

第八章 水利設施震害

8.1 前言

台灣中部地區在集集大地震的侵襲之下，除了造成結構物的毀滅性破壞之外，也引起大規模的山崩與範圍相當廣大的土壤液化，更奪走兩千多人的性命與造成八千餘人的受傷。其中位於苗栗縣、台中縣、台中市、南投縣、彰化縣以及雲林縣等地區的水利設施也都遭受到相當嚴重的損壞。這包括了河堤、海堤、水庫、水壩、攔河堰以及農田水利設施等。另外，還有多處地點因山崩而發生河道被阻塞的現象，有的甚至於形成新的堰塞湖。

水利設施的毀損將直接影響到民生用水、工業用水以及農業灌溉用水的供應，因而勢必會造成生活品質的降低、工業生產的停頓以及農產品的歉收。而水庫、水壩以及攔河堰的破壞則不但無法達成原來蓄水防洪的功能，還將嚴重威脅到下游居民生命與財產的安全。至於山崩阻塞河道以及形成新的堰塞湖則將阻斷原有河道而使水流無法暢通，如一旦潰決更會給下游地區帶來更為嚴重的二度災害。因此水利設施的復建工作仍是非常重要的環，尤其是給水系統的恢復以及下游地區民眾生命財產的安全保障更是刻不容緩。

8.2 震害概述

國家地震工程研究中心奉行政院命令負責統籌協調集集大地震的災害調查工作，針對地震災害的特性而分為九個調查小組。並隨即於十月一日召開「水利設施震害調查小組」的第一次工作會議，與會的單位計有台灣大學、台北科技大學、中央大學、交通大學、中興大學、逢甲大學、成功大學、屏東科技大學、中興顧問社以及中華民國水利技師公會等。在眾多專長為土木水利工程的學者與專家的熱心參與下順利組成「水利設施震害調查小組」，並公推許銘熙教授擔任小組召集人，負責統籌協調本小組的調查工作。除了依據專長與地緣的關係完成任務編組外，並進一步研擬水利設施的相關調查項目為水庫、水壩、攔河堰、堤防、防洪牆、護岸、橫堤、丁壩、閘門、渠水工（含進水口）、抽水站、給水路及引水渠（導水路、排水路、雨水下水道等）等。在搜集及整合相關的調查資料[6.1~6.12]後於十

一月完成【921 集集大地震水利設施震害調查報告】[6.13]。

為了便於描述集集大地震對水利設施所造成的震害，特別將水利設施的受損情形歸納為以下四大類：

- 【1】水庫、水壩及攔河堰，
- 【2】農田水利設施，
- 【3】河堤及海堤，
- 【4】崩山阻塞河道。

以下將就這四大類來依序概述其受損情形。

8.2.1 水庫、水壩及攔河堰

集集大地震對於水庫、水壩及攔河堰所造成的損壞，除了大甲溪流域的石岡壩遭到嚴重的破壞外，其餘的受損狀況則尚屬輕微。石岡壩的詳細受損情形如圖 6.1 所示。



圖 6.1 由上游面檢視石岡壩的破壞情形

大甲溪流域的石岡壩係一鋼筋混凝土重力壩，由於車籠埔斷層由西南往東北的方向穿過壩址，於是壩體因地層的隆起不均而導致非常嚴重的結

構體破壞，如將整個壩體視為是由相同的 21 個小單元所組成，可以發現其中第 1 個到第 19 個單元分別隆起約 9.8 公尺，而第 20 個和第 21 個單元則只隆起約 2.1 公尺，因此在第 19 個單元和第 20 個單元之間產生高達約 7.7 公尺的高程差。此一不均勻的隆起遂造成壩體的斷裂，閘門的嚴重受損以及操作系統的破壞。另外，位於大甲溪上游的德基水庫與谷關壩都是鋼筋混凝土拱壩，其壩體並未受損，也未發現任何異常的變位、裂縫或滲漏，而倒是有一些土石崩坍滑落的現象。其中在德基水庫大壩下游落水池的右岸邊坡以及副壩下游的右岸邊坡發生岩楔滑落；而谷關壩之大壩左岸邊坡從上游靠近進水口處到大壩的下游段也有大量的土石滑落，除了阻斷中橫公路外，也幾乎將落水池尾端完全掩埋。事實上，落水池尾端遭土石掩埋的部份幾達池寬的 2/3。

