

淺論雙排鋼軌樁無支撐工法

謝旭昇 石強

三力技術工程顧問股份有限公司

林婷媚

雲林科技大學營建工程系

摘 要

工程上已有採用雙排鋼軌樁無支撐工法進行大面積開挖之案例，但對擋土結構之變形特性仍未有充分之了解。本文簡要介紹雙排鋼軌樁之施工及擋土機制，另以FLAC、RIDO及TORSO三套程式進行參數研究，以探討雙排鋼軌樁之擋土行為。參數研究結果顯示，雙排樁之貫入深度加深、前後排樁之間距加大、增加壁體勁度及帽樑之束制皆有減少壁體變位之效果。文中亦介紹兩個使用雙排鋼軌樁無支撐工法進行開挖之實際案例，其中之一為成功案例，另一則屬失敗案例。於分析設計方法尚未成熟，且施工經驗有限之狀況下，雙排鋼軌樁無支撐工法之設計應做詳盡之參數研究，以減少開挖失敗之機率。

關鍵字：擋土結構、支撐、鋼軌樁、開挖。

A NOTE ON THE BEHAVIOR OF DOUBLE-RAIL EARTH RETAINING SYSTEM

HSIEH HSII-SHENG SHIH CHIANG

TRINITY FOUNDATION ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

LIN TING-MEI

DEPT. OF CONSTRUCTION ENGINEERING, NATIONAL YUNLIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ABSTRACT

The self-standing double-rail earth retaining system has been used in several large-scale excavation projects, though its deformation characteristics remain virtually unknown to the design engineers. This paper briefly introduces the construction and possible mechanism of the double-rail system. Three numerical programs, FLAC, RIDO and TORSO, were used to conduct parametric studies on the earth retaining behavior of the double-rail system. It is found that either increasing the penetration depth or widening the row spacing of rails can reduce the overall deformation of the retaining system. Using large size rail and refraining double-rail with rigid cap beam also help in reducing wall deformation. Two case histories, one successful and the other failed, were also presented to further delineate the use of double-rail system. Lacking design and construction experience of the double-rail system, it is advised that detailed parametric studies be carried out to minimize the possibility of excavation failure.

KEY WORDS : earth retaining system, lateral support, rail pile, excavation.

一、前 言

在無法使用斜坡明挖之工地，地下室之開挖需使用擋土結構並配合支撐系統之架設，以維

護開挖之安全性。擋土結構包括鋼軌樁、鋼版樁、預壘樁、連續壁等型式；而支撐系統則視開挖工法之不同，包括順打工法採用之H型鋼水平支撐或背拉地錨，以及逆打工法使用之RC樓版支撐。

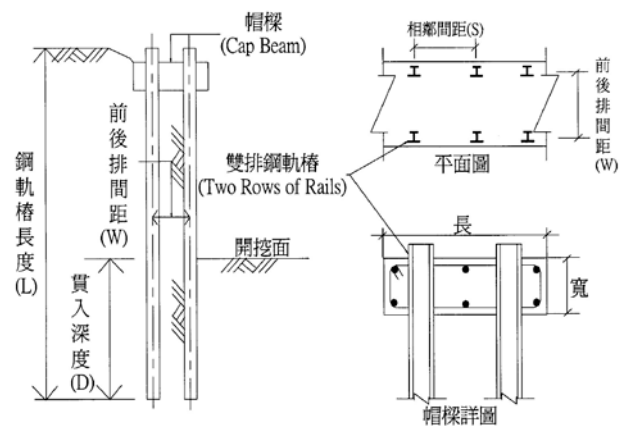
台灣都會區中最常用之開挖方式為採用H型鋼為水平支撐之順打工法，其基本之施工程序乃是先構築擋土結構並打設支撐中間柱，然後進行逐階開挖及架設水平支撐之動作。開挖至預定深度後，開始由底部往上進行地下室結構體之構築，並逐階拆除H型鋼水平支撐。地下室結構體完成後，拔除或切除中間柱，並填補中間柱於樓版所遺留之孔洞。以上之開挖方式需花費相當長之工期架設及拆除水平支撐系統，此外地下室結構體施工時，材料吊放需閃避水平支撐，鋼筋綁紮亦須避開中間柱，在在皆造成施工之不便。雖有以上之種種不便，但對中小型之工地而言，順打配合水平型鋼支撐仍可符合施工進度需求。但如需進行大面積之開挖，則水平支撐之架設則顯得較無效率，除支撐效果較差外，架設支撐所需之時間亦相對冗長。

為避免大面積開挖架設支撐系統之困擾，工程界漸發展出所謂之無支撐開挖工法。「地工技術」曾發表之相關案例包括土釘擋土工法(呂芳熾等，1993)、自承式雙排鋼版樁工法(陳厚銘，1999)、T型連續壁工法(張瑞仁等，2001)等。本文介紹雙排鋼軌樁無支撐擋土工法，此工法適用於卵礫石或砂土層中之地下室開挖。且因鋼軌樁本身長度及勁度之限制，此方式一般應用於地下一層之開挖。因並無前人之相關研究以供參考，本文嘗試發展雙排鋼軌樁之分析設計方法，並以數值模式闡釋鋼軌樁之變形行為，最後則以案例說明其實際使用狀況。

