

行政院暨所屬各機關出國報告

(出國類別：研究)

## 參加美國墾務局「大壩安全、操作與維護」 國際研討會報告

服務機關：經濟部水利處

職 務：副總工程司

姓 名：林 連 山

出國人

服務機關：經濟部水利處水利規劃試驗所

職 務：工程員

姓 名：鄭孟雄

出國地區：美國

出國時間：90年08月12日 - 90年08月26日

報告日期：90年11月

# 目 錄

壹、參加美國墾務局「大壩安全、操作與維護」國際研討會行程表	1
貳、「大壩安全、操作與維護」研討會題綱	2
參、參加國際研討會國家及本國參加人員名單	5
肆、研討會內容	6
一、大壩安全、操作與維護之歷史與前景	6
二、我國情況	6
三、大壩之危險情況及潛在失敗模式	8
四、壩工史上的意外事件	9
五、水庫安全檢測計畫之原則與文件	11
六、監測儀器介紹	12
七、目視檢測	15
八、緊急應變措施	17
九、實地觀摩	19
伍、心得與建議	19
陸、附圖	22

## 壹、參加美國墾務局「大壩安全、操作與維護國際研討會行程表

月	日	星期	地點	活動內容
八	十二	日	台北 - 丹佛	行程
八	十三	一	丹佛	報到、註冊、開幕式、研討會、參觀墾務局試驗室
八	十四	二	丹佛	研討會
八	十五	三	丹佛	研討會
八	十六	四	丹佛	研討會
八	十七	五	丹佛	研討會
八	十八	六	丹佛	研習資料整理
八	十九	日	丹佛 - 鹽湖城	行程
八	二十	一	鹽湖城	研討會
八	二一	二	鹽湖城	研討會
八	二二	三	鹽湖城 - 拉斯維加斯	搭乘公車赴 Echo-Dam(土石壩)及 East Canyon Dam (拱壩) 觀摩研習後搭機前往拉斯維加斯
八	二三	四	拉斯維加斯	赴 Hoover Dam 觀摩研習、綜合討論、結訓典禮
八	二四	五	拉斯維加斯 - 洛杉磯	行程
八	二五	六	洛杉磯 - 台北	行程
八	二六	日	洛杉磯 - 台北	行程

## 貳、「大壩安全、操作與維護」研討會題綱

月	日	星期	時間	研習內容
八	十三	一	08:00~08:10	註冊
			08:10~08:25	致歡迎詞
			08:25~08:40	研討會內容介紹
			08:40~09:30	壩安全之歷史及前景
			09:30~10:00	操作與維護之前景
			10:15~11:30	壩事故之戒訓
			11:30~12:00	壩安全計劃之有效因素
			13:00~13:45	壩緊急情況之 GIS 水力界面模擬
			14:00~16:00	參觀墾務局實驗室
八	十四	二	08:00~09:45	崩潰模式之參數
			10:15~11:30	壩安全之風險分析與評估
			12:30~13:45	地震之評定
			14:15~15:30	壩之地震分析
			15:30~16:00	地震監視器 / 強震儀及傳遞系統
			18:00~20:00	迎賓晚宴
八	十五	三	8:00~8:45	埋設儀器在壩的角色
			8:45~9:45	土石壩埋設儀器概觀
			10:15~11:00	混凝土壩埋設儀器概觀
			11:00~11:30	儀器埋設計畫之要素
			12:30~13:45	量測行為之評定
			14:15~16:00	埋設儀器示範教學

月	日	星期	時間	研習內容
八	十六	四	08:00~08:45	緊急設施準備之評估
			08:45~09:45	早期預警系統
			10:15~11:00	緊急行動之規劃
			12:30~13:45	水文考量
			13:45~14:30	地質在壩工之角色
			15:00~16:00	淤積與河道崩蝕
八	十七	五	08:00~08:45	混凝土壩、溢洪道、出水工之改進沿革
			08:45~09:45	以馬齒壩為例談土石壩之補強
			09:45~16:00	現場觀摩馬齒壩
八	十八	六	09:00~16:00	資料準備
八	十九	日	09:00~16:00	前往丹佛國際機場搭機赴鹽湖城公園市
八	二十	一	08:30~09:00	克羅拉多州上半部壩安全執行情形介紹
			09:00~09:30	操作與維護課題考量
			10:00~10:45	維護經營
			10:45~11:30	常用操作程序
			12:30~13:30	壩操作訓練
			14:00~15:30	學員介紹各自有關壩安全執行情形

