

第四章 國內潛盾隧道施工意外事故案例

4.1 新店線 CH218 標工程

4.1.1 工程概述

萬正台（1993）指出，台北捷運新店線 CH218 標工程，北起新公園地下車站，往南至中正紀念堂站與 CH219 標相接，如圖 4-1 所示。黃文慶（1998）說明，本標工程包括新公園地下車站本體工程及車站至中正紀念堂站間之雙線上、下行隧道工程（隧道之外徑為 5.9 m）。新公園地下車站係採明挖覆蓋工法施工，隧道工程部份則以潛盾工法進行施工。隧道工程之進行方式，乃於新公園地下車站旁設置出發井，向南推進至中正紀念堂站。潛盾隧道所經過之土層，主要為沉泥質砂土，具有相當高比例之細料，施工選用土壓平衡式潛盾機。潛盾機頭並加設灌漿管，當潛盾機掘進時遭遇含砂量較高之土層，可利用灌漿管注入泥漿或泡沫材於開挖面，增加砂質土之流動性，以利土壓平衡式潛盾機之排土及推進作業。

4.1.2 地層概況

新店線 CH218 標所經過的台北盆地松山層，係屬於淡水河流域沖積而成。根據亞新工程顧問公司（1987）的調查，淡水河流域大部份呈較完整之松山層六次層之特色，在靠近河岸部份，砂質土愈厚，黏性土層相對的轉薄，而松山層係由黏性土層與砂質土層交錯之構造。本標所在之松山層，自地表由上而下依序為，地表回填土層，厚度約 1 ~ 1.5 m。回填土層下方即為松山第六次層，為灰色砂質沈泥，厚度約 9 m。再下方為松山第五次層，為灰色沈泥質細砂，具有相當高比例之細料，為 CH218 標潛盾隧道所經過的土層，厚度約 6 m。再下方的松山第四次層，則屬沈泥質黏土。該區之地下水位約在地表下 3 m 處。

4.1.3 意外事故發生經過

下行隧道之潛盾機，自新公園地下車站推發後，潛盾隧道順利地掘進施工。當潛盾機掘進至襯砌環片第55環時，施工人員發現潛盾機內之排土螺運機(screw conveyor)之出現扭力有過高之現象，且潛盾機內部溫度也逐漸升高，於是停止潛盾機掘進。施工人員進行檢查及清理螺運機之工作，清理後發現螺旋輸送機內有一疑似鑽探用之鋼管(外徑 3.5 in)。工作人員取出鋼管並將螺運機徹底檢查後，潛盾機再次的掘進，然掘進不到一環，仍呈現螺運機扭力過高及潛盾機內部溫度升高之現象。施工人員研判，可能仍有鋼管留存在土渣艙內部，因此決定停止潛盾機之掘進，全面進行檢查及處理障礙物之工作，期望潛盾機能恢復正常之運轉。

4.1.4 鋼管排除之處理

當潛盾機停止掘進時，潛盾機約位在地表下 16 m，潛盾機外部除承受土壓力外，亦承受強大之地下水壓(約有 1.3 kgf/cm^2)作用。工作人員欲直接進入土渣艙內部清除土渣並取出留存之鋼管時，將無法利用充滿於土渣艙內之土渣以抑制開挖面之土壓及地下水壓。潛盾機開挖面極可能在無適當支撐之狀態下因而崩塌，造成地下水夾帶土砂流入潛盾機內。開挖面崩塌除可能嚴重危害工作人員之安全外，亦可能造成潛盾機周圍土壤的流失，導致地表附近之建築物下陷。

萬正台(1993)指出，為使工作人員能在安全的狀態下，自潛盾機之土渣艙內取出鋼管，故採取下述各項措施：

1. 隧道上方地表建築物及地下管線之保護措施

工作人員除對附近地表之建築物，進行再次的調查外，並以試挖方式確定地下管線等設施之正確位置，以利研擬有效的保護措施，防止建物或管線設施在處理過程中發生沈陷而損壞。

依據現地之調查結果，工作人員將潛盾隧道斷面 45° 隧道開挖影響線

內之扇形區域右半部，自潛盾機內部及地表同時進行 SL 化學灌漿(如圖 4-2 所示)，以預防於處理過程中造成潛盾機附近土壤流失，流失區域延伸至地表面，致使鄰近建物基礎下陷。

