

大地工程監測系統在
深開挖工程之應用
**APPLICATION OF INSTRUMENTATION
SYSTEMS FOR DEEP EXCAVATION**

秦中天，莫若楫
C. T. Chin and Z. C. Moh

原著載於
深基礎協會年會論文集
濟南，1993年6月

*Reprinted from Proceedings of
Deep Foundation Association Conference
Jinan, June, 1993*

大地工程監測系統在深開挖工程之應用

APPLICATION OF INSTRUMENTATION SYSTEMS FOR DEEP EXCAVATION

ABSTRACT

The use of field instrumentation systems for monitoring deep excavation is important and can assist the engineer to achieve safety, economical design and construction. This paper introduce the basic concept for instrumentation which are illustrated by a deep excavation case history in Taipei. The prospect of future development is assessed.

大地工程監測系統在深開挖工程的應用

秦中天

莫若楫

亞新工程顧問國際公司

摘要

大地工程監測系統可以協助工程師完成安全經濟的設計與施工，並被視為深開挖工作中一個重要的部份。本文主要介紹監測系統的基本理念，繼以台北的案例加以說明，最後並對未來發展的方向提出評估。

一、前言

大地工程監測系統可以協助工程師完成安全經濟的設計與施工，同時監測資料的回饋分析，可以增進對工程的深入了解，提升大地工程技術。台灣自從有系統的引進監測系統已有十餘年的歷史，對各項工程建設發揮了相當大的功效，尤其是在深開挖的工作中，監測系統已經被廣泛的接受，現在台灣一般的高樓地下室或地鐵車站的開挖，監測系統幾乎已經成為一項例行的工作，為深開挖工程中密不可分的一個重要部份。

二、監測系統的基本理念

由於土壤的性質複雜，基地調查的範圍有限，大地工程師在設計時都會有所假設，因此為了做出合理的設計，並確保施工時的安全經濟，工程師可以借助監測儀器系統來觀測土壤在施工時的變化，再採取必要的措施，來修正原始的設計和施工方式。因此對大地工程師而言，監測系統是項非常有用的工具；尤其在重要的深開挖工作中，大地工程師必須使用監測系統，以確保工程在安全經濟的原則下完成；而對於深開挖工程，使用監測系統的目的大致可分為下列四項：

(1) 設計參數之確認：

由監測所獲得之資料可以用來比較設計時所使用的土壤參數是否正確。若設計時的參數過於保守，則可在施工中修正原設計以節省工程經費；若設計時使用的參數有安全之虞，則應採取必要措施，以確保工程安全。

(2) 施工安全之掌握：

在開挖過程中，監測系統所得到的資料，可以用來判斷施工是否安全，同時更具有預警的效果，當監測儀器測得比原設計採用數值較大之有關讀數時，則應

考慮修正原始設計，或進行土壤改良，也可考慮變更施工方式，以確實掌握開挖工程以及鄰近結構物的安全。

(3) 工程糾紛之佐證：

進行深開挖工程時，鄰房保護是一項重要的考慮因素。當開挖過程中，鄰房是否受到施工影響而遭受損害，將可藉由監測系統所獲得的技術性資料，以協助糾紛的解決，並保障業主及工程單位之權益。

(4) 工程技術之提升：

根據實際的監測資料，可經由整理歸納及回饋分析等過程，深入了解擋土結構、支撐系統及周圍地盤互動的力學行為，進而修正現行的設計方法，以提升工程技術。對於地鐵等大型工程，回饋分析的工作尤其重要，因為根據一個地下車站監測的結果，可以影響到整個路網其他車站的設計，因此而獲致最大的效益。

近年來由於工程日趨龐大複雜，對於工地周圍環境安全日益重視，監測系統在台灣、在國際間都已經被廣泛的使用。大地工程界已經注意到了一個現象，就是以往對於應用監測系統的問題是工程界不知道或不願意使用監測系統；而今天卻是許多單位要求使用監測系統，進而造成諸多誤解與濫用，誤以為監測系統能夠彌補已經有缺陷的設計或是能立即顯示出即刻要發生的工程災害。這些誤用與濫用，基本上都肇始於對於監測系統缺乏正確的認識。大地工程師必須了解：監測系統是深開挖工程中密不可分的一個部份，但是每一個儀器的安裝都應該是用來協助回答一個特定的大地工程問題；監測系統的本身除用來獲取資料外，最重要的還是在於工程師對資料正確的解釋和及時採取有效行動。基於多年工作的體驗，關於正確有效的使用監測系統，Peck (1988) 所提出的看法可以做為執行監測工作的基本準則：

- (a) 需要對大地工程的基本原理有徹底的了解。
- (b) 對於監測儀器的功能及缺點有深入的認識。
- (c) 充分掌握儀器安裝的正確程序。
- (d) 清楚的知道施工的過程。
- (e) 對於地層可能發生的變化要能有所體認。
- (f) 必須及時正確的取得、紀錄及運用所得到資料。

三、深開挖監測系統的規劃要領

深開挖工程自規畫、設計至施工各階段，需要建立一套完整的監測系統。完整的監測系統應該包括完備的設計圖說、施工規範以及詳細的監測施工計畫，而整個監測的成功則賴於施工過程中的切實執行與審慎控制。以下則就如何有系統的規畫監測系統加以說明：

(1) 了解工程需要

在規劃監測系統時，首先必須對工程設計以及預先設定的施工步驟，有深入的了解，同時，對於觀測的行為要先進行預測及分析的工作。例如，深開挖工程中，必須對擋土結構的變形先做分析和預測，分析的過程中可以了解那些是重要的參數，而分析的結果則將用來訂定各儀器的管理值，做為與監測結果比對的基礎。經過這樣的程序，才能訂出這個監測計畫的目的是什麼，同時決定那些是需要監測的參數。

(2) 選擇監測儀器

針對各項選定的參數及預測的行為，大地工程師必須選用適當的監測儀器，以獲取最具代表性及最可靠的數據。一般深開挖監測儀器種類大致包括了地下水位／水壓量測、支撐荷重／應力量測、擋土結構側向位移量測、沉陷／隆起量測、結構物傾斜／裂縫量測等，此外還有溫度、濕度及振動量測。應用於深開挖工程的主要監測儀器及其使用目的則詳見表一。在選擇儀器時，除了瞭解儀器的功能之外，尚必須考慮監測儀器在工地施工的狀況下，能獲得到可靠的數據，因此，即使同一種功能的儀器也必須考慮擷取資料的方式不同。經常是儀器愈簡單，可靠的程度愈高；一般可靠的程度依以下的次序遞增（Dunnicliff, 1988）：電子式（electrical），壓氣式（pneumatic），水壓式（hydraulic），機械式（mechanical），光學式（optical）。

(3) 規劃儀器位置

在規劃儀器位置及深度時，必須根據工程的特性以及預測的結果，選定有特殊安全需要的區域加以監測，例如，接近鄰房的區域，土層特別軟弱的區域等。其次，要選定主要的監測斷面，這些斷面所得到的監測資料，要有足夠的代表性以反應工程的狀況，然後再選擇補充的斷面及儀器以全面掌握施工，不致有所疏漏。特別需要注意的是儀器的損耗，根據調查的結果（Abramson and Green, 1985），壓力衡盒（load cell）的損耗大約是25%，應變計的損耗更多，平均達到40%。

(4) 制定技術規範

完整的技術規範應該包括儀器規格、裝設時機、裝設步驟，裝設時的應注意事項。裝設步驟及裝設時的應注意事項，至為重要，但常被一般工程單位忽略，因此在訂定規範時，必須有清楚嚴格的規定。另在訂定儀器規格時，必須考慮到儀器的尺寸、型式、解析度、全刻度、精確度（precision，多次量測完成時，算術平均值與任一量測值之間的偏差）及準確度（accuracy，量測結果的正確度，習慣上表示儀器全系統量測之最大可能誤差，得按儀器的全刻度百分比或讀值百分比來表示）等。此外，監測系統中的許多項目都分有兩部份：一部份是裝設於工地之器材，例如埋設於土壤中之傾度儀觀測管；另一部份為測讀儀器，包括量

測傾度儀觀測管所用之雙軸感應器、電纜線及傾度儀讀數器所組成的測讀系統，在制定規範時就必須兼顧現場器材及測讀儀器等相關規格之配合。

(5) 擬訂檢核及維修程序

儀器必須經過檢驗及校正才能正確的使用，尤其使用一段時期後更需要進行保養與維修。一般儀器校正可分為三個階段（王春煌，1991）：出廠校正（factory calibration），驗收測試（acceptance test）及再校正（re-calibration），出廠校正是指儀器在出廠之前必須加以校正並由儀器工廠提出檢驗結果，其內容應包括儀器之精確度、靈敏度及線性度等。驗收測試則是考慮儀器經長途運輸有可能受碰撞震動等影響而造成儀器不穩定，為了確保儀器能發揮應有之功能，儀器於裝設前必須加以檢驗，即所謂驗收測試。至於再校正係指儀器於現場使用過一段時間後，由於儀器本身之原因，如零點漂移，電纜線長度改變等，造成誤差，而須重新校正，以做為往後量測值修正之依據或推估以往一段時間量測資料之可能誤差。再校正之頻率須依工地使用狀況及監測資料結果判斷後的予制定，例如傾度儀可每半年校正一次，水準儀每三個月校正一次。

(6) 決定最低監測頻率

監測頻率之決定，原則上需配合施工狀況並能取得足夠資料以供分析研判之用。必須強調的是不同儀器可能有不同的監測頻率，即使同一個儀器在不同的施工階段也應該有不同的監測頻率。例如一般量測擋土結構變形及傾斜的傾度儀，在每逢基地挖土前後，支撐施加預力及拆除前後皆須量測，平時每週一次，開挖階段每週至少二次，必要時則應隨時監測。

