

台北捷運大地工程監測系統之資料處理
GEOTECHNICAL MONITORING FOR THE
CONSTRUCTION OF TAIPEI RAPID TRANSIT
SYSTEM

蕭仲光，秦中天，詹世倍
J.K. Hsiao, C.T. Chin and S.B. Jan

原著載於八十年電子計算機於土木水利工程應用論文研討會，
1991年10月，871~881頁

*Reprinted from Proceedings of
Symposium on Computer Application in Civil
and Hydraulic Engineering,
October, 1991, pp.871~881*

台北捷運大地工程監測系統之資料處理

蕭仲光¹，秦中天²，詹世倍³

亞新工程顧問公司

摘 要

台北捷運系統工程包含地面段、高架段、地下車站及隧道，目前正著手設計及監造中，其施工型態不一，有明挖覆蓋、潛盾及樁基礎等等，而大地監測系統都將全程配合這些施工方式來進行。

資料庫系統之發展是為了滿足能使現場量測資料經由電腦計算，可以立即反應出結果，並與設計值比較，然後加以解釋分析。本文將對大地監測資料庫之規劃全貌及如何建立資料庫系統做一說明。

ABSTRACT

The Taipei Mass Rapid Transit System, Comprising of underground stations, tunnels and viaducts, is currently under design and construction in Taipei. There are many methods of construction, such as cut and cover, shield tunnel and pile installation etc. The project includes all of these instrumentation programs, designed to monitor the TMRT engineering before, during, after construction.

The necessity for immediate evaluation of the field readings for the observational method of design, generated the need for a computerized system of data reduction and interpretation. A data base system program was developed in order to fulfill these needs. This paper gives a procedure of program development features and indicates how to build up the data base system.

1 前亞新工程顧問公司捷運專案(II)工程師

2 亞新工程顧問公司捷運專案(II)副理

3 亞新工程顧問公司捷運專案(II)工程師

台北都會區大眾捷運系統初期路網總長 88 公里，如圖一所示，後續路網亦積極規劃中，其工程之浩大，為國內歷年來所僅有，且施工之型態複雜，工程之品質要求極高，皆在在顯示捷運系統工程安全之重要性，因此，大地監測系統之設立，乃無庸置疑。本文即在於針對台北捷運大地工程監測系統所產生之龐大資料量，說明如何利用資料庫系統的規劃，並藉資料庫語言的撰寫，以達快速處理監測資料之目的 [1]。

二、監測系統

由於土壤行為之複雜性，使得大地工程在設計上多多少少都滲入了某些假設性的條件，而這些條件又多處於保守狀態下；近年來，大地工程在設計的技術上更臻複雜，且若干大地工程理論亦未成熟，因此，為實際了解土壤在工程上之行為以及設計條件假說的確認，大地工程監測系統便益形重要 [2]。使用監測系統之理由，除保障施工之安全性外，更重要的一點是回饋設計，一般而言，監測系統之目的有下列幾項 [3]：

(1) 設計上的目的：

即是將監測的資料與原始設計之資料做比較，以了解設計是否過於保守而導致費用的增加，或是在面臨災害問題時，提供補救處理設計所需之參數。

(2) 施工上的目的：

監測系統於施工中，可提供安全預警作用，且可根據監測之資料，以修正設計之參數，進而調整施工方式，或可節省工期。

(3) 長期行為之驗證

監測系統可以對被監測行為做長期性之追蹤，如地下水壓之變化，是否超過初始設計值。此外，長期觀測亦可做為鑑定結構物破壞之真正成因。

(4) 法律上之考慮

由於深開挖常導致鄰近結構物之損害，造成許多糾紛與訴訟，監測系統可提供基本之資料，以利於紛爭之解決。

(5) 回饋設計

由實際之觀測結果，可真正了解土壤、岩石之力學行為，進而修正設計方法，提升地工技術。

三、台北大眾捷運工程之監測儀器

台北都會區之捷運系統，包含地面段、地下段與高架段等，另有車站、機廠及一般維修廠[4]；捷運系統因在人口密集地區進行，勢將影響當地環境，且捷運工程設計與施工作業品質之要求較一般工程為高，故採用適當之觀測系統以維護施工之安全，實屬必要。由於本工程施工方式有隧道、潛盾及一般都市土木深開挖等，監測儀器之項目亦相對增加，基本上，有下列數種[5]，即

