

經濟部水利署出國報告（出國類別：研習）

美國墾務局

第 28 屆大壩安全評估與檢查國際技術研習會

U.S. Bureau of Reclamation
Safety Evaluation of Existing Dams
International Technical Seminar and Study Tour

服務機關：經濟部水利署、經濟部水利署第六河川局

職稱姓名：組長 林元鵬、副工程司 鮑俊宏

派赴國家：美國

出國期間：106 年 6 月 3 日至 16 日

報告日期：106 年 9 月

目 錄

頁 次

摘 要	III
第一章 美國墾務局簡介	1
第二章 受訓課程內容	5
2.1 課程目的	5
2.2 大壩安全歷史背景	5
2.3 行程與課程安排	7
2.4 參與學員	9
第三章 課程簡介	13
3.1 室內課程	13
3.1.1 大壩災變事件教訓	13
3.1.2 依破壞模式分類之案例	13
3.1.3 大壩安全監測	23
3.1.4 大壩安全之風險分析評估	24
3.1.5 緊急應變設施準備評估	24
3.1.6 土石壩之現場檢查	25
3.1.7 混凝土壩之現場檢查	29
3.2 水工試驗室參觀	30
3.3 大壩現地參訪	33
3.3.1 Starvation Dam	34
3.3.2 Upper Stillwater Dam	37
3.3.3 Jordanelle Dam	39
3.3.4 Echo Dam	41
3.3.5 East Canyon Dam	43
3.3.6 Hoover Dam	45
第四章 心得與建議	52
4.1 心得	52
4.1.1 大壩安全立法	52
4.1.2 落實大壩管理、檢查與監測機制	52
4.1.3 蓄水初期應各加注意	52
4.1.4 水庫下游疏散避難計畫	52
4.1.5 美國大壩天然條件優	53
4.2 建議	53
4.2.1 持續與 USBR 辦理交流	53

4.2.2	水庫洩洪應遵照操作規限	53
4.2.3	專職工程師執行安全檢查	53
4.2.4	台灣經驗不比國外差	54
	附錄	55
	參考文獻	69
	參訓證明	70

摘 要

美國壑務局(USBR)為世界上從事大壩建設及安全檢查評估最權威機關之一，也與台灣長期保持緊密合作，早期石門水庫、曾文水庫興建時便曾經來台指導，合作迄今(106)年即邁入 30 週年。USBR 於 6 月 3 日至 6 月 16 日開設「第 28 屆大壩安全評估與檢查國際技術研習會」2 週短期研習課程，教授美國地區評估大壩安全之實務經驗、最新科技的潰壩後淹水模擬、以及安排大壩參訪如 Starvation Dam、Upper Stillwater、Jordanelle Dam、Echo Dam、East Canyon Dam、Hoover Dam 等 5 座壩工。

室內課程聘請 USBR 技術服務中心(TSC)具有相當實務經驗的工程師分享美國地區大壩安全檢查之政策與作為，如介紹大壩災變事件及教訓、大壩安全檢查沿革及立法、大壩安全監測及破壞模式評估、大壩安全之地震風險研究等室內課程，並安排參觀 USBR 水工試驗室及混凝土圓柱壓力試驗。戶外課程則至大壩實地參訪，藉以瞭解如何循標準作業程序使用制式表格進行評估。

藉由本次短期課程及實務面的交流，可以瞭解美國因近百分之 70 壩體屬於私人擁有，管制措施可能較為鬆散，例如在大壩壩體上種植

林木、圈養牲畜等行為亦可能造成壩體破壞。然而美國政府歷經早期大壩潰壩造成人命死傷的慘痛經驗後，從源頭立法建立起大壩安全檢查與評估之機制，再依據檢查結果編列經費辦理更新，即使是私人擁有的壩體仍需自籌財源，財源每 8 年定期檢查編列。配合壩體監測設備以及潰壩緊急應變計畫等配套措施，使居住於水庫下游的居民生命財產更加獲得保障。

本次參訪美國中西部大壩除人口密集都市外，大部分地區皆為地廣人稀，河川淵遠流長，重要供水水源發源自科羅拉多山脈，該山脈地勢高長年積雪，為大陸性氣候降雨量偏少，主要水源為融雪水，水質乾淨且穩定輸出，無颶風侵襲、泥沙淤積等議題，且非處地震帶，天然條件優渥。即使大壩淤滿，可拆壩後再蓋新的大壩，尚有足夠腹地可供選擇，與台灣大壩面臨乾旱、洪水、地震、淤積等挑戰差異甚遠。

台灣對於水庫操作、管理、清淤等工作可為其他國家借鏡，本次課程中本次課程中多位講師常以台灣水庫為例，我方人員便以隨身碟資料隨即補充說明，我國水利技術獲在場學員一致好評，其中佔半數學員的印度，該國南部喀拉拉邦(Kerala)地勢高差大，川陡流急條件與我國類似，同樣面臨水庫淤積減少庫容之議題，但我國空庫排砂、繞

庫排砂、大壩前庭清淤等排砂技術吸引該國代表目光，多次向我方發問學習，也希望未來能有合作機會。我國水利技術如配合政府新南向政策輸出，未來確實能於大壩排砂課題給予印度實質協助。本次課程中除研習及參訪以外，也與多國學員交流水利經驗，同時也與美方高階長官誠摯邀請參與台美年會 30 周年活動，不外乎也是另一項收穫。

關鍵字：美國墾務局、大壩安全評估、大壩檢查、胡佛水庫

第一章 美國墾務局簡介

U.S. Bureau of Reclamation (USBR)美國墾務局為美國中央政府機關之一，隸屬於內政部，於 1902 年成立，現有員工約有 5,100 餘人，一年執行約 1,000 億美元之預算，主要管理 337 座水庫以及 492 座壩體、53 座水力發電廠、25,760 公里長的渠道，下轄組織分為 Pacific Northwest Region、Mid-Pacific Region、Colorado Region、Upper Colorado Region、Great Plains Region 共 5 個區域辦公室，如圖 1。另設有 Technical Service Center (TSC)技術服務中心及其它編制等，業務範圍遍級美國西部 19 州，如圖 2，肩負著一年供水 380 億噸供 310 萬人使用的嚴峻任務。總部位於華盛頓 DC，技術服務中心辦公室座落於丹佛市，外觀如圖 3 所示，上課情形如圖 4 所示。

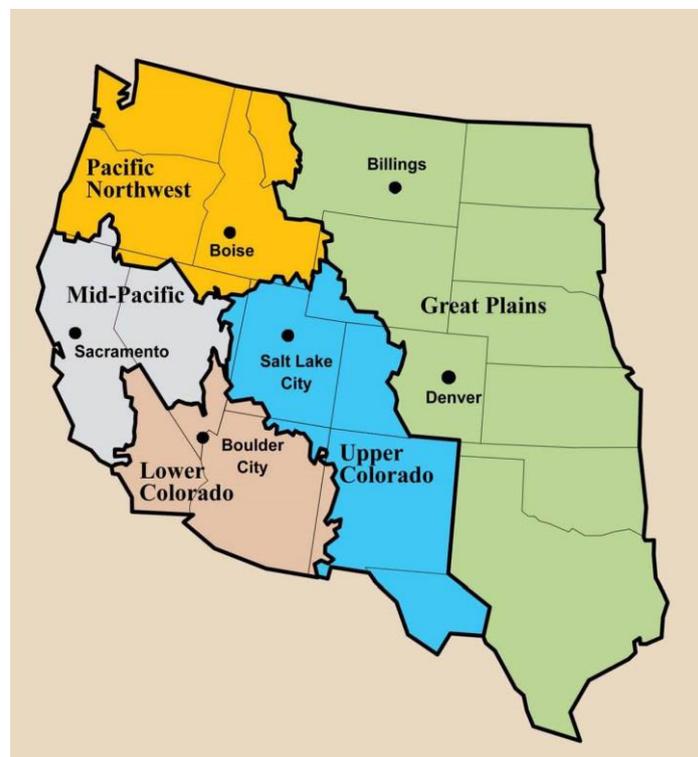


圖 1 墾務局區域辦公室分區



圖 2 墾務局業務範圍圖



圖 3 美國墾務局丹佛辦公室外觀



圖 4 美國墾務局室內研習教室

其中 TSC 為承擔水資源管理基礎理論和應用研究以及水電能源管理領域技術諮詢服務的機構。成立於 1995 年，由美國內政部墾務局直屬的原工程研究中心等技術研究部門組建而成。

該中心人員超過 500 人，下設分屬 5 個技術部門的 34 個研究小組和試驗室。

5 個技術部部門為：

(1) 土木工程部。包括結構分析組，結構建築學組，河道與混凝土壩組，輸水設施組，施工管理組，評估、技術規範分析組，材料技術與研究試驗室。

(2) 環境資源部。包括生態規劃評估組，生態研究調查組，水處理技術研究組，技術交流組，遙測和地理資訊組，經濟學組，影像可視化組，漁業應用研究組。

(3)土壤地質部。包括土壤力學工程組，工程地質組，地球物理學、古水文學及地震構造學組，地球科學與研究試驗室。

(4)基礎設備部。包括機械設備組，水力設備組，電氣設計組，水電研究與技術服務組，結構狀況與檢測設備組，檢查與事故處理組。

(5)水資源部。包括河流系統與氣象學組，供水、用水及節水組，洪水水文學組，泥沙與河流水力學組，地下水與排水組，水資源研究試驗室，平面試驗組，土地利用水質組，水資源管理與規劃組。

該中心定期為墾務局人員和社會公眾提供技術培訓。出版物有技術報告、技術手冊、技術規範等。該中心長期與我國政府合作密切，早期指導水庫興建諮詢、水利專業人才培育等，於民國 76 年起往來至今已邁入 30 年，現今仍定期與我國水利署辦理年會、教育訓練、技術轉移、災情諮詢等交流，與我國互動良好關係密切。

本(106)年由經濟部水利署組長林元鵬以及經濟部水利署第六河川局副工程師鮑俊宏，於 106 年 6 月 3 日至 16 日至美國墾務局丹佛辦公室參加「第 28 屆大壩安全評估與檢查國際技術研習會」，同時也與美方高階長官誠摯邀請參與台美年會 30 周年活動，當面邀請以展現誠意。

第二章 受訓課程內容

2.1 課程目的

最近幾年來大壩安全檢查在世界上逐漸受到重視，受到水庫下游洪氾平原人口的居住程度越趨密集，大壩安全檢查評估重要程度已不下於其維運管理之功能。從事水壩安全負責的人員，得結合過去的經驗並符合最先進的技術專業，配合現有的政策和程序進行，才得以保障市民信心。因此受過專業培訓的人員於現代社會的需求是越來越重要。

本次研討會將為專業人員提供建立或加強視覺檢查/評估計劃的全面指導，並提高安全評估專責人員的技術能力。墾務局官員為研討會提供培訓師資，墾務局本身負責 400 多座水壩及配電系統的正常運行，維護和結構安全，實務經驗豐富。墾務局長期舉辦對本身職員及技師辦理類似的研討會，同樣也開放美國本地或來自世界各地超過 5,000 位的技術人員及政府官員參與，以期提升受訓人員大壩安全檢查之專業。

2.2 大壩安全歷史背景

美國大壩統計約 84,000 座，標的為休閒遊憩 34%、魚類野生動物標的 17%、防洪與航運 16%、灌溉 9%、公共給水 8%、發電 3%、其他 14%。大多數建造完成於 1950-1979 年，2000 年至今計興建完成 2,290 座，壩的高齡化意味著許多不合時宜的設計和施工與設施老化問題。

