

出國報告（出國類別：考察）

氣候變遷調適議題參訪－氣候變遷 下水庫及河川淤砂處理對策

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：白烈燿 局長

劉敏梧 研究員兼課長

林家弘 科長

溫展華 正工程司兼課長

蕭文昌 正工程司

鄒侑達 正工程司

派赴國家：日本

出國期間：108年9月29日至108年10月5日

報告日期：108年11月

摘要

本次考察主要分為日本河川整備研究所、姬川、宇奈月水庫、出平水庫、立山火山口砂防設施、多摩川環境營造及首都圈外郭放水路參訪。

首先赴日本河川整備研究所提供簡報及意見交流，深入瞭解日本對於氣候變遷下的河川治理規劃，除了採用過去降雨之規模直接乘以氣候變動率外，近年開始運用氣候變遷決策模式推算預測未來降雨及計畫流量。由於氣候變遷速度加劇，日本政府非全然以加高堤防因應，而是在既有堤防思考以工法或內部材料改變，以延緩潰堤速度，增加搶險時間，降低淹水危害。

姬川主要是瞭解無人挖土機於危險河段內的疏浚工作，並實地參訪土砂崩塌於河道內之解決對策。宇奈月水庫及出平水庫之排砂設計與操作係本次考察主題之一，本次由國土交通省北陸地方整備局黑部河川事務所及關西電力公司進行解說，除實地進入兩個水庫的內部操作閘門與相關維修操作通道外，也參訪排砂閘門結構，並就輸砂與通砂操作機制有詳細的說明。

參觀立山火山口砂防設施，瞭解日本在面對大自然地質及氣候等嚴厲條件下，如何解決相關防砂課題。多摩川環境營造則是瞭解日本對於生態與工程間如何共存，及地方民眾參與等課題，均可提供臺灣作為參考。首都圈外郭放水路則是瞭解關係著東京都地區的重大排水防洪計畫，該設施也在今(108)年哈吉貝颱風期間發揮可觀的功效，有效降低洪水位及淹水戶數，減少災情發生。

目錄

摘要.....	I
目錄.....	II
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
壹、 目的.....	1
貳、 考察團員及行程.....	2
一、 考察團成員.....	2
二、 主要行程.....	2
參、 考察過程.....	5
一、 訪問日本河川整備研究所.....	5
二、 姬川現地參訪.....	15
三、 參訪宇奈月水庫、出平水庫.....	17
四、 立山砂防事務所及參訪立山火山口防砂博物館、參訪防砂設施.....	28
五、 參訪多摩川.....	42
六、 參訪首都圈外郭放水路(Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel).....	48
肆、 參訪心得.....	59
一、 日本河川整備中心.....	59
二、 姬川.....	60
三、 宇奈月水庫、出平水庫.....	60
四、 立山防砂設施.....	61
五、 多摩川.....	63
六、 首都圈外郭放水路.....	63
伍、 結語與建議.....	64

表目錄

表 1 考察行程表.....	3
表 2 出平水庫及宇奈月水庫基本資料.....	17

圖目錄

圖 1 參訪位置圖.....	4
圖 2 領隊致贈河川整備研究所理事長小野 武彥先生紀念品.....	5
圖 3 河川整備研究所理事長小野 武彥先生回贈紀念品.....	6
圖 4 團員與日本河川整備研究所合影.....	6
圖 5 日本河川整備研究所首席研究員水草 浩一先生進行簡報.....	7
圖 6 雙方意見交流.....	8
圖 7 延緩堤防潰決時間緊急措施.....	9
圖 8 針對氣候變遷所研提對策.....	10
圖 9 降雨預測數據估算流量.....	11
圖 10 降雨預測數據估算流量.....	12
圖 11 以工法延緩潰堤速度.....	13
圖 12 以滯洪調節為整備計畫.....	14
圖 13 整治工程.....	15
圖 14 參訪姬川現地解說.....	16
圖 15 姬川工地之無人機操作示範.....	16
圖 16 宇奈月壩設計階段模擬圖.....	18
圖 17 宇奈月壩現況照片.....	19
圖 18 宇奈月壩壩體內監測廊道透視圖.....	19
圖 19 宇奈月壩壩體內監測廊道現況照片.....	20
圖 20 宇奈月壩監測廊道預鑄構件設計圖.....	21
圖 21 宇奈月壩監測廊道現場施工情形.....	21
圖 22 宇奈月壩監測廊道施工工序示意圖.....	22
圖 23 宇奈月壩各閘門部置解說圖.....	22
圖 24 出平壩與宇奈月壩排砂設施示意圖.....	25
圖 25 宇奈月壩排砂閘門詳圖.....	25
圖 26 白河防洪防淤隧道縱斷面圖.....	26
圖 27 曾文防淤隧道閘室配置縱斷圖.....	26
圖 28 白河防洪防淤隧道閘門沖砂設備圖.....	27
圖 29 參訪立山火山口防砂博物館.....	29
圖 30 本宮砂防堰堤.....	30
圖 31 於本宮砂防堰堤解說.....	30
圖 32 六九谷展望台.....	31
圖 33 於多枝原平展望台合影.....	32
圖 34 白岩砂防堰堤.....	33
圖 35 白岩砂防堤位置位於立山火山口出口位置.....	33

圖 36	白岩砂防堰堤高差 108 公尺.....	34
圖 37	白岩砂防堰堤右岸補強對策.....	35
圖 38	右岸補強工法隧道.....	35
圖 39	H31 有峰地區溪岸對策(二重谷)工程告示牌.....	38
圖 40	防砂壩清除浮石施工情形.....	38
圖 41	無人化遠端操作室操作情形.....	39
圖 42	施工警戒綠、藍、黃、紅 4 種燈號.....	39
圖 43	職業安全衛生設備-護欄照片.....	40
圖 44	職業安全衛生設備-上下設備照片.....	40
圖 45	職業安全衛生設備-職安宣導走廊照片.....	41
圖 46	職業安全衛生設備-職安告示牌照片.....	41
圖 47	多摩川陸域空間各機能空間分布圖.....	42
圖 48	多摩川水域空間各機能空間分布圖.....	43
圖 49	多摩川宿河原堰堤.....	45
圖 50	多摩川宿河原堰堤魚道.....	46
圖 51	玉川生態博物館導覽照片.....	46
圖 52	本團與河川整備所及京浜河川事務所合影.....	47
圖 53	首都圏外郭放水路位置圖.....	48
圖 54	五個豎井及隧道示意圖.....	50
圖 55	整體入流量與抽水量示意圖.....	50
圖 56	參訪調壓井解說.....	51
圖 57	調壓井內合影.....	52
圖 58	第一豎井.....	52
圖 59	調壓井內起抽水水位與停止操作水位.....	54
圖 60	哈吉貝颱風期間首都圏外郭放水路操作情形.....	55
圖 61	哈吉貝颱風期間操作影像.....	56
圖 62	哈吉貝颱風期間調壓槽情況.....	56
圖 63	首都圏外郭放水路於哈吉貝颱風減少淹水戶數.....	57
圖 64	哈吉貝颱風期間實際減少水位成果.....	58

壹、 目的

臺灣地區山高坡陡，河短流急，雖雨量豐沛，但豐枯懸殊，傳統水資源利用採興建水庫來蓄豐濟枯，然因地質條件欠佳，山區地質鬆軟，且近年因全球暖化與氣候變遷使降雨集中，造成土石經洪水沖刷淤積於野溪、河道及水庫之情況，又經歷 921 地震、艾利及莫拉克風災後讓水庫淤積情形更趨嚴重，使水庫有效容量加速減少，降低可利用水資源。如何處理水庫淤砂，以維持水庫容量、延長水庫壽命，已成為臺灣水庫面臨的迫切問題。

鑒於日本地理環境與臺灣相似，本次考察拜會河川整備研究所、國土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所及關東地方整備局京濱河川事務所等單位，瞭解日本系列水庫及河川淤積問題、排砂操作、排砂技術、現況、成效及可能面臨之問題，作為國內未來處理淤積問題解決對策擬定參考，並安排赴宇奈月水庫、出平水庫、多摩川及首都圈外郭放水路等地參訪，實際瞭解現場及相關作業，期能學習日本相關技術與新知並進行交流。

貳、 考察團員及行程

一、 考察團成員

本次考察團成員有第三河川局白局長烈燿(團長)、水利規劃試驗所灌排課劉研究員兼課長敏梧、水利署河川海岸組林科長家弘、第二河川局工務課溫展華正工程司兼課長、第七河川局蕭正工程司文昌、水利署工程事務組鄒正工程司侑達及黎明工程顧問有限公司顏協理呈仰、陳經理瑞昌。

二、 主要行程

本次考察主要係拜訪日本河川整備研究所就河川治理、土砂綜合管理等議題進行交流。並且安排現地參訪姬川、宇奈月水庫、出平水庫、立山砂防事務所、立山火山口防砂博物館、多摩川及首都圏外郭放水路等。透過日本河川整備研究所研究員阿部 充先生熱心協助及聯絡，始得以順利拜會國土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所(姬川)、國土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所(宇奈月水庫)、關西電力公司(出平水庫)、國土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所(立山火山口防砂博物館)、日本國土交通省關東地方整備局京浜河川事務所(多摩川)，位置詳參圖 1。

表 1 考察行程表

日期	活動時間	主要活動	地點
9/29(日)	全日	啟程：桃園至日本	桃園、東京
9/30(一)	上午	拜會河川整備研究所	河川整備研究所
		東京至長野	新幹線
	下午	租車赴姬川現勘	姬川現地
		前往下榻旅館入住	飯店
10/1(二)	上午	搭地鐵至出平水庫	出平水庫
		出平水庫現勘	出平水庫
	下午	搭地鐵至宇奈月水庫	宇奈月水庫
		宇奈月水庫現勘	宇奈月水庫
		搭新幹線前往下榻旅館入住	飯店
10/2(三)	全日	租車赴立山砂防博物館	立山
		立山砂防博物館參訪	立山砂防博物館
		津之浦下流砂防堰堤、本宮砂防堰堤、六九谷展望台、泥谷砂防堰堤群、白岩砂防堰堤等地現勘	常願寺川
		前往下榻旅館入住	飯店
10/3(四)	上午	富山→東京上野	東京
	下午	赴多摩大橋及宿河原堰堤現勘	多摩川
		前往下榻旅館入住	飯店
10/4(五)	全日	赴首都圈外郭放水路	春日部市
		首都圈外郭放水路現勘	首都圈外郭放水路
		前往下榻旅館入住	飯店
10/5(六)	全日	返程：日本→桃園→台中	桃園、台中

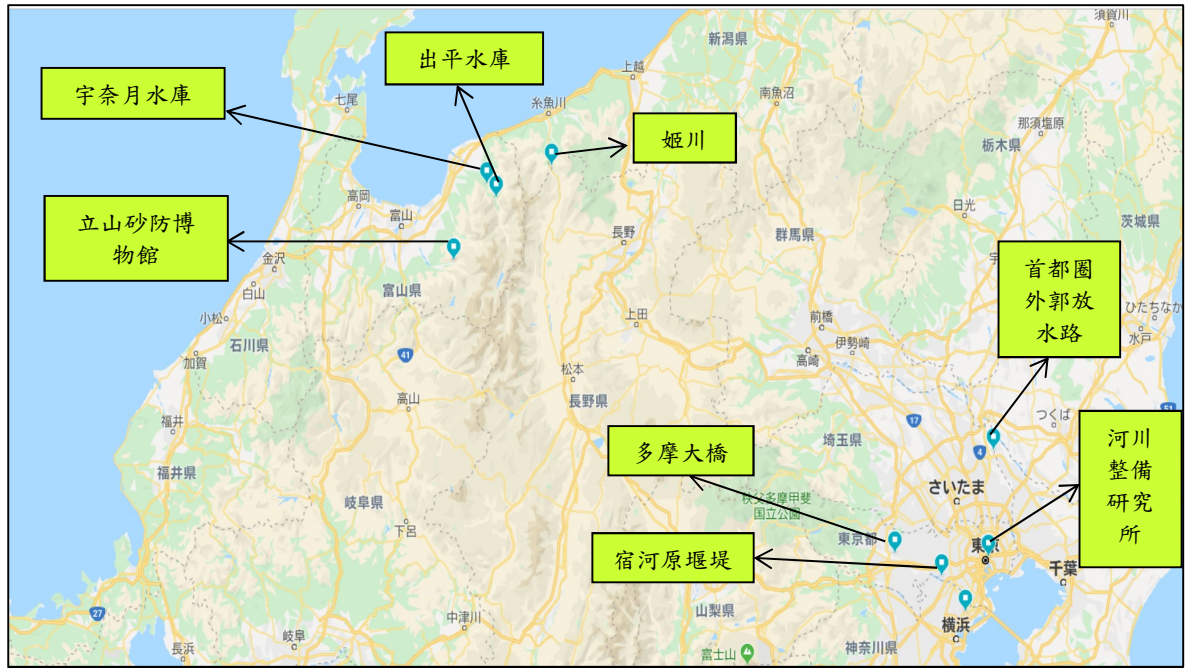


圖 1 參訪位置圖

參、 考察過程

一、 訪問日本河川整備研究所

- (一) 首先由團長白局長烈燿致贈河川整備研究所理事長小野 武彥先生紀念品，以感謝本次參訪期間日本河川整備研究所的大力協助安排，方能使本次參訪行程得以順利完成。



