

ISSN 1011-6850

TAIWAN RAILWAY JOURNAL

# TRJ 臺鐵資料

季刊

# 360

Mar. 2017  
Spring



交通部臺灣鐵路管理局  
TAIWAN RAILWAYS ADMINISTRATION, MOTC

## 目錄 Contents

鐵路道碴膠結模擬分析.....方中  
Gluing Process Simulation in Railway Ballast ..... Chung Fang

托底工法在高雄鐵路地下化明挖覆蓋工程之應用-以左營計劃FCL711Z標大中  
陸橋為例.....孫連平.張秋旺.簡城宗  
Underpinning on the Kaohsiung Underground Railway's Cut and Cover Project - A  
Case Study of the Dazhong Bridge of Zuoying Project Section Contract  
FCL711Z.....Lien-Ping Sun. Chour-Wang Chang. Cheng-Zong Jian

變電站一對一監控系統更新工程之研析.....陳瑞聰.王顯裕.王祥銘  
A Study of Updating for One-By-One Remote Monitoring System at TRA  
Transformer Stations.....Chen, Ruei-Cong. Wang, Sian-Yu. Wang, Shiang-Ming

首次應用移動式門型構架吊車於鐵道工程.....王振豐  
Application of A Portable Gantry for the Railway Engineering.....Wang,Chen-Feng

鐵路南迴線南太麻里溪橋改建紀要.....陳文德.許勝通.陳立德.賴永千.蔡僅彤  
A Study of Southern Taimali River Bridge Railway Reconstruction on South-Link  
Line...Chen,Wen-Te. Hsu,Sheng-Tung. Chen,Li-Te. Lai,Yung-Chien.Tsai,Chia-Tung

# 鐵路道碴膠結模擬分析

## Gluing Process Simulation in Railway Ballast

方中 Chung Fang<sup>1</sup>

聯絡地址：701 台南市東區大學路一號，國立成功大學土木系

Address: Department of Civil Engineering, National Cheng Kung University, No. 1,  
University Road, Tainan City 701, Taiwan

電話 (Tel) : 06-2757575 # 63142

電子信箱 (E-mail) : cfang@mail.ncku.edu.tw

### 摘要

利用化學膠結劑膠結道碴碎石，係傳統鐵路道碴養護系統的一個分支。惟此項技術高度依賴施作人員依現場狀況的經驗判斷，並無系統性的施作前效能評估方法。本研究提出一種整合的模擬分析方法，可以有效地在施作前事先模擬膠結劑在道碴碎石間的固化分布狀態，評估不同膠結劑初始配置方式對後續的膠結劑固化分布影響，並可以分析膠結後的鐵路道碴的透水性能力。本文提出的整合分析方法，可以有效輔助目前鐵路道碴膠結實務在施作前的完整膠結分析。

**關鍵詞：**鐵路道碴，膠結程序，非牛頓流體，透水性

---

<sup>1</sup> 國立成功大學土木工程學系教授。

## Abstract

*Using chemical gluing solution to solidify the ballast gravels is one of the maintenance techniques for railway ballast. However, it is highly empirical, and relies significantly on the on-site circumstance. A systematic estimation on the gluing solution distribution after the solidification process a priori gluing practice is missing. In the present study, an integrated simulation method is established, by which the gluing solution distribution among the ballast gravels, the influence of the initial gluing solution layout on the solidified distribution, as well as the estimation on the percolation ability of the solidified ballast, can be analyzed a priori gluing practice. The established integrated method can be applied to study the gluing performance of railway ballast efficiently a priori gluing practice.*

**Keywords:** *Gluing Process, Railway Ballast, Non-Newtonian Fluid, Percolation*

## 一、研究背景

傳統鐵路道碴係一群具有特定大小，形狀與分布的碎石集合體，碎石間基本上由空氣填塞。道碴係傳統鐵道系統的一個重要組成部分，其目的在於：(1) 在縱向與側向上承受鐵軌與軌枕自身的重量；(2) 將經由鐵軌與軌枕傳遞的荷重分散至基礎上；(3) 提供良好的滲流路徑予地表逕流；以及(4) 提供便利的整軌方法維持軌道的線型 (AREMA 2003; Aursudkij et al. 2009; Jenks 2006; Prescott and Andrews 2013)。鐵路道碴在研究分類上係一種乾燥顆粒混合物 (Aranson and Tsimring 2009; Mehta 2007)。在靜態狀況下，透過重力的作用，強與弱的力鍊分布在道碴碎石間，其物理機制為碎石間的長程擠壓與磨耗交互作用。透過此長

程力鏈，荷重可被傳遞至側向與縱向的基礎上。相反地，在動態狀況下，當機械震動經由鐵軌與軌枕傳遞至道碴碎石時，透過碎石間的非彈性碰撞，短程瞬間的力鏈會被激發（Anderson and Fair 2008; Janardhanam and Desai 1983; Indraratna et al. 1998; Indraratna et al. 2010a）。由鐵軌與軌枕傳遞至道碴碎石的機械震動能，會被道碴碎石間的長程與短程交互作用轉換成噪音，隨後在分子尺度的範圍下，繼續被轉換損耗為分子間的熱能（Zhai et al. 2004）。由此觀之，鐵路道碴係一種高紊流動能耗散材料（Fang 2016; Fang and Wu 2014a, 2014b）。

實務上可用的鐵路道碴碎石，須滿足：（1）特定的形狀與大小；（2）特定的強度與硬度，以抵抗彼此間的磨耗與破裂；（3）可以抵抗水的侵蝕作用；（4）具有稜角以與其他碎石作用，形成穩定的集合體以承載軌道的荷重；以及（5）提供地表逕流良好的滲流路徑（Lu and McDowell 2007）。然而，在實務操作上，存在一些破壞性的碎石間交互作用（如碎石間的破碎或磨耗，與其他環境因素），鐵路道碴會隨著時間增長而逐漸弱化損失其功能。當道碴碎石被由軌枕處或基礎處來的微細塵粒，或是因為積水，或是泥漿，或被生長的植物充塞時，鐵路道碴弱化狀況會愈發嚴重。這些不利因素會嚴重影響軌道的品質（Indraratna et al. 2011a）。

實務上已有許多技術被發展出來解決鐵路道碴弱化狀況（Fatahi and Khabbaz 2011; Indraratna and Nimbalar 2013; Indraratna et al. 2004; Indraratna et al. 2010b, 2010c; Indraratna et al. 2011b; Lichtberger 2011; Nimbalkar et al. 2012），其中以膠結劑固化碎石的方法引起許多注意（Keene et al. 2013; Lakusi 2010; Wang et al. 2014）。一種二元的高分子液態膠結劑，會以灌注或噴灑方式注入事先清潔過的道碴碎石表面，膠結劑藉由重力的作用流經碎石間的孔隙，以形成欲達到的碎石間點對點的膠結固化。如此膠結方式具有以下的目的：（1）藉由碎石表面固化防止表面碎石飛濺；（2）在軌道交會或道岔處穩定道碴基礎；（3）穩定非道碴軌道至道碴軌道轉換區的道床基礎；（4）穩定道碴道床側表面；以及（5）提供地表逕流良好的滲流路徑。然而，此種道碴膠結技術係高度經驗化，幾乎完全仰賴現場施作人員依現場狀況調配不同的膠結劑，缺乏一種在施作前能夠系統性評估道碴碎石膠結狀況的分析方法。

因此，本研究將提出一種可以在施作前能夠系統性評估道碴碎石膠結狀況的整合分析分法。欲達到此目的，有幾個問題需要釐清：(1) 如何在數值上建立真實的單一道碴碎石與道碴系統？(2) 如何模擬膠結劑隨著時間漸增的固化現象？(3) 如何將數值道碴模型與膠結劑模型整合，以模擬膠結劑在道碴孔隙間的流動固化過程？，在以下的章節中，將針對這些問題一一釐清。整合方法建立後，本研究將進行若干模擬，嘗試回答在膠結實務上會遇到的問題：(1) 以何種方式配置膠結劑初始狀況，可以得到較佳的縱向與側向的道碴碎石膠結連接？(2) 軌枕系統的機械振動引起的道碴碎石分層現象，是否會影響膠結劑的固化性能與分布？(3) 膠結固化後的道碴對地表逕流的滲流能力是否會受到膠結影響？第二章將提出建立真實單一道碴碎石與道碴系統的數值方法，在第三章提出膠結劑的流變模型。第四章將說明整合模擬環境，第五章將進行若干模擬，以回答前述膠結實務上會遇到的問題。在第六章將總結本研究的結果。

## 二、道碴碎石數值模型

真實鐵路道碴碎石具有特定的形狀，大小與物理性質，如圖 1(a)所示。此外，將碎石集成道碴時，碎石的組成比例要滿足規範要求，如表 1 所示 (AREMA 2003; Jenks 2006)。為達到這些要求，使用國立成功大學李宇欣教授與其團隊提出的頂點偵測技術 (Lee et al. 2009)，在數值上產生單一任意凸多面體，以模擬單一碎石顆粒，如圖 1(b)所示。在體積要求與道碴碎石相同下，任意產生凸八面體至凸十二面體，以盡可能接近單一道碴碎石的形狀要求。根據表一所示的道碴組成要求，產生總數為 1000 顆的道碴碎石數值顆粒。此道碴碎石數值顆粒被重力驅動向下方沈降，直到穩定的顆粒堆積集合體被產生，如圖 1(c)所示。此顆粒堆積集合體被用來模擬真實鐵路道碴系統的代表性單胞。為了釐清碎石產生分層現象後對膠結劑流動固化的影響，本研究產生兩種不同的道碴代表性單胞數值模型：均勻分布的道碴單胞，其中不同大小，形狀的碎石均勻的分布在單胞中，如圖 1(c)所示。另一種為分層單胞，其中較大的碎石顆粒分布在單胞的中上層，而較小的碎石顆粒則散布在單胞的中下層，如圖 1(d)

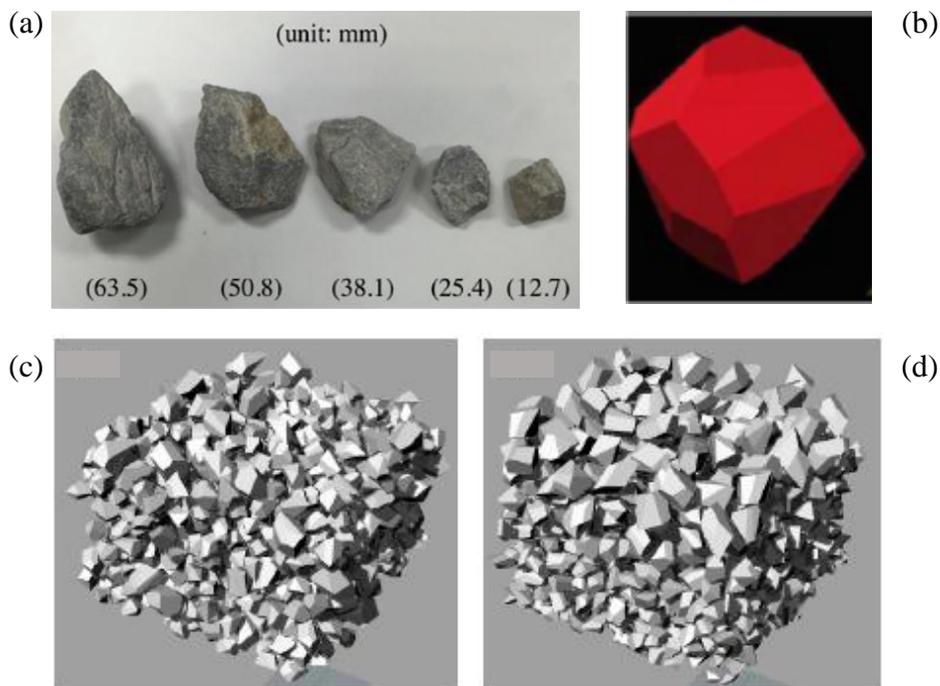


圖 1 真實與模擬鐵路道碴碎石。(a)真實鐵路道碴碎石大小與形狀；(b)單一碎石的數值模型；(c)均勻道碴的數值單胞模型；(d)分層道碴的數值單胞模型。

表 1 每 1000 顆真實鐵路道碴碎石組成規範 (AREMA 2003)。

| Min. diameter range (mm) | Gravel volume (mm <sup>3</sup> ) | No. of gravels |
|--------------------------|----------------------------------|----------------|
| 13–25                    | 5000                             | 50             |
| 25–40                    | 14000                            | 650            |
| 40–50                    | 25000                            | 250            |
| 50–63                    | 65000                            | 50             |

所示。在數值模擬中，此兩種道碴單胞會被置於相同大小的容器內。為了更接近真實物理狀況，容器的側面與底面被指定為自由表面：即當膠結劑流至該處時，該處容器表面允許膠結劑依真實物理過程自由地流入或流出容器。

### 三、膠結劑流變模型

道碴膠結所用之膠結劑係一種二元的化學高分子材料，通常為液態。利用膠結劑在道碴碎石間流動且逐漸固化特性，將碎石間緊密穩定黏著，以達到穩定道床的目的。市面上已有數家公司提供膠結劑與相關的道碴膠結。與其他傳統道碴養護技術相比，道碴膠結技術具有快速，穩定，便宜，方便等優勢。臺灣鐵路管理局曾於 100 年採用此項技術於 PC9169K 環島鐵路整體系統安全提昇計畫（正線道岔尖軌區石碴膠結噴撒安定劑工程）；日本小田急電鐵株式會社採用此項技術穩定東海道新幹線小田園站的月台軌道，以防止高速列車通過時引起的碎石飛濺；中國大陸亦於京滬高速鐵路新建徐州東站，採用此技術穩定由無道碴軌道轉換至有道碴軌道的轉換區道床穩定工作。

因各家公司的膠結劑配方均為商業機密，故膠結劑的模擬採用現象學方式進行。膠結劑具有耦合的彈性，黏性與塑性效應，故有顯著的流變特性。將此膠結劑考慮為一種流變連續體，其應力與應變率滿足下列本構方程式：

$$t = -pI + T, \quad \Lambda T + \lambda_1 \left( (1 - \xi) \overset{\nabla}{T} + \xi \overset{\Delta}{T} \right) = 2\mu \left( D + \lambda_2 \overset{\nabla}{D} \right) + N + \epsilon D^n, \quad (1)$$

其中符號 $\nabla$ 與 $\Delta$ 分別表示上對流與下對流導數。針對一個二階張量  $A$ ，其定義整理為下式：

$$\overset{\nabla}{A} \equiv \dot{A} - LA - AL^T, \quad \overset{\Delta}{A} \equiv \dot{A} + L^T A + AL, \quad (2)$$

方程式(1)-(2)出現的符號，整理於表 2，其中當 $\Lambda = 1$ 時， $\epsilon$ 為損耗與紊流係數， $\lambda_1$ 為鬆持時間， $\lambda_2$ 為遲延時間， $\mu$ 為黏性係數。藉由指定不同的數值給這些參數，多種流變本構方程式可由方程式(1)-(2)產生，如 Oldroyd-B 模型，Maxwell-A/B 模型，Johnso-Segelman 模型，Criminale-Erickson-Filbey 模型，Reiner-Rivlin 模型，以及 Bingham 模型等，如表 3 所整理，其中 $\tau_0$ 為降伏應力，而 $\|D\| = \sqrt{\text{tr}D^2}$ 。方程式(1)-(2)的流變本構模型，其熱力學和諧性已經由 Mueller-Liu 熵增原理加以確認，且被用於求解複雜流體在穩態與非穩態時變間

題，結果顯示其可有效地描述雜複流體耦合的彈性，黏性與塑性行為(Fang 2009; Fang and Lee 2008a,

表 2 方程式(1)-(2)的符號說明

|             |                                       |              |   |
|-------------|---------------------------------------|--------------|---|
| <b>D</b>    | symmetric part of <b>L</b> ;          | <b>I</b>     | second-rank identity tensor;                        |
| <b>L</b>    | velocity gradient;                    | $n$          | scalar coefficient;                                 |
| <b>N</b>    | a tensor for rate-independent effect; | $p$          | pressure;   |
| <b>t</b>    | Cauchy stress;                        | <b>T</b>     | extra stress;                                       |
| <b>T</b>    | transpose;                            | $\epsilon$   | scalar coefficient;                                 |
| $\lambda_1$ | scalar coefficient;                   | $\lambda_2$  | scalar coefficient;                                 |
| $\Lambda$   | scalar coefficient;                   | $\mu$        | scalar coefficient;                                 |
| $\xi$       | scalar coefficient;                   | $\dot{\phi}$ | material derivative of $\phi$ with respect to $v$ ; |

表 3 方程式(1)-(2)衍生的流變模型

|                           | $\Lambda$ | $\lambda_1$ | $\xi$ | $\mu$ | $\lambda_2$ | $\frac{N}{ D }$                | $\epsilon$ | $n$ |
|---------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-------------|--------------------------------|------------|-----|
| Bingham                   | 1         | 0           | -     | -     | 0           | $\frac{\sqrt{2}\tau_0 D}{ D }$ | 0          | -   |
| Criminale-Erickson-Filbey | 1         | 0           | -     | -     | -           | <b>0</b>                       | -          | 2   |
| Hypoplasticity            | 0         | -           | -     | 0     | -           | $\hat{N}(T, D)$                | 0          | -   |
| Johnson-Segelman          | 1         | -           | -     | -     | 0           | <b>0</b>                       | 0          | -   |
| Maxwell-A                 | 1         | -           | 0     | -     | 0           | <b>0</b>                       | 0          | -   |
| Maxwell-B                 | 1         | -           | 1     | -     | 0           | <b>0</b>                       | 0          | -   |
| Newtonian fluid           | 1         | 0           | -     | -     | 0           | <b>0</b>                       | 0          | -   |
| Oldroyd-B                 | 1         | -           | 0     | -     | -           | <b>0</b>                       | 0          | -   |
| Reiner-Rivlin             | 1         | 0           | -     | -     | 0           | <b>0</b>                       | -          | 2   |

2008b; Fang et al. 2008a)。此外，方程式(1)-(2)亦被證明可有效地描述道渣膠結所用之膠結劑，在流動固化過程中展現的複雜流變特性(Fang et al. 2015, 2017a, 2017b, 2017c)。

膠結過程中，數種複雜的化學反應同時在膠結劑內發生。這些化學反應會讓膠結劑的分子與分子間，以及其與碎石表面分子產生連結，從而使膠結劑在巨觀上，藉由逐漸增強的耦合彈性與黏性特徵，逐漸由類流體行為轉變至類固

體行為。此種現象會導致膠結劑的黏性會大幅受到時間進程與剪應變率的影響而增大 (Oswald 2009; Tanner 1992; Wang et al. 2014)。此外，化學反應所釋放的反應熱，部分被膠結劑與碎石所吸收，剩餘的則以熱散失方式散布至周圍空氣。碎石吸收部分反應熱會導致溫度升高，但對碎石物理性質的影響微乎其微，可忽略其效應。但膠結劑吸收部分反應熱後，會對其膠結固化現象有正面的影響。這些細部的化學反應引致的特性，在現象學上可透過總體平均概念，以一種與時間漸增的膠結劑黏性模型加以考慮，如下式所示：

$$\mu = \mu_0 + (\mu_\infty - \mu_0) \left(1 - e^{-t/\tau}\right), \quad \frac{\mu_\infty}{\mu_0} \gg 1, \quad (3)$$

其中 $\mu_0$ 為膠結劑初始黏性， $\mu_\infty$ 為膠結劑固化後黏性， $t$ 為時間， $\tau$ 為特徵時間尺度；特定膠結劑的 $\mu_0$ ， $\mu_\infty$ 與 $\tau$ 的值，可透過實驗確定。透過方程式(3)，膠結劑在流動固化過程中，因為時間增加與剪應變增強引致的增稠效應，可巨觀地被描述。

## 四、整合模擬環境

第二章所產生的均勻分布與分層道碴的數值單胞模型，與第三章提出的膠結劑流變本構模型，依使用者自行定義方式，導入多重物理耦合分析軟體 ANSYS (版本：15.0)，以模擬膠結劑在道碴碎石顆粒間的孔道內的流動固化過程，以及固化後的膠結劑分布狀態 (即模擬在道碴碎石顆粒間的空隙所形成的多通流道內，具時變與剪切增稠的非牛頓流體的重力驅動流)。為簡化數值模擬，假設：

- 膠結劑為不可壓縮流體；
- $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  與  $\varepsilon$  的數值小於  $\mu$  的數值一個值距，此項假設由膠結劑的剪切增稠特性而來；
- 重力驅動層流，因此  $\varepsilon$  的數值設為零；

- 膠結劑的剪切增稠特性透過與時間漸增的黏性模型加以描述（方程式 (3)），因此  $N$  的數值設為零；
- 道碴碎石間形成穩定的緊密堆積狀態，不考慮膠結劑流動時可能引起的碎石運動；

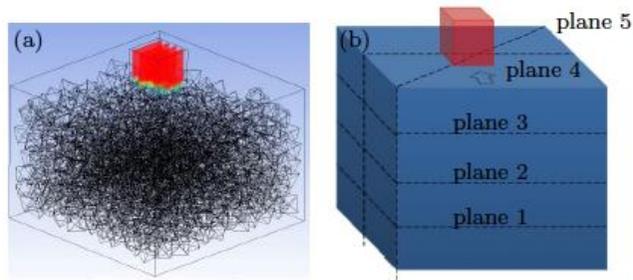


圖 2 數值模擬結果展示說明。(a)膠結劑初始位置與計算域；(b)結果展示用水平與垂直切面。

- 當膠結劑的黏性增大至  $\mu_{\infty}$  時，判定膠結劑已達到固化狀態，膠結過程已經完成。

膠結劑在道碴碎石顆粒間的孔道流動固化過程中，須滿足質量與線動量守恆定律分別如下：

$$\mathbf{0} = \dot{\rho} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v}, \quad (4)$$

$$\mathbf{0} = \rho \dot{\mathbf{v}} - \nabla \cdot \mathbf{t} - \rho \mathbf{b}, \quad (5)$$

其中  $\rho$ 、 $\mathbf{v}$  與  $\mathbf{b}$  分別為膠結劑的密度與速度，與膠結劑所受到的單位體積的體力（重力）。膠結劑流動固化過程的完整場方程式，可透過將方程式(1)-(3)帶入方程式(4)-(5)後得到。透過給定合適的邊界條件，將場方程式同時積分後，可得到膠結劑完整的速度分布，並得知膠結劑在固化後的分布狀態。膠結劑在流動時，在碎石顆粒表面上的邊界條件，透過傳統的無滑移邊界條件加以指定。求解過程採用差分法將場方程式離散得到差分方程式，且道碴碎石顆粒間的孔道設定為計算域，並透過三角網格將計算區域網格化。採用 SIMPLE 方法求解計

算域每一個網格點上的差分方程式，得到該點膠結劑的速度。前述的數值模擬整合環境，模型設定，網格設定與測試，與求解方法的合適性，已透過計算牛頓流體在圓管內的速度分佈並與解析解比較得到確認（Oswald 2009）。

下一章將進行數值模擬，以釐清在研究背景中曾經述及在膠結實務上會遇到的若干問題。為說明模擬結果，將膠結劑初始位置與計算域表示為圖 2(a)，其中紅色部分為膠結劑，黑色折線為道碴碎石數值模型，黑色外框線為可自由穿透容器邊（膠結劑的初始配置在不同問題中會有不同，詳細資訊將於下一章說明）。利用五個切面，展現膠結劑固化後，在不同切面處的分布狀態，如圖 2(b)所示。其中，編號 1-3 為水平切面，分別位於距離容器底部 1/4，1/2，3/4 容器高度處；編號 4-5 為垂直縱切面，分別為位於容器中心位置的縱切面與容器對角線的縱切面。

## 五、數值模擬結果

### 5.1 膠結劑特徵時間對膠結劑固化分布影響

考慮如圖 2(a)所示的膠結劑初始位置，其中計算域採用均勻分布道碴數值單胞（圖 1(c)），並改變膠結劑黏性方程式（方程式(3)）的特徵時間。共採用三種不同特徵時間： $\tau_2/\tau_1 = 0.5$ 及 $\tau_3/\tau_1 = 0.1$ ，以在評估以澆灌方式注入膠結劑形成的膠結劑固化分布，以及不同膠結固化速率的影響。

圖 3 顯示在固化結束後，膠結劑在不同水平與垂直切面的分布狀態，其中膠結固化速率為 $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ ，紅色部分為膠結劑，白色多邊形部分為道碴碎石在該切面處的投影，藍色部分為碎石間空隙在該切面處投影。當固化速率較低時，膠結劑在垂直方向可較深入道碴內部直達道碴底部。相反地，當固化速率較快時，大部分膠結劑停留在道碴的上部與中間位置，如圖 3(a)-(c)所示。相較於膠結劑在垂直方向有較佳的穿透性，膠結劑在水平方向的延展性則較為局部且受到限制，大部分水平方向的膠結劑延展只有膠結劑初始配置的寬度，如圖

3(d)-(e)所示。這主要是因為膠結劑在水平方向延展的驅動力依靠壓力梯度，而垂直方向穿透的驅動力主要由重力與剪切增稠兩者間的互相抗衡達成。

維持圖 3 的膠結劑配置與道碴數值單胞，且採用  $\tau = \tau_1$  的固化速率，但增加膠結劑量為圖 3 的兩倍（即 B 的膠結劑量為 A 的兩倍），此模擬結果整理圖 4。增加膠結劑量可以增加膠結劑在道碴上部，中部與下部的水平延展性，如圖

