工程案例回顧專欄

石門水庫開發工程簡述

盧志杰 鄒瑞卿*

一、前言

石門水庫(如圖一)是台灣光復以來的第一個多功能水資源開發工程，規劃於桃園縣境淡水河支流大嵙崁溪之石門狹谷築壩蓄水，以石門大壩控制大嵙崁溪水量，達灌溉、發電、防洪及給水等目的。本工程自 1956 年 7 月開始興建，歷時 8 年，於 1964 年 6 月竣工，參與建設人員達七千餘人，建設經費約新台幣 32 億元。主要工程內容包括水庫、大壩、溢洪道、發電廠、後池及後池堰、石門大圳、桃園大圳、公共給水廠、及移民設施等，水庫蓄水容量約 3.09 億 m^3。

石門水庫之規劃興建，係在台灣剛光復不久，戰後物力維艱，百廢待舉之際，決定水庫工程之興建需要極大的魄力。本工程藉由導入國外專家技術，除提升國內工程水準外，更孕育培養台灣早期工程人才，奠定了國內發展其他重大工程建設的基礎，深具時代傳承意義。

二、開發紀要

石門狹谷為一理想的築壩蓄水場址，1926 年八田與一(嘉南大圳的設計者)即研究在石門峽谷建壩蓄水的可行性，後續於 1930~1943 年間開始進行大嵙崁溪洪水期水文資料及庫址與壩址的地質調查工作，並擬訂興建計畫綱要(即「昭和水利事業計畫」)。惟因興建技術門檻高、所費甚鉅，且適逢戰事，因此本工程始終未付諸執行。

直至 1954 年，經濟部成立石門水庫設計委員會，向台灣省水利署及台灣電力公司等機構借調工程人員，開始著手水庫建設的規劃。如圖二所示，水庫地形為一 V 字型峽谷，地質以砂岩夾頁岩為主，依據初期的 30 孔(總深度 1000 m)，及 1944 年新增的 17 孔(總深度 853 m)鑽探資料，初步規劃之基本壩型包括:(1)混凝土重力壩；(2)混凝土拱壩；及(3)土石壩等三種，並聘請美國墾務局壩工及地質專家來台實地勘查與審核，最後決議採混凝土拱壩方案。

1955 年石門水庫建設委員會(石建會)成立，推動相關建設事宜。鑒於此工程規模巨大、技術複雜，同時考量培植我國工程人員的技術能力，因此於 1957 年徵選美國提愛姆斯(Tippetts-Abbett- McCarthy-Stratton)公司作為設計顧問，並於 1958 年聘選美國莫克 (Morrison-Knudsen)公司做為本工程的施工顧問。

1959 年本工程開始進行大壩基礎開挖，惟過程中不僅於左岸發現與山坡平行且深度風化的節理面，並於標高 320 m 處發現一低角度剪裂帶，為避免進一步擾動邊坡，誘發漸進式破壞，遂暫停左岸的開挖；右壩座部分則因壩基破碎帶及垂直節理所形成之楔形岩體超出預期，需加大右岸推力墩，為新增地質鑽探，並重作拱壩試載分析，亦停止開挖工作。另一方面，同年發生法國南部瑪爾帕賽(Malpasset)拱壩突然崩潰事件，為安全故，設計顧問重新檢討整個開發計畫。考量左、右壩座地質條件不佳，採土石壩方案因基礎面積較大，有助於左、右壩座之安定，並可避開複雜且不確定性高之壩基處理。此外，考量壩址附近已有足夠的築壩材料，在兼顧工期及安全下，後續改採土石壩方案(如圖三)。

於此前，與本工程相關的基礎地質調查前後共計施鑽 245 孔，總深度達 12,200 m；開挖探查坑 17 處，總長度達 2,411 m。在如此充分的地質調查密度下，仍無法完全掌握工址的地質情況，顯見台灣複雜多變的地質條件，將使工程進行增添更多的不利因素及變數，從業人員於後續工程應更謹慎面對及小心因應。

