大地工程發展史

壩工～大壩工程

江政恩*

一、前言

臺灣由於中央山脈縱貫南北，造成地勢陡峭，再加上臺灣南北長東西窄的地形特徵，使得臺灣的河川又短又陡，每遇汛期遇暴雨即易氾濫成災，非汛期期間又易乾涸，故為能穩定水資源利用與調配，興建水庫是蓄豐濟枯最有效之道。

截至 2018 年底，目前臺灣地區水庫(包括離島)約有 260 餘座，而水利署公告列管之一級水庫有 18 座，二級水庫 27 座，三級水庫 47 座，其餘則無公告。

而在臺灣大地工程發展的角度而言，大壩工程的規劃興建過程，涉及灌漿技術、土石材料控制、混凝土材料控制、岩盤工程、邊坡穩定工程、地震工程……等，絕對是不容忽視的一門科學與技術。尤其是穩定的水源一直是人類發展過程非常重要的因素之一，而臺灣早期水庫興建多以灌溉為目的，之後漸漸演進為提供民生及工業用水、發電、觀光等多目標功能，而隨著臺灣的歷史演進，大壩興建的技術也歷經國外技術援助的過程，逐漸發展國人自行規劃設計施工的能力。

以下以時間序介紹臺灣大壩工程發展的幾個重要的階段，讓大家得以瞭解其發展過程。

二、1945年以前興建之水庫

這段期間處於清朝及日據時期，所完成的水庫主要有虎頭埤(1846 年)、烏山頭水庫(1930 年)、內埔子水庫、上茄苳埤、番子田埤、美濃湖水庫、觀音湖水庫、西勢水庫、蘭潭水庫、粗坑壩、桂山壩、羅好壩、阿玉壩、武界壩、銃櫃壩、溪畔壩、澄清湖水庫、鹿寮溪水庫、尖山埤水庫、日月潭水庫等。早期水庫興建多以灌溉為目的，之後漸漸演進為提供民生及工業用水、發電、觀光等多目標功能。

2.1 虎頭埤水庫(1846年)

而臺灣大壩工程的歷史要追溯到清朝道光 26 年(1846 年)由民間在臺南新化闢建的虎頭埤水庫，後有官方擴建及日治時期的整修始有現今的規模，應是臺灣第一座水庫。

虎頭埤位於臺南市新化區，主要攔蓄鹽水溪支流茄苳崁溪，壩高 15.3 公尺，壩長 470 公尺，為均質型滾壓土石壩。由於完成年代甚早，當時並無現代化之土木工程施工技術及設備，土壩之填築為採牛車載重石碾壓而成(吳，1993)，後雖經日本總督府及國民政府時代多次修建，但其壩體強度仍與現代填築之土石壩存有落差，同時壩軸線在清代築壩時配合現地地形存有多處彎角，當嘉南地區發生規模較大之地震時，致使彎角處之壩體受震發生裂縫，所幸管理單位與經濟部水利署對於歷次受震裂隙均以詳細槽溝開挖紀錄追蹤，並採現代壩體填築技術修復，逐次提升此一全國最古老之土石壩耐震能力(圖一)。

圖一　虎頭埤水庫鳥瞰圖

2.2 烏山頭水庫(1930 年)

在日據時代以灌溉為主要目標的水庫應屬烏山頭水庫，位於臺南市官田區，主要攔蓄

* 中興工程顧問股份有限公司

曾文溪支流官田溪。1920 年由八田與一先生奉日本總督府指派主持嘉南大圳灌溉計畫，烏山頭水庫則是嘉南大圳灌溉蓄水的重要設施，1930 年完工。烏山頭水庫為全國唯一且為世界少見的水力淤填方式築填而成的土石壩，壩高 56 公尺，壩長 1,273 公尺。

水力淤填方式填築的土石壩除在壩堤中心基礎以一道混凝土作截水壁外，壩體部分用卵石、圓礫石、碎石、沙、粘土來構築，構築原理用含有礫石、砂石、粘土在內的築壩材料倒置在築壩區的兩側，再以強力的射水使顆粒向心壁中心流動，最中心部係含有極微粒黏土之濁水，其黏土沉澱後形成中心黏土壁，藉此形成由外而內、由粗而細的壩體材料分佈，以使壩體中心經水力分選後，成為優質良好之黏土材料組成。