月	日	星期	時間	研習內容
八	二一	二	08:00~09:00 09:00~10:00 11:00~12:15 13:30~14:45 15:15~15:45	土石壩檢測 混凝土壩檢測 溢洪通及出水管檢測 水工機械檢測與操作 檢測報告準備
八	二二	三	08:00~16:45 16:45~18:00	前往 Echo Dam ( 土石壩 , 1931 年完工 ) 及 East Canyon Dam ( 混凝土拱壩 ) 研習 搭機飛往拉斯維加斯
八	二三	四	08:00~12:30 12:30~14:00	前往 Hoover Dam 觀摩研習 綜合討論 , 結訓典禮

## 參、參加國際研討會國家及本國參加人員

一、參加國家計有：美國、德國、波蘭、立陶宛、以色列、紐西蘭、西班牙、巴西、委內瑞拉、多明尼加、坦尚尼亞與本國共 28 名學員。

二、本國參加人員：

(一)本處副總工程司 林連山

(二)水利規劃試驗所工程員 鄭孟雄

## 肆、研討會內容

### 一、大壩安全、操作與維護之歷史與前景

墾務局在美國中西部十七個州共擁有 362 個重要壩，其中 50% 以上已營運超過 50 年以上，由於這些壩乃此一區域重要的基礎設施，不容有所意外，因此，如何維持安全的營運操作便成為重要課題。墾務局為解決此一問題，乃於該局成立專責組織以履行壩工安全決策政策，另外，並邀請獨立顧問一併參與，以提高組織間的交流。

上述壩工安全決策機制之形成，主要催生原因為一九七六年美國 Teton Dam 潰壩，造成下游人民生命財產嚴重損失，因此美國國會與聯邦機構乃著手擬訂大壩安全相關法規；並於一九七七年由美國總統卡特主導各層級聯邦機構重新評估水庫安全策略，提出安全指導原則，在有限的工程技術條件下，建立最有效率的安全機制，期水庫安全得到最佳保障。

墾務局援用上述法規乃自一九七八年起，逐年編列經費從事其轄管水庫之安全複核及整修工作，截止一九九八年，共編列七億四百萬美元完成四十四座瑕疵水庫構造物之修補工作，另外尚有六座水庫正進行修補中。而上述水庫安全複核及修補業務，已成為墾務局目前最重要的業務之一。

### 二、我國情況

蓄水庫就像一顆不定時炸彈，其爆炸威力的大小則和蓄水容量的大小成正比；台灣由於地狹人稠，地勢陡峻，地質年代較淺，又是斷層豐富、地震頻仍的地區，但是，由於經濟發展及人口增加的需求，水庫的興建乃無法避免，而如何於兩者之間求取平衡？卻須高度的智慧其所關係者包括：法規訂定、制度建立、人員訓練、經費籌編等課題。

#### (一)法規訂定

民國七十二年十二月水利法第四次修訂時增列第五十四條之一：



「水庫蓄水範圍內不得為妨礙水庫營運與安全之行為。前項蓄水範圍，應禁止或許可之事項及遊艇等之管理，由主管機關會同有關機關訂定，報准上級主管機關後實施。」及第六十九條之二：「水庫管理機關，應維持水庫及關連設施之安全，並經常檢查，分析其情況，採取必要之改善措施，其辦法由中央主管機關訂定之。」；上述第五十四條之一之規定，業由經濟部於八十八年六月公告「台灣省水庫蓄水範圍使用管理辦法」；另經濟部併於民國七十七年六月公告實施「蓄水庫安全檢查與評估辦法」做為蓄水庫安全檢查與評估之技術準則。此外，於民國七十五年三月間於經濟部設置蓄水庫安全評估小組，聘請專家協助主管機關定期對各水庫作安全檢查與評估，以策水庫安全。

## (二)制度建立

根據蓄水庫安全檢查與評估辦法，中央主管機關，直轄市主管機關及蓄水庫管理機關應辦事項均有明白規範，其中中央主管機關應辦事項業由經濟部成立蓄水庫安全評估小組，至於蓄水庫管理機關，部分大型水庫均成立水庫管理局，部分則成立管理委員會、管理中心，分別隸屬政府機構、農田水利會或事業機構。

