

捷運潛盾隧道因鄰近工程施工受損案例探討

常岐德 孫介文
台北市政府捷運工程局

黃南輝 段紹緯
亞新工程顧問股份有限公司

摘要

台北捷運板橋線其中一段潛盾隧道，自隧道結構體完成後，有兩個深開挖工程先後在其附近施工，後來發生隧道內仰拱混凝土與環片分離，以及隧道頂部環片出現裂紋之情形。

本文依據各項監測儀器量測結果，評估相關施工活動對隧道的影響，並探討隧道受損事件發生的原因。評估結果顯示，造成隧道受損的主因為南側工地開挖引致地盤擾動所造成。文中對鄰近開挖造成地盤擾動的延伸範圍及位移遲滯反應的現象，有進一步的說明，並對類似工程監測儀器之選擇、配置和管控，提出回饋建議，期供深開挖工程對既有潛盾隧道保護的參考。

關鍵字：潛盾隧道、安全監測、深開挖。

一、前言

台北捷運板橋線之一段潛盾隧道，自 1995 年 11 月完成掘進作業後，有兩個深開挖工程分別在距其南側約 12m 和西側進行，如圖一所示。兩項工程開挖深度皆超過 20m，開挖期間為保護隧道結構的安全，於隧道內、外佈設多項監測儀器，並定期加以觀測。唯於 1998 年 7 月中旬，隧道內變位觀測點及裂縫計觀測值突然發生明顯的變化，並發現隧道內仰拱混凝土與環片有分離現象，以及隧道頂部環片出現裂紋情形。

