

出國報告（出國類別：開會）

2013 年國際大壩技術研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：營建處處長 陳蒼賢

派赴國家：美國

出國期間：102 年 8 月 11 日至 102 年 8 月 18 日

報告日期：102 年 10 月 14 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：2013 年國際大壩技術研討會

頁數 11 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳蒼賢/台灣電力股份有限公司/營建處/處長/ (02) 23666920

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：102 年 8 月 11 日至 8 月 18 日

出國地區：美國

報告日期：102 年 10 月 14 日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

國際大壩委員會(International Commission on Large Dams, ICOLD)成立於 1928 年，為一非政府之國際專業組織，成立之宗旨為提供有關大壩工程之知識與經驗交流平台，以確保大壩在施工與營運階段能符合經濟、效率及環境永續之目標。目前有超過 90 個國家的委員會加入，個人會員約 10,000 個。ICOLD 第 81 屆年會及研討會，2013 年 8 月 12 日至 8 月 16 日於美國華盛頓州西雅圖市舉辦，主辦單位為美國大壩協會(U. S. Society on Dams)。研討會主要內容包括 1. 大壩延壽策略 2. 老舊大壩設施管理 3. 大壩安全與風險管理 4. 先進監測系統 5. 大壩除役 6. 水力發電發展等六項議題，另主辦單位亦安排水利設施技術參訪。

本公司部分水壩已完工運轉多年，部分材料已出現老化、甚至劣化現象，如何強化監測系統，確保大壩安全，進而透過延壽技術延長使用壽齡，為當今重要課題。另部分水庫已面臨嚴重淤積問題，清淤與防淤策略亦須審慎探討，以發揮水庫原有功能。透過本次研討會期能吸取先進國家之技術與經驗及未來發展，供本公司壩工技術與水庫營運之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

摘要

國際大壩委員會(International Commission on Large Dams,ICOLD)成立於 1928 年，為一非政府之國際專業組織，成立之宗旨為提供有關大壩工程之知識與經驗交流平台，以確保大壩在施工與營運階段能符合經濟、效率及環境永續之目標。目前有超過 90 個國家的委員會加入，個人會員約 10,000 個。ICOLD 第 81 屆年會及研討會，2013 年 8 月 12 日至 8 月 16 日於美國華盛頓州西雅圖市舉辦，主辦單位為美國大壩協會(U.S.Society on Dams)。研討會主要內容包括 1.大壩延壽策略 2.老舊大壩設施管理 3.大壩安全與風險管理 4.先進監測系統 5.大壩除役 6.水力發電發展等六項議題，另主辦單位亦安排水利設施技術參訪。

本公司部分水壩已完工運轉多年，部分材料已出現老化、甚至劣化現象，如何強化監測系統，確保大壩安全，進而透過延壽技術延長使用壽齡，為當今重要課題。另部分水庫已面臨嚴重淤積問題，清淤與防淤策略亦須審慎探討，以發揮水庫原有功能。透過本次研討會期能吸取先進國家之技術與經驗及未來發展，供本公司壩工技術與水庫營運之參考。

目次

目錄

一、目的.....	3
二、過程.....	3
(一)出國行程紀要.....	3
(二)日本水庫淤積處理經驗與發展.....	3
(三)改善大壩排洪能力.....	5
(四)大壩除役.....	7
(五)中國大陸近年水力電源開發.....	7
1.溪洛渡(Xiluodo)水力發電計畫.....	7
2.向家壩(Xiangjiaba) 水力發電計畫.....	7
3.錦屏(一) (Jinping-I)水力發電計畫.....	7
4.糯扎渡(Nuozhadu)水力發電計畫.....	7
5.小灣(Xiaowan)水力發電計畫.....	7
(六)技術參訪.....	7
(七)Trapezoidal CSG Dam.....	9
1.合理化設計：.....	9
2.合理化材料：.....	9
3.合理化施工：.....	9
三、心得及建議.....	10
附錄(電子文書).....	11
附件一、International Commission on Large Dams 81st Annual Meeting Symposium	
附件二、Dams of the United States 2013	
附件三、Dam Engineering 1988	
附件四、Achievements and Advancements 2013	

