

# 出國報告

(出國類別：研習及考察)

## 因應氣候變遷下之攔河堰、水壩及輸水管路設計與維護技術-參加墾務局大壩安全評估與檢查國際技術研習會

服務機關：經濟部水利署中區水資源局

姓名職稱：林進榮 正工程司

派赴國家：美國

出國期間：98年8月16日至9月1日

報告日期：98年10月25日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：因應氣候變遷下之攔河堰、水壩及輸水管路設計與維護技術		
出國人姓名（2人以上，以1人為代表）	職稱	服務單位
林進榮	正工程司	經濟部水利署中區水資源局
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 研習及考察（例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）	
出國期間： 98年 8月16日至 98年 9月 1日		報告繳交日期： 98年 10月 26日
計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input checked="" type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
審核人	一級單位主管	機關首長或其授權人員
		

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

## 摘要

中區水資源局所轄區域，現有堰壩結構包括鯉魚潭水庫、石岡壩、集集攔河堰，皆為攔蓄水資源之重要結構，亦關係大中部地區能否穩定供水之重要設施，為因應未來全球氣候變遷產生之水資源相關問題，實應未雨綢繆，向國外專家汲取經驗。

近年來世界各國對大壩安全及操作維護檢查之關注日益提昇，美國墾務局負責 400 座以上水壩之正確操作、維護及結構安全檢查，為提供國內、外專業人員研討，訂於 98 年 8 月 17 日至 27 日於美國科羅拉多州丹佛市舉辦「大壩安全評估與檢查國際技術研習會」，水利署於 98 年度水資源作業基金派員出國計畫項目中，表特別提供經費參加此技術研習會，實為討論因應全球氣候變遷產生之水資源等相關問題之良好機會。

## 目次

摘要

目次	頁次
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
一、參加「大壩安全評估與檢查國際技術研習會」.....	2
二、為因應未來全球氣候變遷產生之水資源相關問題另連絡拜訪相關水庫管理單位.....	26
三、美國為因應未來全球氣候變遷產生之水資源等相關問題之對策.....	41
參、心得及建議.....	45

## 壹、目的

目標：研習會係為使參訓人員瞭解水庫安全評估與檢查技術，透過國際交流分享專業經驗，並經由室內包含大壩設計、施工、操作養護研討及實地考察數座水壩之安全評估檢查，藉由參加研習會議及考察行程，與墾務局及各國工程司研討氣候變遷下之攔河堰、水壩及輸水管路設計與維護技術，俾提供專業人員理解及建立或加強水庫安全評估及檢測能力。

成果：與各國參訓代表及專家、學者們交換經驗與心得，加強推展國際事務聯繫及技術交流等相關事宜，俾利本署未來相關業務之推動。

## 貳、過程

為因應未來全球氣候變遷產生之水資源相關問題，尤其對大壩等重要設施之相關維護、管理、檢查，水利署於 98 年度水資源作業基金派員出國計畫項目表特別提供經費參加 98 年 8 月 17 日至 27 日於美國科羅拉多州丹佛市墾務局舉辦之「大壩安全評估與檢查國際技術研習會 (Safety Evaluation and Visual Inspection of Existing Dams International Technical Seminar and Study Tour)」。

會後並由墾務局 TSC(Technical Service Center) 人員 Mr. David Paul 安排參訪施工中之 Rueter-Hess Dam，此壩上游坡面為土壤-水泥護坡，取代傳統之拋石護坡，減少外購大量拋石材料，並減少因運輸產生之空氣污染及建造經費。另參訪知名大壩設計及施工專家孫一鴻博士所任職之 PG&E(Pacific Gas And Electric)公司，了解該公司因應未來全球氣候變遷產生之水資源相關問題。茲詳述於後：

一、參加「大壩安全評估與檢查國際技術研習會」

(一)、本次「大壩安全評估與檢查國際技術研習會」議程如下表:

天次	日期	時間	內容
第 1 天	8/17 (一)	上午	報到及開幕典禮 大壩安全歷史與概述 水庫操作與養護概述
		下午	參觀墾務局水工研發與試驗室
第 2 天	8/18 (二)	上午	大壩安全監測破壞模式之判別與評估 地質工程師在大壩安全之重要角色概述
		下午	大壩之地震設計與分析 地震災害對大壩安全之探討 強地動觀測 大壩操作與維護及非動力檢驗
第 3 天	8/19 (三)	上午	監測儀器設備在大壩安全之角色 土壩監測儀器概述 混凝土壩監測儀器概述 有效的儀器系統之要素
		下午	監測數據之判讀與評估 堆填壩之缺口形成模擬 參訓者心得分享
第 4 天	8/20 (四)	上午	有效的大安全管理之要素 緊急設備準備之評估 大壩安全之早期警報系統 緊急行動之計畫、演練與報告
		下午	大壩安全之水文考量 大壩安全之風險分析與評估 大壩管理員之訓練
第 5 天	8/21 (五)	上午	大壩附屬構造物檢視 混凝土壩及附屬構造物修復 土壩修復 大壩機械設備之檢驗與測試
		下午	混凝土壩之檢查 土壩之檢查
第 6 天	8/22	上午	參訪丹佛落磯山國家公園

	(六)		
第 7 天	8/23	全天	早上離開丹佛，中午飛抵沙加緬度市
	(日)		
第 8 天	8/24	全天	現地參觀Monticello Dam壩及現場安全檢驗
	(一)		
第 9 天	8/25	全天	現地參觀Folsom Dam壩及現場安全檢驗
	(二)		
第 10 天	8/26	全天	抵達舊金山-現地參觀New Melones Dam壩及現場安全檢驗
	(三)		
第 11 天	8/27	上午	現地參觀B.F. Sisk(San Luis) Dam壩及現場安全檢驗
	(四)	下午	自由活動及參加研習會閉幕晚宴

## (二) 研討會內容重點摘要

### 1.水壩失敗案例之研討

世界上最早紀錄水壩為 5000 年前的埃及 Sattel-Kafara 水壩，但據信此壩於完成不久後即因壩頂溢流失敗，失敗原因為設計者未考慮洪水而未設計溢洪道排洪。此事導致埃及工程師於後來 1000 年內不敢設計建造水壩。可見從古至今水壩失敗案例皆令人畏懼。

雖然近 100 年設計技術才有大幅進展，水壩之設計及施工技術進展仍是很緩慢的，直到今日，在設計水壩時還是有一大堆假設、近似值、未知數。例如：上舉水壓力之重要性也才在接近 19 世紀結束前才知道，灌漿技術是近 50 年左右才運用，基礎處理或基礎排水更是近期才使用之技術，所以水壩之破壞失敗在二十世紀非新鮮事。

歷史資料告訴我們，水壩之建造已越來越安全，依照美國國家大壩總目錄清單，對於 15 公尺以上之高壩，美國在 1900 年至 1930 年間建造的 600 座只失敗 27 座(1/22)，在 1930 年至 1960 年間建造的 1050 座只失敗 3 座(1/350)，在 1960 年至 2000 年間建造的 3137 座只失敗 2 座(1/1560)。然而不幸的水壩失敗案例仍然存在，根據統計顯示 1/3 至 1/2 水壩失敗例子皆因溢洪道容量不足造成壩頂溢流，而其他 1/3 則是未能控制壩堤或基礎滲漏引起，其餘的則是基礎或各樣原因造成。墾務局研究水壩失敗案例並從中探討失敗原因。

## 大壩失敗案例之分類

### (1)壩頂溢流類案例

#### A. Gibson Dam, Montana

Gibson Dam 位於 Sun River 是一座混凝土拱壩，壩高 60 公尺，1929 年完工。1964 年的大洪水，壩頂溢流約 1 公尺水深，未潰壩，但下游壩基嚴重沖刷，直到近期 1980 年才在下游壩基增加混凝土護甲，及壩頂加設補充氣體用之混凝土柱(防穴蝕)。

學到之教訓：

溢流之洪水量約設計洪水之 30%，需重新評估水文資料之正確性，才能評估壩溢洪能力是否足夠，本事件顯示混凝土壩禁不起溢洪，但要注意下游之壩座之沖刷，才能保住大壩。

#### B. South Fork Dam, Pennsylvania

South Fork Dam 位於 Conemaugh River 是土壩，建於 1838~1853 年，其目的為供水及供應 Johnstown 及匹茲堡市之航運，本壩後來被 South Fork Hunting and Fishing Club 購買，但此公司未以工程司之眼光維修此壩，只用乾草等雜物來填充上游面之滲流處，他們也關閉經過大壩的出水管，建造通過壩頂的道路及經過溢洪道的橋樑。