二、雙排鋼軌樁之施工及變形行為推測

雙排鋼軌樁之施作乃是於開挖區四周打設前後兩排鋼軌樁，同一排相鄰鋼軌樁之間距約為40~60cm，而前後排鋼軌樁之間距則約為60~120cm。於打設完成後，前後排鋼軌樁之頂部並以鋼筋混凝土之帽樑(Cap beam)相聯結，使前後排鋼軌樁形成一完整之構架(圖一)。以帽樑聯結之雙排鋼軌樁其整體勁度遠大於兩排獨立之鋼軌樁，將可有效抑制開挖時擋土結構之變位量。

於雙排鋼軌樁擋土系統中，剛性帽樑之構築乃為必須，帽樑之存在迫使前後排鋼軌樁之頂部同步位移。前後兩排鋼軌樁所夾之土壤則對鋼軌樁之變位提供進一步之束制，其作用類似前後排鋼軌間傳遞土壓力之桿件，使前後排樁之樁體變位趨於一致。若前後排鋼軌樁未以剛性帽樑聯結，則前後排鋼軌樁之行為獨立，整體擋土結構之等值勁度(I_{eqv})僅為前排及後排鋼軌樁兩者勁度之和，對抑制開挖變形並無太大助益。



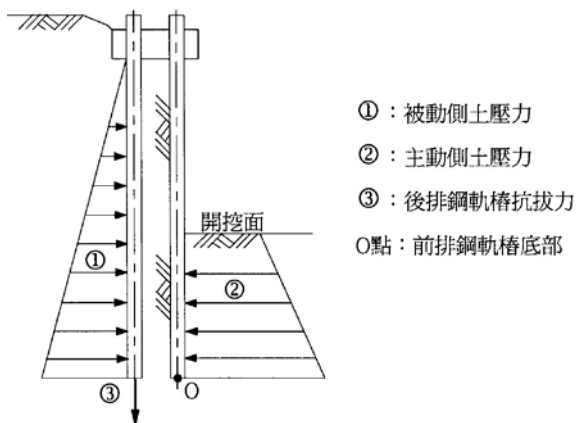
圖一 雙排鋼軌樁配置示意圖

三、開挖穩定分析

雙排鋼軌樁無支撐工法基本上乃應用於地層狀況較佳之深開挖，例如卵礫石或砂土層之地下室工程。於此類地層中，較可能發生之破壞模式為雙排樁遭主動側作用力之推擠而傾倒，此時後排鋼軌樁亦被拔起。造成此類型開挖不穩定之原因乃是鋼軌樁之貫入深度不足，故無法發展出足夠之被動土壓及鋼軌樁抗拔力。另塑性隆起破壞之機率極低，應可不予考慮。

作用於雙排鋼軌樁背側之力量包括主動側之土壓力及超載壓力，而水壓則因鋼軌樁不具止水性，一般可不予考慮。抵抗傾倒破壞之力量則包括開挖側之被動土壓及後排鋼軌樁之抗拉拔力。進行整體開挖穩定檢核時，可針對圖二所示之狀況進行土壓力平衡分析，並據以計算鋼軌樁所需之貫入深度，其計算方式可參考相關文獻(Das, 1990)。雙排鋼軌樁之狀況類似懸臂式版樁牆，但因牽涉後排鋼軌樁之抗拉拔力，故其行

為更形複雜，主動側及被動側之土壓力分佈狀況可能與文獻所述不同。



圖二 開挖穩定示意圖

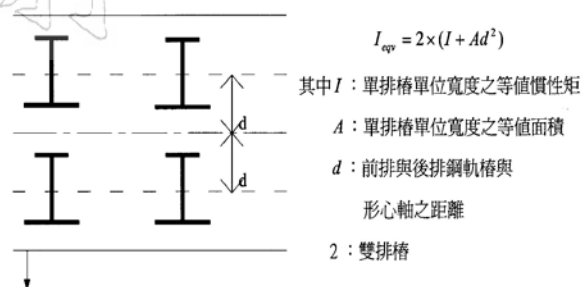
除了土壓力分佈狀況不明確外，進行穩定性分析之另一困難點乃是土壤剪力強度之決定，尤其是卵礫石層之參數。卵礫石之剪力強度參數僅能依經驗判斷，且各區域卵礫石之特性及強度皆不同(蔡明欣等，1995；吳文隆等，1995)，益增加經驗判斷之困難度。鋼軌樁之抗拔力亦缺乏試樁資料佐證，在應力狀態複雜之情形下，倚賴經驗公式計算之抗拔力可信度堪疑。綜而言之，雙排樁是否穩定仍須藉由設計者之經驗做合理之判斷，最理想之方式可能是先以數值分析方法進行參數研究，再配合施工經驗以確認穩定分析之可信度。