本文

一、目的

國際大壩委員會為目前全世界有關大壩技術領域最具規模之非政府國際專業組織，提供相關知識與經驗之交流平台，第 81 屆年會及研討會於美國華盛頓州西雅圖市舉辦，研討會內容廣泛，包括老舊大壩管理及延壽，大壩安全與風險管理等六大議題。由於本公司大部分水壩已完工運轉多年，混凝土等材料逐漸老化，加上氣候變遷導致水文與地形、地質等條件惡化，部分水庫另面臨嚴重淤積問題。大壩之安全評估與風險管理及延壽策略，為當今迫切之課題。吸取先進國家之經驗及了解相關技術之發展，為參加本次研討會之主要目的。

二、過程

(一) 出國行程紀要

- 8 月 11 日 抵西雅圖
- 8 月 12 日~ 8 月 13 日 技術委員會及青年工程師論壇
- 8 月 14 日~ 8 月 16 日 研討會
- 8 月 17 日~ 8 月 18 日 西雅圖~台北

以下就日本水庫淤積處理經驗與發展、改善大壩排洪能力、大壩除役、中國大陸近年水力電源開發、技術參訪及日本 Trapezoidal CSG Dam 之發展等議題摘要說明如下：

(二) 日本水庫淤積處理經驗與發展

全日本高度超過 15 公尺的壩總共約 3,700 個，由於對淤積問題的廣泛認知，因此從 1980 年開始，規定蓄水容量超過 1 百萬立方公尺者每年須向官方報告水庫淤積情形。根據這些資料可估計區域性或全流域的淤積情況，包括總庫容損失及年減速度，並據以選擇適當的處理對策。近年日本中部地區(Chubu region)水庫淤積嚴重，平均淤積率達 32%，日本政府已積極進行水庫淤積管理，以維持水庫功能，延長水庫壽命，並減緩對下游河道環境之不利影響。日本水庫淤積管理基本上可分為 3 個步驟：

1. 減少土石流入水庫：興建潛壩等控制河道侵蝕及在水庫末端興建攔砂壩，並定期清理土石，資源再利用，或運至水庫下游河道暫時放置，再利用自然洪水沖散。
2. 導引土石避免淤積：於水庫上游興建繞道(bypassing)排砂隧道，此法成本高但具有不必降低水庫水位，不會減少水庫蓄水量；另排放土石的速度相較於沖淤為慢，故對下游河道的環境影響較小。Nunobiki 壩為日本第一個採用繞道排砂，最近 Asahi 壩及 Miwa 壩排砂隧道的的完成更驗證繞道排砂的效果，目前正在興建排砂隧道的有 Matsukawa 壩及 Koshibu 壩。
3. 清除水庫淤積物：水庫上游段使用機械設備開挖，水庫中、下游段則採用抽泥設備，兩者所清運的土石皆予適當處理及再利用。另一種方法為沖淤(flushing)或排淤(slucicing)，利用降低水庫水位所產生之牽引力(tractive