美國大壩擁有者 69% 屬私人、20% 屬地方政府、5% 屬州政府、4% 屬聯邦政

府、2%屬公共事業、未定者1%。紀錄中大壩事故對下游造成的災害，其中68%為低災害，16%為高災害，15%有明顯災害。

大壩安全管理規範必須經由立法、預算編列與專業人員執行且要有從民眾來的關心和支持。歷史已經表明公眾關心大壩安全往往是悲慘的潰壩事故後。

- 1874年麻薩諸塞州立法規範大壩建設一緣於1874年威廉堡壩(Williamsburg Dam)潰壩，造成139人死亡。
- 1913年賓夕法尼亞州提出大壩安全程序一緣於1911年奧斯丁壩(Austin Dam)潰壩，造成80人死亡。
- 1929年加利福尼亞州與相鄰州等頒布大壩安全法一緣於1928年聖法蘭西斯壩(St. Francis Dam)潰壩，造成450人死亡。
- 1965年加利福尼亞州修訂原頒布大壩安全法一緣於起1963年巴德溫希爾壩(Baldwin Hill Dam)潰壩，造成5人死亡。
- 1972年國家大壩檢查法一緣於1972年2月水牛溪壩(Buffalo Creek Dam)潰壩，125人死亡。1972年6月峽谷湖壩(Canyon Lake Dam)潰壩，33人死亡。

國家大壩檢查法(National Dam Inspection Act)授權美國陸軍工兵團(U.S. Army Corps of Engineers)建立大壩詳細目錄資料庫及檢查大壩，惟限於經費僅完成大壩詳細目錄資料庫，無足夠經費繼續執行檢查工作。

- 1977年聯邦大壩安全準則建立一緣於凱莉巴耐壩(Kelly Barnes Dam)潰壩，39人死亡。

- 1978~1981 年全面檢查疑似高災害高壩。

美國國會於 1978 年撥款美國陸軍工兵團檢查 1972 年法案中所有非屬聯邦政府所擁有的壩，在 1978 至 1981 年檢查超過 9,000 座高災害壩，計畫幫助很多州建立或改善其大壩安全計畫。

- 1979 年聯邦大壩安全準則。

準則之目標在加強國家大壩安全，提昇一致及全面性實務操作，提出壩址調查、設計、施工、操作與維護及緊急應變等規範。

- 1979 年設立「聯邦緊急管理局」(FEMA)

整合聯邦政府減災與緊急應變工作，包含潰壩緊急應變。「聯邦緊急管理局」協助聯邦及州之大壩安全計畫，資助大壩安全訓練及提供公眾與壩的所有者相關大壩安全之資訊。

- 1997, 2003, 2011 公共保護大壩安全決策指引

評估和修改現有的水壩和設計新的結構時確保一致性的公共保護標準並將風險評估納入到大壩安全決策過程。

2.3 行程與課程安排

6 月 5 日至 6 月 8 日為室內研習，6 月 9 日至 6 月 14 日為現地參訪。詳細行程如表 1 所示。

表 1 行程與課程安排

日期	內容說明
----	------

6/3(六)	路程(桃園-西雅圖-丹佛)
6/4(日)	報到及課程資料準備
6/5(一)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 與會者自我介紹 2. 壑務局簡介 3. 大壩安全歷史與展望 4. 大壩災變事件教訓 5. 大壩安全管制措施檢視 6. 團體合照 7. 水工試驗室參觀及混凝土圓柱測試
6/6(二)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大壩安全監測及評估破壞模式識別 2. 大壩安全之風險分析評估 3. 大壩安全之水文風險分析 4. 地質學者在大壩安全工作之角色概述 5. 大壩安全之水庫淤積與永續發展 6. 大壩操作SOP及人員訓練 7. 歡迎茶會
6/7(三)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 混凝土壩與附屬結構物之更新改造 2. 大壩安全之排水 3. 壩體監測儀器 4. 大壩之地震設計與分析 5. 大壩安全之地震風險研究 6. 地震注意事項與反應 7. 潰壩洪泛模式分析 8. 緊急應變計畫擬訂

6/8(四)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 附屬結構物檢查 2. 機械設備之檢查與測試 3. 混凝土壩之檢查 4. 土石壩之檢查 5. 滲流與內部沖蝕之研討 6. 壩體隧道損毀
6/9(五)	丹佛水利設施及文化參訪
6/10(六)	路程(丹佛→鹽湖城)
6/11(日)	鹽湖城水利設施及文化參訪
6/12(一)	參訪Starvation Dam、Upper Stillwater
6/13(二)	參訪Jordanelle Dam、Echo Dam、East Canyon Dam 路程(鹽湖城→拉斯維加斯)
6/14(三)	參訪Hoover Dam 歡別午宴並頒發結業證書
6/15(四)	路程(拉斯維加斯→洛杉磯→桃園→台中、高雄)
6/16(五)	

2.4 參與學員

學員計 48 人，來自印度、奈及利亞、瑞典、加拿大、日本、巴西等 10 個不同國家（如圖 5、圖 6）。課程一開始即安排各學員自我介紹，初步瞭解各國與會者之職業、工作內容、學經歷及專長等，有助於後續相互切磋與經驗交流。大部分學員皆位居政府要職，與我國本次奉派人員職務類型相似而多有交流。

本次課程中多位講師常以台灣水庫為例，我方人員便以隨身碟資料隨即補充說明，如圖 6，我國水利技術獲在場學員一致好評，其中佔半數學員的印度，該國南部喀拉拉邦(Kerala)地勢高差大，川陡流急條件與我國類似，同樣面臨水庫淤積減少庫容之議題，但我國空庫排砂、繞庫排砂、大壩前庭清淤等排砂技術吸引該國代表目光，多次向我方發問學習，也希望未來能有合作機會。我國水利技術如配合政府新南向政策輸出，未來確實能於大壩排砂課題給予印度實質協助。本次課程中除研習及參訪以外，也與多國學員交流水利經驗，同時也與美方高階長官誠摯邀請參與台美年會 30 周年活動，不外乎也是另一項收穫

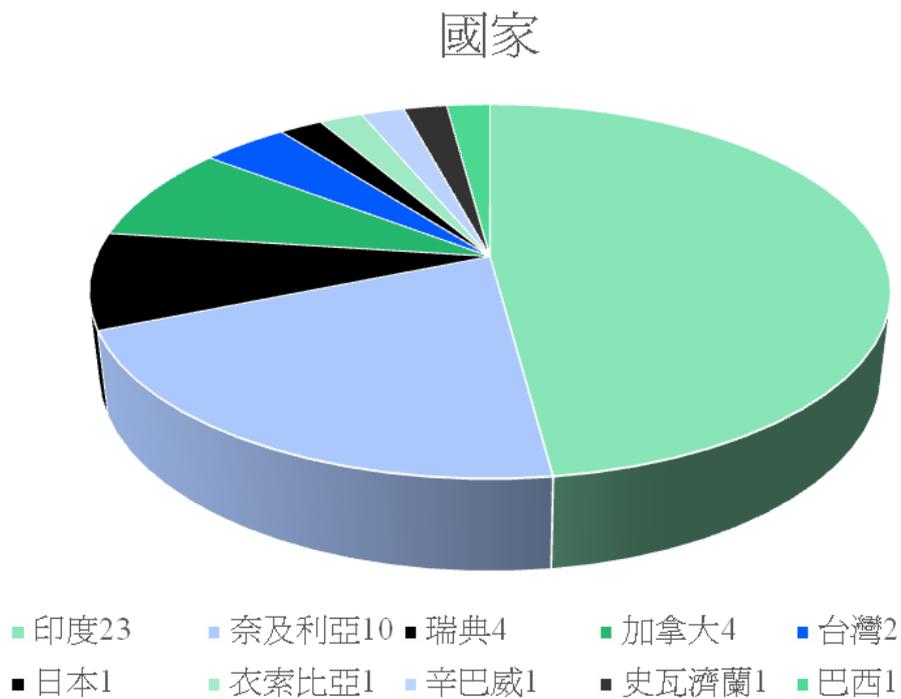


圖 5 參訓學員國家別



圖 6 全體學員於壑務局丹佛辦公室合照



圖 7 全體學員於Upper Stillwater Dam合照



圖 8 課程上協助補充台灣案例

第三章 課程簡介

3.1 室內課程

3.1.1 大壩災變事件教訓

依據西元 1900 年至 1983 年統計結果，美國超過 50 英尺(約 15 公尺)之水壩，潰壩比例如下：

1. 1900~1930：600座壩有27座壩毀壞(比例為1/22)
2. 1930~1960：1050座壩有3座壩毀壞(比例為1/350)
3. 1960~1983：3137座壩有2座壩毀壞(比例為1/1568)

由上述數據可知對於大壩建造安全性已越來越受重視，以上統計結果另顯示，大壩破壞模式有 1/3 為溢頂造成、1/3 為壩體或壩基滲漏管湧造成、1/3 為基礎不佳或其他因素造成。

3.1.2 依破壞模式分類之案例

以下依破壞模式介紹相關案例及所得到之教訓：

1. 溢頂破壞：

(1) South Fork 壩

South Fork 壩位於美國 Pennsylvania 州 Johnstown，為一座土石壩，其壩體跨越 Conemaugh 河，當初建造目的為提供從 Johnstown 至 Pittsburg 之運河運輸使用。

災變過程：1889 年 5 月 30 至 31 日發生一場暴風雨，水庫達到滿水位開始洩洪，非常多漂流木及垃圾移動到溢洪道前致溢洪道無法及時排除而堵塞，管理單位曾企圖清除溢洪道之雜物，但未成功，水位持續上升，最後終於溢頂，隨後大壩沖蝕毀壞，洪水波浪達 9 至 12 公尺高，潰壩洪水流過下游溪谷後溢淹 Johnstown 與其他較小社區。洪水水流大約在 10 分鐘內橫掃 Johnstown，造成極大的災害，共計超過 2,200 人喪生，為美國歷史上重大災難事件。

