

第六章內湖線 CB420 標聯絡通道施工

本章說明內湖線 CB420 標潛盾隧道穿越機場特殊地段，上行隧道與下行隧道間 CP-2 聯絡通道地盤灌漿改良對地表造成之隆起問題，及開挖施工計劃。本章介紹聯絡通道工程概述、地質概況、地盤改良工程、規劃中聯絡通道開挖作業，及 CP-2 聯絡通道之監測系統，最後對 CP-2 下行隧道側地盤改良監測結果加以討論。

6.1 工程概述

本工程為台北都會區捷運系統工程 CB420 區段標內湖線穿越松山機場段附屬工程，於潛盾隧道上行隧道與下行隧道間設置 CP-1、CP-2 兩處聯絡通道(圖 6-1)，通道開挖直徑 5.6 m、長度 14.0 m。聯絡通道位於機場管制區內，CP-1 聯絡通道預定位於新設停機坪下方約 773 環處，CP-2 聯絡通道位於主跑道南側草坪下方約 473 環處。目前 CP-1 尚未施作，處於規劃施工階段，CP-2 已完成下行隧道側地盤改良作業。

由於地盤改良施作範圍在機場管制區內，為顧及飛安問題無法從地面進行 JSG 高壓噴射灌漿。為確保聯絡通道開挖面能有足夠強度，開挖時不致產生崩塌及地層變位現象，承商選擇自隧道內施作雙柵管灌漿完成地盤改良作業。本地盤改良工程除達成地盤改良之目的外，必須避免於改良過程中產生過大之地盤隆起或沉陷，造成對松山機場之影響。

6.2 地質概況

CP-2 聯絡通道介於地質鑽探孔 BH-5 與 BH-6 之間，圖 6-2 顯示，鄰近 BH-6 鑽孔資料，得知其土壤基本物理性質如表 6-1 所示。聯絡通道 CP-2 施工開挖，土層主要為灰色軟至稠粉土質黏土(CL/ML、CL、ML)，粉土黏土含量在 95 % 以上，深度 2.9 ~ 40 m。

CP-2 聯絡通道施工位置覆土深度 23.9 m，N 值介於 4 ~ 6 (圖 6-3)，土壤自然含水量(38 ~ 44 %)接近實驗室所判定之液性限度(LL = 38 ~ 42)。本區黏性土層靈敏度約在 1.4 ~ 7 之間，屬中度靈敏性黏土。

6.3 聯絡通道之地盤改良

聯絡通道開挖區域地質為軟弱黏土層，因此 CP-1、CP-2 聯絡通道開挖前，須施作地盤改良工作，以確保隧道開挖時開挖面能有足夠強度，而不產生崩塌及滲水現象。地盤改良方式為，於預定開挖聯絡通道位置，自己完成之潛盾隧道襯砌環片內，向外鑽孔至地盤改良灌漿設計位置進行地盤改良作業。圖 6-4 顯示 CP-2 聯絡通道地盤改良範圍為長 20 m、寬 15.9 m、高 14.69 m 之改良範圍，改良範圍深度 17.3 m ~ 31.97 m 之間，分為上行隧道側及下行隧道側分別施作。

CP-2 聯絡通道 (466 環至 481 環間) 下行隧道側之地盤改良，已於民國 94 年 1 月 22 日完成鑽孔及地盤改良作業。

6.3.1 雙柵管灌漿

本工程地盤改良採用雙柵管灌漿(sleeve grouting)工法，為一種低壓灌漿施工法，藉由灌漿材料填充孔隙、膠凝及擠壓作用，達到增加地盤強度之效果及降低聯絡通道開挖時產生滲水及地盤變位。

雙柵管灌漿之作業方式屬二重管灌漿工法之一(表 6-2)，其施工順序(圖 6-5)是以長 1 m、外徑 2"之特殊鋼製多孔套筒管為灌注外管(圖 6-6)，灌注外管以水泥皂土漿液為止水膜覆蓋，防止外部土砂及漿液侵入，再置入附有雙環塞之灌注管為內管進行灌漿(圖 6-7)。雙環塞於灌注時以氣體填充氣囊可固定於外管內壁(圖 6-8)，利用內管附有之雙環塞移動可固定至任一施灌段獨立灌注。由於可對同一灌注孔實施反覆再灌漿，因此可按實際狀況進行再次灌漿作業，對一般灌漿工法、滲透灌漿或割裂灌漿區施作困難之軟弱地盤或崩塌性地盤更能發揮效用。