經過維護過的大壩高約 70 公尺，蓄水量約 1,520 萬立方公尺，在那時是世界上最高的大壩之一。

但在 1889 年 5 月 30 及 31 日，發生嚴重暴雨，水庫暴滿，溢洪道開始運作，很多土石流入水庫中，流向溢洪道，但被堵在溢流堰頂的魚篩中，無法清除，最後大壩便溢流，隨後大壩因預估約 10~30m 的洪浪而沖蝕破壞，洪水沖向下游狹窄的 Conemaugh 河下游的 Johnstown 及其他社區，洪浪沖到 Johnstown 只約 10 分鐘，造成毀滅性的破壞，結果有 2,200 人因而喪生，成為美國歷史上最嚴重的災害之一。

事故原因：

大壩失敗的直接因素為無法排出流入的洪水，而造成此結果的因素為出水工的關閉及溢流堰上建造魚篩，且此魚篩遭土石堵塞。

得到之教訓：

缺乏工程師參與設計及維護大壩工作將造成嚴重後果，無法解除潛在可能堵塞溢洪道的因素也會造成大壩溢洪。如果當初溢洪道依規範施作，溢流堰長為 45 公尺，且出水工能正常運作，即使洪水預估達 10,000CFS，也可順利排出而不致溢流。

#### C. Castlewood Dam, Colorado

Castlewood Dam 建於 1890 年，為一 21 公尺高之堆石壩，下游壩面為水泥磚石護坡，蓄水量約 150 萬立方公尺，雖然依以往經驗流域洪水達 283CMS，溢洪道排洪設計量只約 110CMS，故可猜得設計者希望水壩能承受偶爾發生之溢洪。

從水壩完成開始蓄水，Castlewood 壩即經歷了大量滲漏水從壩體經過，曾經一度在上游面填土石以幫助封堵滲流。但在 1933 年 8 月 3 日早晨，Castlewood 壩經歷了 0.3m 高的溢流，壩在早上 1 點潰決，釋放洪水預估 3,570CMS，幸運的是，洪水期間大壩管理人員監視著水壩，且警告下游居民趕快疏散，在早上 5~6 點洪水到達丹佛市外圍前，大部分居民已撤離，然而，最後仍造成 7 人死亡及一百萬美元之財產損失。

事故原因

經年的滲流已將泥漿磚石構造中之砂漿沖走，因此，洪水可將泥磚石構造從下游坡面摘除，並從壩趾破壞。

學到之教訓：

設計水壩時，關於壩體耐震能力之假設，一定要實事求是，在改變水壩的狀況時（或修護壩時），一定要考慮能承受特殊狀態下之負荷能力。

(2)滲流－管湧－內部浸蝕類案例：

A. Fontenelle Dam, Wyoming

Fontelle Dam 是一個分區滾壓型土壩，完成於 1964 年，壩高 39 公尺，壩長超過 1.6 公里，壩基設有延伸到岩盤的鍵槽，並設一排灌漿蓋及一排灌漿孔沿著鍵槽之中心線。在建造期間，於溢洪道入口處發現幾個開口節理及裂縫，裂縫的角度正向壩基下游的方向，並增加一組灌漿孔沿著溢洪道入口，以防此區域之滲流，另也增加不透水護坦沿著上游基礎鋪設，但重要的是，沒有做基礎表面處理，例如填縫灌漿，此步驟可連結壩墩及基礎，填方材料就直接填在基礎岩盤的開口節理上。

在 1964 年的夏季，當水庫第一次蓄水，水位才 15 公尺深，下游離壩 600 公尺處發生滲流，立即停止蓄水，直到滲流獲得穩定及決定如何處置，它的滲流量穩定值約 170 公升／秒，且發生距壩下游很遠，故不被視為危險事件。當壩繼續蓄升水位，滲流量隨之升高，另在右壩墩溢洪道排水管道附近發現滲流，在左壩墩下游約 1,000 公尺亦有滲流。隨後 1965 年夏季，雨量異常的高，庫水位升到距最高水位 0.6 公尺以內，溢洪道開始排出洪水，在此高水位，滲流量預估是 2,000 公升／秒。當時在壩墩下游發現一個潮濕點，到中午，滲流水造成此處的浸蝕及脫落，到下午，此區域之滲流量預估已到 140 公升／秒。次日早晨時，滲流量預估增到 600 公升／秒，且超過 7,500 立方公尺的填壩土方從下游面沖走，但在此時，出水工的靜水池有圍堰，在管理單位立即行動移除圍堰，出水工才能降低水庫水位，塊石皆準備好暫置壩區準備填入孔洞中防止進一步浸蝕。在 9 月 6 日下午，在壩頂發現 6 公尺直徑，9 公尺深的坍塌，岩盤已經露出，庫水從岩盤裂縫中流出，此時水庫水位約在穴蝕位置的 4 公尺高，管理單位立即投入塊石防止進一步坍塌，水庫水位則以每天 1.2 公尺的速度下降，此時滲流量慢慢降低，水庫才恢復安全狀態。

事故原因：

滲流水流入壩的節理並從壩下游坡面流出是很明確的原因。顯然，壩墩的灌漿沒達成目的，原因可能為：1.沉澱物或可溶物在岩盤的裂縫中阻擋灌漿液的流動，也有可能是，可溶性的沉積鹽類與灌漿液再作用，造成過早的沈積物。2.太陡的壩墩，在較淺地層灌漿很難得到適當的結果。

避免水壩失敗的因素為：

- (1) 壩填築材料要含粘土材料才能抵抗流動水的浸蝕。
- (2) 滲流量的大小決定於壩墩岩盤節理及裂縫的大小。

出水工排水能力為 500CMS，使庫水以接近每日 1.2 公尺的速度下降，此作用才能降低水頭，終於停止滲流。此壩以在兩側壩墩大量廣泛地灌漿及重修受損部分來修復。

此後，本壩維持一段時間表現符合預期，但在 1982 年，在下游坡趾及左壩墩及接近出水工處又出現嚴重滲流，且不久又在右壩墩出現潮濕點。在 1984 年，在出水工處水壓計記錄到超額基礎壓力。

評估以上之情況可歸結：一個沿伸到壩基礎的鍵槽是必須的，所以，管理單位於 1985~1989 年在壩頂全線作一個混凝土截水牆。

學到之教訓：

從差一點失敗潰決的 Fontenelle 壩可以學到一些重要的教訓。首先，要注意的是對於灌漿阻水幕的品質而言，即使數量很小的可溶性固體，其影響是非常可觀的。

其次，此次經驗顯示，在不適宜的基礎上建造的壩，需要緩慢、控制性的蓄水。諷刺的是，設計者明瞭壩基的問題，且有慢慢蓄水的計畫，然而，因為出水工靜水池需要修護及異常的大雨，水庫蓄水的速度較原計畫快很多。在以高浸蝕性材料填築之壩基，其基礎的節理及裂縫需要小心處理(封堵)。出水工的出水能力要夠高，在避免滲流浸蝕破壞水壩的議題中，能否快速將庫水排降是非常重要的。

最後，能將 Fontenelle 壩事故的資料分享給大眾是件非常重要的事。大眾才能從中學習避免重蹈覆轍。

## B. Lawn Lake Dam, Colorado

Lawn Lake Dam 是位於科羅拉多州洛磯山脈高程約 3,300 公尺的壩，高約 7.5 公尺，建於 1903 年，它是私人擁有的灌溉公司，位於國家公園中。

事故當時：

在 1982 年 7 月 15 日的早晨，此壩潰堤約 80 萬立方公尺，最大流量約 510CMS，洪水沖下陡峭的 Roaring 河道，沖刷出約 10 公尺深的 Fall 河。洪水暫時被下游的 Cascade 壩存蓄（高約 5 公尺的混凝土重力壩）。最後，Cascade 壩也因超過 1.2 公尺深的溢流而潰壩，沖入 Cascade 壩的短暫洪水，使重估洪峰流量從 125CMS 改成 450CMS，提高下游渡假勝地 ESTES 公園的危害度。下游損失

