

研討會專欄

地工技術第 19 次研討會

地盤改良與潛盾破鏡及聯絡通道開挖

時 間：95年7月28日(台北) 95年8月3日(高雄) 上午9:00~下午5:00

地 點：台灣科技大學視聽館(台北) 高雄應用科技大學化工館一樓會議室(高雄)

主持人：鍾毓東/林宏達/王繼勝/沈茂松

廖惠生 整理

講題及主講人

| 講題 | 主講人(台北場/高雄場) |
|----------------------------------|--------------|
| 聯絡通道之地質改良 | 方永壽/陳滄江 |
| 超高壓噴射灌漿工法設計及施工探討 | 廖惠生 |
| 高壓噴射灌漿本土適用性研究成果 | 鍾毓東 |
| 早上綜合討論 | 與談人/全體講員 |
| 潛盾破鏡與冰凍施工案例 | 葉文謙 |
| 水平式雙環塞灌漿工法應用於台北捷運聯絡通道開挖之案例 | 楊國榮 |
| 雙環塞灌漿應用於卵礫石之案例 | 陳瑞禾 |
| 深開挖封底灌漿之設計與施工 (台北捷運CK570G標案例) | 林坤霖 |
| 潛盾隧道破鏡意外事件與地質改良 | 方永壽/陳滄江 |
| 下午綜合討論 | 與談人/全體講員 |

主持人/主講人

| | | | |
|-----|---------------|-----|--------------|
| 林宏達 | 台灣科技大學營建系 | 葉文謙 | 萬鼎工程服務股份有限公司 |
| 王繼勝 | 中興工程顧問股份有限公司 | 楊國榮 | 亞新工程顧問股份有限公司 |
| 鍾毓東 | 地工技術研究發展基金會 | 陳瑞禾 | 恆毅地工技術股份有限公司 |
| 沈茂松 | 高雄應用科技大學土木工程系 | 林坤霖 | 中興工程顧問股份有限公司 |
| 方永壽 | 交通大學土木工程系 | 陳滄江 | 中興工程顧問股份有限公司 |
| 廖惠生 | 萬鼎工程服務股份有限公司 | | |

與談人

| | | | |
|-----|----------------|-----|-------------|
| 胡邵敏 | 三力技術工程顧問股份有限公司 | 潘俊全 | 根啟營造工程有限公司 |
| 廖洪鈞 | 台灣科技大學營建系 | 李維峰 | 財團法人台灣營建研究院 |
| 趙際禮 | 高雄捷運股份有限公司 | 廖銘洋 | 榮民工程股份有限公司 |

綜合討論(台北上午場)

林宏達教授：

地盤改良這麼多年一直是台灣很熱門的問題，雖然我們有很多經驗、有很多案例、也有很多人研究，但目前為止仍有很多挑戰、很多問題還要繼續努力，相信這個議題研究歷久不衰，這次研討會本來預估報名人數約100人，感謝各位踴躍的報名，估計今天人數超過130人，很高興有這麼多人參與。本次研討會內容豐富，可分為二大部份，研討會本來僅針對期刊內容，但這一年基金會在鍾毓東董事長及方永壽教授領導下做了一項很有意義的研究，今天早上請鍾毓東董事長主持相關的議題，下午主要是針對地工技術之內容，另外，各位手上拿到一本”Journal of GeoEngineering”，是大地工程學會出版的英文期刊創刊號，各位很幸運是最早拿到的人，下午方教授會跟各位介紹這本期刊創刊的目的，台科大非常歡迎各位參與此次研討會，也預祝研討會順利成功，以下我就把時間交給第一場主持人鍾毓東董事長。

鍾毓東董事長：

各位工程界先進大家好，今天早上研討會第一位講者是方永壽教授，主要講聯絡通道之地盤改良，第二位是廖惠生先生主講關於超高壓噴射灌漿工法設計及施工研討，第三位由我主講高壓噴射灌漿本土適用性研究結果，因為時間的關係我們把時間交給第一位主講人方永壽教授。

綜合討論(台北上午場)

鍾毓東董事長：

今天特別邀請幾位與談人，第一位為胡邵敏博士，第二位為廖洪鈞教授，第三位為高雄捷運公司趙際禮處長、第四位為潘俊全先生，潘俊全是根啟公司工務部經理，根啟公司也參與本次之現場驗證計畫，另外楊易璋先生因為臨時有事不克前來，今天很難得大家能共聚一堂，希望大家的深入討論能對高壓噴射灌漿作業及品質，有很

大的幫助。我們首先歡迎趙際禮處長為我說明一下寶貴經驗。

趙際禮處長：

很難得在國內研討會能聽到對高壓噴射灌漿做了這麼深入的探討，尤其是聽到廖組長對整個高壓地盤改良做了那麼詳細的介紹，感到非常佩服。因為我在北捷及高捷也做了一段很長時間，幾年來包括台灣及國外比較大的承包商多在我的工地做過，首先先說明大家工地常犯的錯誤，再次提醒大家，在此我們先不談高壓或超高壓工法的分別，先說施工管理應注意重點有那些，第一個測量是非常重要的，為什麼測量有那麼重要呢?因為一個鏡面或聯絡通道下方地盤改良，通常僅有1.5~2.0m，若地面高程測量有誤，則容易造成下方改良厚度不足。第二個常見問題，灌漿施工時常施作工作平台，這個工作平台一般約30~40公分，若灌漿時未考量這30~40公分高度，地盤改良便少了30~40公分，有些承商第一階段灌漿時，機械洗孔水常沒有弄的很乾淨，所以在第一階段施作狀況普遍不佳，在高雄捷運我們會要求，比方說設計下方2m厚，我們都會要求做到2.3~2.5m，以解除下面可能產生的誤差。另外對出發到達及聯絡通道部份，若有因為交通維持的關係，需進行二次施工，常常為失敗之所在，因為在第一次施作時如果中線沒有定的很清楚，往往在第二次交通維持施作時產生中線的誤差，在過去的經驗裡，有交雜的地方，最容易產生問題，這些常見的問題再次提醒大家注意。另外，請問試驗時的鑽桿是幾英吋的。

