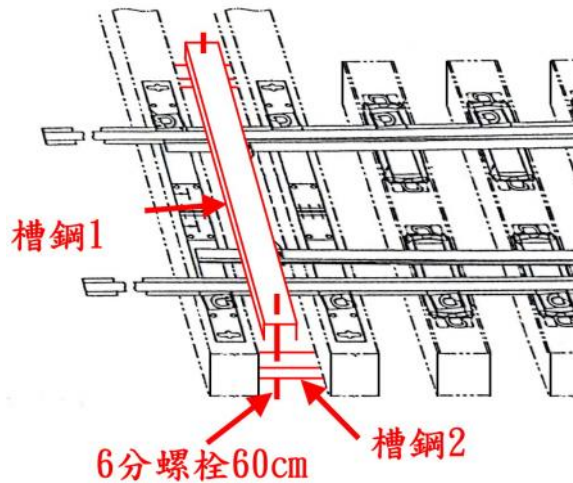


並訂製 4 條#2 鐵鍊，預防運台車出軌時，將鐵鍊一端鉤於運台車底部，一端鉤於 PC 枕道岔鋼軌上，再以軌框搬移機迅速將軌框搬移機將運台車吊返軌道。經實際測試，吊回運台車僅需六分鐘，不致影響工作進度太大。



五、固結轉轍岔枕：為節省電務單位作業時間，電動轉轍器直接裝在合成枕上搬運，因馬達重達 200 多公斤，扣夾持扣力不足，轉轍岔枕易掉落。

改善方式：訂製固定器，加強岔枕與鋼軌固結，以防止掉落。



六、運台車配置：若將道岔 PC 枕、鋼軌與配件視為依面積平均分配之載重，岔心及護軌則視其分佈情形再視為依長度平均分配之載重，PC 道岔形狀視為梯形，以#12 號道岔計，將鋼軌、配件、護軌及岔心視為均佈載重，PC 枕視為集中載重：

$$PC \text{ 枕單位重} = (0.24\text{m} + 0.264\text{m}) \times 0.21\text{m} \times 2.4\text{T/m}^3 = 0.127\text{T/m}$$

$$2.2\text{mPC 枕} = 2.2\text{m} \times 0.127\text{T/m} = 0.28\text{T}$$

2.5mPC 枕=2.5m×0.127T/m=0.3174T

2.8mPC 枕=2.8m×0.127T/m=0.3555T

3.1mPC 枕=3.1m×0.127T/m=0.3936T

3.4mPC 枕=3.4m×0.127T/m=0.4317T

3.7mPC 枕=3.7m×0.127T/m=0.4698T

配件載重=3.18T/29.99m=0.106T/m，

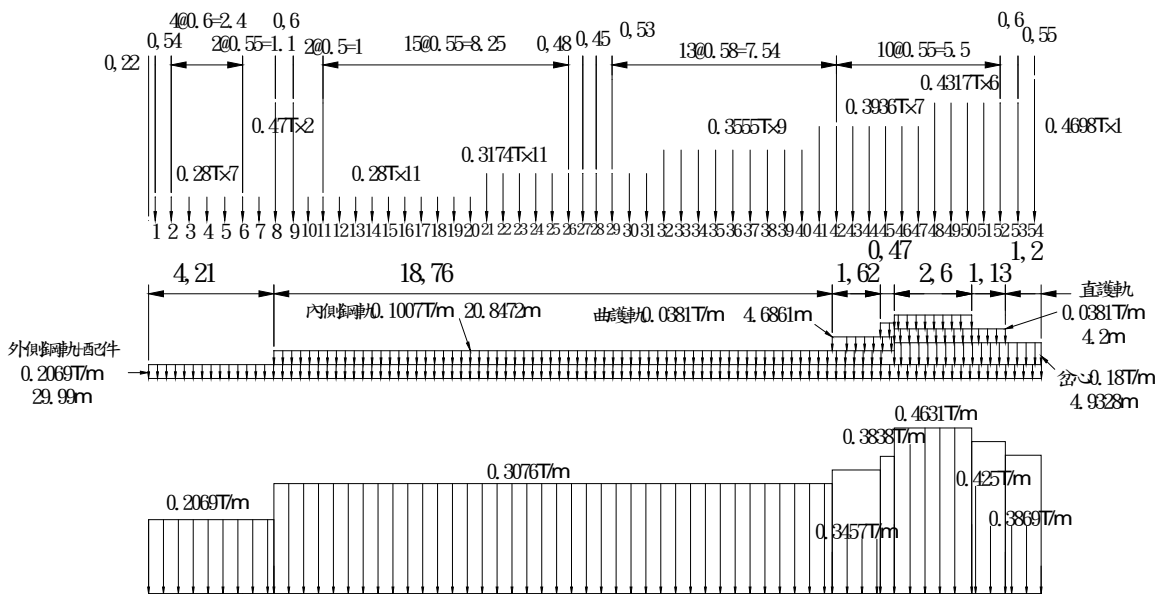
外側鋼軌載重=基本軌+主軌=60m×50.4 kg/m/29.99m=0.2069T/m，

