

## 研討會專欄

# 地工技術第 24 次研討會～建築物基礎開挖及數值分析

時間：2010 年 6 月 30 日(星期三) 上午 9:00~17:00

地點：台灣大學應用力學研究所 國際會議廳

主持人：林三賢(海洋大學河海工程系)

冀樹勇(財團法人中興工程顧問社)

謝旭昇(三力技術工程顧問(股)公司)

王建智(正修科技大學土木與工程資訊系)

俞清瀚(富國技術工程(股)公司)

### 講 題

2009 高雄世運主場館樁筏共構之數值分析

大面積深開挖設計與施工案例簡介

於困難地層中之大面積開挖設計與施工實例

2009 高雄世運主場館基礎開挖及地盤改良案例探討

高雄車站捷運 R11 臨時站深開挖創新設計與施工

高鐵緊鄰基地深開挖之設計及施工監測管理

軌道行車對鄰近開挖擋土支撐之影響分析

連續壁實務教材

### 主 講 人

謝旭昇(三力技術工程顧問(股)公司)

郭晉榮(磐碩工程(股)公司)

呂芳熾(磐碩工程(股)公司)

周允文(台灣世曦工程顧問(股)公司)

賴建名(中興工程顧問(股)公司)

俞清瀚(富國技術工程(股)公司)

陳卓然(台灣世曦工程顧問(股)公司)

林永光(磐碩工程(股)公司)



高秋振\* 撰稿

### 主持人(林三賢教授)：

很高興的能在這繼續主辦這第 24 次的研討會，我們循往例，只要有機會在實務上可以和工程界面對面的溝通，我們就會辦相關的研討會。地工技術 123 期及 124 期的專輯主要是「數值分析」與「大型建築物的基礎開挖」，在座的各位工程先進，其實有很多已經從事深開挖相關的工作很多年。我們把這兩期比較特殊的案例，包括高雄車站捷運 R11、高雄世運主場館，以及台北地區幾個比較困難地層或大面積的深開挖工程，透過今天這研討會的方式與各位工程先進大家作研討；在數值分析的部份，雖然目前不見得

是絕對的主流，不過大家用電腦程式的輔助來作設計已經是相當的熱門！在國內外有很多的研討會都會討論數值分析在工程上的應用，在輔助設計上到底可以提供怎樣的資訊，有時候輸入的 Data 是錯的，出來的結果也是錯的！所以藉這個機會大家可以互相的討論。

(註：各主講者之報告內容請參閱地工技術第 123 與 124 期專輯的論文)

### 綜合討論(上午)

#### 陳正興教授：

請教謝博士，第一問題是填土一般上會造成土壤側向位移，但你剛才的介紹未提到這部份。

\* 富國技術工程(股)公司

第二問題是數值分析結果與後來監測的實測值作比較是非常重要的部份，你私下應該有一些數據可提供作參考吧？第三問題是你這個案例有三組試樁，試驗出的極限承載力都是六百餘噸左右，但是我有學生曾經以這裡的地質條件，用目前基礎構造設計規範去預估植入樁的承載力，結果都遠低於這數值！但你剛才提到你預估出來的極限承載力與試樁實測結果的極限承載力是差不多的，所以不知你是如何算出如此的承載力？

**謝旭昇博士：**

先回答第三問題，在試樁前業主就有詢問這基樁的極限承載力是多少，我的猜測為 600ton，雖然三組試樁結果的確都是接近預估的數值，但此應純屬巧合。試樁結果的確與規範算出來的極限承載力是有差異，為何如此？這可能是屬於學術研究的範圍。PC 植入樁的案例在南部比較多，有的極限承載力可以達到一千餘噸，有的則只有兩、三百噸！這範圍其實是蠻大的！有關土壤側向位移的分析，我忘了當時分析的結果，但在數值分析方面，一般於輸入參數後，你要的結果都會有，包括沉陷量與側向位移量。至於第二問題，我們的確有好奇心，所以有向承包商要求提供沉陷監測的實測值，但是現場提供的數據並未經整理，所以我就放到一邊去了。因為現場一直在趕工，我相信量測結果不會很理想，實務上要量筏基的沉陷量的確是很困難的。

**林宏達教授：**

請教郭副總兩個問題，第一問題是看到剛才您的傾度管資料，在中間地方實測的側向變位大概有 10cm 左右，不知道這案子施工前有無側向變位的評估？這實測的與預測的變位是否差不多？第二問題是這案子後面有很多鄰房，不知道地表沉陷與後面鄰房的情形如何，有沒有造成什麼問題？