潘俊全經理：

依鑽機大小，鑽頭可能有10cm，6cm及5cm，我們公司用的鑽頭10cm，鑽桿6cm。

趙際禮處長：

若是這樣是正確的，因為JSG是半置換工法，我曾在其它工地看到鑽頭及鑽桿一樣大，因為迴漿不順造成隆起。另外，我剛剛看到一個很奇怪的現象，JSG灌漿時以水刀進行一次切削，再用水泥漿進行第二次切削，這與CJG工法是不

同，因為JSG是於不同時間噴射。

潘俊全經理：

因為JSG施作深度，25m以下JSG成型率不好，所以一般會要求25m以下先用水刀切削，25m以內會按一般程序施作。

趙際禮處長：

超高壓有三個最重要因素，第一為鑽桿RPM，一般不管日本或歐美大多規定在5RPM以下，第二個是鑽桿的提昇速度，請問試驗二重管鑽桿每一次提昇距離為何？

潘俊全經理：

以國內比較小型鑽機2.5cm/次，大型5cm/次。

趙際禮處長：

國際標準大概2.5cm/次，國外多是電腦自動控制，國內有一些廠商仍採人工控制。

方教授有提到聯絡通道安全門問題，安全門在高雄捷運一定會要求施作，其次談到多重保障，希望在開挖穩定前，聯絡通道兩側及集水井安全門都不要拆。高雄捷運聯絡通道集水井，是在聯絡通道主結構體完成後，再進行集水井垂直試水，試水合格後，再以型鋼固定集水井安全門，最後方進行集水井開挖，因為每個聯絡通道大約150m³之土方，也就是說有災變時需150m³之土方進行補填才穩定，若能將這二個高度危害的因素，獲得控制，就能防止災變的發生。

另外方教授有提到高雄捷運聯絡通道災變，事實坍方主要是因為聯絡通道上方有一支600mm及一支300mm之自來水管，在事故發生時我們晚上9:10進入隧道檢視時，發現已趨於穩定，但於9:00突然大水灌進來，是因為8:30自來水管斷掉造成災情擴大，由於明挖覆蓋段發生很多災變，所以往後無論在北捷或高捷，建議能在明挖覆蓋段附近的重大自來水管兩頭裝設控制閘，萬一發生問題時能有效控制災情。

試水仍有很多需注意的地方，如在試水孔穿過連續壁時，不管有無漏水，均應先做一次補灌漿，因為開挖時可能造成連續壁變形，若不先補灌，試水結果容易造成誤判。第二點試水應試斜

孔，因為試斜孔會穿過比較多之Joint的地方，就可以了解joint中的overlap是否ok。

還有試水孔有漏水時，常於原試水孔補灌後再洗孔試水，這方法是不對的，應該再鑽一個試水孔，來證明已補灌完成。一般試水鑽桿直徑常用16mm，因為太小所以真的有漏水也常試不出來，因此我們建議至少38mm以上。另外談到試水深度問題，一般常僅試到開挖線為止，因為開挖線以後是要挖掉的，所以我們關心的應是開挖線周圍地盤改良厚度是否確實，所以建議試水應試到接近改良體外緣80~100cm，這樣才能真正了解灌漿的成果，有人質疑試水孔會不會形成一個滲水路徑，這個觀念我是不能接受的，因為試水完了之後試水孔回填必需很確實，另外外圍還有80~100cm之地盤改良，若會漏水代表地盤改良品質可能有問題。

其次是聯絡通道潛盾施工管理，包括出發到達也一樣，當潛盾機進入聯絡通道時，潛盾機之推力及阻力要往下降，因為推力太大，易造成改良體龜裂，故以推力要降低慢慢磨，其它灌漿有二次水化熱問題，所以我們會要求放緩凝劑，另外，潛盾機經過聯絡通道時絕不可停機，即使是星期天也不可以，這是提醒大家。從過去經驗了解，只要是斜鑽孔，失敗率達80%以上，所以灌漿檢核表一定要確實執行，而試水也一定要試在斜交的地方，可清楚了解灌漿最弱的地帶。

聯絡通道附近的4~6環之環片，灌漿孔一定要增加，因為一旦發現改良有問題時，已不可能在混凝土環片鑽孔，後續若要補灌才有機會，希望能納入設計中。常用計算潛盾出發到達厚度計算方法，來決定聯絡通道改良厚度，由於聯絡通道與破鏡地盤改良機制不同，安全係數至少應大於2以上。

高雄捷運安全門特色，於安全門預留閘門及觀測孔，緊急狀況封門時閘門可打開，封門時較容易封，而緊急狀況可灌發泡材，而發泡材像吃中藥一樣，若打高膨脹發泡材，消泡材也要考量一併使用。

