

監測系統的應用與展望  
**THE PROSPECT AND APPLICATION OF  
MONITORING SYSTEM**

秦中天，游 坤  
C. T. Chin and K. Yu

原文發表於  
兩岸大地工程技術交流座談會  
北京，1992年

*Reprinted from Proceeding of  
Symposium of Cross-Strait Geotechnical Engineering  
Inter-Communication, Beijing, 1992*

# 監測系統的應用與展望

## THE PROSPECT AND APPLICATION OF MONITORING SYSTEM

### ABSTRACT

Geotechnical monitoring instrumentation system can provide a reliable information to build a construction works with desirable safety and economics. The data collected from the system are not only valuable for using back analysis for further understanding about works but also good in advancing geotechnical engineering technique. In past decade, it was an excellent expression using monitoring system on many construction works in Taiwan. This paper introduces the basic concept about how to apply the monitoring technics on field geotechnical construction; then, provides the process of in-situ works from three practical construction cases as well as the Taipei Mass Rapid Transit System respectively. The process of monitoring data collecting, dealing and transferring is also the major concern. The prospect of future development is assessed finally.

# 監測系統的應用與展望

秦中天 游 坤

亞新工程顧問股份有限公司

## 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大地工程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。基於過去的經驗，本文首先要闡釋使用監測系統的一些基本理念；然後再以三個工程案例來說明監測技術的發展過程；接著要介紹台北捷運系統監測工作，重點尤在強調超大型工程中，大量監測資料收集、處理、傳輸及使用的過程。最後再參考國際間監測系統的發展及臺灣的技術水準，針對未來監測系統使用的趨勢，提出評估及建議。

## 二、基本觀念

由於土壤、岩石的性質複雜，基地調查的範圍有限，大地工程師在設計時都會有所假設，因此為了做出安全而有效率的設計，並確保施工時的安全、經濟，工程師們必須借助監測儀器系統來觀測土壤、岩石在施工時的變化，因此對大地工程師而言，監測系統是項非常重要的工具。

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，監測系統在國際間、在台灣都已經被廣泛的使用。國際間的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；而今天是許多單位要求使用監測系統，但造成了誤用與濫用，誤以為監測系統能夠改變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一個正確的認識：監測系統的本身不是工程的目的，

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；監測系統的本身是用來獲取資料，但最重要的還是在於工程師對資料正確的解釋和及時採取的行動。

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：

- (1) 需要對大地工程的基本原理有徹底的了解。
- (2) 對於監測儀器的功能及缺點有深入的認識。
- (3) 充分曉得儀器安裝時實際的問題。
- (4) 清楚的知道施工程序。
- (5) 對於地層可能發生的變化要能有所體認。
- (6) 必須確實的知道如何取得紀錄及運用所得到資料。

### 三、工程案例

監測系統經常被用在深開挖、填工、邊坡、路堤、隧道及樁基礎等工程上，本節將介紹三個案例，說明監測系統過去在台灣曾經使用的狀況：

#### 3.1 台北市華航大樓基礎開挖監測

中華航空公司大樓於台北市繁華的商業區內，大樓地上13層，地下室兩層，開挖深度為10.7公尺。這棟大樓的高樓部份大約佔全部面積的55%，但是地下室的結構則全面延伸到整個基地。基礎的型式為筏式基礎。為確保筏式基礎在高樓部份及空地部份的差異沈陷不致過大，並顧慮深開挖時的施工安全，這個工程採用了大地工程監測系統，這也是台灣最早採用監測系統的幾個工程之一。

這項工作採用的儀器包括了沈陷點、隆起桿、水壓計、傾度管以及應變計，裝設的位置如圖一所示(Moh and Song, 1980)。監測工作提供了許多寶貴的資料以確保施工的順利，在這個案例中最值得注意的是筏式基礎的差異沈陷。由於荷重的不均勻，大樓必須分高樓部份及周圍部份兩階段施工，在施工階段施工的程序則根據監測資料加以修正，最後整個基地的工作分成了下列幾個步驟：開挖大樓部份的地下室；在地下室開挖完成後即灌水並同時開始興建大樓部份的上部結構；當上部結構第七層完成時，開始開挖週邊的地下室；在大樓第12層構築完畢後，將地下室的水抽出；最後則是主體結構與外部地下室的完成。根據這樣的施工程序，並隨時監測基礎底版的沈陷(圖一)，最後整個大樓的完

成，並沒有發生超過允許的差異沈陷。

這一個工程對於支撐的荷重，擋土結構的變位也都有嚴密的控制，充分顯示了在台北這樣的軟弱土層中進行深開挖監測系統的重要，所以，監測系統就被廣泛的接受，時至今日，在台灣一般的高樓深開挖工作中監測系統幾乎已經成為一項例行的工作了( Moh and Chin, 1992 )。

### 3.2 高雄興達電廠基樁承载力分佈監測

興達火力發電廠自1978年抽砂回填開始建廠以來，至1987年已安裝完成了四部50至55萬千瓦的發電機組以及兩座250公尺高的煙囪。為了興建新的機組，同時由於整個廠區在過去數年中都在以每月0.1至0.4厘米的速率沈陷，因此在1987年進行一組裝有監測儀器的樁載重及拉拔試驗，並配合現地水壓計等的監測結果，以充份了解該地區基樁承载力的長期行為( Yen et. al., 1989 )。

圖二所示為興達的土層狀況及各試驗樁中應變計的位置。以試驗樁TP4為例，TP4為60公分樁徑，36公尺長的鋼管樁，其中各試驗樁都還加裝了變位計( tell-tale )。從圖三中可看出各應變計在試樁過程中所顯示軸力的變化，經過推估，可從圖三中看出真正的軸力分佈與視軸力( apparent axial force )分佈的差異，其產生的原因就是由於打樁時殘餘應力( residual stress )所造成的影響。換言之，樁載重試驗僅能顯示樁的極限承载力，而無法顯示摩擦力和點承力分佈的狀況，因此，如果沒有將殘餘應力的效應扣除，在興達電廠，會將樁的摩擦力高估了約20%而低估了點承力的部份。由於加裝監測儀器，因此得以掌握點承力和摩擦力分佈的狀況，因此對日後興達電廠基樁設計有重要的影響。

由於廠區長期沈陷，所以基樁在樁載重試驗完成後仍然進行長期監測，以了解樁的負摩擦力，從樁載重試驗結束後的長期觀測中( 圖四)顯示軸力隨時間增加的關係，其變化與水壓有密切的關係，而最終的增量，即長期的下拉力( downdrag force )幾乎可到達極限承载力的30%。