2. 停滯潛盾機機首之保護措施

為防止在進行潛盾機周圍地盤改良時，潛盾機機首部份受已硬化改良漿液之黏滯，造成再次掘進時之困擾。潛盾機機首部份以強度較低但具止水效果之 SL 化學灌漿，將潛盾機首四周包裹住，如圖 4-3 所示。

3. 潛盾機盾首前及其周圍地盤改良作業。

本項地盤改良目的乃為增加潛盾機周邊土壤之強度及止水性，使潛盾機外部之土壤及地下水無法穿越改良體而流入潛盾機內，以確保工作人員進入土渣艙內處理障礙物時之安全。

承包商對潛盾機四周所採用之地盤改良方式，可分三個步驟。首先在潛盾機盾首前及其四周，進行二重管高壓噴射灌漿 (JSG)，以強化土體抵抗土壓，並降低土體之滲透係數，如圖 4-4 (a) 所示。JSG 施工完成後再於 JSG 改良區與土壤、潛盾機之介面處，施以止水效果較佳之 SL 灌漿，如圖 4-4 (b) 所示，以封堵 JSG 改良區與潛盾機間之縫隙。上述工作完成後，再於潛盾機周圍及盾首以間隔的方式進行 LW 灌漿及 SL 灌漿，如圖 4-5 所示，以全面封堵潛盾機機身及盾首與 JSG 改良體間之縫隙。此間隔灌漿乃利用較具強度之 LW 漿液，局部性的增強強度較低但止水效果較佳之 SL 漿液。

4. 清除土渣艙內之鋼管

工作人員進入土渣艙前，需先行清理螺運機，以利瞭解潛盾機周圍土壤改良後之效果，此時若仍有土砂持續流入螺運機內，表示地盤改良效果欠佳，則需繼續施灌 SL 漿液。在確定灌漿效果良好無虞後，工作人員才可打開潛盾機隔板之上人孔蓋，進入土渣艙內進行清除泥渣、取出鋼管，並檢查潛盾機切刃面刮刀損壞情形。

5. 土渣艙內回填土砂

工作人員完成土渣艙內之工作後，封閉人孔，並利用螺運機以逆轉方式，將土砂回填至土渣艙內。

6. 潛盾機掘進試驗

完成上述工作後，即進行潛盾機掘進之準備作業。潛盾機掘進前，需先自地表及機內灌注具有潤滑效果之皂土漿液於潛盾機盾首及四周，以降低潛盾機推進時之阻力。

此次意外事故發生之主因雖只是一支卡在土渣艙內之鋼管，但不僅增加 CH218 標不少之工程費用，且延誤工期二個多月。由此充分顯示，利用封閉式潛盾機進行隧道開挖工作，事前在隧道所經過的路線上進行障礙物調查之重要性。



4.2 新店線 CH221 通風豎井工程

本節首先對新店線 CH221 標通風豎井工程，作一簡單之工程概述，接著介紹地層概況，說明意外事故發生之經過，最後說明意外事故發生後進行之復舊工作。

4.2.1 工程概述

新店線 CH221 標通風豎井工址所在的土層，如圖 4-6 所示，為典型台北盆地松山六次層，即由粉土質黏土層與粉土質細砂層交互組合而成。此處松山層厚度約為 35 m，而在松六及松五次層間存在一厚約 8 m 之礫石層。松山層下方則為景美層，景美層主要成分為礫石，並夾雜多量的卵石和砂。此通風豎井附近之地下水位，在松五次層內約位於高程 101 m 處。松三次層之地下水位約位於高程 95 m。景美層內之地下水位則位於高程約 92 m 處，為一受壓水層。

4.2.2 地層概況

楊國榮與趙際禮（1997）指出，台北捷運系統新店線 CH221 標之通風豎井為一外徑 26 m 之圓桶型結構，開挖深度約為 35 m，在隧道施工期間，作為潛盾隧道出發井之用，其位置如圖 4-7 所示。本通風豎井係採用厚 1.2 m，深 57 m 之連續壁作為擋土設施，並於開挖區內連續壁底部深度處，利用二重管雙栓塞灌漿全面施作 5 m 厚之地盤改良，以阻隔景美礫石層內之水壓力，防止通風豎井於內部進行開挖作業時，豎井內部之土體發生上舉之破壞。本通風豎井為一圓桶狀之擋土結構，並於連續壁頂部設計一環樑。依范陳柏與趙際禮（1997）說明，該具有環效應之圓桶狀通風豎井，除可抵抗外部強大之土壓力和水壓力外，豎井內部並可採用無支撐設計，所有豎井內之空間均可供施工使用。

