

戰前首座自來水水庫安全評估檢討回顧 以暖暖（西勢）水庫水壩為例

李明德

水利技師、台灣世曦工程顧問公司退休顧問

一、前言

1898 年日治時代台灣總督延請英國技師 William K. Burton 指導暖暖淨水場規劃、設計，先在西勢溪興建攔河堰及抽水站，後續再籌建基隆水道貯水池（即水庫），以穩定水源。水庫水壩於 1923 年 4 月開工，1926 年 8 月完工通水，此水庫為台灣第一座混凝土重力壩。兩年後 1928，剛巧美國加州洛杉磯北方 45 哩處之聖法蘭西斯混凝土重力壩發生潰壩，造成 450 人死亡災事，後經州議會追責及強化法規，於 1929 年乃訂定世界第一份【大壩安全法規】。

1981 年 1 月台北市發生雙溪水壩因放水不當，造成 15 位學生溺斃災事，促進經濟部加強水壩安全措施管理。本計畫即由台灣省自來水公司委託中華顧問工程司，其所承辦基隆市暖暖地區之西勢水庫安全評估與檢討工作。在 1982 年 8 月當年國內尚無水庫安全檢查評估法規，故引用美國 1976 年陸軍工程師團（COE）之水壩安全評估建議指針，與美國聯邦（FCCSET）之壩安全指針，以及 1978 年日本國家大壩委員會之大壩設計基準，作為參考依據。從西勢(暖暖)水庫安全評估檢討首案迄今已過 39 年，期間陸續對重要水庫完成多次安全評估，但遲至 2014 年水利署始將台灣現存所有 94 座水庫（分一~三級分類之各級水庫依序為 17/27/50 座）完成第一次安全評估，並建立其基本資料，而本暖暖（西勢）水庫被列入第二級之安全評估分類範圍。

二、西勢水庫與水壩工程概要

- (一)水庫用途：自來水專用蓄水庫
- (二)管理單位：台灣省自來水公司第一區處
- (三)水庫安全評估與檢討承辦單位：中華顧問工程司
- (四)辦理安全評估與檢討時程：1982 年 8 月至 1983 年 4 月
- (五)壩體設施概要：

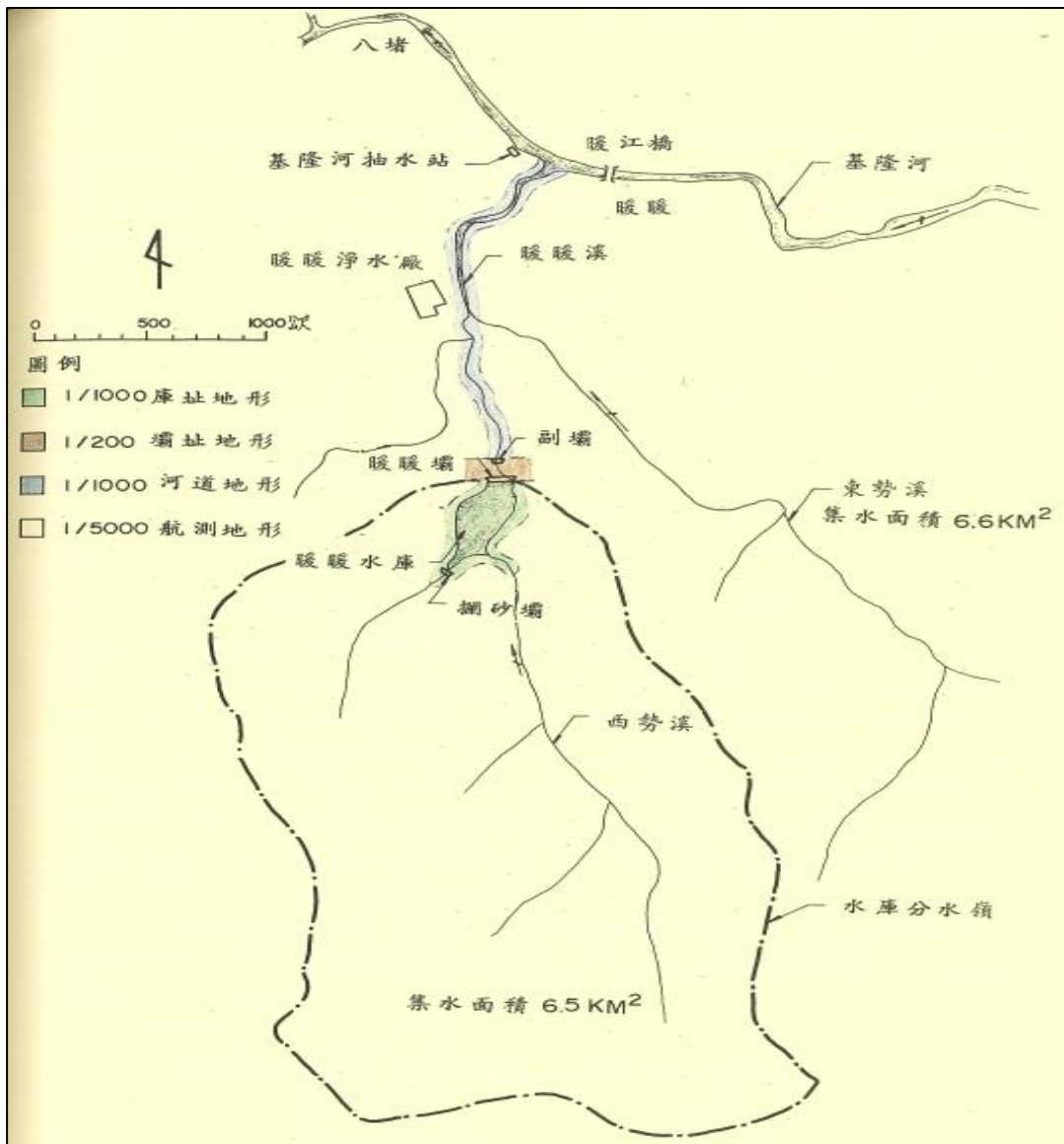
1.水庫：

位於基隆市郊八堵暖暖附近，距基隆港 5 公里、八堵以南 2.5 公里處，水庫集水面積 6.5km²，地面標高介於 EL. 100m~EL. 700m，水域面積 9ha，長 4km、寬 2km，庫床標高 EL. 50.6m，水庫設計容量為 651,747m³，1982 年 10 月實測水庫容量 555,309m³，庫床標 60.3m。水庫實景詳照片 1；水庫集水區範圍及位置詳圖 1。