烏山頭大壩在歷經接近 90 年的使用後，工程與地質專家對於壩址處的地質調查也與時俱進，近年更詳加調查鄰近大壩第一類活動斷層-六甲斷層的確實分布以及探討該斷層對烏山頭大壩之影響，以明確掌握烏山頭大壩之耐震能力並進而視需要改造與補強，強固烏山頭大壩安全為目標，以迎向下一個風華百年(圖二)。

2.3 日月潭水庫(1934 年)

日據時期另一個重要的水庫工程是日月潭水力發電工程，當時日本政府欲在臺灣發展工業，且為多方面充分利用水力資源，並提供臺灣工商發展所需的電力，遂於大正 8 年(1919 年)4 月，臺灣總督命令籌組臺灣電力株式會社，同時著手興建日月潭水力發電工程。本工程係利用中央山脈中濁水溪的水源，以天然湖泊的日月潭為貯水湖，用標高 720 公尺之日月潭貯水，配水到門牌潭，利用落差 320 公尺之水頭勢能來推動發電機，進而產生 10 萬千瓦的電量。

1934 年日月潭水力發電工程竣工後，日月潭的全潭面積擴大為 7.73 平方公里，水位上升 18.18 公尺，潭面海拔為 745.45 公尺，最大儲水量有效容量為 1.24 億立方公尺，潭的最高深度為 27 公尺，並保留提高 3.03 公尺之容量。明潭及明潭抽蓄水力發電工程竣工後，日月潭的水位由海拔 745.45 公尺上升至 748.48 公尺，全潭面積擴大為 8.27 平方公里。

目前日月潭有水社與頭社兩座大壩，水社壩壩高 30.3 公尺，壩長 363.6 公尺；頭社壩壩高 19 公尺，壩長 166 公尺，均是黏土心層、中心為混凝土截水心牆之土石壩。阻水設施為混凝土心牆，外包黏土心層為日據時代大壩設計之特色，水社壩上下游坡度均為 1V：4H，坡度甚緩更是臺灣水庫首見(圖三、圖四)。

頭社壩於明潭水力發電計畫施工期間，將附近之明潭進水口開挖方填築於頭社壩上游面作為壩體培厚材料，此舉不僅解決明潭進水口開挖棄方的問題，也同時穩定頭社壩體，達成雙贏之工程目標。

1999 年 921 地震後，水社壩因地震造成壩頂及上游坡面出現沿壩軸方向之裂縫，經臺電公司進行詳細調查與緊急搶修補強，目前已完全復原。

圖二　烏山頭水庫鳥瞰圖

圖三　日月潭水社壩現況

圖四　日月潭頭社壩現況

2.4 蘭潭水庫(1944 年)

蘭潭舊稱紅毛埤，原為嘉義市東郊因丘陵環繞形成天然窪地，適於建池蓄水，荷蘭人曾於 1630 年代鑿池供水師習戰之用；後於日本統治時期修建現今大壩，壩型為混凝土心牆滾壓式土壩，配合周邊地形形成一水庫。

蘭潭水庫在 1944 年 3 月完工後，當時即採離槽是蓄水，水源即取自八掌溪，壩體可分為主壩、第一副壩及第二副壩。後於國民政府時期，因嘉義市缺水嚴重，因此由臺灣省水利局機械工程隊辦理壩體加高工程，並於 1972 年 7 月完工，將原有主、副壩加高 3 公尺，主壩最大壩高 34 公尺，第一副壩最大壩高 9 公尺，第二副壩最大壩高 15 公尺。後於仁義潭水庫興建時期，針對加高後之蘭潭水庫主壩、第一副壩、第二副壩斷面再予培厚，此次培厚工程於 1990 年完工；此次培厚工程後，蘭潭水庫即與 1987 年完工之仁義潭水庫串聯使用八掌溪水源以供應嘉義地區用水；蘭潭水庫各壩體歷經原始築壩、加高、培厚等工作，為國內早期針對老舊壩體改造之重要實務經驗(圖五)。

三、1945～1963年興建之水庫

1947 年臺灣光復後省政府成立，設立建設廳水利局，1956 改制臺灣省水利局，1955 經濟部成立經濟部水資源統一規劃委員會專門負責水資源業務。

這時期建造主要完成的水庫有：阿公店水庫 (1953)、霧社水庫 (1959)、大埔水庫 (1960)、谷關水庫(1961)。

3.1 阿公店水庫(1953 年)