4.2.3 意外事故發生之經過

范陳柏與趙際禮（1997）說明，由於潛盾隧道和通風豎井具有不同之結構行為，例如當潛盾隧道和通風豎井受地震力作用時，因二者的振動週期不一致，二者側位移亦不同，故需於兩者之交接處設置柔性接頭（flexible joint），以預防潛盾隧道結構體產生龜裂或破壞。柔性接頭一端連接在潛盾隧道的環片上，另一端則連接在通風豎井連續壁內牆開口處的場鑄混凝土環上。

CH221 標通風豎井為圓形結構，基於潛盾機發進時推力上的考量，故需先行在通風豎井出發段組立環片設置假洞口。本標工程上、下行隧道順利施工完成後，需拆除假洞口之組立環片，並在該處設置柔性接頭。此項作業需在地表下約三十餘公尺處進行，隧道外之巨大地下水壓極可能趁此環片拆除或擴挖時，滲過隧道外之改良土，夾帶土壤湧入隧道和通風豎井內，是一相當具有危險性的工作。承商在進行柔性接頭之設置前，乃先於隧道口之外側區域，施以 CJG（Column Jet Grout）三重管高壓噴設射灌漿改良地盤。藉由隧道外部之 CJG 改良體，以防護環片拆除及柔性接頭設置時之安全。

在下行隧道順利完成柔性接頭工作之後，緊接著進行上行隧道之柔性接頭作業。不幸於 1994 年 4 月 1 日上午約 11:30，施工人員正在通風豎井之上行隧道口鋪設防水膜時，突然自隧道洞口之擴挖處右側仰拱部份出現大量湧水。由於湧水處位於地表下約 33 m 處，水壓非常大，且湧水量達到 $7 \text{ m}^3/\text{min}$ ，施工人員無法阻止湧水。

通風豎井周圍土壤隨著湧水不斷地湧入通風豎井內，並隨著已完成之上、下行隧道流往位於南昌街口的到達井（回收井）內，使得通風豎井、上下行潛盾隧道及南昌街口的到達井均都被土砂和水掩埋。湧水導致通風豎井周圍的土壤流失，造成地表嚴重下陷，高程測量結果顯示，地表沈陷之等高線圖如圖 4-8 所示。施工單位為了降低土砂隨著湧水繼續湧入的速度，緊急協調消防隊於通風豎井內灌水，使通風豎井內外之水壓相互平衡，並於地盤沈陷區域內進行回填土及水泥砂漿之作業，經過三天的搶救才使地表下陷的情況趨於穩定。位於通風豎井南側林口社區民房崩裂、傾斜的災區約有 800 m^2 範圍，受災戶共有 68 戶，其中 48 戶的崩裂和傾斜情況較為嚴重。



4.2.4 復舊工作

由於採用凍結工法可以將非均質的地盤凍結成一道連續的凍土壁，較不受土質的不確定性和不完整性的影響，且凍土壁具有完整的遮水性、和其他結構體的緊密性等優點，並可以達到改良體強度的要求，因此決定使用以往多用於高緯度國家的凍結工法做為復舊施工的輔助方法。

凍結工法用於亞熱帶地區所遇到的困難頗多，例如天氣炎熱就是一個明顯的問題，再加上隨季節變動的地下水位（雨季地下水位較高），造成凍結工法施工的困難度增加。施工單位判斷發生意外事故處承受景美層的地下水水壓作用，由於景美層的地下水位是一個定水頭的地下水位面，不會隨著季節變動而升降，較有利使用凍結工法。

范陳柏與趙際禮（1997）指出，承包商亦曾考慮過使用其他工法來配合進行復舊的工作，如：高壓噴射灌漿、化學藥劑灌漿、壓氣工法及降水工法等，但由於已遭受破壞擾動的土層存在太多的不確定因素，以及在不能影響到鄰近交通和建築物的原則下，只好放棄使用這些工法，改採用成本費用較昂貴，工期較長，但是品質比較有保障的凍結工法進行復舊施工。

