


## 第五章 板橋線 CD266 標隧道接頭漏水意外事故 與復舊工程

本章介紹於 2003 年 2 月發生之板橋線 CD266 標下行潛盾隧道與車站連續壁接頭漏水意外事故，及事故發生後之相關復舊工程。為了能夠將本案例之意外事故及後續之復舊工程做一個完整詳盡的介紹，在本章前段將引用簡國峰（2003）論文內容，簡單說明地質概況及事故前之相關施工作業，接著介紹意外事故發生之經過，與事故發生後之緊急處理措施，說明事故災損與地盤穩定情形，並探討可能的災變原因。本章後段介紹事故發生後，於下行隧道進行之兩階段復舊工程，復舊工程冷凍工法凍土溫度監測之結果，介紹隧道內部柔性接頭施作，以及檢討復舊工程之施工。

### 5.1 工程概述



台北捷運系統板橋線 CD550 設計標工程，其中土建工程部分包含 CP256C 施工標府中站(BL01)，CD266 施工標亞東醫院站(BL40)之站體和相連站體間之隧道工程，及 CD267 施工標土城機廠工程，如圖 5-1 所示。連接於板橋站(BL02)、府中站(BL01)、亞東醫院站(BL40)至遠揚社區前之明挖覆蓋段的六條隧道均採用潛盾工法施作，隧道內徑為 5.6 公尺，總長度約 3,383 公尺。除亞東醫院站至遠揚社區段上、下行隧道採潛盾機到達出坑方式外，其餘四條隧道於設計時，均採取潛盾機到達後以棄殼方式處理。

CD266 標潛盾隧道工程南起亞東醫院站，上、下行隧道以平行式往北推進，沿南雅南路二段至縣民大道後，轉至民房下方行進至東門街二巷，再以上、下重疊型式與府中站銜接，如圖 5-2 所示。其施工順序係由亞東醫院站分別往府中站鑽掘前進下行及上行隧道，先後於 91 年 5 月及 11 月平行發進。下行隧道於 91 年 11 月到達府中站南側，上行隧道潛盾機則安排於春節期間停駐於環片編號 475 環無建物之南雅公園下方，待年節假期後再重新推進鑽掘，並預定 92 年 6 月到

達府中站南側。

由於隧道到達府中站站體時需與站體接續，因此上、下行隧道之潛盾機到達作業原設計即採「棄殼」方式將潛盾機盾殼留存於地盤改良區內。下行線潛盾隧道於 91 年 5 月 28 日由亞東醫院站北端潛盾發進井開始掘進，至 91 年 11 月 14 日晚間，潛盾機切刃盤魚尾鈹觸抵府中站南端連續壁，正式完成全長約 1,077 公尺隧道之主掘進作業。後於 92 年 1 月 18 日完成鏡面連續壁鑿除作業，潛盾機掘進前、後之建物沉陷、傾斜及地面裝設之監測儀器讀值均顯示無異狀。

## 5.2 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 BA-04、BA-03，以及細部設計中興顧問 (1993) 於設計階段地質鑽探孔 SB-01、SB-02 之物理及力學試驗，此區域地層上部為沖積層，亦即為松山層，其厚度約 50 公尺，並可由下往上細分為六次層 (如圖 5-3 所示)；而松山層下為景美礫石層。

此區域松山層各次層之性質分述如下：

1. 松六層：為中至低塑性、中等堅實、棕黃色粉土質黏土或黏土質粉土，本層深度約在地表下至 6 m 處，厚度約 4~6 m，含水量約為 30%-40%，SPT-N 值約在 2-7。
2. 松五層：為中等緊密、灰色粉土質中細砂，在 SB-01 孔位曾發現夾有浮木；本層深度約在地表下 6 m 至 19 m，厚度約 13 m，含水量約為 18%~25%，SPT-N 值約在 12-18。
3. 松四層：為中至低塑性、堅實、灰色粉土質黏土，此次層曾於 SB-02 發現有大塊黃色浮木；本層深度約在地表下 19 m 至 26 m，厚度約 7 m，含水量約為 25%~34%，SPT-N 值約為 8-11。
4. 松三層：為中等緊密、灰色粉土質細砂，此次層亦於 SB-02 孔位發現夾有浮

木；本層深度約在地表下 26 m 至 32 m，厚度約 6 m，含水量約為 20%~26%，SPT-N 約為 12-26。

5. 松二層：為中至低塑性、堅實、灰色粉土質黏土，本層深度約在地表下 32 m 至 37 m，厚度約 3~5 m，含水量約為 20%~32%，SPT-N 值約為 8-14。
6. 松一層：為中等緊密、灰色粉土質中細砂，深度約在地表下 37 m 至 50 m，厚度約 13 m，含水量約在 20%~30%，SPT-N 值約為 22-40。另外，依據緊鄰之府中站地質圖說顯示，松一層又可區分為松一 A 與松一 B 層(ML/CL)，但松一 B 層於本工址中可能尖滅而不完整。

本次事故鏡面漏水漏砂之位置約位於地表下深度 22~28 m 處，由上述之資料綜合整理及圖 5-3，可研判下行隧道主要位於第四次層之粉土質黏土層。本區沿線之地質剖面圖如圖 5-3 所示。

## 5.3 事故前相關作業情形



### 5.3.1 潛盾隧道掘進

亞東醫院站至府中站南側之下行及上行隧道施工包含以下之作業：

- (1) 考量規劃線形而衍生之隧道接近段、重疊段需進行地盤改良和架設內支撐。
- (2) 府中站站體內牆、中版結構業已完成；潛盾機拆解後需沿原路徑運行 1,077 公尺回亞東醫院站。

下行隧道於 91 年 5 月 28 日從亞東醫院站北側工作井向北掘進，沿線地層十分複雜，過程中曾遭逢諸如流木、堅硬卵石等地中障礙物，但下行隧道克服困難仍於 91 年 11 月 14 日抵達府中站南側，隨即進行潛盾機拆解及鏡面破除作業。

上行線隧道於 91 年 11 月 10 日自亞東醫院站北側工作井向北掘進，預定於 92 年 6 月可到達至府中站南側。本事故發生時，上行線潛盾機正停駐於環片編號第 475 環處，其上方並無建築物。

### 5.3.2 到達鏡面安全措施

由於下行隧道到達府中站體時，與站體接續處係採「棄殼」方式處理，留存於地盤內之鋼殼則作為隧道結構體保護措施的一部份。考量週遭的地質狀況及地層應力行為，於潛盾到達銜接處之施工作業。故須進行若干安全措施，如施作到達端地盤改良、盾殼背填處理、以及鏡面試水作業等。下行隧道之到達作業包含 10 個施工步驟（如圖 5-4 至圖 5-8）。其到達鏡面各項安全措施分述如下：

#### 1. 地盤改良及驗證

府中站南側連續壁施作完成後，隨即於 89 年 12 月間，進行站體南側上、下行隧道到達段地盤改良，以確保潛盾機到達後鑿除連續壁與棄殼作業時，開挖面能自立而不致產生崩塌及漏水現象。

CD266 隧道段府中站南側之地質資料如表 5-1 所示，圖 5-9 所示之改良範圍依照日本“Jet Grout 工法技術資料”計算，並經業主及細部設計顧問核准，JSG 灌漿施工參數如表 5-2 所示。

