

出國報告（出國類別：實習）

大壩規劃及抽蓄電廠參訪

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：許琮敏

派赴國家/地區：日本

出國期間：113 年 9 月 23 日至 113 年 9 月 28 日

報告日期：113 年 11 月 13 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：大壩規劃及抽蓄電廠參訪

頁數 26 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

許琬敏/台灣電力公司/課長/(02)2366-6862

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113 年 9 月 23 日至 113 年 9 月 28 日

派赴國家/地區：日本

報告日期：113 年 11 月 13 日

關鍵詞：大壩、混凝土重力壩

內容摘要：(二百至三百字)

因應未來再生能源佔比提升，本公司規劃儲能以因應負載變動及夜尖峰供電需求等挑戰，而儲能設備技術以抽蓄水力最為成熟。電源開發處為辦理抽蓄水力開發，規劃水力抽蓄電廠及新建大壩蓄水，惟距本公司最近一次辦理規劃抽蓄水力電廠（明潭抽蓄）及堰壩（南溪壩）已逾 20 年。

今(113)年前往日本參訪奧多多良木發電所的變頻機組規劃；並前往京都大學拜訪角哲也教授，請教大壩工程事宜；同時參訪福井縣正在興建中的吉野瀨川壩及足羽川壩，以了解日本最新趨勢及技術。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

壹、 出國目的.....	5
貳、 出國行程.....	5
參、 參訪行程.....	5
一、 奧多多良木堯電所.....	5
二、 京都大學.....	9
三、 吉野瀨川壩.....	13
四、 足羽川壩.....	18
肆、 心得及建議.....	25

圖目錄

圖 1 拜訪奧多多良木發電所	6
圖 2 下池壩下游的朝來美術館及南國雕塑公園	7
圖 3 發電電動機改造前後的範圍	8
圖 4 發電電動機	8
圖 5 勵磁機室	9
圖 6 拜訪京都大學防災研究所角哲也教授	9
圖 7 川上大壩的設備配置圖	11
圖 8 打設設備配置圖	11
圖 9 全預鑄檢查廊道(虛線部分)	12
圖 10 將長期分割的工程調整成平面施工	12
圖 11 吉野瀨川壩完工後模擬圖	13
圖 12 大壩立面圖 (下游)	14
圖 13 大壩斷面圖	15
圖 14 吉野瀨川壩現場 (下游側)	16
圖 15 吉野瀨川壩施工照片 (下游側)	16
圖 16 吉野瀨川壩施工照片 (上游側)	17
圖 17 骨材儲存設備及混凝土製造等設備 (取自 youtube)	17
圖 18 骨材儲存設備外觀	18
圖 19 九頭竜川水系及足羽川壩位置圖	19
圖 20 足羽川大壩建設計畫範圍	19
圖 21 足羽川壩完工後模擬圖	20
圖 22 流水型壩操作示意圖	21
圖 23 大壩建設施工布置圖	22
圖 24 骨材製造設備及骨材儲藏設備	22
圖 25 骨材調整倉、配料廠和纜索起重機	23
圖 26 大壩立面圖 (上游側)	23
圖 27 從大壩左岸拍攝	24
圖 28 足羽川壩夏日夜遊活動海報	25

表目錄

表 1 行程表	5
表 2 奧多多良木發電所基本資料	6
表 3 大壩建設計畫進度	14
表 4 吉野瀨川壩相關數據	15
表 5 吉野瀨川水庫相關數據	15
表 6 大壩建設計畫進度	20
表 7 足羽川壩	21
表 8 足羽川防洪區	21

壹、出國目的

因應未來再生能源佔比提升，本公司規劃儲能以因應負載變動及夜尖峰供電需求等挑戰，而儲能設備技術以抽蓄水力最為成熟。電源開發處為辦理抽蓄水力開發，規劃水力抽蓄電廠及新建大壩蓄水，惟距本公司最近一次辦理規劃抽蓄水力電廠（明潭抽蓄）及堰壩（南溪壩）已逾 20 年，為了解最新趨勢及技術，故規劃本次赴日本參訪行程。

貳、出國行程

本次出國計畫共 6 天(含交通時間)，出國地點包含京都大學、朝來市的奧多多良木發電所、越前市的吉野瀨川壩及足羽川壩。行程如表 1：

表 1 行程表

日期	地點	機構	主題
9/23	去程		
9/24	京都	京都大學	拜訪京都大學角哲也教授，請教大壩工程事宜
9/25	朝來市	奧多多良木發電所	觀摩奧多多良木發電所之規劃設計
9/26	越前市	吉野瀨川壩	參訪正在興建中之吉野瀨川壩
9/27	越前市	足羽川壩	參訪正在興建中之足羽川壩
9/28	回程		

參、參訪行程

一、奧多多良木發電所

奧多多良木發電所位於兵庫縣朝來市，由關西電力公司管理，為一抽蓄電廠，上池水庫屬於市川水系，流入瀨戶內海；下池水庫屬於圓山川水系，流入日本海，上下池分屬不同流域，電廠參訪照片詳圖 1 及圖 2，電廠基本資料如表 2。

表 2 奧多多良木發電所基本資料

額定容量	1,932,000 kW (日本最大的抽蓄電廠)		
最大流量	發電:594cms；抽水:485 cms		
有效水頭	No.1 水路(1~2 號機):383.4m； No.2 水路(3~4 號機):383.3m； No.3 水路(5~6 號機):387.5m		
電廠控制方式	遠端遙控 (自 2023.07 改由大阪遠端遙控)		
商轉日期	1974.06.01		
各機組完工日期及裝置容量	1 號機	1974.06.01 (2019.07 更新為變頻機組)	303,000kW
	2 號機	1974.07.26 (2018.03 更新為變頻機組)	303,000kW
	3 號機	1975.06.26	303,000kW
	4 號機	1975.04.05	303,000kW
	5 號機	1998.06.19	360,000kW
	6 號機	1998.04.10	360,000kW