圖 2 領隊致贈河川整備研究所理事長小野 武彥先生紀念品



圖 3 河川整備研究所理事長小野 武彦先生回贈紀念品



圖 4 團員與日本河川整備研究所合影

(二) 參訪過程：

本次考察目的主要為瞭解氣候變遷下水庫及河川淤砂處理對策，於行前由團員初擬相關議題，希望能更深入瞭解日本在面臨氣候變遷條件下對於土砂防治、河川管理等議題上的策略及因應方式。首先由日本河川整備研究所首席研究員水草 浩一先生進行簡報，後續由雙方進行議題交流。



圖 5 日本河川整備研究所首席研究員水草 浩一先生進行簡報



圖 6 雙方意見交流

- 2018年7月の大雨，由洪水位抬升造成迴水等現象加劇洪水氾濫的深度，約有120條河流部分河段可能有大規模生命安全，需要緊急檢查，並採取堤防強化加固，延緩堤防潰決時間等緊急措施。根據「關鍵基礎設施的緊急檢查」的結果，擬訂採取應對措施，並於2018年12月14日核定「防災減災和加強國土三年應急措施」推動執行。

河川	全国の河川における堤防決壊時の危険性に関する緊急対策	国土強靱化 <small>国土強靱化戦略</small>
<p>概要:平成30年7月豪雨を踏まえ、バックウォーター現象等により氾濫した場合の湛水深等の緊急点検を行い、甚大な人命被害等が生じる恐れのある区間を有する河川約120河川について、合流部等の堤防強化対策や堤防かさ上げ等の緊急対策を実施する。</p>		
<p>府省庁名:国土交通省</p>		
氾濫水の深い水深による人命への危険性等に対応した堤防強化対策等を実施		
<p>箇所:①国:約70河川 ②都道府県等:約50河川 湛水深が深く、浸水想定区域の家屋数が一定以上ある箇所又は、重要施設がある箇所</p> <p>期間:2020年度まで</p> <p>実施主体:国、都道府県等の河川管理者</p> <p>内容:堤防決壊を防止又は決壊までの時間を引き延ばす堤防の強化対策やかさ上げ等を実施</p> <p>達成目標:堤防決壊が発生した場合に湛水深が深く、特に多数の人命被害等が生じる恐れのある区間において、堤防強化対策等を概成</p>	 	
3		

圖 7 延緩堤防潰決時間緊急措施

2. 隨着氣候變化引起的水文量的變化，各河川的治水安全度總體上呈下降趨勢。另外，由於未來的氣溫上升，治水安全性也會降低，因此，有必要增加措施確保目標的治水安全度，同時採取各項水災害防治對策。

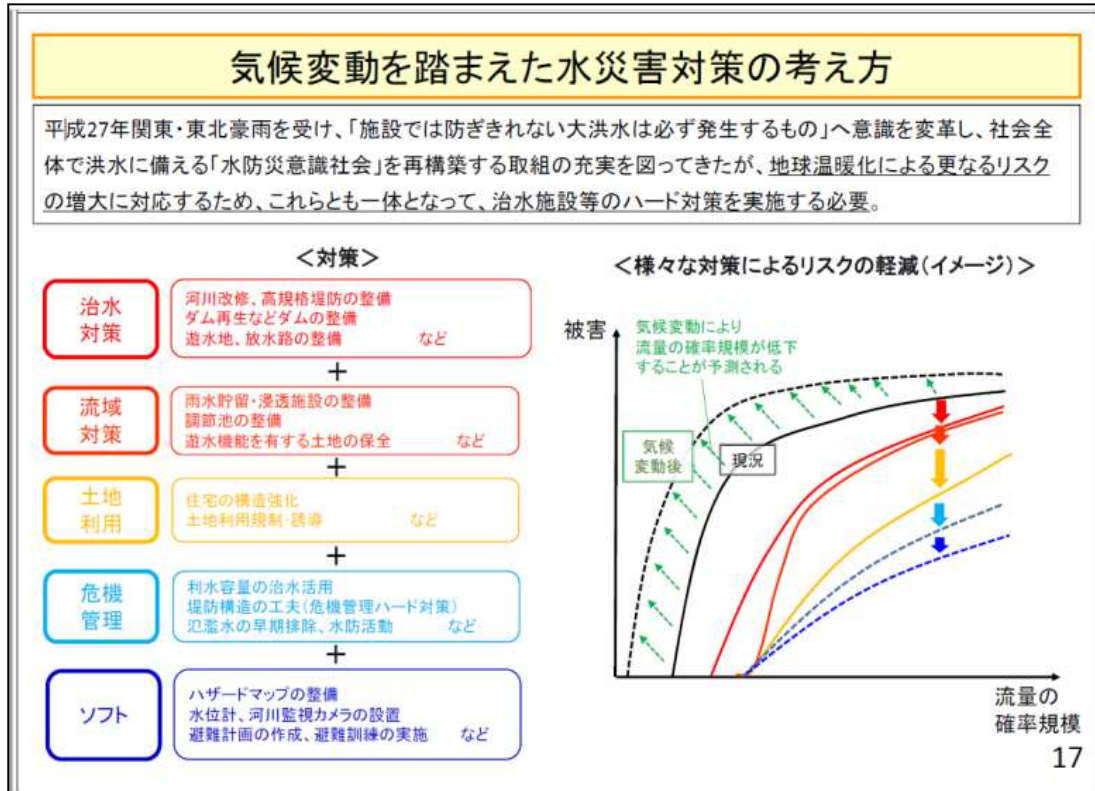
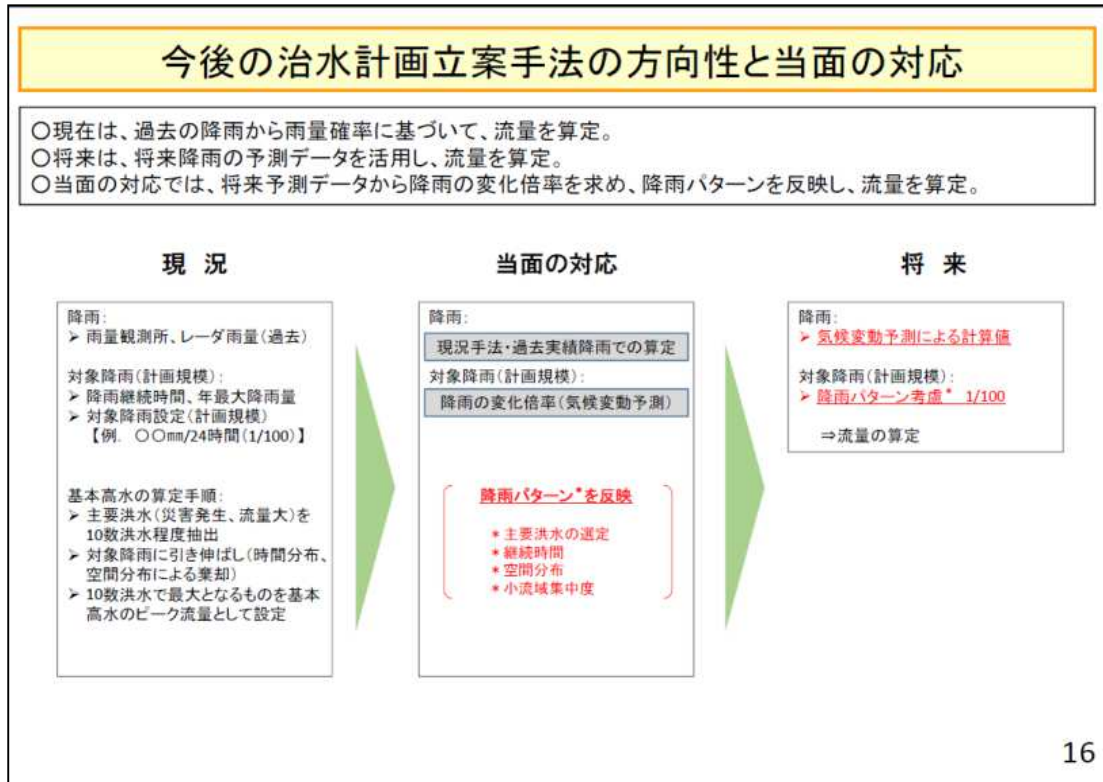


圖 8 針對氣候變遷所研提對策

3. 在防洪規劃未來方向及應對作法上，目前流量推估方式是根據過去降雨的降雨機率計算得出，未來則將使用降雨預測數據來計算流量。



4. 在流量計算方法及對策方面，當前的防洪計畫係以實際降雨量進行統計分析來訂定雨量規模及基本洪水量，而因氣候變化引起的降雨倍增因子，將來也可根據大量的數據預測未來降雨來計算流量（database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)氣候變遷決策資料庫），作為未來計畫流量規模。