**郭晉榮先生(磐碩工程)：**

我們在規劃階段採用地中壁與扶壁時有初步評估，因為基地很大，不同分析剖面的土層分佈是依各鑽孔的土層分層深度，而強度參數則是用簡化地層的參數表，分析結果在剖面 D 最大側向變位是 4.8cm，而實測的則是在剖面 E 與剖面 B 這兩處變位比較大，其實大部份實測的變位約 5cm 左右，與預測的差不多。當初地中壁與扶壁的分析模式，原則是採用謝博士與呂芳熾副總在地工技

術發表之論文內的分析模式，即地中壁與扶壁的作用當作增加牆的摩擦力方式去模擬。其實這變位的產生，我個人的感覺最大的因素是開挖的程序與時間有蠻大的影響。第二個問題是有關鄰房狀況，後面地表實測的沉陷其實是蠻大的，大概是 4~6cm，但有一個現象是這沉陷是發生在第三挖掘階段，後續則比較穩定了，可能是挖深的情況，地表的沉陷比較均勻，最後鄰房的差異沉陷非常低，所以鄰房的處理費用非常低，大致是鄰房一有裂縫就儘快修復，然後過年過節就敦親睦鄰送個禮。因為如此，原來保險買了數千萬，但最後實際花在鄰房上的只有三百多萬而已！

**與會者：**

請問基地內如果舊有建築物有基樁，它的基樁配置與位置是用什麼方式調查？

**郭晉榮先生(磐碩工程)：**

舊建築物基樁的深度與配置等基本資料可以直接查圖，但實際位置是比較難確定，只有在樓的房子牆壁與地板敲除只剩地梁與柱子的情況下，在現場測量每個柱子的位置，因為依設計圖每個柱子下都有基樁，施工時就儘量閃避這些舊基樁，最後僅剩下一支基樁。

**綜合討論(下午)**

**林三賢教授：**

接下來請今天所有的講者到台上，在座各位來賓有任何問題可以直接與講者討論。今天光是連續壁的問題，大家在不同的崗位、不同的角度，延伸出不同的問題，不止是設計與施工，包含隔震等問題都帶了進來...各位前輩也許有類似的問題，借這機會可以提出讓大家分享這些經驗。

**張瑞仁先生(大域工程顧問)：**

聽了今天的介紹，我有幾個個人意見，第一：剛才俞董事長有講到，較大連續壁施工於所謂前置作業對地表沉陷的控制到底是正面還是負面？地表沉陷是我們目前控管的重點，有些人認為把連續壁做越大越好，事實上有沒有考慮到用小一點的連續壁，配合扶壁這類措施的施工，也許效果會更好一些，因為目前我們很難管控大型連續壁施工造成的地表沉陷。第二：賴先生所講的，我們會考慮把連續壁貫入不透水層，在大基地也許不會有問題，但在小基地常出現一個問題，特別是在高雄地區，當連續壁貫入不透水層以後，基地連續壁內水量是有限的，有些工程師

搞不清楚狀況，還未開挖就先進行抽水，這時內外水壓差就會引起非常大的沉陷，我們的經驗大概有45公尺的距離範圍會產生沉陷。所以作價值工程評估時，現場有沒有專責的人對這抽水作業進行控管？第三：剛才有提到一些近接施工，包括高鐵與捷運，設計單位會規劃設計很多的監測儀器，對目前監測儀器的要求是越來越精密，可是很多設計的人很少到現場去看監測是如何作的，比如有的要管控在5mm內，各位想看看，要如何測到1~2mm的變化，這1~2mm的變化到底是誤差還是實測的值，這情況也會牽涉到回饋的問題。所以我在想，設計單位訂這些規範時，相形之下我們對這些監測實務的要求與控管，還有儀器的限制等，這也許是另外一個課題可以討論的。

**俞清瀚先生(富國技術工程)：**

剛剛講的關於前置作業地表沉陷的考量，其實我們以前一直是把這狀況忽略掉。我們進行這案例時因為有審查機制，在審查中才有考量到自己開挖的前置作業對鄰房沉陷的影響。原先為了減少開挖時對鄰房沉陷的影響，我們在基地內作了地中壁、扶壁，還有連續壁要貫入不透水層以便止水，因此連續壁開挖越深、尺寸越大，導引出另外的問題出來。記得在台北捷運的東門站，當時他們作攪拌樁或者導溝時，其實就有產生比較明顯的沉陷，在連續壁挖掘時，記得連續壁厚約達2公尺，因此相對的施工時間就變得很長。所以整體來講，我覺得這地表沉陷的考量，隱含到後面很多的近接施工。我們現在有很多案例，台北市捷運局要求在連續壁施工時，把這些前置作業的影響也都要加入去作考量。剛開始，地表沉陷我們是取溝槽深度的3~4%，但這些是一至二處試挖單元之狀況，當連續壁施作一連串單元後，那時的變位量是否還是我們原測試的變位量？我們這基地是剛好緊鄰高鐵，他們為了保護自己，之前就裝設了很多監測儀器，而我們被這限制但也相對的獲得較多、較詳細的資料，但是不是每個基地都會有這狀況？其實我覺得在以後的工程實務上，這些前置作業的影響我們必須要有有效的去考量，我們需要用實作的去反應出實際的狀況，再去作回饋分析。