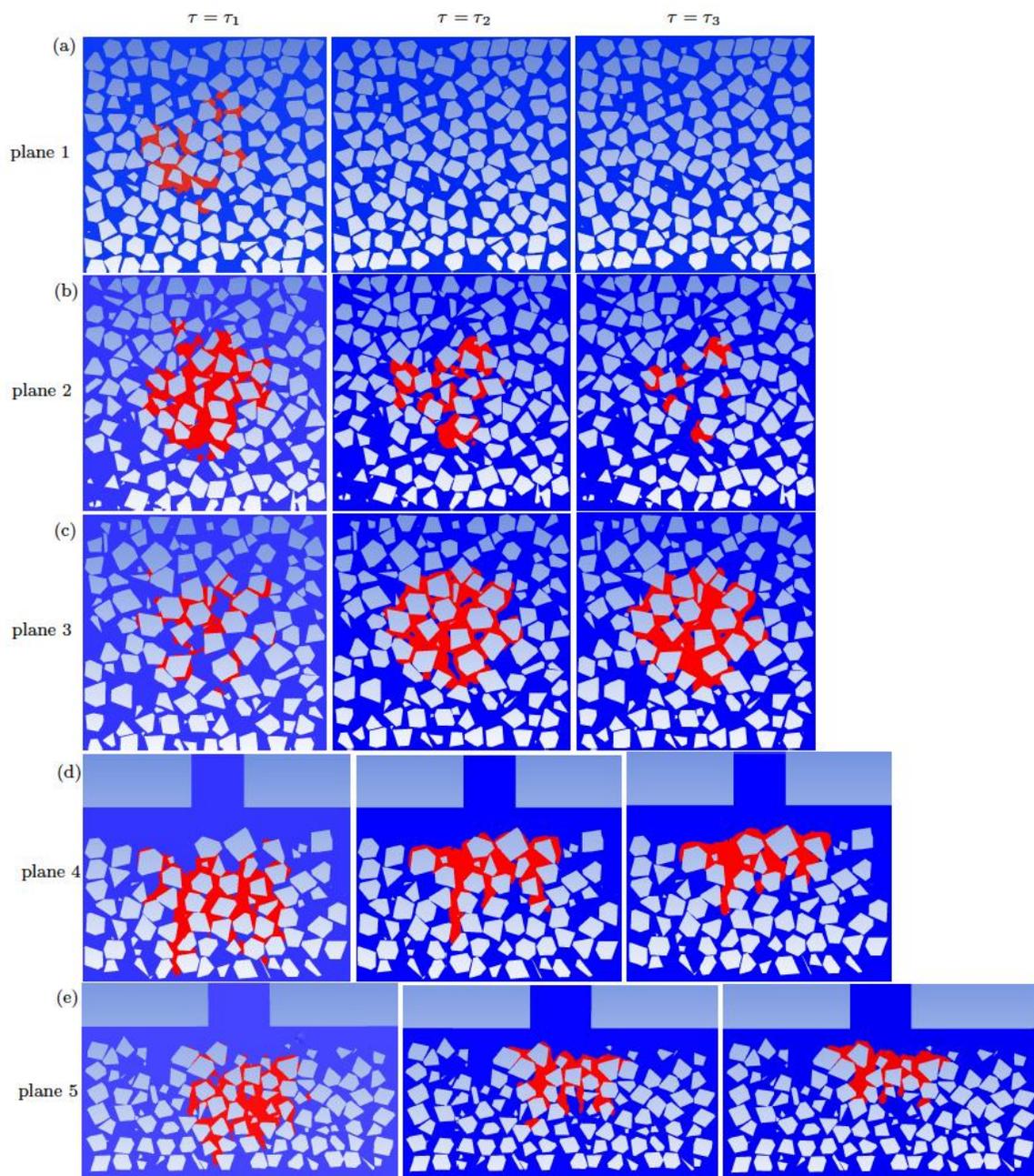


圖 3 不同固化速率，膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態。(a)水平切面 1 的分布，(b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布，(e) 垂直切面 5 的分布。

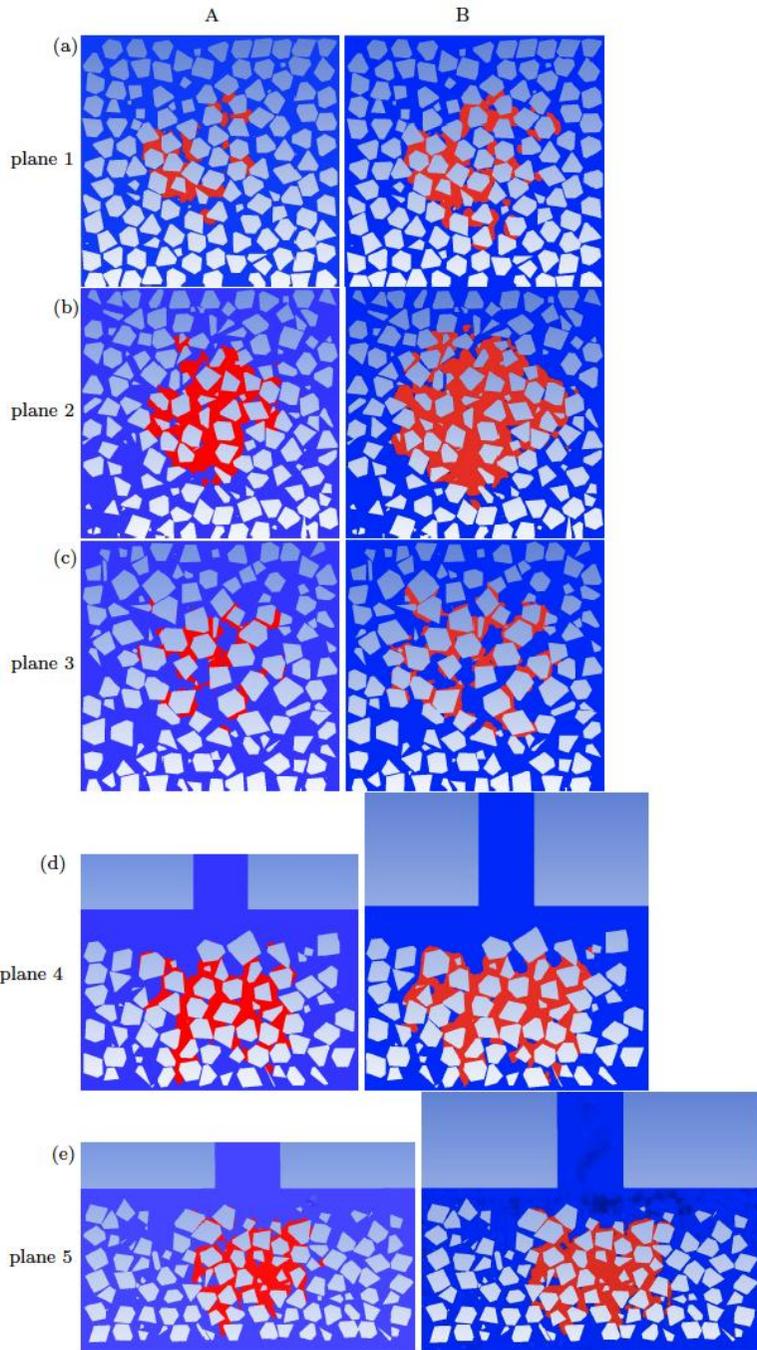


圖 4 不同膠結劑量，膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態。(a)水平切面 1 的分布，(b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布，(e) 垂直切面 5 的分布。

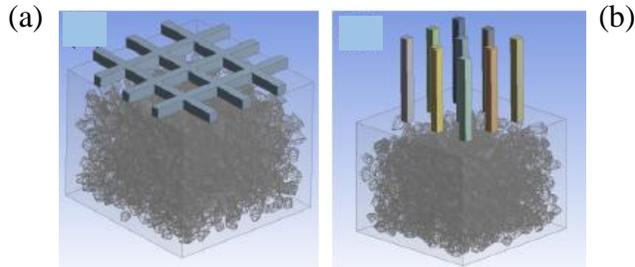


圖 5 不同膠結劑初始配置方式。(a)網絡配置方式；(b)矩陣配置方式。

4(a)-(c)所示，但在垂直方向的穿透性則未有太大的變化。這主要是因為當膠結劑量增大時，可以產生較大的壓力梯度以更有效地驅動膠結劑在水平方向的流動，但垂直方向的穿透主要是受到剪切增稠效應阻礙，此時增加的壓力梯度主要用來補償剪切增稠增加的流功。

綜上所述，以澆灌方式注入膠結劑，可在膠結劑初始配置處下方形成穩定的垂直方向膠結固化，但水平方向的膠結固化狀態大約只與膠結劑初始配置寬度相當。增加膠結劑量可稍微增大水平方向的膠結固化範圍，但對垂直方向膠結固化穿透範圍則幾乎沒有影響。改變膠結劑固化速率可以改變膠結劑在水平與垂直方向的延展與穿透範圍，惟在實務上，特定膠結劑的固化速率可透過實驗確定，因此欲進行特定膠結模擬時，固化速率為確定值，並無變化的可能。

## 5.2 膠結劑初始配置方式對膠結固化分布影響

考慮如圖 2(a)及圖 5(a)-5(b)的三種膠結劑初始配置，且計算域採用均勻分布道碴數值單胞（圖 1(c)）。圖 2(a)係將膠結劑以澆灌方式注入道碴，圖 5(a)將膠結劑以網絡方式噴灑至道碴，圖 5(b)則以矩陣方式散布膠結劑至道碴。膠結劑量在三種不同配置方式均相同，目的在評估不同的膠結劑初始配置對後續固化後，膠結劑最終分布狀態的影響。膠結劑固化速率採用 $\tau = \tau_1$ 的設定。

採用澆灌方式配置膠結劑，膠結劑在垂直方向可穿透至道碴底部。然而，以網絡或矩陣方式散布膠結劑，膠結劑在垂直方向的穿透性則相對較差，如圖 4(a)與 6(a)-6(b)所示，其中網絡方式配置的膠結劑可稍微抵達道碴底部，但以矩

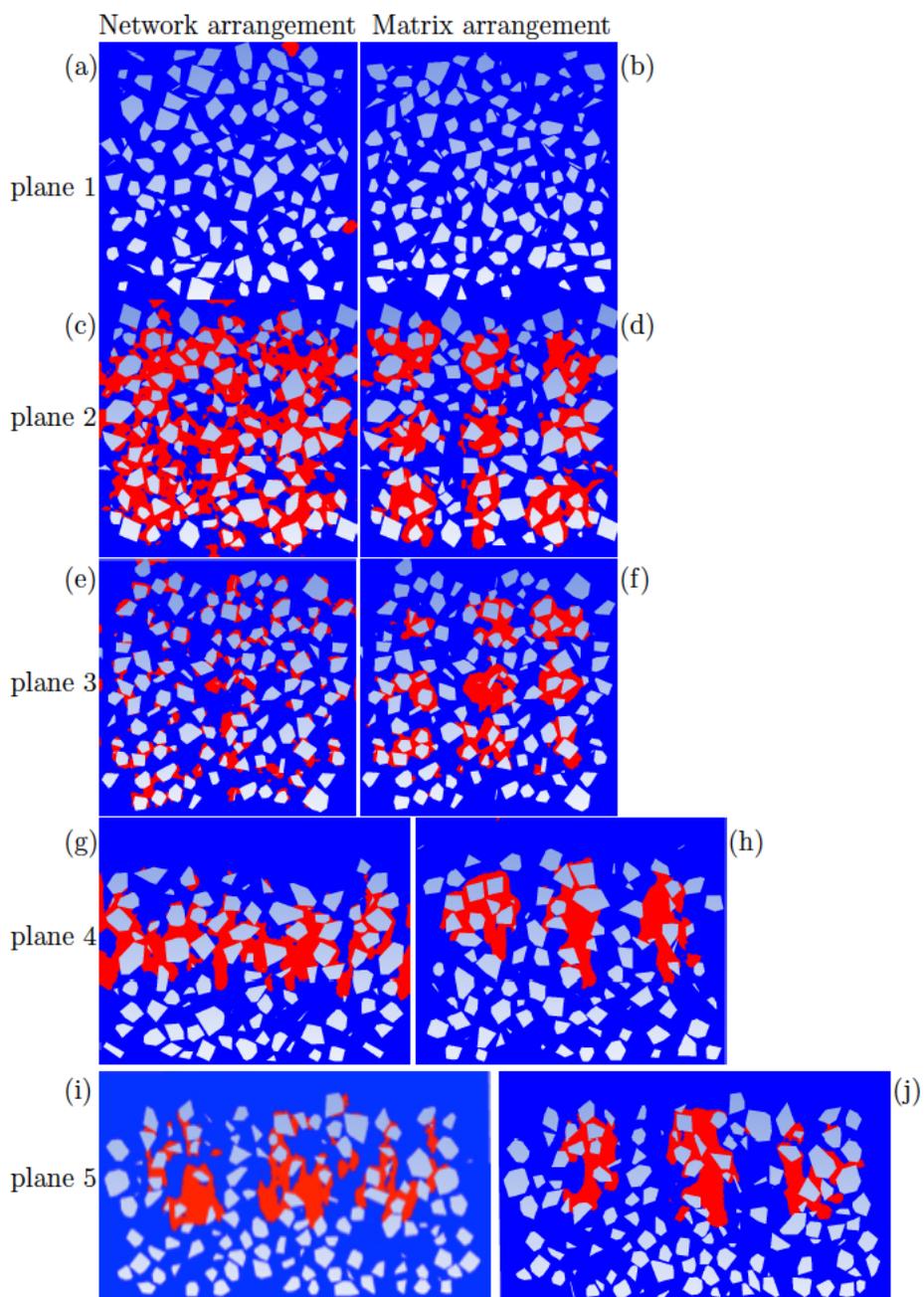


圖 6 不同膠結劑初始配置方式（小膠結劑量），膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態。(a)水平切面 1 的分布，(b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布，(e) 垂直切面 5 的分布。

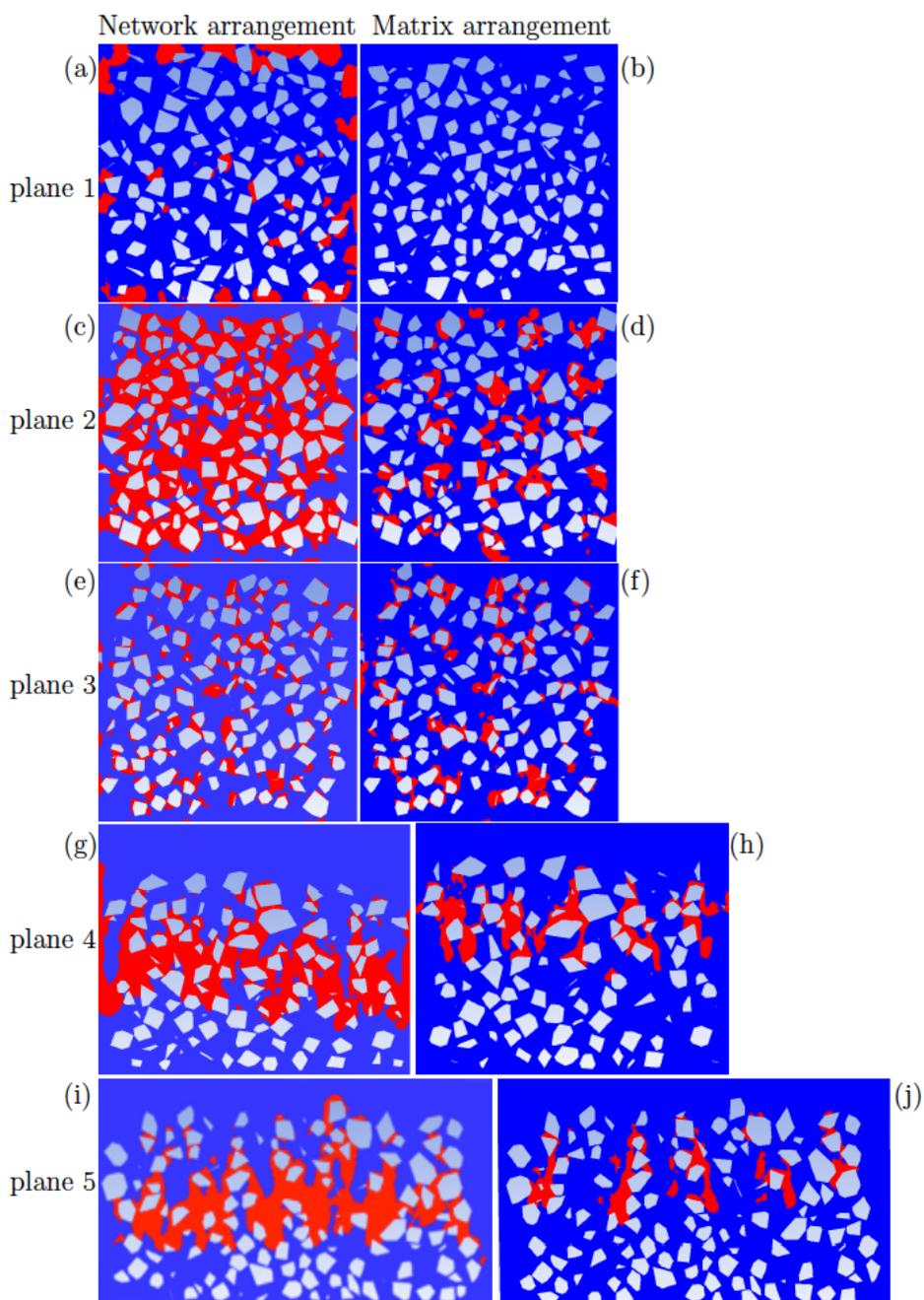


圖 7 改變膠結劑量（中膠結劑量），膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態。  
 (a)水平切面 1 的分布， (b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布， (e) 垂直切面 5 的分布。

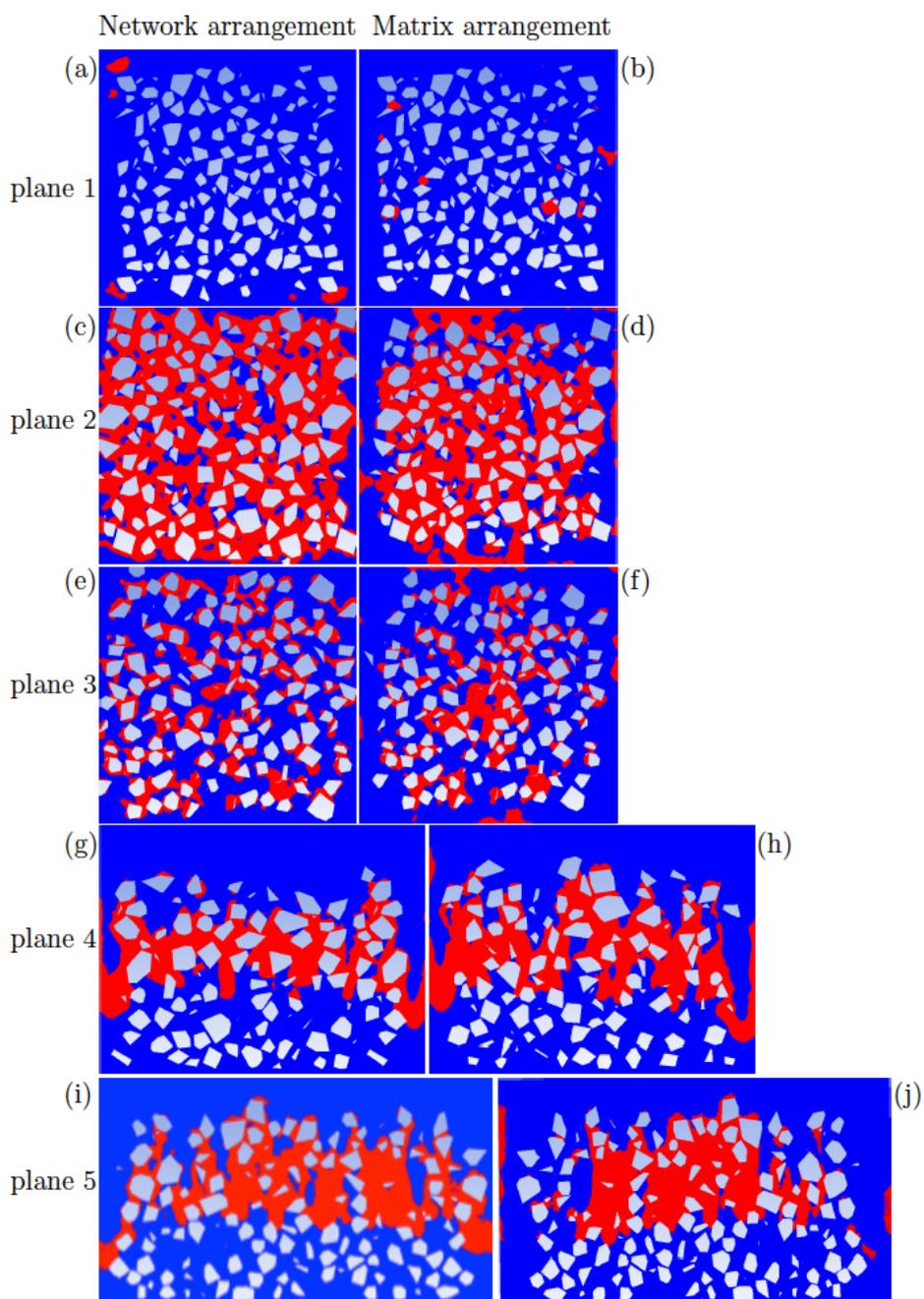


圖 8 改變膠結劑量（高膠結劑量），膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態。  
 (a)水平切面 1 的分布， (b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布， (e) 垂直切面 5 的分布。

陣方式配置時，幾乎沒有膠結劑可以穿透至道碴底部。這主要是因為當膠結劑以網絡方式配置時，有部分膠結劑位於容器壁附近，其在垂直方向穿透遇到的阻力會較小。而以矩陣方式散布膠結劑時，膠結劑大部分位於初始配置位置下方，因在每個注入點的膠結劑量較小，會產生較低的壓力梯度。當膠結劑向下穿透時，因逐漸增強的剪切增稠效應，致使其很難穿透至道碴底部。

在三種配置方式中，大部分的膠結劑均位於道碴的中間部分，如圖 4(b)與 6(c)-6(d)所示。網絡配置方式可在水平方向產生較均勻的膠結劑延展，但當以澆灌方式或矩陣方式散布膠結劑時，膠結劑幾乎都位於初始注入點位置下方，水平方向的延展則相對受限與局部。同樣地，因為網絡配置方式較為分散，故在道碴的上層部分膠結劑的水平延伸亦較為均勻，而澆灌方式或矩陣方式產生的道碴上層部分膠結劑水平延展還是相對受到限制，如圖 4(c)與 6(e) -6(f)所示。這三種配置方式的優缺點亦可在垂直方向的膠結劑分布看出，如圖 4(d)- 4(e)與 6(g)- 6(j) 所示：膠結劑在垂直方向的穿透性在三種配置方式中差異並不大，但以網絡配置方式的膠結劑分布則較為均勻，而以澆灌方式或矩陣方式產生的膠結劑分布則較為局部。這主要是由在膠結固化過程中，膠結劑耦合的時變與剪切增稠效應所導致。值得注意的是，在三種配置方式中，在道碴的不同部分，都會有一定程度的碎石間空隙未被膠結劑填塞。這些空隙可以提供地表逕流在水平與垂直方向的滲流路徑。網絡配置方式產生的孔隙較為平均，提供幾乎相同的水平與垂直滲流能力。相反地，矩陣方式產生的孔隙則較為集中，雖然可以提供較佳的垂直方向滲流能力，但水平方向的滲流能力則相對受限。圖 7 與圖 8 顯示當改變膠結劑量時，網絡配置方式與矩陣配置方式產生的膠結劑分布變化，其中藉由增加網絡與矩陣的行列數增加膠結劑量。因此，越緊密的網絡與矩陣配置方式，代表越大的膠結劑量（圖 8 膠結劑量 > 圖 7 膠結劑量 > 圖 6 膠結劑量）。如同圖 4 所揭示的結果：當膠結劑量越大時，膠結劑在水平方向的延展與在垂直方向的穿透會越佳。但網絡配置方式產生的膠結劑分布，還是較以矩陣配置方式產生的膠結劑分布來得均勻。

綜上所述，要達成局部小範圍水平方向穩固的膠結狀態，宜採用澆灌方式配置膠結劑。如欲產生大範圍相對穩固的水平方向膠結狀態，膠結劑以網絡配

置方式產生的結果會優於以矩陣配置方式產生的結果。而垂直方向穩固的膠結狀態，則可透過增加膠結劑量達成。惟增加膠結劑量會減少地表逕流滲流的可能空隙。在實務操作前，針對需求，可利用本研究提出的方法，找出最佳的膠結劑初始配置方式與膠結劑量。

### 5.3 碎石分層對膠結固化分布影響

當機械震動經由軌枕傳入時，道碴碎石會產生分層現象，即較大尺寸的碎石會聚集在道碴上部，而較小尺寸的碎石則會集中在道碴下部。本節將探討此分層現象對固化後的膠結劑分布的影響。其中，道碴採用圖 1(c)與 1(d)的均勻與分層道碴數值單胞，而膠結劑初始置方式採用網絡配置（圖 5(a)），這主要是經由前面的討論，網絡配置方式可產生較均勻的大範圍膠結劑水平延展與垂直穿透。膠結劑固化速率採用 $\tau = \tau_1$ 的設定。

當膠結劑量較小時，只有少部分膠結劑可穿透均勻與分層道碴直到底部，如圖 9(a)- 9(b)所示。相反地，大部分的膠結劑會散布在兩種道碴的中間部分，如圖 9(c)- 9(d)顯示。因為分層效應的影響，在分層道碴上部的空隙，會較均勻道碴上部的空隙來得大，加之當膠結劑流至道碴上部時剪切增稠效應尚不明顯，流動性較佳，故膠結劑在分層道碴上部的固化分布會較在均勻道碴上部的固化分布不明顯，如圖 9(e)- 9(f)所示。相似地，因為分層效應的影響，在分層道碴下部的空隙，會較均勻道碴下部的空隙來得小，且當膠結劑流至道碴下部時，剪切增稠效應已相當明顯，故在此處膠結劑的垂直穿透能力在分層道碴內部家，如圖 9(g)- 9(j)所示。當然，分層道碴上部與中部較大的空隙，可對地表逕流提供較好的水平方向滲流路徑。但這不能解釋成分層道碴在地表逕流滲流能力上較均勻道碴佳，原因是在分層道碴底部處過小的空隙，會造成地表逕流垂直方向的滲流路徑受到阻礙。

維持相同的膠結劑設定，但增加膠結劑初始配置的行列數（即增加膠結劑量），進行再次的模擬，其結果整理於圖 10。當膠結劑量增大時，相對穩定的膠結劑水平延展與垂直穿透在兩種不同道碴內都可以被達成。當膠結劑量變大