(7) 設定監測管理值及擬定應變措施

為了在執行監測工作時有所依據，了解在各階段應採取不同的行動，所以在監測計畫中必須訂定管理值做為參考指標。目前監測工作中，經常根據預測的結果訂定警戒值（alert level）和行動值（action limit）兩個參考指標，在監測讀數達到警戒值時就必須增加監測頻率，考慮採取必要的措施，如果現場的狀況未獲改善而到達行動值時，則要進行相關的應變工作。在訂定指標時除了以預測結果做為依據之外，更必須充分考慮到工程的規模，鄰近結構物的狀況，地下管線的分佈等環境的因素。為了確保工程安全，除了管理值必須選定之外，相關的應變措施也須事先有所規畫，以便在狀況發生時能及時處理。

(8) 建立資料收集、處理及分析的系統

監測量得的數據，唯有經過及時的處理，正確的判斷，才能採取適切的行動，對工程才會有真正的幫助，也才能達到監測的目的。而分析研判這一部份的工作，所需要的技術水準最高，也必須依據豐富的工程經驗。此外，資料收集、整理及報告目前都借重電腦的應用，以建立完整的資料庫（database）系統，其他

大規模的工程，如地鐵的路網，更是要建立一套資料收集處理的系統，否則難全以人工及時處理資料，也無法掌握工程的狀況。有關資料處理系統的介紹，則在第五節中再做更詳細的說明。

四、台北工程案例分析

本節將以兩個台北深開挖的案例，來說明在深開挖工程中監測工作所發揮的效用。第一個案例是台北市華航大樓開挖（Moh and Song, 1980），開挖過程中藉著監測系統所得到的資料，修正施工步驟，並採取適當的預壓措施，避免了主體結構與週圍過大的差異沉陷發生，也糾正了大樓主體在施工中略現傾斜的狀況。第二個案例則是位於台北市軟弱土層東區的一座大型建築物開挖（亞新，1986），由於擋土結構的設計不良以及工程監造控制不夠嚴格，以致發生災變，監測系統不但發揮了預警的效果，同時在災變發生後，每一個補強程序皆依賴監測結果做為施工之參考。

4.1 華航大樓開挖安全監測

(1) 工程概況

華航大樓位於台北市中心繁華的商業區內，地層上屬新店溪流域沖積層。大樓地上13層，地下室2層，開挖深度10.7公尺。大樓的高樓主體結構部份約佔全部面積的55%，但是地下室的結構則全面延伸到整個基地（圖一）。基礎的型式為筏式基礎（mat foundation）。擋土結構為兩排40公分直徑的預壓樁（prepacked pile）並以H鋼樑內撐。土層的狀況如表二所示，地下水位約在地表下2公尺，為了避免主體結構與週圍結構間過大的差異沉陷發生，整個工程擬分兩階段進行：

第一階段：1. 開挖並構築主體部份地下結構。

2. 為避免過大的差異沉陷發生，主體結構部份以灌水進行預壓。

3. 構築主體部份及上部結構至七層。

第二階段：4. 構築週圍地下結構，以連接主體及週圍部份結構。

5. 上部結構至12層時，將地下室的水抽出。

6. 完成上部結構。

配合兩階段的施工，大樓基地內的監測儀器配置如圖一所示，儀器的數量及監測頻率則摘要如表三。

(2) 監測結果

沉陷監測：因拆除周圍鄰房延誤，週圍地下室部份直到主體結構到11層時才能進行開挖，但監測資料顯示（圖二 a.）結構物有略向東北角傾斜之現象，而且分析結果顯示當週圍地下室開挖至地下6.7公尺時可能會有穩定性問題。因此，及時變更施工程序，先將地下室貯水抽出，再構築週圍地下結構之筏基，然後進行上部結構至13層，最後等完成週圍結構地下一層後，再結束主體高樓部的樓頂

工程。最後的結果顯示（圖二 b.）大樓的不均勻沉陷在允許範圍之內，高樓部份與週邊結構在連結部份的差異沉陷被控制到3公分，小於允許值5.6公分。

隆起監測：從隆起監測的結果（圖三）可以看出，最大隆起值是在預估的範圍之內，只是隆起發生的速率大致較預測略慢。整體而言，整個深開挖的底部穩定都沒有發生問題。

地下水位／水壓監測：為了確保抽水系統完全發揮功能以利開挖工作的進行，同時因考慮到砂及水自預壘樁隙中滲出，因此，水壓的控制是整個工程中極重要的一部份，抽水速率也是根據監測結果（圖四）及工程狀況隨時加以調整。

支撐荷重：大樓開挖的支撐系統是三層的H型鋼，預估的土壓力及各階支撐的預估值如圖五所示。監測結果顯示各階支撐最大應力均小於設計允許值，再經過回饋分析的結果如圖五顯示，量測修正後的土壓力分佈與預估的土壓力分佈相差不遠，印證了原先設計的方法並可適用於該地區類似的開挖工作。

側向位移：圖六顯示的是傾度儀觀測管的監測資料，結果顯示預壘樁的側向位移達到2公分，但最大扭曲約1/807遠小於設計允許值1/240。

(3) 結論與評估

從監測的觀點來看華航大樓的開挖工程，可以得到下列三項結論：

- 根據監測資料，修正了原定的施工程序，避免了過大的不均勻沉陷及可能造成的大樓傾斜。
- 根據監測資料，控制抽水速率，確保了工地良好的施工狀況，也避免了可能從預壘樁隙中大量流砂湧出造成鄰近結構物的破壞。
- 支撐應變計提供了寶貴的資料供日後設計的參考。但因經費限制未裝設土壓計，因此無法得到開挖各階段各深度土壓變化的狀況，以獲取開挖行為更深入的了解。

4.2 台北東區大樓開挖緊急狀況處理

(1) 工程概況：

本案例位於台北市東區，地層上屬基隆河流域沖積層，土層狀況大致如表四所示，深度20公尺以下之地下水壓低於靜水壓（圖七）。大樓面積約15,000平方公尺，基地南側為一樓高36m地下室深8m之筏基大樓，東北兩側為車行極少之20m寬道路，西側於施工時仍為空地（圖八）。地下室開挖深度為12.8m，部份地區深達14.6m，土方開挖及地下室構築採「島式工法」，共分三期分區施工。大樓基礎係採用樁基礎，擋土結構為直徑40公分之預壘樁，其貫入深度於東、西、南、北側分別為28m，28m，22m及24m。南側以深層攪拌工法進行地質改良，第一期開挖剖面，如圖九所示。監測系統配置，詳如圖八。

(2) 緊急事件A

狀況描述：1985年8月3日為雨天，A2-2及B1區開挖期間，在基地西側之B2區臨時斜坡因土質軟弱及坡度過於陡峭，加上雨水滲入張力裂縫中產生側向水壓力，以及施工機具停留於坡頂增加超加載重而引致邊坡產生大規模滑動現象造成：

- (a) SI-7傾度管於3M處折斷，無法觀測。
- (b) 工地旁洗車台下水管、水池破裂。
- (c) 基地內中間柱傾倒13根。
- (d) 擋土牆背側地盤大量沉陷，S47沉陷點沉陷達15.86公分。
- (e) 擋土牆大量變形。
- (f) 預壘樁旁之排水溝下陷及分裂。
- (g) 地表之張力裂縫寬達10公分，並有明顯之差異沉陷。

應變措施：

- (a) 全面停止挖作業，並以膠布覆蓋滑動區之上方之張力裂縫。
- (b) 將折斷於深度3公尺處之SI-7傾度管週圍挖開，再行接管修復，以便繼續觀測。
- (c) 補接洗車台之水管，使其不再漏水。
- (d) 將遭邊坡滑動剪斷之H型鋼中間柱（折斷點不深）以吊車吊起，整修其折斷處後再焊接於其原先位置。
- (e) 加強未發生滑動側之H型鋼橫檔及斜撐，並儘量縮短開挖至架設支撐之時間及超挖現象。

評估檢討：事件A之發生可能係因施工單位對開挖控制不良及監工人員對臨時邊坡坡度控制不當所引致。而就觀測工作之執行來說，在施工過程中，本工程所設置之觀測系統曾發揮其預警之功能，於基地西側之邊坡開挖期間，位於西側之傾度儀SI-7及SI-8均曾記錄得異常之側位移劇增之現象，其觀測之結果如圖十及圖十一所示，基地臨時斜坡滑動前（7/31/1985至8/3/1985）位移量及位移速率均明顯增大。在滑動前觀測人員曾依據監測之結果向施工單位提出建議及警告，惟施工單位不重視其重要性，因此是整個事件發生最應負責之單位，工程監造缺乏足夠之專業知識亦往往是引起工程災害之主因之一。

(3) 緊急事件B

狀況描述：1985年10月4日上午，C區北側臨時邊坡又因過於陡峭，加上土質軟弱、雨勢太大，大量雨水滲入張力裂縫，造成另一次大規模土壤滑動現象，並導致基地東南C區地質改良樁崩坍。地質改良樁崩坍之原因，經研判可能因原施工之樁體高度，經開挖後高達4.3公尺，不足以抵抗後方之土壓及水壓且施工過程中水泥與土壤之攪拌不良，易造成弱面，而導致崩坍。

應變措施：

- (a) 停止挖土工作，清除崩坍改良樁。
- (b) 以膠布蓋住改良樁體，防止雨水流入張力縫中。

- (c) 加強觀測，注意坍方區情況與南側大樓沉陷與變位情形。
- (d) 以人工開挖將改良樁自立高度由4.3公尺降至2.2公尺。
- (e) 其餘未施工之改良樁，改良高程更改為EL.0m至EL.-14m。
- (f) 以噴凝土保護清除後之坡面。

評估檢討：事件B中設置於南側大樓之沉陷觀測點S12至S15及連續沉陷計CS2在整個事件中提供了良好的參考作用。在改良樁崩坍後，每一個補救程序均依賴其觀測結果作為施工之參考，南側大樓在改良樁崩坍後之變化如圖十二所示，顯示沉陷量並未因改良樁之崩坍而有大幅之增加，因此該大樓仍屬安全，施工單位待崩坍區穩定後即迅速清除坍方土壤，並變更未施工部份D區改良樁之改良高程，減少改良樁的自立高度約2公尺，由其後沉陷量之變化亦顯示改良樁之改良高程減少，不但同樣能達到維持穩定之效果，同時亦可減少改良樁之施工數量，因此觀測系統除能提供預警與施工參考之功能外，同時亦可作為評估施工方法合適性之重要依據。