## (三)人員訓練

管理機關除對蓄水庫之蓄放水，需依據水庫運用規限辦理外，對於壩體及其附屬結構物之檢查、分析、改進對策研提，緊急情況之連絡通報系統之建立與演練，潰壩時之通報系統與下游居民之疏散計畫等均需具備訓練有素之人力始能達成，唯衡國內，諸多水庫之檢查、觀測與分析等工作尚需委由民間顧問公司辦理，如非人力考量，這些工作可由單位自行派員辦理，並可達到人員訓練之功能。

## (四)經費編列

水庫營管基金宜寬列經費，從事各項有益營管與水壩安全諸工作，例如潰壩後淹水範圍之地理資訊系統資料之建立，可以提供確切之警戒範圍，對於疏散計畫之擬訂有甚大幫忙，宜從速寬籌經費辦理。

### 三、大壩之危險情況及潛在失敗模式

依據過去資料統計美國水壩之潰壩率為 1.4%，而世界水壩潰壩率約 0.5%，潰壩率尚高，因此必須提高水壩安全度所需之安全理論，並加強辦理平時之維護檢查及特別檢查與評估。茲概略探討三種大壩危險情況及六個最常遭遇到的失敗模式。

#### (一)大壩的危險情況

##### 1.洪水

當預測有暴雨或過量的融雪逕流可能產生洪水時，所有水壩之溢洪道均須檢查，以發現在洪水通過時需特別加以保護之區域，在洪水期和水位退去之後，溢洪道須加以檢查，以判斷任何需要修理之損壞。

##### 2.暴風

高速的風可能產生具有破壞性的波浪。上游坡在暴風時須加監視，以便能立即修護損壞的區域。在暴風後應仔細地檢查，確定所需要的修護工作，並立即進行初步的修理。

##### 3.地震

如果地震經鑑定對壩址附近區域有影響或有震動報告時，水壩必須馬上仔細地檢查，並且以後每週檢查一次，持續至地震後四至六週，此乃因為地震所引起的狀況常在幾星期後才出現。

#### (二)潛在失敗模式

本課程提出有六個最常遭遇到的潛在失敗模式，前兩個失敗模式是發生在正常操作的情況下，後四個則發生在極端負載的情況下。

##### 1.失敗模式一：堆填壩壩心材料的表面沖蝕或管湧。

常發生原因為不透水心層水力坡降與滲流區在建造技術上沒有妥善處理。

##### 2.失敗模式二：混凝土壩基礎支撐力的喪失，而導致壩身破裂。

常發生原因為基礎岩盤脆弱而不連續所造成的滑動。故壩址地質狀況的良好與否之調查及工程技術上之妥善處理，至為重要。

3. 失敗模式三：堆填壩之壩頂或下游坡面因洪水溢流，破壞壩頂結構，引起壩的裂口。

常發生原因為水文分析不當，估計洪水量不正確，致遇洪水時水庫水位超過致漫溢壩頂，或在洪水期間，溢洪道未如預期地被操作妥當。

4. 失敗模式四：堆填壩的壩體變形。

常發生原因為地震或基礎材料的液化而導致。

5. 失敗模式五：混凝土壩由於洪水溢流亦可能導致大壩基礎的侵害而逐漸破壞壩基的支撐力與結構的危害。

6. 失敗模式六：混凝土壩由於地震的發生，亦會造成巨積混凝土壩體的高剪應力或降低正常應力而引起壩體的嚴重破裂。

#### 四、壩工史上的意外事件

發生水庫災害的原因甚多，據世界大壩會議之統計資料顯示，世界各國發生災害之三大原因依序為：

1. 溢洪道容量不足或無溢洪道設計而遭致水庫水位超高致漫流溢頂。
2. 壩基基礎調查不詳或處理不完善，導致基礎破壞。
3. 失控的滲流侵蝕土石壩及壩基而導致管湧破壞。

然而潰壩之成因，絕大部份是綜合事件的結果。下列提出幾個水庫意外事件略加探討：

##### (一) 法國 Malpasset 壩：

本壩建於 1950 1952 年，位法國南部，距離地中海河口約 15 哩，壩高 200 呎，為雙曲面拱壩。於 1952 年 12 月 2 日崩潰造成 340 人死亡。據調查原因，該壩左岸拱墩塊自河床起始至左壩墩間向下游移約 6 呎。在設計施工中未能掌握岩層中之含泥層，於蓄水後滲

