

監測作業與地下工程  
**INSTRUMENTATION  
FOR UNDERGROUND CONSTRUCTION**

吳金華，丘先聲，金全鑫，黃南輝  
J. H. Wu, H. S. Chiou, C. C. Chin and R. N. Hwang

原著載於第一屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會  
1999年8月10~13日，第1181~1184頁

*Reprinted from Proceedings of The First Cross-Strait  
Symposium on Tunneling and Underground Construction  
Taiyuan, Shansi, China  
August 10~13, 1999, pp.1181~1184*

# 監測作業與地下工程

吳金華、丘先聲、金全鑫、黃南輝

亞新工程顧問股份有限公司

## 摘要

監測作業攸關隧道工程之施工安全，本文將針對地下工程施工安全所發展的監測資料處理系統 – IDEAL 作一簡單介紹。該系統除可判讀、修正、及調整監測資料之外，當監測資料出現異常數據時，還可以顯示一系列的相關訊息，引導工程師採取必要的因應措施，必要時還可啟動預警通報系統，將訊息即時傳達至所有相關單位。這個預警通報系統更可以與其他地理資料庫結合，提供現地工程師地質、管線、建物以及工程進度等資料，作為研判現況及研擬對策的依據。而藉網際網路之傳輸，世界各地的決策者、設計者都可與現地工程師共享資料，無論是文字、圖形、聲音、影像等相關資料，都可以在極短的時間內傳送到世界各地，無遠弗屆。

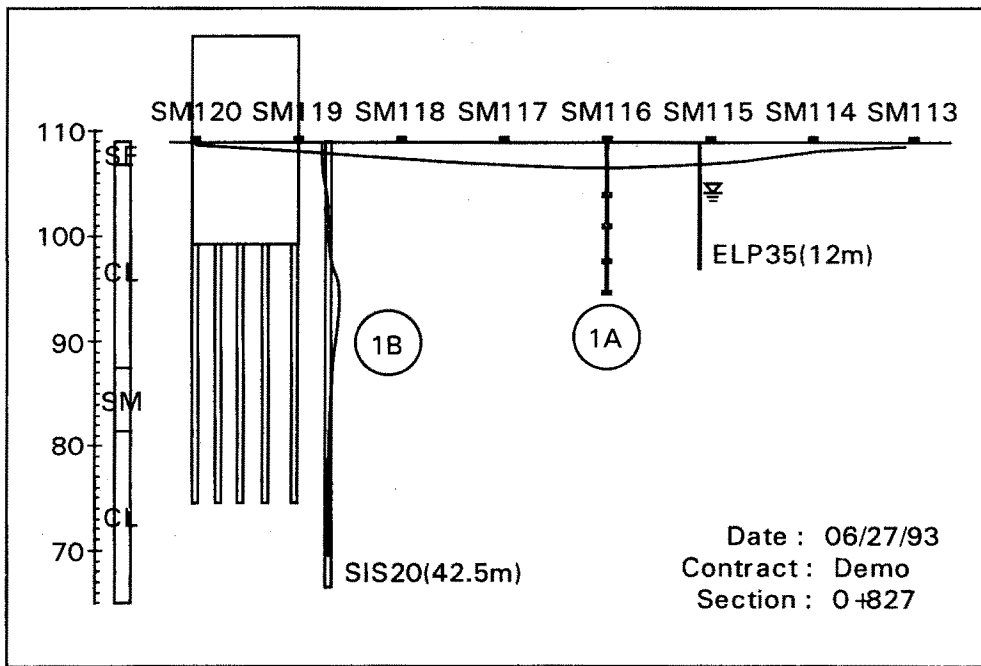
**關鍵詞：**隧道工程、地下工程、監測作業、IDEAL

## 一、前言

如眾所周知，在地下工程進行的過程中，有許多不確定的地質及環境因素影響到工程的成敗，甚至危及生命或財產的安全。而無論事先探測、調查如何周密，還是有些地質、環境因素無法掌握，甚至無法預知其存在或變化。更無可否認的是設計時難免有許多考量不及的盲點，無法考慮到所有的破壞模式，而實務上地下工程施工期間也不應將所有的破壞模式以及不利因素、狀況考慮在設計之中，否則工程費用將過於龐大，計畫成為不可行。因此在施工過程中有賴監測系統提供設計者及施工者必要資訊以維護工程之安全。