本文依據蒐集之深開挖工程相關施工資料，檢討各項監測儀器量測結果，並探討受損事件發生的原因及提出建議，期能將此經驗提供深開挖工程對既有潛盾隧道保護的參考。

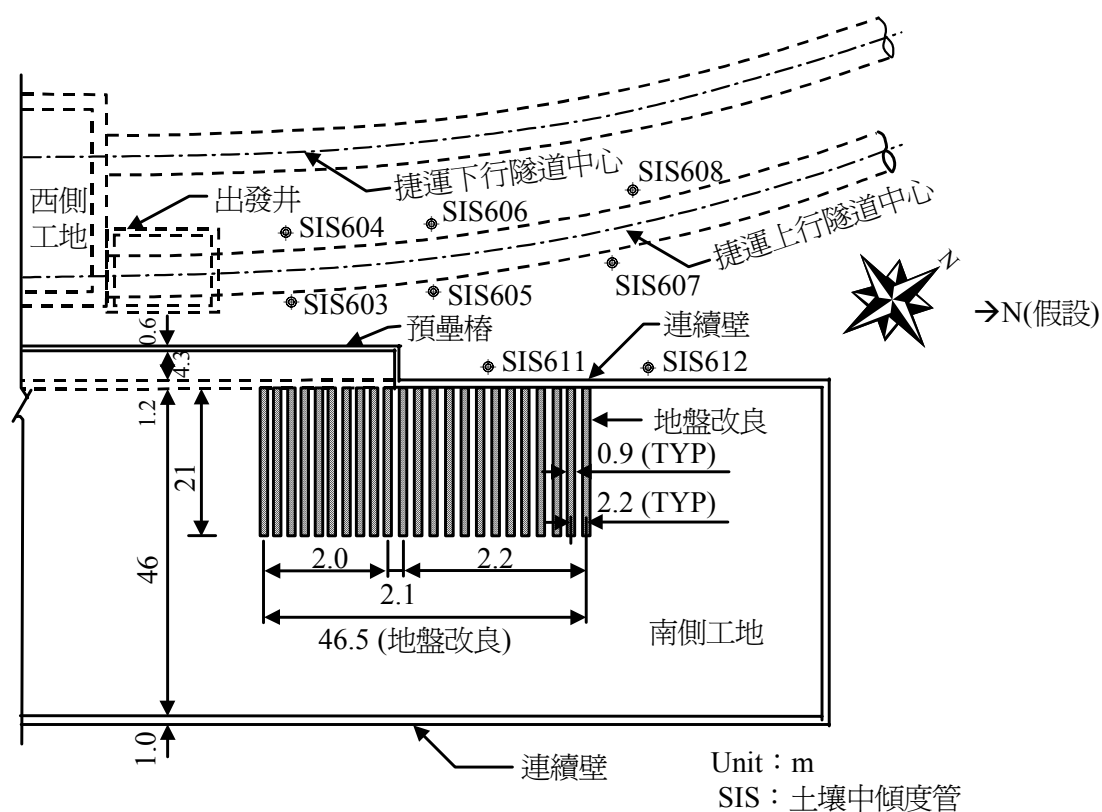
二、基地土層概況

板橋線沿線地層係由大漢溪與新店溪沖積而成，與工程施工有關之地層為松山層和其下方之景美層。松山層的組成是由粘性土層與砂性土層交

互沉積而成，典型的松山層可分成六個次層，由上而下，第六、四、二次層為粘性土層，第五、三、一次層則為砂性土層。松山層下方之景美層則是以卵礫石層為主，亦稱為景美礫石層。

根據地質調查結果，潛盾隧道受鄰近工程施工影響路段之土層分布及土壤性質請參見圖二所示，景美礫石層深度約位於地表下 47m。本段潛盾隧道位於松山層第四次層中，第四次層分布在地表下深度 9m 至 21m 間，於深度 5m 至 18m 間夾有粉土質細砂層，而潛盾隧道中心線深度約為 17m。

由於台北盆地過去曾受到長期而且大量抽取景美礫石層中地下水的關係，地下水位曾鉅幅下降，後雖經政府管制而呈逐步回升狀態，但回升的速度明顯受到大批地下工程的影響而減緩，以至目前地下水位仍未能回復成靜態情形。本案例所在地區地下水位約位於地表下 3m 左右；至於地下水壓，在地表下深度約 20m 上方，大致呈靜態分布，而自松山層第三次層以下則明顯低於靜態水壓，松山層第三次層和第一次層的水壓分別低於靜壓水壓約 6 和 10 ton/m^2 。



圖一 潛盾隧道及鄰近工地平面位置圖

三、工程概況及監測系統

本段潛盾隧道為兩條平行之隧道，其中下行線長 1030m，上行線長 1038m，隧道中心線距離 13.7 至 15.4m，其上方覆土厚度則介於 11 至 21m 之間。本段隧道之縱坡在 3% 以內，轉彎半徑則以位於受損隧道附近為最小，僅有 280m。隧道內徑為 5.6m，襯砌採用厚 25 公分、每環寬度 1m 之預鑄混凝土環片，環片間則以螺栓相連。

潛盾隧道施工係採用直徑 6.24m、長度 5.46m 之土壓平衡式潛盾機，掘進後立即於環片背填孔進行背填灌漿，以減少盾尾空隙所導致之地表沉陷量。

本段潛盾隧道之出發井設於上行線西端，潛盾機於 1994.7.14 沿上行線由西向東開始掘進，在 1995.3.18 完成上行線後，經東端迴轉井轉向後，再於 1995.6.20 沿下行線自東向西掘進，至 1995.11.9 到達下行線西端後棄殼而完成隧道掘進作業。