至於位在濁水流域的集集攔河堰則在沉砂池的邊牆部份發生輕微龜裂而引起滲漏的現象。同樣隸屬於濁水流域的日月潭水社壩、頭社壩與萬大水庫之武界壩則分別發生壩頂龜裂、壩體部份沉陷與壩體輕微受損的現象。而大安河流域的鯉魚潭水庫及其附屬結構物也有輕微的損壞。

8.2.2 農田水利設施

為便於敘述農田水利設施的震害，在此將依各個水利會所管轄的地區來分區說明震害的詳細情形。調查結果顯示此次集集大地震對於苗栗、台中、南投、彰化以及雲林等五個水利會所管轄的農田水利設施造成全面性的損壞。主要的破壞有渠道因地層隆起、塌陷或位移而引起的破裂，以致於造成漏水的現象，而與灌溉及排水系統的相關水工構造物也因地震的影響而造成結構的損傷。事實上，各水利會光是所有渠道受損的總長數合計即高達約五萬公尺，而其他水工構造物的損壞如檔土牆、制水門、抽水機房、護岸、箱涵、渡槽……等等也為數不少。

另外，此次大地震也對部份的給水系統帶來相當嚴重的破壞，主要有輸水幹管的嚴重扭曲變形或水路的嚴重龜裂，例如南投縣的水里、中寮、太平頂、霧社、日月潭、德化等地區，在地震後的 10 天間皆因輸水幹管的無法正常供水，而必須以水罐車來提供居民的日常生活用水。另外，台中縣豐原淨水廠的清水幹管也發生嚴重扭曲變形，而苗栗永和山淨水廠的水路也發現龜裂受損的現象。

為了易於明瞭農田水利設施在此次大地震的所受到的損壞情形，特別完成以下的震害統計表。

表 6.1 農田水利設施震害統計表

水利會 設施名稱	苗栗	台中	南投	彰化	雲林
擋土牆(公尺)	14				
護坡工(公尺)	232	460			
內面工(公尺)	551	31,379	23,777		2,200
制水門(座)	3	5		2	
抽水機房(座)	3		1		
箱涵(公尺)	5	300	1,266		
護岸(公尺)	80	1,980	1,572		80
渡槽(公尺, 座)		3 座	182 公尺、3 座		3 座
隧道(公尺)		7,750	2,820		
虹吸工(座)		2	2		
攔河堰(座)		1	1		
渠道(公尺)		15,687	10,440	10,501	13,237

(資料來源：[6.13])

8.2.3 河堤及海堤

在集集大地震的侵襲之下，有相當多用來保障居民及農作物安全的堤防發生受損的現象。不管是河堤或海堤皆可發現其主要的破壞模式有堤防的表面龜裂、堤防的位移以及堤防本身的斷裂等。經過調查發現在濁水溪流流域、大甲溪流流域、烏溪流流域、貓羅溪流流域以及大安溪流流域上的多處堤防以及水門受到損壞；而在彰化縣的沿海部分則發現有海堤及防潮閘門受損的情形，這也是唯一發現海堤受損的地區。

8.2.4 崩山阻塞河道

在集集大地震的強烈作用之下，有些河道上游兩岸的邊坡因穩定性的不足而引發大規模的山崩，於是將大量的土石堆積於河道中，進而阻礙水流的暢通。有的甚至於因滑落的土石實在太過龐大，宛如一天然的土石壩完全阻塞河道而形成一堰塞湖。此時由於河川上游的入水量因無法適度的渲洩而被完全蓄積於堰塞湖中，如此一來，堰塞湖的水位勢必因入水量的持續累積而逐漸升高，極可能造成滑落土石的再一次潰決而造成下游地區的嚴重災害。目前濁水溪流流域的支流清水溪在草嶺附近的山崩阻礙河道的情形非常嚴重，事實上，清水溪的草嶺段上游已行成一堰塞湖。而在大甲溪流流域的支流旱溪，可以發現從觀音橋到南陽橋之間也因地震而引發山

