

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

地下結構物地震後之 品質檢測及修補技術

服務機關：台灣電力公司鯉魚潭工程處

出國人：職稱：資料股長

姓名：蔡銘笙

出國地區：法國、荷蘭

出國期間：90年7月7日~7月17日

報告日期：90年8月20日

目 錄

壹、出國緣由及行程

貳、地下結構物之品質檢測

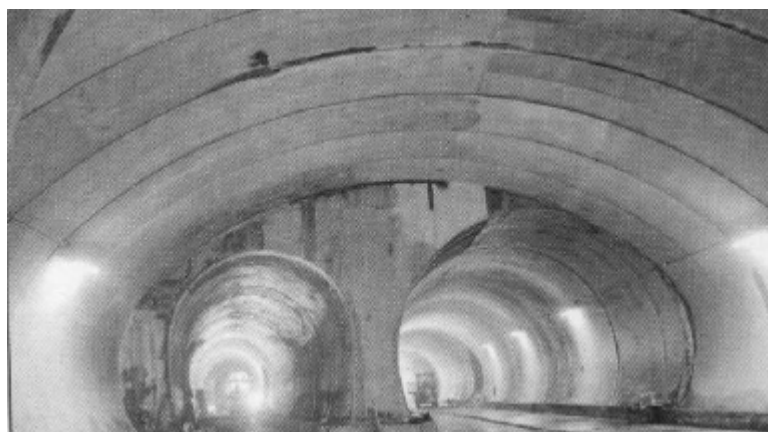
參、修補技術簡介

肆、檢討與心得

壹、出國緣由及行程

88年9月集集大地震，震毀了許多結構物，其中屬嚴重毀損者，需要拆除重建自然無庸置疑，卻有為數更多之結構物，因外觀上無明顯之損傷，無法了解其是否受損，即令可看到結構物表面發生裂縫者，其內部受損狀況及程度亦不得而知。這些灰色地帶的結構物，是否存在著安全方面的顧慮，著實令人擔憂。因此針對這些結構物在地震後，如何做品質方面之檢測，並採取適宜、有效以及快速之修補方法，乃益形重要。目前國內雖然亦有引進部分設備及技術，惟仍屬傳統工法，亟待加以提昇。國外採用先進之儀器及設備，以非破壞技術，檢測結構物之損傷情形，並不斷改進其修補技術，已有多年經驗，且實績斐然。為更進一步了解各種先進之檢測設備及修補技術，並熟習其作業原理及相關配合設施，職奉派於民國90年7月7日至7月17日出國研習，藉以汲取國外之技術及經驗，進而推廣於國內使用，以提昇國內施工品質及水準。

本次出國期間透過法國 RB Conseils 公司之安排，參訪該公司及其協力廠商在阿姆斯特丹及巴黎二地之工地，觀摩地鐵及隧道等地下結構物之品質檢測及修補，受益匪淺。



往巴黎 *Condorcet Saint Lazare* 車站之地鐵

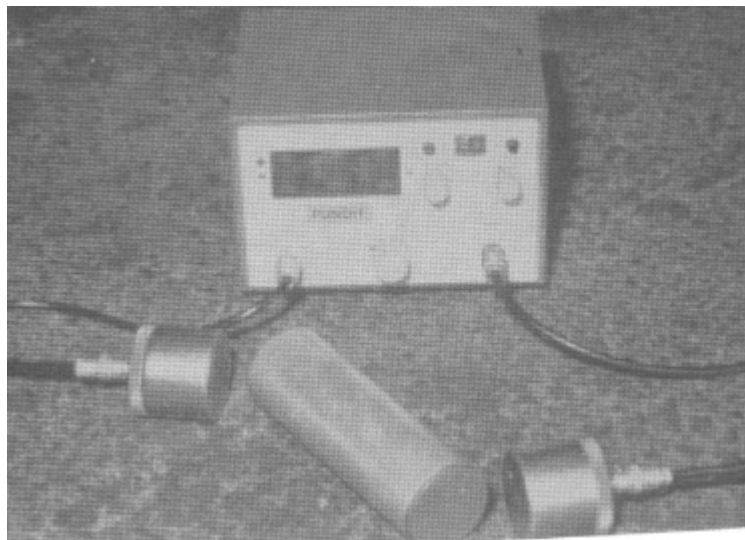
貳、地下結構物之品質檢測

地下結構物遭受強震侵襲後所引致之結構破損及裂縫，需以非破壞評估方法(Non Destructive Evaluation, NDE)來檢測其損壞程度及裂縫深度，並利用結構力學理論，評估其繼續使用之安全性。