上行線地盤改良區域為長 3.4 m，寬 10.24 m，高 19.69 m；下行線地盤改良區域則分別為長 6.6 m，寬 13.24 m，高 11.64 m，如圖 5-9 所示。本到達段地盤改良採用二重管噴射灌漿(JSG)工法施作，樁徑為 1.6 m，樁間重疊施灌，改良範圍樁位配置如圖 5-10 所示。此到達端之地盤改良作業於 90 年 1 月完成。

地盤改良效果確認於 90 年 2 月 6 日至 2 月 13 日施作，樁號 ST-1 改良土之取樣率（Core recovery）為 94.6%，樁號 ST-2 取樣率為 96.4%，均大於取樣率規範值為 80%。樁號 ST-1 改良土透水係數為  $3.91 \times 10^{-6}$  cm/sec，樁號 ST-2 透水係數為  $5.1 \times 10^{-6}$  cm/sec，均小於透水係數規範值為  $1 \times 10^{-5}$  cm/sec。樁號 ST-1 改良土抗壓強度  $q_u$  在砂土層為 124~491 kgf/cm<sup>2</sup>，在黏土層為 20~21.3 kgf/cm<sup>2</sup>，樁號 ST-2 抗壓強度在砂土層高達 480 kgf/cm<sup>2</sup>，在黏土層為 20.2~29.5 kgf/cm<sup>2</sup>，均大於規範值  $q_u$  在砂土層為 30 kgf/cm<sup>2</sup>，在黏土層為 10 kgf/cm<sup>2</sup>。

## 2. 潛盾機到達鏡面後盾殼背填處理

下行線潛盾機切刃盤魚尾鈹到達抵住連續壁後，施工單位持續自盾尾部附近環片及盾殼四周，向外施作加強背填灌漿及化學灌漿，並進行效果測試。

- (1) 盾尾後方補強背填灌漿：利用盾尾部最後 3 環（即第 1064、1065、1066 環）上方之環片灌漿孔，以及最後 4 環（即第 1063、1064、1065、1066 環）下方之環片灌漿孔，進行盾殼後方補強背填灌漿，以封堵地下水沿盾殼周緣滲流至土艙之水路，背填灌漿施作數量計 2,574 公升。
- (2) 盾殼與地盤改良體間隙背填灌漿：由潛盾機盾身中洞及前洞之預留灌漿孔進行潛盾機盾殼與地盤改良體間隙背填灌漿，共施作背填灌漿 4,372 公升，以及 CW 化學灌漿 17,899 公升。綜合上述(1)、(2)兩項補強措施，合計灌注體積達 24,845 公升。



## 3. 鏡面試水作業

試水作業為自鏡面周圍各方位，以鑽孔機向地盤改良體內斜向鑽孔，測試改良土止水能力，以瞭解改良體是否完整且無滲漏水路。並確認該地盤改良體之自立性及完整性。

91 年 12 月 6 日上午旬施工單位於府中站南側下行隧道到達段，進行改良之地盤第一次試水及灌漿作業（圖 5-11），承商於下行鏡面盾殼外圍部位鑽設 10 個試水孔，注入前出水量如表 5-3 所示，使用 SL 化學灌漿共計 2.4 m<sup>3</sup>，注入後之出水量如表 5-3 所示，仍有部分試水孔（NO.5、6 及 10）有出水的情況。因此於 92 年 1 月 8 日再次於由府中站南側下行隧道到達段地盤改良處，進行第二次試水及灌漿作業，第二次試水注入 SL 化學灌漿量計 2.2 m<sup>3</sup>，試水結果如表 5-4 所示，注入後各孔出水量均為零，驗證止水效果良好無滲水現象後，施工單位隨即進行到達鏡面破除作業。

### 5.3.3 潛盾到達施工步驟

在經過 2 次試水作業確認地盤改良止水成效後，於 92 年 1 月 9 日至 92 年 1 月 18 日，由隧道側進行到達鏡面(連續壁)鑿除作業。連續壁之鑿除，由上往下剝除連續壁之保護層，然後切除連續壁之鋼筋，再由中間向外擴散敲除殘餘之混凝土。鏡面破除之殘渣清理完成後，如圖 5-12 所示，施工單位於 92 年 1 月 20 日進行會勘、確認。隨後即開始進行盾殼內之環片組立，並清運殘留於車站側之殘渣。

## 5.4 意外事故發生之經過

92 年 2 月 1 日(農曆年初一)約下午 4 時 40 分，板橋線府中站站體連續壁與 CD266 標下行潛盾隧道之接頭處，由於地下水壓引發生土砂滲漏入隧道，造成地盤流失情形，導致板橋市東門街二巷附近路面發生局部沉陷，造成緊臨之嘉麗旅館及東門街 26~32 號 5 樓公寓(圖 5-13)，及潛盾隧道環片受損之事故，事故發生塌陷位置及相片如圖 5-14 及圖 5-15 所示。

本次意外事故係發生於府中站南側之車站與隧道之接頭處，事故發生剖面如圖 5-16 所示。事故發生後，為控制連續壁與隧道接頭處之漏水狀況、防止土砂持續漏出，台北市捷運局及施工廠商大陸工程公司採取緊急應變措施，迅速填補已流失之土壤與填充土壤間之空隙，穩固受影響之建築物基礎。至 92 年 2 月 7 日晚間，土砂流失情況獲得控制，監測紀錄顯示鄰近建物已呈現穩定狀態，不再持續沉陷。

## 5.5 事故發生後之緊急處理

事故發生後，搶救工作之各項緊急應變措施區分為兩階段進行，緊急搶救作業之目的與其應變措施說明如下：

### 5.5.1 第一階段應變措施

由 92 年 2 月 1 日至 2 月 3 日屬於第一階段採取之應變措施，本階段目為阻斷地下水及土砂流入隧道之通路，以免造成地盤空洞。施工單位採取之措施係由站體內及地面同時進行止水措施。

#### 1. 站體內緊急應變措施

於站體與隧道接合漏水處進行填縫灌漿，灌漿前於隧道接頭漏水處南、北兩側堆疊砂包及水泥包至隧道頂端，以減緩地下水夾帶土砂繼續流出，此階段堆疊砂包約 18,000 包。砂包堆疊平面位置及剖面圖如圖 5-17 及圖 5-18 所示，圖 5-19 可以清楚看到地下水夾帶土砂自鏡面 11 點方向瀉流而下，流量達 1000 l/min，承商接著在接頭滲水處注入急速固結型化學灌漿材料（圖 5-19），使滲水處縫隙減小。為協助截斷地下水路，施工單位自漏水處上方之上行隧道到達段地盤改良試水孔，進行水平止漏化學灌漿，灌漿後漏水量由原先之 1,000 l/min 減少至 800 l/min。

#### 2. 地面緊急應變措施

承商於隧道漏水處上方地面，現場配置三台灌漿機（1 號、2 號及 4 號灌漿機）進行化學灌漿作業，協助防堵地下水路，抑制地下水湧入隧道中。三台灌漿機位置平面配置圖及剖面圖，分別如圖 5-20 及圖 5-21 所示，此第一階段之搶救措施持續注入化學灌漿總量約 200 m<sup>3</sup>。

