

107 年度曾文水庫大壩安全監測分析及檢查 委託技術服務

摘 要

本計畫為「107 年度曾文水庫大壩安全監測分析及檢查委託技術服務」由曾文水庫管理單位經濟部水利署南區水資源局(簡稱南水局)經評選委託財團法人中興工程顧問社(簡稱中興社)辦理。計畫目的在藉由例行監測資料分析及設施的檢查,評估水庫安全及設施狀況,以確保水庫功能的發揮。相關工作內容及重點分別概述如下:

一、概述及工作內容

曾文水庫為臺灣南部最重要的水資源設施,在安全及水資源運用上不容許發生安全上的事故。為確保本水庫蓄水及營運期間壩體之安全及穩定,利用大壩及附屬設施埋設之監測儀器,於水庫營運期間持續辦理監測,並對大壩進行定期及不定期安全檢查,以維水庫安全。工作內容包括:1.大壩安全監測;2.現場安全檢查;3.橋樑安全檢查;4.大壩行為及安全性評估;5.監測儀器設備檢測及檢討;6.教育訓練;7.工作簡報及報告編撰印製等。依據工作內容擬定執行整體架構流程如圖 1。

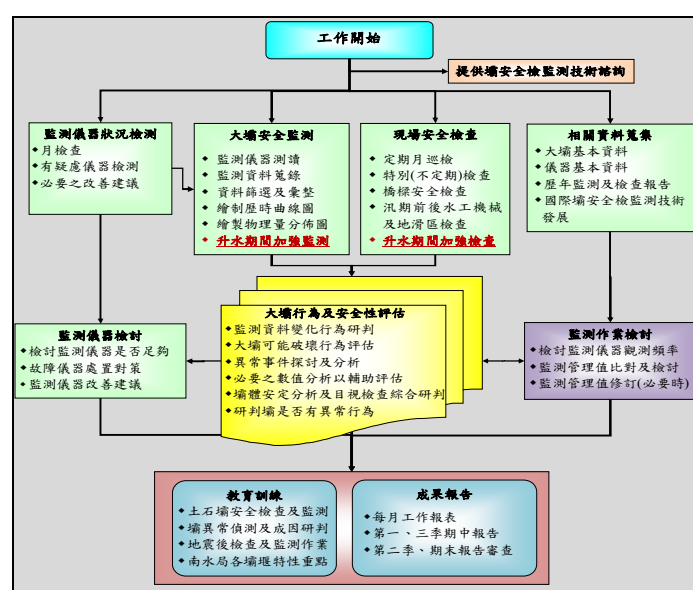


圖 1：本計畫之工作執行架構與流程

二、本年度概況及設施基本資料

曾文水庫主要設施包括大壩、溢洪道、落水池、發電輸水路、河道放水道及防淤隧道等。本年度水庫水位約介於 EL.181.84~230.09 m 之間，水庫集水區平均累積年雨量為 3057.2 mm，平均日雨量約 8.38 mm，於 8 月 23-24 日因逢台灣西南部低氣壓侵襲導致曾文水庫地區發生超大豪雨事件，該事件連續 24 小時降雨量達 513.4mm。壩區發生 1 起顯著地震事件，於 3 月 20 日壩區發生震度五級之地震。震央位於嘉義縣大埔鄉，芮氏規模 5.2。

水庫之監測儀器主要佈置於大壩、溢洪道、防淤隧道口、右山脊邊坡及鄰近壩區地滑區，用以監測與掌握大壩、溢洪道及壩區邊坡之穩定性及安全。監測儀器之種類包括壩基及壩體孔隙水壓計、壩體濾層上方氣壓式及振弦式水壓計、壩體滲流三角量水堰、壩頂位移觀測點、壩面沉陷觀測點、地震儀、雜項填方區水位井、溢洪道洩槽右側水位井、溢洪道側牆位移觀測點、廊道三角量水堰、岩盤伸張儀、右山脊人工量測傾斜儀、地下水位井、排水廊道位移沉陷觀測點、右山脊坡面位移固定點、梧棲溝地滑傾斜儀、茅埔地滑區傾斜儀及自記式水位井等。

