

出國報告（出國類別：研習）

## 大壩修復及維護技術研習

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

姓名職稱：吳紹德 副工程司

派赴國家：美國

出國期間：102年6月9日至102年6月21日

報告日期：102年8月1日







# 目 錄

目錄.....	1
摘要.....	2
壹、目的.....	3
一、緣起 .....	3
二、研習目標 .....	4
貳、過程.....	5
一、行程與課程說明 .....	5
二、課程內容摘述 .....	8
(一)墾物局簡介.....	8
(二)大壩安全歷史背景.....	9
(三)大壩安全監測與評估之破壞模式識別.....	10
(四)可能的大壩破壞模式.....	12
(五)大壩安全監測程序.....	13
(六)堆填壩檢查.....	19
(七)混凝土壩檢查.....	21
(八)工程研究試驗室與混凝土試驗室參觀.....	22
三、大壩現地參訪摘要 .....	25
(一) Boca 壩.....	27
(二) Stampede 壩.....	31
(三) Prosser Creek 壩.....	35
(四) Folsom 壩.....	40
(五) Nimbus 孵化場 .....	46
參、心得與建議.....	48



## 摘要

臺灣因位處環太平洋地震帶致地震頻繁，近年來亦因氣候變遷致降雨強度不斷增加，造成現有水庫需不斷承受超大降雨與地震之考驗，水庫安全維護及管理工  
作極為重要。為確保現有營運中水庫之安全性，透過確實之安全評估及安全檢查工  
作，實為掌握水庫安全狀況之重要方式，安全評估與檢查可瞭解水庫潛在風險，並  
進而辦理後續設施更新改善工作，實為水庫安全管理重點。

美國墾務局(U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USBR) 成  
立於1902年，為主責美國西部17州水資源管理的聯邦機構附屬於美國內政部，興建  
超過600座水庫並負責美國400座以上水庫之操作、維護及結構安全檢查工作，經常  
性舉辦大壩安全相關課程研討會。本次「大壩修復及維護技術研習」出國計畫主要  
為參加美國墾務局於102年6月11日至18日舉辦之「大壩安全評估國際研習會暨技術  
考察」課程，其內容第一部份主要為室內課程及討論，包含歷史災變案例事件、大  
壩檢查程序、水庫安全營運、維護、監控和應急準備等，並安排參觀墾務局工程研  
究試驗室與混凝土試驗室。第二部份現地考察則安排赴Boca壩、Stampede壩、Prosser  
Creek壩、及Folsom壩等，以現場案例說明大壩安全檢查重點。透過室內課程及現地  
大壩考察，了解美國墾務局於大壩檢查、安全評估、水庫維護管理等工作，俾提供  
專業人員建立大壩安全評估及水庫安全管理相關業務專業能力。



# 壹、目的

## 一、緣起

臺灣因位處環太平洋地震帶致地震頻繁，近年來亦因氣候變遷致降雨強度不斷增加，造成現有水庫需不斷承受超大降雨與地震之考驗，水庫安全維護及管理工作極為重要。為確保現有營運中水庫之安全性，透過確實之安全評估及安全檢查工作，實為掌握水庫安全狀況之重要方式，安全評估與檢查可瞭解水庫潛在風險，並進而辦理後續設施更新改善工作，實為水庫安全管理重點。

美國墾務局(U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USBR)成立於1902年，為主責美國西部17州水資源管理的聯邦機構附屬於美國內政部，興建超過600座水庫並負責美國400座以上水庫之操作、維護及結構安全檢查工作，經常性舉辦大壩安全相關課程研討會。本次「大壩修復及維護技術研習」出國計畫主要為參加美國墾務局於102年6月11日至18日舉辦之「大壩安全評估國際研習會暨技術考察」課程，其內容第一部份主要為室內課程及討論，包含歷史災變案例事件、大壩檢查程序、水庫安全營運、維護、監控和應急準備等，並安排參觀墾務局工程研究試驗室與混凝土試驗室。第二部份現地考察則安排赴Boca壩、Stampede壩、Prosser Creek壩及Folsom壩等，以現場案例說明大壩安全檢查重點。透過室內課程及現地大壩考察，了解美國墾務局於大壩檢查、安全評估、水庫維護管理等工作，俾提供專業人員建立大壩安全評估及水庫安全管理相關業務專業能力。

水利署102年於「水資源作業基金出國計畫」研習課程編列「大壩修復及維護技術研習」出國計畫，該出國計畫本次奉核參加美國墾務局舉辦之「Safety Evaluation of Existing Dam International Technical Seminar and Study Tour」(June 11-18, 2013)課程。

## 二、研習目標

本研討會係專為水庫安全相關規劃、設計、興建、營運、管理、維護等工程師及決策者所設計之課程，由墾務局專業的人員指導說明相關大壩安全評估課程並安排現地考察堆填壩及混凝土壩等壩型之大壩之安全評估檢查作業模式，藉由研習會的學習、討論及現地考察操作行程，實地了解美國墾務局在大壩安全之目視檢查與評估程序的操作方式，藉以學習提高負責安全評估的技術能力。並與各國參與研習學員及專家們討論交換經驗與心得，加強推展國際事務聯繫，俾利本署未來相關業務之推動。

## 貳、過程

### 一、行程與課程說明

本次研習行程係參加美國墾務局（Bureau of Reclamation）於科羅拉多州丹佛聯邦中心舉辦為期8天(6月11日至6月18日)之「Safety Evaluation of Existing Dam International Technical Seminar and Study Tour」(大壩安全評估國際技術研習會及現地考察)，水利署計有3人參與，於102年6月9日由台北啓程並於10日抵達丹佛完成報到。研習會開始透過與會者自我介紹，初步瞭解各國與會者之職業、工作內容、學經歷及專長等，本署出席人員亦向各國與會者說明署裡相關工作內容，有助於後續相互切磋與經驗交流，與會者自我介紹結束後，研討會正式進入研習課程。此次研習會計有澳洲、加拿大、哥倫比亞、巴拿馬、南非、南韓及台灣等7個國家共17人參與。

研習課程安排如表2.1，第1周(6/11~6/14)為課堂講座與討論並安排參觀墾務局工程研究試驗室與混凝土試驗室(Engineering and Research Laboratory and Concrete Cylinder Test in Building 56)。第2週(6/15-18)為現地考察行程，15日移動前往內華達州，16日為自由行程，17日參訪加州Boca壩、Stampede壩、Prosser Creek壩，18日參訪加州Folsom壩，當晚於Delta King舉辦結束晚宴並頒發結業證書。