圖一表示一般在潛盾隧道施工時所常裝設的監測儀器，包括地表沉陷點，深層沉陷桿、水壓計及傾度計（*inclinometer*）等。地盤沉陷是最基本的量測項目，當隧道上方有建築物或重要設施時，過量的沉陷會導致建物龜裂或設施損害，甚至危及結構安全或設施之功能。即使該建築物有樁基礎，地盤沉陷會在樁身上部產生負摩擦力，導致基樁下沉，嚴重時基樁甚至會與結構體分離。過量的地盤側向位移更會使基樁彎折，所以必須嚴加控制，一般都是以土壤內傾度計量測。地盤變位與孔隙水壓的激發與消散有關，藉水壓計可以瞭解孔隙水壓的變化。這些變化都與地質狀況息息相關，所以在顯示監測結果時，土層柱狀圖也應同時顯現（圖一左側）。

在以新奧工法鑽掘隧道時，監測資料更是不可或缺，除了上述儀器之外，隧道斷面的收斂（*convergence*）以及襯砌構件的應力與應變都是重要的量測項目。新奧工法的基本理念就是利用隧道周圍土岩體的強度及其自立能力發揮到極至，而隧道結構體所受的應力為最小，以達到降低工程成本的目的，致施工期間安全係數自然偏低，有賴監測儀器時時顯示狀況以供工程師研判是



圖一 潛盾施工斷面與監測儀器配置圖

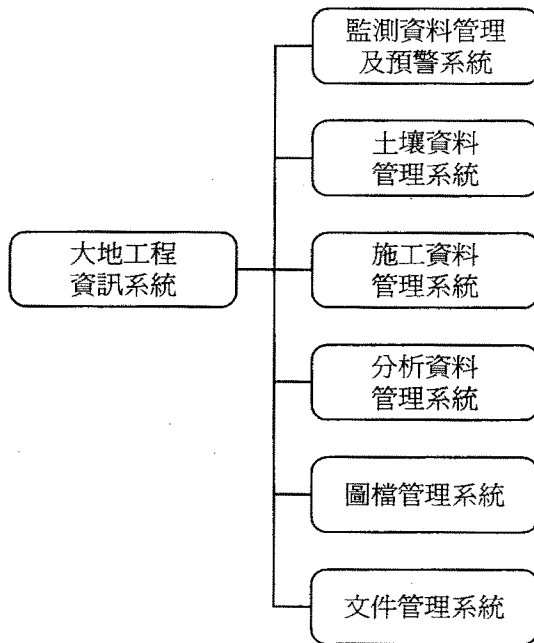
否安全。一有異常現象出現，可以適時採取應變措施，防患於未然，即使災變不幸發生，也可以藉監測系統所提供的數據，判斷災害的範圍、發生過程的破壞特性及評估各種補救措施之成效。

大型公共工程的監測資料量甚為龐大，如果以人工處理，除人力耗費甚巨外，也無法掌握時機，即時反應狀況。因為資料處理的延誤以致發生災變的案例相當地多。近年來，電腦科技進步神速，不但硬體功能年年提升，價格不斷下降，在軟體方面更是日新月異，令人目不暇給，自動化與電腦化是時勢所趨、蔚然成風，土木工程界自然不能故步自封，不但應該急起直追還應該迎頭趕上才是。

