

出國報告(出國類別：考察)

## 水庫流木、淤砂處理及河川防災技術

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：曾國柱 科長

服務機關：經濟部水利署北區水資源局

姓名職稱：謝呂賢 工程員

派赴國家：日本

出國期間：97年11月9日 ~ 22日

報告日期：98年2月

## 摘要

台灣水庫由於集水區地形、地質條件及暴雨量集中等因素，許多水庫皆面臨漂流木及嚴重淤積問題。此外，國內許多都市發展後，建築物密集、不透水地面大幅增加，都市排水設計標準不足及淹水問題更甚於以往。此次出國考察日本數座水庫（池田、大渡、宇奈月、出平、美和）之漂流木及淤砂處理對策與技術，其系列水庫排砂操作、利用水力繞庫排砂，相當值得國內借鏡。此次並考察東京和鄰近地區之都市治水策略及河川防災設施，包含滯洪區、調整池、監視系統、地下調節池及放水路。日本對於首都及鄰近人口稠密都市的河川防災投入巨額建設經費，因為國情環境不同，其做法台灣雖不需完全抄襲，但仍可選擇適當方法作為參考。

# 目錄

壹、目的

貳、考察過程

一、行程概要

二、考察主要內容

(一)河川整備中心

(二)池田水庫

(三)大渡水庫

(四)鶴見川綜合治水

(五)首都圏外郭放水路

(六)宇奈月水庫、出之平水庫

(七)黒部水庫

(八)美和水庫

(九)環狀七號線地下調節池

參、考察心得

一、日本水庫漂流木處理、清淤及排砂技術

二、日本都市河川防洪措施

肆、結論與建議

伍、參考文獻

# 圖目錄

- 圖 2-1 考察地點分佈圖
- 圖 2-2 合照
- 圖 2-3 合照
- 圖 2-4 黑部川上游山坡地崩塌
- 圖 2-5 1982 年富士川砂礫淤積成災
- 圖 2-6 下新川海岸離岸堤
- 圖 2-7 清水海岸離岸堤
- 圖 2-8 合照
- 圖 2-9 吉野川流域圖
- 圖 2-10 漂流木打撈作業
- 圖 2-11 漂流木製成木屑
- 圖 2-12 漂流木製作堆肥
- 圖 2-13 漂流木製作小徑木
- 圖 2-14 大渡水庫流域圖
- 圖 2-15 合照
- 圖 2-16 取水井
- 圖 2-17 大渡水庫攔污索
- 圖 2-18 炭燒窯
- 圖 2-19 木炭成品
- 圖 2-20 漂流木顎碎機
- 圖 2-21 漂流木堆置場
- 圖 2-22 合照
- 圖 2-23 鶴見川流域圖
- 圖 2-24 鶴見川綜合治水對策
- 圖 2-25 鶴見川多目標遊水地
- 圖 2-26 遊水地所在位置
- 圖 2-27 遊水地滯洪過程示意圖
- 圖 2-28 霧が丘調整池
- 圖 2-29 調整池分佈圖
- 圖 2-30 新羽末広幹線貯留管全線示意圖
- 圖 2-31 新羽末広幹線施工區地質分佈圖
- 圖 2-32 施工中的新羽末広幹線
- 圖 2-33 鶴見川流域中心官方網站圖片
- 圖 2-34 鶴見川流域中心
- 圖 2-35 鶴見川魚類展示區
- 圖 2-36 合照
- 圖 2-37 展示中心-龍 Q 館
- 圖 2-38 首都圈外郭放水路全線示意圖
- 圖 2-39 各河川最大溢流量示意圖
- 圖 2-40 抽水站機房示意圖
- 圖 2-41 潛遁機施工圖

- 圖 2-42 放水路主要設施示意圖
- 圖 2-43 第 1 立坑
- 圖 2-44 調壓水槽
- 圖 2-45 通水隧道
- 圖 2-46 傳統堤防及超級堤防比較圖
- 圖 2-47 超級堤防功效說明示意圖
- 圖 2-48 超級堤防上的公路
- 圖 2-49 超級堤防上的住家
- 圖 2-50 合照
- 圖 2-51 宇奈月水庫容量分配圖
- 圖 2-52 日本主要河川坡度比較圖
- 圖 2-53 日本各大河川流域崩塌面積率比較
- 圖 2-54 祖母谷崩場地
- 圖 2-55 小黑部谷崩場地
- 圖 2-56 石材耐磨材料
- 圖 2-57 鋼材耐磨材料
- 圖 2-58 出之平水庫
- 圖 2-59 出之平水庫、宇奈月水庫聯合排砂運轉模式
- 圖 2-60 出之平水庫聯合排砂資料曲線圖
- 圖 2-61 宇奈月水庫聯合排砂資料曲線圖
- 圖 2-62 濁度觀測資料曲線
- 圖 2-63 聯合排砂過程模擬圖
- 圖 2-64 開鑿隧道工作人員模型
- 圖 2-65 黑部壩
- 圖 2-66 合照
- 圖 2-67 研究討論美和水庫排砂設施
- 圖 2-68 年規劃土砂移動數量圖
- 圖 2-69 排沙模擬圖
- 圖 2-70 繞庫排砂隧道入水口
- 圖 2-71 排砂實例
- 圖 2-72 繞庫排砂隧道出水口
- 圖 2-73 1982 年漂流木
- 圖 2-74 排砂隧道入水口前的攔木柵
- 圖 2-75 合照
- 圖 2-76 環七地下調節池斷面圖
- 圖 2-77 神田川流域及環七地下調節池位置圖
- 圖 2-78 調節池流入實例
- 圖 2-79 善福寺川取水施設
- 圖 2-80 善福寺川取水施設及環七地下調節池匯入口
- 圖 2-81 河道整備前後比較

## 壹、 目的

水庫為台灣旱季之主要水源，惟水庫上游集水區地質脆弱，尤其 921 大地震後山區土質鬆動，加上全球氣候變遷暴雨集中，大雨沖刷水庫上游山坡地，造成許多水庫皆面臨漂流木及嚴重淤積問題。93 年艾莉颱風侵襲，石門水庫漂流木超過 5 萬立方公尺，水庫淤積增加 2,000 萬立方公尺即為明顯例子。漂流木可能損壞水庫閘門、發電機組及放水路等設施，淤砂將減少水庫蓄水容量而縮短水庫使用壽命，因此，如何處理水庫淤砂及漂流木，以維持水庫容量、延長水庫壽命，已成為台灣水庫面臨的迫切問題。

此外，由於經濟水準提昇與人口發展，國內許多都市範圍持續向外擴大，與水爭地的情況日趨嚴重，因此在都市外圍築起防洪牆，雨水下水道也需賴抽水站才能排往河川。土地都市化改變了原有的地形，使得地表的不透水面增加，造成地表逕流量暴增而造成水災頻傳。例如 89 年納莉颱風造成北部基隆河水越堤，氾濫成災，地下室 4,151 棟積水，台北市區道路 280 處積水，捷運系統被含泥洪水灌入而完全停駛，半年後才逐漸恢復，直接財產損失粗估超過百億元，間接損失則難以估算。

日本與台灣有許多類似情形，二者同為海島地形，也都面對著地震與颱風的侵襲，皆有陡峭的山脈及人口集中的都市。藉此次考察日本水庫有關漂流木、淤砂之處理技術，和其都市河川防災策略及設施，以吸取其觀念及經驗，提供台灣水庫營運管理及都市防洪之參考。

。

## 貳、 考察過程

### 一、 行程概要

基於本次考察目的，經濟部水利署透過台北市七星農田水利研究發展基金會董事長甘俊二教授之協助，洽請日本河川整備中心安排考察行程。考察期間自 97 年 11 月 9 日至 22 日共 14 日，範圍橫跨關東、信越、北陸及四國等地區，拜訪河川整備中心、國土交通省、関西電力株式會社、東京市政府等機關，各觀摩考察處所並派具有實務經驗之技術人員詳盡解說介紹，行程相當充實緊湊。考察地點分佈及行程內容見圖 2-1 及表 2-1。