### 5.5.2 第二階段應變措施

第一階段應變搶救後，接頭處漏水之情勢並未完全停止，地盤沉陷監測資料顯示，漏水事故發生後地盤仍未趨穩定，另發現隧道環片結構開始產生裂損，且影響範圍可能持續擴大中。為縮小地層損害範圍及遏止建物沉陷繼續發生，施工單位立即進行第二階段之應變措施。本階段應變措施由 2 月 4 日進行至 2 月 10 日，其主要目的為儘速填充地盤中可能的孔隙及充填部份潛盾隧道內部空間。

第二階段應變措施分為五項，以下分別針對：灌漿配置規劃、止水對策、隧道保護措施、建物保護措施、及地層填充灌漿說明如下。

### 1. 灌漿配置規畫

為達到阻絕站體與隧道接頭處持續漏水漏砂之情況，填補已流失之地盤空隙，遏止影響面積擴大，並保護鄰近建物基礎之目的，承商於地面重新配置灌漿孔位，本階段灌漿孔位配置如圖 5-22 所示。依地盤改良功能，區分為下列四個灌漿系列群：

- (1) S 系列灌漿孔：主要用於鏡面漏水處之固結止水灌漿，灌漿孔編號 S1、S2、S3 及 S4。
- (2) A 系列灌漿孔：主要用於地盤改良區之固結止水灌漿，灌漿孔編號 A1~A10。
- (3) B 系列灌漿孔：主要用於隧道周邊及鄰近區域之地盤填充灌漿，灌漿孔編號 B4、B9、B12 及 C5 (取代 B1)。
- (4) C 系列灌漿孔：主要用於路面及建物保護填充灌漿
  - (a) 路面下方之地盤填充灌漿，灌漿孔編號 C1、C2、C3 及 C17 等 4 孔。
  - (b) 附近建築物基礎底盤之填充灌漿，灌漿孔編號 C4~C14 及 C16 等 12 孔。

### 2. 止水對策

防止滲入之地下水沿已完成之下行隧道漫流，故進行以下措施：

- (1) 堆置水泥包及砂包封堵出水：

於府中站隧道出口與環片 1047 至 1035 之間全斷面堆置袋裝水泥包 6,200 包及砂包 20,000 包，將隧道完全封住 (圖 5-23)。另於亞東醫院站北端工作井投入砂包與袋裝水泥，以台車運送至隧道內，在隧道第 1047 環至第 1035 環之間，以 15,000 包砂包及袋裝水泥包 6,800 包交互堆疊，(圖 5-24)，將隧道斷面全部封住，以封堵地下水。隧道兩側砂包及袋裝水泥包堆積情形如圖 5-25 所示。



## (2) 隧道內填充灌漿：

### (a) SL 漿液及水泥砂漿填充灌漿：

於連續壁體開口及環片編號 1047 之間（圖 5-26），以水玻璃加硬化劑組成之 SL 填充液和水泥砂漿進行隧道全斷面填充，以達到完全阻水的目的，並減輕隧道襯砌所承受之荷重。規劃 SL 灌漿孔位置佈設於府中站側鏡面，使漿液沿坡度流向南側填充，並於第 1035 環處水泥包頂端佈設出氣孔及檢查孔，以檢查漿液填充程度。此外在封堵側南端（第 1047 環處）則以亞東醫院站北工作井之背填灌漿設備，輸送背填灌漿液向北側填充。本項作業於 2 月 9 號完成，共注入 SL 灌漿材  $92 \text{ m}^3$ ，水泥砂漿  $159 \text{ m}^3$ ，背填灌漿液  $225 \text{ m}^3$ ，一共合計  $476 \text{ m}^3$ ，與所需填充體積  $585.85 \text{ m}^3$  仍有差距，經判定可能由於凝結收縮等因素而仍有孔隙存在。

為完全填補孔隙以避免持續漏水，後續於 2 月 18 日起至 2 月 22 日，持續以 LW 漿液填充隧道空隙，作業方式如圖 5-27 所示，以逐段完成後再前進方式作業，共計灌漿量為  $111.32 \text{ m}^3$ ，總計隧道內填充灌漿量達  $587.32 \text{ m}^3$ ，已超出原預期之需填充體積（ $585.85 \text{ m}^3$ ），因此預期封堵區內已無漏水空間。

### (b) PU 止水填充灌漿：

為填補府中站連續壁與堆疊砂包間隙，PU 發泡劑管從站體砂包後側向上伸至漏水處進行 PU 填充灌漿，使漿液注入該間隙內，填充材為聚氨基甲酸乙酯(MDI)之 PU 發泡劑，該聚氨脂與水接觸後，在數秒鐘後立即反應發泡，以填補砂包間之孔隙，藉由 PU 發泡填充效果達到止水目的。

本項 PU 止水灌漿作業自 2 月 4~5 日、6 日及 2 月 7 日早上 8 時至晚間 7 時，三階段止水灌注使出水量已降至  $10 \sim 12 \text{ l/min}$ ，共計注入 PU 灌漿材約  $5,130 \text{ kg}$ （每桶  $25 \text{ kg}$ ），PU 發泡劑管佈設位置如圖 5-26 所示。

## 3. 隧道保護措施

### (1) 鏡面地盤改良區固結止水灌漿

圖 5-22 所示，編號 A1~A10 為靠近隧道漏水處之化學灌漿。施工實況如圖 5-28 所示，圖 5-29 顯示化學灌漿之目的為穩固潛盾機上方及周圍土層及抑制隧道接頭處之土砂流失。由於隧道漏水處為潛盾機鋼製盾殼所在，鑄隧道混凝土環片為被鋼製盾殼包覆，環片較不致因化學灌漿壓力影響造成破壞，故在該區規劃較靠近隧道漏水處之化學灌漿。圖 5-29 顯示中央位置化學灌漿深度達隧道上方 1m，兩側化學灌漿距離隧道邊緣僅 0.675 m，以貼近隧道接頭漏水處，充分達成抑止隧道接頭土砂流失及穩固既有隧道結構體之成效。

### (2) 隧道周邊之地盤填充灌漿

圖 5-22 顯示，編號 B1~B16 為隧道週邊之地盤填充灌漿，施工實況如圖 5-30 和圖 5-31 顯示，本項作業之目的在穩固隧道上方及周圍土層，防止因土層變動影響隧道結構體安全，避免因隧道環片崩壞造成另一次之地盤土壤漏失。地盤改良在隧道環片編號 1057~1067 環間約 10 公尺範圍，因該區段之潛盾隧道僅為預鑄混凝土環片結構體，為避免化學灌漿壓力影響既有隧道結構體之安全，又需考量鄰近建物地下基礎結構之穩定。圖 5-31 灌漿剖面顯示 B1~B16 灌漿管之灌漿深度在隧道中央位置達 GL -19 m，距隧道頂拱仍有 0.5D (約 3 m) 之距離化學灌漿於隧道兩側則距離隧道邊緣達 1.45 m。

經過上述第二階段應變措施作業後，2 月 7 日晚間漏水量終於大幅減少，至 2 月 8 日凌晨漏水量約在 10~12 l/min 之間，施作砂包堆疊及各式灌漿已初步達成阻擋漏水及漏砂的目的。

