

九二一集集大地震之供水設施損壞分析研究

1 陳耀楠，2 王炳鑫，3 曾盛一，4 顏福順，5 蘇怡珮，6 林子立
1 協會理事，2 經理，3 工程師，4 工程員，5 營運士，6 技術士
中華民國自來水協會，台灣省自來水公司

摘要

1999年9月21日凌晨1時47分12.6秒，台灣地區發生芮氏規模7.3級強烈地震，震央位於日月潭西方12.5公里處，震源深度1.1公里，屬於淺層地震。本次地震後又持續發生超過一萬餘次餘震，其中多次震度規模達6.0以上，且震央多集中在雪山山脈與中央山脈之間，除造成人民生命財產及公私建築物遭受重創外，災區內台灣省自來水公司轄屬之供水設施損壞亦相當嚴重，尤其斷層帶經過之台中縣(市)、南投縣等轄內之各供水系統，其所有供水設施幾近完全癱瘓，造成全面性停水。本次震災所造成之損壞及破壞機制為台灣地區百年所罕見(詳圖一)，涉及供水設施防災層面之問題相當廣泛，且延伸之影響至深且鉅，中華民國自來水協會有鑑於此，乃積極著手進行相關之分析研究。

本研究係依調查統計結果進行分析，包括：

- (1) 依供水系統別之損壞調查統計。
- (2) 依地震強度別之損壞調查統計。
- (3) 依斷層沿線周遭一定範圍內之損壞調查統計。
- (4) 依不同管材、類別之損壞調查統計。
- (5) 依地震災害形態別之損壞調查統計。

冀望藉由上開之調查統計分析資料，來加以探究本次地震中供水設施損壞的原因，除地震強度過大與供水設施位於直接斷層上，可歸因於自然因素外，其餘凡涉及供水設施、設計、施工監造、管理與管

材選用之問題等人為因素亦為導致損壞之重要因素。故今後如何從根本上強化供水設施之設計、監造與審核之責任，落實相關工程之施工管理與品質管制，同時重視管材選用策略之妥適性，俾維護供水設施之耐震防災能力，當為政府與自來水事業體未來因應地震發生，減少地震傷亡與財產損失的努力方向。

緒論

緣起與背景

本次921集集大地震的破裂帶乃沿著車籠埔斷層與大茅埔雙冬斷層錯動，位於震央的大茅埔雙冬斷層向西推擠，造成車籠埔斷層的移動。車籠埔斷層從北端的豐原、潭子，經太平、大里、霧峰、草屯、南投市、名間、竹山，至南端的雲林縣古坑為止，所受到作用力的方向水平力達 983 cm/sec^2 ，產生長約100公里的強烈破壞地帶，其逆衝斷層為上盤衝擠下盤，造成能量的釋放。大茅埔雙冬斷層沿線的東勢、國姓、中寮、集集等地災情頗為慘重。車籠埔斷層於北端的豐原向東側轉45度角延伸至苗栗縣卓蘭，並與大茅埔雙冬斷層向北推擠夾擊東勢、石岡等地，使其受災情況為各地之最。

(1) 各地之震度

本次九二一集集大地震依中央氣象局所測得的震度範圍詳圖二：九二一地震震度等值線圖。

(2) 地震之特徵

本次 921 集集大地震發生在車籠埔斷層上，其破壞機制所形成之地震特徵很清楚地表現在震源機制上。從蒐集研究文獻中得出震源機制，由世界網的資料顯示：其主要破裂面為南北走向，傾角向東約為 26 度，幾乎為純逆斷層機制，能量釋放約 5.62×10^{22} 達因—公分，相當於 $M_w = 7.3$ 。據破裂研究文獻分析報告，此地震破裂總長約 100 公里、寬度約 30 公里。最大錯動位於震央往北約 35 公里處(豐原一帶)約 6.5 米，然後繼續轉折約 30 公里，往南破裂約 30 公里，往北破裂在地理位置上即為豐原一帶，往南破裂的位置則為 1998 年 7 月 17 日瑞里地震之震央一帶。而較大餘震幾乎包圍大主震破裂帶，因此，皆在車籠埔斷層東方及震央南方一帶。北方以三義—埔里地震帶為邊界形成一屏障。

方法與步驟

- (1) 研擬計畫。
- (2) 國內外相關文獻之蒐集與研究。
- (3) 相關背景資料之蒐集與研析。
- (4) 電話查證、實地確認及參與計畫人員不定期檢討諮商。
- (5) 舉辦期中報告併辦專家座談會。
- (6) 舉辦專題研討會。
- (7) 舉辦期末報告彙整檢討意見，修訂完稿後提出定案報告。

研究目標

- (1) 探討分析本次地震中供水設施損壞的原因及相關機制
 - A. 地震強度與損壞程度之關係。
 - B. 斷層帶與損壞程度之關係。
 - C. 不同管線、類別受損率間之互動關係。
 - D. 地震災害形態別與受損率之關係。
- (2) 依經驗歸納所獲結論，提出對未來研

研究方向之建議

- A. 如何從根本上強化供水設施之設計、監造與審核之責任、落實相關工程之施工管理與品質管制。
- B. 重視管材選用策略之妥適性，俾維護供水設施之耐震防災能力。

研究內容

- (1) 抽樣區隔以供水系統，非以行政區域。
- (2) 研究區域以官方宣布之 921 地震範圍為主(即北至新竹以南，南至高雄縣東北方附近，西迄彰化附近，東至中央山脈以東，長度約 150km，寬度 80km)，非以全省為區域。
- (3) 調查依實際下腳廢料及現場踏勘所顯示之樣本為主，並統一格式，確認要因後，重新修正部份原報數據及態樣，使更符實際。
- (4) 重新篩檢各樣本，凡非屬地震原因造成者(例其他工程損害案件)，或原提報有重複者(例用戶無水案件)，均藉此予以整合、刪除或更正。

研究發現

依供水系統別之損壞調查分析

調查範圍內計有 46 個供水系統，茲依受損之高低按十進位予以分組，俾初步區劃受損系統，其損壞分布情形詳圖三損壞分佈圖。其中震度 4 以下以鹿港系統較嚴重，震度 5 間以山地鄉谷關、霧社、信義、人倫、羅哪及平地鄉之員林、社頭等供水系統受損較嚴重，震度 6 間輸配水管受損以中寮、霧峰、東勢、卓蘭、日月潭，用戶外線以中寮、東光、日月潭、德化、鹿谷等系統受損較嚴重。