* 中興工程顧問股份有限公司大地工程部

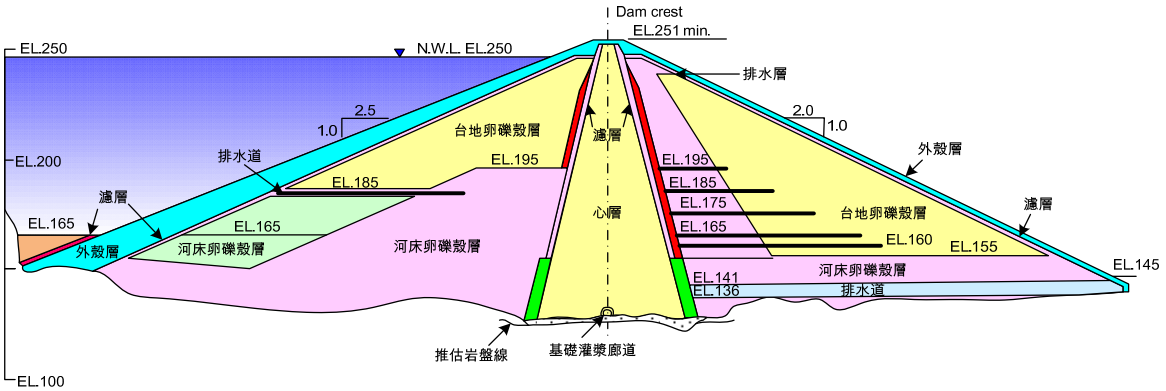
圖一　石門水庫鳥瞰圖

圖二　石門水庫建壩前地形

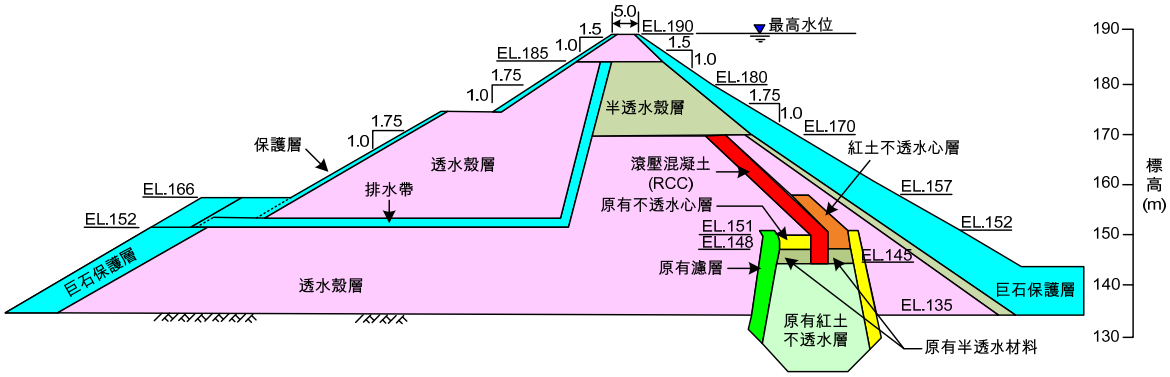
三、工程特色

主壩上游側前緣的擋水壩為採滾壓式混凝土施工的首例。原設計擋水壩為傳統斜土心滾壓式土石壩，由於紅土壩心材料一旦被雨水淋濕，將因含水量過高而無法滾壓，因此大壩心層之填築必須在非洪水季(冬天與春天)內完成。惟因工址位於台灣北部，於非洪水季時亦會因天雨而影響心層填築，使工程進度嚴重落後，為加速工程進度，工程單位研討後決定改採貧配比混凝土(即滾壓混凝土，Roller Compacted Concrete, RCC)代替紅土(如圖四)，以避免傳統混凝土澆置工法速度過慢，且水泥用量多產生水化熱等問題。