五、監測系統的展望

綜觀國際間監測系統發展的狀況，再根據台灣過去使用的經驗看來，監測系統發展的趨勢是走向自動化：自動化的記讀、處理及應用監測資料。監測系統的自動化，除了可以大幅度的降低成本，最大的效益還是在於即時有效的處理資料以及減少人為錯誤的可能性。1992年「兩岸大地工程技術交流座談會」中秦中天、游坤即對「監測系統的應用與展望」提出下列幾個方向：

(1) 目前大部份的監測記讀，還是經過人工的量測，但是除了如傾度儀觀測管、沉陷點等的監測儀器，幾乎所有的監測儀器都可以轉成為自動式的記讀（如表五，Dunnicliff & Davidson, 1991），因此也都可以變成遙控式的記讀。尤其當記讀自動化以後，再配合電腦化的資料庫管理系統，監測系統的功能可以充份發揮，效率可以大為提高。當工程規模愈大，自動化記讀的好處也愈多，因此自動化記讀的主要應用對象是在大型的公共建設，目前台北捷運系統（rapid transit systems, 即大陸習稱之地鐵）已有部份儀器將採取自動式的記讀。除了深開挖工程之外，另一個重要的努力方向是在於大型水利計劃中，監測系統的建立及全面自動化，特別是壩體基礎的各項工程。

(2) 監測系統自動化的另一個方向，是引進人工智慧（artificial intelligence）中專家系統（expert system）的應用。專家系統基本上是以一套電腦程式，運用一個專業領域的知識，並以推論的過程來解決這個領域內一些特定的問題。就其應用的形式來說，包括了解釋、預測、診斷、設計、規劃、監督、偵錯、修護、指導、控制等功能，因此專家系統也已經被成功的運用在醫學、化學及地質等領域，近年來在土木工程的应用上也日漸受到重視（秦中天等，1989）。以目前專家系統的狀況看來，在整個資料收集自動化的過程中，已可以

藉著專家系統使用，做初步的判讀偵錯以及提出預警等工作，以減輕工程師在面對大量監測資料時的負擔，減少人為疏失的可能性。長期而言，專家系統更可協助擔負起一部份回饋分析的工作。尤其深開挖工程中，牽涉的因素很複雜，使用儀器的種類很多，以專家系統的方式來協助工程師分析研判監測資料，可以減低人為疏失的可能性。

(3) 在監測資料的詮釋上，目前正在努力的是導入機率的概念，也就是引用所謂「Bayesian Updating」的方法。這個方法簡單的說就是根據某些獲得的資訊再來更新估算一個特定事件發生的機率，目前理論的基礎已經建立，例如，可以用來根據土壩中幾處水壓計量測的結果來推算整個土壩中滲流的狀況 (Hachich and Vanmarcke, 1983) 等。在深開挖工作中，則應利用每一階開挖的結果來推測下一階段，土壤及鄰近結構物的變化。自從使用「Bayesian Updating」可以說是使「觀察法」真正的落實而予以量化 (Whitman, 1984)。

(4) 此外，配合資料庫系統的發展，圖形顯示功能的加強是必然的趨勢，這樣可以利用地圖，隨時找到施工中的控制斷面，取得該斷面的資料，加以研判分析，做出必要的決定，可使資料的利用更進一步。尤其對大型工程而言，例如都會區的地鐵路網則必須結合地理資訊系統 (geographic information system)，使得從小區域特定儀器的量測到大面積施工狀況的控制，都能得到充分的掌握。

除了上述的幾項發展趨勢之外，台灣近年來最大規模的監測工作就是台北捷運系統的工作，其中監測系統結合了先進的電腦及通訊科技，建立了完整的資料庫系統，可能為目前國際間最大規模有系統的處理一項大型工程的監測資料的處理系統，因此簡述於下節，做為參考。

六、台北地鐵大地監測資料處理系統

台北都會區大眾捷運系統初期路網總長88公里，預算金額超過160億美元，其中包括地面段，地下段與高架段，另有車站、機廠及維修廠等設施。台北捷運因在人口密集之都會區進行，工程設計及施工作業品質之要求均較一般工程為高，且台北盆地土層鬆軟，地下水位高，大地工程問題十分困難，因此台北市捷運工程局設立捷運工程大地工程專業顧問，由亞新工程顧問公司擔任，提供捷運局建議及協助，以期在規劃、設計及施工階段中所遭遇之大地工程問題均在符合安全經濟之原則下獲得完善之解決。

為維護捷運施工之安全，大地監測系統為捷運工程中一個重要的環節。由於捷運工程施工方式有岩石隧道、潛盾隧道、深開挖、地質改良等工作，監測儀器種類繁多，且因路網長達88公里長，因此施工安全監測資料之數量將十分龐大，經初步估計，至少有33種儀器，而其數量將超過3000萬筆。由於人工式資料處理的最大缺點是處理能量小且速度慢，而利用電腦處理資料具有正確性高、快速處理、大量貯存、傳輸方便等優點，有鑑於此，大地工程專業顧問即針對台北捷運

系統，建立了一套完整的監測資料庫處理系統，以經濟有效的收集、儲存、分析及處理監測之資料（蕭仲光等，1991）。為了處理所有捷運工程的監測資料，大地工程專業顧問設立了一個監測資料處理中心，透過數據機（modem）及電信局之通訊網路來收集，貯存和分析全部捷運路網47個施工標，21個監測站所收集到的大地監測資料，並隨時提供資料供捷運局的地區工程處及其轄下的各工務所參考使用，資料中心及監測站的功能以及資料傳送的介面流程，可以簡化成圖十三來顯示。

整個系統之作業程序包括監測站與資料中心兩部份。監測站之一般作業程序係將所收集之量測資料，包括承商所測之全部資料與大地工程專業顧問抽測檢核之資料，經比較檢核後列出報表，同時對量測到的異常狀況，分別就預警、警戒及行動三個階段，予以發佈，最後將資料「壓縮」，傳送至電信局電子郵件信箱。資料中心即可經由電子郵件信箱將所有監測資料接收回中心後，再加以儲存並供日後之分析。整個捷運系統整體作業流程大致如圖十四所示。

監測資料除了要能及時有效的收集貯存之外，必須要能有系統的擷取應用。因此，大地工程專業顧問建立了一個完整的資料庫系統。所謂資料庫（database）係指將許多相關資料所組成的集合體，以最佳的方式將任何一個或數個作業所需資料集中組織在一起；而資料庫系統（database system）是指除資料庫外，尚須具有應用程式使能從資料庫中尋取所需要之資料，或將資料存入資料庫。捷運資料庫大致包括了儲存、擷取、顯示及維護等多項系統功能（如圖十五）。

同時資料庫之重要功能之一，即對資料庫之資料可以依不同需求而任意採擷、或能配合目前採用之文書、試算表、繪圖或專業軟體使用，使其資料表格化、圖形化，以滿足使用者之需求。例如，圖十六及圖十七所顯示的，分別就是捷運系統中明挖覆蓋斷面及潛盾斷面監測資料經過處理所呈現結果的範例。捷運系統對資料庫之應用，除行使資料庫所提供系統功能外，並作以下之應用：

- (a) 資料庫能對異常或達到界限值之資料，以表格或圖形方式，提出預警作用。
- (b) 配合專業設計程式或應用軟體，快速提供資料，以了解不同監測儀器所得之結果相互影響和關係。
- (c) 完整的監測資料在工程訴訟或發生糾紛時，提供正確原始資料。
- (d) 整理過之監測資料可和原設計參數之比較，進而修正原設計方法或使用新的設計理念。
- (e) 施工單位可依資料顯示，改良施工方式或創新施工方法。

台北大眾捷運系統工程之規模相當浩大，因此，整個監測系統所收集之資料數量亦非常驚人，如何有效的掌握資料之完整與時效，並井然有序的加以管理，是一重要課題。本資料庫管理系統即基於各方面之考慮所設計發展而成，具有下列各項優點：

- (a) 從資料庫中，可以很快地、任意的擷取所需要的資料，以供應用。
- (b) 從資料庫擷取之資料，可以立即繪圖、列印並製表。

- (c) 資料庫之資料可應用程式加以維護。
- (d) 資料均集中在一起，可隨時提供使用者所需之整體資訊。
- (e) 只要資料庫容量夠大，再多的資料亦能輕易地加以有效地處理。
- (f) 資料庫之結構與內含資料發生變動時，不影響使用者之程式。
- (g) 資料庫管理系統對其內部資料有完善的保護功能，故資料不易被偷取。
- (h) 資料庫之資料，透過傳輸系統可供相關單位取用。
- (i) 資料庫系統以畫面功能輔助設計，使用者很容易就能操作。

隨著台北捷運工程的陸續展開，大地監測系統的功能必將逐漸發揮，其中建立及使用這套系統的專業經驗，必將對日後大型工程的監測工作，如各地區的地鐵工程有重大的貢獻。

七、結論與建議

- (1) 大地工程監測系統是土木工程中一個重要的環節，監測資料的回饋分析可以提升工程技術的水準，但最重要的是正確的使用監測系統可以使工程在經濟、安全的原則下完成。
- (2) 監測儀器的發展一日千里，電腦系統收集、貯存、分析及處理資料的能力，對工程的成功更具關鍵性，但是在使用上最重要的還是工程師的判斷與解釋資料，以及及時採取正確的行動。
- (3) 過去經驗顯示，使用監測系統的費用支出甚小而效益極大，尤其是深開挖工程，對於工地的安全以及鄰房的保護，監測系統所能發揮的作用尤其重大，各公共工程的主管機關以及大樓建設的開發業主，都應將監測系統列入工程中必須進行的一項工作，編列預算，推動執行。