興達試樁及監測的結果，對新建廠區提供了寶貴的資料，使得日後機組擴充工程中對樁的行為以及長期的軸力分佈有充份的了解。在台灣對於重大工程的樁基礎，例如台中電廠( Duann et al., 1993 )，現在都要求在試樁中加上監測系統的部份，以充份掌握樁的行為。

### 3.3 高雄興達電廠油槽預壓堆料進度控制監測

台灣電力公司於1980年為興建興達火力發電廠第一、二部機五萬公秉油槽，進行地質改良工程，以打設排水砂樁及預壓之方式增加土壤強度。顧慮預壓時基地土壤之穩定性，因此設置了監測系統，以便根據觀測資料之分析研判，隨時控制預壓料堆積高度並採取適當之工程措施，以確保地質改良工作能順利完成。

油槽之直徑為94公尺，地表至地下45公尺之土層在地質改良之50公分砂床下分為表土砂層、軟弱粉土質粘土層、粉土質細砂層、粉土質粘土層以及粉土質細砂層等五層(詳圖五)。排水砂樁共1746支，樁徑45公分，樁深12.5公尺。監測儀器為沈陷桿及水壓計，其裝設位置如圖五所示。

油槽預壓料之填築，自1980年8月29日開始至同年12月14日達最大之預壓，高度約8.3公尺，最大預壓荷重約16.2噸/平方公尺，預計分六次填築完成。但當預壓料填築高度至6.5公尺時，為求加快預壓料填築進度以縮短工期，根據監測結果分析需在油槽基地外圍築建土堤，以防止土壤滑動，有關土堤之位置、形狀及高度見圖五所示。因此即時於1980年11月17日至20日完成該土堤，並嚴密控制預壓料堆積高程，終於在1981年1月29日在油槽基地完成預壓，隨即進行預壓料之挖運移除工作，至同年2月19日完成挖運工作，卸料方式為每次移除2公尺之預壓料高度，分四個階段連續實施。

最後結果顯示，基地之土壤在預壓過程中穩定性均未產生任何問題，而地質改良工作能夠完成，土壤之強度大為增加，油槽得以順利興建。

臺灣有許多應用監測系統以控制地盤改良工程進行之案例(如Moh et al., 1982; 游坤等, 1984)，均顯示出監測系統在這類工程中扮演了重要的角色，對工程的安全進行極具效益。

#### 四、台北捷運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以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。此一大地工程專業顧問之工作，分為三期，均由亞新工程顧問公司擔任，在設計、招標、施工各階段之工作項目，大致如表一所述。

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，且因路網有88公里之長，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31種儀器（表三），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。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，可以簡化成圖六來顯示。

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(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，再將正確無誤之資料儲存於監測站本身所包含之一小型資料庫內，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七所示。

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(如圖九)。

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擷取、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，圖九及圖十所顯示的，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：

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 施工單位可依資料顯示，改良施工方式或創新施工法。

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：

- (1) 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。
- (2) 從資料庫擷取之資料，可以立即繪圖、列印並製表。
- (3) 資料庫之資料可應用程式加以維護。
- (4) 資料均集中在一起，可隨時提供使用者所需之整體資訊。
- (5) 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。
- (6) 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。
- (7) 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。
- (8) 資料庫之資料，透過傳輸系統可供相關單位取用。
- (9) 本資料庫系統以畫面功能表輔助設計，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，必將對日後超大型工程的監測工作有重大的貢獻。

## 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。

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（如表二，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，目前台北捷運已有部份儀器將採取自動式的記讀。現在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。

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應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的使用，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。

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。自從Peck（1969）提出所謂“觀察法”（Observational Method）以來，使用“Bayesian Updating”可以說是使“觀察法”真正的落實而予以量化（Whitman, 1980）。

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。尤其對超大型工程而言，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。

這節談到了許多方向，但要特別強調的是所有自動化的努力不是在全面取代工程師的分析和判斷，而是在節省工程人員的精力，避免工程師的疏失，尤其藉由系統的大量貯存，快速運算以及優越的繪圖能力，使工程師能擁有一套具有萬千功能的有力工具，充份掌握工程的進展，不僅能使工程在符合安全經濟的原則下完成，更能有效進行各項回饋分析的工作，以提升大地工程的水準。

## 六、結論

大地工程監測系統是土木工程中一個重要的環節，正確的使用監測系統可以幫助工程在經濟安全的原則下完成，監測資料的回饋分析更可以提升工程技術的水準。現在監測儀器的發展已經相當精密可靠，但在使用上最重要的還是工程師正確及時的判斷與解釋。在海峽兩岸各項建設陸續開展之際，監測系統必將扮演一個重要的角色，除了一般的監測儀器將被廣泛的應用在各項工程中，電腦系統收集、貯存、分析及處理資料的能力在超大型工程中，對工程的成功更是具有關鍵性的地位。由於大型工程的重要性，上節所提到專家系統的引進，機率概念的應用以及與地理資訊系統的結合更是顯得格外迫切，而這方面國際大地工程界也都僅在於起步的階步，海峽兩岸的工程師們在這方面如能更加努力，不僅可以在國際間研究的領域中爭取領先的地位，對各項的大型公共建設會有莫大的幫助，更有助大地工程水準的全面提升。

## 參 考 文 獻

亞新工程顧問公司 (1980) 興達電廠一、二部機五萬公秉油槽地質改良工程觀測試驗報告，計劃編號80035, 35頁。

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，第1~6頁。

游坤，胡邵敏，王劍虹 (1984) 預壓工法在改良油槽基礎之之實例研究，中國土木水利工程學會七十三年年會論文專集，第231~244頁。

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，第 871~888 頁。

Duann S.W., Kao, T.C. and Liou, G.J. (1993) The Behavior of Load Distribution of Single Pile and Group Pile, Submitted for Publication, 11th Southeast Asian Geot. Conf., Singapore.

Dunnicliff, J. & Davidson, D. (1991) Lessons Learned from Automating Instrumentation at Some U.S. Dams, Geotechnical News, June, pp.46-51.

Hachich, W. and Vanmarcke E.H. (1983) Probabilistic Updating of Pore Pressure Fields, J. of Geot. Engrg. Div., ASCE, Vol. 109, No.3, pp.373~387.

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, pp.3~15.