force), 或利用洪水末期之流量將水庫內之淤積土石隨水流一起經由壩底之排砂道排至下游。

4. HSRS(Hydro-suction Sediment Removal System) :

由於上述幾種處理方法在成本或使用條件上受到某種程度的限制，諸如浚挖水位下之淤積物，運輸前須先去其水份，加上運輸與棄置，成本甚高。沖淤及排淤雖具高度排淤效果，但兩者均將造成水位急降，影響水資源供應。繞道排砂則因會影響水庫蓄洪功能，而降低其排砂效果。且上述方法均無法針對下游河道之環境情況，控制排放的土石數量、顆粒大小及密度。因此日本近年正在研發一種名為 HSRS 的新技術，其設定之目標有三：不必改變水庫之操作；利用水的排放速率控制淤積物的排放速率；系統設備小而經濟。此系統由進水塔(Intake Tower)、固定式吸引管(Fixed Suction Pipes)、移動式吸引管(Movable Suction Pipes)等三部分所組成，可在不必降低水庫水位的情況進行排淤。基本原理為將具有開孔之吸引管放置於淤積物頂部，吸引管之最上游端為進水塔，利用水庫上下游之水位差在吸引管內產生水流，當管內產生負壓時，淤積物便會被吸入管內並隨著水流排放至水庫下游。

此一技術目前已完成實驗室試驗並於 Tenryu River 進行現地試驗，主要目的有三：驗證系統功能與適用範圍；透過水工模型試驗建立設計準則；了解系統操作後，沉積物之凹洞(pocket)形成過程及可能產生之問題。試驗結果顯示僅有水平向開孔之吸引管系統，系統試驗開始後僅 20 分鐘即因吸引管吸引一定數量之淤積物後，在吸引管之上半部產生拱作用而無法繼續吸引淤積物。為改進此現象，遂發展新一代之 Vertical Multi Hole Suction Pipe (VMHS)。試驗結果證實對於砂質等凝聚力較差之淤積物可達到預期之排放效果，但為達到實際運用，仍須再進行大規模現地試驗，另亦須克服被流木等異物堵塞吸引孔及排放具凝聚力淤積物之問題。室內水工模型試驗示意圖如下圖， Figure 1 及 Figure 2 為 MHS Method，Figure 3 為新一代之 VMHS Method，Tenryu River 現地試驗如 Photo 1。

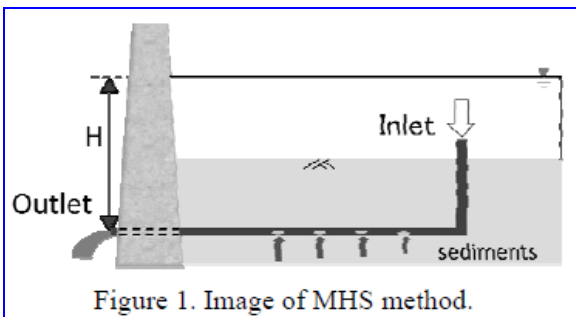


Figure 1. Image of MHS method.

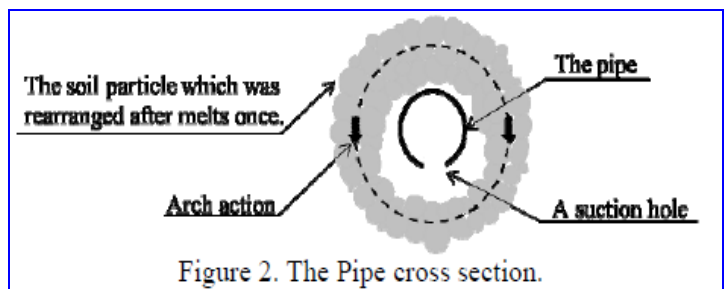


Figure 2. The Pipe cross section.

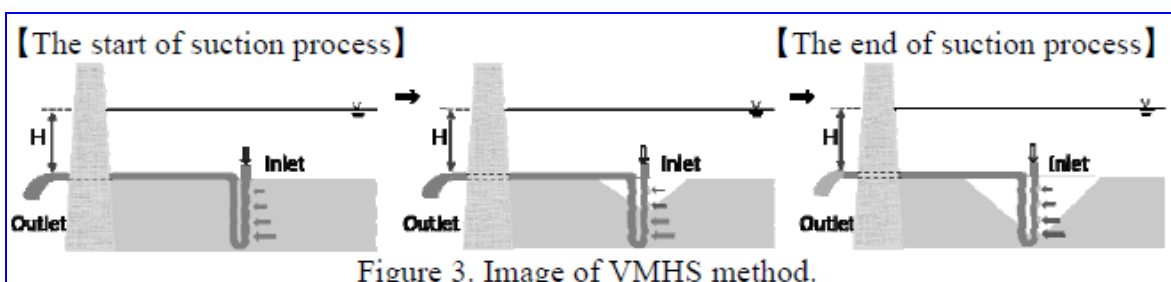


Figure 3. Image of VMHS method.