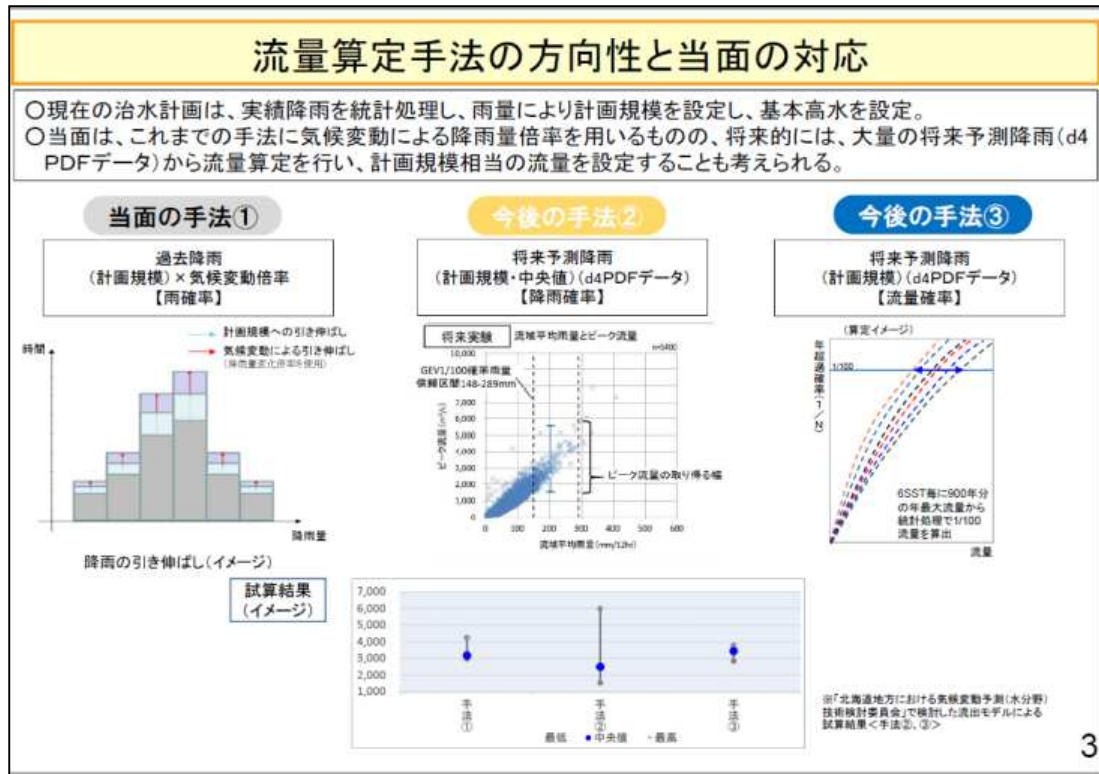


圖 10 降雨預測數據估算流量

5. 由於氣候變遷速度加劇，日本政府並非全然以加高堤防因應，而是在既有堤防思考以工法或內部材料改變，以延緩潰堤速度，增加搶險時間，降低淹水危害。

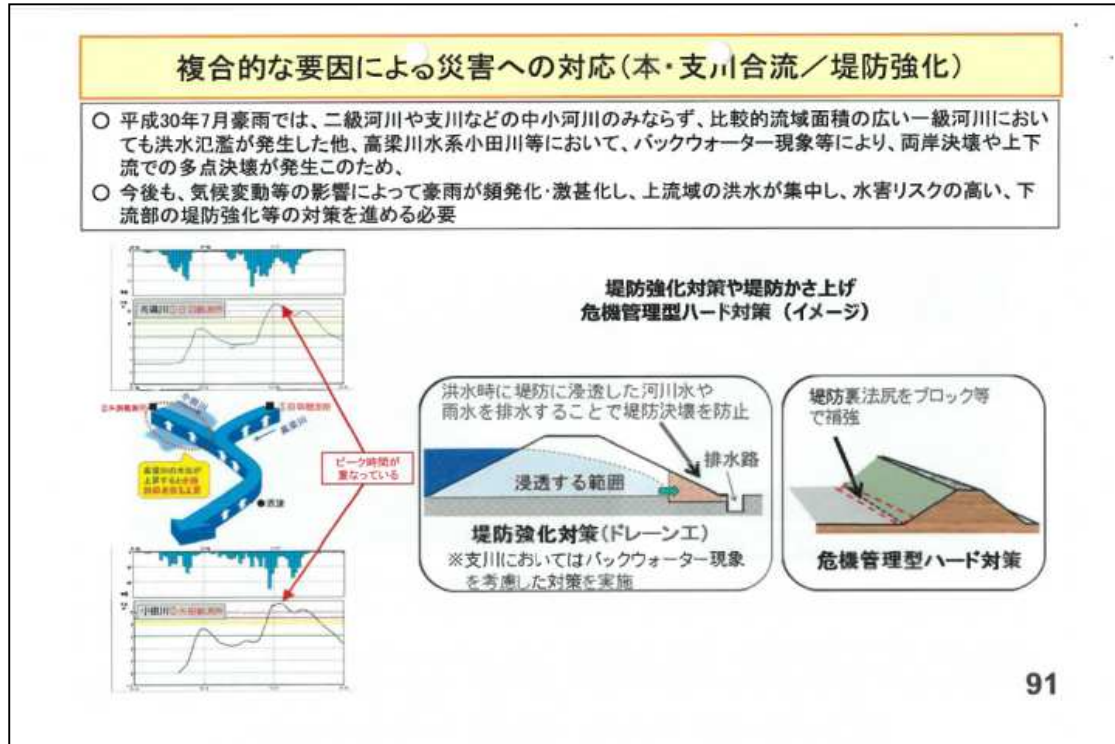


圖 11 以工法延緩潰堤速度

6. 水庫淤砂問題，由於日本水資源較為充沛，甚至可在與 NGO 團體溝通後另建一壩作為臨時蓄洪空間，再於舊的水庫進行空庫排砂。
7. 日本政府面對氣候變遷目前仍以硬體建設為主，非工程措施為輔，但民眾認為國家預算應用於刀口(如社會福利等)，而不是花費大筆預算來提高一點點保護標準，人民要有容忍淹水的韌性。
8. 2020 年東京奧運即將舉行，因應氣候變遷的緊急避難措施也納入考量。
9. 在氣候變遷下複合性災害較以往嚴重，日本政府認為建設調節洪水(如滯洪)較疏洪更為快速及可行。

手戻りの防止、構造的な工夫

整備手順の見直しの考え方

- RCP2.6を前提にした場合の方針メニューを想定し、現行の河川整備計画で中途半端な規模で整備することになる施設がないか確認し、RCP2.6を前提にした方針メニューの中から、手戻りがない整備手順に入れ替え。
- 手戻りのない手順が複数ある場合、RCP8.5を前提にした方針メニューを想定し、手戻りが小さい整備手順を選定。

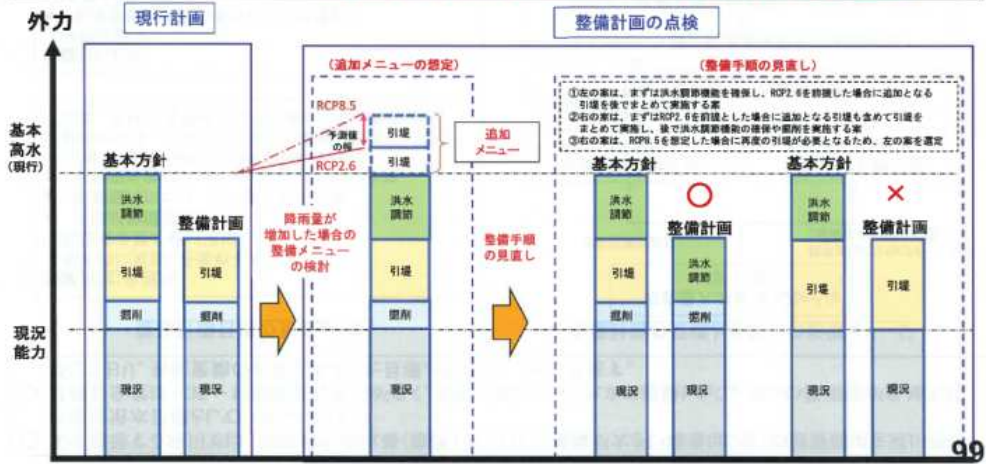


圖 12 以滯洪調節為整備計畫

二、 姬川現地參訪

(一) 姬川上游地區地質破碎，坡面處理仍以工程手段為主。



圖 13 整治工程

(二) 日本對河川生態調查及維護不遺餘力，但遇有緊急工程須於短時間完成以保障人民生命財產安全者，生態檢核作業得以精簡。

(三) 考量施工人員的安全，於具有危險工作場域採用無人挖土機操作，以達保護人員之目的。於招標內容便已將無人挖土機納入契約要求，現場也可見操作人員，手持遠端操作機具，操控無人挖土機，經詢問操作範圍約 200 公尺內，但是操作人員必須站在堤岸邊，以目視方式進行無人挖土機操作，此智慧操作工程機械係日本目前極力推廣之政策，於日本國內工程界已相當普遍。

(四) 日本河川治理及邊坡的治理係以計畫洪水位作分界，計畫洪水位以下是河川事務所(河川局)，計畫洪水位以上砂防事務所(水保局)，大致上與台灣之權責分工相似。



圖 14 參訪姬川現地解說



圖 15 姬川工地之無人機操作示範

三、 參訪宇奈月水庫、出平水庫

出平水庫及宇奈月水庫均位於黑部川，分別由關西電力公司及國土交通省北陸地方整備局管理，基本資料詳表 2。

表 2 出平水庫及宇奈月水庫基本資料

項目	出平水庫	宇奈月水庫
水系	黑部川水系	黑部川水系
壩型式	重力式混凝土壩	重力式混凝土壩
壩高(公尺)	76.7	97
壩長(公尺)	136.0	190
壩體積(立方公尺)	203,000	510,000
流域面積(平方公里)	461.2	617.5
蓄水面積(公頃)	35.0	88
總蓄水量(立方公尺)	9,010,000	24,700,000
有效蓄水量(立方公尺)	1,657,000	12,700,000
用途	發電	洪水調節、供水、發電
管理單位	關西電力	國土交通省北陸地方整備局
開工年/竣工年	1980年/1985年	1974年/2001年

(一) 宇奈月壩-日本第一個採用預鑄構件的混凝土壩

日本的混凝土壩築壩技術在近 20 年以來，有幾個重要的技術推展，包含了碾壓混凝土壩(Roller compacted concrete dam，簡稱 RCC Dam)的運用、砂礫膠凝壩(cement sand and gravel dam，簡稱 CSG Dam) 的運用以及預鑄構件運用於混凝土壩的監測廊道等設施，類似的技術在日本的相關技術報導經常的被提及。

傳統的混凝土壩在築壩過程中，經常的被巨積混凝土的水化熱所困擾並且影響工進，尤其是在施築到閘門開口或者監測廊道時，介面的施工特別影響工進；因此，混凝土壩的技術逐漸往 RCC Dam 或者 CSG Dam 發展就是為瞭解決這些問題，而其中重要的關鍵也包含了採用預鑄構件在廊道與開口處簡化介面施工問題。

宇奈月水庫完成於 2001 年，計畫目標是以防洪為主，供水及發電為輔的水庫，並且因為黑部川的多砂特性，為了避免水庫的淤積，因此與出平水庫串聯排砂，可以說是在設計階段就把水庫排砂的功能考量在內。因此，出平壩跟宇奈月

壩共同的特色就是具有相對較多的放水口與閘門，至少包含：排砂閘門、排洪閘門、發電進水口以及壩頂溢洪道，因此從外觀上可以發現大壩具有相對較多的開口(圖 16 及圖 17、圖 23)，而這些壩體的開口也衍生一個相對的問題-壩體內複雜的廊道布置(圖 18 及圖 19)。

為了達成這些廊道的施工，宇奈月水庫的施工單位發展出一套預鑄混凝土構件的施工方法，以事前預鑄的混凝土構件(圖 20)吊放現場組裝之後，以高流動性混凝土填充預鑄構件的底部與週邊，然後再以一般混凝土作大面積的填築(圖 21 及圖 22)。

