

土壩特別檢查實務

前言

日月潭水庫目前為台電公司大觀、明潭兩抽蓄發電廠發電水源及抽蓄運轉之上池，亦為重要之觀光地區，中部地區公共給水重要水源，下游地區人口密集，產業發達，水庫之安全與否與下游地區人民生命財產及產業之安全，息息相關。民國 88 年 9 月 21 日發生集集大地震，水社壩之外表有多處明顯之震損，台電公司立即做特別檢查（即目前頒布實施之『水利建造物檢查及安全評估辦法』第九條第二項「不定期檢查：指水利建造物遭受一定值以上之地震、洪水、豪雨或其他事故後立即辦理之特別檢查」）並做緊急處理，同時擬定修復計畫及執行各項修復工程。

日月潭水庫簡介

日月潭水庫完成於民國 23 年（西元 1934 年）；主要工程設施有水社壩、頭社壩、溢洪道、排水隧道、大觀電廠進水口、明潭電廠進水口等。當時慣用之中央混凝土心牆滾壓式土壩兩座、喇叭型溢洪道與排水隧道各一道

水社壩各主要部份之設計及施工概要

壹、壩體

水社壩為一黏土心層，中心設置鋼筋混凝土截水牆之土壩。

大壩主要工程數據為：

壩長：363.6 公尺

壩高：地表以上最高 30.3 公尺

壩頂標高：751.5 公尺

出水高度：3.0 公尺

壩頂寬：7 公尺

上游壩面坡度：1V：4H

下游壩面坡度：1V：4H

下游坡面戽台：共三階，每階寬 2.73 公尺

貳、心牆

混凝土心牆頂寬 45 公分，底部牆厚 1.2 公尺，原地面以下部分牆厚 1.82 公尺。

每 9.1 公尺設置垂直伸縮縫，上下游側各以 1/16 吋及 1/8 吋厚銅版止水。心牆上游面塗以柏油，心牆基礎每 3.6 公尺一灌漿孔施予灌漿。

參、 黏土心層及土壩填方

混凝土心牆兩側填築黏土心層，上游坡度 1V：0.7H，下游坡度 1V：0.3H。心層之填土材料採用黏土及體積比約 30% 之礫石混合，最大粒徑 7.5 公分；滾壓時每層厚 9~15 公分，以 8 噸拖曳式滾壓機滾壓夯實至 6~9 公分。心層外之大壩填方使用黏土含礫石材料，依照黏土心層填築夯實方式施工。

肆、 壩上游坡面保護

大壩上游坡面鋪 60 公分厚碎石，上面覆蓋 30 公分厚漿砌排卵石保護，卵石粒徑 15~45 公分；垂直方向每 7.5 公尺，水平方向每 9.0 公尺各設施工縫一道；坡趾以卵石堆成 1V：6H 坡度之坡趾保護。

伍、 壩下游坡面保護

大壩下游坡面與兩側壩座之接觸線以礫石上覆乾砌卵石保護；其他部分之坡面坡趾於第三道戽台以下，以乾砌卵石並覆以 1V：6H 坡度之拋石層保護，其餘以植生方式保護。

陸、 壩下游面排水設施

大壩壩體與壩座接觸線設置寬 75 公分，深 60 公分之混凝土排水幹渠，三道戽台上並各設寬 60 公分，深 30~48 公分之排水溝，兩端與排水幹渠相接；排水幹渠彙集後導入溢洪道明渠段內。

柒、 壩基排水設施

壩基第一道戽台下及與兩側壩座交接處均設置 36 公分直徑混凝土集水管，管上以礫石及小石子兩層濾層覆蓋；壩趾下設置混凝土排水暗渠，寬 60 公分，高 90 公分壩基排水經匯集後導入溢洪道暗渠段中。