財產高達 3,100 萬美元，並有三人喪生。無疑地，要是當時沒有一位垃圾收集員提早上班，發覺洪水來襲，並打電話警告公園管理員，將會有更多人喪生。

事故原因：

相信潰壩的原因是連接上游取水工管路及閘閥室之密封處老化（劣化），結果，庫水能夠衝入接頭，快速侵蝕內部，造成管湧及使壩體產生缺口。

依照 1902 年州政府工程室原計畫規範，此閘室應以混凝土套住，不知何故並沒有如此做。

在潰壩前一年，州政府工程室曾對 Lawn Lake 壩進行檢查，但那時水庫是空的，一些水從出水管四周流到下游端的證據已被註記，並被建議下次水庫蓄水時檢查這些情形。但不幸地，壩就先潰堤了。

得到之教訓：

即使小壩及小水庫也會有大災情發生，在 Lawn Lake 壩潰堤時，它是被視為一個低災害結構物。設計及施工的缺點可能會潛藏多年，再突然爆發造成嚴重問題，因此，評估設計及施工資料是非常重要的事，特別是如果可取得竣工圖。沿著管路滲流穿過壩體的滲流，或如此類的證據，都應視為非常嚴重的情形。在研究壩潰堤及災害分類時，應將下游潛在蓄水及隨後大壩潰堤排放的洪水考慮在內。

(3)壩受地震破壞類案例：

#### A. Lower San Fernando Dam, California

Lower San Fernando 壩是在舊金山附近的一個土石壩，建造於 1912 年，在 1921 年加高，壩是用水力淤填方式建造，填方直接以非壓密的沖積土鋪築，壩高 43 公尺，蓄水量達 2,500 萬立方公尺。

事故：

在 1971 年，距壩址 14 公里處的震央，發生規模 6.6 的地震，地震產生 15 秒的強地動，在基礎有 0.69g 加速度運動，在壩體上游面部分，產生滑動破壞，水庫產生幾呎的缺口。水庫水位一直被要求降至與下游平台同高（約比壩頂低 11 公尺），事實上，地震發生時，水位尚比被要求的水位低 3 公尺。還好水位有嚴格限制，否則水庫將會毀滅性的結果，下游會有 8 萬人要疏散，庫水要 4 天才能降到安全高度。

原因：

地震搖動，造成壩體孔隙壓力增加，導致有效應力降低及壩體液化。

得到之教訓：

水力淤填法建造的壩，是容易在地震中產生液化的。

#### B. Hebgen Lake Dam, Montana

Hebgen 壩是一個混凝土心層的堆石壩，就在黃石公園西側，建於 1914 年。

事故：

1959 年，Hebgen Lake 發生規模 7.5 地震，造成壩的溢洪道牆及壩面板嚴重裂縫及壩頂裂縫。壩體及基礎的沉陷也被觀察到，地震造成大規模的地滑，整塊的盆地斷層塊掉入上游，Hebgen 水庫變成乾湖，幾次湖面長波浪溢流過大壩。幸運的是，大壩只一小部分受損，混凝土心牆向下游傾斜，至少有觀測到 4 處裂縫，水從此處流到下游，巨大的混凝土心層避免了大壩的潰堤。一個巨大的地滑發生在下游側，形成一個大湖，地滑約有 120 公尺厚，有 28 人在露營區被埋，美國工兵團開挖一個渠道排出湖水。

得到之教訓：

極端的事件，例如地滑岩塊衝入水庫導致溢流，不是不可能發生的破壞模式，事先應予考慮。能符合大地震事件的緊急反應（警報）是非常困難，甚至不可能，地震分析時，應把地滑災害列入考慮。

#### (4) 壩墩－基礎破壞類案例

##### A. St. Francis Dam, California

St. Francis 壩是建於 1926 年的混凝土重力式拱壩，壩高 62 公尺，蓄水量約 4,700 萬立方公尺，St. Francis 壩的設計是受到懷疑的，此壩在沒加寬基礎面（壩體）的情形下，曾加高 2 次達到 6 公尺或 11% 壩高。在壩基礎的河床斷面上只配置少許滲流解壓孔，且未設壓力灌漿，沒有對基礎裂縫進行加強處理(No contraction joints were constructed)，在壩內亦無設置檢查廊道，其基礎含有大量粘土及頁岩，其單壓強度只有約  $35\text{kg/m}^2$ 。

事故發生：

St. Francis 壩的潰堤發生於 1928 年 3 月 12 日的深夜，水庫在 70 分鐘內從幾乎滿庫到流光庫水，潰堤時不只沖走大壩，其基礎也被沖走一部分，洪浪沖到下游 15 公里的 San Francis quit 溪及下游 27 公里的另一條 Santa Clara 河，再到太平洋，從大壩到太平洋間的城市共有 450 人喪生，會有多人喪生主因為洪水是在晚上發生，無任何警告。排放洪水最高水量約 13,500CMS，最深約 37.5 公尺。

事故原因：

最近的一個破壞分析指出，本壩之失敗始於左壩墩下游坡面的滑動，導致上游面產生張力裂縫，造成不穩定的上舉壓力，導致崩塌的結果。

得到之教訓：

混凝土壩本來就有一定的強度抵抗一些溢流的狀況，事實上混凝土壩一般是很好的結構物，它們是經過很好的設計及施工很少會有錯誤發生，但一旦有錯誤可能很快就可造成大災難。

在 St. Francis 壩的例子中，不正確的壩址選擇及基礎處理，且不留心重要的徵兆，導致災難的發生。這次大壩的失敗導致加州大壩安全法規的通過，其中一些甚至在全美是最早的法規。

##### B. B. F. Sisk Dam (Formerly San Luis Dam), California

B. F. Sisk 壩是世界上幾個較大的壩之一，壩高 117 公尺，長度接近 6 公里，水庫提供發電及灌溉農業興盛的加州 San Joaquin Valley 區，因為這樣，水庫水位在一年中是非常不穩定的。

事故：

早在 1981 年 9 月，在一次快速且大量的水庫水位下降後，加州水資源管理單位對 B. F. Sisk 執行一次安全檢查，在檢查中發現上游坡面靠近取水工橋附近的拋石有些許位移，但被認為不嚴重，但一星期後，管理人員在同一地區發現一個 3 公尺高的陡坡 (階梯)，且平行壩頂方向延伸 150 公尺長。此一陡坡應為一個大滑動的頂點，在發現前已持續移動 2 個月之久。最後這個滑動面延伸成 430 公尺長，垂直陡坡處高差 14 公尺，體積約為 75 萬立方公尺。

最保守的修復方法為移除滑動體，然而，這樣做太花錢及太花時間，反之，可留下滑動體在原位，再填築一個平台來扶住滑動體，使安全係數增加到可接受的程度。

原因：

邊坡滑動的原因被認為是在上游坡面下一個約 5 公尺厚局部的粘土斜坡的滑動，當這粘土層乾燥時，有較高的強度，但當它吸水飽和時會失去很多強度，此外，庫水不斷上升及下降，會使載重增加及應變增加，並導致材料低的殘餘強度，最後，在水位下降最大時發生了邊坡破壞。