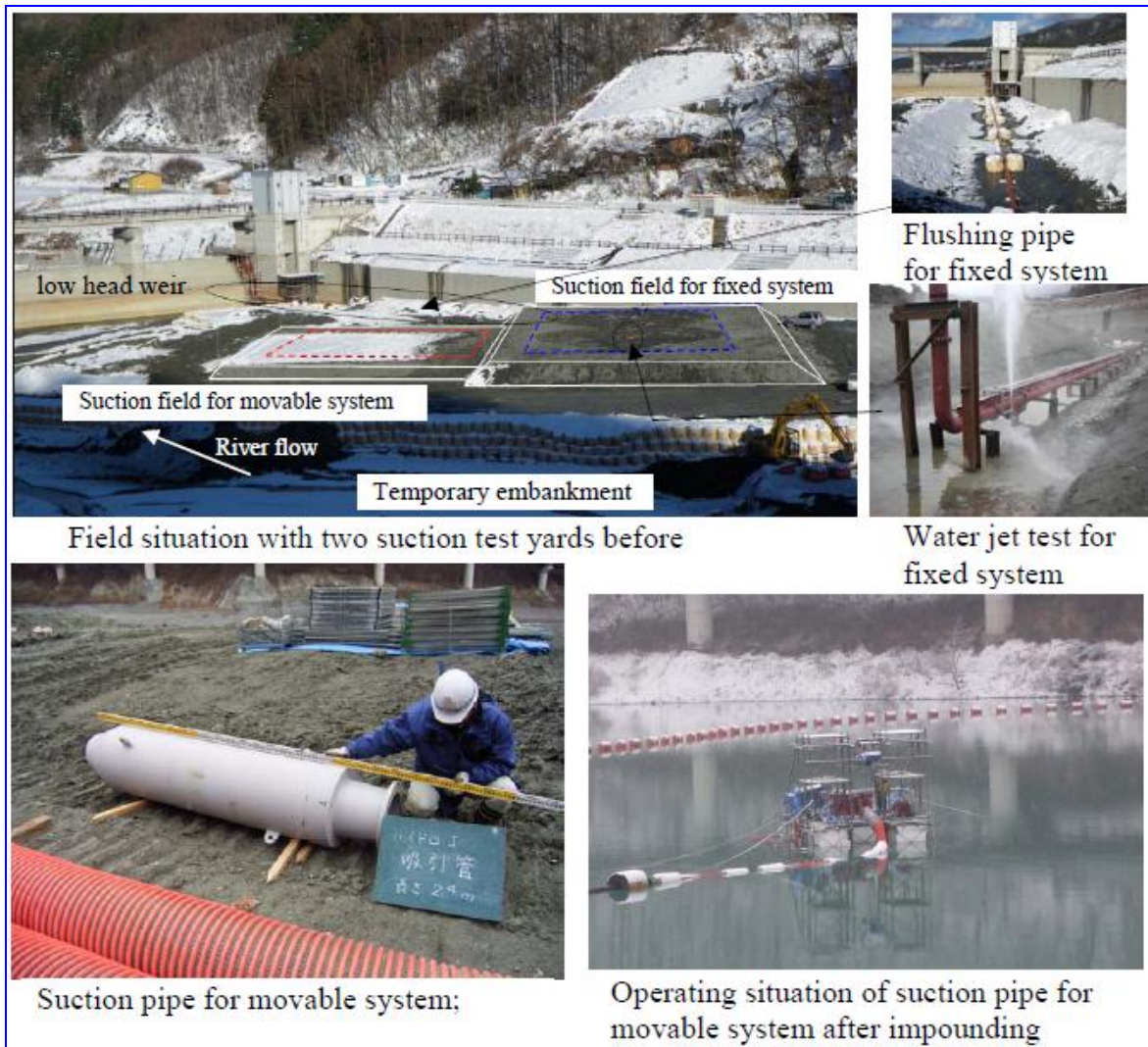


Photo 1. Tenryu River 現地試験

(三) 改善大壩排洪能力

日本的水庫因集水區小，降雨與地表逕流之時間間隔短，造成操作壩體閘門來排洪相當困難。因此，自 1976 年開始，幾乎集水區小且以防洪為目標興建的壩都沒有設計閘門，但仍有 170 座壩因係在 1976 年以前興建，而設有防洪閘門，而面臨以下問題：無法準確預估區域性暴雨後之水庫進流量，因此無法適當地操作閘門；閘門操作須要專業人員，增加營運成本；閘門須要定期維修或更新。基於以上理由，乃計畫將部分溢洪道改建為無閘門控制，惟改建為自然溢流時會因水頭降低而導致排洪能力下降，故必須採取以下配套措施：提高壩體高度；修正水庫容量使用分攤比率，例如在滿足供水需求的情況下，將部分供水容量轉移為防洪容量；水庫浚挖以增加防洪容量。Sugo Dam 溢洪道改建前、後之照片如 Photo 2，Photo 3；Tobe Dam 溢洪道改建前、後之照片如 Photo 4，Photo 5；Bibai Dam 溢洪道改建前、後之照片如 Photo 6，Photo 7；Figure 4. 為 Bibai Dam Outlet Equipment 結構變更之前、後。