依地震強度別之損壞調查分析

- (1) 若以 4 級以下震度受損率為基準相對於 5 級、6 級之受損率，其比值分別為輸配水管線 1：5：30，至於用戶外線部份則為 1：85：327，足證受損率與震度正相關，且震度愈強受損率成相當倍數成長；其損壞調查分析統計詳圖四。
- (2) 各震度各單項管種受損率調查分析(詳表一)，整體而言，各管種受損率震度 6 級以 HDPE (1.9871 件/公里)、震度 5 級以 ACP (0.9823 件/公里)、震度 4 級以下以 FRP (0.0918 件/公里) 等居首。
- (3) 在不同震度之下，各單一管種受損率與日本阪神震災受損率之比較分析(詳表二)

依斷層沿線周遭一定範圍內之損壞調查分析

- (1) 台中系統經修正取樣區域後之受損率分析及比較

由於台中系統因震災情形差異頗大，為設法消除統計上所造成集中趨勢之偏移效果乃以兩斷層實際影響之地帶作為調查範圍，即以台中市北屯路、進化路以東、中興路以北為調查對象，重新修正其數據，其結果詳圖四，證明台中系統雖有兩條斷層通過，惟主要受損區仍集中於車籠埔斷層帶，至於雙冬斷層因位於東半部山區遠離供水區，相對未造成損害。此外東勢、竹山、坪頂、草屯等四個系統跟台中系統同樣，其雙冬斷層所通過之地區所幸均屬山區，而實際有造成損壞者，亦均位於車籠埔斷層帶(詳圖三)。

- (2) 經分析發現此次震災以雙冬斷層沿線

自來水管線設施平均受損率較嚴重，車籠埔斷層次之。

不同管材、管徑、被害點形態、用途等類別之損壞調查分析

- (1) 經分析依管材別輸配水管線受損率以 HDPE 1.9094 件/公里最嚴重，ACP 0.9823 件/公里其次；用戶外線管材受損率以 PVC 0.8698 件/公里最嚴重。其結果詳圖六、七。用戶外線屬具受損率以由令 0.7580 件/千戶 並不嚴重。其結果詳圖八。
- (2) 按管徑別分析，輸配水管線以 $\phi 100 \sim 150$ m/m 受損率 0.2755 件/公里最嚴重， $\phi 80$ m/m 以下受損率 0.2173 件/公里次之；至用戶外線部份以 $\phi 20 \sim 25$ m/m 受損率 0.7594 件/公里最嚴重。

- (3) 按被害點形態分析，輸配水管線以直管折損受損率 0.1788 件/公里居首，接頭脫接受損率 0.0291 件/公里次之，另外屬具破損佔 6.0475 % 亦相當可觀；用戶外線部份以直管折損受損率 0.7983 件/公里居首，接頭脫接受損率 0.1594 件/公里次之，另外屬具破損佔 1.0051 % 亦相當可觀。

- (4) 按用途別分析，輸配水管線受損 4,447 件佔 22.6%，用戶外線受損 15,219 件佔 77.40 %，以受損率分析，則輸配水管線為 0.2312 件/公里，用戶外線 1.1854 件/公里，兩者受損率比值為 1：5。其結果詳圖九。

依地震災害形態別之損壞調查分析

- (1) 經分析輸配水管線部份以震動受損率 0.1317 件/公里居首，地層隆起陷落受損率 0.0972 件/公里次之；用戶外線部份以震動受損率 0.7880 件/公里

居首，地層隆起陷落受損率 0.3774 件/公里次之。

(2) 其中因地震震動受損率居冠之原因，主要係此次地震為淺層垂直型的地殼變動，除在傳統的左右震動外，尚加上上下下振動致造成廣泛地域破壞加劇事例徒增，同時因地盤巨大的強制變位所受到的破壞相對提高，其破壞點大致分述如下：

- A. 管路形狀的變化點一例丁字、栓閘連接處、供水分歧處。
- B. 地盤及地盤的變化部位一例構成地層、傾斜地、構造物裝設部位。
- C. 至於因地層隆起陷落而受損之原因，主要係集中於兩斷層帶沿線之地層位移處隆起（龜裂），另因部分地區發生土壤液化現象（陷落），至管線設備斷裂、脫接之受損情形相較於前揭因震動受損之情形，明顯偏低，依損害機制與受害面積相對機率言，在統計上應屬合理。

探討分析及經驗歸納

地震強度與損壞程度之關係

由前述研究發現中，吾人大致可以理解地震強度與損壞程度確有相當之因果關係，而且震度愈強受損率幾成倍數成長；通常地震規模愈大，它所釋放的能量亦愈大，當然所導致的災害愈大，但仍須視震央與供水區域內設備稠密度與距離遠近而定，同時就地震而言，它既是一種能量的釋放，且係以波的形式向四方傳播，於傳播途中，能量會因摩擦、吸收等而衰減，又因各岩石、土壤、地質的物理性質不同，能量、振幅等衰減也因而不同（後者是較小的因素）。所以原則上在有效距離內，同一地區之地震規模愈大，災害也愈大是不可否認的。

斷層帶與損壞程度之關係

斷層經常是地震釋放能量的地方，許多大地震發生後，常出現地表破裂的現象，究竟是斷層引發地震抑或地震造成斷層，目前尚無科學上的定論。唯此次地震供水設施損壞最嚴重地區為雙冬斷層兩側地區以及車籠埔斷層沿線及其以東上盤地區（詳圖十），本次災害除直接受斷層錯移而造成之災損外，其餘主要災損係因地震產生之震動加速度太大而造成的破壞，尤其後續之餘震不斷，且其震度亦相當大亦為主因。

雙冬斷層位於車籠埔斷層之東約十餘公里，作南北方向延伸，但向北於穿越大甲溪後轉為東西向，此次九二一大地震雙冬斷層兩側地區供水設施受損極為嚴重，輸配水管線平均受損率為 1.2327 件/公里，用戶外線平均受損率為 23.3602 %，主要係受到強大地震震動力的破壞。