圖 1 拜訪奧多多良木發電所



圖 2 下池壩下游的朝來美術館及南國雕塑公園

(一) 機組擴建

奧多多良木發電所原本只有 1~4 號機組，後因應電力需求的增加和提高供電穩定性，另興建一條導水隧道及擴建 5 號機及 6 號機，於 1998 年擴建完成，兩部機裝置容量為 720 MW，擴建後總裝置容量 1932 MW，成為日本最大的抽蓄水力電廠。

(二) 1、2 號機組更新

原於 1974 年竣工的 1 號機和 2 號機為定頻機組，為增加調頻能力，2006 年 9 月開始進行將現有定頻抽蓄機組改為變頻的研究；2008 年 2 月完成「奧多多良木 1、2 號機組變速」研究；1 號機和 2 號機分別於 2018 年 3 月及 2019 年 7 月完成更新，由於受到地震影響，其實際完工日期比原本預計時程晚了約 4 年。

改造過程並非全面更換，而是考慮現有設備再利用，圖 3 為發電電動機改造前後的範圍，機組照片詳圖 4，改造後的變頻式機組可以通過改變輸出電壓和頻率，配合不同電力需求。

因應改為變頻機組，需要安裝勵磁設備；與興建全新地下電廠不同，在既有的地下電廠中為確保足夠空間，需要拓寬現有隧道，興建勵磁機房（詳圖 5）。

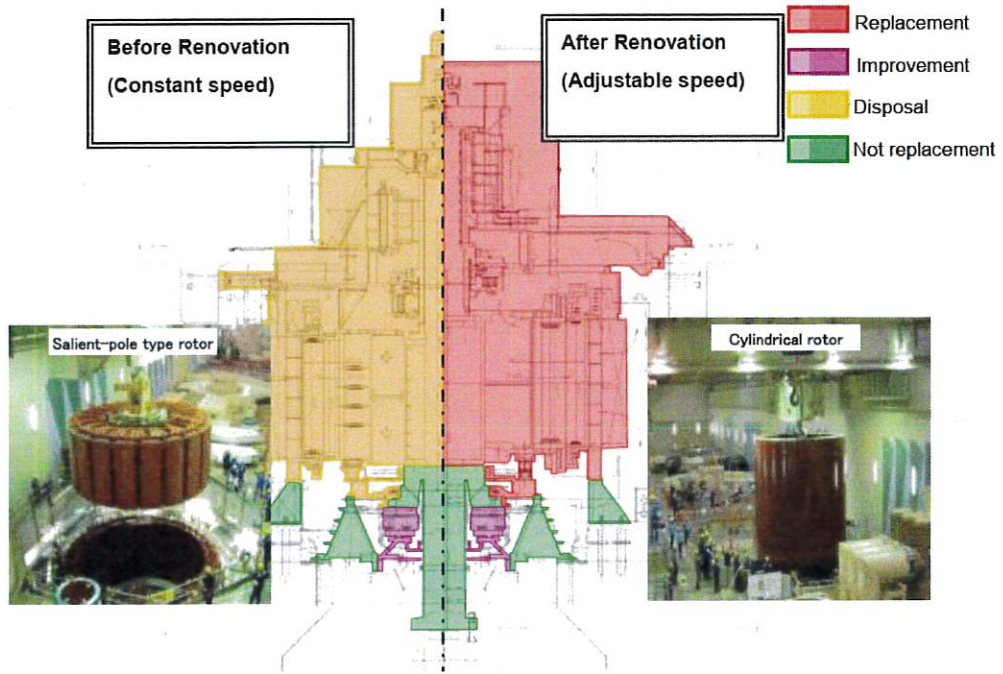


圖 3 發電電動機改造前後的範圍



圖 4 發電電動機



圖 5 勵磁機室

(三) 3、4 號機組更新

3 號機和 4 號機因為機組故障及老化，已停止運轉，目前刻正進行更新工程，更新後仍採用定頻機組，保留既有水輪機，僅更新電動發電機機。

二、京都大學

京都大學防災研究所成立於 1951 年，致力於災害理論的追求和防災科學建設相關的綜合研究和教育，本次前往拜訪角哲也教授(詳圖 6)，請教混凝土重力壩施工及了解日本最近發展趨勢。



圖 6 拜訪京都大學防災研究所角哲也教授

(一) 混凝土重力壩的施工方法

混凝土重力壩的施工方法傳統為柱狀施工方法，現在發展為面狀施工方法，主要差別在於混凝土配比及施工方式不同，在日本常見的面狀施工方法有 RCD (Roller Compacted Dam concrete)及 ELCM(Extended Layer Construction Method)。

傳統的柱狀施工方法，當一次澆注大量混凝土時，由於水化作用造成溫度升高，至混凝土冷卻到最終穩定溫度，在冷卻過程中收縮易造成混凝土容易開裂，考慮到裂縫控制與混凝土澆築能力的關係，採用垂直和水平接縫處劃分成塊（分區）澆注混凝土的方法。

RCD 及 ELCM 的混凝土配比特性為較低坍度、較低單位水泥含量；採用滾壓或震動器夯實的方式，逐層施作，能夠大面積連續施工；與傳統的柱狀施工方法相比，面狀施工方法具有施工上較簡易、施工環境較安全、工期較短、成本較低等優越性。

(二) 川上壩施工介紹

川上壩為混凝土重力壩，壩高 84 m，壩長 334 m，壩體混凝土工程量約 45.5 萬 m³，施工期間自 2017 年 9 月 21 日至 2023 年 3 月 31 日，自 2018 年 9 月開始基礎開挖工作，2019 年 9 月 20 日開始壩體澆築，澆築期間為 19 個月，於 2021 年 4 月 20 日完成壩體澆築工程。

本案的最大特色在於工期設定和施工量的平準化。從一開始就設定了以每月 4.5 公尺的速度進行 ELCM 施工，這是因為混凝土所需的骨材為外購，有每日 180 車次的骨材運輸量限制，除要有能應對峰值速度的儲存能力，且骨材須按計畫消耗，以抑制澆築的峰值速度。為了要同時實現快速和平準化這一個矛盾的目標，達到在工程量、人力等各方面都保持高度的穩定性，需要採用標準化的施工方法，包含設備配置計畫、澆築方法及混凝土澆築設備等。分享重點如下：