**賴建名先生(中興工程顧問)：**

剛剛俞董講的捷運東門站，剛好是我設計

的，所以大概可以向各位報告說明。目前在深開挖回饋經驗非常多的情況下，大家都可以透過數值分析與回饋分析去控制它的變位量。但是目前最大的問題正如俞董講的，是發生在連續壁施工階段，我們之前也曾經考慮用三維的軟體去作連續壁施工的數值分析，可是現場實際的行為與分析結果差異很大，最大的原因是廠商，好的廠商作的比較不會沉陷，不好的廠商作的則比較會沉陷！所以後續捷運局在相關規範上有進行改進，包含穩定液的調配與挖掘中的單元放置。剛剛張經理有提到所謂小而美的連續壁單元，目前有非常多的廠商有向我們爭取要施作小單元，因為小單元放置的時間比較少，沉陷量可能就不會那麼大。可是後來我們發現，小單元的連續壁在前期也許沉陷量比較少了一些些，但因為小單元的界面非常多，甚至為了小單元而要去作平接頭，則連續壁的行為就變得不是一個完全連續的結構體，它可能就會產生前後變位的現象。所以我們目前遇到最大的問題其實就是連續壁施工階段的沉陷，可是我們可以搭配剛才林總提到的一些槽溝保護工法，目前在槽溝保護工法方面不管是在後續台北捷運或其他相關的工程，我們有作了一些Study，甚至也作了一些設計。如俞董所講的，捷運局也注重這部份，我們後續也作了一些努力。第二問題，張經理提的非常好，連續壁貫入不透水層後，我們是非常害怕廠商先進行抽水，因此一抽水變形就出來了！甚至有一些工程強調進行抽水去作所謂的止水效果測試，這部份我們並沒有嚴格去要求，而且我們認為這對壁體的影響是蠻大的，所以在捷運的相關規範有規定抽水水位深度不能超過開挖深度下一公尺，就是要維持開挖區內外壓力的平衡與穩定。第三問題，張經理講的也是非常關鍵，目前不管是鄰捷運或是鄰高鐵，它的管制標準是非常的嚴格，比如鄰高鐵的差異沉陷標準可能是2.1/3000，鄰捷運的可能是3/5000，這標準其實是考驗廠商的技術與儀器精度。目前設計者大概都有走入工地了，我們有持續在監測一些案件，我們也希望一些配合的廠商能提升他們的技術，以前我們是有裝設一些奇奇怪怪的監測儀器，後來已統一回歸到裝設Total station(全站儀)、EL Beam(桿式變位計)和Tiltmeter(傾斜計)，主要是這三項儀器的精度可能

可以滿足我們的要求，但是還必須要搭配人工量測去作校正。比如 EL Beam 部份，它會有累積誤差，這就要靠人工量測的值去作修正；Total station 的精度是與距離有關係，距離越長它的誤差越大，所以會要求裝設菱鏡與 Total station 的距離不能超過一定的長度；這些我們後續會去注意，目前也有作一些調整，應該慢慢可以達到要求，我們的目標是大家以一齊進步，因為後續的要求會越來越嚴格，我們要繼續努力。

#### **林永光先生(磐碩工程)：**

不知道大家是否還記得早期漢來百貨案例，1.5m 厚連續壁挖掘深度好像是 32m，後來有發生砂湧；之前我們與青木公司有爭議，基地開挖 6m 時，他們要把地下水位一次降到底，因為他們認為增加有效應力，被動土壓可以增加很多。但我們認為高雄的地層都是砂層，最主要的壓力來自水壓力，水壓要從 7m 一次降到 33m 深，水壓一次降那麼多！我們認為不行，但業主還是接受日本廠商的建議，結果水一降，1.5m 厚的連續壁動了 8 公分多！所以就像賴先生所講的，在砂性土層不能如此，當然在粘土層是沒有水可降的，所以那是個很明顯的例子！第二，連續壁發包給不好的廠商，業主因為省下了不少的錢，但相對的就要在連續壁外四周作鄰房保護；如果發包給好的廠商，當然就不必作鄰房保護了。