- (1) 變位及變形量測，如量測建築物變形之傾斜計，隧道內之收斂儀、連續壁體內或壁體外之傾斜儀及裂縫儀、裂縫計等。
- (2) 水位及水壓量測，如各式水壓計(包括開口式、壓氣式、電子式)、水位觀測井等。
- (3) 沉陷觀測，如永久水準點、沉陷點(地面型、結構物上、管線上)、沉陷指示計、隆起桿及伸縮儀(單點式，多點式)等。
- (4) 應力量測：如土壓計、鋼筋計、應變計(有振弦式及電阻式兩種)及荷重計等。

四、監測系統之資料處理規劃

監測資料之收集、整理、分類與保存，再經過計算、分析、統計與比較，才能產生所需之資訊；由於捷運系統之施工安全監測資料，其數量非常龐大，新店線及南港線經初步概估結果，其數量超過1000萬筆，詳如表一。而人工式資料處理的最大缺點是處理能量小且速度慢，因此，對於本監測系統所測得之大量資料，必須倚重電腦，以竟全功。利用電腦處理資料具有快速處理、正確性高、大量儲存以及提高資訊品質等優點，本監測系統資料庫之建立，其目的即在於資料之儲存、擷取、列印、維護以及應用等等，以下就監測資料之取得、收集、分析及處理、儲存做一說明，以利資料庫之完整建立。

資料之量測

目前國內，有關施工之安全監測系統已由人工測讀之方式進而發展為自動計測，但

由於其費用較高，故尚不普遍。捷運監測系統之資料測讀仍以人工量測為主，其量測之單位包括承商及大地專業顧問（Geotechnical Engineering Special Consultant, 簡稱 GESC）兩方，執行之方式，係依工程合約之規定頻率，配合現場施工，由專業人員經各種測讀儀器之量測而取得。因此，本資料庫之資料來源有二，一為承商之監測資料，另一則來自 GESC 檢測之資料。

資料之收集

監測資料經現場人員量測記錄後，即進行收集作業，作業方式係以電腦執行。承商方面首先對量測資料加以處理，利用 LOTUS 123 巨集程式予以計算、檢核及列印（工作日報表和檢核表），且為資料庫系統之作業便利，最後並將計算之結果給予格式化，即製成傳送檔格式以利後續之傳送作業，GESC 方面對檢測資料之收集作業，則一如前述承商部份。此外，為求資料之正確性，應將承商與 GESC 所測得之資料進行比對，並將比對之後，有異常情形之資料，儲存於一異常檔內，以便查詢，而對於資料之收集作業應注意下列事項：

- (1) 資料應避免重覆。
- (2) 資料應先篩檢，以剔除不正確之資料。
- (3) 有關資料異常或變化量較大者，應予保持追蹤並加以標註。
- (4) 資料收集應立即處理。

有關此資料收集之流程詳見圖二。

資料之分析

資料型態是取決資料結構的重要因素之一，由於本監測系統之資料量相當龐大，根據表一所示，其總筆數約在 9,000,000 筆左右，若再包含 GESC 檢測之資料量，則總資料筆數將達 10,000,000 筆以上，且因監測儀器種類甚多，各資料之型態不一，施工狀況之互異，使得資料型態之變異性頗大，而資料庫儲存系統，必須考慮資料結構特性。所以，欲建立本監測之資料庫系統，就必須先徹底了解資料型態，以下即為本資料庫之資料特色：

- (1) 資料之格式不一，各項監測資料之數據，其整數與小數位各不相同，有F6.1, F6.2, F8.6 等等，詳見表一。
- (2) 資料之欄位名稱因儀器之不同而不同，且有的資料之欄位名稱隨各施工標而有不同之差別，如傾角變位（由於各工地之沉陷點編號很難取得一致，故其相對映位置所產生之傾角變位之欄位名稱不同）等。
- (3) 資料之儲存無法定量的、依序的給予資料庫儲存，如GESC之檢測資料是多變的（採用隨機式的任選測點），或是因施工順序之改變（資料量的產生亦隨之變化）等等。

為節省資料庫之空間，並考慮資料庫之維護、存取等等功能，則必須對上述資料之狀態加以研究評估，以確立資料結構之選取，達成資料庫系統之最佳設評。例如在資料記錄的長度選取方面，若給予之記錄長度太長，則因資料量太少或施工狀態影響，導致記憶體之浪費；若資料記錄太短，則於資料之擷取時，將花費較多時間，如何在資料結構之長度做一適當選擇，必須仔細考慮。

