

出國報告（出國類別：研習）

## 水文水理演算實務研習

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：童正安副工程司（第四河川局）

陳明城副工程司（水源經營組）

陳德源助理工程司（水利行政組）

派赴國家：美國

出國期間：103年7月12日至7月21日

報告日期：103年9月24日



## 摘要

本次出國係經濟部水利署「103 年度水資源作業基金出國計畫」項下之「水文水理演算實務研習」。經由機關辦理甄選後選派 3 人，共同赴美國陸軍工兵團(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)下所轄之水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, HEC)參加開設的洪水頻率分析及應用軟體實務研習「Flood Frequency Analysis」研習課程，課程重點在使用水文工程中心開發的 HEC-SSP(ver. 2.0)電腦分析軟體，應用於洪水頻率分析的過程，藉由淺漸深的課程講座及實作練習安排，提供研習人員所需的統計分析背景知識、應用程式操作程式、及輸出所需的分析評估結果資料。

同時，藉由此次研習的機會，除與水文工程中心相關講師及專家進行技術交流外，亦於課程結束後，至加州行政首府沙加緬度(Sacramento)近郊的佛森水庫(Folsom Dam)及墾務局美利堅河水教育中心參訪，進一步學習美方對於水利工程建設的經驗，作為日後推動國內水利業務的參考。



# 目錄

一、 目的.....	7
二、 過程.....	8
(一) 行程摘要.....	8
(二) 研習課程.....	10
(三) 水利設施參訪.....	14
(四) 加州乾旱及因應措施.....	19
三、 心得及建議.....	25

附錄：研習行程照片



## 表目錄

表 1、研習及參訪行程表.....	8
表 2、「洪水頻率分析及應用軟體實務研習」課程內容.....	10





## 圖目錄

圖 1、美國陸軍工兵團水文工程中心看板.....	7
圖 2、美利堅河位置圖.....	14
圖 3、水教育中心展示美利堅河早期施工文物.....	15
圖 4、水教育中心展示佛森壩及發電廠模型.....	16
圖 5、水教育中心節水花園展示區(一).....	16
圖 6、水教育中心節水花園展示區(二).....	17
圖 7、佛森水庫及水利設施空照圖.....	18
圖 8、佛森水庫輔助溢洪道施工現況(往上游側).....	19
圖 9、佛森水庫輔助溢洪道完工示意圖(往下游側).....	19
圖 10、2013 年加州各氣候分區降雨量歷史相對排名 .....	20
圖 11、佛森水庫 2011 年及 2014 年蓄水情形比較(摘自網路). 21	
圖 12、美國乾旱監控中心公佈 7 月底全美乾旱地圖.....	21
圖 13、加州水源計畫南北輸水管線設施分佈圖(摘自網路)...	23



## 一、目的

本次參加「103 年度水資源作業基金出國計畫」項下之「水文水理演算實務研習」，係由美國陸軍工兵團(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)下所轄之水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, HEC)開設的研習課程，該中心主要的工作重點在支援及增進美國陸軍工兵團及美國國內對於水利及水資源工程技術與管理能力，多年來該中心藉由其所開發的水利及水資源工程分析電腦軟體，成功地將學術理論與實際應用的距離拉近，相關的軟體如 HEC-RAS 模式等，因高可靠性及經美國官方認證具實務功能，故為國際間及國內水利工程界學術研究及工程設計界常用的一維水理分析模式之一。

本次參與的課程為洪水頻率分析及其應用軟體實務研習，可提供研習人員瞭解洪水頻率分析所需的理論背景及應用技術，課程的重點在使用水文工程中心開發的 HEC-SSP(Ver. 2.0)電腦分析軟體，應用於洪水頻率分析的過程，藉由淺漸深的課程講座及實作練習安排，提供研習人員所需的統計分析背景知識、應用程式操作程式、及輸出所需的分析評估結果資料。

同時，藉由此次研習的機會，除與水文工程中心相關講師及專家進行技術交流外，亦於課程結束前往該地的重要水利設施改建工程參訪，以進一步學習美方對於水利工程建設的經驗，作為日後推動國內水利業務的參考。

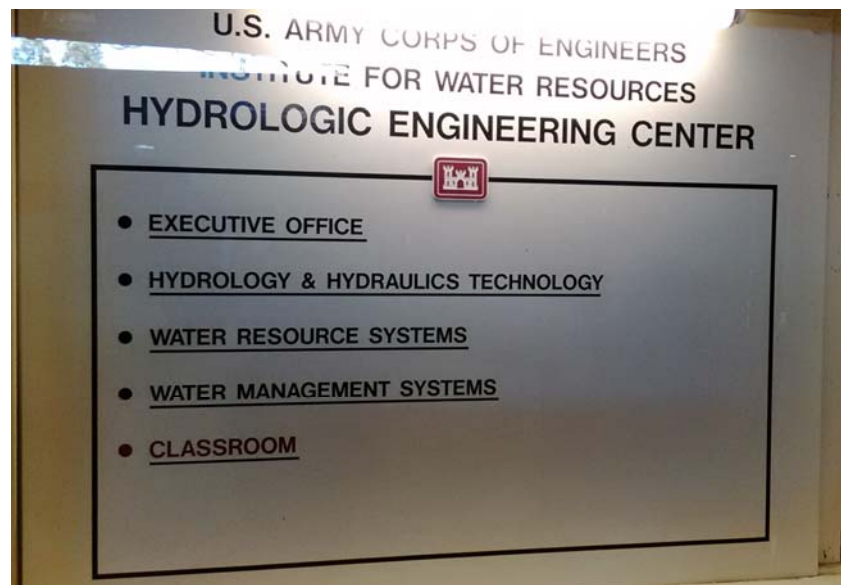


圖 1、美國陸軍工兵團水文工程中心看板

## 二、過程

### (一) 行程摘要

本次參加美國陸軍工兵團轄下位於美國加州戴維斯(Davis, CA)的水文工程中心開設的研習課程，並與該中心的學者專家進行交流，課程結束後則安排至加州行政首府沙加緬度(Sacramento)近郊的佛森水庫(Folsom Dam)參訪。研習及參訪行程如表 1。