非破壞品質檢測方法介紹如下：

一、超音波法(Ultrasonics)

超音波法乃藉由壓電式探頭，發出 20KHZ 以上超音波震波傳入混凝土襯砌內，量取混凝土襯砌內之波速，由時距(Travel-Time)來評估裂縫之位置及深



度。

超 音 波 量 測 儀

二、音射法(Acoustic Emission)

音射法以量測結構體內裂縫延伸時所產生之彈性波訊號，由置於結構體表面之波動探頭量取音射訊號之發生率、傳播時間和波形，來判斷裂縫之位置和嚴重情形。

三、敲擊迴音法(Impact Echo)

利用鋼珠撞擊混凝土表面所產生之暫態彈性波，在結構物表面與缺陷間來回反射訊號之頻譜特徵，來判斷缺陷之深度。敲擊迴音法能確實有效的偵測出混凝土結構物內部的瑕疵，以及測定混凝土結構表面裂縫深度。



四、熱紅外線掃描法(Infrared Thermography)

在絕對零度以上，任何物體表面均會輻射出紅外線，其輻射量與物體溫度有關，可藉由量測物體表面溫度的變化，偵測其內部之缺陷。但此法容易受環境溫差變化之

影響而降低其準確性。

五、影像掃描法(Geotomography)

襯砌表面的裂縫狀況，可藉照相或攝影的方式記錄其表面的影像。由於使用中的隧道可供檢查的時間並不多，需採用能迅速準確定位及高解析度之設備，因此高解析度雷射掃描器最符合所需。

六、透地雷達法(Ground Penetrating Radar)

透地雷達法是一種反射電磁波探測法，以 80MHZ~2.5GHZ 之電磁波，導入地下結構物中，在界面發生部分反射，由接收天線接收，記錄於儀器內，將連續之歷時紀錄排在一起，成為雷達波剖面，以描述結構物內部構造，調查結構物完整性以及其背後之狀況。

此次研習承蒙 RB Conseils 公司之安排，觀摩了 Spie Batignolles 公司在巴黎 Condorcet Saint Lazare 地鐵車站附近之工地，並介紹了影像掃描及透地雷達二種較為先進之品質檢測技術，茲分述於下：

一、影像掃描法簡介

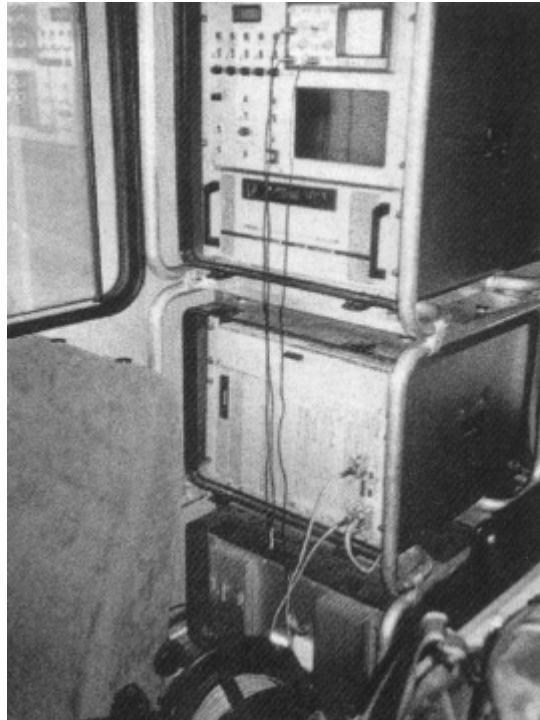
(一)設備原理

此行觀摩所見為德國 Spacetec 公司所製造之 TS-360 隧道掃描系統,此系統為隧道內部檢測所專用,其功能在於掃描隧道襯砌表面裂縫。TS-360 隧道掃描系統可做 360° 之環狀掃描,將隧道內側四周情形記錄下來。其原理是以旋轉的雷射光束照射檢測範圍(轉速為 140rps),再接收反射回來的光束,這些光束的強度會顯示出檢測範圍的光線強弱,將接收的光束訊號轉換成電子訊號,經過電腦處理、分析,即可反映出該檢測標的的影像及物理特性。