表 2.1 研討會行程課程內容表

日期	內容
6/9(日)	啓程(台北-洛杉磯)
6/10(一)	(洛杉磯-丹佛) 報到及資料整理
6/11(二)	1.歡迎致辭、墾務局簡介、與會者自我介紹 2.大壩安全歷史背景 3.大壩安全計畫概要 4.大壩災變教訓 5.操作維護展望與通盤考量 6.參觀墾務局工程研究試驗室與混凝土試驗室
6/12(三)	1.大壩安全監測與評估之破壞模式識別 2.大壩安全風險分析與評估 3.大壩安全之水文災變分析 4.大壩安全工作地質師之角色概述 5.混凝土壩及附屬構造之非線性有限元素分析 6.歡迎會
6/13(四)	1.混凝土壩與附屬結構物之改善 2.大壩操作標準步驟與新進操作人員訓練 3.大壩監測設備 4.分組研討 (1)地震災害 (2)緊急應變 (3)滲流與管湧
6/14(五)	1.附屬結構物檢查 2.機械設備之檢查維護與測試 3.混凝土壩之檢查 4.堆填壩之檢查 5.現地考察之大壩簡介 6.與會人員發表意見
6/15(六)	現地參訪行程開始(搭機前往內華達州)
6/16(日)	South Lake Tahoe 自由行程
6/17(一)	1.參訪Boca壩、Stampede壩、Prosser Creek壩 (加州) 2.前往加州沙加緬度
6/18(二)	1.參訪Folsom壩 (加州) 2.結束晚宴並頒發結業證書
6/19(三)- 21(五)	回程 (沙加緬度-西雅圖-台北)



上課地點：丹佛聯邦中心墾務局辦公室



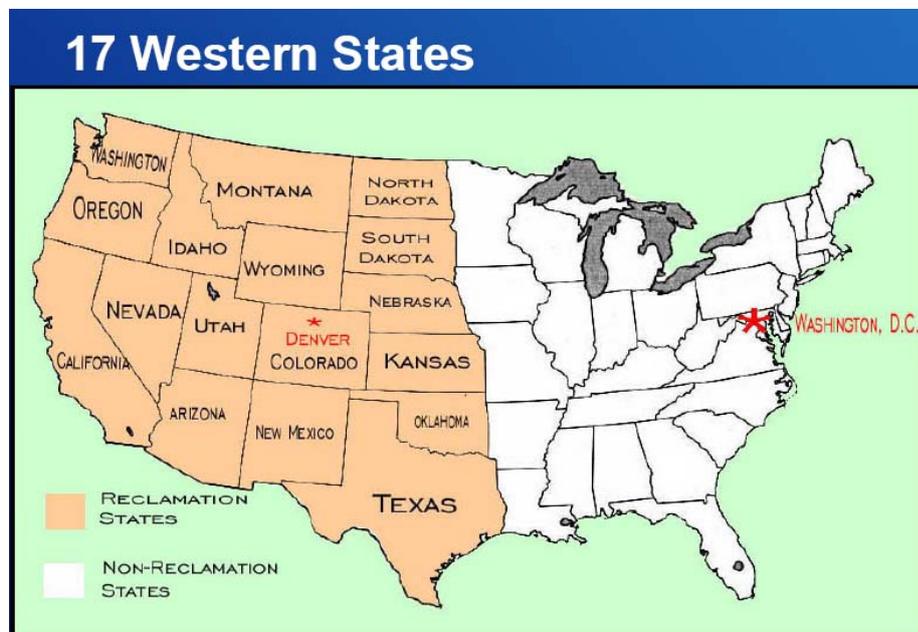
課堂講座

## 二、課程內容摘要

研習會與參訪行程計第1周(6/11~ 6/14)為課堂講座與討論計31小時，第2週(6/15-18) 為現地大壩參訪行程計14小時。

### (一) 墾務局簡介

美國墾務局(U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USBR) 成立於 1902 年，為主責美國西部 17 州水資源管理的聯邦機構附屬於美國內政部，興建超過 600 座水庫並負責美國 400 座以上水庫之操作、維護及結構安全檢查工作。是美國最大的水批發供應部門及第二大的水力發電生產單位，每年可供應 3 千 5 百萬人約 40 萬億公升的生活用水及工業用水，農業用水提供 20%美國西部農民的灌溉用水，足使農民能夠生產全美國所需 60%的蔬菜和 25%的新鮮水果和堅果作物，營運中 58 座水力電廠提供電力計約 40 億千瓦/時，其相關設施還提供了大量的防洪，休閒，魚類和野生動物的效益。



墾務局管理負責美國西部 17 州

## (二)大壩安全歷史背景

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

美國大壩擁有者 69%屬私人、20%屬地方政府、5%屬州政府、4%屬聯邦政府、2%屬公共事業、未定者 1%。紀錄中大壩變故對下游造成的災害，其中 68%為低災害，16%為高災害，15%有明顯災害。

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

**1874 麻薩諸塞州立法規範大壩建設** — 緣於 1874 年威廉堡壩 (Williamsburg Dam)潰壩，造成 139 人死亡。

**1913 賓夕法尼亞州提出大壩安全程序** — 緣於 1911 年奧斯丁壩 (Austin Dam)潰壩，造成 80 人死亡。

**1929 加利福尼亞州與相鄰州等頒布大壩安全法** — 緣於 1928 年聖法蘭西斯壩 (St. Francis Dam)潰壩，造成 450 人死亡。

**1965 加利福尼亞州修訂原頒布大壩安全法** — 緣於起 1963 年巴德溫希爾壩 (Baldwin Hill Dam)潰壩，造成 5 人死亡。

**1972 國家大壩檢查法** — 緣於 1972 年 2 月水牛溪壩 (Buffalo Creek Dam) 潰壩，125 人死亡。1972 年 6 月峽谷湖壩 (Canyon Lake Dam) 潰壩，33 人死亡。

國家大壩檢查法 ( National Dam Inspection Act )授權美國陸軍工兵團

( U.S. Army Corps of Engineers ) 建立大壩詳細目錄資料庫及檢查大壩，惟限於經費僅完成大壩詳細目錄資料庫，無足夠經費繼續執行檢查工作。

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

#### **1978-1981 全面檢查疑似高災害高壩**

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

#### **1979 聯邦大壩安全準則**

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

#### **1979 設立「聯邦緊急管理局」(FEMA)**

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

#### **1997, 2003, 2011 公共保護大壩安全決策指引**

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

### (三)大壩安全監測與評估之破壞模式識別

美國壩務局從 1994 年開始藉由「性能參數」的系統計劃來評估其重大危險水壩，為要實現效率與效能的大壩安全監測工作。有關性能參數的過程包括以下步驟

#### 1. 確認最有可能的大壩破壞模式

##### (1) 堆填壩的管湧或壩堤核心材料地下侵蝕

- (2) 混凝土壩基礎失敗
- (3) 堆填壩洪水溢頂
- (4) 堆填壩地震相關的破壞
- (5) 混凝土壩洪水引發的破壞
- (6) 混凝土壩地震相關的破壞

## 2. 確認關鍵監測參數

## 3. 確認預期與非預期表現

簡言之性能參數的程序和文件是爲了協助我們如何以現今的大壩安全的觀點，對於未來的大壩應怎樣做出妥善的照顧。

### 步驟 1—確認最有可能的大壩破壞模式

第一步審慎檢查現場具體資訊：

- (1) 現地地質條件
- (2) 大壩和附屬結構物設計功能
- (3) 施工方法和記錄
- (4) 歷史記錄，根據儀表數據和目視檢查
- (5) 現況設計地震和洪水的負荷
- (6) 迄今完成的大壩安全分析工作