表 1、研習及參訪行程表

日期	地點	課程內容或主題
7/14 (一)	美國陸軍工兵團 水文工程中心	<b>課程介紹</b> <b>課前測驗</b> 1.1 講座：機率分佈及統計介紹 1.2 實作：課程內容練習 <b>午餐</b> 1.3 實作：機率分佈概估 - 經驗 或然率 1.4 講座：時間序列分析
7/15 (二)	美國陸軍工兵團 水文工程中心	2.1 講座：頻率分析方法 2.2 實作：對數皮爾森第三型分 析法 <b>實作檢討</b> 2.3 講座：HEC-SSP 統計軟體 2.4 實作：以 HEC-SSP 進行 B17B 頻率分析 <b>午餐</b> <b>實作檢討</b> 2.5 講座：謬誤資料及離群值的 處理 2.6 實作：零流量頻率曲線及歷 史資料
7/16 (三)	美國陸軍工兵團 水文工程中心	<b>實作檢討</b> 3.1 講座：偏度(SKEW)

		<p>3.2 講座：B17B 最新更新</p> <p>3.3 講座：以期望矩演算法應用於離群值及歷史資料</p> <p><b>午餐</b></p> <p>3.4 實作：期望矩演算法、低離群值、高離群值、及歷史資料實作檢討</p> <p>3.5 講座：圖形頻率分析</p> <p>3.6 實作：HEC-SSP 圖形頻率分析實作檢討</p>
7/17 (四)	美國陸軍工兵團 水文工程中心	<p>4.1 講座：頻率估計的不確定性</p> <p>4.2 實作：不確定性分析練習</p> <p>4.3 講座：逕流記錄擴展</p> <p><b>午餐</b></p> <p>4.4 講座：頻率分析的一致性檢核</p> <p>Workshop 4.5 實作：HEC-SSP 頻率分析的一致性檢核實作檢討</p> <p>4.6 講座：都市化發展過程中的頻率曲線</p>
7/18 (五)	美國陸軍工兵團 水文工程中心	<p>5.1 講座：混合機率分佈分析</p> <p>5.2 講座：水文案例研究-加州中央谷</p> <p><b>課後測驗</b></p> <p><b>課程總結及建議</b></p>
7/19 (六)	<p>1. 墾務局美利堅河水教育中心</p> <p>2. Folsom 水庫</p>	<p>1. 介紹位於加州北部中央谷之主要河川美利堅河流域防洪治水措施</p> <p>2. 介紹 Folsom 水庫改善計畫</p>

## (二) 研習課程

本次參與的課程為洪水頻率分析及應用軟體實務研習「Flood Frequency Analysis」，課程目的是提供參與研習人員實際應用洪水頻率分析時，所需的背景知識，以及應用水文工程中心(HEC)開發的HEC-SSP 程式等。

HEC-SSP 程式係整合 HEC 過往水文統計軟體，除介接美國地質調查局 (United States Geological Survey, USGS) 可直接取得歷年 USGS 提供之雨量與水文測站資料，並可依照指定的分析年限及頻率分析方法產生洪水頻率分析曲線，再由工程師依初步結果進行判釋，有效縮短作業時間。

美國陸軍工兵團針對洪水頻率的計算方式及應用，訂有「洪水頻率指南，第 17B 號公告」(Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, Bulletin 17B)。本課程重點即在依據前述規範及參考文獻 EM1110-2-1415「水文頻率分析」(Hydrologic Frequency Analysis)的基礎下，應用由水文工程中心(HEC)開發的 Windows 軟體 HEC-SSP(程式執行畫面如圖一所示)，進行所需的洪水頻率分析。

講座和實作課程將提供參與研習人員所需的統計分析背景知識、應用程式、及輸出結果的評估，參與授課的講師除水文工程中心的負責相關業務的專家外，亦邀請學經歷俱豐的其他單位講師，包括美國地質調查局及陸軍工兵團沙加緬度分部 (Sacramento District) 的相關領域專家等。

全部課程內容重點依序整理如下：

表 2、「洪水頻率分析及應用軟體實務研習」課程內容

課程主題	講師/單位	內容概要
1.1 講座：機率分佈及統計介紹	Faber / HEC	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 統計分析的目的：定義；變數的類型；直方圖；累積分佈；母體的概念；</li><li>■ 用來定義分佈參數：平均數，中位數，模式，標準偏差，偏差係數。</li><li>■ 利用二項式公式來決定風險。</li></ul>
1.2 實作：課程內容練習	Faber / HEC	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 以相對頻率來估算概率和擬合概率分佈的數據。</li></ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 簡單的頻率分析示例應用程序</li> </ul>
1.3實作：機率分佈概估－經驗或然率	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 簡單的頻率分析示例應用程序。</li> </ul>
1.4講座：時間序列分析	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 以時間序列數據進行多次分析，包括既有的假設和產品用途。</li> </ul>
2.1講座：頻率分析方法	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 擬合概率分佈；</li> <li>■ 確定統計參數；</li> <li>■ 對數皮爾森III型分布應用；</li> <li>■ 洪水頻率指南第17B號公告計算範例；</li> <li>■ 流量延時頻率分析。</li> </ul>
2.2實作：對數皮爾森第三型分析法	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 對數皮爾森III型分布的計算範例</li> </ul>
2.3講座：HEC-SSP 統計軟體	<b>Fleming / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 簡介HEC的Windows界面計算程式；程序功能；輸入界面；計算結果輸出。</li> </ul>
2.4實作：以HEC-SSP 進行B17B 頻率分析	<b>Fleming / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 以對數皮爾森III型分布統計計算樣本數據，並與洪水頻率程序的應用程序比較。</li> </ul>
2.5講座：謬誤資料及離群值的處理	<b>Scharffenberg / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 處理破損資料、不完整的記錄、或無洪水件的程序</li> </ul>
2.6實作：零流量頻率曲線及歷史資料	<b>Faber, Scharffenberg / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 計算當零流量存在於數據時的對數皮爾森III型分布曲線。</li> <li>■ 應用條件機率的調整和合成統計公式來獲得分布曲線，並與SSP程式的結果作比較</li> </ul>
3.1講座：偏度	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 區域性偏度的估自。</li> </ul>