此通風豎井的復舊施工採用凍結工法做為支撐外側壓力以及阻隔地下水之用。在復舊工程進行時，除了要排除通風豎井內淤積的土砂外，還必須了解環片受損的情形，決定水平凍結管所需要的長度，以便在凍土壁的保護之下進行復舊施工。范陳柏與趙際禮（1997）說明，新店線 CH221 標通風豎井復舊工程施工步驟包含：(1) 從地面上以鑽孔方式進行止水封堵灌漿，形成土栓作用；(2) 在隧道口湧水處施作垂直凍結，以利進行通風豎井內的排水、排土作業；(3) 進行隧道內後段的土砂排除作業；(4) 自通風豎井內沿隧道外緣埋設水平凍結管，凍結隧道環片外圍的土壤；(5) 更換損壞的環片；(6) 施作洞口部混凝土結構。以下對通風豎井復舊施工的步驟加以說明。

(1) 封堵灌漿

由於通風豎井周圍發生十分嚴重的沉陷，對隧道亦造成破壞，隧道內的襯砌環片亦因此而變形損壞，必須更換。為了防止進行通風豎井的排土、排水作業時，豎井外的土砂會再度伴隨著水自破壞的環片缺口流入井內，所以必須在已破壞變形之隧道內進行封堵灌漿，隧道內之土砂與灌入之 LW 漿液凝結後形成一個栓塞（plug），塞住環片的缺口。

施工時利用封堵灌漿鑽孔的深度來判斷環片大致的受損情形，損壞主要發生在第 6 環到第 21 環之間。施工單位從地面以鑽孔貫穿土層及破損環片，於隧道內之土砂中注入低坍度材料（thixotropic - mortar）於隧道內第 6 環和第 21 環的位置上，第 6 環和第 21 環之間再以雙栓塞二重管灌漿方式注入水泥皂土漿液（CB 漿）以及水泥水玻璃漿液（CW 漿）做為止水材料，使其結合隧道內之土

砂，在破損區域形成土栓，於清除隧道內淤積土砂及水時，防止通風豎井內的土砂再湧入隧道內，如圖 4-9 所示。

以上封堵灌漿範圍僅是以鑽孔深度所推測環片可能受損的範圍，因此有必要施作下一步檢測的工作。若是前述封堵灌漿的區域未能涵蓋整個環片受損的範圍，以後清除隧道內土砂工作時，仍有通風豎井側土砂伴隨著水湧入隧道內的可能，因此造成施工危險。常用的檢測程序是先用泵浦將隧道內的積水水位抽降大約 1 m，然後靜置 1 ~ 2 日。如果水位沒有回升，表示封堵灌漿的效果良好，如果隧道內水位繼續上升，則表示必須擴展封堵灌漿的範圍。

新店線 CH221 標上行隧道損壞部份預定封堵長度為 21 m，最後決定第 1 環至第 5 環也需施作 LW 灌漿，延長封堵長度至 24 m 才順利完成止水工作。圖 4-9 中之鋼支撐擋門 (bulkhead) 是用來抵擋通風豎井積水及土砂之側向壓力，以確保清除隧道土砂之工作人員的安全。

封堵灌漿效果確認後，自上行隧道另一端南昌街口的回收井逐步進行隧道內排水、排砂的作業。此時工作人員可以從回收井進入隧道內以肉眼觀察環片受影響的範圍，判斷將來必須施作水平凍結的區域，並決定水平凍結管所需要的長度。

於結束清理上行隧道內之土砂及積水後，接著將清理通風豎井內之積水及土砂。為確保通風豎井內之土壓及水壓力不致侵入上行隧道，承包商於洞口及第 1 至 5 環間進行 LW 漿液注入施工以降低地盤滲透性，如圖 4-10 所示。圖中之 CJG 改良土為隧道開挖之前施作，於意外事故發生時已遭損壞。

(2) 垂直凍結階段

在清理通風豎井內土砂之前，承包商於連續壁外側進行第一階段 (stage 1) 地盤凍結，如圖 4-10 所示。垂直凍結土層的目的是為了封堵上行隧道洞口破壞的部份，以便排除通風豎井內土砂和水的工作。凍土壁厚度經計算後決定為 2.9 m，為了讓凍土壁和通風豎井連續壁能夠緊密的連結在一起，所以在連續壁外側 0.3 m 處，以 0.8 m 的間距埋置第一列垂直凍結管。第二列凍結管則位於連續壁