另由於極端氣候之影響，造成水文情況大幅改變，致原設計之壩體排洪能力不足，須增設排洪設施。其方法包括增設或更新壩頂溢洪道、由壩身鑽設排洪道等。



Photo 2. Sugo Dam (改建前)



Photo 3. Sugo Dam (改建後)



Photo 4. Tobe Dam(改建前)



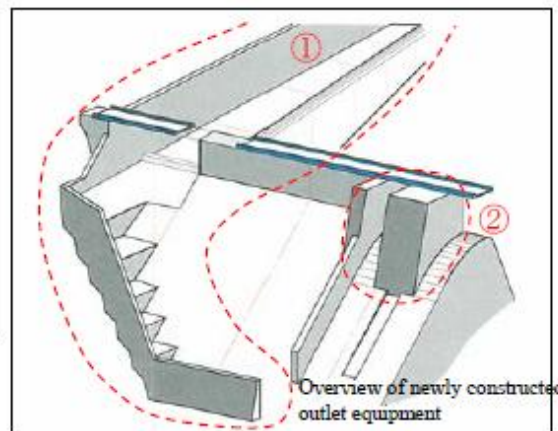
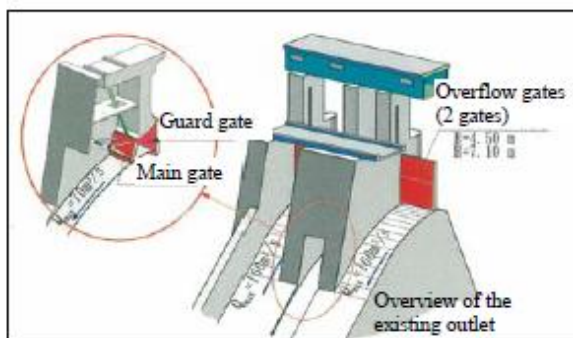
Photo 5. Tobe Dam(改建後)



Photo 6. Bibai Dam(改建前)



Photo 7. Bibai Dam(改建後)



- ① New emergency spillway and dam toe retaining wall
- ② Removal of crest gate (after removal, crest spillway)
- Removal and closure of orifice gate