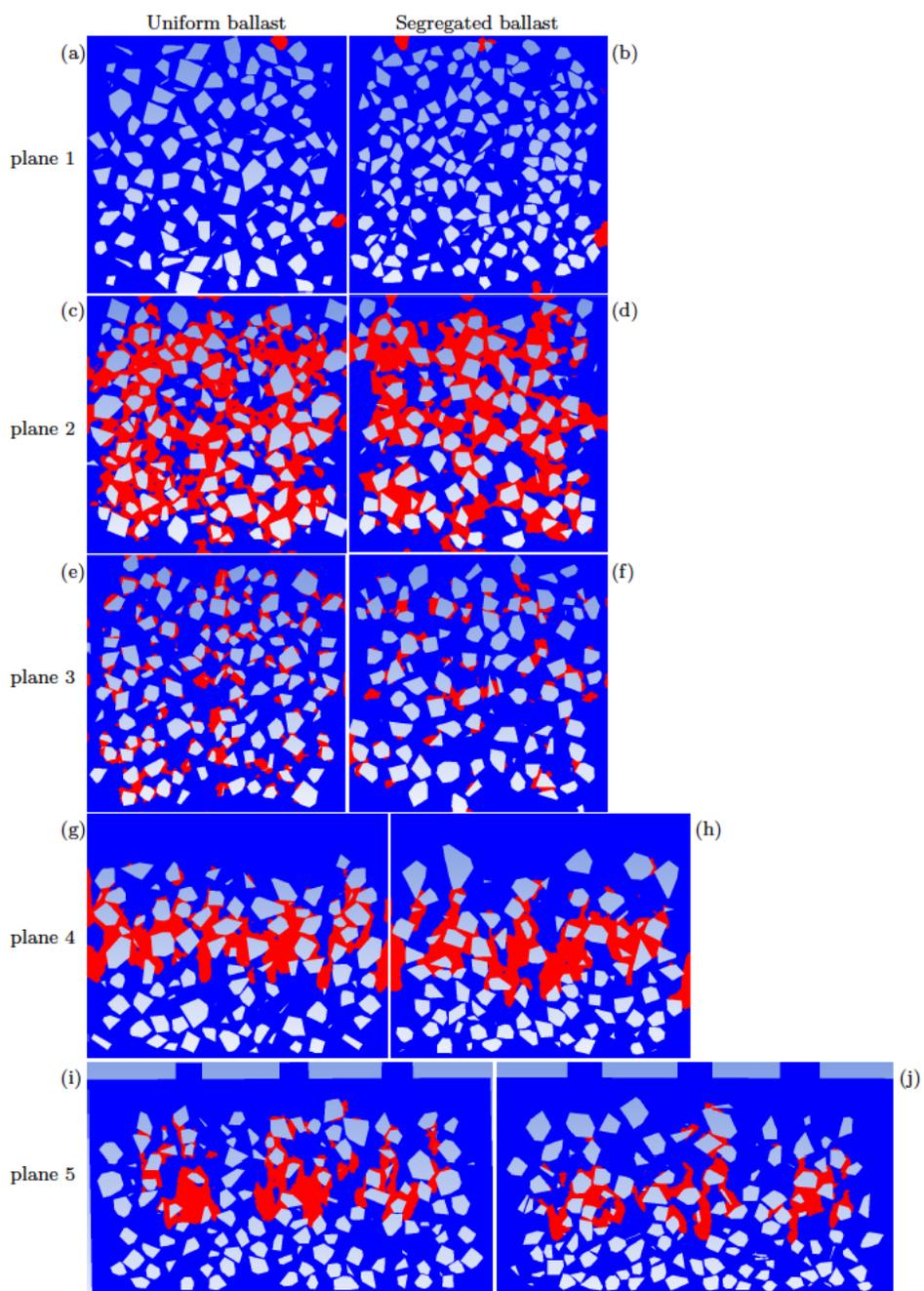


圖 9 碎石分層效應對膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態的影響（低膠結劑量）。(a)水平切面 1 的分布， (b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，  
 (d) 垂直切面 4 的分布， (e) 垂直切面 5 的分布。

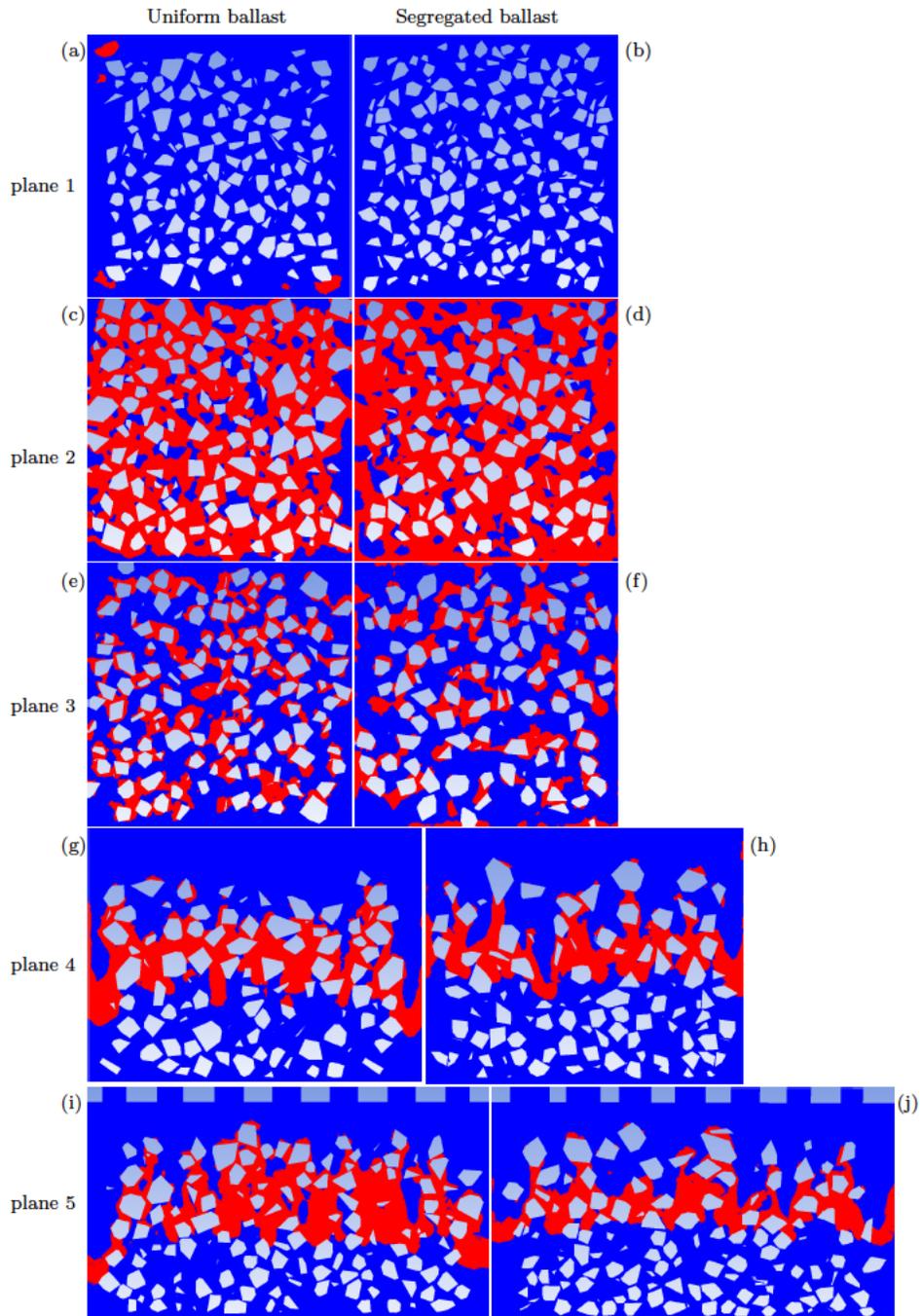


圖 10 碎石分層效應對膠結劑於固化過程結束後最終分布狀態的影響（高膠結劑量）。(a)水平切面 1 的分布，(b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布，(e) 垂直切面 5 的分布。

時，因為剪切增稠效應的影響，膠結劑在分層道碴碎石間空隙形成的多通流動所需時間，遠較在均勻道碴內來得長。但較長的流動時間，會提高膠結劑因時間增加而增高的黏性，不利於膠結劑的水平延展與垂直穿透。因此，在分層道碴底部，幾乎沒有膠結劑存在，如圖 10(b)所示，而在均勻道碴底部尚有少部分膠結劑存在，如圖 10(a)所示。與前面模擬結果相似，大部分的膠結劑都停留在兩種道碴的上部與中部，形成此處在水平方向與垂直方向較穩固的碎石間的膠結固化，如圖 10(c)- 10(f) 所示。比較圖 10 與圖 9 的結果顯示，當膠結劑量較大時，兩種道碴內形成的膠結劑分布狀態幾乎並無差異，顯示碎石分層效應對膠結劑分布狀態並無太大影響。當膠結劑量較小時，兩種道碴內形成的膠結劑分布狀態在道碴的中部區域會有些微的不同，但差異性並不大。對膠結劑垂直方向穿透性而言，在均勻道碴的穿透性較在分層道碴的穿透性稍微好一點，如圖 10(g)- 10(j)所示。

綜上所述，在膠結劑初始配置為網絡方式時，改變膠結劑量會對固化後的膠結劑分布狀態產生影響，主要集中在道碴中部區域。但平均而言，道碴碎石分層效應對膠結劑分布狀態的影響並不顯著，在實務上可以不需要被考慮。只是，以上結論僅針對膠結完成後的膠結劑分布狀態成立。若考慮地表逕流滲流能力，碎石分層效應確實會有影響，主要是因為道碴分層後，在其上部與中部區域會有較大的空隙，可提供較佳的水平方向滲流路徑。但垂直方向的滲流路徑，則會受到道碴分層後在其底部的空隙較小的影響，受到阻礙。詳細討論請見下節。

## 5.4 膠結道碴的地表逕流滲流能力分析

本節將探討膠結後的道碴，對地表逕流滲流能力的影響。考慮如圖 11 所示的膠結劑初始配置為網絡方式，與圖 5(a)的配置完全相同，並使用均勻與分層兩種道碴。網絡部分為膠結劑，而網絡的空孔處，則設定為地表逕流水初始位置，地表逕流水被考慮為不可壓縮牛頓流體，並以標準純水的性質設定。膠結劑固化速率採用 $\tau = \tau_1$ 。模擬方式為當模擬開始時，先釋放膠結劑讓其在重力驅動下流動，直到到達最大黏性，完成膠結固化過程。隨後，停止膠結劑的流

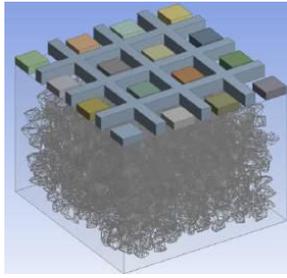


圖 11 膠結道碴對地表逕流水滲流能力影響模擬配置圖。網絡部分為膠結劑初始位置，網絡空格處為地表逕流水初始設定位置。

動，釋放地表逕流水使其受到重力驅動流動，由道碴與膠結劑行成的空隙滲流而出。地表逕流滲流時間設定為 30 秒。<sup>2</sup>

圖 12(a)-12(b)顯示，當 30 秒滲流時間結束後，有大部分的地表逕流水可抵達兩種道碴的底部（天藍色區域），但尚未完全排出。兩種道碴底部的空隙，幾乎都被地表逕流水填塞。相反的，在兩種道碴的中間區域，其空隙大都被膠結劑填塞，僅餘有少量孔隙可提供給地表逕流水滲流用，如圖 12(c)-12(d)所示。均勻道碴因其空隙較為平均分布，故有部分地表逕流水可垂直向下滲流而出。相反地，分層道碴在上部與中部區域的空隙較大，可提供較佳水平方向的滲流路徑。相同的現象也反應在圖 12(e)-12(f)。在均勻道碴上部區域有較多的地表逕流水等待向下滲流，而在分層道碴的上部區域，因此處有較佳的水平滲流能性，大部分的地表逕流水流出容器，留下較少的地表逕流水在道碴的上部區域。圖 12(g)-12(j)顯示在兩種道碴內部，在 30 秒滲流時間結束後，仍有部分地表逕流水陷於碎石與膠結劑行程的“陷阱”內無法排出。這個現象在分層道碴內較為明顯，也暗示膠結後的分層道碴的滲流能力會受到影響。在實務上，被捕捉的地表逕流水或可於下次軌枕傳來的機械震動後，找到新的流動路徑繼續向下或向周圍滲流，或被太陽照射熱能蒸發而消失。

圖 13 比較在網絡方式配置膠結劑初始位置下，均勻與分層兩種道碴在有膠結與無膠結的狀況下，地表逕流水排出水量與滲流時間關係圖，其中第 15 秒

<sup>2</sup> 越長滲流時間可讓越多地表逕流水流出。此處為了模擬比較，僅設定 30 秒滲流時間。

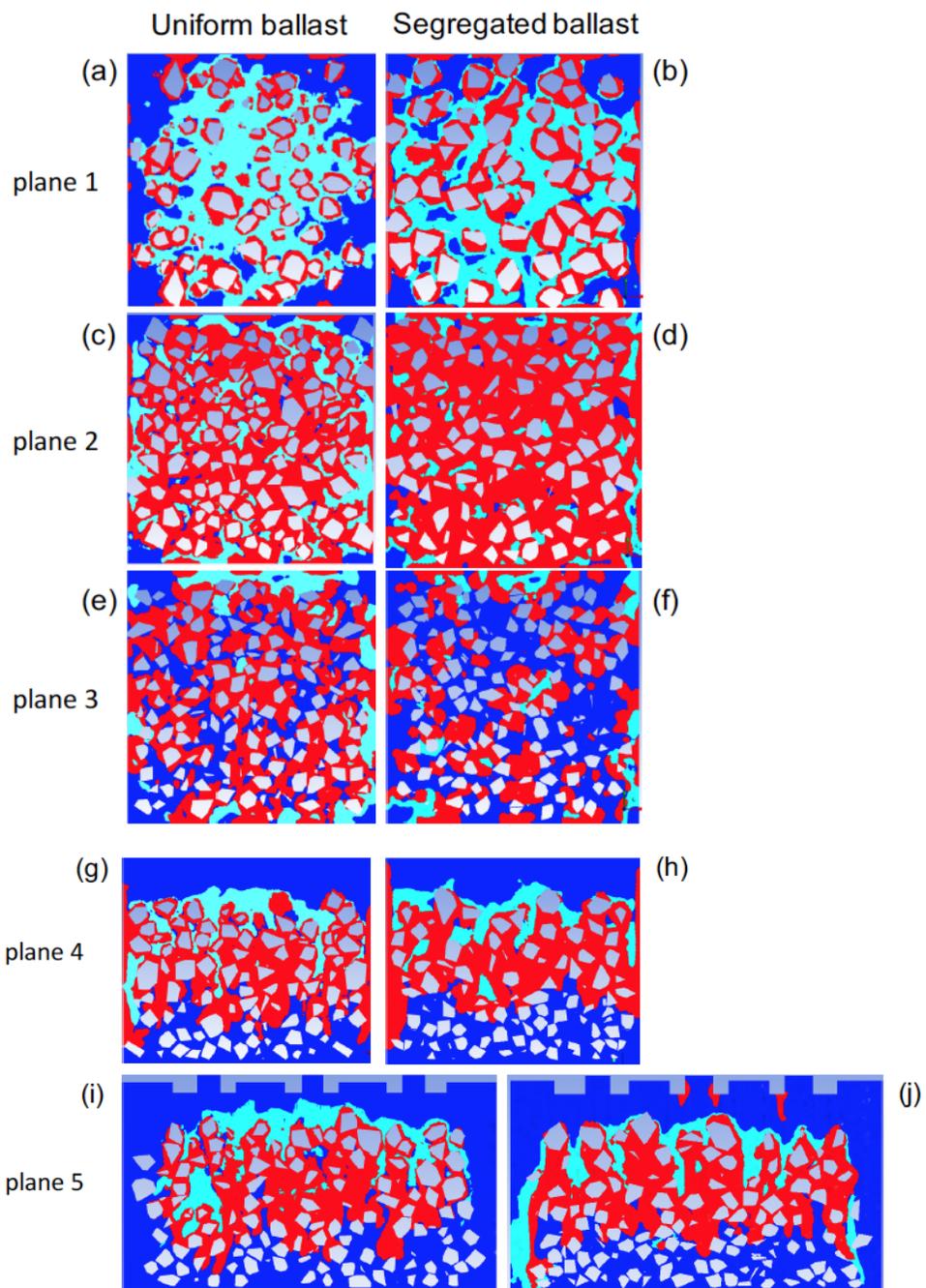


圖 12 膠結後道碴對地表逕流水滲流能力的影響（高膠結劑量）。(a)水平切面 1 的分布，(b)水平切面 2 的分布，(c) 水平切面 3 的分布，(d) 垂直切面 4 的分布，(e) 垂直切面 5 的分布。

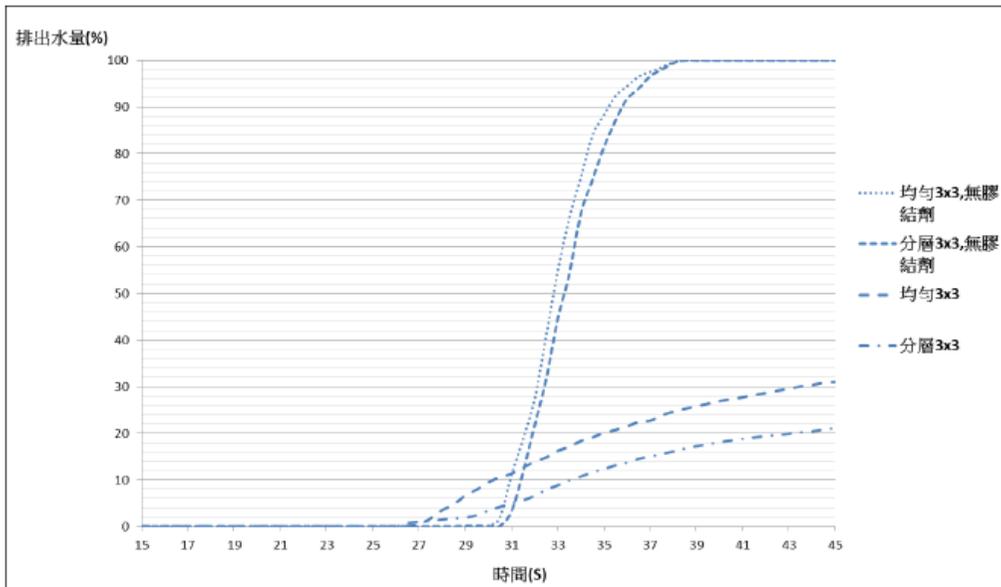


圖 13 地表逕流水排出水量與時間關係圖。

膠結固化結束，開始地表逕流水滲流分析。當道碴無施作膠結時，30 秒滲流時間足夠讓釋放的地表逕流水完全排出容器，其中分層道碴排出速率會略小於均勻道碴。當膠結施作於道碴後，地表逕流水排出水量大幅地被影響。在模擬的膠結狀況下，相同時間內地表逕流水排出水量減少為原來的 20%-30% 左右，且分層道碴排出速率明顯小於均勻道碴排出速率。這顯示道碴施作膠結後，其對地表逕流水的滲流能力會明顯降低。

綜上所述，不管是均勻或分層道碴，當被施作膠結後，地表逕流水的滲流能力會明顯降低。若欲達到較佳的滲流能力，膠結劑的初始配置方式，與膠結劑的量需被仔細的考慮，以達成既有良好的膠結狀態，又可具有良好的滲流能力。本節模擬結果亦顯示，以地表逕流水排出與否作為道碴膠結後的驗收標準，或有可以改進的地方。蓋除非在非常極端的情況下，不同的膠結劑分布狀態均可讓地表逕流水或多或少的排出，但有些膠結劑分布狀態是有利於軌枕基礎的穩定，有些則否。

## 六、結論

本研究提出一種整合分析模擬方法，可用於鐵路道碴在膠結施作前，模擬膠結劑在最後固化過程的分布狀態，同時也可以評估膠結施作後的鐵路道碴，對地表逕流水滲流能力的影響。本研究也嘗試回答道碴在膠結施作時，可能會影響膠結品質的幾個問題，分述如下：

- 膠結劑初始配置方式與膠結劑：

以澆灌方式注入膠結劑，可在注入處下方形成穩定的垂直方向的膠結，但水平方向的膠結則相對的受限，膠結範圍至多僅有注入初始位置的寬度。以網絡方式配置膠結劑，可形成大範圍穩定的水平與垂直方向的膠結。採用更緊密的網絡配置方式，可以產生更佳的水平與垂直方向膠結品質。增加膠結劑量於澆灌方式配置，可有效改善垂直方向的膠結，但對水平方向的膠結改善有限。相反地，增加膠結劑量於網絡方式配置，在水平與垂直方向的膠結都可被增強。

- 道碴分層對膠結品質的影響：

道碴分層確實會影響固化後的膠結劑分布狀態，主要展現於道碴的頂部與中部區域。但平均而言，道碴分層對固化後的膠結劑分布狀態影響並不顯著，在膠結實務施作時，道碴分層的效應可以忽略（僅針對膠結劑分布狀態）。

- 膠結後道碴對地表逕流水滲流能力的影響：

道碴經過膠結後，會對地表逕流水在垂直方向滲流能力有大幅影響，相同時間內，地表逕流水排出水量會顯著的減少。倘若道碴有分層現象，膠結後其地表逕流水排出能力降低現象更為明顯。此時需引導地表逕流水從側面排出。

- 以地表逕流水排出有無作為道碴膠結品質檢驗與驗收的標準，並不合宜。

本研究成果可提供道碴膠結施作人員，在施作前評估膠結計畫的整體設計與配置，並事先得知膠結後，膠結劑在道碴內可能的分布狀態以及對地表逕流水滲流能力的影響，並對膠結後的膠結品質提升有所助益。

## 致謝

作者感謝科技部的經費支持（計畫編號：MOST 104-2221-E-006-198-），亦感謝國立成功大學土木工程學系李宇欣教授及其團隊在道碴數值模型上給予的幫助。

## 參考文獻

1. Anderson W, Fair P: Behavior of Railroad Ballast under Monotonic and Cyclic Loading. *J Geotech Geoenviron Eng* 134(3) (2008) 316-327.
2. Aranson IS, Tsimring LS: *Granular Patterns*. Oxford University Press, Oxford New York (2009).
3. AREMA: *Manual for Railway Engineering*. American Railway Engineering & Maintenance-of-way Association, Washington, D.C., USA (2003).
4. Aursudkij B, McDowell GR, Collop AC: Cyclic loading of railway ballast under triaxial conditions in a railway test facility. *Garnul Matt* 11 (2009) 391-401.
5. Fang C, Wang Y, Hutter K: A unified evolution equation for the Cauchy stress tensor of an isotropic elasto-visco-plastic material. I. On thermodynamically consistent evolution. *Continuum Mech Thermodyn* 19 (2008) 423-440.
6. Fang C, Lee CH: A unified evolution equation for the Cauchy stress tensor of an

isotropic elasto-visco-plastic material. II. Normal stress difference in a viscometric flow, and an unsteady flow with a moving boundary. *Continuum Mech Thermodyn* 19 (2008a) 441-455.

7. Fang C, Lee CH: Unsteady parallel flows of an elasto-visco-hypoplastic fluid with oscillating boundary. *Appl Rheol* 18 (2008b) 45001-1-11.
8. Fang C: Time-dependent Poiseuille flows of an elasto-visco-plastic fluid with hypoplastic effects. *J Mech* 25(4) (2009) 279-289.
9. Fang C, Wu W: On the weak turbulent motions of an isothermal dry granular dense flow with incompressible grains, part I. Equilibrium turbulent closure models. *Acta Geotech* 9(5) (2014a) 725-737.
10. Fang C, Wu W: On the weak turbulent motions of an isothermal dry granular dense flow with incompressible grains, part II. Complete closure models and numerical simulations. *Acta Geotech* 9(5) (2014b) 739-752.
11. Fang C, Lee Y, Kuo CM, Lin YJ, Kuo C: Anti-thixotropic non-Newtonian fluid in complex conduct: gluing process simulation of railway ballast. *Appl Rheol* 25 (2015) 14381-1-7.
12. Fang C: A k-e turbulent closure model of an isothermal dry granular dense matter. *Continuum Mech Thermodyn* 28 (2016) 1049-1069
13. Fang C, Lee Y, Lin YJ, Lu LS, Chen PC: Influence of gluing solution layout on gluing solution distribution in a realistic railway ballast. *Internat J Geomech* 17(3) (2017a) 04016080.
14. Fang C, Lee Y, Lin YJ, Lu LS, Chen PC (2017b) Influence of gravel segregation on gluing solution solidification in a realistic railway ballasts. *Acta Geotech* (in press)
15. Fang C, Lee Y, Huang KL, Lu LS (2017c) Percolation analysis of a solidified railway ballast. *Int J Numer Anal Meth Geomech* (in second review)

16. Fatahi B, Khabbaz H: Enhancement of Ballasted Rail Track Performance Using Geosynthetics. *Advances in Pile Foundations, Geosynthetics, Geoinvestigations, and Foundation Failure Analysis and Repairs* (2011) 222-230.
17. Indraratna B, Ionescu D, Christie H: Shear Behavior of Railway Ballast Based on Large-Scale Triaxial Tests. *J Geotech Geoenviron Eng* 124(5) (1998) 439-449.
18. Indraratna B, Khabbaz H, Salim W: A Laboratory Study on Improvement of Railway Ballast using Geosynthetics. *Geotechnical Engineering for Transportation Projects* (2004) 617-626.
19. Indraratna B, Thakur P, Vinod J: Experimental and Numerical Study of Railway Ballast Behavior under Cyclic Loading. *Int J Geomech* 10(4) (2010a) 136-144.
20. Indraratna B, Nimbalkar S, Tennakoon N: The Behaviour of Ballasted Track Foundations: Track Drainage and Geosynthetic Reinforcement. *GeoFlorida* (2010b) 2378--2387.
21. Indraratna B, Nimbalkar S, Christie D, Rujikiatkamjorn C, Vinod J: Field Assessment of the Performance of a Ballasted Rail Track with and without Geosynthetics. *J Geotech Geoenviron Eng* 136(7) (2010c) 907-917.
22. Indraratna B, Rujikiatkamjorn C, Nimbalkar S: Use of Geosynthetics in Railways Including Geocomposites and Vertical Drains. *Geo-Frontiers* (2011a) 4733-4742.
23. Indraratna B, Su L, Rujikiatkamjorn C: A new parameter for classification and evaluation of railway ballast fouling, *Canadian Geotechnical Journal* 48 (2011b) 322-326.
24. Indraratna B, Nimbalkar S: Stress-Strain Degradation Response of Railway Ballast Stabilized with Geosynthetics. *J Geotech Geoenviron Eng* 139(5) (2013) 684-700.
25. Janardhanam R, Desai C: Three-Dimensional Testing and Modeling of Ballast. *J*

Geotech Engrg 109(6) (1983) 783-796.

26. Jenks CW: Design of track transportations. Research Results Digest 79 (2006): Federal Transit Administration.
27. Keene A, Edil T, Fratta D, Tinjum J: Modeling the Effect of Polyurethane Stabilization on Rail Track Response. Geo-Congress (2013) 1410-1419.
28. Lakusi S: Track stability using ballast bonding method. Slovenski kongres cestah in prometu (2010) 156--172.
29. Lee Y, Fang C, Tsou YR, Lu LS, Yang CT: A packing algorithm for three-dimensional convex particles. Granular Matt 11 (2009) 307-315.
30. Lichtberger B: Track maintaine strategies for ballasted track - a selection. Rail Engng Internat ed, Nr. 2 (2011).
31. Lu M, McDowell GR: The importance of modelling ballast particle shape in the discrete element method. Granul Matt 12 (2007) 69-80.
32. Mehta A: Granular Physics. Cambridge University Press, New York (2007).
33. Nimbalkar S, Indraratna B, Rujikiatkamjorn C: Performance Improvement of Railway Ballast Using Shock Mats and Synthetic Grids. GeoCongress (2012) 1622-1631.
34. Oswald P: Rheophysics: The Deformation and Flow of Matter. Cambridge University Press, New York (2009).
35. Prescott D, Andrews J: A track ballast maintaine and inspection model for a rail network. Proc IMechE Part O: J Risk and Reliability 227(3) (2013) 251-266.
36. Tanner RI: Engineering Rheology. Oxford University Press New York (1992).
37. Wang Z, Jing G, Liu G: Analysis on Railway Ballast-glue Micro-characteristics.