誌 謝

本文得以完成，感謝鄭在仁先生提供寶貴資料，及黃立煌、詹世倍、朱專誌、劉軒如等同仁提供意見並協助完稿，作者謹此一併致謝。

參考文獻

- 王春煌 (1991) , 安全觀測系統, 深開挖設計理論與施工實務研討會論文集, 台北。
- 秦中天, 游坤 (1992) , 監測系統的應用與展望, 兩岸大地工程技術交流座談會, 北京。
- 秦中天, 徐中銘, 梁龍書, 謝旭昇 (1989) , 專家系統在大地工程上的應用, 第三屆大地工程學術研究討論會, 屏東, 台灣。
- 亞新工程顧問公司 (1986) , 台北盆地大地工程性質調查分析與研究工作 (一) : 台北市地下工程失敗案例探討及建議工作, 台北。
- 蕭仲光, 秦中天, 詹世倍 (1991) , 台北捷運大地工程監測系統之資料處理, 電子計算機於土木水利工程應用論文研討會, 桃園, 臺灣。
- Abramson, L.W. & Green.G.E.(1985), Reliability of Strain Gauges and Load Cells for Geotechnical Engineering Applications, Reliability of Geotechnical Instrumentation, Trans. Res. Record, No.1004.
- Dunncliff, J. (1988) , GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION FOR MONITORING FIELD PERFORMANCE, John Wiley & Sons, New York.
- Dunncliff, J. & Davidson, D. (1991) , Lessons Learned from Automating Instrumentation at Some U.S. Dams, Geotechnical News, June.
- Hachich, W. & Vanmarcke E.H. (1983), Probabilistic Updating of Pore Pressure Fields, J. of Geot. Engrg. Div., ASCE, Vol. 109, No.3.
- Moh, Z.C. & Chin, C.T. (1991), Geotechnical Considerations for Underground Mass Rapid Transit Systems, Tan Sri Datuk Prof. Chin Fung Kee Lecture, Proc., 9th Asian Regional Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., Bangkok, Vol.2.
- Moh,Z.C. & Song,T.F. (1980), Instrumentation for Deep Excavation Monitoring - A Case Study, Proc., 6th Southeast Asian Conf. on Soil Engrg., Taipei, Vol.2.
- Peck, R.B. (1988) , Forward of the book : GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION FOR MONITORING FIELD PERFORMANCE, written by J .Dunncliff, John Wiley & Sons, New York .
- Whitman, R.V. (1984) , Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering, J. of Geot. Engrg. Div.ASCE, Vol.110, No.2.

表一 常用深開挖監測儀器

監測類別	監測儀器	監測目的
地下水/水壓	水位觀測井	量測地下水位之深度。
	水壓計 <ul style="list-style-type: none"> • 懸管式 • 振弦式 • 電阻式 • 壓氣式 	量測土層中不同深度之水壓力。
應力/荷重	土壓計 <ul style="list-style-type: none"> • 振弦式 • 液壓式 • 電阻式 	量測土層中不同深度之土壓力。
	鋼筋計 <ul style="list-style-type: none"> • 振弦式 • 電阻式 	量測不同結構物內鋼筋所承受之應力。
	支撐應變計 <ul style="list-style-type: none"> • 振弦式 • 電阻式 	量測支撐桿件於施工中所承受之應力。
	支撐荷重計 <ul style="list-style-type: none"> • 振弦式 • 電阻式 • 液壓式 	量測支撐桿件於施工中所承受之軸向荷重。
側向位移	傾斜儀觀測管 (土層/連續壁內)	量測土層/擋土結構之側向位移變形量。
沉陷/隆起	沈陷點 <ul style="list-style-type: none"> • 建物 • 地面 • 管線 	量測地表、建物和鄰近地下管線之沈陷。
	伸縮儀 <ul style="list-style-type: none"> • 單點式 • 多點式 	量測土層中不同深度之土壤垂直位移(沈陷)量。
	隆起桿	量測土壤因開挖過程(解壓)所造成之土壤隆起量。
	沈陷桿/沈陷板	量測填土工程中所造成之沈陷量。
結構物 傾斜/裂縫	傾斜計	量測結構物因施工產生之角度量。
	裂縫計 裂裂儀	量測不同結構物因施工造成之裂縫大小。
其他： 溫度/濕度/ 震動/噪音	溫度計	量測大氣或不同材料之溫度。
	溫度儀	量測大氣中之濕度情況。
	振動感應器	量測結構物受不同振源(人爲/自然)產生之振波加速度等。
	噪音感應器	量測因不同聲源(施工機具等)所造成之音響大小。

表二 華航大樓土層簡化表

深度 m	土壤柱狀圖	土壤描述	N 值	單位重 rt t/m ³	剪力強度參數				壓密係數	壓縮係數
					總應力		有效應力			
					C t/m ²	φ 度	\bar{C} t/m ²	$\bar{\phi}$ 度	Cv cm ² /sec	mv cm ² /sec
▽2.0 3.0		黏土	4	2.0	-	-	-	-	-	
9.0		細至粗砂含礫石。	6	1.99	-	-	0	33.6	-	
28.0		粉土質黏土。	5	1.93	4.0	11.3	2.3	22.8	15.3*10 ⁻³ (8.4*10 ⁻³)	1.9*10 ⁻³ (9.1*10 ⁻³)
32.0		粉土質砂。	8	2.0	-	-	-	-	-	
45.0		砂質或粉土質黏土。	10	1.91	6.2	20	8.0	25	7.5*10 ⁻³ (3.1*10 ⁻³)	7.5*10 ⁻³
54.0		黏土。	22	2.0	-	-	-	-	4.5*10 ⁻³ (2.7*10 ⁻³)	22.0*10 ⁻³

*括弧內之數值為再壓(recompression)階段之數據。

表三 華航大樓監測儀器一覽表

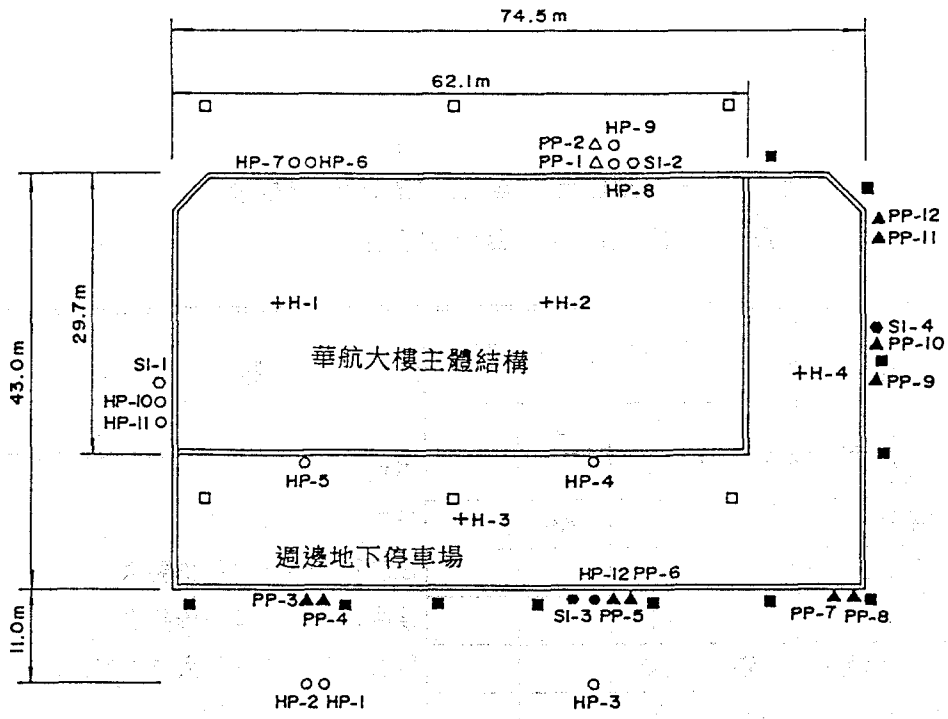
儀器項目		儀器數量		監測頻率
		第一階段	第二階段	
隆起桿		2	2	每階開挖前後，必要時每天一次
沉陷點	路面及建築物	38	32	10天一次
	筏式基礎	23	23	至少每週一次，必要時增加量測頻率
水壓計	壓氣式	2	10	每2至3天一次
	豎管式	11	1	每1至2天一次
支撐應變計		36	24	每1至2天一次
傾度觀測管		2	2	每階開挖、預壓前，一般狀況每週一次

表四 東區大樓土層簡化表

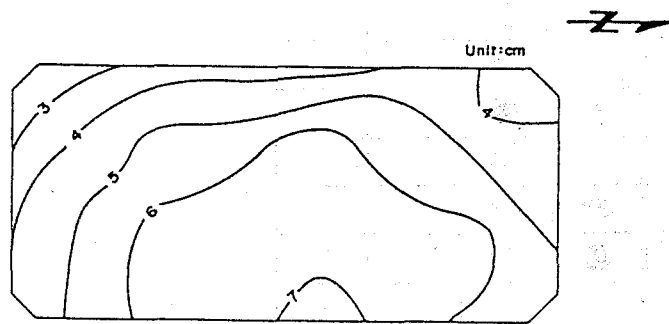
深度, m	土壤狀況說明	N 值	含水量 Wn %	單位重 rt t/m ³	不排水 剪力強度 Su t/m ²	剪力強度參數			
						總應力		有效應力	
						C t/m ²	φ 度	\bar{C} t/m ²	$\bar{\phi}$ 度
▽1.6 2.0	回填土或細砂質粉土	3	38	1.78	-	-	-	-	-
11.0	粉土質黏土或黏土質粉土偶夾貝屑、有機物。極軟弱至軟弱。(CL)	2	35	1.84	2-3	3.0	12	0	32
22.0		3	40	1.76	3-4	2.5	10	0	32
31.0		6	36	1.80	4 6.5	2.0	14.0	0	31
59.0	粉土質黏土偶夾粉土質細砂薄層，偶含有機物中等堅實至堅實。(CL)	16	33	1.88	6.5 12	-	-	-	-
68.0	極緊密粉土質砂，含少量礫石及岩塊。	>80	-	-	-	-	-	-	-

表五 各項監測儀器自動化計讀之困難程度
(Dunncliff & Davidson,1991)