Figure 4. Bibai Dam Outlet Equipment (結構變更之前、後)

(四) 大壩除役

大壩除役理由包括排洪能力不足、壩體安全、水庫嚴重淤積、生態問題、水質問題等。目前美國歷史上最大的大壩移除計畫為位於華盛頓洲奧林匹克半島 Elwha River 上 110 呎高的 Elwha Dam(1913 年完成)及 210 呎高的 Glines Dam(1926 年完成)，拆除工作於 2011 年 9 月開始，預定 2014 年 9 月完成，所須拆除費用約 3 億 5 千萬美元。拆除主要原因是大壩完成後，嚴重影響鮭魚的棲息環境。

(五) 中國大陸近年水力電源開發

1. 溪洛渡(Xiluodu)水力發電計畫

溪洛渡水力計畫，位於四川省與雲南省交界，為長江上游金沙江水力開發之一環，裝置 18 部水輪發電機組，單機容量為 770MW，總裝置容量達 13,860MW，年發電量為 640 億度，為世界第三大水力電廠，僅次於長江三峽水力電廠(22,500MW)及巴西 Itaipu 水力電廠(14,000MW)，2003 年開工，預定 2013 年及 2014 年運轉發電。

2. 向家壩(Xiangjiaba) 水力發電計畫

向家壩水力計畫，亦位於四川省與雲南省交界，與溪洛渡水力計畫同屬金沙江水力開發計畫。電廠裝置 8 部水輪發電機組，單機容量為 800MW，總裝置容量 6,400MW，年發電量為 308 億度，為中國第三大水力電廠，2006 年 11 月開工，其中 4 部機已於 2013 年 6 月運轉發電，全部工程預定 2015 年完工。

3. 錦屏(一) (Jinping-I)水力發電計畫

錦屏(一)水力計畫位於四川梁山雅礱江錦屏灣，廠內裝置 6 部水輪發電機組，單機容量為 600MW，總裝置容量 3,600MW，年發電量 160~180 億度，錦屏(一)壩為混凝土拱壩，壩高 305 公尺，為當今世界第一高壩。2005 年開工，2012 年 11 月 30 日蓄水，其中 2 部機已於 2013 年 8 月 30 日運轉發電，全部工程預定 2015 年完工。

4. 糯扎渡(Nuozhadu)水力發電計畫

糯扎渡水力計畫位於雲南省普洱縣，屬中國境內瀾滄江（湄公河）七個水力開發計畫之一，地下廠房內裝置 9 部豎軸混流式水輪發電機，單機容量 650 MW，總裝置容量 5,850MW，年發電量為 239 億度，為瀾滄江水力開發計畫裝置容量最大之水力電廠，另外糯扎渡壩高 261.5 公尺，為亞洲最高、世界第三高之堆石壩。本計畫於 2004 年開工，第一部機已於 2012 年 9 月併聯發電，預定 2014 年 9 部機組全數運轉發電。

5. 小灣(Xiaowan)水力發電計畫

小灣水力計畫位於雲南省南澗縣，亦為瀾滄江水力開發計畫之一，地下電廠內裝置 6 部 Francis 水輪發電機，單機容量 700 MW，總裝置容量 4,200MW，年發電量為 190 億度，2002 年 1 月開工，2010 年 8 月 6 部機組全部運轉發電，小灣壩壩高 292 公尺，為世界第二高拱壩。

(六) 技術參訪

研討會期間在主辦單位安排下參訪位於西雅圖東邊約 30 英哩的 Snoqualmie Falls 水力電廠，Snoqualmie Falls 高約 270 呎，此電廠為 Puget Sound Energy 公司最具歷史的電廠，完工運轉已超過 100 年，同時也是全世界