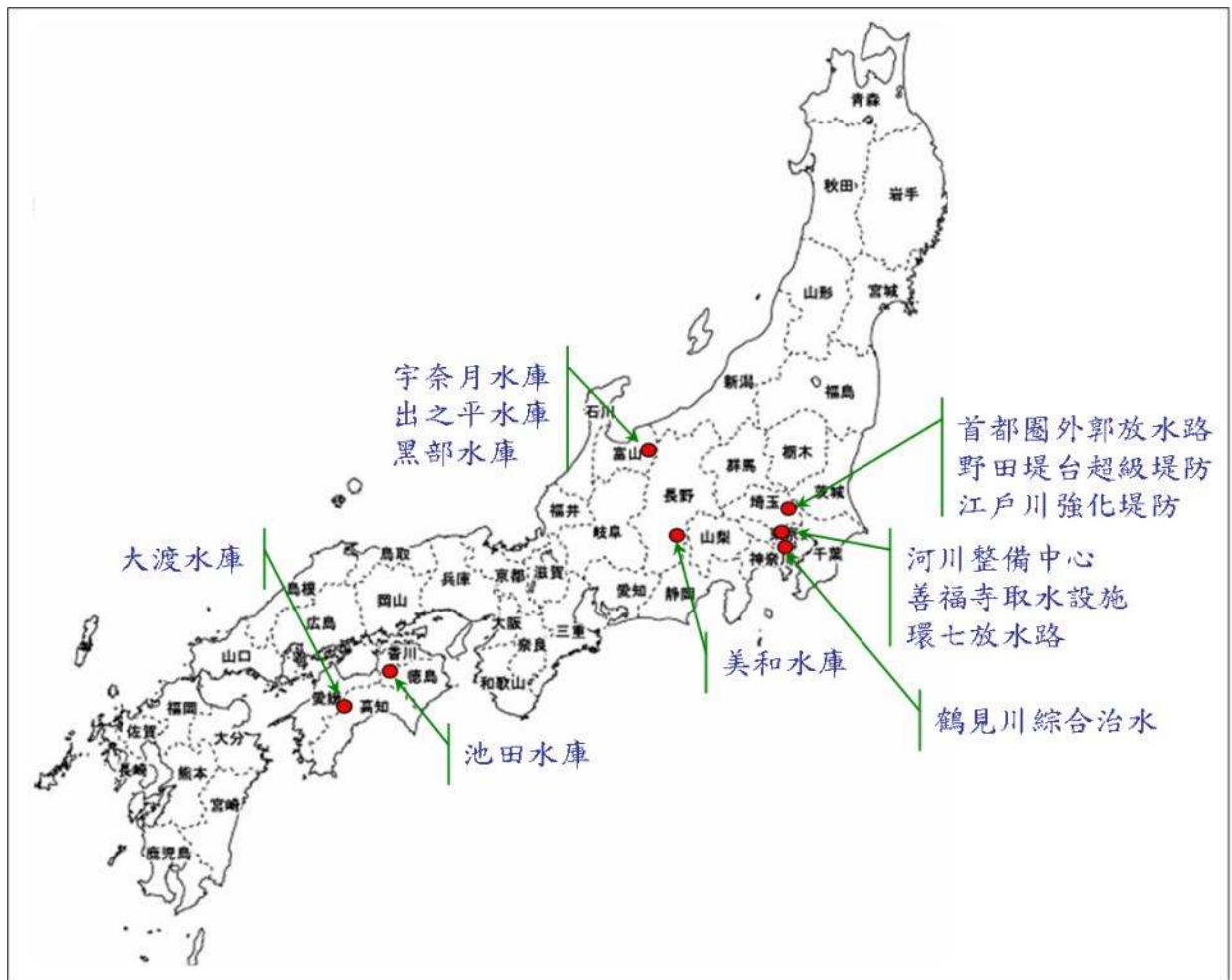


圖 2-1 考察地點分佈圖

97年11月9日	啓程(台北→東京)
97年11月10日	1、拜訪財團法人河川整備中心 2、行程(東京→德島)
97年11月11日	1、考察研習池田水庫(漂流木處理) 2、行程(德島→高知)
97年11月12日	1、考察研習大渡水庫(漂流木處理) 2、行程(高知→東京)
97年11月13日	考察研習鶴見川(都市河川防災對策)
97年11月14日	考察研習首都圏外郭放水路(都市河川防災對策)
97年11月15~16日	1、都市河川環境管理 2、資料整理
97年11月17日	1、行程(東京→富山) 2、考察研習出平水庫、宇奈月水庫(清淤技術及排砂措施)
97年11月18日	考察黑部水庫
97年11月19日	1、考察研習美和水庫(分洪排砂設施) 2、行程(諏訪→東京)
97年11月20日	考察研習環七調節池、善福寺取水設備(都市河川防災對策)
97年11月21日	都市河川環境管理
97年11月22日	回程(日本→台灣)

表 2-1 考察行程

## 二、 考察主要內容

### (一) 河川整備中心

河川整備中心位於東京千代田區，拜會執行長砂川孝志及研究第一部部長兒玉好史，並由兒玉先生簡報「日本綜合土砂管理策略」。



圖 2-2 河川整備中心執行長砂川孝治(中)



圖 2-3 河川整備中心研究第一部部長兒玉好史(中)



日本國土多山岳，包括 800 個活火山，年平均雨量 1,800mm，高於世界平均值的 800mm，加上夏秋之際颱風、豪雨的侵襲，使得土砂在日本的水庫管理及河川整治上成爲重要課題，部份海岸面臨海岸線侵蝕的問題，亦使日本研究並採用種種措施緩和海岸線侵蝕的傷害。



圖 2-4 黑部川上游山坡地崩塌



圖 2-5 1982 年富士川砂礫淤積成災



圖 2-6 下新川海岸離岸堤



圖 2-7 清水海岸離岸堤

## (二) 池田水庫

池田水庫位於四國德島縣三好市、隸屬於水資源機構的池田綜合管理所。水庫位於吉野川，其上游尚有早明浦水庫、富鄉水庫及新宮水庫，多個水庫組成系列水庫，



圖 2-8 副所長宮內茂行(右二)、第二管理課課長播磨光一(左一)

增加水資源的運用空間，池田水庫位於所有水庫的最下游，完成於西元 1975 年，大壩形式屬重力壩混凝土，壩高 24m、壩頂長 247m，集水面積 1,904km<sup>2</sup>、蓄水範圍 1.4km<sup>2</sup>，總蓄水量 1,265 萬立方公尺，水庫目標有防洪(調節容量 200cms)、供水(香川用水、北岸用水、農業用水、工業用水、上水道用水等)及發電等(最大用水量 62cms、有效落差 10.02m、最大發電量 5,000kW、年發電量 30,000MWh)。



圖 2-9 吉野川流域圖

吉野川橫貫於四国山脈中，暴雨夾帶漂流木進入水庫，每年漂流木數量約有 300 到 1,200 立方公尺，池田水庫將漂流木打撈上岸並將漂流木依尺寸大小選別，作成木屑、小徑木等供民眾免費索取再利用，以作為堆肥、燒材及手工藝品創作之用。



圖 2-10 漂流木打撈作業



圖 2-11 漂流木製成木屑



圖 2-12 漂流木製作堆肥



圖 2-13 漂流木製作小徑木

### (三) 大渡水庫

大渡水庫位於四国島高知縣吾川郡，隸屬於國土交通省-四國地方整備局的大渡壩管理所，管理第一係長弘田真一與管理第二係長上田健司解說漂流木之處理方式。水庫位於仁淀川上，完成於西元 1986 年，壩高 96m、壩頂長 325m，集水面積 688.9 km<sup>2</sup>、蓄水範圍 1.4km<sup>2</sup>，總蓄水量 6,600 萬立方公尺，水庫目標有防洪(調節容量 2,200cms)、供水(吾南用水、鎌田用水上水道用水等)及發電等(最大用水量 45cms、有效落差 84.9m、可能發電量 123,000MWh)。



圖 2-14 大渡水庫流域圖



圖 2-15 第一係長弘田真一(右二)  
第二係長上田健司(左二)



圖 2-16 取水井

仁淀川流域屬日本溫暖多雨區域且常受颱風侵襲，上中游流域年降雨量可達 3,500mm，洪水夾帶漂流木順流而下進入大壩附近威脅水工結構物之安全，每年漂流木數量依洪水量大小而不等，數量少者如西元 2006 年僅 20 立方公尺，多者如 2004 年有漂流木 6,320 立方公尺。為避免漂流木進入重要水工設施附近，大渡水庫設有攔污索攔截進入水庫漂流木，打撈上岸漂流木處理後可再利用，包括堆肥、製作木炭等。



圖 2-17 大渡水庫攔污索



圖 2-18 炭燒窯



圖 2-19 木炭成品



圖 2-20 漂流木顎碎機(日處理量 5 立方公尺漂流木)



圖 2-21 漂流木堆置場

#### (四) 鶴見川綜合治水

鶴見川位於神奈川縣，隸屬於國土交通省-關東地方整備局的京浜河川事務所。鶴見川流域面積 235 平方公里，西元 1958 年人口僅 45 萬，1975 年增加至 120 萬人，至 2000 年已達到 188 萬人，流域面積中的 85% 為市街所佔據，隨著人口的增加市區擴充，與水爭地的結果也增加了發生洪水災害的可能性。為了減少洪水的發生而開展了鶴見川綜合治水對策，主要對策有流域對策、河川對策及下水道對策三大區塊，工作項目包括綠地恢復、防災調整池、多目標遊水地、地下雨水貯留管及高床式建築等，詳見圖 2-24。



圖 2-22 流域調整課課長渡部孝(右二)



圖 2-23 鶴見川流域圖



圖 2-24 鶴見川綜合治水對策

鶴見川多目標遊水地位於横浜市港北区小机町，啓用於 2003 年 6 月 15 日，遊水地面積 84 公頃，可蓄水量 390 萬立方公尺。遊水地由堤防包圍而成，堤防內包含親水公園、道路、停車場、競技場及巨蛋體育館等，平時各場地依其原有功能使用，洪水時則鶴見川大水從越流堤進入遊水地內，借著遊水地暫存洪水而保護遊水地外的高密度市區，待洪水過後河川水位降低再透過排水門將水流回鶴見川中。多目標遊水地功能顯著，平均每 1~2 年洪水會氾濫至遊水地內，滯洪效果良好。