外側 1.8 m 處，各垂直凍結管之間距亦為 0.8 m。

垂直凍結管的埋設是從地表以鑽探機經由二重套管的清水施作方式來進行，鑽孔套管外管的直徑為 152 mm，內管的直徑為 128 mm。先將套管鑽孔到所需要的深度後，拔出內套管，再把凍結用直徑 3.5 in (88.9 mm) 碳素無縫鋼管（凍結管外管）以焊接連結的方式插入鑽孔外套管內，最後拔出外套管，並在凍結管外管和土壤間的空隙回填皂土水泥漿液。埋設完成的凍結管外管皆必須施作傾斜測定以及氣密試驗，施作傾斜測定是為了瞭解垂直凍結管於埋設時偏移的程度，以避免由於相鄰 2 支垂直凍結管垂直方向偏移過大，造成凍結區域發生無法閉合的現象。此外由於凍結工法有不凍液不可外流的嚴格限制（遭不凍液侵入之土層將難以凍結止水），所以凍結管埋設後必須施作氣密試驗。在凍結管內注入 6 ~ 7 kgf/cm² 的壓縮空氣，用壓力表測定凍結管有無發生漏氣的現象，外露的管線則以塗抹肥皂水方式進行測試。在完成傾斜測定和氣密試驗之後，插入限定管和內管，即完成垂直凍結管的埋設工作。

凍結土層經過低溫（-25°C）不凍液循環流動 42 天後凍結完成，在凍土維持的 60 天內可確保通風豎井外土砂不會侵入井內工作區，工作人員著手清除淤積在通風豎井內以及下行隧道內土砂和積水的工作，此階段凍土量大約為 530 m³，下行隧道之襯砌環片並未因意外事故而遭受破壞。由於土壤凍結時將發生體積膨脹，為避免凍土擠壓下行隧道的環片，可能危及下行隧道的安全，因此施工單位在上、下行隧道間洞口附近施作解壓孔，以解除凍結隆起的膨脹壓力。在清除土砂的過程中，為避免連續壁體的溫度過高影響凍土的維持，在配合向下開挖土砂，於連續壁與空氣接觸之介面上設置貼附凍結管（單管式凍結管）以降低連續壁體的溫度。在垂直凍結所形成凍土的保護下，通風豎井內的土砂和水的排除工作順利完成。於完成清除土砂作業後，拔除各垂直凍結管，以利下一階段埋設水平凍結管，但並不解除土層凍結之狀態，以維持凍土對洞口處之保護功能。

(3) 水平凍結階段

土層水平凍結的目的是做為上行隧道內第 1 至 24 環清除土砂以及更換受損環片時提供凍土防護壁體，一方面為隧道再度開挖造成支撐，另一方面用於阻隔隧道外側土砂及水湧入隧道內。水平凍結區凍土壁的設計厚度為 2.5 m，距離隧道中心半徑約為 4.4 m 的圓周上埋設水平凍結管（如圖 4-11），凍結管間距為 0.8 m，洞口處凍結管線的配置如圖 4-12 所示。由於此時洞口處的凍土壁成為自然解凍情況，為了避免強大水壓力危害逐漸弱化之凍土，在上行隧道坑口處設置鋼支撐隔艙。此外，因為上行隧道底層作業空間不足，因此在隧道底部埋設兩列斜向的水平凍結管（如圖 4-13 (a)）。由於上行隧道右側受到連續壁為弧面的影響，無法埋設水平凍結管，故於隧道右側埋設一系列垂直凍結管（如圖 4-13 (b)）來代替，以便於上行隧道周圍形成原設計的圓筒型防護凍土的效果。

水平凍結管的埋設是從通風豎井內以水平鑽孔機進行施作，由於必須防止在鑽孔時連續壁外部的土砂會伴隨地下水湧入井內，在開口位置設置套管（sleeve）、止水閥和鑽孔栓塞（packer）等設備。首先設置鑽孔栓塞，以套管鑽孔，將鑽得之連續壁混凝土心取出，接著將套管換為鑽孔式凍結管，以一邊焊接連接、一邊鑽孔前進的方式將水平凍結管埋設置預定深度，並在鑽孔式凍結管和土壤間的空隙回填皂土水泥漿。埋設完成的凍結管外管先施作氣密試驗以防止發生不凍液外洩的情形，以 $6 \sim 7 \text{ kgf/cm}^2$ 的壓縮空氣注入凍結管外管內，以壓力表測定是否有漏氣的現象。氣密試驗完成後還要進行管孔彎曲測定，檢查水平凍結管埋設的位置是否發生偏差，以防止可能有未預期之未凍結區域的存在，造成凍結防護形狀不完全，危及施工人員的安全。