Moh, Z.C. & Chin C.T. (1992) Soft Ground Engineering Practice in Taiwan, Proc., Int'l Sym. on Soil Improvement and Pile Found., Nanjing, pp.48~69.

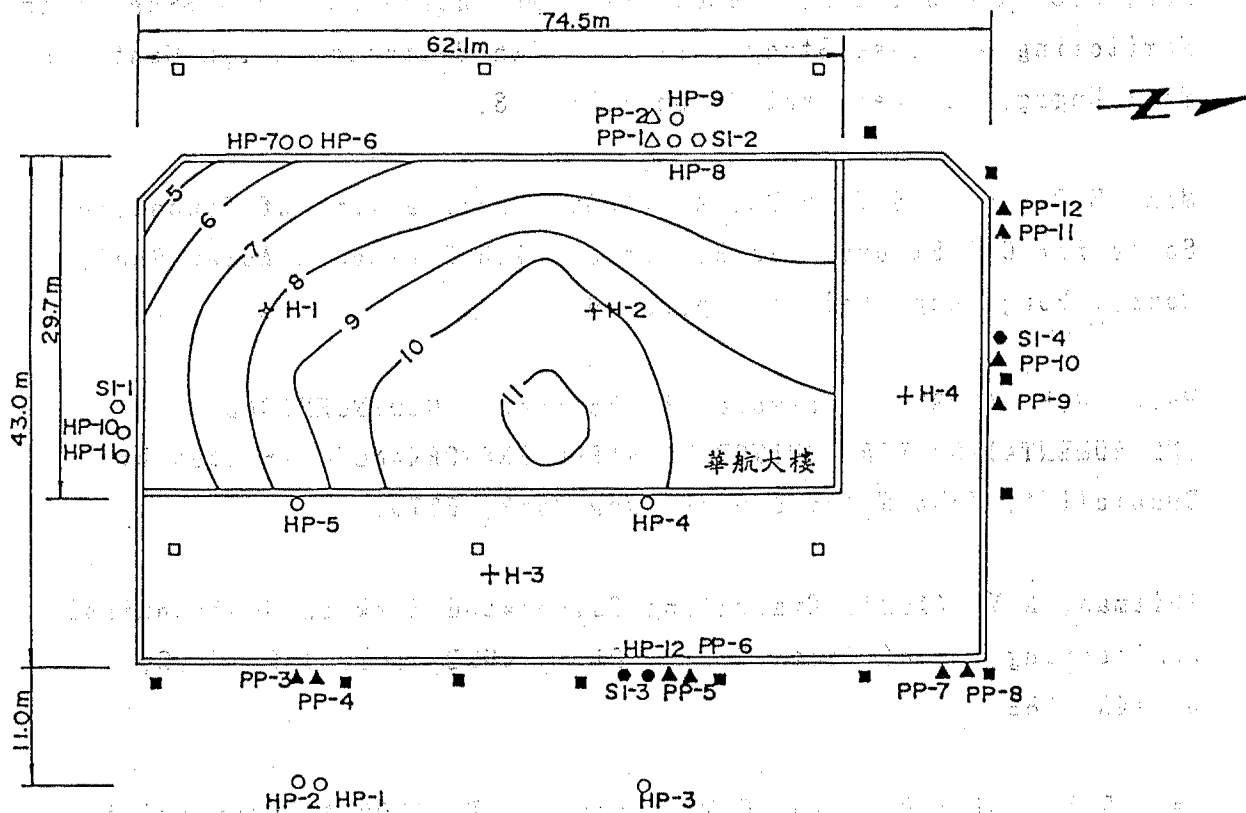
Moh, Z.C. & Song, T.F. (1980) Instrumentation for Deep Excavation Monitoring - A Case Study, Proc., 6th Southeast Asian Conf. on Soil Engrg., Taipei, Vol.2, pp.337~353.

Moh, Z.C., Woo, S.M. & Yu, K. (1982) Pretreatment of Foundation Soils for Oil Storage Tanks, Proc., 7th Southeast Asian Geot. Conf., Hong Kong, Vol. 1, pp.599-614.

Peck, R.B. (1988), Forward of the book : GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION FOR MONITORING FIELD PERFORMANCE, written by J. Dunicliff, John Wiley & Sons, New York, 577p.

Whitman, R.V. (1984) Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering, J. of Geot. Engrg. Div., ASCE, Vol. 110, No.2, pp.143~188.

Yen, T.L., Lin, H, Chin, C.T. & Wong, R.F. (1989) Interpretation of Instrumented Driven Steel Pipe Piles, Proc., Congress of Found. Engrg.: Current Principles and Practices, Illinois, USA, Vol.2, pp.1293-1908.