圖 2-25 鶴見川多目標遊水地



圖 2-26 遊水地所在位置

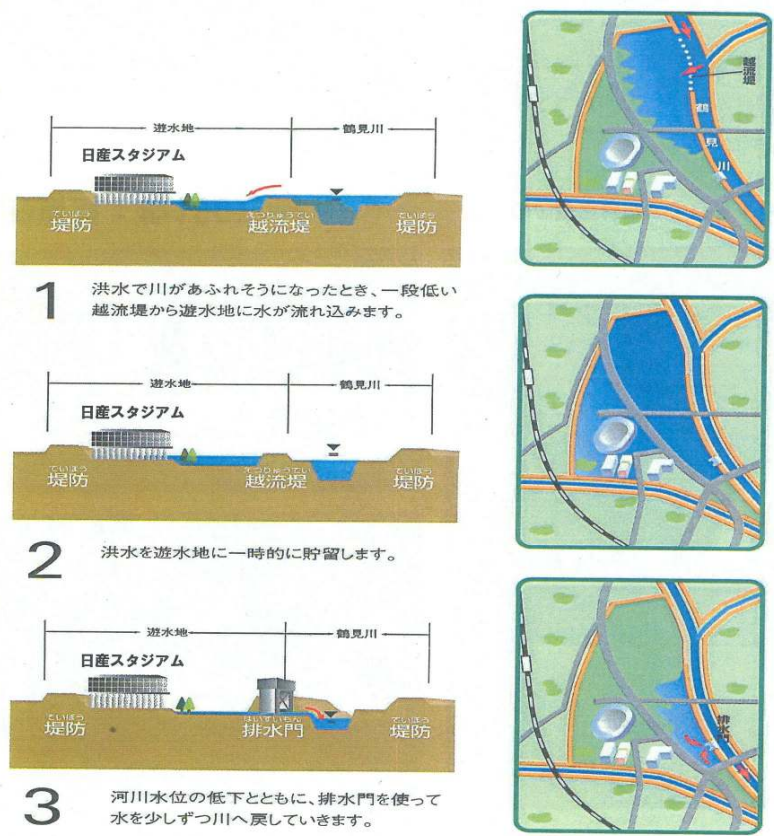


圖 2-27 遊水地滯洪過程示意圖

鶴見川流域佈滿調整池，例如霧が丘調整池面積為 126.97 公頃，蓄水量 96,635 立方公尺；恩迴公園調整池(地下調整池)內徑 15.4~16.5 公尺，長度 600 公尺，蓄水量 110,000 立方公尺。總計整個鶴見川流域有 3,300 個調整池，蓄水量共 270 萬立方公尺，積少成多亦可發揮良好的防災功效。



圖 2-28 霧が丘調整池



圖 2-29 調整池分佈圖

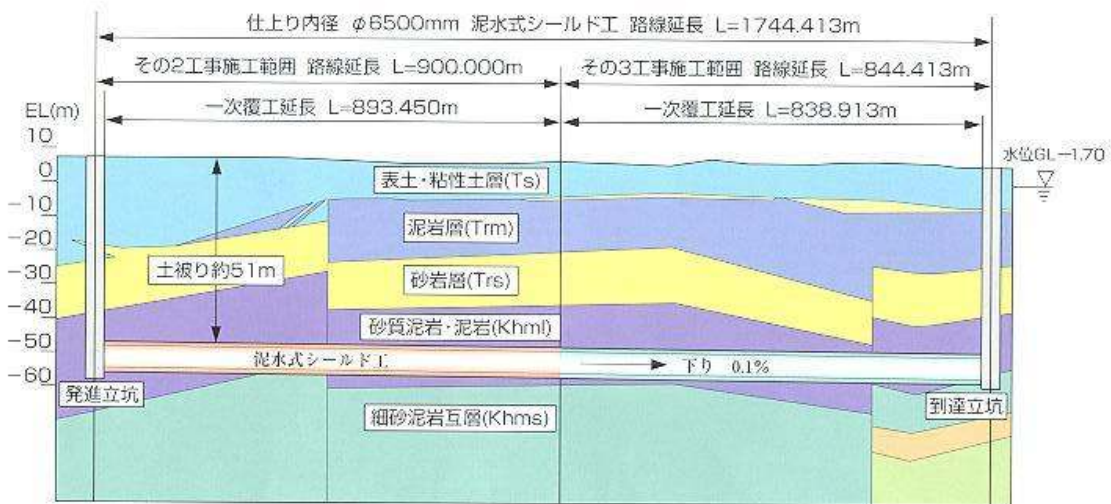
市區的擴大減少地面可資利用的治水空間，日本目前積極發展地下的治水方法，包括興建大型的地下貯留管暫蓄洪水以滯洪，新羽末広幹線即為其中一例，幹線位於地下 51 公尺，全長 1744.413 公尺，以外徑 7.1 公尺、內徑 6.5 公尺的的潛遁機挖鑿，挖鑿



地層屬砂質泥岩與泥岩，N 值介於 83 至 100，屬非常堅硬之地層。該幹線目前尚在施工中，完成後可蓄水 41 萬立方公尺。



圖 2-30 新羽末広幹線貯留管全線示意圖



地質年代		地質層序		記号	主な土質	層厚(m)	N 値(回)
第 四 紀	完 新 世	沖 積 層	表土(盛土)	Ts	粘性土	0.90~2.80	0.6~5
			粘性土層	Ae	砂質粘土・粘土	1.00~9.05	0~11
			砂礫土層	Ag	砂礫	0~0.55	(68)
	更 新 世	上 総 層 群	下末吉ローム層	Sl	凝灰質粘土・軽石	0~1.80	5~6
鶴 川 層			泥岩層	Trm	泥岩	1.15~18.05	54~100<
			砂岩層	Trs	細砂シルト混り細砂	6.85~20.75	65~100<
第一泥岩層			Khm1	砂質泥岩・泥岩	10.5~18.75	83~100<	
砂岩泥岩層			Khms	細砂泥岩互層	7.60~9.00	71~100<	
砂岩層	Khs	細砂・微細砂	8.85~10.9	83~100<			
第三泥岩層	Khm2	泥岩・泥岩細砂互層	17.25+	100<			

圖 2-31 新羽末広幹線施工區地質分佈圖

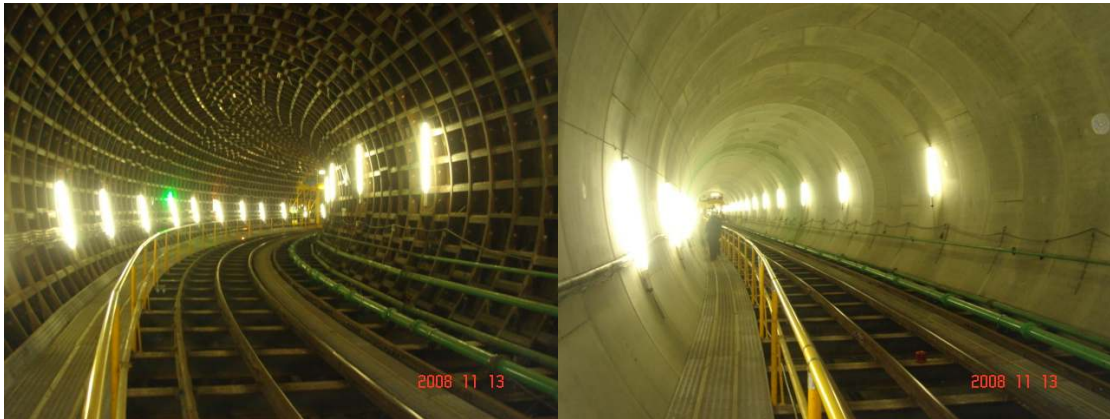


圖 2-32 施工中的新羽末広幹線

爲了讓大眾了解河川治水工作而設立的「鶴見川流域中心」別具特色，常有民眾及學校前往參觀，因鶴見川流域形狀似獺，該中心即以「獺」當作鶴見川流域的標誌，中心介紹鶴見川整治的緣由及歷史，展示流域中的生態樣貌，並教導民眾珍惜愛護水源。中心有一處魚類展示區，於水族箱內飼養鶴見川中的魚類，可以使民眾及學童在觀看魚類的同時了解河川具有的生命活力，進而愛惜河川環境，珍惜水資源。



圖 2-33 鶴見川流域中心官方網站圖片



圖 2-34 鶴見川流域中心



圖 2-35 鶴見川魚類展示區(拍攝於鶴見川流域中心)

### (五) 首都圏外郭放水路

考察首都圏外郭放水路及江戶川堤防，前往位於埼玉縣春日部市的首都圏外郭放水路管理支所及其所屬的展覽中心—龍Q館，由國土交通省關東地方整備局-江戶川河川事務所の專業對策官江口要先生解說。



圖 2-36 專業對策官江口要(中)



圖 2-37 展示中心-龍Q館

首都圏外郭放水路位於日本國道 16 號地下約 50 公尺深，內徑 10 公尺、長度 6.3 公里，號稱世界最大地下河川、集最先進水利土木技術完成，洪水來臨時可承受數個河川自然溢流進來的河水，各河川規劃最大溢流量包括第 18 號水路 4.7cms、中川 25cms、倉松川 100 cms、幸松川 6.2cms 及大落古利根川 85cms，所有水量匯流至庄和抽水站，



首都圏外郭放水路蓄水容量達 67 萬立方公尺，由不同重要設施所組成，主要有流入設施、立坑(豎井，直徑 30m、深 60m)、通水隧道(長 6,300m)、調壓水槽(長 177m、寬 78m、高 25m)、抽水站及操作室等，首都圏外郭放水路工期自 1992 年至 2006 年共 14 年，完成於 2006 年 6 月，每年進行 5~7 次的防洪操作，成效良好。

