

出國報告（出國類別：研習）

大壩安全評估國際研習會暨技術考察

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

姓名職稱：尤仁弘 工程員

出國期間：102年6月9日至6月21日

報告日期：102年9月2日

目 錄

目錄.....	I
圖目錄.....	II
摘要.....	1
第壹章 目的.....	1
一、 緣起.....	1
二、 研習目標.....	1
第貳章 過程.....	3
一、 室內研討課程.....	3
(一) 6月11日.....	3
(二) 6月12日.....	19
(三) 6月13日.....	24
(四) 6月14日.....	28
二、 現地勘查課程.....	30
(一) 6月17日.....	30
(二) 6月18日.....	41
(三) 觀察丹佛市排水系統.....	53
(四) 課後花絮.....	56
第參章 心得與建議.....	59

圖 目 錄

圖 2-1	美國各州缺水程度示意圖(偏紅表示缺水).....	4
圖 2-2	大樓外牆以鋼鐵人來呼籲民眾愛護環境看板.....	5
圖 2-3	水資源研討會會場看板-搜尋漏水方法.....	6
圖 2-4	水足跡-讓飲用水的民眾得知水的來源.....	7
圖 2-5	水壩使用用途比例.....	8
圖 2-6	美國境內水壩擁有單位比例.....	8
圖 2-7	風險管理決策流程圖.....	9
圖 2-8	道路攔截點與庫區水面上攔截網.....	10
圖 2-9	Teton Dam 壩體滲流破壞.....	11
圖 2-10	Teton Dam 右壩墩地質層面與節理.....	12
圖 2-11	Sheep Creek Dam 管路的滲流破壞.....	13
圖 2-12	壩座地質條件不佳造成破壞.....	14
圖 2-13	義大利 Vaiont Dam 邊坡滑落形成破壞.....	14
圖 2-14	壩頂或下游坡面樹木根部所造成之破壞.....	15
圖 2-15	以生命週期概念來說明設備維持重要.....	16
圖 2-16	魚道水工試驗模擬.....	17
圖 2-17	水閘門衝擊力試驗.....	17
圖 2-18	Folsom Dam 改善計畫溢洪道模擬.....	18
圖 2-19	500 萬噸抗壓機.....	19
圖 2-20	大壩溢流破壞樹枝圖分析.....	22
圖 2-21	專家評分法給訂機率值大小.....	22
圖 2-22	風險分析參考文獻.....	23
圖 2-23	美國大壩破壞原因分析.....	23
圖 2-24	EPA 的操作流程圖.....	26
圖 2-25	負責決策層級表.....	27
圖 2-26	戶外現地參訪的講師團.....	31

圖 2-27	Boca Dam 銘牌.....	31
圖 2-28	Boca Dam 溢洪道下游邊坡損壞.....	32
圖 2-29	Boca Dam 溢洪道閘門.....	33
圖 2-30	Boca Dam 一景（水上摩托車）.....	33
圖 2-31	Boca Dam 上游殼層.....	34
圖 2-32	Stampede Dam 下游殼層綠帶綠帶.....	35
圖 2-33	Stampede Dam 壩頂道路裂縫.....	36
圖 2-34	Stampede Dam 壩頂道路裂縫.....	37
圖 2-35	溢洪道與下游一景.....	38
圖 2-36	Stampede Dam 蓄水區一景（釣魚）.....	38
圖 2-37	Prosser Creek Dam 銘牌.....	39
圖 2-38	Prosser Creek Dam 下游殼層調查教學.....	40
圖 2-39	Prosser Creek Dam 量水堰與旁邊綠帶.....	40
圖 2-40	Folsom Dam 管制塔.....	41
圖 2-41	Folsom Dam 壩頂一景.....	42
圖 2-42	Folsom Dam 壩頂上起重機.....	43
圖 2-43	Folsom Dam 現有溢洪道進水口.....	44
圖 2-44	Folsom Dam 取水口.....	45
圖 2-45	Folsom Dam 溢洪道下游與新建公路.....	46
圖 2-46	Folsom Dam 混凝土塊採型鋼側向加勁.....	47
圖 2-47	Folsom Dam 混凝土塊壩頂採鋼板加勁.....	48
圖 2-48	Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 1.....	49
圖 2-49	Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 2.....	49
圖 2-50	Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 3.....	50
圖 2-51	Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 4.....	50
圖 2-52	Nimbus Dam 擋水閘門.....	51

圖 2-53	Nimbus Dam 魚類復育人工養殖場（摘自網路）	52
圖 2-54	Mormon Island Dam 下游殼層邊坡潛變.....	53
圖 2-55	丹佛市人行道旁的排水系統.....	54
圖 2-56	科羅拉多大學丹佛分校校區排水系統.....	55
圖 2-57	丹佛市區內渠道.....	56
圖 2-58	本次參與研討會的學員.....	57
圖 2-59	在美與我共同運動的加拿大同學.....	57
圖 2-60	與台美合作計畫第 6 號附錄成員餐敘.....	58
圖 2-61	與本次帶班的 Leanna（右 2）和 Mary（右 3）一同合照.....	58

摘 要

一、緣起

水庫的安全在現今高度發展的社會更為重要，水庫除了扮演蓄水供水的角色外，還需要提供休憩、控制洪水、水力發電等，而隨著水庫越蓋越大，若是破壞所影響下游居民生命財產甚可觀，因此美國內政部墾務局遂辦理本次「大壩安全評估國際研習會暨技術考察」，墾務局為美國西部最重要的水庫規畫、興建、管理單位，在水庫興建前、中、後不同階段都有相當豐富的實務經驗，藉由 4 天的室內研習課程與 2 天的現地勘查討論，分享墾務局在水庫安全檢查經驗。

二、過程

室內課程涵蓋有墾務局的組織介紹、水壩安全評估的發展歷史背景、水庫安全系統概論、過去壩體破壞事件中所獲得的經驗、水庫營運與維護、壩體安全評估與監測資料中來分類破壞模式、風險分析與風險評估、危害度分析、地質調查在壩體安全所扮演的角色、混凝土壩或附屬結構物的結構物修復、大壩操作標準作業程序與操作訓練、緊急危機管理管理工作坊、水工機械與附屬結構物檢查，課程相當多樣廣泛；室外課程部分帶我們前往六座水庫，分別為 Boca Dam、Stampede Dam、Prosser Creek Dam、Folsom Dam、Mormon Island Dam、Nimbus Dam，分別介紹各個壩體目前的問題、未來解決的方式等。

三、心得與建議

1. 美國水庫的使用目標與台灣大不相同，美國水庫最常被作為休閒旅遊用，依序為保護魚類與野生動物、洪水控制和航運用，供水和灌溉竟然只佔 8%與 9%，而臺灣的水庫大都為供水目的，為避免水質遭破壞而禁止民眾休閒遊憩。
2. 美國水庫高達 69%為私人擁有，政府單位所擁有比例約佔 29%，此與臺灣 100% 國有（含國營事業）完全不同。
3. 在水庫安全評估部分，在大壩旁的山脊邊坡、排水廊道等我們多採目視檢查與拍照紀錄，建議應多採量化方式呈現，如此數據才能進行前後比對，瞭解變化程度，例如山脊邊坡結構物有明顯裂隙處，裝設位移計，量化裂隙變化情形，而排水廊道常見排水孔結晶物，建議應有成份分析，來瞭解結晶物為何種材料析出，並要

確保排水孔的暢通。

4. 受訓過程中參與緊急危機管理管理工作坊討論，Emergency Action Planning 緊急處理計畫，台灣水庫管理單位也有制定類似緊急處理手冊，建議應該有定期演練並定期檢討內容是否需要調整，如連絡人清冊等。
5. 美國政府為因應氣候變遷的影響，進行水庫蓄洪、排洪能力檢討，並依此來改建水庫溢洪道或加高壩體；目前墾務局正在進行 CVP (Central Valley Project)，針對加州地區三大流域 (Sacramento River、Trinity River、American River) 進行整體水資源管理。
6. 從邊坡整治的觀念瞭解墾務局相當務實，從最基礎的邊坡地質調查、材料分析、室內模擬等，最後才決定出最佳改善工法，並不急於馬上處理。

第壹章 目的

一、緣起

水-是生活中不可缺少的生活要件，炎熱的夏天你需要喝水解渴、去游泳池泡水降溫，寒冷的冬天你需要熱水來煮火鍋、泡薑茶來祛寒，一般日常生活你更需要水來沖洗廁所、洗衣、洗澡來維持衛生，工業上如半導體、面板等需要水來當作製成過程中降溫或潤滑用，不然現在可能沒辦法到處滑你的智慧型手機、在家享受高畫質的電是視覺享受，農業上更需要水來灌溉作物。從古至今，人就開始懂得攔住河流蓄水後，將水導往需要使用的區域，漸漸地對於水的需求越來越多，因此需要建築更大的蓄水設施來供水，因此世界各國皆興建水庫來蓄水，且依照更完備的程序興建出更安全可靠的水庫，水庫在水資源利用裡扮演重要角色。

綜合上述，水庫的安全在現今高度發展的社會更為重要，水庫除了扮演蓄水供水的角色外，還需要提供休憩、控制洪水、水力發電等，而隨著水庫越蓋越大，若是破壞所影響下游居民生命財產甚可觀，因此美國內政部墾務局遂辦理本次「大壩安全評估國際研習會暨技術考察」，墾務局為美國西部最重要的水庫規畫、興建、管理單位，在水庫興建前、中、後不同階段都有相當豐富的實務經驗，藉由 4 天的室內研習課程與 2 天的現地勘查討論，分享墾務局在水庫安全檢查經驗。

二、研習目標

本人於過去研究生時期與未任公職前約有二年時間參予水庫安全評估中的現地安全檢查項目，我們利用目視、儀器監測資料與地球物理調查方式檢查壩體本身是否安全，雖僅為水庫檢查小小的一環但卻令我印象深刻，感謝水利署提供此機會讓我能夠親自了解美國或其他國家如何進行現地檢查，或是瞭解其他國家在水庫檢查上的程度如何，研習過程分為室內與室外課程，室內課程著重由墾務

局進行土石壩與混凝土壩的破壞型式、案例介紹、檢查項目等，其中並選定一日下午時間進行分組討論，將所有學員拆成三組針對不同感興趣的課程進行討論；室外課程部分帶我們前往六座水庫，分別為 Boca Dam、Stampede Dam、Prosser Creek Dam、Folsom Dam、Mormon Island Dam、Nimbus Dam，分別介紹各個壩體目前的問題、未來解決的方式等，另外並帶領學員親自到拋石層（殼層）瞭解如何觀測壩體滲流。透過此研討會能從美國壑務局學到他們在壩工設計的理念、方式、尤其是對於運轉中水庫的安全檢查的落實執行，工程人員對於工作的態度更值得我們學習。

第貳章 過程

墾務局每年約 8 月會向世界各國水庫相關單位招生，辦理水庫安全檢查等相關的課程，本年度所舉辦的課程名稱為「大壩安全評估國際研習會暨技術考察 Safety Evaluation of Existing Dams International Technical Seminar and Study Tour」，今年提早至 6 月初舉辦，本次課程從 6 月 11 日至 6 月 18 日，共計 8 天。6 月 9 日晚上 6 點 40 分搭乘長榮航空於台灣桃園機場起飛，於洛杉磯機場轉機，抵達丹佛機場已是當地凌晨 12 點，雖然疲累但卻很期待天亮後丹佛的樣貌。

一、室內研討課程

6 月 11 日至 6 月 14 日共計 4 天的室內課程，每天早上由墾務局派巴士搭載所有學員前往聯邦辦公區的墾務局大樓上課，美國政府在 911 恐怖攻擊後對於安全檢查更加嚴格，除了機場海關檢查非常仔細外，要進入聯邦辦公區前會有警衛上車檢查每個人的護照。

(一)6 月 11 日

課程開始先由各學員介紹自己，如姓名、負責工作內容、來自國家、專長等，本次研討會共有 17 位學員，來自 7 個國家，包含台灣、南韓、加拿大、南非、哥倫比亞、澳洲、巴拿馬，加拿大的學員來自非常有名的 BC Hydro（水文水理分析很強的單位），該單位不遜於墾務局但仍派人前來學習，且課堂中也相當謙虛，很令我佩服。

課程開始由這次的帶隊官（班主任）Leanna Principe 介紹墾務局，墾務局為美國內政部下水利與科技部門（Water and Science），同部門的還有相當有名 USGS（US Geological Survey），墾務局掌管美國中西部共 17 州的水資源管理（東部則為美國陸軍工兵團 US Army Corps of Engineers 管理），而美國中、西部是缺水嚴重地區，如圖 2-1 所示，顏色偏紅色表示缺水嚴重區域，而又以美西最為嚴重，加州供應美國 70% 農產品為美國農業重鎮，更是缺水不得，因此墾務局在管理營運水資源更為重要，另外，墾務局除了農業供水問題外，尚需要管理工業用水、水力發電、休閒遊憩、魚類和野生動物保育、洪水控制等。