潛盾隧道完成掘進後，即陸續進行連絡通道和仰拱施工，其間有兩個深開挖工程在隧道南側和西側先後動工，分別概述如下：

3.1 南側深開挖工地

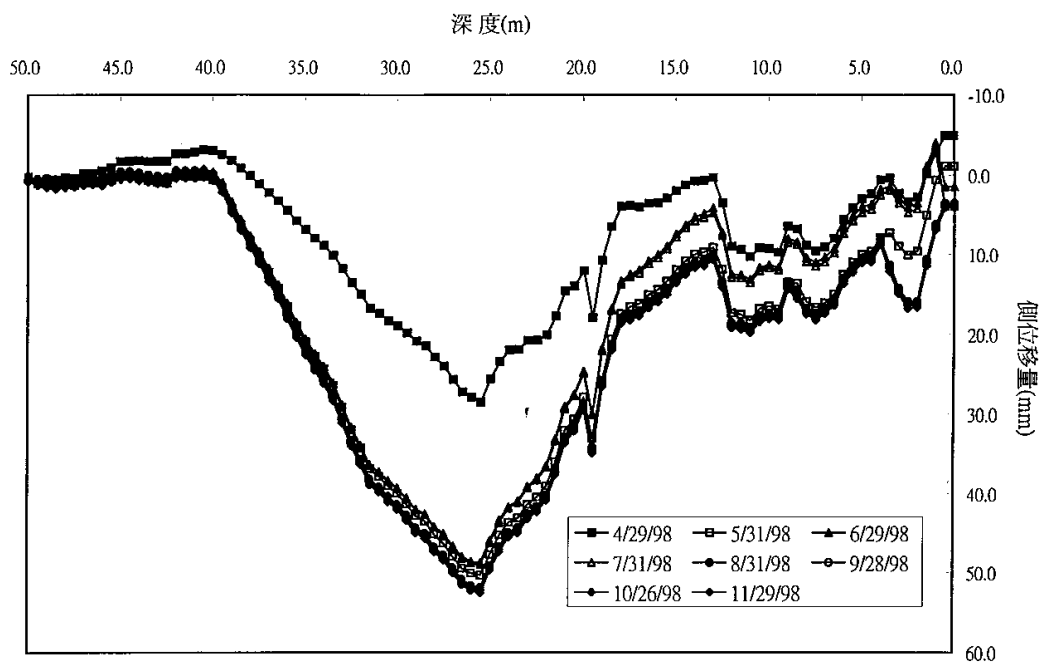
南側工地開挖區呈長方形，寬度為 46m。地下室主體開挖深度達 21m，擋土結構採用厚 1.2m、深 36m 之連續壁，北側有局部向外延伸，開挖深度 8m，擋土結構採用直徑 60cm，深度 13m 之預壘樁。開挖自 1996 年 8 月開始，地下一層以上採順築工法，以下則採逆築工法施工。南側工地施工承商為減少開挖引致之外側地盤變位，在開挖底面施作扶壁式地盤改良，如圖二所示，並於隧道內、外佈設多項監測儀器，包括土中傾度管、水壓計、水位觀測井、隧道變位觀測點、裂縫計及地面沉陷點等。

3.2 西側深開挖工地

西側深開挖工程為地下三層結構體，開挖區長度 288m，寬度 26m，東側變為 31m，採順築工法並利用 H 型鋼內支撐開挖施工，除兩端集水坑部份開挖深度約 26m 外，其餘開挖深度約 23.5m，共分成七階開挖及架設六層支撐。擋土結構係採用厚度 1.2m 之連續壁，除位於東西兩側之連續壁深度達 42m 外，其餘皆為 35m 深。本工程連續壁係自 1997 年 12 月開始施作，於 1998 年 5 月間完成，隨後即進行中間樁打設，地下開挖則自 1998 年 8 月中旬展開。

土壤中傾度管裝設深度均至地表下 50m，並進入景美礫石層中數 m，故傾度管底部應可視為不動點。依其配置情形，可概分成三列，如圖一所示，第一列係距南側工地連續壁約 1m 處，如 SIS611 及 SIS612(此二支傾度管係因鄰近本段隧道之連續壁內傾度管無法量測而替補裝設)；第二列位於隧道上行線與南側工地間，其距離隧道結構外側僅約 1.5~2m，包括 SIS603、SIS605 及 SIS607 三支；第三列則位於隧道上下行線中間，包括 SIS604、SIS606 及 SIS608 等三支。

由監測資料顯示，靠近南側工地之第一列傾度管 SIS611 及 SIS612 之最大側位移量發生於地表下 20 至 25m 間，分別約為 53mm(詳圖三)及 50mm。由於此二支傾度管替補裝設完成並於 1997 年 6 月 10 日開始量測時，南側工地已開挖至地表下 8m，且均於 1997 年 11 月上旬受到連續壁接頭灌漿的影響，經參考監測資料的變化情形，推估其最大變位量可分別達到 63mm 和 55mm(中興，1999)。

