

結構監測在臺北捷運地下車站之應用

彭翰毅¹、古鴻坤²、謝宇珩²、黃怡超²

(1.安研科技股份有限公司，新竹；2.臺北市政府捷運工程局，臺北；)

摘要：有鑒於西元 2000 年 9 月 21 日臺灣遭受大地震的影響，所以自新莊蘆洲線起所規劃設計興建之臺北捷運系統，皆增設永久性的地震監測與結構監測系統，以加強地震監測來提高捷運行車安全，並收集地震資料以做為結構物設計回饋之用。本文先就地震對臺北盆地的影響與目前監測狀態進行介紹，並說明新莊蘆洲線新建地震監測與結構監測系統之架構與功能，包括車站端系統、行控中心整合系統與資料庫、通訊介面、資料格式、後端處理、使用者介面等。接著針對本監測系統實際可能應用層面，包括結構物設計回饋、結構物安全評估、行車安全輔助、系統識別模式建立、長期行車振動監測等分別介紹，最後則是本系統初步監測成果。

關鍵字：地震監測、設計回饋、捷運車站

中圖分類號：TU47

文獻標識碼：A

文章編號：

The application of structure monitoring system for Taipei MRT underground station

PENG Hanyi.¹, KU Hungkun² HSIEH Yuheng², HUANG Yichao²

(1. Anasystem Technology Co., Ltd., Shinchu, 2. The Department of Rapid Transit Systems, Taipei City Government, Taipei;)

Abstract: Due to the huge earthquake affect Taiwan at September 21 1999, since designed and built Shinjo-Luzhou line, every new line of Taipei MRT (Mass Rapid Transportations) have to install a structure seismic monitoring. The purpose includes enhancing the operation safety, recording the seismic data, and design feedback. This article will introduce the site effect of Taipei Basin and the situation of seismic observation first. Then will give a detail description about the structure and function of this new seismic monitoring system. It will be including the station seismic monitoring system, integration system and database at CCR, communication interface, data format, off-line data processing, and user interface. At last, will also give a detail description about application, including design feedback, structure safety analysis, operation safety analysis of Taipei MRT, system ID, and vibration monitoring.

Key words: seismic monitoring, design feedback, MRT station

0 引言

臺北市政府捷運工程局在當初規劃新莊蘆洲線工程時，考量臺北盆地在歷次重大地震中，均遭受程度不等之災害與損失，尤其是 1999 年 9 月 21 日發生於車籠埔斷層規模 7.3 的強震，臺北盆地雖位於距離震央 150 公里外，卻依然造成重大損失，

因此在地震相關專家學者建議下，規劃建置結構物地震監測與結構監測系統（已下簡稱本系統），以加強地震與結構監測來提高捷運行車安全，並收集地震資料以做為結構物設計回饋之用。

目前已建置完成之監測系統，包括新莊蘆洲線的 O03 頭前庄站、O05 三重站、O07 臺北橋站、O11 行天宮站、O14 東門站、O44 三民高中站、O47 三重國小站、O60 丹鳳站等八個車站，實際布設位置

詳圖 1。此外為加強資料整合，於捷運公司交九行車控制中心設置資料整合系統與資料庫，讓各車站之觀測資料可由 RS-422 介面，每日於表定時程主動傳輸至行控中心資料庫伺服器，使用者可透過行控中心資料整合系統與資料庫的圖控使用者介面，監看系統狀態、截取與下載資料、執行遠端測試命令等動作。

里外，因盆地的震波放大效應，許多結構物遭受震波破壞甚至倒塌並造成傷亡。

臺北盆地之組成地層可分為盆地內第四紀地層及第三紀基盤二部分，盆地內第四紀地層又可細分為新莊層、景美礫石層及最鬆軟之松山層。由於臺北盆地內人口密集、重要建築與設施眾多，兼之有明顯的盆地震波放大現象，因此氣象局在臺灣地