資料之儲存及備份

資料經分析後，即可設定資料庫中之資料結構，並撰寫資料庫之應用程式，將取得、收集之資料，進行資料儲存及備份作業。

資料之傳輸

由於傳統之電子資料處理（將資料彙集後，再成批登錄處理）不僅耗力費時，且使用者無法立即獲知所需資訊，故本監測資料庫系統擬採通訊式資料處理，即資料（數據）通訊（Data Communication）。它是將電腦的輸出入設備裝設在資料中心（Data Bank）及使用者所在地（Monitoring Station），利用電信局之通訊網路與電腦中心之電腦系統相連接，則兩者之間的資料可藉由PIP MAIL系統（資料送至Mail Box）互取所需，圖三為此系統之示意圖。另因電腦所產生之資訊均為直流式數位信號，必須使用數據機（Modulation & Demodulation，簡稱 MODEM）將數位信號轉換成類比信號，才能進行傳輸作業。

所謂資料庫 (DATA BASE)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存放在一起；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。大眾捷運系統之施工，區分為若干設計標，每一設計標下又含若干施工標，而每一設計標為一監測站，監測站本身即具有資料庫系統之功能，它必須將資料整理後加以儲存。所有設計標(監測站)之監測資料經由電訊傳輸系統傳回資料集中貯存中心(Integrated Data Storage Center)，以下簡稱資料中心(IDSC)；資料中心亦為一完整之大型資料庫系統。在資料中心內，依各線分成數個資料儲存行庫(Data Storage Bank or Data Bank)，各資料儲存行庫之架構，事實上，均與各監測站之資料庫完全相同，只是監測站之資料僅為該站所負責各標之資料，而資料儲存行庫內之資料則為一條線內各標之全部資料。圖四為本資料庫系統之資料傳送流程，系統之組織則詳見表二。

資料庫系統之建立

經以上各節之分析與說明，對整個工作資料處理之系統作業方式已相當清楚，而有關本監測之資料庫系統建立步驟[6]，係劃分如下：

- (1) 確定資料組織狀況。
- (2) 擬定系統需求。
- (3) 設計資料結構並決定儲存體之儲存方式。
- (4) 利用資料描述語言撰寫各種綱要。
- (5) 將資料輸入於資料庫。
- (6) 按照"資料整理語言"撰寫應用程式。
- (7) 測試。

茲就以上各步驟之執行方式略述於下：

(1) 確定資料組織狀況

確定資料組織狀況就是要確定資料庫的涵蓋範圍及內容規範，並調查每一資料項目之名稱、功能、定義、格式與代號等，然後加以分析，以訂定每一資料項目的

標準定義與統一編號，由於本資料庫資料量相當大，且資料組織狀況十分繁雜，為使資料易於管理與使用，故必須對資料組織詳加調查與了解。

(2) 資料庫系統之需求

資料庫系統之建立，必須滿足使用者的需求，所謂“使用者的需求”係指系統使用者所欲獲取之資料內容與急待解決的問題。因此，本監測系統之資料庫應滿足下列要求，即

- a. 製做畫面功能表，以交談方式進行，方便使用者的操作。
- b. 資料之傳送採電訊傳輸方式。
- c. 系統各部份作業皆屬獨立單元，故儘可能以批次檔 (Batch File) 方式進行系統作業。
- d. 資料庫之資料儲存應考慮記憶體空間之節省，避免過於浪費。
- e. 資料之擷取除了在同一檔案中可任意擷取之外，應考慮可同時於不同檔案中，抓取不同範圍之資料。
- f. 系統可提供製表、繪圖之能力。

(3) 設計資料結構並決定儲存體的儲存方式

由於本資料庫系統之資料結構，考慮了施工情形以及記憶體之容量等，其結構較為複雜，因此，必須分析資料之組織型態，以設計最佳之資料結構。

(4) 利用資料描述語言撰寫各種綱要

當資料結構確定後，即可利用組合語言的集合指令 (Macro Instruction) 來描述資料庫的結構，經編譯程式編譯成“目的模組”，並利用編輯程式 (Linkage Editor) 與資料庫管理系統連接成“載入模組”，然後開始建立各種綱要。

(5)、(6)、(7)則是待以上資料清楚建立後，即可進行資料之輸入以及應用程式之撰寫，並加以測試。

資料庫系統之設計

GESC設計完成之資料庫系統，係包括二部份，即資料處理以及資料儲存，資料之處理是將人工量測記錄之資料，經由 LOTUS 123工作底稿下，巨集指令之執行，完成資料之格式化(為傳送資料所建立之傳送檔)，而資料儲存則是利用Clipper 軟體語言撰寫程式，其功能可供監測資料之儲存、擷取、列印以及維護等，以下分別就資料庫系統之目的、功能及作業程序做一說明。