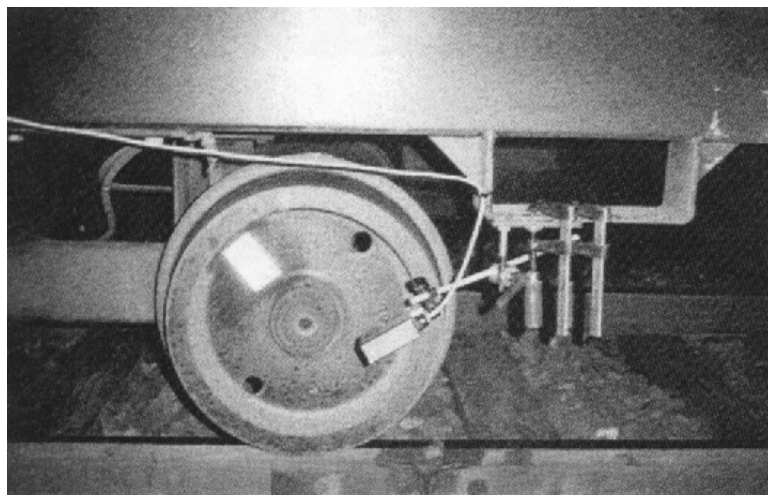
(二)現場操作

1. 先將掃描儀器及控制紀錄儀器間以電纜線連接,設定好適當的施測參數,並決定量測車前進的速度。前進速度依掃描器至隧道壁間之距離及所採用之掃描模式而定。在車輪軸旁之鐵架上設置有一感應計,可感應車輪上反光貼紙經過的次數,藉以推算行車之距離。此外,並於每天開始量測前,事先校正雷射光束之強度,調整至適當的動態範圍,使隧道內部影像能完整的顯示出來。

2. 在隧道洞口外數公尺處開始，以 2km/hr 之速度沿隧道中心軸前進，而雷射光束則對隧道內側四周進行連續之 360° 環狀掃描，再以磁帶記錄反射回來之光束。記錄時需注意磁帶之容量，並適時更換紀錄磁帶。當量測途中中斷時，需倒退 20-30 公尺對同一區域重複掃描，以校正兩次施測間之差異。為安全起見，掃描儀器開始放射雷射光時，避免在近距離內直視雷射光束，以免對眼睛造成嚴重傷害。



TS360 現場配置情形



TS360 現場測距情形

(三) 資料處理

1. 現場資料需轉換為影像資料。由於現場紀錄是連續不停的記錄反射之光束強度，故需將這強度值依隧道的幾何形狀排列起來，方能呈現出隧道內部之影像。

2. 修正幾何位置

如果隧道斷面非正圓形，且掃描轉鏡之位置未置於隧道斷面之中心點，自旋轉鏡至隧道壁之距離將會隨旋轉角度之不同而改變，導致在不同位置時掃描密度會不同，而使得影像呈現扭曲現象。因此需利用已知之隧道洞口形狀來修正垂直面（指垂直隧道軸）之影像，而水平方向（指沿著隧道軸向）之影像則根據量測時之行車速率來修正。最後再依量測目的修正影像亮度及明暗之對比，突顯隧道內部異常部分之影像，即可獲得隧道內部襯砌表面之影像成果圖。

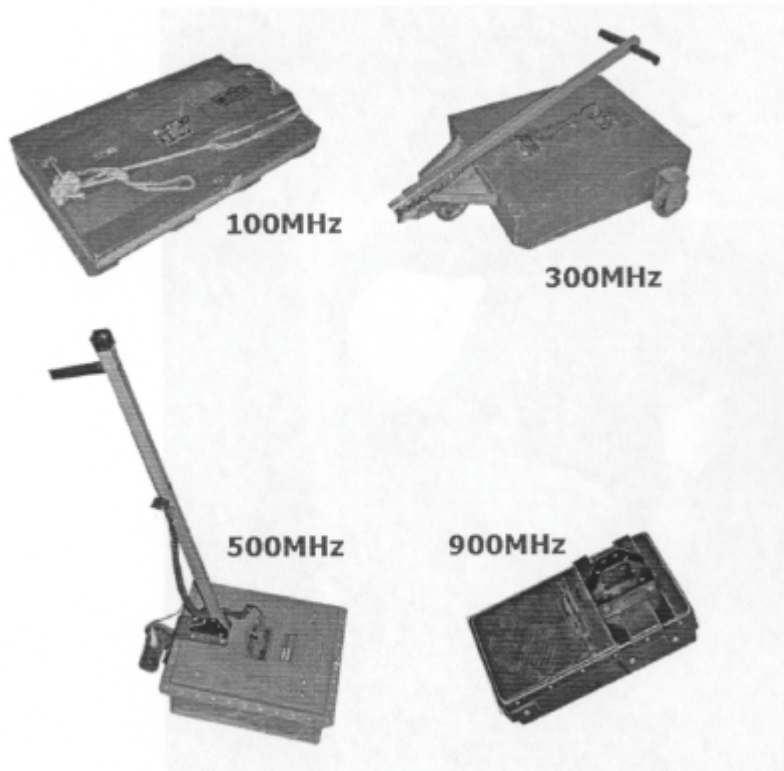
影像成果之判讀，可就隧道整體之特性，對隧道內部裂縫之狀況作綜合性描述，並將其判讀圖轉換為 AutoCad 格式加以繪示。