學到之教訓：

保持一段時間表現良好的壩(例如 B. F. Sisk 壩有 15 年)，並不一定保證能繼續表現良好，尤其是該壩尚未經歷其設計最大荷重時。

壩基礎情況改變時，分析時一定要列入考慮及解釋，它可能存在壩的不同斷面，檢視設計及施工工作時，如發現此情況應提出警告。

在檢查中所有不尋常的發現，即使看起來不嚴重，也要記錄下來並找出原因。

## 2. 氣候變遷洪水預測等相關研討

洪水分析及預測

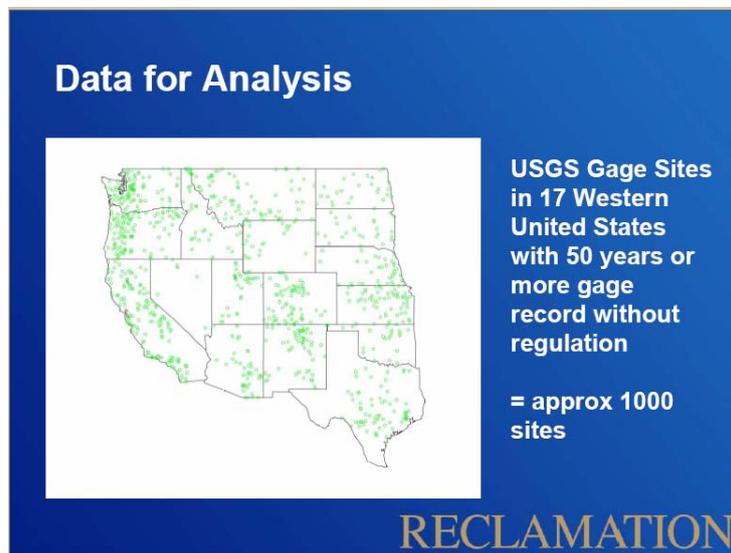
墾務局近期洪水危害度研究(Flood Hazard Research)重點：

- (1). 1975~2001 年間壩失敗案例的原因分類，其中 35% 左右為溢流而失敗，可見洪水分析之重要性。
- (2). 近 30 年來著重在於可能最大水洪水量(PMF)及可能最大降雨量(PMP)的研究。
- (3). 目前研究重點在於：洪水危害度可能性研究。

其主要領域有：

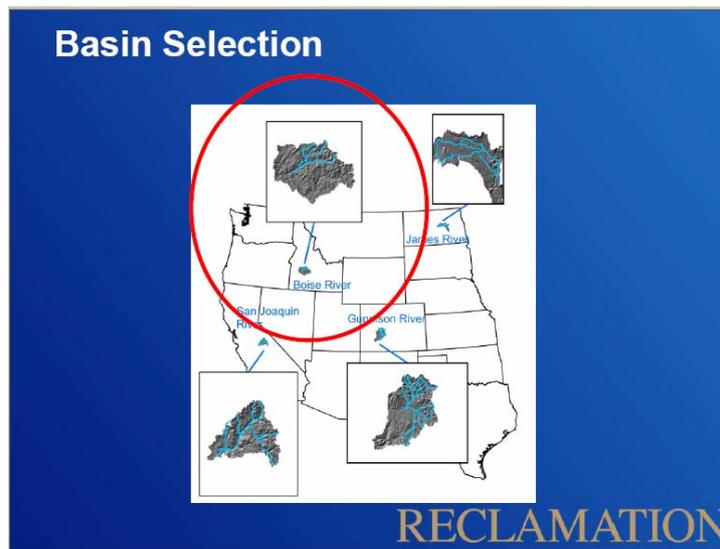
a. 氣候變遷

- b. 水文氣象學(Hydrometeorology)
  - c. 古洪水資料
  - d. PMF 與可能性預測
- (4). 氣候變遷：
- 根據 IPOCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)組織研究：
- a. 根據目前觀測的證據顯示，氣候系統趨向暖化是非常清楚明白的。
  - b. 極端氣候的頻率及強度的改變，與海平面的上升被視為自然界的反撲。
- (5). 氣候變遷與 CFR(Calculated From Rainfall)互相影響的過程：
- a. 從觀測的年最大降雨直接計算洪水頻率(氣候變遷與年最大洪水之關係)。
  - b. 從降雨量計算洪水頻率
    - (a) 氣候變遷與土地覆蓋(land cover)之關係
    - (b) 氣候變遷與降雨頻率之關係
  - c. 最大可能洪水(PMFs)
    - (a) 氣候變遷與滲入率之關係
    - (b) 氣候變遷與可能最大降雨量的關係(PMPs)
- (6). 洪水頻率的預測：
- a. 基本上依然以墾務局 17B 公告版為預測依據。
  - b. 用 Log-Pearson III 分佈圖來統計預估以前的數據。
  - c. 氣候變遷後之預估－預估洪水頻率之變化。
- (7). 分析數據之取得－在美國西部 17 州，USGS 50 年來設有 1,000 個量度站(Gage Sites)

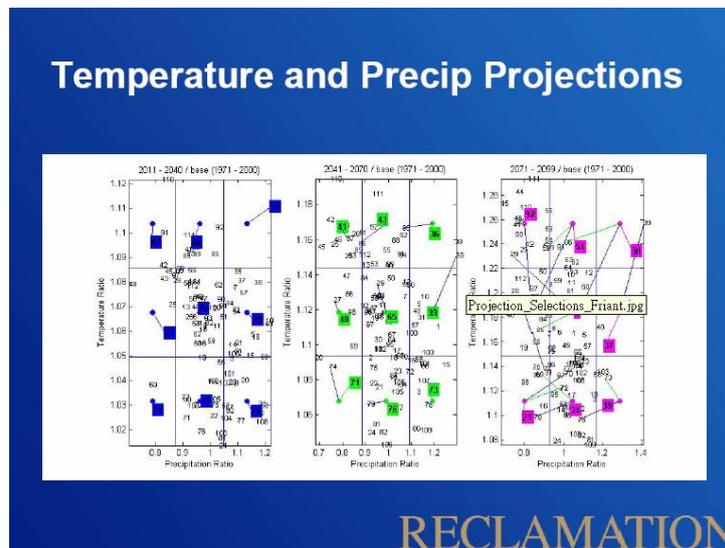


- (8). 氣候改變
- a. 選擇 1977 年以前及 1977 年以後之資料分類
  - b. 選擇大於 20 年洪水頻率之資料
  - c. 計算 100 年降雨量
- (9). 運用氣候變遷與 CFR 相互影響的過程預估降雨量

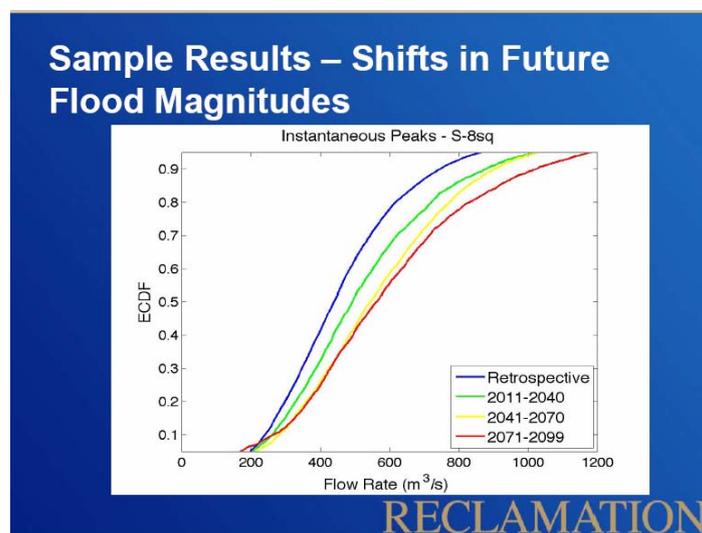
(10).選擇分析流域(Basin Selection)



(11).溫度及降雨推估



(12).得到未來洪水大小



(13).總結：

- a. 34%壩失敗案例與溢流有關。
- b. 結合河川流量、古洪水、降雨等資料可更有信心推測洪水頻率曲線。
- c. 墾務局已發展出一套規範來製作水文危害度曲線，可運用於大壩安全評估用。
- d. 資訊處理過程的正確與否全賴於從現有研究及可得到的數據。
- e. 分析水文危害度(Hydrologic Hazard)的工作量多寡決定於問題的困難度及解決方案的潛在花費。
- f. PMF 可用以代表水文危險度(Hydrologic Risk)的上限。

## 研習會上課情形



參觀壩務局水工試驗室 (Folsom 壩模型試驗進行中)



參觀墾務局水工試驗室 (500 萬磅抗壓機)



參觀墾務局水工試驗室(魚類養殖試驗室)



### (三) 現地參觀內容重點摘要

#### 1. 現地參觀 Monticello Dam 壩

Monticello 壩位於加州沙加緬度西方約 48 公里處，在 1953~1957 年間建造，是一個混凝土厚拱壩，高 93 公尺，壩頂長 312 公尺，混凝土體積 25 萬立方公尺，Monticello 壩有一個有名的鐘形無閘門控制溢洪道(世界最大)，此一漏斗形出水工出水能量達 1,370CMS，本壩灌溉面積達 2.8 萬公頃，也提供主要城市 Solano 郡的民生及工業用水，它由 Solano 郡操作及維護，在 1983 年建立電廠。