#### **謝松林(際星科技)：**

請問周允文經理，剛才講到 PC 基樁，因為你那基地的地下水位比較低，所以可以在地下水位以上進行樁載重試驗，但高雄很多地方地下水位很高，如果地下水位高於預定基礎面，那要如何去作載重試驗，以符合設計規定？

#### **周允文先生(台灣世曦工程顧問)：**

我目前沒有遇到這種狀況，在南部包含南科地區，它的地下水位都是比較低的，所以我沒這經驗，可能要請教其他工程前輩回答這問題。

#### **黃福晉先生(靖瑋營造)：**

一般的建築工程都是把基樁作到地表面再進行試樁，因為開挖面有一定深度，不可能在開挖面去作試樁的。重點是基樁設計承載力是從開挖面才開始計算的，所以要如何扣除開挖面以上的摩擦力，以前是有用雙套管隔離，目前可以用鋼筋計監測載重傳遞到開挖面的力量，所以地表

上試樁設備的容量就要加大，在設計規定開挖面的承載力試驗需求外，要另外加上開挖面以上的摩擦力。

#### **林三賢教授：**

剛剛講的雙套管隔離，只有場鑄鑽掘基樁才可以做的，周經理今天介紹的 PC 樁是有用鋼筋計的。

#### **簡志榮先生(麗佳工程)：**

目前 PC 樁如果要裝設鋼筋計，必須用低溫養生的方式進行，而且成本會比較貴。在高雄有幾個案例的處理方法，是用經驗公式計算開挖面以上的摩擦力，疊加到原來規定的承載力後去進行試樁，試驗後再把承載力扣除回去，否則就必須裝設鋼筋計。

#### **林永光先生(磐碩工程)：**

現在的問題是反循環基樁都做得很大，樁徑有 2.5~3m，然後開挖面又深，上面如果不用雙套管隔離的話，摩擦力會很大，試樁設備載重能力就要很大，現在可以作到 4000~5000ton，但要到 6000ton 以上就很難了。而雙套管隔離的效果又不是很好，要加棉被、朋脫土等等希望去消除摩擦力，但有時候會卡住不知如何是好。所以我們建議是以樁徑 0.8~1.0m，裝設鋼筋計去進行破壞(極限承載力)試驗，求得極限摩擦力與底承力後，再去計算其他樁徑的承載力。

#### **陳正興教授：**

關於這點我可以補充一些，以前作鑽掘樁確實是有用雙套管去隔離摩擦力，在台北 101 的經驗是有用雙套管的。但不管如何去隔離，最後發覺效果都不很好！甚至是壁樁，也曾經有用過各種方法去隔離，但效果通常都不太好。所以比較有效的，還是直接在所需要的深度裝設監測儀器，然後從儀器的記錄再去推估以下的受力是多少。以往在圓樁方面是可以達到比較好的效果，但現在壁樁慢慢用得越來越多，因壁樁是長方形的，它的應力是比較複雜的，應力分佈不像圓樁的，它的應力比較不均勻，如何用鋼筋計去推算？尤其現在壁樁的開挖面常常要到 20~30m 深，在地面上進行試驗，往往開挖面以上這段的摩擦力佔了相當大部份，甚至可能達到整個試驗載重的一半，所以壁樁試驗這方面，不知在座的講者是否有改進的方法？

**呂芳熾先生(磐碩工程)：**

我剛才介紹的竹圍這案例，試樁荷重雖然達3400ton，但其實有一半以上是在克服開挖面以上的摩擦力，因為安山岩塊的關係，壁樁大肚得非常嚴重，所以雖然試驗到3400ton，但樁頭的沉陷只有一公分多而已，底部承载力幾乎沒有激發出來，而安山岩塊層的摩擦力還在持續發揮在上升階段，但我把它定義為極限摩擦力來計算，因為試驗無法再繼續加載上去。壁樁在這種安山岩塊層，因為會崩孔，很難用雙套管去減少摩擦力；用鋼筋計是一個好的方法，但是遇到這種會崩孔的安山岩塊層，它的狀況就是鋸齒狀，所以它的試驗荷重都是在克服開挖面以上的摩擦力。