由於車籠埔斷層及雙冬斷層為約制本次九二一大地震的兩條主要斷層，於地震發生後，經調查結果顯示，此次地震雙冬斷層本身並無明顯大量錯移，但沿線多處地方發現有噴沙或噴泥現象，形成砂火山或泥火山，並於中寮大坑溪溪床雙冬斷層位置發現溪床沈積層呈階梯式落差斷裂，由上揭地震災害形態研判，其岩石或土壤之地質結構與車籠埔斷層帶沿線不儘相同（詳圖十一）。

且屬易因地震波動引發地盤變形之物理性質，又後續之餘震震央亦集中於此斷層帶兩側附近（詳圖十），故受損率偏高應可理解。

不同管材、類別受損率間之互動關係

由不同管材及受損類別間之交叉分析，獲得兩者間之互動關係，經加以歸納如下：輸配水管受損率方面（詳表三），直管（本體）折損以 ACP 0.4912 件/公里居首，PCVP 0.2019 件/公里次之，CIP 0.1750

件/公里再次之；另件（異形管）破損依次如下 DIP 0.0244 件/公里，CIP 0.0148 件/公里，PVCP 0.0042 件/公里；接頭脫接依次如下 HDPE 1.9094 件/公里，ACP 0.4912 件/公里，DIP 0.1582 件/公里；接頭破損依次如下 GIP 0.1848 件/公里，DIP 0.0016 件/公里，PCVP 0.005 件/公里；屬具受損率為 6.0475 %。

用戶外線受損率方面（詳表四），直管折損依次為 PVCP 0.7968 件/公里，LP 及 GIP 0.0008 件/公里；另件破損 PVCP 0.0546 件/公里（以三通、肘管為主）；接頭脫接 PVCP 0.0065 件/公里，LP 0.0005 件/公里；接頭破損 0.0119 件/公里，GIP 0.004 件/公里；屬具受損率（詳表五）依次為由令 0.7580 件/千戶、止水栓 0.7214 件/千戶、接合管 0.4571 件/千戶。

上揭情況詳圖十二、十三、十四所示

地震災害形態別與受損率之關係

經嘗試將此次地震所發生之災害形態，依土壤液化、山崩、地裂等現象與受損率進行交叉分析，其中輸配水管受損情形，以液化加地裂之地區受損率 2.8522 件/公里最嚴重，以霧峰供水系統為主；用戶外線受損率情形，以三者（液化加地裂加山崩）之地區受損率 9.1268 件/公里最嚴重，以東勢、南投、名間等供水系統為主。

結論與建議

結論

- (1) 民國五十年代引進國內之硬質塑膠管（PVCP）於此次震災中其受損率，輸配水管線為 0.2174 件/公里，用戶外線為 0.8698 件/公里，亦為主要受損管材，其中輸配水管線以直管折損 0.2019 件/公里居首，接頭脫接 0.0109

件/公里次之；用戶外線以直管折損 0.7968 件/公里居首，另件破損 0.0546 件/公里次之。據損壞下腳鑑定及現場存證受損照片分析，大致可歸納如下：

- A. 直接接合方面（TS）以接頭的受損或脫接以及接頭四周的管體受損最多。
- B. 膠圈接合方面（RR）雖發現接頭脫接，插口的插入，但管體本身的受損亦相當嚴重。由此可見其管材之耐震性較差，至於接頭部份亦應有改良空間。

- (2) 用戶外線受損 13510 件佔 78.13%，為此次震災搶修復舊工程延誤最大主因，其受損重點除直管折損（含 PVCP、LP、PBP）外，則以屬具（含接合管、止水栓、水表、由令等）受創較嚴重，經分析除管材耐震性較差外，在系列的施工裝置上其應力受到相當之限縮，亦為主因，以上均應予以設法改善。

建議

- (1) 內政部新修訂之「建築技術規則耐震設計規範」為配合此次大地震之事實，已將全島地震分為一甲區、二乙區，其地震水平加速度係數分別為 0.33、0.23，相當芮氏規模 6 級以上與 5 級地震，因此自來水設施亦應參照其耐震設計規範，制定相關設備之耐震標準。又集集大地震時自來水設施毀損，除配水管與用戶外線直管本體之折斷、破裂、裂縫等災損最為嚴重外，幾乎以水管之接頭脫接、破裂為主，其主要原因經查為設計規範上舊基準無法適應所致。另接頭本身可撓度、伸展度均無法承受，此次屬規模 7.3 級之強烈地震，因變動扭曲幅度大，致造成大量接頭之脫接及破裂情形。故速研議提升管線接頭耐震性基

準之等級為刻不容緩之課題，同時亦應積極引進類似 DIP 耐震型防脫接頭，俾避免管線受損。

(2) 此次位於斷層帶附近或在斷層上方的管線設施，受創格外嚴重，基於震災風險管理概念之啟發，重新評估管材之耐震能力並策劃耐震管材之選用策略，是有必要，茲略述如下：

- A. 應設法利用地質資料，將地震可能再發生影響之地區及機率加以明確化。
- B. 廣蒐地震相關之地質資料，有效納入自來水維生系統使用建構管制決策中，俾降低震災可能導致的風險，例可依活動斷層資料，區劃限制使用範圍及類別，加以調整設施配置分區，並增置防災緊急遮斷設施。
- C. 除了上開運用地質與都市計劃手段，以便未來地震導致災害損失降至最低之外，具體的施設規劃管理手段也不可或缺。例如需穿越斷層的管線，應儘量在靠近斷層的部分避免有彎管局部束制的結構，及避免使用搭接的管線，如此的設計將斷層位移均勻的分布於整個管線，惟太大的位移將無法避免管線破壞。

(3) 針對目前既有管線設備應廣續加強防震保護措施，尤其位處地震頻繁地區之管線，在適當的地點須設可撓性接頭，期使管線具有彈性。在軟弱之地盤，地下水位高及沖積層厚容易造成土壤液化的地點，易受震害，必須加以注意。若管線接頭露出時，宜使用防止漏洩之接頭予以包裹，以防漏洩；管線露出時下部懸空，須檢查管線是否能承受吊具或支撐。彎管露出時，必須設固定設施，防止彎管之震脫。

(4) 配水系統區劃分割及分割小區模式化應予重視

A. 配水系統區劃分割

基於為符合本公司的經營理念「量

足、質優」之要求，今後供水調配上，務必做到水量充足，水壓穩定，水質優良，安全可靠之境界，故配水區劃之推展，當為刻不容緩之重要課題。此外對管線維修時，如何縮小停水範圍，爭取搶修時效，亦有賴此計劃之落實推展，故其計劃預期效果，可約略分述如下：

