

第三章 土城線 CD266 標聯絡通道施工

本章介紹台北都會捷運系統工程土城線 CD550 設計標之子施工標 CD266 標(圖 3-1)，為預防隧道內發生火災等突發狀況，施工單位於 BL40 車站北側工作井至 BL01 車站南側上行線與下行線隧道間設置聯絡通道(cross passage)作為人員逃生用途隧道。本章分別說明工程概述、地質概況、聯絡通道地盤改良工程、聯絡通道開挖作業，及聯絡通道之監測系統。

3.1 工程概述

本標工程屬台北捷運系統土城線 CD550 設計標工程之子施工標，CD550 設計標土木工程包含府中站(BL01)、亞東醫院站(BL40)之站體、府中站至亞東醫院站間之隧道工程、及土城機廠工等(圖 3-1)。土城線 CD266 標(圖 3-2)，包含亞東醫院站(BL40)及站體北側工作井至板橋線府中站(BL01)南側間之潛盾隧道。本章主要探討上、下行隧道間之聯絡通道(位置圖見圖 3-3)及集水井之施工。

聯絡通道位於板橋市南雅南路二段與縣民大道交接處附近，光華商職前，介於板橋線府中站與土城線亞東醫院站之間，如圖 3-3。施工地區地盤為軟弱沖積土層，因此於聯絡通道開挖前必須施作地盤改良，以確保開挖面能自立而不產生崩塌及漏水。承包商規劃由地面進行 JSG 二重管高壓噴射灌漿地盤改良，以增強聯絡通道開挖區域之土壤強度，確保施工安全。

3.2 地質概況

大陸工程(2003)敘述，CD266 標位於臺北盆地之西南方，屬一典型湖積地質。根據於捷運規劃期間之地質鑽探孔資料，以及細部設計中興顧問(1993)於設計階段地質鑽探孔 SB-16 取出土樣之物理及力學試驗得知，此區域地下水位約在地下 8 m，地層上部為沖積層，其厚度約 35 m，由下往上可細分為三個次層(圖 3-4)。此區域松山層各次層之性質分述如下：

1. 松五層：為中等緊密、灰色粉土質中細砂(SM)；本層深度約在地表下 6 m 至 23 m，厚度約 17 m，含水量約為 20% ~ 27%，SPT-N 值約在 14 ~ 21。

2. 松四層：為中至低塑性、堅實、灰色粉土質黏土(CL、ML)，本層深度約在地表下 23 m 至 26 m，含水量約為 23 ~ 33 %，SPT-N 值約為 14 ~ 20，厚度約 3 m，但松四層於本工址中已尖滅而不完整。
3. 松三層：為中等緊密、灰色粉土質細砂(SM)，本層深度約在地表下 26 m 至 35 m，厚度約 9 m，含水量約為 16 % ~ 23 %，SPT-N 約為 16 ~ 23。本工址松三層以下之松二、松一層均已尖滅。

本工程聯絡通道位置約位於地表下深度 22.8~27.4 m 處，如圖 3-4 所示，聯絡隧道開挖之土層主要為松五層次之粉土質細砂(SM)。

3.3 聯絡通道之地盤改良工程介紹

由於本施工區地質多為粉土質砂層且位於都市道路鄰近民宅，施工時需特別注意保護建物，使灌漿及開挖施工之影響降至最低。聯絡通道之 JSG 地盤改良作業於潛盾機尚未通過前即已進行。於上下行潛盾隧道完工後，進行聯絡通道開挖作業。聯絡通道開挖區之地盤改良採用 JSG 高壓噴射灌漿工法，聯絡通道開挖區之地盤改良範圍長 23.52 m，寬 8.2 m，改良深度約地下 20.3 ~ 33.8 m。聯絡通道及潛盾隧道周圍之地盤改良範圍，如圖 3-5 及 3-6 所示。

考量聯絡通道位在南雅南路車行地下道下方，除舊有地下結構物外，另有直徑 1100 mm 之自來水管及電纜等埋設物，使得部分 JSG 地盤改良採斜樁施作。聯絡通道開挖前進行藥液灌漿止水作業，並搭配壓氣工法進行開挖。