- 川上大壩的設備配置如圖 7 所示，透過提高塔式起重機的能力及採用最大容量的混凝土水桶，將所有澆築方式改為直接澆築，通過這種改變，完全取消了壩內的傾卸卡車運輸。通過將起重機大型化，可擴大作業半徑（圖 8）。



圖 7 川上大壩的設備配置圖

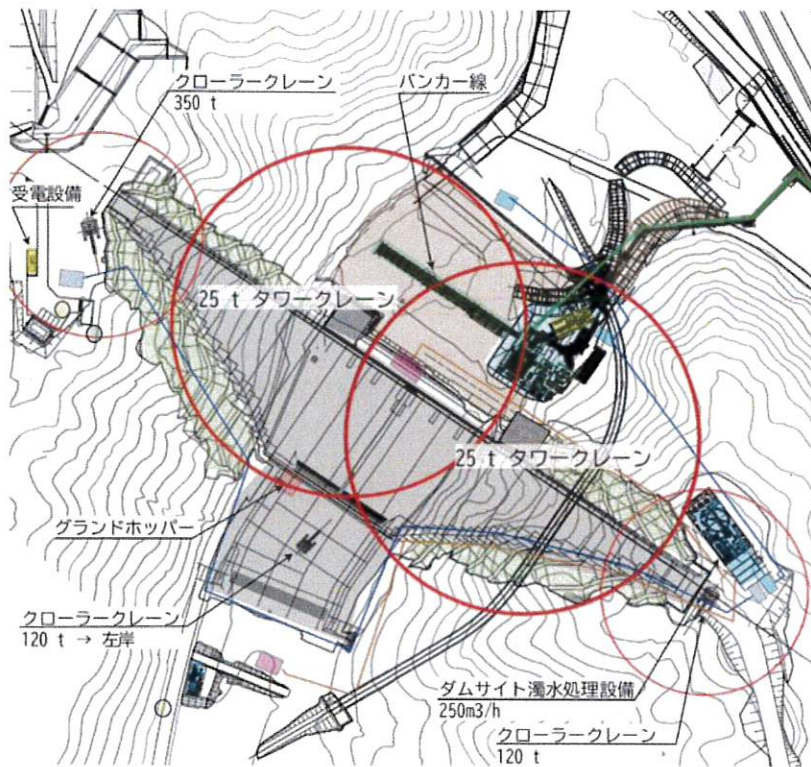


圖 8 打設設備配置圖

2. 有關檢查廊道的施工，考量確保品質、快速施工以及施工的標準化與自動化，採用全預鑄化（圖 9）。



圖 9 全預鑄檢查廊道(虛線部分)

3. 最初，大壩中間的 11 號區塊因放流管施工而被長期分割的工程，透過施工的標準化，將相鄰區塊的提升高度差設為 1 提升，得以保持平面施工（圖 10）。

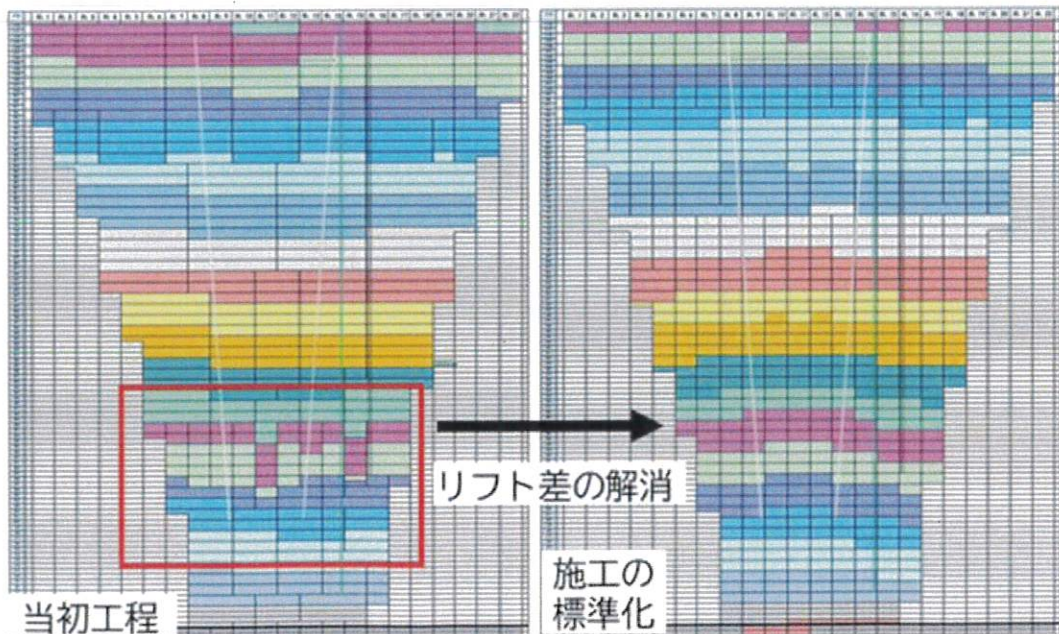


圖 10 將長期分割的工程調整成平面施工

4. 致力運用土木資訊模型（Civil Information Modeling, CIM），實現施工的合理化與標準化，在確定機械設備承包商後立即進行了細緻的施工協調，避免施工干擾，並透過預製鑄方式簡化施工，從而平整現場施工，設計圖的精確度提升，對於技術開發也發揮了有效性；透過與 CIM 連動的塔式起重機自動駕駛，實現了在任意地點澆灌混凝土和安裝預鑄產品。

三、吉野瀨川壩

（一）興建目的

福井縣目前有 20 座壩，其中的 2 座壩正在興建中，分別為吉野瀨川壩(縣級)及足羽川壩(國家級)。在吉野瀨川流域，1965 年、2004 年的颱風和 2006 年的暴雨導致許多房屋和農田大面積受損，吉野瀨川壩是為了減少吉野瀨川流域的洪水災害而設計的防洪大壩，建設單位為福井縣政府；吉野瀨川壩完工後模擬圖詳圖 11。