- a. 平時各小區內需要變動（含水量、水壓、水質等資訊之取得）之掌握易，而對於需要變動之因應對策亦較容易發揮效果。
- b. 緊急時，對於地震事故之因應（將災害減至最小程度），亦較有明確且彈性之有效因應對策，配水之安定供輸當更有保障。

B. 分割小區模式化

由於管線維護管理日趨複雜化，致緊急時應變能力乃十分薄弱，導致對地震災害造成之影響將無法迅速掌握，在廣域地型，地質之特異因素下，當地震範圍較廣時，對整個供水區之受災損面之局部控制能力將非常有限。就上述主要問題點，其解決途徑，初步分析以分割小區模式來加以因應，應屬可行。分割小區模式化實施後預期優點：

- a. 事故、災害之影響因有效之控制而降低至極限。
- b. 事故、災害可事先加以有效模擬，充份做好預防準備。
- c. 事故、災害可及時進行搶修復舊，早日恢復正常供水。

C. 科技檢漏在分割小區上的實務作業

應用可攜式的掌上型超音波流量計，來紀錄小區的日配水量及瞬間值，藉由簡易的數值分析，將更容易研判該小區的漏水傾向：

- a. 可早期預知並即時檢修漏，以防止爆管所產生突發性的廣泛供水異常狀況。
- b. 對於講求效率、效果與時效的科

技檢漏而言，當可改變早期一步一腳印式的傳統檢漏及浪費人力的虛工作業。

(5) 由此次震災經驗來看，管線設施應從耐震化來重新考量，具體的方法為使用可撓性、伸縮性、耐衝擊性能的耐震管線、耐震材料。今後為了提昇耐震性，應在新材料的開發引進與連接工法的改良上加把勁，積極辦理之。在耐震材料方面，例如硬質塑膠管 PVC 在日本於 1951 年開發引進後，為適應耐震需要於 1966 年曾自行研發耐衝擊性硬質塑膠管 HIPVCP，成效頗著，迄至 1995 年 1 月 17 日阪神大地震發生直下型地震造成嚴重損害後，該國重新檢討耐震水準，並續研發出一耐震硬質塑膠管 HIGVCP 以替代現行使用中之 HIPVCP。至於連接工法改良方面，日本國於阪神大地震後亦痛定思痛積極研發出一系列的方法，譬如，具有鎖構造之防脫接頭，較具伸縮性之長型膠圈接頭（詳圖十五）等之運用；另用戶外線裝接方面亦有相當的進展，茲略述如下：

A. 以往使用之 HIPVCP 在接著性能上有問題（阪神大地震後檢討發現，在國內集集大地震中亦發現 PVC 在 TS 接著上有缺失），已改用接著性能較高的 HIGVCP，（目前國內 HIPVCP 及 HIGVCP 均未曾引進使用，惟國內廠商亦已積極引進開發推廣）。

使用吸收震動性能較高的迴行管長形接頭（類似 S 型設計管件）或膨脹接頭（可通融配件）。詳圖十六、十七。

B. 使用透明的接頭以提昇 TS 接著性能。

C. 在連接屬具物件，分歧點處均使用可動接頭（由令）。詳圖十六、十七。

(6) 加強現有管線系統之耐震能力

A. 現有管線系統資料之調查整備，包括

管線位置深度及地質狀況、管線尺寸、管材種類及接頭型式、埋設年代及周遭土層是否具腐蝕性等，並進行耐震診斷，將來更應朝作成 GIS 方面去努力，俾利防災、救災之用。

B. 建立各式管材及接頭允許變形量及旋種角度或管體的容許軸向及伸張應力等資料庫，俾供規設參處。

C. 就縣有管線系統應依其影響程度及其相對之重要性，予以分級，例重要幹管及次要管線之分類，均應秉持專業經驗來予以評估，適切的分級，然後再輔以必要的配套耐震機制。

D. 積極辦理管網內管線系統之補強及改善對策，並依地盤改良及管體改善兩單元，分別就其經濟性、施工性分別考量。

(7) 加強新設管線耐震能力

A. 新設管線的設計、配置及施工，均應要求考慮地域的特性、地形地盤種類及可能的斷層位置。特別對於埋設於斷層帶、疏鬆飽和砂層、地層突然變化地區、斜坡及有滑塌潛勢及液化潛勢的場合，更應檢討地質條件對管線的影響，也可以進行適當的工程手段來改善地質條件，降低對管線的影響。另外依據管線的重要程度選用適合的地震參數進行耐震設計，管線也應選用符合國家標準或證明具耐震能力的管材及接頭。

B. 使用能承受地震荷重及地盤變形的管材和適合的柔性接頭，管線變形能力主要集中在接頭，地盤變位造成管體的作用力，會被可伸縮及彎曲的接頭所吸收。但是若地震力造成接頭伸縮量或彎曲角度超過容許值，則接頭部分會漏水甚至脫接。

- C. 管路的變形能力主要跟管材有關，因此耐震能力需考量管材強度及變形能力，其材質均應符合相關 CNS 國家標準的相關規定。
- D. 對不同管徑的管材及不同型式的接頭，應利用試驗的方法掌握管材本身的強度；各式接頭也應確認其最大的允許伸縮量及允許的撓曲角度。
- E. 嚴格要求施工品質，管線埋設施工中，應按標準施工規範確實施工，施工完成後的檢查應依照規定嚴格進行耐壓及水密性試驗。

誌謝

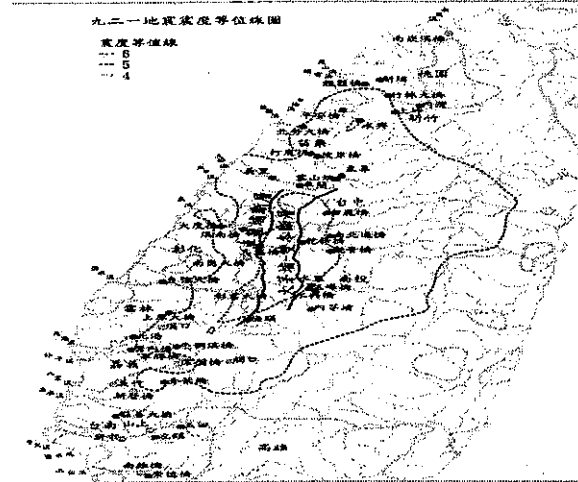
本研究承蒙並感謝中華民國自來水協會提供經費及現場工作同仁提供照片、下腳及修漏等第一手之寶貴資料，才能積極進行相關之分析研究與進行實務與學理上之印證，據以提出一份較切合實務之建言，供為業界先進之參考，惟倉促成稿，疏漏在所難免，尚祈諸先進不吝賜正為禱。