阿公店水庫位於高雄市燕巢區，主要攔蓄阿公店溪，興建始於 1942 年，後因戰爭而中止興建計畫，二戰終結後由臺灣省政府接收續建，並於 1953 年完工。然而自完工運轉後，由於上游泥岩地質特性，下雨表土流失後泥岩裸露與崩坍，導致嚴重淤積，水庫有效容量由 2,050 萬立方公尺銳減為 590 萬立方公尺，不僅防洪功能不彰，亦嚴重威脅到大壩之安全。

因此為恢復水庫原有防洪與供水功能，於 1997 年開始執行「阿公店水庫更新工程計畫」，於 1999 年起將水庫排空，進行大規模庫底浚渫，並興建越域引水路引旗山溪水，增設越域排洪道，將重現期距百年以上之頻率洪水分洪排放至二仁溪，以減小阿公店溪下游岡山地區淹水災害；更新計畫於 2006 年完成並恢復供水。

阿公店水庫屬分區型滾壓土石壩，壩高 31 公尺，壩長 2,380 公尺，為臺灣最長的壩。主壩及左、右副壩雖有設置混凝土心牆及黏土心牆，但本壩址位於地質年代甚輕之階地堆積層與關廟層泥岩上，在 1950 年代水庫完工蓄水後即發現舊河道低窪地仍有微量地下水緩慢滲出，經詳細調查後確認為壩基礎下方深處存有砂層形成滲漏路徑，雖不致有影響大壩安全之疑慮，但是壩基礎地下水監測以及滲流量觀測成為水庫安全監測工作之主要重點。

阿公店水庫為國內第一座實施大規模更新改造之水庫，同時每年六月到九月汛期實施「空庫排砂」措施為其特色，亦為國內目前防洪期唯一採空庫操作運轉方式之水庫(圖六)。

圖五　蘭潭水庫現況

圖六　阿公店水庫鳥瞰圖

3.2 霧社水庫(1959 年)

霧社水庫位於南投縣仁愛鄉濁水溪上游霧社溪，流域集水面積達 219 平方公里，設計總蓄水量達 1.4 億立方公尺。

霧社壩是日據時期日本在臺興建，原設計為 97 公尺高的重力式混凝土壩，但因二次大戰而中途停止的水力發電工程，全部工程僅完成百分之五即因財務問題而擱置。光復以後由臺灣電力公司著手復工，委託美國墾務局重新辦理本水庫工程規劃與設計，由直線形重力壩修改為 114 公尺高的弧形混凝土重力壩。1958 年施工期間因右壩座板岩邊坡滑動形成平臺，之後配合地形變更設計，增設重力墩座，延長壩長為 205 公尺，為臺灣首座壩高超過 100 公尺的大壩，並由臺灣電力公司自行施工(圖七、圖八)。

四、1963～1987年興建之水庫

這時期建造完成的水庫有：石門水庫(1964)、明德水庫(1970)、曾文水庫(1973)、德基水庫(1974)、石岡壩(1977)、直潭壩(1978)、新山水庫(1980)、鳶山堰(1983)、鳳山水庫(1984)、永和山水庫(1984)、寶山水庫(1985)等。

4.1 石門水庫(1964 年)

石門水庫位於桃園市大漢溪中游之石門峽谷，流域集水面積達 763.4 平方公里，設計總蓄水量達 3 億立方公尺，完工於 1963 年 5 月，大壩型式屬中央黏土心層分區型滾壓式土石壩，主壩壩高 133 公尺，壩長 360 公尺。

石門水庫是我國最早接受美援貸款的工程，由美國工程顧問公司負責基本設計，當時石門水庫建設委員會在國內無大壩設計專門人才下，向臺電公司借調工程人員並招考大批大專畢業人員加以訓練後，在美國顧問公司指導之下，進行技術轉移，同時以雇工自營方式，在美國施工顧問公司指導下施工，使國內施工技術水準躍進二、三十年，也為日後十大建設奠定基礎(圖九、圖十)。