內側鋼軌載重=尖軌+導軌=41.668m×50.4 kg/m/20.8472m=0.1007T/m，

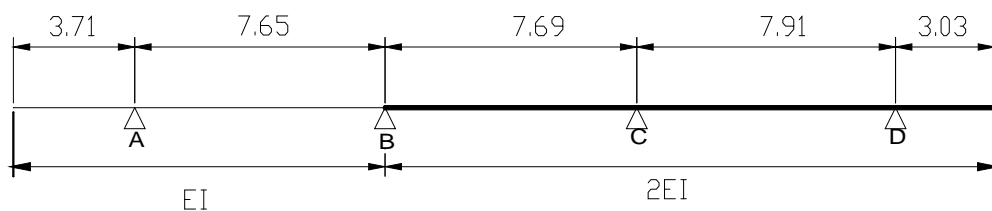
護軌載重=339 kg/(4.7m+4.2m)=0.0381T/m，

岔心載重=888 kg/4.933m=0.18T/m，

則可得如下圖之道岔載重圖：



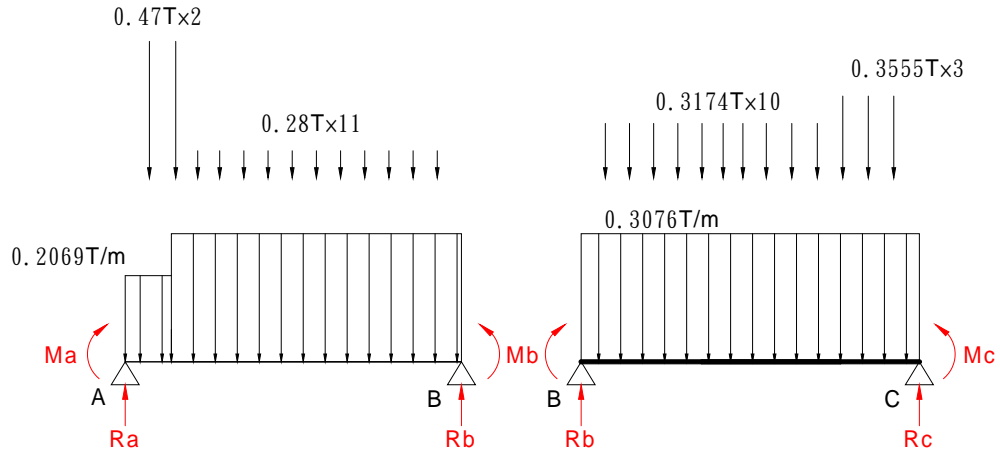
依現行之各運台位置，視第二運車台以後結構 I 值為 2 倍，可將道岔化簡為如下之結構：



本結構為三跨度連續樑，以三彎距方程式(three moment

equation) $M_a \left(\frac{L_a}{I_a} \right) + 2M_b \left(\frac{L_a}{I_a} + \frac{L_b}{I_b} \right) + M_c \left(\frac{L_b}{I_b} \right) = -\frac{6A_a \bar{X}_a}{I_a L_a} - \frac{6A_b \bar{X}_b}{I_b L_b}$ 解之，

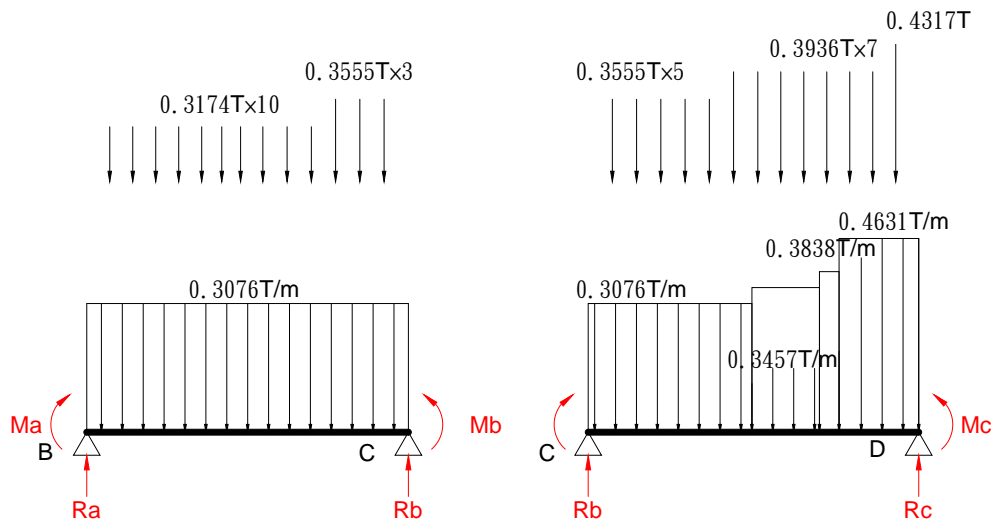
得：



$$M_a = -0.2069 \times 3.71 \times 3.71 / 2 - 0.28 \times (0.538 + 2.4 + 0.55) - 0.28 \times (2.4 + 0.55) - 0.28 \times (1.8 + 0.55) - 0.28 \times (1.2 + 0.55) - 0.28 \times (0.6 + 0.55) - 0.28 \times 0.55$$

$$= -4.8505 \text{ T}\cdot\text{m} \dots \dots \dots (1)$$

$$7.65M_a + 22.933M_b + 3.4865M_c = -225.2823 \dots \dots \dots (2)$$



$$3.4865Mb + 15.603Mc + 3.955Md = -335.0294 \dots \dots \dots (3)$$

$$Md = (-0.2069 - 0.18) * 3.03^2 / 2 - 0.0381 / 2 * 1.788^2 - 0.0381 / 2 * 0.6951^2 - 0.4698 * (0.55 * 3 + 0.6 + 0.555) - 0.4317 * (0.55 * 3 + 0.6 + 0.55 * 3 + 0.55 * 2 + 0.55) = -5.5624 T-m \dots \dots \dots (4)$$

聯立(1)~(4)式解：

$$Mb = -5.5035 T-m$$

$$Mc = -18.8215 T-m$$

代回原自由體圖可得：

$$Ra = -6T (\uparrow)$$

$$Rb = -4.88T (\uparrow)$$

$$Rc = -10.79T (\uparrow)$$

$$Rd = -6.34T (\uparrow)$$

可見此載重情形大小不均，在軌框搬移機吊升 PC 道岔時，易產生不同步移動，容易破壞道岔之平整，使扣夾變形或掉落；且對運動中之運台車而言，並非最適當之分配。

現有配重情形

運台車號	荷重	荷重中心位置	第 n 支枕木
第 1 台	6T	3.71	7
第 2 台	4.88T	11.36	21
第 3 台	10.79T	19.055	35
第 4 台	6.34T	26.96	49
總和	28.01T		