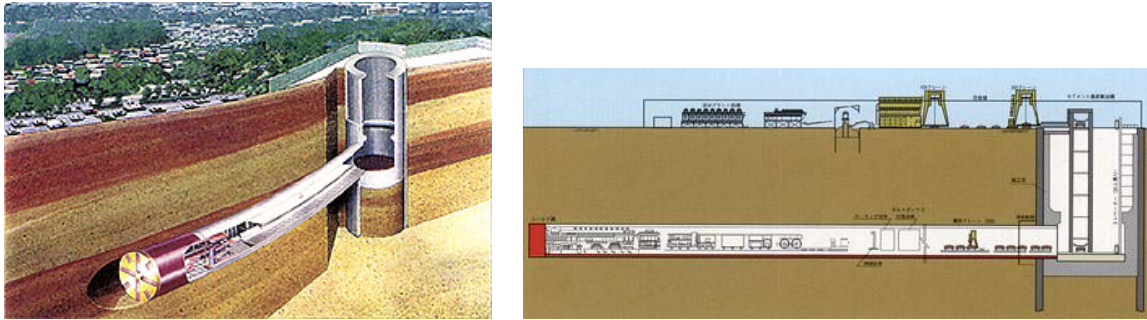


圖 2-41 潛遁機施工圖

2004 年 10 月颱風 22 號侵襲關東，首都圏外郭放水路雖未全部竣工即已能分段操作運轉防洪，從 10 月 8 日到 12 日，首都圏外郭放水路管理支所的工作同人日以繼夜的運轉操作，透過放水路排出水量達 1,000 萬立方公尺，排洪實績驚人。



圖 2-42 放水路主要設施示意圖



圖 2-43 第 1 立坑



圖 2-44 調壓水槽



圖 2-45 通水隧道

江戶川水系自 1873 年至 1998 年有 15 次的重大的堤防損壞紀錄，江戶川位於東京

外圍(首都圏外郭即為東京外圍之意)，爲了保護江戶川流域(含埼玉縣、茨城縣及千葉縣)及首都稠密人口及各項政經資產的安全，江戶川(含其上游利根川)正在進行堤防強化對策，計畫強化堤防長度約 70 公里，工期預計自 2004 年至 2014 年共 10 年，其強化方式爲增加堤防寬度而成超級堤防。

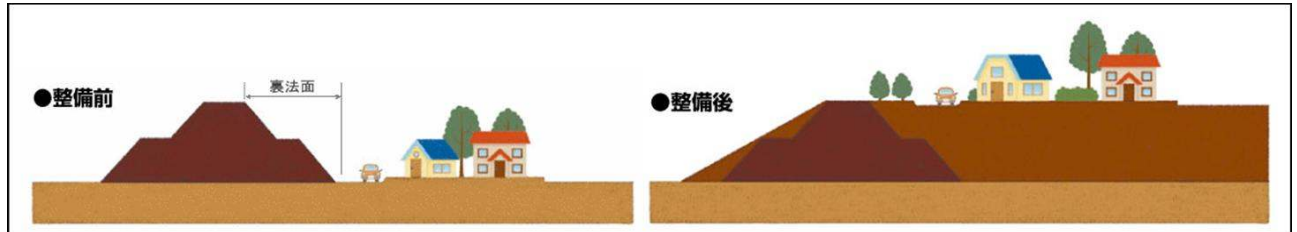


圖 2-46 傳統堤防及超級堤防比較圖

日本定義堤寬爲堤高 30 倍以上的堤防爲超級堤防，超級堤防的主要目的有 1. 防止或減緩溢流及滲流對堤防及堤後居民造成之傷害 2. 於堤後填土時改良軟弱地盤土壤，以維持後來興建建築物之結構安全 3. 創造市民親水環境空間等。超級堤防的興建所費不貲，日本目前僅於東京及大阪二大都市設有超級堤防。

**1 越水しても壊れません!**  
 ふつうの堤防に比べ、スーパー堤防はあふれた水が斜面をゆるやかに流れる構造なので、堤防を越える洪水でも壊れることはなく安全です。

●ふつうの堤防



●スーパー堤防



**2 浸透しても壊れません!**  
 ふつうの堤防に比べ、スーパー堤防は幅が広い堤防なので、洪水による水の浸透が長時間続いても、崩れることはなく安全です。

●ふつうの堤防



●スーパー堤防



## 地震に強い堤防です!

3 スーパー堤防は、必要に応じて軟弱地盤を改良して耐震対策を強化しているため、地震による液状化やすべりにも強く、安心です。

### ●ふつうの堤防



### ●スーパー堤防

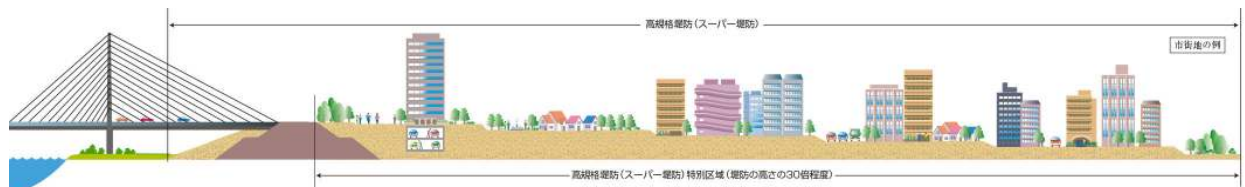


圖 2-47 超級堤防功效說明示意圖

此次參觀為千葉縣野田市的一段超級堤防，該段堤防位於江戶川左岸 39.4 至 40.3 公里之間，長度 950 公尺、寬 130 公尺、面積 16 公頃，所需土方 100 萬立方公尺。土地徵收常是公共工程面臨的難題，當初加強堤防時給予施工區域居民暫時租用房屋的費用使居民暫時離開施工區域，待工程完成後再將土地歸還居民並給予興建新房屋的補貼，以此方式使工程得以進行。



圖 2-48 超級堤防上的公路(左側為江戶川)



圖 2-49 超級堤防上的住家

江戶川是日本綜合治水重點河川之一，其整備重點主要有河川對策及流域對策，河川對策的項目有河川改修、放水路與抽水站興建、調整池整備等，流域對策有確保土地保水及遊水機能、土地利用正常化及建築耐水化等，其計畫治理規模為河川整備 270.64

公里、調整池容量 1491.8 萬立方公尺、放水路 29.21 公里及抽水站容量 965cms，從 1983 年制定江戶川綜合治水計畫開始，目前各項工作仍在進行當中。

### (六) 宇奈月水庫、出之平水庫

前往富山縣宇奈月水庫及出之平水庫考察觀摩，出面解說的是宇奈月水庫管理所課長若田茂和、黑部河川事務所土砂管理課調查係長小林崇及關西電力公司北陸支社中村和男先生。宇奈月水庫完成於 2001 年，其壩址位於舉世聞名的黑部川上，屬重力式混



圖 2-50 課長若田茂和(左三)、係長小林崇(左二)中村和男(左一)

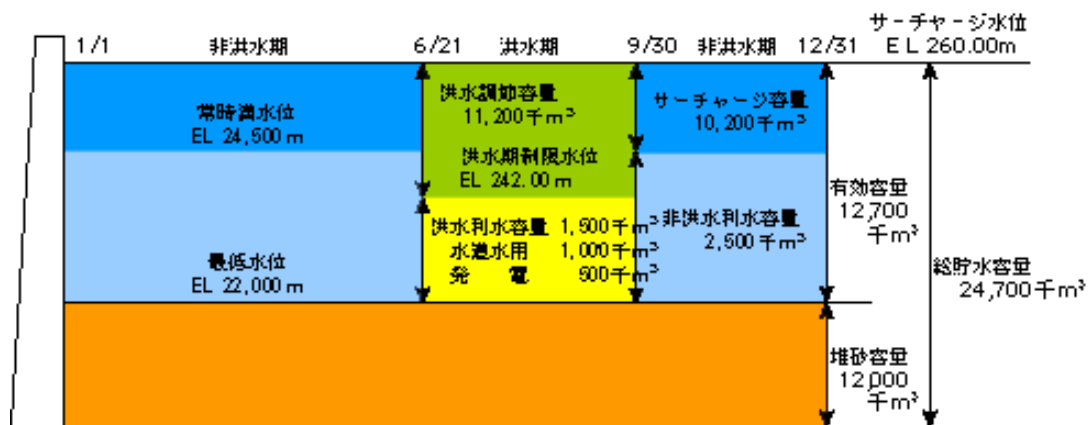


圖 2-51 宇奈月水庫容量分配圖

凝土壩、壩高 97 公尺壩頂長 190 公尺，總蓄水量 2,470 萬立方公尺，堆砂容量 1,200 萬立方公尺，有效蓄水量 1,270 萬立方公尺，其目標有洪水調節(調節量 700cms)、水道用水(供應富山縣東部地區日最大量 58,000 立方公尺)及發電(最大出力 20,000kw)。

黑部川流域是日本多雨多雪地區，高山地區年平均降水量 4,000mm，為日本最大降水量地區，高山地質鬆軟，崩場地超過 7,000 個，坡陡流急及眾多崩場地使河水含砂量



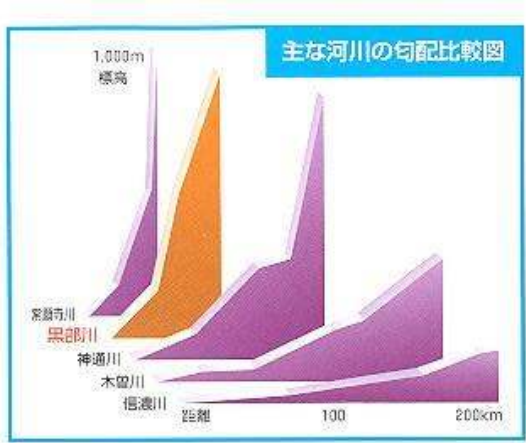


圖 2-52 日本主要河川坡度比較圖

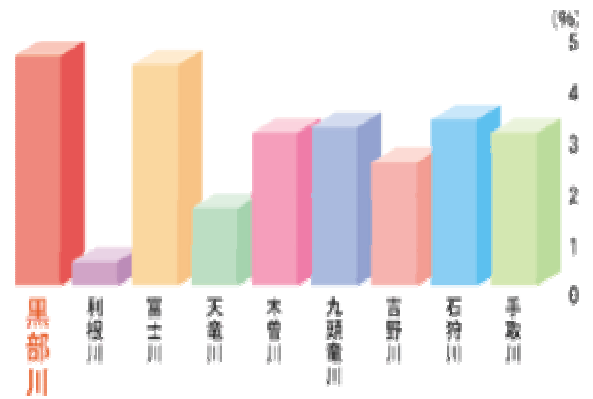


圖 2-53 日本各大河川流域崩場面積率比較



圖 2-54 祖母谷崩場地



圖 2-55 小黑部谷崩場地

較高，因此水庫的興建需同時考慮排砂設施，以維持各目標的正常功能，排砂隧道兩條位於宇奈月壩的左側，排砂道於不同區段鋪設不同的耐磨材料，計有石材、鋼材及不銹鋼等，石材厚度 30cm，鋼材厚度 30mm，不銹鋼厚度 20mm~50mm。