### 步驟 2—確認關鍵監測參數

第二步是在看每一個可能潛在的破壞模式並提問：「應該看什麼樣的線索，以檢測這種破壞模式的可能發展？」，線索可以分爲兩類：(1) 那些提供可能發生破壞模式的預警，(2) 顯示現有的破壞模式的發展的有利條件。

除了指定應監測哪些參數，如何測、在哪裡，監測頻率也需要建立，從效率和可信性的監控程序的觀點出發並就大壩現有監測設施評估做出持續保留、暫停、新增調整等監測程序。

### 步驟 3—確認預期與非預期表現

此階段過程的目的是使現場工作人員能夠有效率執行例行監測程序，定義現場工作人員進行相關例行目視檢查工作，並於需要時及時回報並評估，且定義儀表監控讀數，什麼的讀數屬預期行為的界限，什麼樣的讀數應及時檢查，並進一步調查。

#### (四)可能的大壩破壞模式

##### 1.堆填壩的管湧或壩堤核心材料地下侵蝕

歷史的記錄到目前為止，堆填壩最可能發生的潛在破壞模式是在沒有極端的負荷條件下，由於地震或洪水造成管湧或壩堤核心材料地下侵蝕的威脅。

##### 2.混凝土壩基礎失敗

歷史經驗表明混凝土壩的潛在破壞模式為大壩基礎的失敗，混凝土重力壩需要有適當的岩磐基礎支稱，拱壩壩墩提供的高負荷支持顯得尤為重要，基礎支撐的失敗可能導致混凝土壩失敗。

##### 3.堆填壩洪水溢頂

(1)洪水溢頂侵蝕壩頂和下游坡面等。

(2)水位峰值低於壩頂，(splash over)由於風和水波造成侵蝕。顯然柏油路壩頂和下游坡拋石護坡會減少這種破壞情境的風險。

(3)水位峰值僅低於壩頂，水經過心層上之透水料層流過侵蝕心材，最終導致水壩潰決。

(4)通過溢洪道（或出水工）的高流量導致的侵蝕破壞消能池，洩槽結構。侵蝕和損害其工作方式，向上游壩頂結構，直到最後的結構完全損壞不受控制的釋放水庫蓄水。

(5)高流量經溢洪道（或出水工）未適當導引遠離壩趾部，導致壩堤侵蝕

最後壩體破壞。

(6)高流量通過溢洪道（或出水工）由於穴蝕(Cavitation)造成的侵蝕和損壞的結構。

(7)高流量經溢洪道可能越過洩槽或消力池的牆壁和侵蝕相鄰堤基材料，相鄰的材料的侵蝕可能造成朝向水庫的溯源侵蝕。

#### 4.堆填壩地震相關的破壞

(1)由於地震導致壩頂降低和壩基在一個或多個地點的基礎變形，可能是由於壩堤液化或基礎材料變形。壩頂變形後水庫水位可能溢流過壩頂迅速導致壩堤潰決。

(2)由於地震的晃動（或斷層位移）導致壩體路基或基礎變形，產生橫向裂縫導致滲流侵蝕，這種情況可能會迅速地侵蝕壩體造成大壩潰壩。

#### 5.混凝土壩洪水引發的破壞

混凝土壩壩頂溢流造成高流量侵蝕大壩附近接觸的基礎。這種高流量侵蝕可能破壞大壩基礎支撐與結構強度最終造成大壩潰決。

#### 6.混凝土壩地震相關的破壞

(1)地震搖動可能使基礎的滑動被觸發或活化。其破壞的方式可能是不穩定的極端荷載下發生，也有可能是在穩定的靜態加載條件下發生。

(2)地震搖動導致高剪應力和減少混凝土壩體正常應力，如果上舉力線是弱結合或未結合，大壩下游側的上部可能會發生相對於大壩的基礎的滑動。

(3)地震產生大壩高張應力，導致混凝土開裂嚴重。在極端的情況下，開裂是足以使壩的一部分（通常是上的中央部）的滑動和破壞。

### (五)大壩安全監測程序

#### 1.例行現場工作人員目視檢查

單頁（正面和背面）檢查清單(範例如次頁)的形式通常具體到符合每個水壩的需求，列出任何問題回答“是”，即意味著與前次檢查不一樣的情況已經注意到，需要進行調查。

## 2.例行儀器監測

要在所有可能的範圍內訂出規定，使儀器所讀取的數據在預期的行為的限制內可以被檢驗。

## 3.專家的定期檢查

這是一個以“全新的眼光”來看待的異常現象的機會，特別是在於破壞模式可能不是當前一般檢測所關注的焦點。此外這也是一個極好的機會可與現場人員討論其所關注的破壞模式，並協助他們解決執行例行的目視監控所遭遇問題。

## 大壩目視檢查清單 (翻譯壑務局 2008 年版資料)

程序：

每天三次 (早上, 中午和傍晚), 當水庫標高在 2015 英尺(614m)以上  
每天一次, 當它是海拔 2013 和 2015 英尺(613.5-614m)之間  
每月一次, 當它低於海拔 2013 英尺(613.5m)  
此外在壩址附近發生顯著地震或洪水事件後馬上執行檢查

檢查者：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

高程：\_\_\_\_\_ 時間：\_\_\_\_\_

氣候：\_\_\_\_\_ 溫度：\_\_\_\_\_

回答「是」：當所檢查情況與先前檢查結果不同時

回答「否」：當所檢查情況與先前檢查情況保持不變時

如有任何問題回答「是」, 則盡可能完全根據第 6 項描述情況並提供更多的信息, 包括拍照與紀錄報告。

### 1、大壩上游坡面：

- (1)任何由於波浪作用造成明顯的侵蝕或砂灘化？ 否 是
- (2)任何沉孔、泥坑、或不尋常沉降區域？ 否 是
- (3)在水庫水面有任何漩渦情況嗎？ 否 是

### 2、壩頂：

- (1)任何裂縫, 無論是橫向或縱向？ 否 是
- (2)任何沉孔、窪地、不正常沉降或變形地區？ 否 是

### 3、大壩下游坡面：

- (1)任何新的滲水或潮濕地方, 或原滲漏或潮濕的地方有新變化？ 否 是
- (2)任何滲流運移跡象 (如水變色或沉積物)？ 否 是
- (3)任何沉孔、窪地、泥沼、不正常沉降或變形地區？ 否 是
- (4)下游趾部附近任何明顯鼓脹嗎？ 否 是

4、大壩、壩墩下游區域、趾部：

要特別注意溢洪道混凝土結構附近區域與取水工附近地區。

- (1)任何新的滲水或潮濕地方？ 否 是
- (2)原滲水或潮濕地方有新變化嗎？ 否 是
- (3)在壩下游水塘出現隱沒的滲水現象嗎？ 否 是
- (4)任何沉孔、窪地、不正常沉降或變形地區？ 否 是