災變原因：最直接的原因為壩無法負荷入流洪水，而出水工關閉及溢洪道阻塞為無法及時排除水流之主因。

災變教訓：

- a. 大壩設計及操作缺乏專業工程技術，將導致嚴重後果。
- b. 未事先認知溢洪道可能阻塞導致溢頂，無法及時因應改善。

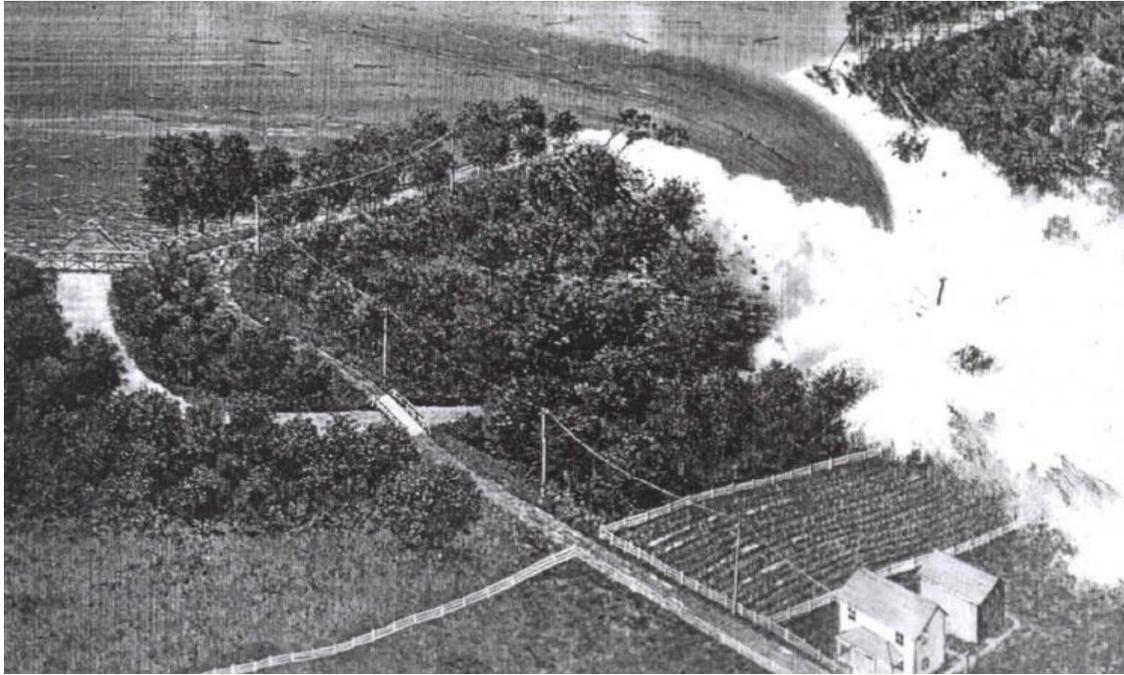


圖 9 South Fork壩溢頂情形



圖 10 South Fork Dam潰壩後下游災損情形

(2) Taum Sauk Upper Reservoir 壩

Taum Sauk Upper Reservoir 壩位於 Missouri 州 St.Louis 西南邊 200 公里處，大壩於 1960 年至 1963 年建造完成，為一混凝土面版土石壩。

災變過程：2005 年 12 月 14 日，Taum Sauk Upper Reservoir 壩發生溢頂破壞，在早上 5 時 15 分時於壩體西北端造成一處 183 公尺潰口，庫水大約在 30 分鐘內流失，所造成的洪水估計尖峰出流量達 4,250cms，水流通過 Johnson Shut-ins State 公園，值得慶幸是當時為 12 月，並無人在該處露營，惟仍造成公園管理人員、太太及 3 位年幼小孩被水流帶至離家 400 公尺處，所幸全部生還。

災變原因：壩體內部填築建造方式未充分夯實，導致堆填較為疏鬆，造成差異沉陷，導致局部溢頂現象產生。

災變教訓：土石壩未充分夯實，可能導致嚴重差異沉陷後果。



圖 11 Taum Sauk Upper Reservoir 壩潰壩前照片



圖 12 Taum Sauk Upper Reservoir 壩潰壩後照片

(3) Frias 壩

Frias 壩位於阿根廷中部 Mendoza 附近，位於首都 Buenos Aires 以西約 1,000 公里的 Andean foothills 處，於 1940 年代建造，壩高 15 公尺，壩頂長 62 公尺，壩體上游面與下游面坡度均為 1:1，為一均質填石壩，上游側則有 0.3 公尺厚之鋼筋混凝土面版，下游側為砂漿砌石面版，壩頂以相似之砂漿砌石方式施築，蓄水量為 20 萬立方公尺。溢洪道設計排洪量為 40cms，相當於最大紀錄洪水量。

災變過程：1970 年 1 月 4 日，暴雨造成 Frias 河水位暴漲，洪水溢頂 15 分鐘後終致潰壩，潰壩後釋放 2 公尺高的混濁洪水通過下游 Mendoza 城，最終造成 42 人死亡及 60 人失蹤。

災變原因：水庫蓄水容量及溢洪道排洪能力不足以應付洪水，導致洪水溢頂。

災變教訓：

a.即使較小的壩發生毀壞，也能造成重大傷亡。

b.潛在可能發生的洪水風險計算，如同地震一樣，無法達到非常精確。

c.溢頂後可能於極短時間內潰壩，即使有混凝土面版加強，也無法減低溢頂破壞發生機率。

d.統計上罕見之降雨情形仍可能會發生。

e.潰壩3年後，已在原址附近建造一座新的土石壩，並減緩上下游坡度為3.5:1與3:1，也將溢洪道排洪量加大10倍至390cms，蓄水量也提高至230萬立方公尺，以應付未來可能面臨的降雨。

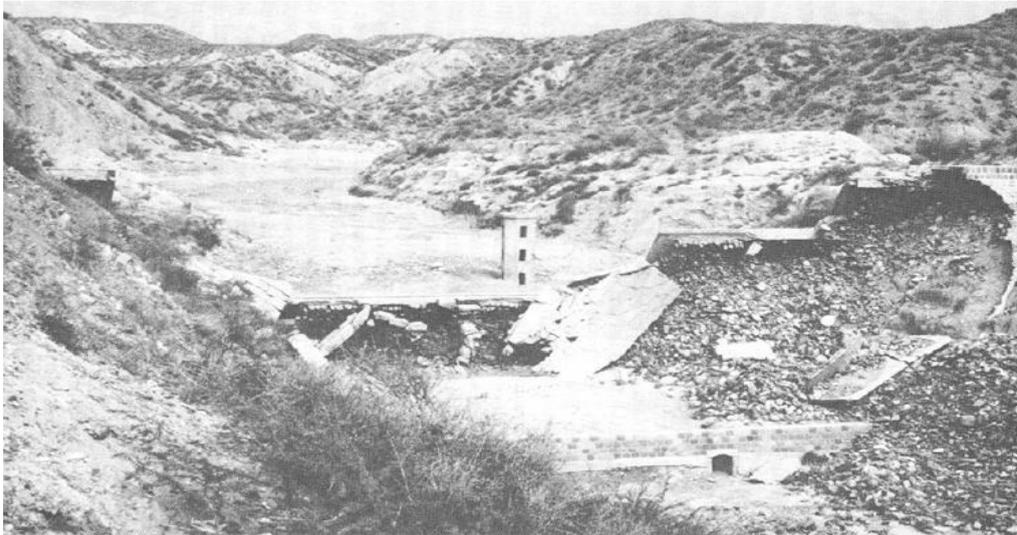


圖 13 Frias壩潰壩後照片



圖 14 Frias壩潰口處照片

2. 管湧破壞

(1) Fontenelle 壩

Fontenelle 壩位於懷俄明州(Wyoming)西部 Green 河，於 1964 年建造完成，壩高 39 公尺，壩長超過 1.6 公里，為一座土石壩。大壩建造期間，在溢洪道入口區域發現一些接縫開裂及裂縫，這些裂縫角度朝向壩座下游面發展，為了避免滲流，沿著溢洪道入口區域進行了灌漿處理，並增設不透水層。

災變過程：在 1964 年夏季水庫初次蓄水，當水位達 15 公尺深時，大壩下游側 600 公尺處發生滲流，便停止進一步蓄水，直到滲流穩定值約 170 公升/秒，且滲流位置離下游面還有一段距離，故當時並不認為具有進一步危害，並於後續持續蓄升水位。蓄升水位後，滲流區域滲水持續增加，並發現鄰近右壩墩溢洪道出水管附近出現新的滲水點，隨後在左壩墩下游 910 公尺處亦發現滲水點。隔年夏季，降雨量較以往高，水庫水位僅差 0.6 公尺就達滿水位，溢洪道開始操作，在此高水位情形下，滲流量約 1,980 公升/秒。1965 年 9 月 3 日(第 1 天)早晨，大壩壩體下游面靠近右壩墩位置出現一處濕潤點，中午時，滲水由濕潤點處開始流出，開始形成侵蝕與泥坑，當日晚上，該處滲流量已增加至 140 公升/秒。隔天(第 2 天)早上，滲流水增加至 590 公升/秒，超過 7,600 立方公尺的壩體材料已經被帶出壩體下游坡面。在此同時，出水工出口被圍堰阻擋辦理修復中，當時立即移除圍堰以使用出水工降低水位，並對滲漏位置坑洞進行填補處理。第三天早上，滲水量沒有進一步增加，滲水孔洞填補似乎止住了壩體進一步侵蝕，然由於填補孔洞造成水流由更高高程位置滲出。第四天早上，壩頂突然發生 6 公尺直徑範圍的坍塌，坍塌高度達到 9 公尺，此時壩座交界岩盤已經出露，此時水沿岩盤裂縫滲出，後續進行坍塌填補後已沒有進一步坍塌，蓄水位開始以每天 1.2 公尺速率降低，滲漏點也開始降低滲水量直到完全停止滲漏。

災變原因：滲流透過壩墩交界從下游面流出為主因，顯然壩墩灌漿處理沒有發揮效果。首先，岩隙裂縫之沉積及可溶性材料可能影響灌

漿效果，此外，在陡峭的壩墩很難達到適當的灌漿效果，因為須使用低壓灌漿以避免造成基礎位移。

災變教訓：

- a. 土石壩採黏土材料可以抵抗滲流造成之侵蝕情形。
- b. 滲流水體積大小與壩墩岩盤裂縫大小有關。
- c. 基礎處理是非常重要的。
- d. 水庫應設置緊急出水設施，能夠迅速降低水位。
- e. 在災變未發生前所顯露異常情形，若未完整調查且進行充分討論研擬對策，可能造成後續更大災害。