四、變形量及應力分析

開挖之設計需計算擋土結構之變位、彎矩及剪力，一般乃以彈塑性基礎樑程式進行上述之計算，而常用之程式則包括RIDO(1998)及TORS(2002)等。此類程式將擋土結構視為單位寬度之基礎樑，需輸入樑之等值勁度(EI_{eqv})以進行運算。雙排鋼軌樁之等值慣性矩(I_{eqv})可依下式約略計算(圖三)：

$$I_{eqv} = 2 \times (I + Ad^2) \dots\dots\dots (1)$$

- 其中I：單排樁單位寬度之等值慣性矩
- A：單排樁單位寬度之等值面積
- d：前排及後排鋼軌樁與形心軸之距離

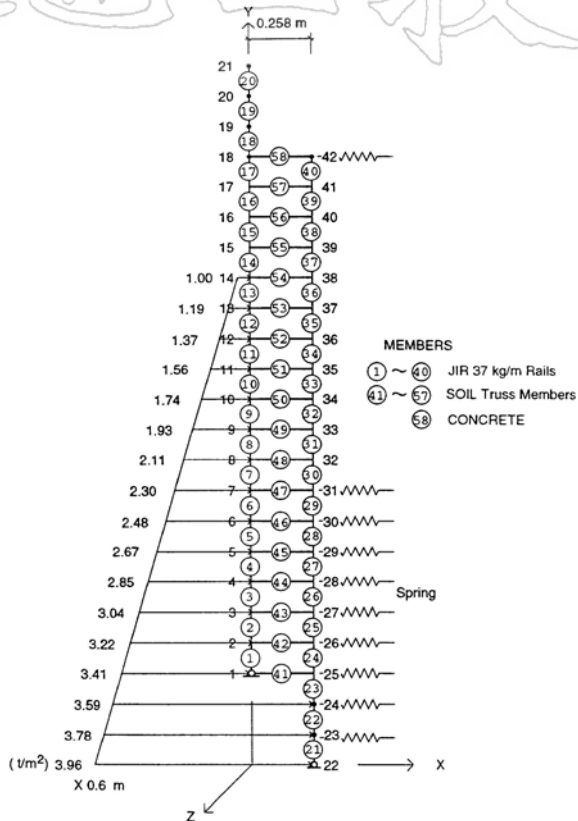
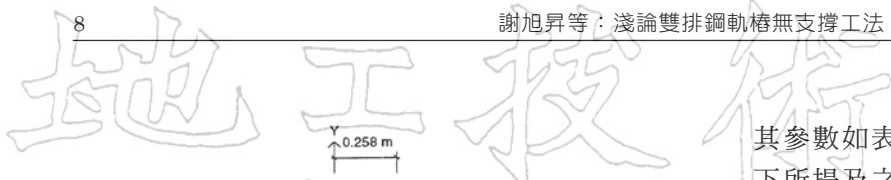


圖三 雙排鋼軌樁等值慣性矩示意圖

式(1)考慮前後排鋼軌樁之頂部為剛性帽樑所束制，但未計入前後排鋼軌樁所夾土壤對整體勁度之影響，因此以(1)式計算所得之雙排鋼軌樁等值勁度可能偏於保守側。另一種看法乃是前、後排鋼軌樁僅由頂端之RC帽樑聯結，依式(1)計算得之雙排樁組合慣性矩應無法完全發揮，因此 I_{eqv} 可能須做適當折減。綜合以上兩種看法，式(1)計算得之等值慣性矩似乎是一合理之初始估算值。

以式(1)所得之等值慣性矩輸入TORS或RIDO進行計算，可得“等值勁度”擋土結構之彎矩、剪力及變位，但計算所得數值並非前排或後排鋼軌樁之彎矩、剪力及變位，故無助於雙排鋼軌樁之結構設計。唯一具參考價值者乃變位量之計算，變位量之大小可供設計者研判擋土結構是否維持穩定狀態。

如欲分別計算得前後排鋼軌樁之彎矩、剪力及變位，可能須使用二向度數值分析程式，如FLAC(2001)或PLAXIS (1995)等。此類程式可以模擬雙排樁之構架及帽樑之束制作用，所得之結果較接近實際狀況，且分析值可用於前排及後排鋼軌樁之斷面設計。但二向度數值分析程式之理論及程式架構相當複雜，程式使用經驗不足或工程經驗不足之設計者較無法判別所得結果之合理性。此外，因無支撐開挖工法僅有單一階段之開挖，並不涉及逐階開挖應力及變位累加之問題，故可以ETABS等結構分析程式建立雙排鋼軌樁之結構模式，直接輸入主動側之壓力以進行擋土結構之彎矩、剪力及變位分析(圖四)。



圖四 雙排鋼軌樁ETABS分析模式

其參數如表一所示。雙排樁配置示意如圖一，以下所提及之名稱及符號皆以此圖為基準。鋼軌樁之彈性模數值 E_s 於分析過程中皆不予折減，帽樑屬鋼筋和混凝土的複合材料，其彈性模數 E_c 值以混凝土抗壓強度依下式推估：

$$E_c(N/m^2) = 1.5 \times 10^9 \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2)$$

f'_c ：混凝土之抗壓強度(kg/cm²)

其中 f'_c 以一般常用之強度 210kg/cm² 代入。

表一 假設案例之土壤參數

層次	分類	N值	底部深度 (m)	γ_t (t/m ³)	S_u (N/ m ²)	ϕ' (deg)
1	SM	10	5	2.0	0	30
2	SM	12	10	2.0	0	30
3	SM	15	15	2.0	0	30
4	SM	17	20	2.0	0	30

5.2 貫入深度之影響

擋土結構應有足夠之貫入深度，以使內外側之主被動土壓能達到平衡狀態，否則擋土結構承受不了內擠之土壓，易造成整體開挖之破壞。但若擋土結構已有足夠之穩定性，則貫入深度再加深對擋土結構之變位影響不大，且不符合經濟效益。為了解貫入深度對側向變位之影響，於假設土層設置雙排 JIS40Kg 鋼軌樁，前後排間距 $W=1.0m$ ，相鄰間距 $S=50\text{ cm}$ ，帽樑尺寸為長 1.3 m x 寬 0.4 m，鋼軌樁分別貫入開挖面以下 0.5m、1.5m、2.5m、3.5m、4.5m、5.5m、6.5m、7.5m 與 9.5m，並配合不同開挖深度 8m、7m、6m、5m 與 4m 分析之，其結果如圖五及圖六所示。

