

出國報告（出國類別：研習）

美國墾務局大壩安全 SEED 研習班

服務機關： 經濟部水利署

姓名職稱： 趙美英 科長

蕭軒梅 正工程司

派赴國家： 美國

出國期間： 112年8月6日至8月19日

報告日期： 112年11月13日

摘要

本研習班出國期間為 112 年 8 月 6 日至 8 月 19 日，共 14 日，其中包含室內課程共 25 堂、參訪實習共 5 站。室內課程主題包含美國大壩現況、水庫安全法規、水庫安全計畫、大壩安全事件、水庫操作及維護、水庫監測、地質與壩體安全、水文及地震危害度、潛在破壞模式、風險分析等，均由壩務局技術人員講授，內容扎實、平易近人，多採說明案例方式分析獲得經驗。本報告針對課程內容提出維護管理、緊急應變及國際交流等面向值得深入的項目，並摘要於建議中。參訪實習前往壩務局實驗室、火焰峽壩、迴聲壩、AV Watkins 壩及 Hoover 壩等，由第一線工作人員說明水庫維護管理、更新改善及緊急應變等，現地訓練亦滿載而歸。

目次

一、前言	1
(一) 臺灣水庫安全管理現況	1
(二) 美國墾務局 SEED 課程簡介	1
二、研習目的	2
三、研習過程 (含內容摘要)	2
(一) 研習行程	2
(二) 室內課程	4
課程 1：墾務局簡介 (30 分鐘, Scott Stevens)	4
課程 2：大壩安全發展史 (45 分鐘, Tim Tochtrop)	5
課程 3：墾務局維安計畫 (45 分鐘, Matt Tracy)	6
課程 4：大壩安全事件案例 (2 小時, Amanda Dolezal)	8
課程 5：設施操作及維護 (45 分鐘, Darion Mayhorn)	10
課程 6：監測與評估—潛在破壞模式辨識 (2 小時, Amanda Dolezal)	11
課程 7：大壩安全風險分析及風險評估 (1.5 小時, Dom Galic)	12
課程 8：墾務局洪水風險評估方法 (45 分鐘, Doug Woolridge)	14
課程 9：地質與大壩安全 (45 分鐘, York Lewis)	15
課程 10：水庫淤積、永續及大壩安全 (1.5 小時, Kent Collins)	16
課程 11：常態操作程序及維管訓練 (45 分鐘, Amanda Dolezal)	17
課程 12：大壩的儀器監測 (1.5 小時, Montana Foulke)	18
課程 13：地震危害度研究及通報與應變機制 (45 分鐘, Dan Levish)	19
課程 14：大壩的耐震設計及分析 (30 分鐘, David Gillette)	20
課程 15：潰壩洪水淹沒範圍模擬及災損估算 (75 分鐘, Jose Cestero)	21
課程 16：緊急應變計畫及演練 (1 小時, Ben Claggett)	23
課程 17：附屬設施檢查及評估 (1 小時, Jaron Hasenbalg)	25
課程 18：水庫的水工機械 (1 小時, Lucas Adams)	26
課程 19：混凝土壩及附屬設施更新改善 (1 小時, Jason Schneider)	27
課程 20：滲流與內部沖蝕 (2 小時, Dennis Hanneman)	28
課程 21：AV Watkins 壩介紹 (30 分鐘, Dennis Hanneman)	30
課程 22：溢洪道上頂力及接縫入滲實驗 (45 分鐘, Bryan Heiner)	30
課程 23：Hyatt 壩研究案例 (45 分鐘, Elizabeth Ouellette)	31
課程 24：混凝土壩檢查技術 (1 小時, Jaron Hasenb)	32
課程 25：土石壩檢查技術 (1 小時, Paul Craig)	33
學員分享：臺灣的壩及曾文水庫案例 (25 分鐘, 蕭軒梅)	33
(三) 參訪實習	35
參訪 1：參觀墾務局實驗室 (丹佛聯邦中心)	35

參訪 2：參觀 Flaming Gorge 壩（火焰峽壩）	39
參訪 3：現地實習模擬檢查—Echo 壩（迴聲壩）	44
參訪 4：勘查 AV Watkins 壩滲流應變及更新改善	47
參訪 5：參觀 Hoover 壩（胡佛壩）	52
四、心得及建議事項	55
（一）心得	55
（二）建議事項	56
主題 1：水庫安全維運工作	56
主題 2：水庫緊急應變整備	57
主題 3：國際技術交流合作	58

附錄

附錄 1、結業證書	附-1
附錄 2、學員分享—臺灣的壩及曾文水庫案例簡報	附-2
附錄 3、墾務局實驗室簡章（開放預約團體自由取用）	附-13
附錄 4、Flaming Gorge 壩（火焰峽壩）簡介及 Unitas 國家風景道兒童手冊（開放遊客取用）	附-19
附錄 5、墾務局設施檢視綜合報告—土石壩（空白）	附-22

本文

一、前言

(一) 臺灣水庫安全管理現況

臺灣公告水庫共 95 座（一級 20 座、二級 26 座、三級 49 座），其主管機關為經濟部，訂有「水利建造物檢查及安全評估辦法」（110 年 10 月 5 日修正發布），規範主管機關及水利建造物興辦人應辦事項，其中包含水庫的安全檢查及評估工作。

為利興辦人可具體執行前述工作，經濟部訂有「水利建造物檢查及安全評估技術規範 蓄水與引水篇」（111 年 9 月 23 日修正生效），供各水庫管理單位據以辦理例行檢查、監測及維護，並定期或不定期辦理安全評估，再循序提請「水利建造物檢查及安全評估小組」（含蓄水與引水工作分組）審議。

透過執行團隊（以工程顧問公司為主）、興辦人（水庫管理單位）、主管機關（經濟部）的分層把關及監督機制，確保水庫及附屬設施安全狀況良好，維持其各項使用標的（如供水、防洪、發電、教育及觀光等）。

(二) 美國墾務局 SEED 課程簡介

美國內政部墾務局設置目的係為處理美西地區的水資源開發及設施維運，目前負責超過 400 座水壩或送水設施的操作、維護及安全狀況。為確保內部人力具有足夠專業知識可以達成前述任務，墾務局持續辦理內部研習班，亦已招收超過 6,000 名國內及國際單位的技術與行政人員參訓。

「SEED」為「Safety Evaluation of Existing Dams」的縮寫，即「既有大壩安全評估」，本次研習班以綜合指引的方式授課，課程內容提供水庫管理人員執行或強化檢查及評估作業參考，並提供增進評估技術的方法。設計授課對象為負責設計、施工、操作、維護及安全管理之水庫管理人員、主管機關、工程師、地質師及技術人員等。

本（112）年度舉辦之國際研習班為第 32 屆「Safety Evaluation of Existing Dams (SEED) Technical Seminar and Study Tour」，完整翻譯為「既有大壩安全評估 (SEED) 技術研討會及現勘行程」，簡化為本報告標題「美國墾務局大壩安全 SEED 研習班」。

二、研習目的

為瞭解壑務局水庫安全評估執行現況、觀察其課程安排關注重點、蒐集室內課程及參訪實習資料，並藉由參加國際研習班機會認識其他國家學員、對外介紹臺灣及臺灣的水庫安全技術發展情形等，爰編列參訓經費 2 名赴美受訓。

三、研習過程（含內容摘要）

（一）研習行程

本研習班出國期間為 112 年 8 月 6 日至 8 月 19 日，共 14 日，其中包含實際研習 11 日（含必要交通時間），以及去程（8 月 6 日）及回程（8 月 18 日及 8 月 19 日）共 3 日國際交通時間，行程總表如表 1，室內課程（含學員分享）及現地實習摘要說明如下，詳細內容如後「（二）室內課程」及「（三）參訪時習」。壑務局並於所有課程及參訪結束後，頒給各學員結業證書，詳附錄 1。

1. 室內課程共 25 堂，總時數 26.5 小時，分別由 20 位講師授課（均為壑務局內部人員）；另含學員分享共 4 場，由壑務局事前調查後安排到行程內，分別由臺灣、巴拉圭、伊拉克及加拿大學員進行分享。
2. 參訪實習共 5 站，分別為參觀壑務局實驗室（丹佛聯邦中心）、參觀 Flaming Gorge 壩（火焰峽壩）、模擬檢查 Echo 壩（迴聲壩）、勘查 AV Watkins 壩滲流應變及更新改善及參觀 Hoover 壩（胡佛壩）。

表 1、行程總表

日期	時間	行程
08/06 (日)	09:50~	桃園機場—聯合航空 ● UA872 臺灣時間 09:50~加州時間 06:45 舊金山國際機場—聯合航空 ● UA1826 加州時間 08:50~丹佛時間 12:29
08/07 (一)	08:00~09:15 09:15~09:45 09:45~10:30 10:45~11:30 12:30~14:30 14:45~15:30	● 報到&歡迎&學員介紹 (Angela, Robert & Scott) ● 課程 1：壑務局簡介 (Scott) ● 課程 2：大壩安全發展史 (Tim) ● 課程 3：壑務局維安計畫 (Matt) ● 課程 4：大壩安全事件案例 (Amanda) ● 課程 5：設施操作及維護 (Darion)
08/08	08:00~08:25	● 分享 1：臺灣的壩及曾文水庫案例 (蕭軒梅)

日期	時間	行程
(二)	08:30~10:45 11:00~12:30 13:30~14:15 14:15~15:00 17:30~19:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 課程 6：監測與評估—潛在破壞模式辨識 (Amanda) ● 課程 7：大壩安全風險分析及風險評估 (Dom) ● 課程 8：壑務局洪水風險評估方法 (Doug) ● 課程 9：地質與大壩安全 (York) ● 歡迎茶會
08/09 (三)	08:00~08:25 08:30~10:00 10:15~11:00 11:00~12:30 13:45~16:30	<ul style="list-style-type: none"> ● 分享 2：巴拉圭/巴西伊泰普水電站 (Karimi) ● 課程 10：水庫淤積、永續及大壩安全 (Kent) ● 課程 11：常態操作程序及維管訓練 (Amanda) ● 課程 12：大壩的儀器監測 (Montana) ● 參訪 1：參觀壑務局實驗室 (丹佛聯邦中心)
08/10 (四)	08:00~08:25 08:30~09:15 09:15~09:45 09:45~11:00 11:00~12:00 13:00~14:00 14:15~15:15 17:30~21:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 分享 3：伊拉克水資源及水庫 (Sangar) ● 課程 13：地震危害度研究及通報與應變機制 (Dan) ● 課程 14：大壩的耐震設計及分析 (David) ● 課程 15：潰壩洪水淹沒範圍模擬及災損估算 (Jose) ● 課程 16：緊急應變計畫及演練 (Ben) ● 課程 17：附屬設施檢查及評估 (Jaron) ● 課程 18：水庫的水工機械 (Lucas) ● 至 Kirk 和 Angela 家用餐
08/11 (五)	08:00~08:25 08:30~09:30 09:45~11:45 12:30~13:00 13:00~13:45 14:00~14:45 14:45~15:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 分享 4：安大略發電公司簡介 (Jenna/Joyce/Eric) ● 課程 19：混凝土壩及附屬設施更新改善 (Jason) ● 課程 20：滲流與內部沖蝕 (Dennis) ● 課程 21：AV Watkins 壩介紹 (Dennis) ● 課程 22：溢洪道上頂力及接縫入滲實驗 (Bryan) ● 課程 23：Hyatt 壩研究案例 (Elizabeth) ● 現地實習說明 (Angela)
08/12 (六)	08:15~13:00	● 丹佛導覽及文化參訪
08/13 (日)	10:00~19:00	交通：搭遊覽車從科羅拉多州丹佛移動到猶他州弗納爾 (502 公里)
08/14 (一)	10:00~12:00 12:00~17:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 參訪 2：參觀 Flaming Gorge 壩 (火焰峽壩) ● 交通：搭遊覽車從火焰峽壩移動到猶他州鹽湖城 (327 公里)
08/15	08:00~09:00	● 課程 24：混凝土壩檢查技術 (Jaron)

日期	時間	行程
(二)	09:00~10:00 10:00~10:15 11:30~13:30 15:30~14:30	● 課程 25：土石壩檢查技術 (Paul) ● 現地實習模擬檢查說明 ● 參訪 3：現地實習模擬檢查—Echo 壩 (迴聲壩) ● 參訪 4：勘查 AV Watkins 壩滲流應變及更新改善
08/16 (三)	10:00~18:00	交通：搭遊覽車從猶他州鹽湖城移動到內華達州拉斯維加斯 (689 公里)
08/17 (四)	08:30~12:30 13:30~15:30	● 參訪 5：參觀 Hoover 壩 (胡佛壩) ● 結業餐會
08/18 (五)	09:45~	麥卡倫國際機場—阿拉斯加航空 ● AS703 加州時間 09:45~加州時間 11:07 洛杉磯國際機場—長榮航空 ● BR5 加州時間 12:50~臺灣時間 8/19 17:05
08/19 (六)	17:05~	交通：從桃園機場返回溫暖的家

備註：用餐、中場休息及自由時間，以及現地實習點位間交通時間不列入。

(二) 室內課程

依據「水利建造物檢查及安全評估辦法」(110 年 10 月 5 日修正發布)第五條第一項第三款規定，主管機關辦理事項包含「水利建造物安全管理人員之教育訓練事項」。經比對水利署(代經濟部執行)每年針對各水庫管理單位辦理之「蓄水與引水建造物檢查及安全評估專業知識教育訓練」，訓練主題及內容與本次研習班相近，爰以下室內課程摘要其內容(所附圖片均截取自課程簡報)，並針對國內尚未辦理或待強化項目進行說明。

課程 1：墾務局簡介 (30 分鐘，Scott Stevens)

- 授課目標：介紹墾務局。
- 內容摘要：墾務局於 1902 年成立，為內政部所屬機關，原任務為確保美國西部灌溉水源(墾荒時期，如圖 1)，後發展為「為美國公眾的利益，以環境和經濟上合理的方式管理、開發和保護水及相關資源」，工作範圍如圖 2，並分為 6 個區域執行。為美國西部最大的水資源管理機構，擁有 492 座大壩、總蓄水量約 3,000 億立方公尺、渠道共 25,760 公里、發電資產價值 20 億美元，運轉標的包含灌溉用水、公共給水、工業用水、發電、環境、遊憩及防洪。

- 值得深入項目：暫無，持續透過水利署與墾務局長期合作平台「臺美水資源發展技術支援協議」辦理技術交流。



圖 1、西部墾荒時期照片

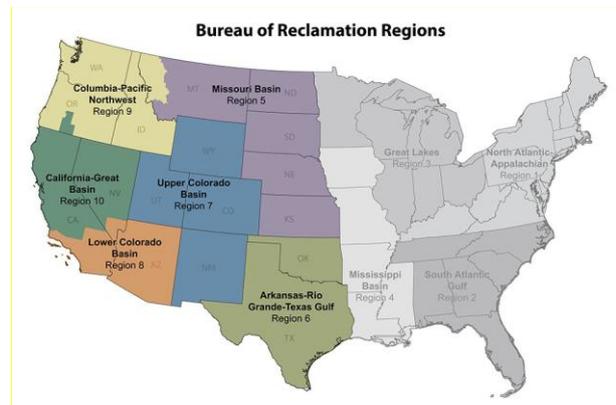


圖 2、墾務局工作範圍（彩色部分）

課程 2：大壩安全發展史（45 分鐘，Tim Tochtrop）

- 授課目標：介紹美國水庫現況、歷史破壞事件及安全管理制度發展。
- 內容摘要：
 - 美國水庫現況：從 50 至 70 年代為美國水壩建設的全盛時期，現況有大約一半的水壩已運轉超過 50 年，即已達典型的設計壽命，目前藉由定期維護、檢查、評估及維護維持水壩功能，其中約 15% 的水壩被評估為危險水壩。以擁有者來分，69% 為私人、地方政府為 20%、州政府為 5%、聯邦政府為 4%、未確定的為 1%，主管機關則以各州州政府為主。
 - 大壩破壞事件：1874 年，馬薩諸塞州的威廉斯堡壩（土石壩）因經費不足、設計不良及施工不確實，發生內部沖蝕破壞潰壩，造成 139 人死亡。1889 年，由釣魚和狩獵俱樂部擁有的私人水壩南福克壩（土石壩），因不當的改建措施（入溢洪道加網阻礙水流、降低壩頂高度增加通行空間等），導致洪水出水高不足潰壩，造成 2,209 人死亡，沖毀情形如圖 3。1911 年，賓夕法尼亞州奧斯汀壩（混凝土壩），於蓄水 2 年後因岩石基礎滑動引起的潰決，造成 80 人死亡。1928 年，加利福尼亞州聖弗朗西斯壩（混凝土壩）邊坡滑移、壩體崩壞洪水流出，造成 450 人死亡。1963 年，鮑德溫山壩（土石壩）排洪不及、基礎和壩體被水沖蝕破壞，造成 5 人死亡。以上為早期破壞事件，後續仍持續發生造成人命損失的水壩潰決事件。
 - 聯邦水庫安全規定：大壩破壞事件引起聯邦及州政府對於水壩安全的重視，啟動水壩安全計畫研擬及催生相關水庫安全管理法案。1972 年

聯邦政府通過「國家水壩檢查法案」(National Dam Inspection Act)，責成美國工兵團辦理全國水壩盤點和檢查，惟受限經費不足，最終只完成超過 68,000 座水壩盤點（盤點工作含基本資料建立，目前已完成約 84,000 座）。1978 年聯邦政府通過非聯邦轄管水庫檢查經費，責成工兵團辦理檢查，工兵團於 1978 至 1981 年間完成超過 9,000 座高危害水壩檢查工作。1979 年聯邦政府發布「水壩安全聯邦指引」（Federal Guidelines for Dam Safety），提供各水庫管理單位參考，同時推動將風險分析納入水庫安全決策，後續發展為風險告知決策。

- 墾務局水庫安全計畫 (Dam Safety Program)：執行目標為確保墾務局設施不會對公眾、公共安全、財產和環境造成不合理的風險。本計畫包含執行轄管水庫的「既有大壩安全評估」(Safety Evaluation of Existing Dams, SEED)，針對潛在危害水庫進行的「啟動水庫安全改善措施」(Initiate SOD Corrective Actions, ISCA)，以及輔助其他內政部轄管水庫的「內政部水庫安全」(DOI Dam Safety) 等工作，流程如圖 4。其中既有大壩安全評估包含 8 年 1 次的綜合檢視 (Comprehensive Review, CR)，必要時辦理專案評估 (Issue Evaluation, IE)，另成立 4 年聚集 1 次 (常態頻率，若有事件即出動) 的技術反應小組 (Technical Response Team, TRT)。
- 值得深入項目：暫無，持續依國內「水利建造物檢查及安全評估辦法」(110 年 10 月 5 日修正發布) 及「水利建造物檢查及安全評估技術規範 蓄水與引水篇」(111 年 9 月 23 日修正生效) 辦理水庫安全管理工作。

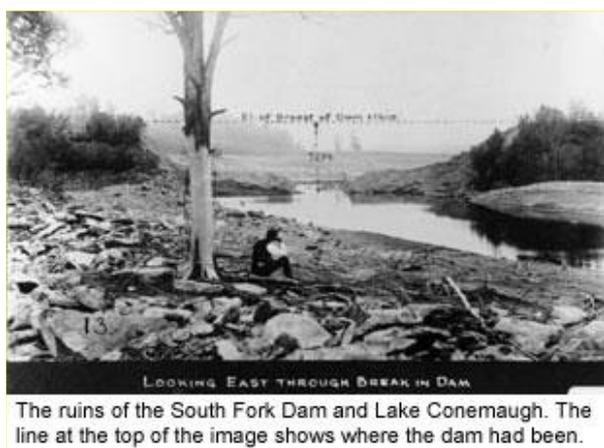


圖 3、南福克壩沖毀情形

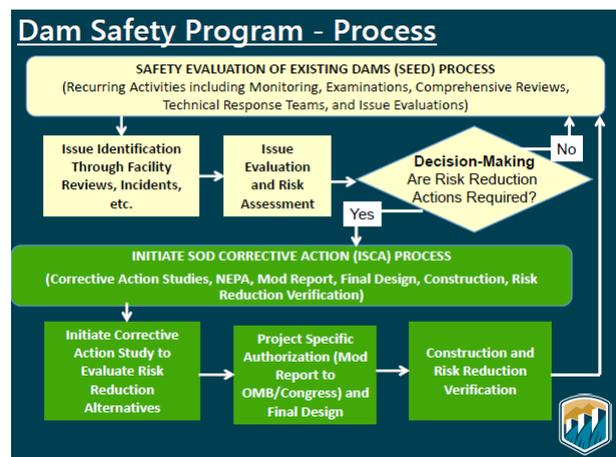


圖 4、墾務局水庫安全計畫流程

課程 3：壑務局維安計畫（45 分鐘，Matt Tracy）

- 授課目標：介紹壑務局維安計畫及執行情形。
- 內容摘要：
 - 維安組織：壑務局總部設有維安管理部門，職責包含協助各水庫維安計畫研擬、提供維安資訊（如潛在風險）、維安狀況評估（圖像化控管如圖 5）、維安問題改善措施研擬及追蹤、維安預算控管及人員管理等。轄管水庫依風險分為 4+1 級：低風險、任務等級 M1、任務等級 M2、任務等級 M3、任務等級 M4（國家關鍵基礎設施），並依任務等級執行必要維安工作。
 - 維安計畫：可分為人身安全及設施與設備維安 2 部分，其中設施與設備維安又分實體及電子 2 類。人身安全：在員工部分採職安訓練及標準作業流程方式辦理，在遊客部分採宣導及增設防護設備或措施方式辦理（如車道與人行道間設置阻隔設施，如圖 6）。設施與設備維安：實體部分如重要設施設置圍欄、門、安全攝像頭、警報系統，以及配槍警衛等，由於無法在每個水庫都安排常駐警衛，必須與當地執法機構（如警長等）成為合作夥伴。電子部份則監控資訊傳遞、操作情形、檢查文件機密或限閱等級等。
- 值得深入項目：
 - 本課程提及為利即時通報及排除異狀，壑務局各水庫均設有「看到就說」（See & Say）告示牌，提供遊客通報異狀的聯繫資訊，也提升遊客共同維護安全的認知，現場照片如圖 7 及圖 8。建議國內具有觀光或環教標的（含預約導覽）的水庫可參考使用，搭配人身安全及設施與設備維安宣導，提升遊客對自身及設施安全的風險意識，共同辦理安全管理工作。
 - 近年國際戰事頻繁，水庫等關鍵基礎設施成為攻擊目標，也出現多起炸毀壩體導致下游地區大量人命及經濟損失，對於以減災為目標的應變措施（爭取應變時間），蒐集維安情報至關重要。各主要水庫與臨近軍警單位多已簽定支援協定，惟支援內容多未明確，建議各水庫盤點軍警協定具體支援事項、確認支援通報流程及對象，以落實安全協力作業。另由於國安機構及軍方情資非公開訊息，建議水庫主管機關（經濟部）與相關單位建立通報平台及聯繫窗口，提供各水庫管理單位參考因應。

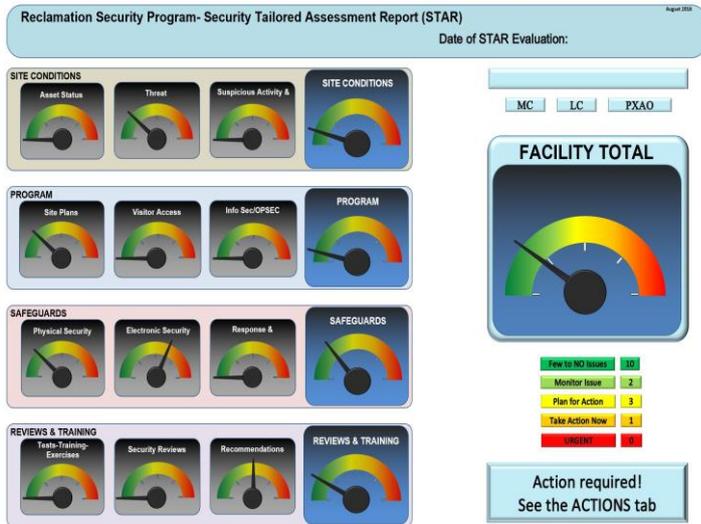


圖 5、風險圖像化控管



圖 6、車道與人行道間設置阻隔設施



圖 7、火焰峽壩「看到就說」告示牌



圖 8、胡佛壩「看到就說」告示牌

課程 4：大壩安全事件案例（2 小時，Amanda Dolezal）

- 授課目標：介紹大壩安全事件及所習得經驗。
- 內容摘要：
 - 最早的壩（之一）於公元前 2650 年在埃及建造的薩德爾-卡法拉壩（Saddel-Kafara Dam），高約 14 公尺的砂礫石心層土石壩，上、下游以石塊和砌牆包覆，在建造期間（長達 12 年）因溢頂沖刷破壞（未設置溢洪道），此後埃及人在約 800 年內均未再新建水壩。