照片來源：參考文獻 4

照片 1 水庫實景照



資料來源：參考文獻 1

圖 1 水庫集水區範圍及位置圖

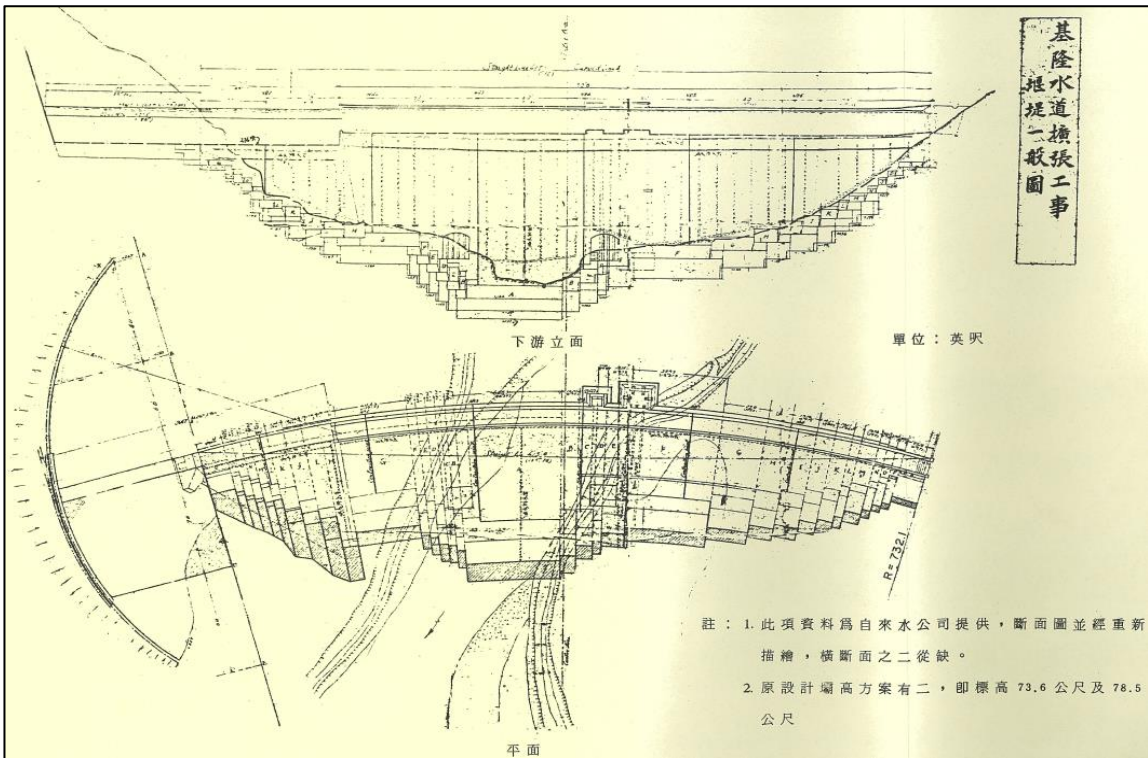
2.水壩：

混凝土曲型重力壩，壩高 29.57m，壩頂曲線長 102.42m，頂寬 3.35m，壩頂標高 EL. 73.6m，壩底中央寬 23.09m，基礎岩盤最低標高 EL. 46.4m，伸縮縫間距垂直 18m、水平 0.6m。正常滿水位 EL. 72.08m，設計洪水位 EL. 73.6m，滿水位面積 91,050m²。水壩外觀詳照片 2；水壩平面及立面設計圖詳圖 2。