第一座全地下式電廠。Snoqualmie Falls 水力電廠包括 2 座廠房，第 1 座廠房為地下電廠，位於 Snoqualmie Fall 上方，地表覆蓋約 260 呎，1898~1899 年興建，共裝置 5 部機組，總裝置容量 11.9MW。第 2 座廠房為半地下電廠，位於 Snoqualmie 瀑布下游約四分之一英哩，1911 年完成，1957 年擴建，共裝置 2 部機組，總裝置容量 32.5MW。Snoqualmie Falls 水力電廠總裝置容量 44.5MW，約可供應 33,000 戶家庭用電。參訪當時，正在進行機組更新及擴建工程，完工後總裝置容量增加為 54MW，約可供應 40,000 戶家庭用電。

值得一提的是，該電廠結合 Snoqualmie Falls 公園及休憩區成為西北太平洋最著名的觀光景點之一，每年吸引約 2 百萬名遊客造訪，公共設施除公園外尚有野餐區、觀景台、森林野生生物棲息地、登山步道、皮艇及獨木舟出發地等。



Photo 8. Snoqualmie Fall 地下電廠進水口

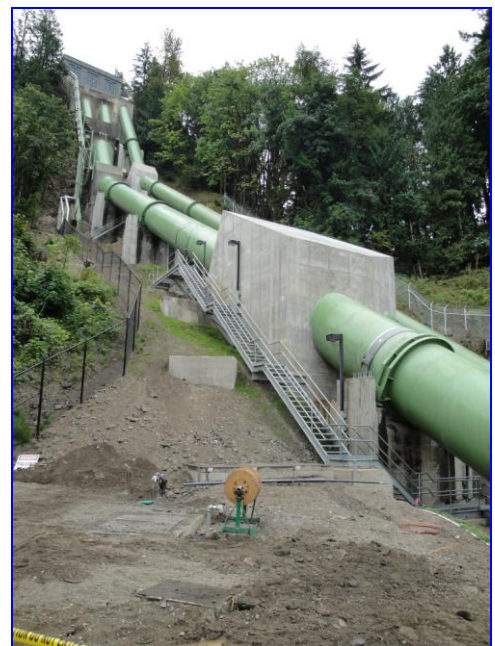


Photo 9. Snoqualmie Falls
半地下電廠壓力鋼管



Photo 10. 更新後拆下來之動輪

(七) Trapezoidal CSG Dam

Trapezoidal CSG Dam 組成材料為 cemented sand 及 gravel，最早使用在 1991 年 Nagashima Dam 上游施工圍堰的修復，利用挖土機將水泥、水及就近採取之河床料拌合後，以推土機鋪平，最後再以壓路機振動壓實，由於施工快速、成本低，1994 年至 2002 陸續使用於其他大壩之施工圍堰及攔砂壩等臨時性結構。為應用於壩體等永久性結構，2000 年完成 CSG Dam 之設計方法，並以此為基礎設計 Taiho Dam 之滲水控制結構及 Haizuka Dam 之副壩 Kawai sub-dam，並分別於 2004 年及 2005 年以 CSG 工法施工完成。在設計及施工過程中，並獲取 CSG 之物理性質、試驗方法、強度規範、品質控制等資料，供進行以 CSG trapezoidal dam 作為主壩之設計與施工。2007 年 9 月完成 Engineering Manual for Construction and Quality Control of Trapezoidal CSG Dams 之編訂，供興建全尺度壩(full-size dam)之依據。隨後於 2009 年~2010 年完成 Tobetsu Dam(體積 813,000m³，壩高 52m)，Kasegawa Dam(體積 68,000m³，壩高 29.3m)，2010 年~2011 年完成 Okukubi Dam(體積 339,000m³，壩高 39m)三座壩體之興建，且均於 1 年內完成施工。

Trapezoidal CSG dam 可以實現壩工科技追求的三大目標：合理化設計、合理化材料、合理化施工，茲別說明如下：

1. 合理化設計：

將壩體設計成適當之梯形狀，以降低壩體受力時產生之應力，進而降低壩體材料之需求強度，另對壩基河床質的規定亦較少，可以增加壩址選擇的彈性。Trapezoidal CSG dam 之標準斷面如 Figure 5。

