

# 環狀線 CF643A 標工程潛盾隧道穿越 營運中捷運車站說明

## 一、工程摘要

環狀線 CF643A 標工程主要路線範圍東起新店區中興路與民權路口之 Y6 車站，以地下結構型式沿民權路向西行，於穿越中正路口後，止於中正路西側之出土段，全長約 1.65 公里，各段工程由東向西分述如下：



- (一)Y6 車站裝修工程：環狀線之大坪林站(Y6)，位於新店市中興路與北新路三段間之民權路下方，為一地下四層島式月台車站，車站長約 165 公尺、寬約 18.4 公尺，車站主體開挖深度約 29 公尺。Y6 站之連續壁及地下結構體，均已納入 CF641 施工標先行發包施工。本施工標主要施工範圍為全部建築裝修、標誌、景觀植栽等工程。
- (二)潛盾隧道段工程：東起 Y6 車站西端，向西穿越新店線大坪林站 (G4)下方，沿民權路西行至明挖覆蓋隧道東端之上、下行隧道，共計二條單向潛盾隧道(內徑為 5.6 公尺)；上行線長約 527.7 公尺，

下行線長約 528.8 公尺，上、下行線合計長約 1057 公尺，其間設置 1 座聯絡通道。

- (三)明挖覆蓋隧道段工程：位於民權路與中正路口，長度約 346 公尺、寬度約 16.6~10.5 公尺，開挖深度約 16~8 公尺，採用明挖覆蓋法施工之箱型結構，其間佈設上、下行線轉轍之橫渡線。
- (四)出土段工程：位於明挖覆蓋隧道西側，設一座出土段結構連結高架橋梁段，長度約 218.6 公尺、寬度約 10.9~10.5 公尺，開挖深度約 8~2 公尺，採用明挖覆蓋法施工之 U 型結構。
- (五)161kv 管道：由中興路三段之寶中路口起，經寶強路、民族路、建國路、民權路至南機場主變電站。全長約 1.78 公里，設有一段推管穿越中興路，長度約 85 公尺，其他則為傳埋段，長度合計約 1695 公尺。

## 二、潛盾隧道穿越營運中大坪林站風險問題及困難解決

隨著臺北捷運第一階段與第二階段路網陸續完成，後續路網為了串聯既有捷運車站路線，必須與營運中的路線或車站重疊交會，雙捷運雖然提供了乘客的便利性，同時也活絡了鄰近商家之生活圈的動能，但無可避免於施工期間將對環境帶來諸多不便與施工風險，因此無論就施工規劃與相關建物保護於設計階段必須慎密考量，期能將施工風險降至最低。