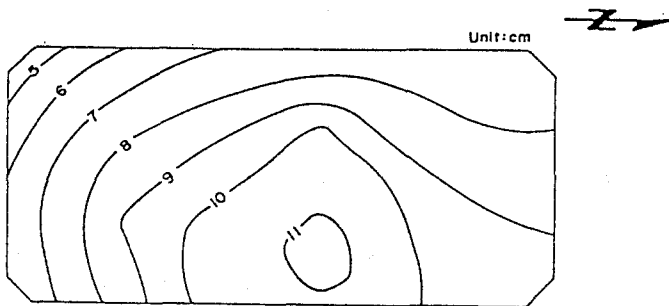
儀器種類	自動化之程度				附註
	1	2	3	4	
豎管式水壓計		●			備註： 程度1:直接 程度2:需要某些特殊要求 程度3:需要更多特殊要求 程度4:對於自動化實際上有困難
壓氣式水壓計			●		
振弦式水壓計		●			
電阻式水壓計		●			
4-21mA壓力轉換式水壓計	●	●			
變位計	●	●			
探針式伸張儀				●	
鑽孔式伸張儀	●	●			
探針式傾度儀				●	
壓氣式土壓計			●		
電阻式土壓計		●			
電阻式荷重計與應變計		●			
振弦式荷重計與應變計		●			
液壓式荷重計		●			
可變電阻式溫度計	●	●			
熱偶式溫度計		●			
雨量計	●	●			
流量計	●	●			
震測計				●	



圖一 華航大樓基地與監測儀器平面配置圖

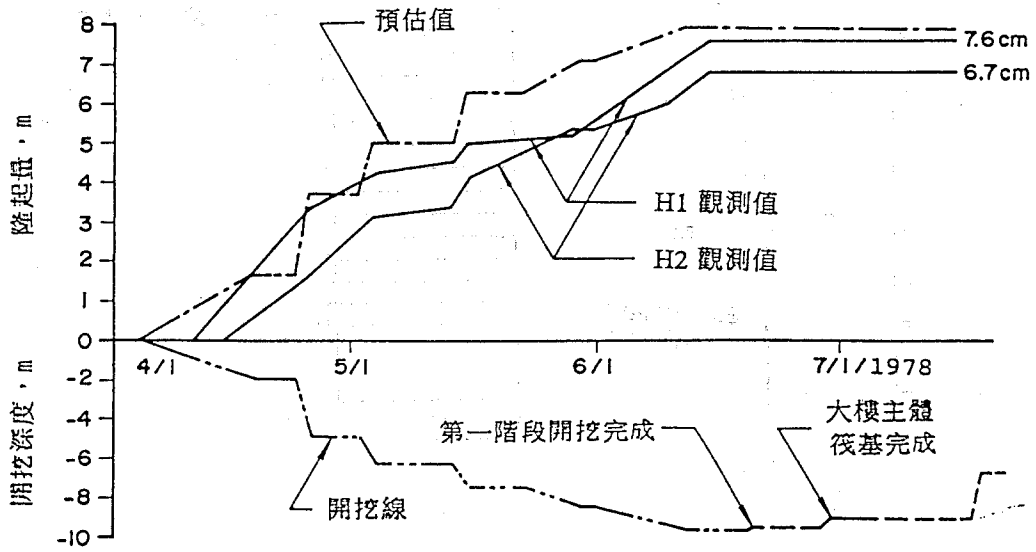


a. 大樓11樓完成，第二階段開始前 (05/09/1979)

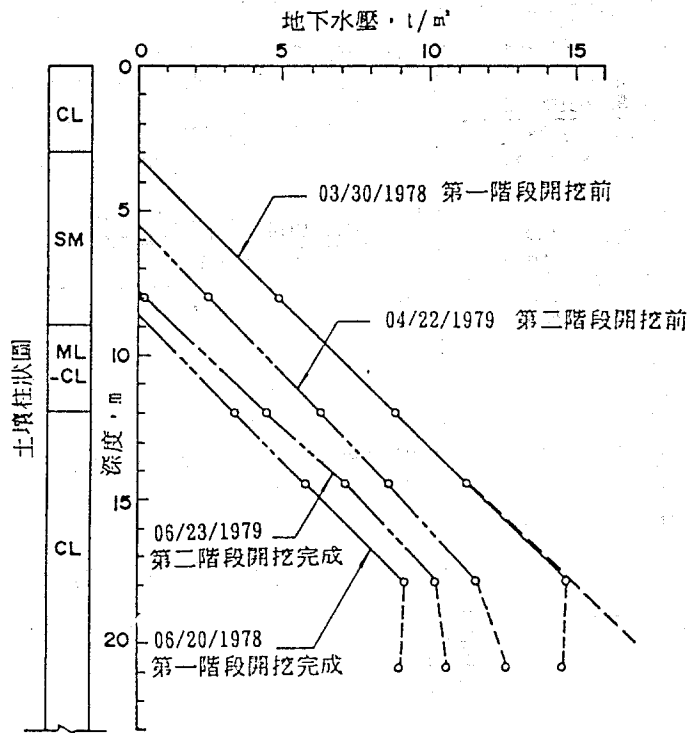


b. 大樓主體結構全部完成 (02/03/1980)