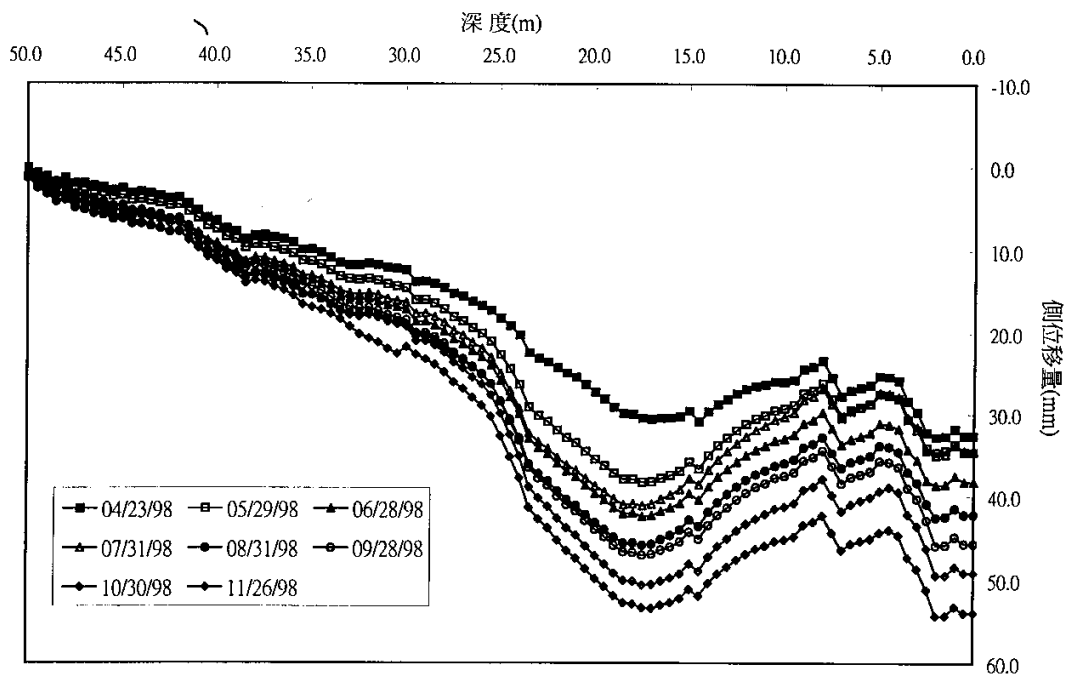


圖三 土壤中傾度管SIS611歷時曲線

第二列傾度管 SIS603、SIS605 及 SIS607 之觀測結果顯示，SIS603 位移量較小，最大位移量約 20mm 且發生於淺層，可能是受到該傾度管與南側工地間有一淺開挖，多一道直徑 60cm 之預壘排樁，以及 SIS603 位於隧道上行線出發井外圍地盤改良區外側不遠的關係。而 SIS605 約略與 SIS611 位於同一斷面上，由歷時曲線可知其最大位移量約發生在地表下 17m(詳圖四)，且自 1998 年 5 月起即逐漸自 31mm 增加至 1998 年 11 月底之 53mm，累積變化量約 22mm。然 SIS611 之最