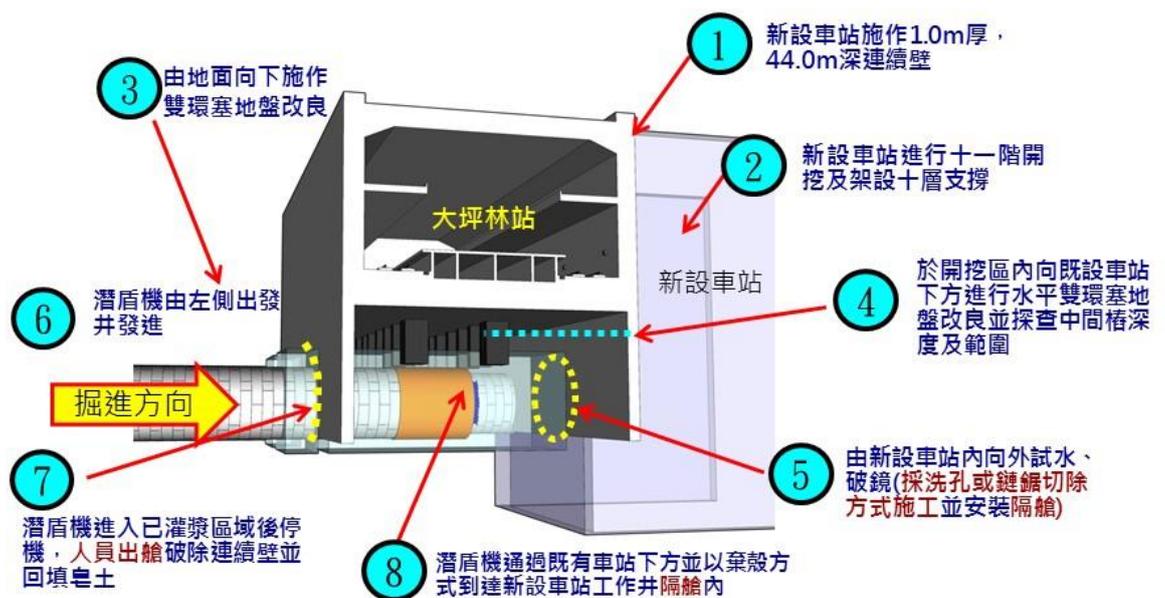
為降低潛盾掘進之風險，規劃設計時即考量於穿越車站連續壁前方及站體下方配置一系列垂直及水平地盤灌漿改良工法，於細設分別以二維及三維分析軟體配合現場之邊界條件及合理之假設，依施工工序模擬潛盾穿越對既有車站結構物之影響，並將分析結果落實於後續施工風險管控，施工過程中引進新的施工技術，包括水平地改之水平鑽孔定位儀確認施工精度、配合人員出艙以高壓水刀、鑽石鏈鋸切割與油壓劈裂破除既有及新設 Y6 車站(以下簡稱 Y6 站)連續壁，潛盾穿越既有捷運車站站體下方過程中輔以嚴密之掘進管控及自動監測系統。

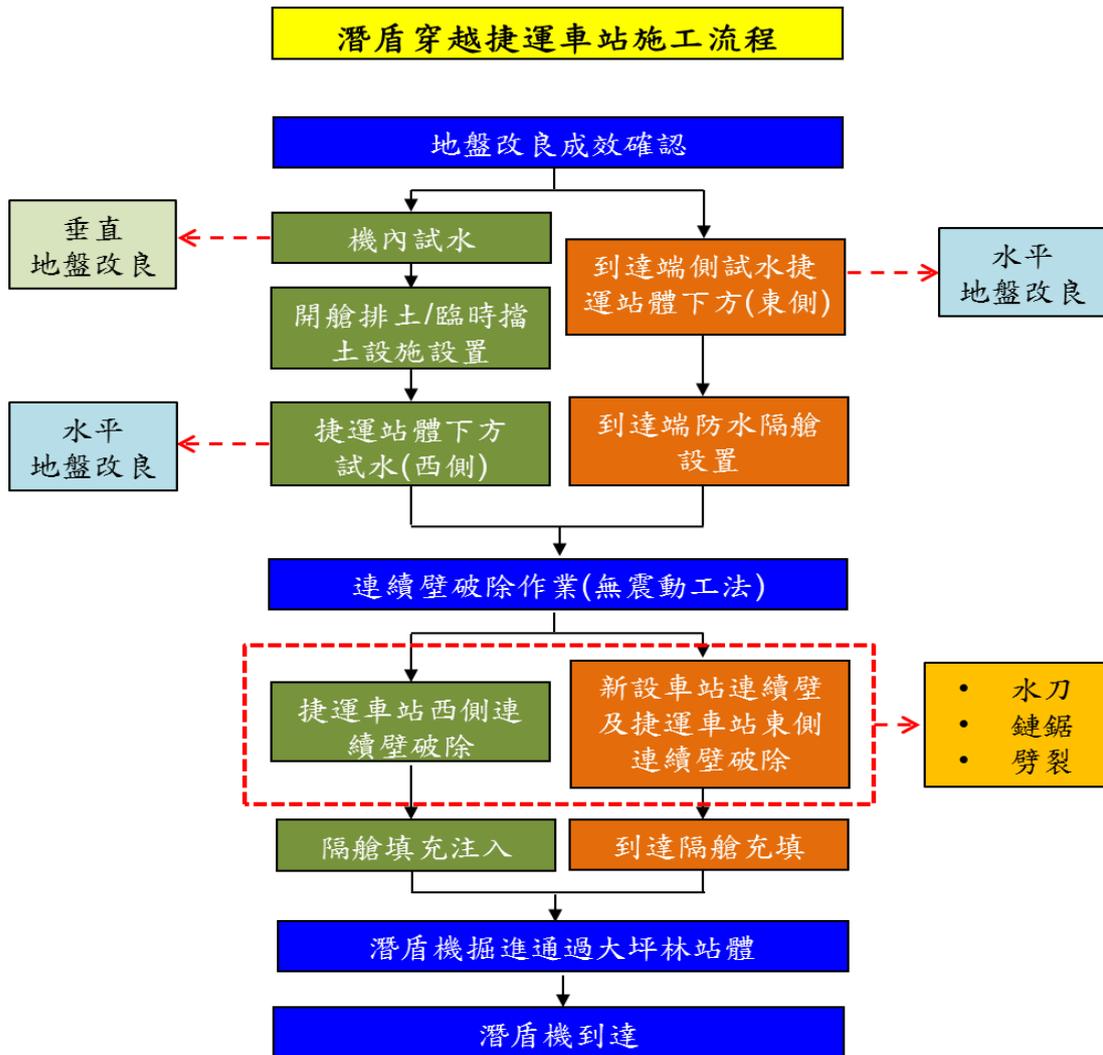
以下就本工程潛盾隧道穿越營運中新店線大坪林站(以下簡稱 G4 站)下方所遭遇之問題及解決對策予以補充說明。