圖五為開挖深度為 4m 時之前排鋼軌樁變位曲線，可明顯看出當貫入深度僅為 1.5m 時，壁體前傾，整體開挖已處於不穩定狀態。當貫入深度增為 2.5m 時，變形曲線呈穩定狀態，壁頂之變位約為 8.5cm。圖五亦顯示持續增加貫入深度對減少壁體變位並無太大之幫助，壁頂之最大變位始終維持在 6cm 左右。圖六則為不同開挖深度時，壁體最大變位量與貫入深度之關係圖。圖六之變位量顯示，當開挖 4m，貫入深度大於 2.5m；開挖 5m，貫入深度大於 3.5m；開挖 6m，貫入深度大於 4m 及開挖 7m，貫入深度大於 4.5m 時，開挖皆可達穩定狀態，此時設計應以壁體

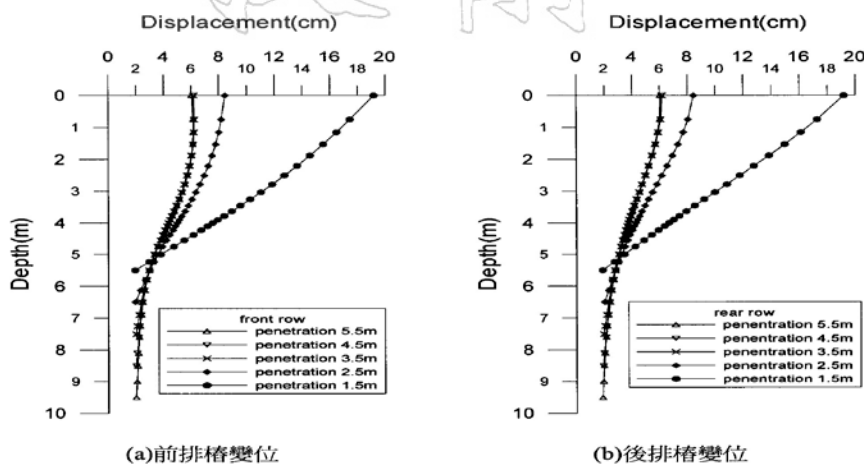
五、參數研究

雙排樁工法於實務應用上有成功亦有失敗案例，但目前對影響成敗之因素並未完全了解。為避免因過度倚賴經驗設計而導致失敗，本節以 FLAC 程式進行參數研究，概略說明貫入深度、前後排樁之間距、帽樑有無等因素對雙排鋼軌樁行為之影響。FLAC 分析採用之土壤模式為莫爾-庫倫塑性模式 (Mohr-Coulomb plasticity model)，鋼軌樁則模擬為可承受彎矩及剪力之樑元素 (Beam element)。參數研究之細節，包括變形模數、強度參數、土壓力之模擬等，詳見參考文獻 (林婷媚，2003)。須特別說明者，參數研究所顯示之大幅度壁體變位純為分析結果，並不具物理意義，在大變位下擋土結構物應已破壞。

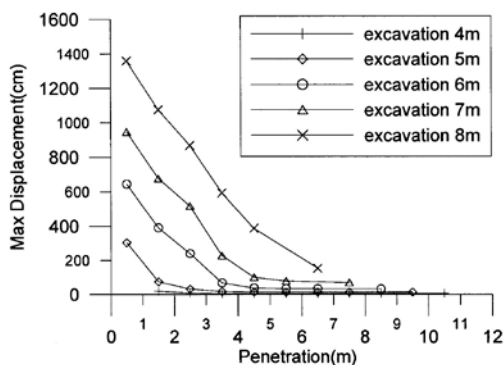
5.1 假設案例

本參數研究採用一 50 m x 100 m 之長方形開挖基地為分析標的，基地土層假設為砂土層，

地工技術



圖五 不同貫入深度之壁體變位圖(開挖深度4m)



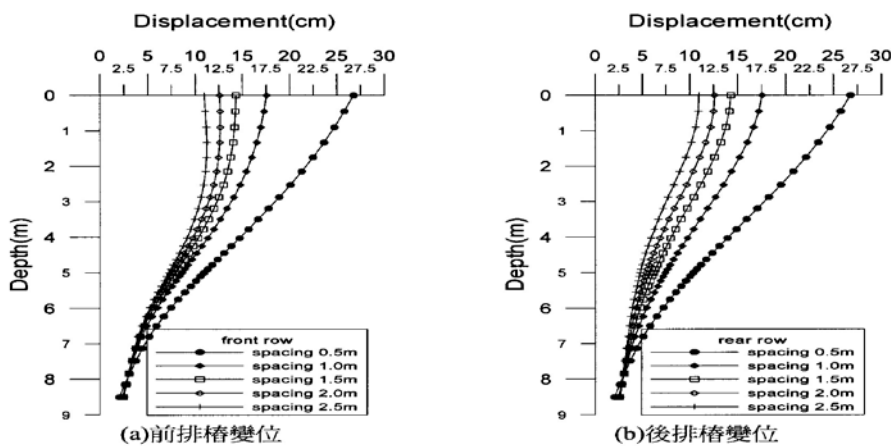
圖六 不同貫入深度與不同開挖深度壁體最大變位

最大變位量為主要考量。在上述之穩定狀況下，鋼軌樁之長度約為開挖深度之1.7倍，此結果可供初步設計之參考。於開挖8m之狀況下，分析結果顯示大幅之壁體變位，可知雙排JIS40Kg鋼軌樁之勁度並無法承受開挖8m時之土壓力。另須說明的是，因貫入深度不足所顯現之大幅度