改善方式：考慮運台車卸載 PC 枕道岔時，前後易停置於聯絡軌上，故第一台運台車不可置於第 7 根 PC 枕前，且第 8、9 根 PC 枕為轉轍枕，故第一運台車僅可置於第 7 根 PC 枕；第四台運台車不可置於第 49 根 PC 枕後。因以結構分析計算支承位置過於繁雜，

故先以概略法估算，視 PC 道岔依面積均佈載重，設其分佈形狀為梯形，且任二支承平均分攤其間荷重。則

單位面積荷重=道岔總重/道岔總面積

$$=28.004/88.5=0.3164\text{T/m}^2$$

單一運台車荷重 = 28.935/4=7.234T

單一運台車載重面積 = 7.234/0.313=23.105 m²

$$y = \frac{(3.7 - 2.2)}{30}x + 2.2 = 0.05x + 2.2$$

$$A(x) = \int y dx = 0.025x^2 + 2.2x$$

$$0.025x^2 + 2.2x = 23.105$$

$$x_1 = 9.48 \text{ or } -97.48$$

取 $x_1 = 9.48\text{m}$

$$0.025x^2 + 2.2x = 23.105 \times 2$$

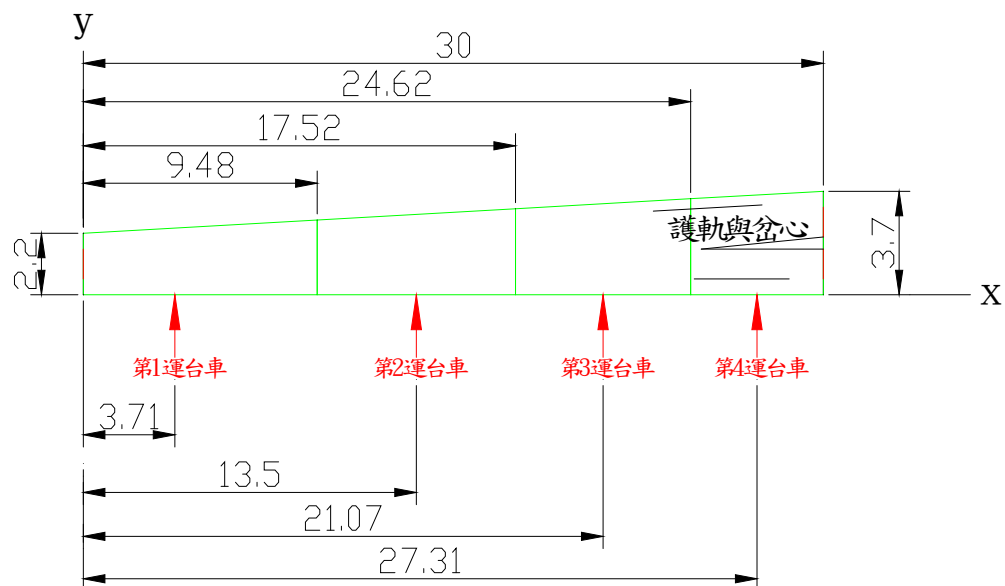
$$x_2 = 17.52 \text{ or } -105.52$$

取 $x_2 = 17.52\text{m}$

$$0.025x^2 + 2.2x = 23.105 \times 3$$

$$x_3 = 24.62 \text{ or } -112.62$$

取 $x_3 = 24.62\text{m}$



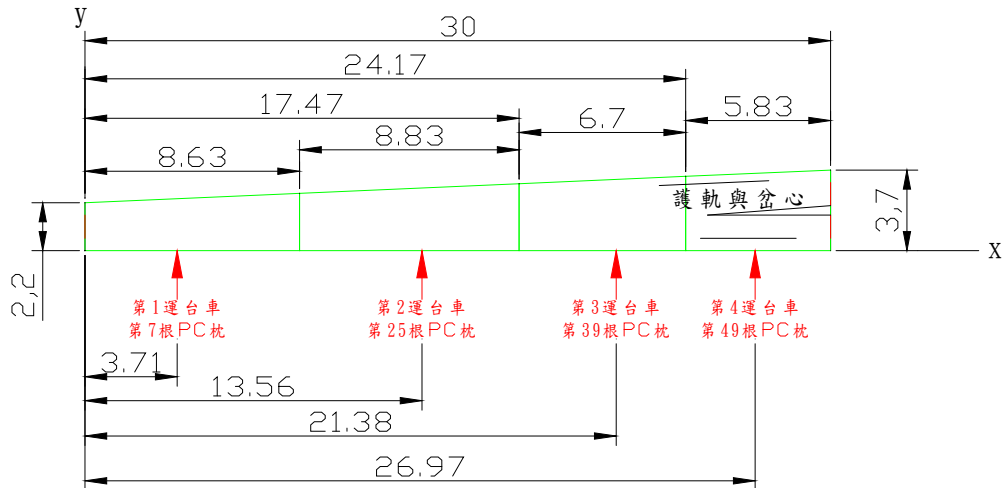
但因 PC 枕之位置固定，故決定運台車位置如下：

第一台運台車：第 7 根 PC 枕。L=3.71m。

第二台運台車：第 25 根 PC 枕。L=13.56m。

第三台運台車：第 39 根 PC 枕。L=21.375m。

第四台運台車：第 49 根 PC 枕。L=26.965m。



#12 預估配重表

運台車號	荷重位置	荷重面積	荷重	荷重中心位置	第 n 支枕木
第 1 台	8.63	20.8611	6.6	3.71	7
第 2 台	17.47	25.1953	7.97	13.56	25
第 3 台	24.17	21.7452	6.88	21.38	39
第 4 台	30.000	20.7411	6.55	26.97	49
總和		88.500	28		