高雄捷運初期，高壓噴射灌漿第一次試水的

失敗率約80%，必須用好的地盤改良方法補救。剛剛介紹這些地盤聯絡通開挖出來的照片，有些地盤改良是利用unipack 或double packer進行補灌，其中以double packer我認為是目前最好的補救方法，unipack比較便宜，但要花比較多的時間。我發現台灣高壓噴射灌漿廠商，很少兼做低壓灌漿，事實上兩者應相輔相成。由於時間的關係，希望下次有機會再與各位分享相關經驗。

鍾毓東董事長：

是國內才有這種現象，還是國外也有這種現象。

趙際禮處長：

坦白說國外似乎沒有這些現象。

鍾毓東董事長：

如果是國外沒有這個現象，國內更應該嚴肅面對這些問題。接下來來談談國內產業分工問題，通常由設計者決定地盤改良施作與否及地盤改良工法，也會要求需不需試灌，什麼樣的檢驗方法，且通常採一式計價。營造廠得標後，再以每方多少錢發包專業廠商，再由專業廠商決定有效樁徑、配置及施工參數，再經過設計單位之審查。而專業廠商再將部份工項轉包給領班，以每米計價，不曉得這樣解釋是否正確。

潘俊全經理：

專業廠商可能會再發包，且為每米計價，一個聯絡通道成功主要不是決定於機具之好壞，而是決定在施工管理部份，一些小小疏忽一直累積，可能造成問題，事實應取決於每根單樁的品質。目前國內灌漿存在人員不足問題，假設一個聯絡通道需10人，若一家公司同時拿到5個區段標，以一個區段標有二個聯絡通道同時展開，平均這個公司就要100人，趕工加上人員不足，常處於邊學邊做，訓練不足自然施工品質會出問題。發包單價也是另一個大問題，時常為了節省成本而轉包，自然容易造成管理的疏忽，我相信國內包商是有能力做好地盤改良，主要取決於價格好不好。

楊品錚總經理：

因為三重管是屬全置換工法，二重管也是屬

於半置換工法，若排漿不順則無法達到預期效果，我們舉一個極端例子，若在砂土層施作水平灌漿，義大廠商利用雙機頭，套管維持在灌漿後方20cm，一個機頭帶動套管，一個帶動鑽桿，能確保孔壁不坍塌。十年前我與RODIO在中和線，一開始也是很慘，5部鑽機有3部在補灌，因為在歐洲大陸地質的經驗，可能不需要下套管，但像台灣這種千層糕的地質，我們舉中和線為例，我們的套管從5英吋加到8英寸，就是為了維持排泥的順暢。另外，在81年台電士林壩，卵礫石地盤改良施作50m，卵礫石由於無法下套管，只好分段施噴，先噴上方0~10m，以完成上方打出152mm之孔當作排泥孔，如此分階施作，才能有效排泥順利完成。

另外，我想談談關於驗證試驗不佳之原因，一開始試灌採超音波檢測，因為皂土會維持孔壁穩定，所以排泥會非常順暢，灌水泥漿因沒有下套管，可能因坍塌造成排泥不順暢，這等於在改良區上方裝設packer，可能同時在擠壓或脈狀成形，我們在坪林隧道400kg/cm²灌漿脈狀達20~30m都是有可能的，因為沒達到全置換或半置換的功能，這是為什麼廠商找不到成形樁的原因。再來，談談鑽孔偏斜問題，當初我們在中和線，因為技術沒那麼好，所以我們大家採縮小樁徑及樁距來因應。歐洲一般以89mm鑽桿，正常鑽孔偏斜率是千分之8，也就是說40m深會有32cm之偏斜，這是正常操作下，若沒有好好的控制，偏斜超過50cm也是司空見慣。以目前工地實際執行測斜常常省略，或僅於每個工區施做2~3孔，可是我記得當初新店線221標是每1孔都做測斜。現在可能因為測斜前後要花2小時，常常為了節省時間，而省略或僅施作2~3孔。目前法國與義大利最新技術在monitor另外裝設測斜儀器，等噴漿完成後再將測斜儀器取下下載測斜記錄，測斜動作不會影響灌漿，最重要等於每一孔均有測斜記錄，可做為將來試水及補灌之參考。

鍾毓東董事長：

從剛剛談話中，可知測斜應是非常重要的，但就我所知，好像國內廠商大都沒有做，甚至不

知道怎麼做，所以是不是要進一步要求或輔導廠商，進行孔位偏斜測量。

趙際禮處長：

剛剛楊總提到義大利雙機頭，國內改良後鑽堡並沒有這些功能。無論三重管或二重管工法，較有經驗廠商會去觀察迴漿是否順暢，國內很多並沒有做的很好，甚至連迴漿坑都沒有做，其實我也非常贊成本土化，施工時也都不干預專業廠商施工。但先決條件是，試水要做的很確實，高捷除要求地盤改良體透水係數要小於 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 外，另外規定每一孔漏水量不可超過50cc，有超過時就要進行檢討，另外價錢是一個很重要因素，目前價錢大約僅80年時之1/4，在成本不足情況，勢必影響施工品質。

鍾毓東董事長：

就我了解目前JSG工法預算應還有每方5000元，不瞭解到專業承商還剩多少。

趙際禮處長：

2000多元，甚至1000多元都有廠商願意做。

潘俊全經理：

以我了解在台北捷運聯絡通道最差還有每方3900元(不包括餘土處理)，出發到達止水性要求較高之工項也相同。

廖洪鈞教授：

參加今天研討會，我個人有很多的感觸，我本身是做灌漿研究，但是現在不做了，就好像我看到楊品錚，十年前我們一起中和線做灌漿，現在楊品錚也不做了，剛剛提到單價問題，如果台灣環境是如此，我們該怎樣辦。事實高壓應配合低壓灌漿進行，好像剛剛趙處長提到，就算在聯絡通道這麼困難的案例，還是有辦法突破。我也知道現在世界進步到什麼程度，但以目前這種單價很難有廠商願意投資。這裡我想問二個問題：