其中石門水庫工程施工時因長期下雨，又遇工期限制，當時上游擋水壩原設計為土石壩，必須在雨季來臨達預定設計高度，否則有被洪水溢頂造成沖蝕潰壩的風險，而當年冬季雖非雨季但雨下不停，眼見可能無法如期在隔年 5 月前完成，將造成重大損失，遂決定將上游擋水壩的心層改用滾壓混凝土(RCC, roller compacted concrete)，不僅如期如質完成上游擋水壩的工程，也是全世界 RCC 工法及材料的濫觴。

圖七　霧社水庫鳥瞰圖

圖八　霧社水庫大壩現況

圖九　石門水庫後池

圖十　石門水庫全景

4.2 曾文水庫(1973 年)

曾文水庫位於嘉義縣大埔鄉曾文溪上游之柳籐潭，流域集水面積達 481 平方公里，設計總蓄水量達 7 億立方公尺，完工於 1972 年 10 月，大壩型式屬中央黏土心層分區型滾壓式土石壩，壩高 133 公尺，壩長 400 公尺。

在石門水庫興建期間，臺灣省水利局已著手研究臺灣南部的曾文水庫計畫，其初步規劃及可行性研究係在美國墾務局協助下完成，但因建造經費龐大，一時未能興工。最後 1965 年間在日本貸款挹注下，於 1966 年 7 月成立曾文水庫建設委員會，開始推動曾文水庫設計施工事宜。當時因日本貸款，故工程設計由日本工程顧問公司承辦，曾文水庫建設委員會另聘美國墾務局為顧問，並要求日本顧問公司必須將詳細設計以分包方式交由臺灣一家機構辦理，以進一步加強國人自行設計能力，於是成立財團法人中興工程顧問社(1970 年)，羅致一批曾在石門水庫接受技術轉移之專門人才，擔任此細部設計分包工作，遂成為往後臺灣十大建設，經濟轉型起飛的重要力量。

曾文水庫在溢洪道的設計有其獨到之處，傳統上溢洪道設計通常只設置一道洩槽，但設計階段考量右山脊崩積層厚，地質條件不佳等問題，若採傳統一道洩槽方式則必須在邊坡上開挖高度逾 200m 的挖坡，將影響邊坡永久安全性，並增加開挖施工工期，此外造成挖方非常龐大，遠大於曾文大壩所需的填築量，棄方的問題也很難解決，因此曾文水庫首創階梯式三道獨立洩槽，各洩槽的上游溢流堰高程一致，並各裝有當時世界第一高的弧形閘門，其下順應地形高程各有不同縱斷面。此種溢洪道的設計方法，曾文水庫首開先例(圖十一)。

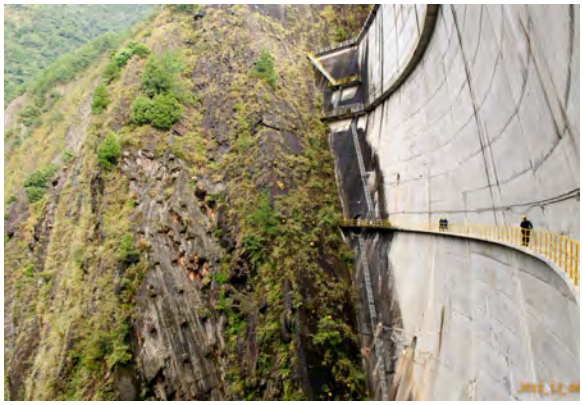
4.3 德基水庫(1974 年)

德基水庫位於臺中市和平區梨山村，流域集水面積達 592 平方公里，設計總蓄水量達 1.83 億立方公尺，大壩型式為雙曲線薄型混凝土拱壩(厚度 4.5~20 公尺)，壩高 180 公尺、壩長 290 公尺(圖十二、圖十三、圖十四)。

德基水庫的興建有其歷史意義，大甲溪流域在日據時代即有八級開發的構想，由上游到下游依次為達見(德基)、下達見(青山)、上明

圖十一　曾文水庫大壩與溢洪道

圖十二　德基水庫壩座廊道預力地錨



圖十三　德基水庫大壩與右壩座

圖十四　德基水庫大壩與左壩座

治(上谷關)、明治(谷關)、天冷(天輪)、豐原第一(馬鞍)、豐原第二及豐原第三等八座發電廠，其中達見(德基)原規劃壩高 210 公尺，蓄水量 3.3 億立方公尺，後因二次大戰而計畫延宕，光復以後，歷經多次討論大甲溪開發計畫，一直無法定案，其間討論其蓄水位高度即有「一四六 0 案」、「一四三 0 案」，最後於 1965 年定案為「一四 0 八案」，水庫壩高 180 公尺，成為全臺灣第一高壩。