透飽和抗剪力消失，繼之拱塊剝離發生大崩潰。

## (二)義大利 Vaiont 壩：

本壩為一座雙曲線薄拱壩，於 1960 年秋完工，壩高達 262.5m 之超高壩，水庫容量一億五千萬立方公尺。其壩工之設計施工技術應屬國際一流，絲毫無缺失。但問題於 1963 年 10 月 9 日在水庫內遭受約達二億四千萬立方公尺的崩山及越壩巨浪合成的超應力，遠超過設計應力，水庫在三十秒時間內被崩坍物填滿，其水位高過壩頂 175 公尺，死亡人口達 3,000 人之大慘劇。

## (三)美國 Teton 壩：

位於美國愛達荷州東部，由世界著名具有甚多經驗之美國墾務局設計興建。於 1976 年 6 月 5 日崩潰，造成洪流，計死亡 11 人，有 25,000 住戶流失，損失達美金四億元之多（不計壩工損失），幸好發生潰壩於白天，且尚有預警疏散，否則傷亡更慘重。

## (四)石岡壩

石岡壩為民國六十年代由前台灣省水利局所興辦，壩址位於大甲溪石岡鄉境內，為一兼具灌溉、防洪及提供民生用水的多目標重力式混凝土壩，溢洪道為臥箕型並裝置弧型閘門控制洪水。

民國八十八年九二一大地震由於車籠埔斷層延伸，其斷層帶恰與大壩壩軸橫交，地震發生時，地盤隆起達約十公尺，強力的剪應力作用導致大壩右側共四座溢洪及排砂道斷裂，水庫原有之蓄水迅速滲漏傾洩至河川下游，幸好其下游防洪設施均已完成，而地震發生當時為深夜一時許，故未造成下游任何人員及設施之損失。

經濟部水利處針對上述情況，已暫時將右岸四處溢洪及排砂道先以圍堰封堵；並輔以基礎及局部壩體灌漿，目前該壩仍繼續攔水供應大台中地區灌溉及民生用水，唯因其調節池亦因九二一地震導致地盤隆起情況嚴重，因此原有調蓄功能喪失大半，經濟部水利處已計畫於其上游另覓適當地點興築替代工程。

本(九十)年歷經桃芝、納莉等颱風帶來豪雨侵襲考驗，修補後之大壩均呈現安全狀況，溢洪道雖部分以圍堰封堵，唯其餘溢洪道尚能發揮排洪功能，因此均未發生洩洪不及導致兩岸災情之情形。

## 五、水庫安全檢測計畫之原則與文件

蓄水庫建設係由多種專業人才之共同努力而完成，故蓄水庫之安全檢查及安全評估，亦需由多種專業人才之合作才能達成。而於非常情況下災害之減免，端賴社會組織之能以迅速應變。蓄水庫安全計畫之推行應：

- (一)在平時即研究瞭解各蓄水庫之狀況。
- (二)合宜之管理及維護。
- (三)改善其運轉操作。
- (四)發現可能發生意外之情況預作準備，期能儘速採取防範措施。
- (五)完工後之維護運轉執行情況應詳細加以記錄，此等資料及建造時之記錄為檢查及評估水庫安全所必需。
- (六)壩址較宜建壩之位置，幾已開發完畢，今後須利用較差之壩址開發水庫，興建時須作更週詳之考慮，將增大投資成本，不可因受限經費之短縮及完工期限而放鬆安全所需之條件。

經過適當整理的檢測計量，其標準要素與文件的完整，應有如下的要旨討論：

- 1.壩體與附屬結構物的描述。
- 2.壩址地質調查資料的描述。
- 3.設計與施工的評審作業描述。
- 4.對洪水與地震所造成極端負載之設計。
- 5.潛在失敗模式的描述。
- 6.與每個潛在失敗模式有關的主要檢測參數之描述。
- 7.對檢測儀器的位置、過去的性能與已修正的檢測計畫文件之探

討。

8.對可預期的性能之探討與提出。

9.對不可預期的事件所應採取的行動措施之描述。

也因透過這樣的整合檢測計畫如上述要旨之討論，檢討審視我國在壩工安全機制的建立與落實上，有絕對的必要性。

## 六、監測儀器介紹

大壩安全檢查時所常提及監測儀器觀測，係指利用各種儀器及方法量測大壩的實際行為與變化。然而儀器觀測並不能完全取代大壩安全檢查的工作，而是當進行大壩安全檢查時做為目視檢查的一種輔助。