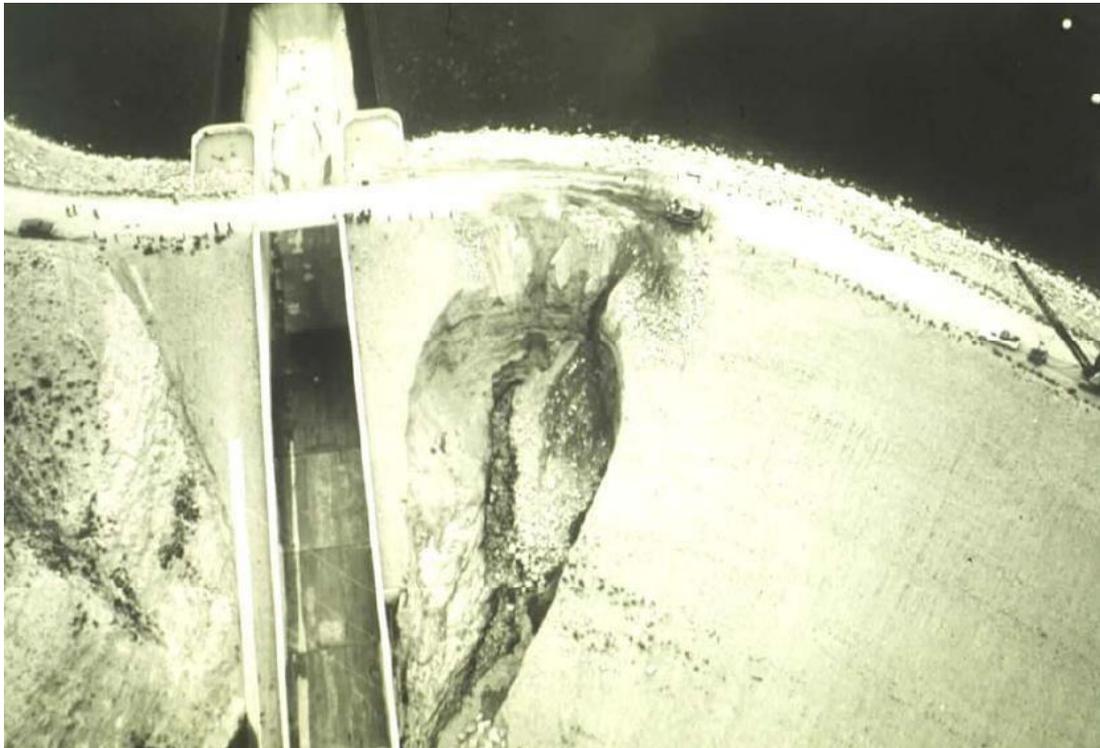


圖 15 Fontenelle壩破壞情形

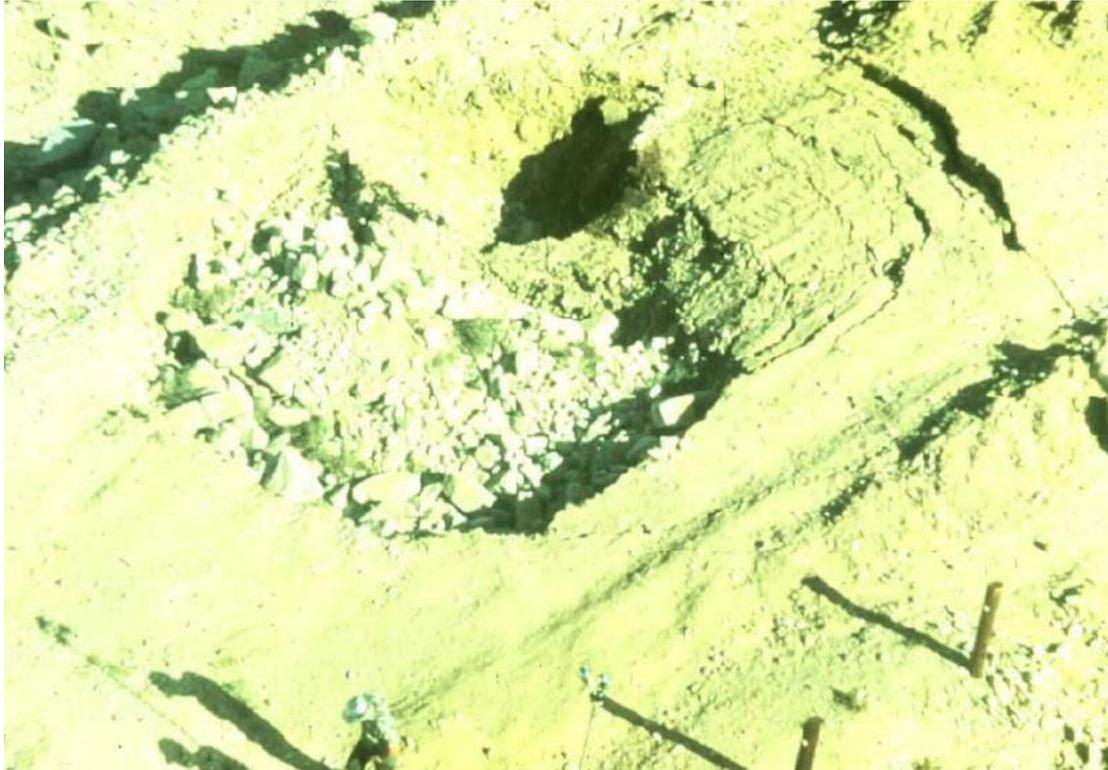


圖 16 Fontenelle壩頂坍塌陷破壞情形(照片下方為工作人員)

(2) Teton 壩

Teton 壩位於美國愛達荷州(Idaho)東部 Teton 河谷上，由美國墾務局設計，於 1975 年建造完成，為分區式中央心層滾壓土石壩，壩高 93 公尺。

災變過程：1976 年 6 月 5 日早上 7 時許，發現大壩下游坡趾處滲水，上午 7 時 30 分，滲流水有混濁情形且滲流量增加至 710 公升/秒，上午 10 時 30 分，下游壩面滲漏出口延伸至壩墩交接面，隨即發佈下游地區警報。上午 11 時 30 分，大壩下游面淘刷出一個大坑洞，隨後 30 分鐘內，由於坑洞不斷湧水淘刷，造成坑洞接近壩頂，約 11 點 55 分，壩頂崩毀，很快的整個壩高全部崩毀，至當日晚上 6 時，庫水幾乎洩光，將近 3.08 億立方公尺蓄水以尖峰流量達 28,300 立方公尺/秒的速度排出。造成下游地區 11 人喪生及超過 5 億美元的經濟損失。

災變原因：大壩完成後原本預計以每天 0.3 公尺速度蓄水，但由於未預期的暴雨及主要的出水設施未完成施工，無法有效控制水位蓄升速率，水位以將近每天 1.2 公尺速率蓄升，超過原預計蓄水速度 4 倍，水庫在 1976 年 6 月已接近滿水位，無法即時阻止管湧情況持續惡化。

災變教訓：

- a.基礎處理非常重要，需建立多道防線防範管湧。
- b.水庫設施需能夠有效控制水位蓄升速率。
- c.設計工程師必須於大壩建造各階段赴現地瞭解現地條件並作出適當調整。
- d.工程設計上之濾層可排出滲水，並適當保護心層。



圖 17 Teton壩初期管湧情形



圖 18 Teton壩破壞程度持續擴大



圖 19 Teton壩潰壩情形

3.1.3 大壩安全監測

大壩安全管理有兩項例行性工作可瞭解大壩安全情況，包含例行性安全檢查機制及例行性蒐集與分析大壩監測資料等，因此設置必要的監測儀器並蒐集與分析監測資料對大壩安全而言非常重要，大壩監測優點如下：

1. 協助瞭解大壩安全情形
2. 對潛在問題提出警戒
3. 透過監測資料可解釋可能存在之問題
4. 各項預期情況的驗證
5. 協助評估改善既有缺陷方法
6. 協助研究

此外，設置監測儀器可協助管理者節省許多時間去探查大壩內部之潛在問題，並避免既有設施存在問題進一步惡化，監測儀器之選擇上考量如下：

1. 足夠的精度
2. 可提供長時間使用
3. 可抵抗外在環境之破壞
4. 維護上之便利性
5. 低成本
6. 能提供所需監測資料之前提下儘可能簡單，避免過度複雜。

大壩監測儀器主要種類如下：

1. 水壓監測
2. 土壓監測
3. 變形監測
4. 滲流監測

有效之監測儀器計畫元素：

1. 監測儀器之配置需有良好的設計
2. 監測儀器需有良好安裝

3. 監測儀器需有合適的讀取及維護方式
4. 監測資料需要快速且精確的傳送
5. 深入分析監測資料之方法
6. 對監測人員實施必要的教育訓練
7. 良好的溝通與討論機制
8. 持續高度的警覺性

3.1.4 大壩安全之風險分析評估

壑務局有 371 座較高風險的壩，其中超過 50% 壩已經建造超過 50 年以上，甚至有部分已經超過 100 年以上。由於近年來洪水與地震事件日益頻繁，大壩下游側人口亦逐漸成長，造成潰壩風險及災損程度大幅增加。大壩安全風險分析為大壩安全評估之工作之一，透過風險評估了解大壩潛在可能之破壞模式，以提供排定設施改善優先順序之決策參考，典型的大壩安全風險分析步驟如下：

1. 確認破壞模式
2. 決定所考量載重之頻率
3. 計算破壞可能性
4. 計算潛在可能之生命損失
5. 估算風險及辨識不確定性
6. 作出結論
7. 提出建議

3.1.5 緊急應變設施準備評估

緊急應變設施完善程度與對應緊急事件的應變能力息息相關，緊急設施準備係為了減少特殊事件災害所造成的生命及財產損失。緊急設施準備主要因下游生命財產損失風險程度分級：低度、中度及高度風險等有所差異，惟通常考量下列項目：

1. 現地交通條件：不僅包含現地操作人員在各種惡劣環境下進入大壩進行機電設備操作，還包含緊急情形下確保各種修復設備材料之運送通道，可降低大壩破壞之災害。
2. 安全管制機制：避免有心人士破壞相關設備。

3. 現地常規：包含緊急管理原本所需具備之相關事項：

- (1) 標準作業程序：包含各項操作維護工作之相關手冊、準則。
- (2) 緊急應變計畫：發生地震、洪水事件致結構或設備安全產生問題時之處理方式。
- (3) 操作維護日誌：內容須包含大壩各項操作維護紀錄，設施檢查與觀察到之異常狀況均應詳實記錄。
- (4) 操作維護訓練：對大壩管理人員之操作維護訓練非常重要，可確保操作人員了解如何操作維護及對緊急狀況做出應變。
- (5) 緊急應變設備：適當之緊急應變設備需包含：

a. 通訊系統：合適的通訊系統需在緊急及不利情況下發揮作用，須提供負責緊急操作之人員或團隊所需之通訊服務。

b. 警報系統：大壩需有機電設備之警報系統以使在現地或遠處之員工對發生不利事件有所警覺。

c. 輔助的電力系統：當主要的電力系統於特殊事件遭受破壞時，輔助的電力系統必須發揮作用。

d. 遠端操作設備：係指在大壩現地以外地點操作設備能力，如操作溢洪道閘門等。

e. 水位急洩降設施：通常在一緊急事件當中，為確保大壩安全，在最短時間內洩降水位是非常重要的，一般須具備高程較低的的出水設施。

當大壩可能破壞時，緊急應變設施及緊急應變計畫運作相當重要，身為水庫管理者，平時就應檢討所管水庫發生緊急狀況之應變設備是否可發揮功能，管理人員是否可依據相關應變計畫進行妥適的應變作為，透過平時的準備、檢討與演練，才可於災害真正發生時降低生命與財產的損失。

3.1.6 土石壩之現場檢查

1. 檢查重點位置

- (1) 基礎與壩座。
- (2) 上游及下游坡面。
- (3) 壩頂。

2. 檢查注意事項

- (1) 要詳細觀察土石壩壩頂、上下游坡面之所有表面及周邊位置。
- (2) 整組檢查人員之檢查區域應展開，使檢查範圍擴大。
- (3) 檢查應於不同水庫水位情況下分別進行。

3. 檢查流程

- (1) 將檢查情形拍照紀錄。
- (2) 對重要檢查結果標示位置與利用繪圖等方式描述現況。
- (3) 透過量測與計算方式量化檢查結果，如尺寸、流量等。
- (4) 與之前檢查結果進行比較分析。

4. 土石壩可能發生之破壞

(1) 滲漏：

a.如果觀察到異常滲漏情形，必須對該處進行持續監測，並詳細記錄下列事項：

- (a)所有滲漏出口位置應詳細描述紀錄。
- (b)滲漏水量及水質情況是否清澈。
- (c)檢查當時之降雨情形紀錄。
- (d)檢查當時之水庫水位。

b.為調查滲漏水來源，有時會於壩體上游面採用染劑，並於下游滲漏處觀察滲漏水，以確認滲漏水是否來自於庫水，惟使用染劑觀察時間取決於滲漏水穿越壩體或壩基之不同滲漏路徑。

c.倘若觀察滲漏水伴隨細粒料沉積，須特別加強紀錄位置及細粒料流出速度，但一般而言，細粒料帶出之速度較不易量測。

d.很多土石壩含有趾部排水設施，能將壩體及壩基之滲流水集中排除。因此進行現地檢查須注意下列事項：

(a)應檢視設計圖說，以了解趾部排水出口位置。

(b)量測趾部排水流率，最簡易的方式就是將流出水以管路將其收集在一已知體積的容器內，再量測容器充滿水的時間，據以計算流率。

(c)以往不同水庫水位對應趾部排水流率之資料應預先檢視，倘於相同水庫水位情形下觀察到趾部排水流率有異常提高情形，可能須進行進一步調查。

(d)土石壩的現地檢查中，滲漏水的流率及水質的混濁度需要詳實量測並進行比較分析，倘若有異常滲漏情形產生，則必須進行進一步監測調查，並採取適當措施，以避免情形惡化。