**黃福晉先生(靖瑋營造)：**

今天發表的案例都是屬於深開挖，然後用扶壁、地中壁來配合深開挖，有的逆打開挖連最後一層的支撐也省掉了。我比較顧慮的是扶壁、地中壁頂在公單元，但扶壁與扶壁間有好幾個單元接頭，這樣子的水平方向的連續性與勁度，會不會因為扶壁與扶壁間單元的過大變形而導致接頭脫開，於砂質地層可能造成漏水。不過看起來，好像都非常成功，所以我的顧慮可能沒有必要。不過以前有歸納一些扶壁的配置經驗，扶壁的深度大概沒有什麼變動，但扶壁的間距，是否可請謝博士再幫我們加強一下？第二點，聽了剛才林總的連續壁教材，我建議在進階版時連續壁單元的分割原則可以放進去，這是蠻重要的，因為現在連續壁不管是在接頭位置、轉角處、工程柱與連續壁共構等，或是不同地質狀況、有鄰房情況等，分割原則可能是不同的，如果能稍為提示一下，是蠻好的！

**謝旭昇博士：**

這的確是永遠沒有解決的問題，扶壁、地中壁的間距是多少，有時候是看建築物的柱位去配置，有時候是看基地的形狀去安排，很初步的講，大概是15~20m之間能夠配置一道的話是最好。剛才黃技師有提到，現在有很多逆打，到最下階時把臨時支撐都拿掉了，這與扶壁、地中壁的配置與效應有一些關係，但其實裡面是藏有一些我們沒有拿出來講，就是開挖有一個所謂的三向度效應在裡面，有三向度效應的話，它外面作用的土壓力會比預期的小很多！根據歐章煜教授的研究，基地的面寬要在

40m以內，這三向度效應就會出來。這40m我們感覺好像太寬了，所以再把它壓縮到20~30m，我們認為就會有三向度效應出來。因為這三向度效應，承受的土壓力其實就沒有那麼大，所以把這些臨時支撐拿掉還是安全的！而單元與單元之間，是有搭接的，是不是一定要搭接才會安全？這又是一個大問題！因為參照三向度效應的研究，好像不太考慮單元與單元之間有沒有搭接，只要面寬壓到夠小的狀況下，三向度效應就會出來。

**盧怡志先生(磐固工程)：**

剛才謝博士有講三向度效應的問題，扶壁配置如果另外從施工的角度來看，一般母單元是3m，公單元是6m，我們通常把扶壁放在公單元，則扶壁最小間距是9m。那如果再放大的話，大概是4個單元一道扶壁或者地中壁，相當於18m左右，這18m就比較符合剛才謝博士所講的15~20m之間。

**林永光先生(磐碩工程)：**

我上次在大地技師公會有演講，我們作了扶壁與地中壁，希望變形量能減少40~50%。根據我過去的經驗，大概8~12m配置一道扶壁，軟弱粘土層我們曾經有配置6m，但在基隆路信義計畫區內，結果會滑動；地中壁我們通常是配置15~20m。另外，在一般地層狀況，變位控制在5~6公分以內；軟弱粘土層狀況，變位控制在2~3公分以內，正常的鄰房通常都不會有問題。至於剛才提到的壁樁試驗的問題，我有一個想法，因為日本作了很多壁樁的試驗，他們發現在相同的面積下，長形壁樁比圓形基樁的承载力可以增加22~23%。所以我想，既然長形壁樁試驗比較不好作，那我們可以用圓形的基樁去作樁載重試驗，然後出來的結果再乘以1.2，就是代表長形壁樁的，這樣子可以省掉很多麻煩。但我們必須要蒐集很多日本的資料與本土的資料。

**呂芳熾先生(磐碩工程)：**

我剛才有提到地中壁，其實實施作了地中壁後，有時候為了省最下層逆打支撐，把地中壁後敲，或最後才把地中壁敲除。其實省掉最下層支撐後，地中壁承受的力量非常的大，雖然有角隅效應而導致連續壁變形量減少，但是地中壁受力是蠻大的！所以在受力處，如果它是個支點，除了有橫向的行為而需考量配筋；另外尚需考量穿透破壞的問題，它可能只是剪力裂縫，但在地中

壁周圍 1D 或 1/2D 的地方通常會有垂直性的裂縫。所以各位如果要把最下層逆打支撐省掉，必須要先思考是否有這問題！

**賴建名先生(中興工程顧問)：**

有關地中壁的部份，我們部門設計的開挖深度是 20~40 公尺不等，因為大部份是捷運與地下鐵的工程，原則上我們都有配置一些地中壁與扶壁。假如地中壁の間隔太大時，就如剛才提到的會有剪力裂縫的產生，所以目前我們在比較深的開挖案例，地中壁の間隔大概是 10 公尺左右，可能比剛才各位先進提到的間距還要密一些。其實我們可以由 SID(壁體傾斜管)的配置與量測來看這行為，在無地中壁與有地中壁分別配置 SID，明顯的可以發現有地中壁配置的 SID 不太會有位移，但間隔超過 10~20 公尺時中央處 SID 的位移量比分析值還要大！因為我們分析時是取平均值，實際上在地中壁真正頂到的地方是不太會動，但其他地方則會有位移。