1. 集水坑一定要那麼深嗎？

2. 一定要做連絡通道嗎？

有次碰到香港工程師，他們就在笑我們，香港和日本都不做連絡通道了，為什麼我們還是要做。

陳俊宏課長：

日前關於隧道逃生有二套系統，包括歐美(要做)及日本(不做)，於早期總顧問期間為歐美顧問，因此規畫手冊主要參考NFPA規定每800ft(244m)設置一處連絡通道，曾經有機會碰到日本專家，詢問連絡通道設置問題，日本專家表示日本捷運已超過100年沒有發生過事故，但如果發生像韓國大邱的事件，即使有設置也沒有什麼用，因此日本覺得並不需設置。目前台北捷運連絡通道之設置，主要按規畫手冊規定辦理，我們曾經想請專家研討設置之必要性，但以國內消防法規會不會更嚴，反而需設置更多之聯絡通道，這是我們擔心的問題。

以目前台北捷運執行方式，只要專簽同意，因施作困難是可以取消的，如過河隧道，上方有障礙物灌漿困難之處。特別說明，目前松山機場下方聯絡通道無法取消，主要考量一般高運量中6節車廂是可以互通的，失火時可同方向往逆風方向逃生，就沒問題，而中運量因各車廂互不相通，一旦發生火災，前面跑前面，後面跑後面，通風系統無法做統一的管理。

鍾毓東董事長：

由於時間的關係，早上的討論就到此為止，謝謝各位。

綜合討論(台北下午場)

鍾毓東董事長：

冰凍是否需要與高壓噴射灌漿一併施作？

林坤霖經理：

冰凍以前僅用於救災，新莊線是第一個將冰凍納入發進到達施工項目，基本上，冰凍有以下情形可能無法成形：

1. 地下水流流速過快
2. 鹽份過高
3. 地下水含量過低

國內不管用於救災或正式施工，凍脹的問題還不是很清楚，日本也是很少灌漿與冰凍一併執行，也就是說大部份都分開施作，在台灣冰凍參

數不是很確定，尤其新莊線工區靠近河岸，施工風險較高。另外我們也擔心凍脹問題，曾有日本廠商將松山層土樣送回日本施作凍脹試驗，可能會有幾十公分的凍脹量，詳細報告我並未看到，僅看到結論，這點尚有待各位專家學者進一步研究。另外，我們已施作完成之發進垂直冰凍區，由於事先有做超高壓噴射灌漿，因此凍脹均能控制在1~2cm以內，但我也發現土中傾度管有側移10~20公分之紀錄，但目前傾度管已損壞，我想萬鼎公司在雲科大進行試驗時應該也有這種情形，我想是不是一定要兩者併用，應該還是要看情形，若有足夠時間應該先做試驗，來進一步決定施作方法。

胡邵敏博士：

據我了解這個工區施作兩種工法，最主要是雙重保護，由於灌漿深度較深，若單純採超高壓灌漿，恐無法達到100%止水，加上工區靠近河邊，擔心一旦有任何進水，水會由隧道灌入市區，造成更大之災害，因此選擇超高壓噴射灌漿加冰凍工法做為雙重保護。

鍾毓東董事長：

請問林坤霖經理O8站封底灌漿，灌漿品質管理做的很好，垂直度是如何管理。

林坤霖經理：

基本上鑽機管控還是僅能由地面上執行，比較特殊的是，採X、Y兩方向導引管理，這個方式也僅能確保地面之垂直度，地表下垂直如何就不是很清楚，如果我沒記錯，垂直度大概控制在正負0.5~1度以內，就如同剛剛所講，地面堅實度一定要夠，若鑽機不是在堅實地盤上施作，勢必很難確保灌漿的垂直度。

鍾毓東董事長：

剛剛有提到冰凍管鑽孔用陀螺儀測斜，若在高壓噴射灌漿同樣使用陀螺儀測斜，以40m深來說，可行嗎？要做多久？

楊品錚總經理：

一般來說，封底灌漿是不再需要測斜的，若鑽孔太斜時會因鑽機扭力太大而無法下鑽，由於馬歇管與高壓噴射灌漿不同，屬滲透灌漿，而台

灣目前大都接受日本的觀念，以歐美觀念，記得我們在中和線276標卵礫石灌漿間距是2m，假如卵礫石孔隙率是30%，我們採20%CB漿填補大部份孔隙，再以化學灌漿補充最後10%，由於需要在卵礫石層中，灌入20%之CB漿，因此灌漿壓力需達50kg/cm²，packer壓力需到60kg/cm²，故兩者工藝技術並不相同，持平而論，歐洲的馬歇管技術至少領先日本10年，其實主要差別是歐洲採CB漿來填補大部份的孔隙。而道岔西側應該也可考量採用冰凍加化學灌漿。

另外，針對CP262地盤改良問題，我覺得應該是偏斜問題，早上有提到採用89mm鑽桿，應可達千分之8之偏移率，以CJG下152mm之套管，個人覺得正常應可達到千分之6，40m則差不多有25cm之偏斜，若考量偏斜問題，比較保守應可考量採1.6m甚至1.4m樁徑，像我們初期在中和線曾有5部鑽機3部在補灌，但到後來能一次把它做好，主要是考量偏斜及深度，將pitch及樁徑縮小才把它做好，也就是說，高壓並不是一定要補灌，當然這是僅就工藝技術進行討論，不考慮單價的問題。