(2) 裂縫：土石壩壩頂或壩面可能產生裂縫，裂縫主要可區分縱向裂縫、橫向裂縫及乾縮裂縫等，分述如下：

a.縱向裂縫為平行於壩軸之裂縫，可能之成因如下：

(a)大壩填築材料之不均勻沉陷。

(b)不穩定之潛在滑動面已經開始形成，此種形況下可能出現弧形裂縫。

(c)地震造成。

b.橫向裂縫為垂直於壩軸之裂縫，可能之成因如下：

(a)可壓縮性之築壩材料座落於陡峭或不規則壩座上。

(b)地震造成。

c.乾縮裂縫係由築壩土壤材料乾縮造成，裂縫形式通常無固定，或有時為類似蜂巢圖形，一般而言常於壩頂或下游坡面出現。

d.就上述裂縫而言，橫向裂縫可能提供土石壩之滲流管道，當裂縫之深度達到蓄水面以下時，會加速壩體材料之侵蝕，甚至最後破裂導致潰壩，應特別注意。

e.檢查者發現裂縫應注意下列事項：

(a)拍照並記錄裂縫位置、深度、長度、寬度及裂縫分布形式。

(b)加強監測裂縫的變化。

(c)研判裂縫可能的成因，並採取適當的修復措施。

(d)倘裂縫深度低於蓄水位，應適當調降水位。

(3) 不穩定之邊坡滑動：包含淺層滑動及深層滑動，分述如下：

a.大壩上游面之淺層滑動通常起因於過陡的邊坡，因水庫水位急洩降造成滑動。土石壩上游面之淺層滑動並不會對壩體之完整性造成立即性之危害，但可能造成取水口阻塞，或導致更進一步的深層滑動。

b.大壩下游面之淺層滑動常起因於過陡的邊坡，邊坡滑動將造成土石壩材料強度降低，可能造成滲水之不利影響。

c.若觀察到壩體有淺層滑動情形，檢查者應採取行動如下：

(a)拍照且記錄滑動面位置。

(b)測量且記錄滑動面延伸之長度及位移量。

(c)觀察附近是否有裂縫產生，尤其是往上坡面產生之裂縫，可能有再次滑動可能。

(d)檢查滑動面附近是否發現滲水情形。

(e)對滑動區域持續監測是否有惡化趨勢。

d.深層滑動不論是產生於壩體上游面或下游面，對壩體安全均有極為不利影響，一般而言，深層滑動發生後，主要靠降低蓄水位或排水來避免大壩可能造成之破壞。

e.深層滑動主要初期現象為趾部有隆起現象，或有弧形裂縫產生，若發現有深層滑動跡象，檢查者應採取行動如下：

(a)持續觀察裂縫或並進一步監測滑動面發展情形，並研擬補強改善措施。

(b)尚未完成改善前，應維持較低蓄水位。

(4) 沉孔：為土石壩表面出現凹陷之處，主要包含沉陷與坍孔兩類，分述如下：

a.土石壩沉陷可能造成出水高的損失。

b.庫水持續作用下造成上游坡面侵蝕，以致細粒料被帶出造成拋石沉陷

c.當沉陷較大內部細料流失時，有可能形成坍孔。

d.檢查者的行動如下

(a)局部沉陷發生時，應拍照紀錄沉陷位置、尺寸、深度及延伸範圍等。

(b)探查底部是否具有較深的孔洞形成，及探查孔洞深度。

(c)持續加強觀測確保情形未惡化，並提出合適的改善對策。

3.1.7 混凝土壩之現場檢查

1. 混凝土壩之主要形式可分為重力壩、拱壩、與扶壁壩等三類，摘述如下：

- (1) 重力壩

不穩定之潛在因子為沿著基礎之滑動、上舉力及壩體裂縫所造成之不利影響等，其中垂直上舉力可能與基礎寬度大及壩體與壩基接觸面積太大有關，垂直上舉力及蓄水區水壓形成之水平推力可能造成壩身延下游壩趾處或沿壩體裂縫位置傾倒。由於壩體斷面較厚，壩表面之混凝土劣化，對整體穩定性之影響程度，較薄拱壩為小。

- (2) 拱壩

因其斷面厚度較薄、接觸面積小，上舉力之影響較混凝土重力壩為小，較薄之厚度造成滲流路徑縮短，混凝土表面劣化影響程度亦比厚斷面之混凝土重力壩影響為大。

- (3) 扶壁壩

相對較薄平面或弧形面版由一系列的扶壁板支撐連結，蓄水壓力透過面版傳遞至扶壁版再傳遞至基礎。

2. 混凝土壩之可能缺陷：

- (1) 混凝土強度及耐久性降低。
- (2) 壩基強度、耐久性及水密性降低。
- (3) 壩身滲漏。

3. 混凝土壩須加強檢查位置：

- (1) 基礎與壩座。

- a. 位移之徵兆：是否發現裂縫、沉陷及異常位移等。

- b. 混凝土是否有局部碎裂現象。

- c. 在相同蓄水高程下，滲漏量是否有增加之趨勢，以研判基礎是否有弱化趨勢。

- d. 是否有伴隨滲漏之水平裂縫。

e. 混凝土壩安全檢查應於高蓄水位與低蓄水位情況下分別安排，以利比對。

(2) 壩體上游及下游壩面。

(3) 廊道。

a. 是否有裂縫、尤其是伴隨著滲水之裂縫、異常位移及滲水量增加情形。

b. 廊道內監測儀器判讀非常重要，如上頂壓力計、變位計、擺線儀等，每一次監測結果均要與之前監測結果比對，以發現是否有不利之發展趨勢。

(4) 壩頂。

a. 需檢查壩頂是否有裂縫出現，並研判深度及是否有往上游或下游壩面延伸之跡象。

b. 壩頂各點有無異常之差異沉陷及橫向位移。

c. 混凝土有無碎裂或其他劣化情形。

3.2 水工試驗室參觀

6月5日下午參觀墾務局水工研究試驗室，由實驗室人員引導並進行現場解說，對於實驗室內各項水工模型試驗精細程度及大型混凝土抗壓試驗設備留下深刻印象。



圖 20 工程材料試驗儀器

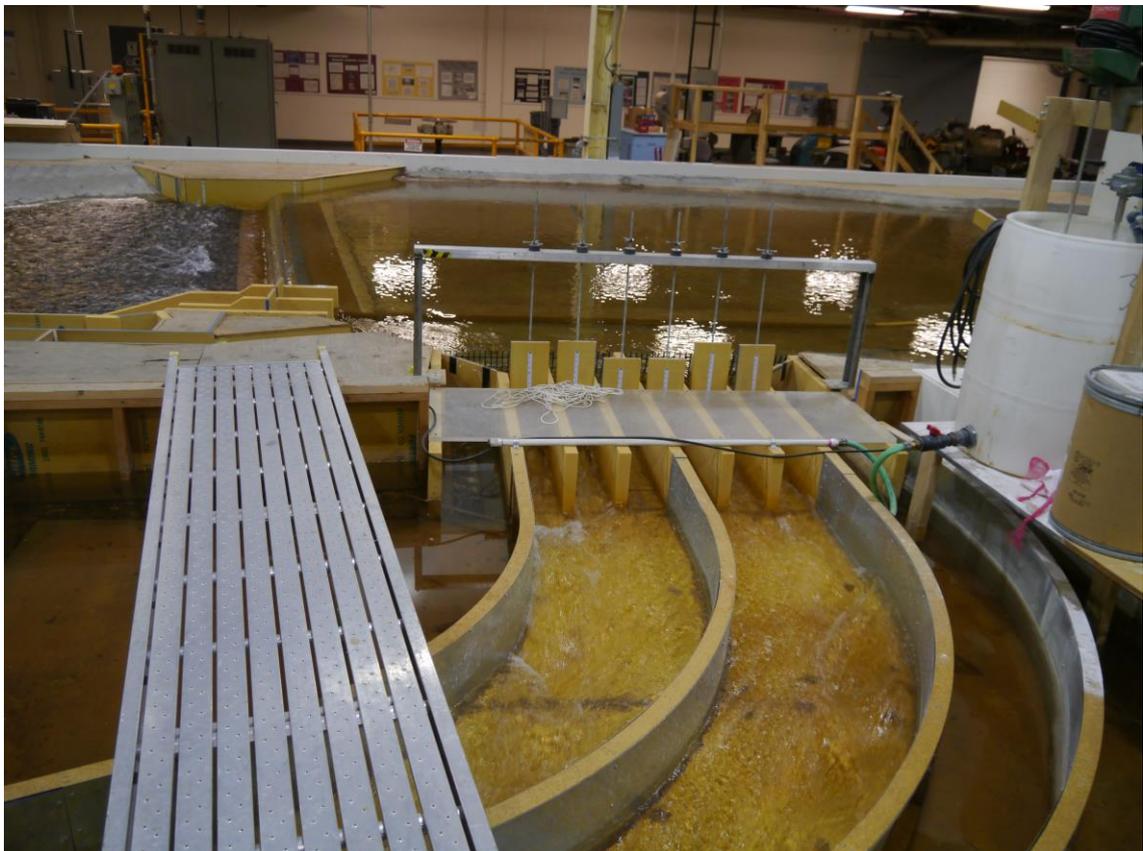


圖 21 水工模型試驗現場



圖 22 混凝土試體於蒸氣室養護情形



圖 23 超大型混凝土抗壓試驗設備

3.3 大壩現地參訪

6月9日至6月14日為移動日及參訪，水庫參訪集中於6月12日至14日，主要集中於猶他州，胡佛水庫(Hoover Dam)則位於內華達州，參訪水庫位置如圖24，每日參訪前皆安排行前簡報說明參訪水庫之地理位置及特性，並充分說明行程中任何可能之危害因子，諸如毒蛇出沒、防墜、遭遇下雪等，俟每位學員皆清楚瞭解後危害因子後，再行前往目的地。猶他州平均年降雨日數為88日，平均年雨量約470mm，亟需水庫蓄水以供灌溉、工業、民生等用途，供應300萬人口使用，本次參訪水庫皆為該州水資源供水聯合調度之一環，透過管流或明渠使不同流域間水資源可串連聯合運用，得有效降低缺水風險。如圖25。