(SKEW)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 偏度地圖的應用。</li> <li>■ 計算偏度係數的不確定性；</li> <li>■ 標準誤差；</li> <li>■ 計算加權偏度及限制。</li> </ul>
3.2講座：B17B 最新更新	Veilleux / USGS	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 目前「洪水頻率指南第17B號公告」委員會正在進行測試方法來更新第17B號公告內容。</li> <li>■ 主題包括參數估計方法，處理異常值和歷史資料，及信心區間。</li> <li>■ 未來的考慮因子包括無流量監測流域，調節流量和其他主題。</li> </ul>
3.3講座：以期 望矩演算法 應用於離群 值及歷史資 料	Veilleux / USGS	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 使用期望矩演算法(Expected Moments Algorithm)來處理異常值與歷史洪水資料的程序。</li> </ul>
3.4實作：期望 矩演算法、 低離群值、 高離群值、 及歷史資料	Faber / HEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 應用樣本數據中低離群值、高離群值和歷史資料的統計檢驗和估計，來與SSP程式產生的結果加以比較。</li> </ul>
3.5講座：圖形 頻率分析	Faber / HEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 序列統計，繪製位置；</li> <li>■ 年度序列；</li> <li>■ 部分延時序列；</li> <li>■ 優勢；</li> <li>■ 概率圖型。</li> </ul>
3.6實作：SSP程 式圖形頻率 分析	Faber / HEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ SSP程式圖形頻率分析</li> </ul>
4.1講座：頻率 估計的不確 定性	Faber / HEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 決定可靠度的決定方法；</li> <li>■ 平均值、標準差及偏度的抽樣誤；</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 統計顯著性及可信度限制。</li> </ul>
4.2實作：不確定性分析練習	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 不確定性分析練習</li> </ul>
4.3講座：逕流記錄擴展	<b>Parrett / formerly USGS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 使用長期記錄測站結果來改善短期記錄測站的頻率曲線估計結果。</li> <li>■ 以迴歸分析或變量擴展維持方式(Maintenance of Variance Extension, MOVE)來延伸短期記錄測站記錄。</li> </ul>
4.4講座：頻率分析的一致性檢核	<b>Gibson / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 當必需進行重合頻率分析(Coincident Frequency Analysis)的情況下，計算重合頻率的假設條件和方法。</li> </ul>
4.5實作：HEC-SSP頻率分析的一致性檢核	<b>Faber / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 應用SSP程式進行重合頻率分析</li> </ul>
4.6講座：都市化發展過程中的頻率曲線	<b>Scharffenberg / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 當流域處於都市化發展過程中的降雨和徑流頻率分析的統計假設因子，及分析的方法。</li> </ul>
5.1講座：混合機率分佈分析	<b>Gibson / HEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 混合機率分佈 (mixed distributions) 分析及計算</li> </ul>
5.2講座：水文案例研究-加州中央谷	<b>Moore, Walker / HEC SPK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 加州中央谷案例研究</li> </ul>

上課期間相關照片詳如附錄。

### (三) 水利設施參訪

#### 1、墾務局美利堅河水教育中心

美利堅河(American River)屬於加州水系，發源自內華達山脈再與沙加緬度河(Sacramento River)在沙加緬度市合流，沙加緬度河最終排入舊金山灣，美利堅河全段完全位於加州境內。

美利堅河分為北、中、南三條分叉，分別位於 El Dorado County、Placer County 和 Sacramento County。這條河的三岔口位於 Tahoe 和 Eldorado National Forests。

北叉是美利堅河最長的支流，約長 88 英里 (141 公里)。它發源於 Placer County 內高程約 7,900 英尺 (2,400 公尺) 的 Mountain Meadow Lake，本段流經廣闊的荒野地區。是北美最具生物多樣性的棲息地之一。中叉段約 62 英里長 (100 公里)，該段發源於距北叉段僅 1.7 英里 (2.7 公里) 的花崗岩山頭的南面，它具有陡峭的峽谷，並且於其間有著多處的人造水庫、天然瀑布及較平緩的河岸。南叉段約 87 英里長 (140 公里)，該段發源於 El Dorado County 內的 Echo Summit，位於 Lake Tahoe 的南面接近 Echo Lake，該叉段於 1,848 年加州開始淘金熱時，當地最受歡迎的活動就是鱒魚垂釣和休閒淘金。

美利堅河的流量以 Fair Oaks 為量測點，其平均流量為 104cms，最大流量為 8,891cms，最小流量則為 6cms。



圖 2、美利堅河位置圖

本次參訪特地造訪了位於佛森壩附近的美利堅河水教育中心(The American River Water Education Center)，中心為數棟美式小木屋造型之建築，位於中央的即為訪客中心，中心內部提供了各式生態、興建時期的歷史文物、佛森壩模型及水文教育模型等靜態展示，同時也提供多類水利教育文宣品，如「Landscape Management and Water Savings」、「Water Efficient」等。另外還提供了多種教育課程，如「Get Wet」等，鼓勵人們意識到水和保護的重要性，及進一步瞭解美利堅河的起源與水資源的重要性，並且提供了佛森水庫的介紹。最值得一提的是在中心外部的節水花園，提供了遊客瞭解水資源的智慧利用，花園裡展示了 118 種植物，大多是耐旱植物，教育如何以少量的水，能夠提供繽紛五彩的花園。而遊客中心的解說員也是十分熱情的協助我們這些外國人瞭解美利堅河的背景，令人印象深刻。