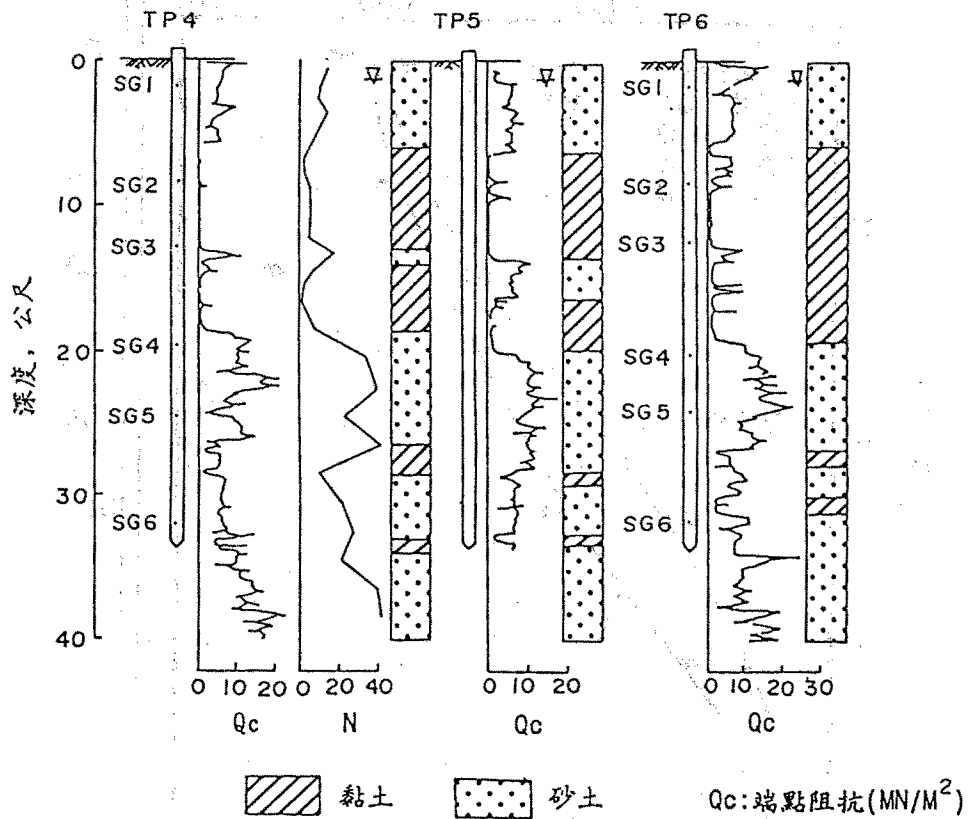


附註：  
筏式基礎沈陷點  
未示於圖中

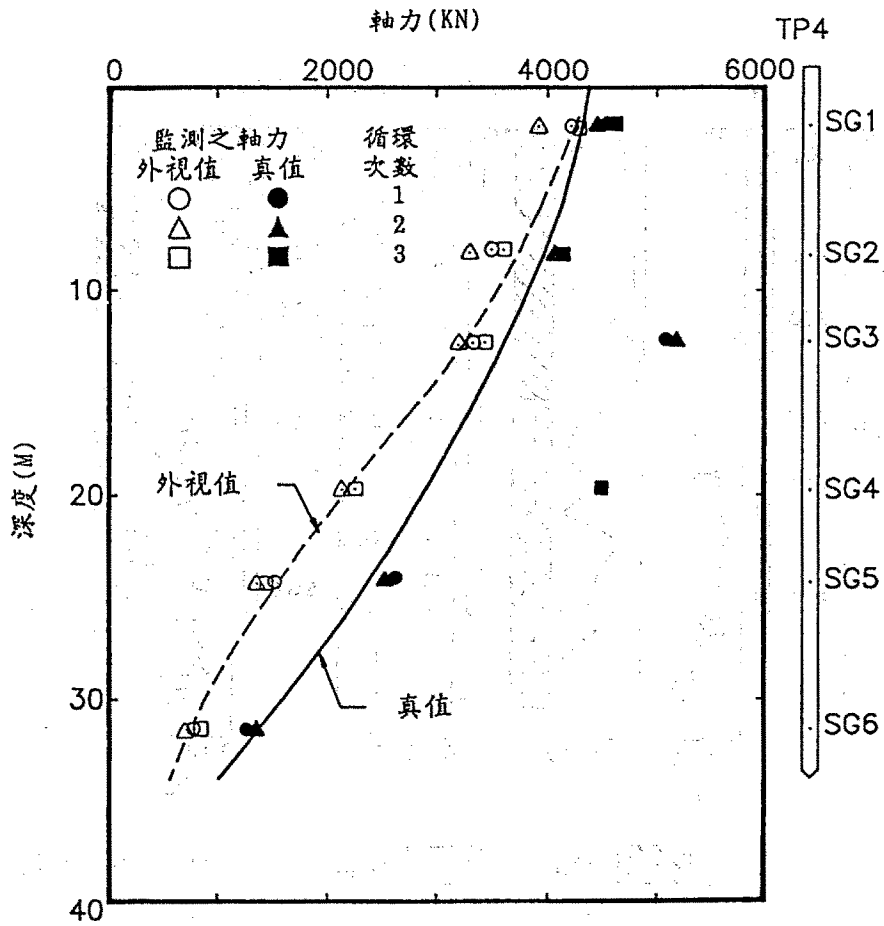
符號	
第 I 階段	第 II 階段
△	▲
○	●
◇	◆
□	■
+	+

氣壓式水壓計  
 豎管式水壓計  
 傾度管  
 抽水井  
 隆起桿

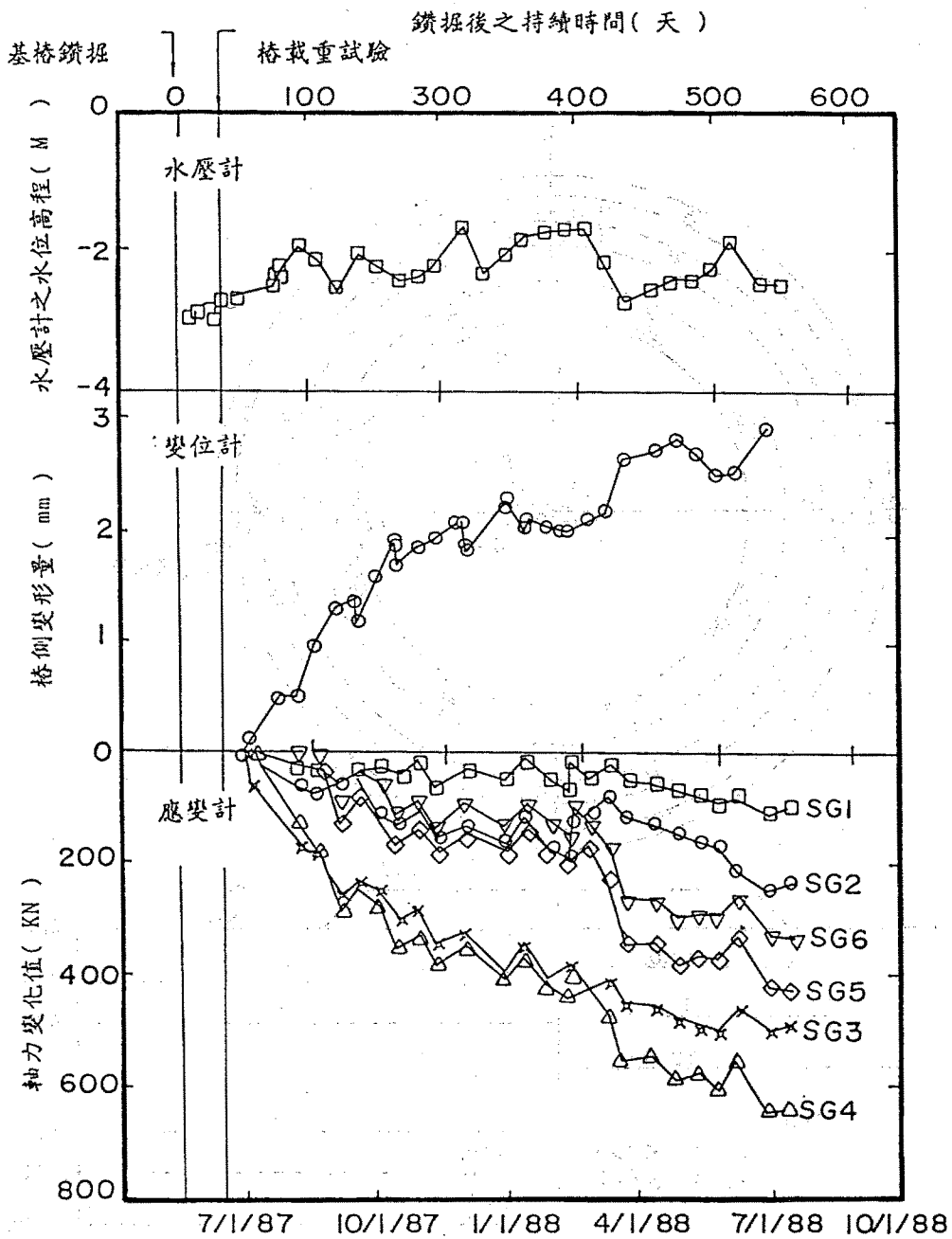
圖一 華航大樓主體結構完成時筏基之沈陷量 ( Moh and Song, 1980 )