根據一九八一年對於美國 77 個土壩失敗個案調查，顯示 71% 之潛在失敗原因，可由壩內部良好布置及使用之觀測儀器監測及預防。

### (一)影響壩體改變的因素

對土石壩而言，其壩體行為的正常改變乃是可預期的。而其變化量及導致變化的因子可以經由儀器觀測得到證實。進而言之，儀器觀測可以區別正常及異常的大壩行為變化，基於對於大壩行為的瞭解，使得工程師設計及建造更高的壩愈具信心。此種大壩行為的改變包括(1)壩體垂直變位（沉陷）；(2)壩體水平變位（偏移原準線），(3)土石壩之內部浸潤。

除了瞭解大壩行為的變化外，更重要的是必需知道其發生的原因。大壩行為的變化最早發生在施工期，當壩體逐漸填高時，底層材料受上層堆積材料重量之擠壓，及壩基也可能因此受壩體重量的影響而發生沉陷。此種施工期間的壩體變化不僅限於沉陷，從儀器觀測顯示，在導致壩體的水平位移，同時壩體受浸水影響亦將增加其沉陷量。其他影響壩體繼續性變化的因素有(1)蓄水深度的改變；(2)到達最大蓄水高度之時間；(3)水庫蓄水洩降之速率。

### (二)土壩觀測儀器之簡介

土壩觀測項目主要可分為五類：

1.壓力監測：壓力監測使用各種壓力計，主要在測量地下水位、壩墩與基礎及下游區之孔隙水壓力、壩體內部之孔隙水壓力。

壓力監測儀器依系統可分為二大類，即封閉式及開放式系統類型，分述如下：

(1)封閉式系統類型有水力式壓力計、空氣式壓力計、電器式壓力計。

(2)開放式系統類型有多孔管式壓力計、孔口管式壓力計、觀測井。

## 2.滲流監測

### (1)水流監測

簡單的量水堰設施可測量滲流及趾部排水之流量，其長期之監測對於構造物之安全評估非常重要且有效，其成本亦甚低。

### (2)滲流水質監測

採取滲流水與水庫水試驗可由滲流水之成分分析瞭解滲流造成基礎及壩墩變弱或沖蝕所產生之管湧破壞問題之原因、性質及範圍，而妥善處理，其在壩安全檢查極為重要。

### (3)地球物理科學的滲流監測

地球物理學之滲流監測，係利用溫度感應技術辨別碎岩石區及沖積層等高滲透地區及地下水滲流路徑地區，雖然地球物理科學技術不能代替傳統之鑽孔或觀測儀器，但其較之其他方式諸如鑽孔或抽水試驗更確實及經濟的指辨出滲流地區。

## 3.壩體及基礎內部監測

壩體及基礎內部監測儀器主要測量壩體及基礎內部垂直及水平等之移動，其儀器有壩體十字臂、沉陷板、遙測沉陷感應器、傾斜儀、多點式伸縮儀、剪力條。

## 4.壩體及壩墩外部監測

利用壩體外部表面測點，測量壩體垂直及水平移動情況，一

般係在坡面、壩頂及壩址等相關位置設置控制點及測點，藉測量之技術監測相關位置及標高位移及變化。

## 5.地震

利用地震儀紀錄地震事件對於壩體、結構、基礎及壩墩之反應及評估。

### (三)混凝土壩觀測儀器之簡介

1.混凝土壩主要分為重力壩及拱壩二種類型，其觀測儀器略有不同，分述如下：

#### (1)重力壩：

重力壩設計係以壩體重量及其基礎抗力抵抗水庫之靜水壓力所引起之傾倒及滑動現象，故一般重力壩之觀測儀器大致包含(a)擺線儀測量壩之斜度(b)觀標系統測量壩之水平位移(c)接縫移動測量設備測量壩體之相對移動，(d)上頂水壓力測量設備測量壩底之上頂水壓力。其他尚有補助測量設備包括各種應力及應變計、溫度測量設備及變形測量設備。