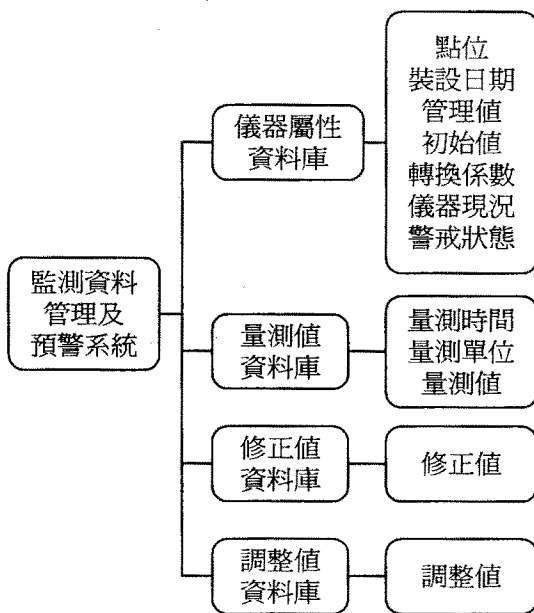
本文以大地工程資訊系統 IDEAL (Integrated Databases and Engineering Applications Library) 作為範例，介紹電腦在監測作業上的應用。IDEAL 是一個針對地下工程施工而發展的地理資訊系統，除了處理監測資料外，尚有記錄進度及回饋分析的功能，並且採用「群組作業 (groupware)」、「主從架構 (client-server)」、「網際網路 (internet)」及「虛擬網路 (VPN: virtual private network)」等尖端電腦科技，是一套完整的工程資訊系統。

## 二、監測資料處理

如圖二所示，IDEAL 包括 6 個子系統，其中「監測資料管理及預警系統」是 IDEAL 的核心系統，除了記錄儀器讀值外，還包括所有與監測作業相關的資料 (參考圖三)。以隧道工程而言，設計者在設計時依地質狀況、隧道深度估計地表沉陷槽並決定隧道施工的影響範圍，並對在影響範圍內之建築物及設施作現況調查，然後根據建築物及設施的結構、構築年代及現況良窳訂定管理值 (包括預警值、警戒值及行動值) 以為施工管控之依據。在工程進行過程中，無論是承



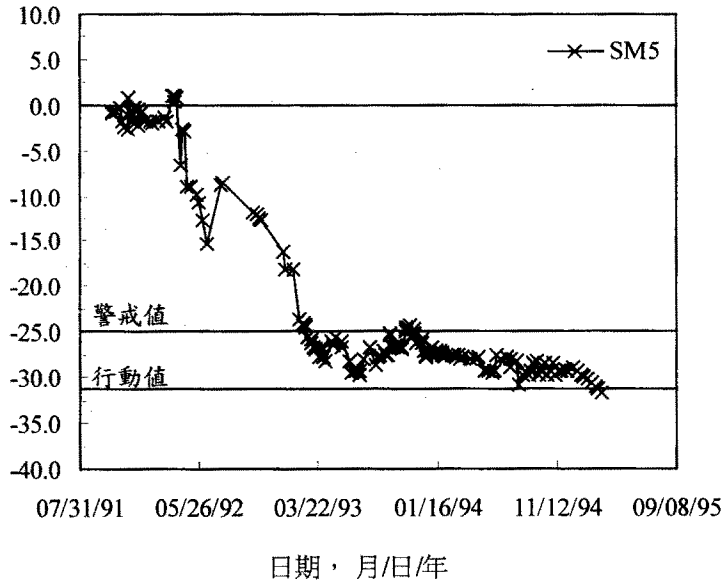
圖二 大地工程資訊系統



圖三 監測資料管理及預警系統架構圖

包商或者是監造者將監測資料輸入資料庫後，即可啓動預警系統以檢查資料是否合理以及是否超出預設的管理值。這時螢幕上會出現如圖四所示之畫面，畫面上除了儀器讀值外，還有管理值以及警戒狀態。在圖四所示的案例中，是 25 公厘，1993 年 3 月 20 日的讀值已超過警戒值（預設為 25 公厘），在 3 月 21 日檢視資料時已經發布預警。1994 年 3 月 17 日的讀值超過行動值（預設為 30 公厘），在 3 月 18 日檢視資料時，程式會自動將超出行動值的監測點位濾出並產生告知單。配合監測點位的歷時曲線，利用「網路網路」或「傳真機」。將訊息通知相關單位。