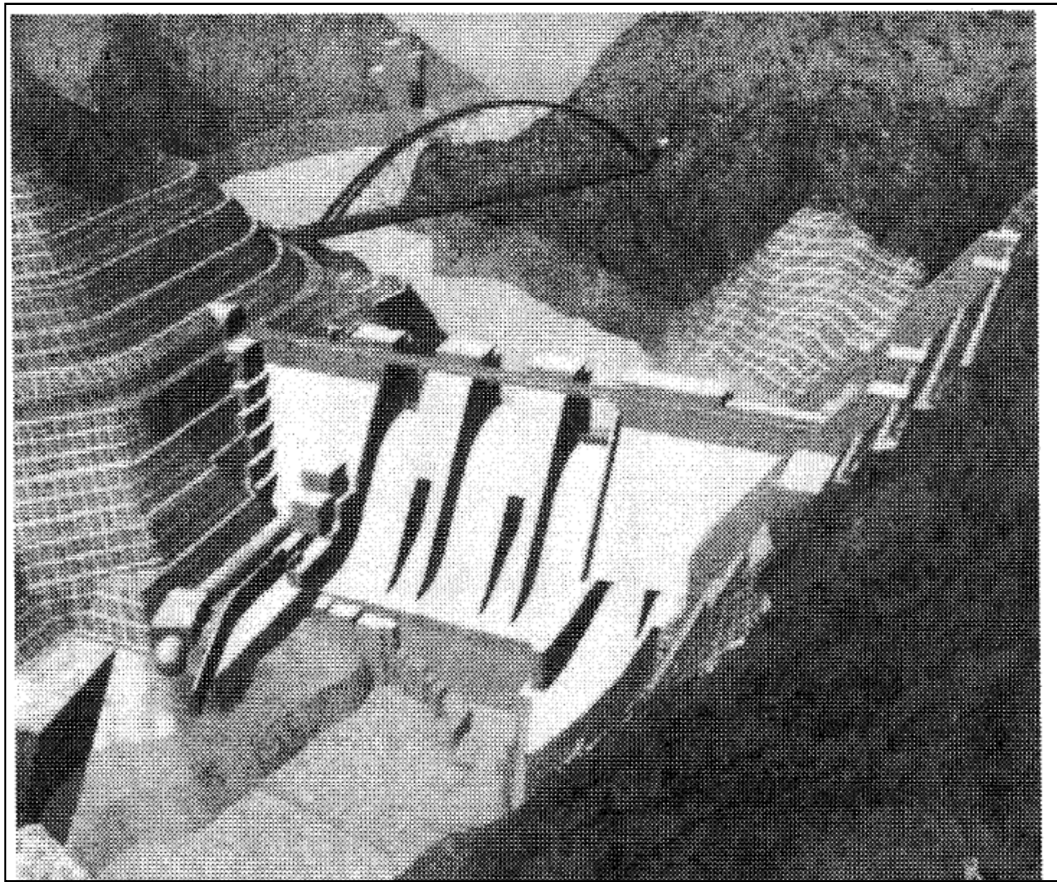


圖 16 宇奈月壩設計階段模擬圖



圖 17 宇奈月壩現況照片

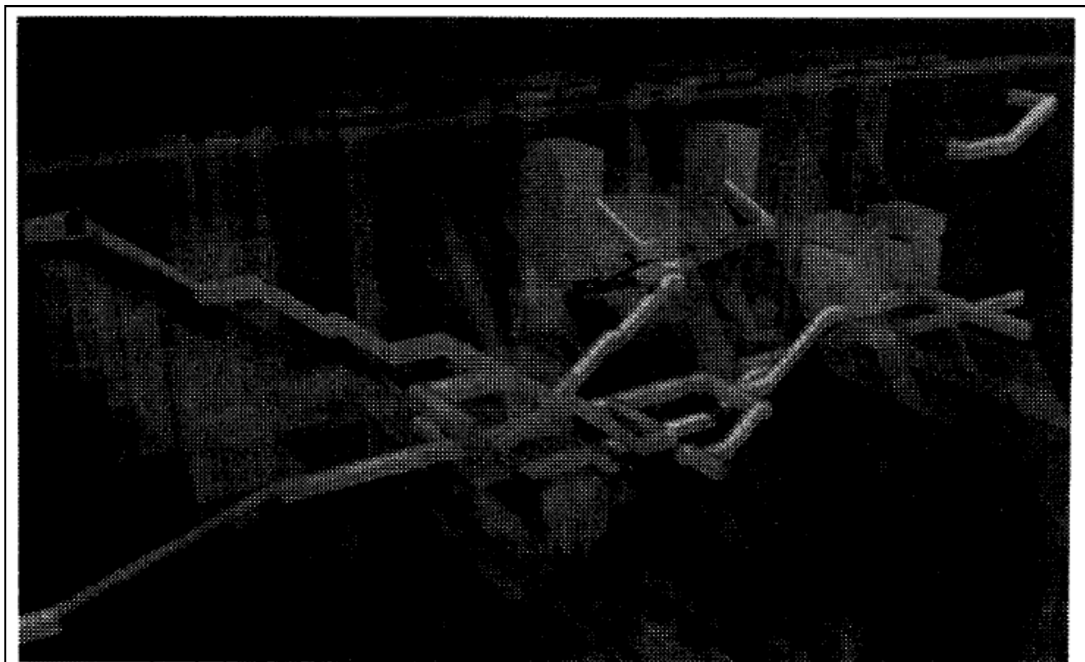


圖 18 宇奈月壩壩體內監測廊道透視圖



圖 19 宇奈月壩壩體內監測廊道現況照片

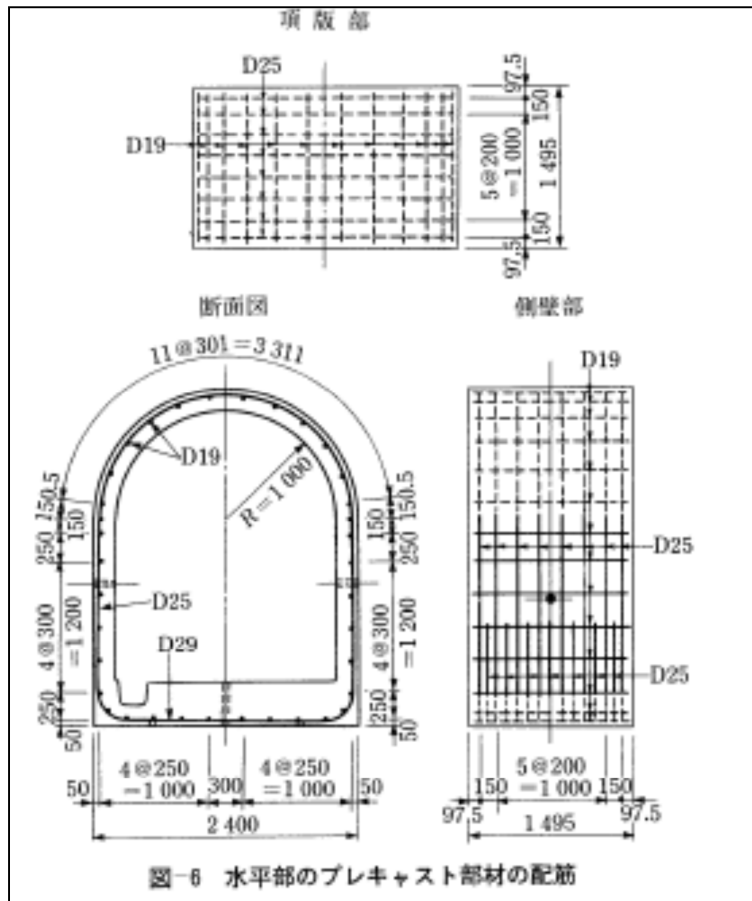


圖 20 宇奈月壩監測廊道預鑄構件設計圖

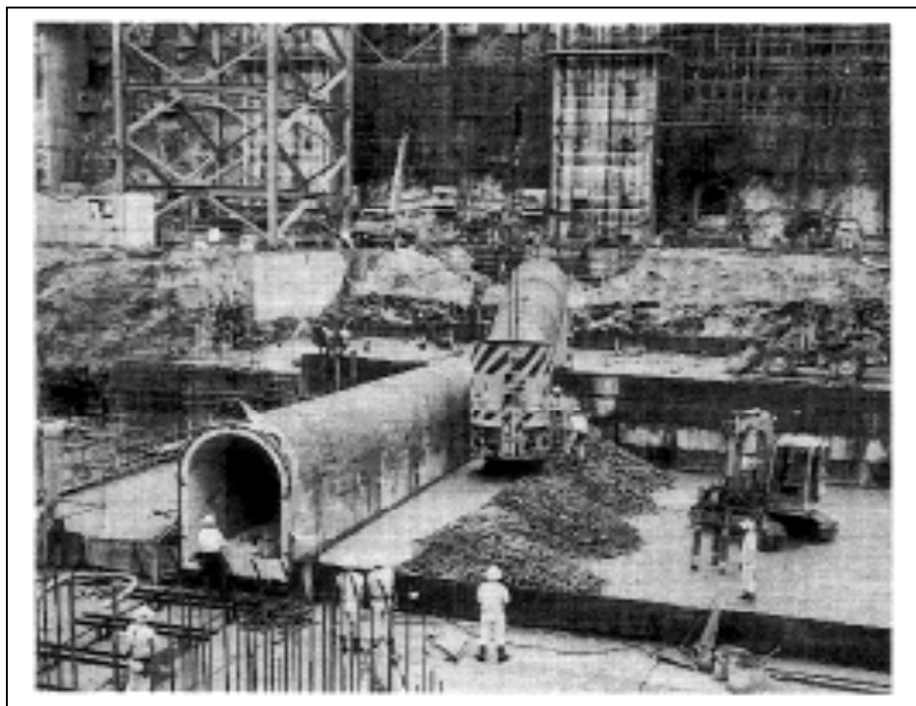


圖 21 宇奈月壩監測廊道現場施工情形

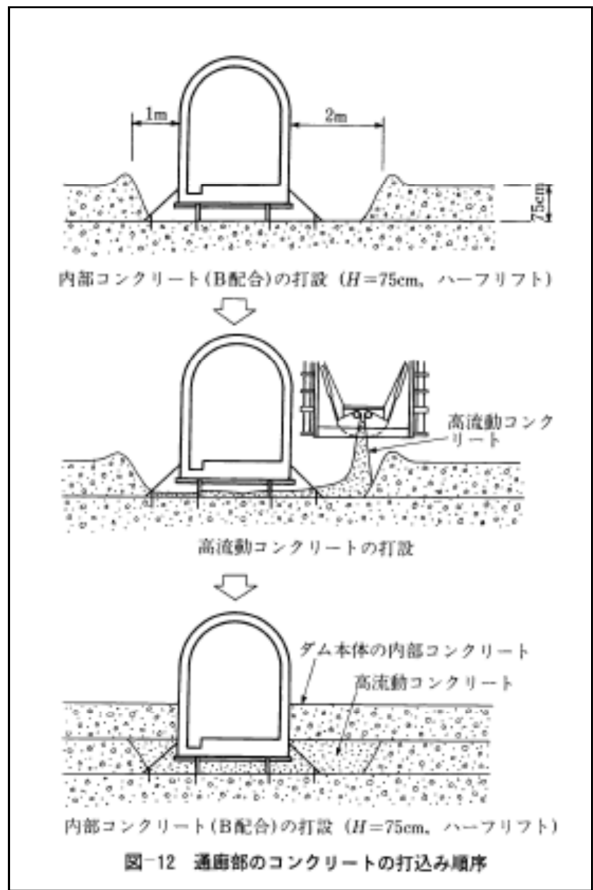


圖 22 宇奈月壩監測廊道施工工序示意圖

防災操作(洪水調節) + 排砂操作(ゲート設備と用途)

洪水期の越流状況

三峯

常用洪水吐ゲート
主ゲート 摺動式高圧ラジアルゲート
径間5.0m × 高さ8.22m × 2門
呑口部敷高 EL.231.000m
ダム貯水位が一定の水位 (EL.250m)まで達した後に、洪水調節のために放流するゲート
※平成29年2月までにおいて洪水調節での使用実績はなし。

排砂ゲート
調節ゲート ナロースロットル高圧スライドゲート
径間5.0m × 高さ6.0m × 2門
戸当り標高 EL.210.350m
連携排砂・通砂時に使用するゲート
※一番ダム底部に近いゲート

水位低下用ゲート
主ゲート 摺動式高圧ラジアルゲート
径間5.0m × 高さ4.7m × 1門
呑口部敷高 EL.224.000m
排砂時にダムの貯水位の低下を速やかに行うためのゲート
※排砂ゲートの次に低い位置にあるゲート

クレストゲート
シェルスライドゲート
径間15.0m × 高さ3.0m × 2門
越流頂標高 EL.242.000m
降雨等によりダムへの流入量が増えてダム貯水位が増すとダムに溜まった水がここから自然にこぼれます(越流)

利水放流ゲート
主ゲート ジェットフローゲート
口径φ1.0m × 1門 放流量9.0m³/s(WL220m時)
呑口標高 EL.220.000m
異常堆砂時の土砂排除、富栄養化対策、渇水時の緊急放流

3

圖 23 宇奈月壩各閘門部置解説圖

(二) 出平壩與宇奈月壩排砂閘門設計參考

日本黑部川的水利發展超過百年，多砂的特性使關西電力早期在黑部川的水庫發生淤滿而廢棄的情形發生，因此日本在推動出平壩跟宇奈月壩計畫時特別注重水庫的排砂功能，兩座水庫也都加強並擴大排砂閘道的設計。

由於兩座水庫聯合排砂的機制是在每年 5 月到 9 月間執行空庫排砂，而排砂閘門的門框非常容易卡住淤泥或雜物在框體裡面，所以出平壩以及宇奈月壩都在排砂閘門的設計上作了一點加強。

1. 在設計上，出平壩跟宇奈月壩的排砂口都是 3 道閘門的設計(圖 24)，以宇奈月壩為例，分別是壩體最前端的止水閘，孔口處的調節閘以及孔口後方的副閘(圖 25)；相較來說，臺灣通常僅設置 2 道閘門，其主要原因為臺灣水庫多為土石壩，若欲設置排砂道必須以隧道方式繞過壩體，因此隧道進水口通常在水庫蓄水邊坡內，若要在隧道進水口也設置第一道止水閘則連帶需要操作塔及操作橋，相對工程經費過高，因此多不設置第一道閘門，相關案例以白河防洪防淤隧道為例(圖 26)。
2. 在閘門型式上，較早完工使用的出平壩採用 2 道直提式閘門、1 道弧形閘門控制的配置，但是較晚施工的宇奈月壩則改採 3 道直提式閘門控制的配置；經詢問出平壩關西電力的工程師表示，由於操作排砂時出平壩的弧形閘門底水封磨耗非常嚴重，因此多由弧形閘門前方的直提式閘門負責啟閉，該弧形閘門則作為維護時關閉閘門用途，是否基於此原因使得後期施工的宇奈月壩直接改採 3 道直提式閘門之方式，尚待查證；然而，在臺灣基於弧形閘門啟閉的靈活性以及開度控制的精準性、可耐受高水頭壓力的特性，若非地質條件不佳，不支持開挖大型閘室(如白河防洪防淤隧道採 2 道直提式閘門)，則一般防淤隧道均採前方直提式閘門作維護時關閉閘門，後方弧形閘門作排砂時操作閘門之配置(以曾文防淤隧道為例，圖 27)，相關閘門維護之優缺點，尚待日後長時期排砂後加以驗證。
3. 在開啟閘門操作排砂時，泥砂必然淤積於門框框體，出平壩與宇奈月壩在面臨此一課題時，都在常開的閘門框體設置一『戶溝保護閘』

之構件(詳見圖 25 內綠色部位)，此一構件係於閘門拉起時，反向下放至框體內，目的是防止泥砂在排砂時流入門框內造成淤積；在臺灣，我們面臨此一問題時，則採用高壓水柱反向沖洗方式將門框內泥砂沖離框體(詳見白河防洪防淤隧道案例，圖 28)。