#### Monticello Dam 壩



Monticello Dam 壩喇叭型溢洪道入口



Monticello Dam 壩現場解說



## 2. 現地參觀 Folsom Dam 壩

Folsom 壩位於加州沙加緬度西北方約 32 公里處，為混凝土重力壩，104 公尺高，427 公尺長，由美國陸軍工兵團 1956 年完成，並交給墾務局維護管理。為墾務局中央流域計畫中重要的一部分。

Folsom 設施包含 Folsom 壩及水庫，左、右土壩，Morman 島副壩及 8 個土堤，總壩頂長 7,704 公尺，並保護下游社區居民。Sacramento 大都會地區位於美國河及 Sacramento 河之匯流口，這個流域事實上是個大洪水平原，在上世紀中有無數個洪水發生，Folsom 壩是本區域防洪重要構造，其集水面積達 4,856 平方公里。關於防洪功能，Folsom 水庫提供民生及農業、工業用水，產生 10% 地區用電需求，提供河川之魚類及野生動物需求，提供 Sacramento-San Joaquin Bay Delta 地區高品質用水，並提供每年 2 百萬遊客用水，在墾務局大壩安全管理下，正進行減低洪水、地震災害的影響，目前正建造中的溢洪道改善工作，正是改善 Folsom 壩控制洪水能力的關鍵設施，完成後此溢洪道可與原閘門控制的溢洪道在極端暴雨時提早洩洪，降低洪水風險。

Folsom Dam 空拍圖



Folsom Dam 壩溢洪道



施工中之 Folsom Dam 壩下游



施工中之 Folsom Dam 壩下游



Folsom Dam 壩上游之 Morman 副壩改善完成



Folsom Dam 壩上游之 Morman 副壩改善完成



### 3.現地參觀 New Melones Dam 壩

New Melones 壩是一個堆石壩，由美國陸軍工兵團完成於 1979 年，取代原來的混凝土拱壩，本壩為墾務局維護管理，是中央流域計畫的一部分，提供防洪、電力、娛樂、捕魚、高品質水源等，壩高 194 公尺，壩長 478 公尺。

New Melones Dam 壩下游面及舊電廠



New Melones Dam 壩頂



New Melones Dam 溢洪道(開挖天然岩石渠道)



New Melones Dam 下游面及平壓塔



New Melones Dam 壩頂裂縫噴漆標誌以利檢測



#### 4. 現地參觀 B.F. Sisk(San Luis) Dam 壩

B. F. Sisk(San Luis)壩是一個高 116 公尺，長 5,670 公尺的分區滾壓型土壩，完成於 1967 年，本水庫是中央流域計畫中的大蓄水構造，水庫採用 William R. Gianelli 抽蓄發電工廠，水庫及壩位於活動斷層區，主要為 Ortigalita 斷層橫貫庫區，另外附近有 2 個主要斷層，45 公里外的 San Andreas Rift 斷層及 37 公里外的 Calaveras-Hayward 斷層，墾務局已評估並採行幾個方案以降低地震的災損，研究及變形分析結果顯示，大地震來襲時，壩頂的沉陷將會大於出水高，壩體會出現裂縫並可能導致壩潰堤，壩潰堤可能淹沒幾百平方公里地區，包括 Santa Nella 市及 San Joaquin 河的多個農場、房屋及 Stockton 地區，目前進行至修建的研究及評估降低風險的方案。

#### B.F. Sisk(San Luis) Dam 壩頂及上游面



B.F. Sisk(San Luis) Dam 壩取水工連絡橋樑及溢洪道入口



B.F. Sisk(San Luis) Dam 壩下游溢洪道及河道



二、為因應未來全球氣候變遷產生之水資源相關問題另連絡拜訪相關水庫管理單位。

第 12 天	8/28 (五)	全天	現地參觀 Nimbus Hatchery 鮭魚孵卵場及魚道改善計畫工程
第 13 天	8/29 (六)	全天	現地參觀 Ruter-Hess Dam 壩改善加大工程之土壤水泥(Soil-Cement)護坡工程
第 14 天	8/30 (日)	全天	參訪知名大壩設計及施工專家孫一鴻博士所任職之 PG&E(Pacific Gas And Electric)公司，了解該公司因應未來全球氣候變遷產生之水資源相關問題

(一).Nimbus Hatchery Fish Passage Project (Nimbus 孵卵場魚道改善計畫)

計畫目的：在 Nimbus 孵卵場建造及維護一個可靠的成魚篩選系統

計畫需求：

1. 達到減輕孵卵場的工作量之目標
2. 減少攔河堰結構惡化及危害情形
3. 減低操作營運時對敏感性物種之衝擊
4. 強調關心工作人員及公共安全

計畫方案：

1. 共有方案 1A、1B 及 1C—修改魚道及取消導水堰，捕魚活動將被以下方案取代：
  - (1) 方案 1A：建造 75 公尺的新魚道入口
  - (2) 方案 1B：從 Hazel 大道橋到 Nimbus 壩間捕魚活動停止
  - (3) 方案 1C：從 USGS 纜線到 Nimbus 壩間捕魚活動停止
2. 方案 2—取消導水堰

說明：

1. 方案 1A—修改魚道及取消導水堰，75 公尺新魚道入口的捕魚活動將取消  
 方案 1A 包括從 Nimbus 孵卵場到 Nimbus 壩靜水池間建造一個新魚道，並取消現有導水堰。魚道將包括幾個部分：一個混凝土的引水槽，一個落水池式魚梯 (pool and drop fish ladder) 及一個不規則四邊形岩石排列式渠道 (a rock-lined trapezoidal channel)，魚道的建造及評估將花掉二年時間，現存的堰將在第三年打除，建造期間的衝擊包括關閉部分停車場，重新規劃美國河旁的自行車道路線，Nimbus 淺灘地區限制人車接近，新魚道

入口 75 公尺內及孵卵場出水口魚道 75 公尺內皆禁止捕魚，這些限制措施皆符合加州魚類及野外活動部門之規定。另外，從 USGS 纜線到 Hazel 大道橋之區域的捕魚活動也要從 9 月 15 日停止到 12 月 31 日止。

2. 方案 1B—修改魚道及取消導水堰，停止 Hazel 大道橋至 Nimbus 壩間區域的捕魚活動。

方案 1B—除了停止捕魚活動外，方案 1B 幾乎與方案 1A 相同，在方案 1B 時，從 Hazel 大道橋到 Nimbus 壩間區域禁止捕魚一年，孵卵場魚道出水口 75 公尺內，一年內禁止捕魚，另外，從 USGS 纜線到 Hazel 大道橋之區域的捕魚活動也要從 9 月 15 日停止到 12 月 31 日止。

3. 方案 1C—修改魚道及取消導水堰，停止 USGS 纜線到 Nimbus 壩間區域的捕魚活動。除了停止捕魚活動外，方案 1C 幾乎與方案 1A 相同。

4. 方案 2：更換導水堰

方案 2 包括在現有舊堰的上游更換成長 225 公尺寬 15.6 公尺的新堰，本方案將增加魚梯之入口，並繼續使用現有主魚梯，6 個 4.5 公尺寬的旁通管可在不降河川水位狀況下進行維護。本方案無法讓成魚通過。建造期約 2 年，且須關閉部分停車場，在魚梯入口的 75 公尺內及孵卵場魚道出水口 75 公尺內的捕魚活動會停止一年，另外，在 USGS 纜線到 Hazel 大道橋區域間從 9 月 15 日到 12 月 31 日一季的捕魚活動也要停止。

# Nimbus 孵卵場魚道改善計畫總平面圖



## 魚梯(1)



魚梯(2)



魚梯(3)



魚梯(4)



魚道入口



## 養殖場



### (二).現地參觀 Rueter-Hess Dam 壩改善加大工程之土壤水泥(Soil-Cement)護坡工程

第一階段的 Rueter-Hess 壩及水庫為一 40.5 公尺高，1,600 公尺長的土石壩，亦包括可通過 100 年頻率洪水的溢洪道及可通過 PMF 的補助溢洪道，水庫建造完成後蓄水量接近 2,000 萬立方公尺。