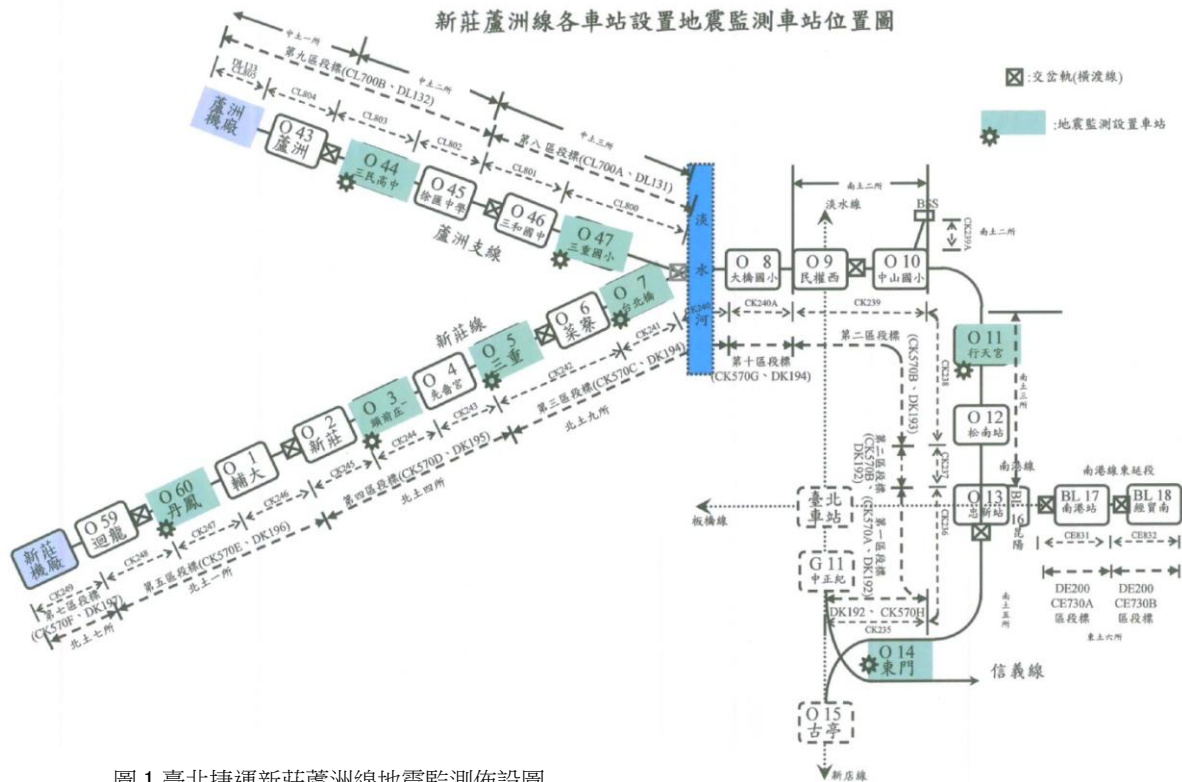


圖 1 臺北捷運新莊蘆洲線地震監測佈設圖

Fig. 1 The positions of all seismic monitoring systems in Taipei MRT

除了目前已建置完成的新莊蘆洲線監測系統，未來也將在松山線與信義線建置本系統，並整合進現有之行控中心資料整合系統與資料庫。以下將就地震對臺北盆地的影響、本系統架構與內容、本系統實際應用等，加以詳細介紹與說明。

1 地震對臺北盆地的影響與目前監測狀態

在過往許多國內外研究發現，震波在經過沖積盆地之鬆軟土層時，由於聚焦與共振等因素，經常存在震波放大效應，進而對結構造成破壞。國外最明顯之案例為發生於 1985 年 9 月 19 日之墨西哥大地震，離震央 400 公里外的墨西哥市，即因位於鬆軟土層而造成重大災害。至於臺北盆地在歷次重大地震中，如 1986 年 11 月 15 日之花蓮地震以及 1999 年 9 月 21 日集集大地震，雖距離震央都在 100 公

區強地動觀測計畫^[1] (Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, 簡稱 TSMIP) 中，針對臺北盆地設置了大量的自由場強地動觀測站與結構物強振觀測陣列，以收集臺北盆地的強震資料。除了中氣象局外，地質調查研究所也在臺北都會區設置了多處井下地震儀觀測陣列，以分析震波在臺北盆地內不同深度之變化^[2]。至於臺北捷運目前的地震監測狀況，則是由臺北捷運公司設置 10 部自由場強震儀，做為地震發生時行車控制的輔助資訊。