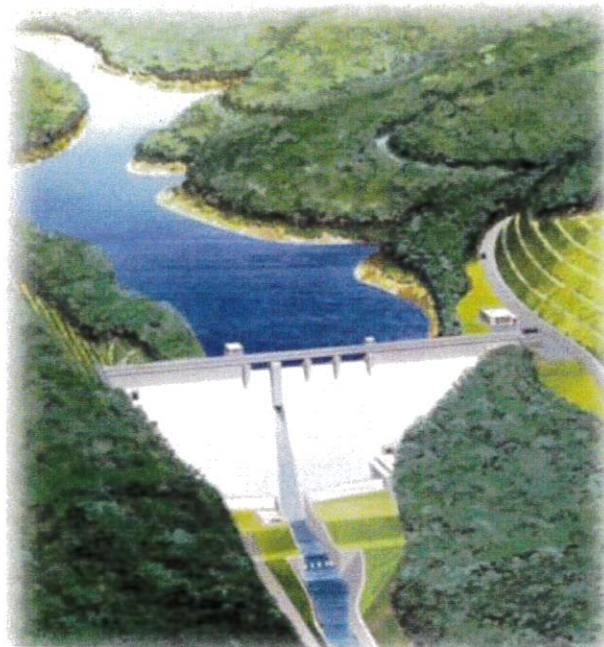


圖 11 吉野瀨川壩完工後模擬圖

（二）計畫進度

大壩建設計畫進度如表 3 所示；大壩工程部分，自 2021 年

3 月開工，於 2023 年 4 月開始澆築壩體混凝土，截至 2024 年 8 月，已完成 35m 高度的澆置(共 9.7 萬 m³；約完成澆置總量的 70%)，預計 2026 年完工。

表 3 大壩建設計畫進度

日期	主要工項
1986 年	實施計畫研究項目選定
1991 年	建設工程選定
2002 年	補償標準確定
2007 年	完成 37 戶被淹沒房屋搬遷
2018 年 8 月	更換縣道開通
2021 年 3 月	壩體施工開始
2023 年 4 月	首次壩體混凝土澆築
2023 年 10 月	吉野瀨川壩奠基儀式

(三) 大壩基本資料及布置

吉野瀨川壩的布置如圖 12 及圖 13 所示，相關數據詳表 4 及表 5；大壩高度 58 m，壩頂長度 190 m，規劃最大防洪能力 175cms，採無閘門自然溢流設計；大壩下游用水包含農業用水及河川生態用水，利用排放給下游之水量及落差，在壩下游側右岸興建小水力發電機組，可提供 360 kW 的出力，發電設備的建設單位為私人公司；考量來砂量少，大壩本身不設排砂道，營運後會以機械清淤的方式清運，以確保庫區容量。

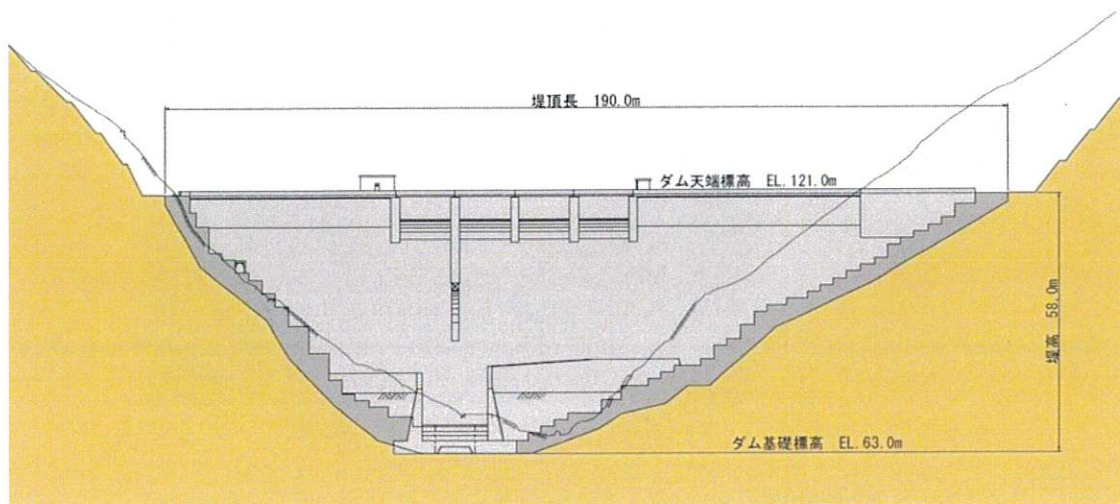


圖 12 大壩立面圖 (下游)

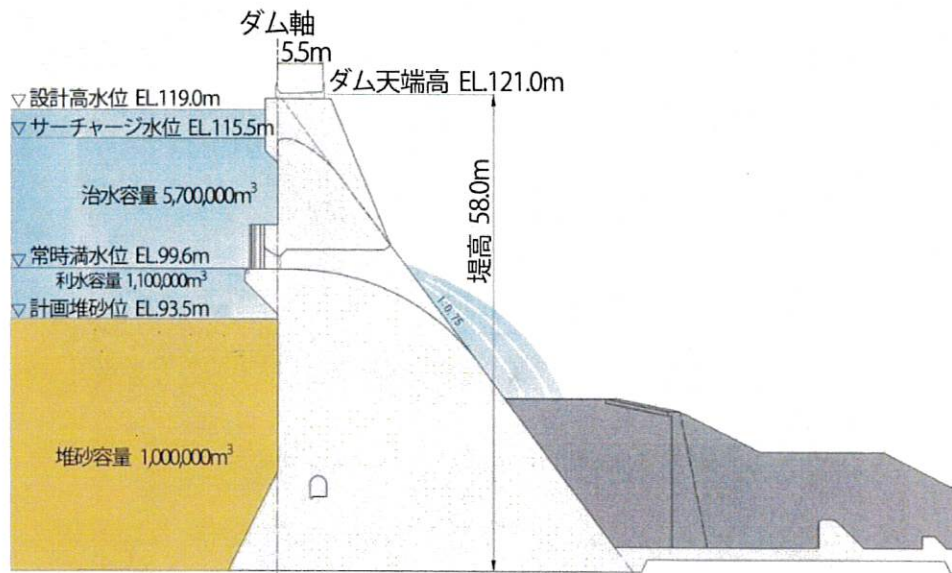


圖 13 大壩斷面圖

表 4 吉野瀨川壩相關數據

建造目的	防洪
型式	混凝土重力壩
壩高	58m
壩頂長度	190m
壩體積	137,170 m ³
壩頂高程	EL. 121 m
基礎岩盤高程	EL. 63 m