以上設計細節是出平壩及宇奈月壩與臺灣目前執行防淤排砂隧道時不同之處，在設計上必須因地制宜，未必日本的設計即適合臺灣的環境。



圖 24 出平壩與宇奈月壩排砂設施示意圖

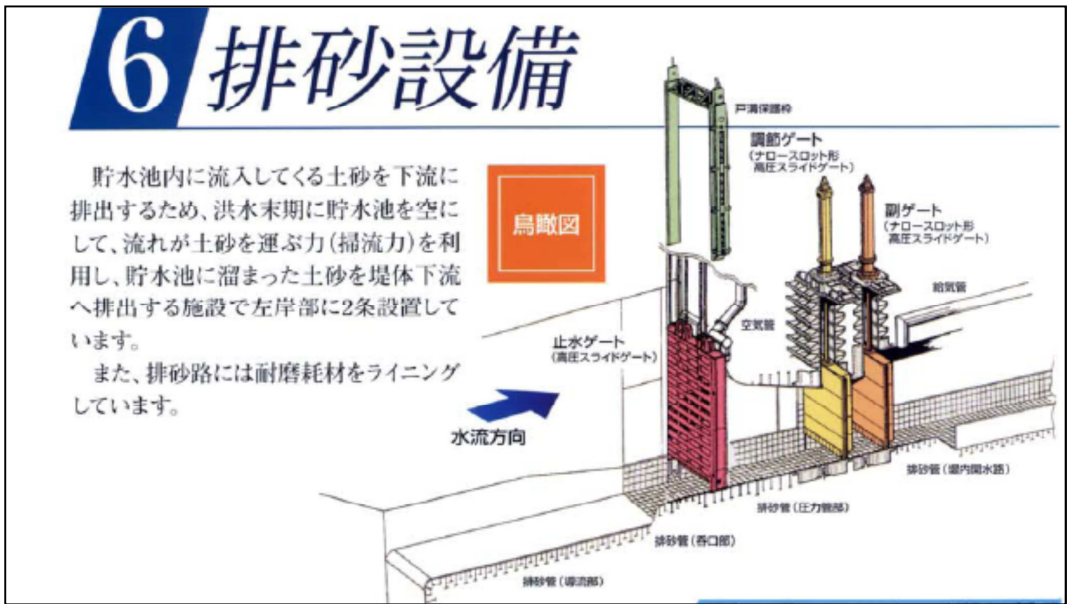


圖 25 宇奈月壩排砂閘門詳圖



圖 26 白河防洪防淤隧道縱斷面圖

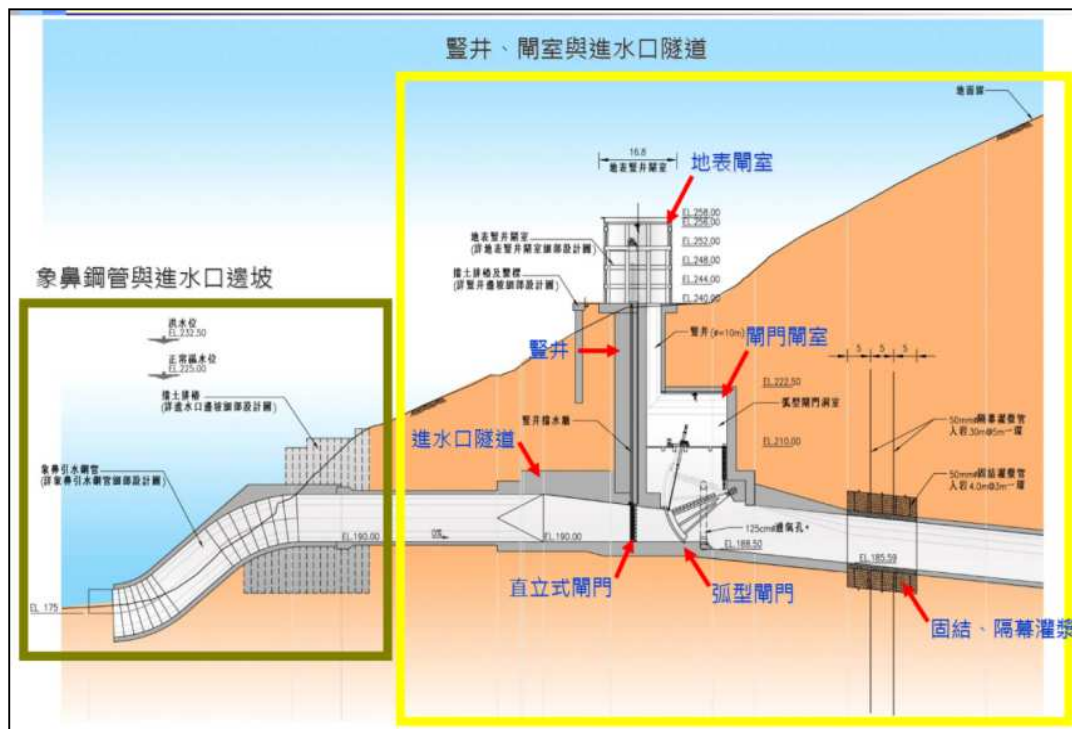
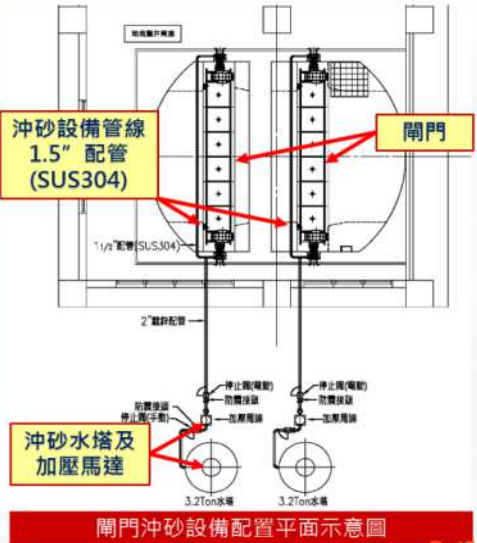


圖 27 曾文防淤隧道閘室配置縱斷圖

周延性考量-閘門沖砂設備

閘門沖砂設備

- 運轉時機：在閘門關閉前適當時機啟動
- 功能：沖水排除閘門側框及底框處堆積淤砂



閘門沖砂設備配置平面示意圖

圖 28 白河防洪防淤隧道閘門沖砂設備圖

四、 立山砂防事務所及參訪立山火山口防砂博物館、參訪防砂設施

日本對於常願寺川未來河川整備展望之土砂對策上，因立山火山口產生大量的泥砂仍然不穩定，因此將著重於土砂沉積物生產源的工程興建及維護工作。遭遇地震等原因發生大規模的土石流災害，將使用安全及時的信息及所收集之圖像，提供易於閱讀的資訊，因此將促進光纜和 CCTV 的安裝等基礎設施的建設，並將努力使社區中的每個人每天都對防災感興趣，目標是創造一條與當地環境和諧相處的友好河流，提出四大對策如下：

1. 確保基礎建設的安全。
2. 民眾參與，瞭解當地歷史和祖先的智慧。
3. 提高防災意識。
4. 與自然共存，創建利用豐富多樣的自然環境。

立山地區因地質破碎，在 100 多年前大地震時產生的土砂，加上每年降雨量約 6,000 毫米，年平均積雪量約 16 公尺，降雨及融雪時造成洪災及土石災害甚為嚴重，故日本政府在長達 35 公里的常願寺川中即興建大大小小超過 100 座的防砂壩，每年編列約 40 億日幣處理立山土砂問題，並已持續約 30 年。估計常願寺川上游崩塌的土方量達 2 億立方公尺，各防砂壩淤滿後並不進行清除，其功能僅在於延緩大量土砂下移對中下游造成的災害。

108 年 10 月 2 日河川整備中心帶領本團至國土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所參訪立山火山口防砂博物館、立山白岩砂防堰堤、六九谷展望台、多枝原平展望台、砂防堰堤群等。

(一) 立山火山口防砂博物館

立山火山口博物館位於富山縣中新川郡立山町，博物館內展示各項關於立山火山口的自然歷史知識、以及土砂災害防治工作的 3D 教學影片及立體模型。

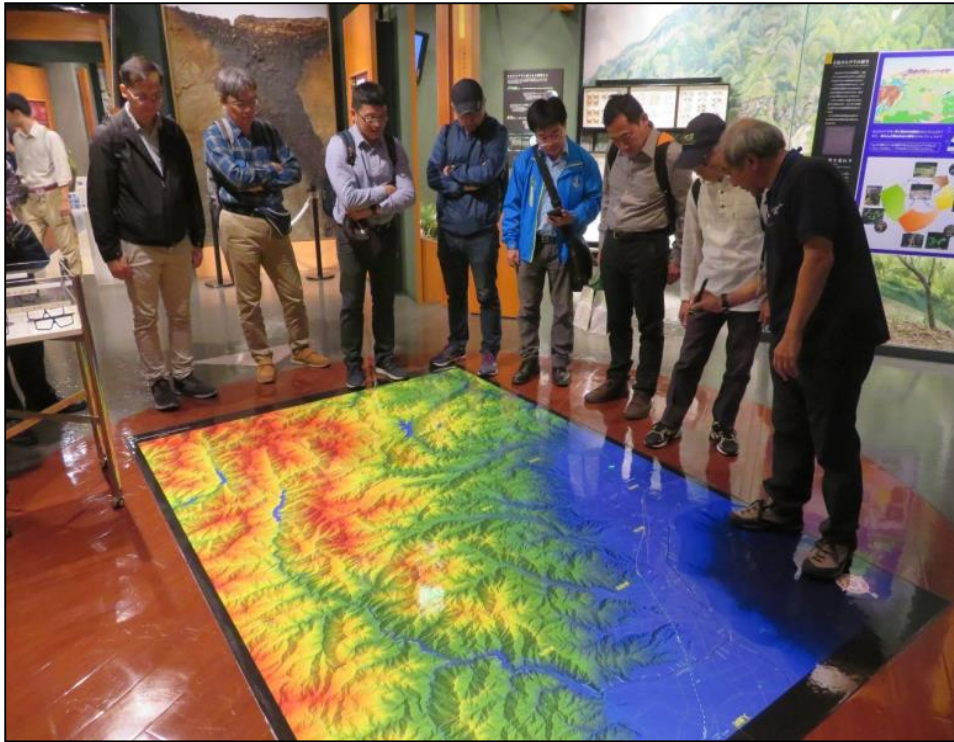


圖 29 參訪立山火山口防砂博物館

(二) 本宮砂防堰堤

因 1858 年發生安政大地震立山連峰的大鷲山和小鷲山發生山崩，大量砂土傾瀉而出，造成富山平原巨大的災害。因此，1906 年開始常願寺川的防砂工作，本宮砂防堰堤位於常願寺川中游位置，於 1937 年竣工，1947~1972 年間陸續完成第二副堰堤~第四副堰堤設置與修復。此為日本最大的重力式防砂壩，貯砂能力約為 500 萬立方公尺，高度為 22 公尺，長度為 107.4 公尺，2017 年已被指定為日本重要文化財。



圖 30 本宮砂防堰堤



圖 31 於本宮砂防堰堤解説

(三) 六九谷展望台

於 1969 年一場暴雨造成山谷嚴重坍塌，因此取名為「六九谷」，從展望台可以看到崩塌的情形以及立山火山口的山脊線。崩塌的地方採用自然植被復育的方式，減少使用混凝土工程，目前現況多已穩定，可見植草、植樹對於防止土砂崩落的效果非常顯著。



圖 32 六九谷展望台



圖 33 於多枝原平展望台合影

(四) 白岩砂防堰堤

1. 同樣因為 1858 年的安政大地震，所造成的土石崩落，1891 年編有常願寺川砂防工作及泥谷堰堤工程，1925 年以前均由富山縣負責相關防砂業務，於縣管時代 1913 年即興建湯川第一號堰堤，但是 1922 年發生土石流再次遭受破壞。自 1926 年由國土交通省開始接手，第一任立山防砂事務所所長赤木正雄博士提出「長願寺川砂防全體計畫」，考量工程經費，擬定以一個主要的大壩控制土砂的流出，因此以立山火山口出口位置，設置主堰體為主要防砂工程，白岩砂防堰堤於 1931 年開始興建本堰堤，於 1939 年竣工，副堰堤自 1951 年~1978 年陸續修復與施作。



圖 34 白岩砂防堰堤



圖 35 白岩砂防堤位置位於立山火山口出口位置

2. 白岩砂防堰堤是由主堰堤及 7 個副堰堤組成，主堰堤高度 63 公尺，高低落差達 108 公尺，為日本目前最高的壩體。由於在極端的地理條件與氣候環境，到了冬季均降下大雪，因此施工環境十分惡劣，

每年可施工期間僅約 5 個月，對於工程人員而言是個嚴厲的考驗。不僅天候因素，大量的大型機具搬運，及材料運輸也是一大難題，在當時以人工為主的建造工法，為克服種種困難而導入了機械式的混凝土澆置，因此設有專用軌道，方便機械運輸並節省人力，更能縮短工期。

3. 隨著淤砂逐漸地增加，立山砂防事務所自 1998 年開始加固右岸岩石的工程，於 2005 年完成，為避免破壞自然生態，加固方式採用於山壁內鑽鑿隧道，再以岩錨(rock anchor)固定岩盤；左岸加固則自 2006 年開始，於 2009 年完成。白岩砂防堰堤於 2009 年被列為國家重要文化財。



圖 36 白岩砂防堰堤高差 108 公尺



圖 37 白岩砂防堰堤右岸補強對策



圖 38 右岸補強工法隧道

(五) 無人機工地參訪

於富山縣中新川郡立山町 H31 有峰地區溪岸對策(二重谷)工程，如圖 39 工程告示牌所示，該工程目前正進行無人化施工清除防砂壩週邊浮石作業，此作業特色臚列如下應可供國內施工參考：

1. 挖土機與運土車皆由遠端控制，施工前先以 UAV 航拍測量設定週邊座標，再透過 GPS、AI 與 IOT 技術進行無人化機具施工，除大幅提升施工安全外，也可避免機具超挖及控制機具運作範圍，此作法在日本已行之有年，可在環境複雜及危險場所中施工，同時可解決日本人口大幅減少，施工現場人手不足的嚴重問題，此作為國內應更積極學習並投入研發。
2. 該區域屬高風險土石流潛勢溪流，施工範圍先以太空包堆疊至一定高度(現場為三層太空包)以暫時控制土石流溢流範圍如圖 40 所示中間黑色太空包，太空包堆疊左側區域屬風險最高之施工範圍故採無人化施工，即挖土機與運土車皆由遠端控制，操作人員僅需在操作室操作如圖 41 所示。圖 40 所示中間黑色太空包右側部分之施工範圍因風險較低，採一般人為操作方式施工。
3. 立山砂防事務所表示無人化施工，投入設備金額為一般人為施工至少 2 倍以上，效率僅為一般人為施工的 3 成，但考量人員安全日本已積極投入研發與執行，目前成果已非常具體並已相當普及。
4. 該工程採 4 種燈號提供施工警戒，分別是綠燈可正常施工，因該區域 20mm/hr 即有土石流之潛勢，故 10mm/hr 藍燈即開始警戒，20mm/hr 黃燈停止施工，超過 20mm/hr 紅燈疏散撤離並禁止相關人員進入，詳如圖 42 所示。
5. 富山縣中新川郡立山町 H31 有峰地區溪岸對策(二重谷)工程屬非常偏遠之山區，且地質軟弱易崩塌，對於施工人員的風險極高，因此