- 依據美國於 20 世紀（1900 至 2000 年）所建高度超過 15 公尺的水壩破壞統計，1900 至 1930 年破壞 27 座（佔所建 4.5%）、1930 至 1960 年破壞 3 座（佔所建 0.3%）、1960 至 2000 年破壞 2 座（佔所建 0.06%），逐年下降，但目前美國仍有 15,029 座高危害水壩。
- 本課程共介紹 13 場大壩安全事件（非全數為破壞案例，不限於美國），包含早期（2000 年以前）的 1889 年南福克壩（South Fork Dam）、1976 年提頓壩（Teton Dam）、1965 年豐特內爾壩（Fontenelle Dam）、1925 年雪菲爾壩（Sheffield Dam）、1971 年下聖費爾南多壩（Lower San Fernando Dam）、1999 年石岡壩、1963 年瓦瓊特壩（Vajont Dam）、1911 年奧斯汀壩（Austin Dam）、1928 年聖法蘭西斯壩（St. Francis Dam）、1959 年馬爾帕塞壩（Malpasset Dam），近期（2000 年以後）的 2004 年卡馬拉壩（Camará Dam）、2005 年陶姆索克上壩（Taumauk Upper Dam）、2006 年 AV 沃特金斯壩（A.V. Watkins Dam）。以下分別擇定 2000 年以前及以後各 1 事件摘要說明。
- 1889 年南福克壩（South Fork Dam）：大壩位於美國賓夕法尼亞州，於 1938 至 1953 年間建造的土石壩，壩高 12 公尺、蓄水量 1,520 萬立方公尺，為當時世界上很大的水庫。原標的為供水至渠道，被鐵路公司購入並閒置 16 年，後由狩獵俱樂部購入並進行了不適當的改建工作（無工程師參與）。改建工作包含：1 為壩頂增設道路，將壩頂降低 0.9 公尺以利雙向通行，出水高度由 3 公尺縮減為 2.1 公尺。2 為避免水庫魚沖到下游，在溢洪道安裝魚網，影響排洪量能。3 封堵穿過壩體的放水管路，減少放水量能。1889 年 5 月 30 及 31 日發生大量降雨，溢洪道前的網卡滿流木無法即時清除，壩體溢頂破壞（如圖 9），下游地區於 10 分鐘後出現 9 至 12 公尺洪水，造成 2,209 人死亡（為當時美國歷史最多人命損失事件）、1,600 座房屋損毀、財產損失超過 1,700 萬美元。
- 2005 年陶姆索克上壩（Taumauk Upper Dam）：大壩位於美國密蘇里州，於 1960 至 1962 年間建造的土石壩（上游側混凝土鋪面），壩高 30.5 公尺、蓄水量 500 萬立方公尺，是水力發電廠的上池，與下池間有 7.6 公尺直徑、2,135 公尺長的通水隧道，在約 200 公里外遠端遙控操作（無現場目視）。持續有滲漏問題，滲漏情形為每天損失 0.6 公尺水位，於 2004 年在上游側坡面鋪設地工止水膜（Geomembrane）。原設計防浪牆頂標高約 487.4 公尺、壩頂標高約 484.3 公尺，水位告警裝置設置於防浪牆以下 0.4 公尺（極高）及 0.5 公尺（高）。2005 年 10 月管理人員發現防浪牆較低處的下游坡面有溢流沖刷痕跡，經檢視水位傳感器（由壩頂向下布設）線路彎曲，使測得水庫水位比實際低，防浪牆最低處標高約 486.8 公尺、壩頂標高約 483.7 公尺。管理人員未

即重新安裝線路，2005 年 12 月 14 日溢頂破壞（如圖 10），尖峰出流量 4,248 秒立方公尺。經檢討，抽水作業於標高約 485.8 公尺時人工停止，但水位傳感器測值比實際低了 1.28 公尺，即實際停抽作業發生於標高約 487.08 公尺，高於最低處防浪牆。

- 值得深入項目：國內水庫興建時間點普遍落於築壩技術相對成熟時段，且個別水庫營運維護人力及經費亦較美國平均值多，爰較少附屬設施異狀案例。本課程共介紹 32 個水庫安全事件（不限於美國），為工程師理解結構承載、反應及潛在破壞模式的寶貴資料，建議持續透過水利署與壑務局長期合作平台「臺美水資源發展技術支援協議」蒐集及請益，以增進國內水庫安全管理職能。

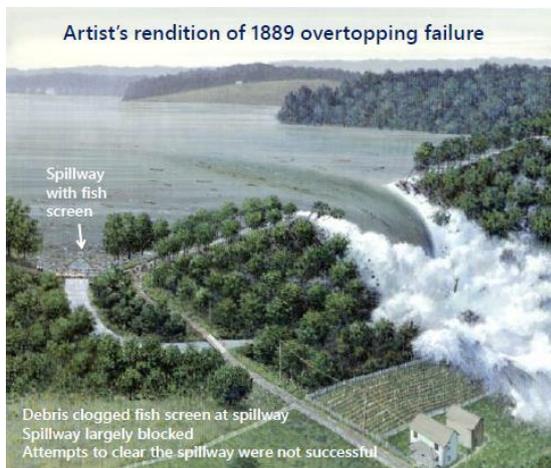


圖 9、南福克壩溢頂破壞（手繪還原）



圖 10、陶姆索克上壩溢頂破壞

課程 5：設施操作及維護（45 分鐘，Darion Mayhorn）

- 授課目標：介紹壑務局操作及維護計畫及內涵。
- 內容摘要：
 - 壑務局操作及維護計畫(Operation and Maintenance Program):1948 年制訂，以辦理完工案件的定期檢視及現場檢查，鼓勵預防性維護 (Preventive Maintenance)，有徵兆就處理，不要等到壞才修，執行效益為設施壽命延長及總支出減少，設施狀態與維護的相關性如圖 11。
 - 壑務局建造的壩(含其附屬設施)分為兩種，33%是自行管理(Reserved Works，多目標為主)、67%則委外管理 (Transferred Works，單目標為主)，壑務局均需掌握辦理情形。設施生命週期包含規劃、設計、施工、操作及維護、退役等階段，其中 80%的經費用於操作及維護階段。

- 操作工項：準備及更新年度操作計畫、預測入流及發電狀況、設施及泥砂監測、與電廠合作辦理水庫運轉、機電設備定期試運轉、緊急應變、符合健康及安全規範（含遊客）、評估設施維安狀況等。
- 維護工項：機電設備（含幫浦）定期拆解與檢查及重組、定期潤滑、定期更換油體及過濾設備與密封條、修復運轉磨耗及損傷與老化、危險物質處理、定期檢查設施、辦理必要更新改善等。
- 各設施年度操作及維護計畫完成後，針對改善事項進行分類，類別 1 為重要且立即改善事項、類別 2 重要改善事項、類別 3 較不重要改善事項，以利管理人員依人力及經費安排改善期程。針對重大維修及更換（MR&R）項目，擇以 30 年為期程辦理規劃。
- 值得深入項目：暫無，國內人力及經費許可的水庫以採取壑務局建議的預防性維護（Preventive Maintenance），有徵兆就處理，不要等到壞才修，建議持續辦理。

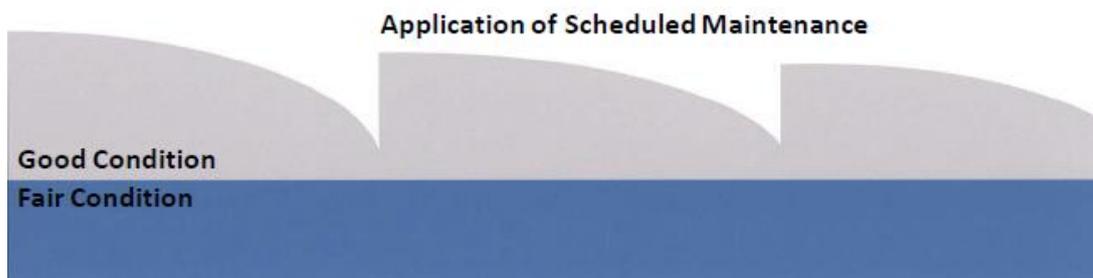


圖 11、設施狀態與維護的相關性

課程 6：監測與評估—潛在破壞模式辨識（2 小時，Amanda Dolezal）

- 授課目標：介紹潛在破壞模式及對應的監測與評估工作。
- 內容摘要：
 - 壑務局會水壩破壞（Failure，亦稱失效）的定義為「可能造成人命及巨大經濟損失的不受控制洩水」，為辨識破壞情境，壑務局自 1994 年起已將執行潛在破壞模式列入常態工作，其中針對監測儀器將檢視其即時性及有效性、是否符合現況需求，並檢討所需經費與效益。
 - 潛在破壞模式（Potential Failure Mode, PFM）大事紀：1994 年表現參數分析誕生，1995 年在美洲大壩安全官員協會（ASDSO）發表表現參數分析成果，1996 年潛在破壞模式納入 SEED 課程，2002 年聯邦能源管理委員會（FERC）導入潛在破壞模式，2005 年辦理國家大壩安全技術工作坊（主題為本課程）。

- 表現監測計畫 (Performance Monitoring Program) 內容包含定期辦理目視及儀器監測、定期辦理評估及技術檢視、地震及洪水應變。面對潛在破壞模式，需要先確認哪裡是關鍵位置及用何種方法進行監測，如滲流中的夾砂情形於初期非連續出現 (具間歇性)，即滲流是否夾砂應採連續量測方式進行，又現地目視檢查時應確認檢查地點水流是否通暢，如量水堰泥砂被蓋板擋住，如圖 12，以及如何使用經濟實惠的方式進行監測，如接縫處採噴漆或畫線方式監測位移，如圖 13。
- 值得深入項目：水利署與墾務局透過長期合作平台「臺美水資源發展技術支援協議」，已於 108 至 110 年以曾文水庫完成 3 年度的量化風險分析導入工作，108 年墾務局來臺技術交流時，安排現勘曾文水庫潛在破壞模式相關位置，討論現況監測儀器安裝位置及數量是否足以掌握潛在破壞模式發展情形，結論為正面肯定。建議各水庫管理單位面對水庫監測儀器時，應以其功能及對安全管理的效益角度切入，必要時進行調整或增設，以避免資源浪費並提高對水庫安全狀況掌握情形。



圖 12、南福克壩溢頂破壞 (手繪還原)



圖 13、接縫處採噴漆或畫線方式監測位移

課程 7：大壩安全風險分析及風險評估 (1.5 小時, Dom Galic)

- 授課目標：說明風險告知決策運作方式，風險分析及評估執行內容。
- 內容摘要：
 - 風險告知決策 (Risk Informed Decision Making, RIDM) 包含風險分析 (Risk Analysis)、風險評估 (Risk Assessment) 及風險管理 (Risk Management) 3 個層面。特別強調，執行風險分析及評估的目的非預測破壞、確認安全、取代常態維護、決策捷徑、責任釐清等。
 - 風險分析：利用一段具有足以協助水庫安全決策的細節的敘述說明破壞發展情形，此及潛在破壞模式 (Potential Failure Mode, PFM)。以內部沖蝕破壞為例，說明事件樹各節點的時序相關性及同層發生機率。內部沖蝕原則可分為 8 個節點 (但非每個水庫均相同)：發生關鍵

水位、啟動內部沖蝕、下游無濾層、滲流路徑持續維持、無法控制滲流量、無自癒能力、控制手段無效、形成潰壩。量化分析時要考慮節點與方案間的重疊與相斥情形，以及採用數值的不確定性，不確定性可用區間方式呈現於事件樹，如圖 14。

- 風險評估：風險分析處理破壞型式及其發生機率，風險評估討論災損情況、其風險是否可被接受（落於風險矩陣哪個區間），以及有無執行進一步措施的建議。量化風險除了數值及區間（考量不確定性）外，還有信心度的差異，信心度高表示即使有新資訊也不會改變分析結果，信心度低表示新資訊很可能改變分析結果。
- 特殊風險主題：除較常見的潛在破壞模式（如內部沖蝕及洪水溢頂）外，本課程亦指出項特殊風險主題，包含具有正相關的潛在破壞事件（影響整體機率加總）、施工風險分析、操作因素；其中操作因素主題以啟動專案評估的 Rocky 水庫超蓄事件為例，改善措施包含增設獨立且可自動發布警報的水位計、採色彩管理不同警示程度、控制室增設大螢幕（放大水位資訊），如圖 15。

● 值得深入項目：

- 水利署與墾務局透過長期合作平台「臺美水資源發展技術支援協議」，已於 108 至 110 年以曾文水庫完成 3 年度的量化風險分析導入工作，分別完成土石壩內部沖蝕及洪水溢頂 2 主題的研討。執行過程參考墾務局研討小組模式，並依國內可推動方式調整，研討過程確實提升工程師解讀資料、發現問題及討論收斂的能力（量化結果非分析重點、研討過程才是），建議後續若人力及經費許可，持續推廣至其他水庫。
- 針對操作因素的潛在風險，國內已發生 2 次水庫閘門誤啟動事件，經濟部已透過督導及訪查進行設施盤點，多數水庫亦已完成警報設施及告警設備建置，可有效降低風險。後續建議各水庫持續滾動檢視設施及設備狀況，參考莫非定律，詳細盤點直覺不會發生的事情。

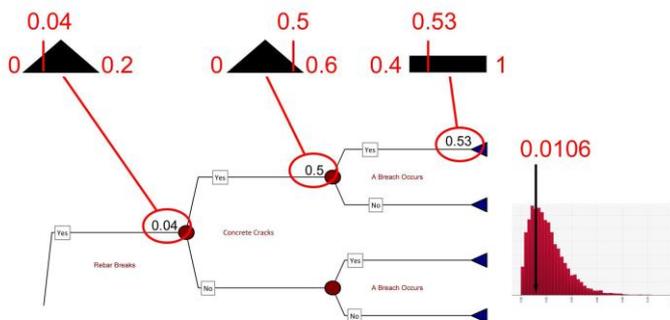


圖 14、不確定性可用區間方式呈現於事件樹



圖 15、Rocky 水庫控制室增設大螢幕

課程 8：墾務局洪水風險評估方法（45 分鐘，Doug Woolridge）

- 授課目標：說明墾務局採行的定值法及機率法洪水風險計算方式。
- 內容摘要：
 - 「洪水風險」等於「洪水災害」（年破壞機率）乘上「災損」，其中「洪水災害」又為「洪水載重」乘上「該載重下破壞機率」，並可透過定值法及機率法求得。
 - 定值法：以求得可能最大值為目標，即可能最大洪水（Probable Maximum Floods, PMF）。以吉普森壩（Gibson Dam）為例，開發及校驗流域水文模型（採用 HEC-HMS）、開發可能最大降雨（採用 HMR）、調整 PMF 模型及估計 PMF，分別計算大型降雨事件及地區降雨事件的尖峰入流量，如圖 16。但即使以 PMF 進行排洪演算水庫出水高足夠，不代表該水庫無洪水溢頂風險，仍有許多其他影響因素。
 - 機率法：以求得機率分布為目標，可採流量（依據年最大入流及歷史洪水事件）或雨量推估。以吉普森壩（Gibson Dam）為例，流量推估方式先研究集水區氣候及洪水產生機制（雨加雪），蒐集流量資料，建立年最大入流資料。雨量推估方式先開發及校驗流域水文模型、建立降雨頻率資料、輸入多組降雨資料推求多組入流歷線、繪製機率分布圖，如圖 17。可能影響分析成果因子包含外推不確定性、最新資料是否納入、採用過時方法或不適當假設、區域性值是否一致等。
- 值得深入項目：暫無。國內水庫安全評估校核洪水均依據「水利建造物檢查及安全評估技術規範 蓄水與引水篇」（111 年 9 月 23 日修正生效）辦理，也分析最大可能洪水及頻率洪水，建議持續維護及精進水文蒐集系統資料，以利更準確預估洪水風險。

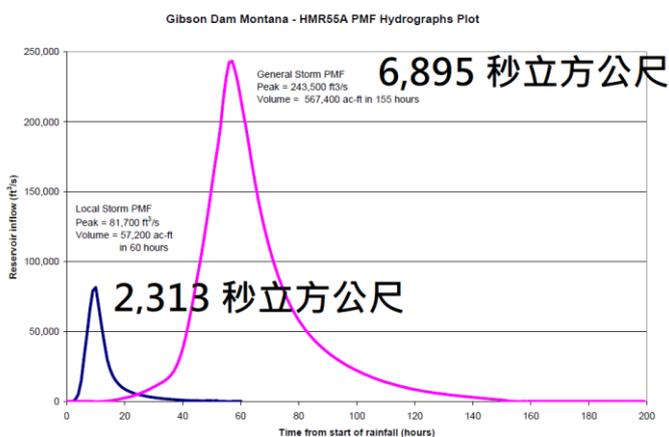


圖 16、吉普森壩定值法計算結果

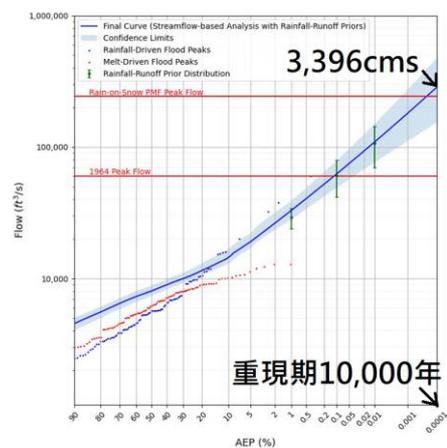


圖 17、吉普森壩機率法計算結果

課程 9：地質與大壩安全（45 分鐘，York Lewis）

- 授課目標：說明地質為水庫安全關鍵及地質條件與潛在破壞模式相關性。
- 內容摘要：
 - 水庫安全需要許多地質專家參與，所需學門包含：地震學 (Seismology)、地形學 (Geomorphology)、工程地質學 (Engineering Geology)、地質水文學 (Geohydrology)、地球物理學 (Geophysics)。課程分述各學門內涵及現地可獲取資訊。
 - 地質專家任務：1 檢視、分析及摘要歷史地質資料 (含地質災害)，2 對於現地調查提出建議、研擬計畫及執行 (如試坑、鑽探和取樣、灌入試驗、震測、地電阻測量等)，3 參加風險分析以提供團隊地質專業知識及其與潛在破壞模式相關性。
 - 在常態、地震及洪水載重下，均可能發生與地質相關的潛在破壞模式。常態包含內部沖蝕 (坦布里奇壩如圖 18)、岩塊崩解及邊坡滑動等，地震載重包含土壤液化強度減弱 (下聖費爾南多壩如圖 19)、庫水盪漾 (Seiche Waves) 沖刷、斷層貫穿錯位等，洪水載重包含溢頂沖刷、基礎淘刷、管路穴蝕等。
- 值得深入項目：水庫管理單位具地質背景工作人員數量不多，目前水庫安全多藉由委外團隊 (多為工程顧問公司) 及外聘專家協助地質工作，近年經濟部及部分水庫管理單位已加強地質方面專業訓練，惟領域與土木工程差異大，尚須吸取大量知識及現地實作始能掌握地質資訊。建議後續水庫安全管理人員持續精進對地質的理解，並於安排設計、施工、檢查 (調查) 人力時，儘可能於團隊中安排具地質背景人員，以從根本理解問題。



圖 18、坦布里奇壩內部沖蝕

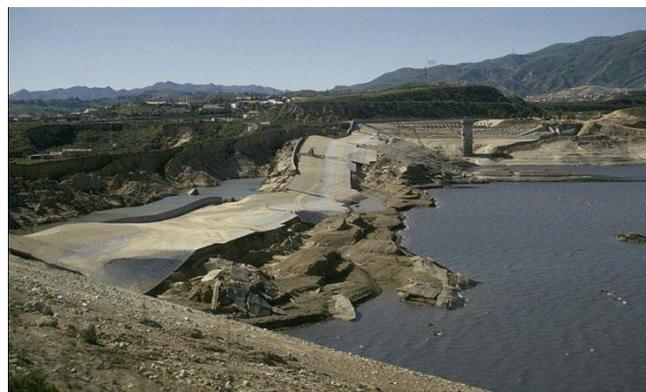


圖 19、下聖費爾南多壩液化變形

課程 10：水庫淤積、永續及大壩安全（1.5 小時，Kent Collins）

- 授課目標：說明水庫淤積狀況、嚴重性及處理措施。
- 內容摘要：
 - 淤積是所有水庫面臨的問題，會減少蓄水空間及蓄水可靠度，初期成為操作面及維護面的問題，若持續累積則會減少滯洪空間、阻塞進水口、磨損放水設施、增加混凝土壩載重（上游側土壓力），就形成水庫安全問題。
 - 淤積澄清事項：水庫淤積為全世界共通問題、淤積率變異大（連續枯旱地區容易加劇）、不加以管理會使水庫失效、泥砂監測所需經費已下降、當淤積面上升到取水口位置時水庫功能即受影響、未即早處理淤積會導致後續更多花費、淤積土砂未必攜帶污染物質、較高濁度水流符合部分瀕危魚類棲息需求（躲避天敵，如圖 20）。
 - 處理措施：早期措施是不處理，讓水庫慢慢淤滿，此方案存在世代不平等問題。內政部沉積小組委員會（Subcommittee on Sedimentation, SOS）建議聯邦單位於 2030 年前提出轄管水庫的長期土砂管理計畫，編撰方向包含 1 管理土砂（集水區減砂、繞庫或穿越等水力排砂、水庫清淤，如圖 21），2 水庫退役規劃。
- 值得深入項目：暫無。國內主要水庫均依據「水庫庫容有效維持綱要計畫」（105 年 8 月）訂有「庫容有效維持實施計畫」，以民國 120 年土砂平衡為目標滾動檢討各分項減砂（集水區保育）、清淤（陸挖及抽泥）或排砂（水力）量體，建議持續積極辦理。



圖 20、適應較高濁度的瀕危座頭鯨

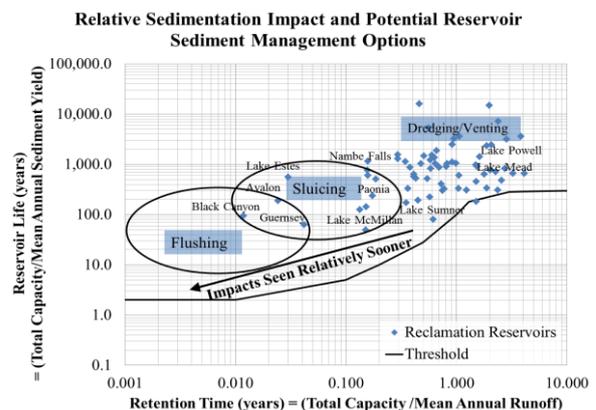


圖 21、不同泥砂管理手段

課程 11：常態操作程序及維管訓練（45 分鐘，Amanda Dolezal）

- 授課目標：說明壑務局常態操作程序及維管人員訓練情形。
- 內容摘要：
 - 常態操作程序：各水庫應備有「常態操作程序」(Standing Operating Procedures, SOP)，如圖 22，供擁有者、管理及操作人員據以辦理，其內容應包含水庫所有功能的操作說明，如基本資料（含土木及機電設施）、結構行為及監測儀器、水庫操作、聯繫清冊、緊急應變計畫、相關圖書等，以上內容須滾動更新。本課程逐項說明前述各項應包含內容。
 - 維管人員訓練：至少每 4 年參加 1 次室內訓練，課程內容可依該水庫近期主要議題（如植生控制、腐蝕問題、混凝土修補等）設計，並邀請技術專家講課，維管人員與講師互動具有相當大的效益。至少每 8 年參加 1 次現地訓練，先檢視常態操作程序、大壩安全監測計畫、緊急應變計畫，再到現場辦理操作設備檢視、監測系統檢視、目視檢查（如標記滲水區域等，如圖 23）、近期主題研討等。
- 值得深入項目：壑務局「常態操作程序」將緊急應變計畫、檢查及監測、潛在破壞模式等重要文件整理為一份資料，讓管理人員可以快速翻找。國內水庫安全資料清冊成果資料型式為主，資料量龐大維管人員不易消化，因各份文件均有一定厚度，建議後續再依據使用對象設計不同的整理方式。