6.3.2 灌漿材料配比

CP-2 聯絡通道地盤改良灌漿工程以雙柵管灌漿工法施做，所採用灌漿液之配比如下：

- (1) 止水封層灌漿之目的，除固定灌注外管與填充鑽孔造成之較大空隙外，另有避免外部土砂侵入之作用，因此採用懸濁型水泥皂土液。封堵材之配比以考

慮地盤改良施工對象土層，由土壤性質實驗決定。封堵材灌漿配比決定如，表 6-3。材料的配比視現場狀況予以調整。

- (2) 第一階段灌漿材(CB)其目的，以填充地層中較大空隙，因此一次灌注材之配比同封堵材。
- (3) 第二階段灌漿材(CB)其目的，以水泥漿液改良固結目標區域土壤，並以擠壓方式達到壓實土層之效果排除黏土層中水分，因此第二階段灌漿材配比以增加灌漿漿液水泥添加比例增強土壤強度，如表 6-4。因此不同與第一階段灌漿灌注材之配比。

6.3.3 施工流程與管理

6.3.3-1 CP-2 聯絡通道鑽孔及地盤改良流程

CP-2 聯絡通道下行側地盤改良作業流程，如圖 6-9 左側所示。首先進行鑽孔作業，先於預鑄水泥環片上預留之灌漿管口裝設鑽孔套筒(圖 6-10)，以避免鑽桿於鑽孔過程損壞環片，由鑽孔機以口徑為 76.2 mm 之鑽桿，於灌漿位置鑽孔至環片背面 200 mm，於環片背面進行環片 LW 填充灌漿，作為鑽孔前之止水作業。環片止水作業完成後進行鑽孔作業(圖 6-11)，因為地盤改良設計深度不同，所以每孔鑽孔深度不同。鑽桿鑽至設計深度後即停止，並安裝鋼製灌注外套管。完成鋼製灌注外套管設置，拔除鑽孔外管，並將鑽孔套桶拆除以速凝劑拌合水泥進行灌注管口周圍封堵作業，灌注管周圍封口完成後進行內管止水封層灌漿，鑽孔作業始告完成。為使鑽孔施工順序順暢進行，內管止水封層灌漿作業於當日施作鑽孔全數完成後一並施作。

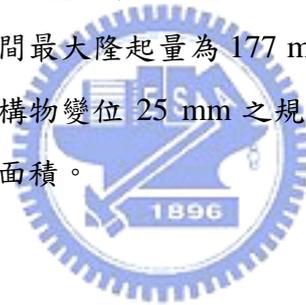
地盤改良灌注孔鑽設完成後，由於從隧道內進行灌漿，為維持環片襯砌之強度，避免灌漿造成環片擠壓變形產生隧道災變，需在隧道內進行環片補強之八角內支撐架設(圖 6-12)，八角內支撐架設完成後即進行第一階段灌漿。CP-2 聯絡通道下行側之地盤改良選擇灌漿孔位原則為，前後兩次地盤改良灌漿位置不互相鄰近，一環片灌注一孔後更換至另一環片灌注孔進行灌注作業，避免灌漿壓力影響同一塊環片，以此方式輪進施作地盤改良灌漿作業，直至整個施工斷面孔位均完成第一階段灌漿。

地盤改良灌漿注入率分為兩階段(表 6-5)，第一階段地盤改良灌漿設定注入率為 10 %、第二階段設定注入率為 15 %，總注入率設定為 25 %，期能補強土

壤強度。當所有灌漿孔位均完成第一階段改良灌漿後，再進行第二階段地盤改良灌漿，每階段灌漿後均需將淤積灌漿管內多餘 CB 漿液以高壓水流沖洗，以確保再次灌注之可能。第二階段地盤改良灌注孔選擇方式同第一次地盤改良灌注選孔方式進行。整個施工區域分為四段，分別由四台灌注機具同時進灌注作業，灌漿方式以 1 徑式注入(一液一系統)進行雙柵管灌漿工法灌注。地盤改良灌注作業方式為，自灌注管底部開始進行灌漿改良，每次拉回 330 mm。