照片來源：參考文獻 4

照片 2 水壩外觀照



資料來源：參考文獻 1

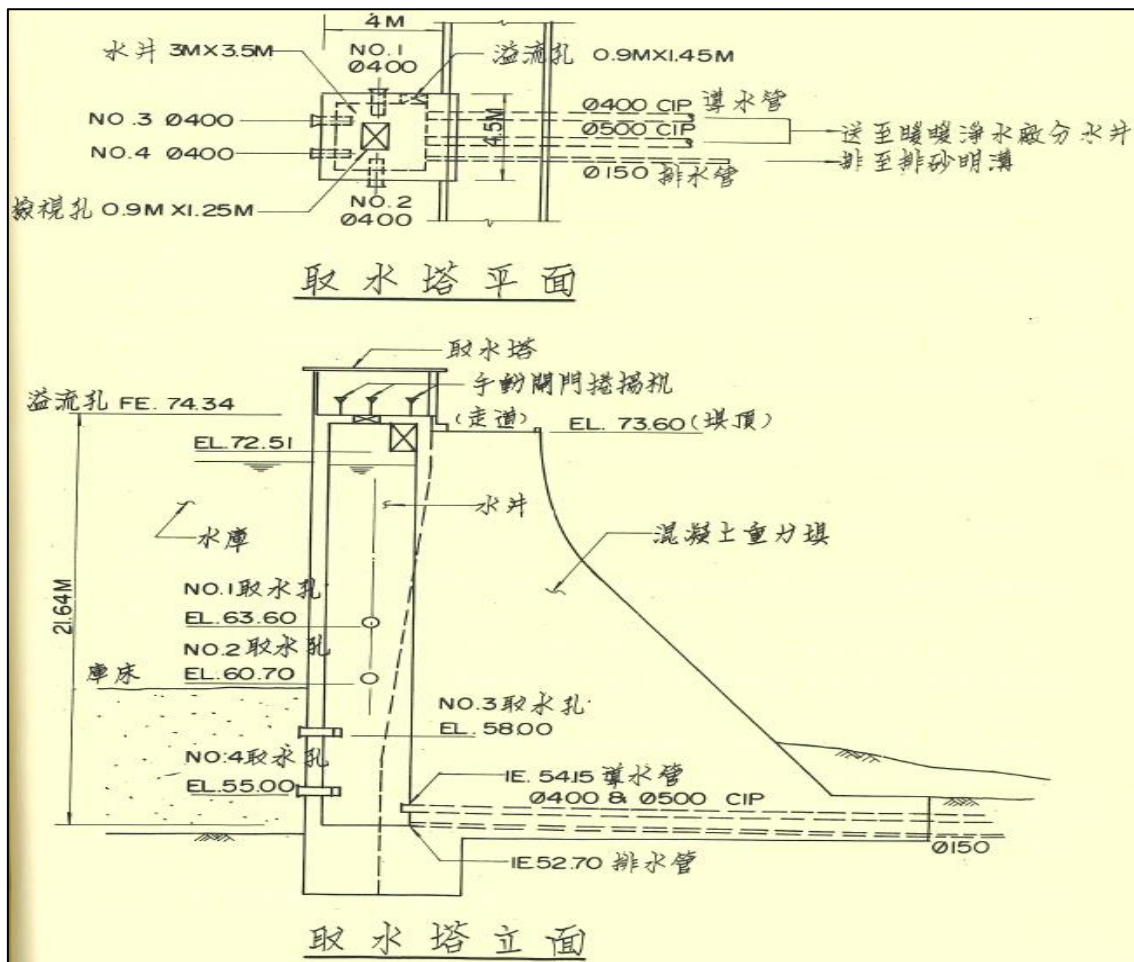
圖 2 水壩平面及立面設計圖

3. 溢洪道：

位於水壩東側左半部為混凝土重力式無閘門控制臥箕溢道，右半部由天然岩盤切削成寬頂溢道，部份岩面加混凝土處理，其水路呈不規則形狀。溢洪道長 48.48m，頂標高 EL. 72.08m，頂部寬 1.7m，溢洪道高度 17m，底部寬 21.5m，兩側導流牆高度 1.85m，臥箕溢道岸部標高 EL. 56.50m，垂直伸縮縫間距 12m，溢洪道頂至水躍池中心間距 45m，水躍池貝殼狀直徑約 30m，常水位深度約 4m。設計洪水位 HWL. 73.60m，設計排洪量 178CMS（立方公尺/秒）。

4. 取水設施：

水壩左岸 55m 前端設置 4.0m x 4.5m x 21.6m 取水井，井內各標高 EL. 55m/58m/60.70m/63.60m 開設直徑 400mm 取水孔四個，附制水閘門，井底有直徑 150mm 排水管通到壩趾排水溝，井頂加塔屋高 2.3m，屋內設捲揚設備。井底標高 EL. 54.15m 分設直徑 400mm / 500mm CIP 導水管附制水閘，以管線輸水送到暖暖淨水場，設計出水量 14,200CMD，光復後在豐水期提高至 50,000CMD。取水塔平面及立面設計圖詳圖 3。

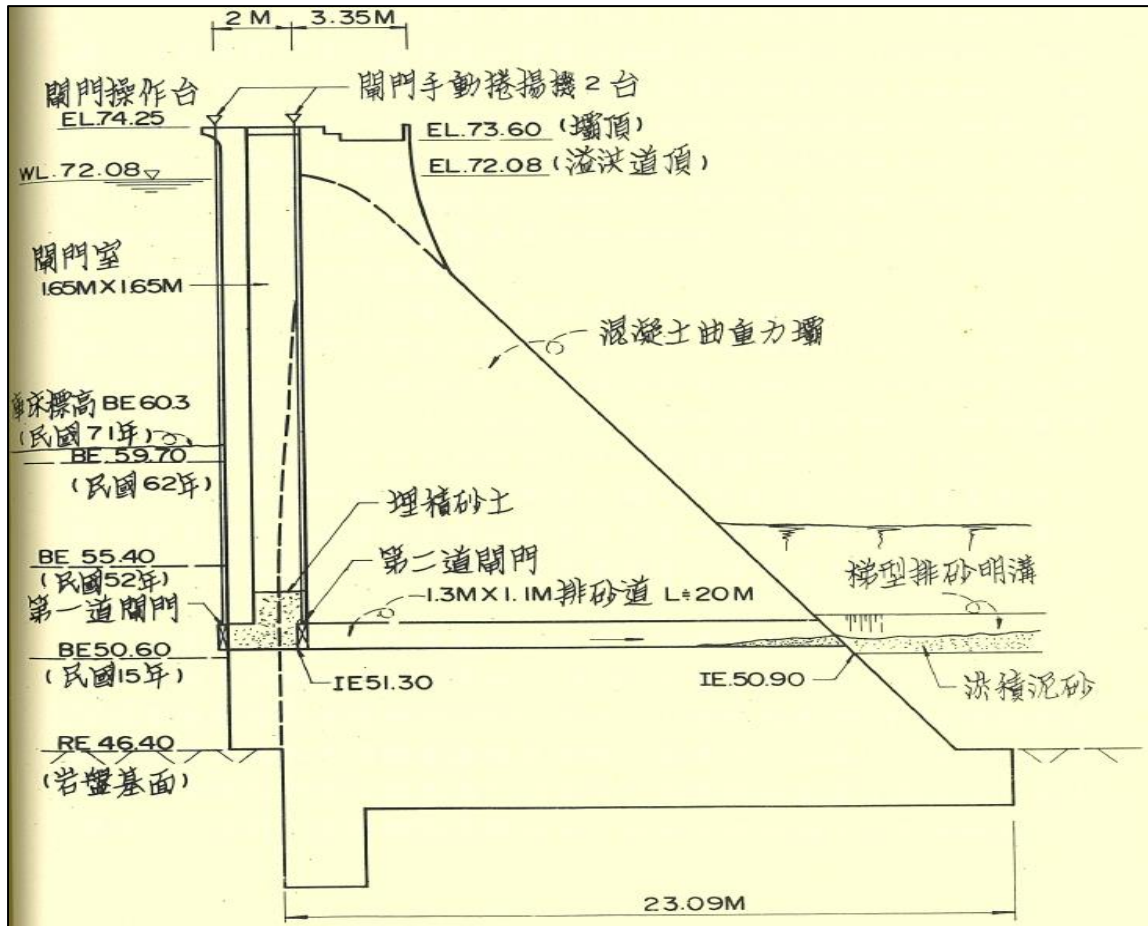


資料來源：參考文獻 1

圖 3 取水塔平面及立面設計圖

5.排砂閘道：

設於水壩左岸 60m 前端，排砂井 1.65m x 1.65m x 23m，井底銜接排砂道 1.3m x 1.1m x 20m，其渠底標高 EL. 51.30m，出口銜接壩趾梯型排水明溝聯通水躍池，排砂道設兩道閘門各 1.3m x 1.1m，壩頂附設捲揚機設備。最大排砂流量 19.7CMS。排砂閘道立面設計圖詳圖 4。