### (一)潛盾穿越工法說明

G4 站為一地下二層，站體結構採以連續壁作為部分永久牆設計(複合牆)，連續壁 80cm 及牆厚 60cm，車站寬度為 20.7m，深度為 16.8m，連續壁深度約為 27~28.5 m，車站下方仍存在配合當年開挖所使用的壁樁式中間柱，寬度 1.8m，厚度 0.8m，深度於底板下方約 3.5m，H 型鋼殘留於底板下方約 2.5m，隧道頂拱距離壁樁式中間柱下方約 15cm 以上之距離，潛盾隧道須穿越 G4 站下方兩側 80cm 厚之連續壁。另 Y6 站位於 G4 車站東側，連續壁亦採複合牆設計，厚度 100cm，連續壁混凝土強度採 350kg/cm<sup>2</sup>，深度 45m，因此潛盾在穿越站體東側時，需同時通過 G4 車站 80cm 連續壁及 Y6 車站 100cm 連續壁。

因潛盾工程施工所需空間較小，穿越工法考量直接以潛盾機穿越站體下方的方式，剛好可避開大坪林站下方約 3.5m 長之壁式中間樁，但必須配合 G4 車站體西側之垂直地改以及下方的水平地改，因潛盾機並無直接鑽掘連續壁之設計，因此必須以人員出艙方式破除連續壁體，其垂直地改目的主要為保護人員出艙作業的安全，東側兩道連續壁則自新設車站工作井進行破除，壁體破除後需在壁體鏡面處以潛盾封艙或鏡面隔艙方式回填皂土，一切就緒後，潛盾機由 G4 站體西側往東側穿越到達 Y6 工作井。