對於職業安全的重視係必然的，廠商對於職業安全衛生設備均依規定辦理，於工地入口處便張貼可能發生災害類型，與施工人員證照、協力廠商證照及人員相關資料，詳如圖 42~46 所示，廠商守法循規蹈矩的工作態度亦值得國內廠商學習。



圖 39 H31 有峰地區溪岸對策(二重谷)工程告示牌



圖 40 防砂壩清除浮石施工情形



圖 41 無人化遠端操作室操作情形



圖 42 施工警戒綠、藍、黃、紅 4 種燈號



圖 43 職業安全衛生設備-護欄照片



圖 44 職業安全衛生設備-上下設備照片



圖 45 職業安全衛生設備-職安宣導走廊照片



圖 46 職業安全衛生設備-職安告示牌照片

五、 參訪多摩川

(一) 多摩川河川環境管理計畫

多摩川位居日本關東地區，流域面積1,240平方公里，幹流長138公里，流域範圍分布山梨縣、東京都及神奈川縣。60年代多摩川流域面臨都市急速成長所帶來水質惡化與多項自然環境破壞問題。居民乃發起自立改善運動，促使公家單位早於日本其他地區首先設立「河川環境課」，及擬定「多摩川河川環境管理計畫」，1997年後因新河川法實施，將該計畫併入「多摩川水系河川管理(整備)計畫」據以執行相關建設。此種居民與行政單位的雙方直接對話模式，也形成其他地區市民與公部門伙伴關係的典範。

108年10月3日京浜河川事務所總括地域防災調整官中村 修也先生及河川環境課長野口 典孝先生，帶領本團參訪多摩大橋下游河段，「多摩川水系河川管理(整備)計畫」劃分五類河段，各河段之特色及市民之期望再細分出八類機能空間，整體來說自然與人工空間的比例約6：4，詳如圖47所示。

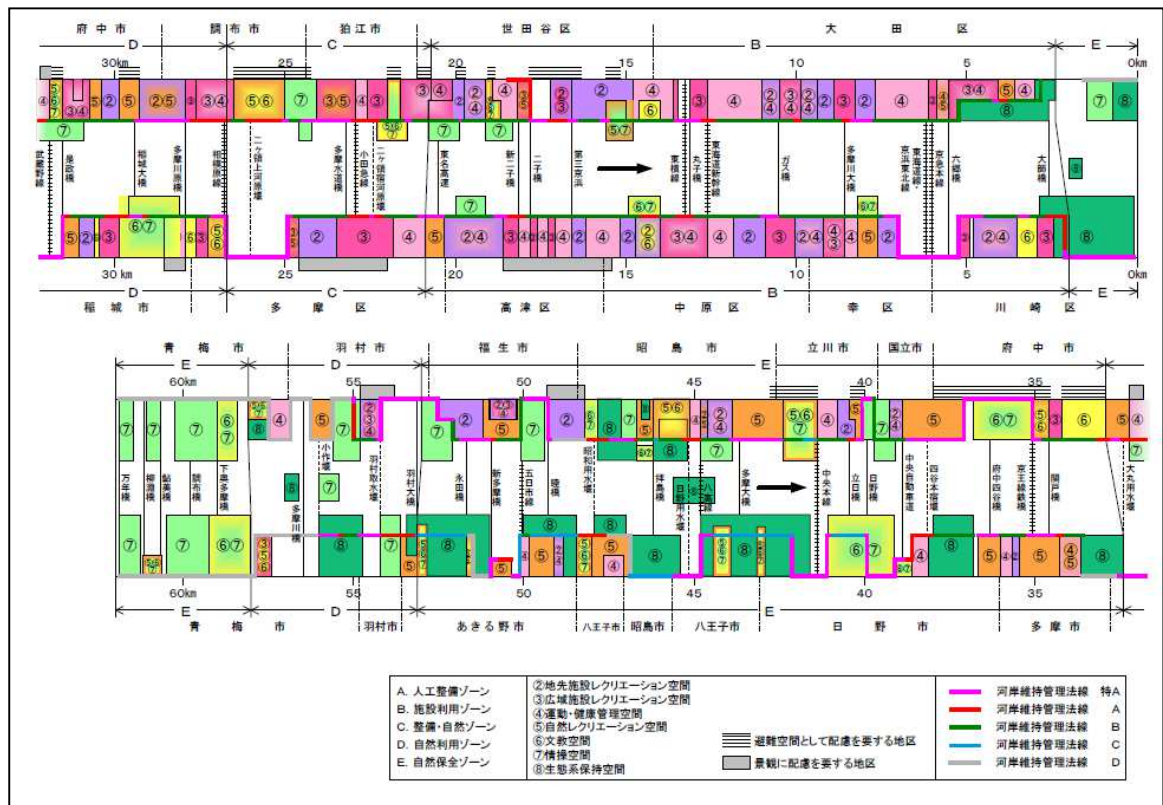


圖 47 多摩川陸域空間各機能空間分布圖

為兼顧使用者的安全及保護自然環境，另行設定水域(面)四類與濱水帶(水際)三類的機能空間，詳如圖48所示。

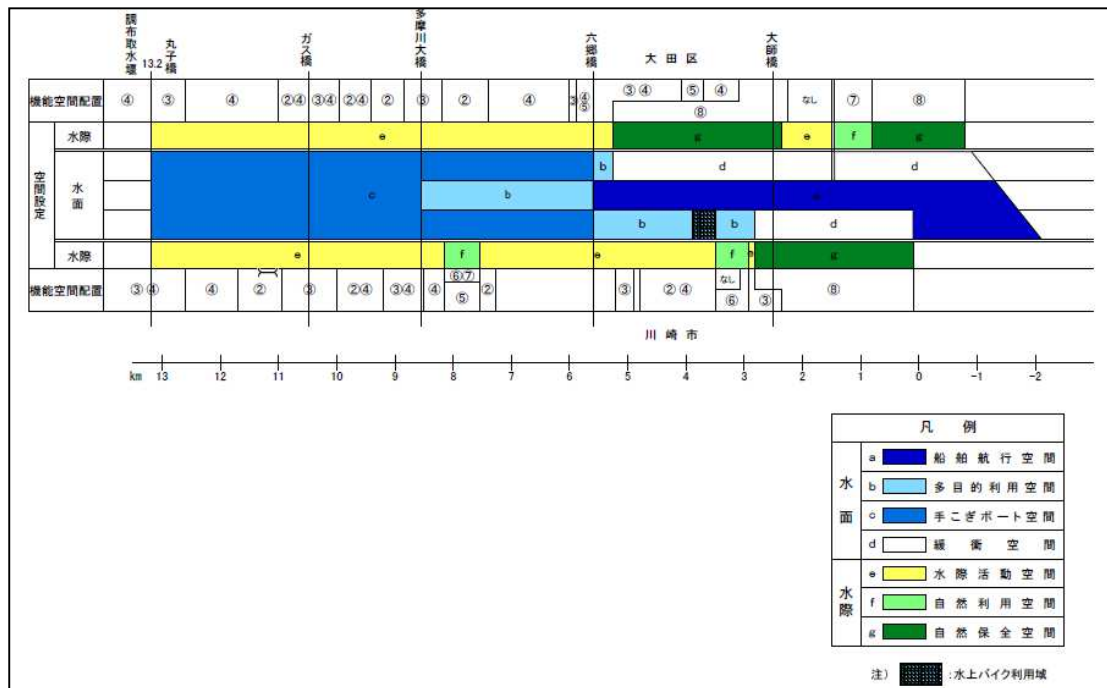


圖 48 多摩川水域空間各機能空間分布圖

民眾的需求是河川管理願景的核心，先以基於環境規劃之河川環境分段，再基於河川管理之使用分區辦理。爰臺灣依據水規所函頒河川環境管理技術手冊則基於環境規劃之河川環境分段分三段，基於河川管理之使用分區陸域分八區，水域分三區。與日本最大不同之處為日本並無「農業生產區」，概因 1943 年後由於日本經濟蓬勃發展，民眾即無於高灘地申請種植或農業使用，換為申請運動休閒遊憩設施。

日本多摩川河道內皆為公有地，河川環境管理計畫之機能空間分類，所訂利用與保育之相關規則，其內容基本上以「環境」為主，無須考慮私有地問題，但在臺灣河道內私有地卻成為必需處理的關鍵問題。在不影響防洪安全的前提下，依法必需尊重所有權人的使用行為；如果必須使用私有地，應以民事方式取得使用權利。

臺灣的河川環境管理規劃是以未來 20 年為規劃期，藉由訂定使用分區與限制許可使用項目，來達成各河川的未來發展目標。但是跨領域溝通與空間整合規劃的相關機制與技術尚還在發展當中，而對於河川的發展目標，及為達成目標所必須管理的使用項目，皆需要邀集相關單位進行更充分的討論，方能形成共識。其根本的原因則包括下列：

1. 「河川環境管理計畫」的範疇過大，依據「河川管理辦法」第 27 條至少涵蓋 4 個領域：「水土資源」、「生態環境」、「自然景觀」及「河川沿岸土地發展」。所涉及的相關單位包括：農委會林務局、水土保持局、環保署、交通部、內政部、水利署、臺灣電力公司、地方政府等。此外，管理範圍內有許多私有土地，所以也涉及私有地所有權人的使用權益。因此，並非水利單位可以獨立執行，必需其他單位與私有地主積極配合，方可順利推動。
2. 「水利法」沒有授權水利單位得要求其他單位配合執行，所以「河川管理辦法」自然無法驅動其他單位配合。而且沒有授權制定獎勵與補償機制，所以也缺乏驅動私有地主配合的誘因。
3. 另與日本不同之處臺灣在河道內部分存有原住民地區，如劃設分區倘涉及原住民族地區，應依原住民基本法規定邀集原住民族、部落諮商或辦理地方說明會。目前的劃設辦理情形為經與原住民族取得管理共識後倘與分區使用原則有所競合得以例外排除備註表述。

(二) 參訪宿河原堰堤

京浜河川事務所總括地域防災調整官中村 修也先生及河川環境課長野口 典孝先生，帶領本團參訪宿河原堰堤，宿河原堰堤左右兩岸皆設置魚道，左岸為緩坡度水路式魚道，長 83.3 公尺，寬 5 公尺，坡度 1/20；右岸為艾斯哈伯式魚道，長 83.3 公尺，寬 6 公尺，坡度 1/20 相鄰上下落差 55 公分，平時上下游水位差 2.5 公尺。該

魚道的構造與特色說明如下：

- (1) 將魚道下游側之護床工挖深成水池，枯水時讓魚類仍能上溯，左右岸設置較寬之低水路，讓魚道與河道平行成直線狀。
- (2) 緩坡度水路式魚道：為了底棲魚類之上溯，在魚道內配置天然石塊，為防止塊石流失，鋪設網籠保護。將緩坡水路連續設置，讓魚類有上溯路徑。
- (3) 艾斯哈伯式魚道：魚道中央設置 Γ 字型非溢流區，溢流區兩側底部設置潛孔以保有穩定水面，並顧及底棲魚類活動。



圖 49 多摩川宿河原堰堤



圖 50 多摩川宿河原堰堤魚道



圖 51 玉川生態博物館導覽照片



圖 52 本團與河川整備所及京濱河川事務所合影

六、 參訪首都圈外郭放水路(Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel)

(一) 規劃緣由

中川流域由於利根川、荒川每次洪水時即改變流路，且地形上內水不易排出。隨著都市化不斷擴張，距東京都 20~40 公里的都市化率逼近 50%，因此提出「中川、綾瀨川綜合治水對策」。首都圈外郭放水路為其中一項備受矚目的工程。



圖 53 首都圈外郭放水路位置圖

(二) 設施主要內容

1. 抽水站(庄和排水機場)位於埼玉縣春日部市，距東京約 45 公里。
2. 主要功能係當洪水來臨時，能將主要流入東京都的五條河川(第 18 號水路、中川、倉松川、幸松川、大落古利根川)的水流貯蓄並藉由隧道與抽水站直接排入江戶川。
3. 蓄洪能力貯蓄 67 萬噸水量，抽水機為 200CMS。
4. 施工期間自 1993 年 3 月至 2006 年 6 月，共 13 年。
5. 建造金額為 2,300 億日圓。
 - (1) 豎井:共有 5 個，透過莊和排水機場將水排入江戶川，二號豎井連接第 18 號水路，三號豎井連接中川和倉松川，四號豎井連接幸松川，五號豎井連接大落古利根川。
 - (2) 隧道: 地下 50 公尺深，全長 6.3 公里、直徑 10 公尺，串接 5 個豎井。
 - (3) 抽水站與調壓槽:地下神殿，長 177 公尺、寬 78 公尺、高 18 公尺，由 59 根重 500 噸的混凝土柱支撐，位於地下 22 公尺處。抽水站為四部抽水機組，每部為 50CMS，排洪能力 200CMS。
6. 龍 Q 館:為主要解說展覽空間。
7. 管理單位: 國土交通省關東地方整備局江戶川河川事務所
8. 每年操作約 7 次。最大的操作排洪量是 2015 年 9 月颱風，當時約排出 1,900 萬噸水量(可填滿東京巨蛋 15 次)。