圖 3、水教育中心展示美利堅河早期施工文物



圖 4、水教育中心展示佛森壩及發電廠模型



圖 5、水教育中心節水花園展示區(一)





圖 6、水教育中心節水花園展示區(二)

## 2、Folsom 水庫

佛森水庫(Folsom Dam)位於美國加州中部美利堅河(American River)流域上游南、北支流匯集處，大約在加州州政府沙加緬度市東方約 25 英里(40 公里)，由美國政府於 1956 年，為提供沙加緬度谷地(Sacramento Valley)迫切的洪水控制和水權管控而建，提供包括防洪、水力發電、農業及公共給水等功能的多目標水庫。佛森水庫完成後同時造就佛森湖(Folsom Lake)新景點，該湖從北到南全長約七哩，湖面清澈宜人，每年觀光旅客人數達 200 萬人，在此泛舟、垂釣及舉辦眾多水上與岸邊活動。

佛森水庫壩體為混凝土重力壩，壩高 340 英尺(100 公尺)、壩寬 1,400 英尺(430 公尺)，主壩體左右二翼各有一個土石側壩(earthfill wing dam)，蓄水容量 977,000 acre-ft (12.5 億噸)。



圖 7、佛森水庫及水利設施空照圖

佛森水庫由美國陸軍工兵團於 1956 年興建完成後，轉移給美國內政部墾務局(Bureau of Reclamation)營運管理，並成為加州中央河谷計畫的一部分。

墾務局為維護佛森水庫下游的安全，即持續針對壩體安全所涉排洪能力、防震及防滲漏等進行檢測及檢討。

另外，為了提升佛森水庫的防洪能力，墾務局、美國工兵團及加州防洪主管機關合作，正進行一項預算高達美金 9.62 億元的聯邦聯合計畫(Joint Federal Project)，將建造新的輔助溢洪道及相關設施改善工程，與原有溢洪道聯合運用，由原設計 567,000 立方英尺/秒 (16,046cms) 增加 450,000 立方英尺/秒 (12,735cms)，達到 200 年頻率的防洪標準(1/200-year protection)，以因應未來可能的極端暴雨情形。



圖 8、佛森水庫輔助溢洪道施工現況(往上游側)

整體計畫自 2005 年開始已由墾務局完成前 2 階段工作(主要為開挖及周邊附屬先期工程)，目前由美國工兵團執行第 3 階段工作，主要為輔助溢洪道的主體結構工程施作，預計將於 2017 年 10 月完成。後續將進行第 4 階段的工作，主要是評估提升佛森水庫蓄水位 3.5 英尺(1.1 公尺)的可行性及所需配套工程。



圖 9、佛森水庫輔助溢洪道完工示意圖(往下游側)

#### (四)加州乾旱及因應措施

本次前來加州研習期間，適逢加州地區發生自 1849 年以來最為



嚴重的連續乾旱的情形，故藉此次前來研習機會，與水文工程中心水資源管理相關部門同仁，請教加州地區乾旱情形及相關抗旱措施，並將所蒐集相關資訊彙整如後，作為未來國內水資源管理工作參考。

### 1、旱情說明

自 2011 年起，加州地區乾旱少雨的情況，即持續發生且越來越嚴峻；加州水資源局(California Department of Water Resources)紀錄 2013 年度加州 11 個氣候分區中有 9 個氣候分區的全年度降雨量達到歷史排名最乾旱的情形，原本寄望於 2013 年冬天雨季，至 2014 年初還不見有足夠的雨水和雪水，因此，加州州長小艾德蒙 G. 布朗於 2014 年 1 月 17 日宣佈進入緊急抗旱狀態，並指示州政府官員應採取各項必要應變措施。

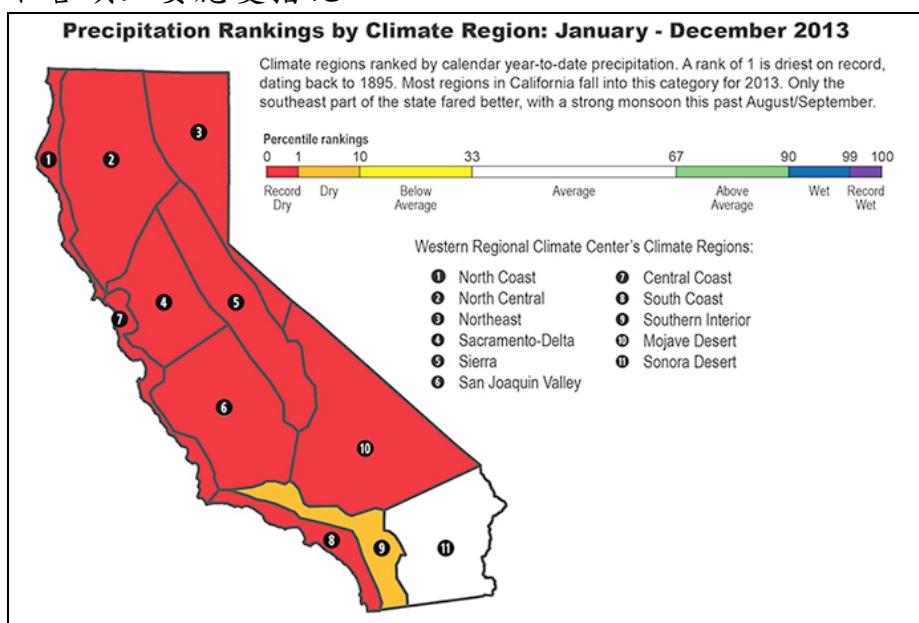


圖 10、2013 年加州各氣候分區降雨量歷史相對排名

至 2014 年 2 月份時，原本可穩定供應春季及夏季補充用水的冬季山區積雪含水量，只有正常年份同期約 24%，加上春季及夏季降雨量仍然不如預期，至 2014 年 6 月底，加州降雨量為歷年平均值的 50%、主要河川流量為歷年平均值的 35%、各主要水庫的水位處於歷年平均值的 60%、地下水水位亦大幅下降。