圖 2-1 美國各州缺水程度示意圖(偏紅表示缺水)

墾務局現階段面臨為美西目前以每年 10% 人口成長率，對於已經供水吃緊的美西更顯困難，因此墾務局已經開始著手規劃改善現有水庫，政府也積極宣導民眾節水觀念，我在丹佛市區間參與水資源會議，會場外以「鋼鐵人+美國隊長」來呼籲民眾重視環保議題，如圖 2-2 所示，會場內以看板來展現管理單位如何管理營運，如圖 2-3 所示為利用聽音技術來探測地下管線有無漏水，會場外有台飲水車，如圖 2-4 所示，讓民眾知道水龍頭的水是來自洛磯山脈融雪，經過 10 座水庫、3 座處理場、18 座抽水站才來到你家，讓民眾了解水來之不易。



圖 2-2 大樓外牆以鋼鐵人來呼籲民眾愛護環境看板



圖 2-3 水資源研討會會場看板-搜尋漏水方法



圖 2-4 水足跡-讓飲用水的民眾得知水的來源

第二堂課介紹水壩安全評估的歷史背景，在政府所登記有案的 84000 座水壩中，若依照使用用途比例來作區分，如圖 2-5 所示最常被作為休閒旅遊用，依序為保護魚類與野生動物、洪水控制和航運用，供水和灌溉竟然只佔 8%與 9%，這與台灣水庫供水型態截然不同，可以想像美國管理單位在營運管理上不像台灣來的緊繃；從圖 2-6 值得注意的是美國水壩高達 69%為私人擁有、地方政府為 20%、州政府為 5%、聯邦政府為 4%，如果把政府單位所擁有比例加總起來也 29%，與台灣不同的是台灣所有水壩或水庫等皆為政府所擁有（或半官方如台糖公司、台水公司），經詢問後得知有 3 個原因：

原因一：美國水壩（Dam）定義與台灣不同，小型 3~5m 低矮的壩美國也稱為水壩（Dam）。

原因二：美國因幅員廣大，農林牧業用水需要，會築壩截水來使用，這理所指的壩即為前述低矮壩。

原因三：政府所擁有的比例雖然低，但皆為大型水壩且為重要性高的水壩。

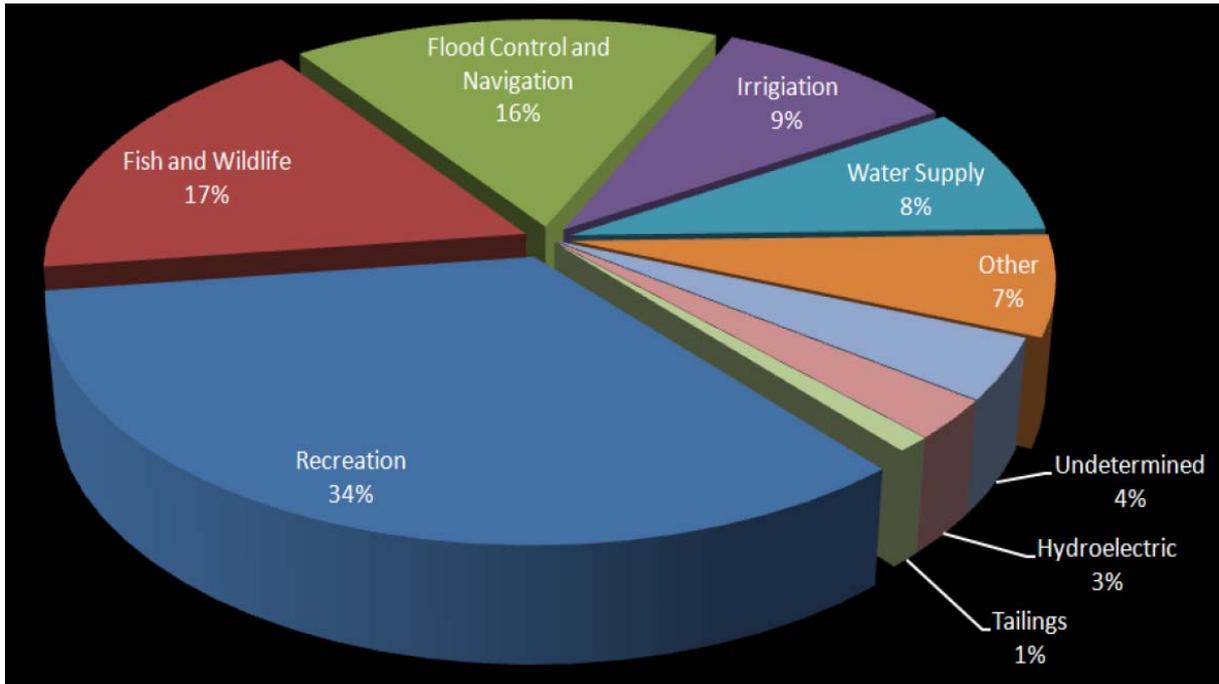


圖 2-5 水壩使用用途比例

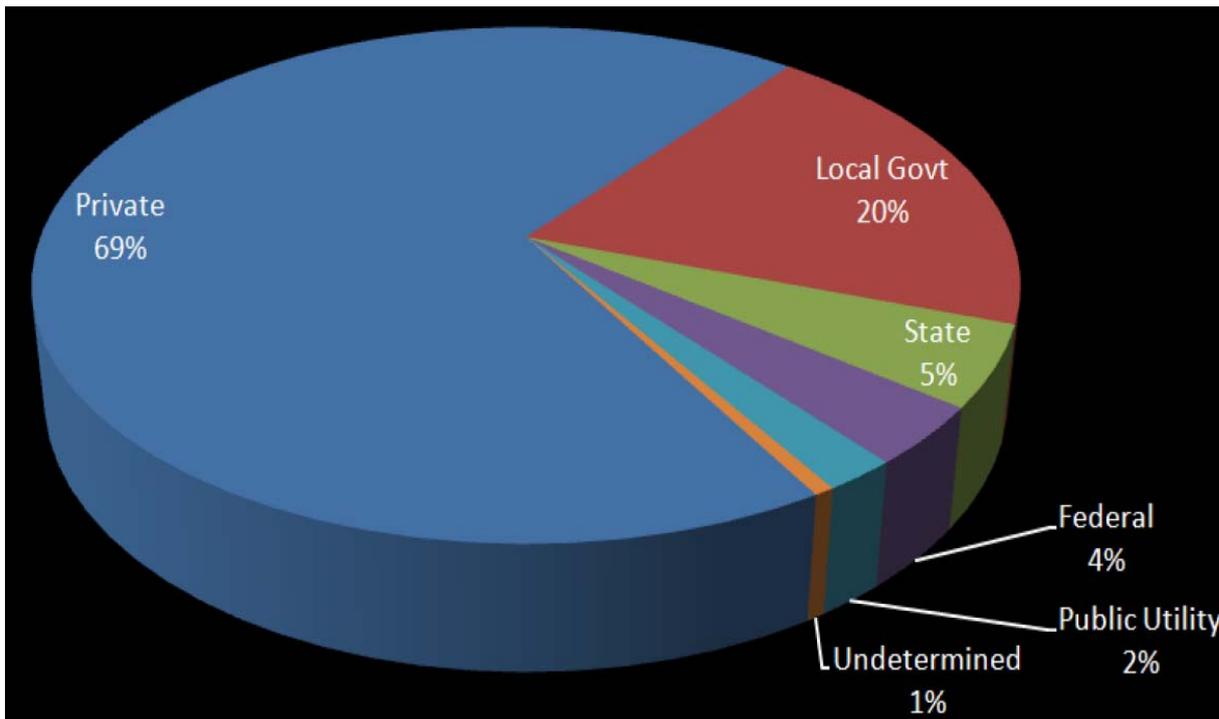


圖 2-6 美國境內水壩擁有單位比例

雖然聯邦政府擁有水壩的比例很低，但課程中講師提到，大部分的水壩為州政府所管理，但聯邦政府仍掌管水壩的安全。課程的後半段介紹美國境內著名的水壩破壞案例，其中又以 1976 年 6 月的 Teton Dam 事件最為重要，Teton Dam 破壞造成 11 人死亡，

5 億美元損失，1978 年墾務局開始著手進行壩體安全分析，並於 1979 年出版壩體安全評估的指標手冊，同年美國總統卡特並指示成立 Federal Emergency Management Agency (FEMA) 聯邦緊急事務署，其中一項業務為負責緊急疏散撤離、提供州政府或水庫擁有者水庫安全評估訓練。而墾務局從 1990 年代後採用風險管理的概念來評估壩體安全，由圖 2-7 可知先進行風險分類，再進行風險分析、風險評估，最後提供壩的安全評估決策。

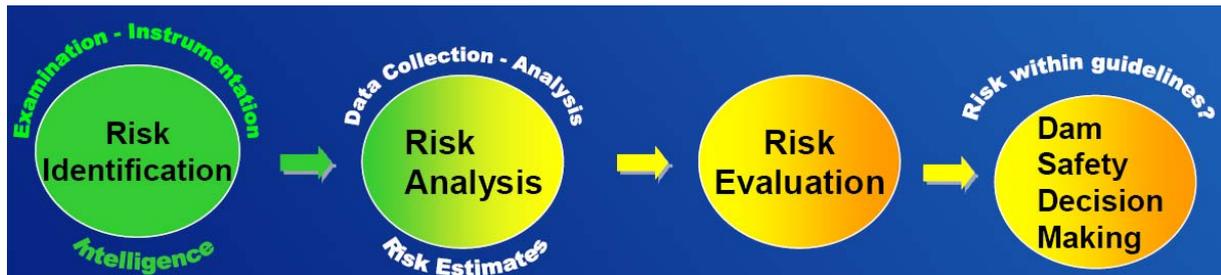


圖 2-7 風險管理決策流程圖

若以數學式來說明何謂風險，風險 (risk) = 發生機率 (load) * 破壞機率 (response) * 損失 (consequences)，發生機率意義為水壩災害的機率包含洪水、地震、管湧等發生的機率，破壞機率意義為水壩遭受到前述的災害時的反應表示為水壩的破壞機率，損失即為若遭受災害會發生的災損如生命、經濟、環境、文化的損失等。

第三堂課介紹水庫安全系統概論，墾務局擁有 480 座壩和 348 水庫，總蓄水量達 24.5 億英畝-英呎，供應 3.1 億人和 1 億英畝農田，有 58 座水力發電廠總發電量達 4 千億 KW/h 發電量 (台灣為 3.93 億 KW/h)，最特別的有 308 座水壩供休閒用途，每年約有 9 億人次使用，因此水庫安全系統的建置相當重要，課程中提到 4 點必要的安全設施如下：

1. 機具設備、場所的安全檢查：例如進入壩區的攔檢點、設置在壩體旁水上浮台的攔截網，如圖 2-8 所示。



圖 2-8 道路攔截點與庫區水面上攔截網

2. 個人的安全檢查：瞭解每位工作者是否適合該職務，並確認是否能夠被允許瞭解資訊，利用不同的授權程度來控管風險。
3. 識別管理：也屬於個人安檢方式之一，利用識別卡來辨識使用者，並可區分個人權限。
4. 資訊安全檢查：避免重要資訊被恐怖分子利用，這點是目前美國政府最重視，嚴格控管資料分享。

美國政府在 911 之後非常重視安全檢查這部分，講師在課後提出，安全檢查不單指是在水庫營運的硬體設備檢查，必須包含「軟性」的部分，如監視系統檢查、人員進出控管的安全檢查、資料安全檢查，且每個安全系統都必須獨立，避免被攻擊後系統產生連鎖破壞。

第四堂課由本次研習的另一位帶隊官（班主任）DeWayne 介紹由過去壩體破壞事件中所獲得的經驗，介紹案例高達數十座，破壞型式整理如下：

1. 壩頂溢流破壞：例如賓州的 South Fork Dam，完工於 1853 年，因 1889 年一場大雨造成壩頂溢流，原因為水庫庫容與溢洪道比例不對稱，造成溢洪道洩洪量不足進而產生壩頂溢流破壞，因此在設計溢洪道流量時須考慮與水庫庫容相對稱。
2. 滲流破壞：可從壩體滲流、從管路外產生滲流路徑。最著名的滲流破壞案例為愛達荷州的 Teton Dam，如圖 2-9 所示，因壩體產生滲流（seepage），滲流水

壓不斷將壩體內部土壤顆粒帶出，於壩體內部形成滲流路徑，並於下游坡面產生孔洞，最終進而掏空使整座壩倒塌。經詢問講師從發現跡象到壩體破壞約 5 小時，能通知下游民眾撤離。