地盤改良灌漿所使用之 CB 漿液，於地面拌合後經由高壓泵浦壓送至施工處攪拌機進行攪拌，維持漿液流動性再由灌漿機具進行灌注。灌漿完成後鋼製灌注外管不拔除，留於土層中作為改良體加勁材之作用。地盤改良灌漿口於灌漿完成後以環氧樹脂水泥砂漿(Epoxy Mortar)加以填充加蓋封口。

CP-2 聯絡通道下行側地盤改良作業，於民國 93 年 10 月 6 號開始進行，並於 94 年 1 月底完成兩階段之地盤改良工作，經由監測資料回饋分析顯示，CP-2 聯絡通道下行側地盤改良期間最大隆起量為 177 mm，已超過台北捷運施工技術規範對地表建築物以外之結構物變位 25 mm 之規定甚多，對於地面所造成之影響範圍約 74.4 m × 79.4 m 之面積。



6.3.3-2 地盤改良之施工管理

地盤改良灌漿之適當壓力受地層、灌漿方式、灌漿材料、灌漿速度及膠凝時間等因素所影響。由於灌漿速度與灌漿壓力有相對之關係，常以灌漿速度固定，並以灌漿壓力為主要管理值。目前設定之方式以根據地層環境，及過去灌漿實際經驗做綜合判斷、分析，作為灌漿壓力及設計灌漿量之管理。

CP-2 地盤改良灌漿工程施工管理，灌漿時以每階段設計灌漿量定量管理為原則，每支灌漿管由於鑽孔深度不同，有個別設定之灌漿量。第一階段灌注速度及第二階段灌注速度均以 5 ~ 15 l/min 速度灌注。第一階段地盤改良灌漿之灌注壓力以初始灌漿壓力加 50 ~ 100 kPa (0.5 ~ 1.0 kgf/cm²) 進行灌注，以設計之灌漿量定量管理為原則。當有異常壓力變化時灌漿及停止作業並作檢討。第二階段地盤改良灌漿以灌漿壓力到達初期灌漿壓力加 50 ~ 100 kPa 為原則，若壓力未達要求之灌注壓力，則提高灌注壓力至達到初期壓力加 50 ~ 100 kPa，或以灌

漿量達到計畫灌漿量之兩倍始算完成，若遇有施工中有壓力高於設定值時，以降低流量及更換注入位置來調節壓力並作檢討。

6.4 CP-2 聯絡通道開挖規劃

CP-2 聯絡通道開挖前需先檢查潛盾隧道改良土強度是否達到要求強度平均值標準，本工程要求改良土 28 天單壓強度平均值 200 kPa (2.0 kgf/cm^2)，及確認改良體之不透水性（透水係數小於 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ ），必要時施作補充灌漿作業。開挖前須先設置臨時安全閘門，並對隧道內進行鋼支撐補強，確認改良後地質之穩定性後方可進行開挖。

聯絡通道開挖及支撐組立規劃順序如，圖 6-14 所示。(a)上部擴大掘削作業完成後，即先進行第一階段頂拱開挖，並架設鋼環片支撐，(b)聯絡通道位於機場下方掘削作業為防止上半部沉陷，因此採不同斷面階梯式連續掘削開挖不間斷，由上而下進行各斷面之開挖及支撐作業，每斷面採約 1.5 m 之間距(每支撐單元 0.5 m)，於前一斷面開挖至一半時開始同時開挖下一階段開挖，並進行支撐組立。(c)以此方式完成各斷面之開挖及支撐。鋼環片支撐組立完成後即進行背填灌漿作業，背填灌漿漿液之配比如，表 6-6。

開挖完成後，將到達端坑口環片及發進端安全門拆除並鋪設防水膜，再依結構施作區塊組立鋼筋及與埋管設置並進行聯絡通道內之澆置，待結構施工完成後再拆除隧道內之內支撐，完成聯絡通道施工。

6.5 監測儀器配置

CP-2 聯絡通道位於約 472 環處，監測儀器除原有設置於斷面 MC-B-03，淺式沉陷點(SSI)、多點式桿式伸縮儀(EXM)、及鄰近區域草地地面佈設多處地面沉陷監測點(SM)外，進行地盤改良作業期間於地盤改良範圍上方地表佈設間隔 5 m 之 5×4 棋盤式地面沉陷觀測點(SM)20 處，如圖 6-15。聯絡通道監測儀器功能及監測管理介紹如下：

(1) 監測項目：

(a) 地表沉陷觀測—SM 沉陷觀測點(SM5022~5025 及 5×4 棋盤式 SM)