2. 合理化材料：

因壩體材料之需求強度較低，材料的取得較容易，使用時只須將大石頭移除，不必如混凝土骨材 須經過分類、混合及篩洗。因此材料可於壩址附近取得，並利用簡易型拌合設備將其與水泥及水拌合，可大幅降低成本及環境負荷。

3. 合理化施工：

與 RCD(Roller Compacted Dam)工法類似，可使用卡車、推土機、壓路機等一般設備施工，施工快速。

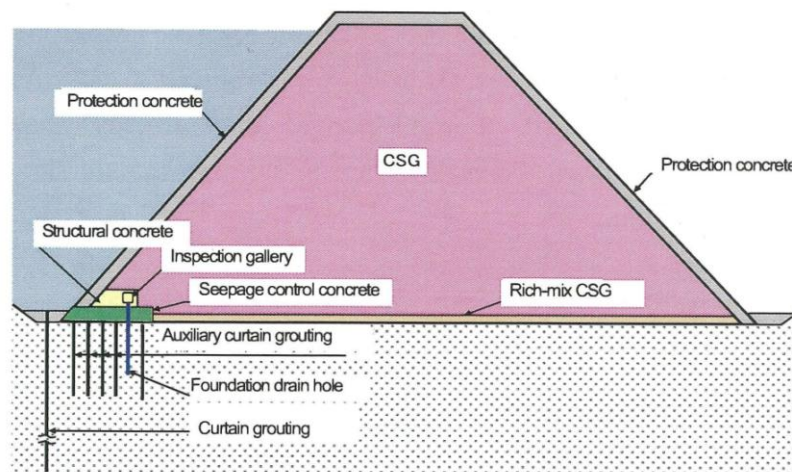


Figure 4. Trapezoidal CSG dam 之標準斷面

三、心得及建議

- (一)本公司部分水庫已完工運轉多年，老舊大壩之安全監測及設施管理為必須面臨之重要課題。透過延壽策略延長水庫使用壽命，除可降低投資成本外亦可達成節能減碳之效益。另外應加強水庫風險管理及風險評估包括監測、檢查、評估等工作，以確認潛在問題及所須補強方案，降低水庫之風險。
- (二)本省河川之地形環境與水文特性與日本相近，應可參考日本之作法建立水庫全流域的淤積情況，並據以選擇適當的處理對策。另外，日本近年積極研發之 HSRS 排淤技術，值得觀察其後續發展。
- (三)美國內政部墾務局正在進行一項水輪發電機最佳化系統之研發計畫，其目的為在不增加額外發電水量及降低電廠可靠度的條件下，提升多機組電廠之發電效率，研發成果可作為本公司水力電廠營運之參考。
- (四)Snoqualmie Falls 水力電廠結合附近瀑布公園及休憩區，並將更新後拆下來之動輪在公園內展示，成為著名的觀光景點，可作為本公司打造生態電廠的參考。
- (五)中國大陸水力資源豐富，近年仍積極開發水力發電，由於水力發電為自產之潔淨能源，建議於本公司財務結構改善後，適度開發較具經濟效益之水力資源。
- (六)ICOLD 為目前最具規模的國際大壩技術領域專業組織，本次年會及研討會超過 70 個國家，1,100 人參加，地主國美國參加人數達 320 人以上，中國大陸參加人數亦超過 100 人。台灣出席人數僅 3 人，且未成立相對應之大壩技術委員會，建議可結合產官學積極參與，以掌握國際壩工技術及營運管理之發展趨勢。

附錄(電子文書)

附件一、International Commission on Large Dams 81st Annual Meeting Symposium

附件二、Dams of the United States 2013

附件三、Dam Engineering 1988

附件四、Achievements and Advancements 2013