圖 11、佛森水庫 2011 年及 2014 年蓄水情形比較(摘自網路)

依農業部美國乾旱監控中心(U.S. Drought Monitor)2014 年 7 月 29 日公佈的乾旱地圖(drought map)指出，加州地區已經有約 80% 的面積處於「極度乾旱」(Extreme Drought)及「異常乾旱」(Exceptional Drought)等級。

乾旱對加州農業用水影響最大，因為加州農業產值高達 447 億元，如缺水問題不能解決，未來勢必重創加州經濟。

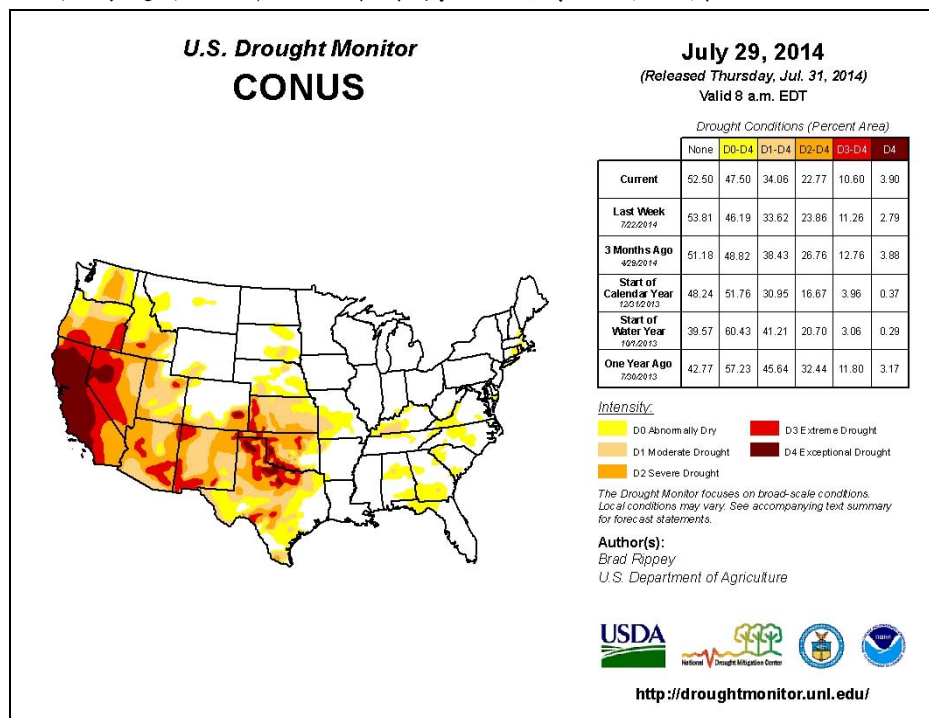


圖 12、美國乾旱監控中心公佈 7 月底全美乾旱地圖

## 2、加州水資源利用環境介紹

加州面積約 42 萬平方公里，為美國第三大州，人口數約 3,800 萬人，為美國人口數最多的州，經濟上加州 GDP 為全美最高的一州，若將加州當成一個國家，是世界第 9 大經濟體，屬人口稠密的經濟高度發展地區，每年總耗用水量約 456 億立方公尺，其中約 75% 為農業用水、約 20% 為都市生活及民生用水、其餘約 5% 為工業及礦業用水，水源主要為地面水約 60% 及地下水 40%。

在水文條件方面，加州的年平均降雨量約 580 毫米(約 2,371 億立方公尺)，扣除蒸發散及地表入滲水量，進入河川之年逕流量約為 872 億立方公尺。另年度降雨量約 75% 的集中在 11 月至次年 3 月底，其中 70% 的降水量集中在北加州，南加州地區的年均降水量只有 250 毫米，局部地區僅為 50 毫米左右，致南加州有 90% 以上的水源依賴外地引入，但南加州的人口占全州的 2/3，水資源分佈與人口比例正好反比。

北加州主要水源來自舊金山灣區東北部沙加緬度/聖瓦金三角洲(Sacramento-San Joaquin River Delta)地區，也是沙加緬度河和聖瓦金河的匯合處，水域遼闊、地勢低窪，成為加州供水系統的一個關鍵環節。

從 1950 年代起，加州政府考量南北水資源分配不均的問題，提出加州水源計畫(State Water Project)，透過人工運河及運用抽水站翻山越嶺的方式，把水資源相對豐富的北加州舊金山灣上游的三角洲地區引水至南加州，並成為加州各城市和農田的主要水源，其中南加州的供水量約 30% 的來自三角洲地區。計畫自 1960 年開工至 1973 年竣工，工程包括輸水幹道全長 600 多公里，水庫大壩 28 座，抽水站和發電站 22 座，年調度水量近 50 億立方公尺，供應約 2,000 萬人使用，調水量的 70% 用於城市，30% 用於 360 多萬畝農田灌溉用水，為美國乃至世界上距離最長、揚程最高的調水工程之一。