捌、 溢洪道

日月潭水庫之溢洪道為一無筋混凝土結構物，由喇叭型進口、豎喉、轉彎段及水平段等構築而成，總長約 380 公尺。

主要工程數據

進口直徑：24.39 公尺

斷面形狀：進口、豎喉、轉彎段（圓形）、水平隧道段、暗渠段（標準馬蹄形）

內徑：3.484 公尺

襯砌厚：60 公分

溢流頂標高：748.48 公尺

出口標高：710.30 公尺

總長度：380 公尺

玖、 排水隧道：

水庫之排水隧道位於水社壩右側，為標準馬蹄形斷面，內徑 3.484 公尺，進水口標高 724.17 公尺，可供排放 40CMS，主要為提供下游灌溉用水，由於排水門已被淤泥砂掩埋，謂安全起見，於民國 74 年予以封堵。

地震後現地做特別檢查及處理，共分五階段

壹、地震後特別檢查（緊急探查）

一、現場目視檢查水社壩震損情形

壩體表面共有七條張裂縫，其中上游面三條、壩頂三條、下游面一條及壩頂中央有異常凸起，經直接以試坑開挖方式檢視各裂縫及異常凸起部分，其結果如下述：

1. 上游坡面三條張裂縫，由試坑開挖調查結果，顯示均為上游漿砌卵塊石面板施工縫之張開，裂縫未向壩體發展，僅止於漿砌卵塊石面板。
2. 壩頂三條張裂縫分別位於壩頂軸中央及瀝青混凝土路面左右兩側；中央裂縫大致由右壩座向中央延伸，長約 130 公尺，寬約 1 至 3 公分，在主要餘震發生後，裂縫寬度增至 3 至 4 公分，同時裂縫上游側路面較下游側低約 2 公分。經試坑開挖調查，裂縫向下發展至 1.6 公尺深。壩頂路面兩側邊緣之裂縫，寬度約 1 公分，裂縫位置極為路面下方之混凝土版與路間之交接處。
3. 壩頂約 1/2 壩軸處之局部拱起，高度約 20 公分，影響範圍為邊長約 2 至 3 公尺左右之近似方形區域。經開挖調查，拱起處下方為填充水泥砂漿之垂直 RPC 管。該 RPC 管為施工期間垂直排水管，底部與壩體混凝土心牆基部連接，而壩體在地震時下線變形時，RCP 管所在位置之壩頂因無法沉陷變形，相對造成局部拱起。
4. 壩體下游坡面靠近右壩座，約低於壩頂 2 公尺處有一條非完全連續之張裂，長度約 70 公尺，張開之寬度在主震及餘震過後累積至 3 至 5 公分。經開挖檢視，裂縫向下發展至 2.3 公尺深。
5. 在辦理壩頂裂縫及局部拱起開挖之同時，一併進行壩體混凝土心牆頂部檢

視，檢視結果無明顯損壞。

二、地球物理探查

1. 壩體自然電位量測

根據自然電位量測結果會得之水社壩上下游坡面等位線圖，顯示水社壩下游坡面左半部有較多之低電阻區，即表示此部分壩體含水可能較高，而壩體右半部則相對含水量較低。

2. 地電阻探測

根據自然電位量測結果，求得壩體各斷面之地電阻分佈，顯示壩體地下水位分布尚屬正常。

3. 二極電位探測

二極電位量測與地電阻量測剖面同一位置，量測結果顯示壩體頂部、趾部及部分壩體半高處較為鬆弛，唯深度有限，僅約 3 至 4 公尺；此量測結果與壩體張裂縫多集中於右壩體及該部分壩體之沉陷變型量較大具有一致性。

4. RC 心牆透地雷達

透地雷達係對混凝土心牆作非破壞性檢測，檢測結果雖局部有材質較差之情形，唯係局部性，對整體之完整性影響應屬有限。

5. 震波檢測

震波檢測亦係對混凝土心牆作非破壞性檢測，檢測結果顯示混凝土心牆大至完整，無結構上之明顯缺陷。

6. 補充探查：

壩面排水溝積水為水社壩下游坡面左下方濕潤區主要水源；而壩體滲流水非為下游坡中央偏右約 1/2 壩高處老舊濕潤區水源，從電探及排水盲溝滲水量監測結果，研判降雨及左山脊地下水應為該老舊濕潤區之主要水源。