**郭晉榮(磐碩工程)：**

在工地比較常見到地中壁之後的垂直或斜向裂縫，大概是在地中壁附近的公母接頭，我們認為可能是因為一般分析的時候，是以單向度分析，但實際的行為它是受到集中應力的。就如賴技師剛才所講的，我們曾經有監測它的側向變形，發現在靠近地中壁或扶壁處其實它的變位是很小的，但就算地中壁頂住，它還是有變位，大概是 1~2 公分左右；在比較遠離地中壁或扶壁的位置(大概是 10~15 公尺左右)，量測到的變位與分析的比較接近，甚至有些還會超過。比較讓我們感到有問題的，裂得比較嚴重的其實並不是那真正頂到的單元，而是這單元與隔壁單元的公母接頭！我們有思考，可能是公母接頭的鋼筋會內縮；是否因鋼筋內縮而造成剪力不足或其他的原因，或是真正的行為與我們分析的模式並不見得是一樣的；我們看到一些設計有在地中壁頂到的單元作水平筋補強，但我們實際在現場常看到的裂縫並不是剛好在這單元頂到的位置，所以在設計上我們建議是在隔壁單元或是接頭鋼筋搭接處需要作另外補強的思考。此外，在開挖 12m 以內的地中壁或扶壁是比較少看到這種裂縫，超過 12m，尤其是 15~18m 的開挖，這種裂縫就會浮現出來，而且越來越多！是不是比較深，力量比較大而超出設計預期的或是其他的因素，值得我們深入去思考。

**林三賢教授：**

我想回到基樁的問題請教，因為南部喜歡用植入樁，也有裝設鋼筋計作樁載重試驗，不知道基樁所發揮的摩擦阻抗是在那裡，是樁與漿之間，還是漿與土之間？。

**周允文先生(台灣世曦工程顧問)：**

剛才簡報的案例，PC 樁直徑是 80cm，鑽掘孔的直徑是 1m，所以樁兩側的漿液各有約 10cm 厚。依我的看法，漿液的強度是低於基樁本身的，所以摩擦阻抗應該是樁本身所發揮出來的。我們裝設鋼筋計，也是量測樁本身的力量變化，所以基本上摩擦阻抗主要是樁本身所發揮出來的，當然也有部份是由漿液與土壤之間發揮的，但所佔的比重應該是比較低的。設計上我們也只計算樁本身的摩擦阻抗，而不考慮漿液的部份。

**黃文顯先生(營建署)：**

今天的主題是深開挖，而深開挖主要是發生於都市人口聚集的地方，現在有越來越多採用逆打工法開挖，它的優點是可以爭取時效，但它常常有噪音的問題！今天簡報的案例有很多的扶壁與地中壁是屬於臨時的支撐，不見得是將來結構體的一部份。所以我常常思考一個問題，身為土木從業人員，我們沒辦法讓附近的居民有安寧的生活環境，我是覺得很慚愧！因為要移除這些混凝土，體積又大，施工過程中常常有非常大的噪音！當然是因為開挖的安全而需要這些扶壁與地中壁，但是難道沒有其他的方式可以替代嗎？比如讓型鋼支撐の間距減小，早期我們都是用型鋼來支撐的，這些支撐將來都可以回收再利用，而且比較沒有噪音！所以我的第一個問題是有沒有一個替代方法，可以對逆打工法的臨時支撐有一些改良。第二個問題是有沒有辦法配合整體結構，把扶壁與地中壁設計為將來結構的一部份，比如是剪力牆，將來就沒有打除的問題，而該移除的、該穿孔的地方，可以預先留空與先穿孔好，儘量的不要在施工時製造太大的噪音！

**謝旭昇博士：**

以我的經驗看，扶壁與地中壁會作這麼多，其實它除了加強擋土的功能外，它還有其他結構的功能，幾乎是三合一的功能。扶壁與地中壁很多時候是基礎的一部份，以克服差異沉陷量；以前用基樁抗浮，現在則用扶壁與地中壁兼抗浮。所以扶壁與地中壁有三項功能，它可以抑制變

位，使連續壁的鋼筋量減少，又可兼作結構的基礎，所以才會那麼普遍的使用！剛才提到用增加支撐的方式來處理變位的問題，它只能解決開挖的問題。但是這些支撐後來要拆除，它對結構的基礎不會有任何的貢獻！所以為什麼現在普遍使用扶壁與地中壁，甚至把圓形基樁改為壁樁，這是有它的動機的。