資料來源：參考文獻 1

圖 4 排砂閘道立面設計圖

6.水庫上游攔砂壩：

1971 年興建，設於西勢溪左支流標高 EL. 77.5m 處，長 60m、高 7m 混凝土格柵壩。

7.水庫下游副壩：

1901 年興建，設於溢洪道水躍池下游 60m 處，為混凝土壩，長 22.5m、高 6m，1920 年再加高 0.9m。係早期暖暖淨水場之河道引水設施。

三、水庫水壩安全檢查評估與檢討需要

西勢水庫自 1926 年完工通水迄今已歷 96 年，尚可維持正常營運，至 1982 年始辦第一次水庫水壩安全評估檢討，期間相距 56 年。依照國際大壩委員會之事故統計分析資料（1980 年）顯示：發現 1950 年以前所建水壩事故風險機率為 2.2%，1951 年~1986 年期間所建水壩發生風險機率為 0.5%。且分析認為大壩事故通常出現於完工 10 年內較易發生，而混凝土壩大多以基礎剪力強度不足或弱化，以及基礎內部遭受沖蝕，造成潰壩災害。也有因水工結構設計之溢洪道排洪量不足而引發潰壩。世界上壩工學直到 1944 年才有 Engineering for Dams, by William P. Creager, Joel D. Justin, Julian Hinds 一書匯集壩工理論與技術。西勢水庫水壩利用西勢溪右岸天然岩盤施設溢洪道，加建混凝土重力溢道，再與混凝土曲型重力壩組成水壩，立基在岩石摩擦角 35°，凝聚力 C 值為 2Kg/cm² 壩址地質上。其建壩時間在 1950 年之前，雖屬事故風險較高的年代，但自 1926 年通水以來安全運作，延至 1982 年辦理水庫安全評估檢討，以事實證明水庫水壩因設計或施工不當而發生事故之風險已可排除，可見安全評估檢討重心應在水庫運用與改善，針對自來水公司之委託，本水庫計畫須進行水庫淤積情況、地質條件、溢洪道排洪能力、設備功能與水壩安全等情況檢查評估。另為延續水庫再使用，須檢討水庫現有設施之加強改善措施，並提出建議。預定於八個月工作天期限完成報告。

四、水庫安全評估檢討之工作擬定

由於本案係全省首座由政府委託顧問公司安評檢討水庫，而西勢水庫為日治時代台灣完成的第一座混凝土重力壩，留存設計施工資料有限，且辦理評估檢討時國內尚無相關安全檢查與評估規範以及法規細則。故針對業主需求乃擬定工作前置作業包括：(1)地形及水深測量；(2)地質調查及鑽探；(3)岩心及壩材取樣試驗；(4)現場踏勘與詳細調查設施設備（含運轉狀況）；(5)蒐集水庫及水壩文獻；(6)蒐集當地水文統計及地質、地震紀錄資料。然後確立安全評估檢討之報告大綱，並與業主溝通，確認進程序。

本計畫成果報告其目錄列示如下：

結論及建議

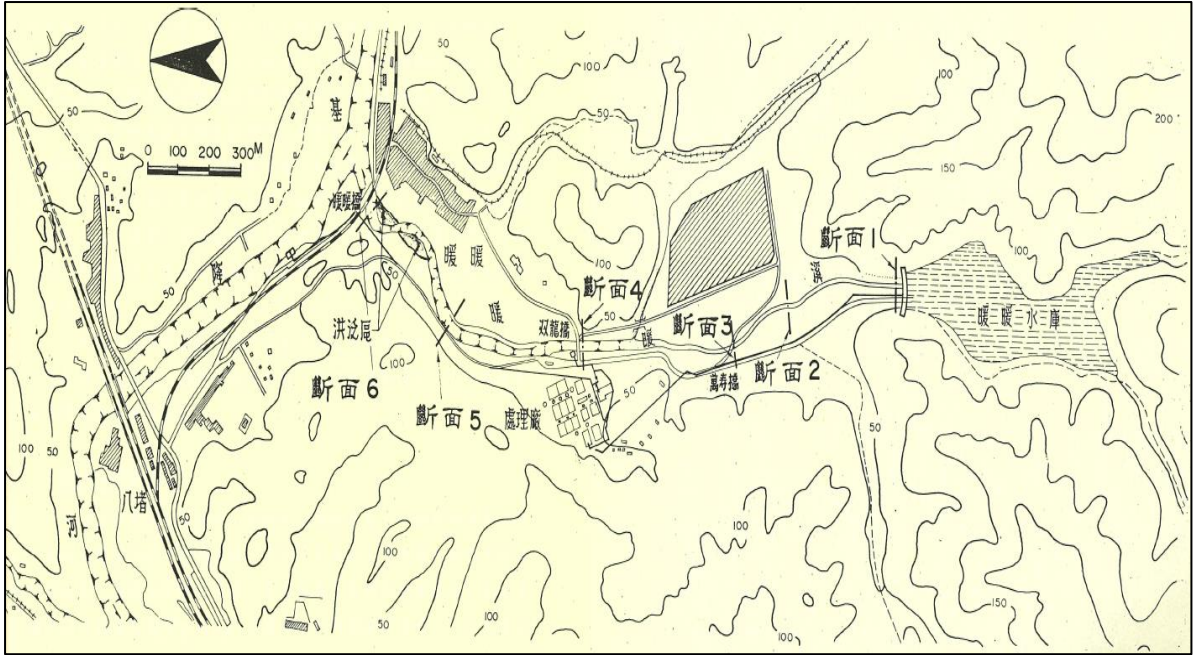
- 第1章 工作概要
- 第2章 水庫工程簡介
- 第3章 基本資料補充
- 第4章 地質探查及地震問題研究
- 第5章 壩安全檢討

- 第6章 溢洪道安全檢討
- 第7章 附屬設備評估
- 第8章 潰壩洪水演算及緊急應變措施
- 第9章 繼續使用所需改善事項建議
- 第10章 參考文獻
- 附錄