依據現場地面不同，使用 50 mm 至 100 mm 之鋼釘固定於地下不同深度，聯絡通道地盤改良施工期間監測地表變位情況。

(b) 淺層沉陷觀測點—SSI 淺式沉陷點(SSI5050~5058)

觀測淺層地層沉陷，安裝時須敲除地表鋪面減少對沉陷點影響，以土壤回填並加蓋保護。

(c) 地層垂直變位—EXM 多點式伸縮儀(EXM5025~5028)

於隧道施工影響範圍內之裝設多點式伸縮儀，以觀測施工時引致周圍地層垂直變位量。每支觀測兩個深度，分別為地表下深度 19 m 及 12 m 處。

(2) 監測管理

地盤改良作業時間為每日 22:00 開始灌漿改良前置作業準備，於 22:30 開始進行灌漿作業，地盤改良灌漿作業分兩班制連續施作。非機場管制時間內之地面觀測，依注入率增加而增加觀測頻率。於觀測完畢後 24 小時內傳送監測資料，監測頻率如表 6-7 所示。

6.6 CP-2 聯絡通道地盤改良造成之隆起

聯絡通道地盤改良之地層為粉土質黏土層，漿液灌注行為屬劈裂形式灌入，當灌注 25 % 之漿液時，地盤無法有效立即排水，地層勢必產生隆起現象。為觀察 CP-2 聯絡通道地盤改良，施工單位佈置 5 × 4 棋盤式(圖 6-15)監測點，自隧道內鑽孔完成時發現有地表沉陷之現象，進行地盤改良灌漿時則產生隆起現象，各測點測得之地表變位如圖 6-16 至 6-20。由灌注量與所造成之地表變位關係，本研究觀察獲得以下現象：

1. 第一階段地盤改良灌注量達目標設計灌注量 10 % 時，所造成地表變位量為 50 ~ 80 mm，第二階段地盤改良灌注量達 20 % 時，多數測點地表變位量維持 20 ~ 50 mm，進行至最後 5 % 注入量時，各監測斷面接近潛盾隧道側位置有劇烈之變位量。
2. 進行第二階段地盤改良灌漿時，A2 測點有明顯造成隆起的效應，同一監測斷面於 B2 隆起量反而下降的現象，與其他測線 B 點隆起大 A 點隆起較小明顯不同。

3. 隨著灌注漿液累積量上升，灌注壓力有逐漸上升的現象(圖 6-20)

上述現象，考慮施工地質為粉土質黏土，及灌漿施工方式推測其原因：

1. 當地盤改良灌注量灌至規劃改良區體積之 20 % 時，由每階段灌漿隆起量狀況可知，地盤改良區土壤可壓縮量已接近飽和現象，且注入漿液部分凝結，因此進行後續 5 % 之灌漿量注入時，造成漿液向覆土深度較淺處推擠(監測點 A 或 B)，產生地面隆起。
2. 由灌漿方式討論，下行側聯絡通道灌注方式以灌漿注入孔位不相鄰之方式進行灌注，經訪問現地施工人員，隧道灌漿孔注入選擇以不相鄰為原則順序並無固定，因此若從頂部改良孔先行灌注將會對接續施作之中部、下部造成遮蔽作用，而限制漿液灌注流動方向、灌注施作壓力，造成各監測點測得地表變位量下降。
3. 由灌漿材料性質討論，灌注之漿液為 CB 材於黏土中滲透性低，以劈裂形式注入，因此壓力擠壓後將向四周發展為脈狀破壞之情形，黏土層中若壓力擠壓則可能發生隆起現象，第二階段地盤改良灌注漿液需先擠破第一階段之改良體。進行灌注率由 1.8 % 達 25 % 時壓力由初始灌注壓力 870 kPa (8.7 kgf/cm²) 上升至 1150 kPa (11.5 kgf/cm²)，造成黏土層推擠。
4. 監測值顯示，第 2 條測線隆起狀況明顯與其他三條測線不同，A2 隆起量大，B2 隆起量減少，推測原因為上述兩點所述，由於施灌方式不固定，且無法控制灌漿漿液於黏土層中脈狀灌入之流向所致。
5. 灌漿壓力的逐漸上升情況應為土體中灌漿物質量增加且逐漸凝固，灌漿時需以較大之壓力擠破改良體所造成現象。