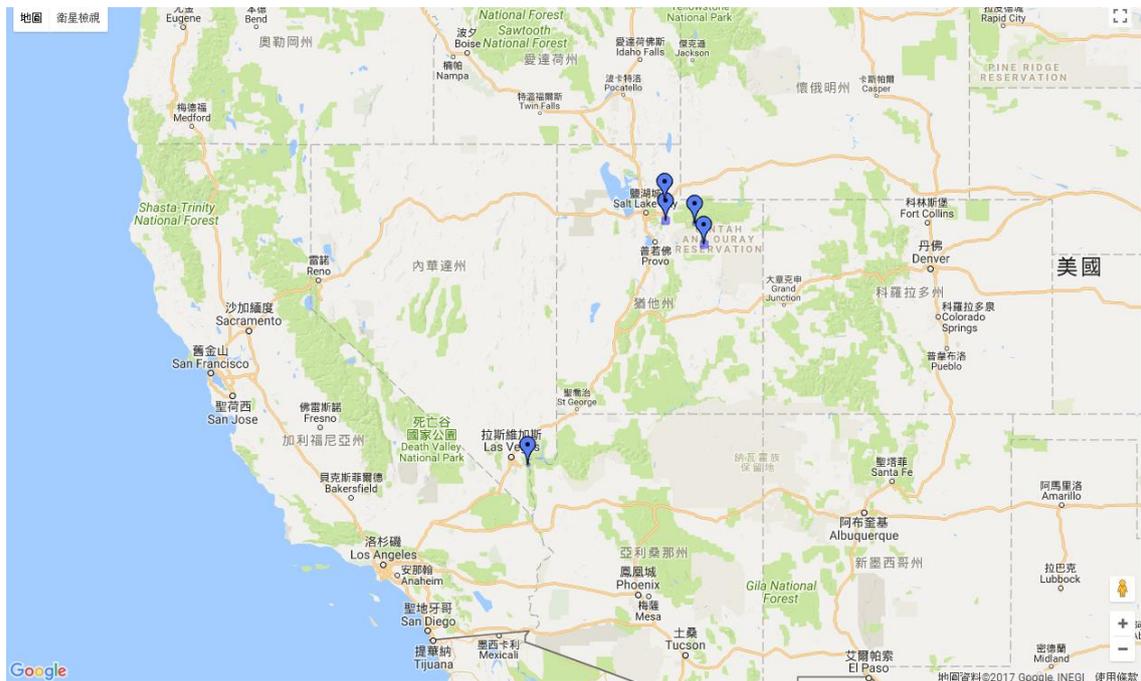


圖 24 參訪水庫位置圖

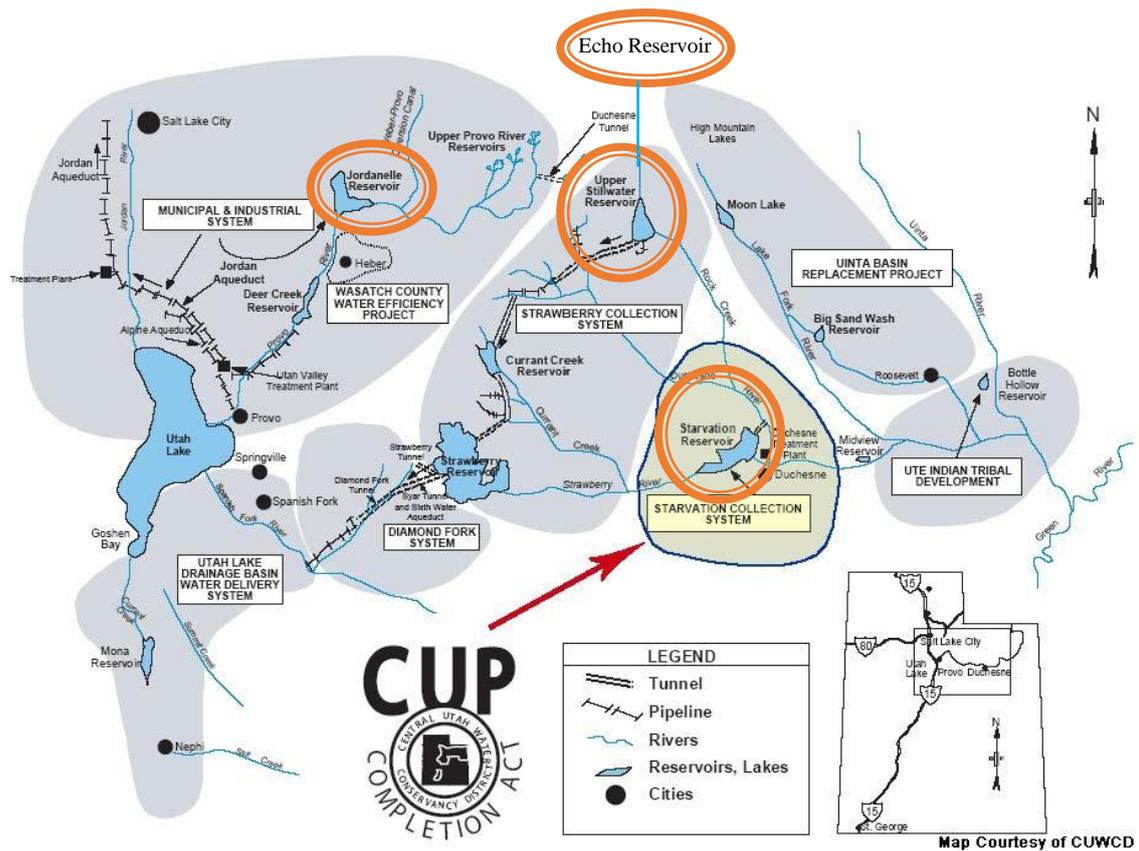


圖 25 猶他州水資源調度

3.3.1 Starvation Dam

壩高 210ft (64m)

壩長 3,070ft (936m)

庫容 167,310 acre-ft (約2億m³)

集水面積 1,055 sq mi (2,732 km²)

淹沒面積 689 acres (2.79 km²)

自然溢洪道流量 16,000 cfs (453 cms)

Starvation Dam 為堆填壩，位於 Strawberry River，距離 Duchesne 市西北約 3 英哩，1967 年開始興建 1970 年完成，提供工業用水、農業用水、防洪、漁業養殖與野生動物棲息等功能多目標水庫，營運迄今已超過 40 年。同時也是州立公

園，提供沙灘、釣魚、露營、航行、水上運動等休閒育樂。本次課程以 Starvation Dam 為例，於現場進行表格檢查，檢查表格如附錄。



圖26 Starvation Dam總覽



圖27 Starvation Dam下游側

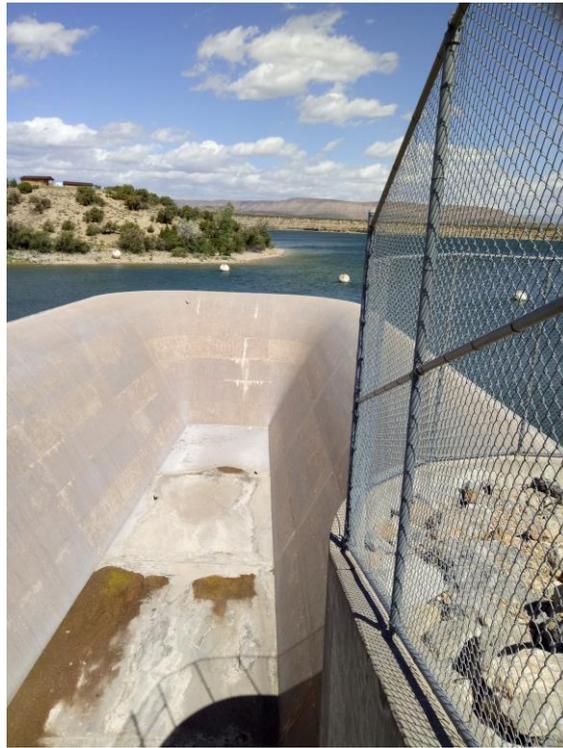


圖28 Starvation Dam溢洪道入口(自然溢流)



圖29 Starvation Dam壩體滲流監測井



圖30 大壩安全檢查表格講解

3.3.2 Upper Stillwater Dam

壩高 310ft (94.5m)

壩長 2,660ft (810.8m)

庫容 33,123 acre-ft (4,085萬m³)

集水面積 102 sq mi (264.2 km²)

淹沒面積 330 acres (1.34 km²)

自然溢洪道流量 7,820 cfs (221 cms)

Upper Stillwater Dam 為一碾壓混凝土壩 (rolled concrete dam, RCC)，位於 Rock Creek，約距猶他州 Duchesne 西北約 50 公里，於 1983 年開始興建 1987 年完成，主要作為農業用水的水庫，營運迄今已接近 30 年。RCC 壩具有造價低，施工速度快、節省水泥、模板和施工人力等優點，技術經濟效益顯著，但本次現勘結果發現其壩體表面龜裂，部分區位極小滲流，養護不易，如圖 33。



圖 31 Upper Stillwater Dam 參訪情形



圖 32 Upper Stillwater Dam 自然溢洪後階梯跌水



圖 33 RCC壩體多有龜裂

3.3.3 Jordanelle Dam

壩高 345ft (105.2m)

壩長 3,700ft (1127.8m)

庫容 320,300 acre-ft (3億9仟萬m³)

集水面積 258 sq mi (668.2 km²)

淹沒面積 3,068 acres (12.42 km²)

自然溢洪道流量 6,600 cfs (187 cms)

Jordanelle Dam 為堆填壩，位於 Provo River，約距 Hebet City 北方約 6 英里 (3.2 公里)，所蓄水量可提供 Bonneville Unit water in Utah、Strawberry Reservoir 以及 Provo River 上約 15 個小水庫進行調節作用，如圖 25。1987 年開始興建 1992

年完成，為水力發電及公共工業等多標的水庫，其設計可抵抗芮氏規模 7.5 的地震，另一年可提供 39,000 Megawatt-hours 的電力，約 8,000 戶家庭使用，如圖 35。