圖 2-56 石材耐磨材料



圖 2-57 鋼材耐磨材料

出之平水庫位於宇奈月水庫上游 7 公里，兩座水庫需互相配合進行聯合排砂作業，排砂需待洪峰後方能進行，洪峰到達前先從排水設施進行防洪操作運轉，例如在 2008 年 6 月進行的聯合排砂，出之平水庫於 6 月 29 日 12 點 30 分達到尖峰入流量( $Q_p=437.2\text{cms}$ )，於 14 點



圖 2-58 出之平水庫

51 分打開排砂隧道排砂並使水位下降，6 月 30 日 7 點 30 分至 15 點 30 分維持自然流下條件(入流量等於放水量、水位維持一定)，之後水位開始上升，至 7 月 1 日 4 點 12 分

排砂道全閉；下游的宇奈月水庫於 6 月 29 日 13 點 45 分達到尖峰流量( $Q_p=513.4\text{cms}$ )，於 6 月 30 日 7 點 10 分打開排砂隧道排砂並使水位下降，6 月 30 日 10 點 20 分至 18 點 20 分維持自然流下條件(入流量等於放水量、水位維持一定)，之後水位開始上升，至 6 月 30 日 20 點 24 分排砂道全閉。聯合排砂操作期間進行水庫及下游濁度觀測，此次濁度最高出現於下黑部橋，於 6 月 30 日 13 點達到 6,000 度。