三、計畫工作成果

根據本年度曾文水庫大壩及附屬設施各項監測儀器及現場檢查之觀測結果，壩體及各項設施之安全檢監測成果概述如下：

1. 大壩：

本年度壩體滲流各項監測儀器觀測結果，壩體內部目前可供觀測之水壓計所觀測得總水頭分佈經與滲流分析、蓄水早期的監測資料及鄰近水壓計行為比對，大致相符。壩體各分區所測得水壓大致符合該分區應有行為，大壩滲流水流量無異常變化，滲流水的水質清澈無異常狀況。惟壩心層內部份水壓計觀測得水壓有起伏變化，初步研判極可能為水壓計管線老舊所致之起伏，但尚

難完全排除心層內有初期異常滲流發展的可能。大壩現場檢查顯示，壩頂、上下游坡面、右壩座、壩體與溢洪道鑲接處及大壩雜項填方等狀況大致良好，並未發現異常變位、滲水、裂縫沉陷或隆起等異常情形。

2. 溢洪道：

溢洪道上游引水路、弧型閘門閘墩、溢洪道鋼橋、堰體及洩槽等結構本年度檢查所見狀況良好。溢洪道洩槽右側地下水位井觀測得的水位穩定且均低於監測管理值，顯示並無影響堰體及洩槽安定的情形。先前 103 年修補的裂縫填補處均未觀察得破損及脫落的情形。研判裂縫均屬於施工構築時所形成之溫度乾縮裂縫，對版厚至少 1 公尺以上的洩槽底版並無不利影響。

3. 附屬設施

本年度發電及永久河道取水口、永久河道放流口土木設施現場檢查狀況良好，汛期前、後辦理曾文水庫各項水工機械設施檢查，包括溢洪道三道弧型閘門、發電進水口閘門、永久河道放水道進水口閘門、永久河道放水道各控制閘閥等水工機械設施之吊門機、鋼索鼓輪、機械控制元件、油壓系統及油壓缸；系電控制系統、電壓、試運轉時啟動電流等狀況均大致良好。緊急備用發電機試運轉狀況正常且良好。

4. 鄰近邊坡及地滑區：

本年度壩區鄰近邊坡之監測儀器觀測及現場檢查結果，包括右山脊邊坡及其排水廊道、梧棲溝地滑區及其格框式擋土牆、取水斜塔鄰近邊坡、落水池周圍護坡及左側邊坡、下游河道至一、二號導水隧道出口邊坡等狀況均大致正常穩定。蓄水區八德地滑區及泰山地滑區本年度汛期前後現場檢查並未發現有明顯進一步發展，而茅埔地滑區邊坡覆土層觀測得微量傾移情形，對水庫安全運轉影響有限，仍應持續觀測其發展。

5. 不定期（特別）檢查：

本年度共發生兩次啟動不定期檢查之事件，包括(1) 3 月 20 日壩區發生震度五級之地震，震央位於嘉義縣大埔鄉，芮氏規模 5.2。(2) 8 月 23 日至 8 月 24 日超大豪雨事件，期間連續 24 小時雨量達 513.4mm。根據各事件後立即辦理之不定期檢查結果顯示，大壩、溢洪道、其他附屬設施及鄰近邊坡狀況均大致正常，惟超大豪雨事件導致大壩左壩座高程約 160 公尺處邊溝旁有土石崩落、溝內外局部破損及沖蝕。雖尚不致於立即影響壩體安全但應儘早改善。