五、水庫水壩安全檢查評估

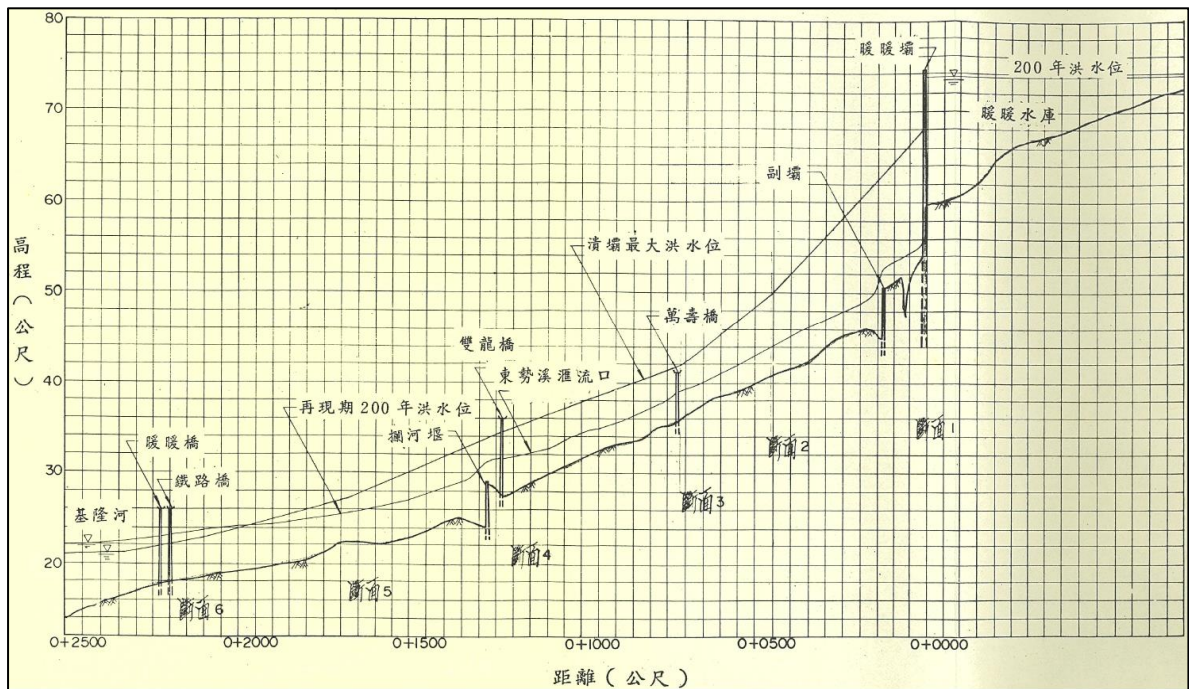
(一)庫容與洪水評估

1. 庫容受 56 年淤積後剩 555,309 m³，為原有設計蓄水容量 651,747m³ 之 85.2%，尚足繼續安全蓄水。
2. 最大可能洪水(PMF)依最大二日暴雨 2020 mm，配合歷線推演最大可能洪水量為 366CMS，壩址各再現期入流洪峰流量為 254CMS(T=1000yr)、207CMS(T=200yr)、187CMS(T=100yr)及 167CMS (T=50yr)。
3. 依設計洪水位 HWL. 73.60m 推算溢洪道排流量為 178CMS，可見水庫設計洩洪流量介於 T=50yr~100yr 中之再現期值。
4. 據潰壩最大洪水出流量與壩高關係經驗公式推估，壩址最大瞬間潰壩洪水出流量為 3,133CMS，按洪波演算其洪水位為 WL. 68.00m，流達基隆河匯流口附近暖暖橋址之洪波流量 884CMS，洪水位為 22.40m，皆在河道水路內，唯在中段萬壽橋洪水已達橋面，須管制交通安全。水庫洪氾區域詳圖 5；潰壩洪水位詳圖 6。



資料來源：參考文獻 1

圖 5 洪泛區域平面圖



資料來源：參考文獻 1

圖 6 潰壩洪水水位圖

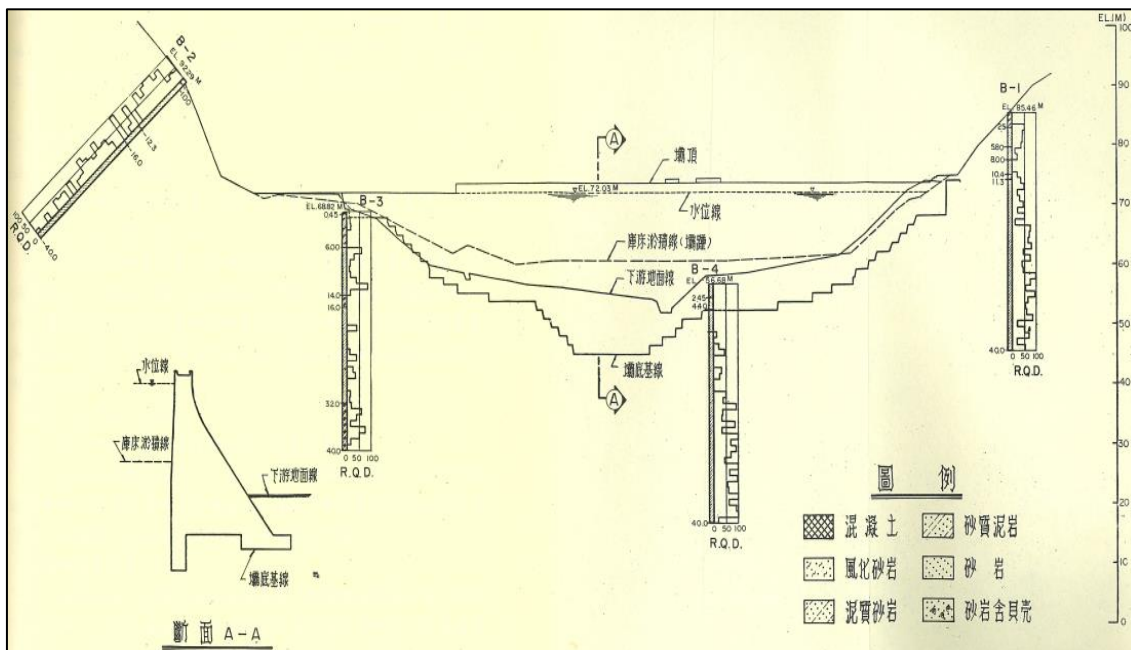
(二)水壩與溢洪道結構基礎檢討

1. 依照壩體 3 處混凝土柱狀取樣(φ 15cm x 50cm)(詳照片 3)，及岩層鑽探 4 孔 (各 40m 深)取樣之試驗分析(詳圖 7)，量測材料強度、特性係數、透水性、含水率、風化性及破壞、非破壞等數據，供作水壩與溢洪道之結構與基礎安全分析判斷依據。