實際以三彎矩方程式分析：

$$\begin{aligned}
 Ma = & -0.2069 \times 3.71 \times 3.71 / 2 - 0.28 \times (0.538 + 2.4 + 0.55) - 0.28 \times \\
 & (2.4 + 0.55) - 0.28 \times (1.8 + 0.55) - 0.28 \times (1.2 + 0.55) - 0.28 \times \\
 & (0.6 + 0.55) - 0.28 \times 0.55
 \end{aligned}$$

$$=-4.8505 \text{ T-m} \dots \dots \dots (1)$$

$$9.85Ma+27.513Mb+3.9065Mc=-324.385 \dots \dots \dots (2)$$

$$3.9065Mb+13.403Mc+2.795Md=-221.319 \dots \dots \dots (3)$$

$$Md=(-0.2069-0.18)*3.03^2/2-0.0381/2*1.788^2-0.0381/2*0.6951^2-0.4698*(0.55*3+0.6+0.555)-0.4317*(0.55*3+0.6+0.55*3+0.55*2+0.55)$$

$$=-5.5624 \text{ T-m} \dots \dots \dots (4)$$

聯立(1)~(4)式解：

$$Mb=-8.2137 \text{ T-m}$$

$$Mc=-12.9587 \text{ T-m}$$

代回原自由體圖可得：

$$Ra=-6.607T(\uparrow)$$

$$Rb=-7.505T(\uparrow)$$

$$Rc=-8.355T(\uparrow)$$

$$Rd=-5.543T(\uparrow)$$

以結構分析之方式與約略法之方式大約差誤差在 1T 以內，經實際調整運台車位置後操作，發現在通過道岔曲線側時，運台車車輪傾嚙曲尖軌及曲導軌之聲響減小許多，且以軌框搬移機吊舉 PC 道岔時，可維持其平整性。其他道岔號數之運台車位置分配，可以約略簡化計算如下：

#10 預估配重分析

單位面積荷重=道岔總重/道岔總面積

$$=25.149/[(2.2+3.7)/2 \times 25.015]=0.3408T/m^2$$

$$\text{單一運台車荷重} = 25.149/4=6.2873T$$

$$\text{單一運台車載重面積} = 6.2873/0.3408=18.45 \text{ m}^2$$

$$y = \frac{(3.7-2.2)}{25.015}x + 2.2 = 0.06x + 2.2$$

$$A(x) = \int ydx = 0.03x^2 + 2.2x$$

$$0.03x^2 + 2.2x = 18.45$$

$$x_1 = 7.6 \text{ or } -80.93$$

取 $x_1 = 7.6m$

$0.03x^2 + 2.2x = 18.45 \times 2$

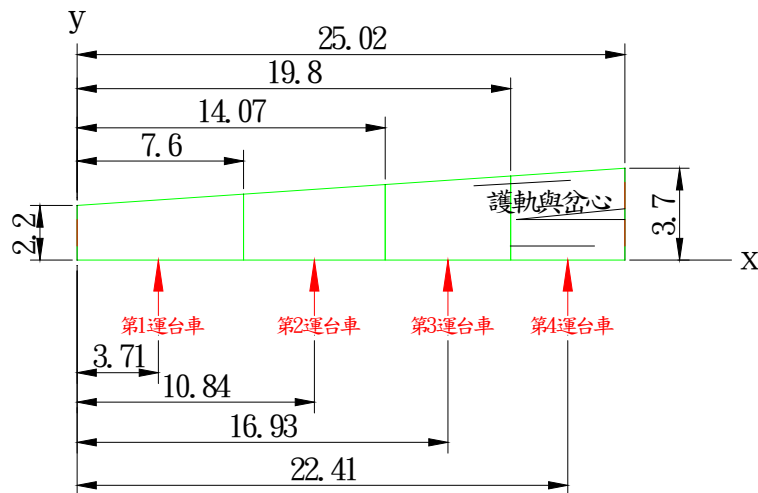
$x_2 = 14.07 \text{ or } -87.41$

取 $x_2 = 14.07m$

$0.03x^2 + 2.2x = 18.45 \times 3$

$x_3 = 19.81 \text{ or } -93.14$

取 $x_3 = 19.81m$



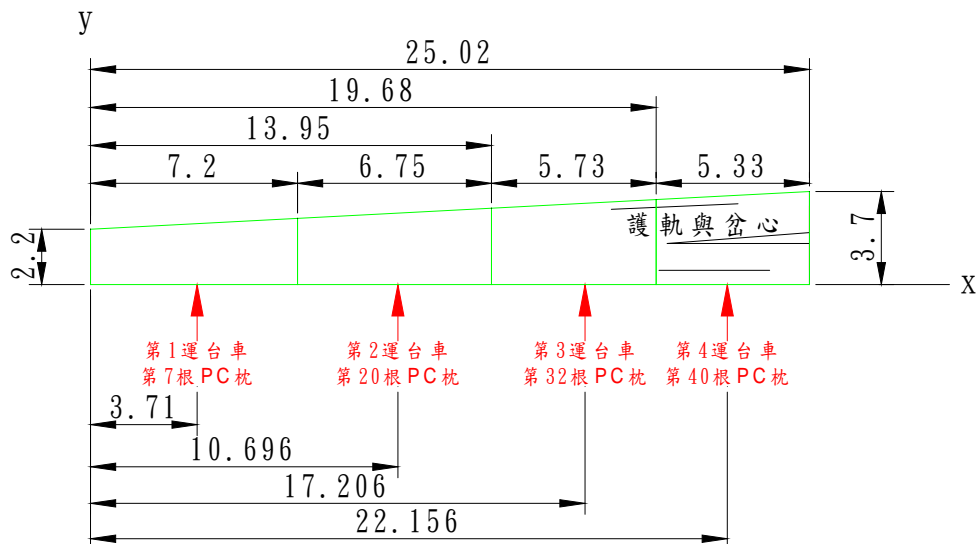
但因 PC 枕之位置固定，故決定運台車位置如下：

第一台運台車：第 7 根 PC 枕。L=3.71m。

第二台運台車：第 20 根 PC 枕。L=10.696m。

第三台運台車：第 32 根 PC 枕。L=17.206m。

第四台運台車：第 41 根 PC 枕。L=22.156m。



#10 預估配重表

運台車號	荷重位置	荷重面積	荷重	荷重中心位置	第 n 支枕木
第 1 台	7.2	17.4022	5.9	3.71	7
第 2 台	13.95	19.1254	6.52	10.696	20
第 3 台	19.68	18.3839	6.27	17.206	32
第 4 台	25.02	18.8828	6.44	22.156	40
總和		79.79	25.15		