#### **賴建名先生(中興工程顧問)：**

其實目前地中壁有分兩種，一種是混凝土灌到開挖面以上，另一種則只灌到開挖面下。地中壁比支撐有更好的效果，主要是因為支撐無法裝設於開挖面以下，地中壁才可以頂到開挖面以下的連續壁，這對抑制連續壁的變位是非常的有幫助，因為連續壁的最大變位通常是發生在開挖面上下的區域。假如地中壁只施作在開挖面以下，則是沒有敲除的問題，因為上段(空打段)是回填砂或級配料。假如地中壁有敲除的問題，主要是因為當評估分析地中壁在開挖面下的效果還不夠的時候，我們才考慮把它灌到開挖面上，讓它在各階段開挖時有預頂的功能，以進一步抑制連續壁的變位。剛才提到的噪音問題，的確是我們在都市中捷運施工最被批評的垢病！在台北捷運或高雄捷運，有遇到針對開挖面以上的地中壁被要求採用鑽心洗孔的方式去拿掉，而不是用敲除的，也就是鄰近要避免比較大的震動時，我們就採用鑽心洗孔的方式，洗成一塊塊的把它吊離，就沒有震動的問題，但工程經費上就必須要增加。

#### **林永光先生(磐碩工程)：**

我早期有看過日本軟弱粘土層開挖案例的論文，我們的扶壁與地中壁他們稱為肋牆，在軟弱粘土層地下開挖 5~6 層的案例採用剪力牆的方式施作連接兩側的擋土連續壁，角落部份則用外扶壁的方式加強。在台灣，潤泰曾經在基隆路基地有用類沉箱式施工案例，就是在所有地樑下全面施作地中壁，如謝博士所說的，它可以當承載用、克服沉陷，又可以減少連續壁的側向變形，當時很多人取笑錢太多，但慢慢發現目前市面上已經有很多設計與施工是沿著地樑施作地中壁。這樣作有很多好處，尤其在軟弱粘土層地下開挖，因為地中壁可以提供摩擦力抵抗塑性隆起，連續壁的長度可以減少，甚至壁厚也可以減少 10cm！此外，剛才黃先生提到用增加支撐的方式來減少變位的問題，因為考量挖土空間的需要，頑皮豹挖土至少要 2.3m 高，水平向間距至少要 6m 左右以

供吊放鋼筋進入，所以支撐是不能排得太密，除非是比較緊急狀況才多加一層支撐。以前常常有最下一層支撐間距小於 2.2m，造成挖土施工很困難，我們希望空間至少有 2.3~2.5m 以上。

#### **龔東慶先生(成功大學)：**

剛才提到高鐵路近接施工的問題，高鐵公司也非常的關心。以剛才簡報的那個案例來看，要控制 10m 範圍內的地表差異沉陷在 10mm 以內，對稍為深一些的開挖現實上是不太可能控制的，這代表在高鐵軌道或車站附近進行深開挖工程時，沉陷勢必會超過這規定而必須要進行調軌，甚至調軌變成一種常態，假如調軌是必然得作的，它的時間與費用是否要納入賴技師剛才介紹的價值工程而成為設計與評估的一環？高鐵公司是否可以接受如何的觀點？是否會影響高鐵的營運應該是很重要的關鍵！延續這問題，在工程界不管是扶壁或是地中壁，在應用上的確可以大幅度減少連續壁的側向變形，也如剛才謝博士提的具有三合一的功能，但是增加了扶壁或是地中壁，在連續壁的挖掘施工過程中產生的地表沉陷反而變得比較關鍵，不知道工程界對這問題有何新的想法與對策？是否可以提供一些建議讓學術界協助工程界解決這問題。

#### **俞清瀚先生(富國技術工程)：**

剛剛有提到，這些管理值訂得非常嚴格，常常還沒施工，可能就達到行動值了，其實有時候這些措施在施工前本身就可能達到行動值的，只是大家一直沒有真正去面對這數值。我剛剛談的案例，其實運氣比較好一些，因為這基地旁的高鐵軌道已經要進入站體，理論上車速已經減速了，但管理值的規定還是沒有辦法任意的開放，所以這管理值隱含了很大的安全係數！這基地的確是經過多次的調軌，因為基地旁邊是道碴的軌道，而且最靠近我們基地的兩條軌道是維修軌。其實這些問題不是一個承包商要獨立去面對的，應該是捷運局或高鐵局要與承包商一齊討論的，所以我們這案例每月開會時，高鐵的軌道維修部人員會列席，讓我們知道高鐵巡軌車檢測的狀況。此外，我要強調的是我們這案例的高鐵軌道是道碴的，假如是版道式的軌道，則調軌的機會就很少了，而且這案例因為高鐵單位有參與討論，所以他們願意討論這方式。這調軌的方式是否可適用在其他的案例，這要仔細的考量，我認