Appl Mech Materials 477-478 (2014) 535-538.

38. Zhai WM, Wang KY, Lin JH: Modeling and experiment of railway ballast vibrations. J Sound Vibr 270 (2004) 673-683.

托底工法在高雄鐵路地下化明挖覆蓋工程之應用-以  
左營計劃 FCL711Z 標大中陸橋為例

**Underpinning on the Kaohsiung Underground Railway's  
Cut and Cover Project – A Case Study of the Dazhong  
Bridge of Zuoying Project Section Contract FCL711Z.**

孫連平 Lien-Ping Sun<sup>1</sup>

張秋旺 Chour-Wang Chang<sup>2</sup>

簡城宗 Cheng-Zong Jian<sup>3</sup>

聯絡地址：81354 高雄市左營區站前路 5 號

Address：No.5, Zhanqian Rd., Zuoying District, Kaohsiung City 81354,  
Taiwan(R.O.C.)

電話 (Tel)：07-5880163#347

電子信箱 (E-mail)：0437900@railway.gov.tw

## 摘要

本工程為「高雄市區鐵路地下化計畫」FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程之一段，必須先進行橋墩托底工程並移除既有墩柱後，臺鐵隧道引道段結構始可順利構築。本文以大中陸橋 PF01 橋墩托底工程經驗，重點說明監測系統、橋台載重

---

<sup>1</sup>交通部臺灣鐵路管理局 高雄工務段 助理工務員

<sup>2</sup>台灣世曦工程顧問股份有限公司 高雄辦事處 工務所主任

<sup>3</sup>台灣世曦工程顧問股份有限公司 高雄辦事處 正工程師

轉移至新單柱橋墩、墩柱切除及新墩柱施作等施工過程，以提供後續相似工程之施工參考。

**關鍵詞：**PF01 橋墩、臺鐵隧道、托底、監測

## **Abstract**

*The construction introduced in this paper referred to one section of the Kaohsiung Main Project Section Contract FCL711Z, the underpinning of the bridge pier and removal of foundation pile had to be finished before the approach structure of Taiwan Railway tunnel arrived. This paper introduces the key points of the monitoring system, bridge loading transfer to the new single bridge pier, knocking-out existing pier, and construction of new bridge pier, etc. that were experienced during the underpinning work on the Dazhong bridge pier No.PF01. These construction processes and data will serve as a reference for future projects.*

**Keywords :** *bridge pier No.PF01, Taiwan Railways tunnel, underpinning, monitoring*

## 一、工程概述

「FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程」為「高雄市區鐵路地下化計畫」(含延伸左營及鳳山)之一段。本標工程北起大中陸橋北端(UK397+579)，南至美術館路(UK401+700)，約 4.121 公里。自新左營站大中二路附近至翠華路交叉口平面鋪軌後，以明挖覆蓋方式往南施築單孔雙軌隧道一座及左營與內惟均為兩岸壁式月台之車站，隧道覆土深度約 7.6~15 公尺；工程範圍詳如圖 1 所示。

本工程所規劃線形於引道段部分，隧道結構體與大中陸橋 PF01 橋墩衝突(如圖 2、3)，因此必須先進行橋墩托底工程，並移除既有墩柱後，始可施築隧道結構。本文將針對墩柱托底施作、橋台載重轉移至新單柱橋墩以及墩柱切除等施工過程作重點說明，尤其公路橋樑道路於載重轉移期間仍可維持通車安全的特殊經驗提供後續相似工程之施工參考。

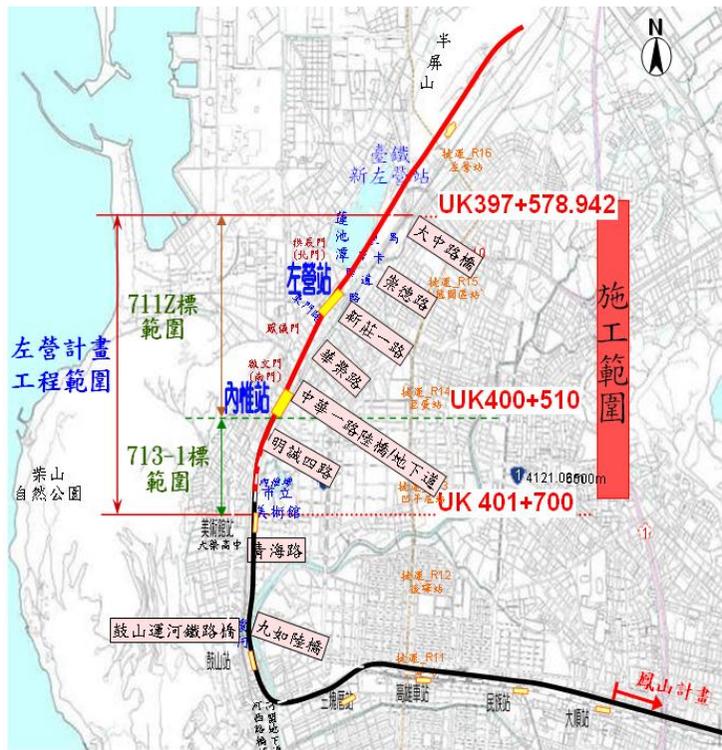


圖 1 FCL711Z 標工程範圍

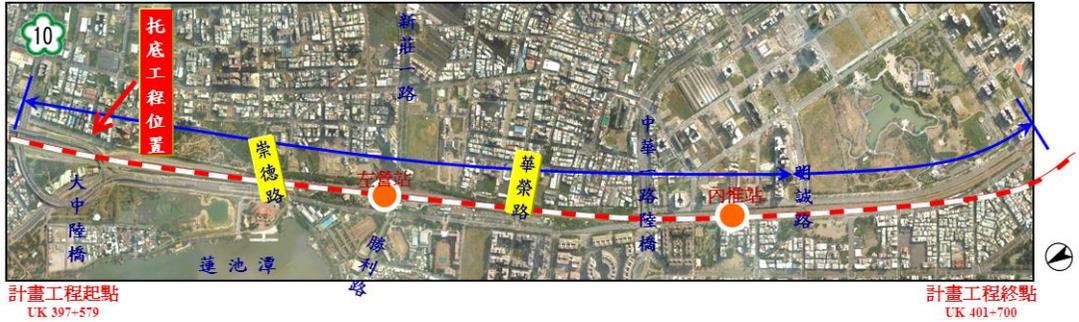


圖 2 大中陸橋托底工程位置圖

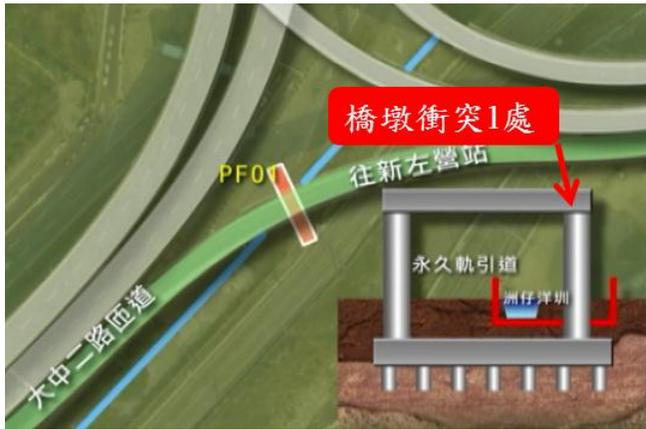


圖 3 引道段與大中陸橋 PF01 橋墩衝突處

本工程在 UK 397K+879 出土引道段與大中路快速道路匝道(高鐵左營車站連絡道)之門架式橋墩 PF01 衝突，並且與洲仔洋圳灌排水路重疊(如圖 4)。



圖 4 引道、匝道”F”及洲仔洋圳位置圖

由竣工圖可知 PF01 橋墩基礎頂比引道底版深，故 PF01 之樁基礎未與本工程衝突，原有的樁基礎可保留並採補強方式處理。由圖 4 可知，PF01 橋墩屬門架式橋墩，其東邊之墩柱與本計畫引道衝突必須拆除，改採單柱橋墩並以托底換柱工法施築。PF01 墩柱位於匝道 F (OK+038.103~OK+135.308) 振動單元中，此單元為兩跨連續箱型鋼梁，曲率半徑約為 120 公尺，其跨距配置各為 45.205m 與 52m。PF01 橋墩設計 14 根基樁，基礎高 3M，墩柱高 12.072M，墩柱間距 22.45M，帽梁 2.5M 高。

大中路橋托底工程主要工項內容及施工流程如圖 5 所示，本文以靜態動畫示意圖方式對施工流程進行說明，如下施工流程示意圖 6~12 所示。

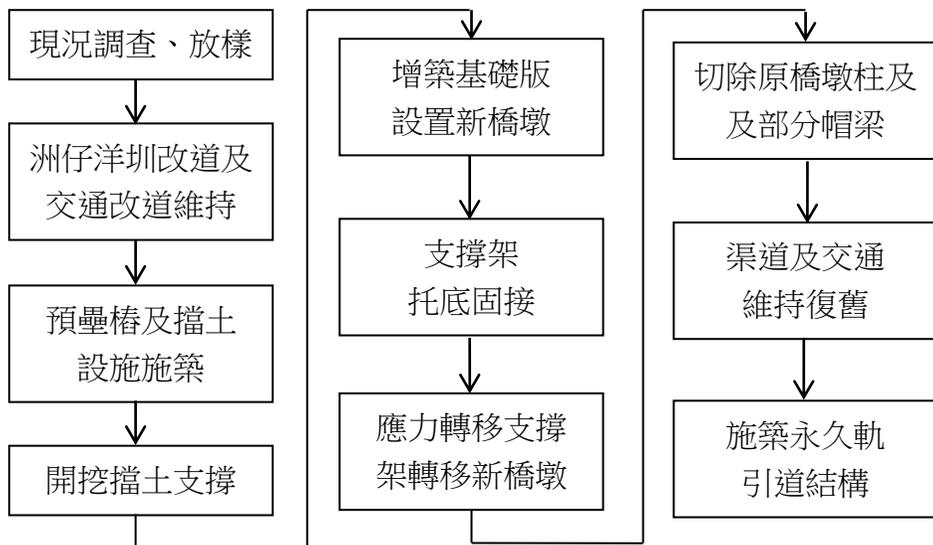


圖 5 PF01 橋墩托底工程主要工項內容及施工流程圖



圖 6 引道與灌排水路衝突

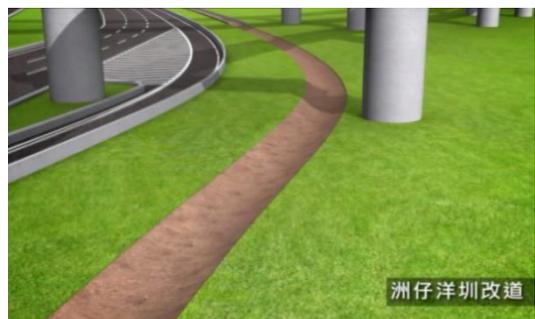


圖 7 洲仔洋圳改道

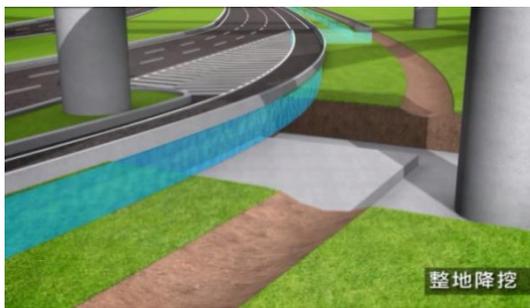


圖 8 整地降挖

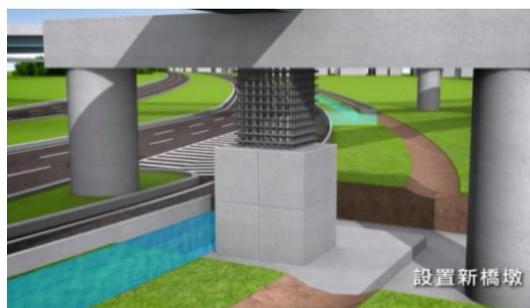


圖 9 設置新橋墩

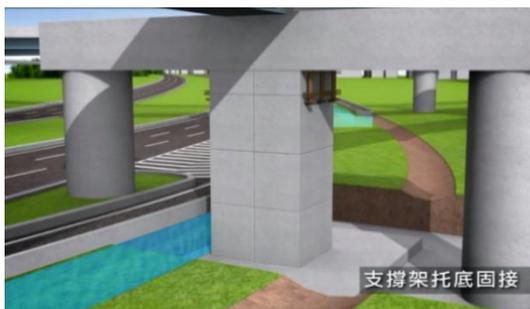


圖 10 支撐架托底固接



圖 11 橋墩換柱完成



圖 12 施築永久軌引道結構

## 二、托底工程

橋墩托底工程原則以新建工程之上方或鄰近的既有結構物之托底和支撐，以及將此等結構物復原成托底和支撐施工前相同功能性之工作，略述托底工程各工項內容說明如下：

**1.1 托底基礎及開挖工程：**為托底工程前置作業需要將新設永久預壘樁、開挖擋土支撐。

### 1.1.1 永久預壘樁

公路交通與洲仔洋圳改道後，於東西兩側施作預壘樁，深度 8~10m、直徑 0.5m，作為引道段結構及 PF01 橋墩開挖之支撐，如圖 13<sup>[1]</sup>所示。

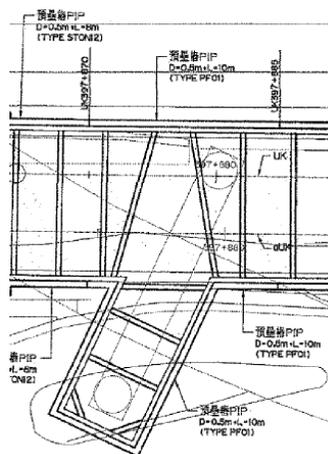


圖 13 永久預壘樁及開挖擋土支撐平面圖<sup>[1]</sup>

### 1.1.2 開挖擋土支撐

托底工區內開挖至既有橋墩基礎版上之深度  $EL.5.9m\pm$ ，安全支撐規劃一層支撐二階開挖，如圖 14<sup>[1]</sup>所示。開挖前於工區內設置抽水井，對開挖區進行祛水，確保開挖作業安全。地表  $EL.10.4m\pm$ ，開挖至  $EL.9.4m$  架設第一階支撐。

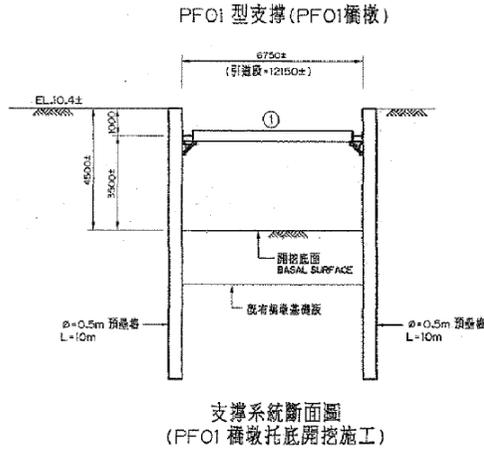


圖 14 永久預壘樁及開挖擋土支撐剖面圖

## 1.2 增築基礎版及設置新墩柱

開挖至既有基礎版頂部高程下 1m 處後，進行既有基礎植筋與混凝土打毛處理，增築基礎版(如圖 15<sup>[2]</sup>)，並以混凝土強度  $f_c'=280\text{kgf/cm}^2$  澆置。經 28 天養護後接續施築新墩柱(如圖 16<sup>[2]</sup>)，混凝土強度為  $f_c'=350\text{ kgf/cm}^2$ ，並設置鋼支撐架、千斤頂及相關監測儀器，施工步驟如圖 17<sup>[2]</sup>所示，完成後如圖 18。

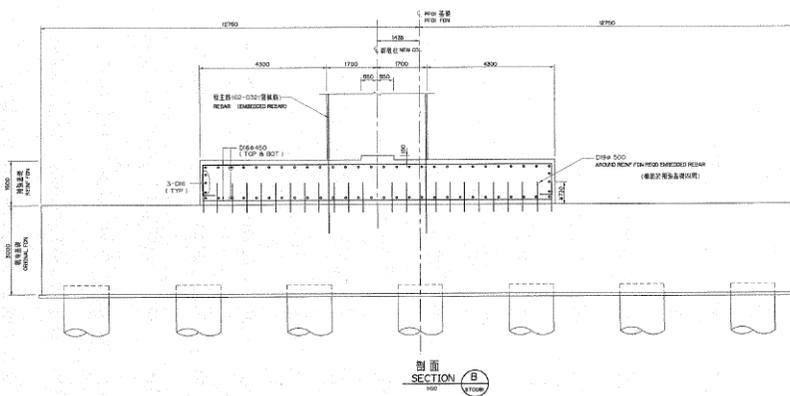


圖 15 新增補強基礎版剖面圖<sup>[2]</sup>



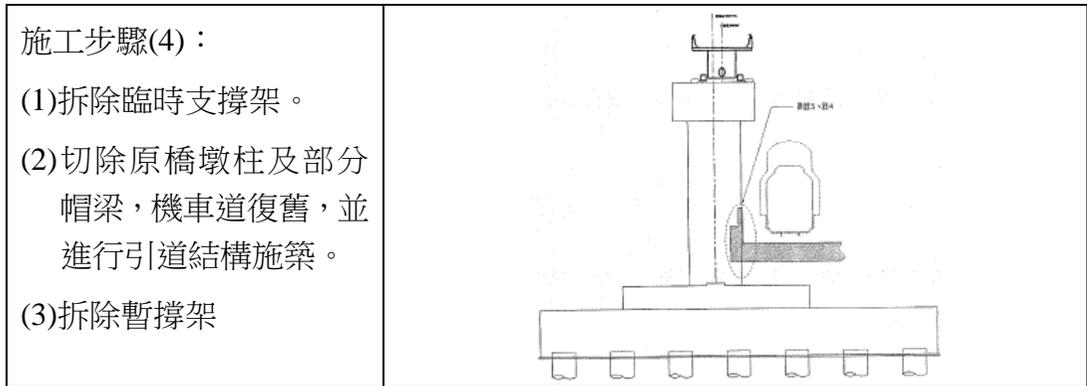


圖 17 托底支撐步驟圖

**1.3 暫撐架、臨時支撐架：**鋼構暫撐架設置、錨錠螺栓、托梁、千斤頂、設備配置說明。

### 1.3.1 設置鋼構暫撐架

承包商配合交通維持改道後，完成增築補強基礎版後，於新墩柱施築過程中接續進場組配鋼構暫撐架，如圖 18。



圖 18 臨時支撐設備

### 1.3.2 設置臨時支撐架設備

新墩柱分四階段完成，於第二階段施作時，預埋 M64 錨錠螺栓，錨錠螺栓需距離混凝土邊距至少 400mm，完成混凝土澆置後，組裝兩側托梁由 BH730x360x25x45 型鋼製成(四周以 3cm 厚無收縮水泥砂漿填補)與各配置三組共六組各能承受 110 噸以上之千斤頂，千斤頂裝設於墩柱上部，上架鋼支撐與既有帽梁相接觸固定，如圖 19-22<sup>[2]</sup>。

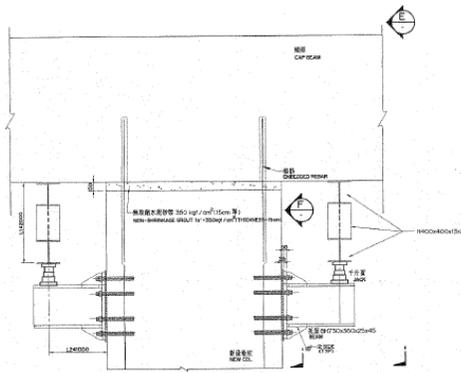


圖 19 臨時支撐架立面圖

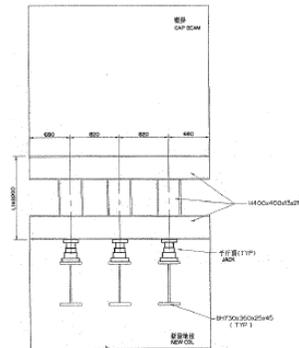


圖 20 臨時支撐架側視圖

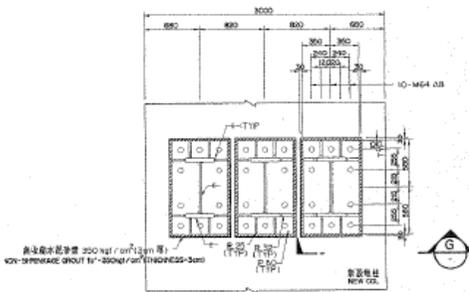


圖 21 托梁、錨錠螺栓配置圖

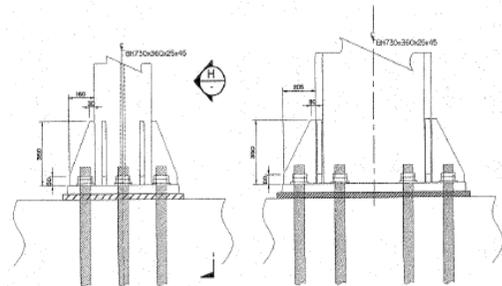


圖 22 托梁、錨錠螺栓剖面圖

## 1.4 既有墩柱切除及載重轉移說明<sup>[3]</sup>

### 1.4.1 鑽石鏈鋸切割既有墩柱

帽梁之植筋於千斤頂施予 55 噸預壓值頂升後施作，如圖 23 所示，並與新墩柱主筋搭接，接續完成第三階段墩柱混凝土澆置，最後一層新單柱墩柱與原墩柱接合處，採以無收縮水泥砂漿(350kgf/cm<sup>2</sup>, 15cm 厚)填補，並達設計強度，惟應力轉換至新墩柱後，千斤頂設備暫不撤離，保留至墩柱切除後並作進一步

加減壓調整後，方可拆除。切除範圍如圖 24 所示，保留部分原墩柱帽梁，切除之帽梁端部，以 5cm 厚之環氧樹脂沙漿修補。施工步驟為：設置暫撐托架→吊點位置確認→以鑽石鏈鋸切除→吊車將切割後塊體下放吊離，如圖 25 所示，採以人工方式逐步切割並配合吊具設備，先由東側應力較小之帽梁切除，將既有之梁及墩柱以公尺為單位逐段拆除。



圖 23 帽梁植筋

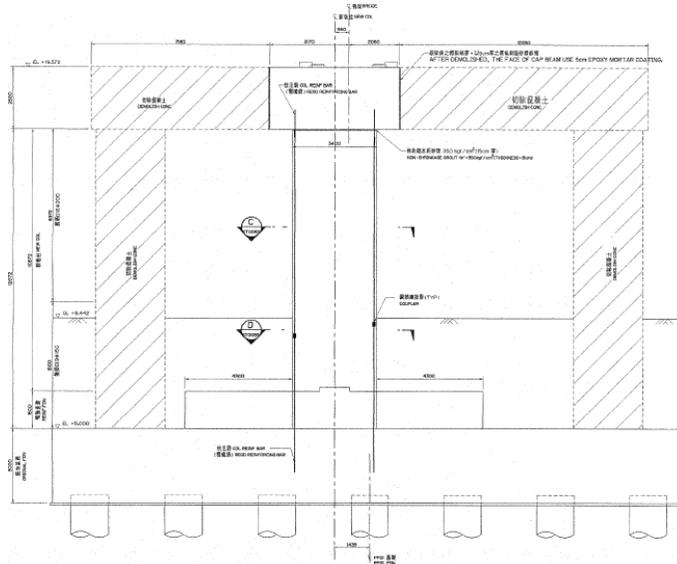


圖 24 PF01 墩柱切除部位圖



圖 25 PF01 墩柱切除施工現況

#### 1.4.2 載重轉移：

主要說明 PF01 橋墩載重轉移至型鋼支撐再至新單柱橋墩，其相關步驟及管理值說明如下：

- (1)載重轉移過程中，避免因過度施壓造成原墩柱發生拉應力，故施予之預壓值，係參考靜載重作標準。施預力之管理值採變位管控，藉由橋墩設置之監控儀器測讀初值，於載重轉移過程進行同步監控。
- (2)施工步驟為：墩柱載重轉移至型鋼支撐→墩柱切割→載重自型鋼支撐轉移至新單柱墩柱。
- (3)各階段載重轉移，藉由監測儀器量測變位並與初始值核對，得各階段相對變位、荷重數據及結構體變位，整合相關資料以管控整個轉載過程，各階段繼續加載之條件如下：
  - 15 分鐘內之相對變位量不超過 0.05mm。
  - 1 小時內相對變位量不超過 0.25mm。
  - 未符合上述二條件時，需經 2 小時後始可進行下一階段加載。
- (4)載重自型鋼支撐轉移至新單柱橋墩時，加載至荷重之 100%後須維持 24 小時，其相對變位量每 15 分鐘不超過 0.05mm，或繼續荷載至 40 小時其變位量不再改變，則將千斤頂鎖定。
- (5)施壓完成後，加壓設備暫不撤離，保留至墩柱切除後作進一步加減壓修正。
- (6)載重轉移至新單柱橋墩期間，靜載重之變形(包括墩柱切除過程及其他因素

等)，均由千斤頂作吸收或調整，使帽梁、上部結構不會發生沉陷或上拱，調整目標為初始值±5mm 範圍內。

(7) 監控作業自托底工程施工前設置監測儀器開始記錄，其後型鋼支撐加壓、墩柱切割打除、預拱加壓至應力轉移作業結束。

### 三、監測工作及成果<sup>[4]</sup>

托底換柱工程施工期間，在確保鄰近橋墩橋面等構造物之安全與維持原有交通安全之情況下，施工承包商依本標契約規定進行自動化監測系統作業，各項監測儀器項目及管理值說明如表 1~2 所示，其監測系統之配置情形，如圖 26 所示。

表 1 監測儀器項目及管理值

| 儀器名稱        | 數量   | 警戒值     | 行動值     | 備註           |
|-------------|------|---------|---------|--------------|
| 電子式傾斜計(ETI) | 5 組  | ±412sec | ±688sec | 大中陸橋橋墩處 5 處  |
| 電子桿式沉陷計(EB) | 58 組 | ±10mm   | ±15mm   | 大中陸橋橋墩共 115m |