此外許多專家學者亦對臺北盆地震波放大效應進行長期的研究，包括王乾盈等^[3]對盆地地層速度構造的調查，簡文郁等^[4]提出臺北盆地地盤效應分析，Huang et al.^[5]利用井下地震儀資料分析高頻波的放大效應，Sokolov et al.^[6]分析不同震央與深度的地震對臺北盆地的影響，邱世彬等^[7]對台北盆地設計地震微分區進行研究等等。

由於上述地震監測站與研究，多是針對自由場與地表結構物，目前較少針對地下結構物的觀測與分析，而臺北捷運系統又有很大一部分是屬於地下隧道與車站之形式，因此臺北市政府捷運工程局依照專家學者建議，於地下化之捷運系統內設置本系統，以加強地震監測來提高捷運行車安全，並收集地震資料以做為日後地下化結構物設計回饋之用。

2 地震監測與結構監測系統架構與內容

本設計規劃理念，是以車站端獨立式自動化監測為基礎，配合於行控中心建置資料整合系統與資料庫，並預留未來擴充空間，同時具備簡單容易操作之使用者介面，整體硬體架構如圖 2 所示，軟體架構如圖 3 所示。

本系統分為車站端系統與行控中心整合系統二部分，並以 RS-422 介面配合光纖網路進行通訊，以下就車站端系統、行控中心整合系統與資料庫、通訊介面、資料格式、後端處理、使用者介面等詳加說明。

2.1 車站端系統

地震監測設備參考中央氣象局強地動儀規範，採用力平衡式加速度計做為地動感應器（圖 4 為本系統丹鳳站所安裝之地震儀），地震記錄器則是包括 24 位元類比/數位轉換器 搭配大容量記錄裝置，以及 GPS 時間校正系統。除了地震監測設備外，各車站端還安裝了其他結構監測設備，包括鋼筋應力計、混凝土應變計、靜態傾斜儀、相對位移計、電子式水壓計、水位計等各類儀器，並由可程式邏輯控制器（Programmable Logic Controller，簡稱 PLC）做為記錄器。

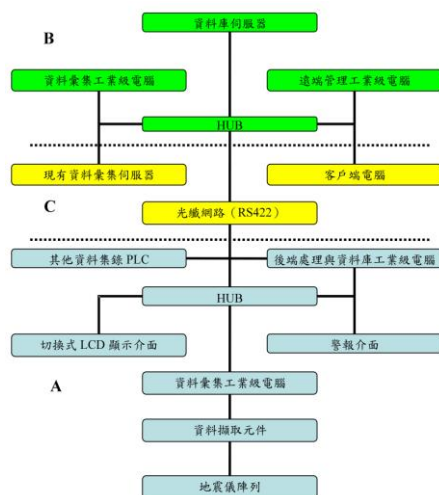


圖 2 本系統整體硬體架構

藍色(A)為車站端監測設備設備，綠色 (B)為行控中心系統，

黃色(C)則為客戶端或遠端設備。

Fig. 2 Hardware structure of Taipei MRT seismic monitoring system

blue (A) is station instruments, green (B) is CCR system, yellow (C) is client.

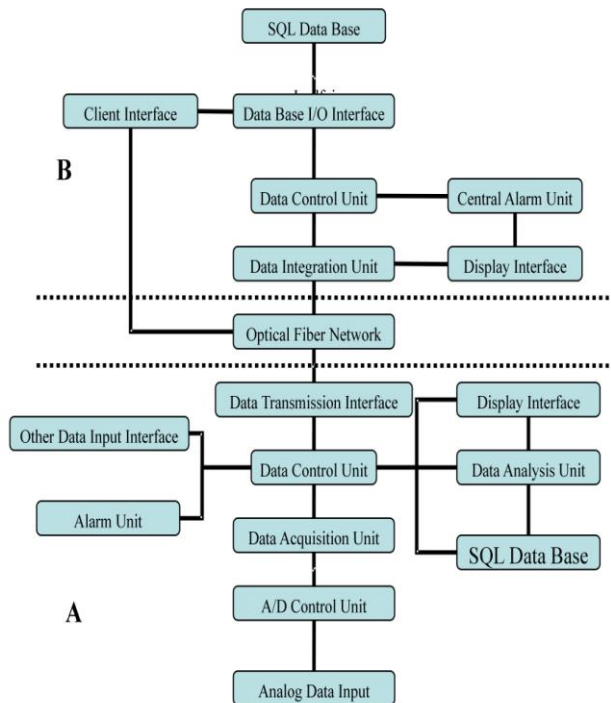


圖 3 臺北捷運結構物地震監測系統整體軟體架構

(A)車站監控部分，(B)行控中心部份

Fig. 3 Hardware structure of Taipei MRT seismic monitoring system

(A) in the station and (B) in CCR.