崩，進而造成河道阻塞的現象。

為了易於清楚看出此次大地震在各災區所引起的山崩阻塞河道的情形，特別完成以下的統計表。

表 6.2 山崩阻塞河道統計表

崩塌處	初步調查結果
清水溪草嶺堰塞湖	<ol style="list-style-type: none"> 1.山崩所造成的崩坍面積廣達 400 公頃。 2.崩坍土方約為 1 億立方公尺。 3.因山崩而形成的天然土石壩其壩高上游為 50 公尺，下游 250 公尺，最大寬度為 637 公尺，而總長度則高達 5 公里。 4.集水面積為 162 平方公里。 5.山崩最小高程為 540 公尺。 6.粗略估計其最大可蓄水容量為 4,300 萬立方公尺。 7.平均的入流量小於 10cms。
國姓鄉九份二山韭菜湖溪及澀子坑溪堰塞湖	<ol style="list-style-type: none"> 1.估算其涵蓋範圍廣達 180 公頃。 2.形成兩個堰塞湖，兩處蓄水容量各為 80 萬與 130 萬立方公尺。 3.目前水位高程約為 568 公尺與 551 公尺，溢流高程為 580 公尺。 4.現每天以 10 公分的速度上升。
大甲溪支流旱溪崩塌處	<ol style="list-style-type: none"> 1.初步估算為山崩土石所掩蓋之範圍，其長約為 600 公尺，最高處約 6 公尺，寬約 30 公尺。 2.總計土石方約 18 萬立方公尺，
烏溪頭汴坑溪崩塌處	<ol style="list-style-type: none"> 1.初步估計為山崩土石所掩蓋之範圍，計約長 250 公尺，最高處約 50 公尺，寬約 150 公尺。 2.總計土石方約 187 萬立方公尺。
大甲溪七星山崩塌處	<p>此處之崩塌土石完全阻礙大甲溪主河道水流，因此第三河川局緊急派挖土機開挖出一新河道，以疏通水流，然新河道通水斷面積尚小，因此水流流況不穩定，但目前無立即性的危險。倘若遇大雨時，可能會沖刷崩塌土石，對下游縱貫鐵路山線之樑柱可能有影響，因此對崩塌土石應儘速處理。</p>

(資料來源：[6.13])

8.3 震害原因探討

集集大地震形成一長和寬分別約為 105 公里與 40 公里的長方形地震破裂帶，在板塊的錯動與擠壓的過程中，斷層帶地區有些因斷層的逆衝而引起地盤的隆起，有些則是因土壤的液化而造成地盤的沉陷，是以斷層帶所經過的地區，幾乎所有的結構物都遭受到毀滅性的破壞。至於不在斷層帶

附近的地區，也會因地震波的傳播而引起地盤強烈的震動，而使得結構物受到損壞。為了得知此次大地震所引起之各地區之最大地表加速度的分佈情形，特別將中央氣象局所提供之水平向最大地表加速度的等震線示於圖 6.2 中。