壁體變位純為數值分析結果，並不表示實際之變位情況，而此時壁體應已破壞。綜合以上結果，若雙排樁已有足夠之貫入深度以維持開挖穩定，此時即使貫入深度再加長，對減少壁體之最大變位值並無幫助。

5.3 前後排鋼軌樁間距之影響

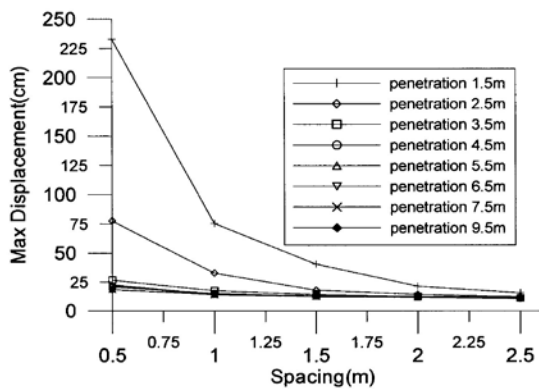
前排與後排鋼軌樁之間距愈大，則其等值慣性矩愈大，開挖引致之壁體變位也應隨之減少。為了解前後排鋼軌樁間距對壁體變位之影響，於假設土層設置雙排JIS40Kg鋼軌樁，相鄰鋼軌間距 $S=50\text{ cm}$ ，基地開挖深度5 m，鋼軌樁貫入開挖面以下3.5m，而前、後排樁之間距 W 分別以0.5 m、1 m、1.5 m、2 m及2.5 m模擬之。分析結果如圖七及圖八所示。



圖七 不同間距之壁體變位圖(開挖深度5m)

地工技術

分析結果顯示當前、後排間距越大，則壁體變位值有減少之趨勢，尤其在壁體貫入深度不足時此現象更為明顯(圖八)。增加前後排鋼軌樁間距對抑制壁體變位雖有相當之助益，但於現場施工時是否有此空間施作較大間距之雙排樁，則是設計需考量之處。



圖八 前後排樁間距與壁體最大變位之關係

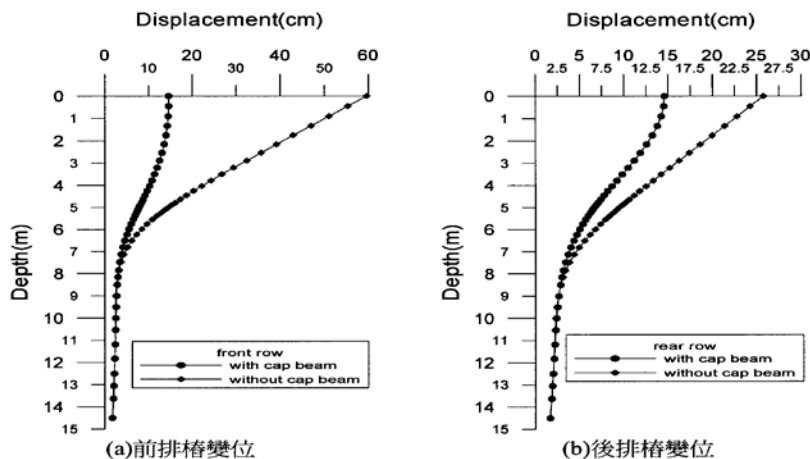
5.4 帽樑對壁體變位之影響

帽樑有束制雙排樁與其中間土壤之效果，但有時工地現場為節省施工時間而忽略帽樑之施作，其結果對壁體變位之影響甚大。為了解其影響之程度，於假設土層設置雙排JIS40Kg鋼軌樁，前後排間距 $W=1.0\text{m}$ ，相鄰鋼軌間距 $S=50\text{cm}$ ，鋼軌樁貫入開挖面以下 3.5m ，開挖深度 5m ，以FLAC程式針對有施作帽樑及未施作帽樑兩種狀況加以分析，分析結果如圖九所示。

帽樑之影響由圖九可明顯看出，當有帽樑時，壁頂因受到束制致使鋼軌樁變位略呈雙曲線，且壁頂之變位一致；反之，無帽樑時變位呈拋物線變形，且前、後排樁之壁頂變位有相當大之差異。就前排鋼軌樁之變位而言，有帽樑束制時其壁頂變位約為 15cm ，無帽樑束制時其壁頂變位則約為 60cm ，其差異達 400% ，由此可知帽樑施作之重要性。