#16 預估配重分析

單位面積荷重=道岔總重/道岔總面積

$$=38.857/[(2.2+3.7)/2 \times 37.072]=0.3553\text{T/m}^2$$

單一運台車荷重 = 38.857/5=7.7714T

單一運台車載重面積 = 7.7714/0.3553=21.8725 m²

$$y = \frac{(3.7 - 2.2)}{37.072}x + 2.2 = 0.0405x + 2.2$$

$$A(x) = \int y dx = 0.02023x^2 + 2.2x$$

$$0.02023x^2 + 2.2x = 21.8725$$

$$x_1 = 9.17 \text{ or } -117.92$$

$$\text{取 } x_1 = 9.17\text{m}$$

$$0.02023x^2 + 2.2x = 21.8725 \times 2$$

$$x_2 = 17.17 \text{ or } -125.92$$

$$\text{取 } x_2 = 17.17\text{m}$$

$$0.02023x^2 + 2.2x = 21.8725 \times 3$$

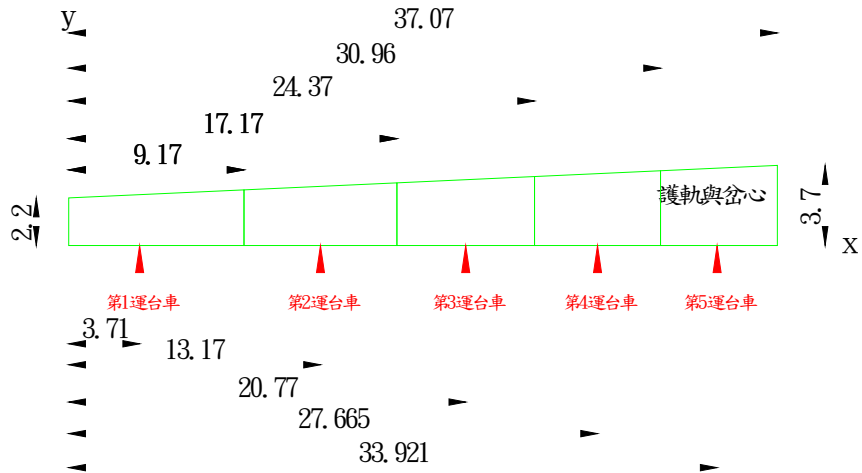
$$x_3 = 24.37 \text{ or } -133.12$$

$$\text{取 } x_3 = 24.37 \text{ m}$$

$$0.02023x^2 + 2.2x = 21.8725 \times 4$$

$$x_4 = 30.96 \text{ or } -139.7$$

$$\text{取 } x_4 = 30.96 \text{ m}$$



但因 PC 枕之位置固定，故決定運台車位置如下：

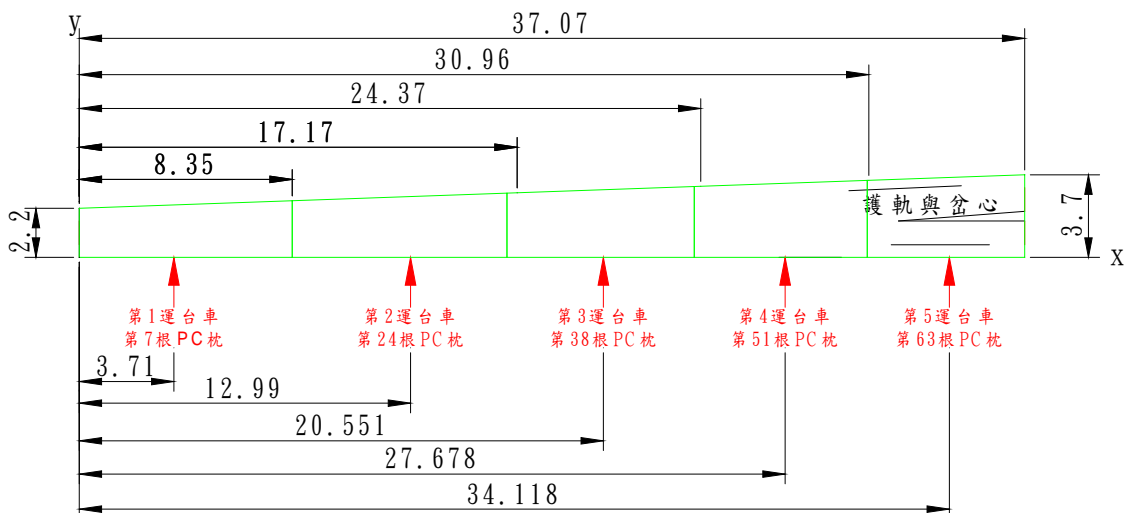
第一台運台車：第 7 根 PC 枕。L=3.71m。

第二台運台車：第 24 根 PC 枕。L=12.990m。

第三台運台車：第 38 根 PC 枕。L=20.551m。

第四台運台車：第 51 根 PC 枕。L=27.678m。

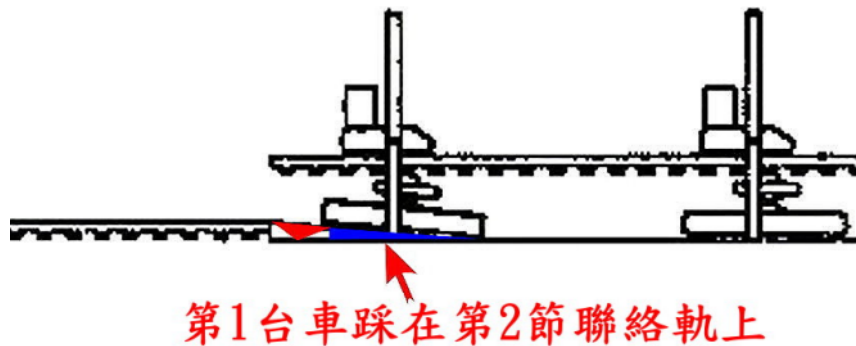
第五台運台車：第 63 根 PC 枕。L=34.118m。



#16 預估配重表

運台車號	荷重位置	荷重面積	荷重	荷重中心位置	第 n 支枕木
第 1 台	9.35	19.7834	7.03	3.71	7
第 2 台	17.17	22.8132	8.11	12.99	24
第 3 台	24.37	22.2437	7.9	20.551	38