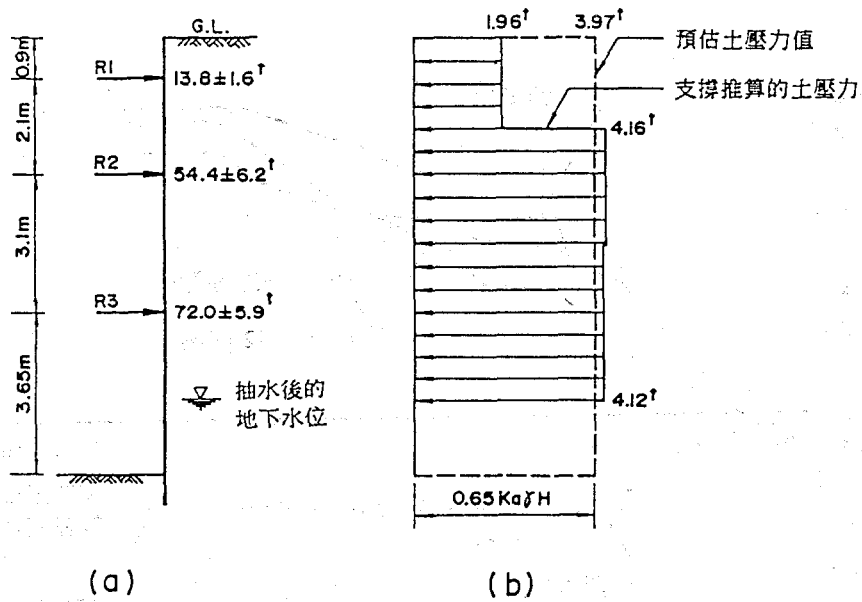
圖二 華航大樓筏基沉陷量



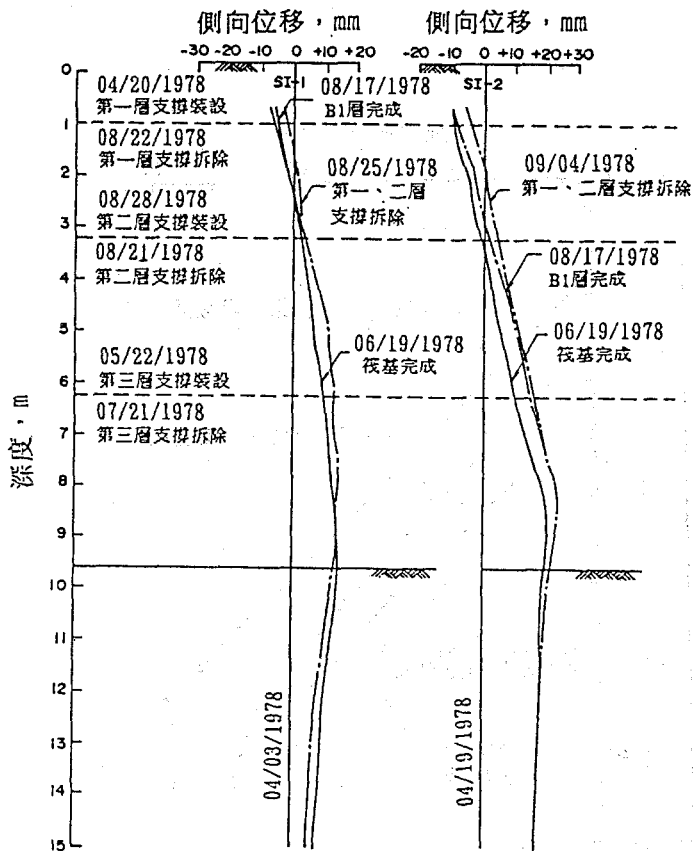
圖三 華航大樓隆起桿觀測



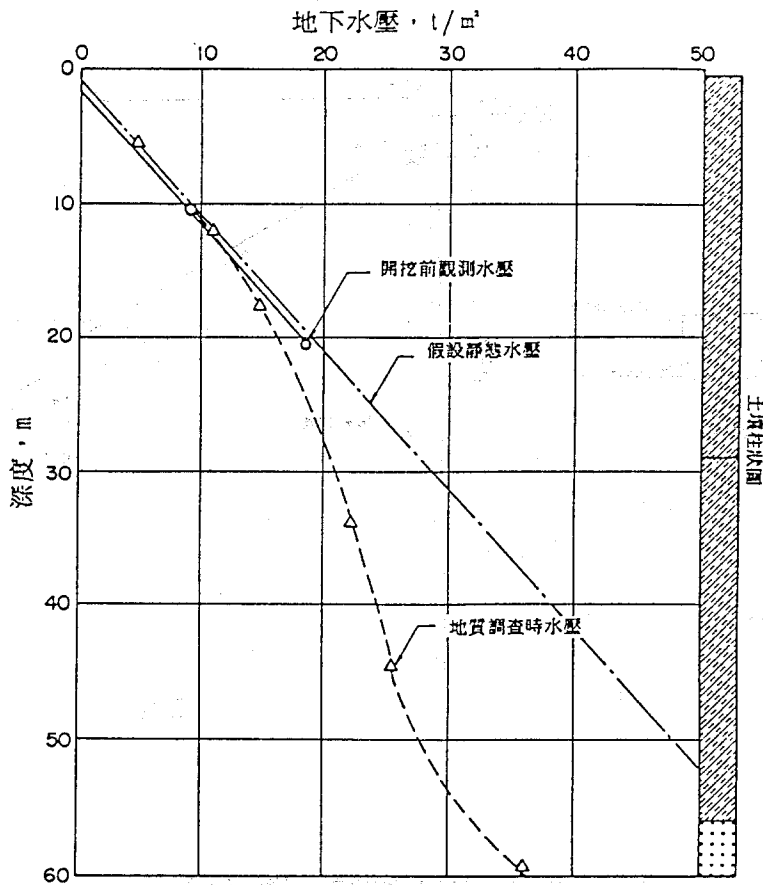
圖四 華航大樓西側各階開挖水壓分佈



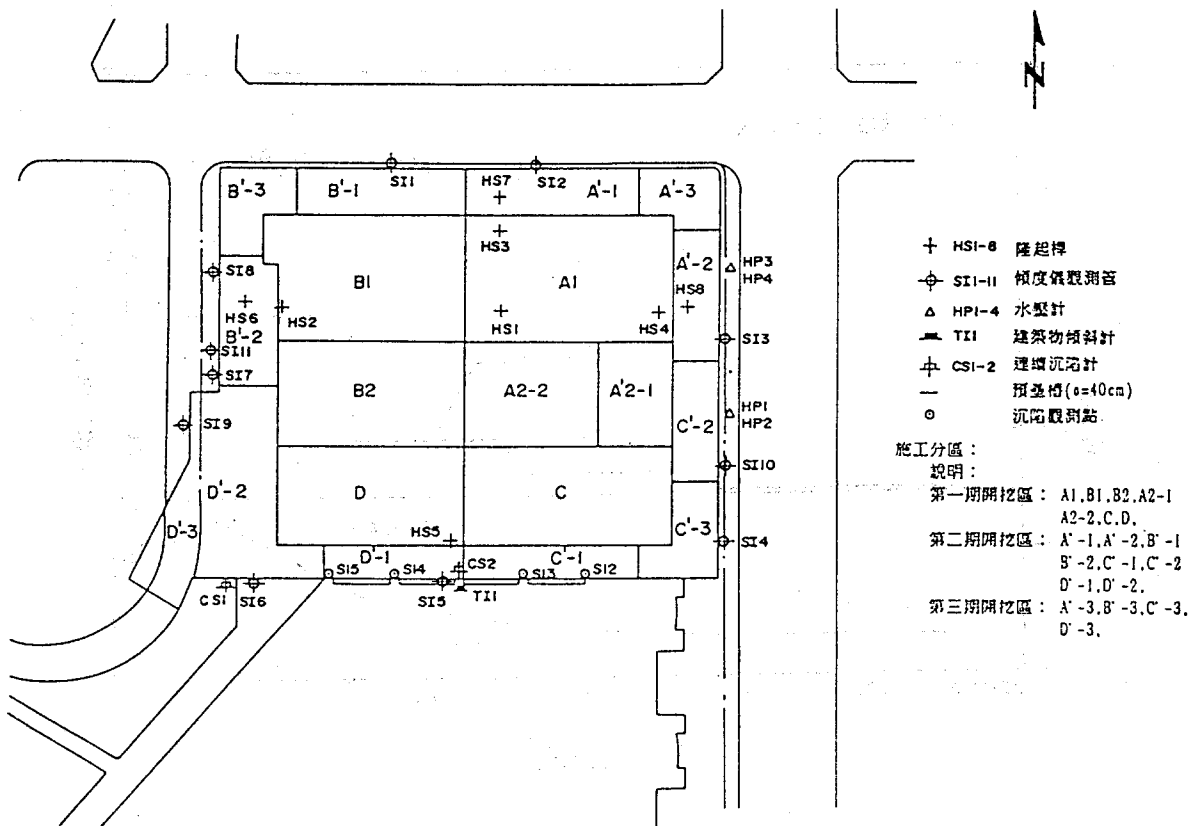
圖五 華航大樓預估及由監測推算的土壓力分佈



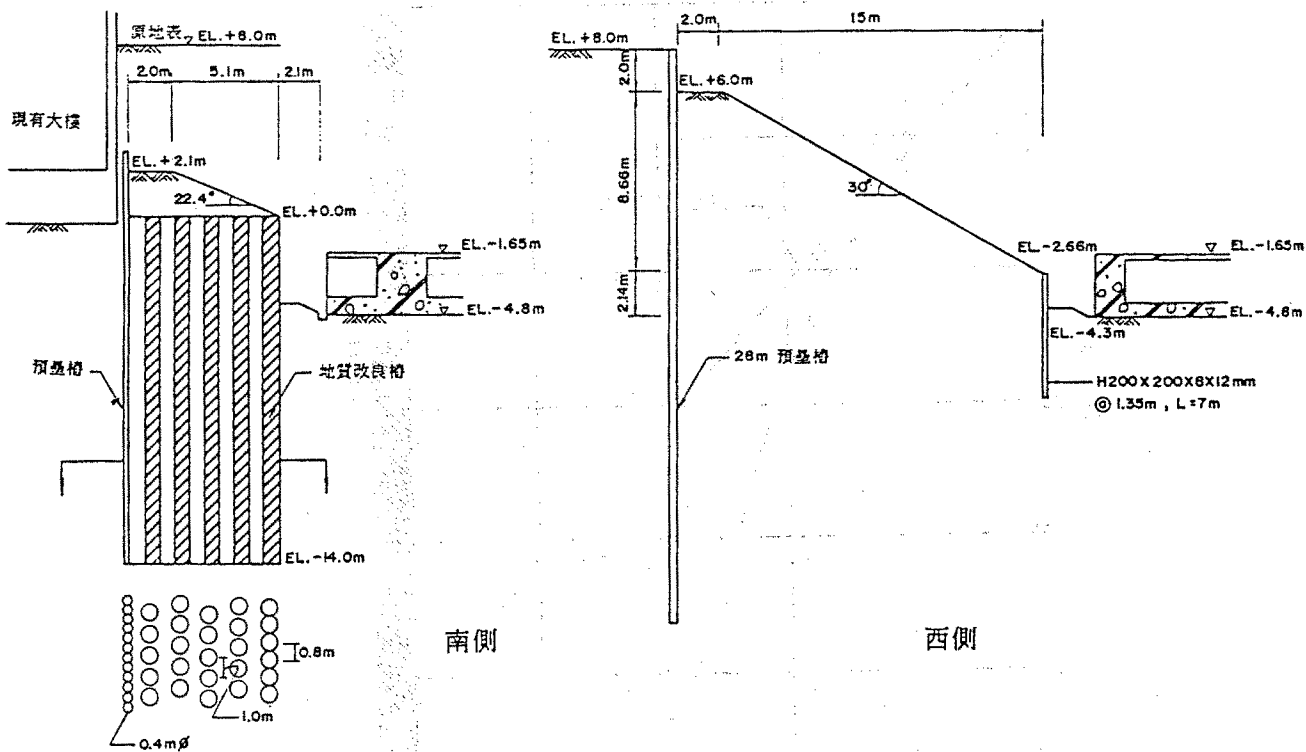
圖六 華航大樓擋土結構側向位移