5、溢洪道：

- (1)任何新的或擴大的裂縫，混凝土剝落嗎？ 否 是
- (2)任何不尋常的變形或位移的現象嗎？ 否 是
- (3)與溢洪道相鄰的牆出現任何沉孔現象嗎？ 否 是
- (4)牆壁上的裂縫或接縫出現任何滲漏？ 否 是
- (5)任何滲流運移跡象（如水變色或沉積物）？ 否 是
- (6)放流時觀察到任何異常流量模式？ 否 是
- (7)放流時發生過度的侵蝕（水的濁度超出預期）？ 否 是

6、其他訊息：

當上述問題回答「是」時提供額外的信息

注意：所有描述應該包括具體的位置和所有其他相關資訊。

滲流面積應包括：估計滲水量和水體透明度描述（透明/混濁/泥濘等）。

裂縫描述應包括方向和尺寸。

在接縫處的變化說明應包括估移動的量和移動的方向。

惡化或剝落的混凝土描述應包括程度惡化和大致尺寸和區域。

May 12, 2008

## ONGOING VISUAL INSPECTION CHECKLIST SAMPLE DAM

Schedule: Three times per day (early morning, mid-day, and late afternoon) when the reservoir elevation is above 2015.0 feet; daily when it is between elevations 2013.0 and 2015.0; and monthly when it is below elevation 2013.0, as indicated on the "Schedule for Periodic Monitoring (L-23)". Additionally, perform immediately following a significant earthquake in the vicinity of the dam (estimated peak horizontal acceleration at the damsite greater than 0.05g), and following a major flood event.

Inspector: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Reservoir Elev.: \_\_\_\_\_ feet Time: \_\_\_\_\_

Weather: \_\_\_\_\_ Temperature: \_\_\_\_\_ °F

**A "YES" response should be given to question(s) below where observed conditions are different than previously observed conditions. Re-reporting conditions that have previously been reported and currently are unchanged should not be done ("NO" answer would be appropriate). For any question answered "YES", please provide additional information describing the situation as completely as possible under item 6, "Additional Information." Also, take photographs of the situation, and include with this report.**

1. Upstream Slope of the Dam:

- a. Any significant erosion or beaching due to wave action?  No  Yes
- b. Any sinkholes, sloughs, or areas of unusual settlement?  No  Yes
- c. Any evidence of whirlpools in the reservoir?  No  Yes

2. Dam Crest:

- a. Any cracks, either transverse or longitudinal?  No  Yes
- b. Any sinkholes, depressions, or areas of unusual settlement or deformations?  No  Yes

3. Downstream Slope of the Dam:

- a. Any new seepage areas or wet areas, or changed conditions at existing seepage or wet areas?  No  Yes
- b. Any evidence of materials being transported by seepage flows (such as discolored water or sediment deposits)?  No  Yes
- c. Any sinkholes, depressions, sloughs, slides, or areas of unusual settlements or deformations?  No  Yes
- d. Any bulging evident, particularly near the downstream toe?  No  Yes

4. Downstream Toe Area, Areas Downstream of the Dam, and Downstream Abutment

Areas:

Note: Extend the inspection to all areas within 100 feet of the toe and groins of the dam. Pay particular attention to areas near the concrete water control structure of the spillway and to areas near the alignment of the two abandoned water supply pipes (intake structure is visible in the reservoir).

- a. Any new seepage areas or wet areas?  No  Yes
- b. Any changes in conditions at any existing seepage areas or wet areas?  No  Yes
- c. Any evidence of materials being transported by seepage flows (such as discolored water or sediment deposits)?  No  Yes
- d. Any evidence of seepage emerging in ponds downstream of the dam?  No  Yes
- e. Any sinkholes, depressions, or areas of unusual settlement?  No  Yes

5. Spillway:

- a. Any new or enlarged cracks, or spalls in concrete?  No  Yes
- b. Any evidence of unusual deformations or displacements?  No  Yes
- c. Any evidence of depressions adjacent to the spillway walls?  No  Yes
- d. Any seepage emerging through cracks or joints in the walls?  No  Yes
- e. Any evidence of materials being transported by seepage flows emerging through cracks or joints in the walls (such as discolored water or sediment deposits)?  No  Yes
- f. Any unusual flow patterns observed when discharges are occurring?  No  Yes
- g. Any evidence that excessive erosion is occurring during major discharges (such as observations of turbid downstream water that exceeds expectations)?  No  Yes

6. Additional Information:

Provide additional information concerning any of the above questions that were answered "YES":

**NOTE:** All descriptions should include specific location information and all other seemingly relevant information. Seepage area descriptions should include: estimated seepage amount and water clarity description (clear/cloudy/muddy, etc.). Crack descriptions should include orientation and dimensions. Descriptions of changes at joints should include the estimated amount of movement, and movement direction. Deteriorated or spalled concrete descriptions should include degree of deterioration and approximate dimensions of the affected area.

## (六)堆填壩檢查

一般來說，堆填壩優於混凝土壩的有二部分，壩址地形和經濟面。壩址地形－混凝土壩需要有能承載荷重壩基和壩墩，而堆填壩可以在許多無法建造混凝土壩的地點興建。經濟面－堆填壩通常就近取用壩址附近的材料，這樣的建造成本比大體積混凝土施工是相對少的。堆填壩的主要缺點是，如果壩頂溢流會造成潰壩損壞。

大壩的安全評估檢查者藉由了解大壩的設計和建造過程，在檢查過程特別警覺的檢查大壩的某些功能或不足地方，因此檢查之前簡要了解壩的設計和施工特點將有助於檢查的執行。

### 1. 堆填壩檢查技巧

#### (1)查看的整個壩堤的表面區域

檢查的目的是要找出不足之處或可能影響大壩安全的疑慮。因此，重要的是查看的整個壩堤的表面區域，來回多次走在上下游坡面和壩頂，清楚看到整個表面區域。並在規律地往返檢查過程中停下腳步環顧四周各個方向，從不同的角度觀察其表面。

#### (2)從遠處觀看上下游坡面

從遠處觀看也可能揭示一些異常如扭曲的路基表面和植被的微妙變化。通常這些類型的變化在近看時並不易被查覺。壩堤與壩墩接觸的地方更應仔細檢查，因為這些地區很容易受到地表逕流侵蝕，更容易滲水。