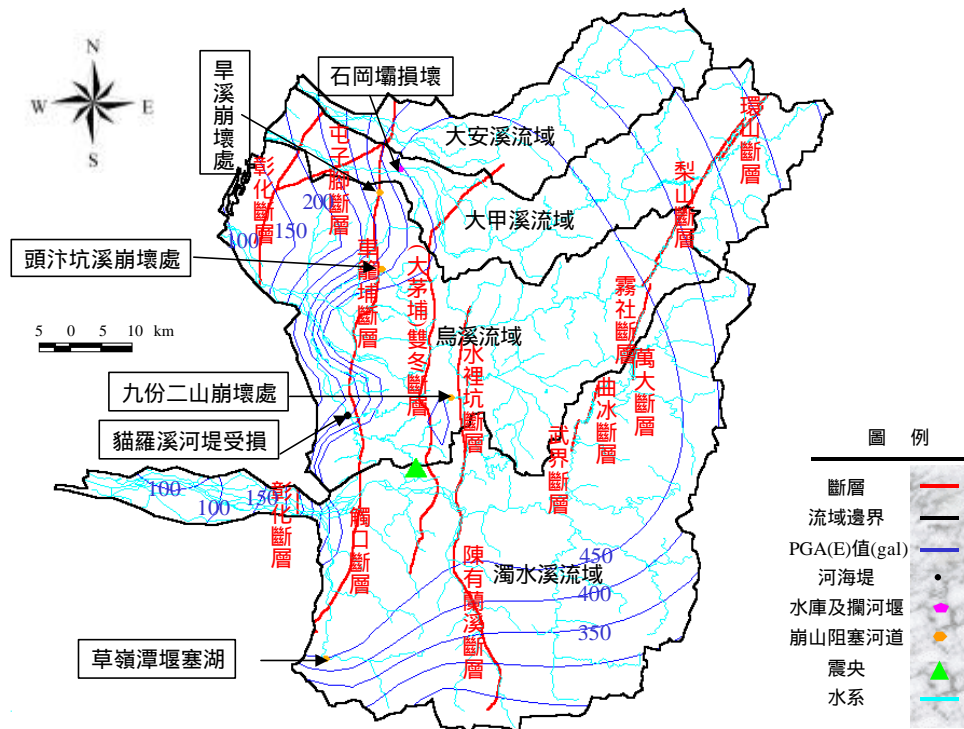


圖 6.2 集集大地震水平最大地表加速度之等震線分佈圖

從圖 6.2 中可以明顯發現沿著車籠埔斷層帶有許多水利設施發生嚴重的損壞，諸如農田水利設施的受損、河堤表面的龜裂或堤身的斷裂以及多處的山崩阻塞河道等，而以石岡壩的受損最為嚴重。

8.3.1 水庫、水壩及攔河堰

位於大甲溪流流域的石岡壩主要用來蓄水、防洪與提供大台中居民的日常生活用水，其壩體為鋼筋混凝土重力壩，設計的基本理念係以壩體本身的重量來抵抗因蓄水而產生的強大水壓力。在此次大地震中由於車籠埔斷層的經過，在壩址產生高達 7.7 公尺的不均勻地盤隆起，石岡壩因無法承受如此巨大的變形而在地盤不均勻隆起的交接處發生嚴重的斷裂。事實上，任何的土木工程結構物都不可能承受這麼大的變形。雖然石岡壩的破壞並沒有直接造成下游地區居民生命的損失，但水壩的毀損其所潛藏的最大危

機即是嚴重威脅到下游地區人民生命與財產的安全。斷層帶所經過的地區幾乎無堅不摧，因而石岡壩的破壞也突顯出重要的土木工程結構物應遠離斷層帶的重要性。

8.3.2 農田水利設施

農田水利設施雖然主要以灌排渠道為主，但與其相關的設施則包括有灌排渠道的內外面工、隧道、進水口、虹吸工、渡槽、護坡、箱涵、抽水機房與制水閘門等等。其破壞的原因主要來自於因地盤的隆起或地層的下陷而破裂、土石崩落而壓毀以及地震波的強烈震動而引起過大的位移等。

8.3.3 河堤與海堤

具有保護河岸與海岸作用的河堤與海堤也有相當多的損傷，較為輕微的破壞僅在表面造成龜裂，而嚴重的則是發生堤防本身的斷裂。不管是地盤因逆衝斷層而隆起或因土壤液化而下陷以及地震波的劇烈震動都會直接造成河堤與海堤的龜裂甚至於斷裂。在加上河堤與海堤一般而言都會綿延相當長的一段距離，故在長向上相對而言是一較為脆弱的構造物，當然也就較為容易受損。例如位在濁水河流域中的漢寶海堤、海埔海堤之水防道路、潮洋厝堤防、下溪墘堤防、杉坑堤防、下海墘堤防、清水溪鯉魚橋上游護岸、陳有蘭溪愛國橋上游護坡以及東埔蚋延平橋下游護岸都是因地盤下陷而引起的破壞；而大甲河流域的豐勢橋護岸、長庚大橋護岸、石水料溪護岸、沙連溪中游興隆橋護岸以及沙連溪下游石圍橋附近之護岸則是因地盤的隆起而造成堤防的斷裂、扭曲或位移。

8.3.4 山崩阻塞河道

從土壤力學的基本理論中可知山崩的主要原因乃在於邊坡的穩定與否，而邊坡的穩定與否則與土壤本身的凝聚力、抗剪角、含水量以及其幾何坡度有著相當密切的關係。從表 6.2 的統計表中，可以發現山崩阻塞河道所發生的地區幾乎都在這次地震中斷層錯動的附近，很顯然劇烈的斷層錯動破壞了原本穩定的邊坡而造成了大規模的山崩。例如集集大地震使得濁水河流域上的支流清水溪，在其上游地區發生嚴重的山崩，崩塌的土石堆積於楓子崙與草嶺之間。事實上，楓子崙也是草嶺地區以往幾次發生山崩的主要地區。