5.5 不同型號鋼軌之影響

雙排樁無支撐擋土工法乃是以壁體勁度抵抗側向土壓，為了解不同勁度鋼軌對擋土壁體變位的影響，故於假設土層採用不同型號之雙排鋼軌樁，分別為JIS37Kg、JIS40Kg及JIS50Kg，並配合不同開挖深度 8m 、 7m 、 6m 、 5m 與 4m 分析之。其他假設條件則為前後排鋼軌間距 $W=1.0\text{m}$ ，相鄰鋼軌間距 $S=50\text{cm}$ ，帽樑尺寸為長 $1.3\text{m} \times$ 寬 0.4m ，且鋼軌樁貫入開挖面以下足夠之深度。分析結果如表二所示，顯示當壁體勁度較小時，會產生較大之壁體變形。值得注意的是當開挖深度為 4m 時，三種不同型號之鋼軌樁其最大壁體變位量相差不大，差異僅約 1.4cm 。但當隨著開挖深度增加，高勁度鋼軌對抑制壁體變位有相當明顯之效果。例如於開挖深度為 6m 時，JIS50Kg之鋼軌其最大變位為 27cm ，而JIS37Kg之鋼軌其最大變位為 45cm ，最大變位量之差異達 18cm 。



圖九 有無帽樑之壁體變位圖(開挖深度 5m)

地工技術

以上之結果顯示，當勁度增加時，對較深之開挖可採用較高勁度之鋼軌樁以抑制壁體位移；反之，若於較淺之開挖使用較高之勁度，無疑是對材料的浪費。

表二 不同型號鋼軌樁引致之最大壁體變位

開挖深度	4m	5m	6m	7m	8m
JIS37 kg	7.6	19.0	44.8	91.9	192.3
JIS40 kg	6.84	14.6	34.1	71.5	154.7
JIS50 kg	6.23	12.82	27.1	53.1	127.7

六、案例介紹

本節介紹兩個採用雙排樁無支撐擋土工法之案例，一為成功案例，一為失敗案例。成功案例施工前經過嚴謹之規劃評估，且施工過程中管控良好；而失敗案例則僅憑藉經驗即做出過份樂觀之施工規劃，於實際地層狀況不如預期之情形下，擋土結構遂產生破壞。該二案例亦以數值分析程式FLAC進行反推分析(Back analyses)，於輸入適當土壤參數之前提下，數值分析皆能適切模擬現場壁體變位行為。

6.1 桃園觀音工業區案例

本案例基地位於桃園觀音工業區，為一地上四層，地下一層之新建廠房。基地呈長方形，長約150m，寬約40m，開挖深度約為7m。擋土措施採用雙排40kg/m之鋼軌樁，樁長11m，貫入開挖面以下4m。鋼軌樁之打設間距為60cm，前後排之間距為100cm，且前後排鋼軌樁以130cm x 40cm之鋼筋混凝土帽樑連結。

依鑽探調查結果基地土層可概分為以下三層：

(1) 回填卵礫石或黃棕色粉土質粘土層：本層分佈於地表下0~3m，標準貫入試驗N值介於9~15，平均為12。

(2) 卵礫石夾黃棕色砂土層：本層次分佈於地表下3~13.6m，其厚度約10.6m。卵礫石之粒徑大部份在6~20cm，概估其含砂量約35%，標準貫入試驗N值大於50，無塑性。

(3) 灰色膠結不良之砂岩層：本層次出現在

GL.-13.6m以下，岩層頂部較風化部份之標準貫入試驗N值平均約為32。

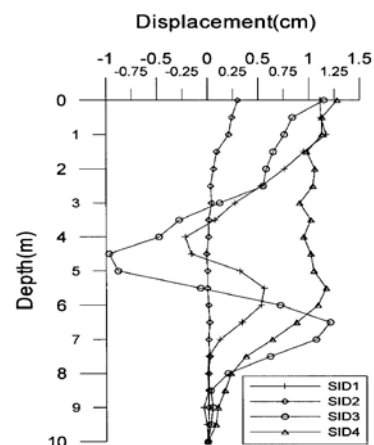
簡化土層參數概如表三所示，卵礫石因無法取樣試驗，其剪力強度參數為經驗值。另地下水水位約在地表下2~3m，開挖期間將由挖土廠商將地下水抽降至開挖面以下，開挖完成之狀況如照片一所示。

表三 桃園觀音案例之簡化土層表

層次	分類	底部深度 (m)	N 值	γ_t (t/m ³)	c' (t/m ²)	ϕ' (deg)
1	SC/ML	3.0	13	2.05	0.0	30.0
2	GP	13.6	50	2.16	0.0	38.0
3	砂岩	> 13.6	32	2.00	-	-