鍾毓東董事長：

若設計規定某工法僅能達到某一種樁徑，專業承商一定要做那麼多，可能就不會胡亂殺價，是否會有幫助。

楊品錚總經理：

可能有幫助，另外剛剛提到以陀螺儀測40m約需1小時，但由於陀螺壽命大約僅100小時，壽命短因此成本較高。若以歐洲在鑽桿裝監測儀器，則不會影響噴灌之進行。

趙際禮處長：

由於板橋線CP262標甫發生災變，新莊線又接近淡水河，為降低施工風險，採高壓噴射漿配合冷凍工法，事實上當初我們也曾請教日本冷凍專家這個問題，並非一定要兩者併用。

法國曾引進double packer電腦化管制系統，壓力狀況能從電腦報表馬上看出來。提到工藝部份，日本double packer部份確實落後歐美至少10年，而恒毅所做確實是本土化之double

packer，因為它使用2 shots而非1shot。double packer引擎是屬於三連式，因此穩定才是最重要，壓力及流量是比較重要的因素，因此管制表是非常重要的，一定要確實執行。

另外關於冷凍工程問題有以下問題請教：

1. 垂直測溫管配置，是否考量於凍土區最外側配置測溫管？
2. 地溫監控僅用各測溫管之地溫與時間管理，是否再輔以測溫管之垂直深度變化？
3. 監測系統僅見地溫分佈，有無其它監測系統？
4. 西側發進工區，當上行線破鏡完成後，凍土開始融解，後續下行線掘進時，融沉現象對下行線有無不良影響？為何不考慮設置水平解壓孔？
5. 到達工區水平測溫管僅設置於冷凍管外緣，鏡面內為何未設測溫管？
6. 運轉時採用-30°C，為何分析時採用-25°C。

葉文謙副理：

本案冷凍工法最大風險為連續壁與凍土介面之止水性，因此凍土區最外側係採用鏡面四周壁面測溫管來管控，而地溫監控有輔以測溫管垂直深度之溫度變化進行管理。監測系統除地溫外，工區內亦佈設淺式沉陷點、建物沉陷點、傾度管及多點式桿式伸縮儀等。而本案例因冷凍運轉及融沉均在超高壓噴射灌漿體內施作，故凍脹及融沉應不致於產生較大之影響。而到達工區內未設置冷凍管，乃因冷凍進場時，潛盾機已掘進定位，鏡面內設置測溫管有其困難，但仍輔以機殼測溫，以控制介面溫度。另運轉時採用-30°C係基於保守的考量。

傅先生：

對於冷凍工法我有一個想法，就是在到達坑先灌水，再把它冰凍起來，等潛盾機推入背填完成後再解凍，是否可行？

趙際禮處長：

不用這麼麻煩，以高雄捷運R11為例，若潛盾與工作井是斜交進來，潛盾機很容易造成偏斜，可以CB漿灌入隔艙內，看情況而定。另外提到CP262標地盤改良檢測，千萬不要O-HA止水，這樣止水方式是在欺騙自己，因為O-HA僅能止前面60~100cm之水，若水跟外面的連通，

一旦有狀況會很快發生。

而封底灌漿是不需要另做垂直測量，因為低壓是用鑽機垂直度加以管控，之前談到CH221標垂直度測量問題，其實僅有冷凍工程才有全部量測。

另外有一個很深切的問題，一般設計砂土層強度30kg/cm²，粘土層10~15kg/cm²，但做出來時常高達400kg/cm²，目前常有添加高爐水泥，會造成長期強度很高，反而造成嚴重的龜裂，因此若設計強度只要30kg/cm²，真的沒有必要做到150kg/cm²，日商常會加皂土，加皂土不但可減少泌水現象，對鑽桿也有潤滑作用，台灣本地廠商一般不願添加，主要是因為皂土單價較高，且皂土要攪拌等因素，最後常造成強度過高之現象。

林坤霖經理：

就個人看法，若廠商自己添加爐石，就另當別論，以中鋼牌地質改良劑為例，依照台灣營建研究院實驗結果，與一般水泥比較，其早期强度高，但中期強度差不多，應不會有強度過高的問題。另外有談到冰凍加高壓噴射灌漿的問題，當初設計時，原則上高壓灌漿主要考量強度需求，冷凍主要考量止水問題，當然高壓噴漿另外有抑制凍脹及融沉之功能，是否兩者都要使用應看業主可容許風險程度為何。

剛剛有提到施工單價問題，其實細設顧問所編之單價應還算合理，只不過因投標的競爭，以現在大概均為7折標，大包得標後再發價格標，單價自然會愈來愈低。

捷運局與大包是以每立方計價，但大包與灌漿承商是以每米計價，所以樁徑愈小所施作之米數也就愈多，若指定樁徑會不會無形中把不好的廠商帶進來，這也是值得深思的問題。並不是說台灣廠商不好，而是缺乏組織性，日本每個工法都會有很多廠商一起研究，而台灣廠商往往僅在標場上你爭我奪，缺乏組織性，自然無法發揮最大的力量。另外，我們O8站西端，曾有凍土溫度降不下來之情況，後來我們發現應是水化熱問題，也做了改善。若採用化學灌漿，冷凍之低溫會不會對化學灌漿材產生不良影響，仍有待進一步探討。

鍾毓東董事長：

今天因為時間的關係，我們研討會就在此結束，謝謝大家今天的參與。

綜合討論(高雄上午場)

