

大地工程師於捷運工程上所扮演之角色
**GEOTECHNICAL ENGINEERS' ROLE
IN THE MASS RAPID TRANSIT SYSTEMS**

潘國樑，段紹緯，黃南輝

K. L. Pan, S. W. Duann and R. N. Hwang

原著載於捷運系統建設中大地工程科技之應用研討會
1997年2月27日，第1~11頁

*Reprinted from Proceedings of Symposium on The Application of
Geotechnology on The Development of Rapid Transit Systems
Kaohsiung, Taiwan
February 27, 1997, pp.1~11*

大地工程師於捷運工程上所扮演之角色

潘國樑、段紹緯、黃南輝
亞新工程顧問股份有限公司

摘要

由於台灣經濟之快速發展，使得各主要都會區都在積極發展捷運系統，以有效紓解日益惡化之交通問題。本文說明大地工程師在捷運工程中扮演關鍵性之角色，尤以相關地下結構物或基礎工程為然，不論是規劃、設計或施工階段均需要大地工程師之積極參與，以達成安全與經濟之目標，並針對潛在之大地工程問題提出適當可行之解決對策。另外，本文亦介紹捷運大地工程監測資料之內容及運作情形，以及技術轉移之執行情形及其功效。

GEOTECHNICAL ENGINEERS' ROLE IN THE MASS RAPID TRANSIT SYSTEMS

Kuo-Liang Pan, Shaw-Wei Duann and Richard Nanhuei Hwang
Moh and Associates, Inc.

ABSTRACT

Due to rapid economic development in Taiwan, construction of mass rapid transit systems is the most effective way to alleviate the urban traffic congestion problem for many major metropolitan areas. Geotechnical engineers play a critical role in the implementation of rapid transit projects, particularly in the designs and constructions of infrastructures and foundations. This paper describes the major geotechnical works and potential geotechnical problems, which have to be solved to ensure the safety at all the stages, including planning, design and construction. In addition, the implementation and the effectiveness of geotechnical instrumentation, monitoring system and technology transfer are also discussed.

一、前言

台灣地區在過去二十餘年以來，由於經濟迅速發展以及生活型態轉變，使得人口向各都會地區匯集且汽機車數量大幅增加，造成日趨嚴重之交通擁擠問題。由於台灣地區人口密度甚高，都會地區道路面積增長有其限制，大眾捷運系統乃成為解決交通問題之最主要方法。

台北都會區之捷運系統於民國60年代後期即開始進行可行性研究及規劃工作，70年代中期進行細部設計，70年代後期陸續施工。至目前為止，初期路網中之木柵線已通車營運，淡水線已實質完工並進行試運轉中，新店、南港、板橋及中和等線之土建工程亦已逐漸到達施工後期階段；後續路網中之新莊蘆洲、土城、內湖、松山及信義等線均已規劃完成，部份路段則已完成細部設計工作。

台灣地區之其他都會區中，高雄捷運系統初期路網之橘線已進行細部設計，而桃園、新竹、台中及台南等都會區之捷運系統則已陸續完成規劃，日後將逐步邁入設計及施工等階段。由於台灣地區之捷運系統大致處於起步階段，而且捷運系統由規劃至施工完成之時間甚長，故未來十數年間仍將成為各都會地區之主要建設項目之一。

大地工程對捷運系統扮演一個關鍵性的角色，無論捷運系統採地下、地面或高架等方式，或者在規劃、設計或施工階段，均需要專業之大地工程師之積極參與。捷運之各項設施中，高架路軌、機廠和聯合開發建物，及其他高架陸橋結構物通常採用深基礎；明挖覆蓋之車站或隧道、地下街、潛盾隧道、出土段以及其他地下結構物等均直接與周邊土壤互動，而此類互制作用僅能依賴有限之土壤調查資料來推估其本質與特性。

由於捷運工程之規模與型式特性，捷運路線所經地層變化常甚大且部份屬軟弱地層，而都會區中建物密集且大樓林立，其工程複雜性與困難度自然較一般工程高出甚多。如何針對各種不同之地質環境，進行捷運系統之規