通風豎井復舊工程之水平凍結區完成凍結需要 92 天，此階段形成之凍土量約為 $2,000 \text{ m}^3$ 。

(4) 環片復舊階段

當水平凍結區的凍土牆厚度依據測溫資料確認後，凍土在受損隧道周圍形成

一圓筒狀保護壁。承包商進行洞口處的鋼支撐檔門的拆除作業、上行隧道內的土砂排除作業、施作隧道內受損環片的解體工作及受損環片更換作業，如圖 4-14 所示，並於環片及土層空隙間進行背填灌漿，以防止地盤解凍後發生地盤沉陷。環片更換完成後，進行洞口施築復舊作業，鋪設洞口擴挖處的防水膜以及施作洞口之混凝土結構體。當洞口復舊作業完成後，將加溫的不凍液注入凍結管內以循環的方式強制加速解凍，垂直凍結管於凍土解凍後拔除。為避免拔除水平凍結管後可能會造成連續壁外圍土砂隨地下水湧入，承包商僅將水平凍結管的管口切斷，於管內回填水泥皂土漿後以鐵板焊接封口，並不拔除。在凍土解凍、凍結機具設備停止運轉後，新店線 CH221 標使用凍結工法復舊施工順利完成。

4.3 板橋線 CP261 標工程

本節首先對板橋線 CP261 標工程，作一簡單之工程概述，接著介紹地層概況，說明意外事故發生之經過及其後之緊急應變措施，最後說明意外事故發生後進行之復舊工作。

4.3.1 工程概述

朱旭等（1997b）說明，板橋線 CP261 標工程範圍，東起南港線 CN252 標西門站南端，經龍山寺站後，至華江橋下之通風井 B 與板橋線 CP262 標相接，如圖 4-15 所示。本標工程除龍山寺站體及通風井 B 採明挖覆蓋工法外，其餘均採用潛盾工法施工，隧道外徑為 6.1 m。潛盾隧道工程包括上下行隧道各一條，並以龍山寺站劃分為東西兩側隧道。龍山寺站旁之工作井寬約 17 m、長 25.5 m、深 25 m，四周擋土措施由 1 m 厚，43 m 深之連續壁構築而成，工作井主要供西側上行隧道潛盾機發進及下行隧道潛盾機到達之用。隧道全線因土層複雜且沿線通過許多建物及結構物之下方，為確保沿線建物之安全，採用加泥式土壓平衡式

潛盾機。

4.3.2 地層概況

朱旭與周黎明（1998）描述板橋線 CP261 標工程沿線為淡水河河道舊址所在，地層中潛藏流木或天然遺留物。龍山寺站旁工作井位在台北市萬華區內，依相關文獻記載，該處為昔日艋舺地區的運河河道，連接淡水河與艋舺市中心。艋舺當時為繁華的貨物集散地，經常利用運河河道運送木材等貨物。隨著時代的變遷，商業區不斷的開發，艋舺逐漸沒落，運河已不再被需要，於是運河河道逐漸淤積，導致本區河道內流木雜陳，且地質軟弱。地層調查資料顯示，最接近地面之松山層第六次層為砂質沈泥層（CL），標準貫入實驗（SPT）之 N 值為 1~8。其下方為厚度約 10 m 之松山層第五次層，屬極為疏鬆之粉質細砂層（SM），其 SPT 之 N 值分佈範圍大致在 3~14，然亦有部份鑽探孔之 N 值低至 1~2。第五次層下方為第四次層，屬粉質黏土層（CL）。上述三者土壤的以中間之松山第五次層滲透係數較高。松山第五次層地下水位，約在地表下 3.4 m 處。西側下行隧道潛盾機掘進所經過之土層，包含有松山第五次層及第四次層。