參考文獻

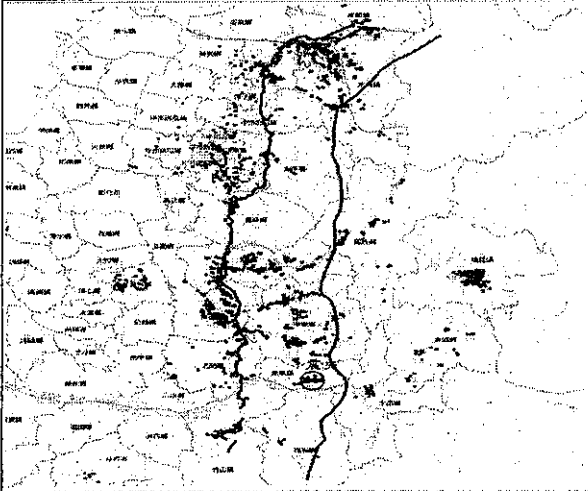
- 日本水道管路技術分析：地震被害之事例及其教訓..小出 崇等六人,1994
- 日本八戶工業大學土木工學科：有關給水管之耐震化研究，佐藤米司，1996
- 日本水道學會：阪神淡路大震災水道管路之被害及分析，工務部，1996
- 日本北淡町水道課：兵庫縣津名郡北淡町水道管路調查報告書，水道課，1995
- 日本聚乙烯管/接頭協會：關於評估地下管道之耐震性的研究，土木研究中心，1997
- 日本水道協會及日本延性鑄鐵管協會：自來水設施耐震技術，1999
- 日本聚乙烯管/接頭協會：水道用硬質聚氣乙烯管耐震對策編，2000
- 日本阪神、淡路大震災調查報告編集委員會：阪神、淡路大震災調查報告（維生系統之被害及復舊），1996
- 日本神戶市水道局：阪神、淡路大震災水道復舊之紀錄，1996
- 日本積水化學工業株式會社：HIG 耐震型硬質聚氣乙烯管（規格 JISK6742），1996
- 國家地震工程研究中心，國立台北科技大學土木系：921 震災自來水系統之災損調查研究，2000
- 內政部建築研究所：921 集集大地震建築物震害調查，1999
- 經濟部中央地質調查所：921 地震地質調查報告，2000
- 行政院公共工程委員會：地下維生線系統耐震及改善之研究，2001
- 科技圖書股份有限公司：地震工程學，岡本舜三，1979
- 牛頓出版股份有限公司：巨大地震，1999
- 經濟部水利處：九二一集集大地震地表地下水位變動分析報告，2000
- 國立成功大學防災研究中心：九二一大地震成因與斷層活動機制，1999
- 中華民國自來水協會：台灣九二一集集地震公共給水管線設備損害報告，2000
- 中華民國自然生態保育協會：大自然 No.66，2000
- 內政部建築研究所：國外建築物震害經驗、教訓及防災應用研究，丁育群等三人，1999
- 國科會工程科技推展中心：九二一集集大地震週年紀念學術研討會論文集，2000
- 台灣省政府：赴日本考察關西震災報告（自來水及瓦斯部分），劉家堯、王炳鑫，1995



