



行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別:研究)

水庫防淤與淤泥處理工法之研究

出國人 服務機關：經濟部水利署北區水資源局
職 稱：課長
姓 名：邱忠川
服務機關：經濟部水利署
職 稱：正工程司
姓 名：林翠莉
服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所
職 稱：副工程司
姓 名：程運達

出國地區：日本

出國期間：94年9月19日至94年10月8日

報告日期：94年12月20日

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別:研究)

水庫防淤與淤泥處理工法之研究

出國人 服務機關：經濟部水利署北區水資源局
職 稱：課長
姓 名：邱忠川
服務機關：經濟部水利署
職 稱：正工程司
姓 名：林翠莉
服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所
職 稱：副工程司
姓 名：程運達

出國地區：日本

出國期間：94年9月19日至94年10月8日

報告日期：94年12月20日

摘 要

綜合本次參訪各單位之地理條件、設計理念與後續之管理方案，大致可將各單位排砂、清淤對策綜合整理成：一、適當的儲砂容量，二、人工排砂，三、水理排砂，四、集水區治理。就技術層面而言，所有參訪之單位幾乎沒有淤泥處理技術之需要或問題，授課的專家學者亦均未處理過此方面的問題或耳聞相關處理之技術。除了牧尾水庫配合周邊地方政府之農地重劃，將部份淤泥混合有機質用於農地改良外，其他辦理清淤之水庫所清理出之淤泥多以置放於置土場之方式處理。就政策層面而言，在台灣上中下游涉及水的單位眾多，事權不統一又無一協調仲裁主管；反觀日本，上中下游之主管單位一致，採整體一致之管理方式，此點實足效法。

水庫防淤與淤泥處理工法之研究報告

目 錄

壹、目的	1
貳、主要內容與行程安排	1
一、主要課程與觀摩內容	
二、行程安排	
參、日本水庫淤砂與整體對策概述	4
一、引言	
二、日本水庫建造之歷程	
三、日本水庫淤砂之現況	
四、水庫淤砂之對策	
五、水庫淤砂與淤砂聯合管理	
六、當前之課題	
肆、參訪各單位排砂、清淤對策與淤泥處理技術綜合整理	23
伍、以石門水庫為例說明日本排砂與清淤對策之可行性	25
陸、結論與建議	28
附錄一 參訪各單位資料彙整	
(一) 國際建設技術協會	
(二) 土木研究所	
(三) 三峰川綜合開發工事事務所—美和水庫	
(四) 三峰川綜合開發工事事務所—小澀水庫	
(五) 牧尾水庫管理所—牧尾水庫	
(六) 豐川用水綜合事業部—琵琶湖開發綜合管理所	
(七) 日吉水庫管理所—日吉水庫	
(八) 黑部河川事務所—宇奈月水庫	
(九) 關西電力株式會社—出之平水庫	
(十) 水資源機構本部	
(十一) 草木水庫管理所—草木水庫	

附錄二 參訪照片

- 照片 001 美和水庫大壩
- 照片 002 美和水庫 bypass 排砂隧道出口河口處
- 照片 003 美和水庫 bypass 排砂隧道出口懸浮載水樣取樣管管底
- 照片 004 美和水庫 bypass 排砂隧道出口懸浮載水樣取樣設備(1/3)
- 照片 005 美和水庫 bypass 排砂隧道出口懸浮載水樣取樣設備(2/3)
- 照片 006 美和水庫 bypass 排砂隧道出口懸浮載水樣取樣設備(3/3)
- 照片 007 美和水庫 bypass 排砂隧道出口
- 照片 008 美和水庫 bypass 排砂隧道出口消能池
- 照片 009 美和水庫 bypass 排砂隧道入口閘門
- 照片 010 牧尾水庫上游集水區崩塌及復育現況
- 照片 011 牧尾水庫上游集水區攔砂壩及復育現況
- 照片 012 牧尾水庫清淤砂石置土場(1/2)
- 照片 013 牧尾水庫清淤砂石置土場(1/2)
- 照片 014 琵琶湖-琵琶湖開發前後對照圖
- 照片 015 琵琶湖-琵琶湖開發展示館(1/2)
- 照片 016 琵琶湖-琵琶湖開發展示館(2/2)
- 照片 017 琵琶湖-水質監測站
- 照片 018 琵琶湖-水質自動監測設備
- 照片 019 琵琶湖-水質自動監測取樣器(1/2)
- 照片 020 琵琶湖-水質自動監測取樣器(2/2)
- 照片 021 琵琶湖-浚渫作業
- 照片 022 琵琶湖-周邊排水入湖前之生態調整(1/2)
- 照片 023 琵琶湖-周邊排水入湖前之生態調整(2/2)
- 照片 024 日吉水庫-曝氣調整設備
- 照片 025 日吉水庫-邊坡保護措施
- 照片 026 日吉水庫-水力排砂規劃
- 照片 027 日吉水庫-廊道內教育展出館
- 照片 028 日吉水庫-上游採石區自然復育現況
- 照片 029 宇奈月水庫-側排砂道
- 照片 030 宇奈月水庫-中國排砂道
- 照片 031 出之平水庫
- 照片 032 出之平水庫-排砂道
- 照片 033 出之平水庫-排砂道鋪面鋼鈹
- 照片 034 出之平水庫-懸浮載水樣取樣設備
- 照片 035 草木水庫之曝氣設備
- 照片 036 草木水庫邊坡種植柳樹之保護設施
- 照片 037 草木水庫上游之攔砂壩
- 照片 038 草木水庫集水區治理之攔砂壩設施配置