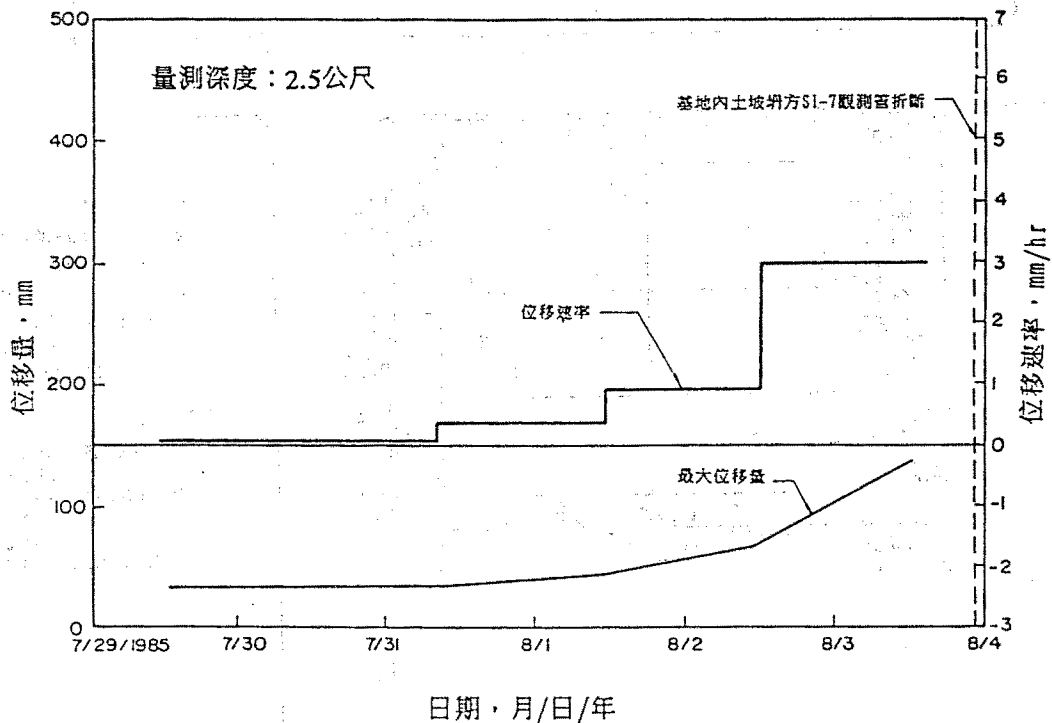
圖七 台北市東區大樓地下水壓與深度之變化關係



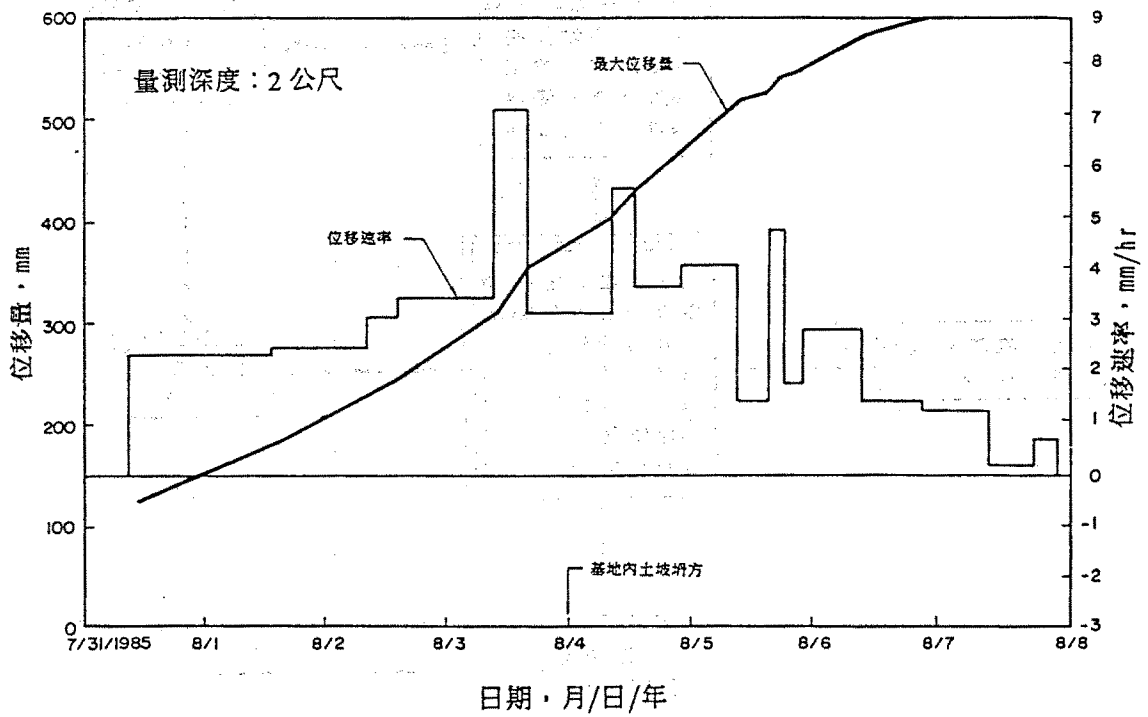
圖八 台北市東區大樓基地施工分區及儀器配置圖



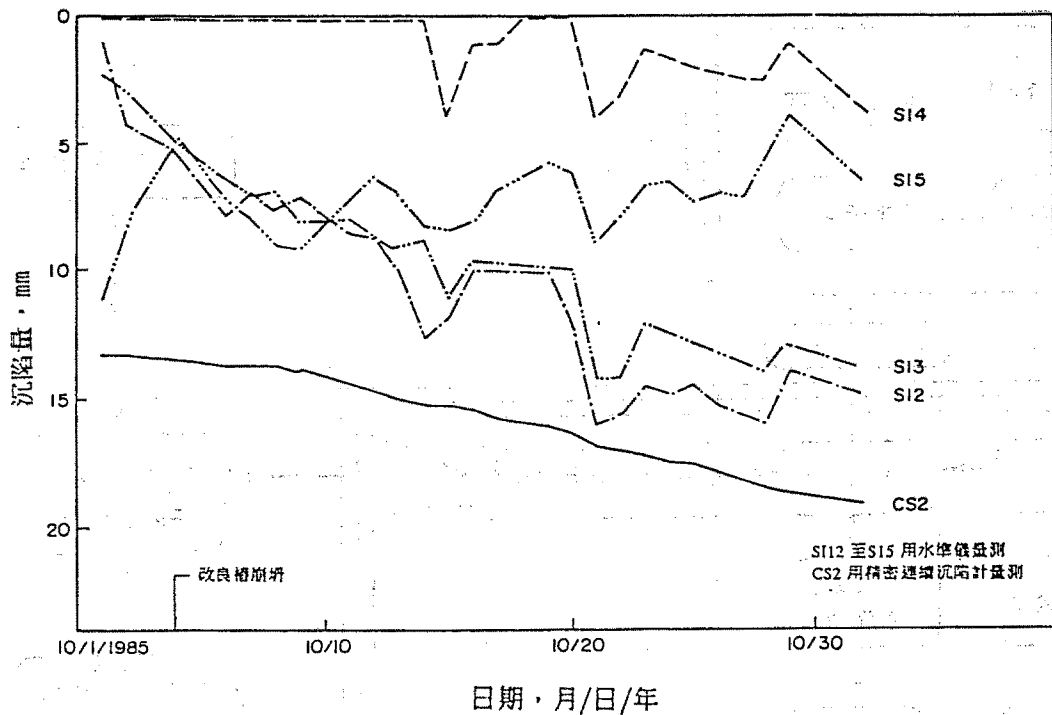
圖九 台北市東區大樓施工斷面圖



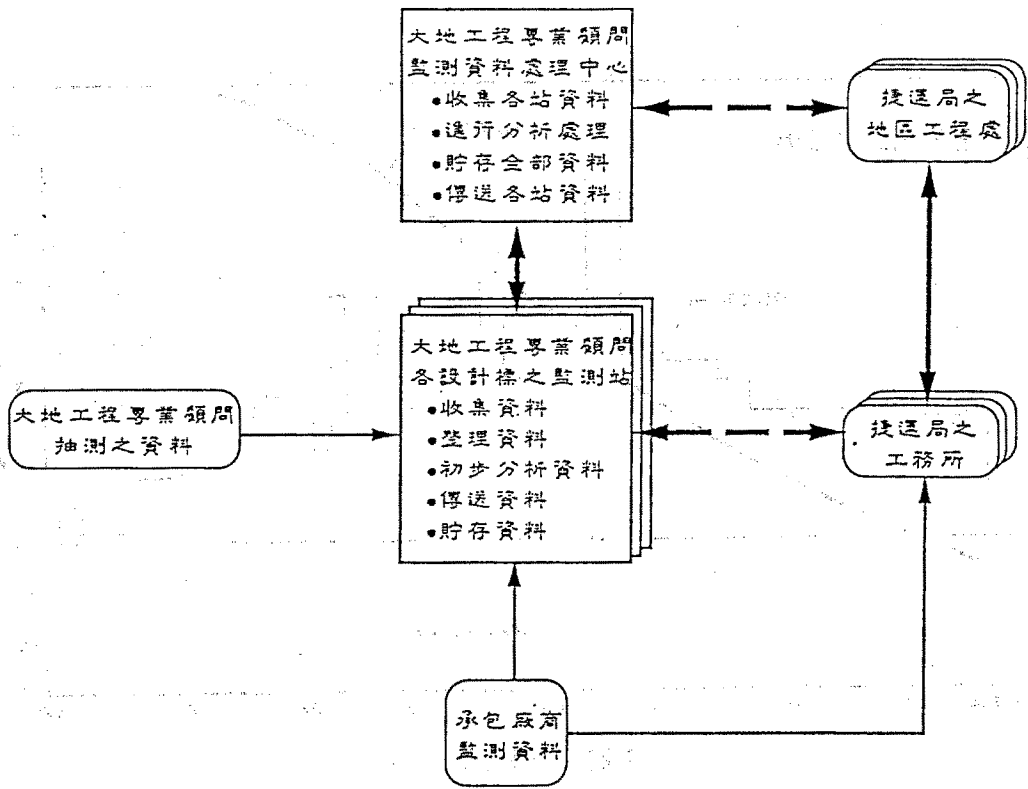
圖十 台北市東區大樓西側傾度管SI-7於臨時斜坡滑動前之量測結果



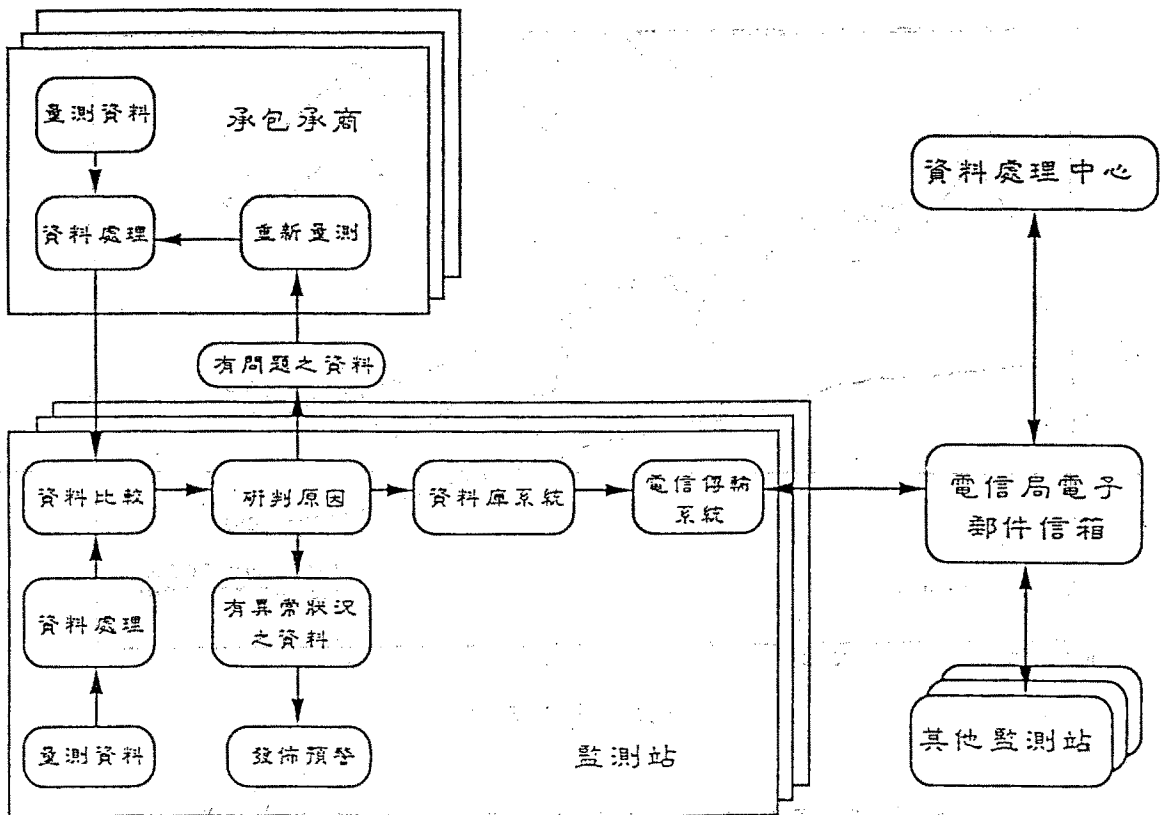