RJH 顧問公司受委託執行 Rueter-Hess 壩及水庫的設計及監造工作，負責包括現地探勘、大壩設計分析、設計備忘錄之製作、繪製設計圖及現場監造業務。

在建造初始階段，管理單位修改原設計，採取短期加大方案，避免建造溢洪道等臨時設施，這些設施在水庫加大計畫完成後即不再使用。後來施工團隊與州政府密集研商後獲授權採用較大改變的計畫方案。

水庫加大計畫使壩高提高至 58.8 公尺，蓄水量達 8,885 萬立方公尺，壩的體積達到 1,166 萬立方公尺，壩長達到 2,243.7 公尺，主要構造物包括一個多階段取水的取出水塔，它可排出一百年頻率之洪水及一個可通過 PMF 的溢洪道。

水庫加大計畫也包括加高取水塔 20 公尺，加大下游管路，建造輸水路設施，建造聯絡取水塔與主壩的橋樑，埋設直徑 48 英吋大水管到將來的自來水廠及建造新的溢洪道。

原水庫規模

最高水位面積 190 萬 m<sup>2</sup>

壩高 40.5m

壩長 1446.6m

挖除土方量 437.4 萬 m<sup>3</sup>

混凝土量 13122m<sup>3</sup>

鋼筋 4000 噸

加大後水庫規模

最高水位水面積 456 萬 m<sup>2</sup>

壩高 58.8m

壩長 2243.7m

挖除土方量 1166 萬 m<sup>3</sup>

混凝土量 18954m<sup>3</sup>

鋼筋 5500 噸

2006 年 6 月空拍圖



2006年9月空拍圖



2006年9月空拍圖



## 參觀施作之土壤-水泥護坡



## 施工中之主壩



施工中之主壩(築壩材料加水車)



濾料加工廠



(三).參訪知名大壩設計及施工專家孫一鴻博士所任職之 PG&E(Pacific Gas And Electric)公司，了解該公司因應未來全球氣候變遷產生之相關計畫。

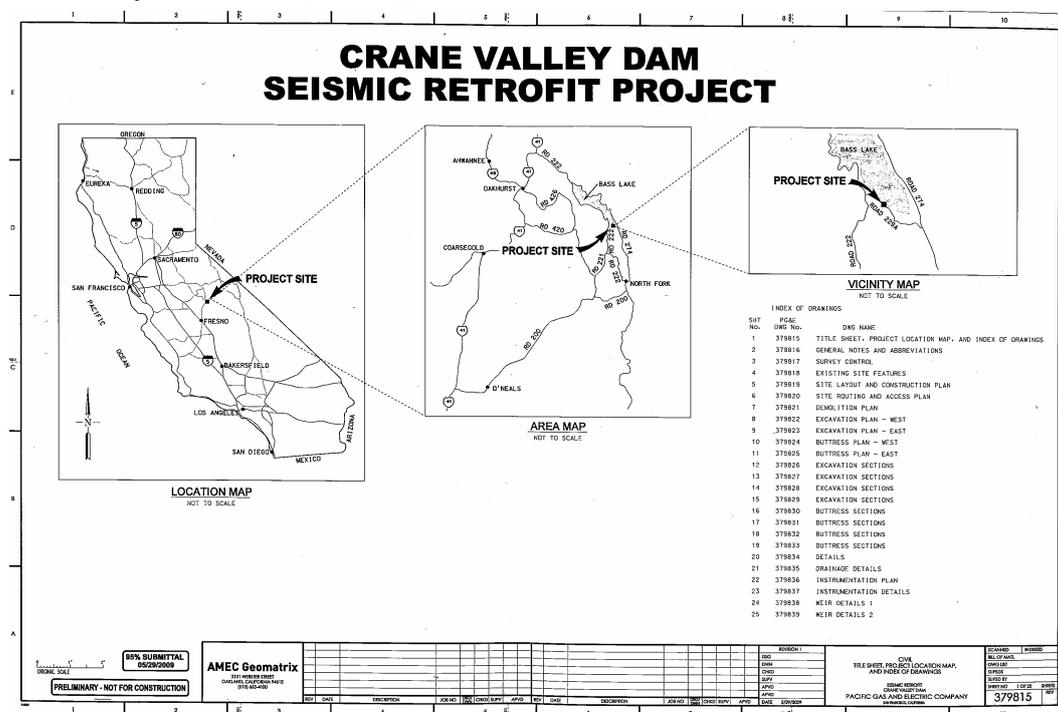
孫一鴻博士為知名大壩設計及施工專家，本次拜訪內容包含其所專長之大壩安全維護及該公司因應未來全球氣候變遷之相關問題，茲分述如下：

### 1. 大壩安全維護

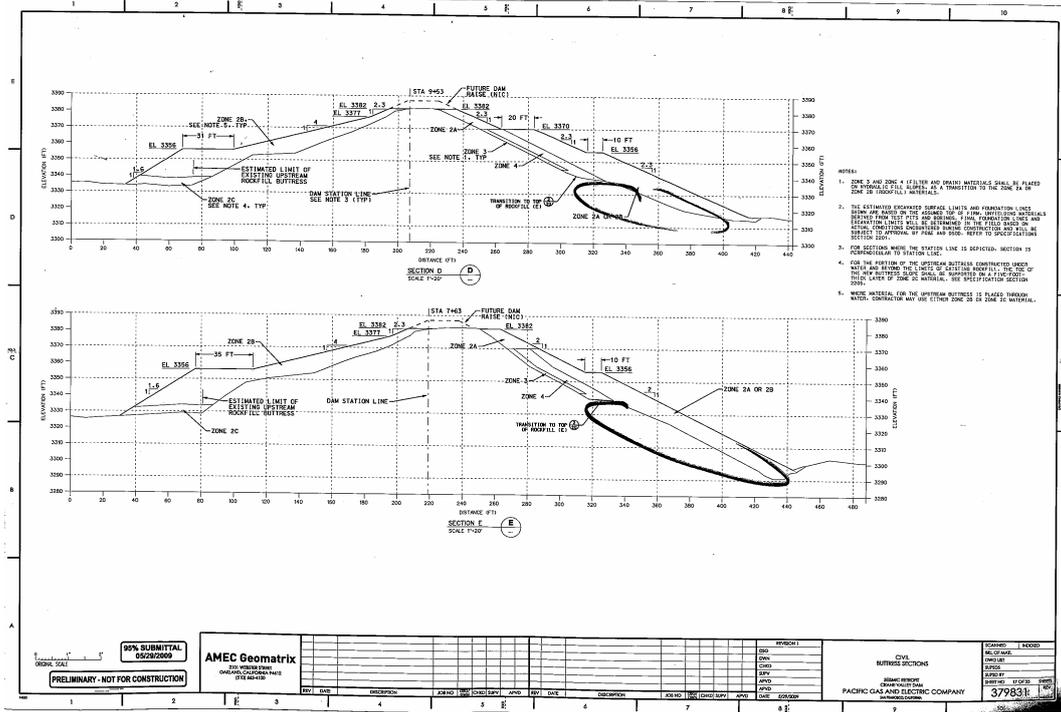
該公司擁有約 160 座大大小小的壩，完成年代從 100 多年前到現在剛完成者皆有，公司之本質類似本國之台電公司，需自行維護管理所擁有之壩。且因加州地區地震頻仍，水壩受震後，壩體皆有程度不一之受損狀況。對於大壩安全維護，他建議如下：

- (1)有關壩體水壓計之選用，無論氣壓式或振弦式水壓計，皆有其不可靠性，真正可靠且維護簡易的，建議用開口式水壓計。
- (2)身為大壩工程司，遭遇工程問題，要有能力將工地問題簡化成學理問題，並養成手算解決學理習慣，才能取得他人之信任。
- (3)例如正在研究修建方案的 Crane Valley Dam(如下圖所示)，此壩已歷經幾十年運轉，且歷經多次大地震，上游坡面及壩頂已有局部沉陷，其修建設計圖如下圖所示，壩頂上游側須局部置換材料，下游側則加填平台，以增加邊坡穩定效果。