壹、目的

台灣地區因地質條件及集水區保育成效等因素，致水庫之淤積有增無減，造成有效庫容量逐年減少，目前全台重要水庫之淤積量已超過有效庫容量 10% 以上，嚴重威脅水庫之有效壽命，且新水庫開發面臨水庫壩址難尋、環境保護及民眾抗爭等問題，故對於現有水庫之防淤、減淤與清淤規劃將成爲水利工作重點。

爲謀求相關之水利規劃對策，除積極探討本地水庫淤積之成因、背景外，亦擬多方了解先進國家對水庫之防淤、減淤與清淤規劃思維與重點，爰此，乃選定拜會日本政府負責水資源開發及管理之相關單位，以瞭解日本政府推動水庫防淤及清淤相關策略方針，進而瞭解日本民間投入水庫防淤及清淤計畫之看法。另從參觀營運中水庫來瞭解目前水庫防淤(含減淤操作)及清淤計畫之規劃、設計、管理與實際運作情形。

目前國內水庫多面臨清淤後處置淤泥之後續難題，倘若日本有類似個案，亦期能參觀水庫淤泥再生資源化或商業化利用之案例，如農業土壤改良、填海造陸、建造海埔新生地、淤泥固化轉化建材或其他用途等實例情形。

貳、主要內容與行程安排

一、主要課程與觀摩內容

基於上述需求，本次研修係經濟部國際合作處 94 年度台日技術合作項下由駐日經濟文化代表處洽日本國際建設技術協會，透過其用心的安排研修內容與實務觀摩處所，聘請極具實務經驗的學者或專家及土木研究所、水資源機構、國土交通省等主管機關官員介紹日本之整體發展策略，並經由相關水庫管理所人員詳盡介紹各水庫，從規劃、設計、施工、營運管理與維護等，部份淤積較嚴重之水庫尚有水庫再生計畫等等，雖然，此行因國情不同未能獲得與本國水庫對應之解決方案，但與水庫相關之規劃與營運管理卻著實讓我們研修人員眼界大開。

主要課程：

1. 「Japan's Case on Flexible Dam Operation in Relation to Flood Forecasting」
2. 「Flood Hazard Maps in Flood Disaster Prevention System」

3. 「ウオノギリ多目的ダム貯水池堆砂緊急対策」
4. 「Reservoir Sedimentation and Sediment Countermeasures in Japan」

主要觀摩內容:

1. 「筑波—土木研究所（水工模型試驗室）」（水工模型試驗）
2. 「伊那—三峰川綜合開發工事事務所（美和水庫、小澁水庫）」（水庫防砂、排砂、清淤、淤泥利用）
3. 「松本—牧尾水庫管理所(牧尾水庫)」（水庫防砂、清淤、淤泥堆置場植生綠化）
4. 「名古屋—豐川用水綜合事業部」（民生、工業、農業用水綜合管理）
5. 「大津—琵琶湖開發綜合管理所(琵琶湖）」（供水調節、觀光遊憩）
6. 「大津—日吉水庫管理所(日吉水庫）」（供水調節、觀光遊憩）
7. 「富山—黑部河川事務所(宇奈月水庫）」（空庫排砂）
8. 「大宮—水資源機構本部」（淤砂對策）
9. 「高崎—草木水庫管理所(草木水庫）」（集水區整治）