8.4 檢討與建議

這一次的大地震對於水利設施所造成的損壞，主要集中在苗栗縣、台中縣、台中市、南投縣、彰化縣以及雲林縣等地區，而相關受損的水利設施則涵蓋有水庫、水壩、攔河堰、農田水利設施、河堤、海堤以及山崩阻塞河道等。造成水利設施受損的主要原因則是逆衝斷層的錯動而引起地盤的隆起，也同時激發出強烈的地震波，而在地震波的強烈震動下則可能引起土壤的液化，以致於發生地層下陷的現象。在另一方面，不管是地盤的隆起或是地層的下陷都足以摧毀水利設施，事實上，水利設施在地震波的強烈震動下也可能發生毀滅性的破壞。

經由此次的大規模調查對於水利設施的受損情形大致可以得到一個完整的輪廓，以下將針對調查的結果逐項提出檢討與建議：

- (1) 對於水利設施的設計而言，到現今為止國內並沒有特別為此而訂定的設計規範可供遵循，而是由負責設計的顧問工程公司自行擬定做為設計的依據。至於水庫的安全評估方面，經濟部則分別於民國七十七年及七十九年先後頒布【蓄水庫安全檢查與評估辦法】[6.14]及【蓄水庫安全評估要點】[6.15]供水庫管理單位遵行。從水利設施在這次大地震中的受損情形以及冀望以後能有效降低地震所造成的災害，實有必要研定合適的設計規範以供遵循。另外，上述經濟部所頒布的水庫安全評估辦法或要點，目前正由有關的主管單位重新檢討修正中，俾能使水庫的安檢工作更臻完善。至於，水庫的安全評估工作則應確實的執行以確保安全。
- (2) 雖然此次大地震對於水庫、水壩及攔河堰所造成的損傷，除了石岡壩以外，嚴格來講並不嚴重，然而仍有相當多的措施仍可繼續加強。由於水庫、水壩及攔河堰的潰決對於下游地區的生命與財產將會造成嚴重的威脅，因此地震後的結構安全評估工作就顯得十分重要。尤其是對於蓄水量龐大而對於下游具潛在嚴重威脅的水庫、水壩或攔河堰建議增設強震儀確實監測地震力的大小，並做為震後結構安全評估的一個重要依據。
- (3) 因石岡壩的基礎上升將近 10 公尺，故實際的蓄水區必須重新估算以確定可蓄水的高度及容量。經初步評估其壩體仍可修復，但因係一鋼筋混凝土重力壩且錯動斷層經過壩址，因此基礎是否受擾動以及壩體底部與基礎的接觸面是否遭到破壞將直接關係到壩體的安全性。如果壩體底部與基礎的接觸面受到損壞則可利用回填灌漿或固結灌漿來加以補強，並檢驗處理後的凝聚力、抗剪角以及承載力以確認壩體的抗剪、抗滑安全特性，如仍不夠可考慮其他鎖固方式如預力鋼腱等。
- (4) 因斷層的經過而造成石岡壩的毀損突顯出斷層帶是否可以興建大型水

利工程的問題，如果無法避免而必須在斷層帶興建則其先決條件應如何規範以及其設計地震力應如何考量都是相當重要的課題。先決條件的考量應是一旦斷層錯動而造成結構物的破壞，其對生命財產的威脅有多大。就石岡壩的復建工作而言，基本上應另外選擇遠離斷層帶的地點來進行復建，但因並沒有其他無斷層帶經過且合適的地點，因此只能選擇在原地進行復建。特別值得注意的是若原地復建後的壩一旦潰決會對下游造成毀滅性的災害，此時就必須考慮放棄此壩的復建。