資料來源：參考文獻 1

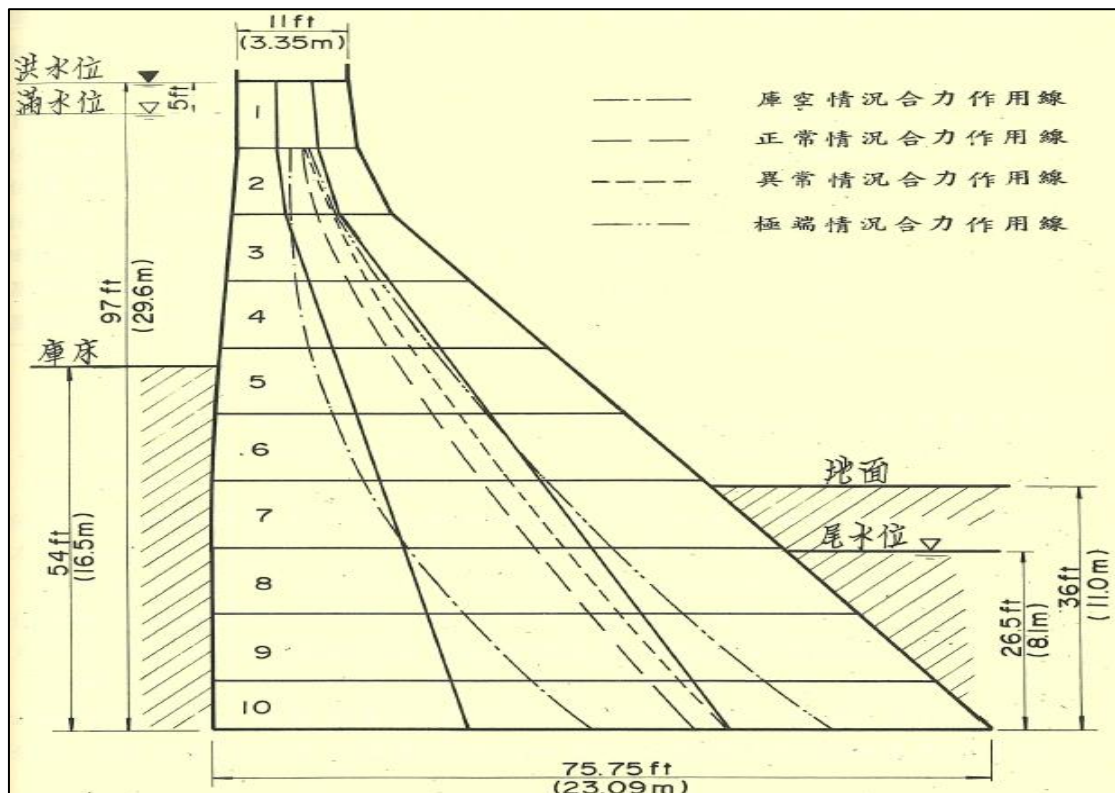
照片 3 混凝土柱狀取樣試體照



資料來源：參考文獻 1

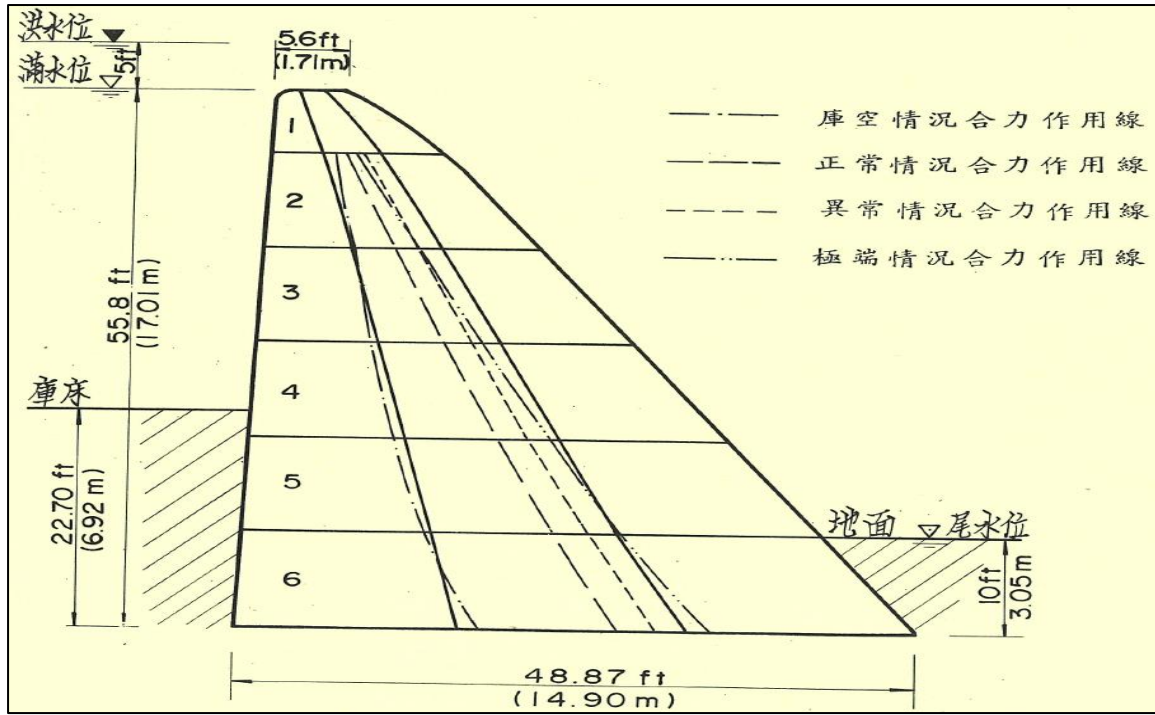
圖 7 壩址地質柱狀圖

2. 據地質探查與地震研究分析，認為水庫蓄水區無斷層或褶曲，無顯著破碎帶，節理不發達，基地不影響水庫之安全性。而水壩及混凝土溢洪道之岩石抗壓強度 38~49Kg/cm²，承载力足夠，岩石水密性良好，水庫無漏水之虞。該壩址岩石摩擦角 35 度，凝聚力 C 值為 2Kg/cm²，其對壩體混凝土之抗剪滑亦足安全。
3. 檢驗最大可能地震(MCE)、設計基準地震(DBE)T=100yr、運轉基準地震(OBE)T=25yr 三種基準安全分析，採用靜力分析法($\alpha=0.15$) 作大壩安全評估分析基準。
4. 進行大壩重力法安定分析及有線元素法動力分析，結果發現此壩之抗傾覆、抗滑動、抗壓潰、抗剪滑及岩盤承載俱有安全性，對壩貯水運作均無不利影響。而壩體於三種基準地震下之庫空與極端荷重分析，顯示壩體混凝土拉應力皆在材料試驗容許值以內，符合安全。水壩及溢洪道應力分析結果詳圖 8、圖 9 及圖 10。