#### (2)拱壩：

拱壩通常建築於狹窄陡峻之河谷，其壩墩及基岩盤需很完整，壩墩需承受拱壩所傳遞之巨大力量。拱壩之觀測儀器主要包括(a)應力及應變計(b)溫度測量設備(c)接縫計(d)擺線儀(e)觀標系統(f)伸縮儀及排水測量儀器。

## 2.混凝土壩埋設儀器

混凝土壩之埋設儀器主要測量混凝土壩各方塊(單元)之內部應變、應力及接縫相對位移，其埋設儀器分述如下：

(1)應變計：測量壩體之應變。有彈性線索應變計、振動線索應變計、鋼棒應變計、無應力應變計。

(2)應力計：測量壩體之應力，有彈性線索應力計、振動線索應力計。



(3)接縫計：測量混凝土各方塊（單元）接縫移動情形。

(4)溫度測量設備：測量壩體溫度變化情形，一般有溫度計、電熱偶及電熱調節器。

### 3.位移及收斂測量設備：

於壩體外部利用伸長儀或度量計測量壩體各部份之相對運動。

(1)伸長儀

(2)度量計包括測徑計、測微計及度量計。

4.基礎及壩基變形測量設備：測量壩體與壩基或壩墩相關移動變形情形；有關儀器有多點式伸長儀、基礎變位儀、隧道式度量計。

5.結構變形測量設備及系統：結構物之垂直、水平、旋轉等型之移動測量。有關儀器有擺線儀、傾斜計、測量技術。

6.上頂力測量系統：測量由於流量所產生壩底之上頂水壓力，上頂力測量系統主要為管路系統及壓力計。

7.排水廊道及滲流監視系統：壩底之滲流量及排水系統之流量測量，其設備包含量水堰、量桶等。

8.爆破監測設備測量施工時，爆破對於壩安全之影響。

## 七、目測檢測

定期性的目測檢視是一種讓水壩所有者能確保結構物的安全及延長壽命的最經濟之方法。目測檢視是一種按步就班的檢視程序；可使一個受過訓練的人員，對於水壩做一個正確的評估報告。這檢視方法包括有小心地檢查結構表面的所有部份，檢視所需的設備也不貴，並且檢視通常可在一天內完成。

在討論檢視的主要內容之前，讓我們先談檢視時所須的設備和檢視時所應記錄下來的各種結果。

### (一)檢視設備

常用之目測檢視設備有記錄簿、鉛筆、手式水平儀、照相機、

錄音機和錄音帶、雙筒望眼鏡、探測桿、安全帽、皮尺、手電筒、敲錐桿、圓鋤、敲石鎚、水桶、馬錶、除蟲噴劑、標幟旗和標幟樁、雨鞋（防水鞋）。

## (二)需記錄之觀察項目

目測觀察是讓水壩所有者知道該水壩的情況；一旦有任何問題開始出現，能立刻知道該問題發生的地點與影響之範圍。在每一次檢視後，能有一個正確且詳細的檢視結果之描述，方可與以前檢視之結果來做合理有意義的比較。經由所有需要量測和詳細描述的記錄項目，方可描繪出一個水壩目前情況的正確景象。這些項目可分為三個部分。

- 1.地點：有問題的地區或破壞範圍，務必要有正確的描述，方能對該問題區做正確的評估。問題地點的確實位置如距壩身之水平距離或距壩趾之上或壩頂之下的垂直距離各為多少，均須記錄下來。若問題地區在出水口或溢洪道部分，則類似的位置記錄也要記下。
- 2.範圍：對於可能有問題之區域的長度、寬度、高度（或深度），一定要登記下來。
- 3.描述：簡明詳盡的描述是必要的；部分之描述項目如下所示：
  - 排水量。
  - 點或面的滲漏量。
  - 水中浮載物的顏色與數量。
  - 混凝土已風化（分解）的深度、長度及變形和裂縫的深度。
  - 該區是濕、潮濕或呈飽和。
  - 保護工作是否適當。
  - 坡度是否太陡。
  - 風化（分解）之速度是快或慢。

## (三)檢視觀察結果的判斷

週期性的檢視觀察記錄可描繪出水壩運作的情形，故正確的量測與仔細的讀數，將可發現微小的變化，這些變化可將水壩情況，明顯的表現出來，讓水壩所有者能由報告中所顯示的趨勢，早日注意可能會危及壩身安全的問題地區。