圖 13、加州水源計畫南北輸水管線設施分佈圖(摘自網路)

### 3、抗旱進程及相關措施

美國乾旱監控中心自 2011 年底即發現加州地區發生可能的乾旱現象，由於情況未見好轉，加州州長小艾德蒙 G. 布朗為因應這場可能是歷史上最嚴重的乾旱，於 2014 年 1 月 17 日宣佈加州進入「緊急抗旱狀態」(State of Emergency)，並指示採取以下措施：

- (1) 發起節水運動(Save Our Water campaign)，要求所有加州居民及相關單位採取節水措施，以達成節水 20% 為目標。
- (2) 要求地方供水單位立即採取缺水應變計畫。
- (3) 責令加州水資源管理委員會(State Water Resources Control Board)整合簡化「加州水源計畫」(State Water Project)及「中央谷計畫」(Central Valley Project)各用水戶間之用水調度及交換程式。
- (4) 指示加州水資源局(California Department of Water Resources)加速展開各項水資源工程計畫。

(5) 要求加州水資源管理委員會通知水權人，因為水源短缺，可能必須減少或暫停取水。

(6) 要求加州水資源管理委員會變更水庫等蓄水設施的供水計畫，讓水庫能留存兼顧保育用水、用水標的及維持水質的足夠用水。

因旱情持續發展未見改善，州長布朗再於 2014 年 4 月 25 日提醒所有加州人應加倍努力節約用水，並要求州政府各機關應減少行政流程的繁文縟節，以更有效率地提供農業用水及確保市民安全的飲用水。

到了 2014 年 7 月中，因為旱情持續而且節水成效不佳，用水量不僅未能下降，反而增加了 1%。加州水資源管理委員會決定從 2014 年 8 月起 270 天內，實施民生用水的強制節水措施，以下用水行為將被當局處以最高每日 500 美元的罰款：

(1) 戶外澆溉用水外流至相鄰土地、非澆灌區域、私人或公共走道、道路、停車場或建築物等。

(2) 洗車所用的水管噴嘴未安裝自動關閉裝置。

(3) 用自來水沖洗車道或人行道。

(4) 噴泉等造景設施不使用循環回收水，而使用自來水。

若上述每天 500 美元罰款的強制節水措施仍無法有效節水，將考慮進一步措施，包括要求各地方水利局改善水管漏水問題，花園澆灌實施更嚴格限制，以及要求各地方水利局對用水增加的用戶增加水費等。

以加州整體用水供需來看，已經持續 3 年的氣候乾旱，在加州過去 20 年來未雨綢繆，興建多座中型水庫及跨區域輸水工程計畫的調蓄下，目前仍有足夠的用水熬過今年的枯水期，但如果今年冬天雨季至明年初還不見有足夠的雨水和雪水，真正嚴峻的挑戰及可預期的嚴重損失可能在明年發生。

### 三、心得及建議

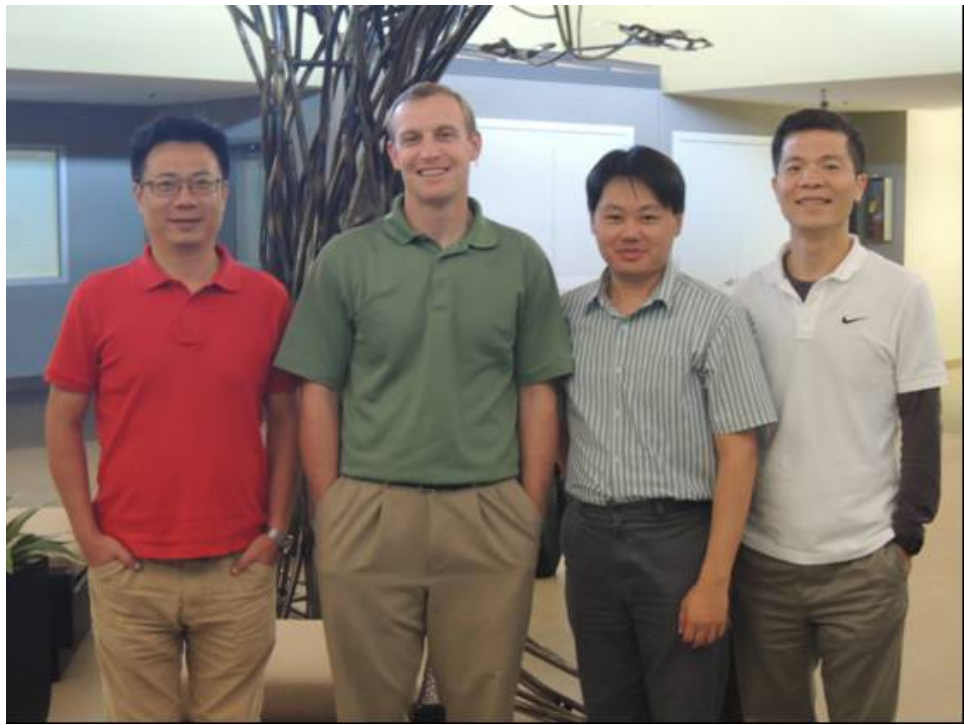
- (一)由於本次課程與實務面緊密結合，除講師講解外並搭配實機操作以增強對課程的領會，且有機會與一同上課之美國工兵團其他辦公室人員進行實務工作交流。建議持續派人參加水利相關研習課程，提昇同仁的水利技術及視野。
- (二)美國陸軍工兵團的水利工程中心(HEC)自1964年成立至今已50年整，該中心的主要工作在配合美國水利設計相關法規，開發可供各工程單位標準化的應用程式，經過各單位多年使用驗證程式的可靠度，逐步成為美國國內及其他各國水利工程界常用的應用程式。目前國內水利工程設計仍無法完成所謂的設計規範或標準化設計模組。建議可以參考美方作法及分工，嘗試由水利署蒐集國內各項水文水理參數，研擬國內水利工程環境適用的設計準則或規範，由水利規劃試驗所接手進程式或設計模組開發，交由河川局、水資源局、及各縣市政府水利局處免費使用測試，並應用在實際的工程設計上，過程中並應通過第三方的審查方交付施工，逐步建立國內的水利工程設計的標準及水準。
- (三)水利工程中心(HEC)定位為協助美國工兵團進行各項分析的技術支援中心，除開發軟體外並透過教學推廣應用。且因為上課學員為實務第一線之工程師，因此透過課程設計讓研發更貼近實務，故應用性極高。建議水利規劃試驗所所研發的技術亦可透過對署內同仁或其他實務水利相關人員授課，達到教學相長的目的。
- (四)本次上課期間，水文工程中心講師提及對於過去常用的洪水頻率以「幾年發生一次」的通俗說法，在近年氣候變遷造成異常洪水事件發生頻繁超出預期的情形下，已經造成民眾誤解防洪工程設計標準的準確性，進一步影響對政府水利機關單位的專業信心，該講師建議未來改以「每年度內發生一次以上的機率」來表示較佳，此項作法，可作為國內未來對外辦理相關說明的參考。
- (五)另外，本次與水文工程中心負責承辦國際交流事務的承辦人員瞭解該中心對於國際交流的內容，感受到該中心對於應邀選派講師，至國外進行教育訓練及交流合作的意願很高。建議可以考量針對國內水利工程界對於該中心的程式有較多使用需求者，如常