劃、設計與施工，以達成安全、經濟、高品質及適時之工程要求，乃成為大地工程師所需面臨之挑戰。

二、大地工程師於規劃階段所扮演之角色

在捷運系統之規劃階段，大地工程師首先需蒐集沿線地質資料與相關文獻，以瞭解其土壤及地質狀況、地質構造、地層與地下水分佈狀況等，沿線所經地區有無順向坡、崩坍地、土石流、斷層、煤坑或溶洞等尤須特別注意。另外，地震、水文、氣象、地形等資料亦應予以收集，以供相關可能之大地工程評估之用。

資料經彙整後，須針對規劃路線進行初期地質調查工作。其內容依規劃結構物之型式、範圍、配置、荷重、深度等以及地質狀況而定，而其一般工作可包括鑽探取樣、現場試驗、試驗室試驗、航照判釋、地表地質調查及地球物理探測等。

為配合捷運系統之設計與施工，在規劃階段即需針對可能之大地工程問題予以先行研討。一般捷運系統需注意之大地工程課題包括：開挖及擋土支撐系統、基礎之分析設計、土方工程、擋土牆、潛盾或岩石隧道、地盤下陷、斷層及液化、地盤改良、鄰近建物保護以及監測系統等。針對各種可能問題，大地工程師應依據捷運工程之特性，檢討各種工法之優劣點與可行性，準備相關規範或標準圖說，確立分析設計之基本原則、工期之比較、施工機具或儀器採購與維修之相關問題等。除此以外，若沿線有煤坑、斷層等問題，大地工程師可對規劃路線提出建議，以達到安全經濟之目標。而若考慮台中、桃園、中和或新店地區之卵礫石層，大地工程師可將評估結果提供給規劃者，以期選擇適宜之配置以及施工方法。

三、大地工程師於設計階段所扮演之角色

在設計階段，大地工程師首先須彙整規劃階段之地質調查成果、蒐集工址附近之地質、水文、施工案例等相關資料，再配合結構物配置情形，考量需處理及可能面臨之大地工程問題，妥善編擬調查計畫以進行補充地質調查。其部份項目雖與規劃階段類似，但以配合分析模式及設計需要為主。依據調查結果可確立工址地層與地下水分佈情形，以及分析設計所需之各項大地工程設計參數。

大地工程師之分析設計工作一般包括 (台北市捷運局, 1991; Moh, Sun & Chou, 1993; 高雄市捷運局, 1994)：基礎型式之選擇、基礎承载力與沉陷量分析、基礎設計、擋土結構貫入深度與開挖穩定分析、擋土結構設計與支撐軸力分析、土方工程填土沉陷與邊坡穩定之分析設計、擋土牆之設計、潛盾隧道及岩石隧道之設計、液化評估或地盤下陷問題之探討與對策、地盤改良評估與設計、鄰近建物安全評估與保護方法之決定、地下水控制與降水規定，以及監測系統之設計等。各項設計成果包括設計報告、計算書、工程圖說、大地工程設計總結報告、特定條款、工程數量表以及其他相關之招標文件。

除了上述相關設計工作外，鑑於捷運工程之規模與重要性，大地工程師應依地形、地質條件以及捷運系統之配置情形，廣泛蒐集相關設計與施工經驗，回饋於設計與施工上，力求獲致經濟與安全之設計。此外亦應評估施工時可能會遭遇到之潛在大地工程問題，擬定相關因應處理措施，藉由完善周詳之設計考量，以確保良好之工程施工品質與工程施工之順利。

台北捷運工程中曾遇到相當多的大地工程上問題 (Moh & Chin, 1991)，如台北市地下深層水壓逐年回升對土壓分析、土壤強度和開挖穩定的影響；在深厚而軟弱粘土層中的開挖施工方法；大型管線橫越明挖覆蓋車站情況下對擋土結構施工影響；軟弱粘土層上填方工程可能造成大量沉陷之處理；近三十公尺或以上之深開挖工程為避免開挖底面發生上舉 (Blow-in) 而須在具高透水性的景美礫石層中抽降地下水或進行止水灌漿；潛盾隧道通過民宅及