表 2 建物保護暨變位控制準則表

| 基礎種類          | 最大沉陷量<br>$\delta_{max}(mm)$ | 傾角 $\theta$ | 角變量 $\beta$ |
|---------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| RC 筏式基礎       | 45                          | 1:500       | 1:500       |
| RC 獨立基腳       | 40                          | 1:500       | 1:500       |
| 磚造獨立基腳        | 25                          | 1:500       | 1:1000      |
| 臨時構造物(木造及鐵皮屋) | 40                          | 1:500       | 1:500       |
| 高架橋           | -                           | 1:1000(簡支梁) | -           |
|               | -                           | 1:1500(連續梁) | -           |

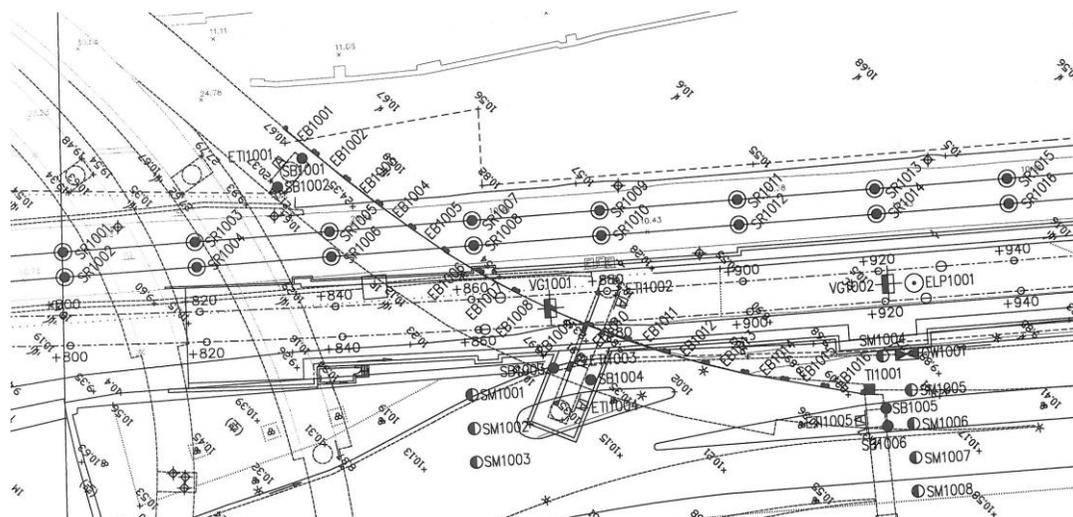


圖 26 監測儀器平面配置圖

本監測工作與支承轉換之前在 PF01 及 PF35 帽梁柱上裝設電子式傾斜計 (ETI)共 5 處(對應於下方新單柱墩柱位置)，並沿大中陸橋橋面護欄旁，設置電子式桿式沉陷計(EB)，記錄沉陷量，便於支承轉換之前、中、後觀測變化情形，必要時可採取相關應變措施。本監測量測時間範圍為 2013 年 5 月 2 日至 2015 年 1 月 19 日，如圖 27-33 所示，綜觀本次大中陸橋自動化監測成果，除儀器編號 EB1004(電子桿式沉陷計)裝設於橋墩牆面伸縮縫上，因伸縮縫熱脹冷縮關係，造成螺絲鬆脫現象，使得沉陷量接近警戒值及 EB1006(電子桿式沉陷計)部分時間點數據異常，研判應為線路問題導致雜訊干擾達到警戒值外，其餘各監測儀器數據於施工期間皆為穩定且低於警戒值，無安全上之疑慮。

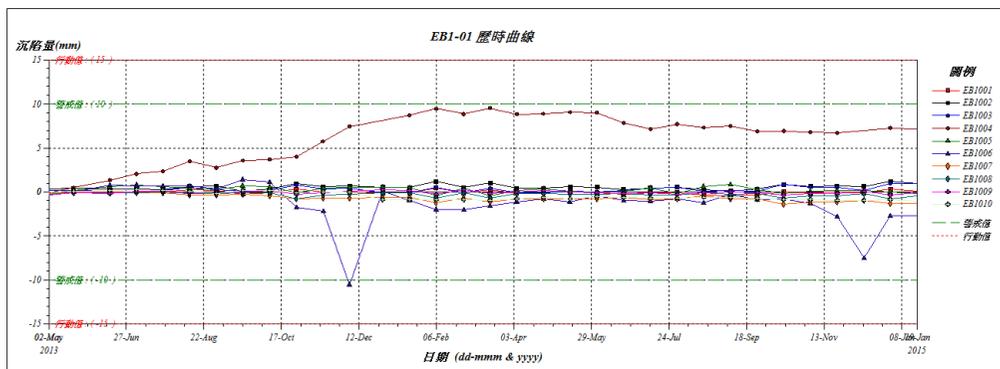


圖 27 儀器編號 EB1001-1010

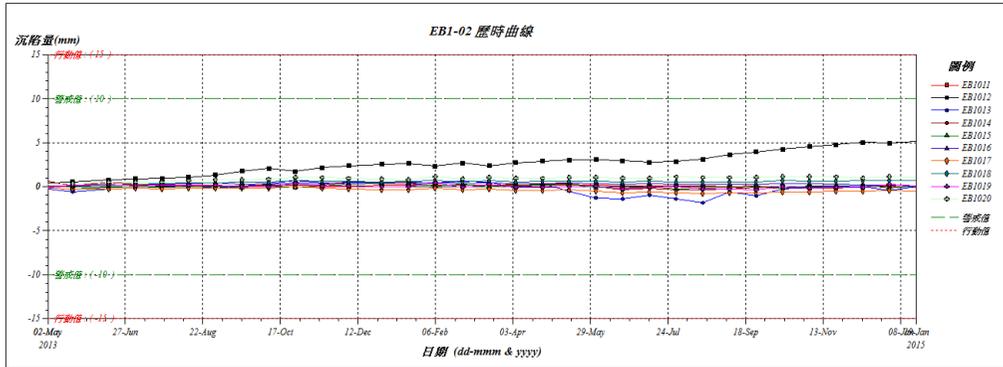


圖 28 儀器編號 ELB1011-1020

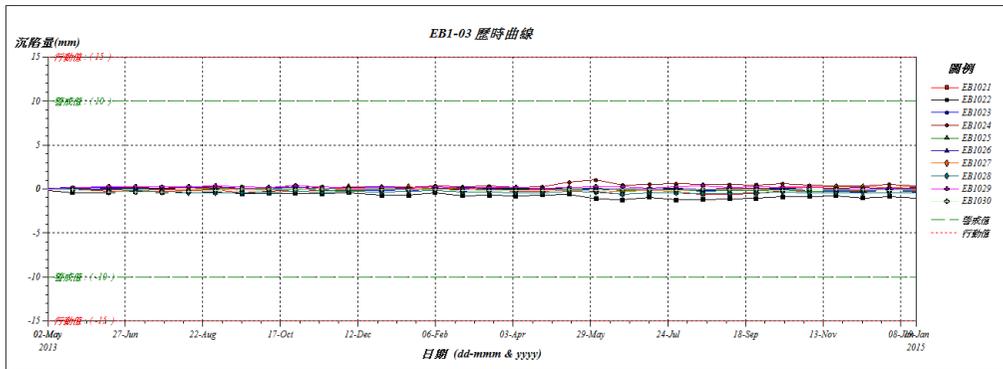


圖 29 儀器編號 ELB1021-1030

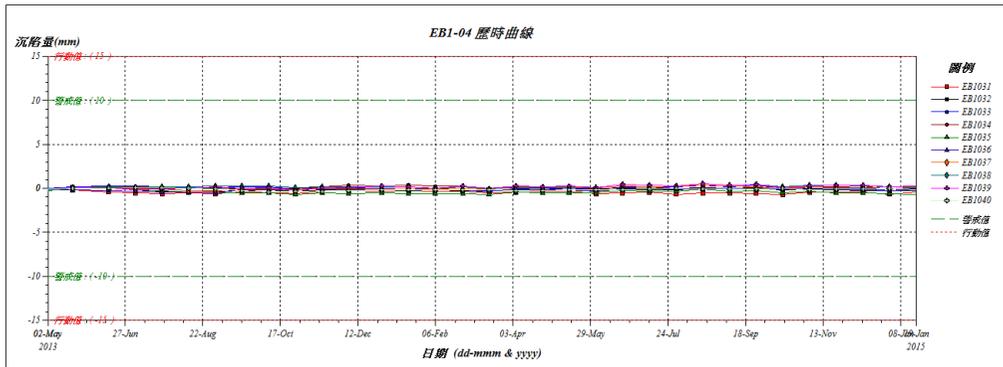


圖 30 儀器編號 ELB1031-1040

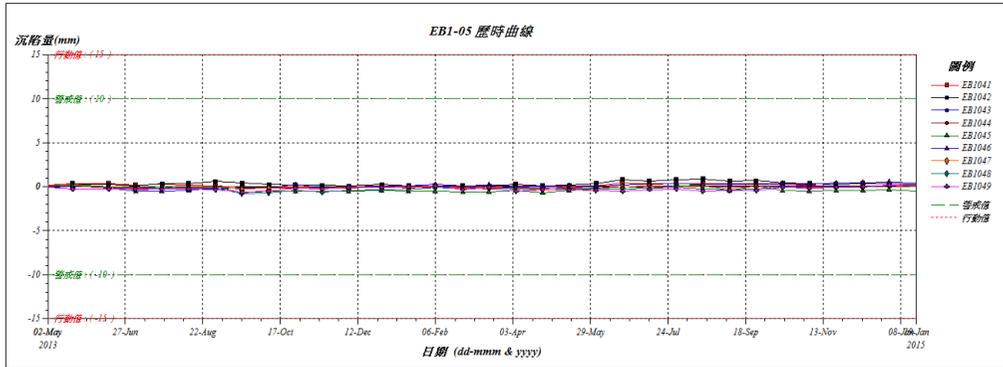


圖 31 儀器編號 ELB1041-1049

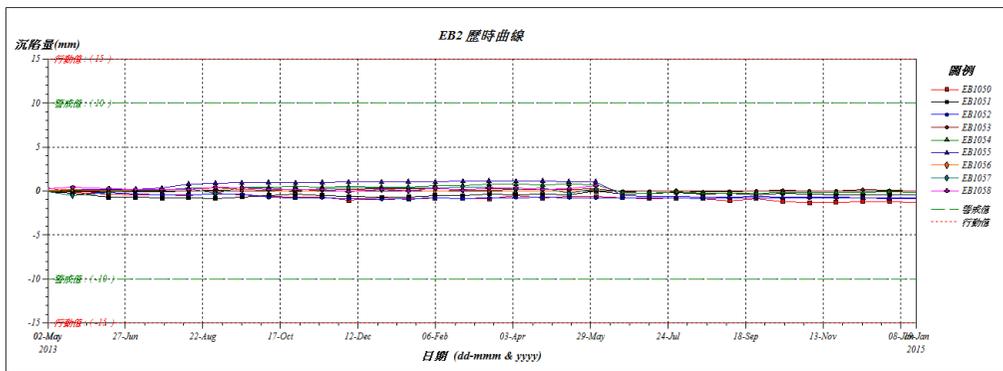


圖 32 儀器編號 ELB1050-1058

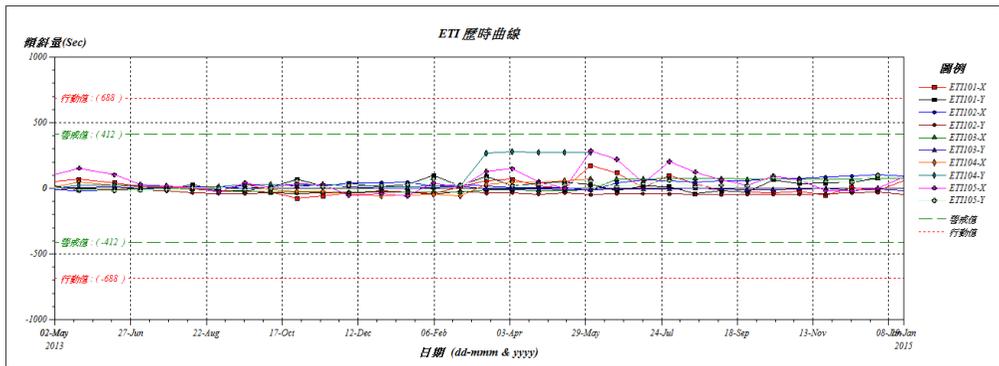


圖 33 儀器編號 ETI101-105

## 四、遭遇困難及解決對策

本工程托底換柱作業過程中，承包商施作原帽樑鋼筋位置經探測後，並將表層混凝土打除後鋼筋位置如圖 34 所示，發現鋼筋過密提出若依原設計植筋量 156 支，工程施作困難且有安全之疑慮。



圖 34 原帽樑鋼筋位置

經與設計單位檢討後決議採以保留西側(道路側)原墩柱，並將新墩柱與既有帽樑以 hinge 方式銜接如圖 35 所示，植筋量改為 42 支，費用減少 70 萬，工期減少 15 天，其分析結果如下述：

(1)檢核原有帽樑配筋部分：

$$\text{帽樑主筋} = 134.34\text{cm}^2 / 748.88\text{cm}^2 = 0.18$$

$$\text{帽樑箍筋} = 15\text{cm} / 63.15\text{cm} = 0.24$$

檢核結果：OK

(2)檢核加厚基礎及原有基樁：

$$\text{基樁軸力} = 316.53\text{tf} / 400\text{tf} = 0.79(\text{常時})$$

$$\text{基樁剪力} = 122.25\text{tf} / 125\text{tf} = 0.98(\text{地震時})$$

$$\text{基樁主筋} = 63.85\text{cm}^2 / \text{cm} / 67.83\text{cm}^2 / \text{cm} = 0.94(\text{長向底層筋})$$

檢核結果：OK

(3)原墩柱設計：

$$\text{墩柱主筋} = 125.98\text{tf-m} / 592.41\text{tf-m} = 0.21$$

$$\text{墩柱箍筋} = 37.3\text{tf} / 1590.5\text{tf} = 0.02$$

檢核結果：OK

(4)新墩柱設計：

$$\text{墩柱主筋} = 901.56\text{tf-m} / 8868.4\text{tf-m} = 0.10$$

$$\text{墩柱箍筋} = 777.6\text{tf} / 3182.5\text{tf} = 0.24$$

檢核結果：OK

一般設計地震力下上構傳遞下來的水平力 = 263.8tf；柱底產生塑鉸，所需之剪力(推算至柱頂的水平力) = 944.3tf：

$$\text{摩擦力提供 } \varphi * f' = 303.4\text{tf} (> 263.8\text{tf})$$

$$\text{剪力鋼筋 42-D32 提供之剪力} = 732.31\text{tf}$$

$$\text{檢核結果：} (944.3 - 303.4)\text{tf} / 732.31\text{tf} = 0.88 < 1(\text{OK})$$

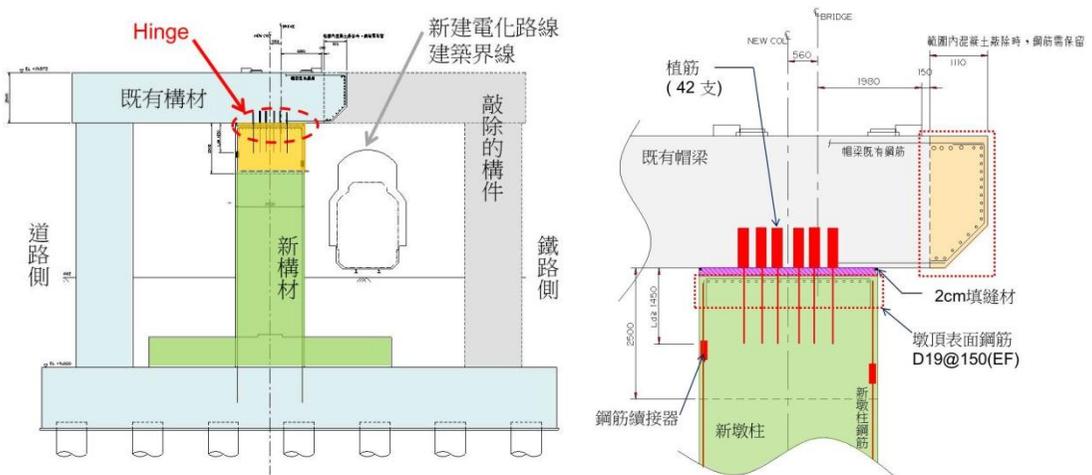


圖 35 原帽梁鋼筋位置

## 五、結論

- (1)大中陸橋托底工程(PF01 橋墩)自 102 年 8 月間開始施工後，依左營計畫 FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程整體工程進度，完成橋墩托底工程並移除既有橋墩後，順利完成臺鐵隧道引道段結構，陸續於 103 年 10 月份完成周邊道路復舊、隧道結構及所有托底工程作業。
- (2)施工過程中，PF01 橋墩之沉陷量、傾斜量，均符合原設計要求，期間由構築新單柱橋墩至設置鋼構暫撐架及臨時支撐架，再由千斤頂頂升後接續施作既有帽梁植筋及新單柱橋墩之結合後，於原墩柱切割時，因應力仍由原樁帽承受，可避免由鋼架直接承受所發生之撓度，造成橋梁變位過大；同時配合監控儀器，以控制所需轉移實際載重，及有效管控橋面及墩柱之變位，並順利完成整體載重轉移作業。
- (3)整體托底施工過程中，原設計切除 PF01 墩柱兩側結構，因施工遭遇之困難及考量降低大中路快速道路匝道(高鐵左營車站連絡道)通行風險，僅切除東側部位柱中心延伸至帽梁側墩柱結構，減少橋梁之沉陷及變位，提升本標整體工進進展。

## 參考文獻

1. 交通部鐵路改建工程局(2011)，「臺鐵捷運化-左營地區鐵路地下化工程 FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程」，細部設計圖第一冊土木工程。
2. 交通部鐵路改建工程局(2011)，「臺鐵捷運化-左營地區鐵路地下化工程 FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程」，細部設計圖第二冊結構工程。
3. 交通部鐵路改建工程局(2014)，「臺鐵捷運化-左營地區鐵路地下化工程 FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程」，大中路高架托底換柱切割計畫書核定版。

4. 交通部鐵路改建工程局(2015)，「臺鐵捷運化-左營地區鐵路地下化工程 FCL711Z 標新庄子路至中華一路段臺鐵鐵路地下化(明挖覆蓋)工程」，FCL711 標自動化監測系統-總結報告。

# 變電站一對一監控系統更新工程之研析

## A Study of Updating for One-By-One Remote Monitoring System at TRA Transformer Stations

陳瑞聰 Chen, Ruei-Cong<sup>1</sup>

王顯裕 Wang, Sian-Yu<sup>2</sup>

王祥銘 Wang, Shiang-Ming<sup>3</sup>

地址：臺南市東區前鋒路 155 號

Address : No.155, Cianfong Rd., East Dist., Tainan City 70145, Taiwan (R.O.C.)

電話 (Tel) : (06)235-0142

電子信箱 (E-mail) : 254354@yahoo.com.tw

### 摘要

臺鐵既有一對一就地控制系統為客製化之設備，如硬體損壞，無法自行檢修更換，維修成本居高不下，且既有一對一就地控制系統之面板僅顯示當前之CB(Circuit Breaker)點狀態，並無法將變電站開關異常跳脫的時間及順序作記錄。因此規劃本次新型一對一監控系統，除了改善上述缺點外，並透過光纖網路設備即能於各分駐所立即得知變電站開關異常跳脫的警報訊息及短路電流值，以利值班人員能立即有效的掌握變電站端的異常狀況並及時研判事故地點範圍，縮短故障搶修的時間，迅速送電以減少營運損失。

**關鍵詞：**一對一就地控制系統、變電站、短路電流

---

<sup>1</sup>臺鐵局 電務處 副處長

<sup>2</sup>臺鐵局 臺南電力段 副段長

<sup>3</sup>臺鐵局 臺南電力段 助理工務員

## Abstract

*Taiwan Railway existing one by one remote monitoring system is for customized equipment , such as hardware fault , themselves unable to repair and replacement , high maintenance costs , and the existing system of one by one remote monitoring panel displays only the current Circuit Breaker point status , and the time and the order can not be an exception transformer stations switch tripping make record , so planning for this new one by one remote monitoring system , In addition to improving the above drawbacks outer , and through the fiber-optic network equipment that is able to switch around the transformer stations immediately that abnormal tripping of alarm messages and short-circuit current value , duty personnel to effectively grasp the abnormal situation immediately transformer stations , and Timely judgments accident location range , shorten the fault repair time , rapid transmission to reduce operating losses.*

**Keywords** : *one by one remote monitoring system 、 transformer stations 、 short-circuit current*

## 一、前言

臺鐵變電站共 24 個，係無人變電站，平時電力系統之監控(Supervisory Control And Data Acquisition : S.C.A.D.A) 均集中於局本部綜合調度所電力調配室辦理。惟當發生通訊線路斷線、品質不良或調配室主站、各變電站外站等傳輸設備異常時，S.C.A.D.A 系統即無法監控，此時調配員應即指令各段、所值班人員，將一對一就地控制系統啟動，改採間接監控方式，以代替 S.C.A.D.A 監控功能。

既有一對一就地控制系統包含主站端和變電站端兩套設備，如圖 1 所示。變電站端可蒐集本變電站端之各個 CB 點之狀態。此狀態資訊轉換為數位訊號後，藉由 RS-232 透過 MODEM 傳到主站之 RTU(Remote Terminal Unit)主機，反應至操作面板上。

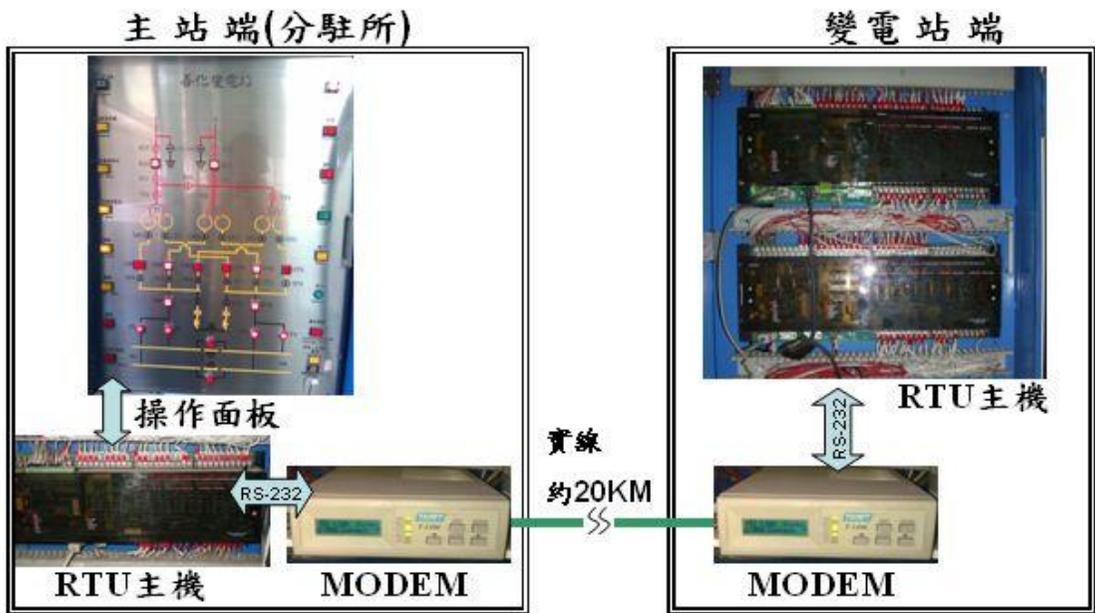


圖 1 既有一對一就地控制系統圖

既有一對一就地控制系統最多可同時監控 22 個 CB 點之狀態，同時也能自動偵測變電站端 DC 及 AC 電源是否異常、通信中斷或外站異常等警報。

## 二、取代既有一對一就地控制系統之緣由

既有一對一就地控制系統，其主站端之操作面板，如圖 2 所示。其缺點為僅能顯示當時之 CB 點狀態，並無法將開關異常跳脫的時間及順序作記錄；也無出口端故障電流之顯示，致無法立即得知開關異常跳脫的原因及故障地點。既有存在之系統缺點，使值班人員無法立即有效的掌握變電站端的異常狀況，可能因而導致延誤送電及故障查修的時間。

又既有一對一就地控制系統，為客製化建置之設備，由於建置年份早已超過保固期，同時原廠配件也已停產，如硬體損壞，零配件取得困難，將無法自行檢修更換。因此規劃新型一對一監控系統，以改善上述缺點。

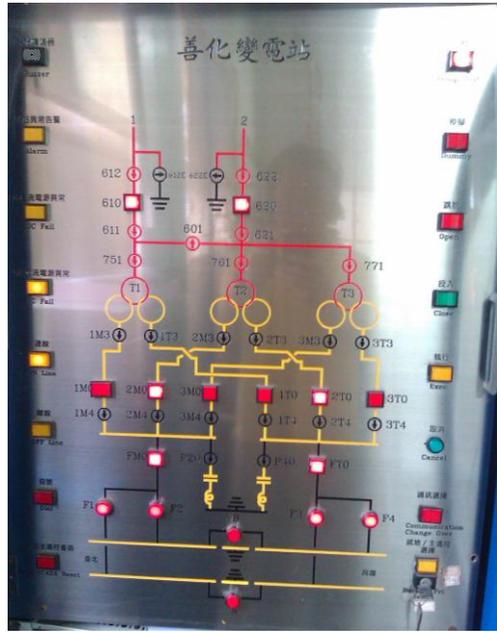


圖 2 既有一對一就地控制 主站端操作面板

### 三、 新型一對一監控系統架構

臺鐵變電站的控制概分為現場控制、轄區各分駐所控制及電力調配室控制三個層級，控制權優先順序則以電力調配室為優先，其次為各分駐所控制，最後為現場控制。電力調配室與分駐所可同時監控但不可同時擁有操作權。規劃之新型一對一監控系統，如圖 3 所示，包括網路設備、可程式監控處理設備、中央監控及現場監控機組等設備，同時透過變電站與分駐所間佈放單模光纖電纜進行兩端之監控系統連結，本局提供必要之網路 IP 位址與本案連線，以達到本局區域網路之整體架構。