6. 曾庫公路橋梁檢查：

本年曾庫公路第二、三、四、五號橋辦理橋梁缺失改善工程，本計畫於 10 月份各橋梁改善後之檢查。根據檢查結果，各橋梁先前所見缺失均已改善完成。

7. 監測儀器設備檢測及檢討：

鑑於壩體心層水壓計觀測得不明原因起伏，雖極可能為水壓計管線老舊所致，但尚難完全排除心層內有初期異常滲流發展的可能。為確保壩體功能發揮及水庫蓄水安全，建議於壩體垂直濾層底部設置水壓計，以確認水平排水層內的水壓變化，供觀察來自壩心滲流水的變化，評估心層內是否有異常滲流的可能。

Abstracts

This project is a routine surveillance work of Zengwen dam for dam safety during 2018. It has been entrusted by Southern Region Water Resources Office, WRA, MOEA (WRASB), owner of Zengwen dam, and it was executed by Sinotech Engineering Consultants, INC. (Sinotech). This routine surveillance monitors dam facilities and pre-installed instruments to ensure dam safety and its facility in normal condition. Work Includes: 1. Monitoring and data review; 2. Facilities and reservoir interim inspection; 3. Inspection of bridges of Tsengwen dam access road; 4. Dam safety assessment; 5. Review of monitoring program; 6. Technical advisory; 7. Reports.

According to the results of inspection and monitoring data review, the seepage condition of the dam is generally stable and no abnormal displacement development is observed. No abnormal condition affecting the safety of dam be found by in-situ inspection. But some of the reading of piezometers in core was unstable while high water level, continuously attention should be paid and new instrument for correcting more information are suggested.

Structures and hydraulic machinery of auxiliary facilities such as spillways, power generation intakes and permanent river discharge channels are in good condition and no obvious conditions that could affect reservoir safety and operational performance are observed.

The surveillance results of slopes near dam and four landslide areas around water rim are generally good, no obvious unstable sign have been observed.

The reservoir water level are first time rised from EL.227m to EL.230m

at 23th August. After intensive monitoring and inspection, according the safety maintenance manual for water level rising, no abnormal condition are found during this time.

According to the in-situ inspection and D.E.R.&U. Evaluation Criteria to assess the current function of four bridges on Zengwen dam access road, each bridges are generally normal and may continue to be used. All the defects found in last year are repaired in this year.

Based on the Potential Failure Mode Analysis (PFMA) conducted by the fifth safety assessment in 2017, the review of monitoring program is conducted, which is to review the monitoring capabilities of each potential failure mode development process. In order to effectively grasp the abnormal seepage behavior and piping at early stage in core of the dam, drill hole to install a piezometer at bottom of chimney drain is suggested.

結論與建議

根據本年度執行曾文水庫之現地檢查及監測資料分析之結果，大壩、溢洪道及其餘附屬設施整體狀況均大致良好，未發現有危及水庫蓄水安全及設施運轉的情形。根據本年度工作成果，彙整結論與建議如下：

一、結論

1. 大壩現場檢查顯示，壩頂、上下游坡面、右壩座、壩體與溢洪道鑲接處及大壩雜項填方等狀況大致良好，並未發現異常變位、滲水、裂縫沉陷或隆起等異常情形。
2. 根據本年度壩體滲流各項監測儀器觀測結果，壩體內部所觀測得水壓數據與滲流分析、蓄水早期的監測資料及鄰近水壓計行為比對，大致相符。大壩滲流水流量無異常變化，滲流水的水質清澈無異常狀況。惟壩心層內部份水壓計觀測得水壓有起伏變化，初步研判極可能為水壓計管線老舊所致之起伏，但尚難完全排除心層內有初期異常滲流發展的可能。為能進一步掌握心層內部是否有異常滲流發展，宜需更多壩體內部的資訊以確認水庫蓄水安全。
3. 溢洪道上游引水路、弧型閘門閘墩、溢洪道鋼橋、堰體及洩槽等土木結構檢查所見狀況良好。溢洪道洩槽右側地下水位井觀測得的水位穩定且均低於監測管理值，顯示並無影響堰體及洩槽安定的情形。先前 103 年修補的裂縫填補處均未觀察得破損及脫落的情形。
4. 本年度壩區鄰近邊坡之監測儀器觀測及現場檢查結果，包括右山脊邊坡及其排水廊道、梧棲溝地滑區及其格框式擋土牆、取水斜塔鄰近邊坡、落水池周圍護坡及左側邊坡、下游河道至一、二號導水隧道出口邊坡等狀況均大致良好穩定。蓄水區內之八德地滑區及泰山地滑區本年度汛期前後現場檢查並未發現地滑區有明顯進一