表 5 吉野瀨川水庫相關數據

集水面積	24 km ²
滿水位面積	0.51 km ²
設計洪水水位	EL. 119m
常時滿水位	EL. 99.6m
總蓄水容量	7.8*10 ⁶ m ³
防洪能力	5.7*10 ⁶ m ³
未指定用水量	1.1*10 ⁶ m ³
產砂量	1*10 ⁶ m ³

(四) 大壩建設施工布置

大壩現場照片詳圖 14~圖 16；砂石採外購，在大壩上游規劃骨材儲存設備（詳圖 17），使用傳輸帶將骨材分類到儲存倉；生產混凝土時，使用皮帶輸送機將材料運輸到混凝土製造設備；大壩澆築時，將製好的混凝土放入桶內（最大承載量 6m³），以塔機吊運至壩體澆築。



圖 14 吉野瀨川壩現場 (下游側)



圖 15 吉野瀨川壩施工照片 (下游側)



圖 16 吉野瀨川壩施工照片 (上游側)



圖 17 骨材儲存設備及混凝土製造等設備 (取自 youtube)

(五) 大壩混凝土裂縫防治對策

日方分享大壩混凝土裂縫防治對策:

1. 預冷: 預冷骨材溫度，透過骨材儲存設備外圍以黑色布幕

覆蓋，並澆水降溫；內部可利用水冷式冷水機對骨材進行冷卻；在拌合時，採用冷卻混合水。

2. 加入 AE 劑延遲凝結。
3. 採夜間澆注，降低溫度；澆注時，每一昇層的高度減半，例如由 1.5m 降為 0.75 m。



圖 18 骨材儲存設備外觀

四、足羽川壩

(一) 興建目的

福井市區被九頭竜川、足羽川和日野川三條河流包圍 (詳圖 19)，這三條河流的洪水位均高於福井都會區的洪水位，如果堤防破裂，將會造成嚴重的損害。為減少九頭竜水系下游地區的洪水災害，國土交通省和福井縣制定了改善計畫，包含興建足羽川壩、導水隧道以及分水堰設施，導引其他流域的四條河流部分洪水(水海川、足羽川、割谷川、赤谷川)進入足羽川大壩 (詳圖 20)。目前正在興建中的工程有足羽川壩、水海川導水隧道及其分水堰設施，足羽川壩完工後模擬圖詳圖 21，完成後將是目前日本最高的流水壩。

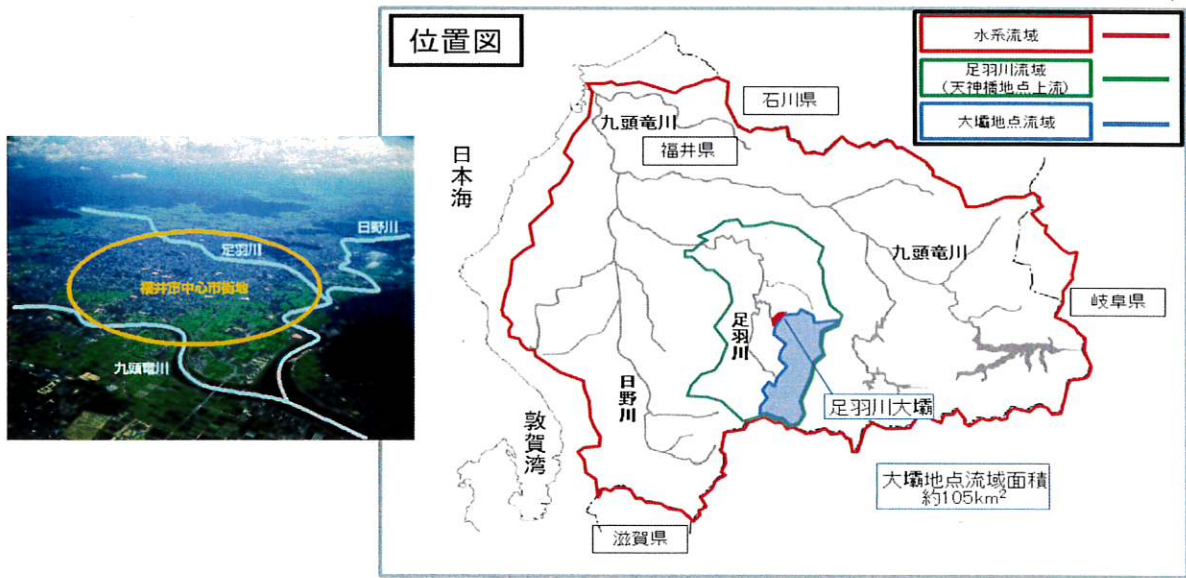


圖 19 九頭竜川水系及足羽川壩位置圖



圖 20 足羽川大壩建設計畫範圍



圖 21 足羽川壩完工後模擬圖

(二) 計畫進度

本計畫自 1983 年開始，主要建設計畫進度詳表 6；隨著 2004 年福井大雨的發生，工程得以進展，自 2014 年開工，預計 2029 年竣工，耗時約 16 年。其中，與大壩工程相關的進度：2018 年 3 月開始壩右岸導流工作，施作 450m 長的導水隧道，2020 年 6 月完成導流工作；地基挖掘工程於 2022 年 10 月完成，自 2022 年 11 月開始大壩混凝土澆注工程，預計 2027 年完成，接著 1 年的淹沒試驗，預計於 2029 年完工。