滾壓混凝土坍度為零，設計中亦可採飛灰取代水泥，同時減少水之用量以降低流動性，運送時則以土料裝載車裝運，卸載分層後以推土機攤平再用重車滾壓，具有工序簡單、施工迅速、可省略混凝土升層處理與冷卻作業、及受天氣影響較少的優點，運用滾壓混凝土築壩的工程案例越來越多，迄今已有超過 100 m 高的重力壩應用實例，亦已有採滾壓混凝土建造拱壩之案例，主要採用的國家包括美國、日本、澳大利亞、中國等。



圖三　石門水庫大壩設計斷面



圖四　完成後之上游擋水壩標準斷面

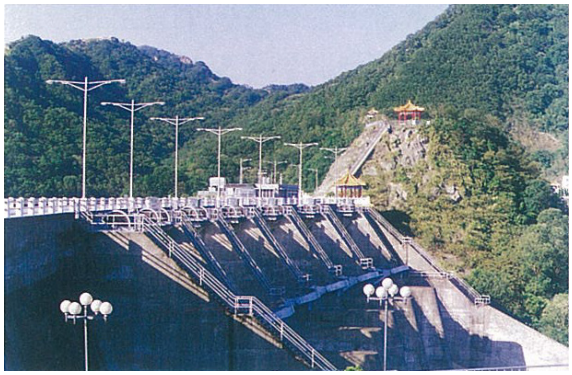
圖五 施工前上游擋水壩址地形

圖六　上游擋水壩填築施工中

本工程在 1963 年 5 月封閉導水隧道開始蓄水，並於 8 月開始供水予下游農田灌溉使用。同年 9 月葛樂禮颱風來襲，流入庫區洪水流量高達 10,200 cms，幾與溢洪道原設計之最大可能洪水 10,900 cms 接近，更創下 21 小時內將水庫水位由 201 m 提升至 236.5 m 的歷史記錄。由於水庫攔蓄了大嵙崁溪初期洪水，經蓄洪調節後，延遲洪峰到達下游的時間，因而與新店溪的洪峰錯開，降低了下游河道洪峰匯集時的水位，對下游的防洪保護起了重大作用。葛樂禮颱風後，於 1963~1978 年間，艾爾西(1969 年)、貝絲(1971 年)、貝蒂(1972 年)及畢莉(1976 年)等颱風亦帶來大量洪水，後續為提高水庫的防洪能力，於 1978 年再度辦理緊急排洪隧道增建的計畫，並於 1985 年完工啟用，將水庫的排洪能力由原設計之 10,900 cms 提升到 12,400 cms。

四、小結

石門水庫為台灣自光復以來多目標水資源工程之濫觴，其施工規模遠非當時一般工程



圖七 石門洩洪道現況(摘自石門水運四十年特刊)

圖八 排洪隧道於納莉颱風期間排洪狀況(摘自石門水運四十年特刊)

可比，即便至今，此規模之工程亦不多見。本工程在規劃階段，即有遠見地引進當時最先進之技術及管理，並致力於技術移轉，留下關鍵技術，在施工階段，更務實地培育出數以千計之專業工程師。石門水庫工程完成後，這批訓練有素且成熟之專業工程師散佈到台灣各地生根萌芽，持續推動台灣各項工程建設，在 70 年代台灣推動「十大建設」期間，再度扮演關鍵的角色，對於台灣的「經濟起飛」具有絕對的貢獻。

石門水庫自蓄水以來已逾 50 年，營運過程亦歷經大壩心層加高、水庫淤泥處理、風災後加設分層取水工、及發電廠改建為排砂隧道等重大工程議題，使水庫在安全狀況下持續發揮作用，惟隨著時間累積，及近年氣候變遷加劇的影響，庫區淤積問題日益嚴重，庫容正在加速減少，對於水資源彌足珍貴的台灣而言，如何促使水資源永續利用，實為工程師應思考之課題及努力之目標。

圖九 石門水庫大壩鳥瞰圖