貳、修復工程概況（含緊急修復工程）

一、壩體裂縫灌漿處理

1. 壩體上游坡面裂縫

根據開挖調查結果，壩體上游坡面漿砌卵塊石面板施工縫之張裂，未深入壩體殼層，採用水泥砂漿充填，已可滿足修復需求。

2. 壩頂中央及下游坡面壩體裂縫

壩頂中央及下游坡面壩體裂縫向壩體發展，惟深度有限，以膨土水泥漿充填為符合環境及工程需求之方式；為使混合材料之性質可接近壩體材料，膨土水泥漿之配比以複合材料 28 天抗壓強度與壩體材料接近為原則，採用無圍壓縮強度 5~7kg/cm² 相對應之配比 C : B : W 為 1 : 0.2 : 2.45，其中壩頂計 84 孔，下游面兩排各為 27 孔及 35 孔（大約位置皆在壩體中央部份）。

二、壩體下游坡面溼潤處之處理

壩下游坡面局部潤濕現象，於民國 81 年日月潭水庫安全評估報告時已提出，其調查研究結論為

1. 壩體下游坡面溼潤區係由棲止水造成。
2. 溼潤區棲止水應由降雨造成。
3. 排水盲溝之設置對減少濕潤有一定程度之效果。
4. 在有限之觀察期間，未能完全排除水庫水位對濕潤區之影響。
5. 對濕潤區共施作 12 處排水盲溝，並辦理補充探查（以地電阻探查為主），於補充探查期間對排水盲溝滲出量作量測。

三、壩頂沉陷觀測點補設

水社壩壩頂原設之沉陷觀測點，於早期壩頂路面修繕時遺失，為對壩頂沉陷做持續監測，補設壩頂沉陷觀測點共 10 點。

四、壩體測傾管埋設

水社壩壩體行為之監測，除壩體水位、表面沉陷及滲漏量等項外，無其他進一步監測之項目。為進一步瞭解壩體內部之應變，以及有無滑動面形成等，設置壩體測傾管 6 處。

五、增設水位觀測井

水社壩下游壩體於當初建壩實施做 WD1 至 WD9 等 9 口水位觀測井，由於年代已久，部分水井因阻塞失效；於本階段為瞭解濕潤區成因，及充分掌握壩體下游地下水分布，增設 9 口水位井。

六、壩體下游坡面排水溝改善

根據補充探查期間於濕潤區施作地下排水盲溝，並由開挖面發現滲水，並追蹤出滲水係源自壩體坡面戽台水溝積水，因此改善水溝洩水坡度，避免溝水積存。

參、修復工程完成後現地檢查

震損修復工程完成後，在經濟部水庫安全評估小組指導下辦理現地檢查，檢視結果顯示壩體裂縫等震損已改善完成，惟發現壩體下游坡面有兩處濕潤區，一處位於中央偏右，1/2 壩高處，另一處位於左壩體趾部（靠近水位井 WD8 附近），經查以往資料，前者於民國 81 年辦理安全評估時已發現，後者為新發現之濕潤區（補充探查有說明原因）。

肆、第三次升水後現地檢查

補充探查工作大致完成後，再會同經濟部水庫安全評估小組勘查現場，以及初步瞭解補充探查主要工作成果。根據現地調查，下游坡面中央偏右 1/2 壩高處濕潤區，經設置排水盲溝後，表面濕潤現象已大致不復存在，由盲溝滲流水之監測成果，顯示水量變化與降雨量有明顯之相依性。由補設之水位觀測井水位顯示壩體中央 1/2 壩高處濕潤區附近地下水位屬正常分布，間接顯示濕潤區水源與壩體滲流無關。至於左壩體趾部濕潤區，在排水溝修繕完成後，除降雨之日外，幾乎無濕潤水由排水盲溝排出，且表面大多呈現乾燥之情形。