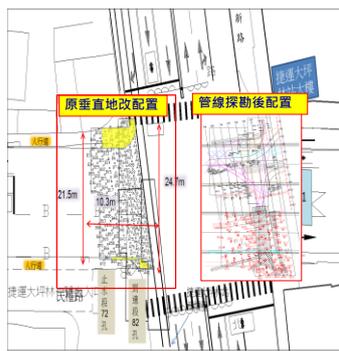




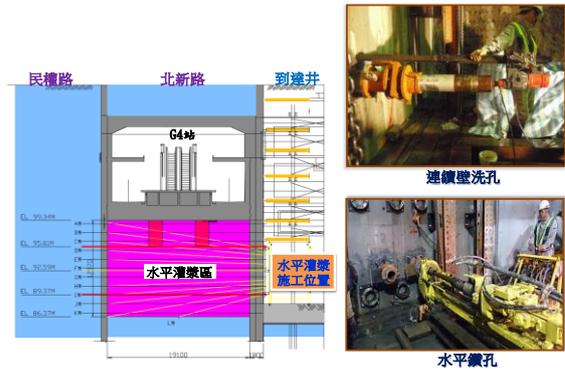
## 1. 地盤改良

地盤改良是潛盾穿越工程之前導作業，為降低人員出艙施工風險與穿越過程中對 G4 車站及鄰近結構物之影響，對現地的土層狀況，本工程採用二重管雙環塞灌漿工法，可固結地盤增加土體自立性及降低土層之透水率，在一般砂質地層可完全固結，沉泥質細砂層可達到固結及脈狀滲透之改良效果，固結後之地層強度，將因土壤密度及粒狀大小而異。

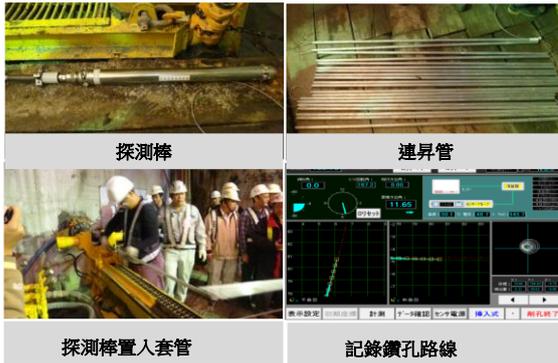
垂直地改之配置，經現場管線探勘發現地下既有線路過多，在考量施工進度下未進行管線遷移，改於鄰近管線處採斜樁施灌。為確保地盤改良之成效，於管線探勘中同步於管線邊埋設預埋管做為後續灌漿用，縮短之滲透範圍，以利地改漿液能有效注入土體中。