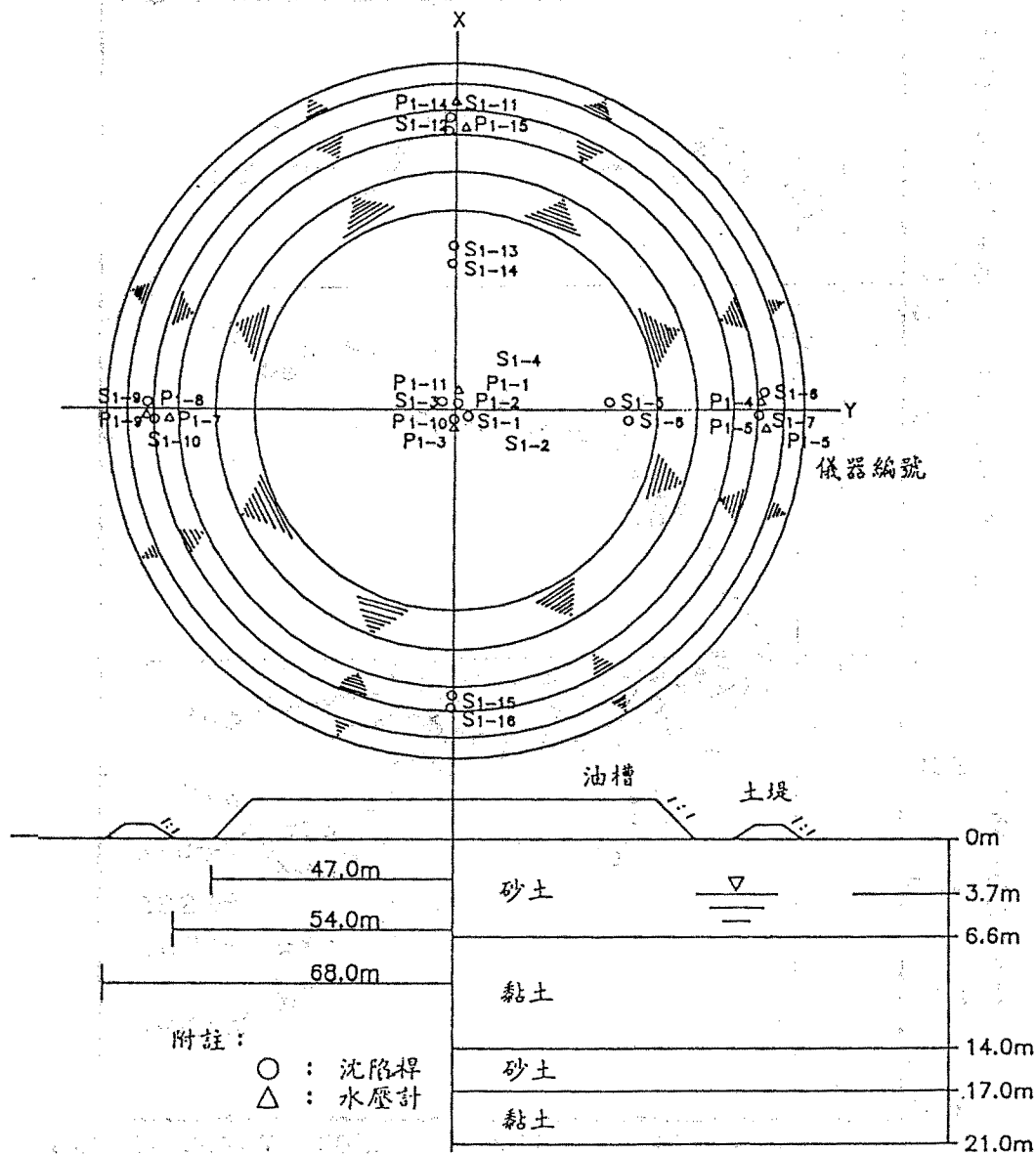
圖二 土層狀況及應變計在試驗樁上之位置 ( Yen et al., 1989 )