- (5) 農田水利設施是農業生產的重要命脈，因此一旦遭受地震破壞時，應即時根據其破壞的程度以及灌溉的需求來決定是否必須立即搶修或稍後再進行復建，例如正在生長期間的水稻，一旦發生水源中斷則農民先前的辛勤付出可能將功虧一潰。因此，農田水利設施的管理單位應根據水利設施的實際破壞程度以及其所影響的範圍來判斷那些水利設施必須立即搶修或應採取其它的緊急應變措施以降低農產品的損失進而確保農民辛勤勞動的成果。
- (6) 地震造成邊坡的土石崩落而阻塞或壓毀灌溉排水渠道，因此在修復渠道時，山坡地的水土保持應一起考慮。至於斷層帶的農田水利設施可考慮以柔性工法來取代，例如渠道以軟管連接。地表的高程可能因地震造而改變，因而灌溉區所需的灌溉水量以及灌排系統的取水能力與輸水能力也會跟著改變。故應重新評估受損灌排系統的取水能力與輸水能力以及所能提供的灌溉水量，以免無法達成復建的目的。
- (7) 對於河堤及海堤如果初步調查僅發現堤防表面龜裂則需進一步檢測堤體的破壞程度，諸如土堤核心與堤防基礎是否受損等等，而來加以研判表面龜裂的堤防應應拆除重建或是僅修補堤面即可。另外，當堤防發生斷裂或位移時，則應考慮重建，但應避免在斷層帶重建堤防，倘若無法避免，則應徹底進行地質鑽探並選擇較佳之工法以及材料來進行復建。同時，因河床的坡度以及河川的地文極可能因受地震的影響而改變，因此應進行河川的洪水演算以求得設計流量的洪水位，才能確保防洪的功能。
- (8) 集集大地震在多處河川的上游造成大量山崩，因而阻塞河道影響河道的通水能力，有的甚至於形成一天然的堰塞湖，然因崩落的土石並不穩定，一旦無法承受阻絕水量所產生的水壓力時，就會造成再一次的土石潰決，而嚴重威脅下游地區生命與財產的安全。
- (9) 小規模的山崩阻塞河道，因崩落的土石相當鬆軟，對下游有立即潰決的危險，應立即挖掘排水道以暢通水流。疏浚工作應於雨季來臨之前完成，以免造成下游河床的淤積與相關水利設施的破壞。倘若無法在雨季來臨之前完成疏浚，則應對下游的水利設施或橋樑加強保護。同

時因一旦土石潰決極可能形成大洪水，故應對下游低窪地區的土地利用善加管制以及設置淹水預警系統。對於已形成堰塞湖的大規模山崩阻塞河道，因崩落的土石量實在太過龐大，勢必無法採用疏浚的方式來處理。此時應進行堆積土石的邊坡穩定分析，並探討崩塌土石潰決的可能狀況以及對下游的衝擊。以往草嶺堰塞湖的潰決都是因洪水的溢堤而產生，因此應開闢緊急疏洪道以降低上游之水位而避免溢堤的發生。雖然目前的大規模山崩阻塞河道對下游並無立即的危險，但仍應對渠道進行監測，並且應在下游建立預警系統。另外，可在崩塌土石的下方放置拋石，以提供額外的支撐力以及減少因沖刷而引起潰壩的潛在危機；並在下游構築連續攔阻砂土的設施，以防止下游河床因淤積而減少疏洪能力。

參考文獻

- 6.1 經濟部水利處，【函行政院農業委員會之綜合災情報告】，中華民國八十八年九月二十七日。
- 6.2 經濟部水利處，【921 震災水利設施災害及處理總結報告】，中華民國八十八年九月二十八日。
- 6.3 台中農田水利會，【921 集集大地震處理情形報告】，中華民國八十八年十月一日。
- 6.4 南投農田水利會，【921 集集大地震災害報告】，中華民國八十八年十月一日。
- 6.5 苗栗農田水利會，【921 集集大地震震災及因應措施簡報】，中華民國八十八年十月一日。
- 6.6 雲林農田水利會，【921 震災灌區受災情形調查報告】，中華民國八十八年十月四日。
- 6.7 彰化農田水利會，【921 集集大地震農田水利設施災害搶修工程簡報】，中華民國八十八年十月四日。
- 6.8 公共工程委員會，【921 大地震公共設施災害復建經費調查表】，中華民國八十八年十月十二日。
- 6.9 楊錦釧等，【集集地震後壩工毀損與堰塞潭之調查】，交通大學防災中心，中華民國八十八年十月十九日。
- 6.10 陳昶憲等，【921 集集大地震水利系勘災動員與初步成果】，逢甲大學水利工程學系，中華民國八十八年十月二十一日。
- 6.11 黃宏斌等，【921 大地震濁水河流域水利設施震災調查成果】，台灣大學農業工程學系，中華民國八十八年十月二十二日。
- 6.12 陳利明等，【921 大地震大甲河流域水壩之震災調查評估】，中興工程顧問社，中華民國八十八年十月二十二日。

- 6.13 國家地震工程研究中心報告，【921 集集大地震水利設施震害調查報告】，召集人許銘熙，中華民國八十八年十一月。
- 6.14 【蓄水庫安全檢查與評估辦法】，經濟部水資源局，中華民國七十七年。
- 6.15 【蓄水庫安全評估要點】，經濟部水資源局，中華民國七十九年。