檢視後應立刻將該次之報告與以前的報告互相比較，看看是否有任何情況、讀數或趨勢會顯示有可能擴大的破壞發生。當明顯的變化發生時，應仔細檢查水壩之設計藍圖，察看變化是否安全合理。如果發現有可疑的變化或趨勢時，檢視人員不可隱瞞，應立刻與政府水壩安全工程師檢視小組或專業工程師連繫。專業工程師則必須依情況來決定進一步的措施，如增加監視系統或對該情況做一次徹底的調查。這個作業程序可幫助確保水壩的安全性、安全操作及延長水壩的壽命。

## 八、緊急應變計畫與措施

(一)目標：緊急應變計畫乃是當水壩面臨潰決的威脅時，所做的應變過程，其目標如下：

- 1.避免生命的損失。
- 2.減輕財產的損害。

防止生命財產損失的最佳途徑乃是避免大壩的潰決。因此如何防止大壩的潰決乃是吾人強調的重點。

(二)責任：水庫所有者需負責制定此緊急應變計畫，而提供每位相關人員並協調緊急應變行動。當接獲大壩有可能潰決之情況報告時，需立即動員執行此緊急應變計畫。

(三)計畫內容需求：

- 1.高災害風險度壩：當大壩突然潰決將造成生命損失者。政府公共安全主管部門需持有此類大壩之緊急應變計畫。此計畫需包括洩洪淹沒區內居民之緊急疏散方案。
- 2.中災害風險度壩：當大壩突然潰決將造成大規模財物損害，

但不致有生命損失者。因水庫所有者必需對大壩潰決造成的財物損失負起責任，故書面的應變計畫應當提出所有者所需負起之責任，而此計畫通常不包括人員之疏散。

3.低災害風險度壩：當大壩突然潰決時，除了壩體結構物的破壞外只造成小規模的財物損失。擬定一保全方案以避免過多的重建費用。

#### (四)計畫執行結果：

迅速且確實的緊急應變計畫能提供下游居民足夠且有效的疏散警告時間，大壩潰決後的大災難將可避免。

一個緊急應變計畫的制定需要許多團體及個人的合作。下述名單皆需參與此計畫：

大壩所有者、設計單位、施工單位、下游地方官員、當地警察及消防單位、公路單位、工程施工承包商、新聞單位、醫院及直升機服務機關。

#### (五)應變措施

妥善的緊急計畫事前應沉著觀察各項情況，以最迅速之方法報告層峰，再依照奉示或權責，指揮部屬採取必要措施。

1.災害發生前應作下列措施。

- (1)勸導可能被水淹沒之危險地區內居民迅速疏散。
- (2)選擇指定適當臨時避難收容所。
- (3)通知工程技術人員及工人，準備待命搶修。
- (4)在危險地區指派巡邏，及早發現危機跡象。

2.災害發生時應作下列措施：

- (1)集中人力、物力搶救災害。
- (2)災民及傷患分別護送至臨時避難所或診療所治療。
- (3)商請當地政府及軍警單位協辦有關事項。

3.災害發生後應作下列措施：

- (1)迅速調查災情，作成記錄報告上級。
- (2)儘速恢復各結構物之功能及正常運轉。
- (3)清除輸水路及溝渠之污泥、坍方及輸水，交通道路之恢復與災區環境清理。
- (4)撫慰災民及接受申請救濟。
- (5)洽請當地政府及有關單位處理善後事宜。

## 九、實地觀摩

本次研習，墾務局共安排四個實地觀摩行程，分別為：Horseteeth Dam、Echo Dam、Canyon Dam 及 Hoover Dam，其中 Horseteeth Dam 及 Echo Dam 為土石壩，Canyon Dam 及 Hoover Dam 則為混凝土拱壩。

Horseteeth Dam 位於丹佛市近郊，離該市約一小時車程，該壩建於一九三〇年代，其基礎係由石灰岩組成，岩盤之走向為向壩下游面傾斜，由於石灰岩地質長年累月被滲透水浸泡分離，順層理沖帶至下游，以致於上游壩腳附近形成孔穴 (sink hole)，危及大壩安全。

墾務局目前進行改善工程中，其工法為於壩下游坡面鋪蓋排水濾層，並增設戽台 (berm)，其高度至飽和帶稍高，另於大壩中心線附近增加一道混凝土截水心牆，其基礎亦加強灌漿，孔穴全數填滿，又適當地點佈置觀測井及水壓計等，以便將來隨時了解壩體運作情形。該工程將於二〇二〇年中完成。