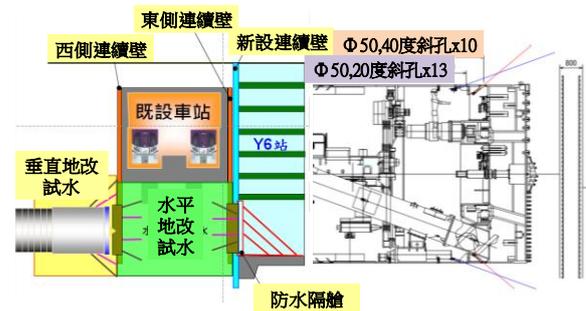
管線探勘前後垂直地改灌漿配置圖



水平地改良灌漿平剖面圖



水平地改鑽孔定位儀操作過程



潛盾穿越過程中地改試水及預留試水孔

## 2.連續壁破除

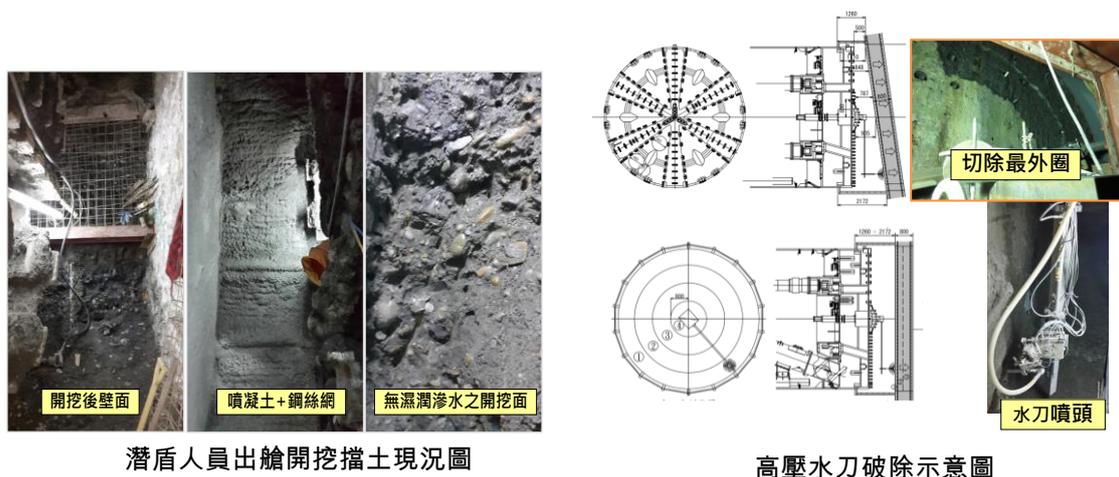
西側連續壁破除須採用人員出艙施工，此工程是穿越過程中風險最大的工項，直接驗證垂直地改效果，當潛盾機於 G4 站西側連續壁前方約 1.5m 處停機，潛盾機與穿越壁體為斜交，在確認止水性合格且符合開艙條件後即進行臨時擋土設施設置，擋土措施採先行設置於隧道頂部上方及兩側，在潛盾機外殼上以固定間距約 118 cm 焊接 H-100 之型鋼，同時於西側連續壁鑽孔並利用膨脹螺絲將型鋼固定之，型鋼間設置兩層  $\phi 5\text{mm} \times 100 \times 100$  之鋼絲網配合噴凝土。開挖支撐完成後，再進行水平地盤改良試水試驗，確認符合規範後即可進行連續壁破除作業。實際出艙發現開挖面自立性佳，且無濕潤滲水狀況，驗證垂直地改發揮止水與補強效果。

到達端連續壁包括 G4 站東側及 Y6 站連續壁，當到達工作井鏡面試水完畢後隨即進行防水隔艙及反力座安裝作業，原定採用高壓水刀進行破除作業，但因 Y6 站之連續壁混凝土強度遠超過設計值 ( $350\text{kg}/\text{cm}^2$ )，又鋼筋較為緊密且整體鋼筋量較高(間距僅有 15cm)，故破除之效率比原先規劃較低，廠商進而改採鏈鋸切割作為 Y6 側之主要

破除工法，噴射出之高壓水箭作用於鋼筋上對於破除混凝土毫無助益，連續壁破除為高風險作業項目，倘能縮短破除作業可降低整體施工風險，因此考慮採用替代工法包括鑽石鏈鋸切割及油壓劈裂接續後續作業。

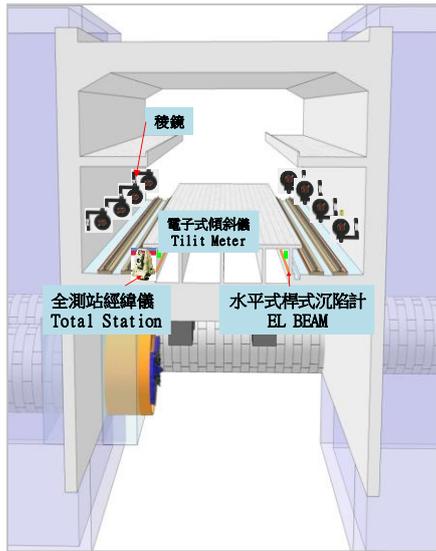
### 3. 潛盾通過 G4 站下方施工控制

當潛盾機進入 G4 營運車站下方，依據施工規範之規定掘進之速度不可大於 5mm/min，以免潛盾機推力太大破壞地盤改良體而產生水路，掘進時將觀測潛盾機之土壓力及出土量，同時配合比對 G4 站內之自動監測數值之變化趨勢，若監測數值變化有趨於惡化之情況，將立即調整掘進之方式或停機檢討，潛盾機通過營運車站下方時為 24 小時施工不中斷，直至潛盾機到達為止。