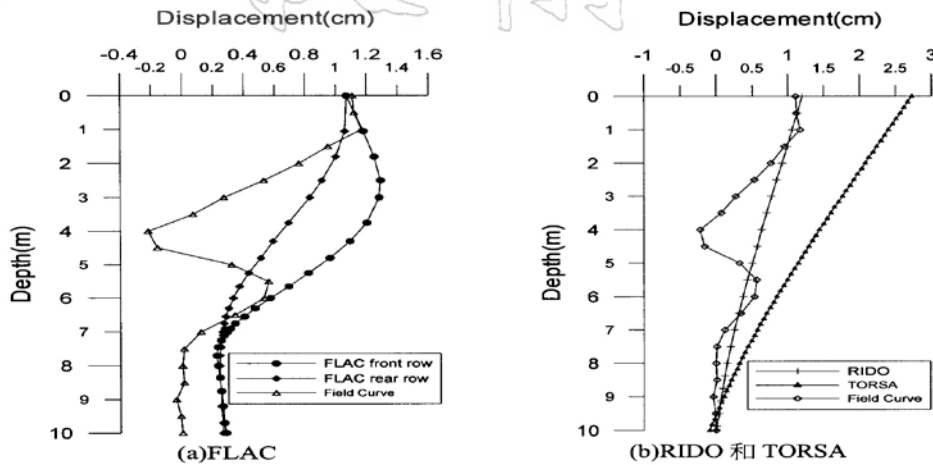


照片一 桃園觀音案例開挖完成



圖十 桃園觀音案例之壁體變位監測結果

為量測雙排樁之側向位移，開挖前先於基地四周中點各埋設一支傾度管，傾度管之深度10m，放置於雙排鋼軌樁之間。開挖完成後，量



圖十一 桃園觀音案例壁體變位分析結果

測得傾度管之最大變位約為1.2cm，約發生於壁頂處(圖十)。圖十所示之變位曲線並非並未如懸臂樑一般，可能是因傾度管埋設於雙排鋼軌樁之間，其變形量與鋼軌樁不同，且樁與樁間之土壤於尚未嵌入擋土版之前即可能崩落或移位，亦造成傾度管之變位異於懸臂樑之曲線。另外因傾度管埋設不佳或回填不良也可能造成傾度管變位曲線異常之狀況。

分別以FLAC,RIDO及TORSAs程式進行反推分析，其結果如圖十一。FLAC之分析結果顯示雙排鋼軌樁呈穩定狀態，最大變形約1.3cm，但前後排鋼軌樁之變位不同(圖十一(a))。RIDO及TORSAs程式僅能使用雙排鋼軌樁之等值勁度進行分析，其結果如圖十一(b)，亦顯示壁體呈穩定狀態。RIDO及TORSAs分析得之壁頂最大變位分別為1.2cm及2.8cm，其變形曲線類似，但因無法分別模擬前後排鋼軌樁之行為，故與FLAC之分析曲線有相當差異。

6.2 桃園楊梅案例

本案例位於桃園縣楊梅鎮，基地略呈長方形，長約100m，寬約70~97m，地下室之開挖深度為10m。本工程打設雙排40kg/m之鋼軌樁擋土，鋼軌樁長12m，貫入開挖面以下2m。相鄰鋼軌樁之間距為50cm，前後排之間距則為50cm，前後排鋼軌並以厚度20cm之鋼筋混凝土鋪面聯結。

鑽探資料顯示本基地之土層約略可分為八層，各層底部深度及推估之參數如表四所示，地下水則位於地表下10m處。大體而言，本基地深度9.7m以下皆為黃棕色卵礫石層，而深度9.7m以上則為黃棕色卵礫石層夾含粘土層之狀況。夾含之粘土層厚度約0.5~2.2m，其標準貫入試驗N值介於8~13，屬堅實之粘土。卵礫石之標準貫入試驗N值皆大於50。

表四 桃園楊梅案例之簡化土層表

層次	分類	底部深度 (m)	N值	γ_t (t/m ³)	S_u (t/m ²)	ϕ' (deg)
1	CL	1.8	12	2.02	2.0	-
2	GM	3.1	50	2.05	1.5	46
3	CL	3.6	13	1.99	2.1	-
4	GM	6.4	50	2.05	1.5	46
5	CL	8.6	10	2.02	4.8	-
6	CL	9.7	8	1.98	5.8	-
7	GM	30	50	2.10	1.5	46

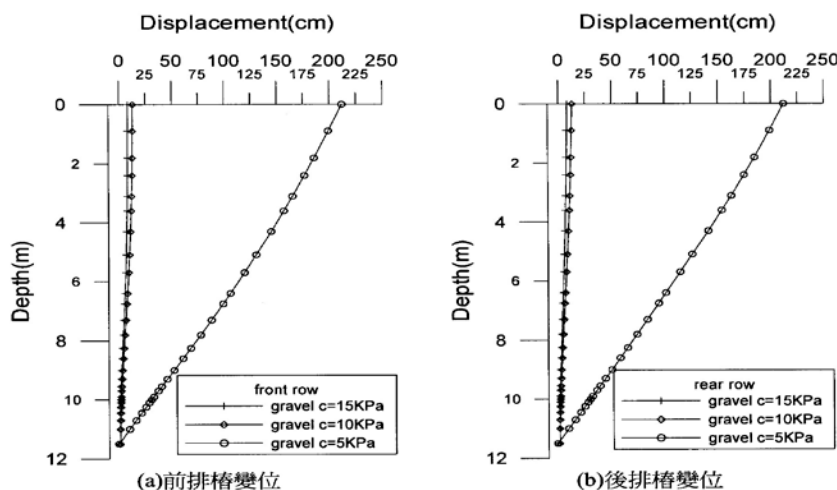
本案例並未配置傾度管，僅於壁頂設置觀測點，開挖期間以經緯儀量測壁頂之側向變位。於開挖至5~6m時，即發現有部份擋土壁體之頂部變位已接近20cm，研判原雙排鋼軌樁之配置並不足以抵擋開挖10m所造成之土壓。為避免後續開挖造成壁體崩塌，遂決定於基地內架設斜撐以支承部份之土壓。但此補強措施仍顯不足，於連續數日之降雨後，部份區域仍發生仍發生坍塌之情形(照片二)。