步發展，而茅埔地滑區邊坡覆土層觀測得有些微緩慢傾移情形（孔口位移速率約每年 0.4 公分），雖對水庫安全運轉影響有限，仍應持續觀測其發展。

5. 本年度汛期前、後辦理曾文水庫各項水工機械設施檢查，包括溢洪道三道弧型閘門、發電進水口閘門、永久河道放水道進水口閘門、永久河道放水道等各控制閘閥等水工機械設施之吊門機、鋼索鼓輪、機械控制元件、油壓系統及油壓缸；電氣控制系統、電壓、試運轉時啟動電流等狀況均大致良好。緊急備用發電機試運轉狀況正常且良好。
6. 本年度曾庫公路第二、三、四、五號橋辦理缺失改善工程，根據工程完工後辦理各橋梁檢查結果，先前所見缺失均已改善完成，且並未發現新的缺失及異常發展。
7. 根據 107 年 8 月至 9 月曾文水庫蓄水位提升至標高 230 公尺期間之檢查及監測結果，水庫大壩及其附屬設施的狀況良好，並未發現因蓄水位提升所導致的異常情形。惟壩頂沉陷點觀測得些微沉陷，研判可能為上半年較乾旱導致雨水較易入滲壩頂或蓄水位抬升壩頂黏土礦物顆粒濡濕調整所致之沉陷發展。為進一步掌握其行為，中興社每月追蹤量測壩頂沉陷量，已未再觀測得沉陷發展，後續仍宜持續追蹤。
8. 本年度共發生兩次啟動不定期檢查標準之事件，包括(1)3 月 20 日壩區發生震度五級之地震，震央位於嘉義縣大埔鄉，芮氏規模 5.2。(2)8 月 23 日至 8 月 24 日超大豪雨事件，期間連續 24 小時雨量達 513.4mm。根據各事件後立即辦理之不定期檢查結果顯示，大壩、溢洪道、其他附屬設施及鄰近邊坡狀況均大致正常，惟超大豪雨事件導致大壩左壩座高程約 160 公尺處邊溝旁有土石崩落、溝內外局部破損及沖蝕。雖尚不致於立即影響壩體安全但應儘早改善。

二、建議

一.設施改善類

1. 溢洪道 NO.3 內早期修補之裂縫發生材料脫落，建議參照 103 年溢洪道裂縫修補的材料及方式辦理修補。惟修補時應保持工作面乾燥，建議於乾季末期水庫水位降至溢洪道堰體以下時再予辦理。
2. 發電及永久河道放水道進水口基礎混凝土座左側與岩盤交界處，於水庫低水位期間發現沿交界面局部岩盤有淘蝕情形，建議於下次低水位時機施以噴凝土保護。
3. 右山脊由壩頂起算第一及第二層戽台間縱向排水溝基礎淘刷，左側牆斷裂傾翻，為避免降雨期間地表逕流之強烈掏刷，導致範圍變大，建議回填基礎淘刷處，並修復其左側牆，以維持其排水之功能。
4. 左壩座高程約 160 公尺處邊溝旁於 8 月 23 日至 24 日超大豪雨後發現因土石崩落堆積於溝內、溝內混凝土局部破損、溝外側局部受水沖蝕成溝。為避免進一步影響邊溝壩基安定及排水功能，建議清除左壩座邊溝堆積土石並將破損及岩盤沖蝕處以混凝土修補。