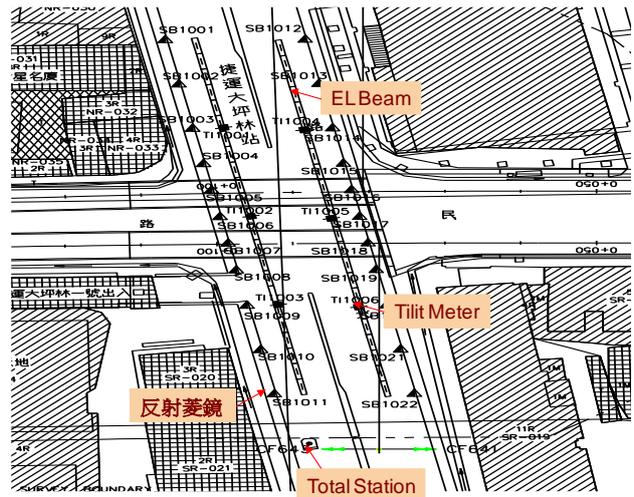


### 4. 自動監測系統

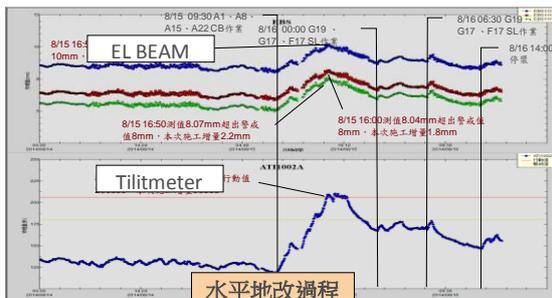
自動監測系統，包括全測站(Total Station)系統(自動量測軌道版的三維變位量)、水平式桿式沉陷計(EL Beam)(量測結構物之垂直沉陷量)，以及電子式傾斜計 (Tiltmeter) (量測結構物之傾斜量)，配合自動化傳輸軟體，可全時的監測 G4 站設施的安全性和具有預警性，只要監測數據異常或超出管理值即時以手機訊息方式通知權責人員處理，自動監測儀器自 Y6 站連續壁施工前即裝設，監測期間自 Y6 站開挖、垂直及水平灌漿、連續壁破除到潛盾穿越到達，全時的監測與完整記錄各個重要工項對 G4 站的影響。



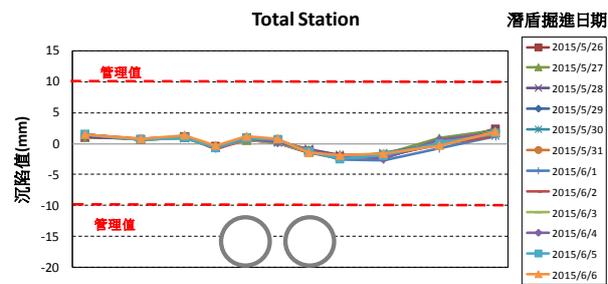
自動監測配置圖



自動監測平面配置圖



水平地改過程自動監測數據變化圖



潛盾穿越過程 G4 站全測站經緯儀測值

## (二) 遭遇之問題及解決對策

有關潛盾隧道穿越營運中新店線大坪站主要遭遇之問題有潛盾穿越 G4 站下方產生漏水漏砂或沉陷、潛盾隧道鏡面破除產生漏水、地盤改良施工風險、連續壁破除施工風險、潛盾穿越 G4 站過程施工風險等，各項問題說明及預防解決對策說明如下表。

遭遇問題	問題說明	預防及解決對策
潛盾穿越 G4 站下方產生漏水漏砂或沉陷	路線穿越 G4 站下方，發生漏水漏砂或過大沉陷，將危及上方 G4 站營運與結構安全。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 考慮採潛盾工法施工方式，避免直接與地中障礙物衝突。</li> <li>2. 潛盾機之設計，考量增加地中障礙物排除設備、盾首灌漿設備、備用壓氣設備等。</li> <li>3. G4 站體內規劃完整自動化安全監</li> </ol>