二、行程安排



日期	行程	住宿地點
9/19(一)	啓程	東京
9/20(二)	國際建設技術協會	東京
9/21(三)	國際建設技術協會	筑波
9/22(四)	土木研究所	東京
9/23(五)	資料整理	東京
9/24(六)	資料整理	東京
9/25(日)	移動	伊那
9/26(一)	三峰川綜合開發工事事務所	松本
9/27(二)	牧尾水庫管理所	名古屋
9/28(三)	豐川用水綜合事業部	京都
9/29(四)	琵琶湖開發綜合管理所	京都
9/30(五)	日吉水庫管理所	京都
10/1(六)	資料整理	京都
10/2(日)	移動	富山
10/3(一)	黑部河川事務所	富山
10/4(二)	富山河川國道事務所	富山
10/5(三)	水資源機構本部	高崎
10/6(四)	草木水庫管理所	東京
10/7(五)	國際建設技術協會	東京
10/8(六)	返程	

此次赴日研習之時程計二十日，除假日外，整體研習內容極為充實，行腳遍及日本本州，全程估計約二千餘公里，行程安排相當緊湊，由於參與之團員均極用心學習，堪稱一趟豐碩之旅。

參、日本水庫淤砂與整體對策概述

註：本章整理自土木研究所提供之參考資料

一、引言

- (一)近年來日本的水庫均規劃有 100 年的淤積容量(sediment capacity)。
- (二)適當的水庫淤砂管理應包含水庫淤砂的移除與下游泥砂補注。
- (三)近年來水庫於整體河川系統中亦被期許當成淤砂之控制構造物。
- (四)以下將介紹日本水庫的淤砂現況及包含整體河川系統聯合淤砂管理之對策。