第 4 台	30.96	22.4877	7.99	27.678	51
第 5 台	37.07	22.0889	7.85	34.118	63
總和		109.4169	38.88		

七、改善聯絡軌：聯絡軌第一節太長，PC 道岔對準定位時，第 1 運台車前輪正位於聯絡軌第二節上方，使軌框搬移機傾斜，增加 PC 道岔置放時之危險性。



改善方式：將原 180 cm 長之第 1 節聯絡軌改訂製 60 公分長之聯絡軌。
使原來第 1 運台車與第 2 節聯絡軌重疊長度由 75 cm 減為
餘裕 45 cm。



八、專人瞭望：因切換道岔地點之鄰線並未能封鎖，且切換道岔最長之岔枕達 3.7 公尺，將侵入鄰線之建築安全界限。

改善方式：當軌框搬運機開始運送 PC 枕道岔時，即指定專人監視安全界限，在鄰線列車通過前，除專人複檢外，另請鄰近人員二次確認，確保行車安全。

九、訂製運送台車：因軌框搬運車本身運行速度慢 ($V=5 \text{ km/H}$)，不適合在在軌道上行駛，以花蓮站~新城站為例，兩站相距 17 km，以運台車最快速度行駛亦需 3 小時以上；若以公路板車託運則需增加運輸費用。

改善方式：本段以鐵擔車車軸組裝小台車，將軌框搬運車吊上小台車後，再使用工程維修車以 25 km/hr 速度拖運。第一次拖運時為時為求穩固，將軌框搬移機之連桿聯結，經過#8 道岔曲線時，因小台車連桿與軌框搬移機連桿長度不同，迴轉半徑亦不同，發生浮起出軌。本段現已將小台車連桿加長，並於新城站切換完畢將軌框車運回花蓮站時測試完畢。



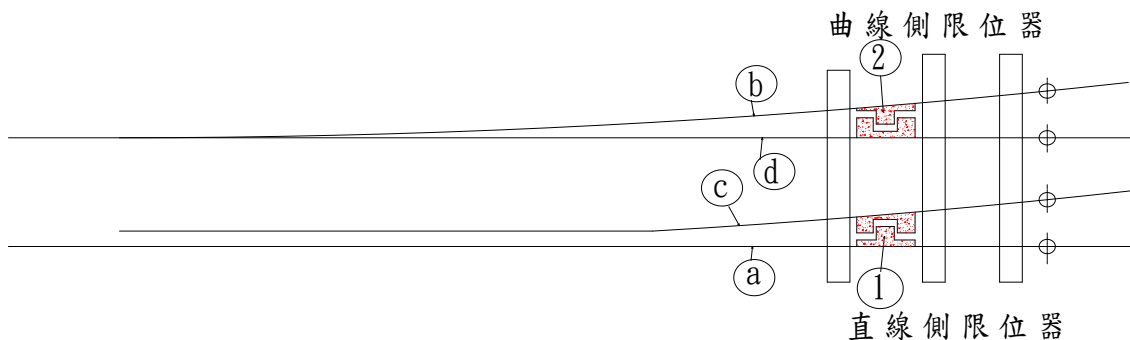
十、臨時軌製作採購需求：為求更快速之拆鋪臨時軌，臨時軌本身需達
1. 方便性。2. 輕便性。3. 快速拆鋪。4. 作業安全性之需求。

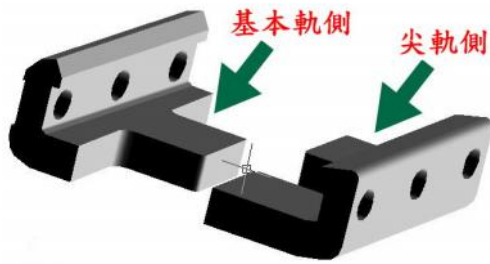
改善方式：改採 22 kg/m 鋼軌，每一鋼軌長 4.8m，重量僅 105.6 kg，
可以人員搬動。兩鋼軌間以快速接頭連接。在每一鋼軌頭
尾兩側焊接鋼索，以利工作人員直接將鋼軌拖離鋪設地
點。可以避免人員在軌框搬移機荷重之情況下進入 PC 道
岔下方，減少發生事故機率。



十一、製作尖軌限位器：道岔尖軌易因列車通過或鋼軌伸縮而爬行，影響
尖軌密貼與號誌連鎖，需派員調整尖軌位置，增加道班養護工作。

改善方式：本段訂製尖軌限位器，安裝於尖軌與基本軌，防止尖軌與
基本軌錯動，將整套道岔形成一不動區間，增加站內全面
長焊可行性。本段於 93 年起已陸續在舞鶴、瑞穗、富源、
光復、萬榮等五站主正線裝設測試，測試結果良好，擬於
抽換 PC 枕道岔時一併裝設。