表 6 大壩建設計畫進度

日期	主要工項
1983 年	開始實施計畫調查
1999 年	公佈備選壩址候選方案
2004 年	福井縣暴雨造成人員死亡或失蹤，以及嚴重損失
2006 年	制定九頭竜川水系河川整治計畫
2014 年 6 月	足羽川大壩建設工程奠基儀式（縣道松谷法景寺大野線更換工程）
2018 年 3 月	開始導流工作
2020 年 6 月	完成導流工作
2022 年 10 月	完成地基挖掘工程
2022 年 11 月	開始大壩混凝土澆注

(三) 大壩基本資料及設計理念

足羽川壩相關資料詳表 7 及表 8，大壩本身採流水壩設計（詳圖 22），其特性是專門為了防洪功能設計，不具備供水功能；大壩平時不蓄水，可以維持河流的正常流量、不會阻礙魚類等生物的活動，對生態系影響較小；可維持與正常河流相同的水質，不易積砂；洪水發生時，蓄積洪水，減少下游洪澇災害。

表 7 足羽川壩

建造目的	防洪
型式	混凝土重力壩
壩高	96m
壩頂長度	351m
壩體積	約 130,000m ³
壩頂高程	EL. 271m
基礎岩盤高程	EL. 175m

表 8 足羽川防洪區

集水面積	約 105 km ²
滿水位面積	約 94 ha
平時最高蓄水位	- (平時不蓄水)
洪水時最高水位	EL. 265.7m
總蓄水容量	約 28.7*10 ⁶ m ³
洪水調節容量	約 28.2*10 ⁶ m ³

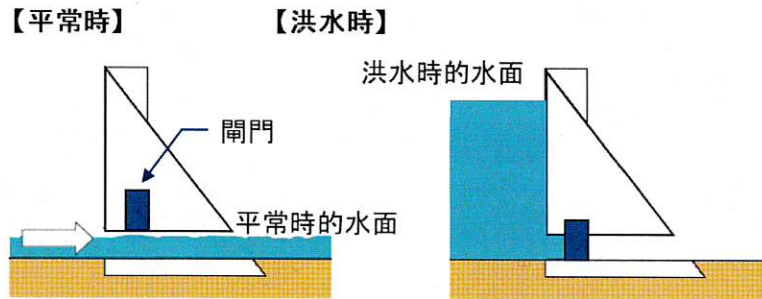


圖 22 流水型壩操作示意圖

(四) 大壩建設施工布置

大壩建設布置圖詳圖 23 所示；作為壩體混凝土基礎的石材是從當地的原石山挖掘，運送至骨材製造設備，經過破碎、篩分，分為四種骨材，儲存在骨材儲藏設備（詳圖 24），再利用皮帶輸送機運至下游 1 公里處的壩址，利用陡傾斜(55 度)的傳輸帶運至大壩左岸上方的骨材調整倉和配料廠，混合並製作預拌混凝土，用纜索起重機將混凝土運至指定澆注地點（詳圖 25）。