圖 22、常態操作程序的本子



圖 23、標記滲水區域

課程 12：大壩的儀器監測（1.5 小時，Montana Foulke）

- 授課目標：介紹壩體監測儀器種類及監測資料分析方法。
- 內容摘要：
 - 水庫安全監測包含目視檢查及儀器監測，兩者相輔相成。緊急狀況或手邊沒有適合儀器時，目視是快速的檢查方式，但需要瞭解可能的破壞模式才能找到要觀察的東西。完全靠目視僅能看到壩體的表面，且只能得到定性資料（無法定量），安裝儀器進行定量監測在水庫各階段（含設計、施工、初次蓄水、長期觀測、緊急狀況等）均有幫助。監測頻率依據 5 個條件則定：監測目的、壩體型式、監測種類、壩體年齡及水庫操作情形。
 - 本課程逐項說明 5 個主題：1 滲流監測儀器，型式包含堰、水槽及容器；2 水壓監測儀器，型式包含水壓計（多孔管、槽管、水力、振弦）、觀測井及上頂力觀測系統；3 變位監測儀器，型式包含測傾儀、變位計、擺線儀、傾斜計；4 儀器自動化測讀（如圖 24），於高頻率資料需求、人工測讀不易、需即時或高品質資料時採用，經費較高且須定有維護計畫（如定期人工測讀校驗）以確保資料品質；5 監測結果檢視及分析（如圖 25），依據監測計畫辦理，其內容包含監測方法、頻率、限制及資料建檔等，資料品質應於現場確認，並定期由工程技術人員深入檢視及分析監測結果。
- 值得深入項目：美國工兵團持續推動航運船閘結構健康監測（Structural Health Monitoring, SHM），已於 6 座大型船閘裝設監測儀器，測值自動回傳系統進行分析，同時亦建構 2 座水庫的數位孿生系統(Digital Twins)，輸入即時監測資料分析結構狀況及潛在破壞熱點（非本課程分享內容，已由水利署於 112 年 5 月及 6 月完成初步交流並建立聯繫管道），建議後續持續瞭解最新推動狀況，於人力及經費許可下於國內水庫試辦。

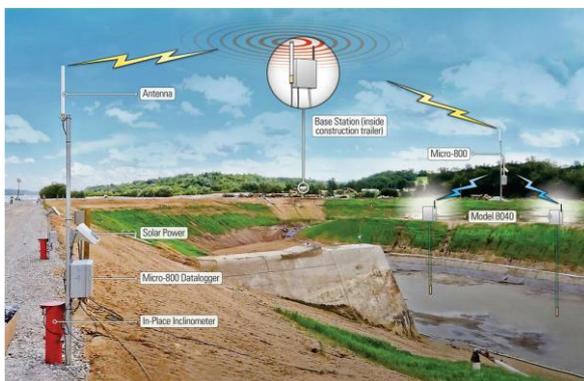


圖 24、儀器自動化測讀架構

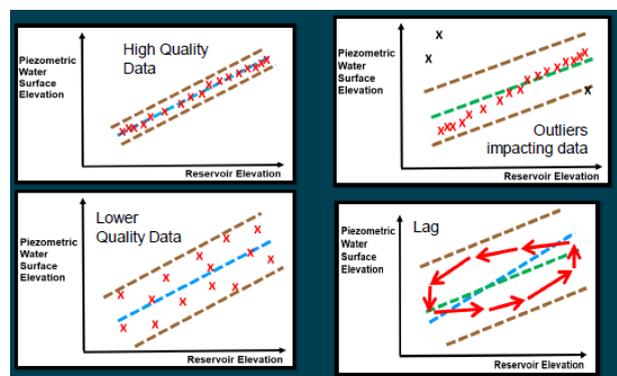


圖 25、水壓計資料分析

課程 13：地震危害度研究及通報與應變機制（45 分鐘，Dan Levish）

- 授課目標：介紹地震危害度分析方法及地震監測及通報情形。
- 內容摘要：
 - 研究地震危害度的目的為獲得機率分布曲線，除供大壩安定分析使用外，亦提供定量風險分析載重節點量化數值。其步驟包含辨識震源（含出露斷層、隱沒帶、變形區等）、確認其滑動速率及強度、估算地震值機率、發展地震歷時（動態分析時 FLAC 等軟體輸入項目）。
 - 機率式地震危害度分析（Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA）：目前廣泛應用中的分析方法，執行目標為獲得各尖峰地動值發生機率（含尖峰加速度 PGA 及速度 PGV），輸入項目包含地震目錄、衰減式、場址效應（由地質調查獲得），成果為年發生機率曲線，如圖 26。此方法仍有應用限制：其非依循數學原理推得、未經實務測試，且未能準確預測各地區最大歷史地震。
 - 地震監測目的（監測結果應用）：1 精進緊急應變作業，透過監測強度比對破壞情形，推估強度與災損相關性，以利規劃應變作為，並於地震發生時為水庫下游地區爭取更多應變時間；2 掌握長期風險，提供地震分析使用，驗正結構反應及設計，增加對地震危害度的整體瞭解。
 - 監測方式：監測點位應包含參考地動（如自由場、下孔及基礎等）及結構地動（壩頂、壩座、壩趾及廊道等），如圖 27，監測結果應與危害度分析結果進行比對。強地動監測系統的監測結果將由自動告警訊息傳遞給設定對象（通知進場檢查），並發布於網頁供閱覽。
- 值得深入項目：
 - 國內水庫安全評估地震危害度目前採用定值法及機率法併行，由水庫管理單位就水庫及周邊地質特性，擇定最後採用的最大可能地震（Maximum Credible Earthquake, MCE），並製作反應譜及地震歷時供結構分析使用，目前執行狀況尚可。惟國內地震工程專業人力培養不易、數量不多，而水庫管理人員雖已加強地震危害度理論的教育訓練，危害度概念仍有待普及化，建議持續培養分析人力及訓練管理人員。
 - 由科技部支持的「臺灣地震模型計畫」（TEM）已完成，是結合地震、地質、大地測量等研究成果所得的臺灣地區機率式地震危害度分析成果，建議邀集專家研商如何將此模型（臺灣整區）成果應用各水庫（小

點位)，並探討地質地震專業與工程專業對危害度在理解及應用上的差異，以達同步推廣應用研究成果及精進第一線維護管理的目標。

- 國內水庫多數已安裝地震儀，穩定監測中，並已獲得一定量的地震資料。監測結果目前主要用於瞭解受震情形及研判是否辦理特別檢查（各水庫定有地震震度的特別檢查門檻），而水庫場址各測站監測結果（即壩址與壩座及壩基等）未充分進行比對及研究，建議後續於確認各地震儀設置點位代表地動性值後，試辦場域受震相關性驗正。同時，亦可針對水庫場址與臨近氣象局測站監測結果，進行所屬地質、地層及監測結果比對。

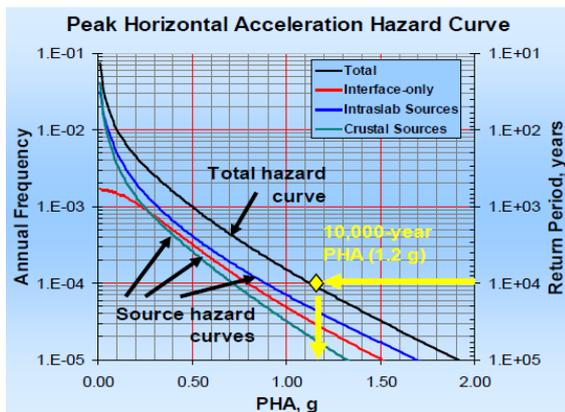


圖 26、機率式地震危害度分析成果

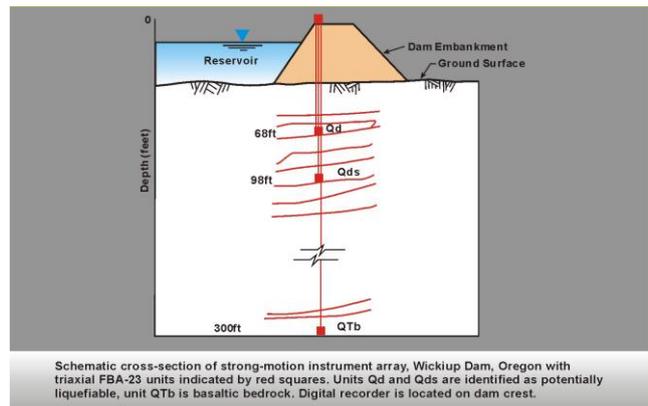


圖 27、垂項監測分布示意

課程 14：大壩的耐震設計及分析（30 分鐘，David Gillette）

- 授課目標：介紹土石壩及混凝土壩地震危害項目及分析方法。
- 內容摘要：
 - 土石壩：地震分析項目包含動態反應、液化潛勢、震後安定性、壩體變形情形、裂縫及管湧潛勢等，分析時應將不確定性（地震載重、材料特性及模式不確定性等）納入考量。執行原則為在必要情況下（非必要不要浪費時間及人力），儘可能辦理分析以獲得必要資訊。新建土石壩設計原則（如圖 28）：移除或處理基礎中的潛在液化材料、壩體採適當分區設計（厚的心層、濾層及過度區）、保留充足出水高度、上游設計砂礫層（阻斷裂縫及滲水）、壩基整形（減少裂縫產生機率）。
 - 液化潛勢（下聖費爾南多壩案例如圖 29）：分析模型需設定壩體或基礎的材料參數，除文獻資料外，可透過現地貫入試驗獲得，貫入型式有標準貫入試驗（Standard Penetration Test, SPT）、貝克錘貫入試驗（Becker Penetration Test, BPT）及圓錐貫入試驗（Cone

Penetration Test, CPT) 等。模型分析則需參考剪力波速，可透過多組下孔式監測設備，或人工震源及多組地表監測點獲得。

- 混凝土壩：地震分析項目包含基礎交界及穩定性、仿靜態分析（滑動及翻轉）、仿靜態或動態有限元素分析、滲流及排水系統（排水功能是否正常）等。新建混凝土壩設計原則（如圖 30）：設計良好尺寸、移除基礎中已風化或破碎的岩層、設計排水及灌漿控制上頂力、壩體及壩座加入錨錠等。
- 值得深入項目：臺灣屬於地震高發生率地區，水庫設施多已將地震危害納入考量，惟屬於現況不可見的地質特性（壩體內部、壩基及壩座）部分，僅能藉由文獻瞭解，建議在人力及經費許可下，邀集地質與土工專家辦理水庫場址地質討論，並適時辦理地物相關調查工作，進一步掌握地震發生時可能出現的異狀及擬訂搶修險對策。另現況結構未符合本課程介紹的新建設計原則的水庫（含土石壩及混凝土壩），建議加強檢查及監測，必要時辦理改善。

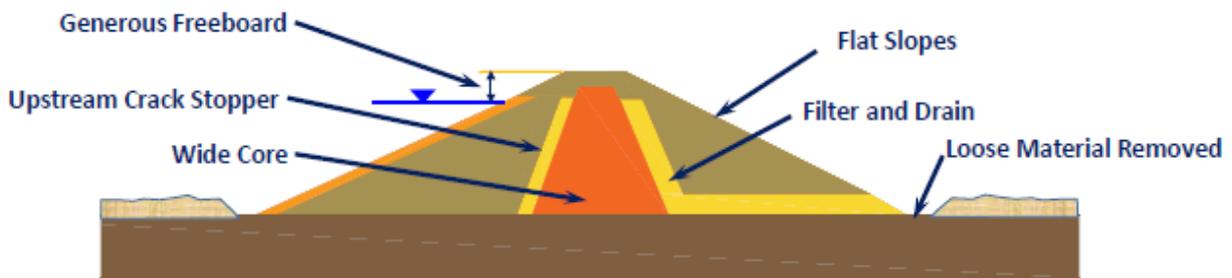


圖 28、新建土石壩設計參考斷面



圖 29、下聖費爾南多壩液化案例（壩體）

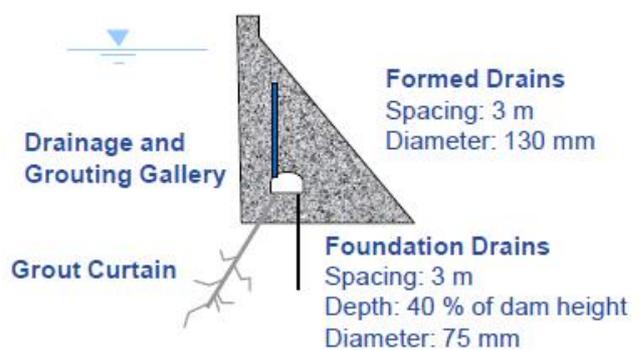


圖 30、新建混凝土壩設計參考斷面

課程 15：潰壩洪水淹沒範圍模擬及災損估算（75 分鐘，Jose Cestero）

- 授課目標：介紹潰壩水文及水理分析、淹水範圍計算及災損評估方法。
- 內容摘要：

- 潰壩出流：可採用經驗公式（Empirical Equations）或數值模擬（Numerical models），經驗公式與壩體幾何型式相關，可得尖峰出流及尖峰發生時間點，數值模擬與最終潰口及完潰時間等設定相關，可得潰壩出流歷線；壩體材料參數是否影響分析結果未定，數值模式多僅能設定其沖刷難易度。
 - 河道演算：可採一維(One-dimensional, 1D)或二維(Two-dimensional, 2D)方式計算，分析結果比較如圖 31。一維分析需給定主流線及沿線橫斷面，計算時假設水流在各斷面等速均勻流動，分析結果套入地理資訊系統產出河道水流範圍。優點為分析快速、對長河川有效、納入下游結構物（壩或橋等）方式簡單；缺點是主流固定、斷面流況均勻、無法適切掌握橫向流體、能力損失及衰減由斷面間距決定。二維分析以地表（主控分析精確度）為模擬基礎，水流可沿流向（X）及其水平垂直向（Y）移動（垂直垂直向 Z 假設均勻），計算每個網格流動資料（如深度、速度及流量等），網格又分為固定及可調 2 種設定，分析結果可直接套入地理資訊系統展示。優點為適用較平坦分析區域、適用複雜的分流情境、可獲得每個網格流量資訊；缺點是分析時間長、受分析設備能力限制、產出容量較大的成果。
 - 淹沒範圍：淹沒區域圖資（範例如圖 32）應至少包含潰壩情境、模擬方式、圖資使用方法、最大淹沒水深、最大淹沒深度（Depth）與速度（Velocity）的乘積（DV）、前緣傳播時間（洪水波前位置及抵達時間）、重要點位的尖峰流量（或流量歷線）及到達時間。
 - 災損評估：潰壩災損包含人命及經濟損失、環境及文化資產破壞等，墾務局以風險管理基礎及災害防救角度切入，災損評估僅考量人命損失。分析災損（死亡率）的關鍵因子為洪水強度（Flood Intensity）及預警時間（Warning Time），其中洪水強度以洪水深度（Depth）與洪水速度（Velocity）的乘積（DV）表示，預警時間則相對複雜，含上游告警、下游接收、下游決策、實施措施（如撤離）等階段所需時間。評估方法可分經驗公式及數值模擬，經驗公式可參考墾務局 DSO-99-06 表件及災損評估方法文件（Reclamation Consequences Estimation Methodology, RCEM），數值模擬可使用美國工兵團 LifeSim 模式或加拿大卑詩省水電公司 Life Safety Model。
- 值得深入項目：
 - 國內各水庫均訂有潰壩緊急應變計畫（潰壩無下游災損可報主管機關同意免辦），本文件屬於限閱性質（僅供緊急應變作業使用），內容包含本課程所述潰壩出流、河道演算、淹沒範圍，以及相關緊急應變組織、任務及通報資訊等。其中淹沒範圍為提供下游地方政府主要資訊，

除壩體至出海口整體範圍外，再以區或鄉等級出圖，以利相關人員參考使用。惟分析資料並未採本課程建議的方式整合於圖面，亦未提供細部分析資料，如 DV、前緣傳播時間、重要點位尖峰流量（或流量歷線）及到達時間等，建議後續可考量新增。

- 淹沒範圍、深度及其淹沒發展情形，在緊急情況下對下游地區疏散作業有關鍵影響，即淹沒圖資可視為災防體系應變措施的重要參考資料。國內社會目前對於水庫(人工構造物)潰壩的可能影響尚無具體瞭解，即對於潰壩風險（發生機率無法歸零）未有足夠準備。部分水庫已於整備維護檢查演練中納入可能潰壩時下游地區疏散項目，惟仍侷限於該次演練人員，建議後續適時循序推動以增進風險認知，逐步採研商會議、高司推演、實兵演練等方式進行，以達防患於未然目標。

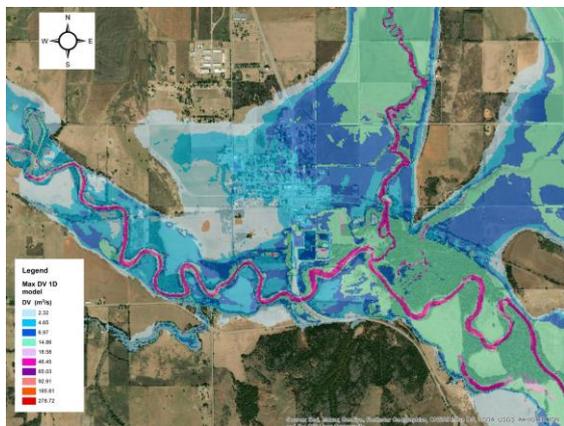


圖 31、一維及二維分析結果比較

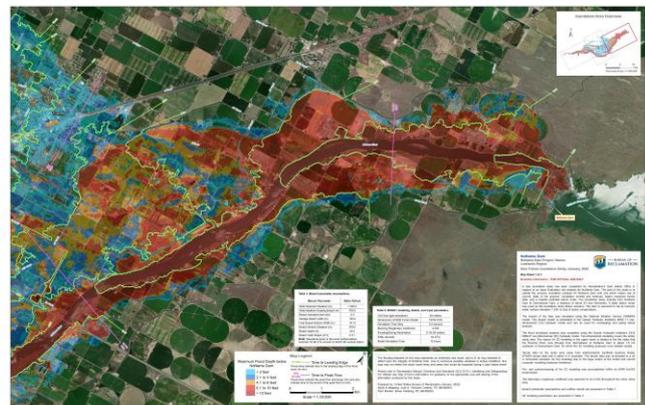


圖 32、新建混凝土壩設計參考斷面

課程 16：緊急應變計畫及演練（1 小時，Ben Claggett）

- 授課目標：明確水庫對下游地方形成的洪災風險不可避免，說明緊急應變管理、計畫及演練內涵，及其執行步驟及原則。
- 內容摘要：
 - 水庫的共通性為攔水以提供各種水資源益處，同時也對下游地區人口、環境及設施存在不可避免的洪災風險。
 - 緊急應變管理 (Emergency Management)：目標為完成災害準備，循環式階段包含整備(Preparedness)、應變(Response)、復原(Recovery)、減輕(Mitigation)。
 - 緊急應變計畫 (Emergency Action Plan, EAP) 應為內容完整且分類清楚的書面資料，內容包含：1 水庫管理者面對破壞事件時快速採行處理措施的反應程序，2 通知公共安全管理人員任何可能導致下游地區人口遭受洪害風險的作業程序。

- 緊急應變演練：目標是增加各單位執行熟練度，可分為 2 種進行方式（研討及實作）及 7 種不同演練強度（自演討性質至全面演練），執行程序包含演練籌備團隊建立、設計主題（腳本）、演練、評量演練狀況、撰寫檢討報告。

- 值得深入項目：

- 應變需要明確步驟：美國辦事很喜歡標準作業程序（SOP），乍看上有點繁複的整備，對於很容易造成慌亂的緊急情況具有明顯定心效果，提供管理人員逐步完成應變工作的指引。此執行原則充分體現在緊急應變計畫書面資料整理及使用方法上，如採用顏色管理及表格化方式整理資料、呈現不同階段及對應措施等，如圖 33 至圖 35。
- 落實橫向聯繫：自從幾次大型災後後，美國的災害應變體系經檢討改革已趨於完善，中央及地方政府單位編列相當多經費辦理災害通報及處置演練工作，且民眾也普遍接受災害是可能發生的事實。國內水庫原則每年汛期前辦理防汛演練、年度辦理整備維護演練、配合地方政府民安演習、關鍵基礎設施另辦理安全防護演練，主管機關（經濟部及國土辦等）亦不定期至水庫督導執行情形，系統應屬完整。惟在橫向聯繫機制及清單部份，尚有標準化及即時更新的精進空間，如落實設計主題（腳本）時與外部單位充分討論，如圖 36，或規劃不同強度的演練以增加聯繫頻率（目前橫向聯繫主要存在大型演練），如圖 37。

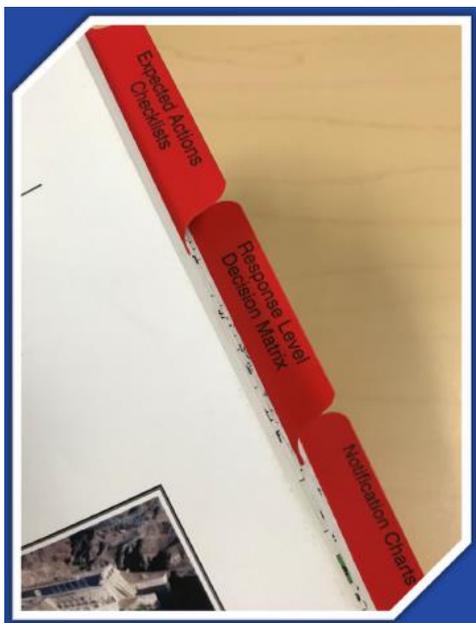


圖 33、資料標籤以顏色分類階段

Agency Superintendent		Agency Superintendent					
Expected Actions Checklist	Internal Alert	RL 1		RL 2		RL 3+	Initial
	Time Date	Time Date	Time Date	Time Date	Time Date	Time Date	
1	Ensure that an Incident Commander has been designated for the incident.						
2	Ensure Incident Commander has completed all associated expected actions, especially:						
	a. Ensuring a Response Level is determined and updated according to the incident circumstances.						
	b. Ensuring notifications are being made as shown on the Notification Chart.						
	c. The Expected Actions Checklists are being completed by the corresponding responsible personnel.						
3	Support development of press release. (Must correspond with the NWS media release.)						
4	Request status reports on conditions at the dam as needed.						
5	If appropriate, proceed to (or remain at) the designated Command Post.						
7	Ensure that all personnel have been evacuated from below the dam when conditions indicate the need. Talk to Incident Commander.						
8	When appropriate, verify location of all on-duty staff (employee accountability).						
9	Notify Regional Dam Safety Coordinator at termination of a RL1 incident or declaration of a Response Level 2 or greater.						
<small>IC=Incident Commander, RL=Response Level, NWS=National Weather Service</small>							
Documentation Requirements (Agency Administrator):							
10	Record all calls, actions and activities on the ICS-214 form-Activities Log to ensure complete record of the incident and decisions made.						
<small>* See Official Forms and Reporting section for forms and further reporting information.</small>							

圖 34、應變措施執行情形檢核表

峽谷壩等)；結構或材料問題含錯動與位移(如台伯河壩等)、材料劣化(如弗里安特壩等)。

- 值得深入項目：國內水庫興建時間點普遍落於築壩技術相對成熟時段，且個別水庫營運維護人力及經費亦較美國平均值多，爰較少附屬設施異狀案例。本課程簡報共觸及 32 個水庫設施損壞情形(不限於美國)，如圖 38 及圖 39，為工程師理解結構承載、反應及潛在破壞模式的寶貴資料，建議持續透過水利署與壩務局長期合作平台「臺美水資源發展技術支援協議」蒐集及請益，以增進國內水庫安全管理職能。



圖 38、佛森壩穴蝕情形



圖 39、El Guapo 壩溢頂沖蝕破壞

課程 18：水庫的水工機械(1 小時，Lucas Adams)