德基壩之施工規劃將左壩座開挖成平臺(標高 1460 公尺)，取其骨材供做大壩混凝土施工使用，可達自給自足以節省建造費用。同時由於壩座承受高水頭之推力，而於壩座廊道及邊坡設計採用預力鋼腱錨碇及噴凝土保護技術，是臺灣土木水利工程首創，全臺灣第一支永久地錨從此誕生。

4.4 石岡壩(1977 年)

石岡壩位於臺中市石岡區主要攔蓄大甲溪，壩型屬混凝土重力壩，壩高 21.4 公尺，壩長 357 公尺(圖十五)。

圖十五　石岡壩鳥瞰圖

石岡壩之功能為攔蓄大甲溪上游電廠發電尾水及馬鞍壩以下之未控制流量，供給民生及工業用水，為大甲溪水源運用之樞紐，亦是大臺中地區公共給水之主要來源，由臺灣省政府於 1974 年研擬工程計畫，責由臺灣省水利局負責執行，並於 1977 年 10 月竣工。

1999 年 921 大地震時，車籠埔斷層錯動引發破裂帶轉直接通過石岡大壩第 16 號溢洪道，地表抬升約 10 公尺，因為不同抬升高程影響而造成壩體受到擠壓變形破壞，造成石岡壩原有 16、17、18 號閘門及土木設施全毀無法修復外，其餘各閘門亦因地表錯動擠壓產生扭曲變形，使得閘門樞軸偏閉軌跡已非正常路徑，造成啟閉困難並且嚴重漏水。

震災之後搶修工作立即展開，1999 年 12 月初步恢復石岡壩引水，2000 年底緊急復建工程全部完工，大壩經緊急修復後壩長由原本的 352 公尺縮短為 275.5 公尺，原有 16、17、18 號閘門予以廢棄。同時於 2008 年起堰體上之水工機械及相關電氣設備進行汰舊換新，並於 2010 年 9 月底完成所有閘門更新。大地震後原有受損壩體目前保留作為「國家震災景觀紀念地」，並於第 16 號溢洪道後方設置魚道，維護大甲溪魚類生態。

石岡壩作為地震斷層破裂帶直接穿越並造成壩體嚴重受損之水利設施，經搶修後仍肩負大臺中地區供水之重責，同時在斷層錯動抬昇後，大甲溪河道發生溯源作用，致使下游河道持續沖刷並危及副壩基礎，其軟岩河床受河川沖蝕之機制亦為近年地工相關領域之研究重點。

五、1997年～現在興建之水庫

1996 年經濟部水資源局成立，隔年 1997 年臺灣省水利局改制為臺灣省水利處，2002 年經濟部水利署成立。

1987 年之後國人對大壩技術日益純熟，主要水庫有翡翠水庫(1987)、仁義潭水庫(1987)、鯉魚潭水庫(1992)、南化水庫(1993)、牡丹水庫(1995)、隆恩堰(1998)、馬鞍壩(1998)、新山水庫加高(1999)、高屏溪攔河堰(1999)、士林攔河堰(2001)、寶山第二水庫(2004)、南溪壩(2010)、湖山水庫(2015)等。

5.1 翡翠水庫(1987 年)

翡翠水庫位於臺北市南方新店溪支流北勢溪之翡翠谷，流域集水面積達 303 平方公里，設計總蓄水量達 4 億立方公尺，大壩型式為三心雙向彎曲變厚度薄拱壩，壩高 122.5 公尺、壩長 510 公尺，為全國第一座單一功能以公共給水為需求之水庫。

以大地工程角度而言，翡翠大壩工程主要關鍵點在於壩基的處理，由於壩址岩層弱面走

向平行於大壩的拱推力分力，基礎若無妥善處理，將可能因弱面滑動而向下游滑移。傳統弱面處理方法為沖洗和灌漿，經試驗發現處理結果並不想理，無法達到 100%可靠度。當時適逢美國發展出水刀，便拿來應用在新開發之灌漿處理方法中。水庫壩基的泥縫處理均先沖除縫中泥與岩屑，再以水泥砂漿填補，其中沖洗是依泥縫厚度、填充物特性與位置，細分為三種方法。分別用於河床底部、右岸邊坡及左岸順向坡的泥縫處理，所有方法均經過現地試驗，確實可靠方予採用(圖十六及圖十七)。