#### (3)檢測壩堤坡面的均勻性的變化

水庫水面和上游坡面之間的接線應平行壩軸線（如果大壩具有直的軸線）。非線性的水線可能表明坡面侵蝕或不均勻沉陷。

### 2. 堆填壩主要缺陷

(1)滲流

滲流監控詳細記錄(筆記、草圖或拍照)事宜：

- a.所有滲流出口位置
- b.滲流率和水質清晰度
- c.近期降雨造成滲流或實際滲流
- d.觀測時之水庫水位

(2)裂縫

a.縱向裂縫(平行壩軸裂縫)跡象說明

- (a)相鄰分區不均勻壓縮沉陷
- (b)壩堤橫向張力過度擴散
- (c)開始即不穩定的斜坡陡坎，可能出現弧形裂縫

b.橫向裂縫(垂直壩軸裂縫) 跡象說明

- (a)可壓縮壩堤材料覆蓋在陡峭的或不規則的岩石壩墩
- (b)可壓縮材料在基礎位置區域

c.乾縮(通常在壩頂與下游坡面)

- (a)壩堤由高塑塑性粘土組成，在炎熱乾燥的氣候伴隨著長時間水庫空庫最易發生

(3)不穩定(淺層滑動、深層滑動)

a. 淺層滑動

- (a)下游坡面過度陡峭
- (b)壩堤材料強度損失

b. 深層滑動

- (a)趾部有隆起現象
- (b)趾部有弧形裂縫產生

(4)沉孔(Depressions)位於壩堤表面可能是局部或廣泛分布，可能引起

- a.壩堤沉陷降低出水高度
- b.上游坡面侵蝕引起拋石沉陷

(5)維護問題：

如果維護不足或被忽略，可能惡化成爲大壩安全問題。

- a.護坡不足地表徑流侵蝕
- b.不適當植被
  - (a)過度的植被
  - (b)深根的植被
- c.動物的洞穴

動物的洞穴可以是危害大壩的結構完整性，並可能造成滲漏途徑

## (七)混凝土壩檢查

### 1.混凝土壩失敗的主要成因

#### (1)出水高度不足

出水高度不足造成壩頂溢流導致潛在的基礎和壩墩侵蝕，可能誘發壩座翻倒或滑動。

#### (2)壩基與壩墩強度弱化

壩基與壩墩強度弱化無法承載外加荷重，包括壩基壩墩因滲流造成基礎強度弱化。

#### (3)混凝土結構薄弱

由於最初的低強度混凝土或後續混凝土退化造成混凝土結構薄弱，導致的大壩無法承載外加荷重而破壞。

### 2.現場檢查要項

#### (1)壩基與壩墩

壩基與壩墩的區域往往是最難以檢查，陡峭的壩墩可以使用雙筒望遠鏡協助檢查。查看是否有裂縫、差異沉陷、滲水。

#### (2)壩體上下游坡面

仔細查看到整個表面區域之物理、化學變化及風化情況問題，避免其成為大壩安全問題。壩體下游坡面滲流區域應進行調查以確定水的來源。

#### (3)廊道（包括儀器和溝渠）

廊道結構是否有裂縫伴隨滲水情況，相關監測儀器數據成果與先前紀錄比對，以確定是否有不安全的變化或趨勢發生。

#### (4)壩頂

位移、沉陷、風化、物理、化學等問題最容易從壩頂區域查覺。

### (八)工程研究試驗室與混凝土試驗室參觀

壩務局工程研究試驗室與混凝土試驗室(丹佛聯邦中心第 56 大樓)，該場地為佔地約 65,000ft<sup>2</sup> (0.6 公頃)室內實驗室，主要從事水工結構物模型試驗分析，服務對象主要為壩務局所職掌工程需求，也服務聯邦、州政府、地方政府、其他組織與私人企業等客戶。

6 月 11 日下午參訪該試驗室，試驗室工作人員就現場相關試驗藉由展示海報與動畫或紀錄影片播放方式等進行導覽解說，現場並示範操作大型混凝土圓柱抗壓試驗(500 萬磅抗壓機)。



魚道(鮭魚、鱒魚)水工模型試驗



Folsom 壩新增溢洪道水工模型試驗講解

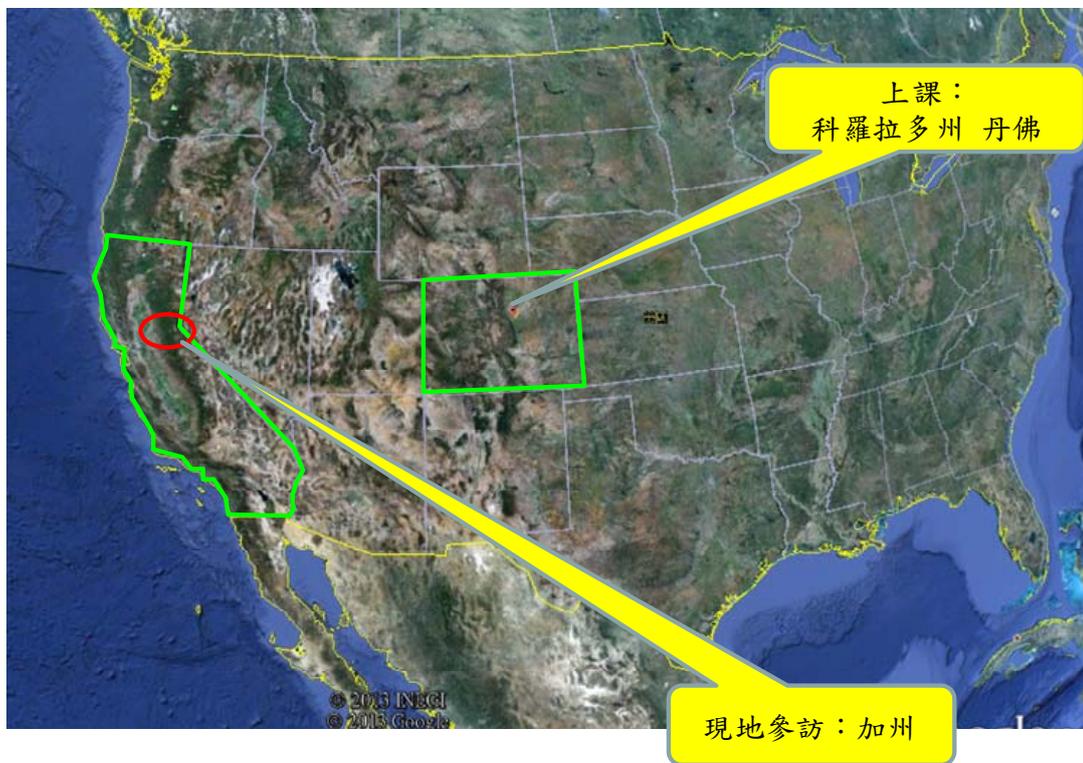


大型混凝土圓柱抗壓試驗(500 萬磅抗壓機)

壓力已接進 254 萬磅

### 三、大壩現地參訪摘要

第2週(6/15-18) 為現地考察行程，壠務局排訂參訪的4個水庫位置在加州北部，15日由科羅拉多州丹佛市移動前往內華達州雷諾市，16日為自由行程，17日參訪位於內華達州與加州交界處的Boca壩、Stampede壩、Prosser Creek壩，18日參訪加州州政府所在地薩克拉門拖(Sacramento)附近的Folsom壩。相關位置如下圖