圖 4 本系統丹鳳站加速度強震儀

Fig. 4 The accelerometer of O60 Station.

2.1.1 地震儀規格

- (1) 形式：力平衡式加速度計
- (2) 最大可量測範圍： $\pm 2g$
- (3) 動態範圍：至少 120dB
- (4) 解析度：至少 $2\mu g$
- (5) 可量測頻寬：DC-50Hz

- (6) 阻尼：0.6-0.7 critical damping
- (7) 精確度：室溫下在可量測頻寬內，輸入地動加速度與輸出訊號之差異必須小於最大量測值的 1% 內。
- (8) Cross-axis 感度: 0.03 g/g maximum
- (9) 雜訊：小於 3dB (RMS)

2.1.2 地震記錄器規格

- (1) 地震記錄取樣率：每秒 200 點
- (2) 地震記錄啟動水平 (trigger level)：由使用者設定
- (3) 地震記錄啟動各波道加權與票數 (trigger weighting & trigger vote)：由使用者設定
- (4) 前震記錄 (pre-event)：0-20 秒，由使用者設定
- (5) 後震記錄 (post-event)：0-20 秒，由使用者設定
- (6) 最小記錄時間：60 秒以上，由使用者設定
- (7) 記錄檔案格式：中央研究院地球科學研究所標準格式 (IES Formate)
- (8) 安全監測儀器取樣率：每 20 分鐘 1 點
- (9) 地震記錄與安全監測記錄暫存時限：1 年
- (10) 地震儀器自動校正：可接收控制中心之特殊格式命令檔以進行自動校正，校正項目包括零點校正、方波校正、自動強制記錄，並將校正數據檔傳回控制中心。

2.1.3 結構監測儀器種類說明

結構監測儀器之分類、代號、名稱、正值定義及單位詳下表所示。

表 1 結構監測儀器分類表

Table 1 The type of structure monitoring instruments

分類號	代號	名稱	正值定義	單位
01	RS	鋼筋應力計	張應力	kg/cm ²
02	CS	混凝土應變計	壓應變	μ strain
03	ET	靜態傾斜計	1.垂直車行方向者以向車站傾斜為正。 2.平行車站方向者以垂直車行方向者之正向的順時針 90°方向為正傾斜。	second
04	ELP	電子式水壓計	-	t/m ²
05	EOW	電子式水位計	-	m
07	RD	相對變位計	伸張量	mm

2.2 行控中心整合系統與資料庫

為整合各車站之地震記錄並對記錄有效的儲管理，於臺北捷運公司交九行控中心內，架設安裝地震儀與其他感測器資料控制核心一套，以接收新

莊及蘆洲捷運線各車站所收集之地震儀與其他感測器資料，並將所收到之資料整合至 SQL 資料庫。

2.3 通訊介面

行控中心與各車站對外之資料傳輸模式採 RS422 電氣通訊協定，其傳輸速率為 19200 bps；行控中心與各車站間之資料傳輸線路則採光纖網路，電氣訊號與光訊號間則分別由設於車站及行控中心 B4F 設備房(CCER)之光電轉換設備進行轉換，行控中心與各車站間之 RS422 通訊埠採 1 對 1 之點對點方式傳輸資料，相關通訊設備由通訊標承商提供，圖 5 為本系統通訊架構圖，以下就資料傳輸內容與細節加以說明。