5.2 仁義潭水庫(1987 年)

仁義潭水庫位於嘉義縣番路鄉八掌溪支流無名溪上，壩型屬分區型滾壓土石壩，壩高 28 公尺，1980 年底由中央政府、省政府及自來水公司籌款興建，1987 年 6 月完工，為一離槽水庫，水源係由吳鳳橋下游約 100 公尺處之竹山堰引取八掌溪之溪水，水庫完成後與蘭潭水庫串聯運用，供應嘉義縣市家用、公共給水及工業用水。

仁義潭大壩全長達 1,535 公尺，為全國第二長之土石壩壩體。由於壩體位於地質年代甚輕之現代沖積層及更新世二重溪層，大壩基礎甚為軟弱且富含地下水，築壩其間對於壩基礎之處理多所檢討，最後以隔幕灌漿、地下連續壁方式處理。在軟弱地層之區段採皂土-水泥地下連續壁型式，以皂土-水泥混合液作為回填材料，利用其材料本身透水性低，材料勁度與基礎土料相當之特色作為截水壁體。

同時，為解決壩址處富含地下水之問題，大壩下游基礎除設置排水濾層外，另於趾部每隔 25 公尺設置減壓井以降低壩基礎地下水壓力(圖十八及圖十九)。

壩址處軟弱地盤之問題不單影響大壩之基礎處理；在河道取水方面，築壩完成後即開始遭遇八掌溪河道嚴重下刷問題，河川下刷甚至竹山堰基礎危及設施安全，管理單位歷經十餘年之整治，終使此一河川沖蝕問題趨於和緩，也為軟岩河床之治理提供豐富實務經驗及研究素材；此外，近年康芮颱風造成溢洪道基礎破壞之案例，也使地工界對於膠結疏鬆之沈積岩內地下水流動可能引至之滲流行為更深刻瞭解。

圖十六　翡翠水庫大壩及右壩座

圖十七　翡翠水庫大壩及左壩座

圖十八　仁義潭水庫庫區

圖十九　仁義潭水庫大壩

5.3 鯉魚潭水庫(1992 年)

鯉魚潭水庫位於苗栗縣三義鄉大安溪支流景山溪下游，為一座離槽水庫，壩型屬分區型滾壓土石壩，壩高 96 公尺，壩長 306 公尺。水庫工區 1985 年開始興建，於 1992 年 11 月完工，越域引水工程則於 2002 年 6 月完工，爾後開始由大安溪主流士林攔河堰越域引水，具有臺灣地區唯一的鋸齒堰溢洪道之水庫，其下游並設有景山溪攔河堰(後池堰)，調節水庫除公共給水外之其他放流水。

本水庫之重要特色在於其溢洪道工程之佈設，由於大壩周邊山脊狹小、陡峭，難以佈置足夠溢流斷面之溢洪道型式，因此鯉魚潭水庫採用鋸齒型式之溢流堰以滿足需要溢洪長度，同時因為溢洪道陡槽段坡度陡峭、流速高，為減少高速水流引發穴蝕破壞之可能，因此於陡槽段設置通氣槽補氣。另外，為增強溢洪道之安定性，溢洪道基礎下方設有排水廊道導排地下水以降低地下水位(圖二十及圖二十一)。

除此之外，溢洪道投池右岸邊坡亦為著名之邊坡治理案例，由於砂頁岩互層之岩層特性以及具有順向坡之潛勢，因此此一邊坡於施工期間即有不穩定滑動之跡象，目前除以預力地錨、橫向集水管、排水廊道加以治理外，邊坡之日常安全監測亦為水庫營運之管理重點。

5.4 南化水庫(1994 年)

南化水庫位於臺南市南化區玉山村，水庫流域屬曾文溪支流後堀溪，流域面積 108.3km^2，滿水位 EL.180m，原規劃總蓄水容量 158,050,000m^3，為臺灣公共給水單一標的水庫之最大者，水源除本身集水區外，另由高屏溪支流旗山溪的甲仙攔河堰於豐水期越域引水。目前可每日供應臺南地區清水 60 萬噸，並支援高雄地區原水 40 萬噸，對穩定臺南及高雄地區民生用水及南部地區高科技產業的供水扮演舉足輕重的角色。