鍾毓東董事長：

各位來賓大家好，今天請到4位與談人，分別是胡邵敏博士，趙際禮處長，廖銘洋主任，李維峰博士，今天早上綜合討論，先請胡博士先針對驗證試驗可能之問題加以探討，接下來請趙處長分享高雄捷運經驗，李維峰博士談談高雄捷運CO1、CO2使用地電阻方式，判斷地盤改良成效之心得，最後我們開放各位提出問題討論。

胡邵敏博士：

高壓噴射灌漿的設計主要按照JJGA手冊，設計既然按照JJAG手冊，那麼我們也來談談JSG施工部份之規定，砂土或粘土有一些施工基準，砂土按照N值區分有效樁徑從1~2m，這個表最重要的有二項，一項是提昇率，即每提昇1m所花的時間，在很疏鬆的砂土層每提昇1m竟然要花40分鐘，在較緊密之砂土層，僅需花17分鐘，而硬化材吐出量不管是疏鬆或緊密均為每分鐘60L。

而粘性土壤，提昇速度為16~30min/m，吐出量同樣為60L/min。三重管CJG工法也有同樣之比較，但N值較小時反而提昇時間來得短，硬化材吐出量約140~180L/min，吐出量約二重管的3倍。

硬化材的種類也有幾個規定，以JG1為例，需要水泥為760kg，也就是代表水灰比約1:1。從JJGA手冊建議的表可以整理出，假如砂土層樁徑至2m時，每1m之改良體積約3.14m³，樁徑1m改良體積是0.72m³，需求漿量分別為2.4m³與1.02m³，我們可以看出砂土愈疏鬆需漿量比緊密砂土來得少，但若用改良體積與要求漿量做比較的話，每1m³之改良體積，在很疏鬆時需70%，到很緊密時131%之漿量。驗證場地，N值約為20，按標準吃漿量約80%~100%，從這裏我們可以算出，光是要改良每立方之土體就需要1700~3000元，這裏我們可以得到一個結論，灌漿就是灌新台幣，以目前單價好的每方還有3000

多元，不好時僅有2000多元，光買水泥都不夠，更何況還要加上機具設備之成本，就算機具不同成本，還是要花員工薪水、油料、廢泥之處理成本。今天高壓噴射灌漿為什麼會做不好呢?主要是削價競爭，單價不好，還有是不知道怎麼把工作做好。那麼為什麼驗證試驗會不理想呢?主要是驗證施工並不是常態施工，所以廠商驗證成果當然也不等於常態結果，因為驗證試驗，廠商為了表現本領，想盡辦法做到需要的樁徑，往往不惜成本，但到常態施工時，由於單價低，故不但斤斤計較，還可說兩兩計較。

驗證試驗從94年8/25做到9/26，4家廠商輪流進場，每一家約做一個星期，所有廠商都是先做皂土樁再做水泥樁，他們都希望可做到他們所想的樁徑，假如樁徑可以做大，成本就可以節省，利潤也相對提高，所以他們用兩個角度思考，第一希望壓力由200kg/cm²提昇到300kg/cm²甚至380kg/cm²，由高壓變超高壓，如A及D廠商。另一種想法是，壓力維持200kg/cm²不變，但想辦法讓改良土軟一點，樁徑就可以大一點，所以考量先用高壓水先進行一次切削，B及C廠商即嘗試用高壓水，將土層先切軟，這樣再做水泥樁時就可做出更大之樁徑。而A廠商野心更大，既用超高壓也事先用水刀切削。先用高壓水切削的問題在那?，當我們先用水預作切削時，使土體變成液態，前面提到水泥漿標準用量60L/min，而空氣1.5~3m³/min，灌出來空氣遠大於水泥漿量，所以會受到空氣排氣作用，漿液會往上冒，產生所謂Air Lift現象，B及C廠商即先因水切去洗，檢測時就發現漿液跑到上方。而T5樁(C廠商)先用水泥切削，再用水切削，最後再用水泥切削，因為沒有下套管，用CPT檢測時連上方都軟化掉了，顯示水泥漿、水及空氣軟化了上方的地層。T7(D廠商)，僅用350kg/cm²超高壓，也沒有下套管也無正常迴漿，地層會產生脈狀逸流。以廠商心態，假如用高壓水先切削，水泥漿就不應再用空氣噴射，應像三重管一樣，以比較低的壓力置換所切削之土壤，避免產生Air Lift現象。不可盲目用超高壓

噴射，而卻無下套管輔助排漿。四家廠商所用的噴嘴，與超高壓使用噴射可能不大相同，且空氣噴嘴尚未有統一的規範。

這次驗證試驗，因為廠商好面子，因此想辦法做出較大之樁徑，假如是正常施工廠商決不會花那麼多時間，能按正常施工就阿彌陀佛了。其實很大問題是，以目前水泥費用那麼高，廠商怎麼有辦法承受這麼高的施工成本，所以常態施工時常見廠商在噴射時鑽桿很快向上提昇，因為它們是每米計價，速度愈快就可以節省成本，所以談到以後訂定施工規範時，應將所有規定均考慮進來。

鍾毓東董事長：

感謝胡博士這麼精彩的解析，針對胡博士的報告，各位有沒有問題。

志芳企業陳清志董事長：

針對水泥配比問題，我有一點疑問，記得我在萬興國中所做試驗，以水灰比1:1，及水灰比1:1.2，反而水泥用的少的樁徑會比較完整，我不知道這算不算正常，請教一下。

胡邵敏博士：

其實JJGA手冊，共有5種配比，有JG1到JG5，針對粘土JG5之水灰比確為較大，我用標準配比僅是說明施工成本的問題，不同土壤可考慮不同配比。

趙際禮處長：

簡報內容略(簡報內容可參考台北座談會趙處長相關談話內容)