為應該是沒有辦法納入常軌的。

**賴建名先生(中興工程顧問)：**

正如俞董所講的，他這案例剛好是道碴軌，道碴軌的沉陷原則上是可以利用晚上停駛時段(非營運時間)進行補碴處理。可是版式軌道是不能如此，目前高鐵有大部份是版式軌道，捷運則全部是版式軌道。版式軌道只能靠扣件去調整，它有 15mm 的範圍，但因為要留 5mm 的調整誤差，所以只能容許 10mm 的範圍；而且版式軌道要維修就必須要停駛，停駛不管對捷運或是高鐵來說都是非常大的事件，只要一天不營運馬上就會上報的！所以目前所有版式軌道的要求是非常嚴格的，因為它的調整量有限。其實這差異沉陷量，或者軌道的傾斜量訂定為 10mm，是否代表超過 10mm 車子就不能行駛，這是不一定的！捷運局目前訂這規定其實是保留了一些餘裕，主要是以軌道扣件可調整的量來作為維持。所以目前版式軌道雖然在維修方面會比道碴軌好，但它唯一的原則是它的安全量是很小的！目前遇到這些案例，大概只能花錢儘量讓它不要動，利用各種方式去滿足與維持營運的需求。所以一到達行動值就會被要求停工，在後續處理時才會把它的餘裕量放出來，這餘裕量會以巡軌車去檢測，看這軌道的傾斜是否可以繼續行駛。此外，針對剛才的地中壁與扶壁的問題，在施作地中壁與扶壁的過程中，如果間隔過密，確實會有問題！我們曾經設計過間隔為 4m 的地中壁，但廠商沒有依照設計要求採用跳島方式施工，而是一路施工過來，結果就一路的坍塌，反而造成壁體很大的變形！所以本來設計是好的，但因為施工順序規劃不良或間隔太密的情況下，反而造成負面效果，所以目前我們設計地中壁的間隔大概是 8~10m。

**張瑞仁先生(大域工程顧問)：**

我們在高雄有個經驗，結構技師本來用意良好，設計扶壁間隔 5m，但是後來引起很大的問題。除了剛才講的施工上會有坍塌外，一般上在預定開挖面以上都會回填，所以當扶壁間隔太密時，實際上上部土壤之模式與設計的模式幾乎是

完全的不相同！另外，有關監測設備的適用性，比如 EL Beam(桿式變位計)在高鐵南部空曠的區域，與在隧道內的表現事實上是差非常的多！大概在 2~3 年前我們在執行舊橋改建時，裝設了很多連通管，就是要維護舊橋的安全性，但連通管在曝露之下，根本無法控管它的溫度效應！所以回歸到監測的數值上，事實上這些 Data 我覺得根本就是沒有用的。剛才講的影響評估與近接施工，有時候像在玩數值上的遊戲，根本不知道會花多少錢！審查還是會過，建商還是會蓋的。這種實務與監測值兩者的拉近，當然台北這方面的經驗會比較多，但是我覺得確實是很值得收集起來。

**林永光先生(磐碩工程)：**

我想請教陳博士，因為我們在汐止有個基地靠近鐵路，請問我們在砂質地層施作連續壁時，因為砂質地層受震動比較會崩塌，所以你認為距離鐵軌要幾公尺連續壁挖掘時才不太會崩塌？剛剛聽您講的，深度超過 4m 就沒有震動影響，所以只要作深導溝就可以克服這個問題，但是水平距離是多少？

**陳卓然先生(台灣世曦工程顧問)：**

因為軌道行車引起的震動，衰竭是很快的，我的經驗是如果有 10m 以上大概就 OK，距離 3m 就要算看看。我分析的是採用 K-18 鐵路列車，已經是最重的，計算的結果顯示 4m 以下的支撐是不用加強的，比較沒有受到行駛震動的影響，增加的應力不到 10%，所以當作靜力設計就可以了。另外，剛才討論的支撐，我記得台科大的一位教授有建議大家不要設計垂直型的支撐，他建議是作圓形的，在圓形的受壓，各點承受的都是壓應力，中間空間也就會變很大！目前沒有如此作主要是接頭的問題，總是要有廠商發這接頭的專利出來。如果是長形的基地，可以作兩個圓形支撐。

**林三賢教授：**

非常感謝陳博士提供這個意見，可以供地工界參考。我們時間就到這裡，感謝大家對活動的支持，謝謝大家！