**Boca Dam**



**Stampede Dam**



**Prosser Creek Dam**



**Folsom Dam**



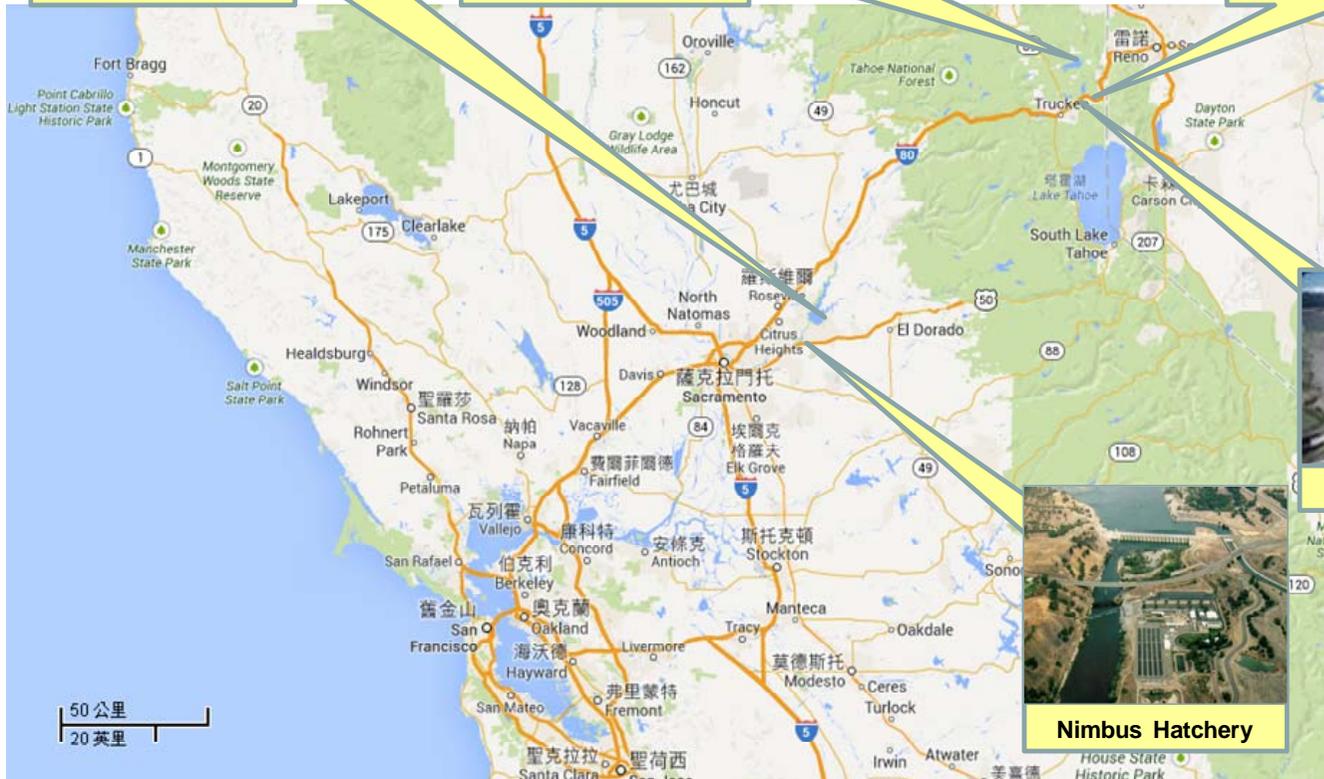
**Folsom Dam**



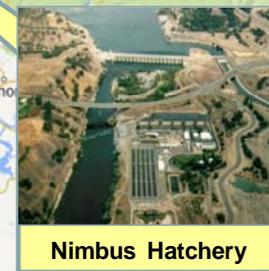
**Stampede Dam**



**Boca Dam**



**Prosser Creek Dam**



**Nimbus Hatchery**

相關參訪水庫位置示意圖

(一) Boca 壩

壩高 116ft(35m)

壩長 1,629ft(496m)

庫容 41,110 acre-ft (5,071 萬 m<sup>3</sup>)

集水面積 36 sq mi (93 km<sup>2</sup>)

淹沒面積 977 acres (3.95 km<sup>2</sup>)

Boca 壩為一分區堆填壩，位於小特拉基河，約距加利福尼亞州特拉基東北 6 英里（3.2 公里），1937 年開始興建 1939 年完成，為水力發電、公共工業農業用水、防洪、漁業養殖與休閒多標的水庫，營運迄今已超過 70 年。



Boca 壩 資料來源：墾務局簡報資料

參訪行程由 Boca 壩開始，抵達 Boca 壩時墾務局工作團隊先做現場避難介紹與說明安全注意事項，並要求每位學員穿上其所預備安全警示背心後，導引學員至壩頂介紹說明。

第一天(17 日)參訪位於內華達州與加州交界處三個水庫壩址(Boca 壩、Stampede 壩、Prosser Creek 壩)，於壩址附近皆未見到管理辦公室與進出管制，現地可以看到民眾騎乘越野機車、駕車拖載遊艇或是露營車自由進出通過壩頂道路，並於水域從事滑水、露營、釣魚等休閒活動。

開放水庫水域供大眾從事休閒使用與台灣現有水庫管理概念不同(自來水法第 11 條—水源水質保護區內禁止或限制貽害水質與水量之行爲)，經洽詢如何維護供水水質安全標準，墾務局人員表示週末與假日船隻遊艇更多幾乎充滿整個湖面，水量水質最終送至使用人前處理妥善符合標準即可。



壩務局人員安全講解說明 (Boca Dam)



大壩與溢洪道介紹說明 (Boca Dam)



民眾駕車拖載遊艇通過壩頂 (Boca Dam)



水庫蓄水區內滑水休閒活動 (Boca Dam)  
遠處岸邊有三部露營車

## (二) Stampede 壩

壩高 239ft(73m)

壩長 1,511ft(461m)

庫容 280,210 acre-feet (34,563 萬 m<sup>3</sup>)

集水面積 136.0 sq mi (352 km<sup>2</sup>)

淹沒面積 3,340 acres (13.50 km<sup>2</sup>)

Stampede 壩為土石堆填壩，位於小特拉基河，加州特拉基河與小特拉基河匯流處上游約 8 英里（12.8 公里），1966 年開始興建於 1970 年建造完成，為防洪、魚業保育多標的水庫。



Stampede Dam

資料來源：墾務局簡報資料

Stampede 壩為 Boca 壩上游側水庫，庫區水域內也有民眾從事滑水活動，壩頂道路不斷有露營車與民眾駕車拖載遊艇進出通行。

講解說明的墾務局人員提到檢查壩體是否有不均勻沉陷，可由交界水面線是否為直線判斷，若非直線則可能是不均勻沉陷。

關於壩頂道路柏油路面橫向裂縫墾務局人員表示：是因其日夜溫差大 (20°F — 90°F) 所造成表面破壞，未損害其路基不會造成影響。

當向墾物局人員請教當初水庫規劃興建時是否因位於印地安部落的傳統領域，而遭遇印地安部落族人反對水庫之建設。墾物局人員表示公共建設是需要有不斷的溝通宣導，其單位有一部門-美洲原住民事務部 (Native American Affairs) 專責致力於尊重印地安部落主權和維護印地安部落總體政策，積極尋求與印第安部落的夥伴關係，以確保墾務局在其領域內從事水和相關資源開發計畫時，獲得印地安部落族人的同意與認同參與。