- 授課目標：說明水工機械(閘與閘)種類、檢查要領及破壞案例。
- 內容摘要：
 - 水工機械可概分為閘門及閘門，主要功能為阻擋或調節水流。
 - 介紹不同型式的閘：多位於管路中(即葉片沒於水中)，型式包含球閘(含導引型式)、Ensign 閘(針閘的前身)、蝶閘、錐閘(含套筒型式)、旋塞閘、空氣閘、空噴射閘、管閘、柱塞閘、套筒閘等。
 - 介紹不同型式的閘：操作方式葉片離開水流，型式包含倒伏閘、鼓形閘、環形閘、Obermeyer 閘(倒伏閘與充氣橡皮袋的組合)、弧型閘、輻式閘(卷閘)、Stoney 閘、捲揚閘、聯結閘、定輪閘、環形閘、附環閘、帶帽滑動閘、射流閘、鋤刀閘等。
 - 閘與閘的定期檢查：1 目視檢查有無損壞情形，檢查重點為聯結情形(是否對位)、是否有腐蝕、斷裂(裂紋)或洩漏、機組潤滑狀況等，並提供維護不良情況說明及破壞案例，如圖 40 及圖 41。2 操作測試

運轉狀況，可分為無水測試（平衡水頭）及有水測試（不平衡水頭），目的為確認現況、早期發現問題、排除放水通道阻礙。

- 透過掌握不同開度的閘門受力情形（如弧型閘門最大受力在初開啟狀態、直立閘門最大受力在 10%開度狀態），規範不同的試運轉頻率及開度，原則每年辦理全開無水測試（平衡水頭）、視閘閥型態採不同時距辦理不同開度的有水測試（不平衡水頭）。
- 值得深入項目：國內水庫在人力及經費許可下，水工機械維護狀況大致良好，惟管路型（如壓力鋼管內部閘閥）多受滿水及管路不可通行限制檢查工作，而出露型（如溢洪道弧型閘門）多有不可全面到達情況。近年美國墾務局啟動管路內部機器人輔助檢測技術研究（此主題已納入 113 年「臺美水資源發展技術支援協議」工作項目），美國工兵團亦發展以非接觸式影像辨識方式（非本課程分享內容，已由水利署於 112 年 5 月及 6 月完成初步交流並建立聯繫管道）辦理閘門結構安全監測，建議持續蒐集相關資料，以精進水工機械安全管理技術。



圖 40、破壞案例：未對位造成出水管破裂



圖 41、弧型閘門桁臂受力變形

課程 19：混凝土壩及附屬設施更新改善（1 小時，Jason Schneider）

- 授課目標：說明出水管及溢洪道更新改善主因及案例。
- 內容摘要：
 - 出水管更新改善：主要可能異狀為不規則流況、管路腐蝕或破裂、無法啟閉閘閥、沿著或進入管道的內部沖蝕等。更新改善案例說明，1 箭岩（混凝土壩）出水管更新閘門及控制設備，2 Costilla 壩（土石壩）出水管新建取水塔、工作橋及控制設備，如圖 42，3 牧場峽谷壩出水管新建分水設施及出口導管。

- 溢洪道更新改善：主要可能異狀為穴蝕、上頂力破壞、向源侵蝕、排洪能量不足、結構性問題等。更新改善案例說明，1 McPhee 壩（土石壩）溢洪道洩槽增設起跳補氣設施，如圖 43，2 迴聲壩（土石壩）溢洪道上部洩槽及側牆重建、3 吉普森壩（混凝土壩）壩座易沖刷材料移除、增設鋼筋混凝土鋪面、壩頂增設破水補氣柱，4 羅斯福壩（混凝土壩）改善由風險告知啟動，包含壩體加高、改善溢洪道及新設取水工，5 Pueblo 壩（混凝土壩）溢洪道消能池改善。
- 值得深入項目：隨著國內校核洪水及校核地震檢算結果持續攀升、氣候變遷下水文不穩定水資源調度工作日益艱難、水庫設施及設備使用時間漸長逐步老化等因素，已有多座水庫完成更新改善工作或刻正評估辦理。建議持續向國際水庫管理單位（如壑務局）瞭解其更新改善工作，除可增進工程技術外，亦可激發改善創意，並藉由風險告知方式（執行潛在破壞模式），即早發現潛在風險並研擬改善措施，使水庫能安全且穩定運轉。



圖 42、Costilla 壩新建取水塔及相關設備



圖 43、McPhee 壩溢洪道增設起跳補氣設施

課程 20：滲流與內部沖蝕（2 小時，Dennis Hanneman）

- 授課目標：瞭解內部沖蝕機制及潛在破壞模式，並透過案例分享汲取經驗。
- 內容摘要：
 - 破壞案例：內部沖蝕因為初期階段不易察覺（位於內部）、可能已默默發展多年，且沖蝕發生後不易控制等因素，往往有評估（掌握）困難，並可能發生在任何階段的水庫（初期蓄水或營運中）。知名破壞案例包含鮑德溫山壩、提頓壩、鶴鵝溪壩、豐特內爾壩、AV Watkins 壩等，壑務局轄管水庫共有 97 個內部沖蝕事件，其中 1 件（提頓壩）發展至水庫破壞，如圖 44。
 - 內部沖蝕介紹：壑務局則將內部沖蝕機制分為沖刷（Scour）、向源侵蝕（Backward Erosion Piping）、內部潛移（Internal Migration）、

內部不穩定 (Internal Instability) 等 4 種，分別說明發展條件及情形。其潛在發展位置包含經過壩體、壩基、壩體至壩基、沿穿越性結構物、進入排水系統等。

- 穿越性結構物：為應加強關注的內部沖蝕熱區，包含溢洪道及出水工管路、溢洪道結構、排水管、涵洞等，主要弱點為結構物周邊夯實不易、與周邊因材料性質不同易形成裂縫或間隙。為減少此類破壞，壩務局訂有底層穿越性結構物設計規範，鋼管及兩側趾部應以混凝土包覆，如圖 45，並排除以截水環 (Cutoff Collars) 為阻水方案。
- 強調應變通報：成立技術反應小組 (Technical Response Team, TRT) 定期檢視潛在破壞模式及監測結果，以利於異狀出現時辦理緊急應變工作。發現異狀時的通報重點為地點、該處檢查頻率、滲水是否混濁、流量是否增加、水庫水位及歷程、水庫操作情形、監測儀器數值、近期天氣等，必要措施包含加密紀錄 (空中全域影像佳)、圖面標示易狀分布、量測滲流及出砂情形、確認聯繫管道、通報下游地區單位等。
- 介紹聯邦緊急事務管理署 (FEMA) 3 份參考資料：1 為 2015 年出版的「滲流及內部沖蝕評估及監測」(Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion) 手冊，2 為 2011 年出版的「土石壩濾層」(Filters for Embankment Dams) 手冊，3 為 2005 年出版的「技術手冊：土石壩穿越性結構物」(Technical Manual: Conduits through Embankment Dams) 手冊。
- 值得深入項目：水庫管理單位的緊急應變初期作業包含 3 部份，1 為發現異狀所需時間，2 為辨識及研判異狀所需時間，3 為完成對應窗口通報所需時間，其後則為水庫管理單位的緊急檢監測及搶修措施所需時間，以及被通報單位啟動與執行應變所需時間。良好的初期作業有效縮短應變時間，即表示可在破壞發展較早期介入控制，並為下游地區爭取較多應變時間。建議強化水庫管理人員異狀研判能力、加強通報對象及程序熟悉度，並定期更新下游單位聯繫窗口及說明不同異狀通報時其代表意義。

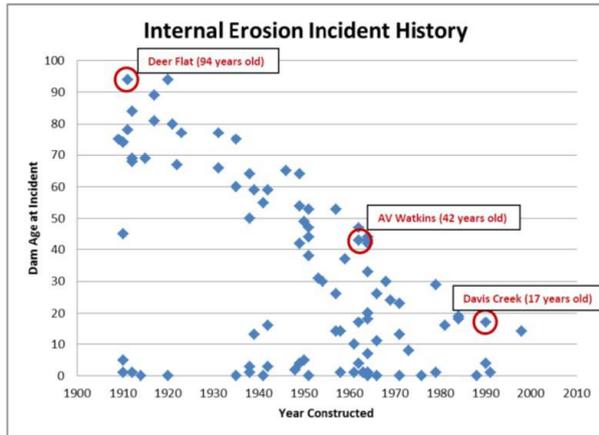


圖 44、墾務局內部沖蝕事件分布情形

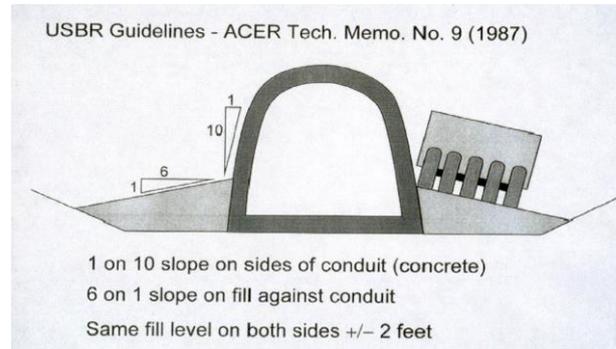


圖 45、穿越性結構物設計規範

課程 21：AV Watkins 壩介紹（30 分鐘，Dennis Hanneman）

本課程內容已併如（三）參訪實習「參訪 4：勘查 AV Watkins 壩滲流應變及更新改善」說明。

課程 22：溢洪道上頂力及接縫入滲實驗（45 分鐘，Bryan Heiner）

- 授課目標：分享溢洪道上頂力破壞機制、案例及實驗成果。
- 內容摘要：
 - 上頂力破壞 (Hydraulic Jacking) 機制及案例：由洩槽接縫處錯位導致高速水流遲滯及入滲所致，破壞型式分為 1 上頂力大於堰版下拉力時瞬間破壞，2 入滲水流淘刷堰版下方基礎導致淘空後堰版斷裂崩落破壞，並舉奧羅維爾壩及聖瑪莉峽谷落差排水設施（如圖 46）為例。減輕措施包含接縫防水措施、堰版設計固定釘與鍵接及錨釘（工作人員應瞭解上頂力）、堰版下方設計排水系統（設計人員應瞭解流況）。
 - 奧羅維爾壩溢洪道實驗：建構大型水工模型模擬奧羅維爾壩溢洪道放水情形，接縫下游側堰版為可調式設計（突出上游側堰版及與上游測堰版間距），其下接排水管及量水堰以測量入滲水量，如圖 47。實驗結果與前期物模研究及公式推導結果相符，且得到比預期多的人滲量（即潛在上頂力），大大增加對溢洪道堰版破壞行為的瞭解。除光滑壓克力堰版外，也正在辦理較接近現場狀況的粗糙面（混凝土）及不規則裂縫的實驗。
- 值得深入項目：本課程已藉由水利署與墾務局長期合作平台「臺美水資源發展技術支援協議」，洽商講師於 112 年來臺技術交流期間於國內辦理分

享，我方易針對曾文水庫溢洪道現況進行說明，研討熱絡，建議後續盤點國內溢洪道檢查結果，持續追蹤壑務局實驗成果並辦理技術交流。



圖 46、聖瑪莉峽谷落差排水設施



圖 47、可調式堰版及入滲集水設備

課程 23：Hyatt 壩研究案例（45 分鐘，Elizabeth Ouellette）

- 授課目標：說明 Hyatt 壩更新改善歷程。
- 內容摘要：
 - 更新改善歷程：Hyatt 壩依循壑務局風險管理流程逐步完成改善工作，2009 年壩趾滲流狀況改變，2010 年辦理專案評估 (Issue Evaluation, IE) 以蒐集資料及評估滲流與內部沖蝕關注狀況，2011 至 2016 年改善措施研究 (Corrective Action Study, CAS) 提出改善方案及風險調降措施，2017 年辦理改善工程，2018 年水庫重新蓄水及風險降低措施驗證。
 - 潛在破壞模式 (Potential Failure Mode, PFM)：經盤點存在數個潛在破壞模式，其中 2 種常態條件下的內部沖蝕為主要關注項目，如圖 48。PFM1 為下游壩體發生內部沖蝕流入無濾層的趾部排水，PFM2 為壩基玄武岩裂縫引發內部沖蝕流入無濾層的趾部排水。
 - 改善工程：原設計包含壩體及壩基（含下游側）開挖與材料清理、下游壩面及趾部排水增設濾層、濾層上方培厚處理、趾部排水灌漿、增設壩體及壩基滲流觀測井、既有出水工改善，施工期間水庫配合調降水位及加強監測，改善工程橫剖面如圖 49。施工期間依現場狀況滾動檢討，新增第 2 個滲流觀測井，放棄既有趾部排水改善及第 2 期灌漿（開挖仍無法定位），壩基新增灌漿工作及新設趾部排水等。
- 值得深入項目：壑務局表示選擇 Hyatt 壩為案例進行更新改善說明，係因為整個過程循壑務局風險管理流程辦理，非破壞事件發生後的緊急處置，符合推動風險告知機制的本意。國內已有數起更新改善案例，但改善資訊

和過程分散在不同文獻及報告中，建議可循 Hyatt 壩模式整理案例說明，內容依序為發現（或辨識出）問題、改善研究、改善工程、風險減輕措施檢核、維護管理現況等，以確保資料完整性及供水庫管理單位參考。

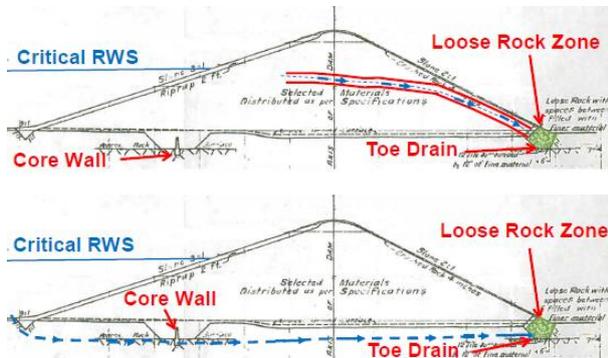


圖 48、2 種潛在破壞模式示意圖

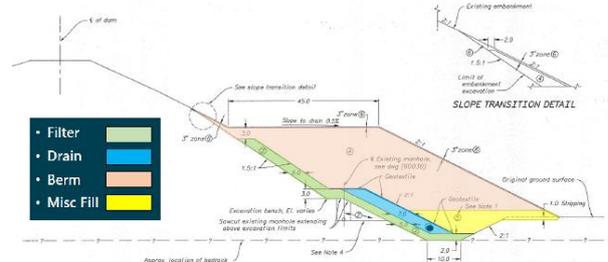


圖 49、改善工程橫剖面圖

課程 24：混凝土壩檢查技術（1 小時，Jaron Hasenb）

- 授課目標：介紹混凝土壩型式、檢查位置及要領。
- 內容摘要：
 - 混凝土壩的主要型式有重力壩（Gravity Dam）、拱壩（Arch Dam）、撐牆壩（扶壁壩，Buttress Dam）、複合壩（Composite Dam），分別介紹以上 4 種壩體的結構型式及介紹代表水庫，其中複合壩為組合混凝土及土石壩等不同壩型的壩體，如圖 50。
 - 混凝土壩主要檢查位置包含基礎和壩座、上及下游壩面、壩體內部廊道、壩頂。常見問題包含混凝土材料（如裂縫及穴蝕等）、差異變位、基礎及回填料、滲流（如圖 51）、排水等。本課程逐項說明檢查重點（位置）及檢查要領。
- 值得深入項目：暫無，持續依據混凝土壩檢查要領辦理國內水庫檢查。



圖 50、複合壩案例（混凝土壩及土石壩）



圖 51、壩體施工縫滲水

課程 25：土石壩檢查技術（1 小時，Paul Craig）

- 授課目標：介紹土石壩型式、檢查位置及要領。
- 內容摘要：
 - 土石壩主要檢查位置包含基礎和壩座（重點為接觸位置）、上及下游壩面、壩頂。採用系統的檢查方式，如平行壩軸或 Z 字型檢查線，以查看全部的壩面及周圍區域，檢查時間應包含不同水庫水位狀態，並以科技（如相機）協助建立檢查資料，以讀者視角製作檢查紀錄，如圖 52。
 - 土石壩常見問題包含壩頂裂縫及局部沉陷、壩體植生及動物挖掘、壩體及壩座交界處滲流、壩面局部陷落、壩趾下游砂湧、出水工沖蝕淘刷、附屬設施混凝土損壞、沿穿越性結構物管湧、壩基穩定性失效，如圖 53。本課程逐項說明檢查重點（位置）及檢查要領。
- 值得深入項目：建議後續以讀者視角製作檢查紀錄，即整合原文字及照片分別呈現的檢查結果，改以標註說明的照片或圖資等方式呈現；同時持續依據土石壩檢查要領辦理國內水庫檢查。



圖 52、以讀者視角製作檢查紀錄

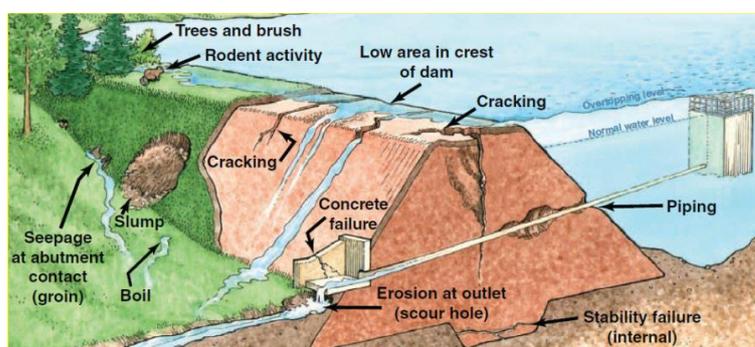


圖 53、土石壩常見問題

學員分享：臺灣的壩及曾文水庫案例（25 分鐘，蕭軒梅）

- 分享目標：向其他學員介紹臺灣、水利署及水庫管理作為。
- 內容摘要（簡報詳附錄 2，現場分享情形如圖 54）：
 - 基本介紹：臺灣地理位置、水利署組織架構、臺灣的水庫及運用標的、颱風頻繁情形及對水庫濁度及淤積影響狀況、地震頻繁情形及石岡壩與鯉魚潭壩破壞案例、水庫管理制度及安全評估執行流程。
 - 曾文水庫案例：水庫運轉資料及設施現況、校核洪水發展歷程與挑戰（莫拉克颱風）及更新改善工作（心層加高及新建防淤隧道）、校核地

震發展歷程與挑戰(集集大地震)、108~110年量化風險分析推動情形(內部沖蝕及溢頂主題)。

- 來自臺灣的魚茶包：本次學員約 50 位，分別來自巴西、伊拉克、巴拉圭、美國、南非、加拿大及臺灣，為了增進熟悉感及表示友好，參訓前特別準備金魚造型的臺灣茶包 60 份，以自己手工折疊的牛皮紙袋分裝，再用國旗貼紙封口，照片如圖 55，除藉著臺灣分享時段贈予其他學員外，也分送現場講師。

● 建議事項：

- 簡報結論：既有安全評估體制為基於標準的檢核方式，可供水庫管理單位快速上手、完成評估及必要的改善。若可搭配採用風險告知概念的風險分析研討，可供水庫管理單位更深入掌握水庫狀態及潛在風險，同時強化管理人員針對水庫關注議題的理解、分析、提問及凝聚共識能力。前述兩種方法併行將有助國內水庫安全評估技術穩定提升。
- 主動出擊：本次分享採自由報名，再由墾務局依報名組數安排報告時間長度及報告日期，建議後續因公出國團隊若有此類機會要把握，除顯示學員積極參與研習課程、無私分享知識技術外，亦有宣傳臺灣的正面效果，學員對於曾文水庫能在頻繁颱風及地震威脅下保有韌性感到驚訝及肯定。另具有臺灣獨特性的小型伴手禮具有畫龍點睛的效果，金魚茶包有相當大的破冰效果，臺灣平價精品深受學員及講師喜愛。

● 餘 3 場學員分享簡述如下：

- 巴拉圭：分享位於巴拉圭及巴西邊界的伊泰普水電站構造及發電量，水壩如何由多個單位(跨國)共同經營管理及操作維護。
- 伊拉克：分享伊拉克農業部主管的水資源概況及主要水庫管理工作。
- 加拿大：分享安大略發電公司轄管水庫基本資料及營運管理，如寒冬時如何排除水工機械設備結冰無法啟閉等問題。



圖 54、現場分享情形



圖 55、魚茶包準備情形

(三) 參訪實習

參訪 1：參觀墾務局實驗室（丹佛聯邦中心）

墾務局實驗室位於丹佛聯邦中心（聯合辦公區域），整體園區出入有門禁管制，實驗室本身也要先預約並逐一換證才能進入，實驗室旁是墾務局研究及發展（R&D）辦公室，對面是聯合辦公大樓（含墾務局總部），位置如圖 56、學員於門口側邊草皮合照如圖 57。實驗室建築物內部進駐非常多個實驗室，本次導覽參訪多個實驗是，均由負責的墾務局員工簡要說明目前在執行的工作，以下簡述其中 5 個實驗室的參訪情形。



圖 56、墾務局實驗室位置



圖 57、學員於門口側邊草皮合照

● 水工實驗室：

- 1930 成立的國際級實驗室，服務項目包含水工物理及數值模型、水理分析、現地水文量測等，服務對象以已發現水理方面問題的既有水工結構（不限於墾務局設施），提供水庫管理單位實驗結果及建議的改善方案，簡章如附錄 3（附-13 頁及附-14 頁）。水工實驗室位於整棟實

驗室中間，挑高空間都是可以建置物模的地方，周圍設有截水及排水設施，實驗用水採循環利用方式，空間如圖 58。

- 工程師共介紹 3 組水工模型：第 1 組模擬 Oroville 壩溢洪道面板存在裂縫或施工縫開裂時，高速水流遇到垂向高低差導致水躍起，同時大量滲入堰版下方情形，如圖 59。第 2 組模擬某水庫於低水位發生時無法由發電管路放水，改由放水口放水所形成的渦流，如何及何時會將下池沉積的砂丘往電廠出水口推進，已及是否會造成後續發電困難，如圖 60。水工模型 3，某水庫校核洪水增加 25%，模擬溢洪道上游段（喇叭花豎井）夾氣及補氣情形，已及下游段（明渠）水流波動是否超過側牆高度，如圖 61。

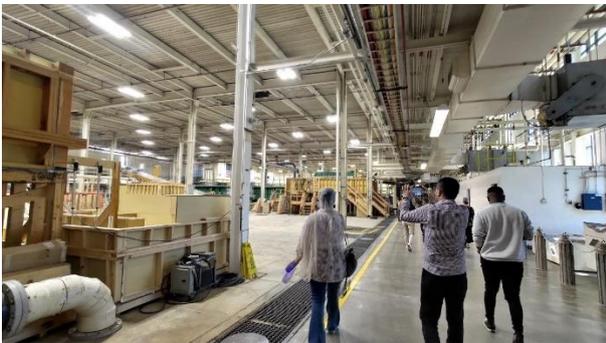


圖 58、水工實驗室一隅及截排水系統



圖 59、模擬 Oroville 壩溢洪道



圖 60、模擬水庫低水位調整放水設施情形



圖 61、模擬水庫校核洪水增加 25%的影響

● 土工實驗室：

- 提供 4 大類服務：土壤力學實驗、岩石力學實驗、現地調查及試驗、土壤及岩石相關研究。服務對象為墾務局轄管設施，可協助評估設計、施工及研究採用之材料性質，或至現地辦理地物調查（具有多樣設備），亦對外辦理為期 3 天的現地土壤調查研習課程（可客制化）。簡章如附錄 3（附-15 頁及附-16 頁）。

- 工程師於實驗室門口說明實驗室主要工作如圖 62，併入內介紹各種實驗設備，除將試體攜回進行實驗外，會盡量製作切片保存供後續參考及展示，如圖 63。



圖 62、實驗室門口說明實驗室主要工作



圖 63、混凝土壩體鑽心切片

- 混凝土實驗室：

- 實驗室主要工作為評估混凝土狀況及進行結構試驗，可提供施工材料建議、協助研擬修補計畫、客制化試驗及設備製作、狀況評估等服務，亦舉辦混凝土及修補、攝影測量、證照及個人等課程。
- 混凝土試體攜回後會先放入大型保濕室存放，如圖 64，再依排定行程取出進行試驗。墾務局近年透過與國內先進混凝土研究單位共同合作，嘗試編製混凝土碳足跡削減指引，透過材料、規格和施工方法來減少碳足跡，如增加石灰岩配比或以粉狀玻璃取代飛灰等，如圖 65。