用的 HEC-RAS 程式，與該中心合作辦理教育訓練課程，除可提升國內水利工程機關或顧問設計公司的專業水準外，並可以增加工程人員的國際視野。

- (六)加州亦屬枯旱季節明顯、南北降雨不均的氣候型態，加州政府從 1950 年代起即展開大規模的水庫興建及水資源跨區域調度計畫，多項水資源相關工程計畫亦仍在持續進行或規劃中。依據本次蒐集的資料，加州地面水利用率達三成以上(河川逕流總水量佔全體總用水量)，加上地下水尚屬豐沛，故面臨此次已持續長達三年的氣候乾旱事件，截至目前，仍能有效控制乾旱對於民生經濟的損失。相較台灣地區每年有約八成的河川逕流量流入大海，未來應有增加利用率的改善空間，雖然新建大型水庫計畫推動難度較高，但除了既有的水庫設施改善工程外，思考如何積極推動河川水質改善並輔以建設區域性中小型供水攔蓄設施，或可以作為未來水資源策略方向參考。
- (七)美國地質調查局(USGS)為配合發展加州的中央峽谷水文模式(Central Valley Hydrologic Model, CVHM)，除利用雨量實測資料及設計雨型進行降雨-逕流模式之推估方式外，更有 82 處水位流量站已建立長期流量監測資料，得以直接推算洪水量頻率分析。分佈廣且長期不中斷之基本水文資料是進行模式計算或風險分析的基礎，應持續支持台灣的流量觀測作業。
- (八)本次出國前，需向美國陸軍工兵團另外一個負責註冊課程的單位，即教育中心(Learning Center)聯繫註冊付款事宜，發現該中心對於他國人員欲前往上課的行政作業流程緩慢無效率。經過多次與水文工程中心國際交流業務承辦窗口人員洽談並反應相關情形，對方表示諒解且也常收到很多的抱怨。故未來前往研習人員建議需儘早洽該窗口人員說明此情形，並請求協助安排課程。
- (九)本次研習除與水文工程中心講師及窗口人員建立緊密關係外，亦與一同上課之學員分享交流彼此實務工作環境、方法、遭遇的困難等，建議未來參加研習人員可與上課學員加強聯繫，並安排參訪對方工作轄區，以增廣視野並及建立合作交流關係。