伍、第四次升水後現地檢查

此階段檢查又分別辦理兩次檢查

第一次：

在水庫水位維持於第四次升水後之滿水位（748.0 公尺）所作之檢查，以複核第四次升水前所發現之現地狀況，發現水社壩下游坡面原有溼潤區表面均呈乾燥現象，僅 12 號地下排水盲溝上有微量出水，餘皆呈乾燥狀態。

第二次：

90 年 3 月因配合春耕用水，水庫水位下降，於 5 月份又回升至滿水位（748.0 公尺），對水社壩做複核檢查，濕潤區表面均呈乾燥現象，其下方盲溝匯集之地下水流量極微（90.10.11），戽台排水溝經修繕後已不再積水，僅有盲溝之排水在溝底緩慢流動；至此對本壩特別檢查（緊急安全檢查）之階段性任務告一段落。

工作成果與評估

壹、緊急探查成果

- 一、壩頂中央裂縫僅發展至壩頂下方 1.6 公尺深。
 - 二、壩頂中央凸起，下方為連接至基礎之 RPC 管，管內充填水泥砂漿，在壩頂下陷過程中因無法下陷而形成凸起。
 - 三、壩體下游面裂縫僅發展至壩面下方 2.7 公尺。
 - 四、壩體上游面裂縫僅發生於表面護面工之接縫。
 - 五、由自然電位量測結果，顯示局部含水量較高，並據以為排水盲溝設置位置之依據。
 - 六、地電阻探測結果顯示壩體下游殼層之地下水分布屬正常分布。
 - 七、由透地雷達及震波檢測結果，顯示檢測段壩體 RC 心牆結構完整。
- 綜合探查工作成果：水社壩之主要震損僅止於壩體表面變形與裂縫。

貳、補充探查成果

補充探查工作主要係針對壩體下游坡面濕潤區所實施，主要成果如下

一、由排水盲溝開挖面檢視及調查結果，顯示壩體下游坡面左側趾部附近濕潤區水源屬水溝積水。

二、由補設之水位觀測井水位監測結果，顯示下游壩體之自由水面低於下游坡面中央偏右約 1/2 壩高處之老舊濕潤區甚多，故壩體滲流水應非為濕潤區之水源。

三、由壩體下游坡面自然電位補充探查成果，顯示壩體下游坡面有一局部之淺層地下水脈，由左壩體靠近壩座（左山脊）部份向老舊濕潤區流動。

四、由二極法電阻探測及地電阻探測結果，顯示壩體下游坡面有一局部之薄層含水層。

五、由地下排水盲溝滲水量監測結果，顯示濕潤區之地下水量與降雨關係密切。

綜合補充探查工作成果：壩面排水溝積水為水社壩下游坡面左方濕潤區主要水源；而壩體滲流水並非是下游坡面中央偏右約 1/2 壩高處之老舊濕潤區之水源；從二極法電阻探測及地電阻探測與地下排水盲溝滲水量監測結果，研判降雨及左山脊地下水應為該老舊濕潤區之主要水源。

結語

本次地震，水社壩最接近壩址之測站為日月潭測站（TCU084 位於水社壩北方約 1.6 公里處），地震最大紀錄為南北向 PGA 值 989.22gal，壩體外觀產生數道裂縫、部分滲濕區及部分地下水位觀測井水位上升，經現地檢查，配合大地物理儀器探測之輔助，於最短時間內查明原因，並訂定修復計畫，依計畫補修後，再辦理數次現地檢查，再次確認壩體仍屬安全穩定，截自目前，日月潭水庫正常運轉操作中。

參考文獻

1. 經濟部水利署，2004.2 水力建造物檢查及評估辦法。
2. 台灣電力公司，1992.3 日月潭水庫整體安全檢查與評估。
3. 台灣電力公司，2001.10 九二一集集大地震日月潭水庫緊急安全評估。