二、日本水庫建造之歷程

- (一)水庫之建造於日本已是歷史悠久。然而大部份的庫容量多建於 1950 之後，如圖 3-1 所示。

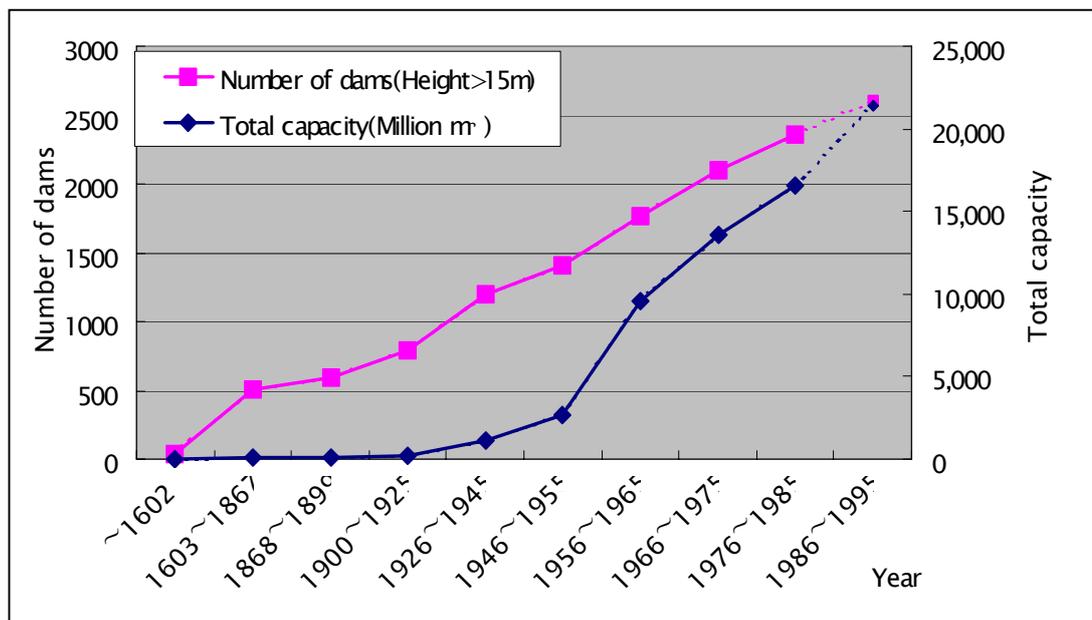


圖 3-1 日本水庫歷年建造數量與庫容量

- (二)日本雖然有許多高壩，但有許多高壩卻沒有高庫容，如表 3-1 所示。

表 3-1 日本水壩壩高與庫容排行表

Ranking	Height			Gross capacity		
	Name	Type	Height(m)	Name	Type	Gross capacity ? 0 ⁶ m ³
1	Kurobe	A	186	Okutadami	G	601
2	Takase	R	176	Tagokura	G	494
3	Naramata	R	158	Miboro	R	370
4	Okutadami	G	157	Sameura	G	316
5	Miyagase	G	156	Tamagawa	G	254
6	Urayama	G	156	Kuzuryu	R	353
7	Nukui	A	156	Ikehara	A	338
8	Sakuma	G	155	Sakuma	G	326
9	Nagawado	A	155	Arimine	G	222
10	Obora	G	155	Tedorigawa	R	231

三、日本水庫淤砂之現況

(一)淤砂之監控

- 1、每個庫容量大於 10⁶m³ 的水庫於每一個非雨季皆須監測淤砂情況，並將資料回報至國土交通省(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)。
- 2、回報之資料包括淤積剖面、淤砂體積、洪水水位、淤砂引致之水位上升量以及淤砂之人工移除量。