檢討本案例失敗之原因約有下列三項：

(1) 低估地下水之影響：鑽探資料顯示地下水位在地表下10m，規劃期間進行之試坑開挖亦未發現地下水，致使設計者誤判地下水對開挖不致造成影響。但地下室開挖期間，卻發現部份區域有地下水滲流之現象，其滲流量不大，但卻足以弱化了該區域土壤，造成擋土壁體變位超出預期。此局部滲流出現於卵礫石與粘土層之界面，試坑開挖時並未遭遇，亦無法以強制降水之方式抽除。



照片二 桃園楊梅案例鋼軌樁傾倒破壞



圖十二 桃園楊梅案例卵礫石層不同凝聚力分析結果

(2) 高估卵礫石之強度：規劃時考慮開挖面以上之礫石層為 $c = 15\text{Kpa}$, $\phi = 46^\circ$ 之材料，但礫石層之 c 值可能是視凝聚力 (Apparent cohesion)，於長時降雨或滲流之影響下，此視凝聚力可能降低或消失，造成壁體大量位移。經以FLAC程式針對 c 值進行參數分析，發現 c 值若由原假設之15 Kpa降為5 Kpa，則壁體變位由小於10cm(穩定)暴增至超過200cm(不穩定)，其分析曲線如圖十二所示。但須特別強調者，即視凝聚力之降低或消失僅是作者提出之假說 (Hypothesis)，可能有其他機制亦可造成壁體之破壞。

(3) 過度樂觀之設計：於開挖深度達10m，且雙排鋼軌樁僅貫入開挖面以下2m之狀況下，必須在工程管理嚴謹、地層條件極佳、且天候良好三項條件配合開挖始能成功，如有任何一項不

如預期皆可能造成失敗。

本案例之開挖最後於採取架設斜撐、鋼索背拉、挖除主動側部份土壤等輔助措施後完成，作者深切體認地下水之破壞力，並再次認知足夠安全係數之重要性。此外，任何較樂觀或較無把握之設計皆須備有應變計劃，以防結果不如預期。

七、結 論

以雙排鋼軌樁工法作為擋土結構有不須架設支撐之優點，但於理論分析架構尚未成熟，以及施工經驗仍屬有限之情況下，該工法之使用仍須謹慎為之。

就現有之設計及施工經驗而言，雙排鋼軌樁無支撐工法之使用可參考下列之原則：

地工技術

(1) 此工法較適用於卵礫石層或砂土層之開挖。

(2) 就鋼軌樁所能提供之勁度而言，開挖深度似不宜超過七公尺。

(3) 鋼軌樁宜有足夠之貫入深度，以免因被動阻抗不足或後排鋼軌樁遭拔起而導致開挖失敗。

(4) 須使用剛性帽樑束制前後排鋼軌樁之頂部，以提高整體擋土結構之勁度。

(5) 使用本工法應有足夠之安全係數、或備有應變方案、或配合使用輔助措施，以防雙排鋼軌樁之行為不如預期。

本文所提供之分析方法尚未經嚴格驗證，應視為假說(Hypothesis)較為適宜，因此使用時應依個案狀況自行修正調整。

八、後記

土壤力學是一門藝術，雙排鋼軌樁之設計亦然。設計者對雙排鋼軌樁之行為必須有些感覺(Feeling)，尤其在卵礫石層之剪力強度是一個大問號的情形下，工程判斷(Engineering judgment)往往是決定成敗之關鍵。筆者之識見及研判能力遠遜於地工界諸前輩，以往數載經手之雙排樁設計成敗各半，汗顏之餘，唯以「...是非成敗轉頭空，青山依舊在，幾度夕陽紅」自我解嘲之。

參考文獻

- 呂芳熾，周安之，謝旭昇，林永光 (1993)，”土釘擋土結構之設計與應用”，地工技術雜誌，第42期，pp. 5-20.
- 蔡明欣，陳錦清，王銘德 (1995)，”台灣西部地區卵礫石層現地抗剪強度研究”，國際卵礫石層地下工程研討會論文集，台北，pp. 1.21-1.30.
- 吳文隆，何泰源，林俊良 (1995)，”台灣地區卵礫石層之工程特性”，國際卵礫石層地下工程研討會論文集，台北，pp. 1.61-1.72.
- 陳厚銘 (1999)，”自承式雙排鋼版樁工法擋土開挖行為探討”，地工技術，第75期，pp. 41-48.
- 中華民國大地工程學會(2001)，建築物基礎構造設計規範。
- 張瑞仁、謝孟達、王柏雁 (2001)，”砂礫土層中大面積開挖工法規劃與施工”，地工技術，第85期，pp. 43-50.
- 謝旭昇、冀樹勇、程日晟、洪世勳 (2002)，TORSAs使用手冊，地工技術研究發展基金會。
- 林婷媚 (2003)，雙排樁無支撐擋土工法變形行為之研究，碩士論文，國立雲林科技大學營建工程系。
- DAS, BRAJA M. (1990), *Principles of Foundation Engineering*, PWS-Kent Pub. Co., Boston, 2nd edition.
- FAST LAGRANGIAN ANALYSIS OF CONTINUA (FLAC) (2001), User's manual, Ithasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, Minnesota, Version 4.0.
- RIDO (1998), User's manual, Robert Fages Logiciels, Version 4.0.
- VERMEER, P.A., AND BRINKGREVE, R.B.J. (1995), PLAXIS user's manual, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.