北門古蹟下方之沉陷評估與保護措施；明挖覆蓋車站及隧道施工緊臨鄰房之沉陷分析與建物保護處理；潛盾隧道通過景安橋橋台下基樁之地盤改良和切樁，以及通過忠孝橋墩基礎之托底與切樁；潛盾隧道通過新店溪下方且需在河床下施作連絡通道問題；潛盾隧道在卵礫石層和部份岩盤中施工問題；捷運工程通過可能存在沼氣和大型流木地區等等，都是頗具挑戰性的問題，須要大地工程師妥善研判評估，並研擬安全經濟之可行方案，此亦愈顯出大地工程師在捷運工程中所扮演角色之份量，其設計考量周詳與否，直接影響捷運工程施工成本與工程之安全，而此種技術經驗之回饋，亦將提升大地工程師之技術水準。

四、大地工程師於施工階段扮演之角色

在施工階段，承包商須設計為數甚多之臨時工程及提送相關施工計畫書(台北市捷運局, 1990)，包括：連續壁之構築(含導溝穩定性計算及接頭設計)、隧道施工方法(含地盤改良)、出入口／通風井開挖支撐設計(含車站開挖支撐及預壓步驟)、中間柱之打設、構台或覆蓋版之設置、監測系統(含採購、裝設、量測及維護)、隧道連絡通道及集水井之施工(含地盤改良)、建物保護方法、額外地質調查等。此類設計或施工計畫書均需由專業之大地工程師予以負責、協助或加以審核，以確認施工之安全、經濟且於合理之工期內完成。

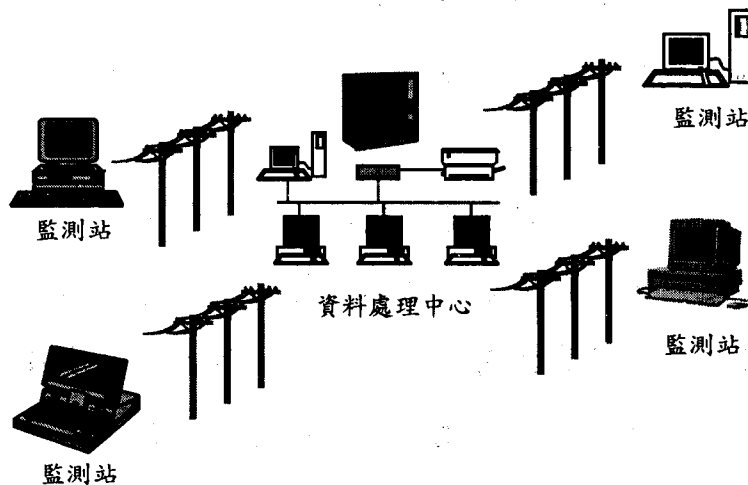
捷運系統由於主要在人口密集、建物林立之都會區施工，安全監測工作乃成為相當重要之一項工作。監測儀器之採用應考慮其功能、費用、合宜以及維修之方便性；裝設時應注意其裝設方法、位置、深度及地層狀況以達到其設置目的；測讀儀器之校正、測讀頻率與時機、測讀結果之檢核與整理等均應先經大地工程師審核其施工計畫，並予不定時抽檢或會測，以確認資料之正確並能適時反應施工狀況。在工程進行中對於地質調查現場試驗、基樁

載重試驗、地錨試驗、地盤改良效果檢驗、潛盾隧道掘進沉陷量控制及其他與基礎、土方工程及地下施工有關之試驗，須予擬定、督導及評估解釋試驗結果，以供施工細節調整或品質控制之依據。對於監測資料並進行回饋分析以做為施工步驟調整之參考。此外於施工中應隨時掌握施工現況，發掘潛在問題，預謀補救措施或防範之道。遇有事故發生時，則須提出緊急應變處理及後續補救措施之建議，期將工程災害影響減至最低。