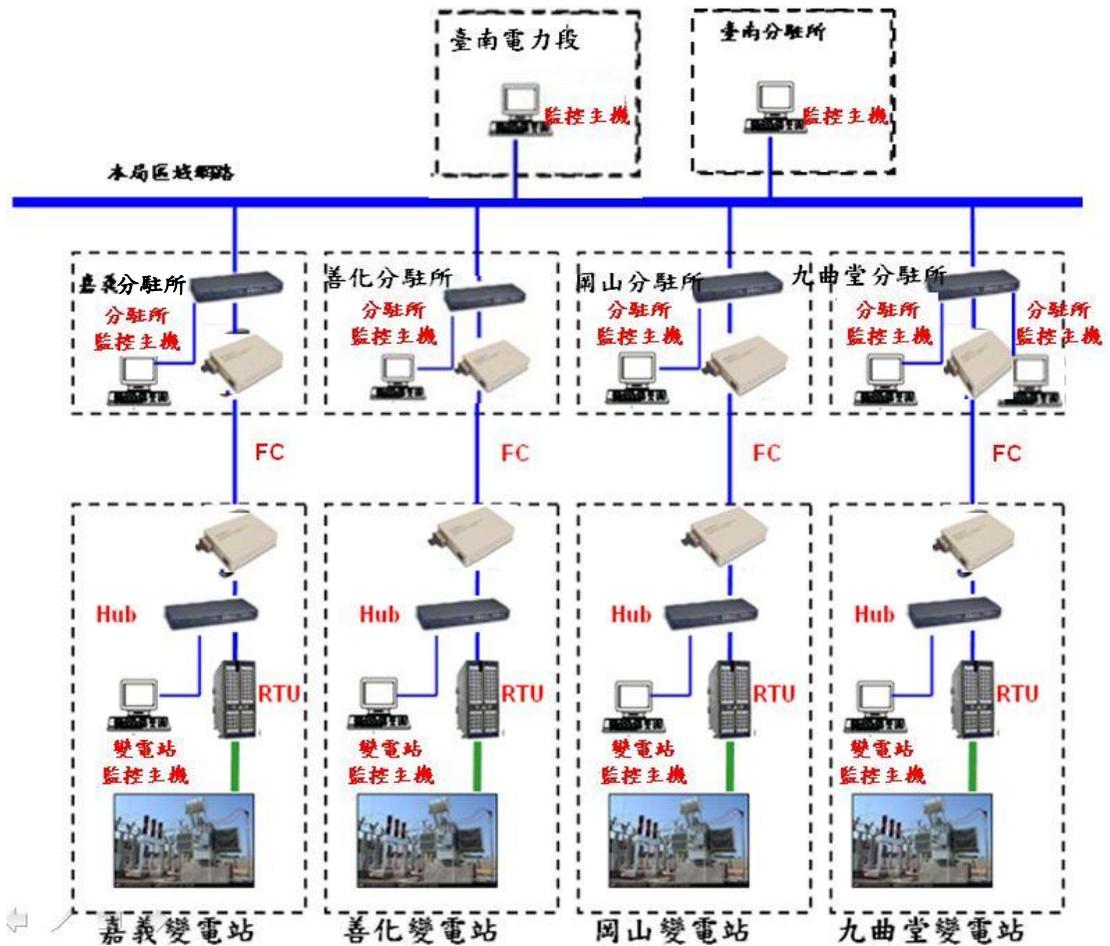


圖 3 新型一對一監控系統 架構圖

1. 各變電站:機櫃 (如圖 4)、微電腦 PLC/RTU (如圖 5)、數位過電流保護電驛 (如圖 6)、光電轉換器、Switch Hub、變電站監控主機 (如圖 7)、Web 圖控軟體。
2. 各分駐所控制室: 光電轉換器、Switch Hub、分駐所監控主機、手提移動式監控主機。
3. 系統圖: 共 4 台變電站監控主機、5 台分駐所監控主機及 2 台手提移動式監控主機。



圖 4 機櫃



圖 5 微電腦 PLC/RTU



圖 6 數位過電流保護電驛



圖 7 變電站監控主機

新型一對一監控系統所使用之 Web 圖控軟體，如圖 8 所示，為全 Browser-Based 界面的圖控軟體（SCADA/ MMI），可以透過 Internet 進行遠端監控即時和歷史趨勢圖、警報記錄及報表...等，而且允許線上管理員更改或增加控制點名稱，並能立即得知變電站開關異常跳脫的警報訊息及出口端短路電流值。

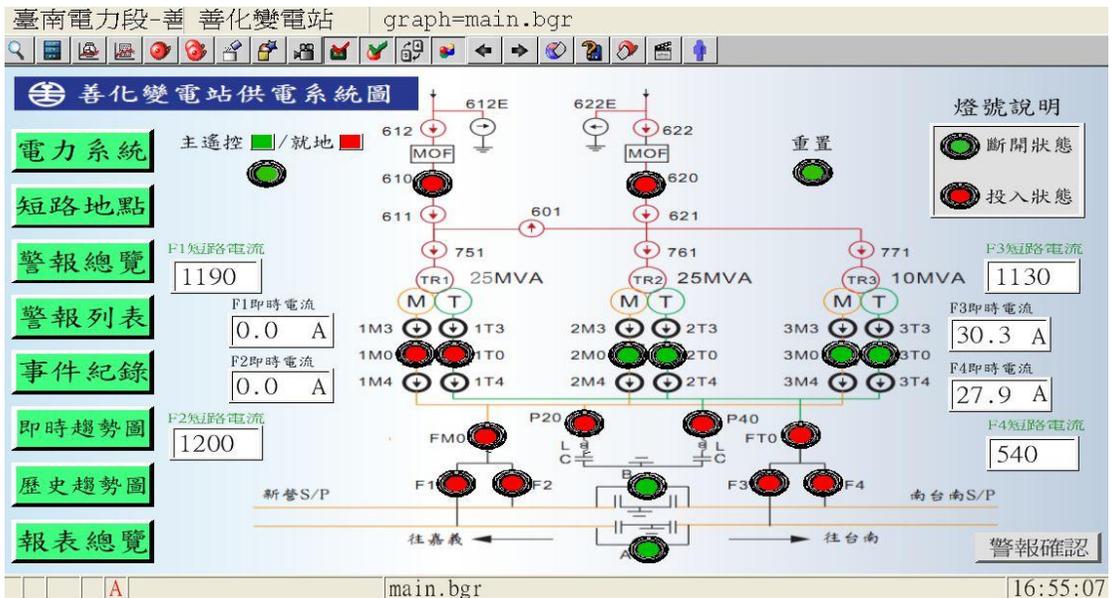


圖 8 Web 圖控軟體

新型一對一監控系統所使用之 Web 圖控軟體，適用於 Microsoft Windows series 之作業平台，該圖控軟體與 PLC/RTU 相容，為全中文化(包括 Menu bar，Title Bar，Dialog Box，…等等)操作界面，且為市售標準發展版之圖控軟體，可遠端監視控制，並包含資訊安全及管理權限規劃。依不同之操作、管理人員權限分配及管控現場作業員或遠端管理人員可得監視、操作之範圍，因此同仁皆可於全臺灣有局網之電腦使用 IE 瀏覽軟體依規劃之不同權限進行登入監控，例如：臺北調配室也能透過局網之電腦登入本段新型一對一監控系統。

## 四、新型一對一監控系統之設備配置

轄區共四處變電站，其相關之設備配置內容分別如下表所示：

| 一、嘉義變電站   | 二、善化變電站   | 三、岡山變電站   | 四、九曲堂變電站   |
|---|---|---|--|
| 1. 新設微電腦 PLC/RTU 設備，WEB 圖控軟體設計及線路整合變電設備介面。<br>2. 監控系統連結，變電站與嘉義分駐所間佈放單模光纖電纜(中途接續)。 | 1. 新設微電腦 PLC/RTU 設備，WEB 圖控軟體設計及線路整合變電設備介面。<br>2. 監控系統連結，變電站與善化分駐所間佈放單模光纖電纜。 | 1. 新設微電腦 PLC/RTU 設備，WEB 圖控軟體設計及線路整合變電設備介面。<br>2. 監控系統連結，變電站與岡山分駐所間佈放單模光纖電纜。 | 1. 新設微電腦 PLC/RTU 設備，WEB 圖控軟體設計及線路整合變電設備介面。<br>2. 監控系統連結，變電站與九曲堂分駐所間佈放單模光纖電纜。 |
| 一、嘉義分駐所   | 二、善化分駐所   | 三、岡山分駐所   | 四、九曲堂分駐所   |
| 1. 新設監控主機連接至遠端對應變電站。<br>2. 本局提供必要之網路 IP 位址，與本案連線。                                 | 1. 新設監控主機連接至遠端對應變電站。<br>2. 本局提供必要之網路 IP 位址，與本案連線。                           | 1. 新設監控主機連接至遠端對應變電站。<br>2. 本局提供必要之網路 IP 位址，與本案連線。                           | 1. 新設監控主機連接至遠端對應變電站。<br>2. 本局提供必要之網路 IP 位址，與本案連線。                            |

光纜佈線範圍分別為(1).嘉義變電站內一對一監控設備至嘉義分駐所約 4000 公尺；(2).善化變電站內一對一監控設備至善化分駐所約 600 公尺；(3).岡山變電站內一對一監控設備至岡山分駐所約 2000 公尺；(4).九曲堂變電站內一對一監控設備至九曲堂分駐所約 300 公尺。以上之佈線皆以既有電務纜線槽為主要佈線路徑。採用單模光纖電纜規格符合臺鐵局充膠單模波紋鋼管規範之驗收標準。



圖 9 佈放單模光纖電纜



圖 10 單模光纖電纜中途接續



圖 11 將單模光纖電纜與本局連線

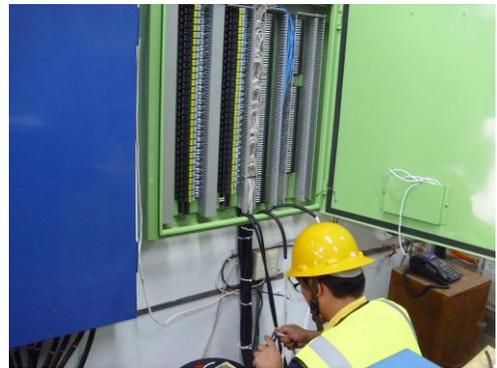


圖 12 變電設備介面之線路整合

## 五、 新型一對一監控系統之功能介紹

### 5.1 主畫面監控資訊：

新型一對一監控系統之主畫面如圖 14 所示，主畫面中顯示了變電站站場之開關配置及目前各 CB 開關之狀態，同時各 CB 開關可進行控制，另外操作人員還能經由主畫面立即得知 F1、F2、F3、F4 饋線開關之即時電流及短路電流值，以立即判斷造成短路之事故地點。

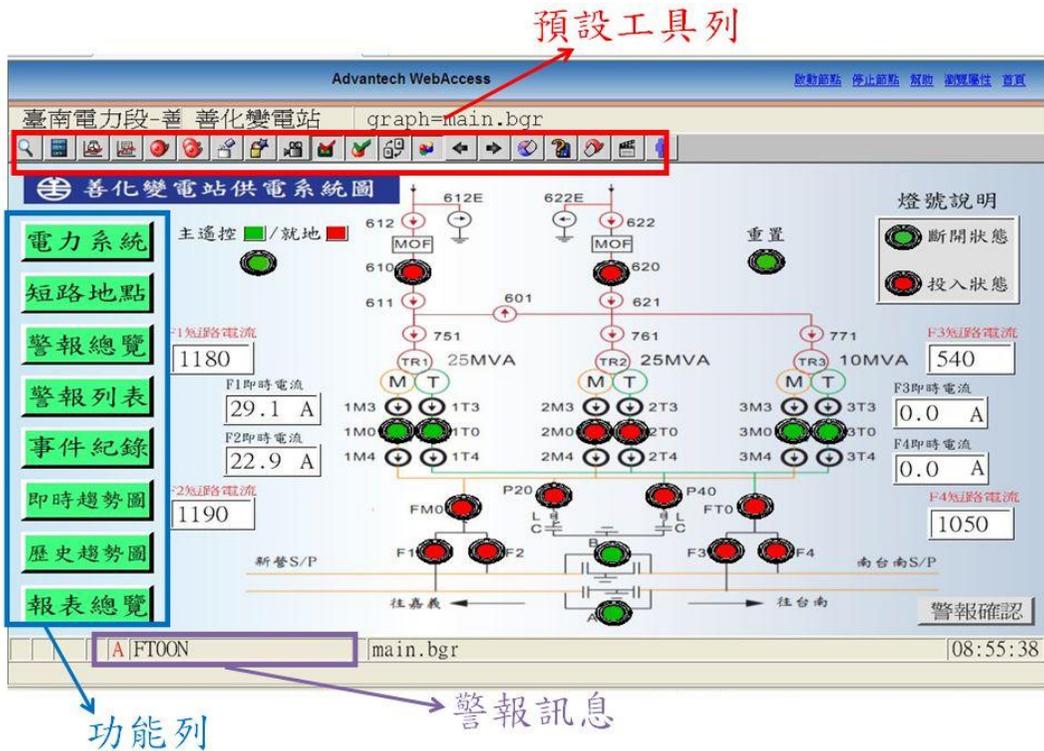


圖 14 新型一對一監控系統之主畫面

如圖 15 所示為狀態改變頁面，可於畫面中看到投入/斷電 旋鈕，若要改變該開關狀態，點擊該旋鈕並按下輸入即可切換狀態。

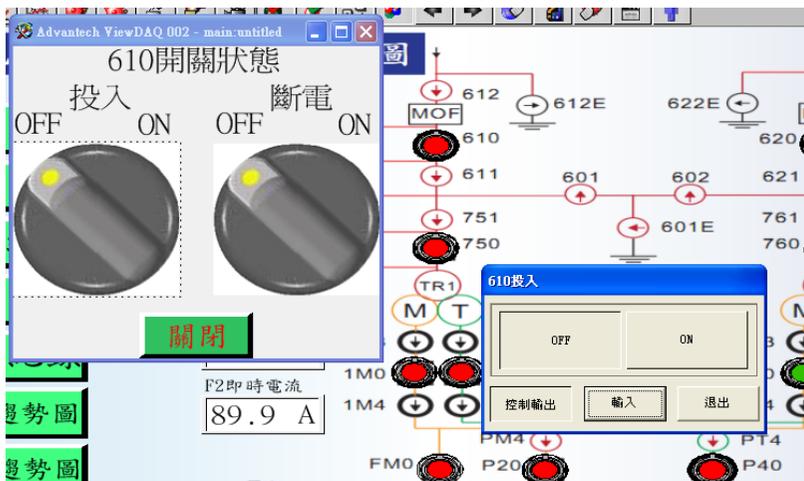


圖 15 開關控制畫面

## 5.2 短路地點判別：

該短路電流值之取得方式：係由新建置之符合智慧型電網 IEC61850 之數位過電流保護電驛(廠牌 MG 型號 S20)，透過 RS-485 通訊方式與 PLC/RTU 之通訊介面模組作連接，如圖 16 所示，其通訊介面模組之單一通訊鏈路可提供 8 臺以上之電力電驛，其通訊速率為 9600bps 以上之要求。



圖 16 過電流保護電驛與通訊介面模組連接方式

當變電站發生跳電時，操作人員點選主畫面左方之功能列表[短路地點]按鈕，可立即得知該筆短路電流值所對應之電車線事故地點及里程，如圖 17 所示，再派員至該地點巡檢，若發現設備異常即予更新或修護，故此新增之功能除可大幅縮短故障點查修時間外，並可降低斷線風險，增加供電系統之可靠及穩定性。

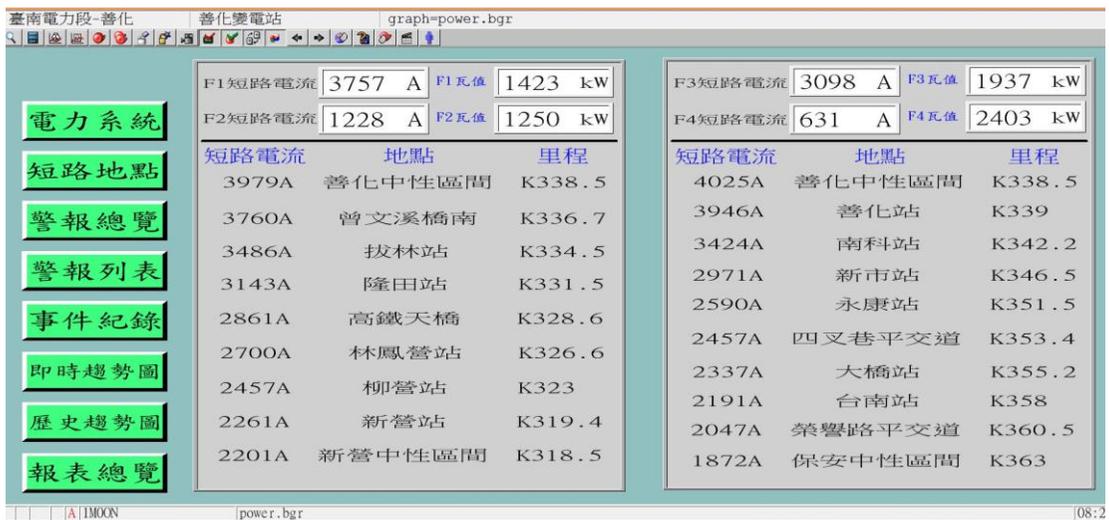


圖 17 新型一對一監控系統之短路地點畫面

### 5.3 歷史警報紀錄：

此新型一對一監控系統之另一個新增之功能為提供各項作業歷史紀錄及查詢功能，如圖 18 所示，包含登入紀錄、操作紀錄、異常紀錄、警報紀錄等，該報表總覽之用途可讓值班人員於變電站有任何 CB 開關跳脫時立即進入警報清單畫面，透過該警報清單畫面得知 CB 開關異常跳脫之原因，使值班人員不需趕往變電站即能在第一時間回報主管其變電站 CB 開關異常跳脫原因及事故排除預估時間等訊息。

| WebAccess警報紀錄  |           |          |               |    |                            |      |       |    |      |                 |
|----------------|-----------|----------|---------------|----|----------------------------|------|-------|----|------|-----------------|
|                |           |          |               |    |                            |      |       |    |      | 新的查詢 列印 快速入門 幫助 |
| (頁:1 / 總計頁數:1) |           |          |               |    |                            |      |       |    |      |                 |
| 警報等級           | 日期        | 時間       | 測點名稱          | 描述 | 事件                         | 警報群組 | 管理員名稱 | IP | 工程名稱 | 節點名稱            |
| 1              | 2013/12/3 | 16:11:56 | Line1過電流延時跳脫  | DI | Line1過電流延時跳脫 - 數位量 警報 (1)  | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 16:11:56 | Line1過電流瞬時跳脫  | DI | Line1過電流瞬時跳脫 - 數位量 警報 (1)  | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 15:47:45 | Line1過電流接地延時跳 | DI | Line1過電流接地延時跳 - 到正常 (0)    | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 15:47:43 | Line1過電流接地延時跳 | DI | Line1過電流接地延時跳 - 數位量 警報 (1) | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 15:47:39 | Line1過電流瞬時跳脫  | DI | Line1過電流瞬時跳脫 - 數位量 警報 (1)  | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 15:47:36 | Line1過電流延時跳脫  | DI | Line1過電流延時跳脫 - 警報確認        | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 15:24:39 | Line1過電流延時跳脫  | DI | Line1過電流延時跳脫 - 數位量 警報 (1)  | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 14:9:59  | 一對一交流電源故障     | DI | 一對一交流電源故障 - 警報確認           | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 14:9:59  | 一對一直流電源故障     | DI | 一對一直流電源故障 - 警報確認           | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 14:9:32  | 一對一交流電源故障     | DI | 一對一交流電源故障 - 到正常 (0)        | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 14:9:31  | 一對一直流電源故障     | DI | 一對一直流電源故障 - 到正常 (0)        | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 14:9:4   | 一對一直流電源故障     | DI | 一對一直流電源故障 - 數位量 警報 (1)     | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 14:9:4   | 一對一交流電源故障     | DI | 一對一交流電源故障 - 數位量 警報 (1)     | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 13:25:26 | Line1過電流延時跳脫  | DI | Line1過電流延時跳脫 - 警報確認        | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 13:25:26 | 一對一交流電源故障     | DI | 一對一交流電源故障 - 警報確認           | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 13:25:26 | 一對一直流電源故障     | DI | 一對一直流電源故障 - 警報確認           | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 13:25:21 | Line1過電流延時跳脫  | DI | Line1過電流延時跳脫 - 到正常 (0)     | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 13:25:18 | Line1過電流延時跳脫  | DI | Line1過電流延時跳脫 - 數位量 警報 (1)  | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 11:56:48 | 一對一直流電源故障     | DI | 一對一直流電源故障 - 數位量 警報 (1)     | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |
| 1              | 2013/12/3 | 11:56:48 | 一對一交流電源故障     | DI | 一對一交流電源故障 - 數位量 警報 (1)     | 0    |       |    | 台鐵教學 | 教學站             |

圖 18 新型一對一監控系統之歷史警報清單畫面

### 5.4 電流趨勢圖繪製：

此新增之功能可將 F1、F2、F3、F4 饋線開關之即時電流繪製成趨勢圖，如圖 19 所示。可同時顯示 12 筆，每筆資料均用不同的顏色做區隔，可選擇全

部顯示或單獨顯示，並可改變電流振幅大小及時基寬度，利於研判；此趨勢圖功能，除可提供更快速的變電站供電區間之各節點饋電流大小俾利進行負載電流分析外，亦可評估末端電壓降是否會影響電力列車之運行。



圖 19 新型一對一監控系統之電流趨勢圖畫面

下圖 20~23 為 104 年農曆春節(104.02.19)單日 F1、F2、F3、F4 饋線開關之歷史電流值，該資料由新型一對一監控系統所匯出，可進一步分析各饋線開關之平均及單日最大電流值。

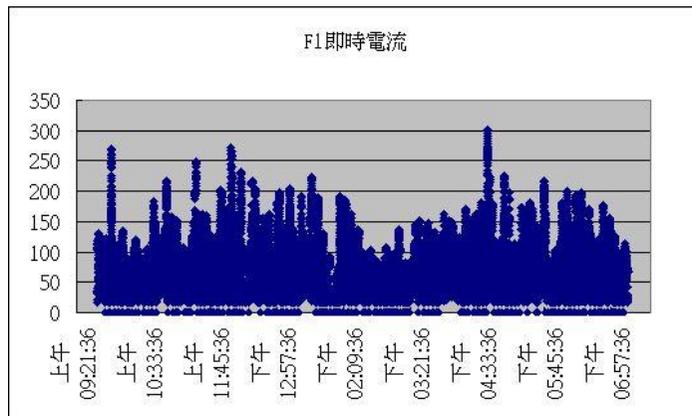


圖 20

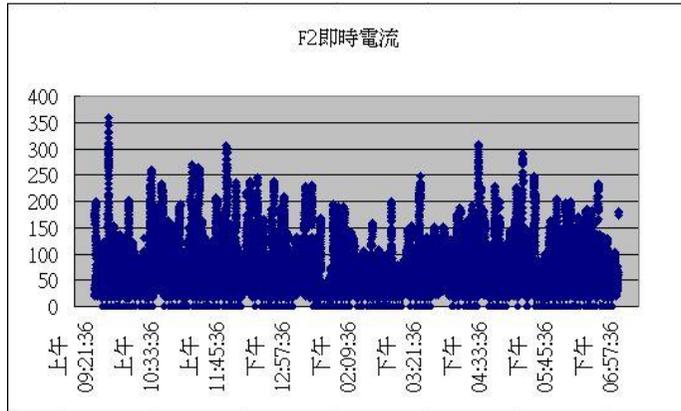


圖 21

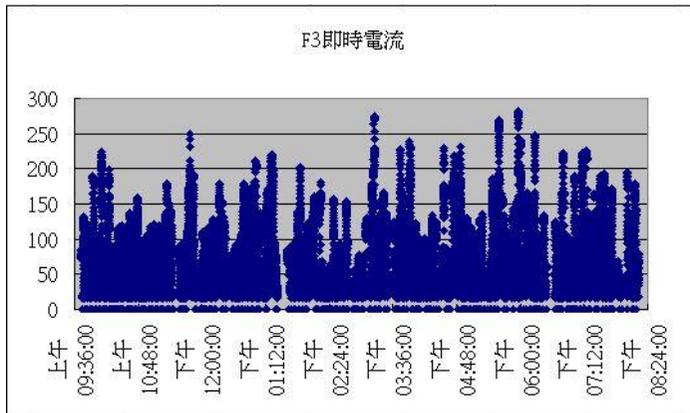


圖 22

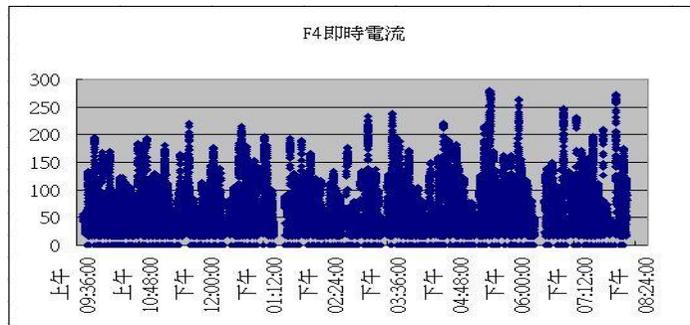


圖 23

彙整(104.02.19)各饋線開關之平均及單日最大電流值如下：

|    | 平均值   | 最大值  |
|----|-------|------|
| F1 | 61.8A | 302A |
| F2 | 68.3A | 360A |
| F3 | 62.2A | 282A |
| F4 | 57.4A | 280A |

將南、北邊之最大值相加  $F1+F2=302A+360A=662A$ 、 $F3+F4=282A+280A=562A$ ，皆符合電車線系統雙軌之最大承受負載電流 1200A 以下，電車線系統的阻抗(Z)雙軌為  $0.097+j0.255=0.273 \Omega /km$ ，單軌為  $0.182+j0.456=0.491 \Omega /km$ ，再依臺鐵約每 40 公里設置一變電站的原則，可分析電車線系統的壓降如下：

$$V_d = I \times Z \times L = 662A \times 0.273 \Omega /km \times 20km = 3.6kV \text{-----}(1)$$

$V_d$ ：電車線系統的壓降

$I$ ：電車線系統的最大負載電流( $F1+F2$  之最大電流值)

$Z$ ：電車線系統的阻抗

$L$ ：電車線從變電站至線路末端的長度(約 20km)

$$\text{電車線在中性區間處的電壓} = 26.125 - 3.6 = 22.525kV$$

由實際測得的饋線開關電流值代入計算式，其結果符合臺鐵的規定(>19kV)，另外由新型一對一監控系統所紀錄之負載電流值，再依臺鐵各型 EMU、TEMU 電聯車牽引電流，能更精確的規劃出該區間可容納的列車班次。

## 六、新舊一對一監控系統之比較

新舊一對一監控系統之比較，如圖 24 所示。新型一對一監控系統所使用之 Web 圖控軟體可提供各項作業歷史紀錄及查詢功能，包含登入紀錄、操作紀錄、異常紀錄、警報紀錄、回報及交班紀錄等，並能立即得知變電站開關異常跳脫的警報訊息及出口端短路電流值。

新設計亦解決既有一對一就地控制系統為客製品之缺點，以利往後軟、硬體上之維護。未來在變電站如有需要增加開關、警報等點位，同仁皆可自行新增擴充，無需另購軟、硬體設備，以提升系統使用方面之靈活性。

| 項  | 說 明              | 既有  | 新型     |
|----|------------------|-----|--------|
| 1. | 操作人員登錄、操作之記錄     | X   | V      |
| 2. | CB 及 S.W. 跳脫時間記錄 | X   | V      |
| 3. | 報表列印             | X   | V      |
| 4. | 異常跳脫警報音          | V   | V      |
| 5. | 操作容易度            | 簡單  | 電腦基本操作 |
| 6. | 故障電流值            | X   | V      |
| 7  | 市場流通性            | 客制品 | 規格品    |
| 8. | 局網任何地點可調閱資料      | X   | V      |
| 9. | 可擴充性             | X   | V      |

圖 24 新舊一對一監控系統之比較表

## 七、結論

此新型一對一監控系統之電子式電驛資料之擷取及圖控軟體的設計架構，為臺鐵局創新作法，透過光纖網路設備更可於全臺灣有局網之電腦位置，使用 IE 瀏覽軟體依不同之操作、管理人員權限進行登入監控，以立即得知變電站開關異常跳脫的警報訊息及短路電流，藉此快速並有效的掌握變電站端的異常狀況及故障點，進而達到節省本局人力及查修時間之實際效益。

未來將此新型一對一監控系統水平展開至各變電站，以達臺鐵局電力經濟和電力規劃之全面性。透過新型一對一監控系統所取得之各饋線開關之平均及單日最大電流值，研討在滿足用電負載需求的前題下，選擇變電站單、雙變壓器之供電模式，除了使列車在更穩定且經濟的情況下運轉，亦能對減緩溫室效應及提高供電可靠度、減少供電成本有正面的助益。

## 參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局(1998)，臺鐵電化路線電力供應概要。
2. 交通部臺灣鐵路管理局電務處變電站乙、丙種保養表。
3. 陳國財，配電監控與圖資系統之整合效能評估，國立中山大學電機工程研究所碩士論文，中華民國八十五年五月。
4. 陳景富，配電網路電力品質監測系統之通訊效能評估，國立中山大學電機工程研究所碩士論文，中華民國九十年六月。

# 首次應用移動式門型構架吊車於鐵道工程

## Application of A Portable Gantry for the Railway

### Engineering

王振豐 Wang,Chen-Feng<sup>1</sup>

聯絡地址：26043 宜蘭縣宜蘭市宜興路一段 236 號

Address: No.236, Sec. 1, Yixing Rd., Yilan City, Yilan County 26043, Taiwan  
(R.O.C.)