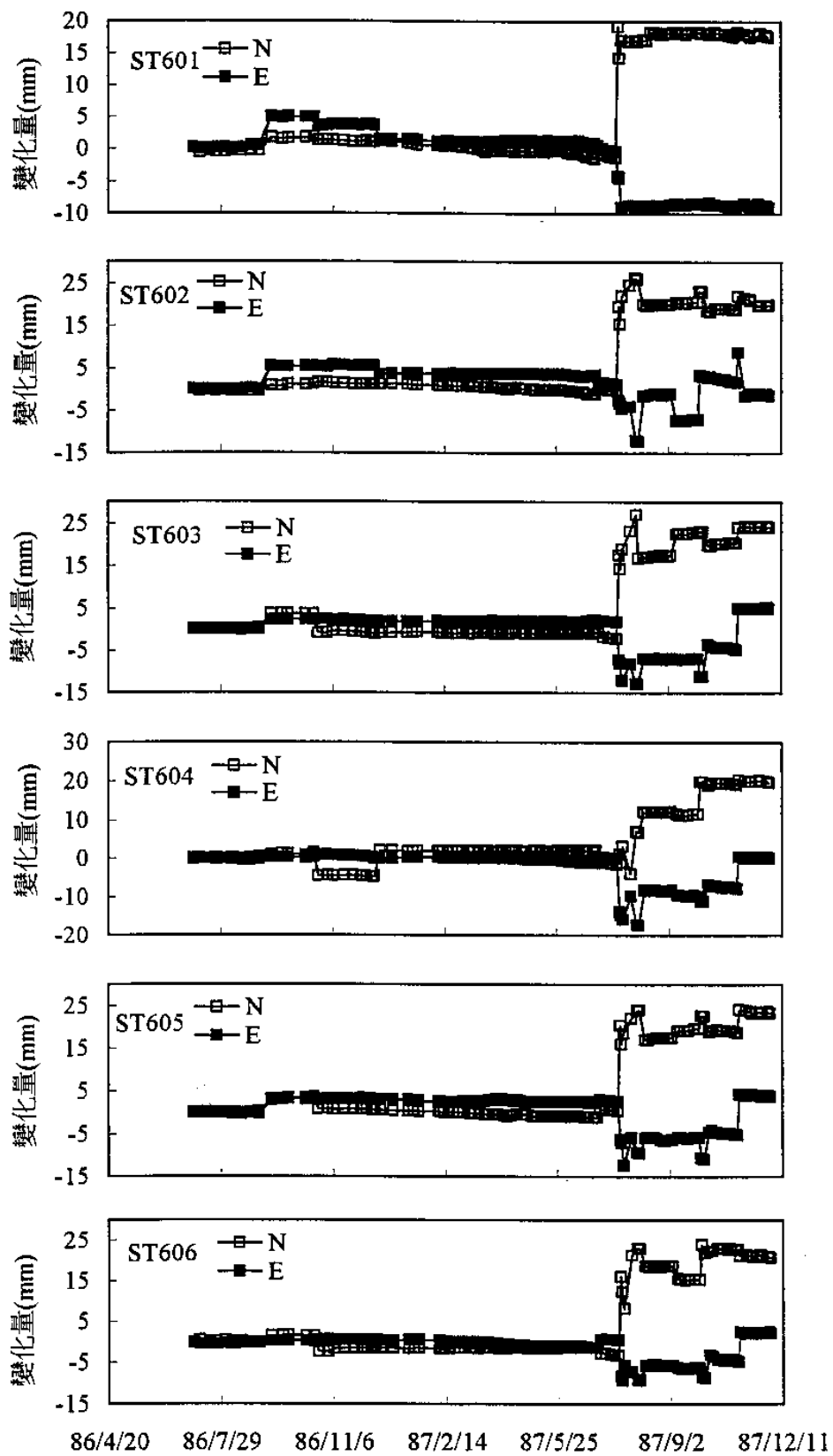
大側位移量自 1998.5.26 至 1998.5.29 由 29mm 劇增至 49mm，三日內增加 20mm，而至 1998 年 11 月底之累積最大變位量為 53mm。比較 SIS605 與 SIS611 之結果，顯示南側工地之連續壁於 1998 年 5 月下旬因為受開挖施工影響而產生明顯變化，唯此後即趨於穩定；而較遠處之 SIS605 卻顯示有遲滯反應的現象，側向位移增加較緩。至於 SIS607 最大位移量僅約 10mm，此可能是因為隧道曲線線形關係使得距離開挖區較遠，或者受到其他施工因素影響，但其歷時曲線在 1998 年 5 月間仍有較大之變化。