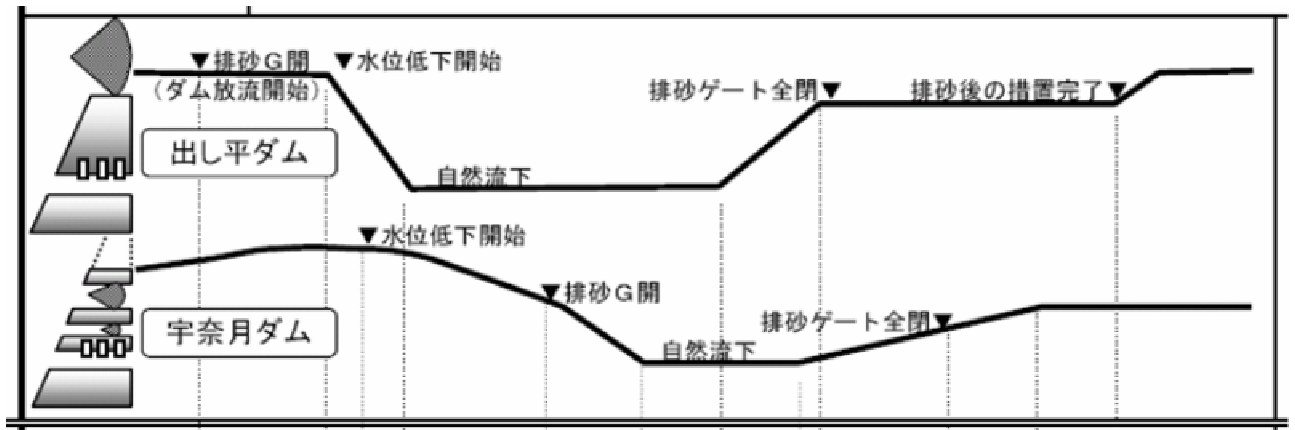


圖 2-59 出之平水庫、宇奈月水庫聯合排砂運轉模式

### 出之平ダム水文データ

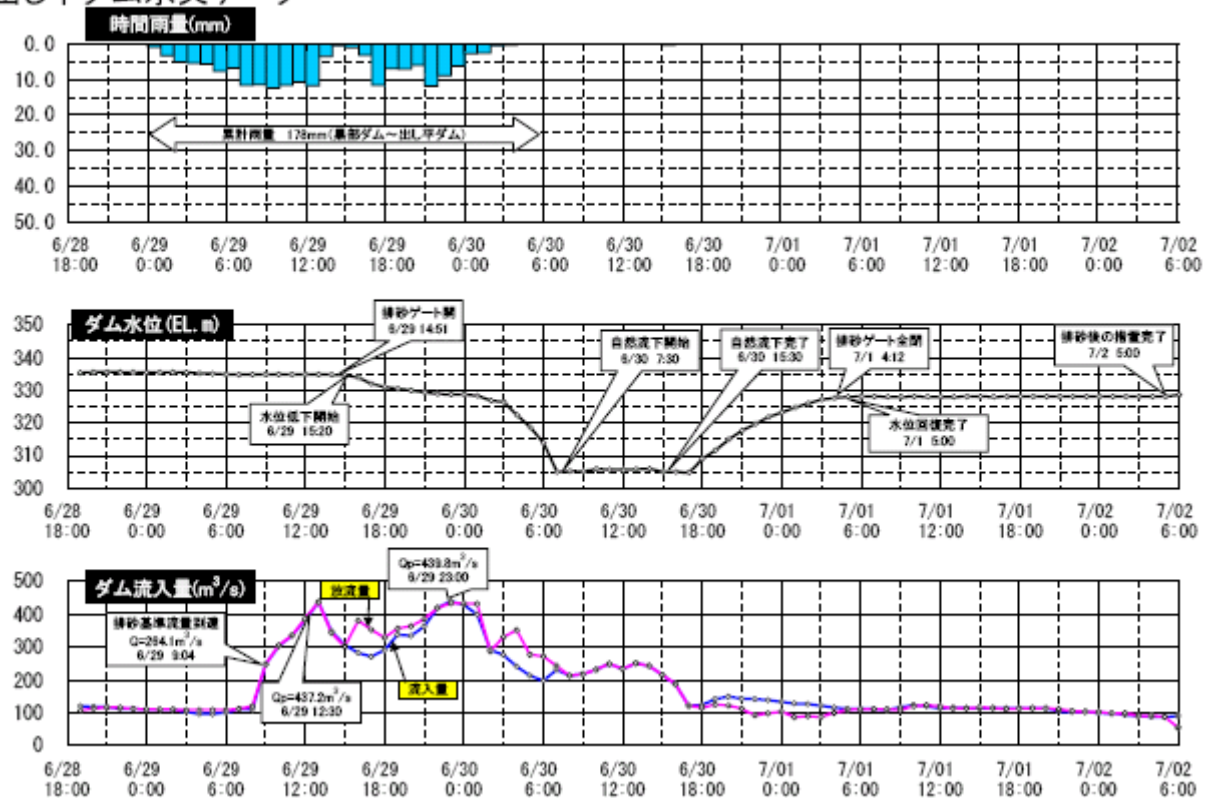


圖 2-60 出之平水庫聯合排砂資料曲線圖

# 宇奈月ダム水文データ

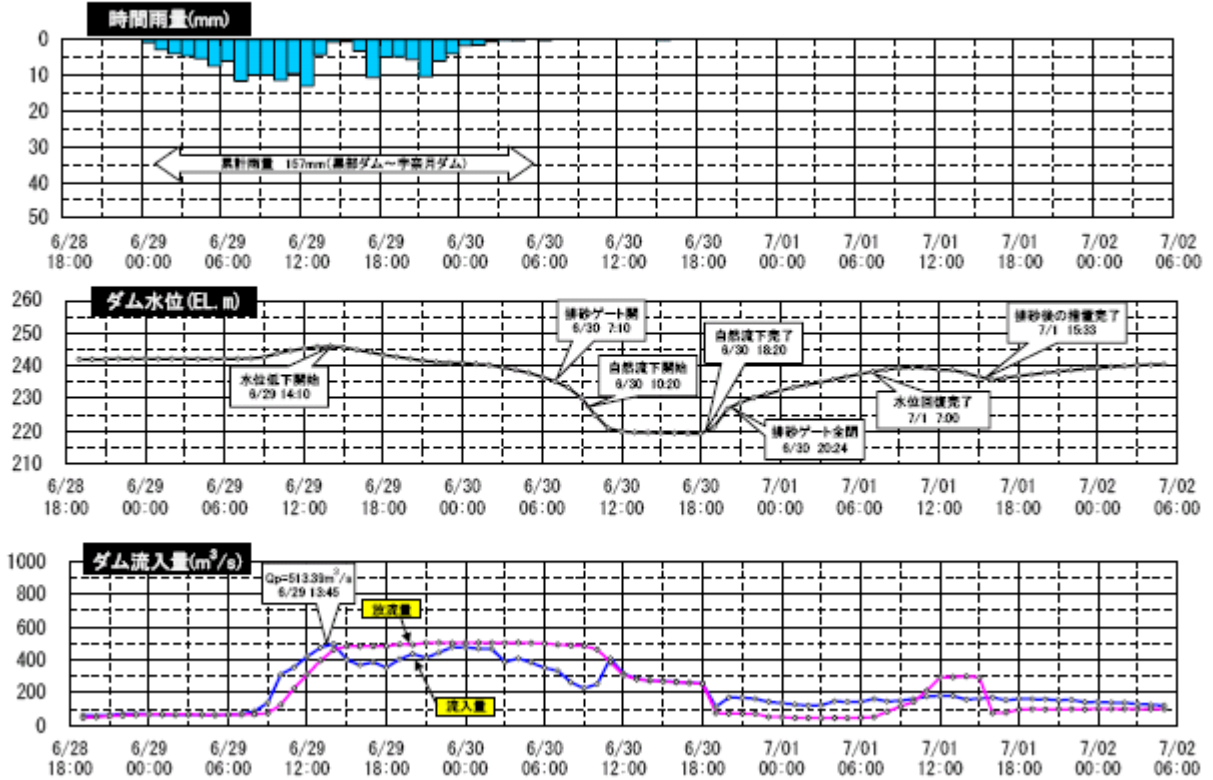


圖 2-61 宇奈月水庫聯合排砂資料曲線圖

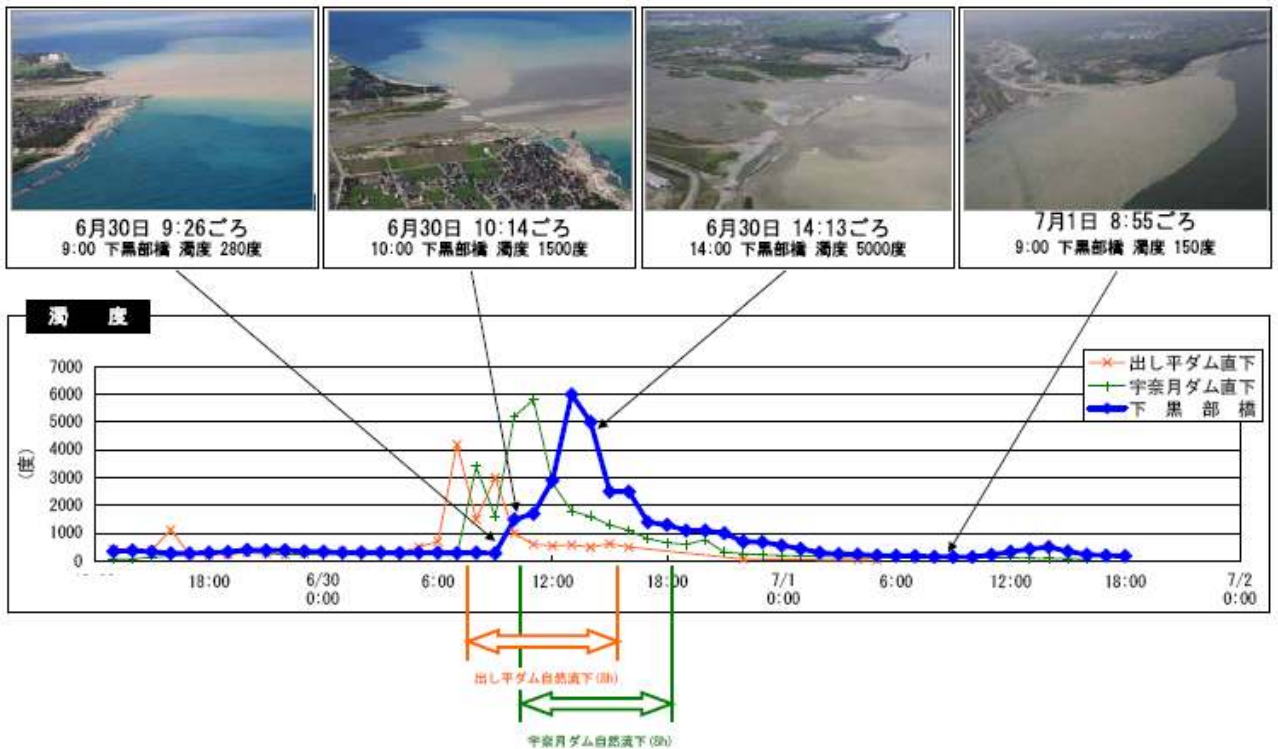


圖 2-62 濁度観測資料曲線

自然流下條件是出之平水庫及宇奈月水庫排砂的重要方法，自然流下條件自洪峰過後選擇適當時間開始，在自然流下開始前先透過排水設施及排砂道讓水庫水位快速下降至排砂道的高度，例如在 2008 年 6 月的聯合排砂實例中，出之平水庫在 16 個小時下降了 30 公尺，宇奈月水庫 20 個小時降了 18 公尺，水位下降後維持放水量與入流量一致，此時的河道就像一條沒有建壩的河川一樣(所以稱為自然流下)，洪峰過後的河水流量依然比平常大，降底水庫水位可使大水沖刷河道淤積砂泥並透過排砂道流出水庫，如此能使水力排砂發揮很大的功效，自然流下條件維持數個小時，視入流量減少時則減少放水量或完全停止放水，讓水位上漲恢復原有水位後聯合排砂作業即告結束。

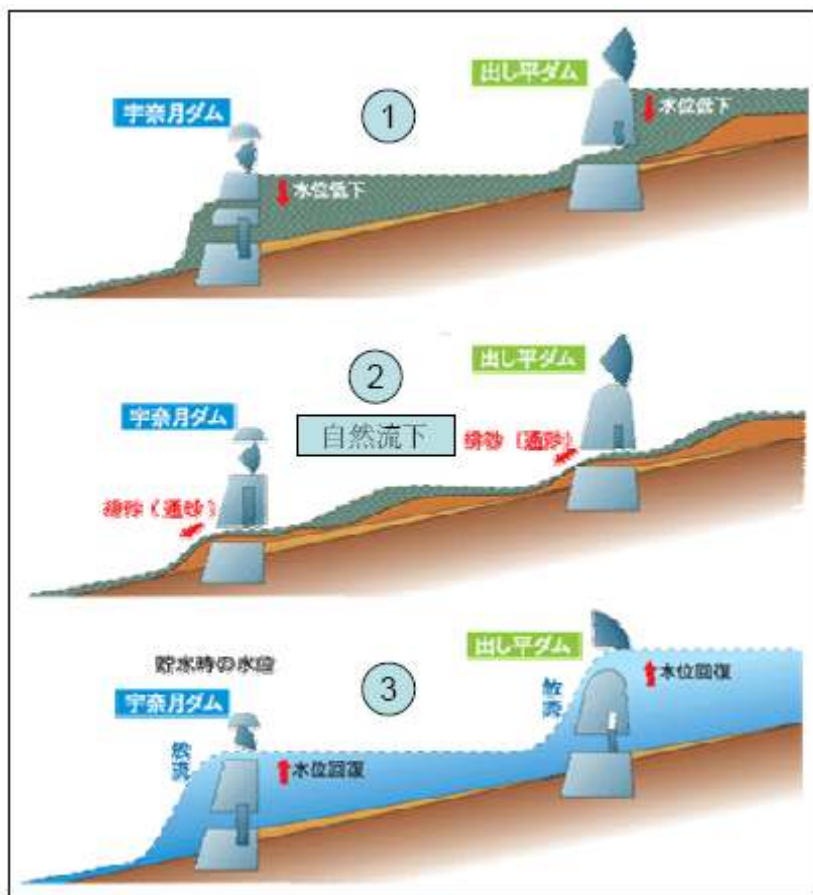


圖 2-63 聯合排砂過程模擬圖

## (七) 黑部水庫

黑部水庫隸屬於關西電力公司，黑部壩為圓弧式圓頂越流型拱壩，壩高 186 公尺，壩頂長 492 公尺，總蓄水量約 2 億立方公尺。興建黑部水庫的目的在解決二次世界大戰後日本經濟發展所需電力不足的問題，工期自 1956 年至 1963 年共耗時 7 年，其建設過程的艱辛被翻拍成電影「黑部的太陽」。完成後的電廠稱為「黑部第四發電廠」，為整體

環境美觀及避免雪崩的危害，所有設備建於地底下 150 公尺，其水力有效落差 545.5 公尺，用水量 72cms，發電量每年 10 億 kWh。

黑部水庫的完成很大程度的解決了 60 年代以後日本發展所需的電力問題，一直到現在它依然持續提供著日本所需的電力，水庫優美的景色與立山黑部形成一個極大範圍的觀光勝地，每年都吸引眾多觀光客前來。「黑四紀念館」位於大壩右岸，公開展示水庫相關資料、模型及紀錄影片等，描述著興建大壩初期那些辛苦工作人員的身影，跟所有偉大工程一樣，興建大壩的意外難免造成很多人的死亡，紀念館所要傳達的訊息就是要大眾在享受資源的時候，能夠體會現有成果的得來不易，進而能夠愛惜資源保護環境。



圖 2-64 開鑿隧道工作人員模型



圖 2-65 黑部壩(雪景)

## (八) 美和水庫

美和水庫位於長野縣，由國土交通省-中部地方整備局-三峰川綜合開發工事事務所管理。美和壩為重力式混凝土壩，工期自 1953 年至 1959 年共耗時 6 年，堤高 69.1 公尺，壩頂長 367.5 公尺，總蓄水量 29,952,000 立方公尺，有效蓄水量 20,745,000 立方公尺，集水面積 311.1 平方公里。水庫目標有洪水調節、灌溉與發電，其發電水力有效落差 58.85 公尺，最大使用水量 25.6cms，年供應電力約 4 千 4 百萬 kWh。



圖 2-66 鈴木所長(左二)、園原課長(左三)