圖 64、混凝土試體的大型保濕室



圖 65、試體取樣及近期研究說明

- 材料實驗室：

- 實驗室包含 5 個分組：保護層、腐蝕和陰極保護、地工合成與聚合材料、複合材料、環境控管。提供包含施工階段問題研判、規格研擬及檢核、材料複核、現地檢查等服務，除提供技術諮詢外，亦辦理腐蝕及保護層研習班及線上系列研討會議。簡章如附錄 3（附-17 頁及附-18 頁）。

- 工程師除介紹各種實驗槽體（如圖 66）及保護層材料外，亦說明市面上的保護層材料精進速度不如實驗室預期，所以實驗室會主動開發新材料組成，並於無償釋出時避免僅少數廠商獲得資訊。



圖 66、腐蝕實驗槽體

- 生態實驗室

- 斑馬貽貝（Zebra Mussel）及斑驢貽貝（Quagga Mussel）約 30 年前開始入侵，目前已散布至南亞利桑那州及加州地區的許多水庫，目前認為傳遞媒介為私人小型船舶，由遊客四處旅遊攜帶所致。侵入性貽貝除造成旅遊、生態及水質問題，也增加水力發電廠維護工作，並可能導致無預期停電情形，工作人員展示長滿貽貝的管路，如圖 67，另展示下水 11 個月就被長滿的螺旋槳，如圖 68。
- 侵入性貽貝早期檢測計畫自 2008 年啟動，已檢測位於 17 個州的 602 個水體，以每年約 1,500 樣品的速度持續辦理，透過聚合酶連鎖反應儀（PCR）檢測水體中有無貽貝幼蟲基因（DNA），即早發現貽貝幼蟲則可立即採取控制措施，防止繼續擴散到其他水體。



圖 67、工作人員展示長滿貽貝的管路

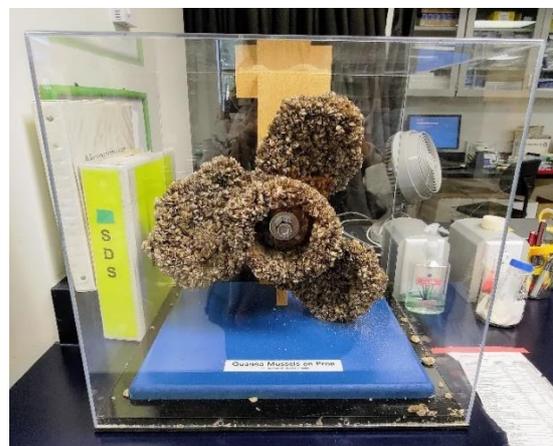


圖 68、下水 11 個月就被長滿的螺旋槳

參訪 2：參觀 Flaming Gorge 壩（火焰峽壩）

Flaming Gorge 壩（火焰峽壩）於 1964 年完工，壩體位於猶他州，蓄水範圍往北延伸約 146 公里至懷俄明州境內，提供許多遊憩場域，屬於火焰峽谷國家遊樂區的一部分。早年 Powell 上校等在勘察綠河（Green River）及科羅拉多河（Colorado River）時，看到陽光反射在明亮的火紅岩石上，因此將此地區命名為火焰峽谷。綠河是科羅拉多河地支流，火焰峽大壩的興建屬於「科羅拉多河蓄水計畫」的項目，位置如圖 69、照片如圖 70，介紹簡章如附錄 4（附-19 頁及附-20 頁）。

- 基本數據：混凝土拱壩，壩高 153 公尺、壩頂長 392 公尺、壩體混凝土量約 75 萬立方公尺，斥資 4,960 萬美元。有 3 座發電機組、總發電容量 150MW、年發電量 50 萬 MW 小時，斥資 6,530 萬美元。有效容量約 46.24 億立方公尺、滿水位時壩前水深 133 公尺、蓄水範圍周長 604 公里。
- 更新改善：
 - 火焰峽電廠的操作水位共 52 公尺，介於標高 1,841 公尺（滿水位）至標高 1,789 公尺（壓力鋼管高程加覆蓋水深），1978 年時於壩體上游側新增可調整式取水口，以利取用不同水深的庫水，即可選擇排放至下游的水溫，壩體橫斷面如圖 71。
 - 1979 至 1984 年間，火焰峽壩的操作被認為對綠河及科羅拉多河的 4 種瀕危魚類（白斑狗魚、座頭鱧、剃刀背鱒脂魚、骨尾鱧）具有潛在威脅。1987 年並由州政府及相關單位（含墾務局）共同啟動上科羅拉多河瀕危魚類復育計畫（Upper Colorado River Endangered Fish Recovery Program）。
 - 1992 年美國魚類及野生動物管理局（U.S. Fish and Wildlife Service）提出減輕魚群危害的水庫操作建議，1992 至 2006 年間，墾務局依據該建議操作水庫，同步執行流量及水溫研究，並於 2000 年提出火焰峽大壩下游魚群的流量及水溫建議。復育計畫於 2005 年提出整體環境研究成果、於 2006 年提出火焰峽水庫操作建議。
 - 2006 年由生態及水文專家成立了火焰峽技術工作群組（Flaming Gorge Technical Work Group），而 1993 年成立的火焰峽工作群組（Flaming Gorge Working Group）持續每年集會 3 次，由技術工作群組及復育計畫提供民眾及相關團隊水庫資訊，也聽取其對火焰峽水庫操作的建議。

● 現場勘查：

- 大壩：抵達火焰峽水庫時太陽很大，如圖 72，在右壩座的入口處等待導覽，水面還算平靜，偶爾遠處可以看到遊憩船隻駛過水面。穿過高架的參觀臺到大壩下游側解說壩體，風很大、高差也很大，很壯觀又樸實無華、安靜蹲踞的水利設施，如圖 73。
- 溢洪道：複合型溢洪道，上面是閘門和明渠、中間是隧道、下面是有小跳斗的放水設施，如圖 74，現場解說的壩務局工作人員表示不清楚為什麼採用這樣的設計。
- 廊道：搭電梯下到第 5 層廊道，超級冷還滴水，鼻子都瞬間痠了一下。經詢問工作人員，冬天也不會結凍的，壩體上游側有溫度控制設備，冬天啟動加溫就可以避免壩體結凍，冬天在廊道裡面反而比較溫暖。廊道內有擺線儀及水壓計等常見的監測設備，而上、下游側的廊道狀態明顯不同，上游側濕冷、下游側就乾了，如圖 75。
- 壩座滲流：左右壩座均有滲流出露情形，如圖 76，由於坡度很陡無法直接到上面現場檢查，壩務局利用同角度照相方式比對水痕和植生，還有在坡趾進行截流及滲流量量測，如圖 77，掌握滲流行為。
- 下游生態：從壩頂往下游看，綠河就這樣在山谷中蜿蜒前進，然後在很遠的下游處匯入科羅拉多河，如圖 78。電廠出口旁有很多魚，本次導覽行程有準備飼料可以餵魚，魚群飛快聚集搶食，不過看起來平常餵食的量不算多，魚們各個都還保持苗條敏捷姿態，如圖 79。
- 環境教育：火焰峽水庫壩頂有遊客中心，販售大西部環境、生態及旅遊相關產品，因為是遊憩區也有一些可免費提供遊客取用的簡章及手冊，其中包含國家風景道兒童手冊如附錄 4（附-21 頁）。設計方式是小朋友最愛的著色本，翻閱內容其實並不簡單，包含棲息物種、食物鏈、足跡辨識、冬季遷徙、恐龍與地質、部落文化及遺蹟等，相當有教育意義。



Map sources: Esri, Airbus DS, USGS, NGA, NASA, CGIAR, N Robinson, NCEAS, NLS, OS, NMA, Geodatasyrstelsen, Rijkswaterstaat, GSA, Geoland, FEMA, Intermap and the GIS user community

圖 69、綠河與火焰峽壩位置圖



Aerial view of Flaming Gorge Dam and Reservoir

圖 70、火焰峽壩空照圖 (USBR 網站)

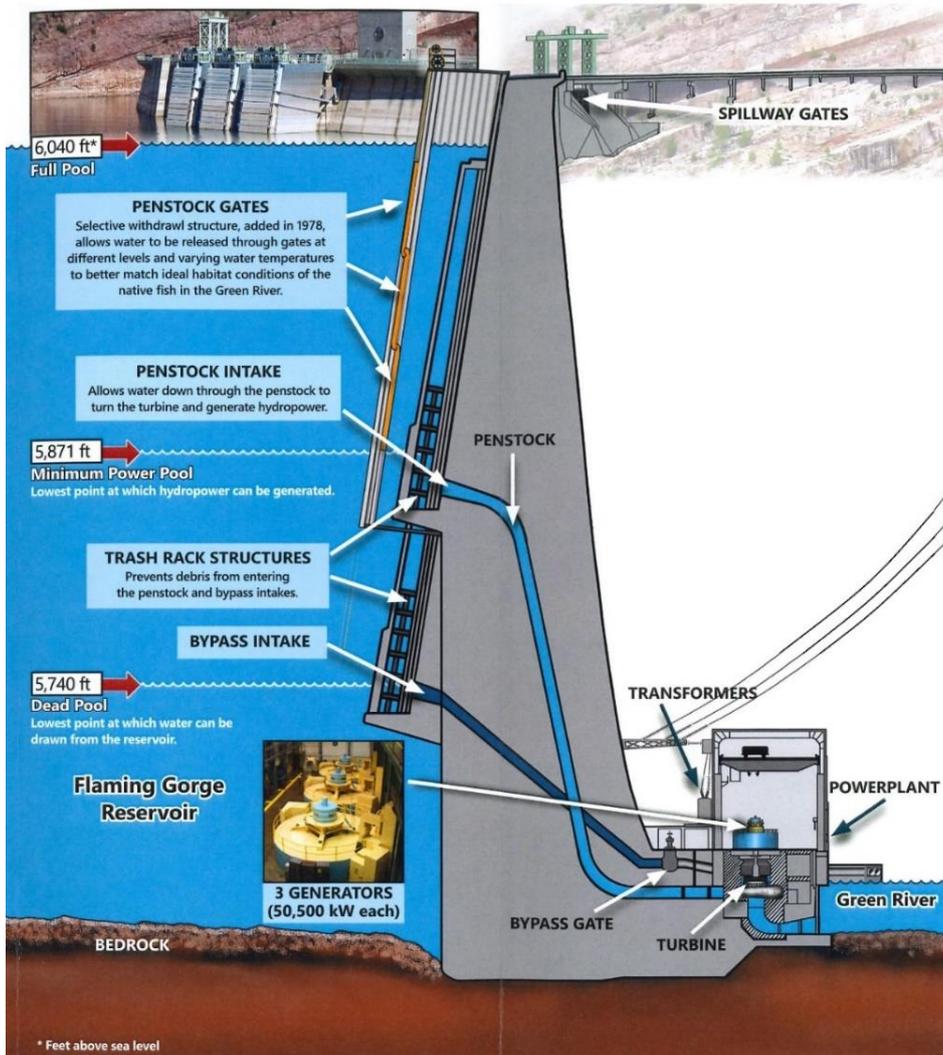


圖 71、火焰峽壩壩體橫斷面 (USBR 簡介)



圖 72、大壩上游側風平浪靜

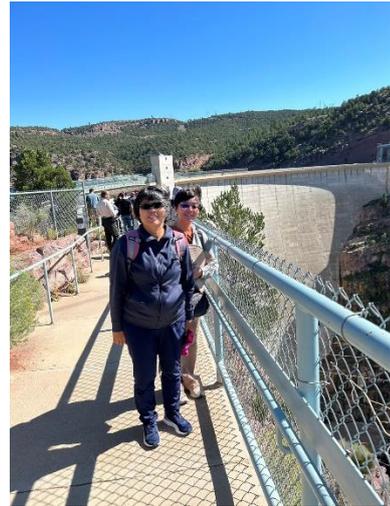


圖 73、大壩下游側大風大落差



圖 74、火焰峽壩壩體橫斷面 (USBR 簡介)

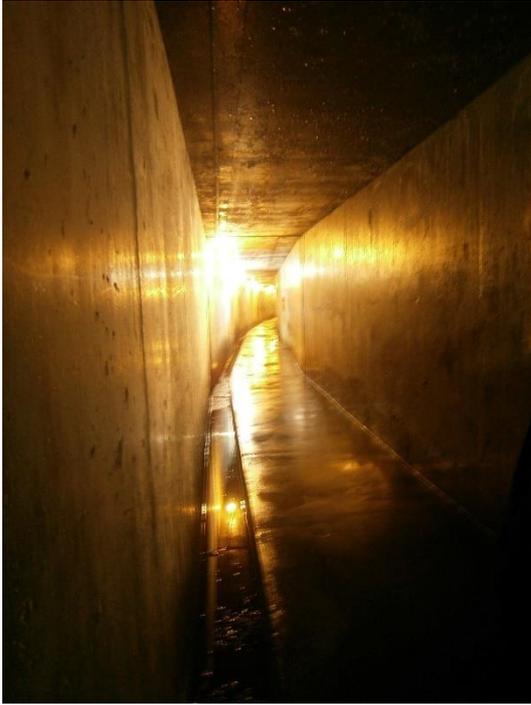


圖 75、第 5 層廊道上、下游側差異

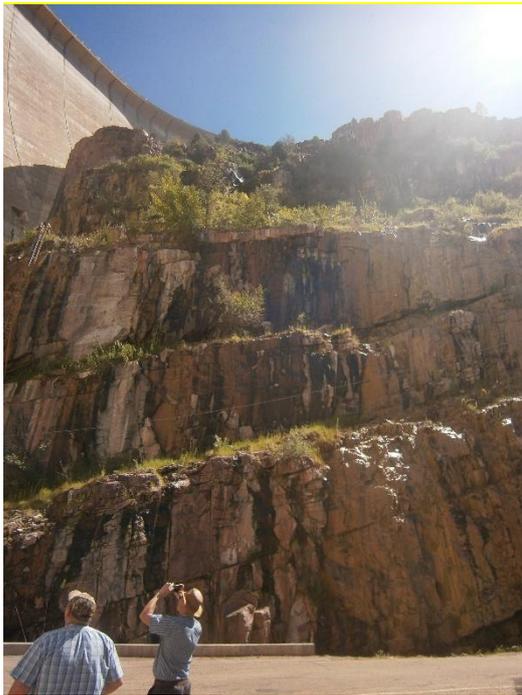


圖 76、左壩座滲流及植生情形



圖 77、滲流量水堰



圖 78、從壩頂往下游看綠河



圖 79、電廠出水口苗條敏捷的魚群

參訪 3：現地實習模擬檢查—Echo 壩（迴聲壩）

Echo 壩（迴聲壩）於 1931 年完工，位於上科羅拉多河地區、猶他州韋伯集水區（Weber Basin），位置如圖 80、照片如圖 81。後因為校核洪水提升導致出水高不足及水工機械設施老舊，爰於 2014 年由墾務局完成更新改善，主要工程項目為壩體加高、增設壩趾量水堰、水工機械更新、溢洪道洩槽上部改善等。

- 基本數據：分區輾壓土石壩，壩高 153 公尺、壩頂長約 575 公尺、體積 117.74 萬立方公尺。滿水位標高 1,695 公尺、滿水時壩前水深 133 公尺，集水區面積 2,165 平方公里。溢洪道設計排洪量約 425 秒立方公尺、出水工設計流量約 33.5 秒立方公尺。
- 水庫管理：這個水庫是墾務局轉移計畫的水庫（transfer program），即完工後交由地方政府等其他單位管理營運，目前財產歸墾務局普羅沃地區辦事處（Provo Area Office）所有，維護及操作由韋伯河用水者協會（Weber River Water Users Association）辦理，墾務局總部亦有監督的職責（定期現場勘查），另外出水工下游銜接的電廠又由另外一個單位營運，此類多單位共同管理的水庫多數無法避免管理介面問題。
- 現地檢查：
 - 現場發了 1 份空白的「墾務局設施檢視綜合報告—土石壩」，如附錄 5 及 1 支筆，請學員逐設施檢查並填列檢查結果，檢查情形如圖 82、填寫情形如圖 83。綜合報告內容包含：水庫基本資料（含檢查日期、人員及單位）、1 壩頂、2 上游側壩面、3 下游側壩面、4 水域周邊及壩座與壩體趾部、5 溢洪道、6 出水工、7 監測儀器、8 其他、9 緊急應變計畫及警報系統、10 通達道路及對外通訊、11 水庫操作、12 維安。

- 壩體：因為大壩未開放觀光，通往壩頂只有不太好走的碎石路，壩頂鋪設碎石，目視檢查無異常沉陷區域。更新改善時在心層裝了幾孔水壓計，如圖 84，採定期人工量測，上、下游殼層未裝設。原壩頂防浪牆已劣化，但考量其往下延伸部多，於改善工程時未打除，壩頂上游側出現牆比壩頂低的狀況，如圖 85。
- 溢洪道土木結構：更新改善工程包含上部洩槽及側牆改善，現場檢視溢洪道洩槽堰面自更新改善與原堰面交接處持續滲水，如圖 86，未改善的側牆及下游河道邊坡（坡面工）滲水情形亦明顯，並有局部淘刷情形，如圖 87。
- 溢洪道機電設備：更新改善工程包含閘門及吊門機加固，吊門機翻新情形如圖 88，鋼纜側邊放了直尺，如圖 89，經詢問為對應鋼纜上繪製的開度標籤使用，以利操作人員如何控制各閘門均勻啟閉，因為更新改善時沒有設置開度指示設備（機械或電子都沒有）。
- 壩體趾部下游地區：壩趾有不少拳頭大、深度約 10 公分左右的洞，其中有一些可以看到偶蹄的跡象，如圖 90。經詢問壘務局區域安全官，雨後壩趾確實有積水泥濘情況，認為很快乾掉、不是很大的問題，但動物行走痕跡會留在現場。往壩下游看是建壩前就存在當地的濕地，壩趾排水也排到該處，但經詢問，水庫現場檢查不包含濕地，如圖 91。

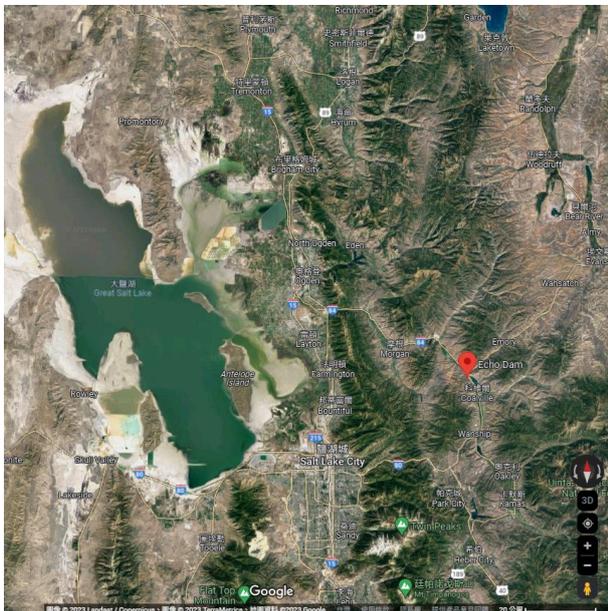


圖 80、迴聲壩位置（臨近鹽湖城）



圖 81、迴聲壩排洪照片（USBR 網站）



圖 82、現地檢查情形



圖 83、現地填表情形



圖 84、壩頂新設的心層水壓計



圖 85、壩頂道路及上游側既有防浪牆



圖 86、溢洪道洩槽堰面及側牆滲水



圖 87、下游河道邊坡坡面工滲水及掏刷



圖 88、吊門機翻新情形



圖 89、鋼纜標籤指示工具



圖 90、壩趾動物足印



圖 91、大壩下游既有濕地

參訪 4：勘查 AV Watkins 壩滲流應變及更新改善

AV Watkins 壩於 1964 年完工，位於偉伯集水區內，但為離槽水庫，攔蓄的水域稱為威拉德灣 (Willard Bay)。其西方為大鹽湖，南方約 80 公里為鹽湖城，位置圖如圖 92、蓄水情形如圖 93。主要水源為山區水庫無法蓄存或冬季發電釋出的水量，由上游分水工經威拉德運河，向北以重力輸送約 12.9 公里到 AV Watkins 壩蓄存；在灌溉期間，透過 2 組加壓幫浦將水反送回上游分水工，以灌溉大鹽湖周邊的土地。

- 基本數據：土石壩，壩高約 11 公尺、蓄水高度標高 1,288 公尺、常態蓄水深度約 8.5 公尺、壩長約 23.4 公里、築壩材料約 1,300 萬立方公尺、蓄水量約 2.65 億立方公尺。溢洪道（虹吸式）設計排洪量約 56.6 秒立方公尺、出水工放水流量約 8.5 秒立方公尺。

- 水庫管理：這個水庫是墾務局轉移計畫的水庫（transfer program），即完工後交由地方政府等其他單位管理營運，目前財產歸墾務局普羅沃地區辦事處（Provo Area Office）所有，維護及操作由韋伯流域保護區（Weber Basin Water Conservancy District）辦理，墾務局總部亦有監督的職責（定期現場勘查）。
- 2006 年 11 月內部沖蝕事件：
 - 11 月 11 日下游飼料廠操作人員觀察到位於壩趾下游 40 公尺處的南側排水呈現霧狀及土砂攜出，未通報，11 月 13 日滲水情形加劇且攜出黑色黏土，通報保護區工作人員，如圖 94。當日保護區及墾務局人員趕到現場，壩體基礎已發生管湧，壩趾出現砂湧、壩趾及南側排水內土砂沉積、壩體下邊坡出現陷孔與裂縫及滑動、壩頂出現橫向裂縫，如圖 95。
 - 依據現場狀況，工作人員立即啟動緊急搶修措施，在破壞區域設置濾層及培厚，由於滲水量大且持續降雨又為夜間施工，初期搶修工作很不順利，濾層材料一直被沖掉，如圖 96。後決議在大量滲水處堆置礫石，先降低流速再施作濾層，於 11 月 14 日控制住破壞加劇，如圖 97。持續仍有持續仍有水從培厚區趾部滲出，且南側排水仍出現霧狀滲水，現場觀察狀況如圖 98，緊急辦理壩體上游側破口封堵作業，如圖 99，南側排水滲水減少、培厚區趾部滲水停止。
 - 破壞模式可分解為 4 步驟：1 為南側排水的無濾層出口沿硬質層下方發生向源侵蝕，如圖 100，2 沖蝕持續往上游發展連通庫水，3 土體空隙增大導致硬質層崩落、壩趾出現砂湧，4 沖蝕及土體掏空加劇，壩體出現裂縫、坡面滑動，如圖 101。
 - 經過開挖調查，推測有 3 種可能原因（或互相組合）：1 既有趾部排水阻塞，2 動物挖掘的坑道增加沖蝕啟動機率，3 事件前剛經歷大旱，地質狀況可能因蓄水位變化改變。另經過訪查下游牛場工作人員，在事件發生前已觀察到多次南側排水黃褐色混濁情形，僅這次轉黑所以通報管理單位。
 - 為避免再次發生內部沖蝕破壞，調查地質條件相似範圍，並於壩體中央新設水泥膨潤土截水牆（Cement-Bentonite Cutoff Wall），如圖 102，並安裝監測儀器持續觀測。
- 現場勘查：站在壩頂往蓄水區看，一望無際的感覺有點像海，水面上成群的水鳥棲息（有點像海鷗），如圖 103。壩頂道路的寬度只能單向通行，如圖 104，要開一段距離才有特別增設可以下壩迴車的便道。管理人員在內部沖蝕破壞的位置樹了 3 根反光鏡，如圖 105，避免割草破壞到設備，反

光鏡底下裝了量水堰，但一直沒量到水，現場人員說應該是更新改善做的截水牆有發揮功能。已在上游一點安裝了一支水壓計，持續人工量測中。壩趾下游側的南側排水，如圖 106，是被認為導致水力梯度非常小卻形成內部沖蝕的主因，讓壩基裡面比較硬的地層有上、下水域連結的機會。