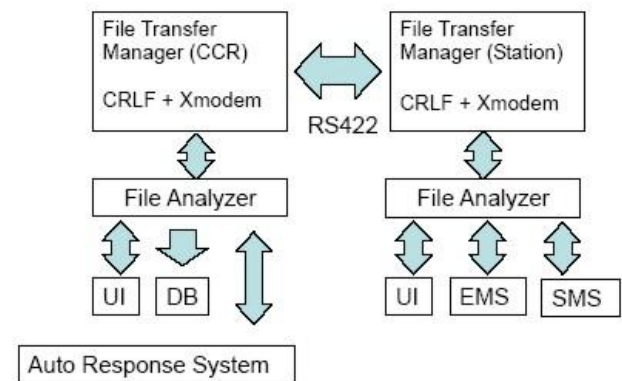


圖 5 本系統通訊架構圖

Fig. 5 Communication structure of seismic monitoring system

- (1) 捷運局或捷運公司授權人員可由行控中心遠端管理電腦依約定之格式以命令檔形式藉光纖向各車站發佈遠端命令，各車站接收到地震計功能確認命令後，於完成功能確認後，將確認結果依整合約定之格式以確認檔形式向行控中心回報。
- (2) 行控中心於接收到各站資料後由遠端管理電腦傳送整合約定之傳輸確認檔回各車站，各車站於傳送資料 10 分鐘內未收到確認檔時即應即刻重傳。
- (3) 地震發生 5 秒內，每 5 秒連續傳送”發生最大 PGA 之地震計”的垂直向、東西向、南北向等分量之 PGA 峰值資料檔案至 CCR，隨後再傳送完整地震計資料檔案至 CCR。其他監測資料則以 24 小時為單位集結成單一 ASCII 檔案(站體安全監測儀器之分類、代號、名稱、正值定義及單位後詳)後，每日固定時間回傳至 CCR，各站傳送資料至 CCR 之排程及資料時間起迄範圍，爾後視需求可加以調整。
- (4) 所有需要傳送到 CCR 的檔案會儲存並排隊等候，當有 PGA 檔案產生，PGA 檔案會優先傳送。

- (5) 各車站依整合約定之取樣頻率自動記讀資料後，儲存於站體，並依整合約定之傳送時機主動將物理量依整合約定之格式以檔案之形式傳送至行控中心，傳送時間可調整。

2.4 資料格式

地震計資料檔案格式採中央研究院地球科學研究所標準格式(IES)，其優點為資料結構簡單，可以 Binary 或 ASCII 型式輸出，IES 格式之基本結構說明如下：

- (1) IES 基本結構由標題、地震資料基本資訊及三向量地震資料(加速度)等三部份構成，可用 ASCII 方式儲存。
- (2) 標題(Header)：標題由 30 個連續字元構成，30 字元不必用盡，未使用之字元位置放空格字元，空格字元必須集中在最後。標題內容包含測站所屬捷運線名稱代號(第 1~3 個字元)，測站名稱代號(第 4~6 個字元)，三向量地震儀編號(第 7~9 個字元)，其他資訊(第 10~30 個字元，與 CCR 端事先約定)。
- (3) 地震資料基本資訊：40 個欄位整數(分成 4 列，每列 10 欄)，每欄位佔 8 個字元，每欄位未使用之字元位置以空格字元取代，每欄位非空格字元皆靠右排列，相鄰欄位間以空格字元分隔。
- (4) 三向量地震資料：包含垂直向資料、東西向資料、南北向資料，以每列 10 欄的方式依序排列，欄位格式為±AAA.BBB(佔 8 個字元)，單位為 gal(cm/sec/sec)。

2.5 後端處理

本監測系統採用之地震儀為強震儀，用來量測加速度，經過後端即時運算，總計可獲得加速度歷時、速度歷時、位移歷時、加速度頻譜、反應譜等數位資料，以下就各項數位資料之計算方式與物理意義加以說明。

- (1) 加速度歷時：達到啟動標準後，由加速度儀量測，經類比數位轉換器轉成數位資料，並經基線修正後而得。加速度歷時所代表之物理意義為應力(或是力)隨時間之變化，具有方向性，可解讀為觀測場址或結構物受力情況。
- (2) 速度歷時：由上述之加速度歷時經過一次積分而得。速度歷時所代表之物理意義為應變隨時間之變化，具有方向性，可解讀為觀測場址或結構物受力後應變之情況(應變之研究對管線類之破壞尤其重要)。
- (3) 位移歷時：由上述之加速度歷時經過二次積分而得。位移歷時所代表之物理意義為形變隨時

間之變化，具有方向性，可解讀為觀測場址或結構物受力後形變之情況(形變之研究對大型結構物之破壞尤其重要)。

- (4) 加速度頻譜：由上述之加速度歷時經過傅立葉轉換而得。加速度頻譜所代表之物理意義為將加速度歷時分解成各個單一頻率之震動，藉此可了解觀測場址或結構物之震動特性。
- (5) 反應譜：由上述之加速度歷時經過計算而得。反應譜所代表之物理意義為上述之各地動歷時，對不同自然週期之結構物所造成之反應。例如由自由場之反應譜，可得知工址上各自然週期結構物對地震力之反應；不同樓層之樓板反應譜，可得知該樓板上各自然週期機具與設備對地震力之反應。