Echo Dam 完成於一九二〇年代，為一均質土壩，由於沒有心牆之設置，目前下游坡面已呈飽和情形，另其溢洪道混凝土亦因鹼化嚴重，龜裂情形相當厲害，墾務局於壩下游面埋設水壓計、集水井等加強觀測滲漏情形，將列入計畫擇期進行改善。至於 Canyon Dam 及 Hoover Dam 均為混凝土拱壩，目前營運情形正常，壩體亦甚安全。

## 伍、心得與建議

- 一、美國轄內水庫繁多，其管理權屬亦頗為廣泛，且大部分均為私人營管之水庫，而甚多水壩之興辦年齡均超過五十年以上，因此對於大壩安全及其操作維護有必要積極訂定法規，並成立客觀評估小組，對所有水壩作安全複核工作，其需補強者，亦應編列足夠經費，即時處理，以減少因災害所導致大量社會成本之付出。
- 二、台灣地狹人稠，河川坡降陡峻，多數水壩下游均有稠密建築及頻繁人類行為，萬一發生潰壩，所造成之災難將遠大於美國所可能發生者，故有關水壩之安全檢查及操作維護更形重要，雖然相關法規已有訂定，唯如何落實執行？實乃重要課題；例如日月潭水社壩壩頂目前仍允許重型車輛行駛，另為觀光需要，於壩上游縱面施設混凝土腳踏車道，該壩體下游面則發現滲透水類似飽和情形，確需儘速處理，以避免可能導致之災害。
- 三、水壩平時之操作檢測應予落實，以免發生狀況而無法收拾，例如苗栗明德水庫於本年颱風期間即發生溢洪道閘門無法開啟之危險情況，還好當時降雨之逕流尚能由其他閘門排除，否則後果不堪設想。
- 四、水庫洩洪應遵照操作規限執行，以免因錯估進水量而違背操作規定操作，導致下游河川兩岸造成淹水災害。
- 五、水庫管理單位之轄管範圍僅達淹沒區以下，至於以上廣大集水區如何落實經營管理，相關法規，如水土保持法之釐定應該明確。
- 六、部分離槽水庫如南化水庫其水庫與進水口分由不同單位負責管理，由於成本考量等原因，兩單位對取進水時機無法密切配合，可能浪費寶貴水資源，故管理權責單一化應設法早日落實。

- 七、水壩完成後，其蓄水時機初次蓄水、漸穩定及穩定三階段，初次蓄水時危險度高，應特予注意外，有關老舊水庫如蘭潭，烏山頭水庫等，由於年齡已大，應特別注意滲漏情況，並加強觀測檢視。
- 八、每座水庫均有管理單位，除注意水庫營運外，對於設施安全之檢視、檢測及分析評估人員均應加以訓練，俾能勝任，毋須處處仰賴民間技師或顧問公司。
- 九、目前每五年對水庫設施進行一次安全複核，唯對部分情況特殊之水庫如仁義潭水庫係興築於八掌溪舊河道及新山水庫其壩墩之前即有滲漏等其評估期程可予縮短，有關改進方案之效果如何？亦宜於完成後定期進行評估。
- 十、由於九二一地震影響，中部地區如大甲溪水力開發計畫遭受土石淹沒之機率大增，如何有效處理？及其最上游德基水庫及其淹沒區幾乎未遭受九二一地震之任何影響，建議可進行專案研究，另中部地區其他水利開發計畫均應以土石可能造成之影響作為重要之評估準據。
- 十一、目前水庫管理人員部分均非工程人員，對水庫諸元之認知或許有限，除應加強訓練外，將來出國研習可多指派實地從事現場操作觀測人員參加。
- 十二、出國人員之語言能力應予加強，如無英文聽、說能力，縱使指派出國研習，效果仍屬有限，故可於甄選時將語言能力列入考量，已獲甄選人員，必要時要求自行訓練。

## 陸、附圖



Horseteeth Dam 補強（下游坡增設 berm）





Horseteeth Dam 修補 (近照)



Echo Dam 溢洪道側牆混凝土龜裂情形



Echo Dam 大壩下游面簡易滲漏水量測設施



Canyon Dam 拱壩施工情形相當完美



Canyon Dam 無閘門溢洪道



Hoover Dam 由下游往上游全照



Hoover Dam 塔式取水口