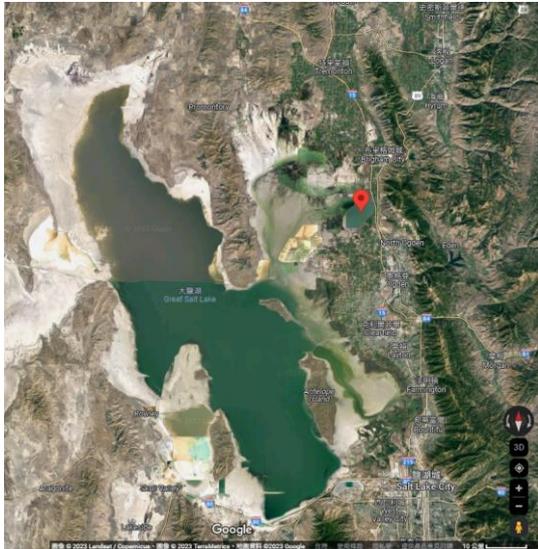


圖 92、AV Watkins 壩位置 (Google Map)



圖 93、AV Watkins 壩 (USBR 網站)



圖 94、南側排水混濁及土砂攜出



圖 95、壩體下游坡面及壩趾下游破壞情形



圖 96、被沖掉的濾層材料

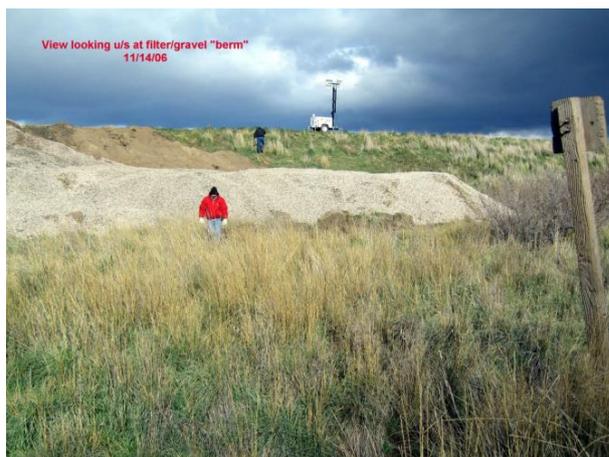


圖 97、完成礫石培厚控制住破壞加劇



圖 98、培厚區趾部滲水情形



圖 99、壩體上游側破口封堵作業

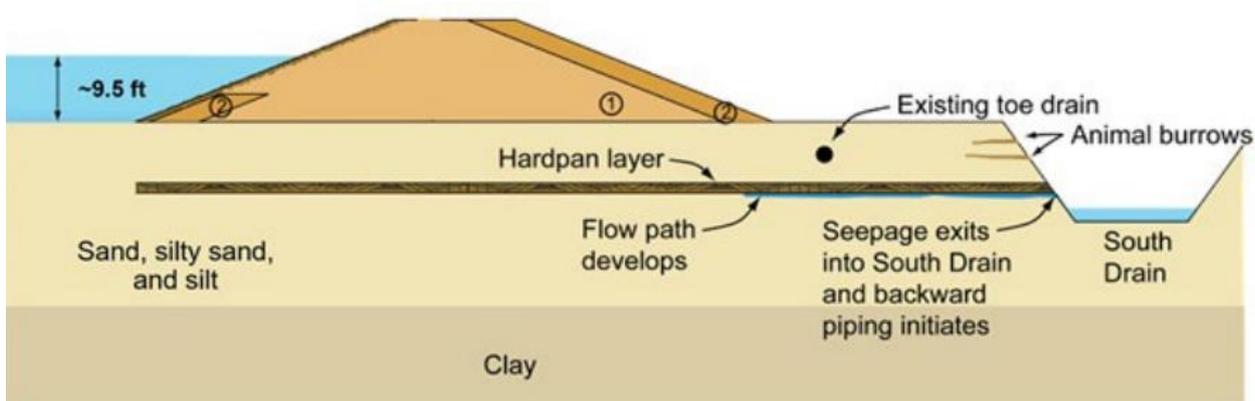


圖 100、存在硬質層下方出現向源侵蝕

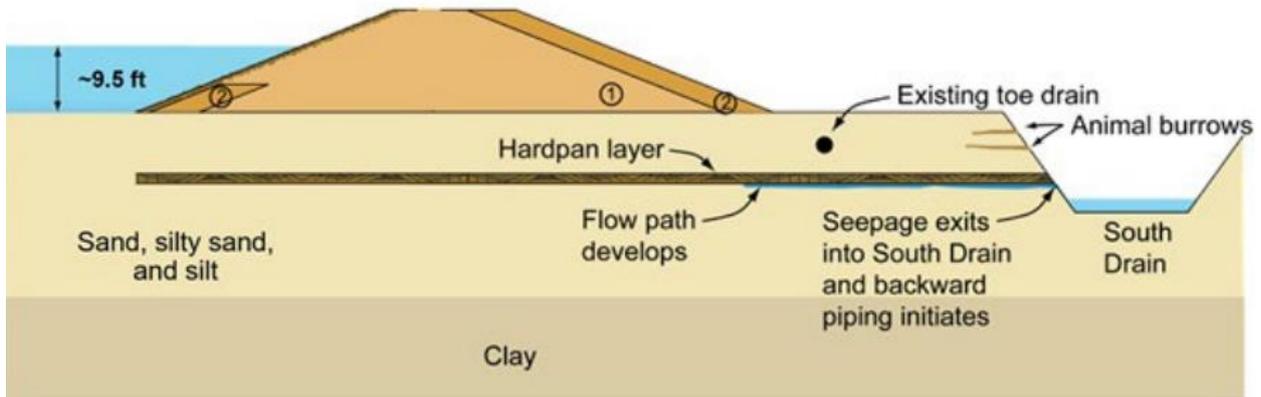


圖 101、粒料攜出導致上方土體各種破壞

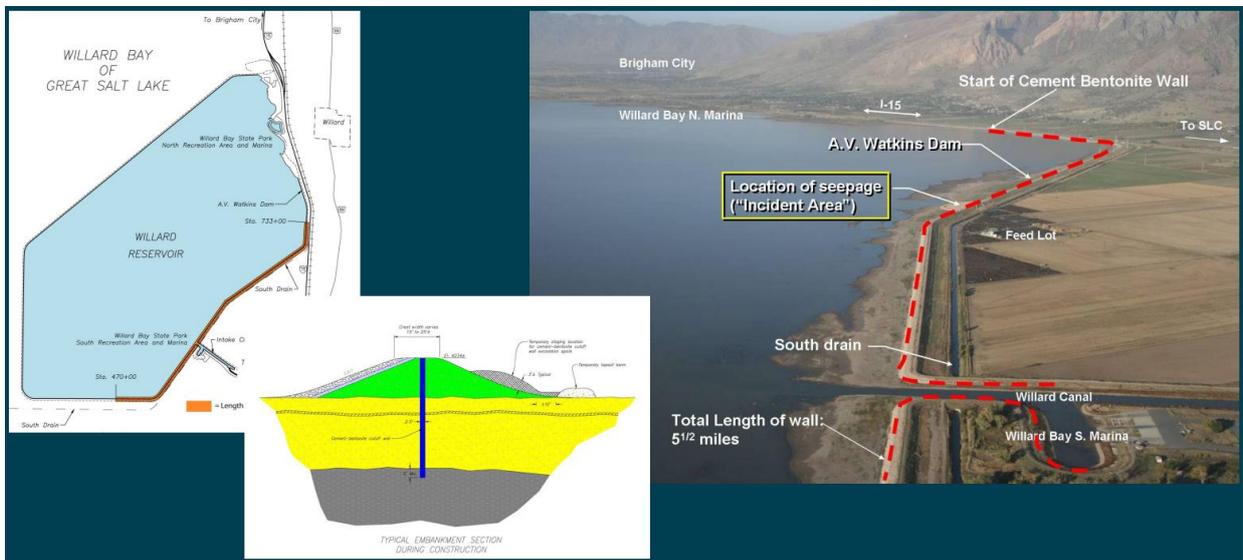


圖 102、水泥膨潤土截水牆設置位置



圖 103、一望無際的蓄水池



圖 104、只能單向通行的壩頂



圖 105、內部沖蝕破壞發生地點



圖 106、壩趾下游的南側排水

參訪 5：參觀 Hoover 壩（胡佛壩）

Hoover 壩（胡佛壩）於 1936 年完工，位於科羅拉多河上，拉斯維加斯東南方約 56 公里處，攔蓄的水庫稱為米德湖（Lake Mead），位置圖如圖 107、排洪情形如圖 108。胡佛壩為國際觀光景點，設有警衛哨進行檢查，遊客可以上線預約或現場購票參加導覽，本次研習班則安排遊客無法參加的特別導覽行程。

- 基本數據：混凝土厚拱壩，壩高約 221.4 公尺、壩頂高程約標高 375.5 公尺、滿水位時壩前水深約 175.6 公尺、壩頂長約 379.2 公尺、壩頂寬約 13.7 公尺、壩基寬約 201.2 公尺，混凝土用量 336.4 萬立方公尺。集水面積約 43.5 萬平方公里，蓄水量約 357 億立方公尺，靜發電量 32.5 億 kWh。溢洪道位於大壩兩側，閘門控制式，設計排洪量為 7,641 秒立方公尺，出水工放水流量約 1,477 秒立方公尺。
- 現場勘查：
 - 大壩：抵達大壩先聽取介紹簡報，接著戴上安全帽搭電梯下電廠，如圖 109，電梯總高度 154 公尺（還好有電梯）。繞行電廠及許多廊道後鑽出大壩來到壩體下游側，全體學員與壩務局工作人員合照留念，如圖 110。
 - 放水設施：右岸的溢洪道上次使用是 1983 或 1984 年了，溢流的水集中到後面的斜槽後往下游排出，溢流堰頂有可以豎起來增加庫容的閘門，門體可觀察到鏽蝕情形，如圖 111。往大壩下游方向看出水設施依序為電廠出水口、兩岸排水設施出水口及溢洪道出水口，如圖 112。其中兩岸排水設施出水口原設計左右岸各 6 孔，經重新檢算水文條件，靠近大壩的 4 孔不需再使用已進行封堵，以減少壓力鋼管所需維護經費，如圖 113。

- 取水塔：胡佛壩在大壩上游側有左、右岸共 4 個取水口，如圖 114。可送水至發電廠及其下游兩岸排水設施，由於大壩建造在州的邊界上，右岸是 Nevada（內華達州）、左岸是 Arizona（亞利桑那州），大壩下游側在壩趾畫了一條標示分界的線，如圖 115。前述兩側的取水塔各裝有一個時鐘，以呈現兩州之間夏令時間轉換的差異。
- 發電廠：右岸電廠機組共 8 組、左岸電廠機組共 9 組，現場看僅部份機組亮燈旋轉，如圖 116。工作人員說有旋轉不一定有發電，他們會視需要用電力維持幾組機組持續旋轉，這樣如果有緊急狀況、電力缺口出現，就可以 4 秒上線發電。
- 下游大橋：下游側有座 2010 年通車、比下方河道高出 270 公尺的橋（Mike O'Callaghan-Pat Tillman Memorial Bridge），以前內華達州州長以著名美式足球員命名，也被稱為胡佛水壩大橋，如圖 117。

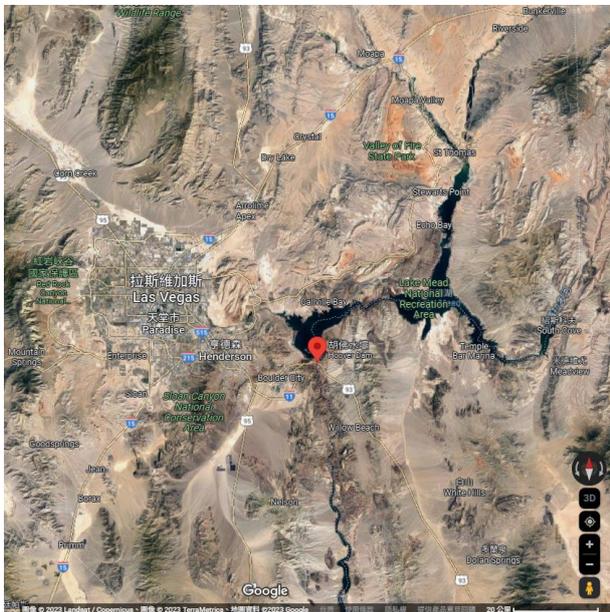


圖 107、胡佛壩位置圖（Google Map）



圖 108、胡佛壩排洪情形（USBR 網站）



圖 109、戴上安全帽搭電梯下電廠



圖 110、大壩下游側合照



圖 111、右岸溢洪道及閘門

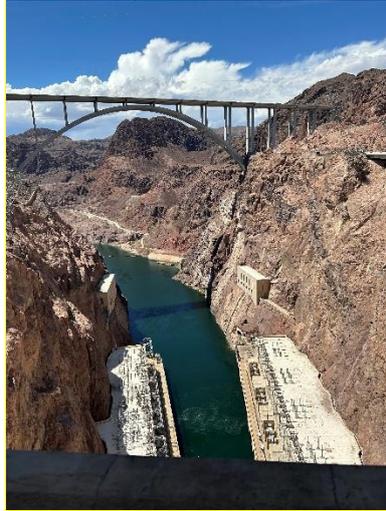


圖 112、下游 3 項放水設施

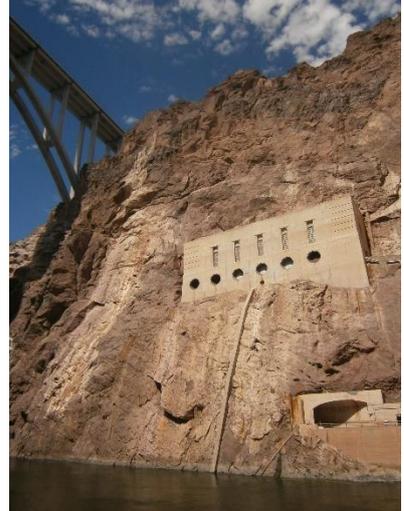


圖 113、排水設施封堵 4 孔



圖 114、大壩上游側左、右岸共 4 個取水口



圖 115、壩趾的州分界線



圖 116、電廠發電機組



圖 117、下游的紀念大橋

四、心得及建議事項

(一) 心得

本次出國期間，主要課程地點丹佛市與臺灣時差 14 小時，抵達第 2 天即開始 5 天密集室內課程，加上還需要語言轉換，對於學員都是精神和耐力的考驗。能在從事水資源工作 10 幾快 20 年後，有機會到美國學習水庫安全管理相關知識，並進一步到 4 座水庫參訪實習，同時也與其他國家學員交流互動，對於開拓視野及增長知識均有相當大的幫助。目前我們在水利署體系分別辦理水源調度及保育，與水庫安全管理及整備等業務，本次研習提升我們對水庫安全管理的基本認識，並如前述各課程「值得深入項目」所列，刺激我們產生讓現況更好的構想，後續也將持續精進個人專業能力。

為使本次研習獲得最大效益，我們也使用科技軟體輔助學習，於課程中以手機即時翻譯軟體協助掌握重點。本次學員來自 7 個國家，並非每個國家都以英文為常用語言，因此在課程中提問時可以知道大家的英文並不是很好，但同時也發現大家很踴躍發言、手腳並用。此體驗更明確「語言是溝通工具」一事，重點不在能講出多漂亮、多道地的語言，而是能不能真正有效溝通，後續持續精進語言能力，讓溝通更順暢。

出國除了上課及參訪外，代表國家出門也是很重要的一環。本次研習我們準備了來自臺灣的分享及金魚造型臺灣茶包，有效擷獲學員和講師的心，對於接交同行國際友人及宣傳臺灣的美好友善，都有實質效益。墾務局在這部分也做的很貼心，學員的名牌別了兩國一起的小國旗（如圖 118），也準備了各國國旗讓學員放置在座位上（如圖 119），這種既尊重有貼心的措施，確實可感動大老遠飛來的學員。而課程第 4 天晚上至 Kirk 和 Angela 家用餐時發現，他們準備了寫有這次學員的 7 個國家的木頭牌子（如圖 120），很細心的舉措。

本次研習第 2 週至 4 座水庫參訪實習，近距離接觸到墾務局第一線工作人員，發現現場人員有共通的特質：對自己的維護管理工作有榮譽感、相當尊重不同部門同仁的專業、對讓水庫正常運轉有深厚使命感。此特質在水利署部分同仁身上也可見，但在多數同仁身上尚未觀察到。期待有天水庫管理單位能專心於水庫管理工作，透過「腳踏實地」與水庫接觸，更瞭解它的需要及面臨的挑戰，為水庫規劃更好的未來。



圖 118、兩國小國旗的名牌



圖 119、放在桌上的國旗



圖 120、7 國的木頭牌子

(二) 建議事項

各課程「值得深入項目」已於「(二) 室內課程」內逐課程說明，此處建議事項分為 3 部分摘述重點。

主題 1：水庫安全維運工作

1. 墾務局將本次研習資料放置在雲端提供下載（無紙化），但抵達教室時另外發了一份紙本資料，內含 2 份紙本文件，其中 1 份為「大壩潛在破壞模式—安全監測及評估」(Potential Failure Mode Analysis For Dam - Safety Monitoring and Evaluation)，由此可知墾務局對此主題的重視。建議可參考墾務局研討小組模式並依國內適用方式，持續將風險分析推廣至國內水庫，透過執行研討，提升工程師解讀資料、發現問題及討論收斂的能力。
2. 建議各水庫管理單位面對水庫監測儀器時，應以其功能及對安全管理的效益角度切入，必要時進行調整或增設，以避免資源浪費並提高對水庫安全狀況掌握情形。
3. 建議國內具有觀光或環教標的的水庫可參考墾務局各水庫設有「看到就說」(See & Say) 告示牌，搭配人身安全及設施與設備維安宣導，提升遊客對自身及設施安全的風險意識，共同辦理安全管理工作。

4. 建議將國內水庫更新改善案例，依發現（或辨識出）問題、改善研究、改善工程、風險減輕措施檢核、維護管理現況等順序整理成冊，以確保資料完整性及供水庫管理單位參考。
5. 安全檢查資料建議以讀者視角製作檢查紀錄，即整合原文字及照片分別呈現的檢查結果，改以標註說明的照片或圖資等方式呈現。
6. 建議後續水庫安全管理人員持續精進對地質的理解，並於安排設計、施工、檢查（調查）人力時，儘可能於團隊中安排具地質背景人員，以從根本理解問題。另建議邀集地質與地工專家辦理水庫場址地質討論，必要時辦理地物調查工作，進一步掌握地震發生時可能出現的異狀及擬訂搶修險對策。
7. 建議邀集專家研商如何將「臺灣地震模型計畫」（TEM）（臺灣整區）成果應用各水庫（小點位），並探討地質地質專業與工程專業對危害度在理解及應用上的差異，以達研究成果與第一線維護管理相輔相成效果。
8. 建議於確認各地震儀設置點位代表地動性質後，試辦場域受震相關性驗正（進行比對及研究），並可針對水庫場址與臨近氣象局測站監測結果，進行所屬地質、地層及監測結果比對。

主題 2：水庫緊急應變整備

1. 建議各水庫盤點軍警協定具體支援事項、確認支援通報流程及對象，以落實安全協力作業；另建議水庫主管機關（經濟部）與國安及軍方單位建立通報平台及聯繫窗口，提供各水庫管理單位參考因應。
2. 建議潰壩緊急應變計畫所附淹水範圍，參考壅務局做法分析資料整合於圖面，如潰壩情境、模擬方式、圖資使用方法、最大淹沒水深、流速流速與水深乘積、前緣傳播時間、重要點位尖峰流量（或流量歷線）及到達時間等。
3. 建議強化應變體系中橫向聯繫機制及清單部份，製作標準化且即時更新程序，落實與外部單位充分討論，並規劃不同強度的演練以增加聯繫頻率。
4. 建議強化水庫管理人員異狀研判能力、加強通報對象及程序熟悉度，並定期更新下游單位聯繫窗口及說明不同異狀通報時其代表意義。
5. 部分水庫已於整備維護檢查演練中納入可能潰壩時下游地區疏散項目，惟仍侷限於該次演練人員，建議後續適時循序推動以增進風險認知，逐步採研商會議、高司推演、實兵演練等方式進行，以達防患於未然目標。
6. 建議緊急應變計畫書面資料整理採用顏色管理及表格化方式、呈現不同階段及對應措施等，並可快速查閱或被指引到所有需要的資料。

主題 3：國際技術交流合作

1. 前述提及的墾務局現場發放的紙本資料，第 2 份為「大壩事件獲得的經驗」(Lessons From Dam Incidents)，且本次課程簡報超過半數均包含案例說明資料，可見墾務局對大壩安全事件資料的重視。建議持續向國際單位蒐集及請益案例資料，以做為國內工程師理解結構承載、反應及潛在破壞模式的寶貴資訊，增進國內水庫安全管理職能。
2. 美國工兵團持續推動大型閘門結構健康監測，以利於異狀出現初期辦理必要修復措施，同時亦已建構 2 座水庫的數位孿生系統，輸入即時監測資料分析結構狀況及潛在破壞熱點，建議後續持續瞭解最新推動狀況，於人力及經費許可下於國內水庫試辦。
3. 近年美國墾務局啟動管路內部機器人輔助檢測技術研究，美國工兵團亦發展以非接觸式影像辨識方式辦理閘門結構安全監測，建議持續蒐集相關資料，以精進水工機械安全管理技術。
4. 墾務局水工實驗室具有大型物模及數模驗證的經驗，建議後續持續追蹤最新研究成果，並交流水工模型建置技術。
5. 建議持續向國際水庫管理單位瞭解水庫更新改善工作，除可增進工程技術外，亦可激發改善創意，並藉由風險告知方式，即早發現潛在風險並研擬改善措施，使水庫能安全且穩定運轉；同時亦向國際介紹國內的更新改善案例。
6. 相對美國粗放式大型水利工程，國內水庫小、水文及地震變異性大，具有許多精緻管理工作的特性與優點，建議整合水庫安全、操作、泥砂管理等議題，以水庫為單位向國際介紹我們已完成並持續在精進的工作。

附錄 1、結業證書

趙美英



蕭軒梅



附錄 2、學員分享—臺灣的壩及曾文水庫案例簡報



**2023 SAFETY
EVALUATION OF EXISTING
DAMS INTERNATIONAL
TECHNICAL SEMINAR
AND STUDY TOUR**

**DAMS IN TAIWAN
AND THE ZENGWEN
RESERVIOR CASE**

Water Resources Agency, MOEA, Taiwan
Sunny Hsiao (8 August, 2023)



OUTLINE

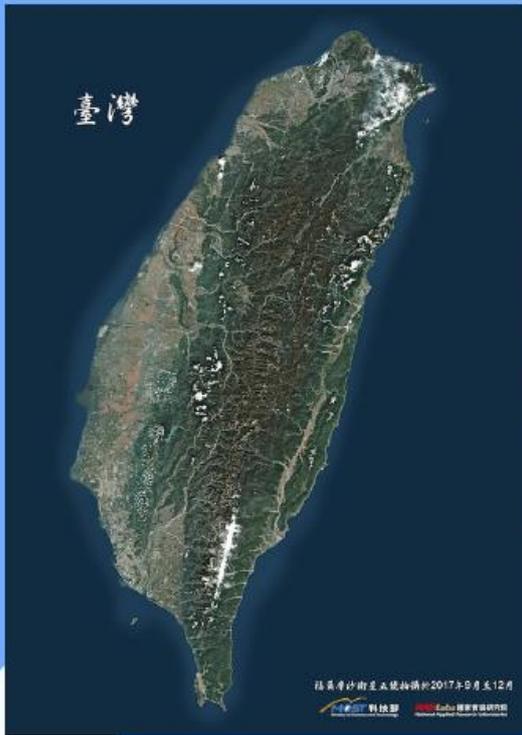
Introduction

- Hello!
- Dams & Challenges
- Dam Safety Practice

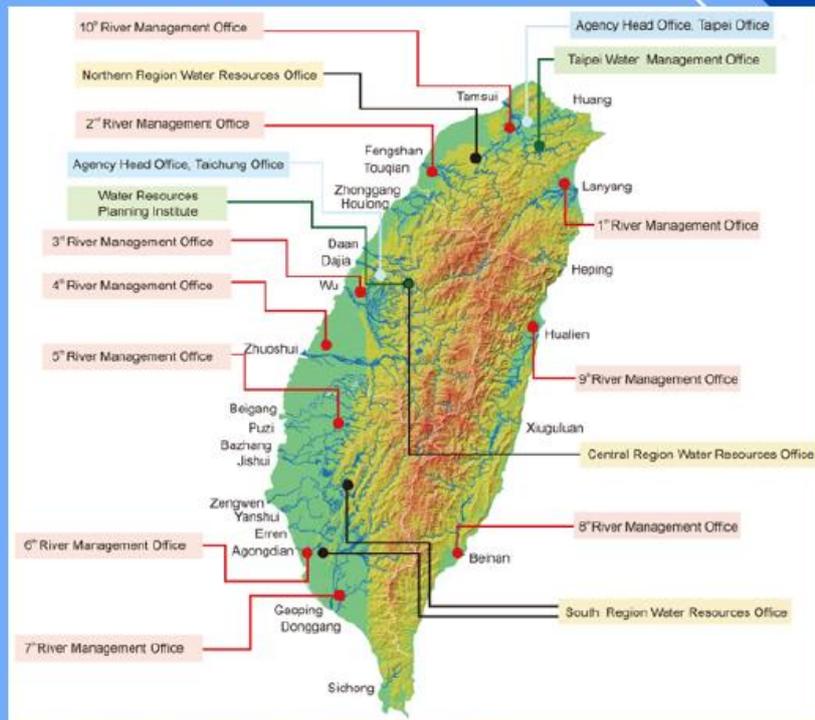
Zengwen Case

- Basic Information
- Flood, EQ & Reform
- Risk Analysis





AREA 36,197 KM² (2/3 MOUNTAINS)
 HIGHEST POINT 3,952M
 POPULATION 23M
 CLIMATE TROPICAL MARINE
 PRECIPITATION 2,500MM
 AVE TEMPERATURE 24C