工程自 1988 年 12 月開工，1993 年 11 月大壩完工蓄水，主要設施包括：大壩、溢洪道、取排水工、施工導水隧道、越域引水設施、緊急取水設施及防淤隧道(興建中)等。大壩壩型為中央心層分區滾壓土石壩，壩頂標高 187.5 公尺，壩頂最大高度 87.5 公尺，壩頂長度 511 公尺，壩頂寬度 10 公尺，上游坡面 1V：3H、下游坡面 1V：2.5H，壩體體積 5,520,000 立方公尺。

南化水庫右壩座上游側為典型的順向坡地形，當時大壩設計時亦考慮土石壩與順向坡岩盤相交之角度，在大壩安全的前提下，壩軸以圓弧形設計可達堆填材料最經濟的效果，為臺灣唯一圓弧型之土石壩(圖二十二及圖二十三)。

圖二十　鯉魚潭水庫大壩

圖二十一　鯉魚潭水庫溢洪道鋸齒堰

圖二十二　南化水庫大壩與右岸順向坡

圖二十三　南化水庫壩頂現況

5.5 湖山水庫(2015 年)

湖山水庫位於雲林縣斗六市及古坑鄉境內，屬北港溪水系梅林溪上游，由湖山主壩、湖山副壩與湖南壩共同蓄水而成，另由桶頭攔河堰引清水溪溪水經引水隧道注入湖山水庫，屬離槽水庫。大壩型式為中央黏土心層分區型滾壓式土壩，湖山主壩壩高 75 公尺，壩長 578 公尺;湖山副壩壩高 62 公尺，壩長 334 公尺；湖南壩壩高 75 公尺，壩長 609 公尺。

由於環保意識的抬頭，在臺灣地質優良地形適當又獲住民同意興建的壩址已十分難尋，而又為減緩雲林地區地盤下陷問題，湖山水庫就在此條件下興建。

湖山水庫地質岩性屬膠結鬆散之泥岩砂岩或泥岩，在評估其止水灌漿工法時發現效果不佳，如提高壓力，又因岩體強度低，易產生水力劈裂，故採用塑性混凝土之截水牆，厚度 1 公尺，水平長度 2298 公尺，可達阻水功能，係為全國首創。又因壩址距斷層僅 2.5 公里，設計時採保守設計，水平向最大設計加速度達 0.7g，同為目前全臺灣水庫設計 PGA 最高值，動態分析時評估最大水平變位達 2 公尺，最大垂直變位達 1 公尺，設計時以加厚濾層材料及加高壩高來因應。種種壩工上的保守考量均顯示湖山水庫在設計上的嚴謹程度(圖二十四、圖二十五、圖二十六)。

圖二十四　湖山水庫溢洪道

圖二十五　湖山水庫大壩溢流堰與取水工

圖二十六　湖山水庫大壩完工鳥瞰圖

六、結語

隨著人們對生活品質的要求越來越高，環境保護的意識大幅提升，對於大型水庫的興建所可能造成環境破壞，越來越被民眾反對，在可預見的未來，在臺灣興建大型水庫是越來越困難，取而代之的，不再是大規模的砍伐，而是水源的充份再利用，在此記錄臺灣大壩工程發展的同時，也希望過去數十年所累積的大壩工程的技術，不應隨著歲月而逐漸流失，而是應尋求轉型應用及永續發展。

誌謝

感謝臺灣大學土木系林銘郎教授與黎明工程顧問公司顏呈仰協理提供相關資料與照片，一併誌謝。

參考文獻

中國土木水利工程學會 (2008)，「臺灣土木史叢書-水利工程誌」。

水利署電子報 epaper.wra.gov.tw

吳建明 (1993)，「經滄桑的虎頭埤水庫」，*中興工程季刊*，第40期，第83-101頁。

財團法人中興工程科技研究發展基金會 (2011)，「濁水溪水利建設紀要」。

地工技術第119期 (2009)，「薪傳：飲水思源 壩工先驅張森源先生」。

黃世傑 (2001)，「中興工程顧問社創辦人 顧文魁先生傳」，*中興工程季刊*，第72期，第107-113頁。

朱瑞墉 (2005)，「大甲溪的故事：大甲溪組曲」，*源雜誌*，第53期，第41-49頁。