### (3) 沉陷區地盤填充灌漿

圖 5-14 顯示地盤流失在東門街農會大樓與嘉麗旅館間造成局部路面下陷。為防止土砂流失在地下形成局部空洞，施工單位進行地盤填充灌漿，如圖 5-22 之 C1~C3 及 C17 灌漿孔，其功能為以近似等量之化學漿液，填

充已流失之土壤空隙。

在 2 月 4 日至 2 月 6 日間，C1、C3 孔在 GL -14 m 至 GL -5 m 間之松五砂層施灌，再鑽至 GL -29 m 對松三砂土層進行填充灌漿 C17 孔位保持在 GL -32 m 處灌漿。2 月 8 日以後，因漏水量已獲得控制，C2 孔位之灌漿深度在 GL -18 m 至 GL -14 m 間對松五砂土層進行填充灌漿，而 C17 孔位之灌漿深度仍停留在 GL -32 m 處對松三砂土層進行填充灌漿。

#### 4. 建物保護措施

##### (1) 建築物基礎地盤之填充灌漿

意外事故發生後，地盤內之土砂石流失，部分建築物基礎穩定性受到影響，必需加以保護。施工單位依據受影響之鄰近建物特性及相關監測資料，研判為達成穩固基礎所需施灌漿位置、灌漿深度及灌漿量。

如圖 5-22 所示，在第二階段緊急應變措施中，規劃編號 C4~C16 的 12 孔灌漿孔。其中嘉麗旅館及東門街 36 號前之 C4、C6、C7 灌漿孔位，灌漿深度為地表下 5 ~ 32 m，對建物基礎底部之松五層及松三層之砂土層進行填充灌漿，抑制建物持續沉陷。嘉麗旅館東側之 C12、C13、C14 及 C16 灌漿孔位則於地表下 7.5 ~ 18 m 進行淺層填充灌漿。為避免灌漿壓力傷害房屋結構且能快速填充地盤空隙，故在灌漿管理上採壓力控制，定量提昇灌漿。

在漏水量直逐步受到控制後，從 2 月 8 日至 2 月 10 日間展開第二波的建物保護灌漿，施作之對象為嘉麗旅館前之 C4、C5、C6、C10 及 C11，再增加 C18(東門街 2 巷 10 號前)及 C19(東門街 32 及 34 號間)兩孔孔位，進行地表下 18 m 至 5 m 之灌漿，以穩固鄰近建物基礎。

##### (2) 施作微型樁

圖 5-32 顯示東門街 2 巷 8 弄內，為保護 2 巷 8 弄 1、3、5、7、9、11、13、15 號等公寓之獨立基腳，承商於 8 巷內沿建物前方，施作單排共 47 支之微型樁，樁徑為 0.15 m，樁長 19 m，其目的為阻絕地層變動影響範圍，避

免沉陷區擴大至建物下方，因此使建物基礎受到保護。微型樁施作實況如圖 5-33 所示。

## 5.6 鄰近建物受損情形

地層之土砂流失造成地面不均勻沉陷，致部份鄰房(嘉麗旅館及東門街 32~36 號公寓)傾斜，雖經專業技師現場觀察研判後認為建築物結構無立即危險，惟為顧及住戶安全考量，捷運局仍於 92 年 2 月 1 日至 2 月 13 日期間疏散前述建物之住戶總計 132 名，並安排住進鄰近旅店，以確保居民安全無虞。災區周邊增派保全人員，協助板橋分局員警進行人、車出入管制，確保住戶之財產安全。

臺北縣政府採技師公會建議，規劃受影響建物之警戒區及疏散區如圖 5-34 所示。工區周圍建物除前項建物外，尚包括興建中之川普建設大樓、使用中之農會大樓與南門大樓，該三棟大樓因有採用深基礎及連續壁保護，故均未受本次事故影響。



## 5.7 災變事故探討

### 5.7.1 地質狀況探討

台北市政府捷運局中區工程處(2003)依據地質鑽探研判，該隧道通過之地層在盆地沉積的過程中，夾雜上游沖積而下之流木沉積，松山層第四次層及第三次層皆有發現腐木，於松五次層亦發現有腐木。不同施工階段工程進行其間，亦發現有發現腐木如圖 5-35 所示。於府中站站體開挖間，亦有挖到整棵流木之紀錄。

流木在沖積層沉積過程中夾雜於砂土層或黏土層之中，於臺北盆地中多處存在。流木因其形狀不規則、孔洞多，且屬於柔性物質，當施作高壓噴射灌漿時，若遇流木噴射漿液無法攪碎或貫穿流木，僅能沿其周圍孔隙滲透，因此改良土可能存在孔洞及弱面。施工擾動使改良土壤之弱面連通造成在水路連通後產生漏水

現象。

### 5.7.2 地盤改良檢討

板橋線 CD266 標府中站下行潛盾隧道到達段地盤改良，採用 JSG 工法進行地盤改良，設計改良樁徑為 1.6 m。為探討地盤改良可能之發生之缺失，本研究首先針對 JSG 改良區域進行檢核，根據日本 JSG 協會（1986）之規範（圖 5-36），以 CD266 標潛盾隧道直徑 6.24 m，將 CD266 標地盤改良區域相關數據整理如表 5-5，比較日本 JSG 協會結果顯示，發現 CD266 標之 JSG 改良區域設計皆符合規範要求。

接著對 JSG 改良樁徑之進行檢核，CD266 標潛盾隧道下半部位在黏性土層 (CL) 內，SPT 之 N 值介於 9~11 之間，根據日本 JSG 協會（1986）之規範以及日本 JJGA 協會（1988）之規範（圖 5-37 及圖 5-38），本研究發現不論根據 JSG 協會建議之改良樁徑(黏性土層)，或是根據 JJGA 協會建議之改良樁徑(黏性土層)，皆發現 CD266 標之地盤改良設計樁徑可能不足。

CD266 標之地盤改良設計，不論隧道上部砂土層或是下部黏土層，一律使用改良樁徑 1.6 m 作為佈設 JSG 範圍之依據，但是 SPT 之阻抗 N 值越大，表示黏土強度越高，高壓噴射灌漿所能形成之樁徑也就越小，如果預期的 JSG 樁徑為 1.6 m，而實際樁徑只有 1.4 m，或是更小，則改良樁之間的隙縫使得改良效果大幅下降，鏡面滲水之風險也隨之提高，如圖 5-39 所示。

### 5.7.3 意外事故發生之可能原因

台北市政府捷運局中區工程處（2003）指出，本意外事故之複雜程度超過以往之經驗，事故發生之可能原因經探討後，認為與地盤改良體因內部弱帶形成之成因頗具關聯，在地下水壓作用下進而造成水路之串接與連通後，即產生突發性之滲漏水現象。自鏡面鑿除至本潛盾隧道與站體連續壁銜接處漏水事故之發生過程，其時間甚長（13 天），經評估可能係地盤改良體內部隨時間逐漸形成弱帶，