(二)淤砂數量

- 1、如圖 3-2 所示之分佈圖為至 1996 年止之 786 座水庫(全部之 30%且庫容量超過全體庫容之 80%)之年平均淤砂量。

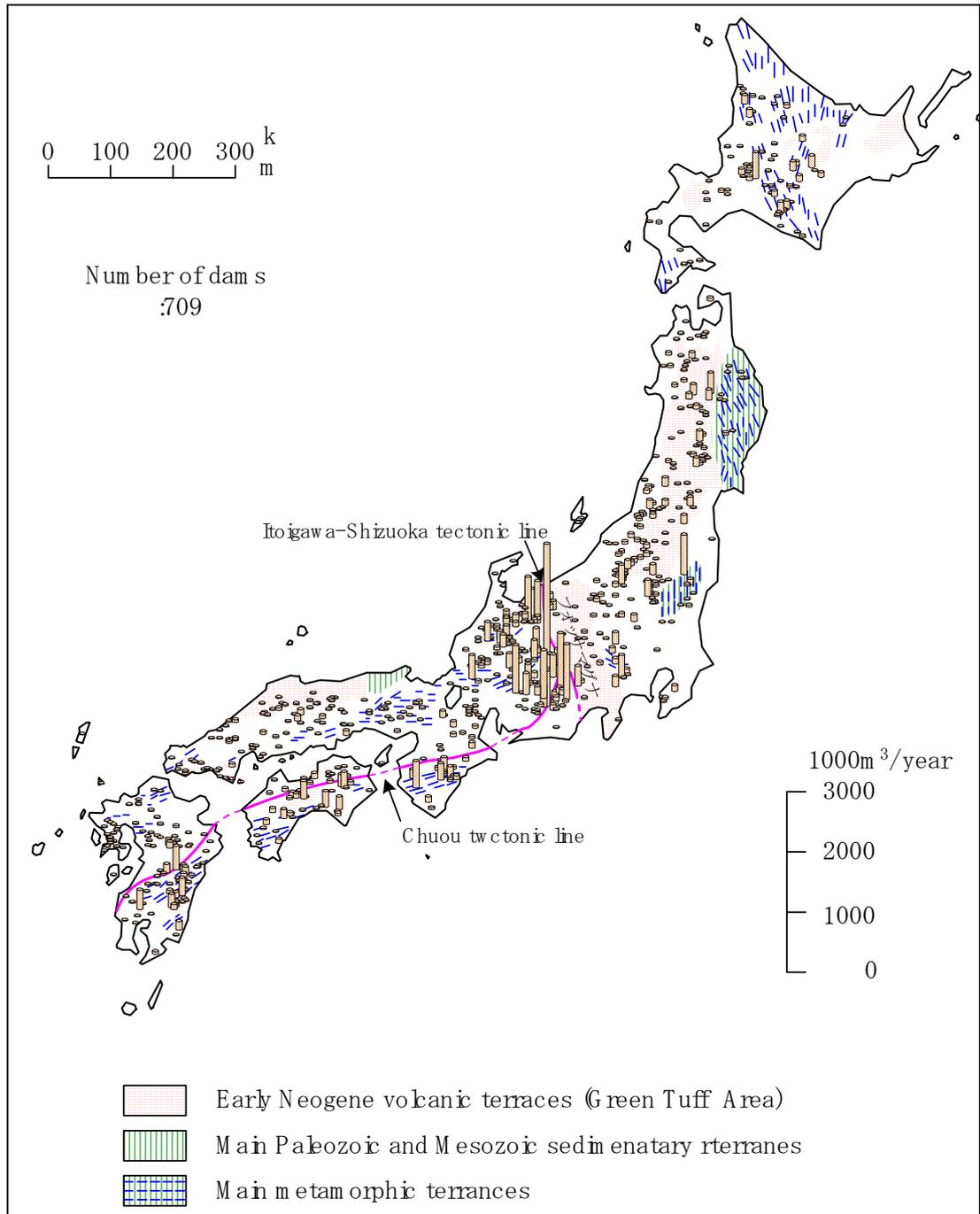


圖 3-2 年平均淤砂量分佈圖

- 2、淤砂較嚴重之水庫位置多分佈於代表性的地殼構造線上。
- 3、全部年淤砂量約 $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，其中並不包括年移除量約 $3.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，如圖 3-3 所示。

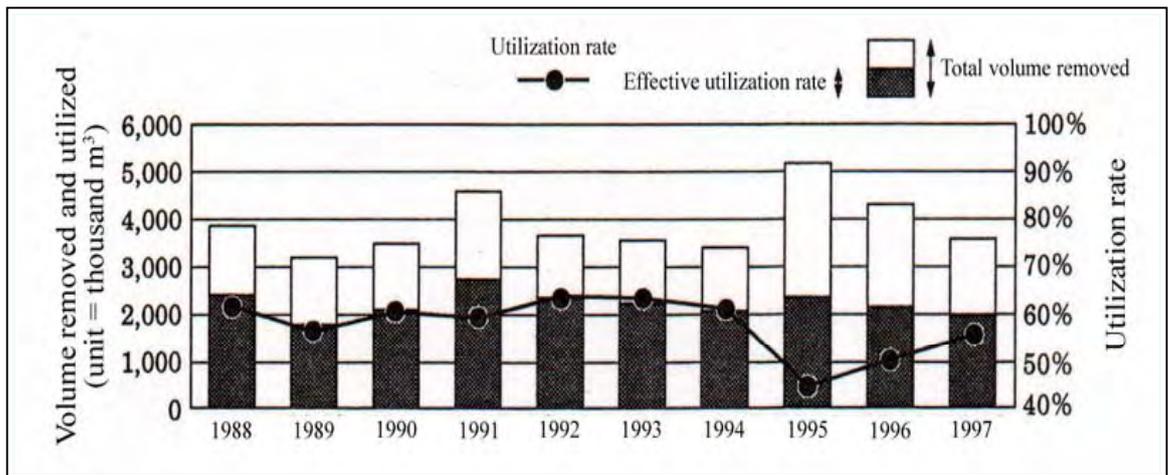


圖 3-3 水庫淤砂量變化圖

(三) 流入淤砂量

- 1、為估算流入淤砂量，因砂率(Trapping rate)與移除量須同時考量。
- 2、因砂率因洪水之再現頻率(flood turnover frequency)增加而減少，尤其是再現頻率>1 時，衰降得非常快，如圖 3-4。
- 3、因砂率可以水庫入流之數值模擬計算求得，但因顆粒大小的資料不易取得，相關之計算並不常執行，如圖 3-5。
- 4、如果分層之效應可忽略的話，因砂率可以一維之計算求得，如圖 3-6。