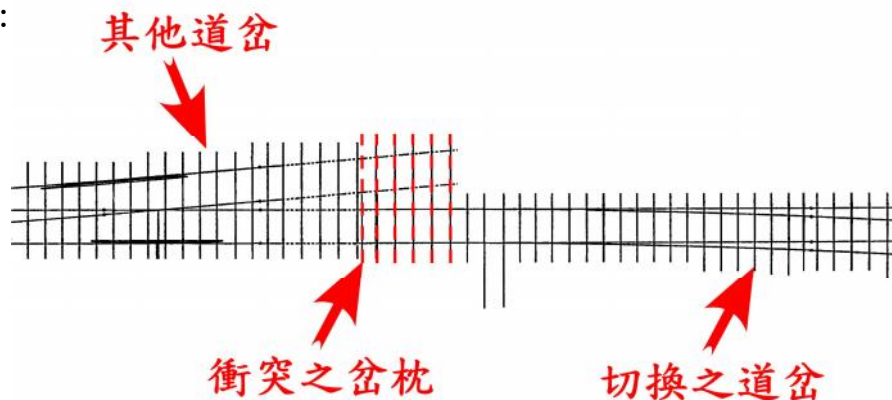


十二、協調電務單位：本所切換新城站第一套道岔時，因電務單位派員不足，封鎖斷電道岔拆除後，站內號誌同時故障，延誤時間約一小時，又適切换之轉轍馬達零件生鏽，以致封鎖時間結束時號誌仍未能切换完成。

改善方式：經本段與電務段充分協調後，該段增加配合人員，並在安裝轉轍馬達前先行檢查，類似延誤情形未再發生。

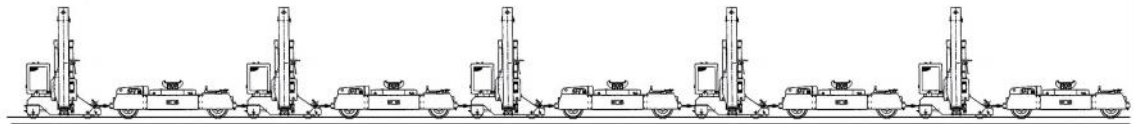
肆、檢討注意事項

- 一、施工前應與電務單位充分協調人力、機具、材料，以利工進。
- 二、裝載新舊石碴車申請困難，建請優先供應。施工前應確認供應無誤，再予施工。
- 三、施工現場封鎖時間內鄰線尚有 12 班次車通過，自列車接近至通過期間，所有工作需暫停，每班次約影響 5 分鐘，共計 60 分鐘，且鄰線列車通過致工作環境不安全，易生事故，故瞭望組之瞭望員應特別注意，確保人員與行車之安全。
- 四、施工前，要確認切换道岔之 IP 位置及 PC 枕是否與其他道岔踵端後岔枕位置相衝突，量測實際相互妨礙之長度後，抽換前先行辦理前置作業：

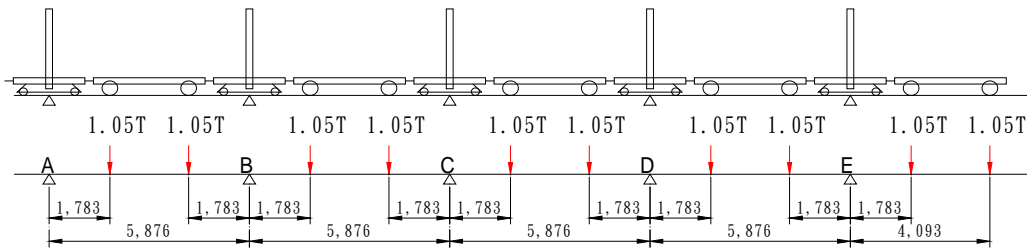


1. 若衝突位置位於 PC 道岔趾端，則預先拆除 PC 道岔之短 PC 枕。
2. 若衝突位置位於 PC 道岔踵端，則檢討更換不同長度長岔枕或其他可行方案。

五、本段現行訂製之運送台車因其本身車輪半徑小，無法提昇速度。若可將軌框搬運機組置於以 50 kg 鋼軌組成之軌框上，再利用軌框搬移機吊起，即可利用本局自有之平車載運，無須外雇吊車，且機組本身起落皆位於軌道上，可免除吊車誤觸電車線之危險。



以軌框搬移機吊起時，可化簡為如下之結構：



分析其內力如下：

$$1M_a = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$5.876M_a + 23.504M_b + 5.876M_c = -45.9763 \dots\dots\dots (2)$$