造成突發漏水。

事故發生可能之原因綜整，如下所述：

1. 隧道鏡面處地盤改良體可能因噴射灌漿改良樁之成形效果不佳，導致改良體內隱藏水路而發生漏水。
2. 隧道鏡面處地盤改良體因潛盾機掘削之震動而可能產生裂紋，致使改良體產生水路而發生漏水。
3. 到達端已完成之改良體可能因車站開挖致使連續壁變位，由於壁體及改良體之勁度差異大，使得兩者界面間產生裂隙，形成較易滲漏之水路。
4. 到達端連續壁敲除過程之震動，可能造成改良體之本體與連續壁間之裂隙，進而產生滲漏水之路徑。
5. 可能在地盤改良體內之流木形成弱帶，而該弱帶之改良體強度及止水性皆可能較差，當承受較大之滲流水壓，較易隨著時間與外力變化漸次形成滲流水路，終致連通後產生較顯著之滲漏現象。

意外事故之發生，通常並不是只有一個單純的因素所造成，可能是數個因素所累積而成。前述所探討原因有可能為事故發生原因之潛在誘發因子，而發生事故原因則為其中之一項或為多項可能原因疊加或為其他未知因素所造成。

## 5.8 下行隧道之復舊工作

板橋線 CD266 標潛盾隧道下行線與府中站 (BL01) 南端接頭處，因故發生滲水事件導致路面及周邊建物下陷、隧道內部環片多處變形受損。為避免災情擴大，施工單位於事故發生後，以砂包封閉滲水區，以灌漿工法穩定地盤，並以砂漿、水泥漿及 SL 等漿液等回填隧道內部，經搶救後地盤已呈現穩定狀態。在考量各種復舊工法之安全性、施工之可行性、及施工可能之影響層面後，施工單位將下行線隧道復舊計劃分成兩階段執行，其流程如圖 5-40 所示：

### 5.8.1 第一階段隧道洞口復原施工

本階段施工目的為穩定並加強連續壁與隧道洞口處之地盤狀況、填塞滲漏孔隙及確保環片更換前之施工安全，施工期間為 92 年 3 月至 9 月，主要包含下列三項作業。

- (1) 凍結隧道洞口部。
- (2) 清除站體內堆疊之砂包。
- (3) 澆置隧道洞口處第一階段場鑄混凝土。



#### 1. 凍結隧道洞口處

CD266 標採用地盤凍結工法來穩定及加強隧道洞口處之地盤及封堵隧道之洞口滲水破壞部分。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的影響。凍土壁具有完整的止水性及能和其他結構體緊密結合等優點，可防止施工時由潛盾機與連續壁之間隙處發生漏水現象，並可達到強度的要求。本次凍結工法所採用之地盤冷卻方法為冷凍液 (Brine) 凍結方式。

板橋線 CD266 標凍結工法之施工方式，為自地表向下鑽孔設置垂直冷凍管列。為了達成隧道洞口處之全斷面止水功用，除在隧道側方及上部設置垂直冷凍管外，部分垂直冷凍管必須貫穿鋼質潛盾機殼及預鑄 R.C. 環片施工。垂直冷凍管

之配置如圖 5-41 所示。施工單位在距離連續壁水平距離 0.6 m 處，配置第一列冷凍管列，在隧道上方處，以 0.76 m 為冷凍管之水平間距，隧道側方之冷凍管水平間距為 0.8 m。第二、第三、第四列凍結管列則分別距離連續壁 1.4 m、2.2 m、3.0 m 處，自潛盾隧道中心軸線算起水平距離 1.14 m 處設置 2 列貫穿冷凍管，貫穿潛盾機盾殼及環片至盾殼下部土壤，造成隧道洞口全斷面凍結。

凍土範圍之剖面圖如圖 5-42 所示，凍土改良之深度約介於地下 17.86 m ~ 30.1 m 處，約介於松三層至松五層之間。本階段地盤改良共配置 43 支冷凍管（包含 8 支貫穿冷凍管）；測溫管 8 支（包含 1 支貫穿測溫管），詳細之施工數量如表 5-6 所示。

CD266 標復舊工程凍結工法垂直凍結管之施工順序如圖 5-43 所示：

- (1) 削孔 - 利用直徑 185 mm 之導管，以鑽機經由水洗施作方式進行鑽孔至預定深度。
- (2) 插入外管 - 將凍結用直徑 116 mm 之外管，利用吊車放入鑽孔導管內。
- (3) 拔出導管 - 利用吊車將導管拔出。
- (4) 傾斜測定 - 將傾斜儀放入冷凍管外管內測定傾斜程度（圖 5-44）。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，以避免因相鄰 2 支垂直凍結管垂直方向偏移過大，造成凍結區無法閉合的現象。
- (5) 外管漏測試驗 - 在凍結管內注入  $7 \text{ kgf/cm}^2$  的壓縮空氣，用壓力表測定凍結管有無漏氣現象，外露的管線則以塗抹肥皂水方式測試漏氣。
- (6) 限定部（非凍結部）施作-因本次地盤改良約介於地下 17.9 ~ 30.1 m 處，於上行隧道不需凍結之區域，在外管內部放入直徑 50.8 mm 之限定管（隔熱材），以隔絕低溫不凍液及防止土壤凍結。
- (7) 插入內管 - 利用吊車將直徑 25.4 mm 冷凍內管放入外管中。
- (8) 頭部加工 - 焊接冷凍內外管及施作冷凍管線冷凍液之出入口。



在完成鑽孔及冷凍管之埋設後，進行冷凍管之配管作業及保溫材之包覆作業（圖 5-45），並將測溫端子放入測溫管內（圖 5-46），即完成冷凍管之設置作業。

冷凍工法之施工設備配置如圖 5-47 所示，在冷凍機室的冷凍機將冷凍液冷卻後，經由冷凍液循環泵浦將冷凍液送到冷凍管中（圖 5-48），吸收土層中的熱能，再將已吸收熱能的冷凍液經由冷凍液循環泵浦送回冷凍機中冷卻，如此反覆循環將土層內之熱能帶出，直到土層完全被凍結為止。圖 5-47 中，冷卻水塔負責冷凍機之冷卻工作，計測室則負責凍土溫度及冷凍機之流量、液位、壓力、電流之管理。

經過低溫（ $-25^{\circ}\text{C}$ ）不凍液循環流動 55 天後，土層凍結完成（6 月 10 日至 8 月 4 日），此階段之凍土量約為  $450\text{ m}^3$ 。詳細之凍土施工結果將在 5.9 節介紹。

## 2. 清除站體內堆疊之砂包

凍土造成後，施工人員進行連續壁與潛盾機殼接頭上部漏水量之確認。在確認無漏水情形後，清除府中站洞口處 11 點鐘位置之砂包（如圖 5-49），以人力並配合挖土機及破碎機輔助砂包之撤除工作（如圖 5-50），逐步將隧道洞口砂包清除完畢。隧道洞口砂包清除後，貫穿隧道環片及盾殼之冷凍管將暴露於空氣中，為避免冷凍管溫度上升，降低凍結效果，冷凍管需包覆隔熱材（圖 5-50）。