沉陷量，公釐



★★★★★★★★★  
 ★ \*行動告知\* ★  
 ★ [紅單] ★  
 ★★★★★★★★★

站長	王丘李	文號	GESCII-ST5-001
簽名		日期	3/17/94

電話: (02) 753-3967

收文者	XX處處長 XX
-----	----------

主旨: XXXXX 標地面沉陷點SM5達行動值事宜

相關工作指令: MAA-001 ( 相關文號: )

備註:

副本: ■ X處 ■ X處 ■ XX中心 ■ XX處

標 別: Demo  
 量測日期: 3/17/94  
 收到日期: 3/18/94

注意: 下列量測值已達行動值, 建議工程處召集有關單位, 研討承商所提方案, 並擇其有效可行者, 責成承商立即執行。

No.	儀器	量測結果	警戒值	行動值	圖號	位置
1	SM5	-33.20	25.00	31.25	Demo_001	2d

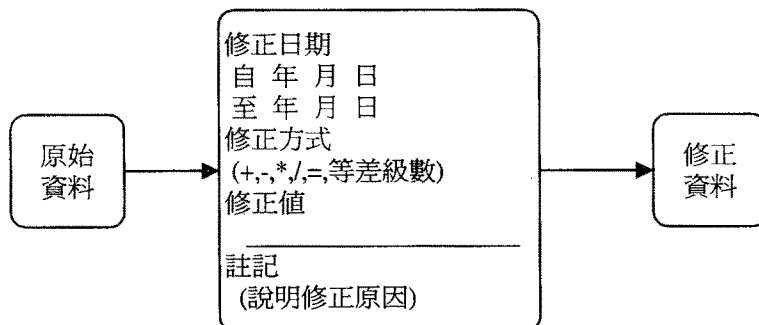
圖四 告知單發佈

在量測或在輸入的過程中監測資料難免出錯，或者因某種因素產生誤差。例如在校驗時發現水準基準點有若干沉陷，所有在兩次校驗期間所量測的資料必須以等差級數的方式予以修正，這些修正值是存放在「修正值資料庫」之內，以免更動原始資料。另外一個例子是監測點在某一時間受到擾動（譬如受機具碰撞），其後所有的讀值都必須或加或減一固定值，這值及其適用期間也都記錄在此一子資料庫之內（參考圖五）。所有的修正必須註明原因，如此方能責任分明，避免爭議。