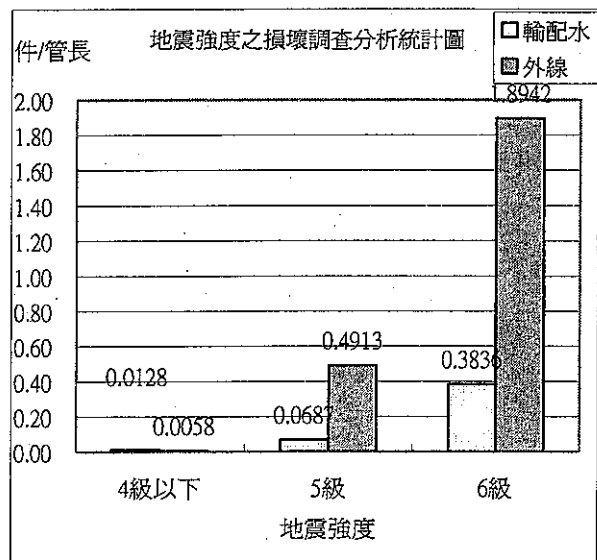
圖一：豐原第一淨水場 2000mmSP
輸水幹管損壞—擠壓成團狀



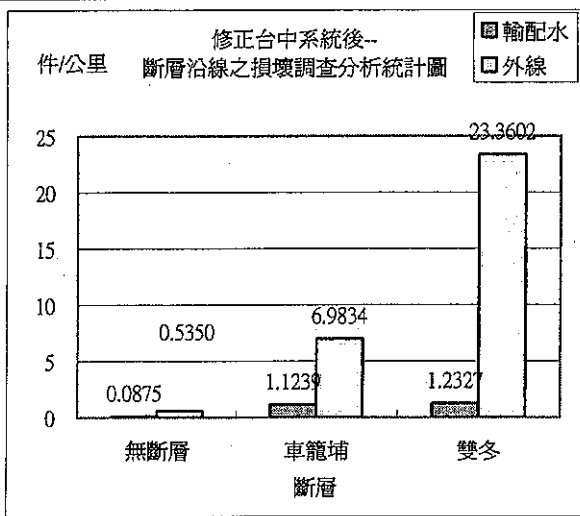
圖二：九二一地震震度等值線圖



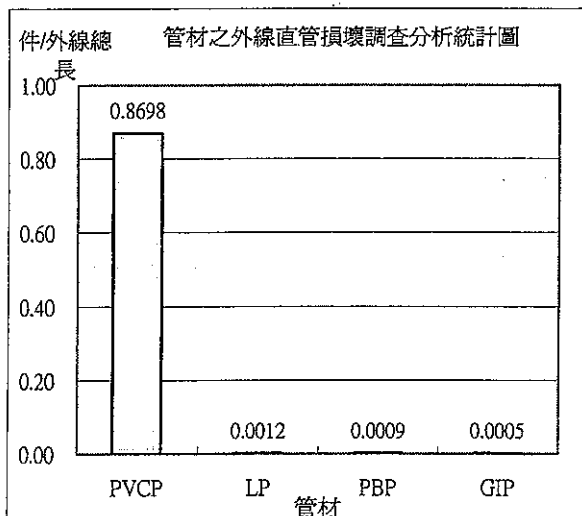
圖三：損壞分佈圖



圖四

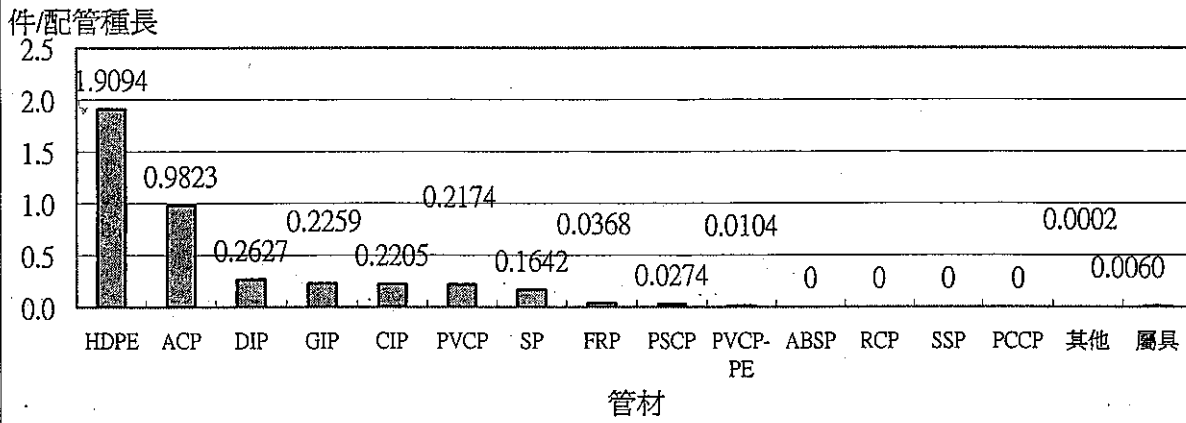


圖五

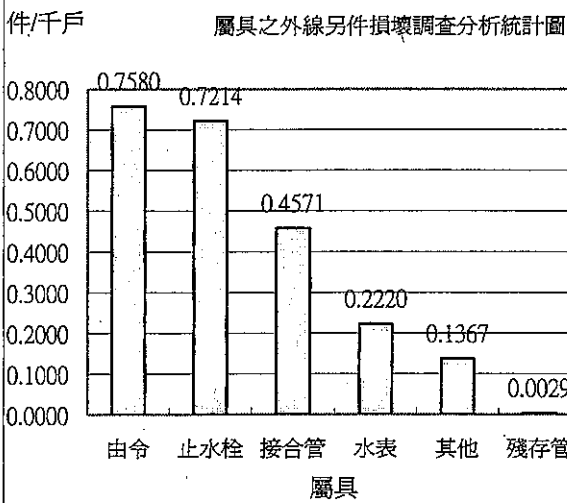


圖六

管材之輸配水損壞調查分析統計圖

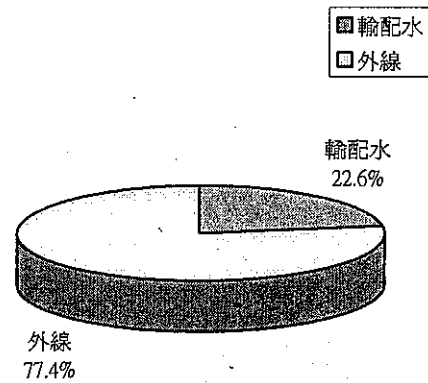


圖七 (ABSP、RCP、SSP、PCCP 為 0 值係無漏水件數之因)