由以上概略說明大地工程師在施工階段所需協助或負責之一般工作內容，可以瞭解大地工程師在捷運工程相關地下施工中，扮演決定工程安全、施工品質良窳之關鍵角色。

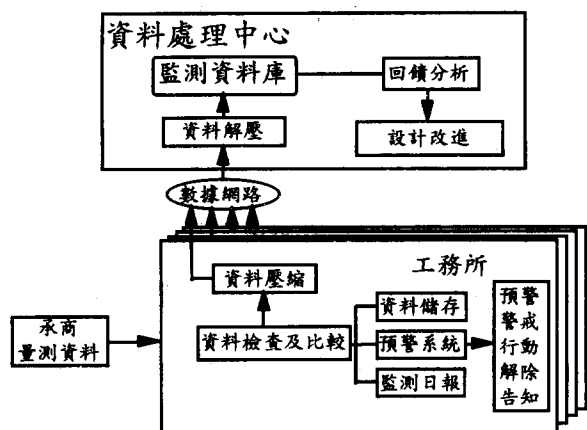
五、監測資料於捷運工程上之應用

捷運工程於進行中在各工區設立有許多監測站，其功能為蒐集各項工程之施工資訊，包括監測儀器之監測資料、施工進度、土壤性質、地下水位高程、會議記錄、監測日報表等資料，並將資料存入大地監測資料庫中，以提供大地工程師查詢、分析、研判之用(黃南輝等, 1996; 黃南輝和莫若楫, 1966)。資料處理中心與監測站之關係如圖一所示。

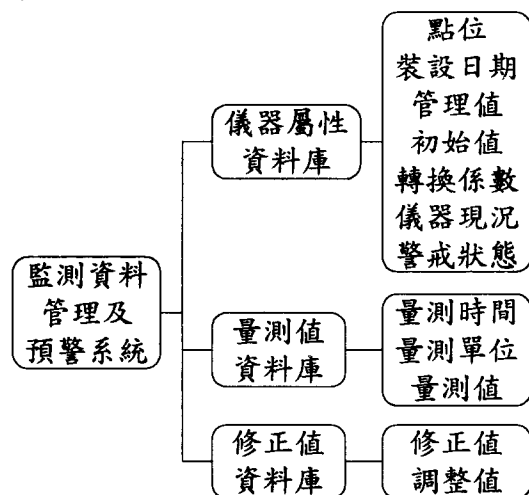


圖一 資料處理中心與監測站之關係圖

各地之監測站在工地中收集資料，經初步整理、分析、研判及採取必要之措施後，工程師將此資料經由個人電腦、數據機、電信網路將資料傳回資料處理中心如圖二所示，資料處理中心之資料庫為一大型之系統資料庫，其所儲存之資料為全部捷運工程之相關資料，包括各監測站傳回之資料外，尚有各相關之設計分析資料、設計平面圖、監測儀器位置圖、會議記錄、收發文資料、參考論文、災變記錄、工程進度等資訊。



圖二 監測資料傳送示意圖



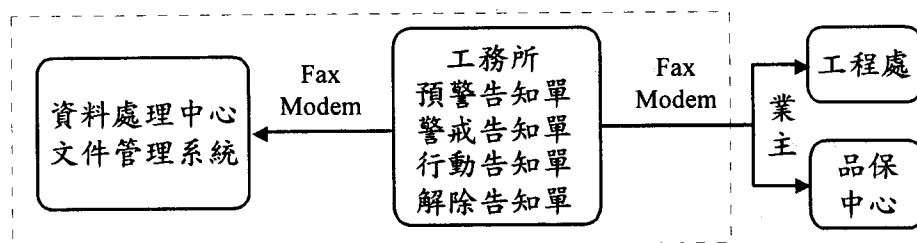
圖三 監測資料管理及預警系統架構圖

捷運工程進行中，往往會有大量數據資料產生，此資料可提供工程師作為分析研判之依據，工程師將現場監測資料與原設計資料比較，進行回饋分析修正原設計值，使設計值更為合理，以達到更經濟安全之要求。同時各監測站之工程師可透由電信網路進入資料中心之資料庫，在資料中心資料庫中可查知較廣泛區域之監測資料，例如在本工區中地下水位有下降之趨勢，但查詢本工區並未有異常之狀況，此時可透過資料處理中心查詢鄰近之相關工區地下水位變化資料，觀察是否有抽降水之工程進行，以瞭解地下水下降之發生原因，以便防範事故之發生。監測資料管理及預警系統架構如圖三。

由於捷運工程結合土木、建築、機電、軌道、號誌及系統等不同之部門，因此在許多會議上常需提供不同之資料供與會者參考，同時會議進行後亦須製做會議記錄並進行後續追蹤，此時資料處理中心之資料庫可提供其所