圖 5-51 為砂包撤除時注入填充材之分佈情形，圖中黃褐色為 SL（矽膠系藥液）注入材，白色的為 PU（聚氨基甲酸乙酯）發泡劑注入材。

## 3. 澆置隧道洞口處第一階段場鑄混凝土

如圖 5-52 所示，隧道洞口之砂包被清除後，施工單位進行隧道洞口柔性接頭處設置及第一階段混凝土之澆置作業。因澆置面位於連續壁與凍土之間，施工前需先行量測混凝土澆置面之溫度，以確認混凝土澆置後之養生溫度能夠維持在  $5^{\circ}\text{C}$  以上（低於  $5^{\circ}\text{C}$  對混凝土之強度會有不良之影響）。施工單位於 8 月 23 日進行混凝土澆置面溫度之量測，如表 5-7 所示，澆置面溫度皆在  $5^{\circ}\text{C}$  以上，在凍土

及連續壁接觸面周圍處，可不必設置供熱保溫材提供養生溫度。第一階段場鑄混凝土澆置作業，施工順序說明如下（圖 5-52）：

(1) 組立環形鋼筋

於隧道內部組立環形鋼筋，並在混凝土襯砌末端處（靠近內牆側）安裝螺栓。

(2) 組立圓形鋼模

在環形鋼筋組立完成後，於外側安裝灌漿用鋼模（圖 5-53）。施工單位並在第一階段混凝土澆置之終點處安裝封頭用擴張網及止水材。

(3) 澆置混凝土

利用鋼模所預設之灌漿孔，將混凝土均勻灌入。本階段混凝土澆置長度約 1730 mm。

(4) 拆除鋼模

混凝土養生完成後，將鋼模拆除。



### 5.8.2 第二階段隧道內部復原施工

本階段施工目的為隧道內部之止水、隧道內部填充物之移除，及更換受損之環片，施工期間為 92 年 6 月至 12 月，主要作業包含下列六項：

- (1) SJM 工法地盤改良。
- (2) 隧道內部壓氣。
- (3) 清除隧道內部填充物。
- (4) 更換隧道內部損壞環片。
- (5) 隧道洞口處垂直凍結部之解凍作業。
- (6) 澆置隧道洞口處第二階段場鑄混凝土。

## 1. SJM 工法地盤改良

隧道周圍之地盤在發生漏水事故及後續之緊急應變措施時已受擾動，且於進行隧道內部填充物開挖及環片更換時須防止土砂及水流入隧道內，經捷運局與專業顧問及承包商研討評估後，決定自地面施作SJM噴射灌漿工法改良地盤，於隧道內部以壓氣工法輔助隧道內部填充材料之清除及環片更換作業。目前國內所常用之噴射灌漿工法為JSG及CJG等工法，對於本復舊工程範圍之地質狀況，可形成之最大改良土直徑分別為 1.6 m 及 1.8 m。由於本復舊工程所需改良之範圍較大（約 268 m<sup>2</sup>），若使用傳統之灌漿工法，施工時鑽孔數量將相對增加。

為解決此問題，施工單位由日本引進 SJM 噴射灌漿地盤改良工法，此工法特色為能形成大直徑（2.4 ~ 3.5 m）之地盤改良樁體，可減少鑽孔施工數量，縮短工期，對於地下管線複雜之施工區域，相較於其他高壓噴射灌漿工法，易於確保樁位之配置及施工品質，故採用 SJM 噴射灌漿工法做為本階段復舊工程地盤改良之方法。SJM 工法之施工過程及改良結果將於第六章詳細介紹。



## 2. 隧道內部壓氣

為了修復及更換受損的環片，必須清理堆積在隧道內部的砂包及緊急搶救時灌注隧道內之各種填充材。由於本區地質系屬於沈積之松山層，夾雜甚多流木，隱含難以預見之弱面，施工單位憂慮再度發生漏水事件。因此為了加強施工時之止水效果，並提高地層之穩定性，施工單位採用壓氣工法作為襯砌環片更換時之輔助工法。

壓氣工法之工作範圍以府中車站南側內牆隧道口至下行線隧道第975環間之區域，做為壓氣作業室（長度約為 104.2m），如圖 5-54 所示。在府中車站南側內牆隧道口設置閉塞型（不設出入口）直徑5.6 m 之 NO.1 鋼製隔艙壁（圖 5-55 及圖 5-56）。在下行線隧道第 975 環處設置開放型（有出入口）直徑5.6 m 之 NO.2 鋼製隔艙壁（圖 5-57 及圖 5-58），另於後方第 974 環 ~ 962 環處之下部設置材料氣閘室（2.8 m × 12 m）供材料搬運使用，上部設置人員氣閘室（1.7 m × 6 m）

供人員之進出使用。

圖 5-54 為壓氣設備之配置圖，利用主空壓機（WN112 型，150KW，吐出壓力  $3.5 \text{ kgf/cm}^2$ ）將空氣壓縮至  $0.6 \sim 1.99 \text{ kgf/cm}^2$  後，送至空氣冷卻器（因空氣受壓後溫度將會上升）冷卻至適當的溫度，經過空氣儲存槽後，由空氣過濾器將壓縮空氣中之水分與油分排除，再經由送氣管將壓縮空氣送至減壓裝置調整空氣之壓力後，送入氣閘室及壓氣室，完成壓氣之輸送。

### 3. 清除隧道內部填充物

施工單位於 SJM 地盤改良作業完成後，進行隧道內部填充物清除作業。清運方法係採用挖土機配合人力清除填充物（圖 5-59），及軌道台車之搬運方式。清除砂包填充物共計  $1040 \text{ m}^3$ 。在清除過程中，施工人員觀察有無環片漏水的情形，若漏水之情況影響隧道內部作業時，則隧道內部自  $0.6 \text{ kgf/cm}^2$  開始加壓，並依漏水之情形以  $0.2 \text{ kgf/cm}^2$  為間隔進行增壓。

施工單位指出，因本次 SJM 地盤改良施工及地盤冷凍工法效果良好，隧道內部沒有發生漏水之情形，因此在隧道填充物清除及後續環片更換之過程中並未使用壓氣工法。

### 4. 更換損壞環片

在隧道內部填充物清除完成後，施工單位進行隧道內之斷面及線形測量，做為後續更換環片之依據。測得之環片之偏移量及環片受損位置如圖 5-60 所示，在環片多處發現裂紋及段差（圖 5-61）。為顧及隧道內部長期之穩定性及安全性，施工單位決定全面更換受損環片。從 1052 環 ~ 1072 環處，預計有 21 環需更換。

但在實際施作環片更換至 1067 環時，施工人員發現潛盾機之盾殼因漏水事故已產生變形（圖 5-62），在右下、左上方向之淨空不足，預鑄環片無法組立，施工單位原擬切除右下及左上之變形盾殼，以利於 1067 環之更換作業。但自 1068 環起，因盾殼變形而造成之淨空不足部分不宜再切除，因此採用場鑄混凝土

增加配筋量及提高混凝土強度方式代替新環片之組立。

環片之更換基本上以環片組裝機進行（圖 5-63）。在進行環片拆除前，如圖 5-64 所示，需先預留環片之拆除空間，部分環片需先使用鑽孔機鑽孔後，再利用破碎機打除，空出空間以利於環片組裝機之拆除作業。圖 5-65 為環片移除後環片外側 SJM 地盤改良之情況。