3.3.1 JSG 高壓噴射灌漿地盤改良

本標聯絡通道地盤改良採用 JSG 二重管高壓噴射漿工法，為一種利用內管的高壓(200kgf/cm²)水泥漿及外管的低壓(7kgf/cm²)空氣，經同心環狀噴嘴，同時橫向噴射切削破壞地盤之工法。二重管外層同心管配合使用低壓空氣噴射，可增加高壓噴射水泥漿切削距離並利用低壓空氣上升達到翻動改良區土層之目的，並利用灌入水泥灌漿材與破碎之土砂攪拌，固結成圓柱土壤水泥之混合樁。

3.3.2 改良灌漿材配比

本聯絡通道地盤改良工程採用 JSG 高壓噴射灌漿工法施做，改良範圍主要土層為沖積層之粉土質砂土(SM)，改良目的為增加地盤強度及地盤止水性。因此所材用之灌漿水泥硬化材為符合 CNS61 之波特蘭第一型水泥，每 1m^3 之漿液以 600 kg 水泥與 810 l 水混合。拌合用水為不含影響凝固、耐久性及強度污染之自來水。

3.3.3 地盤改良施工管理與流程

3.3.3-1 地盤改良之施工管理

由於聯絡通道位在南雅南路下方，施工前必須確認地下舊有埋設物位置通知管線單位遷移，並配合施工區域的交通管制，將地盤改良施工區域分區施作並視交通管制情況作調整。每區施作機組兩台，JSG 灌漿灌注位置以選擇不互相鄰近之位置為原則，施作順序由現場工程人員視施作情況決定，其改良灌漿位置，如圖 3-7 所示，樁施灌順序如，表 3-1 所示。

依據現地之地質條件，參考日本高壓噴射注入工法技術資料，施工單位決定聯絡通道改良段面於隧道頂端厚度為 2.5 m、底部厚度及側部改良厚度為 2 m，如圖 3-6(b)所示。依現地土層資料所設計之樁徑為 1.4 m，施作地盤改良時主要控制施作水泥漿液之噴射壓力於 20 MPa(200 kgf/cm²)，每分鐘漿液吐出量為 60 l/min。壓縮空氣壓力 600 ~ 700 kPa(6 ~ 7 kgf/cm²)，空氣吐出量為 1.5 ~ 3.0 m³/min。鑽桿轉速 6 ~ 10 rpm，鑽桿提升速度為 30 min/m，以上述標準進行灌漿作業施工管理。

JSG 噴射灌漿地盤改良形成樁特性為半置換樁，因此施工過程中須注意灌漿孔是否有正常迴漿狀況，避免不正常的灌注壓力產生地盤隆起。承包商並於 JSG 灌漿期間在地盤改良區域南北兩側，由改良範圍向外 5 m 處，每間隔 5 m 增設一個地面沉陷觀測點 (SM)，監測地盤改良時附近地表的隆起或沉陷狀況，增設監測測點之位置，如圖 3-8 所示。於施工期間連續觀測，以後每週觀測一次直至地表沉陷量穩定。

JSG 施工作業每日均需詳細紀錄，每孔灌漿結束後需由現場工程師進行初步灌漿情形研判，若有異常狀況需立即回報，機具設備每日進行維修，並列管施工材料。

3.3.3-2 施工檢驗標準

地盤改良完成後鑽取改良土岩心至預定深度，並實施現場透水實驗，作為地盤改良施工檢驗標準。現場透水試驗採變水頭(Falling Head)實驗方式，實驗時維持管內之水位在套管之口水滿為止，開始測定水位下降計時 10 分鐘。以下式求得改良土透水係數：

$$K = \left[\frac{R^2}{(2L(t_2 - t_1))} \right] \ln\left(\frac{L}{r}\right) \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (3-1)$$

R = 套管內徑

r = 實孔取樣後半徑

L = 實驗區間

$h_1 = t_1$ 時水位

$h_2 = t_2$ 時水位



JSG 地盤改良之目標值，改良土岩心採取率須達 80 % 以上，本地盤改良區砂質土改良體，要求 28 天單軸抗壓強度平均值 3.0 MPa(30 kgf/cm²)。透水係數 k 小於 1×10^{-5} cm/sec 以下。