SOURCE: WATER RESOURCES AGENCY

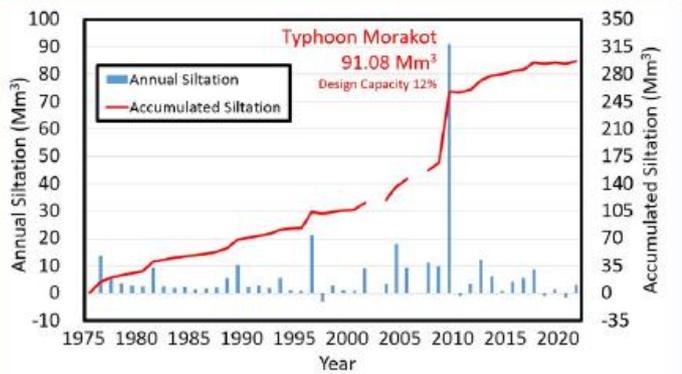


MOEA **Typhoon Affects (Morakot 2009)** 5



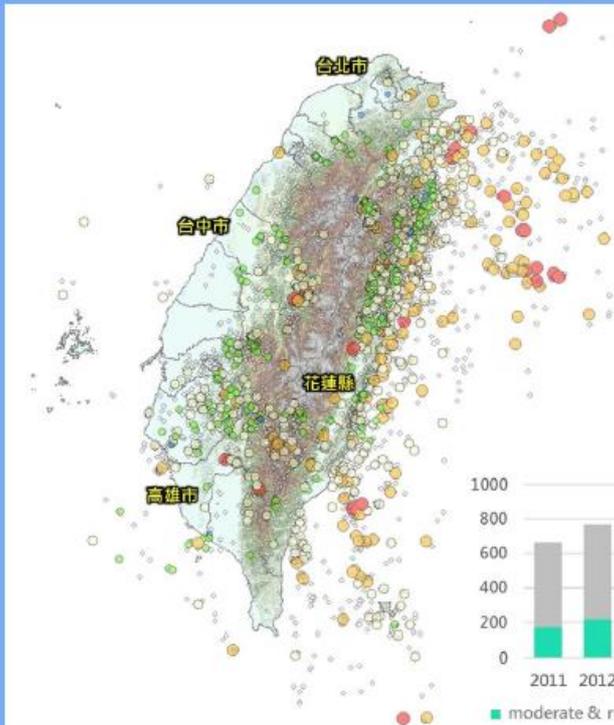
Zengwen Reservoir

SOURCE:
SOUTHERN
REGION WATER
RESOURCES
OFFICE

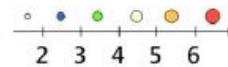


MOEA **Frequent Earthquakes** 6

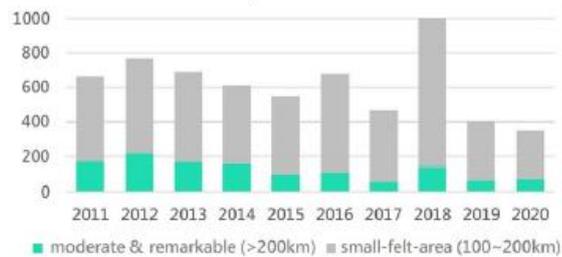
SOURCE: CENTRAL WEATHER BUREAU

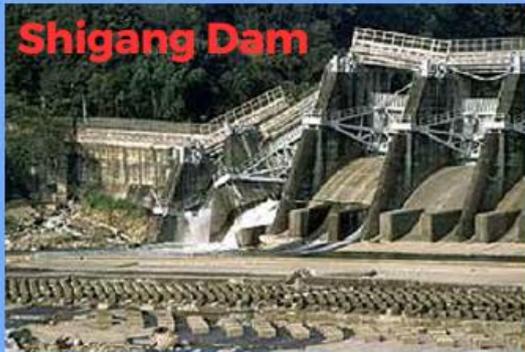


2011-2020 Earthquakes Magnitude



Earthquake Statistics





Shigang Dam



Shigang Dam

SOURCE:
CENTRAL
REGION WATER
RESOURCES
OFFICE



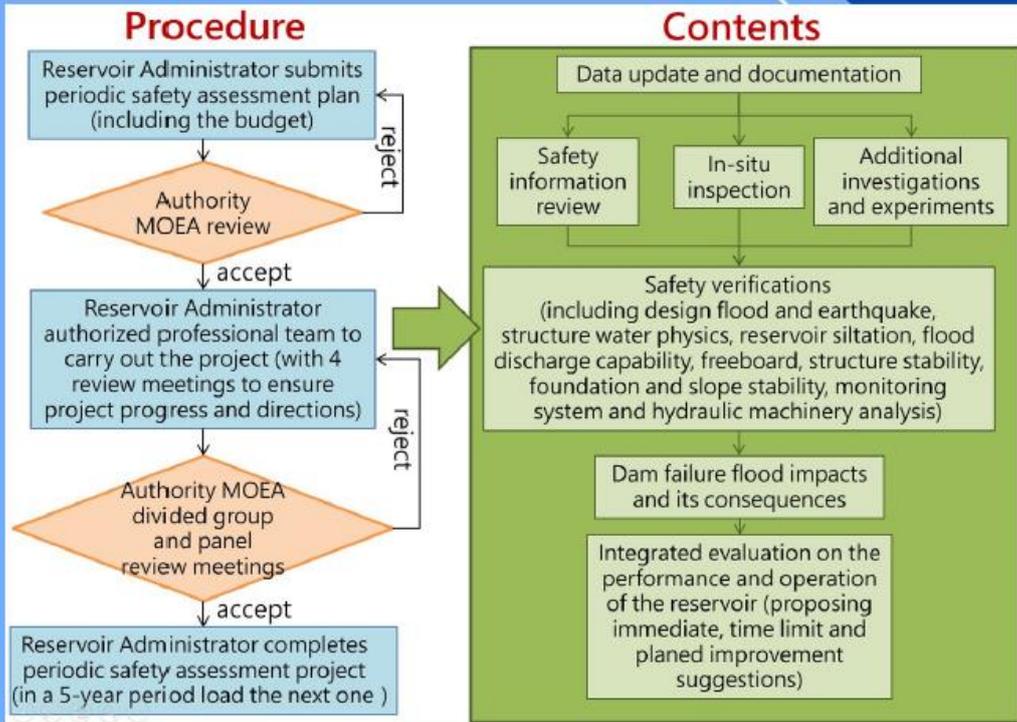
Liyutan Reservoir
4~5cm wide, 2.2m deep



2003 (modif. 2021)
Regulations
for Hydraulic
Structures Inspection
and Safety Evaluation

2008 (modif. 2022)
Technical Directions
for Hydraulic
Structures Inspection
and Safety Evaluation

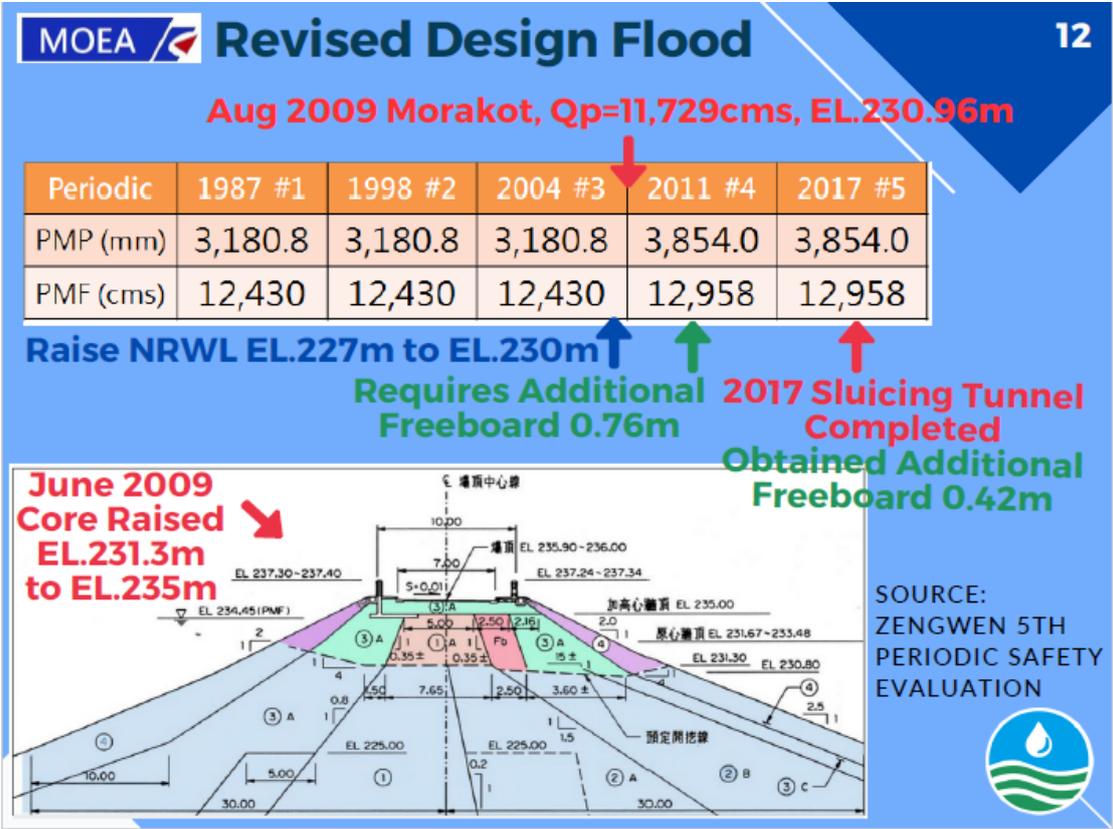
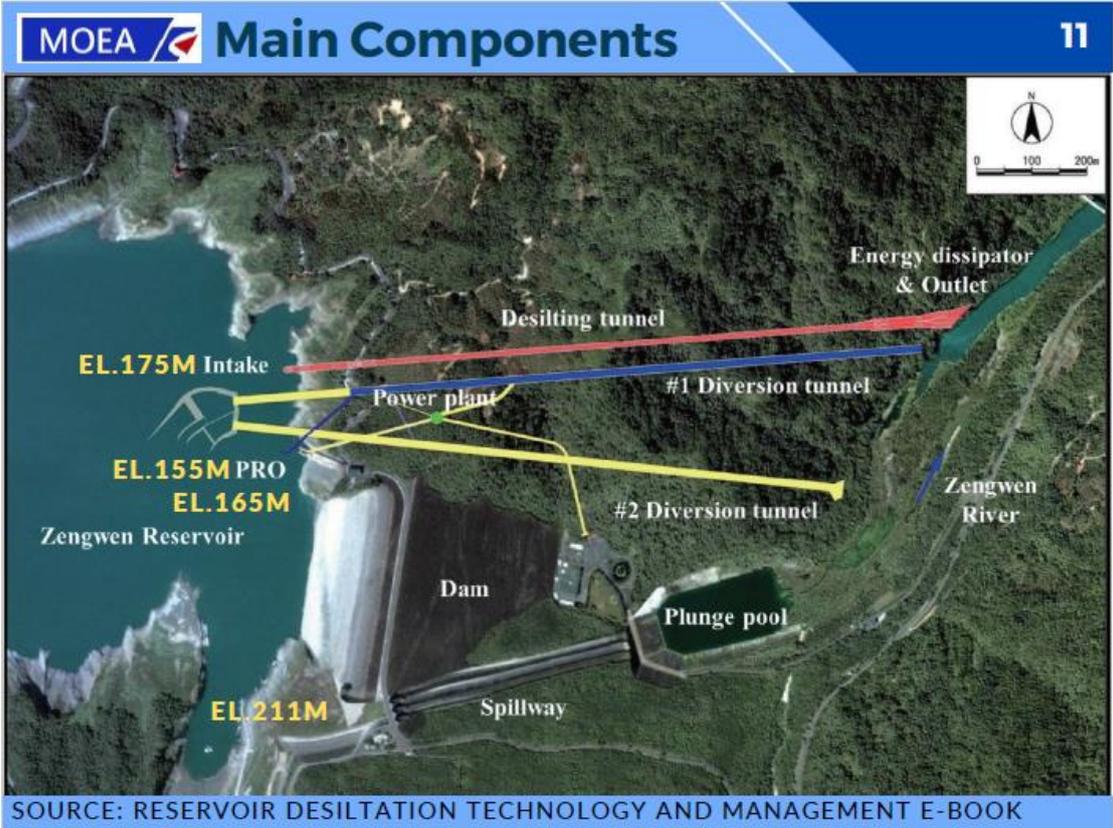




COMMISSIONED IN 1973
 DAM CREST AT EL.236M
 DAM HEIGHT 134M
 CREST LENGTH 400M

WATER AREA 18.93KM2
 CATCHMENT AREA 481KM2
 CAPACITY 507M M3 (2022)

PHOTO CREDIT: SUNNY HSIAO

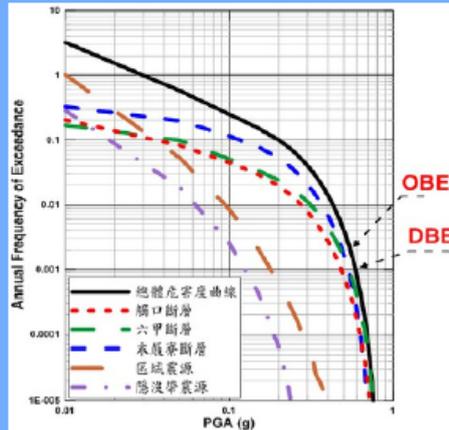


2000 Chi-Chi EQ

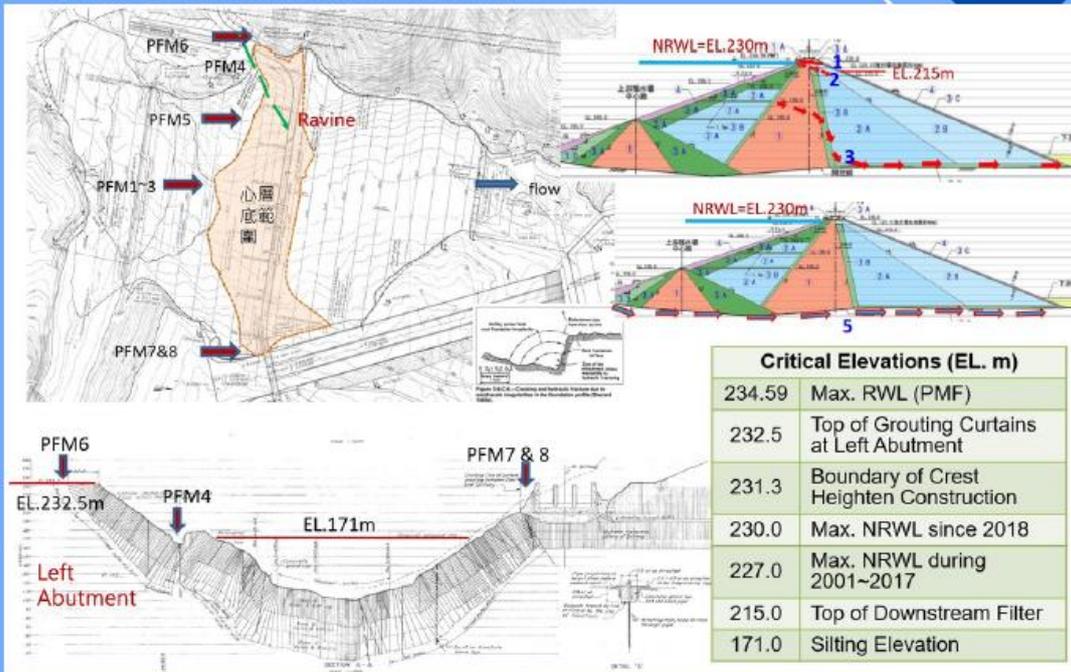
Periodic	1987 #1	1998 #2	2004 #3	2011 #4	2017 #5
OBE	--	0.23g	0.33g	0.49g	0.55g
DBE	0.31g	0.30g	0.55g	0.53g	0.59g
MCE	0.42g	0.39g	0.67g	0.62g	0.64g

SOURCE:
ZENGWEN 5TH
PERIODIC SAFETY
EVALUATION

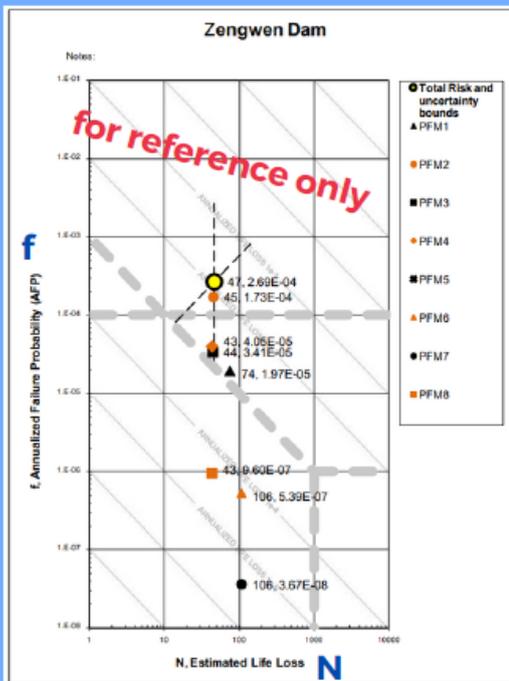
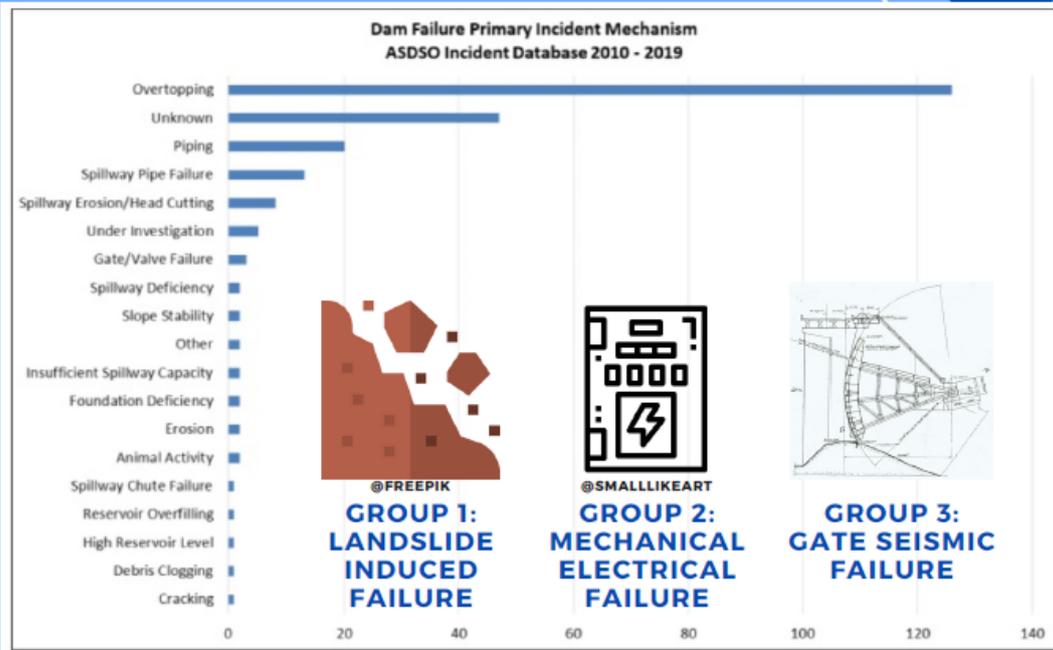
Dam site PGA (g)	Annual Probability	Return Period (yr)
0.10	2.49E-01	4
0.20	9.99E-02	10
0.30	4.01E-02	25
0.40	1.40E-02	71
0.50	4.05E-03	247
0.55	2.11E-03	475
0.59	1.05E-03	950
0.60	8.21E-04	1,218
0.64	3.59E-04	2,788
0.70	8.14E-05	12,280



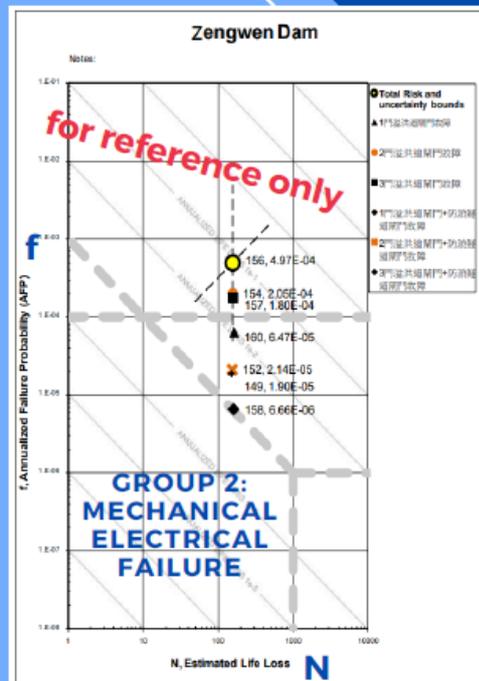
Topic 1: Internal Erosion



Topic 2: Overtopping Failure



Topic 1: Internal Erosion



Topic 2: Overtopping Failure

A standards-based approach gets you started faster; a risk-informed approach gets you thinking deeper.



@Eucalyp

DISMANTLE
THE FAILURE
PROCESS



@Smashicons

FIND OUT
INFORMATION



@monkik

GET
CLOSER TO
REALITY



@Freepik

BRAINSTORM
TOGETHER



SOURCE: WWW.WEDEAR.COM.TW

**Fully Fermented
Black Tea**
- Honey Scented

**Partially Fermented
Lishan Oolong Tea**
- Cold and sweet
Alishan Oolong Tea
- Milky Light baked
Donding Oolong Tea
- Charcoal Roasted



**THANK YOU FOR
YOUR ATTENTION**



flaticon@Freepik



附錄 3、墾務局實驗室簡章（開放預約團體自由取用）

U.S. Department of the Interior
Bureau of Reclamation
Technical Service Center

Hydraulic Investigations and Laboratory Services



The Hydraulic Investigations & Laboratory Services group applies physical hydraulic modeling, computational fluid dynamics modeling, hydraulic analysis, and field measurements expertise to the solution of water resources, hydraulics, and fluid mechanics problems. We operate the Bureau of Reclamation's world-recognized Hydraulics Laboratory with a history of developing state-of-the-art hydraulic engineering technologies since 1930. Hydraulic engineers address site-specific needs and conduct applied engineering research studies for Reclamation and other organizations, including Federal, State, and local governments, private entities, and international clients.