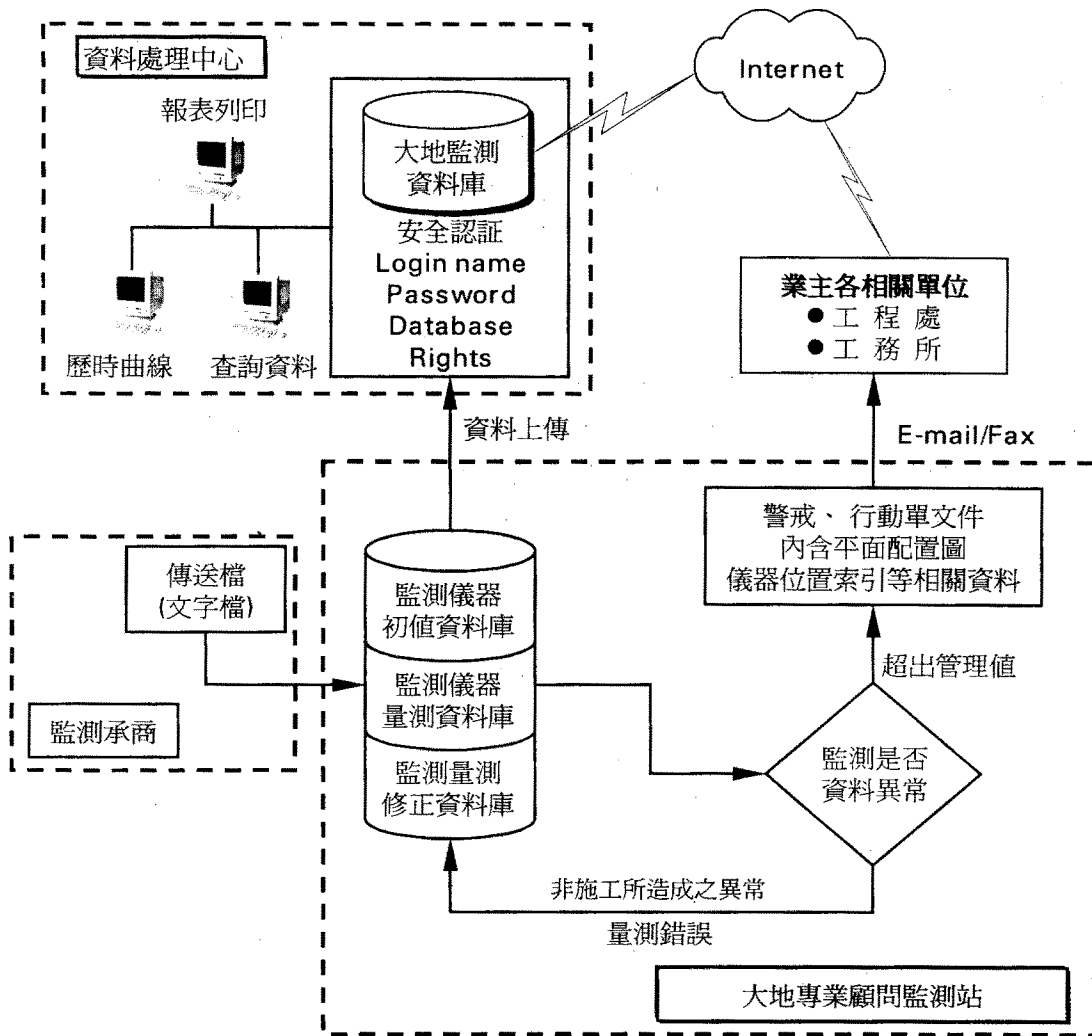
在進行回饋分析時，分析者常常有必要將資料作合理的調整。例如將連續壁的側向位移在開挖開始時歸零，或者將隧道上方的地表沉陷在潛盾到達時歸零等。這些動作可以記錄在「調整值資料庫」之內。「調整」的動作與「修正」相同，所不同的是，「修正」為必要的動作，原則上當資料有錯誤發生時就必須進行修正，而「調整」則因人而異，而且因狀況而異，所以各使用者有其自己的「調整值資料庫」，其他使用者可以參考及使用，但不可以更改其內容，大部份是用於進行回饋分析時。

### 三、群組作業與網路應用

電腦技術的突飛猛進，網路技術的快速進步。在大地監測資料庫的運用上，也應走上資源共享的運用型態，使得多人可同時使用同一個資料庫，如此不但保證資料的安全，也避免了版本的紊亂。所以 IDEAL 採取「主從架構」的觀念，所有資料都保存在資料處理中心的伺服器中，其他單位可以利用區域網路（LAN: local-area-network）存放或擷取資料（參考圖六）。當然資料的保密性是最大的考慮，所以資料可以分以其保密性分級，如無、密、機密、極機密等，各有其授權範圍。這在技術方面這已經不是問題，網路上已可建立嚴密的認證機制，問題是在使用者可能經意或不經意地將密碼洩露出去。對極機密的資料可以採用信用卡的認證方式管控，以現代的科技而言，這已不是難事。「主從架構」的觀念可以更進一步推展到網際網路，不僅僅在同一單位的工程人員可以共享資料，在外縣市的公司主管或設計者一樣可以利用透過網際網路使用資料庫。事實上，網際網路無遠弗屆、潛力無窮，其應用當不止此，但已超出本文的討論範圍。