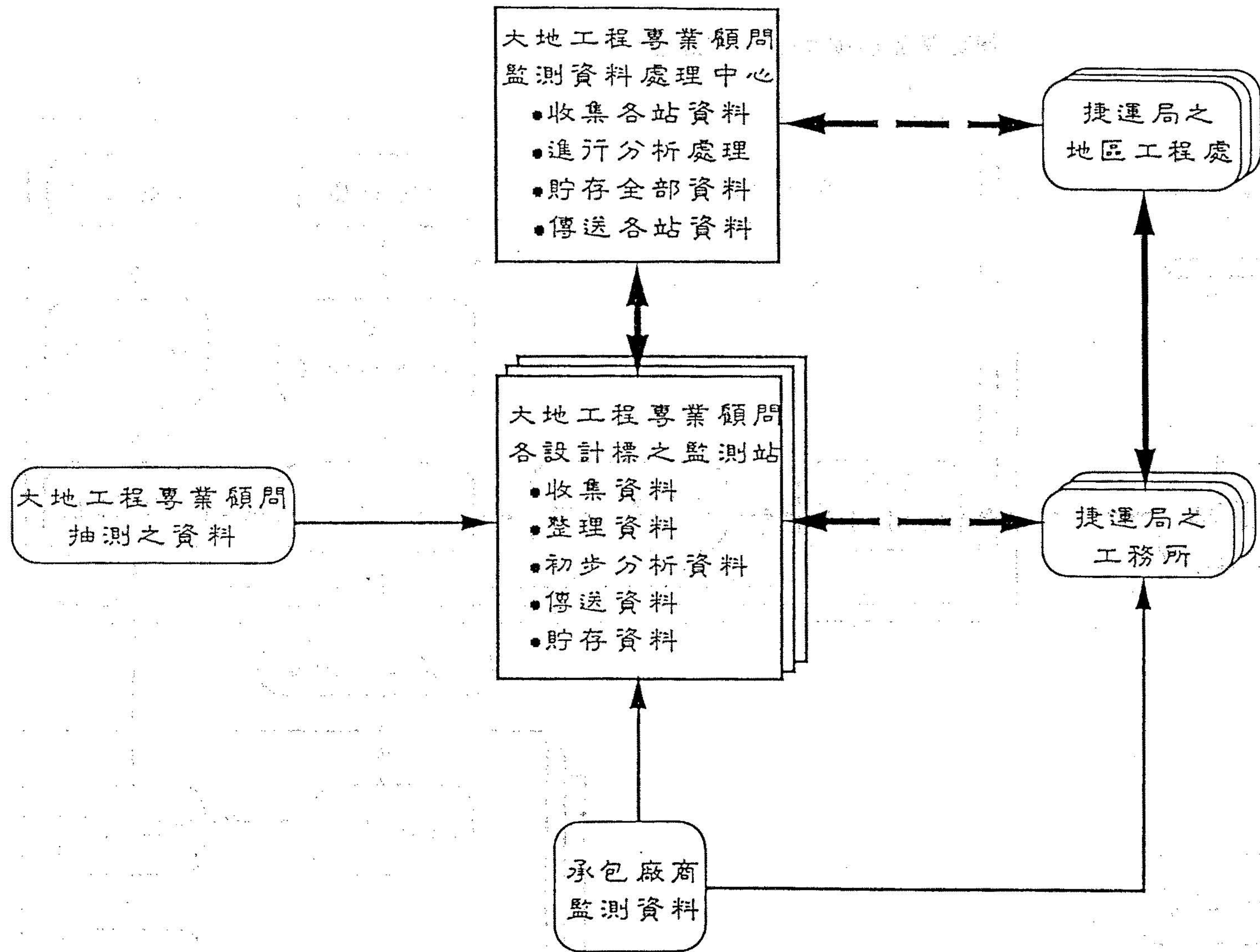
圖三 試驗樁在樁載重試驗中軸力的分佈 ( Yen et al., 1989 )



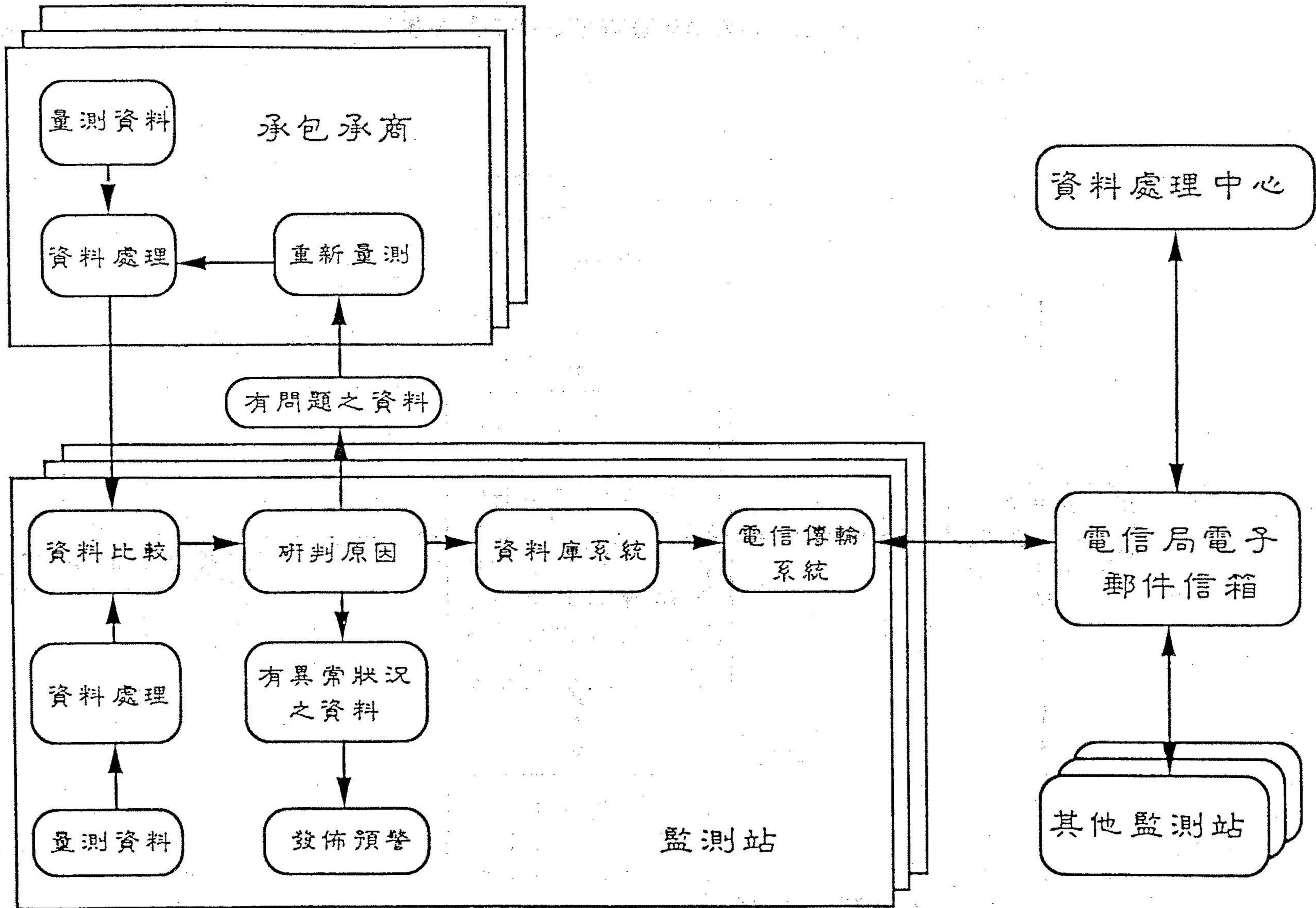
圖四 TP4 試驗樁之長期監測結果( Yen et al., 1989 )