李維峰博士：

簡報內容略(RIP地電阻詳細內容，請各位詳地工技術108期)

廖銘洋主任：

回溯30年前地盤改良施作環境，水玻璃是自己用肥皂用的水玻璃提煉的，而因化學藥劑ARON太貴，我們也嘗試自己炒，但因為溫度不同導致品質之不穩定。灌漿工法是一種輔助工法，所以地盤改良沒辦法達100%，需再使用輔助工法。而一個連絡通道單位成本比潛盾主體隧道還要高，這樣合理嗎？壓氣工法是用壓力平衡

土水壓，是一個簡潔有力的方法，但因種種原因已棄而不用，相當可惜。

我們要發展本土，應想想你的背後是什麼，像榮工公司以前有自己的基礎隊、灌漿隊，而現在呢？人不能從基層培養起，如何建立本土。像國內廠商用的可能是加拿大的設備，本土噴嘴，但卻是使用JSG的基本原理，這樣合理嗎？有些地盤改良強度僅要求 20kg/cm^2 ，但卻做到 300kg/cm^2 ，地盤改良造成潛盾機卡死，為什麼不僅作外圍，裏面用比較柔性的材料。另外，高雄地區，是一個非常特殊的地質，當地人叫他「啞巴砂」，什麼是啞吧砂，就是不會叫，而不像台北盆地的地層往往有較多預警時間，當你以為沒事往前掘進時，後面已經變成一個小蓄水池，當壓力來的時候，就無法收拾了，所以無論是多麼精良的國際公司，不跟本土廠商經驗結合，也時常栽大跟斗。

鍾毓東董事長：

謝謝廖主任，下午我們還有一些時間，今天早上討論就到此為止，謝謝大家。

綜合討論(高雄下午場)

鍾毓東董事長：

我們先請趙處長為我們說明其經驗。

趙際禮處長：

簡報內容略(可參考台北場座談會趙處長相關談話內容)。

鍾毓東董事長：

我先為各位說明在台北場之Q/A內容給各位參考(相關內容可詳台北場座談會內容)。

李維峰博士：

台北場提到地盤改良強度過高的問題，我這裏跟大家說明一下，正確名稱叫中鋼牌地質改良劑，代號HSC-301，跟水泥有很大的不同，第一個是細度非常細，一般水泥細度約2000，超微細水泥約6000~8000，當初研發設定目標是4500，實際做出來大約3000~4500。另外，因為爐石是一種膠結材料，當水灰比1:1時，後期強度會非常

高，當初在研究時，主要針對永久性地質改良，建議水灰比1:1，若是臨時性應考量提高水灰比，或添加皂土，才不會有強度過高的情形，我們也看到一些廠商買進來後又自己添加爐石粉，這是不對的，若是應用在臨時性地質改良一定記得要加皂土。

廖銘洋主任：

今天所講的案例不能算是凍土，而是凍改良體，跟凍土是兩回事。冷凍工程中有兩個重要因素，一個是測溫管的配置，影響到整個冷凍工程的成敗，另一個是鹵水的管制。我們當初在龍門海下到達施工，因地下水含鹽所以在 -2°C 才結冰，當初也是設定鹵水溫度為 -25°C ，因降不到要求的冷凍度，所以將鹵水溫度降低至 -30°C ，因此整個凍土必須考量混凝土水化熱之影響，龍門案例在混凝土打設一年後還有維持在 30°C 左右。故以案例中水泥系地盤改良熱度要多少天才會消散，值得持續的觀察。剛才有提到的地盤改良，不管是double packer或高壓灌漿，一定要有這個概念，如何讓前後施作的界面有效的重疊，而剛剛才提到地盤改良強度過高問題，值得注意的是，改良體變成脆化之後，潛盾機攪到之後，改良體是否還是完整。國內曾有案例使用double packer，潛盾開挖後馬歇管超出潛盾機盾殼66cm，這66cm就變成超挖先刃，就這樣影響100多公尺才消失，國內很好，已經有考量使用一截一截PVC管，潛盾機通過後可直接破碎。另外冷凍就是冷凍，不需要再灌漿，才是真正的凍土工法，而冷凍工法較適合在孔隙水中冷凍，而不適合在有高流速層流水中凍結，所以在南迴及北宜都不是很成功，國內之前已經施作相當多的案例，但我們想想我們留下了什麼，我想國內最起碼要累計 $10,000\text{m}^3$ 以上之凍土實績，慢慢累積本土化的經驗，希望將來有機會真正做到凍土，雖然萬鼎在雲科大已有凍土的經驗，但是畢竟是屬於規模較小之試驗。

林坤霖經理：

每次有人去工地參觀，都會問為什麼做灌漿還是做冰凍，或則是做冰凍還要做灌漿，是否都

要做，要有業主所能承受的風險，因為案例中離鄰房相當近，再者目前國內凍土設計強度還沒有建立一套標準，而國內也正在起步，希望產官學界一起努力，建立一些本土化的東西。萬鼎公司執行之前日商所設定鹵水溫度也是 -25°C ，後來提到 -28°C ，事實上日本在地改區內施作經驗也是很缺乏，後來檢討發現可能忽略水化熱的影響，最後鹵水降到 -30°C ，而現場比對依然發現溫度降不下來，後來採加冷凍管方式處理。目前萬鼎執行成長狀況看起來還不錯，由於現在工期有點落後，反而可能要擔心會有過凍的情形。另外談到測斜採用陀螺儀問題，由於陀螺儀是軍事管制品，國內並不普遍。