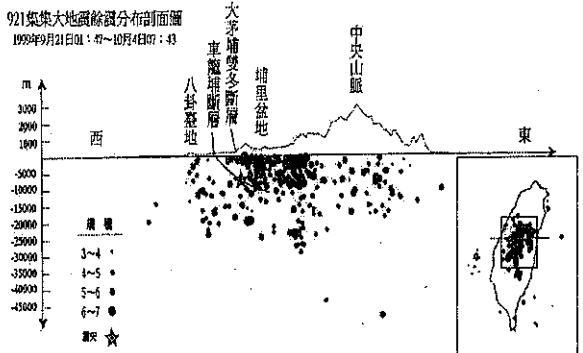


圖八

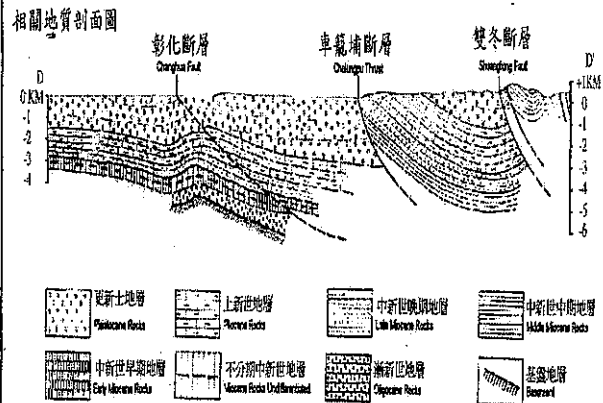
用途之損壞調查分析統計圖



圖九

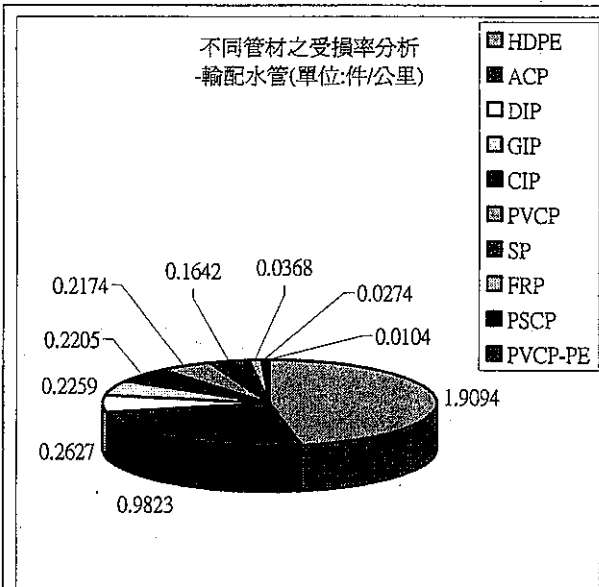


圖十

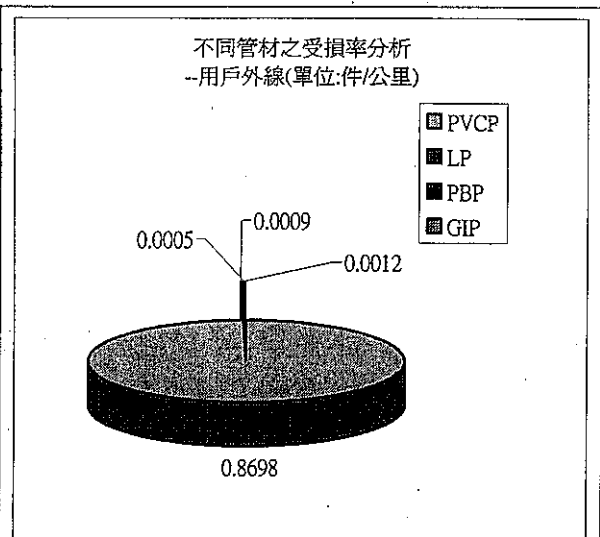


A 為臺灣中部地區構造簡圖，B 為 D-D' 的地質剖面圖

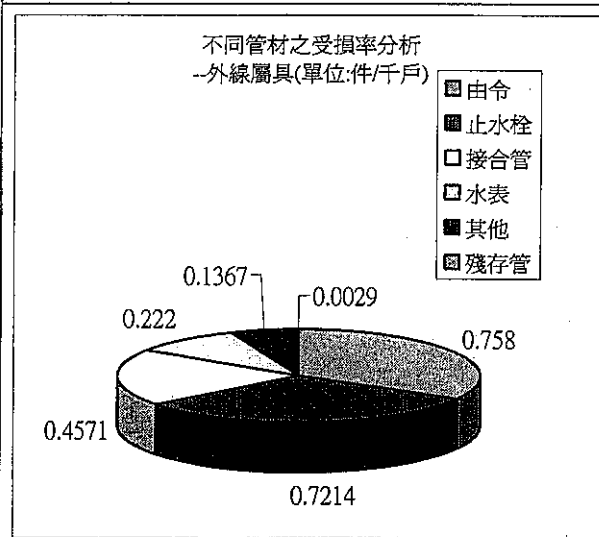
圖十一



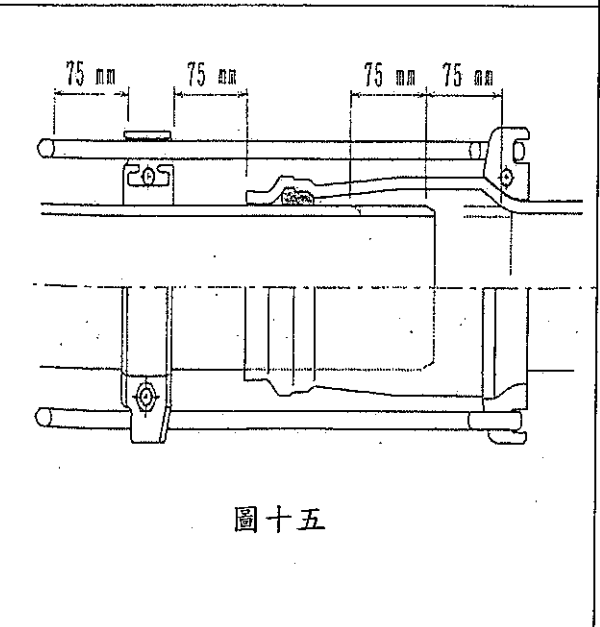
圖十二



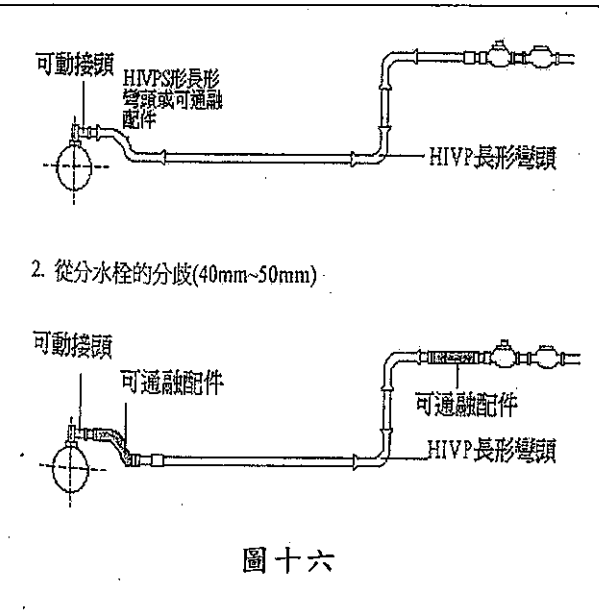
圖十三



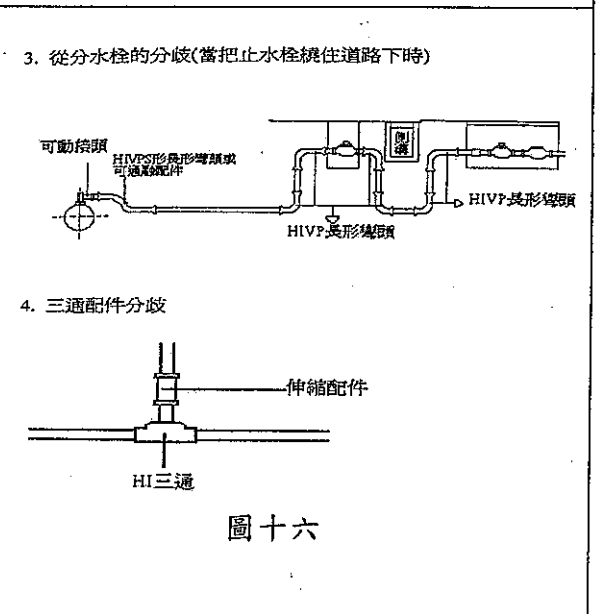
圖十四



圖十五



圖十六



圖十六

表一 各震度各單項管種受損率調查分析

(單位：件/公里)