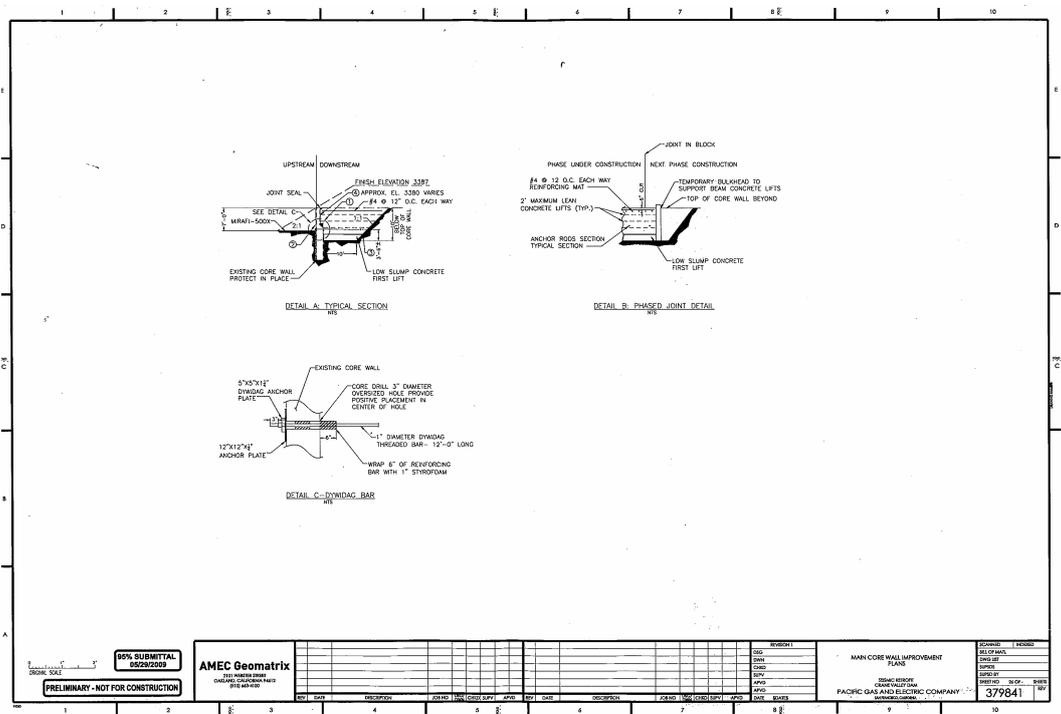
Crane Valley Dam 震後修復計畫佈置圖



# Crane Valley Dam 震後修復工程剖面圖



# Crane Valley Dam 震後修復工程主要心牆改善剖面圖



## 2. PG&E 公司因應未來全球氣候變遷之計畫

Pacific Gas and Electric Company (PG&E) 為北、中加州約一千五百萬民眾提供天然氣與電力服務。該公司七萬平方英哩的服務範圍北起尤利卡 (Eureka)，南達貝克斯菲爾德 (Bakersfield)，西起太平洋岸，東至內華達山脈。成立於 1905 年的 PG&E 是全美數一數二合併提供天然氣與電力的公司。

### PG&E 氣候智能計畫

PG&E 創立了「氣候智能」——一個可以中和因使用能源而排放出溫室氣體的計畫。

氣候智能是一項純自願性質的計畫，PG&E 的客戶可考慮是否願意出一分力量來改善氣候改變的問題。當加入計畫後，PG&E 會計算出由住家或商店，所消耗的電力而排放出多少溫室氣體，然後這個數字會計算成爲金額，在您下月的帳單上顯示出來。一個普通的 PG&E 住宅用戶，在加入氣候智能計畫後，每月大約多付少於 \$5。

100% 款項會直接撥到減少溫室氣體排放的項目上，PG&E 會將這些資金用於各種環境保護的項目上，例如有利保護或維護加州生態系統、收集牛場沼氣的計畫等。正等待挑選的項目包括洪堡縣 (Humboldt County) 的 van Eck 護林計畫，和門多西諾縣 (Mendocino County) 的加西亞河護林計畫。

### 太陽能

本著加強利用太陽能的精神，PG&E 已與其他夥伴合作在 Mojave Desert 建立一座太陽能園區。這座園區將令 PG&E 成爲全球最大的太陽能供應者之一。當園區完工時，將涵蓋沙漠九平方英哩的面積。這只是開始而已。PG&E 的目標是在 2010 年前讓超過百分之六十的能源由無碳的方式製造出來，這也是 PG&E 努力在本地尋找太陽能計畫的原因。PG&E 也同時幫助用戶自行製造更多的太陽能。

事實上，PG&E 已經擁有超過一萬八千名太陽能用戶，而且還在繼續增加中。透過 PG&E 提供的週六太陽能課程，承包商、建築師、企業和屋主都可以學到借助太陽的能量是多麼容易的一件事。

### CFL 省能日光燈泡

省能日光燈泡 (CFL) 提供的光質已有大幅改進。它們不必再被限制在閣樓、地下室和儲藏室裏。新型省電燈泡的壽命可長達普通燈泡的十倍，同時提供高品質的光線。

儘管 PG&E 提供的是全國部分最清潔的能源，我們使用的某些能源仍然會釋出二氧化碳。所以減少二氧化碳最好的方法之一就是節約能源。這也就是省能燈泡最主要的功能。事實上，它們使用的能源要比一般燈泡少大約百分之七十五。如果您將這個數字乘上每戶人家使用的五或十個燈泡，所節省的能源就相當可觀。

PG&E 全心協助用戶換用此種省能燈泡，現在正送出一百萬多個的免費燈泡。另外 PG&E 還以折扣價出售數百萬個燈泡以便每一個人都能如願換用。

## 退款

PG&E 鼓勵用戶透過退款計劃來節約能源已有三十年以上的歷史。因為我們節約的能源越多，我們的未來就會越清潔。

燈泡—省能日光燈泡（CFL）在它的整個生命周期可為您節省約百分之七十五的能源開銷。

回收舊電器 - PG&E 對每一台符合條件的冰箱或冰庫提供退款\$35，每收取一台符合條件的冷氣機提供退款\$25

## 二氧化碳計算表

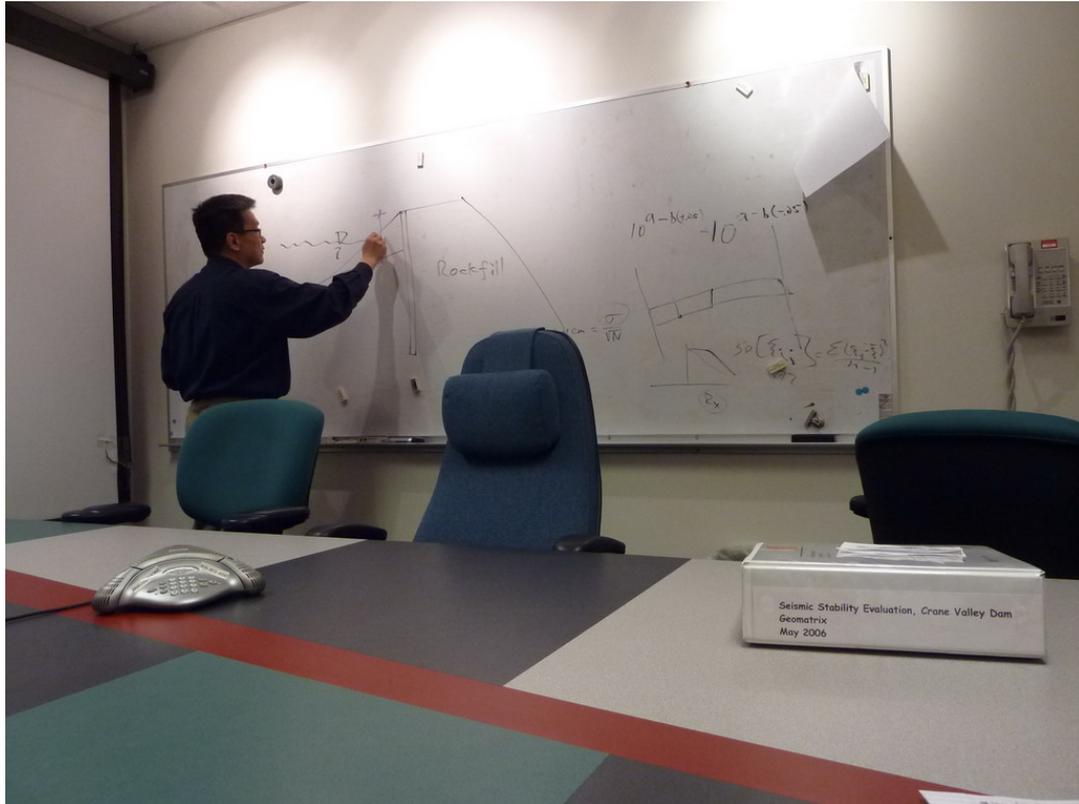
您的「二氧化碳排放量」是根據您每天製造的二氧化碳，計算您對環境造成的影響。從開車去市場到不隨手關燈，許多民眾的行為都在製造二氧化碳，也因而令熱氣聚集在地球表面難以消散。讓我們的計算機算一算您的活動製造了多少碳。