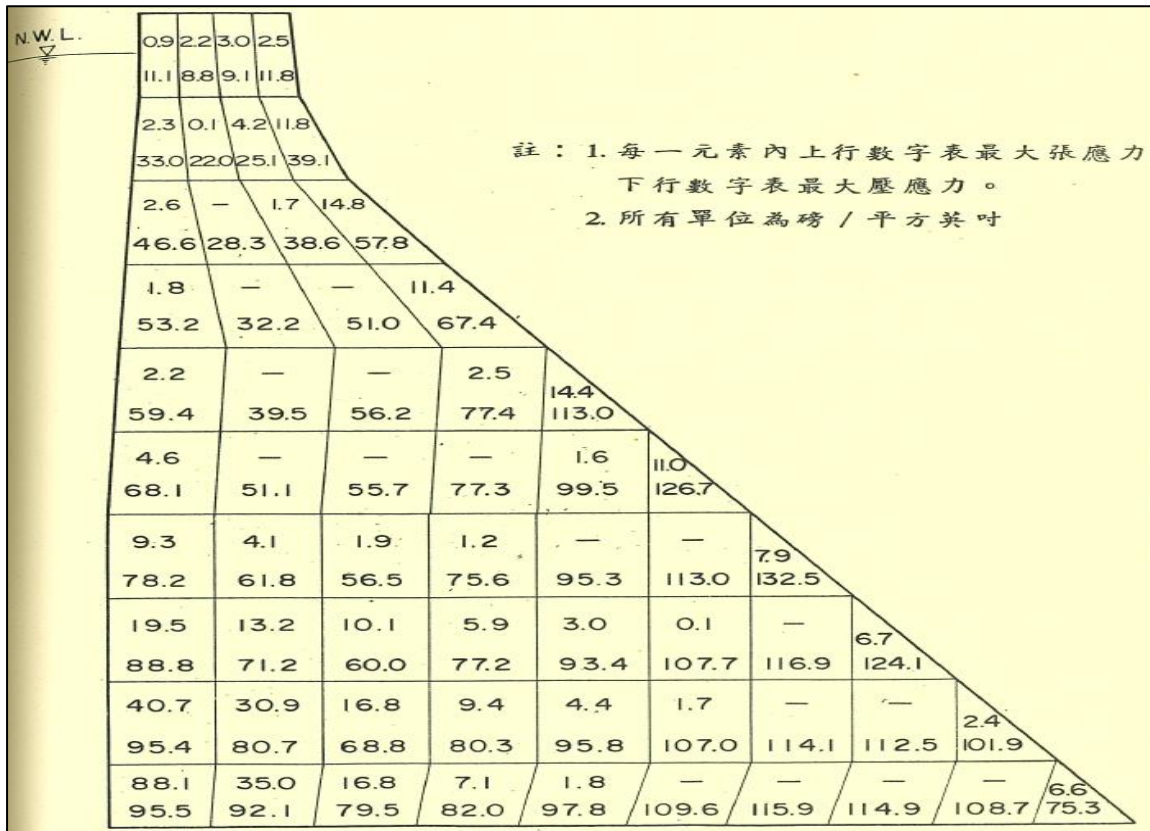
資料來源：參考文獻 1

圖 8 水壩安定分析圖



資料來源：參考文獻 1

圖 9 溢洪道安定分析圖



資料來源：參考文獻 1

圖 10 水壩動力分析圖

5. 由溢洪道側牆頂部標高 EL. 74.40m 推算最大溢洪流量為 335CMS，相當於再現期 $T=1000\text{yr}$ 以上之洪水洩流量(接近可能最大洪水量 366CMS)，而過去 56 年曾發生最高溢洪水位為 HWL. 73.2m，尚未超過溢洪道胸牆高，亦在安全範圍。
6. 臥箕溢洪道末端之水躍池底床岩盤穩定，其池深及縱長足夠消能。副壩結構基礎安全，壩下游西勢溪及暖暖溪之通水能力大於 $T=200\text{yr}$ 之洪峰流量，且潰壩之洪波尚能排流。
7. 水壩與溢洪道組成曲型往上游帶狀佈置，可呈拱力分向兩岸岩座支撐，借水壓力增加重力混凝土壩體穩定及垂直伸縮縫之緊密。

(三)水壩附屬設備評估

1. 原始設計排砂閘道已於 1942 年操作失靈，當時緊急採用砂土填塞封閉閘井，歷經 40 年砂土固化已達封閉作用，而二道閘門亦增穩定效果。經檢討無修復之必要，僅需定期檢視，遇有漏砂或漏水現象時，應再採取適當封閉措施。
2. 因庫床淤積已達標高 EL. 60.30m，原有 EL. 55.00m 及 EL. 58.00m 二處取水口已受堵而減少進水量，剩餘二處 EL. 60.70m 及 EL. 63.60m 之 2 支 $\phi 400\text{mm}$ 取水口尚可使用，合計取水量為 0.643CMS~0.869CMS(WL. 60m~WL. 70m)，尚符暖暖淨水場之常流量 30,000CMD~50,000CMD(0.35CMS~0.58CMS)輸水需求。

六、水庫運維改善檢討

- (一) 水庫集水區被覆良好、地質尚佳、庫床受淤積不嚴重，水土保持宜繼續管制，暖暖淨水場原水輸水量如有增加需求，優先疏浚取水井周邊庫床淤積，現已恢復原有四個取水孔進水。取水機電設備於 1971 年更新。如本水庫還需擴大基隆市區供水，可考慮參考日本人留下抬高壩高 5m 擴建規劃方案再深入探討，或提高壩高 10m 方案一併作經濟性與可行性研究。
- (二) 應增設壩址水尺及流量站，集水區設雨量站，以利水文記錄與日後分析檢討之用。
- (三) 建立防洪安全體系，設置警告標示、警報通告系統，以維持水庫下游水域安全。

- (四) 水壩及溢洪道表面附生植物須予清除，其有隙縫或材料受損處即須噴漿填補，俾加強處理。
- (五) 可進一步與附近新山水庫研究其綜合運用調度之可行性，並和西勢水庫加高壩頂計畫方案一併比較分析。

七、回顧結語

自 1983 年 4 月提報暖暖(西勢)水庫安全評估檢討報告迄今，經過了 39 年，現存庫容已減縮至 396,000m³，占原有設計庫容 651,747m³ 之 60.8 %。而水壩取水井周邊已進行過疏濬，可恢復原有取水口功能，取水管路 1971 年業已更新。水壩下游西勢溪及暖暖溪水路已整治並美化河岸(詳照片 4)，副壩上游河岸增置消波塊。且台灣自然保育中心在水庫集水區並已設置三個生態站。水庫壽齡已屆 96 年，可列水利建設古蹟。回顧當初安評檢討作業以來，現行法規已較齊全，經濟部已先後頒佈：(1) 蓄水庫安全檢查與評估辦法，1988.6.3。(2) 蓄水庫安全評估要點，1990.6.21。(3) 水利建造物檢查及安全評估辦法，2003.12.3。

另針對西勢水庫已訂定細則包括：(1) 西勢水庫水門操作規定，2011.11.11。(2) 西勢水庫運用要點(含附表運用規線與運用規劃圖)詳圖 11。而 2003.12.3 頒佈水利法修訂第 19 條文時增訂【水利建造物檢查及安全評估技術規範(蓄水與引水篇)】，業已提出具體數據作基準。後來在法規上又增訂：建立水壩須備有安全維護手冊及潰壩緊急應變計畫。