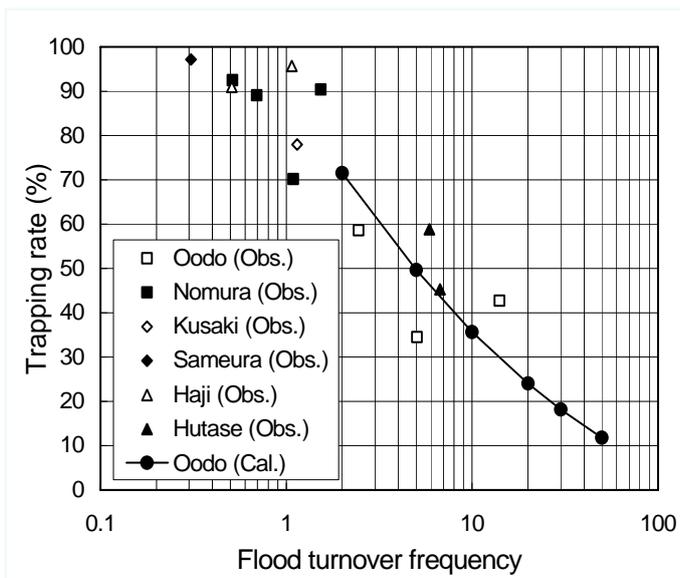


圖 3-4 因砂率與洪水再現頻頻關係圖

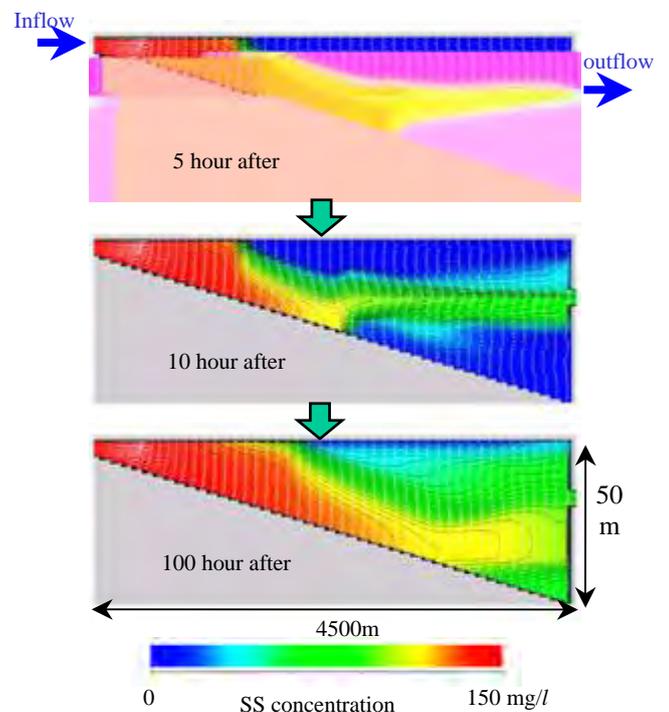


圖 3-5

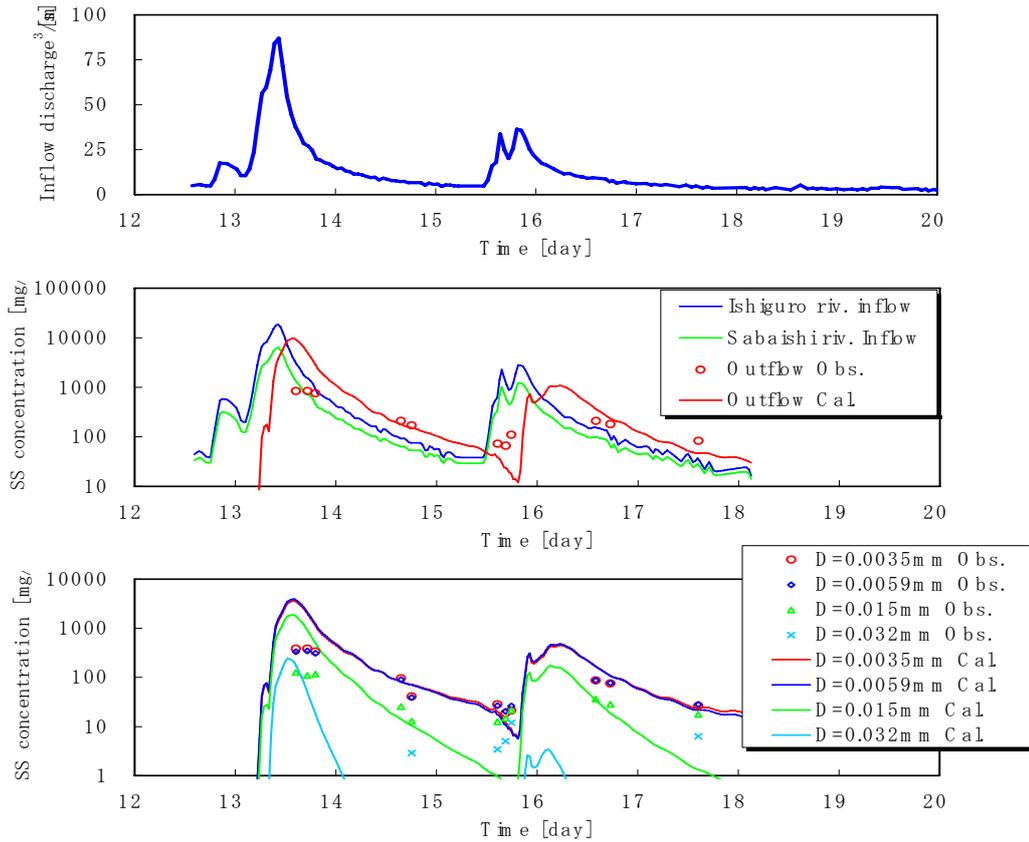


圖 3-6 1D 數值計算結果示例 ss.(Subaishikawa dam)

5、河川系統以下列關係式來作一概略分類

$$qs = aA - 0.7$$

其中

qs : Specific volume of sedimentation discharge (m³/km²/year)

A : drainage area

a : coefficient

依照上述之分類方式將分成(如圖 3-7) :

- (1) 大量淤砂群: Kurobe, Tenryu, Ooi
- (2)-(3) 沿地殼構造線之相對大量淤泥群: Tadami, Shou, Kiso etc.
- (4)-(5) 小量淤砂群: 鄰近 Chugoku 區之河川系統
- (3)-(4) 其他