圖 34 Jordanelle Dam大壩一覽

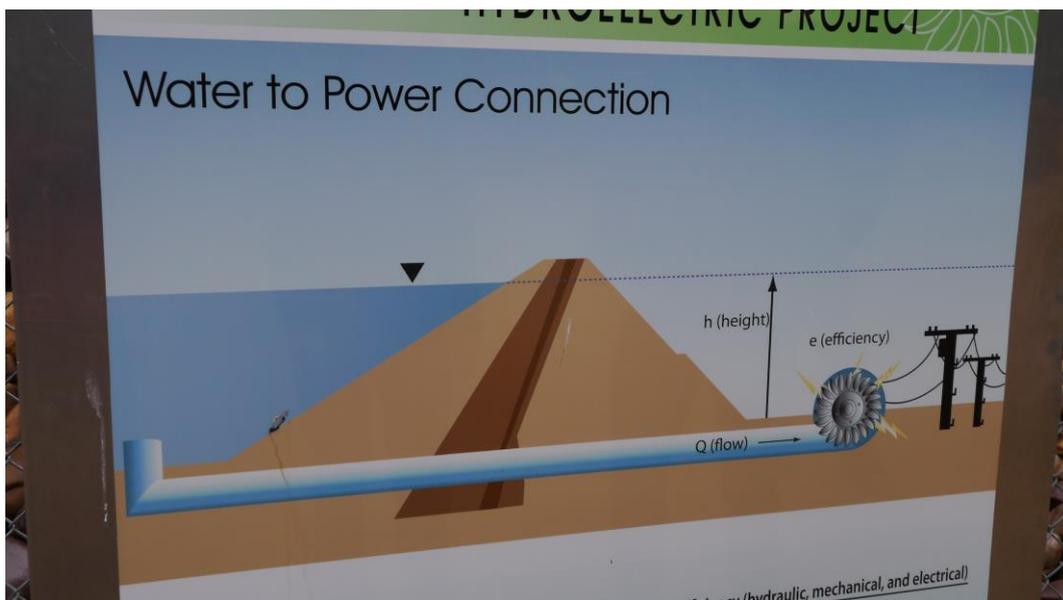


圖 35 Jordanelle Dam水力發電示意圖

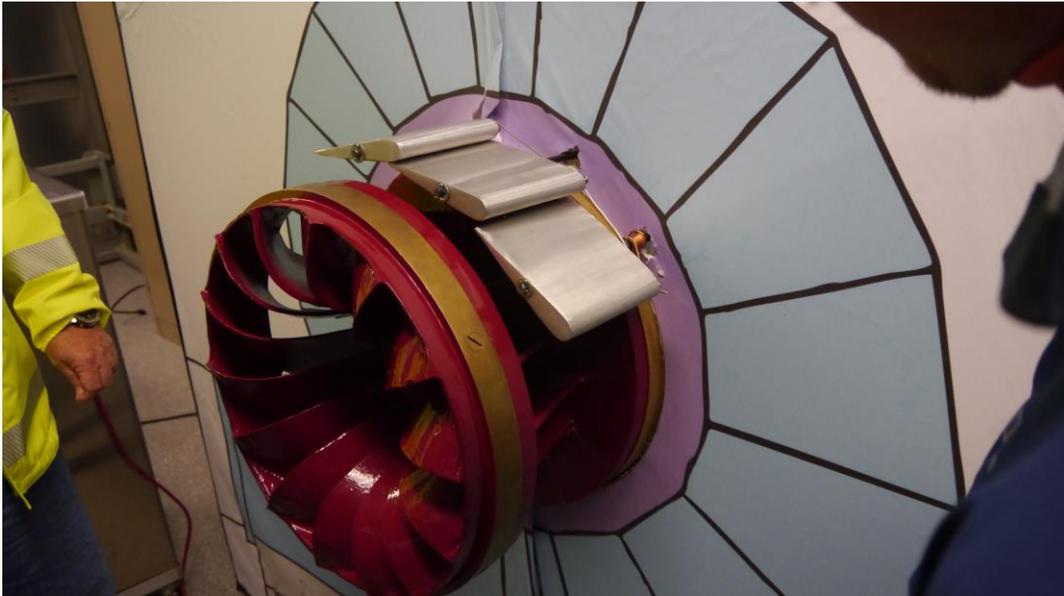


圖 36 Jordanelle Dam水力發電機葉片



圖 37 Jordanelle Dam水力發電機機組

3.3.4 Echo Dam

壩高 158ft (48m)

壩長 1,887ft (575.2m)

庫容 74,000 acre-ft (9,127萬m³)

集水面積 836 sq mi (2165.2 km²)

淹沒面積 1450 acres (5.87 km²)

自然溢洪道流量 15,000 cfs (424 cms)

Echo Dam 為堆填壩，位於 Weber River，約距 Coalville 北方 10 英里（16 公里），1927 年開始興建 1931 年完成，主要為農業用水的水庫，曾於 2012 年投入 5 千萬美元進行加固加強作業，避免地質潛在不穩定之情況，如圖 40。



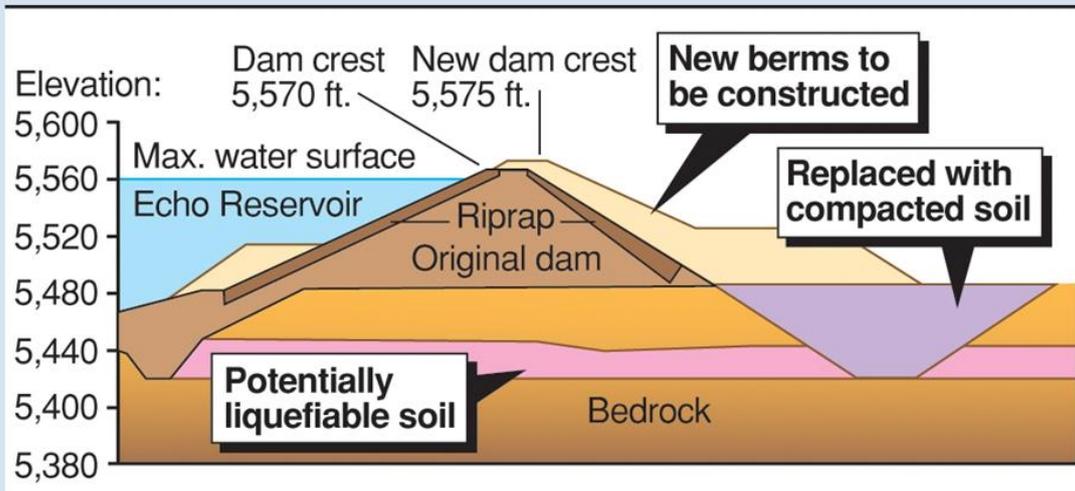
圖 38 Echo Dam 下游側及溢洪道出口



圖 39 Echo Dam 上游側道入口

Echo Dam seismic upgrades

The Bureau of Reclamation is modifying Echo Dam and spillway to meet current seismic standards:



Source: U.S. Bureau of Reclamation

Standard-Examiner

圖 40 Echo Dam補強示意圖

3.3.5 East Canyon Dam

壩高 259.8ft (79.2m)

壩長 436ft (132.9m)

庫容 51,200 acre-ft (6,315萬m³)

集水面積 145 sq mi (375.5 km²)

淹沒面積 684 acres (2.77 km²)

自然溢洪道流量 6,200 cfs (176 cms)

East Canyon Dam 為混凝土拱壩，位於 East Canyon Creek，約距 Morgan 東南 16 公里，舊的拱壩於 1898 年完成，爾後加高蓄水高度等多項加強工程於 1966 年完成，主要提供灌溉等目的，緊鄰為 East Canyon Reservoir 州立公園，提供滑水等多項娛樂功能。



圖 41 East Canyon Dam



圖 42 East Canyon Dam 解說情形



圖 43 East Canyon Dam 下游側及溢洪道

3.3.6 Hoover Dam

壩高 1232 ft (221.4m)

壩長 1244 ft (379.2m)

庫容 28,537,000 acre-ft (352億m³)

集水面積 167,800 sq mi (434,600 km²)

淹沒面積 158,500 acres (248 km²)

胡佛壩位於科羅拉多河東南方約 35 英哩拉斯維加斯之黑峽谷，大壩右岸為內華達州、左岸為亞利桑納州，於 1931 年開始興建，興建當時主要目的為調節科羅拉多河水源及兼具防洪功能，避免每年春季及夏季溶雪期間，下游沿岸地勢較低地區受洪水侵襲，其建造期間費時 5 年，動員約 5000 名工作人員參與大壩建造工程，於 1935 年興建完成後，為美國最大水壩，美國土木工程學會將其列為美國七大現代土木工程奇蹟之一。這樣巨大的水壩相較於目前全世界其他

水壩工程或許並不突出，但以 1931 年之工程技術而言，絕對稱得上是世界級的工程。

大壩蓄水區形成之人工湖稱為米德湖 (Lake Mead)，為西半球最大的人工湖 (庫容 352 億立方公尺)，其蓄水範圍跨越亞利桑那州及內華達州。胡佛壩壩體為一混凝土厚拱結構，壩高 221.4 公尺，壩頂長度為 379.1 公尺，寬度為 14 公尺。大壩由 260 萬立方公尺混凝土澆注而成，包含相關附屬設施，其混凝土澆注總量為 352 萬立方公尺。大壩設施尚包括 4 座取水塔，塔高 120 公尺，頂端直徑 19.2 公尺，每一取水塔連接一壓力鋼管至電廠。電廠位於胡佛壩底部，設置 17 部發電機，每年所產生的電力足夠 150 萬人使用，為內華達州、亞利桑那州、加州三地的主要供電來源之一。水庫建造後提供拉斯維加斯、洛杉磯、聖地牙哥、鳳凰城及內華達州、亞利桑那州、加州等地居民商業及民生用水。

胡佛水壩係給水、發電、防洪等多目標營運之水庫，其取水口位於水壩上游側之塔式結構，壩頂開放為公路使用，因此遊客可至壩頂自由參觀，每年吸引約有 900 萬人參觀。胡佛水壩截斷了科羅拉多河，水壩背面蓄水範圍長 118 公里的密德湖，成為西半球最大的人工湖。水庫建造之初安裝了 9 台發電機，能發出 70 多萬千瓦的電力，乃當時世界上最大的水電站。後來發電機組增加到 17 台，總發電達到 208 萬千瓦，胡佛水壩的發電設施目前仍是世界上第 35 大的水力發電廠。而目前水庫及發電廠的營運皆由美國內政部所屬的墾務局辦理。

在離開胡佛水壩前，特地前往水庫的溢洪道參觀，胡佛水庫大壩兩岸各設一座溢洪道，位於大壩兩側之壩基附近，平行峽谷宣洩而下。溢洪道總容量 11,330

立方公尺/秒。分洪時，由上游而來的洪水將幾近垂直地進入分洪隧道，並於下游匯入科羅拉多河主流。分洪道在完工以後，歷史紀錄上僅有 2 次分洪，分別是 1941 測試溢洪以及 1983 實際洪水來臨的溢洪。

本次參訪由墾務局 Lower Colorado Regional Director 區域中心主任 Terry Fulp 親自接待，進行相關簡報說明，並帶領參觀電廠如地下 2 樓等維修通道，與一般旅行團於壩頂解說參觀多有差異。