圖 2-9 Teton Dam 壩體滲流破壞

而事後檢討為何於右壩墩會產生滲流路徑，壩務局調查小組發現該處地質層面呈現水平狀，且節理豐富地質過於破碎，容易形成滲流路徑，進而掏空土壤形成破壞，因此地質調查在工程施作前是相當重要工作。



圖 2-10 Teton Dam 右壩墩地質層面與節理

管路的滲流案例以北達科他州的 Sheep Creek Dam 為例，如圖 2-11 所示，壩體中建築一條輸水隧道，輸水隧道以涵管相接方式建造，滲流水壓沿涵管外掏刷土石材料，使涵管周圍土壤有效應力降低、剪力強度降低因此造成涵管支承力不足破壞，最終壩體倒塌。

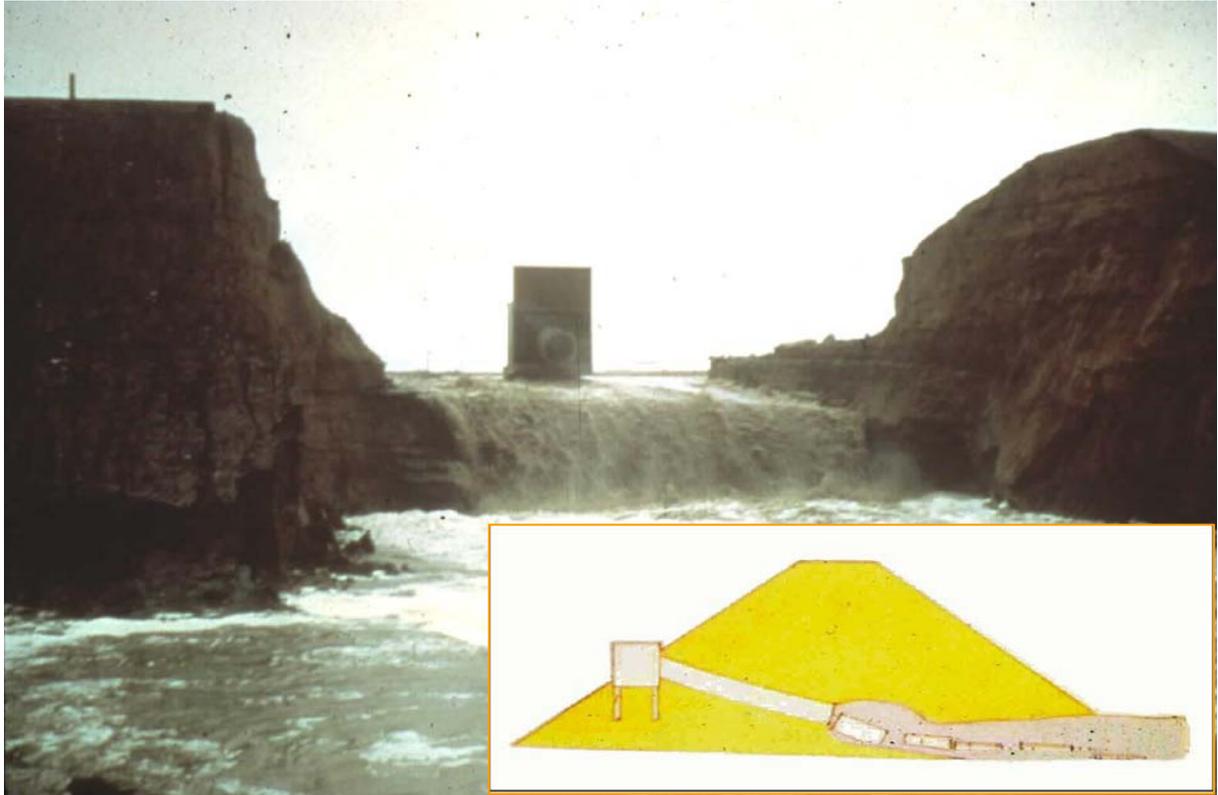


圖 2-11 Sheep Creek Dam 管路的滲流破壞

3. 地質條件破壞：壩座地質過於破碎、地質層面與築壩材料膠合角度不佳、斷層、上游邊坡土石滑落造成壩頂溢流。課程中首先以台灣的石岡壩做為案例，石岡壩因車籠埔斷層抬升造成壩體破壞，因此必須詳細調查壩體周圍的地質條件。另一案例為巴西 Camara Dam 如圖 2-12 所示，右壩墩坐落在光滑的岩盤上，該壩以混凝土建造，在壩與岩盤交界處膠合不佳，導置右壩座崩塌。義大利 Vaiont Dam 則是上游壩體旁邊坡滑落，造成庫水壩頂溢流，如圖 2-13 所示，庫區上游靠近壩體旁左邊坡有一明顯滑動面，因高強度降雨後滑動面上方土石滑落至庫區，排擠原本蓄水體積，因此形成壩頂溢流，並造成下游河道水位抬升 100m 高，造成下游村庄有 2,600 人死亡，因此地質調查不單只局限於壩體壩址，應連周圍下游邊坡地質條件皆應調查完整。



圖 2-12 壩座地質條件不佳造成破壞



圖 2-13 義大利 Vaiont Dam 邊坡滑落形成破壞

4. 動植物造成破壞：下游坡面或壩頂樹木根部可能形成孔隙，若樹木乾枯後倒塌會造成滲流路徑，如圖 2-14 所示，因此壩頂或下游坡面必須將樹木清除；而

美國有一最特別破壞，為地鼠打洞，若地鼠在壩體鑽洞容易形成滲流路徑，也需要特別注意。

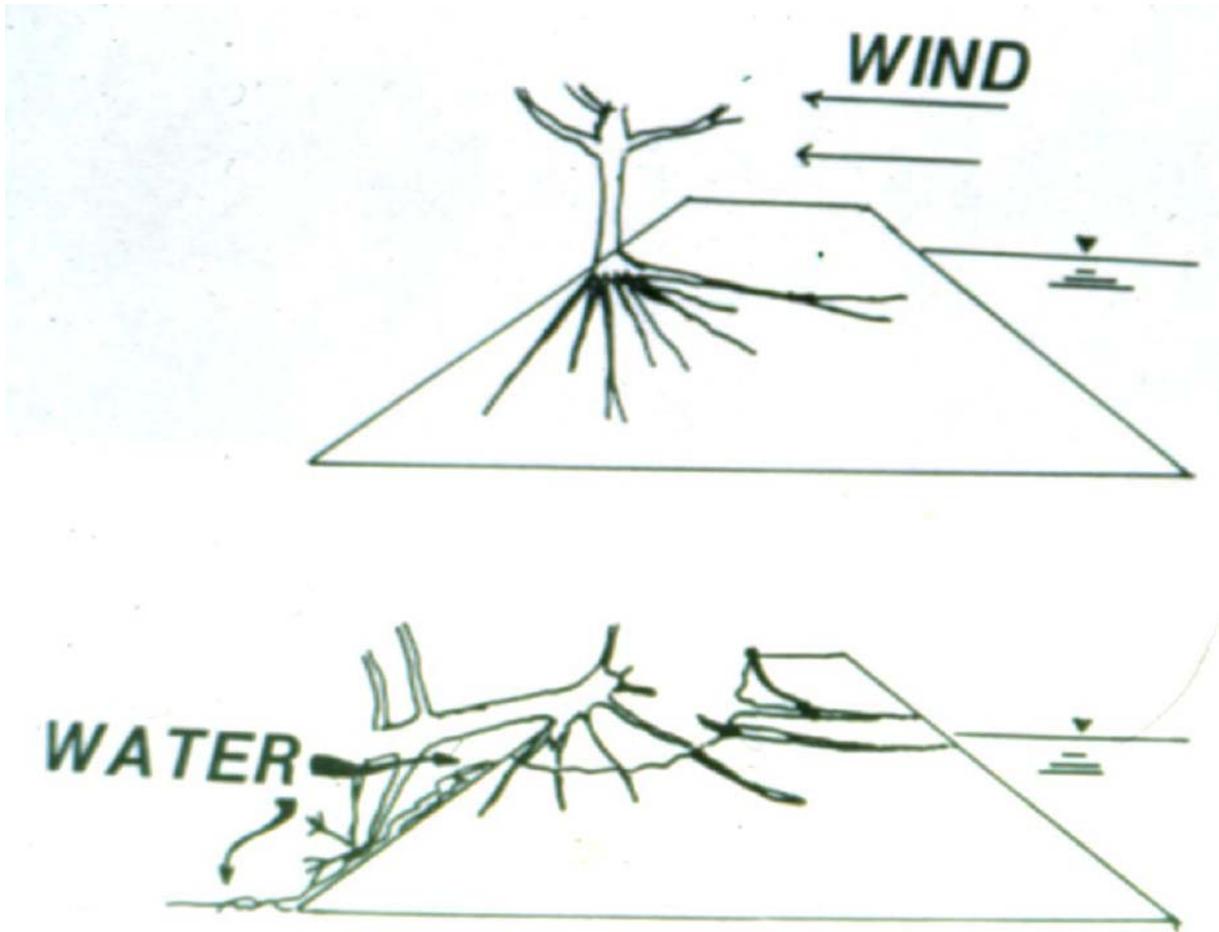


圖 2-14 壩頂或下游坡面樹木根部所造成之破壞

第五堂課講演水庫營運與維護，以墾務局為例大部分水庫都超過 50 年，壩體老化勢必會降低營運效能，因此必須要有完整的維護計畫來維持運作正常，講師提到以「生命週期」概念來進行水庫維護計畫，如圖 2-15 所示，X 軸為時間 Y 軸為設備狀況，設備原處於青壯期，但運轉一段時間後效能變低狀況變差即進入衰退期，但在進入損壞狀況前馬上進行維護計畫，設備又會回到良好狀態，因此在固定週期引進維護計畫來維持設備狀態，但值得注意雖然有維護計畫在維持設備狀態，但設備每次更新完無法回到全新的狀態，仍會有老化情形，維護計畫僅能延長設備使用年限。

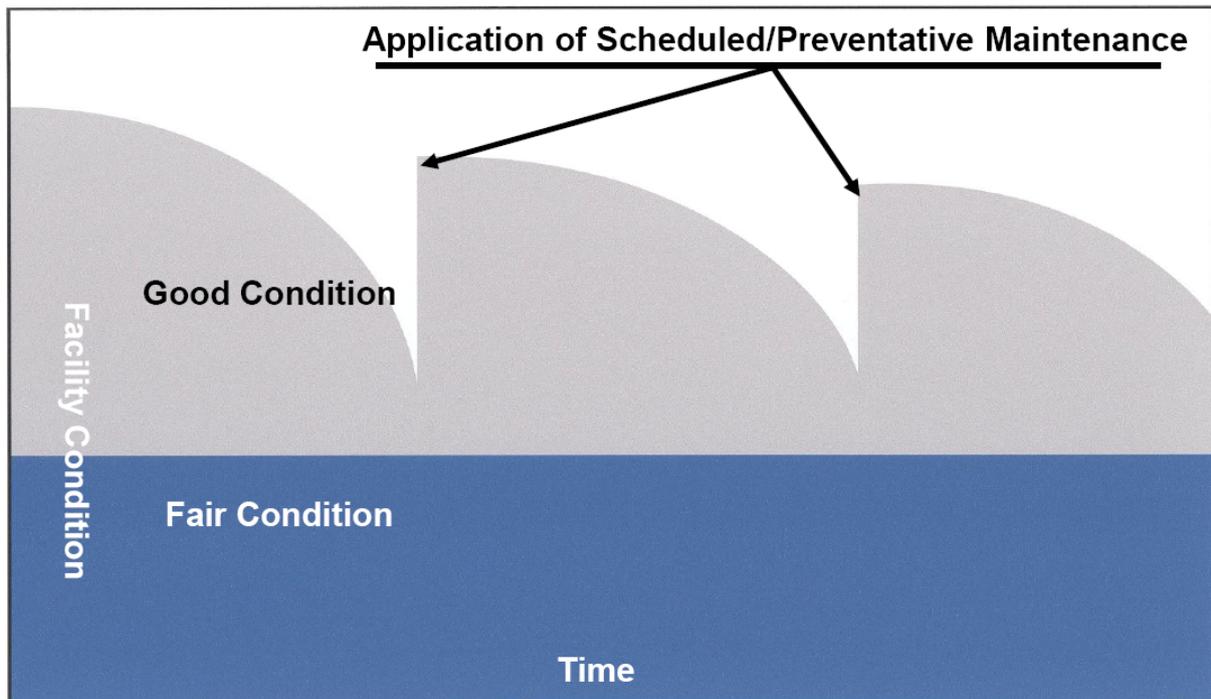


圖 2-15 以生命週期概念來說明設備維持重要

本日最後一堂課程為參觀壑務局試驗室，水工模擬實驗室等同本所水工試驗課，材料實驗室等同本所大地試驗課。圖 2-16 至圖 2-19 分別為實驗室內模擬設備與儀器；圖 2-16 為魚道模擬，利用類似魚骨的方式產生激流，讓有迴流性的魚類往上溯並能有休息空間，圖 2-17 為水閘門衝擊試驗，注意圖上閘門後方有需多白點處，該點為模擬閘門若受水流衝擊破壞後，可以利用閘門後方支承提供第二道支承力，避免閘門破壞掉落。圖 2-18 為壑務局目前正在進行的 Folsom Dam 改善計畫，該壩另新建一溢洪道，進水高程較原溢洪道低，作為緊急洩降用，而該模擬試驗模擬新建溢洪道與舊有溢洪道同時洩洪時對下游的影響，擔心在兩道水流下游交會處會產生漩渦並向下掏刷；圖 2-19 為材料實驗試 500 萬噸抗壓機，可模擬大尺寸混凝土試體受壓破壞情形，降低試體的尺寸效應影響。