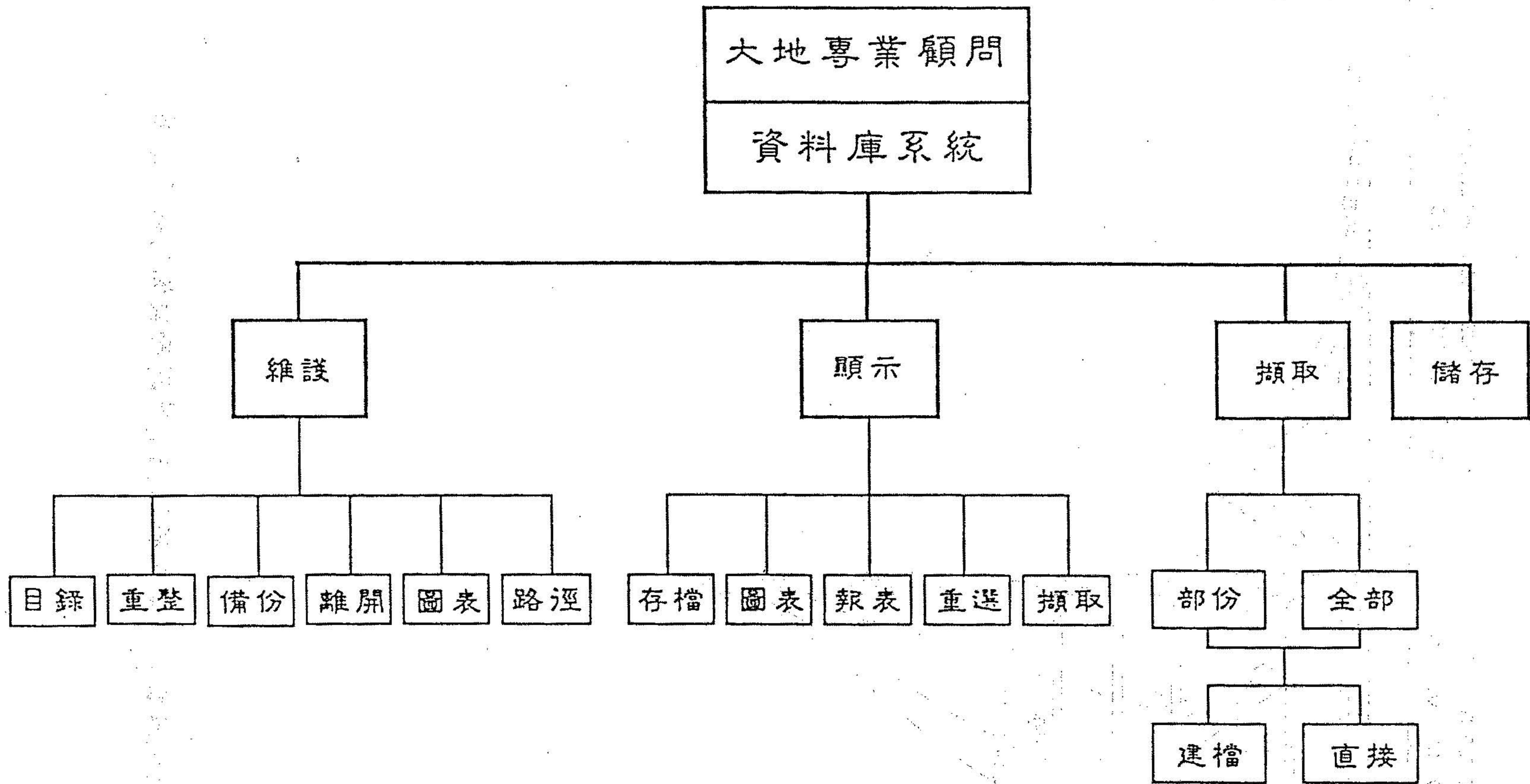
圖五 油槽監測儀器位置圖 (亞新, 1980)