系統目的

本系統可提供監測站及資料中心使用。

就監測站而言：可儲存監測資料、查詢資料、報表產生、圖形顯示，並可擷取資料供其他應用程式使用。

就資料中心而言：除擁有監測站相同功能外，並可整合各監測站資料及提供必要資訊給各監測站使用。

監測站與資料中心之資料係藉電訊傳輸系統之方式相互流通，可因應緊急狀況時，提供快速資訊之研判及分析。

系統功能

本系統可概分為三大部份，即畫面功能表、資料庫系統及電訊傳輸系統，其功能分別如下：

(一)畫面功能表

為方便使用者的操作，利用批次檔之作業概念，使本系統能以交談方式來運作，由於本系統中之各子功能皆相當獨立而完整，因此，批次檔於作業系統下執行，非常具有彈性。

(二)資料庫系統

系統之主功能涵蓋四大項，即資料儲存、資料擷取、資料查詢及資料維護。程式架構如圖五。

(三)電訊傳輸系統

利用XTALK 3.0版之電訊傳輸資料程式，並使用電信局MAIL BOX之功能，資料

即可逕行傳送、接收。

系統作業程序可區分如下：

整個系統之作業程序包括監測站與資料庫中心兩部份，監測站之一般作業程序係將所收集之量測資料（承商與GESC兩方）；經比較後，予以儲存（監測站本身即為一小型資料庫），然後將資料壓縮，傳送至電信局MAIL BOX，其流程如圖六所示。資料庫中心之一般作業程序則是將所有監測資料，經由MAIL BOX接收回中心後，再加以儲存，其流程如圖七所示。整個系統之例行工作則如圖八。

六、資料應用

資料庫之重要功能之一，即對資料庫之資料可以依不同行業性質分析所需而任意擷取、或能輕便提供目前較流行之文書、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。

捷運系統對資料庫之應用，除行使資料庫所提供之功能外，並作以下之應用。

- (1) 資料庫能對異常或達到限界值之資料，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資料相互影響和關係。
- (3) 在工程訴訟時，提供正確原始資料。
- (4) 提供設計單位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。

本資料庫系統使用者可依儀器之名稱來擷取監測之資料，並可輸入資料之時間範圍以及在資料記錄中選取所需之欄位，當資料從資料庫取得之後，可直接利用系統中製表及繪圖之功能，可分別將監測資料以固定表格方式輸出或是繪出資料之歷時曲線。此外，資料若需由資料庫取出，以供其他應用軟體使用，也相當容易，如LOTUS 123程式提供資料庫資料之檔案轉換，轉換後之資料，即可供一般應用程式來使用。

七、結論

台北大眾捷運系統工程之規模相當浩大，因此，整個之監測系統所收集之資料量亦非常驚人，如何有效的掌握資料之完整與時效性，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，一般而言，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) 從資料庫中擷取之資料，可以立即繪圖並製表。
- (3) 資料庫之資料可利用應用程式加以維護。
- (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，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。

現行之監測系統係人工量測記讀，日後之監測系統發展必然將走向自動測讀記錄的方式，若是二十四小時連續監測，則擷取之資料將大量增加，對於資料處理及管理來說，資料集中處理是絕對必需的。

誌謝

本文之得以完成要特別感謝台北市捷運局及亞新工程顧問公司參與大地工程專業顧問之各位同仁；同時，對亞新工程顧問公司電腦室徐中銘主任、林武弘先生、黃錦隆先生等之協助軟體開發以及工技學院電機系卓政宏教授之惠賜卓見，在此一併予以致上最深的謝意。

參考文獻

1. 亞新工程顧問公司，台北都會區大眾捷運系統大地工程監測系統資料庫報告，中華民國八十年四月。
2. Dunicliff, J. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performan-

ce, John Wiley & Sons, Inc.

3. Tanal, V. "Transit Design in the Variable Formations of Taipei," Tenth South-east Asian Geotechnical Conference, pp.16-20, April, 1990, Taipei.
4. 段紹緯, 監測系統, 安全監測系統, 台北市政府捷運工程局土木施工檢驗人員講習班 CE9909033, 中華民國七十九年九月
5. 亞新工程顧問公司, 台北都會區大眾捷運系統監測儀器使用手冊報告, 中華民國八十年四月。
6. 張豐雄, 系統分析與設計, 修訂九版, 松崗電腦圖書資料有限公司, 中華民國七十四年九月。