儲存之相關資訊，透過電腦系統之處理即可找出與會者所需之會議記錄、相關報告、監測資料分析表、工區平面圖等，並提供後續追蹤之資料，以提供正確之會議資料及節省會議之時間。

捷運工程於開挖過程中，因土層狀況變數眾多，常有許多不可預期之因數發生，也因此可能會有許多疏漏的地方，進而造成工程上之災變，輕則只是延誤幾天工期，重則可能造成地層下陷、民房損毀等重大事故，因此現場大地工程師扮演一相當重要之角色，對於工地現場所安裝之監測儀器，須能完全掌握其狀況 (Moh & Hwang, 1996)，因其可隨時反應出施工過程中，工區現場之地層所產生的變化情況，並且監測資料在傳回監測站時，既可由電腦程式自動執行，將監測資料做初步之分類、整理及分析比較，以找出可能異常之監測資料，再由大地工程師進一步進行研判，確定該監測資料是否確實為異常，如非測量之錯誤或誤差，如該資料經研判無誤後確認為施工所造成之變化，且可能引起災變時，既可由電腦系統發出告知，將該工區相關之平面圖、監測資料之歷時曲線變化圖、數據比較表及應採取之應變措施之建議，傳送至業主之工務所、工程處及承商施工處，告知目前之變化狀況及應採取之應變措施，以防止災變之發生，告知單發佈流程如圖四。



圖四 告知單發佈流程圖

由於監測資料於捷運工程進行過程中持續產生，往往於工程結束時可產生上千萬筆之資料，此資料除於捷運工程進行中，提供相當重要之研判外，在工程結束後亦可提供工程師作為研究之用，不論在設計上或分析上均有其相當實用之價值。

七、結論

以捷運系統之大型工程而言，由於其基礎或地下結構物與周邊之地層狀況息息相關，且其通常均通過都會區之主要幹道，若設計或施工時考慮不夠周詳，即可能對鄰近建物產生危害，故需要瞭解當地地層狀況且具有實務工程經驗之專業大地工程師之參與，以針對相關問題提出適切可行之方案。

在台北捷運系統之經驗中，大地工程總顧問／細部設計顧問／承商之大地工程師與業主合作下，已針對可能發生之大地工程問題採取適當之預防對策，而將其發生狀況之機率及影響減至最少。而在各類施工中遭遇到之相關大地工程問題，各相關機構人員亦均能通力合作，迅速採取應變措施，研判其原因並研擬適當之補救對策，使其能夠圓滿解決。由此類成功之經驗顯示，大地工程師之積極參與捷運系統其必要性是毋庸置疑的，且能進一步保證執行計畫之安全與經濟。

捷運系統工程目前仍有多項議題尚待探討，例如監測系統之自動化、地盤改良之確認、連續壁設計是否合宜、建物保護標準是否需再探討、潛盾施工造成沉陷之探討，以及大量監測資料之整理與回饋等，均有賴大地工程師之積極投入，研討出最佳之方法以使捷運工程能進一步朝向更安全與經濟之目標邁進。

參考文獻

1. Moh, Z. C. and Chin, C. T., "Geotechnical Consideration for Underground Mass Rapid Transit System," Proc. 9th Asian Regional Conference on Soil Mech. and Foundation Engrg., Vol. 2, pp. 3~15, Bangkok, Thailand, 1991.
2. Moh, Z. C. and Hwang, R. N., "Instrumentation for Underground Construction Project," 12th Southeast Asia Geotechnical Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, May 6-10, 1996.
3. Moh, Z. C., Sun, R. and Chou L. L., "GESC's Role in the Design and Construction of TRTS", 台北都會區捷運系統工程研討會論文集，第B冊，第311-318頁，1993。
4. 台北市政府捷運工程局，「標準規範」，1990。
5. 台北市政府捷運工程局，「台北都會區大眾捷運系統土木工程設計手冊 (CEDM)」，1991。
6. 高雄市政府捷運工程局，「高雄都會區大眾捷運系統土木結構設計手冊 (CSDM)」，1994。
7. 黃南輝、王暉文、丘先聲、李俊璋、金全鑫，「大地工程資訊系統」，地工技術，第56期，第5-14頁，1996。
8. 黃南輝、莫若楫，「資訊系統在捷運工程之應用」，海峽兩岸捷運／地鐵工程研討會，1996。