圖五 資料修正示意圖



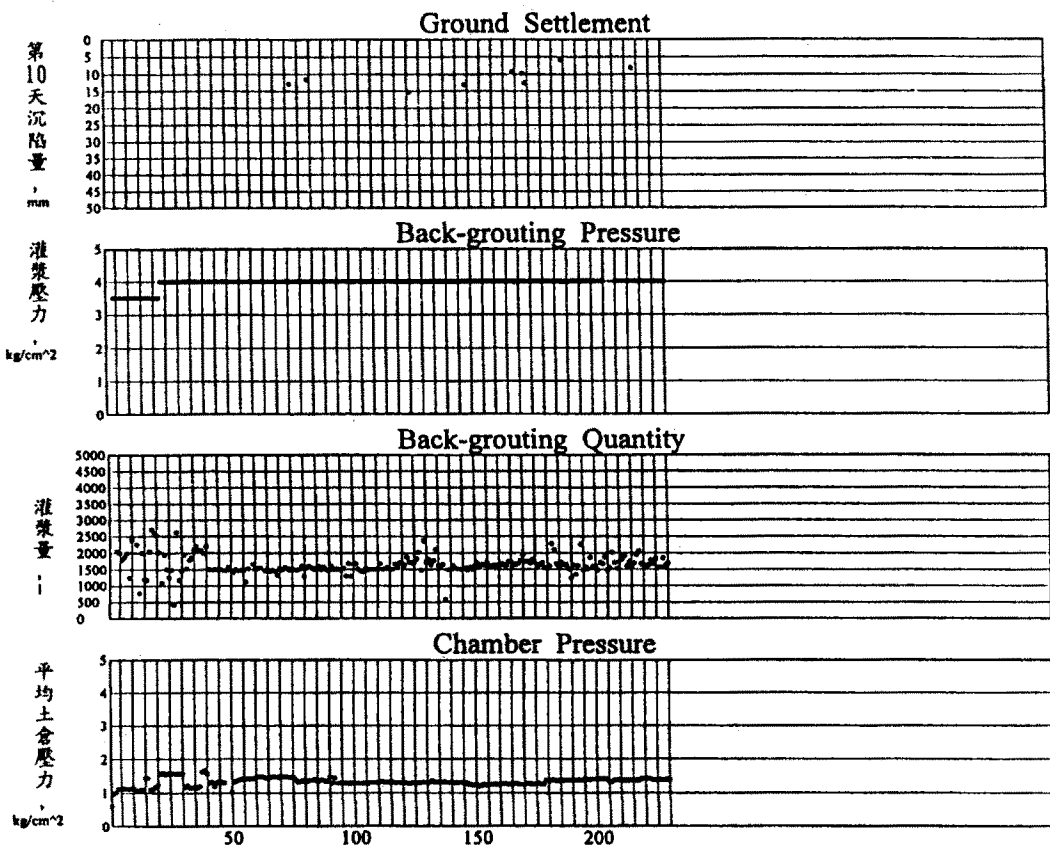
圖六 電腦網路架構圖

#### 四、討論

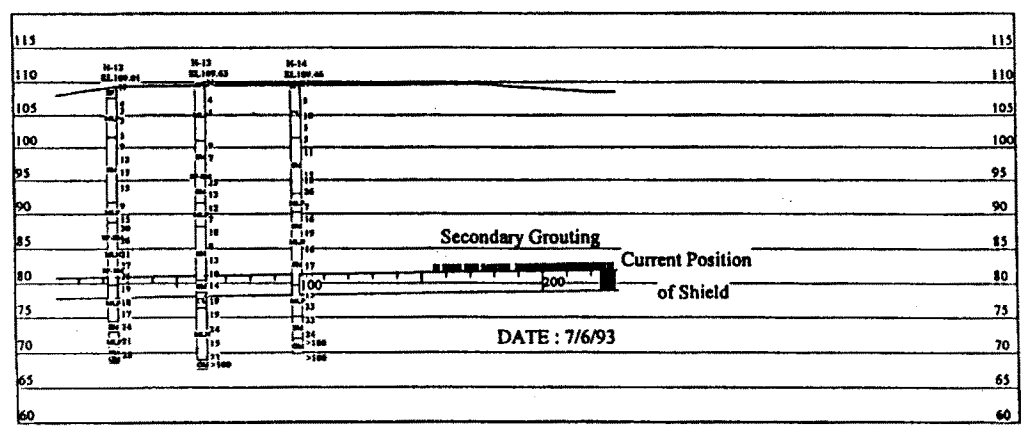
除了處理監測資料外，IDEAL 還結合其他與工程相關的資訊而成爲一套完整的工程地理資訊系統。諸如土壤、地質、開挖斷面、施工時程、管線、以及建物等的資料等都已經可以納入資料庫，使監造及施工單位可以很方便地掌握所有相關訊息，在有意外事件時也才能及時判斷狀況作出最正確的決定。