## 附錄：研習行程照片



照片、與水利工程中心負責國際交流承辦人合影



照片、水利工程中心上課情形（一）





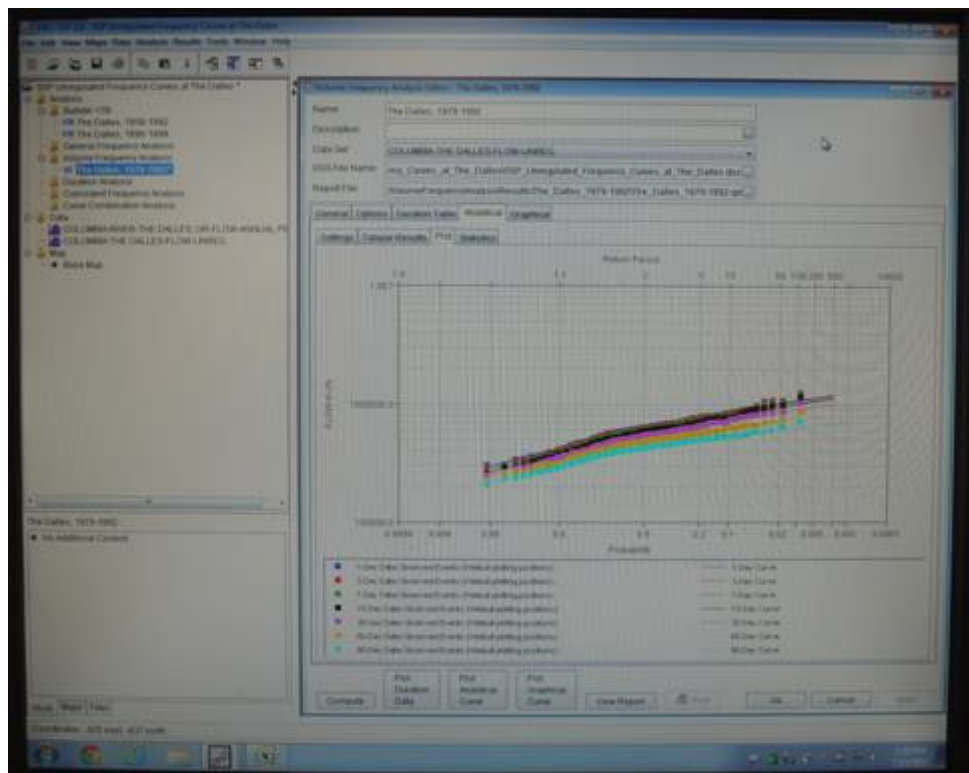
照片、水利工程中心上課情形（二）



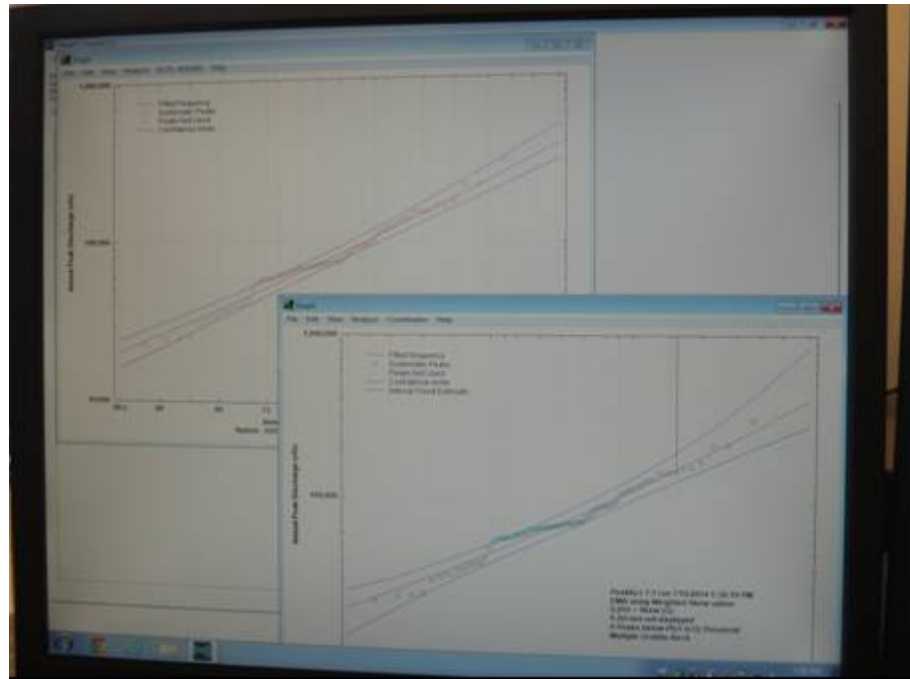
照片、厚 500 頁的上課講義資料



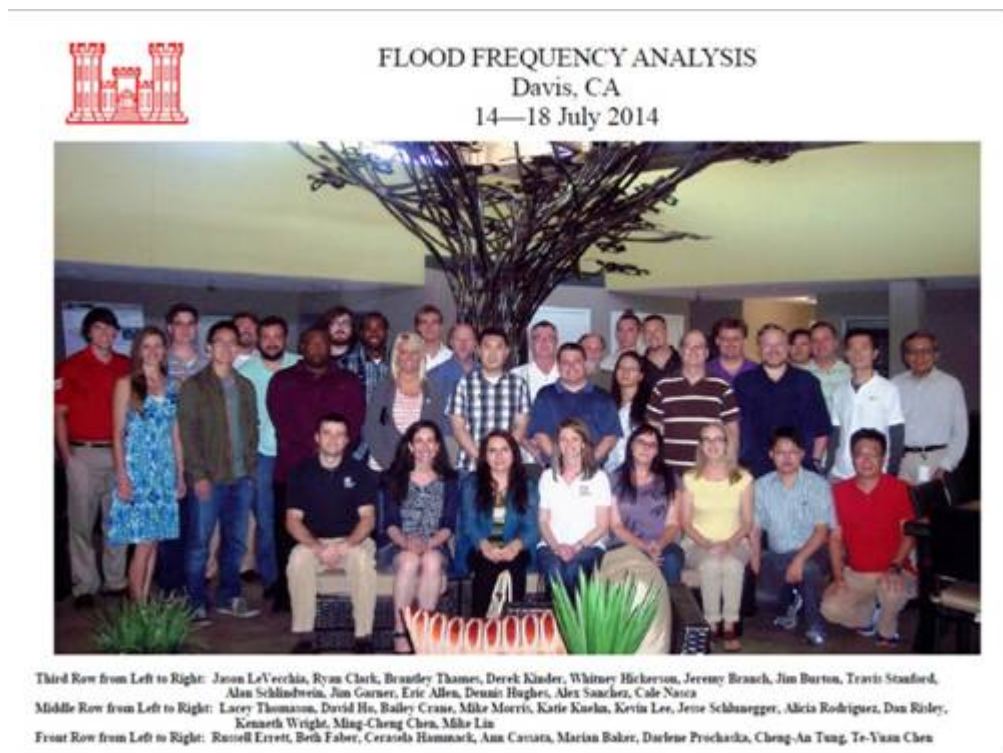
照片、水利工程中心實機操作應用程式情形



照片、水利工程中心操作 SSP 應用程式畫面 (一)



照片、水利工程中心操作 SSP 應用程式畫面 (二)



照片、研習課程全體學員與講師合影





照片、墾務局美利堅河水教育中心參訪（一）



照片、墾務局美利堅河水教育中心參訪（二）



照片、墾務局加州中部地區辦公室外看板合影



照片、佛森水庫施工現場離去前留影