2.6 使用者介面

行車控制中心所設置資料整合系統與資料庫之使用者操作顯示系統，是由資料庫、PGA 5 秒峰值狀態、檔案傳輸及地震計功能測試等子系統構成。顯示介面開發過程充分參考最終使用者之意見，以全圖控之模式為基礎，讓使用者可於最短時間內熟悉操作介面。此外捷運局備有詳細之使用者操作手冊，可供使用者學習操作資料整合系統與資料庫。

3 本系統實際應用

本系統規劃初始之目的，為收集地下化結構物之地震資料，以做為後續結構物設計回饋之用。而除了上述之結構物設計回饋之外，本監測系統之應用範圍還包括了結構物安全評估、行車安全輔助、系統識別模式建立、長期行車振動監測等。以下就各項應用加以說明。

3.1 結構物設計回饋

任何結構物設計時多會包含耐震設計，而越是重要結構物其耐震設計越是嚴謹，耐震設計過程中經常包含各式地震相關之分析，包括：歷史災害地震研究、地震活動度分析、場址效應分析、地震危害度評估、最大地震規模分析、設計反應譜、人工地震模擬等項目。結構物設計並興建完成後，安裝於結構物內之地震監測系統，可記錄下地震來襲時結構物之震動模式，並與設計理論值比對。經由比對分析果，可獲得理論直與實際狀況之差異，並將此差異性回饋設計單位，做為在未來設計同類型結構時參考之基準。此外高架、地表、地下、橋樑等不同結構物的地震反應不同包括：

- (1) 高架結構：震動放大，易有共振效應(如神戶

地震造成 JR 全倒)。

- (2) 地表結構：接近自由場震動。
- (3) 地下結構：震動縮小，安全性較高。
- (4) 橋樑結構：共振效應最為明顯（大地震低頻效應）。

目前台灣之地震監測系統較缺乏地下化結構物監測之資料，本系統之資料將可做為未來設計地下化結構之重要依據。

3.2 結構物安全評估

本系統之監測儀器，除了地震儀外尚有包括鋼筋應力計、混凝土應變計、靜態傾斜儀、相對位移計、電子式水壓計、水位計等各類儀器進行長期連續監測，長期累積觀測資料，可做微結構安全之基本數據。地震發生後，比對基本數據與經過地震侵襲後之觀測數據，可對結構物安全進行評估，並做微結構補強之依據。

3.3 行車安全輔助

目前臺北捷運公司地震發生時之行車安全控制，主要仍以中央氣象局發布的地震震度為主，以捷運公司裝設之 10 部自由場強震儀即時震度資料為輔。而現行用來控制行車安全之震度，僅以地表最大地動加速度 (PGA) 做為唯一參數，具有以下之風險：

- (1) 自由場 PGA 的可靠度：PGA 僅代表瞬間最大地震力，不等於破壞程度，例如 921 地震臺北盆地 PGA 未超過 200gal，但卻造成嚴重損害。理論上而言，自由場地動對結構物僅是 input，結構物本身震動則為 output，且二者間之關係並不一定是線性關係。
- (2) 中央氣象局的震度可靠性：目前中央氣象局僅以 PGA 來訂定震度（日本已加入地動延時），無法完全反應真實地動帶來的破壞。此外整個大臺北地區僅以 2~3 個測站（臺北、五股、五分山）觀測結果來發佈臺北地區震度，此舉亦無法代表整個臺北盆地之震波破壞狀態。

目前各運作中系統最完善的地震安全停機機制，當屬核能發電廠之地震停機機制。核能電廠不以結構安全為唯一考量，其更重視設備運轉安全，因此有了基礎運轉地震 (operation basis earthquake, 簡稱 OBE) 以及安全停機地震 (safe shutdown earthquake, 簡稱 SSE) 的概念，茲詳細說明如下：

- (1) 當地震小於 OBE，屬於系統安全運作範圍，系統可繼續運作。
- (2) 當地震大於 OBE 但是小於 SSE 時，應開始系統檢查標準程序，必要時以標準步驟進行停機。