朱旭等（1997b）陳述，板橋線 CP261 標西線下行隧道之發進端地盤改良作業，採用二重管 JSG 高壓噴射灌漿。形成 JSG 樁共 56 支，每支樁徑為 1.2 m，樁間並互相重疊，於龍山寺站旁工作井之連續壁前形成長 8.2 m、寬 10.54 m、深 11.04 m 之長方體改良區，以利潛盾機發進時能將整個潛盾機完全包住。為了解地盤改良後改良體之止水性，於鏡面破除前，承包商曾進行多次的試水作業，並於漏水處加設 LW、ARON、OH 及 CW 等藥液灌注止水，以確保改良體於潛盾機發進期間能有效發揮止水作用，防止地下水穿過改良體滲入工作井內。

4.3.3 意外事故發生之經過

1995 年 4 月 28 日早上 6:45 時，當西線下行隧道之潛盾機，欲自龍山寺站

旁之工作井發進，向西推往華江橋下之通風井B。工作人員於工作井內正進行連續壁發進鏡面之破除作業，突然發現連續壁之鏡面有滲水之現象，流量約為 15 l/min。施工單位隨即暫停作業，並以快乾水泥填封滲水口、砂包堵塞止水。4月28日上午7:15，於鏡面約5點鐘方向，又突然發生大量湧水現象，地下水夾帶大量的泥砂湧入工作井內，雖經工作人員全力搶救，仍舊無效。當日上午8:10，工作井周邊因土壤大量的流入工作井，導致鄰近地表產生嚴重的沉陷，沉陷面積約 30 m²，如圖 4-16 所示，下陷深度大約 3~4 m，並造成鄰近一棟十層建築物杏林大廈傾斜。

4.3.4 意外事故發生之緊急應變措施

意外事故發生後，施工單位除動員所有人力及機具進行搶救外，並緊急啟動潛盾機推入發進鏡面上預設之鋼製套筒內，阻擋土砂及地下水流入工作井，致使災情得以有效控制。此意外事故之緊急應變措施，分述如下：

1. 將工作井內下行隧道發進鏡面上之施工架拆除，啟動潛盾機推入發進鏡面上預設之鋼製套筒內，並將潛盾機之土渣艙內壓氣，以抵擋湧水鏡面之土、水壓力，減少土砂流入工作井內，避免災情繼續擴大。
2. 工作人員緊急調派砂石車，以土砂及級配料回填地表之空洞，以避免坍塌區附近及大樓基礎下方因土壤流失產生空洞，填入約 297 m³。
3. 於已抵住湧水鏡面之潛盾機的內部，利用潛盾機前方之加泥孔灌注 CW 止水漿液，以阻止發進鏡面處之湧水，灌入量共計約 5,659 公升。
4. 工作人員緊急調派 6 部灌漿機，於回填區自地面上鑽孔施以低壓填充灌漿 (LW)，填充地下尚存之空洞及回填土中之孔隙，以穩固地盤並防止大樓繼續傾斜。自意外事故發生後灌漿持續進行 4 天，共灌注漿液 297 m³。
5. 在上述灌漿作業結束後，為確保已傾斜大樓之長期穩定，隨即進行大樓底部之補強灌漿，以斜灌方式注入大樓下方土層，共計灌注漿液 298 m³。
6. 現地增設監測儀器，加強監測沈陷區域之土層及鄰近建築物之後續位移情

形，以確實掌控事故現場之狀況。

4.3.5 復舊工作

在意外事故發生之際，潛盾機迅速推入鏡面鋼套管內，以減低災情之擴大。此措施乃於緊急狀況下所進行的應變措施，事後檢討潛盾機如何再次發進時，卻產生了下列問題：(1) 鏡面之止水墊圈及逆止蹠片極可能已受損。(2) 潛盾機推入的角度及方向可能有偏差。(3) 鏡面發生湧水土砂大量流入工作井內，土層已受嚴重的擾動，且災變前施作之改良體止水效果堪慮。(4) 發進鏡面及潛盾機土艙內存有已凝固之 CW 止水漿液，需清理後才可恢復潛盾機之正常功能。潛盾機欲再次發進時，則因上述問題的存在，使得潛盾機發進計畫不得不加以重新擬定。施工人員重新擬定潛盾機發進計畫，採取「雙重鏡面工法」順利地將潛盾機重新發進，如圖 4-17 所示。板橋線 CP261 標潛盾再發進施工，利用雙重鏡面工法有效阻絕地下水，順利完成潛盾隧道發進施工。