楊國榮經理：

日本有破碎馬歇管，使用一般馬歇管，要是潛盾機在施工時造成拉扯，容易造成改良體破壞，需特別注意。關於CH221標冷凍工程，設計時也是採用 -25°C ，實際上升溫至 -32°C ，因為現場總是有一些未能考量到的因素。

鍾毓東董事長：

在這裡我補充一下，目前萬鼎所執行之冷凍工程，已達到設計厚度，如同剛剛林經理所講，因為擔心會有過度凍結的問題，目前正嘗試應用各種方法，希望能控制凍土的成長。各位不知道還有沒問題。

熊彬成教授：

工程關鍵有二個，一個是工期，一個是成本，所以請教一下葉副理，冷凍工程之工期及單價為何？

鍾毓東董事長：

冷凍單價問題確實是很敏感，像在台北場時就有保險公司的人來參加研討會，或許，他們就很想知道這個答案，早期編列價格較高(如水平冷凍 $30\text{萬}/\text{m}^3$)，現在因打破壟斷，價格應較合理，但因為相關介面相當複雜，故單價真的很不容易估，至於工期問題，我們請葉副理回答。

葉文謙副理：

本標案子比較特殊，冷凍工期是配合潛盾工項施工，所以冷凍時間是被切割的，又因為我們

有6個鏡面，所以工期被攤在650天內，實際工期不會那麼長。

李維峰博士：

低塑性粉土工程特性：台灣西南沿海地區沖積平原所分佈之主要土層為一低塑性($PI=0\sim 10$)且含高量細粒料(35%以上)之粉土質細砂，更由於西南沿海地下水位分佈亦較高，因此此一低塑性粉土質細砂多處於飽和狀態，其力學行為較為鬆散，高雄土層土壤分類以粉質土砂(SM)為主，夾雜低塑性黏土(CL)與低塑性粉土(ML)，以互層方式沉積，細粒料含量(FC)約介於35%至45%，另外此土層塑性限度PI值介於0至10之間，為一低塑性粉土層，且其液性限度與自然含水量(W_n)亦相近。整體來說，高雄地區土壤為塑性低且細粒料含量高之特殊粉土質砂層。下面就現已了解之顆粒特性、基本指數性質、應力應變行為與壓縮性作一說明。

1、低塑性粉土顆粒特性

砂性土壤承受壓力後產生即時沉陷完成體積壓縮，承受剪力時顆粒間產生滑動、滾動，體積變化則依鬆砂或緊砂產生剪縮性或剪脹性。但是當砂質顆粒中存在顆粒比較小的無塑性細粒料時，其力學行為將因此有所改變。以國外之經驗而言，因為細粒料含量之增加，土壤遭受壓力時，無塑性細粒料會在大顆粒間發生滾動及壓縮之現象，因此整體之壓縮量會比無塑細粒料較低之土壤呈現較大之壓縮量。疏鬆之粉土砂壓縮性遠大於一般均勻級配，乾淨(細粒含量低於5%)之石英砂，同時此高壓縮性質粉土砂也不易產生剪脹(dilatancy)之現象。也就是當粉土砂受正向應力增加時會產生明顯之體積壓縮，而受剪動時在短時間內其孔隙水壓會明顯增加並伴隨不排水強度之降低。這些現象都不利於此類土體內工程之進行。而粉土砂，尤其是低塑性粉土砂，依據粒徑分佈之特性，在受滲流影響的情況下容易產生細顆粒土壤被沖刷的現象，如果不加以限制，此沖刷極有可能導致土體產生孔洞(cavity)或大範圍管湧(piping)的現象而造成災害。

2、低塑性粉土基本指數性質

台灣西南部之低塑性粉土層分布極廣且厚，深度可達近百米深，除此之外，由於西南部地下水位分佈亦較高，因此此一低塑性粉土層於地下水位以下大多處於飽和狀況。一般土壤調查並不對無塑性土壤進行液限性質之測定，但是此一低塑性粉土於飽和狀態下其液性限度接近自然含水量，若以判斷土壤敏感性之液限指數判定，則其液限指數接近1為敏感性較高之土壤。對於此一低塑性粉土，傳統土壤調查技術，如標準貫入試驗因擾動性較大，較難藉以測定其之基本指數性質如現地密度、或細粒料含量。

3、低塑性粉土應力應變行為與壓縮性

以壓縮性而言，因土層顆粒組成具有極高比例的細顆粒，但是此細粒料不具凝聚性，其受壓變形量在解壓卸載後無法完全復原，顯示此類土壤之復原率低，含有此種特殊土壤之土層會因外在擾動或載重變化，而造成無法復原之累積變形量。

沈茂松教授：

連續壁開挖約4~5小時，吊放鋼筋籠約半個小時，在打設水中混凝土時，土砂就開始流進來，流動時間大約11~13小時，這是從施工過程得到的訊息，若用傳統的土壤力學來考量高雄的地質，那是不一樣的，而且他裡面接觸的是海水，海水裡面的離子，讓他的流動特性又更不一樣。很高興李維峰博士能把他拿出來談，因為那是大家輕忽高雄的地質，以為砂質地層就很好，用傳統的施工方法一定完蛋，管仲曾經講過「以夷制夷」，就是用當地的工程師作當地的工程。所以在塩埕區施作連續壁要不包泥，一定要用成型樁包起來才不會坍孔。

鍾毓東董事長：

謝謝大家的參加。