圖 54 五個豎井及隧道示意圖

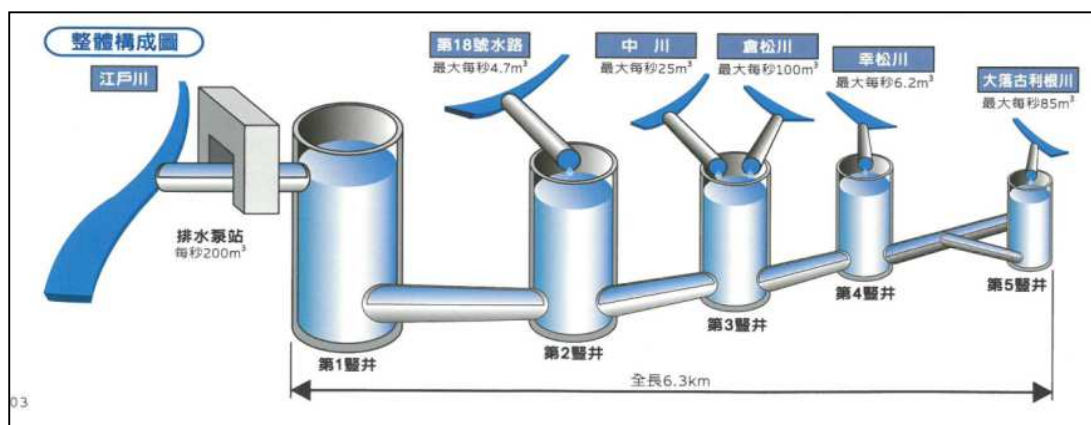


圖 55 整體入流量與抽水量示意圖

(三) 參訪過程：

1. 首先導覽員(僅有日文)於一樓大廳先介紹整個放水路的系統，然後帶領所有參訪者進入調壓槽(地下神殿)。
2. 在走下了 116 階樓梯之後，左手邊看到的是一號豎井，可以看到的部分僅有 1/3 豎井，豎井底部約在調壓槽底部下方 50 公尺處，一號豎井並未連接河川，而是連接調壓槽，當水位上升至調壓槽時，水流入調壓槽，調壓槽有起抽水水位(+0.173)與停止操作水位(-6.187)。當水位達到起抽水水位，即開始將

水抽至江戸川，當水位下降至停止水位，因抽水機葉片與停止水位等高，故僅有空氣排出。剩餘的水，會回流至三號豎井排入倉松川。因今(2019)年9月9日才剛操作過排洪，因此調壓槽底部有部分水跡。



圖 56 參訪調壓井解說



圖 57 調壓井內合影



圖 58 第一豎井

3. 調壓井會設計得如此巨大，有兩個原因，第一是為了確保操作水流能非常平緩進入抽水機；第二個理由是當緊急時刻，抽水機無法運轉時，入流洪水能有空間貯存，避免回流。調壓井的混凝土柱是直徑 2 公尺寬、18 公尺深，每一支 500 噸重，共有 59 支。會有這麼多支混凝土柱主要是為了撐住地下水的壓力，避免調壓池的底板被抬起。
4. 整個系統蒐集來自河川的水流，當然也包含了泥砂，每年操作約 7 次的條件下，累積了約 2~3 公分的泥砂。當有淤泥時，無法開放參觀，必須藉由手動淤泥刮板清除參觀區域，其他區域則於冬季時，每年一次使用堆土機清除。堆土機由上方預留開孔吊放進入調壓槽。清出的泥砂會回收再利用於江戶川的堤防。
5. 有關整個系統的維護經費尚無相關書面資料可參考，惟經由詢問河川整備研究所，大約每年經費約 2~3 億日圓抽水費用，可以預見後續維護的工作是非常重要的環。
6. 當參訪第一號豎井時可見底部有淤泥及油汙沉積，且有魚蝦等生物會隨著排水隧道進入一號豎井，此部分油汙及生物尚無法清除。
7. 「地下神殿」在 2006 年完工，第 1 次全面啟動內部設施，是在 2015 年為防止茨城縣鬼怒川氾濫的關東及東北豪雨時。

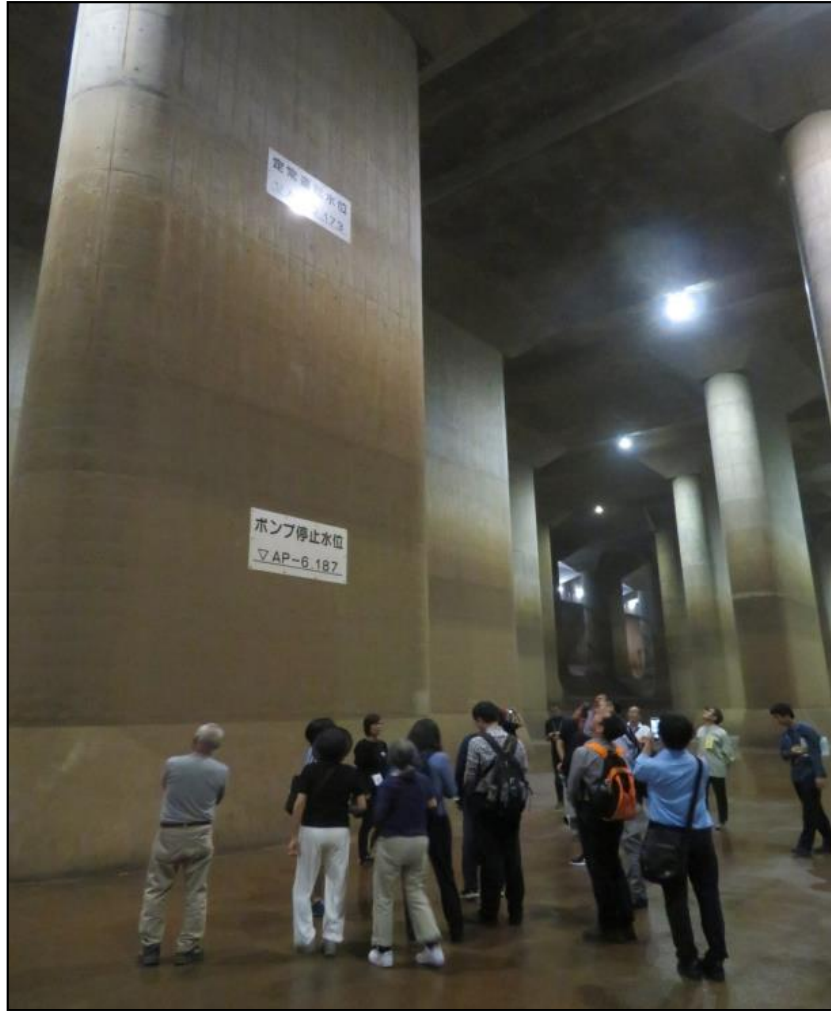


圖 59 調壓井內起抽水位與停止操作水位

(四) 第 19 號颱風-哈吉貝颱風

1. 首都圏外郭放水路於 10 月 12 日上午 11 時 30 分由第二立坑開始流入，至 15 日下午 1 時停止流入，而莊和抽水站自 10 月 12 日下午 6 時 50 分開始運轉至 15 日下午 3 時 13 分，運轉時間約 68 小時，洪水調節量約 1,218 萬噸。

●流入状況		●首都圏外郭放水路 洪水調節総量順位			
流入開始：12日 11:30 (第2立坑) 流入終了：16日 1:10 (第2立坑) 全施設流入終了		順位	年月日	洪水名	洪水調節総量※1 (千m3)
第2立坑 (18号水路)	12日 11:30流入開始 16日 1:10流入終了	1	平成27年 9月9日	台風第17号 ・第18号	19,031
第3立坑 (中川)	12日 17:50流入開始 14日 20:30流入終了	2	平成26年 6月6日	低気圧	13,426
第3立坑 (倉松川)	12日 13:50流入開始 15日 13:00流入終了	3	令和元年 10月12日	台風第19号	12,180※2
第4立坑 (幸松川)	12日 16:10流入開始 13日 12:00流入終了	4	平成29年 10月22日	台風第21号	12,040
第5立坑 (大落古利根川)	12日 14:40流入開始 14日 13:40流入終了	5	平成20年 8月28日	低気圧	11,720
●庄和排水機場の稼働状況		6	平成26年 10月5日	台風第18号	7,316
運転開始：12日 18:50 (2号ポンプ) 運転終了：15日 15:13 (4号ポンプ) 全施設運転終了		7	平成25年 10月16日	台風第26号	6,848
1号ポンプ	13日 1:10 運転開始 13日 16:20 運転停止	8	平成16年 10月9日	台風第22号	6,720
2号ポンプ	12日 18:50 運転開始 13日 1:15 運転停止	9	平成24年 5月3日	低気圧	6,678
3号ポンプ	12日 19:07 運転開始 13日 22:45 運転停止	10	平成18年 12月26日	低気圧	6,621
4号ポンプ	12日 21:35 運転開始 15日 15:13 運転停止	※1 洪水調節総量は立坑等の貯留量を含む ※2 10/18 9:00現在			

圖 60 哈吉貝颱風期間首都圏外郭放水路操作情形

2. 在哈吉貝颱風期間(10/12~10/15)一共排出 1,150 萬噸水量，這也是在 2006 年完工後的第 2 次全面啟動。



圖 61 哈吉貝颱風期間操作影像

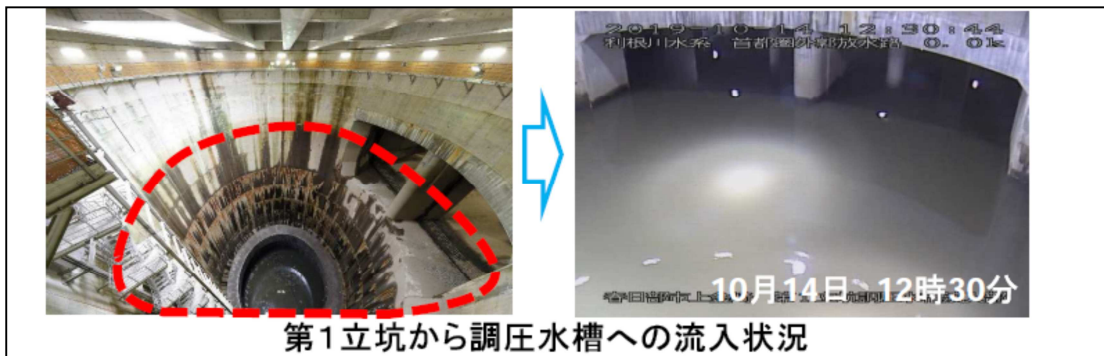


圖 62 哈吉貝颱風期間調壓槽情況

3. 1982年(昭和57年9月)第18號颱風最大48小時降雨量195.5毫米，淹水戶數約29,457戶，2019年(令和元年)第19號颱風最大48小時降雨量215.3毫米，淹水戶數約1,286戶。依據江戸川河川事務所資料，本次首都圏外郭放水路有效發揮功能，減少90%淹水戶數。

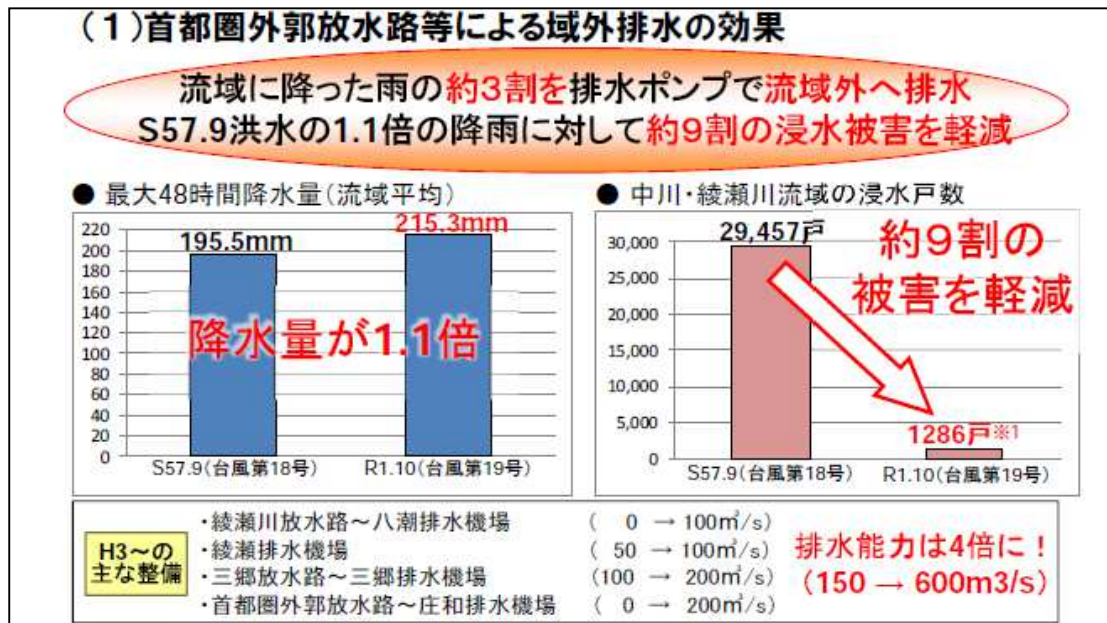


圖 63 首都圏外郭放水路於哈吉貝颱風減少淹水戶數

4. 以中川吉川水位觀測所量測數據，如未經首都圈外郭放水路及三鄉放水路調節，模擬洪水水位高達 4.52 公尺(計畫堤頂高為 4.75 公尺)，超出氾濫危險水位 4.1 公尺時間約 27 小時，經過首都圈外郭放水路及三鄉放水路調節後，實際水位約 4.22 公尺，超出氾濫危險水位 4.1 公尺時間約 4 小時。