$$5.876M_b + 23.504M_c + 5.876M_d = -45.8653 \dots\dots\dots (3)$$

$$5.876M_c + 23.504M_d + 5.876M_e = -45.8653 \dots\dots\dots (4)$$

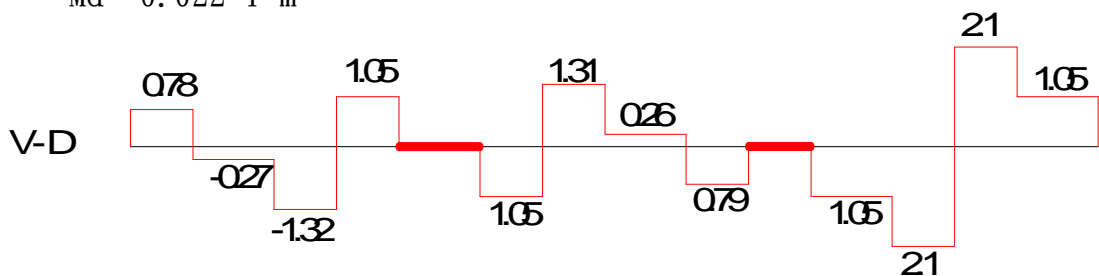
$$1M_e = -6.1635 \dots\dots\dots (5)$$

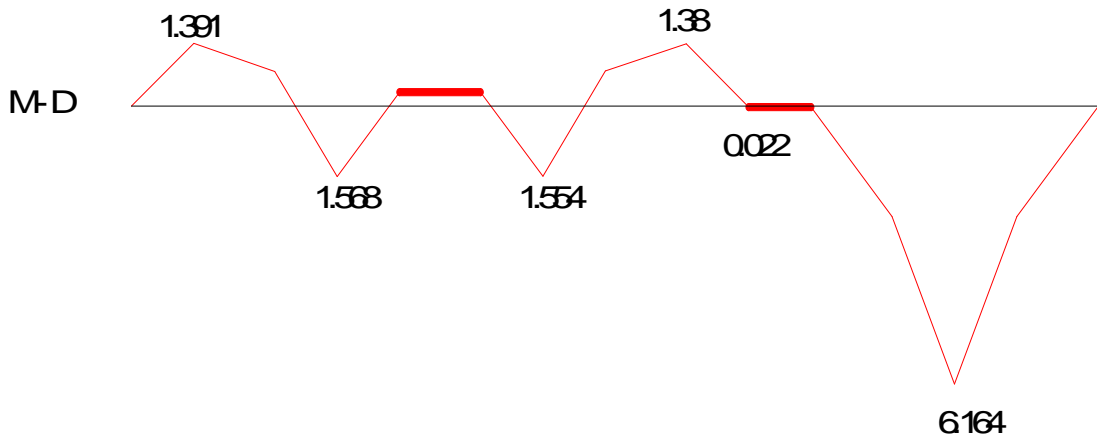
解(1)~(5)得

$$M_b = -1.5676 \text{ T-m}$$

$$M_c = -1.554 \text{ T-m}$$

$$M_d = -0.022 \text{ T-m}$$

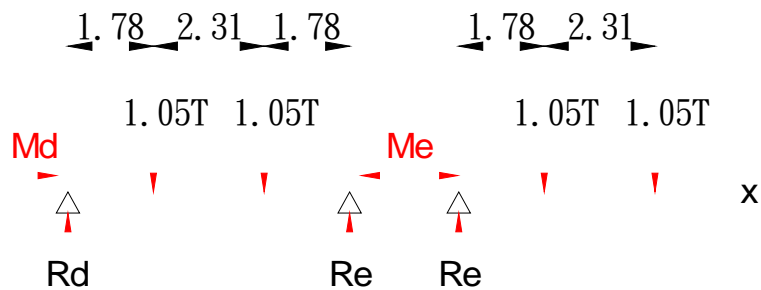




對於 50 kg 鋼軌 $I=1968 \text{ cm}^4$, $C=15.3-7.15=8.15 \text{ cm}$,

$E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} C}{I} = \frac{6.164 \times 1000 \times 100 \times 8.15}{2015} = 2493 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{2493 \times 9.81 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = 244.58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 740 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



使用奇性函數

$$M(x) = 1.05 \langle x-0 \rangle - 1.05 \langle x-1.783 \rangle - 1.05 \langle x-4.093 \rangle$$

$$EIy'' = -1.05 \langle x-0 \rangle + 1.05 \langle x-1.783 \rangle + 1.05 \langle x-4.093 \rangle$$

$$EIy' = -0.525 \langle x-0 \rangle^2 + 0.525 \langle x-1.783 \rangle^2 + 0.525 \langle x-4.093 \rangle^2 + C_1$$

$$EIy = -0.175 \langle x-0 \rangle^3 + 0.175 \langle x-1.783 \rangle^3 + 0.175 \langle x-4.093 \rangle^3 + C_1 x + C_2$$

$$y(0) = 0 \Rightarrow C_2 = 0 \quad y(5.876) = 0 \Rightarrow C_1 = 3.8314$$

$$y'(x) = \frac{1}{EI} (-0.525 \langle x-0 \rangle^2 + 0.525 \langle x-1.783 \rangle^2 + 0.525 \langle x-4.093 \rangle^2 + 3.8314)$$

$$\theta_{e0} = y'(5.876) = \frac{-3.8314}{EI} \text{ (逆時針)}$$

$$\theta_{e1} = \frac{M_d L_{de}}{6EI} = \frac{-0.022}{6EI} \times 5.876 = \frac{-0.0215}{EI} \text{ (順時針)}$$

$$\theta_{e2} = \frac{M_e L_{de}}{3EI} = \frac{-6.164}{3EI} \times 5.876 = \frac{-12.0732}{EI} \text{ (順時針)}$$

$$\theta_e = \theta_{e0} + \theta_{e1} + \theta_{e2} = \frac{12.0732 + 0.0215 - 3.8314}{EI} = \frac{8.2634}{EI} \text{ (順時針)}$$

桿端位移

$$\Delta_{f1} = \theta_e L_{ef} = \frac{8.2634}{EI} \times 4.093 = \frac{33.8221}{EI} (\downarrow, \text{由 } \theta_b \text{ 引起})$$

$$\Delta_{f2} = \frac{1.05 \times 1.783^3}{3EI} + \frac{1.05 \times 1.783^2}{2EI} \times 2.31 = \frac{5.8394}{EI} (\downarrow, \text{由中間部 } 1.05T \text{ 引起})$$

$$\Delta_{f3} = \frac{1.05 \times 4.093^3}{3EI} = \frac{23.999}{EI} (\downarrow, \text{由桿端外力 } 1.05T \text{ 引起})$$

$$\Delta_f = \Delta_{f1} + \Delta_{f2} + \Delta_{f3} = \frac{63.6605}{EI} = 15.4\text{cm} (\downarrow)$$

另考慮平車長 13.5m，適可在第二台與第三台運台車中間、第四台運台車左側(即剪力、彎矩最小區域)設置快速接頭，將整組車組分成三段，待整組車組上平車後再將接頭部份拆除。

平車高度 1.05m，軌框搬移機高度 2.75m，車輛界限高 4.1m，

4.1-1.05-2.75=0.3m，若能將軌框高度設置於 30 cm 內，並設法加強鋼軌勁性，即可降低鋼軌內應力，減少桿端位移，且不會侵入建築安全界限。本案現為規劃階段，視評估應為可行，本段將利用其他再用材料實地組合測試。