除了施工安全外，資料庫還可用於回饋分析，所需的資料在平時即已建立，而不是在日後追綜。圖七表示目前潛盾機所在位置以及每一環的土倉壓力、背填灌漿壓力、背填灌漿量等記錄，這些記錄都對地表沉陷的分析及研判大有幫助。

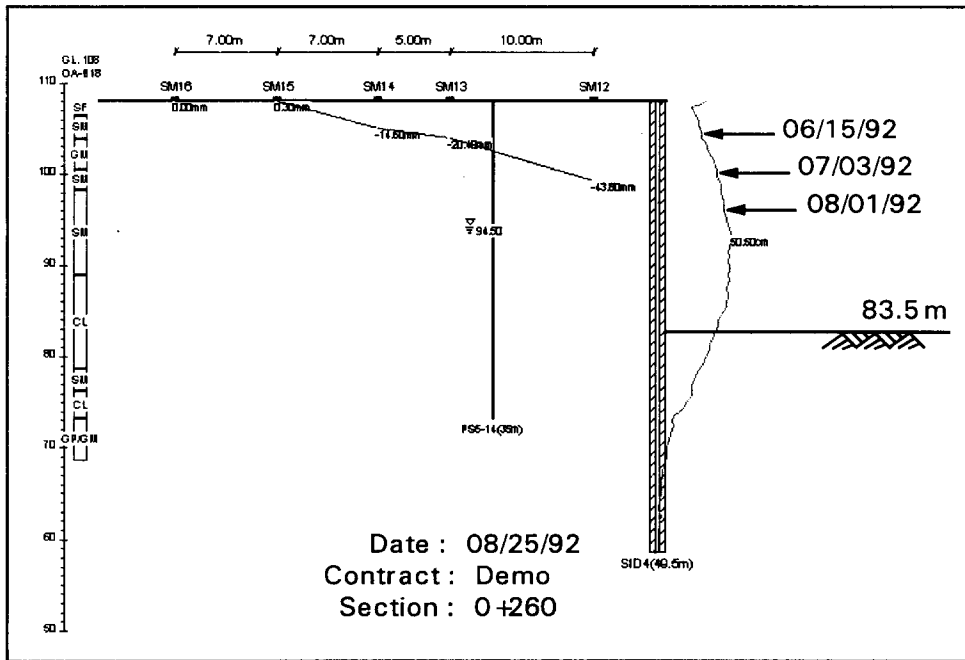
IDEAL 的應用不限於隧道工程，在深開挖方面其應用更廣。在圖八的案例中，開挖的進度、擋土牆的側向位移、地表沉陷可以同時顯示於螢幕之上。這些資料可以與土層柱狀圖（圖之左側）相比對。



第10天沉陷量, mm  
 灌浆壓力, kg/cm<sup>2</sup>  
 灌浆量  
 平均土倉壓力, kg/cm<sup>2</sup>



圖七 潛盾資料示意圖



圖八 明挖覆蓋斷面與監測儀器配置及讀值示意圖

## 五、結語

電腦已廣泛用之於土木工程之規畫及設計，但在施工方面電腦的應用還有很大的發展空間。地下工程的危險度相當地高，有賴監測儀器密切監視地盤的反應及支撐系統的穩定。在大型公共工程中，監測資料量龐大，電腦化作業有其必要性。完善的監測處理系統可以達到及時預警的目的，而網路的應用更可以將所有的功能充分發揮。

## 參考文獻

黃南輝、莫若楫（1996）。“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*，台北  
 黃南輝、王暉文、丘先聲、李俊璋、金全鑫（1996）。“大地工程資訊系統”，*地工技術*，第56期，pp.5~14，台北