圖 2-16 魚道水工試驗模擬

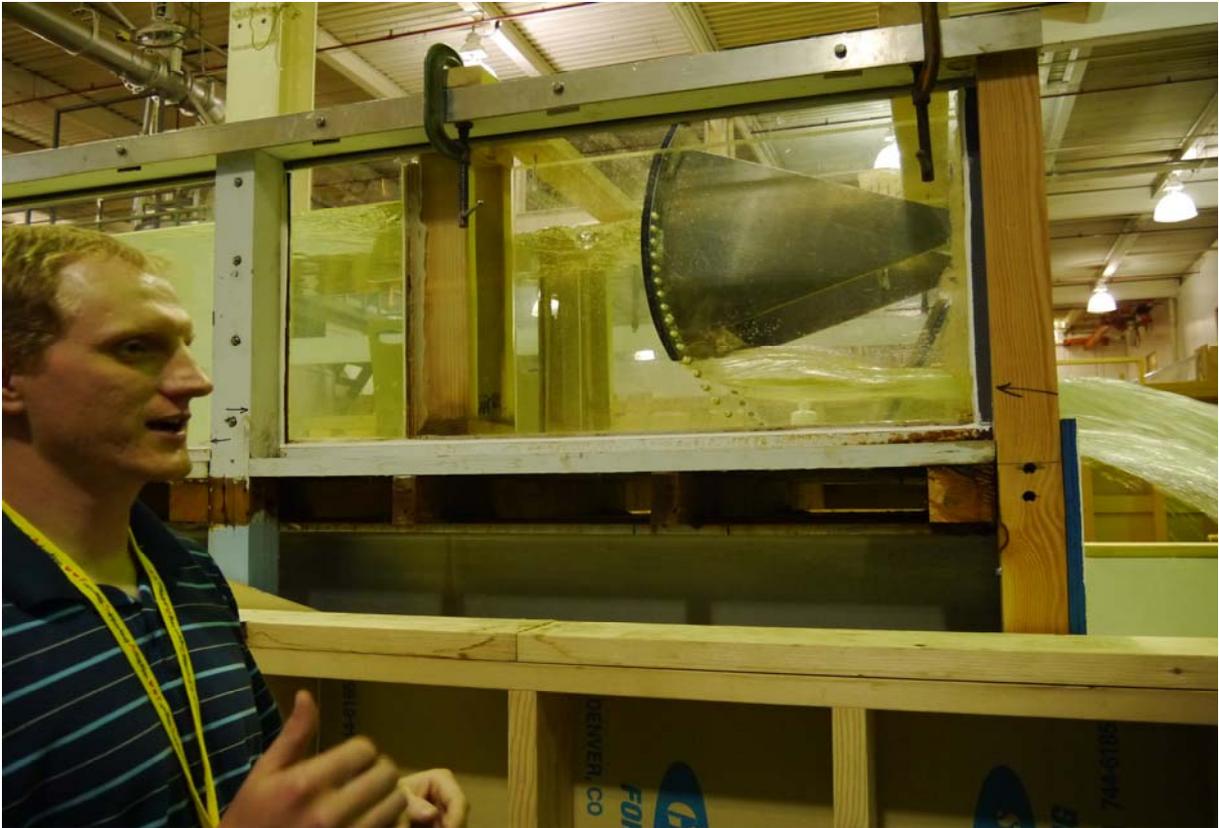


圖 2-17 水閘門衝擊力試驗

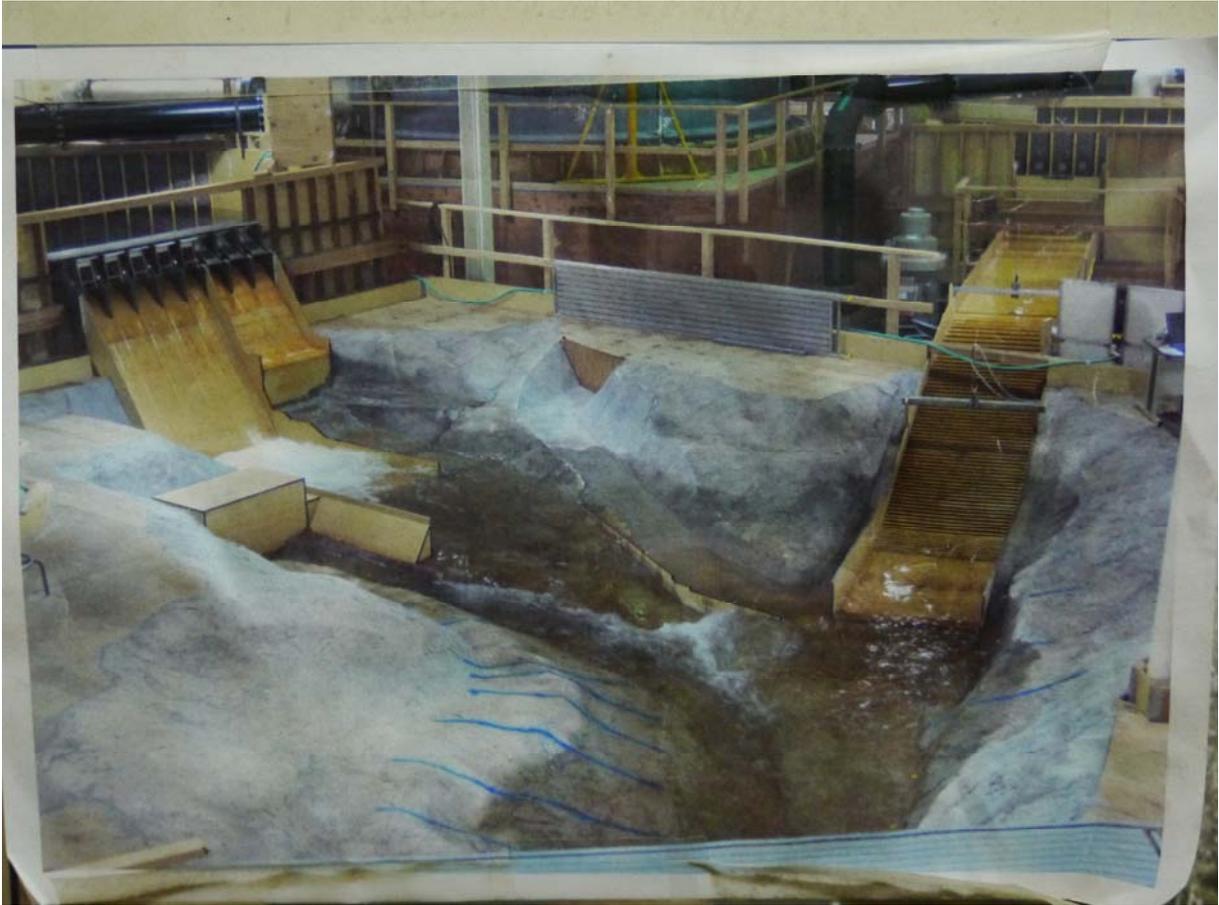


圖 2-18 Folsom Dam 改善計畫溢洪道模擬



圖 2-19 500 萬噸抗壓機

(二)6月12日

本日課程教學員如何由壩體安全評估與監測資料中來分類破壞模式，要瞭解破壞型式就必須有人親自到現場觀測，參與者必須包含壩體定期檢查人員、設計者、地質專家組成，課程所提的三類破壞型式如下：

第一類：壩體滲漏破壞

第二類：溢洪道破壞

第三類：地質條件不佳產生破壞

第一類破壞談到為滲漏（seepage）造成的破壞，破壞型式大致與第一天課程相同，如壩體滲漏路徑、排水管路造成滲漏路徑等，課程中有二個觀點很值得分享，如果壩的下游坡面濕潤或滲水應該注意，但不是注意水的來源是否來自庫區（過去我們常關心下游坡面的水是否由庫區來的），而應該是注意下游坡面水壓是否太高、水壓不易消散的原因，因為過高的水壓會降低下游坡面的剪力強度容易產生邊坡破壞；另一觀點是有關排水隧道內施工縫的結晶物必須注意，應檢討是否為壩體材料析出所造成結晶，另外若洩水孔有結晶物必須清除乾淨，避免水壓不易消散。

第二類破壞為溢洪道混凝土掏空破壞，尤其應注意溢洪道下方與側牆兩旁的掏刷問題，避免排洪時產生管湧（piping）。

第三類破壞為壩體左右壩座地質條件不佳形成的破壞，這部分可以在先前的地質調查可以預防，這也是壩務局管理小組中除了水工機械、水文等專長外，還必定有一為大地工程專家。

目視檢查部分如果可以量化即用數字來記錄變化，例如壩體周圍的混凝土結構裂縫檢查；土石壩下游坡面如果某區域植生較為茂盛，則代表該處地下水位豐沛，應注意該處水位或水壓變化。

而對於潛在破壞模式是採用腦力激盪的方式來激發出各種可能的破壞情況。要正確了解破壞模式必須要設置正確的監測儀器，例如水壓計來監測下游壩體穩定性，量水堰來監測壩體的滲漏量或滲漏情形是否正常。課程中大都學員都關心原本設置在壩體的儀器如水壓計等若損壞是否必須更換，壩務局的回應為監測儀器不會只設置在一點，如果依然能由其他的監測資料來判識，則不需要更換儀器，且在壩體上鑽孔重新安裝儀器對

於壩體安全是相當危險的。

第二堂課介紹風險分析與風險評估，課程一開始講師先假設 4 種情境給我們判斷何種情況對於壩體風險最高，四種情境如下：

情境一：溢洪道閘門位於混凝土壩頂部，在地震加速度 PHA=0.4g 時閘門破壞。

情境二：土石壩坐落在未處理的不透水材料基礎上。

情境三：土石壩在 PMF 為 7 英尺 60 小時降雨下產生溢頂。

情境四：假設混凝土壩基礎處於滑動安全係數 1.4。

講師要求大家分組討論，我與來自巴拿馬、澳洲的學員一組，首先 3 人很快速一致認為情境三為最危險狀況，而情境二和三分別有人認為是第二危險，但澳洲籍的學員首先提出每種情境所給的資訊不完全，所以無法真正判斷何種情境為最危險情況，他舉例：情境三土石壩溢頂直覺最危險，但並未給壩高、壩長等資訊，如果僅是小壩危害不大。事實上這即是講師的用意，在資訊不完全的情狀下，小組要討論出每種情境的可能破壞情形、風險最高。

風險分析主要是量化壩體安全性，公式如下

風險 (risk) = 發生機率 (load) * 破壞機率 (response) * 損失 (consequences)

完整的風險分析必須完成以下步驟：

1. 指出破壞模式
2. 定義關心的遭遇頻率
3. 評估破壞可能性
4. 評估可能的損失
5. 推估風險與指出不確定度
6. 審查分析結果
7. 建立分析案例報告並提出建議

評估方式以樹枝法層級分析法來評估，另外再輔以專家評分法給分數（機率），如圖 2-20 以大壩溢流分析為例，第一階段先以 4 種級距的降雨量來作分析，由圖得知降雨量 456mm 為臨界值；下一階段以洪水頻率作為區分，最後可以得到大壩破壞的機率值。