圖 44 Hoover Dam 模型

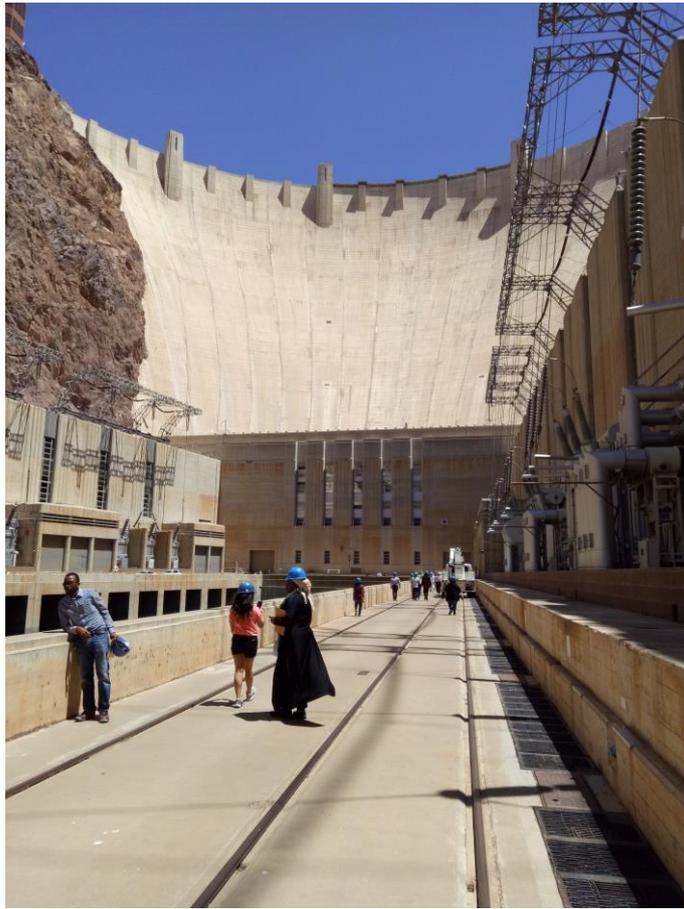


圖 45 Hoover Dam 大壩下游側

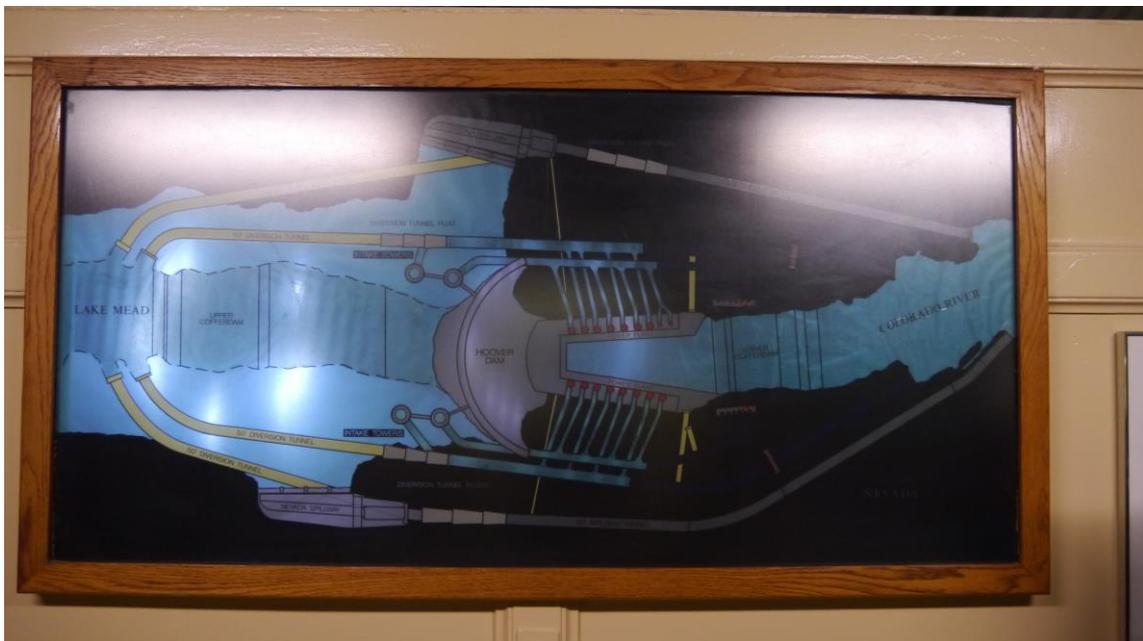


圖 46 Hoover Dam取水及出水工示意圖



圖 47 由USBR區域辦公室主任接待

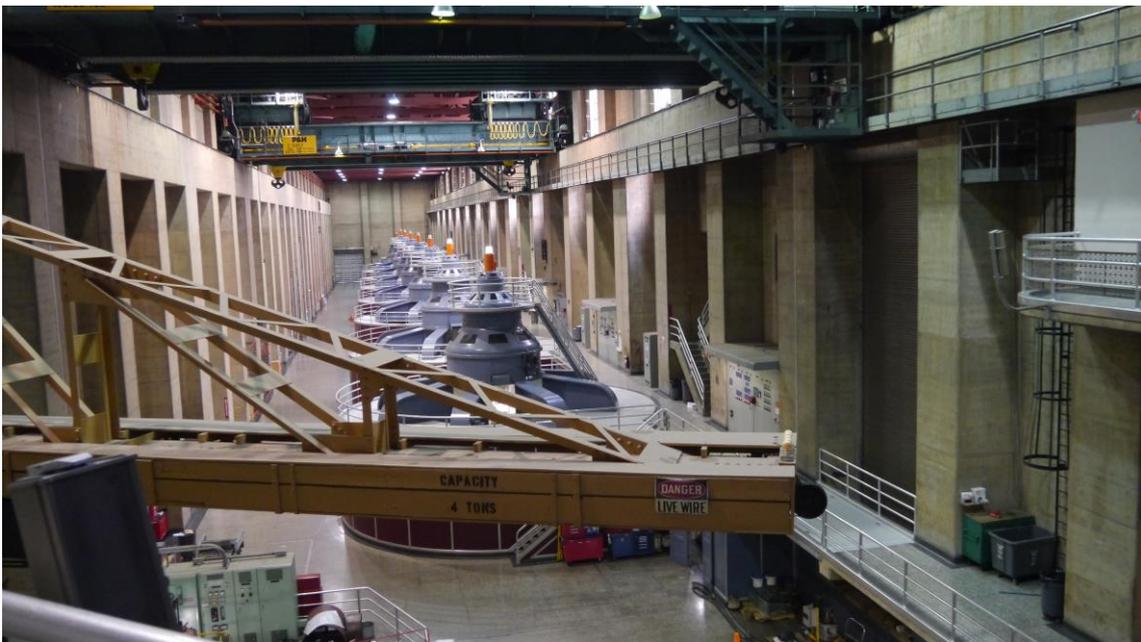


圖 48 Hoover Dam發電機組



圖 49 Hoover Dam發電機葉片維修情形



圖 50 Hoover Dam 取水塔



圖 51 Hoover Dam 自然溢洪

第四章 心得與建議

4.1 心得

4.1.1 大壩安全立法

美國政府從1874年到1977年在經歷幾次潰壩事件教訓後，逐步規範頒布大壩安全法。1979年頒布聯邦大壩安全準則，提出壩址調查、設計、施工、操作與維護及緊急應變等規範，同時建立起大壩安全檢查與評估之機制，再依據檢查結果編列經費辦理更新，即使是私人擁有的壩體仍需自籌財源，財源每8年定期檢查編列，使居住於水庫下游的居民生命財產更加獲得保障。台灣政府參考美國機制，針對蓄水建造物啟動進行定期與不定期檢查，再依據檢查結果編列預算改善。

4.1.2 落實大壩管理、檢查與監測機制

美國有高達69%的壩體屬於私人擁有，管制措施可能較為鬆散，例如在大壩壩體上種植林木、圈養牲畜等行為亦可能造成壩體破壞。潰壩災害發生前皆有跡象可循，可能是微小的滲漏、壩體坡面的潮濕、輕微的壩體變形或是初期的管湧等，這些細微的破壞將可能進一步導致嚴重的潰壩事件，所以不可忽視水庫平時管理工作，以及現地檢查工作及監測資料蒐集判讀之重要性。

4.1.3 蓄水初期應各加注意

由歷史潰壩資料可知，大壩完工後蓄水初期為潰壩較易發生時期，因此大壩完工後初次蓄水階段須特別加強檢查及監測作業，尤其是土石壩，應對蓄水方式採分階段辦理，每蓄升一階段即須辦理一段時間之監測，確保各項監測及檢查結果無異常情形後，再辦理下一階段的蓄升，若蓄升階段於檢查或監測結果有異常情形，則必須以調降水位方式，先降低水庫處於高水位之風險，並詳細調查異常原因予以改善，以確保後續蓄升階段安全性。

4.1.4 水庫下游疏散避難計畫

配合水工模型試驗、電腦分析模擬、精確之設計及計算，可以大幅提高水庫安全，但仍無法100%確保未來不會發生潰壩，所以針對潰壩所可能造成大壩下游地區之警報及避難措施，應預先研擬演練，以因應潰壩可能造成之危害，

並將損失降到最低。

4.1.5 美國大壩天然條件優

本次參訪美國中西部除人口密集都市外，大部分地區皆地廣人稀，河川淵遠流長，重要供水水源發源自科羅拉多山脈，該山脈地勢高長年積雪，為大陸性氣候降雨量偏少，主要水源為融雪水，水質乾淨且穩定輸出，無颶風侵襲、泥沙淤積等議題，且非處地震帶，天然條件優渥。即使大壩淤滿，可拆壩後再蓋新的大壩，尚有足夠腹地可供選擇，與台灣大壩面臨乾旱、洪水、地震、淤積等挑戰差異甚遠。

值得一提的是本次參訪水庫除Hoover Dam觀光客群聚以外，其餘大壩皆位處偏僻，附近無村莊聚落，距離墾務局區域辦公室車距皆1至2小時以上，其溢洪道皆為自然溢流形式，省去人為操作之因素，該壩所在地不設立管理站或管理中心，而是由區域辦公室職員每週例行性巡檢。台灣普遍設有管理中心且主要水庫溢洪道設有閘門，管理中心得以就近管制監測或進行調節性放水之概念不相同，存有差異。

4.2 建議

4.2.1 持續與USBR辦理交流

美國墾務局(USBR)為世界上從事大壩建設及安全檢查評估最權威機關之一，也與台灣長期保持緊密合作，合作迄今(106)年即邁入30週年。早期石門水庫、曾文水庫興建時便曾來台指導，亦是我國水利專業人才培育的搖籃之一，現今仍定期與我國水利署辦理年會、教育訓練、技術轉移、災情諮詢等交流，與我國互動良好關係密切，應持續辦理交流學習經驗。藉由本次課程也與美方高階長官誠摯邀請參與台美年會30周年活動，不外乎也是另一項收穫。

4.2.2 水庫洩洪應遵照操作規限

水位溢頂為土石壩常見之破壞原因，因此水庫排洪設施相當重要，排洪能力不足對水庫之危害性需特別重視，尤其目前面臨氣候變遷，台灣水庫可能面臨短時間強降雨，水庫洩洪應遵照操作規限執行，避免因錯估進水量而違背操作規定操作，同時降低溢頂風險，避免大壩破壞。

4.2.3 專職工程師執行安全檢查

美國墾務局墾務局主責美國西部 17 州水資源管理工作並負責400 座以上水庫營運管理維護，相關例行與不定期安全檢查與評估皆由所屬專職員工進行操作。建議台灣效法美國墾務局由所屬專職工程師執行安全檢查等工作，方能落實第一線管理人員大壩檢查研判及監測資料判讀基本能力，及早發現潛在問題徵兆，提出因應預防災害發生，確保水庫安全。

4.2.4 台灣經驗不比國外差

台灣水庫面臨乾旱、強降雨、地震、泥沙淤積等多重議題，氣候及地理條件較美國艱鉅。台灣對於水庫操作、管理、清淤等工作可為其他國家借鏡，如本次印度學員部分來自南部喀拉拉邦(Kerala)，該區地勢高差大，川陡流急條件與台灣類似，同樣面臨水庫淤積減少庫容之議題，如配合政府新南向政策技術輸出，未來確實能於大壩排砂課題給予實質協助。

附錄

BUREAU OF RECLAMATION
COMPREHENSIVE FACILITY REVIEW EXAMINATION
REPORT FORM - STARVATION DAM

DAM NAME: _____

EXAMINATION DATE(S): _____

GENERAL INFORMATION:

Who owns and operates the facility?

What offices are responsible for providing oversight of the operation of the facility?

Other general information:

OPERATING STATUS AND CONDITIONS DURING THE EXAMINATION:

Reservoir elevation(s) during the examination: _____

Maximum allowable reservoir elevation: _____

Releases during the examination:

Spillway: _____

Outlet works: _____

Other outlets: _____

Weather on the day(s) of the examination? _____

Recent precipitation at the dam site?

參考文獻

1. 美國墾務局網站，<https://www.usbr.gov/>
2. 第 27 屆大壩安全評估與檢查出國報告，105年，經濟部水利署。
3. 大壩修復及維護技術研習出國報告，102年，經濟部水利署水利規劃試驗所。
4. 大壩安全評估與目視檢查國際技術研習，100年，經濟部水利署。
5. 出席第22屆台美水資源技術合作年會及考察，99年，經濟部水利署。

RECLAMATION
Managing Water in the West

Certificate of Completion

presented to

Lin, Yuan-Peng

**Safety Evaluation of Existing Dams
International Technical Seminar and Study Tour**

Matthew Dickerson

International Affairs Office

June 5-14, 2017

Date



U.S. Department of the Interior
Bureau of Reclamation

Certificate of Completion

presented to

Pao, Chun-Hung

**Safety Evaluation of Existing Dams
International Technical Seminar and Study Tour**

Matthew Deebene
International Affairs Office

June 5-14, 2017

Date