電話(Tel)：(03)9331203 轉 24

電子信箱(E-mail)：0405316 @railway.gov.tw

### 摘要

平溪線位於多雨區，導致鐵道橋之鋼梁鏽蝕嚴重，已影響行車安全，故本局於辦理發包改建，抽換鋼梁，以加強橋梁結構強度。而本工程位於山區，道路狹小，甚至無聯外通道，大型機具亦無法到達現場施作，若新闢施工作業道路，除了產生額外的施工成本，也將對環境及生態造成嚴重損害，有鑒於此，本局首創以移動式門型構架吊車，在不破壞原有環境原則下，克服地形障礙，完成鋼梁橋抽換作業，並大幅減省施工成本。

**關鍵詞：**移動式門型構架吊車

---

<sup>1</sup> 臺鐵局 宜蘭工務段 副工程司兼副段長

## **Abstract**

*Pingxi Line is located in drippy area that causes corrosion of steel bridge beams and this corrosion seriously affects traffic safety. A project was carried out to strengthen and improve the load capability of steel bridges by replacing the beams. However, the construction site is in the mountainous areas with narrow roads or even without roads, large equipment is impossible to be transported. If a new road is built, there would be new extra construction cost and the environment and ecology would be damaged.*

*The TRA initiated the portable gantry crane in this project in order to overcome the obstacles of terrains whilst saving the construction cost and finish the replacement of steel bridge beams without damaging the original environment.*

**Keyword:** *Locomotive Crane*

## 一、前言

平溪線主要是沿山體建成，因此建有多處橋梁穿越河谷，而平溪鐵道主要建有 5 座鋼梁橋，分別為烏塗窟橋、幼坑橋、平溪橋、南嶺腳寮橋及石底橋，相繼建於民國 20 年左右。近年發現各橋鋼梁嚴重鏽蝕，已達無法保養之狀況，為維護行車安全，故必須立即辦理鋼梁橋抽換作業，但狹長的河谷地形，使大型吊車及貨車無法到達施工地。為克服此困難點，本案以使用移動式門型構架吊車，在既有軌道上運送新組鋼梁，並於施工地點實施鋼梁吊放作業，俾順利完成鋼梁橋更新工程。



圖 1-1 平溪橋(左)及幼坑橋(右)河谷地形



圖 1-2 各橋鋼梁嚴重鏽蝕情況

## 二、移動式門型構架吊車介紹

移動式門型構架吊車主要分為三部分，分別為支撐部、吊懸吊部及主體部，支撐部油壓伸縮門型鋼架之設計載重採 40 噸重，其寬度可安全通過窄小隧道及車站月台，結構上則採用 SAP2000 結構分析軟體進行安全性檢核，而整體起吊能力，則是委託中華起重升降機具協會進行荷重實驗確認，經現地試驗，可吊起 50 公噸之重物。

抽換鋼梁橋主要工序為下，車體利用平車配合動力推車於既有軌道行走。當到達施工處時，則展開支撐部於適當位置，以承載整體重量；再利用懸吊部起吊施工材料佈放於預定位置；而主體部則是吊車主要鋼梁結構及連結支撐與懸吊兩者之機構。



圖 2-1 移動式門型構架吊車各部件說明



圖 2-2 移動式門型構架吊車試驗情形



圖 2-3 車體利用平車行車情形

### 三、鋼梁橋抽換施作工法

#### 3.1 工程概述

平溪線鐵路位於新北市瑞芳區，從宜蘭線三貂嶺車站出岔，沿著基隆河畔蜿蜒並緊臨新北市 106 號道路鋪設，沿途經過大華、十分、望古、嶺腳、平溪及菁桐等站，全長 12.9 公里。本案計有 5 座鋼梁橋進行抽換工程，分別為烏塗窟橋、幼坑橋、平溪橋、南嶺腳寮橋以及石底橋，其施工位置如圖 3-1 顯示。



圖 3-1 施工位置圖

## 3.2施做工法說明

一般置換橋梁，因材料自重大，多為利用大型吊車進行，但平溪線礙於地形因素，導致大型吊掛機具無法使用，因此本案必須另尋新法。經研議以移動式門型構架吊車進行鋼梁抽換工程，其施工順序可分為 16 項步驟，分別說明如下：

1. 移動式門型構架吊車進場：首先門型構架吊車至於軌道移動板車，利用動力車拖至定位後始展開支撐部固定位置。
2. 既有鋼橋錨栓切除及鋼軌扣夾拆除作業：為舊橋梁與橋台之分離前置作業。
3. 軌道鋼軌切除：依舊橋梁各垮長度切除鋼軌，此時每垮橋梁始可個別分離。
4. 下放手拉式吊鍊並扣起舊橋梁：開始分離舊橋梁。
5. 已切除之舊橋梁起吊作業：將吊鍊扣起舊橋梁起吊。
6. 將舊橋梁置放於鐵担車運離現場。
7. 原橋墩面敲除並清理：清理鋼橋支承點，以符合新鋼梁橋高程。
8. 預組完成之新橋梁進場。
9. U 型環抱吊鍊吊掛新橋梁：新橋梁佈放至預定位置上方，並下放手拉式吊鍊佈放新橋梁至預定位置。
10. 無收縮水泥砂漿修補作業：填補新橋梁所要安置之支承點的孔隙，使鋼梁平均受力至橋台或橋墩支承面上。
11. 新橋梁上鋼軌吊起：拆開鋼軌，以利於安裝人行步道 C 型槽鐵。
12. 人行步道 C 型槽鐵安裝：為預留維修道而設置。
13. 吊起之新橋梁鋼軌回鋪作業。
14. 鋼軌扣夾安裝：將回鋪新橋梁之鋼軌固定。
15. 完成鋼梁橋抽換作業：此時移動式門型構架吊車撤場。

16. 鋼梁橋人行步道及欄杆組裝：新設鋼梁橋整體完。



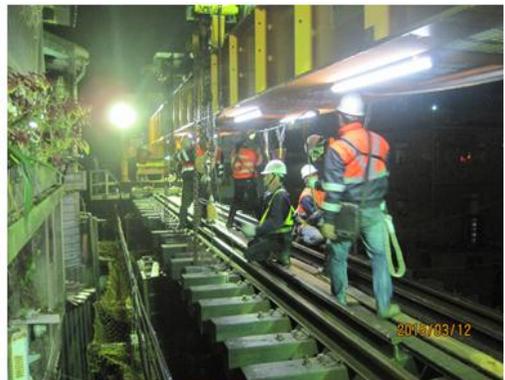
移動式門型構架吊車進場



鋼軌扣夾拆除



既有鋼橋錨栓切除



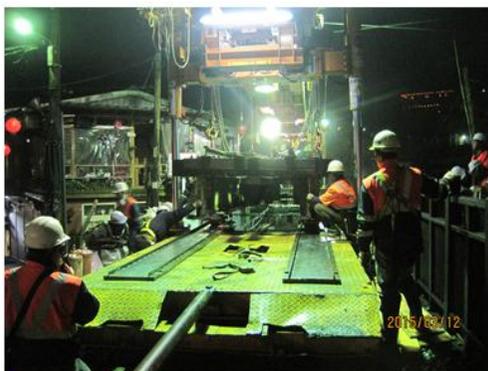
下放手拉式吊鍊並扣起舊橋梁



圖 3-1 施作現況示意圖(1/3)



切除之舊橋梁起吊作業



舊橋梁至放於鐵担車運離現場



原橋墩面敲除並清理



預組完成之新橋梁進場



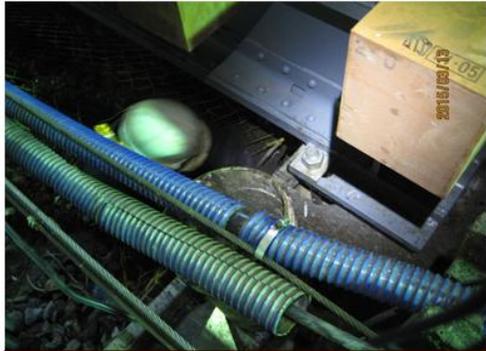
U型環抱吊鍊吊掛新橋梁



無收縮水泥砂漿修補作業(1/2)



圖 3-2 施作現況示意圖(2/3)



無收縮水泥砂漿修補作業(2/2)



新橋梁上鋼軌吊起



鋼軌回鋪及人行步道C型鐵安裝



鋼軌扣夾安裝



完成鋼梁橋抽換作業及撤場



鋼梁橋人行步道及欄杆組裝

圖 3-3 施作現況示意圖(3/3)

## 四、 施做成果

本工程施作位置位於平溪線三貂嶺~菁桐間，鋼橋總重約 310 噸，分為 25 跨的工字型簡支梁，因地形險峻，重型起重機械無法到達現場，使新舊橋梁抽換困難，若開闢便道及便橋，將增加施工成本，同時會破壞原本的生態環境；再則，而平溪線是本局重要旅遊路線，若因施工導致列車停駛，必然會影響本局營運形象及地方觀光收益。考量以上原因，為節省成本、維護環境生態以及居民與觀光客的交通便利性，在以平溪線不停駛原則下，改採夜間施工，並以移動式門型構架吊車克服環境障礙，進行鋼梁橋抽換作業，其施作成果及工法費用比較由以下說明：

### 4.1施作成果

在施工期間由於使用移動式門型構架吊車，因此不需開闢施工便道及架設便橋，減少鋼材使用，降低高耗能煉鋼的碳排放量；且未使用挖路機、打樁機等機械，對於還境所造成之燃油汙染相對較低；而採用夜間施工，可不中斷日間的鐵路運輸營運。綜上可知，本工法成果為省下開路架橋等成本外，並兼顧生態環境，且不中斷鐵路運輸營運，維持地方觀光旅遊發展，這是本工程最大的特色與挑戰。

#### 4.1.1節省經費說明

應用移動式門型構架吊車於本工程，施工時利用本局軌道路線進行施工，可克服地形障礙，所以不須為了興建施工便道及便橋，且吊車及材料易送達施工地點，故工程中所需的腹地可使用本局車站內之土地，將以上可節省的相關經費整理於表 4.1.1-1，共可節省約 3738 萬元。

表 4.1.1-1 節省經費項目

| 節省經費項目 | 節省金額(萬元) |
|--------|----------|
| 施工便道   | 850      |
| 便橋     | 2760     |
| 租用民地   | 200      |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 環境恢復成本                       | 300  |
| 門型構架吊車成本<br>(含吊裝維護及損耗<br>費用) | -330 |
| 合計                           | 3780 |

#### 4.1.2 生態環境保護

工程中未開闢施工便道、便橋，不須砍伐樹木及占用河道，且未使用大型吊車及相關油氣動力機具，因此沒有大量施工機械進場排放廢氣與產生噪音，故該地生態環境未遭受破壞，仍保有原有地貌，也對原生物種干擾降到最低，可保護原有的生態環境。

本工程使用鋼結構橋梁取代鋼筋混凝土橋梁，可減少碳排放量，因生產鋼材所產生的碳排放量遠低於鋼筋混凝土之排放量，且鋼屬可回收材料，是綠色建築材料，降低對於地球之汙染，具生態環境永續發展概念。新設橋梁可回收鋼橋重量約 208.33 噸，相當於減少 376 噸 CO<sub>2</sub> 碳排放，節省 394 噸鐵礦與 110 噸煤礦；舊橋部分鋼材及移動式門型構架吊車其鋼材均可回收，相關效益如表 4.1.2-1 所示。

表 4.1.2-1 節省經費項目

| 可回收材 | 節省鐵礦(噸) | 解省煤礦(噸) | 減少碳排放量(噸) |
|------|---------|---------|-----------|
| 新橋   | 394     | 110     | 376       |
| 舊橋   | 316     | 88      | 301       |
| 門型構架 | 38      | 11      | 36        |
| 合計   | 748     | 209     | 713       |

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

1. 本局鐵道路線多有險峻地形處，造成大型機具進入施工處困難，而本次抽換鋼梁橋導入本工法，可克服地形障礙，取代需大型機具進入現地之傳統吊裝

工法。

2. 本工程未使用大型吊車進場，僅利用既有軌道運送機具料，可省去臨時性施工便道經費並大幅減少工期。
3. 因未興建施工便道及便橋，故不需破壞自然生態，具生態環境保護之效益。
4. 利用既有本局鐵道運輸機具及材料，具有安全迅速之功能。
5. 利用夜間停駛時段施工，日間可正常通車，可不影響台鐵營運並維持地方觀光旅遊發展。
6. 舊橋梁可部分回收再利用，且移動式門型構架吊車鋼材可重複使用或回收再利用，均具綠建材概念。

## **5.2 建議**

1. 未來可應用於其他大型材料搬運需求之工程，是兼顧經濟及環境的友善綠色工法。
2. 本局白天車次頻繁且負有旅運之重任，建議採夜間封鎖路線施工。
3. 本工程抽換兩跨鋼梁橋約耗費 5 至 8 小時，施工前務必審慎評估夜間工作時程，避免造成日間無法即時通車情事發生。

# 鐵路南迴線南太麻里溪橋改建紀要

## A Study of Southern Taimali River Bridge Railway Reconstruction on South-Link Line

陳文德 Chen, Wen-Te<sup>1</sup>

許勝通 Hsu, Sheng-Tung<sup>2</sup>

陳立德 Chen, Li-Te<sup>3</sup>

賴永千 Lai, Yung-Chien<sup>4</sup>

蔡僅彤 Tsai, Chia-Tung<sup>5</sup>

聯絡地址：10041 臺北市北平西路三號

Address: No.3, Beiping W. Rd., Zhongzheng District, Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.)

電話：02-23815226-9069

電子信箱：0411820@railway.gov.tw

### 摘要

鐵路南迴線南太麻里溪橋連續受到 98 年 8 月莫拉克及 99 年 9 月凡那比颱風侵襲，肇致太麻里溪左岸潰堤及鐵路橋台路基沖毀。災後水利署核定「太麻里溪治理計畫」，修正堤防線，左岸往臺東端移設 104 公尺。臺鐵局配合太麻里溪堤防線變更，改建鐵路橋梁從 250 公尺延長為 600 公尺，並以大跨距橋梁跨越河川，擴大通洪斷面並維鐵路安全。

臺鐵局配合政府儘速重建限期完工政策，工務同仁本於使命必達的傳統，研商並採用任何可行方法，全力趕辦橋梁改建。但施工中遭受多重挑戰及不可抗力因素，致前期工程解約後再辦後續工程。改建期間雖經多次颱風、豪雨及地震等天災，施工團隊皆充分協調解決，工程施作嚴謹，品質極佳，圓滿達成橋梁改建任務。

**關鍵詞：**鐵路南太麻里溪橋、重建、逆向工法

---

<sup>1</sup>臺鐵局 工務處 正工程司

<sup>2</sup>臺鐵局 工務處 正工程司

<sup>3</sup>臺鐵局 臺東工務段 施工主任

<sup>4</sup>臺鐵局 臺東工務段 助理工務員

<sup>5</sup>臺鐵局 臺東工務段 工程助理

## Abstract

*The South Taimali River Bridge of the south link line railway suffered continuously the Typhoon Morakot at August of ROC 98 and the Typhoon Fanapi at September of ROC 99, caused the Taimali left bank of the river diked also destroyed the railway bridge abutment embankment. After the disaster, the “Taimali River management plan” decided by the Water Resources Agency, revised the embankment the new line was located forwardly 104 meters on the left bank near Taitung. To fit this plan, the Taiwan Railway Administration Bureau rebuilt its railway bridge, extended from 250 meters to 600 meters, also the long-span bridge across the river, expanded through flood sections and dimensions, to maintain the safety of railway.*

*For matching the rapid reconstruction policies of the government as soon as possible, also the accomplish the mission traditional, the team of the Taiwan Railway Administration Bureau, researched and adopted any possible way to rebuild the bridge. But, during the construction, the team suffered multiple challenges and force majeure, also caused the early termination of contract and managed the latter project. During the following construction, our team faced several typhoon, heavy rain, earthquake, and other disasters, but Taiwan Railway Administration Bureau and our team cooperated best quality and had a successful completion of the rebuilding task.*

**Keyword:** Railway South Taimali River Bridge. Rebuild. Reverse work procedure

## 一、改建緣起

### 1.1 莫拉克颱風災害

98年8月8日莫拉克颱風侵襲，溪水暴漲導致太麻里溪左岸潰堤，造成鐵路南迴線南太麻里溪橋橋台後方引道路基及軌道嚴重流失，鐵路中斷36天。



圖 1-1：莫拉克颱風災害，導致太麻里溪左岸潰堤、鐵路路基流失

莫拉克風災發生後，本局配合政府政策，積極推動橋梁改建，過程如下：

1. 行政院於莫拉克風災後 7 天，跨部會成立風災重建推動委員會，主導災害重建事宜，本局立即研議橋梁改建之可行性，於 98 年 11 月 6 日簽報交通部，爭取經費辦理。
2. 交通部路政司會核後，建議「納入南迴鐵路電氣化綜合規劃併案評估」，本局認為橋梁改建迫在眉睫極力爭取，最終因時程因素未能納入。
3. 98 年 10 月 3 日馬總統到臺東視察風災重建進度，除慰勉臺鐵搶修人員，並承諾地方將加速辦理鐵、公路橋梁改善。
4. 99 年 1 月 18 日臺東縣政府依據經濟部水利署核定之「太麻里溪治理計畫」，擴大太麻里溪河川治理計畫線並重新公告，將原堤防線往臺東端擴大 104 公尺。堤防線移設後，南太麻里溪橋引道路堤段將大幅伸入河道內 75 公尺，汛期時將嚴重影響通洪斷面，危及區域防洪及鐵路行車安全。
5. 太麻里溪治理計畫核定後，「行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會」於 99 年 2 月 22 日、4 月 7 日及 5 月 17 日等歷次重建會議上，多次要求鐵、公路橋梁配合新堤防線位置，儘速辦理重建。

## 1.2 凡那比颱風災害

99 年 9 月 19 日凡那比颱風來襲，再次造成太麻里溪左岸潰堤，沖毀鐵路南太麻里溪橋台路基，造成軌道懸空，鐵路交通中斷 9 天。



圖 1-2：凡那比颱風災害，左岸鐵路橋台及路基流失

凡那比風災發生後，因時隔一年連續 2 次災害，擔心恐成常態，為保障人民生命財產及鐵路運輸安全，在政府重建政策壓力下，橋梁改建工作已刻不容

緩，政策指示過程如下：

1. 99 年 9 月 20 日凡那比颱風之次日，行政院吳院長巡視花蓮縣及臺東縣災情，指示配合太麻里溪堤防法線，將南迴鐵路、臺九線公路改以大跨距橋梁取代現行路堤方式，跨越太麻里溪。
2. 99 年 10 月 7 日第 1429 次交通部部務會報重要決議暨主席指（裁）示事項，略以「…行政院吳院長指示應儘速進行該兩處橋梁改建為長跨距橋梁之相關作業，於明（100）年底前完成橋梁改建」。
3. 99 年 10 月 29 日本局簽報交通部，將本案納入「環島鐵路整體系統安全提昇計畫」內辦理，於 11 月 14 日奉部長批准執行。

## 二、改建經過

本案屬重大橋梁工程，舊橋長度僅 250m，經水利署核定擴大太麻里溪河川治理計畫線位置，新橋長度達 600m，已具相當規模。而工程規模不是問題，行政院及交通部指示於 100 年底完成橋梁改建，才是挑戰。

莫拉克風災後本局即爭取經費改建，並朝委外設計方式推動，但經費遲未核定。凡那比颱風過後交通部才核定橋梁改建經費，簽准時已在 99 年底，爰必須在一年內完成設計、發包及施工完成，且鐵、公路橋梁還要相互配合，期程極為緊迫。太麻里溪鐵公路橋梁改建平面圖，如圖 2-1。



圖 2-1：太麻里溪鐵公路橋梁改建平面圖

## 2-1 自辦設計

為達成交通部及莫拉克風災重建推動委員會限期完工的要求，當時本局的決策是爭取於非汛期（99 年 12 月~100 年 5 月）辦理河中段下部結構施工，並於 100 年底前完工。爰推估設計及緊急發包的工作時間僅 3 個月，若採用委外設計，到設計完成時恐已超出 100 年底，在時程上只有自辦設計才能達成。

## 2-2 參考曾文溪橋設計

採自辦設計，首先面臨的是橋梁設計人才不足的問題，近年來本局的大橋改建均採委託設計方式，工務人員缺少磨練機會，故局內能設計大橋的工程司極少，有經驗技術的工程司也大多身居要職，很難特別騰出專業人力來做設計繪圖。在時間緊迫下，為利設計工進，即從本局曾經改建的橋梁案例經驗上尋求參考。

在新建或改建橋梁的案例分析時，以當時改建中的本局縱貫線曾文溪橋改建工程較為類似，可以供參。曾文溪橋改建工程設計圖說之智慧財產權，依該工程契約第 16 條規定屬本局所有，而該橋是本局委託台灣世曦工程顧問股份有限公司辦理規劃設計，故即洽請該公司提供協助。

經與台灣世曦公司洽商結果，該公司願無償協助提供橋梁設計書圖供參及使用，惟該公司是無償提供協助，並未在設計書圖上簽證。爰本局採取將橋梁的結構計算及水理分析納入發包工程契約內，委由專業技師辦理複核及簽證，以符合公共工程專業技師簽證規則之規定。

由於兩橋考量之活載重及使用之設計規範均相同，橋梁跨距相同為 40m，但連續梁跨數及現場環境狀況並不相同，爰台灣世曦公司再依據太麻里溪的環境現況做調整，修改設計及結構計算，再提供本局參考使用。

## 2-3 工程發包

本局自辦設計完成南太麻里溪橋改建工程，內容如下：

工程名稱：「環島鐵路整體系統安全提昇計畫（南迴線南太麻里溪橋改建工程）」。

工程內容：新橋長 600m，橋寬 12m，橋梁跨徑於河川治理計畫線內有 13 跨 40m 的預力混凝土箱型梁，兩端有 4 跨 20m 的預力混凝土 T 型梁，共計 17 跨。下部結構為圓柱式橋墩及樁基礎，兩端引道

合計 984m。

決標日期：99 年 12 月 9 日

承攬廠商：全聖營造工程股份有限公司

契約金額：新台幣 3 億 9,458 萬元（含稅）

開工日期：99 年 12 月 26 日

工程期限：600 日曆天

預定竣工日期：101 年 08 月 16 日

得標廠商依契約委託林同棧工程顧問公司辦理結構計算及簽證。另水理分析及跨河構造物設置申請則送臺東縣政府申請，於 100 年 3 月 25 日核復同意。

## 2-4 地質鑽探

因橋梁改建時程緊迫，在洽請台灣世曦提供設計協助時，同時另案辦理委託地質鑽探作業，與設計作業同步進行。另為爭取時效，先行蒐集南迴鐵路興建時期鑽探資料，提供台灣世曦作為研判地質狀況之參考。

委託鑽探作業於 99 年 11 月 11 日起施工，11 月 30 日提送鑽探報告。地質鑽探報告亦顯示，本局之前先行提供台灣世曦參考之地質狀況（即以地震中心卵礫石層  $N > 50$  作設計值），與現地狀況是相符的。

## 2-5 委託監造

本工程為長跨距大橋，於設計階段因爭取時效採用自辦設計，但在施工期間仍需委託監造服務，來協助辦理施工管理業務。

委託監造服務案於 100 年 7 月 22 日完成發包，得標監造廠商（正堯工程顧問公司）於 100 年 8 月 13 日進場履約監造。

## 2-6 解約

本工程於 99 年 12 月 26 日開工，廠商進場施工後，因申請變更施工方式且與本局議價未成，又違反政府採購法第 65 條不得轉包規定，爰本局與廠商於 101 年 8 月 30 日合議解約。

第一次發包施作之工程，本局統稱為前期工程，經清點後，僅完成橋梁下部結構之樁基礎及圓柱式橋墩，如圖 2-2、圖 2-3、圖 2-4。



圖 2-2：河中段全套管基樁施工



圖 2-3：基樁樁帽及橋墩施工



圖 2-4：橋墩及帽梁施工

## 2-7 後續工程

監造廠商正堯公司於前期工程清點解約後，將未完部分重新編製工程預算，統稱為後續工程，提送本局辦理發包採購。

此期間南迴公路太麻里溪橋已改建完成，致鐵公路間新橋間淨空縮小，前期工程原設計橋梁上部結構之預力混凝土箱型梁及支撐先進工法難以適用。故在後續工程中，將預力混凝土箱型梁變更為鋼結構箱型梁現場組立方式施作。