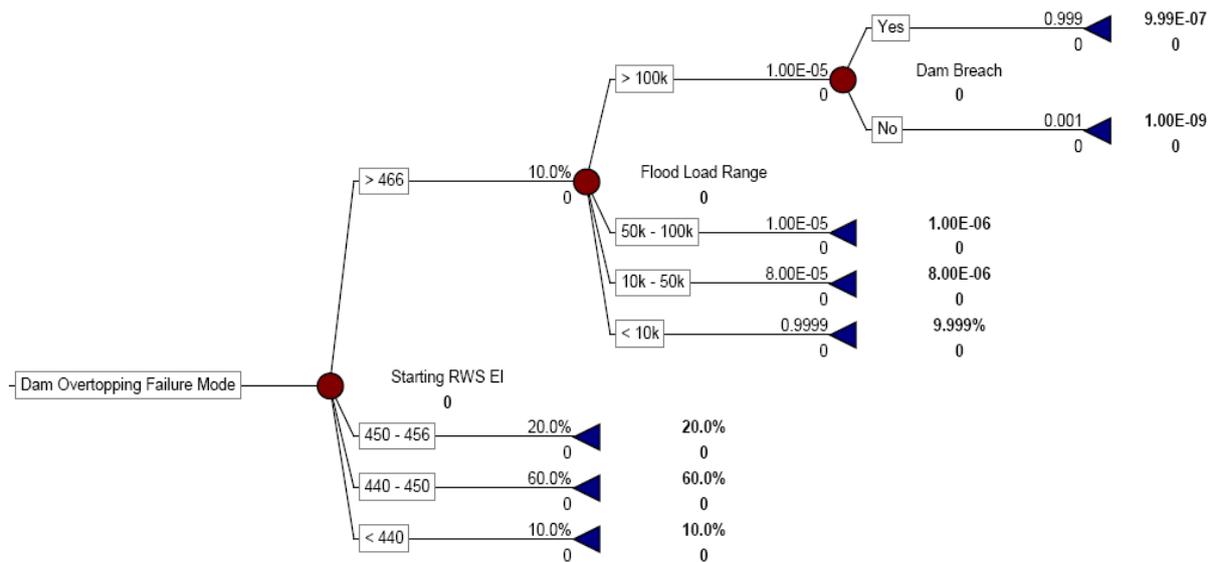


圖 2-20 大壩溢流破壞樹枝圖分析

而圖 2-21 為專家評分法時給訂的機率值大小，，可以看到不同情況間的分數落差很大，如此才能明確的給訂分數。課程中並列出 3 本參考文獻（圖 2-22），提供學員未來想進一步了解時參閱。

0.999	Virtually Certain
0.99	Very Likely
0.9	Likely
0.5	Neutral
0.1	Unlikely
0.01	Very Unlikely
0.001	Virtually Impossible

圖 2-21 專家評分法給訂機率值大小

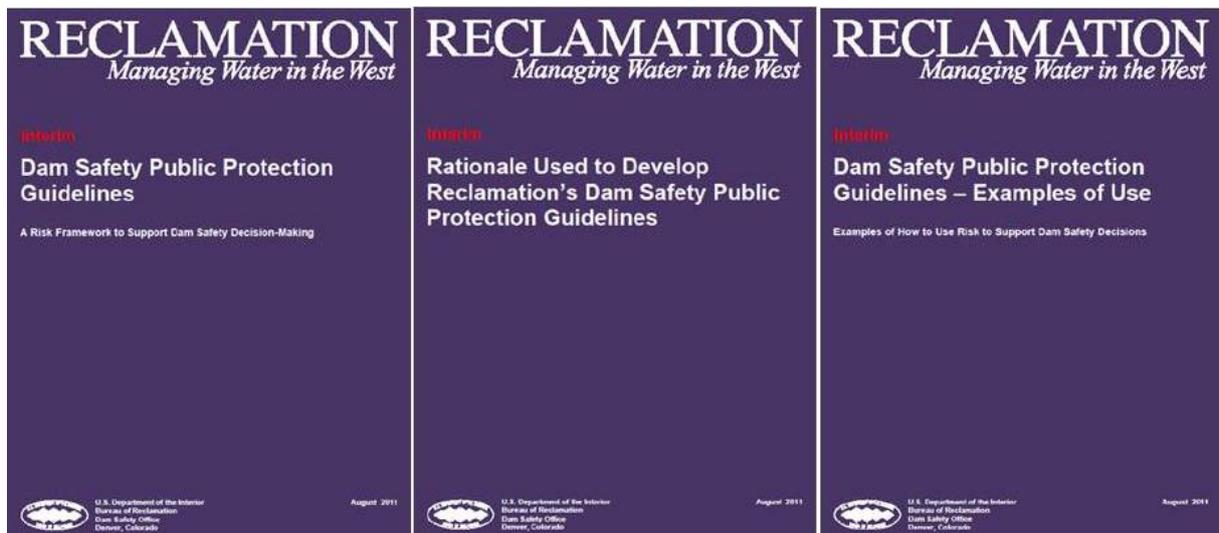


圖 2-22 風險分析參考文獻

第三堂課介紹危害度分析，圖 2-23 為美國 1975-2001 年統計大壩破壞原因，可以得知洪水造成溢頂破壞的比例高達 7 成，第二為滲流或管湧破壞僅為 1 成多，而進行危害度分析所需要的參數如流量資料、氣象資料、過去歷史淹水資料等。

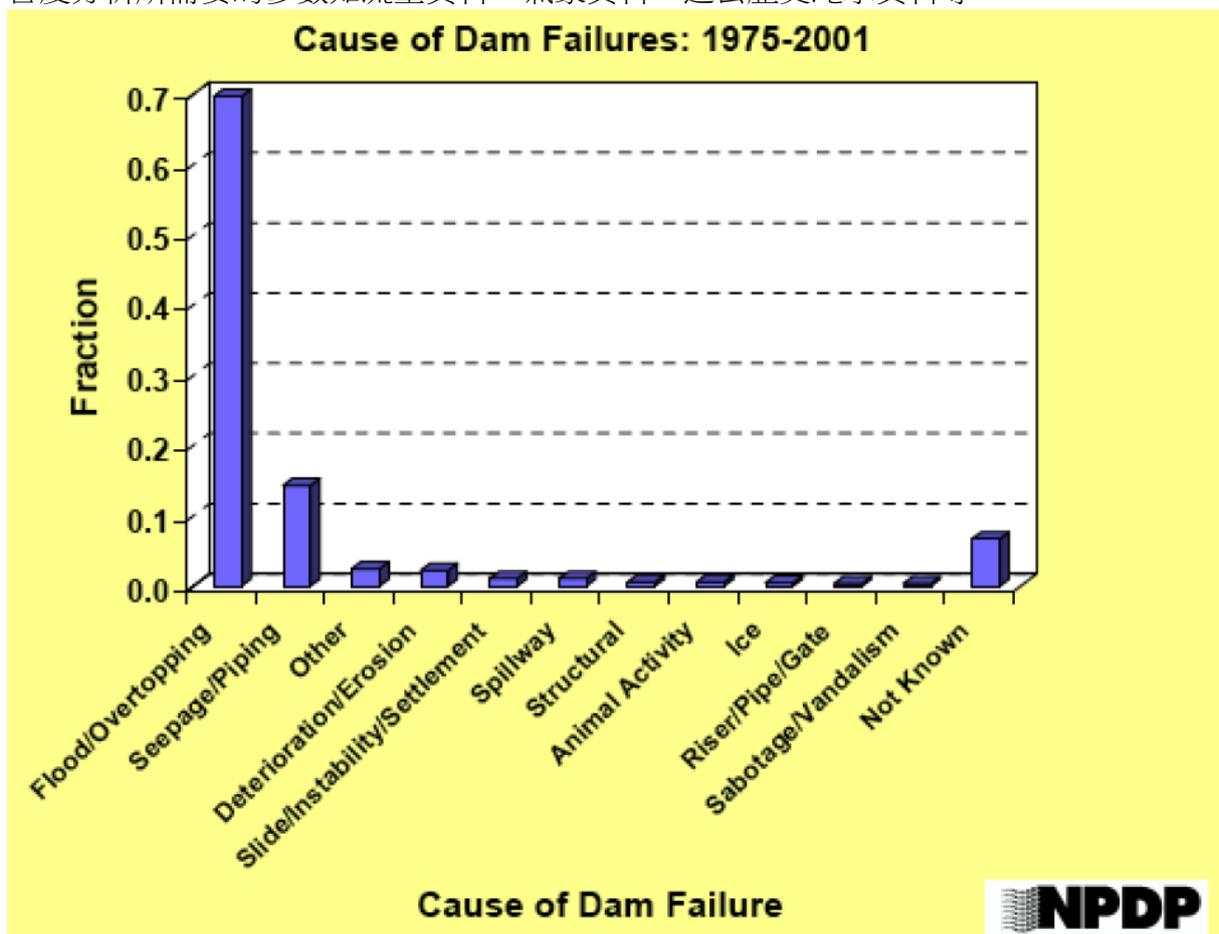


圖 2-23 美國大壩破壞原因分析

第四堂課說明地質調查在壩體安全所扮演的角色，地質調查不單只是在壩址選址時的地質調查，另一部份為壩體填築材料的調查與正確使用，如先前課程的到的沿壩墩岩石解理的滲漏破壞、壩體材料的滲漏破壞等都是與地質調查有關；所以與地質調查相關的課題有

1. 滲漏與管湧的破壞
2. 邊坡穩定分析
3. 土壤液化問題
4. 下游洪水衝擊問題

壩務局課程中也介紹地質調查的方法，大致都與台灣的地質調查方法相同，例如鑽探、岩心判釋、地表地質調查、地球物理調查、孔內試驗等，課程中詢問講師壩務局的過去經驗，地質調查經費大約佔總經費的 3%，而歐洲較高大約是 3~6%，台灣大約是 2%，另外壩務局所管轄的水庫都有地質專長背景工程師共同管理。

第 5 堂課為非線性有線元素模擬混凝土壩或附屬結構物，課程中講師介紹有線元素法模擬壩體受到地震加速度時壩體變形行為，另外還可以模擬附屬結構物如閘門等變形行為，另外還展現改變不同材料性質下（不同阻尼）的變形行為。

(三)6月13日

本日的第一堂課為混凝土壩或附屬結構物的結構物修復，說明如溢洪道、取出水工、大壩下游坡面等易產生破壞區域與修復方式，另外並說明混凝土壩填築過程應注意事項，如避免水化反應、拉垂直向地錨確保混凝土塊緊密接合。

第二堂課為大壩操作標準作業程序與操作訓練，講師逐章節說明標準作業程序書的內容，第一章概要資訊包含有：目的、大壩用途、溝通與警戒系統、與其他單位的合作、資料報告、緊急管理與安全計畫、SOP 概述等；第二章為電力設備、機械設備與混凝土結構等包含有：溢洪道、戶外設備與附屬機械管理操作、各種儀器管理操作、大壩維護與檢查、安全檢查程序等；第三章為結構物行為包含有儀器讀數的紀錄排程、異常資料的驗證、強地動監測等；第四章為水庫操作包含有水庫庫容計算、設計洪水位課題、蓄水程序與排洪程序、入流量預測、極端氾濫操作、下游排洪極限、坡邊調查、污染防治、

魚類與野生動物保育、休閒管理、越野車行駛規則、水力發電原則、衛星遙測資料等，此章有一半都是為了休閒用途。

另外提到操作訓練，操作訓練室內課程至少 3 年 1 次，戶外演練課程至少 6 年 1 次，而戶外演練課程先將 SOP 走過一遍，確認每位操作者瞭解操作的意義與承擔的責任，隨後進時實地操作。而大多學員關心需要多長的更新頻率，講師回答如果現場操作程序更新的頻率大於 SOP，則要以現場操作程序為主，反之若現場操作程序更新頻率低則以 SOP 為主。

第三堂課為介紹壩體監測儀器，主要介紹何種潛在破壞必須採用合適的監測儀器來進行監測，例如滲流破壞採水壓計監測等，另外並介紹各種監測儀器的樣式、功能與品牌。

下午則進行工作坊的小組討論，總共有 3 個主題可以選擇，第一個為地震危害度分析，第二個為緊急危機管理，第三個為滲流與管湧；我選擇參加緊急危機管理管理工作坊，一開始講師先介紹 Emergency Action Planning 緊急處理計畫簡稱 EAP，EAP 主要包含內容有：

1. 大壩具體描述
2. 指出潛在危害
3. EAP 的目的
 - a. 避免大壩破壞
 - b. 與災害影響範圍內的民眾溝通
4. 明確列出誰該作何事、在什麼地點、何時要作、如何作

而 EAP 的操作流程類似營建管理所學的 PDCA 流程 (Plan-Do-Check-Action)，如圖 2-24 所示，第一步為「調查」：真實描述事件，第二步為「分級」：說明反應的程度，第三步為「反應」：管理事件，第四步為「再評估」：監控與再評估。壩務局講師提到，每次的演練或是真實事件的操作，經驗都是非常寶貴，因此每次結束後由督導官寫 AAR (After Action Report) 事後檢討報告，並將每次事件整理成冊。