管種	權平均	震度 4 以下	震度 5	震度 6
CIP 鑄鐵管	0.2205	0.0304	0.0642	0.3891
SP 鋼管	0.1642	0	0.0638	0.2015
ABSP 塑鋼管	0	0	0	0
PVCP 塑膠管	0.2174	0.0131	0.0707	0.3598
RCP 鋼筋混凝土管	0	0	0	0
PSCP 預力管	0.0274	0.0243	0.0576	0.0242
GIP 鍍鋅鋼管	0.2259	0	0	0.2731
PVCP-PE 塑膠內襯聚乙烯管	0.0104	0	0	0.0115
FRP 玻璃纖維管	0.0368	0.0918	0	0
SSP 不鏽鋼管	0	0	0	0
DIP 石墨鑄鐵管	0.2627	0	0.0406	0.4836
PCCP 鋼襯預力管	0	0	0	0
HDPE 高密度聚乙烯管	1.9094	0	0	1.9871
ACP 石綿管	0.9823	0	0.9823	0
屬具	0.0060	0	0.0006	0.0098
其他	0.0002	0	0.0005	0.0001
權平均	0.2312	0.0128	0.0687	0.3836
備註	權平均 = 總件數 / 總管長；數值為 0 係無損壞。			

表二 震災與阪神震災管種受損比較分析表 (單位：件/公里)

管種		權平均	震度 4 以下	震度 5	震度 6
DIP	集集 A	0.2627	0	0.0406	0.4836
	阪神 B	0.4880	0.1990	0.7030	0.3680
	倍數 A/B	0.54	0	0.06	1.31
CIP	集集 A	0.2205	0.0304	0.0642	0.3891
	阪神 B	1.5080	0.7710	1.6740	1.4890
	倍數 A/B	0.16	0.04	0.04	0.26
PVCP	集集 A	0.2174	0.0131	0.0707	0.3598
	阪神 B	1.7450	0.3330	1.4810	1.6490
	倍數 A/B	0.12	0.04	0.05	0.22
SP	集集 A	0.1642	0	0.0638	0.2015
	阪神 B	0.4730	0	0.7000	0.4020
	倍數 A/B	0.41	0	0.09	0.50
GIP	集集 A	0.2259	0	0	0.2731
	阪神 B	5.5480	0	4.0190	24.5900
	倍數 A/B	0.03	0	0	0.01
ACP	集集 A	0.9823	0	0.9823	0
	阪神 B	1.7820	0	2.1170	2.1700
	倍數 A/B	0.41	0	0.46	0
其他	集集 A	0.0002	0	0.0005	0.0001
	阪神 B	0.9820	0.5220	0.7140	1.4070
	倍數 A/B	0.00	0	0.00	0.00
權平均	集集 A	0.2371	0.0128	0.0687	0.3836
	阪神 B	1.2520	0.2870	0.9550	4.1950
	倍數 A/B	0.18	0.04	0.07	0.09
說明	本表比較值僅供參考，因兩地造成震害，其影響參數(如震源深度、地質等)不盡相同。				

表三 不同管材、類別受損率間之交叉分析—輸配水管 (單位：件/公里)

輸配水管種	直管折損(本體)	%	另件破損(異形管)	%	接頭脫接	%	接頭破損	%	屬具破損	%	其他	%	小計	排序
HDPE	0		0		1.9094	100	0		0		0		1.9094	1
ACP	0.4912	50	0		0.4912	50	0		0		0		0.9823	2
DIP	0.0786	30	0.0244	9	0.1582	60	0.0016	1	0		0		0.2627	3
GIP	0.0205	9	0		0.0205	9	0.1848	82	0		0		0.2259	4
CIP	0.1750	79	0.0148	7	0.0307	14	0		0		0		0.2205	5
PVCP	0.2019	93	0.0042	2	0.0109	5	0.0005	0	0		0		0.2174	6
SP	0.0975	59	0		0.0667	41	0		0		0		0.1642	7
FRP	0.0368	100	0		0		0		0		0		0.0368	8
PSCP	0.0082	30	0		0.0192	70	0		0		0		0.0274	9
PVCP-PE	0.0104	100	0		0		0		0		0		0.0104	10
ABSP	0		0		0		0		0		0		0	
RCP	0		0		0		0		0		0		0	
SSP	0		0		0		0		0		0		0	
PCCP	0		0		0		0		0		0		0	
屬具	0		0		0		0		6.0475	100	0		6.0475	
其他	0		0		0		0		0		0.0002		0.0002	
權平均	0.1788		0.0063		0.0291		0.0010		6.0475		0.0002		0.2312	

不同管材、類別受損率間之交叉分析—用戶外線 (表四；單位：件/公里)

外線-管種	直管折損	%	另件破損	%	接頭脫接	%	接頭破損	%	屬具破損	%	其他	%	小計	排序
PVCP	0.7968	92	0.0546	6	0.0065	1	0.0119	1	0		0		0.8698	1
LP	0.0008	67	0		0.0005	42	0		0		0		0.0012	2
PBP	0.0008	89	0		0.0002	22	0		0		0		0.0009	3
GIP	0		0		0.0001	20	0.0004	80	0		0		0.0005	4
HDPE	0		0		0		0		0		0		0	
權平均	0.7983		0.0546		0.0072		0.0123		0		0		0.8725	

不同管材、類別受損率間之交叉分析—屬具 (表五；單位：件/千戶)

外線屬具	直管折損	%	另件破損	%	接頭脫接	%	接頭破損	%	屬具破損	%	其他	%	小計	排序
由令	0		0		0.5240	69	0.0360	5	0.1979	26	0		0.7580	1
止水栓	0		0		0.3512	49	0		0.3701	51	0		0.7214	2
接合管	0		0		0.0824	18	0		0.3747	82	0		0.4571	3
水表	0		0		0.1596	72	0		0.0624	28	0		0.2220	4
其他	0		0		0		0		0		0.1367	100	0.1367	5
殘存管	0		0		0		0.0029	100	0		0		0.0029	6
權平均	0		0		1.1172		0.0389		1.0051		0.1367		2.2980	