在拆除環片時，若開放面土體發生滲漏土砂之現象時，緊急處理步驟如下：

- (1) 先以快乾水泥封堵，儘速完成環片組立及背填灌漿。
- (2) 當滲入之土砂無法以快乾水泥封堵時，則需將壓氣室之壓力升高，並同時以快乾水泥封堵後，儘速完成組立及背填灌漿，再適時將壓力調整至原來壓力繼續作業。

#### 5. 隧道洞口凍結部之解凍作業

在進行 1071 環及 1072 環之拆除作業時，由於隧道洞口附近尚有第一階段復舊工程之冷凍工法（圖 5-41）所使用貫穿環片及潛盾機殼之凍結管及測溫管（共計 9 支）存在，因此無法拆除損壞環片並組立新環片。因此必須將貫穿冷凍管及測溫管拆除，拆除之順序說明如下。

- (1) 貫穿環片及盾殼之凍結管停止冷凍液循環。
- (2) 將凍結內管提升至潛盾機盾殼頂部以上。
- (3) 隧道內部之外管切除，切除後之外管開口以鋼板焊接密合（圖 5-66）。

由於潛盾機下部凍土尚在凍結狀態，故於切除時不會從原有凍結管之空洞處產生漏水現象，但須即時將潛盾機盾殼之孔洞以砂回填，並將孔洞以鋼板焊接密封（圖 5-67）。

拆除隧道內之凍結管並完成封口作業後，即停止下行隧道之凍結作業，將隧道兩側凍結管提升至上行線隧道下方 3 m 處，供上行線隧道到達時之洞口凍結使用。貫穿機殼之凍結管，由於外管下部已遭切除，故必須先行拔除外管，另行置入新外管，才可進行上行隧道凍結作業。在所有凍結管移除後，下行隧道周圍凍

土則開始自然解凍。因凍土是在潛盾隧道到達部 JSG 地盤改良區內造成，JSG 改良土之強度及勁度俱佳，故凍土解凍時並未發生隧道下陷之情形。

## 6. 澆置隧道洞口處第二階段場鑄混凝土

在第二階段復舊工程損壞環片更換完成後，由於環片更換至 1067 環，距離第一階段混凝土之邊緣尚有約 5870 mm 之間隙，必須澆置場鑄混凝土以填補間隙（圖 5-68）。施工單位於第 1067 環與第一階段場鑄混凝土之間組立鋼筋，接著組立鋼模及澆置混凝土，待養生完成後將鋼模拆除，即完成第二階段襯砌施作。由於第一階段與第二階段澆置混凝土間存在施工介面，在混凝土澆置前，擴張網兩側需先行設置止水條，以增進混凝土界面之止水功能。

## 5.9 冷凍工法溫度監測結果

為了瞭解下行隧道洞口處垂直凍結管所造成之凍土成長狀況及溫度分佈情況，如圖 5-41 所示，施工單位於隧道上方及周圍處共設置 8 支測溫管。另外於府中站隧道洞口處，因考慮到凍土成長時，熱源可能從站體內牆及連續壁處滲入，影響凍土之成長狀況，如圖 5-69 所示，施工單位由站體內側利用鑽機貫穿堆疊砂包進行鑽孔（No.1 至 No.4 共 4 處）後，設置 4 支水平測溫管，量測隧道內牆溫度變化做為施工參考。

施工單位對凍土造成之判斷標準需符合下列兩項條件：(1) 垂直測溫管所測得之溫度都為  $0^{\circ}\text{C}$  以下；(2) 各支垂直測溫管測得凍土之平均溫度為  $-10^{\circ}\text{C}$  以下。同時達成上述兩項標準時，即視為完成凍土造成作業。下行隧道到達部地盤於 92 年 6 月 10 日開始進行垂直冷凍，以  $-25^{\circ}\text{C}$  之不凍液進行土層之凍結作業，同時監測垂直及水平測溫管之溫度。以下介紹各測溫管之監測結果。

### 1. 垂直測溫管監測結果

圖 5-70 至圖 5-72 為測溫管位置及凍土斷面圖，施工單位將監測斷面分成隧道上緣處、隧道中心處、及隧道下緣處三種不同的高程來觀察凍土之斷面及溫度之分佈情況。以下分別說明 92 年 8 月 4 日，各斷面溫度監測之結果。

(a) 隧道上緣斷面：

本斷面位於下行隧道上緣位置，相當於地表下 20.88 m 處。圖 5-70 為施工單位利用測溫結果所推測出之凍土斷面，與設計厚度相比較後，發現大部分能符合設計厚度之要求，表示本斷面凍土成長狀況良好。

根據 C、E、F、B 測溫管監測結果顯示（圖 5-73），各測溫管所測得之溫度皆為 0°C 以下。本斷面凍土平均溫度之計算方式，可參考圖 5-74 及下列公式：

$$\theta_{fa} = \frac{\frac{1}{2} \times (\theta_f + \theta_c) \times a + \frac{1}{2} \times (\theta_c + \theta_d) \times b \times 2 + \frac{1}{2} \times (\theta_c + \theta_f) \times c}{a + 2 \times b + c} \quad (5-1)$$

其中：

$\theta_c$ ：管列平均溫度

$\theta_d$ ：測溫管溫度

$\theta_f$ ：冰點溫度

$\theta_{fa}$ ：凍土之平均溫度

依據 5-1 式可計算出本斷面之凍土平均溫度為 -22.2°C。

由上述結果可知，本斷面符合施工單位凍土造成之判斷條件（1）各支測溫管所計測得之溫度均為 0°C 以下；（2）凍土之平均溫度為 -22.2°C，表示隧道上緣斷面已完成凍土作業。

(b) 隧道中心斷面：

本斷面位於隧道中心位置，相當於地表下 24.5 m 處。依據圖 5-71 及圖 5-75，凍土之測溫管測溫結果（各支測溫管測得溫度皆為 0°C 以下，凍土平均溫度為 -18.5°C），皆符合施工單位凍土造成之判斷條件，表示隧道中心斷面已完成凍土造成作業。

(c) 隧道下緣斷面：

本斷面位於隧道下緣位置，相當於地表下 28.0 m 處。依據圖 5-72 及圖 5-76，發現實際凍土之測溫管結果（各支測溫管測得溫度皆為 0°C 以下，凍土平均溫度為 -19.9°C），表示隧道下緣斷面已完成凍土造成作業。

## 2. 水平測溫管監測結果

施工單位於 8 月 2 日至 8 月 5 日進行府中站站體內牆水平測溫管監測，由表 5-8 可知府中站洞口隧道斷面內牆之平均溫度由 16.4°C 下降至 14.3°C。施工單位利用 8 月 5 日所測得內牆表面之平均溫度推估出內牆與連續壁界面及連續壁與凍土界面之溫度（圖 5-77），由推估之連續壁與凍土界面溫度（-5.1°C）可知，隧道洞口處已完成凍土造成作業。施工單位並指出，進行水平測溫管鑽孔作業時，於鑽孔位置並無發現任何滲狀況，表示土壤凍結狀況良好。