位於上下行隧道間之第三列傾度管，在前二列傾度管和上行隧道發生位移期間，其歷時曲線均呈穩定，研判此一範圍土壤受南側工地施工造成之擾動不大，現地勘查亦未發現曾受到明顯之影響。



圖四 土壤中傾度管SIS605歷時曲線

- (2) 隧道變位觀測點：此項儀器之測讀結果於 1998.7.20 產生明顯而一致之變化後，其後續讀值尚屬穩定，如圖五所示，惟歷次測讀結果偶有不規則之跳動，研判與該儀器之量測精度有關。
- (3) 隧道內裂縫計：部分裂縫計其讀值於 1998.7.20 與隧道變位觀測點同步產生明顯變化後，以後則大致均呈持平現象，未持續擴大。
- (4) 水位觀測井及水壓計：水位觀測井深度為 8m，水壓計深度則為 25m 及 40m，其測讀結果於隧道發生變位前後並無顯著之變化。其讀值自 9 月中旬起有明顯上升情形，研判係受到降雨影響，與隧道變位並無直接關連。



圖五 隧道變位觀測歷時曲線 (ST601~ ST606)

六、事件發生原因及影響探討

捷運隧道自 1995 年 11 月完成掘進作業以後至隧道受損期間，檢討本段隧道的鄰近主要施工活動，及其可能造成的影響情形評估如下：

(1) 南側工地開挖施工：

由土壤中傾度管 SIS611(距南側工地連續壁約 1m，距隧道外緣約 14m)，SIS605(距南側工地連續壁約 17m，距捷運上行隧道約 2m)之最大側位移量已達約 5cm 以上，南側工地與捷運上行隧道相鄰區域之土壤均已受到擾動，且依據捷運局測量隊之隧道真圓度量測結果顯示，並造成上行隧道中心最大水平偏移達 53mm，頂拱沉陷則達 68mm。

由土中傾度管 SIS611 之觀測資料顯示，其讀值於 1998 年 5 月底曾產生明顯變化，增幅達 20mm。而較遠處靠近上行隧道之傾度管 SIS605 自 5 月開始至 11 月底則明顯呈逐步增加之情形，顯示上行隧道及其周圍土壤受南側工地施工影響之程度是逐漸累加，但亦以 5 月份之增幅較大；至於隧道內之監測儀器反應較遲，應是受到隧道兩端之束制及隧道本身勁度影響，以致遲延反應擾動現象。

至於位於上下行隧道間傾度管 SIS604、SIS606 及 SIS608 之測讀結果，並沒有明顯變化之情形，而下行線隧道結構現地狀況勘查亦未發現有異樣情形，顯示受南側工地施工之影響程度應相當輕微，研判應是距離較遠受沉陷槽影響較小及上行線阻隔的關係。

(2) 西側工地打設中間樁：

西側工地 H400×400 中間柱打設時間係自 1998.5.13 至 1998.7.28 止，中間柱打設位置與隧道環片變形最大位置距離至少 30m 以上，在此期間僅上行隧道產生明顯之變位，而上行線與西側工地銜接處又有一出發井(見圖一)，前後各有一道厚度 1m，深度 38m 之連續壁，但下行線則無到達井，若探討中間柱打設之影響，就其相互距離而言，打樁影響會隨距離增加而衰減，按理下行線所受到之影響應該較大，但事實上下行線隧道結構，幾未受到任何影響，同時根據台北捷運累積的經驗，並未有類似情形發生，故可研判本次上行線隧道受損事件應與西側工地打設中間柱之振動影響沒有直接關連。且調查隧道頂拱開裂方向和仰拱與環片分離方向均呈沿隧道軸方向，並非朝向打樁位置或垂直隧道軸方向，研判亦應非打樁時所產生應力波傳遞所造成。