(3) 當地震大於 SSE 時，系統則需要緊急停機。

(4) 每個系統之 OBE 與 SSE 不盡相同，因此每個系統需要有本身自有之地震監測系統，以及適合系統本身之 OBE 與 SSE。

若以台北捷運行車系統來看，可由新設立之地震監測系統加上捷運公司現有之自由場強震站，發展出更完善之地震發生時行車安全控制機制，確保行車安全。

3.4 建立系統識別模式

系統識別為非破壞性檢測的一種，其重點在建立結構物之初始振動模式，當地震發生後，再次建立新的結構物振動模式，並將初始與地震過後的振動模式進行比對，藉由動模式的改變，反推結構物受損狀態，並可進一步補強。現行判斷結構物安全之鑑定，多以結構外在狀態做為評估依據，而系統識別則可分析結構物內在受否遭受破壞，使得耐震力降低，而在下次地震時遭到更嚴重的破壞。本系統之監測數據，可做為系統識別之判斷參考，增加結構安全判斷之準確度。

3.5 長期行車振動監測

捷運列車行車所造成之振動，有時會對沿線民眾生活或是精密設備造成影響，因此長期振動監測為未來環境監控不可或缺之項目。本系統之強振儀由於靈敏度極高，搭配高動態範圍之記錄器情形下，可量測極微小之振動值。未來若有需求，可藉由軟體升級，自動分析行車振動值，並做為改善行車振動之參考。

4 初步成果

本系統自 2010 年底安裝完成至今，台北地區尚未有震度 3 以上之地震發生，因此地震監測部分除了定時自我檢測之資料外，尚未有真實地震資料可供分析，為了能在系統安裝初期收集較多資料供分析比對，目前已完成由行車震動所造成之背景雜訊分析，將適度降低啟動值。至於結構監測部分則是連續記錄，每日資料均已儲存於行控中心資料庫。由於監測數量龐大，以下就每種監測儀器選取一組資料進行繪圖與說明，資料顯示時段為本文完成前 2011 年 3 月 19 日 0:00 至 2011 年 4 月 7 日 23:00 最新之 20 天資料。圖 6 為鋼筋應力計，圖 7 為混凝土應變計，圖 8 為靜態傾斜計，圖 9 為電子式水壓計，圖 10 為電子式水位計，圖 11 為相對變位計。