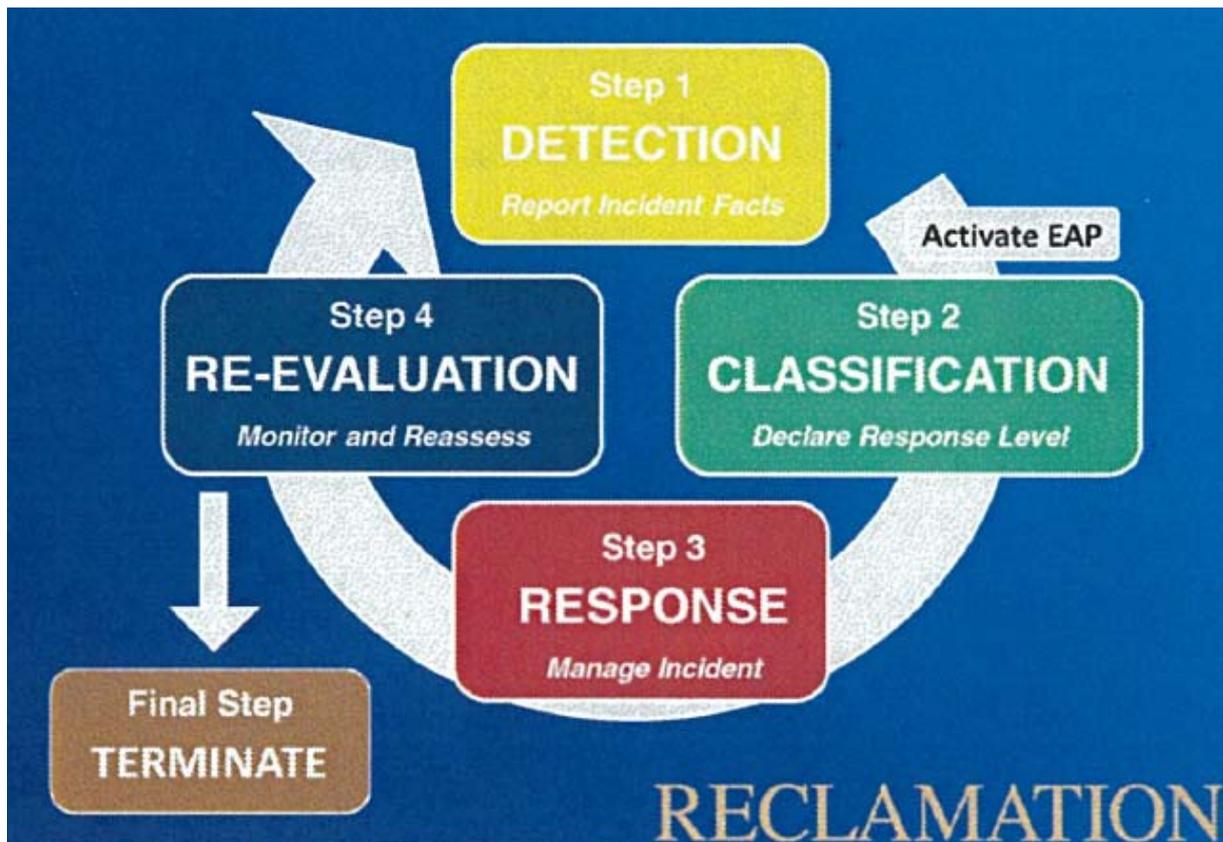


圖 2-24 EPA 的操作流程圖

但要如何使用 EAP，則是有 4 大方法

1. 負責決策層級表
2. 反應動作稽核表
3. 聯絡通知表
4. 淹水地圖

首先說明「負責決策層級表」，大壩若發生破壞絕大部分不會一瞬間破壞，也不是每次危機都會造成潰壩破壞，因此大壩的破壞行為則會由輕至嚴重分成 4 種等級，而每種等級所對應需反應的動作也有所不同，如圖 2-25 所示，如此才不會有反應過度或有反應不及的情形。

Response Level Decision Matrix

Steps to use the table...

RESPONSE LEVEL DECISION MATRIX
Planning Hazards Scenario Only

Response Level 2

General: Dam	General: Abutment	General: Spillway / Overflow	General: Dam / Dam Structure	General: Dam / Dam Structure	General: Dam / Dam Structure
General: Dam • An unusual condition has developed. • Some general concerns. • General confidence and • Some operational items. • Some high water operation.	General: Abutment • The reservoir water surface is at • High water elevation (HWE) level.	General: Spillway / Overflow • The reservoir is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway. • The spillway is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway.	General: Dam / Dam Structure • Water level is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway. • The spillway is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway.	General: Dam / Dam Structure • Water level is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway. • The spillway is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway.	General: Dam / Dam Structure • Water level is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway. • The spillway is expected to reach or exceed • HWE level, and water is being • Released into the spillway.
OPERATIONAL • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	OPERATIONAL • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	OPERATIONAL • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	OPERATIONAL • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	OPERATIONAL • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	OPERATIONAL • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.
INCIDENT TYPE • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INCIDENT TYPE • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INCIDENT TYPE • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INCIDENT TYPE • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INCIDENT TYPE • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INCIDENT TYPE • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.
INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.
INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.
INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.	INITIATING CONDITION • Dam is operating normally. • Dam is operating normally. • Dam is operating normally.

Handwritten notes on the table:
 - A red circle around the 'Incident Type' column header with the text 'Incident Type e.g. Seepage'.
 - A red circle around the 'Initiating Condition' column header with the text 'Initiating Condition e.g. Seepage areas with muddy discharge'.
 - A red arrow pointing from the 'Incident Type' circle to the 'Initiating Condition' circle.

圖 2-25 負責決策層級表

「反應動作稽核表」上面必須詳細記載每個人在每個職務上所需負責的任務為何，且必須包含執行任務所需要參考的手冊資料，另外還需要有避免大壩破壞所需作的預防動作參考資料；而「反應動作稽核表」最重要的涵義為可以詳實記錄危機發生時指揮官與執行人員的反應動作、連絡記錄，可避免因慌亂而有缺漏，另外事後檢討時可利用「反應動作稽核表」來檢討那一環節需要改善。

「聯絡通知表」則是任何提供災害發生時的連絡資訊，包含有跨單位、同單位等連絡人電話、無線電頻率，另外需定期檢討表上人員異動情形，確保各連絡人為最新、最正確的。

「淹水地圖」，製作淹水地圖可以事先知道大壩若潰壩後可能淹水區域範圍，透過淹水地圖進行風險分析而後建立出生命安全模式，所謂生命安全模式則是參考區域人口密度、車輛密度、道路容量等來分析受災後的損失程度，因此淹水地圖的正確性相當重要；另外淹水地圖的模擬情況是模擬大壩在「晴天無降雨」的情況下破壞，此種情形下

破壞為最無防備反應最為真實；而講師有提到為避免恐怖份子瞭解淹水範圍後對大壩進行攻擊，目前淹水地圖是不對外公布。

此工作坊最後則介紹洪水預警系統，利用在壩體和下游河道裝設監測儀器，來監測壩體是否有破壞、下游河道水位是否突然抬升等，藉由監測系統的建置來進行洪水早期預警系統（EWS）。

(四)6月14日

本日第一堂課為附屬結構物的檢查，包含有溢洪道、取出水工、排水閘門等，課程中介紹許多破壞案例，如溢洪道側牆掏刷破壞、取出水工管湧破壞、排水閘門混凝土表面侵蝕破壞，溢洪道側牆支撐力不足破壞、混凝土塊施工縫膠合不良破壞等

第二堂課為水工機械檢查，水工機械雖然佔整體大壩比例相當低，但水工機械若運作不良則會危害大壩安全，因此定期檢查與保養維護事非常重要，課程中介紹各種閘門與閘門的樣式與檢查方式，另須注意事項等如鏽蝕、結晶物等處理。

最後為混凝土壩與土石壩檢查，由高齡 75 歲講師講解，課程中首先介紹 4 種混凝土壩型式，有重力式混凝土壩、拱壩式、扶壁式、混合式（通常為重力式混凝土主壩與土石壩的附壩），此外並說明數種影響混凝土強度的影響要件，如

1. 結凍-解凍影響：混凝土表面產生裂縫、崩解。
2. 化學反應：混凝土膠結時產生化學反應，如白華現象等，會降低混凝土束制力、強度等。
3. 硫酸鹽類侵蝕：因土壤或水含有硫酸鹽類，會與鋼筋產生化學反應造成保護層剝落。

在混凝土壩的檢查項目需注意項目有裂縫、位移裂隙、混凝土塊體間滲水、由裂縫或裂隙噴出水沫、沉陷等，檢查方式採目視、儀器監測、異常區域標示等。

土石壩課程先說明土石壩的型式，有均質壩、非均質壩（多種材料碾壓）、堆石壩等，檢查區域大致為基礎與壩墩、上下游坡面、壩頂，檢查項目有滲漏調查、裂縫調查、穩定度分析、位移沉陷調查、材料穩定調查等。其中裂隙、邊坡穩定度與位移沉陷調查是調查重點，裂隙包含有平行壩頂、垂直壩頂、乾縮裂縫；邊坡穩定度調查為下游坡面

潛變滑動；位移沉陷調查為壩頂沉陷、邊面沉陷坑等

二、現地勘查課程

(一)6月17日

本日現地研習參訪三座水壩，圖 2-26 為本次現地勘查時的講師團，由左至右分別為左二兩位為負責該區域水庫管理工程師、中間為大地工程師主要負責地質、右二兩位為墾務局現地檢查小組成員（華人女性為組長），參訪依序為 Boca Dam、Stampede Dam、Prosser Creek Dam；首先參訪 Boca Dam，基本數據如下：

- 1、位於 Little Truckee River
- 2、土石壩，壩高 35m、壩頂長 496m
- 3、集水區面積 93km²，水庫面積 3.95km²
- 4、用途：水力發電、都市用水、工業用水、洪水控制、農業用水

Boca Dam 屬於小型壩，Boca Dam 上游還有一座 Stampede Dam，兩座水庫共同運作來控制 Little Truckee River 上游夏季融雪造成的水量，早期 Boca Dam 為提供里諾（Reno）農業用水，現在則供應工業及觀光用水；一進入壩頂即可看到 Boca Dam 的銘牌如圖 2-27，簡述建造時期、管理單位等；圖 2-28 為溢洪道下游邊坡破壞，因洩水對邊坡造成沖蝕因而產生破壞，我問墾務局將如何整治此邊坡，他們的回答讓我十分訝異，墾務局回答說：此邊坡大約已經破壞一年，我們剛做完現地調查了解邊坡基本參數，現在正在做邊坡穩定分析尋找最佳的改善方法。此觀念與台灣不同，我們只想快速修補而忽略了解邊坡的基本參數，因此省略前置的現地調查，如此按部就班的方式才能避免破壞一再發生，此種觀念值得我們學習。



圖 2-26 戶外現地參訪的講師團



圖 2-27 Boca Dam 銘牌



圖 2-28 Boca Dam 溢洪道下游邊坡損壞

Boca Dam 也屬於現地無人管理的水壩，現場設備採無線遙控方式操作，庫區水位採自計式水位計來觀測水位，而壩頂架設監視器來觀察壩頂週遭，溢洪道的啟閉採遙控方式，如圖 2-29，台灣大部分的水庫都有人員進駐管理，或許未來可以考慮蓄水量較小的水庫可以採用無人遙控管理的方式。

而如課堂中講師所提到美國大部分水庫都兼具休閒用途，而且有高達 34% 可以提供休憩用，如圖 2-30 參訪當時恰巧有人在湖面玩水上摩托車，詢問後得知任何人都可以申請到庫區遊憩，例如在當地只要到太浩森林國家公園（Tahoe National Forest Park）申請，可申請例如釣魚證、遊憩證等，其證照費不一，如果未申請被國家公園警察抓到是要被罰好幾倍罰金。



圖 2-29 Boca Dam 溢洪道閘門



圖 2-30 Boca Dam 一景（水上摩托車）



圖 2-31 Boca Dam 上游殼層

參訪第二座為 Stampede Dam，Stampede Dam 位於 Boca Dam 的上游，二座水庫是共同操作營運，Stampede Dam 基本數據如下：

- 1、位於 Little Truckee River
- 2、土石壩，壩高 72.8m、壩頂長 460.6m
- 3、集水區面積 352km²，水庫面積 13.9km²
- 4、用途：洪水控制、保護與改善魚業用途

在壩體下游可以明顯看到一條「綠帶」，如圖 2-32 所示，由先前的室內課程學到下游坡面如果某一處植生較為茂密應該特別注意，因此墾務局針對此處進行調查，目前已排除是滲漏造成的，推測是當時施工時到此高程時因下雪所以施工暫停因而影響材料，目前仍在做地質調查中，以做為日後修復參考。



圖 2-32 Stampede Dam 下游殼層綠帶綠帶

Stampede Dam 和 Boca Dam 相同皆屬於現地無人管理的水壩，如先前提到 Stampede Dam 和 Boca Dam 為上下游串連使用的水壩，而下游的 Boca Dam 庫容較小，因此墾務局擔心未來若有緊急事件時，Stampede Dam 產生溢頂破壞，會連帶破壞下游 Boca Dam，連鎖式反應會造成下游更嚴重的生命財產損失，因此墾務局已規劃並預計於 2014 年動工，預計修正項目為：