3.3.3-3 地盤改良之施工流程

決定地盤改良灌漿範圍後，施工區域進行交通管制作業。JSG 地盤改良施作流程，如圖 3-9 所示。

- (a) 以測量方式決定地盤改良灌漿施工位置，將鑽機移至鑽孔位置，由於灌漿時會產生迴漿，因此需將鑽機架高並設置沉澱池。以水平儀控制鑽桿垂直精度，使鑽桿保持垂直施作鑽孔作業，使用裝有鑽頭之二重管作為鑽桿，以洗鑽方式鑽至計畫之深度，以鑽桿長度來確定深度。

- (b) 鑽桿到達預定深度後置入一鋼球封住垂直向下出水口，漿液改為水平方向噴出。
- (c) 以清水進行水平噴射試驗，確保灌漿管暢通無阻。
- (d) 噴射實驗完成，以硬化材替換鑽掘用水，依施工規劃開始定位噴射。
- (e) 配合壓縮空氣，硬化材漿液開始橫向高壓噴射，切削土壤、灌注硬化材。依照施工計畫之灌漿管回轉數、上昇速度，旋轉並提昇噴嘴，開始柱狀改良樁之築造。
- (f) JSG 高壓噴射灌漿地盤改良完成後，即拔除二重管並以清水清洗，以重複使用。由於本工法為半置換樁，有迴漿情形，需於拔管及清理作業完成後，對廢泥池中之回泥進行排泥作業，以免過多迴泥造成迴漿困難。完成上述作業後，將鑽孔機移至下一孔位置，繼續進行地盤改良作業。

3.4 聯絡通道開挖作業

3.4.1 監測儀器配置

開挖作業使用原有地表沉陷監測點 (SM) 以及多點式伸縮儀 (EXM)，如圖 3-10 所示。地表沉陷監測點(SM)之監測頻率為聯絡通道施工時，沉陷點距聯絡通道前後 25 m 內每天監測一次，爾後每週監測一次，連續觀察三週。多點式伸縮儀 (EXM) 於聯絡通道施工前每月監測一次，施工期間每天連續觀測，完工以後每週觀測一次，直至地表沉陷量穩定。

3.4.2 聯絡通道開挖

開挖聯絡通道前需先於潛盾隧道架設八角內支撐 (圖 3-11)，以避免連絡通道開挖造成潛盾隧道環片支撐力減弱而崩塌，八角內支撐架設由聯絡通道中心左右各組立 4 環，每環間隔 4 m。由於噴射灌漿地盤改良作業受到舊有地下結構物及地下電纜影響，部分改良樁以斜樁施作，可能無法達到地盤改良要求之均勻性。地盤改良區經潛盾機鑽掘過後，可能使 JSG 改良體產生裂痕，在改良體與潛盾隧道間造成水路。因此於聯絡通道開挖前，需對 JSG 改良體進行地

盤改良效果確認鑽孔作業(圖 3-12)，及 SL 藥液灌漿補灌作業(圖 3-13)，以檢核潛盾隧道外圍 JSG 改良土強度是否已達到開挖要求強度標準，及確認改良地盤之不透水性。

地盤改良效果確認鑽孔作業之鑽探深度，以不超過開挖面 500 mm 為原則，鑽探孔以環片上之預留孔向外施作，鑽探深度以現場角度測量後計算之。聯絡通道地盤改良效果確認鑽孔作業完成後，進行之補充藥液灌漿以水玻璃系藥液加 SL 反應劑混合材料之無機溶液型漿液，填充潛盾隧道與 JSG 改良體間之水路縫隙，避免開挖時產生漏水掏砂，甚至造成崩塌之現象。補充藥液灌漿由環片預留灌漿孔向外鑽孔施作，灌漿施作深度以保持距離改良體範圍不超過 500 mm 距離為原則。