圖 2-67 研究討論美和水庫排砂設施

美和水庫位於三峰川上，其流域地型陡峻，颱風豪雨期間洪水常有大量土砂在其中，美和水庫運轉 40 年間(1959~1999)已淤砂 1,900 萬立方公尺，其中光是 1959、1961、1982 及 1983 年的洪水就造成了 1,100 萬立方公尺的淤積，爲了水庫的永續發展而進行「美和水庫再開發」計畫，其主要工程有攔砂壩、三峰堰及繞庫排砂隧道(bypass)。

攔砂壩全長 144.4 公尺、高 10.2 公尺，堆砂容量 20 萬立方公尺，三峰堰全長 244.5 公尺、高 20.5 公尺，堆砂容量 52 萬立方公尺，三峰堰以上(含攔砂壩)的堆砂可在汛期過後透過機械挖掘清運。三峰堰另有分流的功能，使粗顆粒砂石沉積並引導含細顆粒砂泥的水流通往繞庫排砂隧道，隧道全長 4.3 公里，斷面寬度 7.8 公尺，最大流量 300cms，透過旁流通道，細顆粒砂泥可直接流向美和壩下游，避免淤積於水庫中。

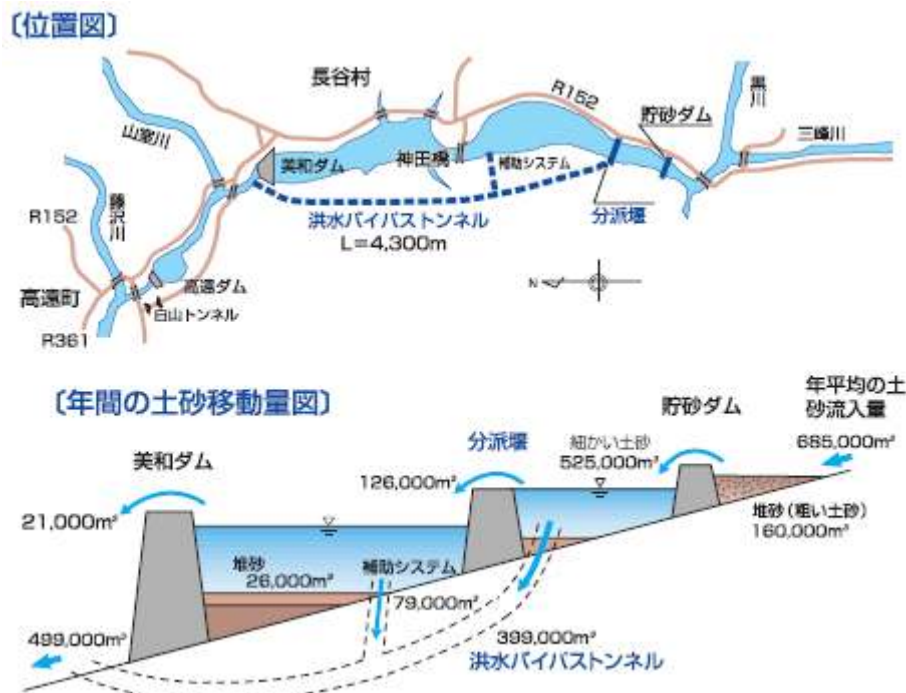


圖 2-68 年規劃土砂移動數量圖

這些被稱為「恆久堆砂對策施設」的工程自 2001 年 2 月開始施作，於 2005 年 5 月完工，共歷時將近 4 年，在 2006 年至 2007 年試運轉 3 次(2006 年 1 次、2007 年 2 次)有良好的效果，3 次試運轉共有 32 萬立方公尺的細顆粒土砂經過繞庫排砂隧道流出，52 萬立方公尺粗顆粒土砂淤積於三峰堰及攔砂壩，總計土砂控制 84 萬立方公尺，流入土砂有 118 萬立方公尺，控制率達到 70%。

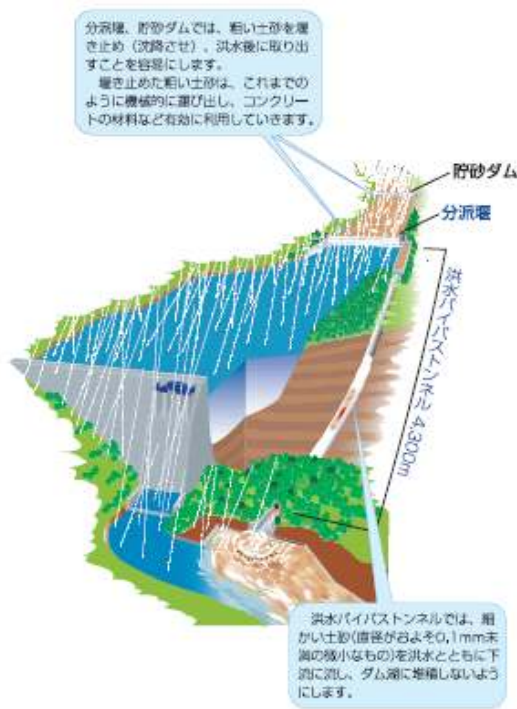


圖 2-69 排砂模擬圖



圖 2-70 繞庫排砂隧道入口



圖 2-71 排砂實例(2007.9.7)



圖 2-72 繞庫排砂隧道出口

令人好奇的是繞庫排砂隧道表面僅為強度  $21\text{N/mm}^2$  的原結構混凝土，並無特別鋪設耐磨材料。為了避免漂流木流入繞庫排砂隧道內，於隧道入口處設有攔木柵，隔絕漂流木於入口外。





圖 2-73 1982 年漂流木



圖 2-74 排砂隧道入水口前的攔木柵

### (九) 環狀七號線地下調節池

環狀七號線地下調節池及善福寺取水設備位於東京方南町，東京市政府建設局第三建設事務課施設維持係長白土博資解說各項工程設施。調節池位於神田川水系，流域面積 105 公里，包含新宿、池袋及日本橋等地區，為東京都內最大規模之中小河川，集眾多社會、經濟資源，為避免河川災害而以 10 年頻率重現期的時降雨強度 50mm 的規模進行整備(近年來有人倡議提高標準至 75mm/hr)。環狀七號線為快速公路，調節池沿公路

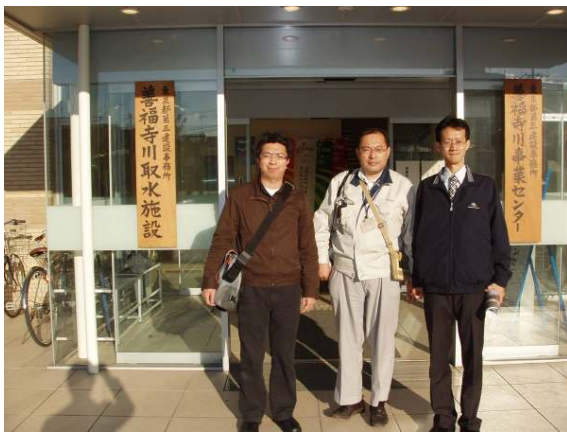


圖 2-75 白土博資(中)

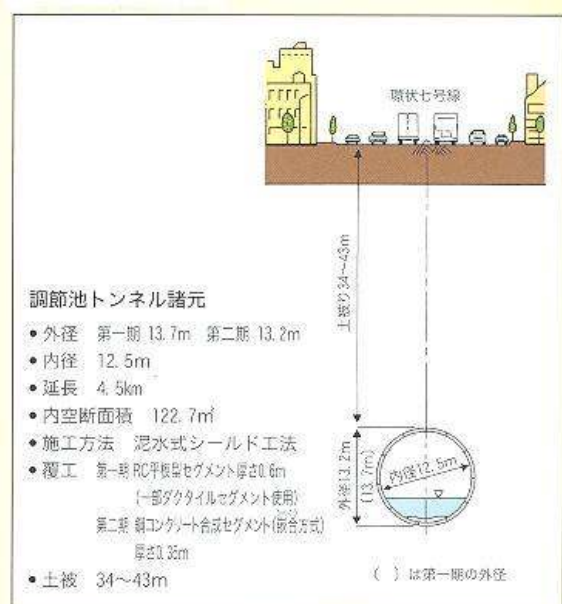


圖 2-76 環七地下調節池断面圖

地底下 34~43 公尺興建而與公路同名，調節池分兩段興建，第一階段調節池長度 2 公里、內徑 12.5 公尺，蓄水容量 24 萬立方公尺，其管壁以 RC 板鋪設(厚 0.6m)，工期自 1988

年至 1997 年共耗時 9 年；第二階段調節池長度 2.5 公里、內徑 12.5 公尺，蓄水容量 30 萬立方公尺，其管壁以鋼板及混凝土混合材料鋪設(厚 0.35m)，工期自 1995 年至 2007 年共耗時 12 年(含取水設施及運轉大樓)。總計環七地下調節池全長 4.5 公里，蓄水容量 54 萬立方公尺。



圖 2-77 神田川流域及環七地下調節池位置圖



圖 2-78 洪水流入調節池實例(左：平常時，右：洪水時)

「善福寺川取水施設」位於善福寺川及環七地下調節池的交叉處，但善福寺川與環七地下調節池並無直接交匯，而是透過取水設備導引善福寺川的水流進入環七地下調節池。善福寺川取水設備有越流堰(53 公尺)、隔音設施、導水路、沉砂池、消能池、豎井及抽水機等，爲了取水設備功用的完整發揮，善福寺川也作了河道整備 390 公尺，橋樑改善 3 座(減少橋墩)，擴大河道通水面積，增加河道容量減少災害。