水庫庫區週邊露營地 (Stampede Dam)



壩址下游測 (Stampede Dam )



壩上游側(交界水面線為直線) (Stampede Dam)



壩頂道路柏油路面橫向裂縫裂 (Stampede Dam )

### (三) Prosser Creek 壩

壩高 165.6ft(50.5m)

壩長 1,830ft(558m)

庫容 29,840 acre-ft (3,680 萬 m<sup>3</sup>)

集水面積 50 sq mi (131 km<sup>2</sup>)

淹沒面積 734 acres (2.97 km<sup>2</sup>)

Prosser Creek 壩一分區堆填壩，位於普羅瑟溪，普羅瑟河與特拉基河的匯合處上游約 1.5 英里(2.4 公里)，1959 年開始興建於 1962 年興建完成。水庫蓄水是用來交換釋放塔霍湖(Lake Tahoe)湖水至特拉基河，主要為改善塔霍湖到唐納河口漁業養殖所需流量，在水庫周邊已開發作娛樂用途和漁業養殖使用。



Prosser Creek Dam

資料來源：壩務局簡報資料

於 Prosser Creek 壩 17 位學員分成兩組進行現場模擬檢查，從壩頂開始目視檢查胸牆，沿壩頂到出水工閘門室爬扶梯下到 40 公尺深閘門室底層查看控制閘門，再沿溢洪道洩槽走到壩體下游側檢查滲流情形，最後再沿壩體往上走回壩頂。

Prosser Creek 壩趾部設有排水設施將壩體與壩基滲流水匯集經由量水堰計算流率排出，墾務局人員表示滲漏水所挾帶細粒料帶出速度不易察覺，特別提醒並要求伸手觸摸排水管壁所沉積的粒料詳加研判。



出水工淨水池 (Prosser Creek Dam)



溢洪道 (Prosser Creek Dam)



爬扶梯 40 公尺下到閘門室底層(Prosser Creek Dam) 資料來源：壩務局簡報資料



出水工閘門室底層 (Prosser Creek Dam) 資料來源：壩務局簡報資料



壩體下游側檢視滲流情形 (Prosser Creek Dam)



檢視滲流水是否挾帶泥沙 (Prosser Creek Dam)

#### (四) Folsom 壩

壩高 340 ft(104 m)

壩長 1,400 ft(427 m)

庫容 1,120,000 acre-ft (138,153 萬 m<sup>3</sup>)

集水面積 1,875 sq mi (4,860 km<sup>2</sup>)

淹沒面積 1,1930 acres (48.2 km<sup>2</sup>)

Folsom 壩是混凝土重力壩，位於的美國河北南叉的匯流處，約在北加州薩克拉門拖(Sacramento)東北方 25 英里（40 公里），由美國陸軍工兵團 US Army Corps of Engineers (USACE)於 1948 年開始興建，1956 年興建完成並交由墾務局營運管理。

Folsom 壩設施包含 1 混凝土重力壩，2 土石翼壩(左、右)，Morman 島副壩及 8 個土堤，總長約 5 英里(8 公里)，其主要標的為防洪(冬季暴風雨與春季融雪)與農業用水、公共用水、工業用水、水力發電、航運、水質、休閒及提供河川之魚類及野生動物需求等。



Folsom Dam 資料來源：墾務局簡報資料



新設輔助溢洪道完工示意圖 資料來源：墾務局簡報資料

第二天(18 日)參訪加州州政府所在地薩克拉門拖(Sacramento)附近的 Folsom 壩，該水庫門禁管制嚴格與第一天參訪水庫似乎無門禁管制的情形不同，需要辦證後才能進入。墾務局在 2001 年 911 恐怖襲擊事件後，為降低可能出現對 Folsom 壩下游的 50 萬居民的威脅，採取關閉 Folsom 的城市的主要道路 Folsom 壩壩頂通達道路的措施，且基於安全理由不再重新開放，並建造一座 Folsom Lake Crossing 橋之替代道路於 2009 年 3 月 28 日開放使用。

為要使下游薩克拉門拖(Sacramento)地區達 200 年重現期距流量保護標準，目前正執行 9 億美元的輔助溢洪道興建工作，由美國陸軍工兵團與墾務局於 2005 年開始合作執行 The Joint Federal Project，該新設輔助溢洪道用於輔助 Folsom 壩於高洪水事件期間使入流量可以提早且安全方式排出(設計排水量 312,500 立方英尺/秒(8,849 立方公尺/秒)，約是下游河道的 2 倍容量)，輔助溢洪道包括：6 個淹沒弧形閘門控制結構，3,000 英尺(914 公尺)長的洩洪槽和消能池，1,100 英尺(335 公尺)長的導水路。共分四期執行，目前正在執行第三期溢洪道控制結構部分，輔助溢洪道預計將於 2017 年 10 月完成。



管理中心說明介紹簡報 (Folsom Dam)



壩頂門型吊車(左)、通往壩頂電梯豎井(右)  
電廠(左側)、溢洪道與消能池(右側) (Prosser Creek Dam)



壩頂可升降警衛(Sheriff)設施 (Folsom Dam)



壩頂替代道路 Folsom Lake Crossing 橋 (Folsom Dam)



沿壩頂前往興建中輔助溢洪道(Folsom Dam)



興建中輔助溢洪道 (Prosser Creek Dam)

#### (五) Nimbus 魚孵化場

Nimbus 魚孵化場位於 Nimbus 壩下游左岸，約在 Folsom 壩下游約 7 公里，用以補償鮭魚的產卵棲地被 Nimbus 壩工程淹沒，是全年開放的魚養殖與教育活動場所並在鮭魚上溯繁殖期間提供產卵展示。