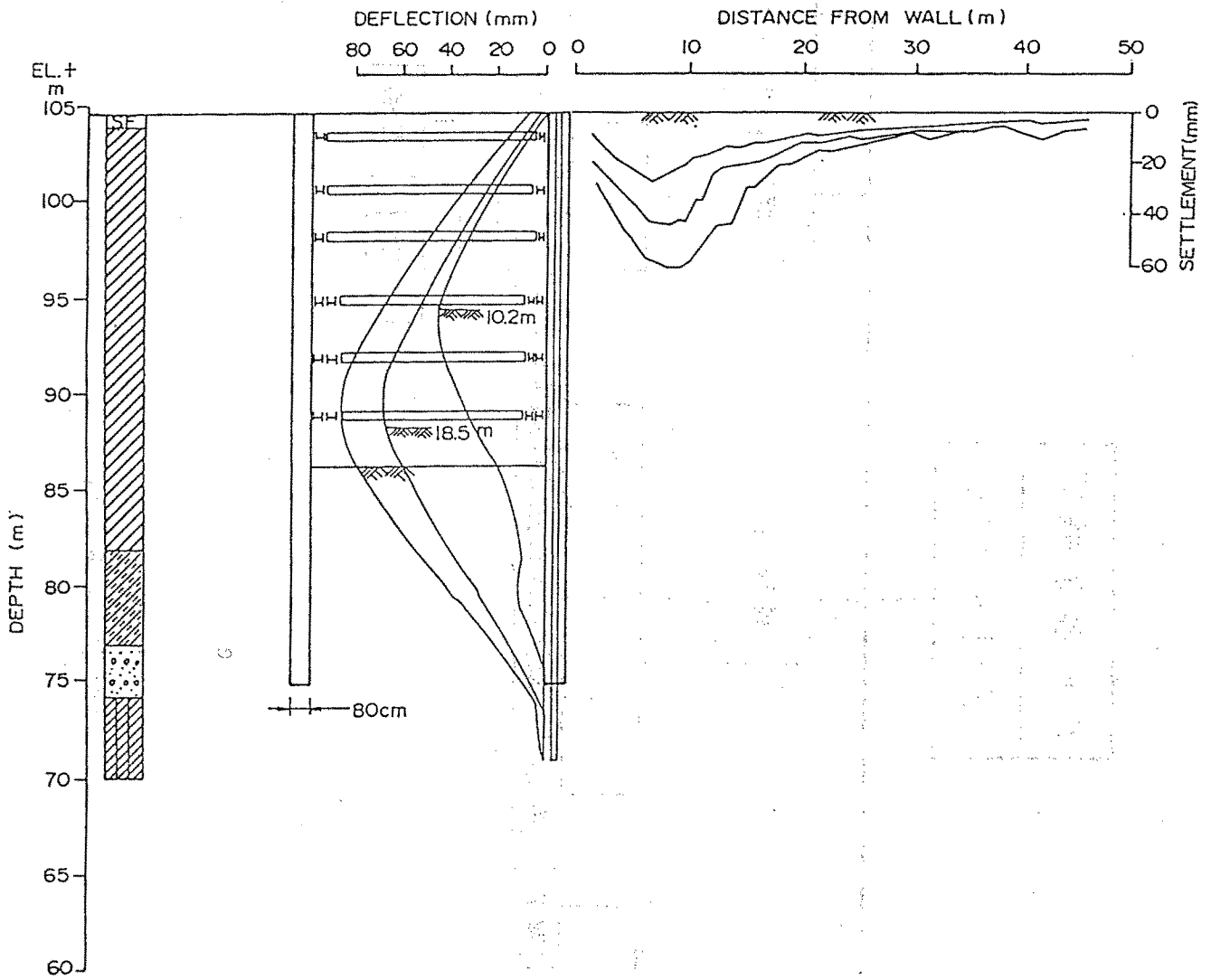
圖六 台北捷運大地監測各單位介面



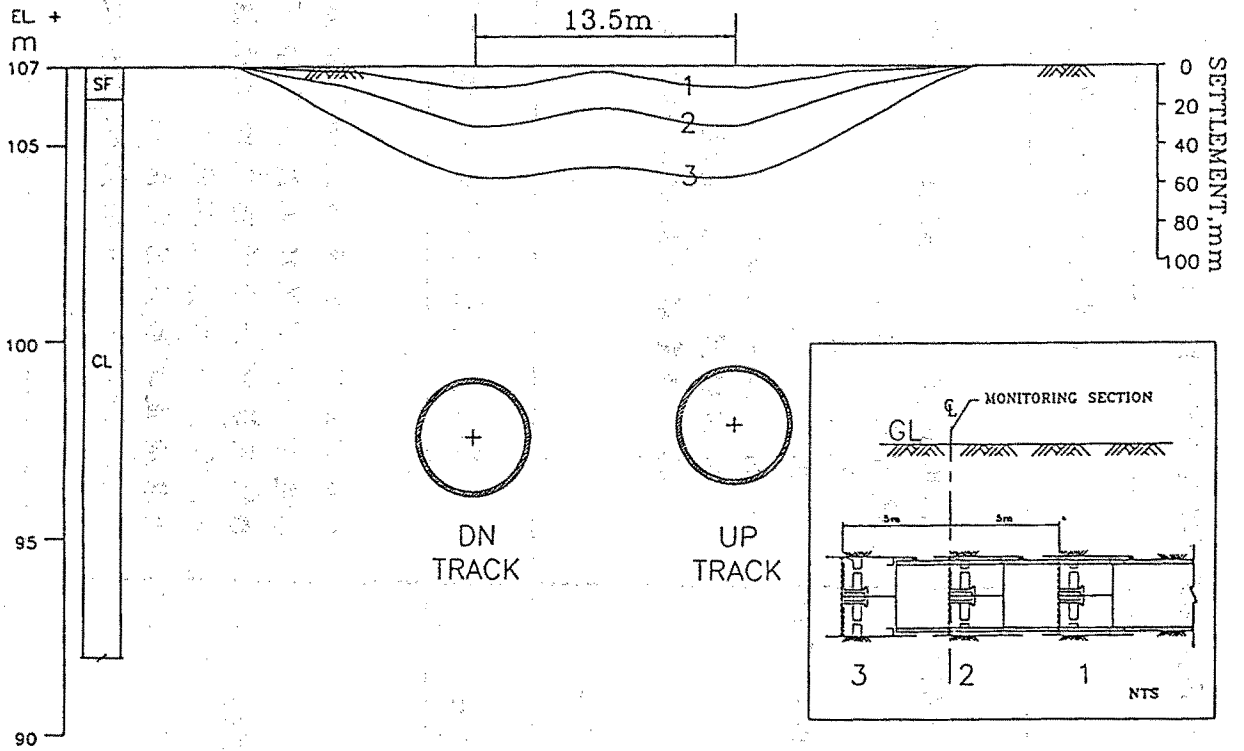
圖七 台北捷運大地監測作業流程圖



圖八 系統之功能圖



圖九 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 台北大眾捷運系統工程潛盾斷面監測結果示意圖

表一 台北捷運大地工程專業顧問工作項目

設計階段工作項目	施工階段工作項目
<ul style="list-style-type: none"> <li>◎督導細部設計顧問進行補充工址調查                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 審核調查計劃</li> <li>- 督導現場鑽探</li> </ul> </li> <li>◎審核細部設計顧問有關大地工程之設計                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 土壤參數及分析</li> <li>- 施工方式之可行性</li> <li>- 鄰近結構物之保護</li> <li>- 監測計劃</li> </ul> </li> <li>◎參與相關會議，提送審核工作之報告</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎協助地區工程處解決大地工程相關問題</li> <li>◎進行監測工作                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 監督儀器之安裝</li> <li>- 進行量測工作</li> <li>- 貯存及處理資料</li> <li>- 分析結果並提出建議</li> </ul> </li> <li>◎參與各項會議，提送工作報告</li> </ul>
招標、發包階段工作項目	捷運系統特殊問題之評估
<ul style="list-style-type: none"> <li>◎技術資格之評估</li> <li>◎協助澄清投標廠商之疑問</li> <li>◎審核投標廠商所提出之施工方法</li> <li>◎審核投標廠商之監測計劃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎地下水位回升及施工期間抽水之控制</li> <li>◎連續壁設計及施工應注意事項</li> <li>◎地表沉陷及鄰近結構物之保護</li> <li>◎地質改良方法之評估</li> <li>◎潛盾施工應注意之問題</li> <li>◎土壤行為之研究與特殊試驗之進行</li> </ul>

表二 各項監測儀器自動化計讀之困難程度  
(Dunnicliff & 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		●			
4-20mA壓力轉換式水壓	●	●			
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	●	●			
震測儀				●	

表三 不同種類之監測儀器