鋼箱梁重量較輕，於工廠製作品質容易控制，可多重施工分擔工作面，能縮短工期，利於施工要徑時程管控。橋梁上部結構變更詳如圖 2-5。

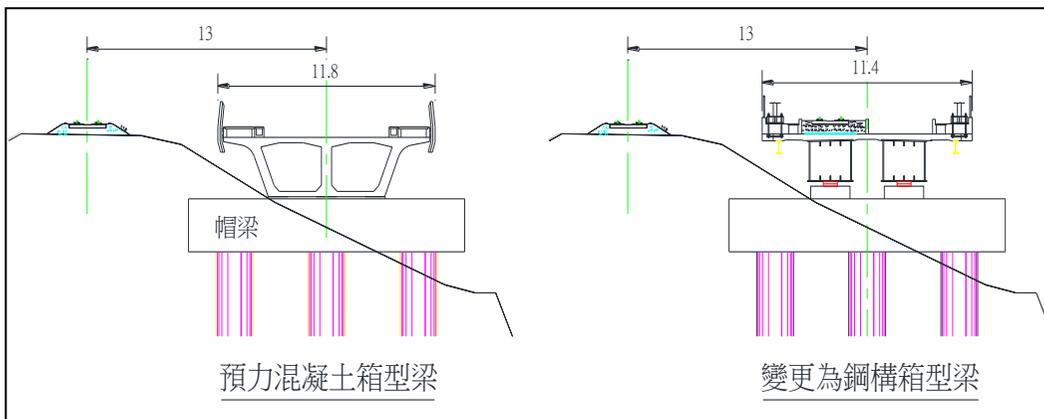


圖 2-5：預力混凝土箱型梁變更為鋼構箱型梁

本案後續工程辦理情形如下：

工程名稱：「環島鐵路整體系統安全提昇計畫（南迴線南太麻里溪橋改建工程）後續工程」。

工程內容：橋梁上部結構計帽梁 5 處、鋼箱梁 13 跨計 520m、T 型梁 4 跨計 80m、橋梁下部結構樁帽 8 處、鋪設軌道 1,900 公尺。

承攬廠商：穩聖營造有限公司

契約金額：新台幣 2 億 8,300 萬元（含稅）

開工日期：103 年 1 月 23 日

竣工日期：104 年 7 月 25 日

後續工程於施工過程中歷經多次颱風、豪雨、地震等天災的狀況下，台鐵局與施工團隊皆充分協調解決並採取適當之災防措施。在零工安事故狀況下，於 103 年 11 月 12 日完成軌道切換通車之目標，並提前 119 天完工。

### 三、各階段之挑戰

鐵路南迴線於民國 70 年開始興建，80 年通車，至莫拉克颱風災害發生時，臺鐵已陸續完成老舊橋梁改建工程、山線雙軌工程、東部鐵路改善工程、汐止高架工程、花東效能提升計畫等，已改建很多大橋，累積豐富的橋梁工程經驗。

南太麻里溪橋的改建，相較臺鐵其它橋梁，規模不算大，也無特殊工法技術，但在政策、時程、經費及技術等各項因素組合下，改建工程推展初始即有重重難關，尤其是限期完工的政策，對本案影響深遠。

#### 3-1 線形選擇

鐵路舊南太麻里溪橋，東側緊鄰公路橋梁，西側南端有山嶺，如圖 3-1 的改建前現況照片。



圖 3-1：改建前現況照片，左方為東側，右方為西側

橋梁改建的第一個課題就是選線，若向西側（照片右方）移設，則南端需開鑿隧道或挖除山嶺，若向東側移設，需 2 次跨越南迴公路。若於鐵公路間施作新線，新橋橋墩 P1~P6 位於現有河中段施工尚無問題，P7~P14 因緊鄰現有軌

道路堤段，以傳統工法施設樁帽基礎會影響行車安全。3 種線形的優缺點比較，詳如表 3-1。

表 3-1：線形優缺點比較表

| 線形               | 優點   | 缺點   |
|------------------|--|--|
| 向西側<br>偏移        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 施工空間大，不影響舊線橋梁安全。</li> <li>2. P7~P14 間舊有路堤段改建為橋梁有施作空間，不影響行車。</li> <li>3. 可以改善曲線。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 南側為山嶺，新線需開鑿隧道或挖除山嶺，經費龐大，施工複雜。</li> <li>2. 需徵收土地，不確定因素多。</li> <li>3. 工程規模龐大，完工期程較長，無法達成風災重建委員會儘速改建之任務。</li> </ol> |
| 向東側<br>偏移        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 施工空間大，不影響舊線橋梁安全。</li> <li>2. 無舊有路堤段改建為橋梁之界面問題。</li> <li>3. 可以改善曲線。</li> </ol>              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新線需跨越南迴公路，且有二次跨越。</li> <li>2. 橋梁兩端坡度將增大。</li> <li>3. 需徵收土地。</li> <li>4. 工程規模大，經費較多。</li> </ol>                   |
| 設於鐵<br>公路橋<br>梁間 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 經費最省，工程規模最小，工期最短，最符合重建會之需求。</li> <li>2. 不需徵地。</li> </ol>                                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 施工空間狹窄。</li> <li>2. P7~P14 間新橋緊鄰舊有路堤段，改建為橋梁時，傳統工法之擋土支撐難以施作，需構思特殊應對工法。</li> </ol>                                 |

最終考量交通部已核定之經費限制、工程規模及完工時程，新線選擇設於鐵、公路橋梁之間，但 P7~P14 間新橋緊鄰舊有路堤段，如何改建為橋梁是必須克服的。

### 3-2 設計方式

莫拉克風災發生後，本局臺東工務段即以委託專業工程顧問公司辦理規劃設計的方向來推動橋梁改建，在凡那比颱風過後，交通部才核定改建經費並列管完成限期。

依據政府採購法程序，委外設計預估需耗時 1 年以上，而自辦設計可以壓縮至 3 個月。要達成列管完成期限，採用自辦設計是唯一選擇，詳如表 3-2：委託設計與自辦設計時程比較表。

當時採自辦設計是不得已的作法，除了臺鐵局工務同仁要自行完成大量專業的設計製圖工作，還需要技師簽證、水理分析等要徑工項必須設法解決，並不是有設計書圖就可以發包施工。

表 3-2：委託設計與自辦設計時程比較表

| 辦理方式           | 辦理時程（開始作業至工程決標）   | 備註                                 |
|----------------|---|------------------------------------|
| 委託外部工程顧問公司規劃設計 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 招標作業：4 個月（上網公告、等標期、評選、議價程序、簽約）。</li> <li>2. 廠商履約：6 個月（測量、地質鑽探、規劃設計、結構計算、水理分析、預算書編製、各期報告書審查、簽局核定）。</li> <li>3. 工程發包：45 天（上網公告、決標）</li> <li>4. 綜上；設計時程至少需 12 個月。</li> </ol> | 地質鑽探、結構計算、水理分析及技師簽證均由委設公司辦理。       |
| 自辦設計           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 測量作業：7 天。</li> <li>2. 設計作業：45 天（設計、預算書編製、簽局核定）。</li> <li>3. 工程發包：45 天（上網公告、決標）。</li> <li>4. 綜上；設計時程可縮短至 3 個月。</li> </ol>  | 地質鑽探、結構計算、水理分析及技師簽證等無法自辦，必須另案委外辦理。 |

### 3-3 路堤段改建為橋梁

選擇於鐵、公路橋梁間施作新線，新橋橋墩 P7~P14 會緊鄰現有路堤段，如圖 3-2：路堤段改建為橋梁斷面圖（P7 橋墩）。

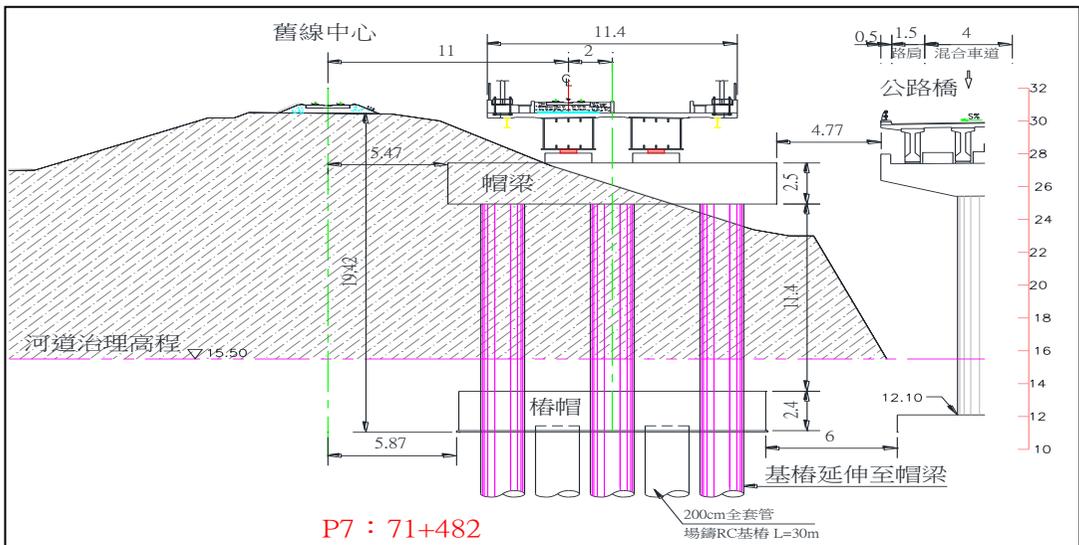


圖 3-2：路堤段改建為橋梁斷面圖（P7 橋墩）

以 P7 橋墩為例，現有軌道路基面至樁帽之深度達 19.42m，且樁帽距離現有軌道中心僅 5.87m。因為太接近軌道，若以傳統工法從樁帽往上施工，很難施設有效的擋土支撐。

路堤段的改建是必須克服的難題，這些難題包含了完工時程壓力、經費限制、各種工法的可行性、現有鐵路行車的安全性等。

表 3-3：路堤段施工困難性

| 難題      | 說明  | 解決方法     |
|---------|---|----------|
| 完工時程壓力  | 當時的政策是預定 100 年底完成橋梁改建，爰施作便線、設計大規模的擋土支撐均會延長施作時程，無法達成目標。      | 避免擴大工程規模 |
| 經費限制    | 當初交通部核定的經費，並未加入便線等費用。                                       | 於核定經費內解決 |
| 工法的可行性  | 受鐵路集中載重特性，支撐規模會很大，能符合要求的工法不多，例如設計排樁或採用井基等工法，但工程規模及經費都會大幅增加。 | 採用逆向施作   |
| 鐵路行車安全性 | 施作橋墩時必須同時維持現有路線行車安全，適用的工法受限。                                | 採用逆向施作   |

臺鐵路工務同仁為臻週延，在設計階段即密集拜會局內具豐富工程經驗的長官，討論工法方案並汲取經驗及建議。在多方研議下提出一個大膽的施工方法，設計將樁帽下方的 7 支群樁中，正中央的 3 支基樁向上延伸做為樁柱，於施作帽梁後即可吊裝橋梁上部結構之鋼箱梁，俟鋪設軌道及切換通車後，再重新開挖河道並施作樁帽等基礎設施。

在路堤段將樁帽逆向施作，可避免在緊鄰軌道邊垂直挖深 19.42m，擋土支撐深度縮減至帽梁底部僅 5.5m，列車載重及土壓力大幅降低，開挖面已經可以用鋼軌樁作為支撐處理。

為確保樁柱的強度及穩定性，當時曾經考量將正中央延伸的 3 支樁柱，設計為全套管不拉拔，保留鋼套管增強樁柱強度也可作為防護鋼板。惟當時核定經費不足以支應鋼套管費用，爰樁柱仍採用套管拉拔方式施作。

另為補強樁柱的穩定性，設計在樁帽區域加設樁柱錨定鋼套環，鋼套環預留錨錠筋以增加樁帽與樁柱之握裹力。樁柱之設計詳如圖 3-3。

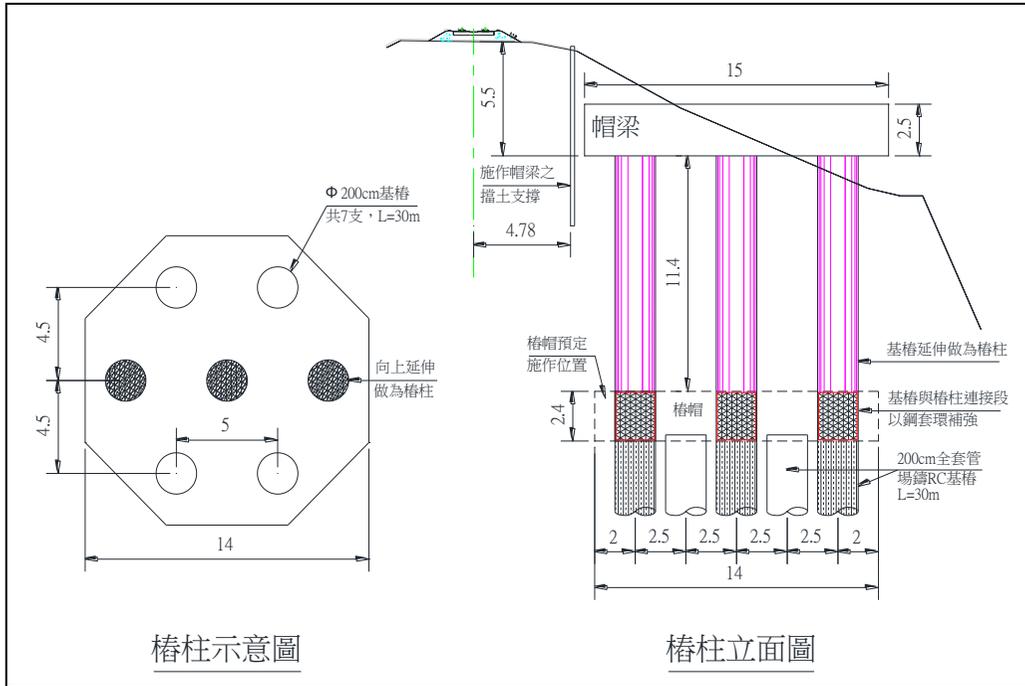


圖 3-3：將中央 3 根基樁延長為樁柱設計圖

樁帽採用逆向施工，雖克服路堤段改建為橋梁的難題，但開挖時會有風險，因為在通車的情況下，必須逆向開挖深度達 19.42m，在樁帽尚未完成時，樁柱裸露且群樁效應不能顯現，若遭遇溪水暴漲沖刷或強震，橋梁會有安全疑慮，為維行車安全，一旦開挖就必須限期完成，將風險減至最低。

另全套管基樁的施工特性，於套管拉拔後，基樁表面會與週邊土石黏結以增加支撐斷面，但開挖後樁柱裸露，表面黏結石塊凹凸不平，做為橋墩是有疑慮的。為改善此一情況，乃追加施作 RC 包墩，補強橋墩強度及改善觀瞻。

據查鐵路橋梁受限於集中載重及維持行車的特性，類似本案的逆向工法，近年來並無案例。樁帽採用逆向施工之風險如表 3-4。

表 3-4：樁帽採用逆向施工之風險

| 項目   | 風險  | 解決方法               |
|------|---|--------------------|
| 樁柱強度 | 全套管拉拔時，混凝土漿料會擴散與週圍土壤黏結，樁柱混凝土設計強度 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ 會折減。另混凝土凝結時缺乏束制，又受地下水浸入，也影響樁柱強度，但影響程度及範圍很難掌握。 | 施作厚 25cm 鋼筋混凝土包墩補強 |

|                     |  |   |
|---------------------|--|---|
| <p>樁柱表面黏結石塊凹凸不平</p> | <p>基樁之特性是表面與週圍土石黏結而凹凸不平，但作為樁柱會影響觀瞻，且不耐溪水沖刷。</p>      | <p>施作厚度 25cm 鋼筋混凝土包墩</p>                                |
| <p>抗震力及河水沖刷</p>     | <p>開挖至樁帽時，因樁柱強度有折減疑慮，樁帽尚未施作無群樁效應，恐難抗溪水暴漲沖刷或強震侵襲。</p> | <p>預報無豪大雨時再開挖施工，於樁帽開挖後，管制於 14 天內施工完成，且配合列車慢行，以減低風險。</p> |

後續程工程之逆向施作過程，如圖 3-4 至圖 3-13。



圖 3-4：路基段新橋墩，施設擋土牆及開挖樁柱



圖 3-5：路基段帽梁施工



圖 3-6：路基段帽梁完成



圖 3-7：吊裝鋼箱梁



圖 3-8：吊裝鋼箱梁



圖 3-9：新橋切換通車



圖 3-10：新橋通車後再開挖河道，樁柱裸露表面粗糙



圖 3-11：樁帽開挖



圖 3-12：樁帽施工



圖 3-13：樁柱表面修平，以 RC 包墩補強並做為防撞保護層

## 四、結論

檢視本案的施工品質，經施工團隊嚴謹監造，前期工程及後續工程均品質嚴格，新橋的外觀及強度等品質極佳，完成後具下列五項具體成效：

1. 改建為大跨距橋梁，擴大排洪斷面，降低該路段發生災害之風險。
2. 主梁構造採用鋼箱梁，質量較輕且縮短工期，達成短期通車之目標。
3. 採用鋼構材料降低水泥用量，具節能減碳之環保效益。
4. 改善路況，提升行車品質。
5. 預留電氣化及雙軌化空間，可供南迴鐵路電氣化工程直接架設電力設備，打造南迴地區更優質便捷之鐵路運輸。

惟本案受到許多不可抗力因素，造成前期工程解約再重新辦理後續工程，為當時負責盡職的工作團隊始料未及的。統計遭遇之問題及作為，如表 4-1。

表 4-1：遭遇之問題及作為

| 項目       | 遭遇的問題                                     | 作為                           |
|----------|---|------------------------------|
| 限期完工     | 施工團隊必須採用特殊及可行方法，例如自辦設計、逆向施工等，可能衍生不可抗力的風險。 | 為達成任務做出決策，必須承擔風險。            |
| 專業設計人力不足 | 主辦單位現有工程人力缺乏大橋設計經驗。                       | 洽請臺灣世曦公司協助提供設計書圖。            |
| 自辦設計未簽證  | 臺鐵局自辦設計，並無執業技師可簽證，恐違反技師法。                 | 將結構計算、水理分析及技師簽證納入契約，發包施作。    |
| 緊鄰現有軌道施工 | 新線橋梁緊鄰現有路堤軌道，傳統工法難以施作。                    | 樁帽採用逆向工法施作，需承擔風險。            |
| 前期工程履約爭議 | 前期廠商有轉包嫌疑。                                | 本局暫停計價工程款總計 5,541 萬 9,381 元。 |

本工程遭遇許多不可預期的情況，經辦工程司及各級主管在遭遇困難時，均本於職責做出決策，克服困難來達成任務。例如自辦設計就是為限期完工而不得不採用的作法，再如經辦同仁拜會局內長官討論工法，提供解決方案，這些都是負責盡職表現，卻受到外界的誤解與質疑。

這是當初勦力從公，使命必達的工程人員始料未及的，對勇於擔當責任的公務員並不公平。所幸 105 年 8 月台中地方法院對工務段同仁一審均判無罪，還給同仁清白。

另查前期工程雖然解約，但因廠商有分包嫌疑，本局尚未核付款項計有：已完成工項之工程款 4,555 萬 4,881 元及履約保證金 986 萬 4,500 元，共計 5,541 萬 9,381 元暫停計價迄今，顯見前期廠商損失之鉅。

本工程因風災而備受矚目，爰所有經辦之工程司及各級主管，於施工期間均兢兢業業，從不參與廠商飲宴或接受饋贈，廉潔自持。橋梁完工後整體品質極佳，雖歷經波折，但工程人員的盡責與努力，應予鼓勵與肯定。

## 約稿

1. 為將軌道運輸寶貴的實務經驗及心得紀錄保存，並提供經驗交換及心得交流的平台，以使各項成果得以具體展現，歡迎國內外軌道界人士、學術研究單位及臺鐵路相關人員踴躍投稿。
2. 本資料刊載未曾在國內外其他刊物發表之實務性論著，並以中文或英文撰寫為主。著重軌道業界各單位於營運時或因應特殊事件之資料及處理經驗，並兼顧研究發展未來領域，將寶貴的實務經驗或心得透過本刊物完整記錄保存及分享。來稿若僅有部分內容曾在國內外研討會議發表亦可接受，惟請註明該部分內容佔原著之比例。內容如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部份或經重新編稿者，惠請提附該委託單位之同意書，並請於文章中加註說明。
3. 來稿請力求精簡，另請提供包括中文與英文摘要各一篇。中、英文摘要除扼要說明主旨、因應作為結果外，並請說明其主要貢獻。
4. 本刊稿件將送請委員評審建議，經查核通過後，即予刊登。
5. 來稿文責由作者自負，且不得侵害他人之著作權，如有涉及抄襲重製或任何侵權情形，悉由作者自負法律責任。
6. 文章定稿刊登前，將請作者先行校對後提送完整稿件及其電腦檔案乙份(請使用 Microsoft Word2003 以上中文版軟體)，以利編輯作業。
7. 所有來稿(函)請逕寄「11244 臺北市北投區公館路 83 號，臺鐵資料編輯委員會」收。電話：02-28916250 轉 217；傳真：02-28919584；E-mail：[0951044@railway.gov.tw](mailto:0951044@railway.gov.tw)。

## 臺鐵資料季刊撰寫格式

- 格式** 自行打印於 B5(18.2 公分\*25.7 公分)，使用 Microsoft Word 軟體編排。上、下邊界 2.54 公分；左、右邊界 1.91 公分。中文字體以新細明體，英文字體以 Times New Roman 為原則。  
請於首頁輸入題目、作者姓名、服務單位、職稱、聯絡地址、電話及 E-mail。
- 題目** 中文標題標楷體 18 點字粗體，置中對齊，與前段距離 1 列，與後段距離 0.5 列，單行間距。  
英文標題 Times New Roman 16 點字粗體，置中對齊，與前段 0 列、後段距離 0.5 列，單行間距。
- 摘要標題** 標楷體 16 點字粗體，置中對齊，前、後段距離 1 列，單行間距。
- 摘要** 標楷體 12 點字，左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距
- 關鍵詞** 中英文關鍵詞 3 至 5 組，中文為標楷體 12 點字，英文為 Times New Roman 12 點字斜體。左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距。
- 標題 1** 新細明體 16 點字粗體，前、後段距離 1 列，置中對齊，單行間距，以國字數字編號 【一、二】。
- 標題 2** 新細明體 14 點字粗體，前、後段距離 1 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (【1.1、1.2】)。
- 標題 3** 新細明體 12 點字粗體，前、後段距離 0.75 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (1.1.1、1.1.2)
- 內文** 新細明體 12 點字，第一行縮排 2 個字元，前、後段距離為 0.25 列，左右對齊，單行間距，文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2))
- 圖表標示** 新細明體 12 點字，置中對齊，圖之說明文字置於圖之下方，表之說明文字置於表之上方，並依序以阿拉伯數字編號 (圖 1、圖 2、表 1、表 2)。
- 文獻引用** 引用資料，註明出處來源，以大引號標註參考文獻項次，12 點字，上標

## 參考文獻

以中文引述者為限，中文列於前、英文列於後，中文按姓氏筆畫，英文按姓氏字母先後排列，左右對齊，前後段距離 0.5 列，單行間距，第一行凸排 2 個字元。如：

1. 王永剛、李楠 (2007)，「機組原因導致事故徵候的預測研究」，中國民航學院學報，第廿五卷第一期，頁25-28。
2. 交通部統計處 (2006)，民用航空國內客運概況分析，擷取日期：2007年7月27日，網站：
3. 交通部臺灣鐵路管理局 (2007)，工程品質管理手冊。
4. 洪怡君、劉祐興、周榮昌、邱靜淑 (2005)，「高速鐵路接駁運具選擇行為之研究－以臺中烏日站為例」，中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會光碟。
5. Duckham, M. and Worboys, M. (2007), Automated Geographical Information Fusion and Ontology Alignment, In Belussi, A. et al. (Eds.), Spatial Data on the Web: Modeling and Management, New York: Springer, pp. 109-132.
6. FHWA (2006), Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan, FHWA-PL-06-001, Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, D.C.

# 臺鐵資料季刊論文授權書

本授權書所授權之論文全文與電子檔，為本人撰寫之

論文。

(以下請擇一勾選)

同意 (立即開放)

同意 (一年後開放)，原因是：

同意 (二年後開放)，原因是：

不同意，原因是：

授與臺鐵資料編輯委員會，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、網路或其它各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用。

簽名：

中華民國      年      月      日

備註：

1. 本授權書親筆填寫後（電子檔論文可用電腦打字），請影印裝訂於紙本論文书名頁之次頁，未附本授權書，編輯委員會將不予驗收。
2. 上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權立即開放。

# 臺鐵 資料

季刊 第 360 期

---

|         |  |
|---------|--|
| 發行人     | 鹿潔身  |
| 編輯者     | 臺鐵資料季刊編輯委員會  |
| 審查者     | 臺鐵資料季刊審查委員會  |
| 主任委員    | 鹿潔身  |
| 副主任委員   | 何獻霖、鐘清達、徐仁財  |
| 總編輯     | 朱來順  |
| 副總編輯    | 蔣東安  |
| 主編      | 劉嘉倫  |
| 編輯      | 劉英宗  |
| 出版者     | 交通部臺灣鐵路管理局<br>地址：10041 臺北市北平西路 3 號<br>電話：02-23899854<br>網址： <a href="http://www.railway.gov.tw">http://www.railway.gov.tw</a>  |
| 出版日期    | 中華民國 106 年 3 月   |
| 創刊日期    | 中華民國 52 年 10 月   |
| 封面圖片說明  | 八斗子車站  |
| 封面圖片攝影者 | 劉嘉倫  |
| 印刷者     | 文名文具印刷有限公司<br>地址：206 基隆市七堵區崇禮街 23 號<br>電話：02-24566075  |
| 展售門市    | 國家書店松江門市<br>地址：10485 臺北市松江路 209 號 1 樓<br>電話：02-25180207<br>網址： <a href="http://www.govbooks.com.tw">http://www.govbooks.com.tw</a><br>五南文化廣場<br>地址：40042 臺中市區中山路 6 號<br>電話：TEL：(04)22260330<br>網址： <a href="http://www.wunanbooks.com.tw">http://www.wunanbooks.com.tw</a> |

電子全文登載於臺鐵網站

GPN：2005200020

ISSN：1011-6850

著作財產權人：交通部臺灣鐵路管理局

---

ISSN 1011-6850



9 11771011 685005 1

ISSN 1011-6850

定價:新台幣200元

中華郵政臺字第1776號登記第一類新聞紙類  
行政院新聞局出版事業登記局版臺字第1081號