目前西勢水庫運作如常，雖然水庫已剩 60.8% 庫容，回顧 95 年庫床淤積量變化，1926 年~1963 年淤積量 2,047m³/yr，1963 年~1982 年淤積量 1,205m³/yr，1982 年~2014 年淤積量 3,631m³/yr，2014 年~2018 年淤積量 10,225m³/yr。可見從 2014 年以後才出現嚴重泥砂流入水庫現象，影響庫容在 4 年期間降低 6.3 %。今後應加強水庫集水區管制，必要時可考慮局部疏濬，以及進一步擴大庫容之規劃研究，俾提高水庫之蓄水功能。

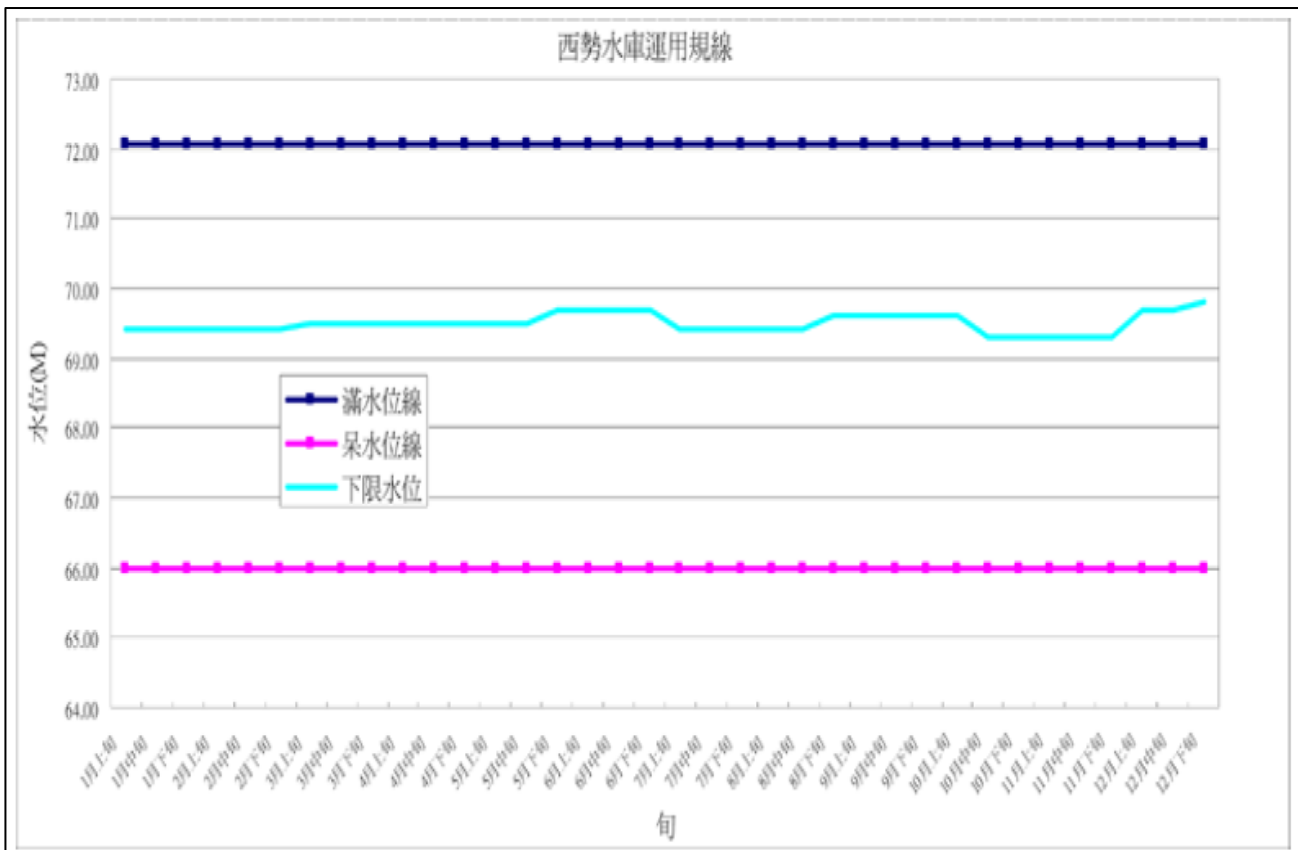


照片來源：參考文獻 4

照片 4 壩下游西勢溪整治河岸照片

西勢水庫運用規線

月份	旬	平均水位	下限水位
1	上	71.23	69.40
	中	71.32	69.40
	下	71.13	69.40
2	上	71.94	69.40
	中	70.87	69.40
	下	70.72	69.40
3	上	71.11	69.50
	中	70.88	69.50
	下	71.10	69.50
4	上	71.76	69.50
	中	70.95	69.50
	下	70.91	69.50
5	上	71.02	69.50
	中	71.50	69.50
	下	71.36	69.70
6	上	71.53	69.70
	中	71.42	69.70
	下	71.83	69.70
7	上	71.42	69.40
	中	71.81	69.40
	下	71.58	69.40
8	上	71.30	69.40
	中	71.33	69.40
	下	71.50	69.60
9	上	71.77	69.60
	中	71.86	69.60
	下	71.87	69.60
10	上	71.58	69.60
	中	70.98	69.30
	下	71.83	69.30
11	上	71.80	69.30
	中	71.96	69.30
	下	71.90	69.30
12	上	70.81	69.70
	中	71.94	69.70
	下	70.87	69.80



資料來源：參考文獻 2

圖 11 西勢水庫運用規線及附圖

參考文獻

1. 中華顧問工程司，暖暖(西勢)水庫安全評估檢討報告，台灣省自來水公司，1983 年 4 月。
2. 經濟部水利署北部水資源局網站，
3. <https://www.wranb.gov.tw/3452/3475/26144/>。
4. 台灣省自來水公司網站，<https://www.water.gov.tw/dist1>。
5. 基隆市暖暖區公所網站，
6. <https://www.klwn.klwg.gov.tw/tw/klwn/1726-97238.html>。
7. Creager Justin & Julian Hinds, ENGINEERING FOR DAMS, Fourth Printing, 1950
8. 高憲彰、樓浙達、蔡明欣、吳演聲，國內外蓄水庫安全管理之比較，中興工程季刊第 100 期，2010 年 10 月。
9. 劉建邦，水利建造物檢查及安全評估法規概述，中興顧問公司教育訓練，2017 年 10 月。