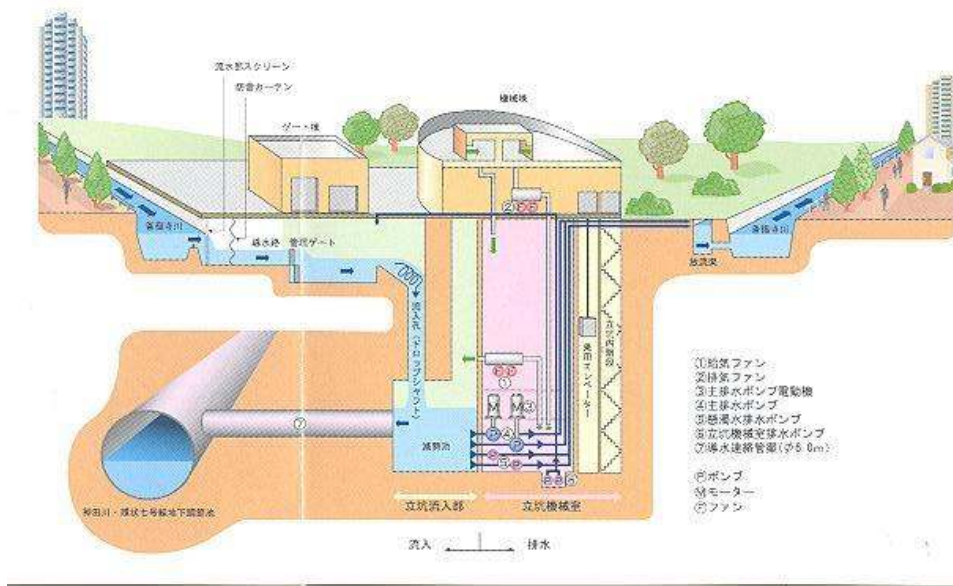


圖 2-79 善福寺川取水施設

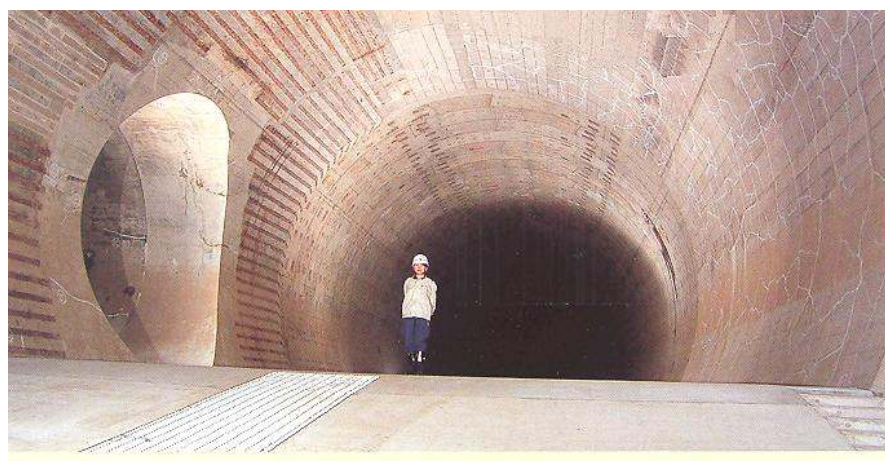


圖 2-80 善福寺川取水施設及環七地下調節池匯入口



圖 2-81 河道整備前後比較(左：整備前、右：整備後)

環七地下調節池的設置有效減少水災的發生，自 1997 年開始共有 23 回的操作實績，平均每年有 2 次洪水流入地下調節池，除了 2005 年的集中豪雨因環七調節池第 2 階段工程尚在進行中，洪水流入工區再溢出造成災害外，其他 22 次運轉都成功達到調節洪水功效。

## 參、 考察心得

### 一、 日本水庫漂流木處理及排砂技術

爲了水庫航道通暢及避免漂流木損壞閘門、進水口或發電機組等設施，日本各水庫皆有進行漂流木的打撈工作，並於水庫適當地點設置攔污索攔截漂流木，能集中打撈漂流木並避免漂流木流至大壩附近。漂流木後續處理可製作堆肥改良土壤、製作小徑木或木炭供民眾索取利用、製作藝術品等。

水庫的清淤及排砂關係到水庫的使用壽命，除了機械浚渫清淤，日本水庫利用設置的排砂結構物進行水力排砂。有利用洪水退水段進行洩降排砂(宇奈月水庫、出之平水庫)，使大水沖刷河道表面而將排砂面積延伸到較大的範圍；或有利用水庫上游之繞庫排砂隧道排砂(美和水庫)，將土砂還沒到達大壩前即流入繞庫隧道直接流向水庫下游。不論從事洩降排砂或利用繞庫排砂隧道，都能達到可觀的效果。

### 二、 日本都市河川防洪措施

此次考察見到日本對於首都及鄰近人口稠密都市的河川防災投入巨額建設經費，以鶴見川綜合治水對策爲例，包括綠地恢復、防災調整池、多目標遊水地、地下雨水貯留管及高床式建築等；又如東京都神田川環狀七號線地下調節池，沿公路地底下 34~43 公尺興建，工期耗時 12 年，全長 4.5 公里，蓄水容量達 54 萬立方公尺。

爲保護東京都及其周邊的稠密人口及重要政治、經濟資源所做的都市防洪措施可謂以黃金打造而成，除了傳統的滯洪池、遊水地外，更重金以潛遁機挖掘地下調節池，設置大型抽水站，擴大河道通水面積及強化堤防，甚至施作超級堤防，其都市河川防災技術，可供觀摩學習。因國情環境不同，及工程經費龐大，台灣恐難設置如東京都之地下蓄洪調節池，但有關於防災調整池、多目標滯洪池等，目前水利署推動執行之易淹水地區水患治理計畫，已有相關個案規劃辦理中。

## 肆、 結論與建議

本次參訪日本 14 天獲益良多，以日本先進施工技術及嚴謹從業態度下所完成的水利工程是我國可以參考學習的，特別在日本與台灣存有許多相似的地理及氣候條件下，於未來更可以加強彼此學習合作，為共同所面臨氣候變遷下的水利工作難題尋找出路。這次考察的建議如下：

1. 日本水庫多設有攔污索攔截漂流木，建議台灣面臨漂流木困擾的水庫也能考慮在水庫適當地點設置攔污索，其設置地點除了要考量流速條件外，也要考量未來漂流木清運的方便性。
2. 宇奈月水庫、出之平水庫利用洪水退水段降低水位並形成自然流下條件進行洩降排砂，美和水庫於水庫中上游設置繞庫排砂隧道於洪水期間排砂，二者皆有良好的排砂效果。台灣的水庫亦可考量各自的條件選擇採用，洩降排砂因有大量土砂通過排砂道，需特別注意排砂道表面耐磨材料的維護與更換。
3. 日本常在一條河川上興建多個水庫(系列水庫)，每個水庫容量不至於太大，若設有排砂道則可於洪水退水段進行洩降排砂，排砂完畢則令水位回升。但台灣於一條河川上大多只興建一個容量很大水庫，且很多水庫沒有低標高的排砂道，就算設有低標高的排砂道可進行洩降排砂，因水庫容量大會有擔心水位無法回升的壓力，故能進行洩降排砂的水庫不多。於水庫中上游設置繞庫排砂隧道，配合大壩原有的排砂設施，諸如排洪隧道、溢洪道、永久河道放水口(PRO)等進行不同地點(水庫中上游及下游)的聯合排砂，是可以考慮的方法。
4. 美和水庫配合繞庫排砂隧道的設施尚有上游攔砂壩、分流堰、進水口攔木柵等，台灣有意興建繞庫排砂隧道的水庫可作完整考量參考設置，為了解水流變化及排砂效果，建議進行水工模型試驗。
5. 超級堤防除了較傳統堤防有較高的安全性以外，還能創造民眾的親水空間。台灣河川坡陡流急，為避免水災多築高大堤防，將河川隔絕於市容之外，因此少有國際大都會所擁有的河川景觀，如巴黎的塞納河及倫敦的泰晤士河等。雖然超級堤防造價較貴，為整體市容的提升，仍可考慮在部分河段興建超級堤防，鋪陳優美的親水環境，為台灣打造國際級的都市美景。
6. 日本許多水利機關設有展示館(室)，如京浜河川事務所的鶴見川流域中心、江戶川河川事務所的龍 Q 館、宇奈月水庫的大夢來館及黑部水庫的黑四紀念館

等，建議台灣的水利機關也能參考設立展覽館(室)，藉由展覽館所提供的照片、模型、影像等資料，向參觀民眾介紹政府治水的努力及成效，使民眾能了解水利工作的重要而提供支持，並能夠愛護環境珍惜水資源。

7. 東京所進行的地下水利工程，諸如首都圈外郭放水路及環七地下調整池等，可謂充分發揮土地的利用，但地下工程造價昂貴施工不易，建議目前台灣的都市河川防洪措施仍以地面上的方法為優先考量。

## 伍、 參考文獻

1. 池田綜合管理所：<http://www.water.go.jp/yoshino/ikeda/index.html>
2. 大渡水庫管理所：<http://www.skr.mlit.go.jp/oodo/index.html>
3. 京浜河川事務所：<http://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/>
4. 鶴見川流域中心：<http://www.tsurumi365.info/center/>
5. 江戸川河川事務所：<http://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/>
6. 黒部河川事務所：<http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/>
7. 關西電力：<http://www.kepco.co.jp/index.html>
8. 黒部水庫：<http://www.kurobe-dam.com/>
9. 三峰川綜合開發工事事務所：<http://www.cbr.mlit.go.jp/mibuso/>
10. 東京都建設局：<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/>
11. 台日綜合治水技術交流講習會資料，2008年10月，經濟部水利署。