開挖聯絡隧道前，於上行隧道側安裝氣閘室及壓氣設備，壓氣設備配置，如圖 3-14、3-15、3-16 所示，以壓氣工法作為抑制開挖面湧水處理措施。壓氣設備架設完成以穩定之 200 kPa(2kgf/cm²) 氣壓進行壓氣，控制開挖面出水狀況保持地盤穩定，於壓氣狀態下進行 NATM 開挖作業。聯絡通道以階梯式分段開挖，開挖斷面由上而下分為四個開挖部分，分別為上半部開挖、中間部開挖、下部開挖及集水井施工，如圖 3-17。

聯絡通道之開挖順序如圖 3-18 所示。首先拆除隧道鋼襯砌環片(圖 3-19)，開挖作業採 24 小時連續施作，切除潛盾隧道於聯絡通道處鋼環片後，進行入口處開挖作業並向上擴挖，向上擴挖完成後進行聯絡通道開挖作業。初期開挖先將入口處開挖 1 ~ 1.5 m 距離之工作面，完成臨時支撐組立作業後，由頂拱中心處向上擴挖(圖 3-20)，入口處上部頂拱開挖完成後，接續進行後續上半部分開挖作業，擴挖採左右交叉方式，開挖時維持開挖面平順並隨時觀察開挖面之滲水情形及地層狀況。為安全考量，上半部每開挖 0.5 m 立即組立 H 形鋼環片襯砌(圖 3-21)並進行背填灌漿作業。裝設鋼環片應儘量緊抵住開挖表面，以產生連續之接觸面，並以楔形塊、鐵板及墊塊塞緊，使肋材不致鬆動或內移，並以拉桿、繫材及墊塊連接肋材。圖 3-18 (b)頂拱開挖作業將至完成後，開始進行中間部開挖、下半部開挖，及各開挖段面架設鋼環片支撐背填作業。圖 3-18 (c)中間部及下半部開挖採左右分開施作，右側先行開挖三個作業單元(1.5 m)，完成襯砌組立及背填灌漿後，再進行開挖左側部分，以此輪進之方式進行聯絡通道開挖作業。

3.4.3 集水井開挖掘削

壓氣工法於集水井之理論壓氣壓力應比聯絡通道壓力為高，但是若採用較高之壓力進行壓氣，可能會造成聯絡通道頂拱受壓力增大之影響造成漏氣意外，因此集水井施工時仍以聯絡通道施加之空氣壓力進行壓氣。集水井之出水採以抽水方式進行排除(圖 3-22)。圖 3-18(d)顯示，聯絡通道開挖完成後，集水井開挖與鋼襯砌組立作業採 24 小時連續施作方式進行，向下開挖深度 5 m。每階段開挖深度為 0.5 m，每階段開挖完成後，立即組立圓形鋼襯砌於開挖面周圍，並於襯砌與開挖面底部之孔隙封堵後，注入背填灌漿材，以填充開挖面與鋼襯砌間之縫隙，並進行下一階段開挖。開挖階段所產生之土渣，使用皮帶運輸機將土渣輸送至棄土桶內，經氣閘室搬運至台車，由台車送出隧道。

聯絡通道及集水井開挖作業完成後，再進行排水管路開挖，此部份開挖完成聯絡通道開挖作業部分始告完成。聯絡通道開挖完成後，分階段逐漸降低壓氣壓力，每階段降壓後維持 5 分鐘左右，觀察鋼襯砌是否有漏水現象，出現漏水現象則再加壓並進行背填灌漿補灌止漏，觀察無漏水現象則繼續進行下一階段減壓作業直至通道內與艙外壓力相同，即可進行到達端下行隧道環片拆除作業，開挖作業宣告結束，並撤除壓氣設備，進行聯絡通道襯砌結構施工。

3.4.4 襯砌結構施工

壓氣結束後，拆除到達端坑口環片及發進端安全門，並鋪設防水膜(圖 3-23)，接著依結構施作區塊組立鋼筋及與設置埋管，並進行聯絡通道內之混凝土澆置，其作業順序為隧道仰拱澆置、集水井澆置、隧道洞口澆置、隧道側牆、頂拱澆置作業、預鑄環片鑿除及場鑄混凝土澆置。襯砌結構施工完成後，所有支撐需留置現地，直至聯絡通道及隧道集水井混凝土達到 28 天強度足以承受載重時，再拆除潛盾隧道內所架設之八角內支撐，完成聯絡通道施工(圖 3-24)。