二.監測儀器設備改善

1. 位於 DT4 廊道內之現場監測系統主機近年經常發生故障導致部份自動化監測儀器無法連續測讀。由於該系統主機已使用多年所在位置環境潮濕導致故障率偏高，建議可考慮更新主機並將主機改到電廠辦公室，利用既有光纖網路將自動化數據傳輸回管理中心控制室，以提升系統之妥善率。
2. 大壩量水堰於本年度枯水期間測得之水量對於研判壩體之滲流行為幫助很大，惟目前因感應器異常，難以取得量水堰水量

之連續資料，建議管理單位儘早維修或暫時採用自記式槽內水位計取代，以免漏失大壩滲水行為之連續觀測資料。

3. 壩面及溢洪道側牆位移觀測點，目前採用設於壩面之稜鏡桿觀測，其稜鏡桿於民國 101 年設置，歷經多年風吹日曬雨淋，多數稜鏡以老舊不易反射經緯儀之雷達波，建議將全部稜鏡更換，以避免影響測量結果。

三. 監測儀器功能及需求檢討

1. 部份觀測中的壩體及壩基水壓計，包括 PF1004、PF1005、PE1105、PE1107 等，因其所在位置的滲流條件使其總水頭較低，甚至低於觀測室高程（高程 120m），其所測得水壓均為負值，無法推算實際水壓，歷經數年觀測仍無改變。故所觀測得之數據無法作為安全監測用途，該等水壓計繼續觀測的意義不大，建議可考慮將該等水壓計停止觀測。
2. 鑑於壩體心層水壓計觀測得水壓有起伏變化，雖極可能為水壓計管線老舊所致，但仍難以排除壩體內部發生異常滲流狀況之可能。為確保壩體功能發揮及水庫蓄水安全，建議於壩體垂直濾層底部設置水壓計，藉以確認水平排水層內的水壓變化，並供觀察來自壩心滲流水的變化，評估心層內是否有異常滲流的可能。
3. 位於落水池左側上方平台 FSM3 地震儀於 8 月 23 日至 24 日超大豪雨洩洪衝擊導致嚴重損壞，顯示該位置不適合安裝。鑒於曾文壩區尚有 4 組自由場之地震儀可提供相關資訊，且鄰近之 MSM4 地震儀設置之條件與 FSM3 相當，故建議損壞的 FSM3 地震儀毋須修復或重新設置。
4. 右山脊廊道伸張儀固定架疑因環境潮濕大多有嚴重鏽蝕及鬆弛情形。目前僅餘可觀測讀 6 組仍有穩定的數據。由於伸張儀

僅能觀測邊坡岩體中兩點的相對位移，仍須結合其他監測項目設施研判變位機制。且同為觀測邊坡變位的目的，目前已有邊坡傾斜儀能掌握邊坡安定狀況，而目前僅餘的少數伸張儀提供片段且不穩定的數據，反而容易造成管理上的困擾，建議可將該等伸張儀停止觀測。

5. 排水廊道內位移觀測點觀測精度受到廊道口樹林遮蔽及經緯儀轉點可能累積誤差，量測成本高且難以測得準確數據，屬於較不經濟且效能低的監測項目。目前右山脊邊坡已採用傾斜儀配合坡面位移固定點監測，對於掌握邊坡滑移變位具有更佳且更經濟的優勢，為使監測作業更有效率，建議可考慮停止廊道內位移沉陷觀測點的測讀。
6. 目前右山脊尚可供觀測之坡面位移觀測點散佈邊坡各角落，但僅單點位移觀測難以掌握邊坡整體安定狀況，由於該邊坡尚有8孔傾斜儀觀測井可觀測邊坡內部的變位，建議將既有之坡面位移觀測點移至傾斜儀觀測井之孔口旁，可相互搭配更能掌握邊坡活動行為。