Nimbus Hatchery 資料來源：墾務局資料

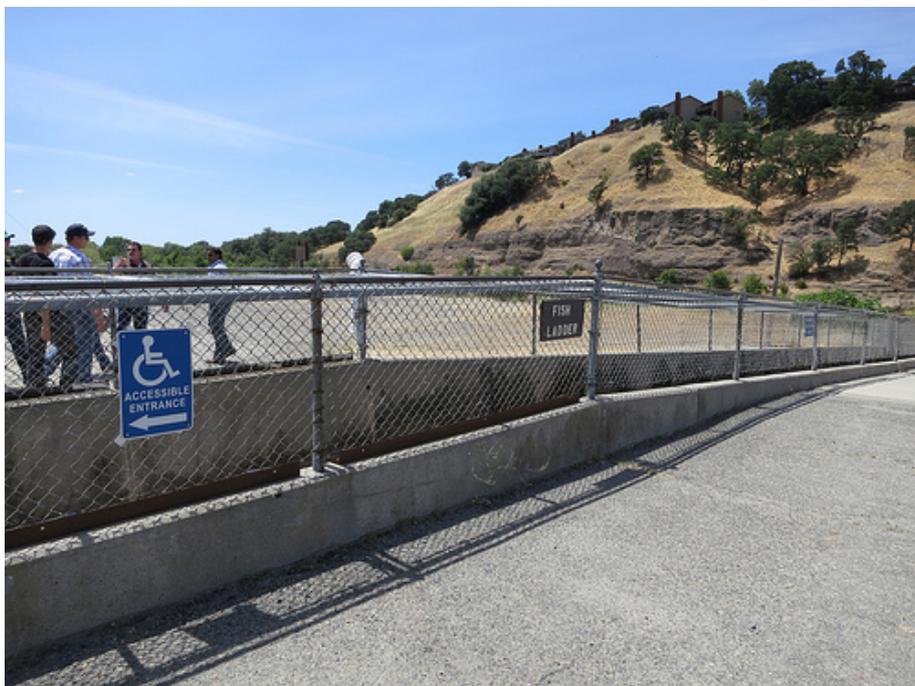
Folsom 壩輔助溢洪道控制結構施工現地參訪結束後，繼續到 Folsom 壩下游約 7 公里的 Nimbus 魚孵化場參訪。

孵化場的志工以簡介影片說明導引鮭魚經由魚梯上溯養殖池取卵孵化再回到大海所有過程說明如下：

每年 9 月中旬直到上溯繁殖期結束在 Nimbus 壩下方魚道入口處上游處以擋板架堰阻止魚往上溯導引進入魚道入口，惟配合卵孵化溫度當水溫降至華氏 60 度時(約是 11 月第一週)魚道入口才打開。大概每年約有超過 10,000 尾的鮭魚會上游跳躍超過 20 層階梯來到魚梯頂端進到池塘。因鮭魚在產卵後即死亡，因此在池塘經由分類後即快速切開魚體取卵，並與從雄性鮭魚擠壓取得精子混合完成受精。受精卵放入孵化缸大約 50 天至 60 天完成孵化。當幼鮭魚約 6 個月大體長 4 至 6 英吋時，將運至薩克拉門托河河口釋放，每年約有 400 萬尾鮭魚苗回到大海持續生命成長過程。



導引擋板堰與魚道入口



魚梯(有防止被掠食的護欄)

### 叁、心得與建議

- 一、美國從 1874 年到 1977 年在經歷幾次潰壩事件教訓後，逐步規範頒布大壩安全法，並於 1972 年頒布國家大壩檢查法授權美國陸軍工兵團建立大壩詳細目錄資料庫，美國國會在 1978 至 1981 年撥款檢查超過 9,000 座高災害壩，協助很多州建立或改善其大壩安全。1979 年頒布聯邦大壩安全準則，目標在加強國家大壩安全，提昇一致及全面性實務操作，提出壩址調查、設計、施工、操作與維護及緊急應變等規範。故大壩安全管理規範必須經由立法、預算編列與專業人員執行且要有從民眾來的關心和支持。
- 二、壩工安全的規劃設計即使已確保洪水、地震、滲漏災害風險降至最低，惟在預算成本效益考量與規劃當時有限的紀錄資料與經驗，不存在有零風險之設計。因此藉由大壩安全評估、潰壩分析等作業協助管理單位分析潛在破壞方式提出對策與規劃預警系統及緊急應變計畫，並針對大壩下游居民舉辦演練使其在水庫破壞之緊急狀況時，熟悉應變計畫迅速應變降低災害損失。(墾務局表示潰壩分析成果資料不對外公開，惟尊重利害關係人知的權利同意提供申請調閱參考)
- 三、美國墾務局墾務局主責美國西部 17 州水資源管理工作並負責 400 座以上水庫營運管理維護，相關例行與不定期安全檢查與評估皆由所屬專職員工進行操作。所知目前台灣水庫管理單位，因應業務工作量大增而人力不足之問題，已將現場安全檢查評估工作採委外辦理方式處理，由私人顧問公司執行現場檢查研判與紀錄，經彙總再交安全評估小組審議，在缺乏經驗傳承與檢查制度建立下，可能錯失及時發覺大壩與其附屬設施異常情況。建議效法美國墾務局由所屬專職工程師執行安全檢查等工作，方能落實第一線管理人員大壩檢查研判及監測資料判讀基本能力，及早發現潛在問題徵兆，提出因應預防災害發生，確保水庫安全。
- 四、Folsom 壩在運轉營運約 50 年後，就相關水文資料重新演算後，正執行 9 億美

元(270 億台幣)的輔助溢洪道興建工作，為要在高洪水事件期間使入流量可以提早且安全方式排出確保下游薩克拉門拖(Sacramento)地區居民安全。台灣地區大多數水庫建造完成於 1940 到 1980 年，壩的高齡化意味著許多不合時宜的設計和施工與設施老化問題。建議效法美國建立大壩詳細目錄資料庫檢查大壩，並重新評估氣候變遷超大降雨對水庫的威脅，確保一致性的公共保護標準並將風險評估納入到大壩安全決策過程。

五、參訪加州北部 Boca 壩、Stampede 壩、Prosser Creek 壩，於壩址附近皆未見到管理辦公室與進出管制，現地可以看到民眾騎乘越野機車、駕車拖載遊艇或是露營車自由進出通過壩頂道路，並於水域從事滑水、露營、釣魚等休閒活動。開放水庫水域供大眾從事休閒使用與台灣現有水庫管理概念不同(自來水法第 11 條—水源水質保護區內禁止或限制貽害水質與水量之行爲)。未來台灣若要繼續規劃興建水庫，應可評估朝農業、工業、水力發電、航運、休閒及提供河川之魚類及野生動物需求等多標的方向思考，不再局限公共給水，以滿足各利害關係人的需求，並培訓在地民眾擔任生態導覽解說員(如 Nimbus 鮭魚孵化場)方式，爭取認同水庫建設。

六、墾務局之美洲原住民事務部 (Native American Affairs) 專責致力於尊重印地安部落主權和維護印地安部落總體政策，積極尋求與印第安部落的夥伴關係，以確保墾務局在其領域內從事水和相關資源開發計畫時，獲得部落的同意與認同參與。台灣可能開發水庫壩址區域大多位於原住民族區域，因應原住民族基本法第 21 條（政府或私人於原住民族土地內從事土地開發、資源利用、生態保育及學術研究，應諮詢並取得原住民族同意或參與，原住民得分享相關利益）。未來若在原住民族土地內區域從事水資源調查規劃，建議於規劃階段時學習墾務局美洲原住民事務部作法，成立專職部門統合包括土地、保育、規劃、施工等單位執行溝通宣導工作，爭取原住民族同意或參與。