圖十一 台北市東區大樓西側傾度管SI-8於A2.2及B1開挖時之量測結果



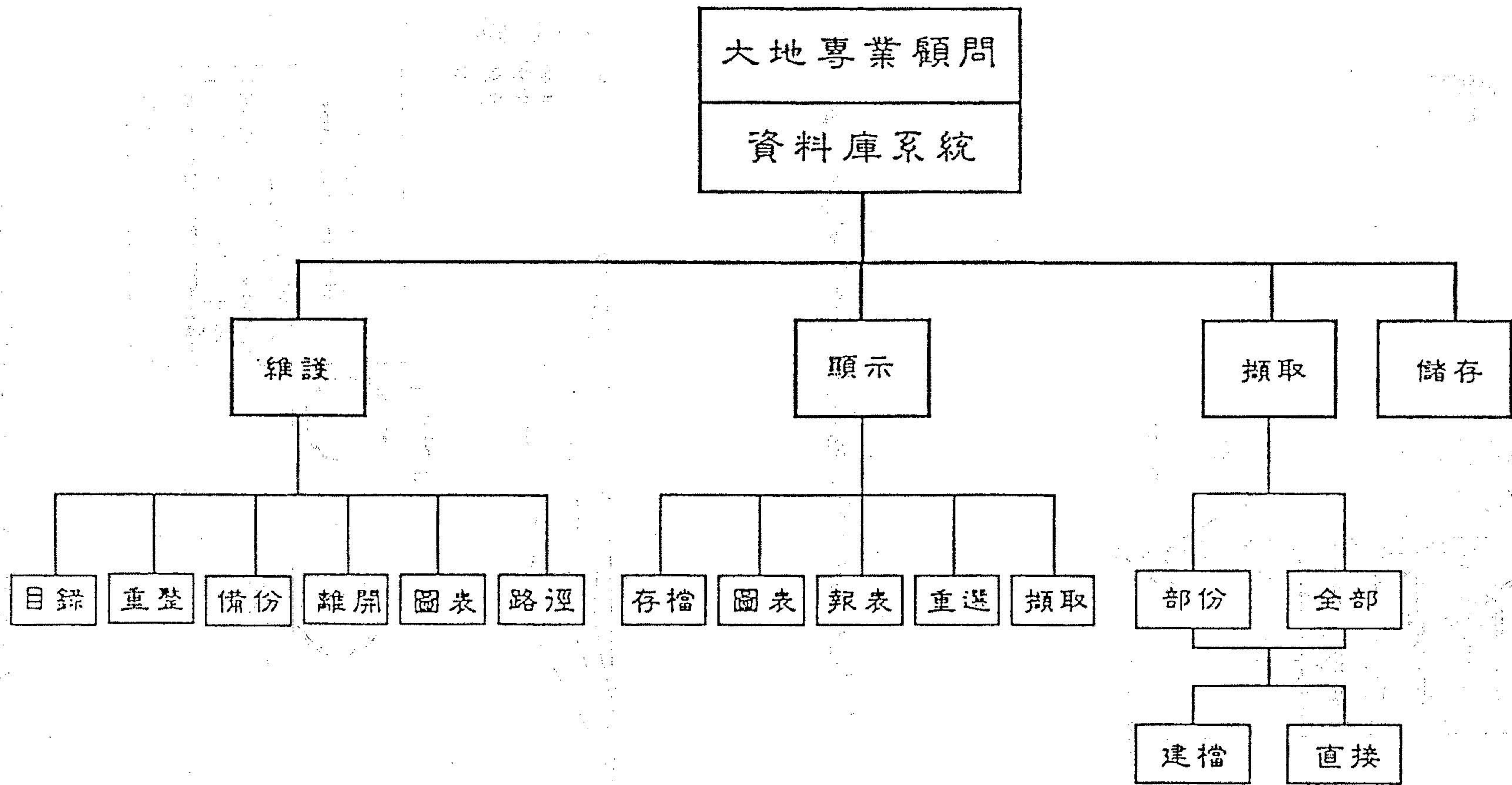
圖十二 台北市東區大樓南側(C區)改良槽崩塌後南側大樓沉陷變化



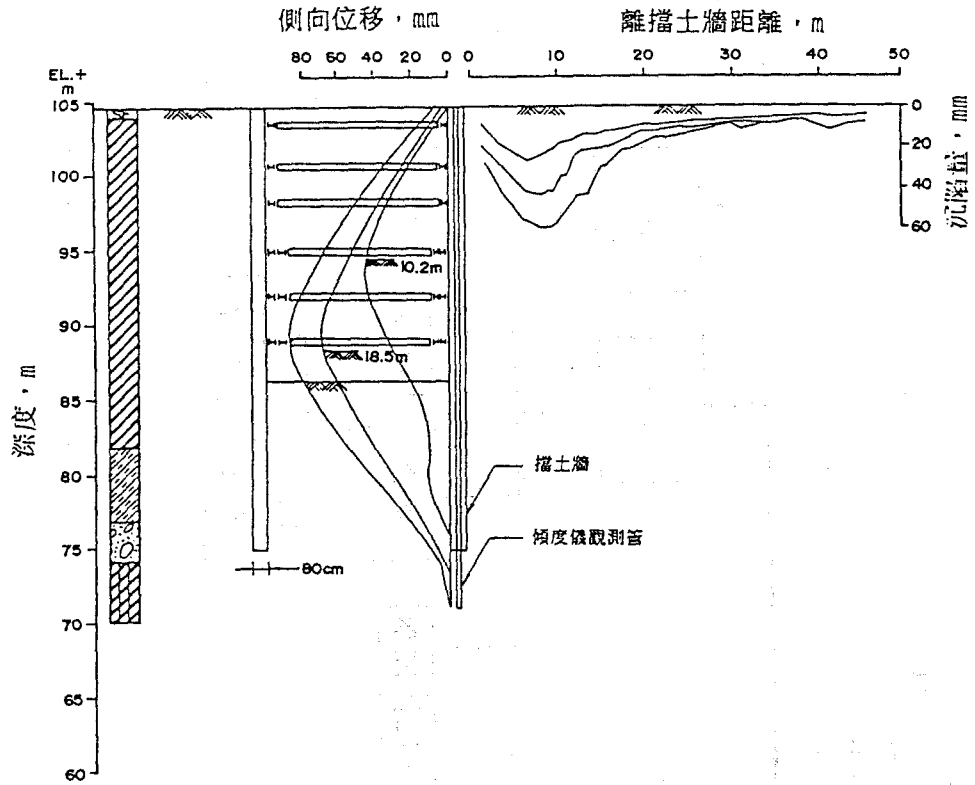
圖十三 台北捷運大地監測各單位介面



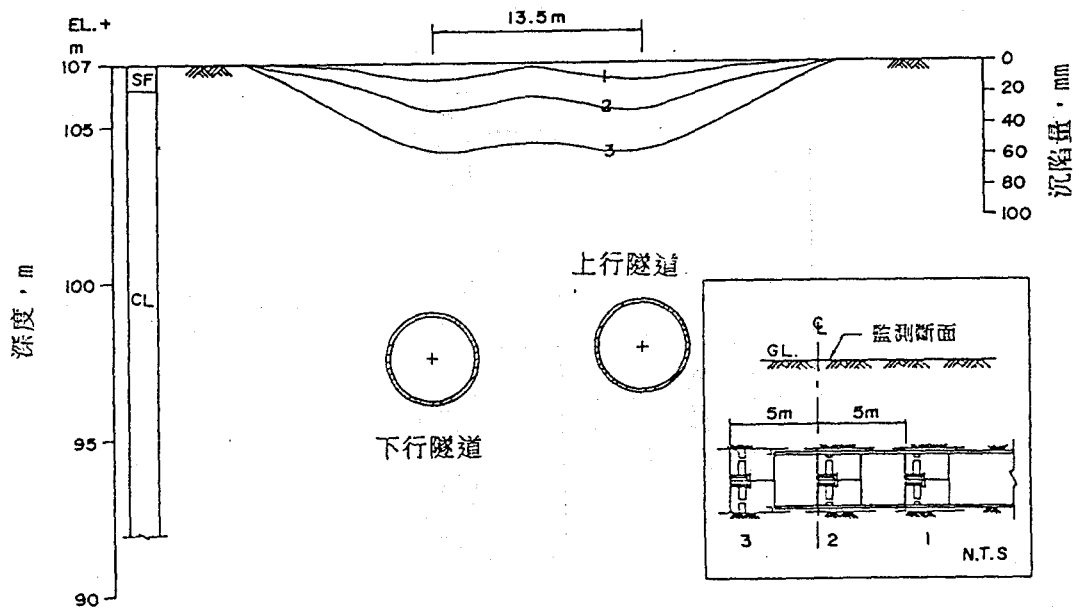
圖十四 台北捷運大地監測作業流程圖



圖十五 系統之功能圖



圖十六 台北大眾捷運系統工程明挖覆蓋斷面監測結果示意圖



圖十七 台北大眾捷運系統工程潛盾斷面監測結果示意圖