依據 CD266 標冷凍工法各項監測結果，綜合整理重要結論如下：

1. 垂直凍結管各監測斷面結果顯示，凍結土層經過低溫（-25°C）不凍液循環流動 55 天後凍結完成（6 月 10 日至 8 月 4 日），此階段之凍土量約為 450 m<sup>3</sup>。
  2. 依據水平測溫管之監測數值所推估出連續壁與凍土界面之溫度約為 -5.1°C，符合凍土施工單位判斷凍土造成條件（各測溫管所測得之溫度皆為 0°C 以下）。
- 由以上溫度監測結果可知，下行隧道洞口處凍土已造成完畢，且呈現穩定狀態。

## 5.10 隧道與站體之柔性接頭施作

板橋線 CD266 標府中站站體潛盾隧道接頭之設置採用柔性接頭之方式。范陳伯與趙際禮（1997）說明，由於潛盾隧道和通風豎井具有不同之結構行為，當潛盾隧道和通風豎井受地震力作用時，因兩者的震動週期不一致，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東井（或車站站體）連續壁內牆處。

柔性接頭在設計時所需考量之因素包含以下四項。

1. 接頭可伸縮且不傳力。
2. 接頭可承受縱向及橫向差異變位，且不致斷裂。
3. 可容許潛盾機鑽掘到達時，盾殼位置之些微偏差。
4. 具有良好的防滲漏機制。

國內捷運工程一般所採用之柔性接頭設計（圖 5-78 至圖 5-80），以  $\Omega$  型橡膠止水條連接結構體兩端之預埋組合鋼構件，並以伸縮蓋板確保接頭處之位移變形。此外於兩相鄰結構體內各設置一道延遲型水膨脹橡膠止水條，可藉由延遲膨脹之特性，避免因澆置混凝土未初凝前，因水膨脹止水帶接觸地下水或拌合水而膨脹，造成混凝土細微裂縫，使水的滲漏路線經由此處裂縫而滲漏。延遲型水膨脹橡膠止水條係由兩種橡膠組成，外部為水膨脹性橡膠止水條材料，內部為氯丁合成橡膠，故可控制膨脹變形方向，達到預期之止水效果。

一般隧道接頭處理之施作時機為潛盾隧道抵達到達井棄殼解體或破鏡出站後隨即施作；而出發井之施作時機則於仰拱澆置後施作接頭之處理。但因府中站下行線隧道抵達到達井後，接頭處發生漏水事故，致使府中站南端隧道與隧道接頭需配合事故復舊之環片更換計畫，將下行隧道之接頭襯砌分為兩階段澆置施工。

板橋線 CD266 標潛盾隧道下行線潛盾隧道接頭之施作順序，說明如下：

#### 1. 柔性接頭鋼構組立

在下行隧道凍土造成後將洞口處砂包移除，並將盾殼與連續壁間之擋土鋼板重新設置後，將柔性接頭鋼構組立於內牆側（圖 5-78）。

#### 2. PE 發泡材安裝

於連續壁內緣與場鑄混凝土襯砌間填入具有收縮及延展性之 PE 發泡材填入（圖 5-78 及圖 5-79）。

### 3. 第一階段襯砌施作

如圖 5-68 所示，在隧道內側組立環形鋼筋及灌漿用鋼模後，進行混凝土之澆置作業，本階段混凝土澆置長度約 1730 mm。

### 4. 襯砌側固定翼版安裝

如圖 5-79 所示，在混凝土襯砌末端處（靠近內牆側），黏貼膨脹性橡膠止水條後，將固定翼版以螺栓安裝於襯砌末端。

### 5. 端牆側固定翼版安裝

如圖 5-79 及圖 5-80 所示，將端牆側之固定翼版焊接於端牆之鋼版上。

### 6. 第二階段襯砌施作

如圖 5-68 所示，在第 1067 環與第一階段預鑄混凝土之間組立鋼筋，並於場鑄混凝土末端與環片間（1067 環）安裝固定螺栓（圖 5-68），接著組立鋼模及澆置混凝土，待養生完成後將鋼模拆除，即完成第二階段襯砌施作（澆置長度約 5870 mm）。

### 7. 橡膠止水條安裝

如圖 5-79 及圖 5-80 所示，將  $\Omega$  型橡膠止水條，由隧道頂端向兩側安裝，以壓接鋼板固定之，連接結構體兩端之頭柔性接頭鋼構件，最後將蓋版單邊焊接於固定翼板上。

隧道洞口處柔性接頭施工完成後，將使隧道站體（內牆及連續壁）與潛盾隧道形成兩獨立之個體，兩個體間以具收縮及延展性之  $\Omega$  型橡膠止水條加以連接，柔性接頭可提供地震時兩個體間之緩衝空間，減少因差異位移所造成之損害。

施工單位在完成隧道內部第二階段場鑄混凝土澆置作業及柔性接頭設置後，台北捷運府中站 CD266 標下行隧道整體復原工程遂宣告完成。本復舊工程自 92 年 2 月開始至 92 年 12 月下旬完成，共計歷時 10 個月。先後完成隧道洞口

處垂直凍結工法、站體內堆疊砂包之清除、隧道洞口第一階段場鑄混凝土澆置作業、SJM 噴射灌漿工法地盤改良、隧道內部壓氣工法、隧道內部填充物清除、損壞環片之更換作業、隧道洞口垂直凍結部之解凍作業、及隧道內部第二階段場鑄混凝土澆置作業等復舊工程。

在下行隧道復舊工程完成後，因漏水事件停於第 475 環處之上行隧道潛盾機也於民國 92 年 12 月下旬開始恢復隧道掘進作業。但因上行隧道之掘進路線在進行復舊工程時已施作 SJM 灌漿地盤改良，上行隧道潛盾機於掘進時，遭遇高強度之地盤改良區域，使潛盾機推進速度十分緩慢，曾有一天掘進不到一環之經驗，增加了上行隧道之工期及掘進困難性。上行隧道復工後歷時約 3 個半月，於 93 年 3 月初完成上行隧道與府中站體之貫通作業。

### 5.11 復舊工程施工檢討

依據板橋線 CD266 標隧道接頭漏水意外事之復舊工程案例，本研究歸納出進行復舊工程時之各種注意事項，作為日後潛盾隧道災後復舊工程之參考。

1. 由 CD266 標復舊結果顯示，凍結工法可以將非均質的地盤凍結成一道連續的凍土壁，凍土壁具有完整的止水性及能和其他結構體緊密結合等優點。但因凍結工法之施工價位過高（約 30 萬元/m<sup>3</sup>），及凍土造成時間較長（若採用鹽水方式，450 m<sup>3</sup>凍土造成時間約為 55 天），為此工法之缺點。
2. CD266 標復舊工程之 SJM 地盤改良結果顯示，因 SJM 工法造成之改良體樁徑大（2.4 ~ 3.5 m），對於改良範圍較大之施工區域，可減少改良樁施作數量和縮短工期。配合改良樁徑之測音作業，能確保改良體之樁徑，有效增加施工品質。但採用 SJM 工法時也需注意因土壤之高置換率可能造成之地盤沈陷。

3. 由後續上行隧道之施工過程顯示，因上行隧道之掘進路線在進行復舊工程時已施作 SJM 灌漿地盤改良，上行潛盾機於掘進時，遭遇高強度之地盤改良區域，使潛盾機施工速度十分緩慢，為採用 SJM 地盤改良較不利之因素。