- 1、 修改溢洪道溢洪量：加大溢洪道的溢洪量。
- 2、 壩體加高：增加蓄水量，提高滯洪能力。

台灣目前降雨型態為高強度長延時，未來水庫更新計畫除了積極處理排砂問題外，也可以思考採加高壩體來增加滯洪能力。

另外在 Stampede Dam 壩頂行走時發現壩頂路面有許多條垂直道路的裂縫，如圖 2-33 與圖 2-34 所示，有部分裂縫甚至有保特瓶水的寬度，如圖 2-所示，經詢問墾務局管理人員，因此處冬季時會下雪，夏季時白天溫度可接近 30°C，但晚上降至 10°C，因四季

與每天的溫差大造成瀝青鋪面劣化，但經檢查此裂縫僅在表層瀝青鋪面，並未延伸至路基，而且一直以目視和沉陷點來監測裂縫；後續墾務局提出其實他們更擔心是溢洪道等混凝土結構物，因溫差熱脹冷縮造成的裂縫，可能會導致混凝土下方掏空問題。



圖 2-33 Stampede Dam 壩頂道路裂縫



圖 2-34 Stampede Dam 壩頂道路裂縫

圖 2-35 與圖 2-36 為 Stampede Dam 上游與下游風景，有民眾在庫區內划船釣魚，當地海拔約 2000m 以上，所以植物皆為針葉林，風景十分美麗。



圖 2-35 溢洪道與下游一景



圖 2-36 Stampede Dam 蓄水區一景（釣魚）

本日最後參訪 Prosser Creek Dam，圖 2-37 為 Prosser Creek Dam 銘牌，墾務局於此壩示範如何進行目視檢查，首先帶我們爬入閘門室，約有地下 6 層樓深，此壩閘門有 2 道，可以做為雙重防護用，墾務局說明 2 道閘門如何操作，平時如何保養，例如上油、除銹、檢查液壓等；隨後帶我們沿著下游殼層走到壩趾，如圖 2-38 所示，沿途說明溢洪道目視檢查項目、下游殼層檢查現目，最後說明壩基量水堰如何觀測，如圖 2-39 所示，確認流水是否為清澈，並說明地下水豐沛區域植生較豐盛。



圖 2-37 Prosser Creek Dam 銘牌



圖 2-38 Prosser Creek Dam 下游殼層調查教學



圖 2-39 Prosser Creek Dam 量水堰與旁邊綠帶

(二)6月18日

本日參訪重點在 Folsom Dam，Folsom Dam 位於加州沙加緬度，攔截美國重要河川「美國河 American River」，為美國重要水庫之一，其基本參數如下：

- 1、 壩高：340ft(104m)
- 2、 壩頂長：1,400ft(427m)
- 3、 蓄水量：在高程 466ft 為 1,010,000 acre-ft(1,245,802,434m³)
- 4、 溢洪道：567,000 cfs
- 5、 功能：發電、灌溉、洪水控制

Folsom Dam 為大型水庫且為美國重要水庫，因此為現地有人管理水庫，且在壩頂上制高點有一座管制塔（圖 2-40），可以監看壩區周圍動靜，尤其在 911 之後，美國政府對於恐怖攻擊更加注意。



圖 2-40 Folsom Dam 管制塔



圖 2-41 Folsom Dam 壩頂一景



圖 2-42 Folsom Dam 壩頂上起重機



圖 2-43 Folsom Dam 現有溢洪道進水口



圖 2-44 Folsom Dam 取水口

Folsom Dam 目前正在進行水庫更新計畫，原因為經壅務局重新評估原溢洪道洩洪量

時發現，在緊急事件時溢洪能量不足，因此重新規劃設計新的溢洪道來增加排洪量，未來將採新、舊溢洪道共同使用。此更新計畫為墾務局與陸軍工兵團合作，由墾務局進行規劃設計，更新計畫總共有 5 個階段，前 2 個階段由墾務局施作，包含完成管線遷移、公路遷移、新設溢洪道填築工程；後 3 個階段由陸軍工兵團施作，包含溢洪道進水口混凝土工程、破鏡工程等。參訪當時已進行道階段 3，正在進行溢洪道進水口結構物施作工程。

而為了新建新的溢洪道必須先新建新的公路，原公路是通過 Folsom Dam 壩頂，因此必須先修建新的公路橋梁、公路，如圖 2-45 所示。而由圖 2-45 也可以看出 Folsom Dam 地質條件佳，下游河道為硬砂岩的露頭，強度高抗沖蝕力強，與台灣下游常發生軟岩掏刷問題不同。



圖 2-45 Folsom Dam 溢洪道下游與新建公路

圖 2-46 與圖 2-47 為混凝土塊加勁，在使用混凝土建築時必定會留下施工縫，而墾務局在側面施工縫以 H 型鋼軌樁加勁（圖 2-46），壩頂路面以鋼板加勁（圖 2-47），來

增加混凝土塊間膠結能力。

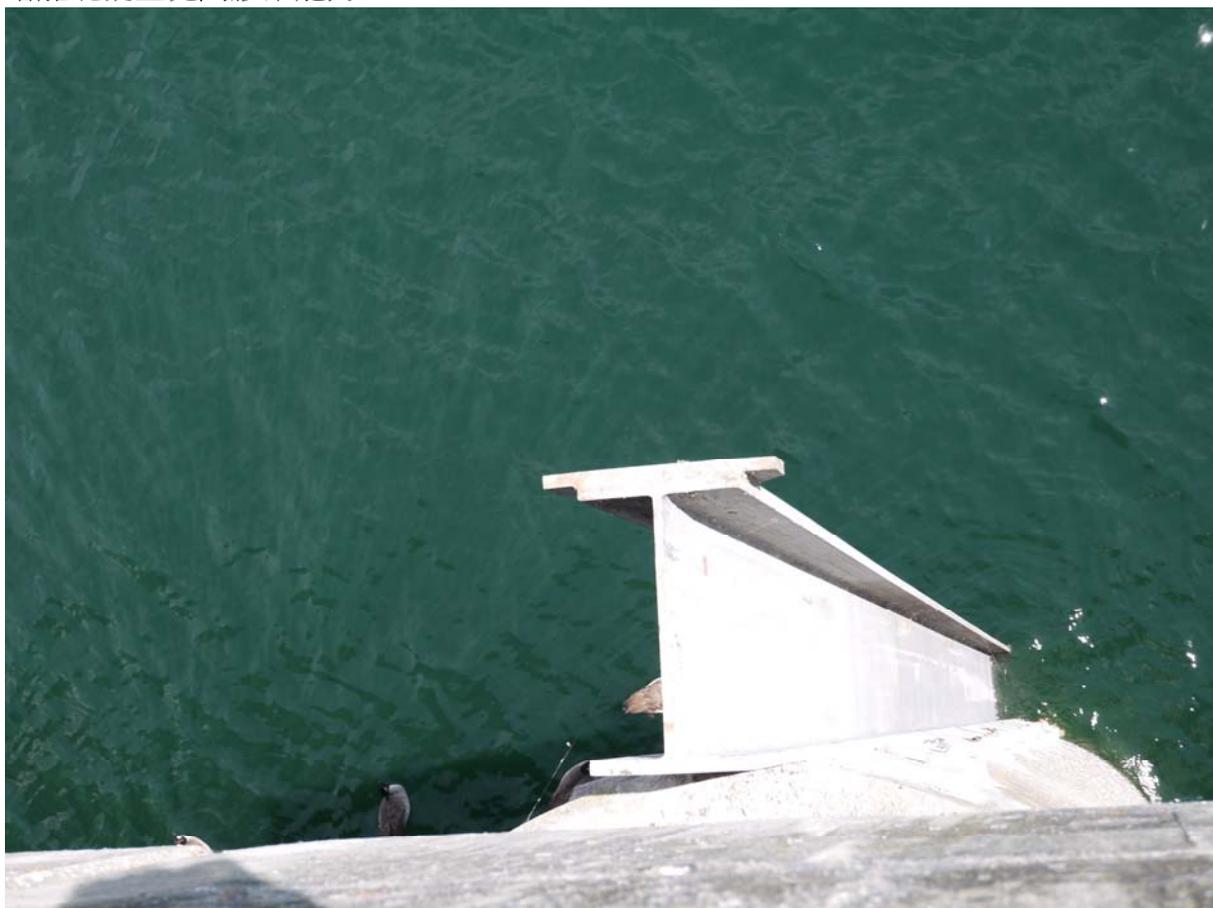


圖 2-46 Folsom Dam 混凝土塊採型鋼側向加勁

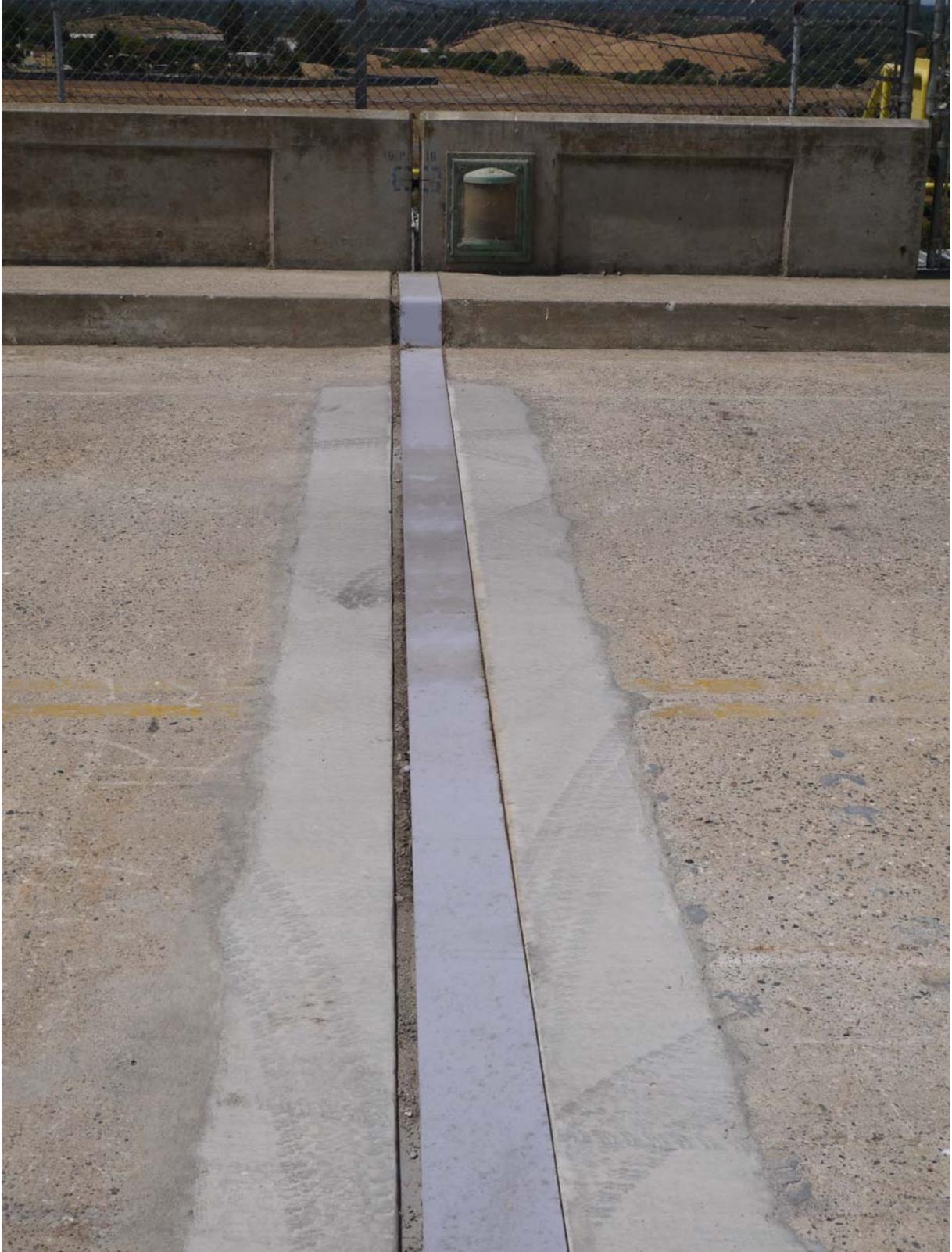


圖 2-47 Folsom Dam 混凝土壩頂採鋼板加勁

而圖 2-48~圖 2-51 為目前階段 3 現場施工情形，可以看到新建溢洪道基礎已完成，兩側邊坡也做加勁改良。



圖 2-48 Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 1



圖 2-49 Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 2



圖 2-50 Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 3



圖 2-51 Folsom Dam 新修建溢洪道施工情形 4

本日參訪第二座水庫為 Folsom Dam 下游的 Nimbus Dam，如圖 2-52 所示，Nimbus Dam 也屬於「美國河 American River」，會興建 Nimbus Dam 主因為 American River 為主要鮭魚與鱒魚洄流路徑，而 Folsom Dam 興建後阻擋了洄流魚類路徑，因此墾務局於 Folsom Dam 下游興建 Nimbus Dam 與復育中心，如圖 2-53 所示，並以人工魚梯方式引導鮭魚與鱒魚進入復育中心，以人工受精方式來復育。雖然興建 Folsom Dam 而完全阻斷魚類洄游，但在顧及生態平衡下，於下游興建人工復育中心的觀念非常好，值得我們學習。