二、透地雷達法簡介

(一)設備及原理

此行研習所見之透地雷達儀器為美國 GSSI 公司所製造之 SIR-10 透地雷達系統，其整體設備包括主機、螢幕及天線。

雷達波是一種高頻電磁波，在真空中能以光速前進，其波長約自 1 公分至 1 公尺，頻率則約 1MHZ 至 1GHZ。電磁波可在兩個不同電性介質之介面發生反射，因此當電磁波在隧道襯砌內碰到裂縫、空洞時，均會反射部分能量至接收天線處，而由天線接收。一般混凝土之介電係數在 6 左右，而岩層亦在 6-8 左右，因此如果隧道襯砌與岩盤交接良好，未產生任何空隙或裂縫，將無明顯之反射介面。透地雷達可以說是隧道品質檢測極為有效之工具。



透地雷達儀器設備

（二）資料處理

記錄資料前必須適當選擇天線頻率，並調整記錄深度、率波範圍、疊加次數及掃描頻率等參數，以獲得最佳品質。

資料處理旨在突顯反射訊號、減弱雜訊並將雷達波剖面（距離、時間）轉換成空間剖面（距離、深度），提供更清晰合理之資料。目前透地雷達資料之處理方法包括疊加（Stacking）、過濾（Filtering）、移位（Migration）等均沿用震測資料處理之技術。

（三）施作檢討

據現場之法國資深工程師 Mr. Louis FAURE 表示：

- 1.透地雷達應用在較乾燥之混凝土襯砌，可以得到較清晰之剖面，研判上比較準確，因此檢測前宜將襯砌面先行乾燥處理。
- 2.隧道襯砌厚度如在 90cm 以下，以採用 900MHZ 之頻率為最適當。
- 3.強散射物質（如鋼筋等）會遮蔽後方之反射，影響雷達之解析能力，要另外加以研判。

參、修補技術簡介

地下結構物之修復及補強，觀察近期國外之推展，似以強化纖維之應用為最佳，亦最有發展潛力。強化纖維為一種高分子複合材料，具有重量輕、強度高、耐腐蝕、施工簡單迅速、工期短和施工成本低之優點。

強化纖維主要由纖維和基材所構成。纖維種類很多，主要有玻璃纖維、炭纖維和硼纖維等，而基材有熱固性樹脂、熱塑性樹脂等，藉由硬化劑和催化劑的使用，使纖維和基材緊密地共固成強化纖維。強化纖維具有如下之優點：

- 一、具有比鋼材更大的彈性模數、拉力強度及疲勞強度。
- 二、具有極高之強度/重量比值。
- 三、具有極高之塑性變形尺度，能在各種形狀的結構物上進行修補。
- 四、具有提高長短期的力學性質，減少潛變和熱膨脹。