Services

Physical Hydraulic Modeling

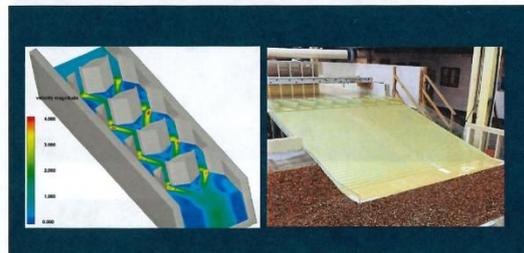
- Scale models of hydraulic structures, hydromechanical equipment, and rivers and channels with fixed and movable beds simulate prototype flow conditions in our 54,000 square foot indoor laboratory facility.
- Complex flow behaviors are measured and visualized to evaluate and improve hydraulic performance.
- Flow capacities up to 60 ft³/s and 600 ft of pressure head are available, with fixed and variable-slope flumes, a low-ambient pressure chamber, and advanced data acquisition equipment and instrumentation.

Computational Fluid Dynamics Modeling

- Computational fluid dynamics models complement physical modeling.
- Flow properties that are difficult to physically measure may be evaluated numerically.

Field Measurements and Testing

- Scanning sonar for underwater imaging
- Open channel and closed conduit discharge and velocity measurements
- Pressure (dynamic and steady state)
- Stress and vibration in mechanical components of hydraulic machinery
- Air demand of hydraulic equipment



Website: www.usbr.gov/tsc/tscorganization/8500.html

Publications: www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/reportsdb/reportsearchall.cfm

Computer Software: www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/compssoft.html



Hydraulic Investigations and Laboratory Services

Areas of Work

Hydraulic Structures & Equipment – Spillways, stepped spillways, stilling basins, pumps and turbines, gates and valves, canal structures, intakes and diversions, cavitation impacts.

Environmental Hydraulics – River restoration, fish passage, fish protection, reservoir selective withdrawal, habitat improvements, reservoir density current measurements, acoustic imaging, total dissolved gas abatement, river sediment flushing, dam removal, reservoir and river sedimentation related to hydraulic structures.



Dam Safety – Spillway uplift, high-capacity spillways (labyrinth weirs, fuse plug embankments), dam overtopping protection, spillway erosion modeling, dam foundation erosion modeling, embankment breach modeling, emergency gate closure testing, debris impacts.

Water Conservation – Canal automation and operations, water measurement technology and field evaluations, remote flow monitoring and control systems, software tools for design and calibration of water measurement structures (e.g., flumes, weirs, gates).

Offered Training

- ❖ Modern Methods in Canal Operation & Control using hands-on 5-pool laboratory model canal system
- ❖ Basic Principles & Developments in Flow Measurements
- ❖ Water Management Workshop

Software

Coanda-Effect Screen Performance | SpillwayPro
USBRWeir | WinADV | WinFlume | WinGate

Contact Information

Manager: Connie Svoboda, P.E.

csvoboda@usbr.gov

office: (303) 445-2152

cell: (303) 524-0285

Website: www.usbr.gov/tsc/tscorganization/8500.html

Publications: www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/reportsdb/reportsearchall.cfm

Computer Software: www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/compsoft.html

GEOTECHNICAL LABORATORY AND FIELD SUPPORT

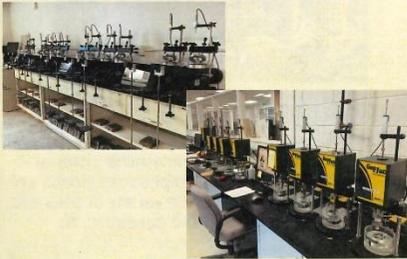
The Technical Service Center's Geotechnical Laboratory and Field Support (GLFS) group has personnel that are experts on the various geotechnical materials that compose Reclamation's infrastructure. GLFS is divided into four main disciplines:

- Soil Mechanics Laboratory
- Rock Mechanics Laboratory
- Field Testing/Site Investigation
- Research

Services offered: We provide a wide variety of services related to the soil and rock materials used for Reclamation structures. These include both laboratory and field investigations of the engineering properties of soil and rock, in-situ soil and rock testing, as well as groundwater investigations. Specialized equipment and capabilities include advanced soil and rock shear strength testing, cyclic strength testing, internal erosion testing, filter material cementation and compatibility (CEF) testing, and rock-concrete interface testing. We also offer contract testing for geological petrography, providing assistance in evaluating materials and in solving problems related to design, construction, and research.

Many of our staff hold advanced degrees, professional engineer registrations, and certifications. Staff are also highly active in professional societies such as USSD, ASDSO, ASTM, AEG, and ARMA.

Technical training offered by GLFS: Earth School and Water Management Workshop hands-on sessions. Customized training programs are available as needed.



Geotechnical Laboratory and Field Support
 Denver Federal Center
 P.O. Box 25007 (86-68550)
 Denver, CO 80225-0007
<http://www.usbr.gov/tsc/tscorganization/8500.html>

GLFS Group Manager:
 Bobby Rinehart, Ph.D., P.E.
 303-445-2395, rinehart@usbr.gov

Discipline Leads:

Rick Bearce, Ph.D., P.E. (Rock Lab Coordination)
 303-445-2387, rbearce@usbr.gov

Carolyne Bocovich, Ph.D. (Research Coordination)
 303-445-2338, cbocovich@usbr.gov

Tyler Chatfield, P.E. (Field Testing and
 Soils Lab Coordination)
 303-445-2371, tchatfield@usbr.gov

Evan Lindenbach, P.E., P.G. (Technical Specialist)
 303-445-2336, elindenbach@usbr.gov

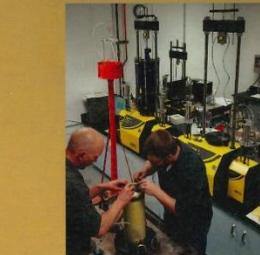
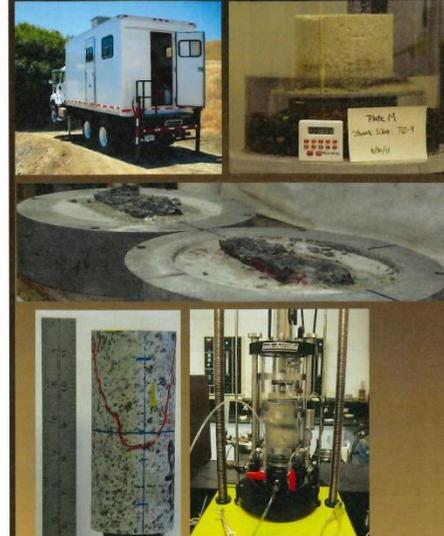


Please contact us for more information!



— BUREAU OF —
RECLAMATION

GEOTECHNICAL



— BUREAU OF —
RECLAMATION

**GEOTECHNICAL
 LABORATORY &
 FIELD
 SUPPORT**

Rock Lab Testing

- Physical and Index Properties including bulk density, specific gravity, porosity and absorption
- Ultrasonic Pulse Velocity (pre, during and post-test)
- Direct Shear (7-inch and 12-inch diameter rings)
- Fracture Shear and Normal Stiffness
- Fracture Toughness
- Triaxial Shear
- Indirect Splitting Tensile Strength
- Uniaxial Compressive Strength (static and cyclic loading)
- Point Load Test
- Tilt Table
- Slake Durability
- Rock Swell Testing
- Drillability/ excavatability Tests
- Rock Permeability
- Petrographic Analysis



Construction Materials/ Construction Support Testing

- SB, CB, and SCB mix design & QA testing
- Soil cement mix design, slope protection and engineering properties evaluation
- Rip rap quality and durability evaluation
 - Filter sand and drain gravel durability and cementation testing
 - Filter compatibility testing
 - In-situ field density testing (sand cones and large ring density)



Soils Lab Testing

Index Testing: Full range of soil physical property and compaction tests.

Static Testing:

- 1D Consolidation & Swell (Incremental load and Constant Rate of Strain)
- Direct Shear (up to 12" specimens)
- Triaxial Shear (stress path systems, SHANSEP Parameters)
- Direct Simple Shear
- Ring Shear (Fully softened and residual strength)

Dynamic Testing:

- Cyclic Direct Simple Shear
- Cyclic Triaxial Shear
- Load and displacement control up to 5 Hz
- Bender Element testing to get shear wave velocity and G_{max}

Hydraulic Testing:

- Permeability (constant and falling head tests, flow pump testing)
- Dispersion/Erosion potential
 - Internal Erosion Permeameter

Custom and non-standard testing is available upon request.



Hyrum Project, Hyrum Dam Direct Simple Shear (DSS)



Site Investigation Support

- Cone Penetration Testing
- SPT Energy Measurement/Calibration
- Field Vane Shear Testing
- Rock Borehole Dilatometer Testing
- Aquifer Characterization and Dewatering Tests
- 3D Geologic Data Visualization



Geotechnical Research

- Filter performance and cementation potential
- Geophysical techniques to monitor embankment cracking and internal erosion
- Constant Normal Stiffness direct shear testing of rock and concrete
- Internal erosion permeameter
- Heat as a tracer for canal seepage
- Cyclic behavior of fine grained transition soils
- Affect of vane size and geometry on Field Vane Shear strength
- Abrasivity potential of reservoir sediment



Earth School

GLFS delivers a 3-day course providing students with the tools necessary to determine visual soil classifications in the field. Emphasizes hands-on instruction and practice with a variety of soils and lectures on problem soils and construction.

Materials & Corrosion Laboratory (MCL)

The Materials & Corrosion Laboratory (MCL) offers expertise in engineering materials selection and corrosion control. MCL personnel are experts in the various materials and techniques Reclamation uses to build and maintain its structures as well as environmental compliance strategies. Individual subgroups include:

- Protective Coatings
- Corrosion and Cathodic Protection
- Geosynthetic and Polymeric Materials
- Composite Materials
- Environmental Compliance and Management

MCL Services

The laboratory houses extensive testing capabilities for assessing the interaction of a material with its service environment. We provide a wide variety of services including:

- Troubleshooting construction problems
- Specification preparation and review
- Material submittal approvals
- Onsite inspection and other field services
- Expertise in state-of-the-art construction materials and practices
- Research on material problems
- Technical training: "Corrosion and Coatings School" and "Webinar Series"

Technical Background

MCL staff are experts in a variety of engineering disciplines including: Chemical, Civil, Mechanical, Metallurgical, Corrosion, Materials, Ceramic, and Polymer Science. Many of our staff hold advanced degrees, professional engineer registrations, and certifications from various professional societies including NACE and SSPC.

Special Capabilities

Staff are trained in Rope Access (SPRAT) and SCUBA dive techniques to provide safe, efficient, and cost effective means for inspection or repair of otherwise inaccessible features.



Please contact us for more information!

Materials & Corrosion Lab Group Manager:

Jessica Torrey, Ph.D., P.E.
jtorrey@usbr.gov
303-445-2376

Denver Federal Center
Building 56, 1400 Wing
P.O. Box 25007 (86-68540)
Denver, CO 80225



— BUREAU OF —
RECLAMATION



— BUREAU OF —
RECLAMATION

Materials & Corrosion Laboratory



MCL Training Offerings

Corrosion School

This 3-day course hosted in Denver, CO, familiarizes participants with issues relating to corrosion of metals and corrosion protection. Discussions include: how corrosion occurs, methods to minimize and prevent corrosion on our infrastructure, protective coatings, cathodic protection (CP), new technologies, and inspection and repair techniques relating to maintenance and repair of infrastructure.



Cathodic Protection Basic Training

MCL also offers corrosion and CP training classes delivered on-site at locations throughout Reclamation's regions. Over two days, MCL staff instruct participants in basic CP testing and corrosion inspection. Training is hands-on using on-site infrastructure with in-service protective coatings and CP systems.



Corrosion Webinar Series

The Corrosion Webinar Series began in 2013 and now includes three webinars per year on topics including coatings, cathodic protection, hazardous materials, and geosynthetics. Webinars are recorded and posted to the Technical Service Center training website.

In addition to these offerings, customized training programs at your facility are also available upon request.

Protective Coatings

- Coatings selection and specifications
- Construction support, quality assurance inspections, and submittal review
- Testing of coating performance and in-house surface preparation and application
- Field coating condition assessment, maintenance planning, and small repairs
- Coatings for zebra/quagga mussel control



Corrosion and Cathodic Protection

- Cathodic protection system design, specifications, and small-scale installations
- Construction support and submittal review
- Corrosion-related field inspections of pipelines, tanks, gates, trash racks, etc.
- Materials selection for metals and non-metals
- Field testing and troubleshooting of cathodic protection systems
- Standardized (ASTM) and specialized test capabilities



Geosynthetic & Polymeric Materials

- Material design and specifications for geosynthetics (geo-membranes, -textiles, -grids, -composites, -nets, -cells, -foams, GCL's), waterstops, and elastomeric sealants
 - Plastic pipe
 - Construction QA testing, O&M support



- Applied research to evaluate material economics, maintenance practices, and design
- Standardized and specialized composite materials testing for pipelines, tanks, gates, and non-metallic alternatives for miscellaneous components (grates, rails, etc.)



Environmental Compliance and Management

- Hazardous materials design specifications
- Construction management support
- Environmental compliance audit programs, management systems, and assessments and impacts
- Waste minimization and pollution prevention plans
- Facility surveys for hazardous materials
- Phase I and Phase II environmental site assessments (property transfers)



附錄 4、Flaming Gorge 壩（火焰峽壩）簡介及 Unitas 國家風景道兒童手冊封面（開放遊客取用）



Flaming Gorge Dam rises 502 feet above the bedrock of the Green River, 32 miles south of the Utah-Wyoming border, and forms the Flaming Gorge Reservoir that extends 91 miles north into Wyoming. The reservoir has a total capacity of nearly 3.8 million acre-feet and, at the full capacity elevation of 6,040 feet above sea level, the reservoir has a surface area of 42,020 acres and 375 miles of shoreline.

The dam is located near Dutch John, Utah, a town originally established by Reclamation to house those who built the dam. The reservoir and the surrounding Flaming Gorge National Recreation Area stretch north from the Uintah Mountains in Utah to just south of Green River, Wyoming.

Water from Flaming Gorge Reservoir is released through the dam and back into the Green River. It then travels about 250 miles south to Canyonlands National Park, Utah, where it joins the Colorado River. The Green River is the largest tributary of the Colorado River.



Colorado River Storage Project (CRSP)
Initial Storage Dams



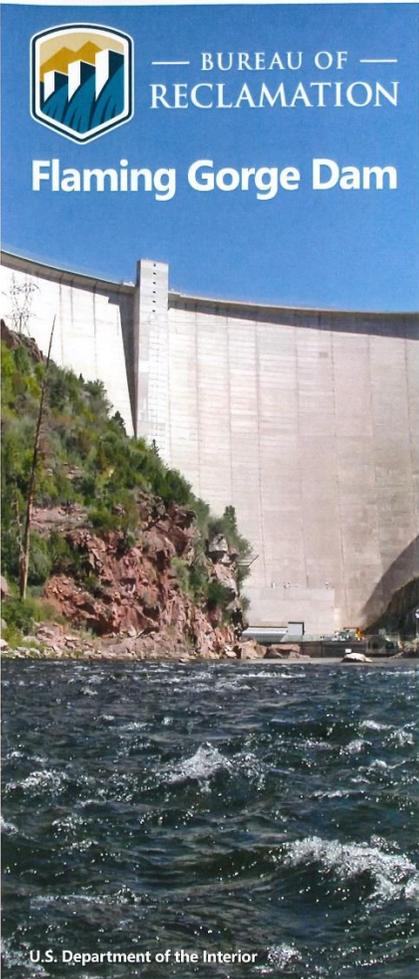
Map sources: Esri, Airbus DS, USGS, NGA, NASA, CIA/R, N Robinson, NCEAS, NLS, OS, NOAA, Geodatasystem, Rijksuniversiteit Groningen, FEMA, Intermap and the GIS user community

The Colorado River Storage Project Act of 1956 allowed for the comprehensive development of water resources by the Upper Colorado Basin states (Colorado, New Mexico, Utah and Wyoming) to provide long-term, regulatory storage of water to meet the entitlements of the Lower Colorado Basin states (Arizona, California and Nevada).

There are four initial storage units of the CRSP: Flaming Gorge on the Green River in Utah; the Wayne N. Aspinall Unit (Blue Mesa, Morrow Point and Crystal) on the Gunnison River in Colorado; Navajo on the San Juan River in New Mexico; and Glen Canyon on the Colorado River in Arizona. Each unit consists of a reservoir, dam and powerplant, with the exception of the Navajo Unit, which does not have a federally owned and operated powerplant.

These units work together to regulate the flow of the Colorado River and its tributaries to provide flood control, store water for times of drought, produce hydropower, and deliver water for agricultural, municipal, and industrial uses.

Meeting one of its important functions as an initial storage unit of the CRSP, Flaming Gorge recently delivered supplemental water to Lake Powell to help protect the reservoir from dropping below critical elevations. In 2021, Flaming Gorge sent an additional 121,000 acre-feet of water to Lake Powell, and delivered another 463,000 acre-feet from May 2022 to early March 2023.



BUREAU OF RECLAMATION

Flaming Gorge Dam

U.S. Department of the Interior

Dam Facts

Height above bedrock: 502 feet
 Height above original river channel: 455 feet
 Crest length (arc length at axis of dam): 1,285 feet
 Cost of dam and reservoir: \$49,600,000
 Cost of powerplant and switchyard: \$65,300,000
(Paid in full to the U.S. Treasury from the sale of hydropower.)
 Excavation total:
 1,023,971 cubic yards of rock and sand, including
 1,775 feet of tunnels, down to 60 feet below the
 original river channel.



History

Construction authorized	April 11, 1956
First construction contract awarded	Jan. 4, 1957
Prime contract awarded	June 18, 1958
Green River diverted around dam site	Aug. 17, 1959
First bucket of concrete poured	Sept. 18, 1960
Last bucket of concrete poured	Nov. 15, 1962
Reservoir started filling	Dec. 10, 1962
First generator started	Sept. 27, 1963
<i>by President John F. Kennedy</i>	
Last generator completed	Feb. 12, 1964
Dedicated	Aug. 17, 1964
<i>by First Lady "Lady Bird" Johnson</i>	



6,040 ft*
 Full Pool

PENSTOCK GATES

Selective withdrawal structure, added in 1978, allows water to be released through gates at different levels and varying water temperatures to better match ideal habitat conditions of the native fish in the Green River.

PENSTOCK INTAKE

Allows water down through the penstock to turn the turbine and generate hydropower.

5,871 ft

Minimum Power Pool
 Lowest point at which hydropower can be generated.

TRASH RACK STRUCTURES

Prevents debris from entering the penstock and bypass intakes.

BYPASS INTAKE

5,740 ft

Dead Pool
 Lowest point at which water can be drawn from the reservoir.

Flaming Gorge Reservoir



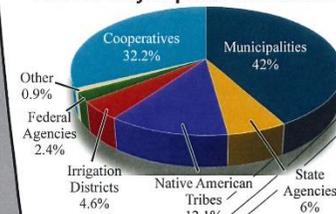
3 GENERATORS
 (50,500 kW each)

SPILLWAY GATES

Powerplant Facts

Generating units:	3
Capacity:	50,500 kW each
Plant peak to date:	138,000 kW
First unit on line:	Nov. 11, 1963
Last unit on line:	Feb. 12, 1964
Unit Voltage:	11,500 Volts
Transformer Voltage:	138,000 Volts

How is the hydropower distributed?



TRANSFORMERS

POWERPLANT

BYPASS GATE

TURBINE

Green River

BEDROCK

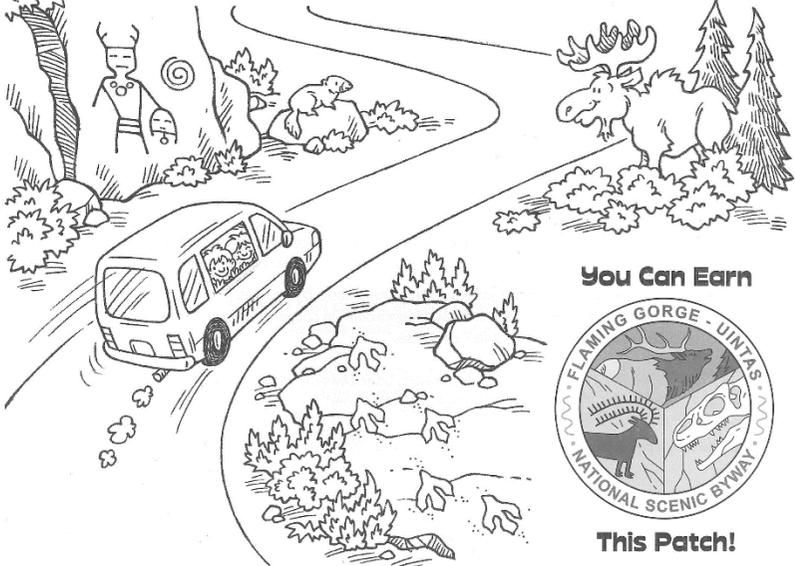
* Feet above sea level



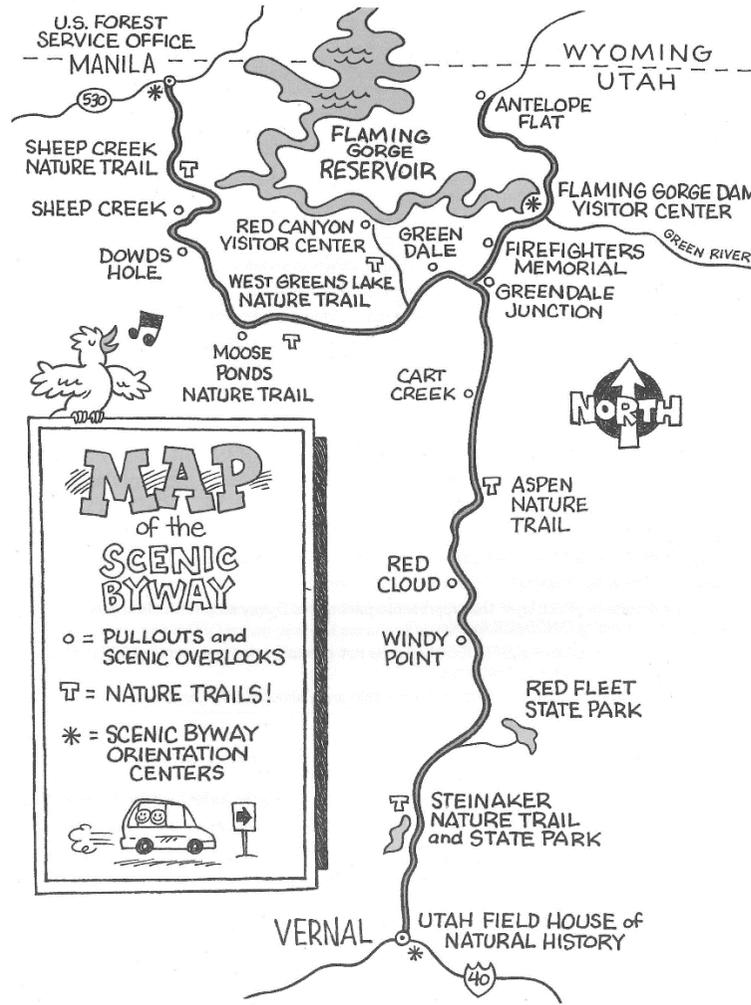
Children's Guide to the



Flaming Gorge-Uintas National Scenic Byway



You Can Earn This Patch!

U.S. FOREST SERVICE OFFICE MANILA

WYOMING UTAH

FLAMING GORGE RESERVOIR

GREEN RIVER

ANTELOPE FLAT

FLAMING GORGE DAM VISITOR CENTER

SHEEP CREEK NATURE TRAIL

SHEEP CREEK

RED CANYON VISITOR CENTER

GREEN DALE

FIREFIGHTERS MEMORIAL

GREEN DALE JUNCTION

WEST GREENS LAKE NATURE TRAIL

MOOSE PONDS NATURE TRAIL

CART CREEK

ASPEN NATURE TRAIL

RED CLOUD

WINDY POINT

RED FLEET STATE PARK

STEINAKER NATURE TRAIL and STATE PARK

UTAH FIELD HOUSE of NATURAL HISTORY

VERNAL

40

MAP of the SCENIC BYWAY

- = PULLOUTS and SCENIC OVERLOOKS
- ⊓ = NATURE TRAILS!
- * = SCENIC BYWAY ORIENTATION CENTERS



NORTH