圖 2-52 Nimbus Dam 擋水閘門



圖 2-53 Nimbus Dam 魚類復育人工養殖場（摘自網路）

本日最後參訪 Mormon Island Dam，此壩在下游邊坡有明顯的潛變問題，如圖 2-54 所示，目前墾務局持續監測變化幅度，並正在做調查中。



圖 2-54 Mormon Island Dam 下游殼層邊坡潛變

(三)觀察丹佛市排水系統

利用課程的空檔在都市中行走時發現美國的都市排水系統與台灣不同，圖 2-55 為丹佛市人行道旁的一處排水系統，排水系統明顯低於路面高程，類似滯洪池的功能，最底部有排水口，高程較高處有溢流口，另外在排水系統周圍鋪上礫石透水材料增加土地透水面積，並可以減緩流入排水系統時間。圖 2-56 為科羅拉多大學丹佛分校(University of Colorado) 校區排水系統，該處為一斜坡，靠近圖 2-56 底部地勢較高，因此在地勢高側開進水口，地勢低側未開孔，避免水流進排水系統後又流出。

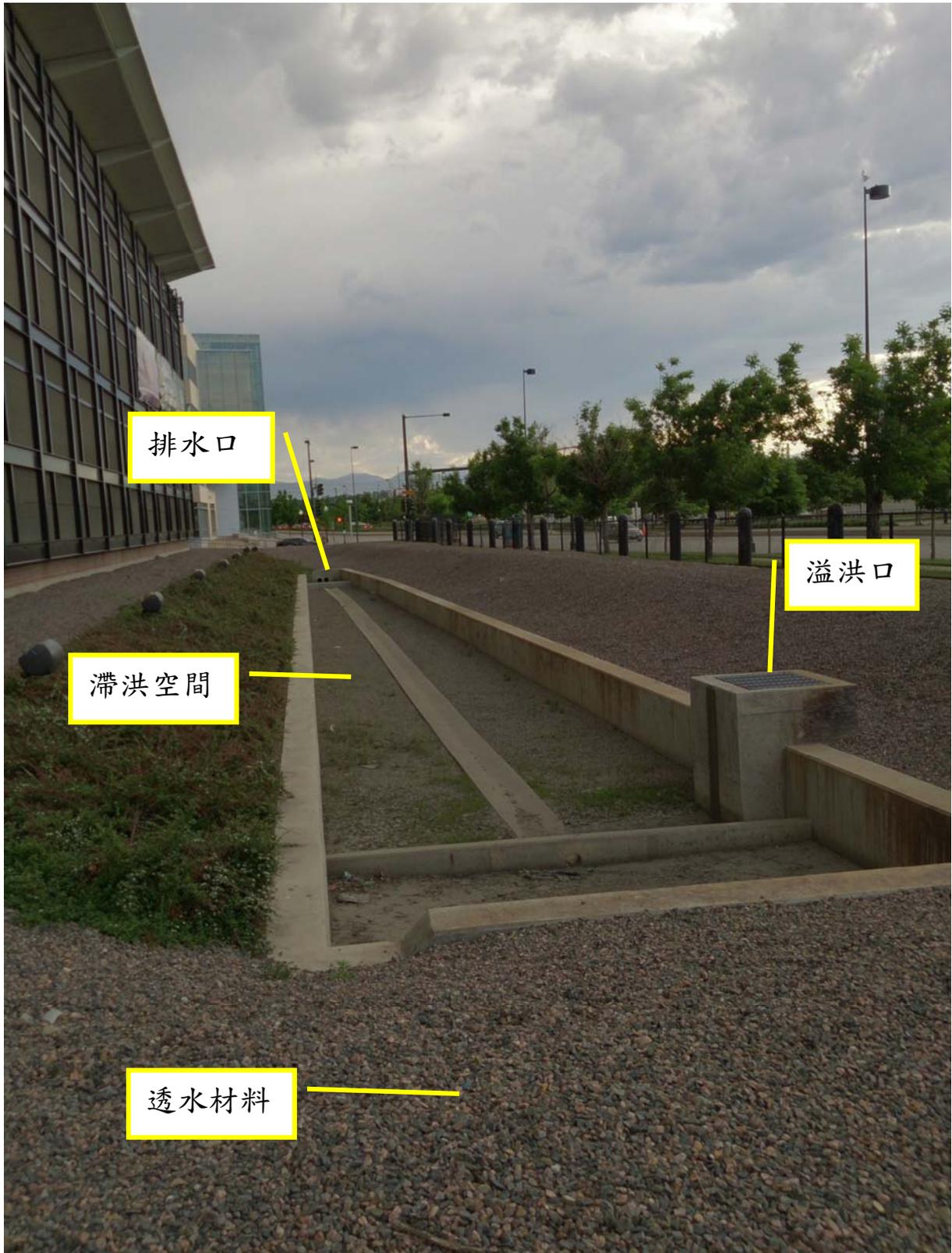


圖 2-55 丹佛市人行道旁的排水系統

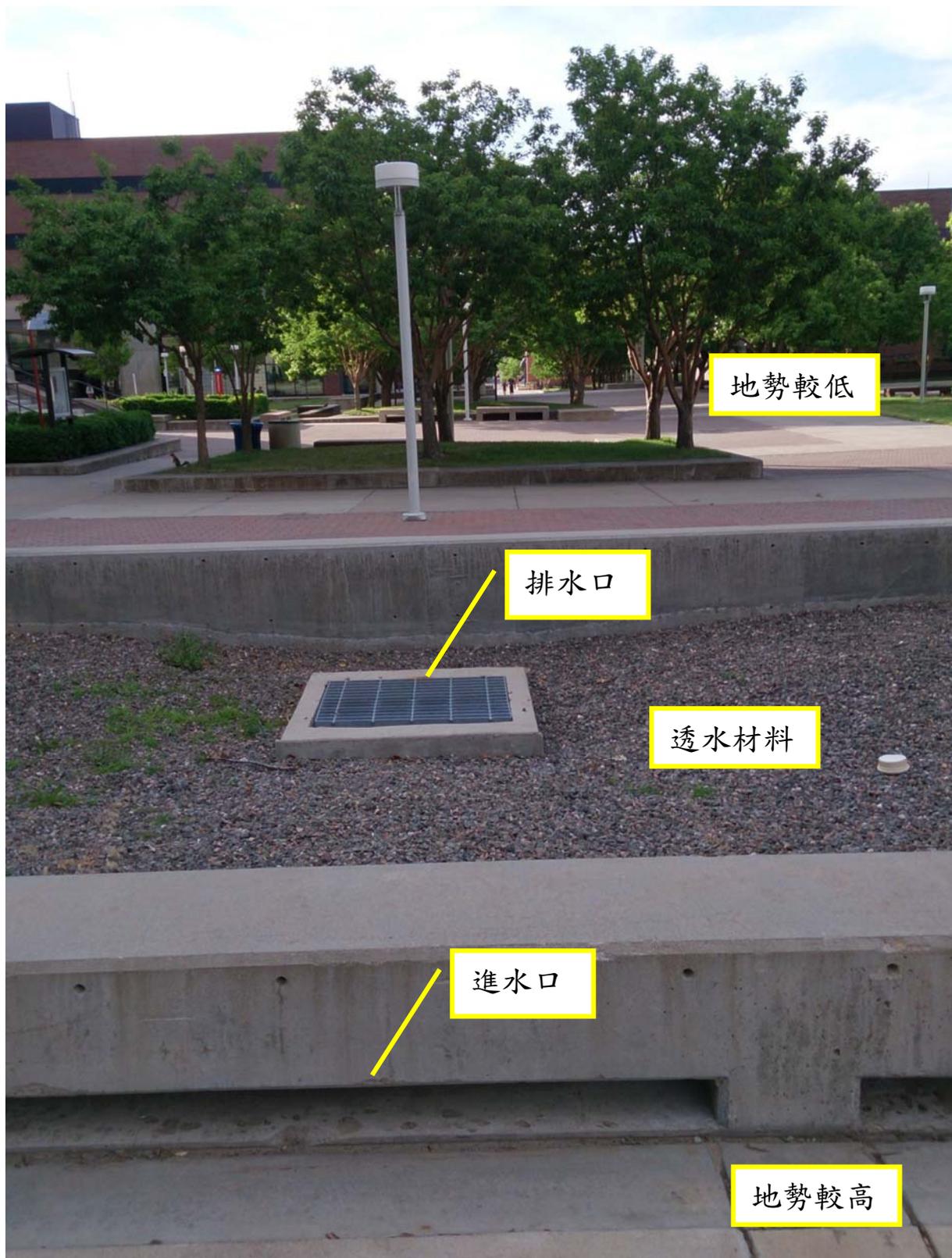


圖 2-56 科羅拉多大學丹佛分校校區排水系統

圖 2-57 丹佛市區內渠道，渠道的綠美化做得很漂亮，渠道底部以大石頭填築，兩邊有單車與跑步（走路）路線，而且是左右分流，照片中左邊為單車道，右邊為行人用，

我自己在早上也會到河岸邊晨跑，觀察後此渠道旁的單車與行人路線利用率很高，有通勤族與運動族。



圖 2-57 丹佛市區內渠道

(四)課後花絮

本次帶團為墾務局國際事務署 Leanna Principle (圖 2-61 右 2) 與美國國土與國際事物署 Mary Mascarenhas (圖 2-61 右 3)，另外課程輔導有 DeWayne Campbell (圖 2-58 左 1)，本次參加研討會來自 7 個國家共有 17 位學員，包含台灣、南韓、加拿大、南非、哥倫比亞、澳洲、巴拿馬。

在課程中認識了來自加拿大的 Patrick Armstrong (圖 2-59)，閒聊中發現他在加拿大是一位業餘單車選手，熱愛運動跟我一樣，行李必定帶著一雙慢跑鞋，於是我們早上相約跑步。在墾務局時也與去年來台參訪的墾務局團員一同餐敘，如圖 2-60 所示。



圖 2-58 本次參與研討會的學員



圖 2-59 在美與我共同運動的加拿大同學



圖 2-60 與台美合作計畫第 6 號附錄成員餐敘



圖 2-61 與本次帶班的 Leanna (右 2) 和 Mary (右 3) 一同合照

第叁章 心得與建議

很感謝經濟部水利署給予機會能到美國去考察大壩安全議題，讓我增加專業知識外還拓展生活視野；本次考察心得如下：

7. 美國水庫的使用目標與台灣大不相同，美國水庫最常被作為休閒旅遊用，依序為保護魚類與野生動物、洪水控制和航運用，供水和灌溉竟然只佔 8%與 9%，而臺灣的水庫大都為供水目的，為避免水質遭破壞而禁止民眾休閒遊憩。
8. 美國水庫高達 69%為私人擁有，政府單位所擁有比例約佔 29%，此與臺灣 100%國有（含國營事業）完全不同。
9. 在水庫安全評估部分，在大壩旁的山脊邊坡、排水廊道等我們多採目視檢查與拍照紀錄，建議應多採量化方式呈現，如此數據才能進行前後比對，瞭解變化程度，例如山脊邊坡結構物有明顯裂隙處，裝設位移計，量化裂隙變化情形，而排水廊道常見排水孔結晶物，建議應有成份分析，來瞭解結晶物為何種材料析出，並要確保排水孔的暢通。
10. 受訓過程中參與緊急危機管理管理工作坊討論，Emergency Action Planning 緊急處理計畫，台灣水庫管理單位也有制定類似緊急處理手冊，建議應該有定期演練並定期檢討內容是否需要調整，如連絡人清冊等。
11. 美國政府為因應氣候變遷的影響，進行水庫蓄洪、排洪能力檢討，並依此來改建水庫溢洪道或加高壩體；目前墾務局正在進行 CVP (Central Valley Project)，針對加州地區三大流域 (Sacramento River、Trinity River、American River) 進行整體水資源管理。
12. 從邊坡整治的觀念瞭解墾務局相當務實，從最基礎的邊坡地質調查、材料分析、室內模擬等，最後才決定出最佳改善工法，並不急於馬上處理。
13. 課程中墾務局講師介紹許多大壩破壞模式及案例，但較少提到遇到問題要如何處理，甚為可惜。
14. 美國經濟在 90 後期處於不景氣中，但政府仍願意投入大量資金在民生基礎建設上，如水庫設施改建、都市輕軌捷運等，不得佩服美國政府為了日後經濟發展所投入的

資金與前瞻的眼光。