遭遇問題	問題說明	預防及解決對策
		測系統，包括全測站經緯儀系統、水平桿式沉陷計，以及電子式傾斜計等，避免影響營運與結構安全。
潛盾隧道鏡面破除產生漏水	潛盾隧道發進井、到達井鏡面之地盤改良體，受施工技術、地質條件及施工環境等因素影響，無法確保其止水性，一旦產生漏水漏砂情形，將影響施工時程，甚或危及鄰近建物安全	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 考量設置止水封圈、隔艙等輔助工法地盤改良設計，提昇地層之止水性。</li> <li>2. 配合工序建議不同階段之嚴謹試水作業及藥液補充灌漿必要時配合適當之抽水作業降低水壓及施作二次止水灌漿備用抽水井及灌漿設備等機具於現場隨時待命。</li> </ol>
地盤改良施工問題	<p>垂直地盤改良：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 灌漿前之管線試挖發現地下管線錯縱複雜，為配合施工時程之關係未進行管線臨遷，而採用斜孔鑽掘後埋設灌注外管並灌漿進行地盤改良。斜孔灌漿再加上既有之地下管線，可能造成滲透不均導致地改成效不佳。</li> <li>2. 斜孔鑽掘時因鄰近管線，需於管線探挖中將施工孔位預先埋設預埋管再行鑽掘，避免鑽掘中破損既有管線造成鄰損等危安狀況產生。</li> </ol> <p>水平地盤改良：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 連續壁引孔及鑽孔埋管施作時，因套管鑽掘擾動土壤導致砂石大量排出，引起 G4 捷運站站體偏移及影響既有車行路線營運。</li> <li>2. 漿液灌注中產生既有連續壁及站體之偏移量影響車行路線營運。</li> <li>3. 站體既有中間柱影響後續潛盾機掘進路線。</li> </ol>	<p>垂直地盤改良：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 配合斜孔灌漿之因素，原設計孔位將可能產生改良漿液無法滲透之改良區域故增加灌漿孔位及注入量，以確保地改成效。</li> <li>2. 潛盾機停機時進行機內試水且需符合規範規定；不符合規範規定之孔位需進行補灌漿作業後再行驗證，待全數試水孔位驗證合格後方可開艙。</li> </ol> <p>水平地盤改良：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 於鑽孔施作前先行裝設止水座、止水箱及匣門開關等裝置以防止大量砂石排出。</li> <li>2. 止水箱及水平鑽機皆增設緊急灌漿孔，可於鑽孔中進行灌漿作業，減少砂石排出穩定土壤崩坍狀況。</li> <li>3. 灌漿中配合即時監測系統及現場數據器(流量壓力紀錄器及壓力錶)，即時判定漿液滲透狀況及土壤注入量是否需調整。</li> <li>4. 鑽孔中針對潛盾機掘進路線可能遭遇中間柱之位置，先行預估並於鑽</li> </ol>