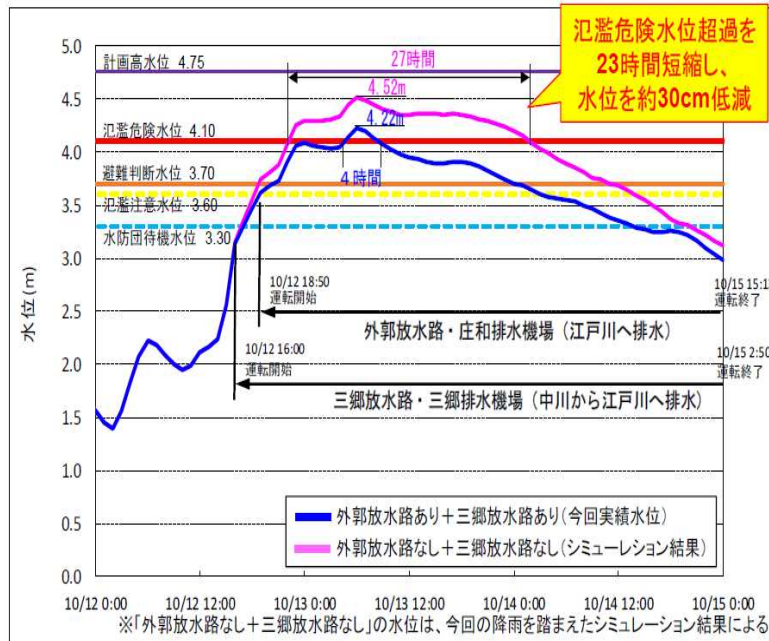


圖 64 哈吉貝颱風期間實際減少水位成果

肆、參訪心得

一、日本河川整備中心

- (一) 氣候變遷造成極端降雨事件，將是未來無法逃避重要課題。未來應該更積極追蹤瞭解世界各國對於極端氣候的因應措施，尤其日本與我國之自然條件與天然災害類型相似，日本政府之防災體系發展甚早且極為健全，在法規、組織、計畫與執行方面，均累積相當經驗，值得進一步瞭解實際作法以參考借鏡。
- (二) 隨着氣候變遷引起的水文量的變化，日本目前除了採用過去降雨之計畫規模直接乘以氣候變動率外，近年開始運用氣候變遷決策模式推算預測未來降雨及計畫流量，而臺灣係以目前各局辦理的風險評估，以規劃報告之計畫流量及水文增量 10、30%之洪峰流量分析洪水位與現況堤高關係作因應與處理對策，然而在防洪治水計畫擬訂時，似仍未考慮受氣候變遷之變化量，建議可深入瞭解日本實際作法，檢討在臺灣應用之可行性。
- (三) 日本教育民眾需有容忍淹水的韌性，與國內廖桂賢老師授課有關「極端氣候下的水患治理：從防洪安全到承洪韌性」的課程概念相似，所謂韌性就是淹水的容受力加上自我重建的能力，即容忍淹水，讓淹水不成災的能力，及自我重建能力，恢復原有社會經濟的能力。因應氣候變遷，也許未來可朝容許洪水適度的進入城市與洪水和平共存的能力方向邁進，透過水利專業、空間規劃設計專業與生態專業者共同思考、共同合作，讓我們有更美好的水環境。

二、 姬川

- (一) 日本在危險地區施工，於招標時即指定該區域施工須採用無人機具，由遙控操控機器人操作挖土機，因人員遠離危險區域，無發生工安問題之疑慮。
- (二) 日本對河川生態調查及維護不遺餘力，但遇有緊急工程須於短時間完成以保障人民生命財產安全者，生態檢核作業得以精簡。

三、 宇奈月水庫、出平水庫

- (一) 為了減少水庫淤積，於設計階段即考量宇奈月水庫與出平水庫串聯排砂，而施工單位對於壩體內的廊道設置發展出一套預鑄混凝土構件的施工方法；以事前預鑄的混凝土構件吊放現場組裝之後，以高流動性混凝土填充預鑄構件的底部與週邊，然後再以一般混凝土作大面積的填築。此次現場進入這些預鑄的廊道內參訪，就施工品質而言，確實展現預鑄構件應有的品質與水準，而單元之間的縫隙也未見異常開裂或滲水，足堪我國日後相關水工設施設計參考。
- (二) 出平-宇奈月水庫的聯合排砂已經接近 20 年，而水庫操作排砂原本就在水工磨耗、閘門維護等項目上是相對耗費成本的，如何以最經濟成本達到水庫排砂操作之目的，是可以與鄰近國家相互交流與學習的。
- (三) 為了發電需要於黑部川上游了許多水庫，也因此造成下游泥沙來源減少，不僅生態受到影響，海岸線的侵蝕也是嚴重的課題。因此每年的聯合排砂為下游的生態棲地提供了泥沙來源，許多的特有種的魚類重新回到生態系，海岸的沙灘也不再侵蝕，聯合排砂不僅對庫容有益處，對生態環境也是有很大的幫助。
- (四) 出平水庫及宇奈月水庫係依據其水庫特性及水力發電的需求綜合考量

下之產生出來的操作方式，而國內水庫主要為多目標水庫，除大甲溪系列水力發電水庫外，其餘水庫大多以水資源運用(生活、工業、農業用水)為主，水力發電為輔，故要採用水庫之直接水力「排砂」或「通砂」有其困難，應以繞庫排砂或朝改建水力發電引水管線或新建排砂隧道，作為水庫排砂的新通道，達到水力排砂之目的。

- (五) 宇奈月水庫壩體內監測廊道溫度及濕度穩定，水庫管理單位在廊道內設置堆置區發展清酒水產業，此外，壩體搭配光雕、壩頂設置展望台、開放遊湖及廊道進行解說等，讓至宇奈月壩情報資料館參觀人數已突破 20 萬人。而國內石門水庫在營運 50 周年時，有開放過去從未曝光過的監測廊道讓外界參觀，未來或可思考參考宇奈月水庫案例，開創新的水利產業。

四、立山防砂設施

- (一) 立山火山口博物館由導覽員簡介立山火山口地形，以及目前崩塌地面積、位置，可以看到博物館在呈現地形、地貌所採用的方式，有 3D 立體模型、以及非常逼真的六九展望台模型，可以讓遊客在此有一完整的概念。
- (二) 在本宮砂防堰堤，可以看到日本從 1858 年安政大地震造成富山平原的災害後，便開始著手相關的整治計畫，自竣工迄今已逾 80 年，現場仍可見其堰體的完整，可見後續的維護管理是相當重要的工作。
- (三) 在六九展望台可以看見整個土砂崩落的情況，日本採取自然植被的方式解決土砂崩落，現況多已穩定，可見此工法不僅減少破壞自然，也一併防止土砂的崩落。惟仍有部分植被不易生成，據了解目前尚無其他計畫去防止，原因是大部分土砂滑落面積已受到控制，便保持大自然的原貌，盡量減少人為干預。

- (四) 白岩砂防堤是最主要解決立山火山口土砂崩落的工程設施，主壩的高度 63 公尺，高低落差達 108 公尺，十分的壯觀。以當時的工程技術條件，為了克服氣候(每年可施作僅 5 個月)與地形的困難，採用了機械式的混凝土澆置施工方式，於非常陡的山坡上建置施工軌道，以運輸機具及材料，可想見當時工程規模的浩大，也可見當時工程師的專業技術能力。
- (五) 此處無人機具係直接遙控挖土機及卡車而非透過機器人操作機具，操控人員於操作室設定開挖高程及地區，搭配挖土機上設置之 GPS，不致有超挖情形。至於成本經費上，無人操作比起傳統人為操作，經費相差 2 倍，且效率減少 3 倍，亦即達 6 倍的成本效益差，以成本觀點看似不符合經濟效益，但以「生命安全係無價」之觀點考量，此工法確實有其必要性。
- (六) 很難得能夠再次參訪日本施工中工地，首先於工地入口處即張貼施工廠商、協力廠商相關施工人員的證照與基本資料、可能發生職業災害類型，臺灣有類似作法係工地職安告示牌，但大多簡略敘述施工時應注意事項，以及今日施工人數，尚無更詳細的列出協力廠商人員、具備證照資格等資料。由此可見，日本對於工地人員管制以及工地施工廠商人員資格及進出掌握是有系統性的控管。
- (七) 立山砂防設施，在上游乃興建數量超過 100 多座以上之攔砂壩及其他護坡工程，顯見日本在執行集水區保育工作投入相當多的經費。參訪行程中可觀察到，有效限制集水區作非必要之開發，亦包括有效的阻止大規模區域性之崩塌，經過一、二十年的經營，將原呈光禿的上游側藉由自然手段目前已明顯自然復育(輔以植栽、灑草種等)，日本以工程手段輔以自然復育皆有明顯的成效。

五、多摩川

- (一) 2013 年曾編列經費全面清除外來植物，但因鳥類活動等因素，外來植物陸續入侵。
- (二) 河川高灘地維護管理經費不足，僅能藉由當地民眾對多摩川的情感，自發性的協助維護管理。
- (三) 地方政府申請施設之設施，其後續維護管理仍需由地方政府負擔。
- (四) 1943 年後由於經濟蓬勃發展，民眾即無於高灘地申請種植或農業使用，換為申請運動休閒遊憩設施。
- (五) 多摩川河川管理計畫民眾參與多為當地住民，NGO 團體甚少。

六、首都圈外郭放水路

- (一) 首都圈外郭放水路從規劃、設計、施工、至維護管理，可以看出一項重大水利建設對國家經濟與人民生命安全的重要性。
- (二) 所有豎井都是以隧道進行連接，全長 6.3 公里隧道之地質條件應為主要施工關鍵因素。
- (三) 在面對氣候變遷條件下，短延時強降雨會是都會區內的主要挑戰，若主要降雨位於首都圈外郭放水路下游，即無法發揮其功能，日本應有其他解決對策，希望未來能有機會針對日本都會區解決淹水對策進行更深入地瞭解。
- (四) 本次哈吉貝颱風期間，首都圈外郭放水路展現相當大的功能，有效減少東京都的淹水可能，所操作的規模是自啟用來第二大的排洪量，當然東京都周邊亦有其他抽水站發揮排洪功效，但是首都圈外郭放水路能從其他支流的洪水截流貯蓄後，直接排入江戶川，對於下游東京都內的防洪扮演著非常重要的角色。

伍、結語與建議

- 一、在面對氣候變遷下，日本所採取的治水思維與策略係可供後續參考研究。建議後續可針對氣候變遷決策資料庫 (database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)) 進行更深入瞭解，包含資料庫內容所涵蓋的各種模式與參數。
- 二、對於水庫上游集水區的崩塌問題仍需以工程措施解決，以減少水庫淤積。聯合排砂因水庫主要功能為發電，且水資源豐沛，每年可操作空庫排砂，而臺灣目前的水庫以水資源供應為主要功能，尚無法採用類似空庫排砂方式，須以繞庫排砂等其他方式解決水庫淤積問題，建議爾後可就日本繞庫排砂實際案例作探討。
- 三、從參訪無人機的過程，可以瞭解日本對於自動化機械實務應用的能力，建議未來可引入類似的機械與技術，希望臺灣水利工程能在自動化機械部分能有類似的實作案例。
- 四、工地的職安措施確實可供參考借鏡，如何要求廠商落實各項職安要求，並使所有工地人員均能配合，建議可再深入瞭解。
- 五、日本對於生態的重視更是不遺餘力，從宇奈月水庫與出平水庫聯合排砂對下游河道生物棲地的研究調查，再到立山的火山口採用自然植被方式減少混凝土用量，甚至宿河原堰堤生態復育，可瞭解魚道設計的重要，也成功的讓香魚重新回到河川等，都可以發現生態的重要性，工程必須考量生態且與之融合，方能建造豐富的生活環境。
- 六、首都圈外郭放水路係東京都防洪的主要建設，歷經 13 年耗費 2,300 億日圓，目的即是確保東京都能將淹水可能降到最低，在這次的哈吉貝颱風期間也發揮相當大的成效，將流域內淹水戶數減少 90%。建議爾後可參考日本呈現功效的方式，以圖表方式呈現淹水戶數的減少、洪峰流量的減少以及超過警戒

水位時間的減少。

七、本次參訪由「河川整備研究所」協助聯繫與安排，參訪過程及內容均相當充實，建議爾後多與「河川整備研究所」交流，增進彼此聯繫，持續推動互訪。