6、上述分類不能用來當作排水區域設計之唯一依據，適當的影響參數說明仍是必須的。

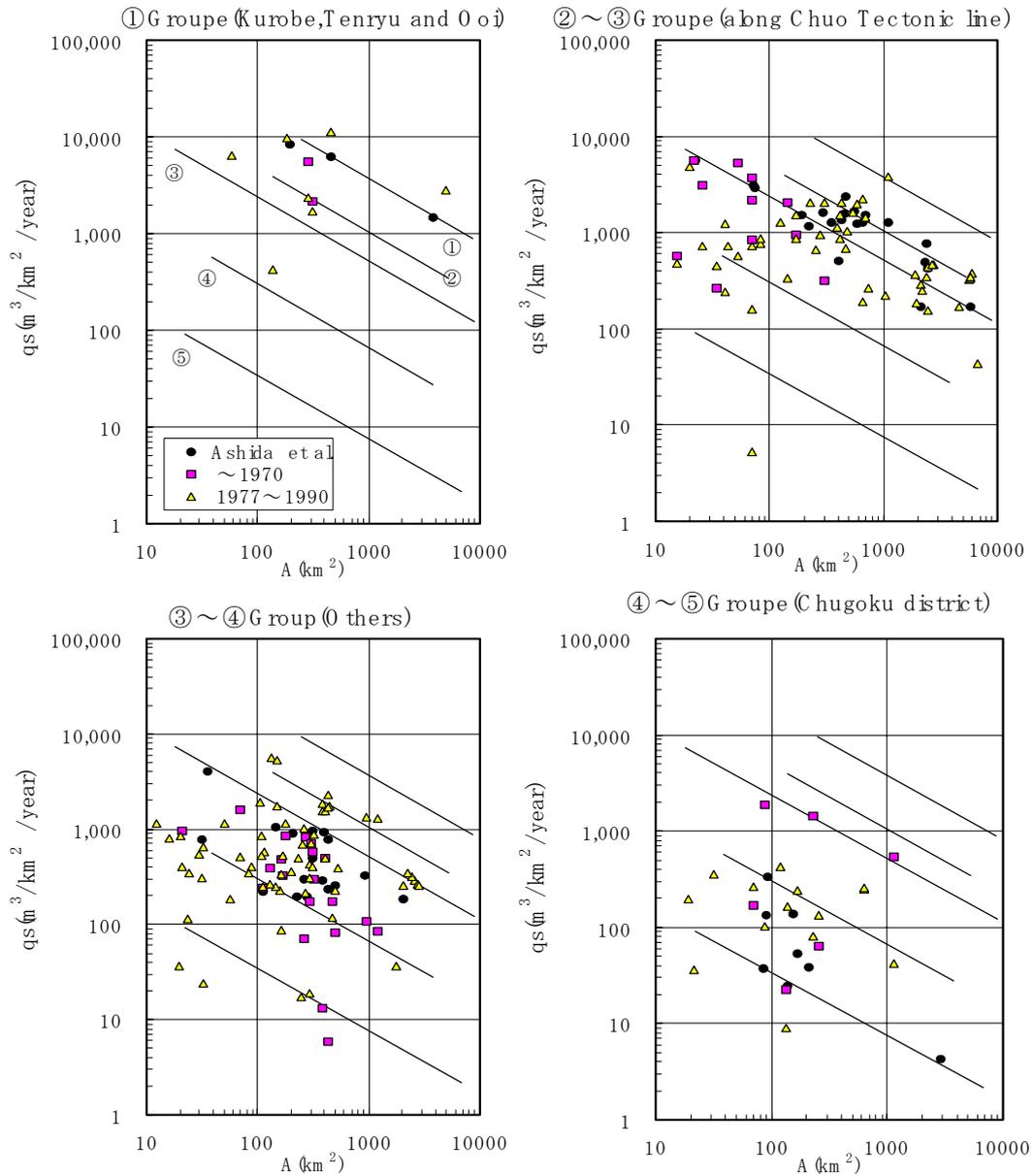


圖 3-7 依 qs and A 關係之分類圖

(四)水庫有關之淤砂狀況(如圖 3-8, 3-9)

- 1、過去 15 年內營運之水庫中，50%因每年淤砂而損失之庫容量低於 1%。