以下介紹此行中，見習國外地下結構物修補實例，並就其施工程序加以說明：

一、面層處理

(一)首先，需去除結構物襯砌表面之劣化層(風化、游離石灰、脫模劑、剝離之砂漿、粉刷層及污物等)，並加以研磨，若有粉飾需鑿除之。

(二)以空壓噴嘴毛刷及砂輪機將待補強區域之粉塵及鬆動物質去除直到粗骨材為止，再用水洗淨，並使其表面恢復乾燥。

二、斷面復舊

(一)將混凝土面層的不良部份(剝落、孔隙、蜂窩、腐蝕等)清除。若有鋼筋外露情形，先做好防鏽處理，再以強度相等或強度大於混凝土的環氧樹脂砂漿材料修補。

(二)裂縫以環氧樹脂灌注。

(三)裂縫或打除部份若有漏水情形時，應先施做止水、導水處理。修復完成後之高差應在 1mm 以下。

三、表面修正

(一)表面凸出部份(小突起等)以切割機或砂輪機將其削除並使其平滑。

(二)轉角處需處理,凸角及凹角 R 值以 10-30mm 為準,凸角以砂輪機研磨,凹角以樹脂砂漿填補。

四、底漆塗佈

氣溫在 5°C 以下,雨天或 RH>95%時,不可施工。

待施工範圍的溫度、濕度確認後,選用適當的底漆。

(一)將主劑和硬化劑依所規定的配比放置於拌合桶中,使用電動拌合機,使其均勻的混合(約兩分鐘)。每次的拌合量需配合施工量,已超過時間的材料,不可再使用。

(二)以毛刷滾輪均勻塗佈,依現場狀況決定是否塗佈第二道(初乾之後)。塗佈量隨施工面的方向及粗糙的程度有所變化。

(三)指觸乾燥時間約 3 小時~12 小時。

五、表面不平整再修正

底漆乾燥後,凹陷、孔洞以環氧樹脂砂漿補土填補。

六、強化纖維的粘貼

氣溫在 5° C 以下，雨天或 RH>95%時，不可施工。

待施工範圍的溫度、濕度確認後，選用適當的環氧樹脂。

(一)纖維布或貼片預先以剪刀或刀片依所設計的尺寸大小裁好，並依使用量裁剪尺寸。為避免保管期間破損，裁剪數量應配合所需。

(二)將環氧樹脂的主劑和硬化劑依所規定的配比放置於拌合桶中，使用電動拌合機，使其均勻的混合(約兩分鐘)。每次的拌合量需配合施工量，已超過時間的樹脂，不可再使用。(可使用時間依樹脂使用說明而定)。

(三)環氧樹脂用毛刷滾輪平均塗佈(塗於底漆上)。塗佈量因施工面的表面、粗糙度等影響會有變化，轉角部份要多塗佈。

(四)強化纖維粘貼於樹脂塗佈面後，以毛刷滾輪和橡皮刮刀順著纖維方向用力推平，使樹脂浸透並去除氣泡。纖維(長向)方向的搭接長度要留 20cm，短向則不用留。

(五)粘貼後放置 30 分鐘，若纖維有浮出或脫線情形發生時，以滾輪或橡皮刮刀壓平修正。

(六)強化纖維表面再塗佈樹脂(塗於面層)，與(五)相同要領，以毛刷滾輪或橡皮刮刀順著纖維方向用力推展，使樹脂充分浸透和補充。

(七)兩層以上的強化纖維相疊黏貼時，重覆(三)~(六)的步驟。

七、養護

室外施工時，為了不讓雨水、砂或灰塵附著於上，必須使用塑膠布保護。

(一)強化纖維補強施工時，用塑膠布覆蓋防止雨淋，要注意覆蓋布不要碰觸到施工面。

(二)覆蓋布養護需要 24 小時以上。

(三)為達成設計強度，養護時間如下：

平均氣溫 10° C 時，養護期間為兩週。

平均氣溫 20° C 時，養護期間為一週。

八、完工後表面層之保護噴塗

- (一) 碳纖維本身有隔絕紫外線、防止樹脂劣化的效果。施工面如果受日光直接照射時，以耐候性塗料或樹脂砂漿噴塗保護較為適當。
- (二) 噴塗保護要等樹脂初期硬化後再施行。
- (三) 施工需依各種塗料的標準施工法施工。

肆、檢討與心得

- 一、國外使用影像掃描法及透地雷達法，來做結構物品質之檢測，已行之有年，技術及經驗亦臻成熟，國內雖有零星引進，但採用仍不普遍，應可加以推廣。
- 二、透地雷達技術仍需加強發射功率及接收微弱訊號之能力，以提高訊號穿透及資料解析能力。
- 三、強化纖維補強技術，應可適用於通達隧道及地下廠房，如果應用於壓力隧道，能否承受強力水流之沖刷，仍須另有試驗數據加以佐證。
- 四、混凝土澆置後，在未達預期強度前，如有突發強震，是否影響鋼筋之握裹力，並無法由本報告所介紹之檢測方法得之，仍為日後需探討之課題。
- 五、地下結構物由於自由度較少，且與周圍土壤互制，加上地震波能量在地下並未能完全釋放，通常受地震傷害較小，因此重要之結構物，不妨可考慮予以地下化。