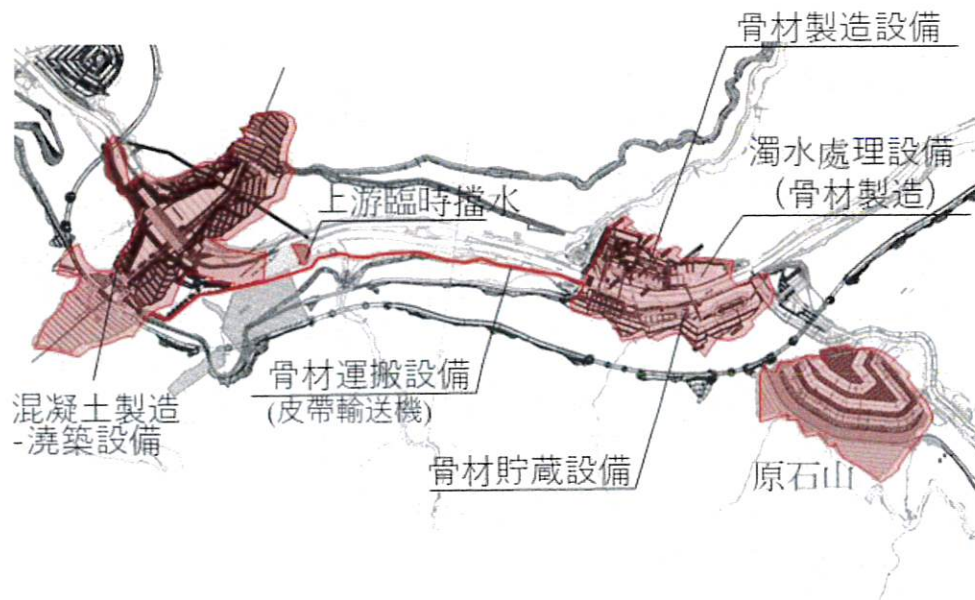


圖 23 大壩建設施工布置圖

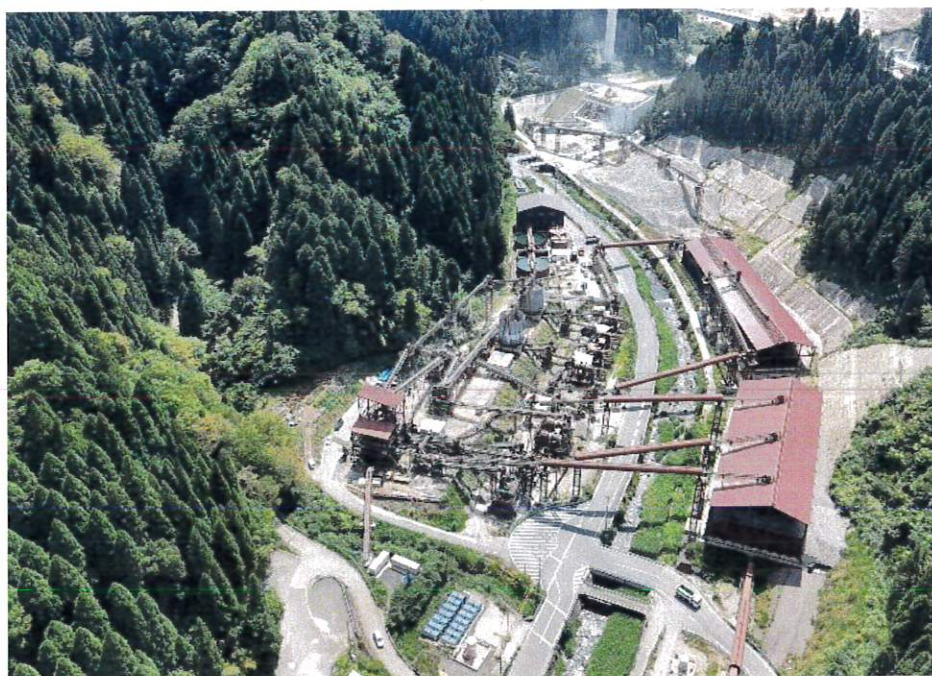


圖 24 骨材製造設備及骨材儲藏設備

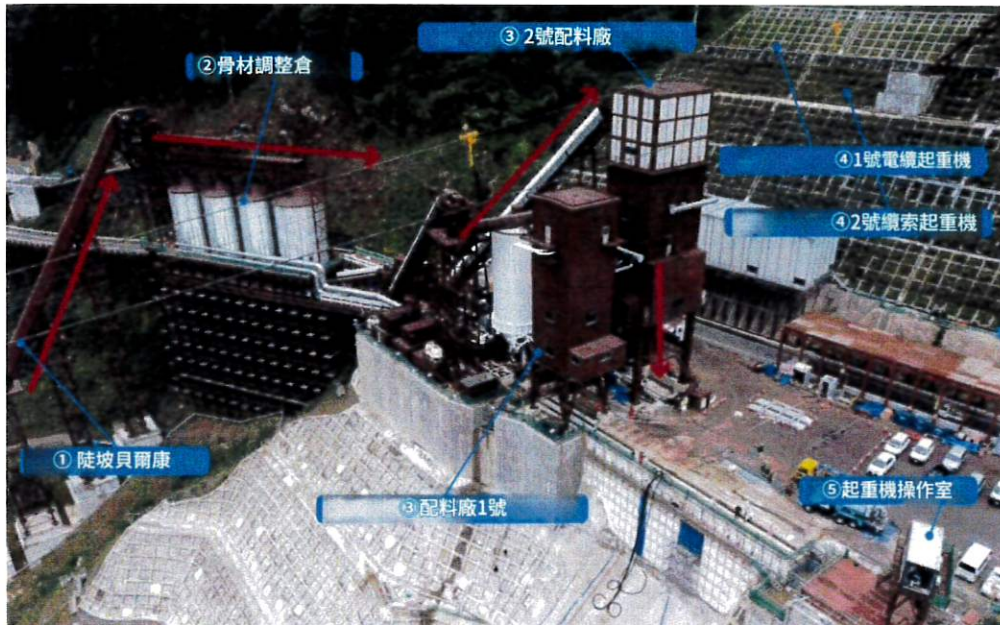


圖 25 骨材調整倉、配料廠和纜索起重機

(五) 大壩布置

大壩高 96m，壩頂長 351m，各洩洪設施位置關係如圖 26 所示；下方的河床部放流設備 (B5m x H5m)常開，僅洪水期間關閉，允許上游沖刷下來的泥沙如同以往般通過大壩；在洪水期間所蓄積的水，再利用其他常態洩洪設施釋放，壩下游布置永久性明渠消能；現場照片詳圖 27。

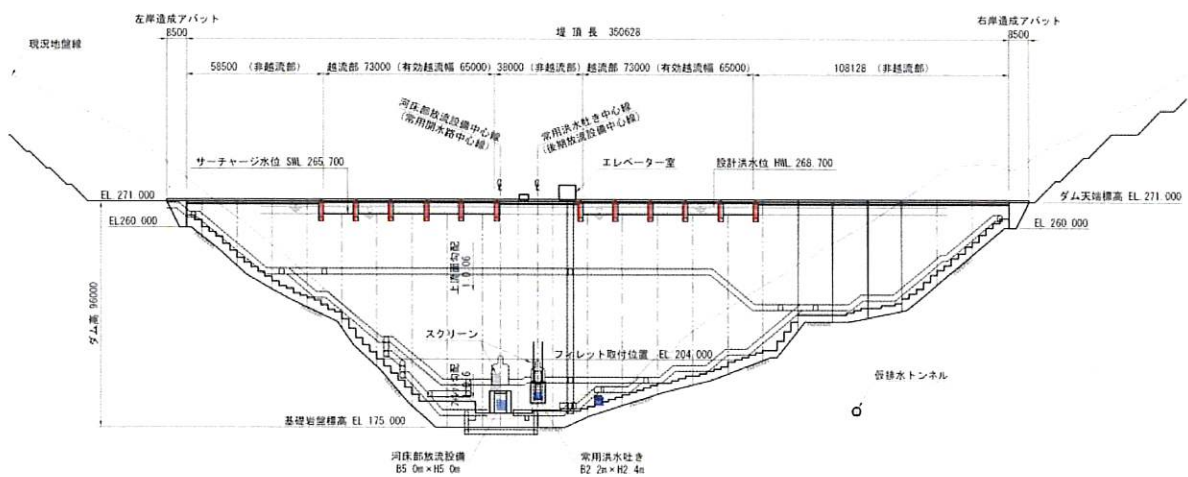


圖 26 大壩立面圖 (上游側)