(3) 隧道上方填土工程：

於 1997 年 6 月中旬西側工地在捷運遂道上方回填約寬 18m 厚 1.6m 之填土，以興建臨時組合屋辦公室，於 1997 年 12 月上旬南側工地在

其與捷運隧道間上方回填約寬 12m 厚 2.2m 之填土，供施工便道使用。該等區域增設有 20 個之地面沉陷點，由所蒐集之監測資料顯示，於 1997 年 10 月至 1998 年 4 月間地表沉陷極不明顯，唯該地面沉陷點是裝設於 PC 地面上，PC 的勁度會影響對沉陷反應的靈敏度。利用 RIDO 程式分析兩項填土對南側工地擋土連續壁於隧道深度附近所造成的側向位移均僅有數 mm，同時由於隧道開挖，減輕了原地層所受覆土荷重，以及以往台北盆地下水超抽影響，地層是呈過壓密的情形，因此地層受填土而產生沉陷之影響，應甚輕微。

(4) 開挖中地下水位下降：

南側工地於 1997 年 3 月間開挖至 8m 深時，可能是受到預壘樁滲水影響而造成地下水位下降約 3m，但由台北市過去降水歷史與季節性水文變化幅度，以及隧道開挖之土壤應力歷史來看，水位下降 3m 對隧道的影響應可忽略。

由上述探討可知，本段隧道受損最主要原因乃在於南側工地開挖施工的影響，使地層受到擾動所造成，其補強方法之研究與實際執行情形可參考常岐德等人(2000)相關文獻。

七、結論與建議

- (1) 根據相關單位提供之監測與施工資料，經整理評估後，研判潛盾隧道位移應主要是受到南側工地開挖施工影響而造成，並非西側工地中間柱打設振動之影響。
- (2) 本案在發現隧道受損情形時，捷運局立即密集召開相關會議並列管追蹤，除督導相關單位進行受損情形調查與測量，增加監測儀器與觀測頻率，密切監控隧道的位移變化與安全性外，並積極調查與評估受損原因，以致能充分掌握全盤狀況而採取適當對策及進行補強措施。
- (3) 由監測資料顯示，部分監測儀之裝設及觀測時程較晚，未能充分反應全部施工行為，例如土壤中傾度管應在連續壁施工前即需完成裝設及開始觀測，方能掌握連續壁開挖施築的影響部分。同時由於監測資料是由南側工地彙整後，再轉到捷運局，常造成捷運局資料取得上的延遲，故對於爾後類似案件，尤其是捷運設施可能受到鄰近工區潛在施工影響的部分，可研究由鄰近工程承商額外提供捷運主管機關獨立之監測承商，並進行重點檢核之可行性，其結果直接對捷運主管機關負責，以確保安全監測的時效及資料之完整與可靠性。
- (4) 對於監測資料管理值的研訂，就本案例而言，警戒值約為行動值的 80%，到達警戒值時地盤或結構可能已產生相當的變化，再加上資料傳遞和處

理的時間，影響調整施工步驟的時效，故對重要、敏感且後續補強較不易者，例如營運中捷運隧道，可增加中間階段之管理值，以提早檢討是否超過設計或施工中在該階段的預期變化，俾能提前因應改善。

- (5) 為瞭解潛盾隧道受鄰近工程施工之影響，本案例之土壤中傾度管扮演者相當重要的角色，但如能在尚未營運隧道內能裝設收斂釘，在隧道上方裝設淺式沉陷計和伸縮儀，將更可清楚掌握隧道本身及附近地層的變位量。
- (6) 關於隧道上方或附近填土對隧道造成沉陷的影響，雖然本案例地表沉陷點並未顯示對隧道造成沉陷，經沉陷分析亦應非造成隧道沉陷的主要原因。但未來如果仍有必要進行類似填土或開挖行為，則除需詳細分析評估其影響並經捷運主管單位核可外，尚應裝設適當可靠且精度高的監測儀器，使能確認隧道受影響的程度。

參考文獻

- 中興工程顧問股份有限公司(1999)，工程施工對相鄰捷運潛盾隧道之影響評估報告。
- 亞新工程顧問股份有限公司(1999)，台北都會區捷運系統板橋線大地工程專業顧問最終報告。
- 常岐德、王明俊、張建仁、孫介文(2000)，捷運潛盾隧道位移修復工程實例，第二屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會。