遭遇問題	問題說明	預防及解決對策
		孔作業時紀錄中間柱預估位置及實際位置之相對位置。
連續壁破除施工問題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. G4 站西側連續壁破除：人員由潛盾機出艙進行破除作業，土艙實屬侷限作業空間，此工程是穿越過程中風險最大的工項，直接驗證垂直地改效果，故相關施工動線及可投入之機具有所限制，施工機具之作業能量將攸關整體進度。</li> <li>2. G4 站東側連續壁破除：整體施工啟動時程受限於新設連續壁完成時間而定，且緊鄰土壤側(下方為卵礫石層；地下水位高)，破除期間需要特別注意是否有出水之現象</li> <li>3. Y6 站連續壁破除：新設連續壁混凝土設計強度為 350kgf/cm<sup>2</sup>，且撓曲、水平及剪力鋼筋間距多為 15cm，高壓水刀破除強度較高且鋼筋佈設密集之混凝土效率上將會折減，進而影響施工時程。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 採用高壓水刀進行主要之施工方式，高壓水刀作業期間人員無須出艙進行操作，可確保人員之安全，高壓水刀噴射之水壓高達 25000PSI，遠超出傳統式破碎機之能量。</li> <li>2. 依據西側破除之狀況了解既有連續壁混凝土之特性，沿用最適新設連續壁且最有效率之破除方式，同時現場相關灌漿設備機組待命。</li> <li>3. Y6 站連續壁破除：為避免高壓水刀破除成效不佳，同時備有鑽石鏈鋸機組、鑽孔設備及油壓劈裂設備做為輔助及替代工法使用。</li> </ol>
潛盾穿越 G4 站過程施工問題	潛盾隧道預定路線恐觸及既有車站之中間樁，且隧道頂部距離車站底版僅有 3.5m，掘進過程中對潛盾機對前方土壤之擾動及背填灌漿之影響，皆可能造成車站底版隆起或下陷之情況，進而影響列車行駛。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 配合水平地盤改良作業先行鑽孔探查既有中間樁之位置，並重新檢討潛盾路線是否會碰觸至中間樁。</li> <li>2. 潛盾通過車站下方時以符合規範要求之掘進速度(小於 5mm/min)且配合安裝於車站內之自動化監測儀器(監測頻率調高至 5min/次)，並連線至潛盾機操作室內配合掘進進行觀測。</li> </ol>

### 三、工程順利完成關鍵因素

本穿越工程屬台北捷運首次本穿越營運中之捷運車站下方之成功案例，工程得以順利完成，綜合以下關鍵因素。

- (一) 選擇宜的施工工法:潛盾穿越重要結構物下方工法有多種選擇，包括管幕工法、冰凍工法及潛盾工法，設計初期在考量本工程之施工空間及施作過程中對於風險及沉陷的管控之因素，選擇已在國內已有多起成功實績的潛盾穿越工法，不管在維持營運安全、工法可行性、工期與經費上均具備較優勢之條件。
- (二) 必要之施工風險評估:本工程細部設計階段即將此穿越工程列為高危險工項，進行風險評估，擬定風險對策處理方案，並實際運用於施工階段，尤其是本工程風險最高之人員出艙破除連續壁垂直地改保護之風險處理對策，發揮極佳效果。
- (三) 合理的數值分析模擬:於設計階段依據合理的施工規劃程序與地層分析參數，進行二維及三維的數值模擬，且將分析結果落實於後續之施工安全管控之依據。
- (四) 綿密的施工規劃風險管控:施工廠商遵循設計單位建議之工法及施工程序，進行施工規劃，並預估可能之施工風險，研擬因應對策，同時遵循既定之施工程序按部就班循序漸進的施工。
- (五) 引進新材料新工法:施工廠商採用適宜現場環境之施工機具，並引進最新的施工技術(水平地改之水平鑽定位儀、以高壓水刀破除連續壁)降低施工風險。
- (六) 備妥多種備用及輔助工法:為因應突發工程中不確定因素，所調整相關工法及整個配套措施。由於在工程進行中除了安全風險考量外，同時須兼顧工進需求適時主動調整改變工法(如原定採用高壓水刀進行破除作業，但因Y6站之連續壁混凝土強度遠超過設計值(350kg/cm<sup>2</sup>)，鋼筋較為整體緊密且鋼筋量較高，故破除之效率比原先規劃較低，廠商進而改採鏈鋸切割作為Y6側之主要破除工法)。施工中當遭遇非預期情況，為確保工進能如期達成，應備妥多種備用工法，以便在關鍵時刻發揮作用。

- (七) 全時自動監測管理系統:G4站體內之自動監測系統提供即時監控，施工過程依據監測管理值掌控對G4站之安全影響。
- (八) 向思考工程問題與尋求合理的解決方案:現場施工過程倘遭遇問題(如垂直地改管線阻礙、黏土層進行水平灌漿造成G4車站底版隆起、連續壁破除方式的檢討)，業主、施工廠商與設計單位主動針對問題充分討論，在安全的前提下尋求適合的解決工法。