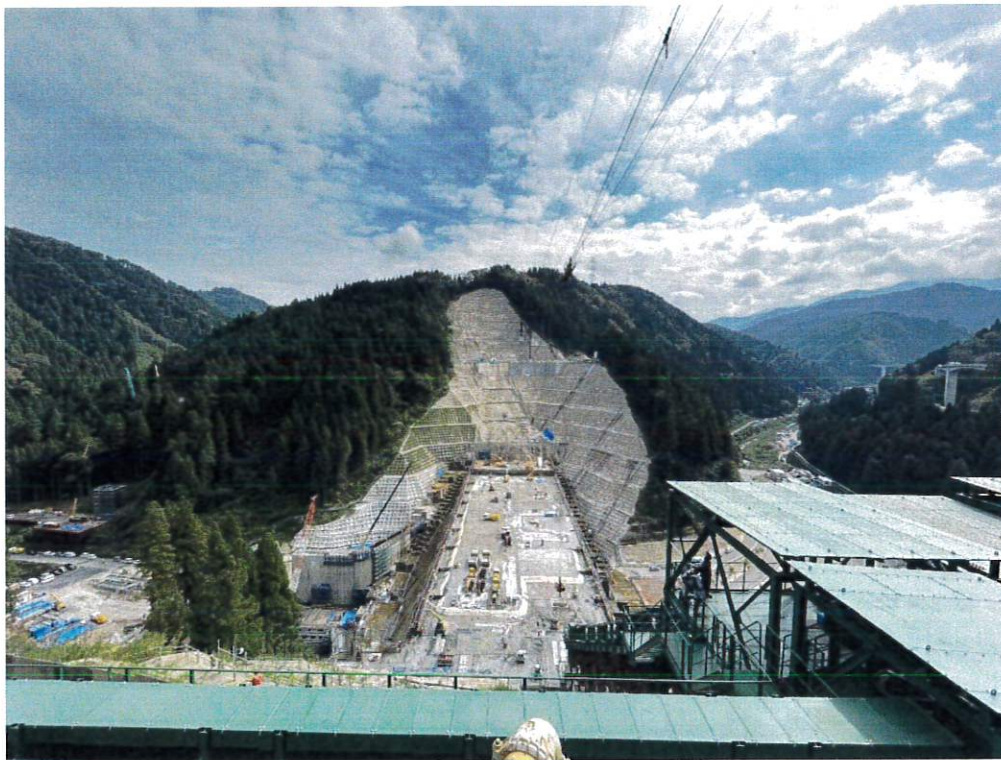


圖 27 從大壩左岸拍攝

(六) DX 的使用

足羽川大壩在建設中，導入數位轉型 (Digital Transformation,DX)，利用「大壩混凝土自動澆築系統」和「混凝土壓實管理系統」來提高大壩混凝土的生產率，將混凝土材料供應、製造、運輸、澆築等一系列作業自動化，可減少澆注時間、節省勞力，同時可以視覺的形式呈現管理。

(七) 參觀活動與當地旅遊

足羽川大壩是目前日本最高的流水壩，日本政府利用世界一流的土木工程技術、性能優良的土木工程結構等特色基礎設施作為旅遊資源，稱作基礎建設旅遊，足羽川大壩每月策劃兩次公眾參觀活動，於今年還舉辦夜間參觀活動，期能結合當地景點及設施，來支持當地的旅遊事業 (詳圖 28)。



圖 28 足羽川壩夏日夜遊活動海報

肆、心得及建議

- 一、奧多多良木電廠的 3 號機跟 4 號機，因機組故障及老化，目前正在改建中，以 3 號機為例，運轉時間約 44 年(1975 年 6 月~2019 年 4 月)；本公司明湖抽蓄機組運轉迄今約 39 年(自 1985 年)，一般水力機組經濟壽齡為 50 年，雖本公司水力機組維護狀況良好，大多可超過 50 年，建議後續仍可多蒐集其他國家抽蓄機組的實際運轉年限，以因應未來機組更新。
- 二、本公司既有明湖及明潭抽蓄機組為定頻機組，迄今分別運轉 39 年及 29 年，因應大量再生能源併網，變頻機組可提供系統更具彈性的調頻能力；若未來系統有變頻機組的需求，因改成變頻機組可能涉及既有地下廠房擴挖，建議可適時啟動可研計畫，評估更新為變頻機組的可行性，於未來既有抽蓄機組需更新時，或有新抽蓄電廠加入營運時，可適時啟動機組更新計畫。
- 三、傳統混凝土重力壩施工方法為柱狀施工法，在日本，目前混凝土重力壩以面狀施工法為趨勢，本次參訪的吉野瀨川壩及足羽川壩皆是採用面狀施工法，現場施工具有較簡單、較快速、視野遼闊、較安全等優

點。

- 四、台灣尚無混凝土重力壩面狀施工法的經驗，對於未來新建大壩的工法評估，除參考國外案例資料，尚需將採用新工法所需的規劃能力、機具引進、專業技術、施工人員等納入全面評估，方能決定適合本地案場的施工方法。
- 五、大壩的規劃是非常靈活的，以足羽川壩為例，在當地政府回復沒有供水需求時，即規劃成流水壩，平時不蓄水。排砂的規劃亦考量當地自然條件，例如吉野瀨川壩因當地來砂量少，故沒有規劃排砂道；足羽川壩的河床部放流設備雖常開以利水流通過，但在設計時，已將排砂考量進去。溢洪設施亦以節省空間的方式去布置，與台灣常見的消能設施有很大不同。
- 六、本次參訪，發現日方非常重視大壩施工的規劃，儘可能利用提高機械能力及標準化施工，減少大壩內的運輸，提高澆築能力；參訪的兩個興建中大壩的檢查廊道皆採預鑄化，以確保品質以及快速施工；足羽川壩因規模較大，強調導入數位轉型 (Digital Transformation, DX)，提高大壩混凝土的澆注能力及節省勞力，這與川上壩致力運用土木資訊模型 (Civil Information Modeling, CIM)，並透過與 CIM 連動的塔式起重機自動駕駛等應用，理念一致。
- 七、大壩施工面臨多項挑戰：氣候條件日益嚴峻、具豐富現場經驗的工程師和熟練技術人員逐漸減少、工作時數的限制、環境保護措施對施工的限制，故我們需要思考一套符合安全、品質和效率的施工管理方法。
- 八、本次參訪的兩個新建中大壩，皆有與當地觀光資源做結合的大壩參訪活動，對象包括學生及一般民眾，將大壩工程本身當作該區獨特的旅遊資源，除了有教育功能，也拉近了工程建設與一般民眾的距離；另奧多多良木電廠下池壩附近為朝來美術館及南國雕塑公園，在公園內散布著許多藝術品，大壩與藝術品的結合很少見卻沒有違和感。日本對於如何看待大壩這件事情，可以給我們對於大壩(電廠)的營造，提供另一個思考。