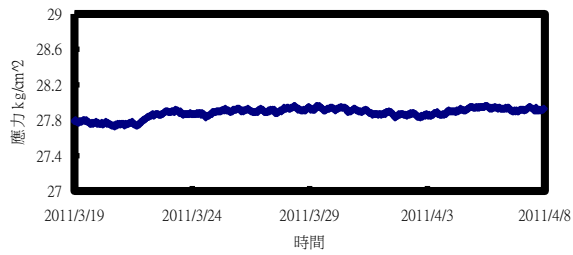


圖 6 鋼筋應力計監測結果

Fig. 6 acquisition of RS

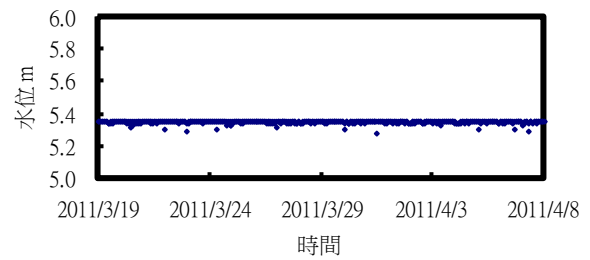


圖 10 電子式水位計監測結果

Fig. 10 acquisition of EOW

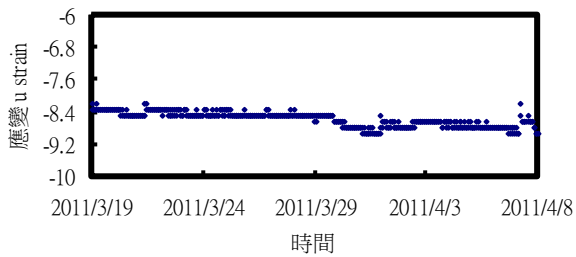


圖 7 混凝土應變計監測結果

Fig. 7 acquisition of CS

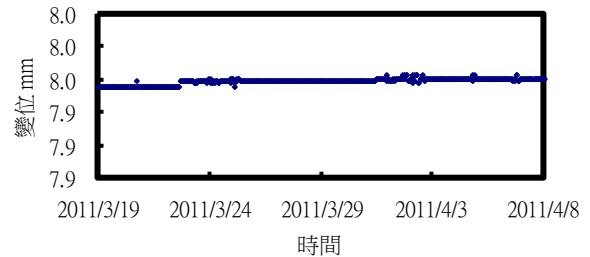


圖 11 相對變位計監測結果

Fig. 11 acquisition of RD

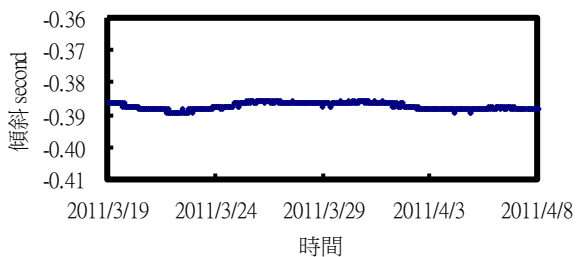


圖 8 靜態傾斜計監測結果

Fig. 8 acquisition of ET



圖 9 電子式水壓計監測結果

Fig. 9 acquisition of ELP

- (1) 由圖 6 至圖 11 之各類儀器監測結果可發現：各類儀器均為靜態監測儀器，在未發生地震情形下，隨時間之變化十分穩定。
- (2) 監測地點為捷運車站，傳輸線路經過各種電器設備干擾下，雖經過弱電接地，仍有些微雜訊存在。
- (3) 鋼筋應力計與混凝土應變計觀測值之隨時間變化較其他類儀器稍微明顯，顯示可能受到溫度變化影響，但是變化範圍極小，不影響觀測結果。
- (4) 各類儀器短時間內雖無明顯變化趨勢，但若累積長期資料可做為判定結構物安全之參考。
- (5) 若監測地點發生較大地震，則可由震前與震後之各類儀器變化量，觀測結構物整體變化，做為結構物受地震影響之參考。

5 結論

由於臺北盆地特殊的地質條件，地震發生時震波放大明顯，即使是遠距離地震亦有對盆地內重要設施造成破壞的可能性。因此捷運局自新莊蘆洲線開始，於每條新建路線上選擇部分車站建置地震監測系統，並且於行控中心設置資料整合系統與資料庫。希望藉由對地震的加強監測與長期收集地震記錄，提供給設計單位做為後續新建工程耐震設計之

參考，以達抗震減災之最終目的。

此外除了設計回饋，本監測系統之應用範圍還包括了結構物安全評估、行車安全輔助、系統識別模式建立、長期行車振動監測等，同時還預留未來整合其他新建車站地震監測系統以及軟硬體升級之空間，以期讓本系統發揮最大之效能與貢獻。

參考文獻：

- [1] 辛在勤.台灣地區強地動觀測計畫[C].台灣地區強地動觀測計畫研討會論文摘要.1993:1~10.
- [2] Wen, K. L., Fei, L. Y., Peng, H. Y., and Liu, C. C., Site effect analysis from the records of the Wuku downhole array[J], Terr. Atmos. Ocean Sci., 1995,6, 2, 285-298.
- [3] 王乾盈,蔡永龍,葛滿龍等.以淺層反射震測調查臺北盆地第三紀基盤構造[C].「台灣之第四紀」第五次研討會暨「臺北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集.1994:169-175。
- [4] 簡文郁,張毓文,溫國樑,羅俊雄.臺北盆地地盤效應分析[J].結構工程.2002:17,3,3-17。
- Chien, W.Y., Chang, Y.W., Wen, K.L., Loh, C.H., The ground effect analysis of Taipei basin. Structural Engineering. 2002:17,3,3-17
- [5] Huang, M. W., J. H. Wang, H. H. Hsieh, and K. L. Wen, High frequency site amplification evaluated from borehole data in the Taipei basin[J], Journal of Seismology, 2009, 13, 4, 601-611.
- [6] Sokolov, V., K.-L. Wen, J. Miksat, F. Wenzel, and C.-T. Chen, Analysis of Taipei basin response on earthquakes of various depth and location using empirical data[J], Terr. Atmos. Ocean Sci., 2008, 55-65.
- [7] 邱世彬,張郁文,簡文郁等.臺北盆地設計地震微分區研究.國家地震工程研究中心報告[M].台北:國家地震工程研究中心,2008.