## 待機能源

PG&E 建議一起用以下兩種方法來對抗待命模式。

1. 要出門一整天前，將所有電器插頭拔下。這不是一件容易的工作。但是如果您想一想，某些電器整個生命周期所使用的電力有一半以上是消耗在電器處於待命狀態時，您就會覺得這麼做是值得的。將您的電器插在電源插座擴充器上，只要在出門前將電器插座擴充器關上，就是對抗待命耗電的另一個好辦法。
2. 買一個高效能電源插座擴充器。這種擴充器能夠對抗放置在您的電視或電腦周圍的週邊設備的待命耗電。例如您的電視是主要電器，當您將電視關上時，擴充器會將通往您的音響、錄影機、DVD 播放機和有線電視解碼盒的電源全部切斷。

拜訪孫博士及討論情形 (PG&E 公司會議室)



拜訪 PG&E 公司



### 三、美國為因應未來全球氣候變遷產生之水資源等相關問題之對策

為因應氣候變遷之衝擊，美國總統辦公室於 1989 年提出「美國全球變遷研究計畫」(U.S. Global Change Research Program, USGCRP)，支助與自然及人為交互作用所引致之全球環境變遷及其社會影響有關的研究，強調變遷科學研究發展與衝擊評估。國會並於 1990 年通過「全球變遷研究行動計畫 (GlobalChangeResearchActof1990)」，將跨部門之整合性全球變遷研究納入政府施政。於 2002 年，進一步成立「氣候變遷科學與技術整合委員會 (Committee on Climate Change Science and Technology Integration)」，督導規劃整合研究事宜，並於該委員會下再成立「氣候變遷科學與技術跨部會工作小組 (Interagency Working Group on Climate Change Science and Technology)」，推動「氣候變遷科學計畫 (Climate Change Science Program)」與「氣候變遷技術計畫 (Climate Change Technology Program)」兩個國家型計畫，由各部會編列預算推動相關研究發展。

美國由於幅員廣大，國土範圍跨越數個氣候帶，故氣候變遷所造成之衝擊各區亦有所不同。依據氣候資料分析與變化趨勢預測研究顯示，未來氣候變遷所造成的環境變異趨勢，對美國國土各區域未來可能面臨之影響如圖 1 所示。而為因應氣候變遷所帶來的衝擊，各部門之因應調適策略如表 1 所示。



資料來源：” Climate Change Impacts on the United States- The Potential Consequences of Climate Variability and Change, 2000” , USGCRP。

圖-1 氣候變遷對美國各區域可能之衝擊

表 1 美國氣候變遷調適策略

部門	調適策略內容
人類健康	(1)透過財政支援、訓練、檢查與緊急應變、預防與控制，能有效預防多數疾病 (2)城市植樹以緩和氣溫的增加；(3)有害的高溫氣象預報；(4)存糧與緊急供應站 (5)調整衣著與活動、增加水分攝取
沿海區域及海平面上升	(1)建立應予保護(築堤、護岸或養灘)及容許其自然演變海岸之圖說(郡尺度) (2)分析海岸環境保護成效； (3)在不破壞棲地前提下，提升海岸保護技術； (4)因海平面上升造成之濕地遷移，應釐清其土地使用方式； (5)州及地方政府訂定海平面上升因應措施； (6)改善早期預警系統、暴雨淹水災害圖； (7)保護水源供給不受鹽化污染
農業與林業	(1)改變栽種時間，以適應成長條件的變化； (2)改變作物組成與森林物種，使其更適合氣候變遷之環境條件； (3)培育氣候變遷環境下較具耐受能力之新植物及作物； (4)提升消防演練因應氣溫上升所增加的火災風險； (5)蟲害的控制。
生態系統	(1)保護及增加遷徙路徑，使物種能因應氣候變遷而遷移。 (2)落實管理實務，以達成保育及管理之目標。 (3)生態系統管理實務改善，並賦予彈性
水資源	(1)設施改造或制度整合； (2)改變需求或減少風險 (3)改善水利用效率、規劃替代水源(廢水處理利用與海水淡化)、改變用水分配 (4)透過覆蓋或其他方法來涵養土壤水分 (5)避免沿海地區淡水鹽化(鹽分入侵)
能源	(1)增加能源使用效率，以減少能源消耗產生之暖化 (2)設施保護，以避免極端的天氣事件

	(3)電力供給來源多樣化，以避免極端高溫與天氣事件下電廠超荷停機。
--	-----------------------------------

## 參、心得及建議

1. 墾務局管理及維護美國西部總數超過 400 座大大小小的壩，所謂前事不忘，後事之師，墾務局安排之研習會一開始即介紹歷年來幾個重要大壩失敗之案例，令所有與會人員皆印象深刻，更能體會大壩維護管理與安全之重要性。
2. 大壩失敗案例中 B. F. Sisk Dam (Formerly San Luis Dam) 邊坡滑動的原因被認為是在上游坡面下，一個約 5 公尺厚的局部粘土層之斜坡式滑動，當這粘土層乾燥時，有較高的強度，但當它吸水飽和時會失去很多強度，此外，庫水不斷上升及下降，也會使載重增加及應變增加，並導致材料擁有較低的殘餘強度，最後，在水位下降到最大時發生了邊坡破壞。由此可知築壩施工過程土壤（築壩材料）分類工作之重要性，如未確實執行此項工作，其對大壩後續之影響是非常深遠的。湖山水庫計畫-大壩工程正將進行主壩之填築，本局將嚴格執行土壤（築壩材料）分類工作，俾完成一座符合設計標準之大壩。
3. 本次參訪之 Folsom 壩因重新檢視排洪能力後，尚在增建溢洪道等設施中，於參訪過程中無法獲取其重新檢視之方法，了解其因應氣候變遷而改變水文分析資料之過程，實為一大遺憾，此乃因墾務局只負責工程修建設施及維護，工程之分析及設計皆由美國陸軍工兵團負責，雖向工地負責之工程司請教及索取，仍無法取得。未來台美之間如有水資源相關合作研究案，建請可找尋美國陸軍工兵團等單位，其水文分析及設計之成果似乎較為聯邦政府認可。
4. 由 Folsom 壩的案例可得知，氣候變遷產生超大雨量對水庫的威脅，國內國外皆然，美國(墾務局)早已對其所維護管理之各重要大壩進行水文資料之重新演算、分析，進而增建相關設施(例如增加閘門控制之溢洪道及增建超大排洪能量之溢洪道)。對本國而言，由近期莫拉克颱風挾帶前所未有的雨量對台灣的衝擊可知，氣候變遷對本國之影響早在進行中，本署各水資源局對其所維護管理之各重要大壩進行水文資料之重新演算、分析已是刻不容緩之課題。
5. 氣候變遷是全球性之問題，任何地球公民之一份子皆無法置身事外，為避免進一步過度消耗能源，從政府至民間機關皆需也皆能做出其貢獻，本報告中 PG&E 公司即運用公司之不同資源，透過不同管道及方法，教育並鼓勵民眾節能減碳之方法，是很值得本國相關公司仿效的作法。
6. 根據美國蓄水庫發生事故原因統計資料顯示，具備早期預警設施並具良好運作機制時，能對降低人員傷亡及財物損失有極正面之影響，因此，蓄水庫下游應完整設置預警系統並妥善維護。
7. 土壤-水泥護坡工法對於缺乏拋石或塊石材料資源之水庫計畫，為非常適宜之工法，此法不僅可節省外購材料工程費，亦因減少運輸交通，可謂為節能減碳之工法，非常值得符合地質條件之新水庫計畫採用。