- 2、營運超過 40 年之水庫中，則有 50%因每年淤砂而損失之庫容量達到 2%。
- 3、營運超過 40 年之水庫中已有些因淤砂而失去所有庫容。
- 4、總淤砂量佔全部庫容量之比例並不大(平均值為 16%)，大部份水庫淤砂情形符合當初之規劃情況，庫容仍保持滿載。

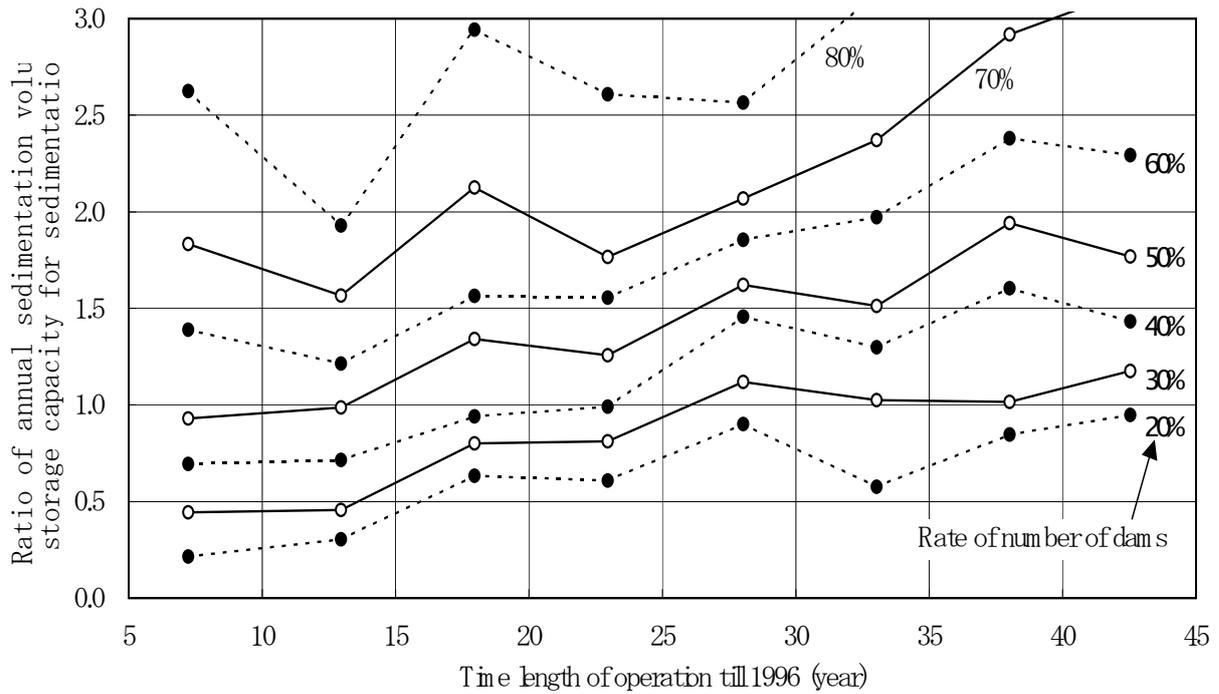


圖 3-8 水庫之年平均淤砂庫容損失率圖

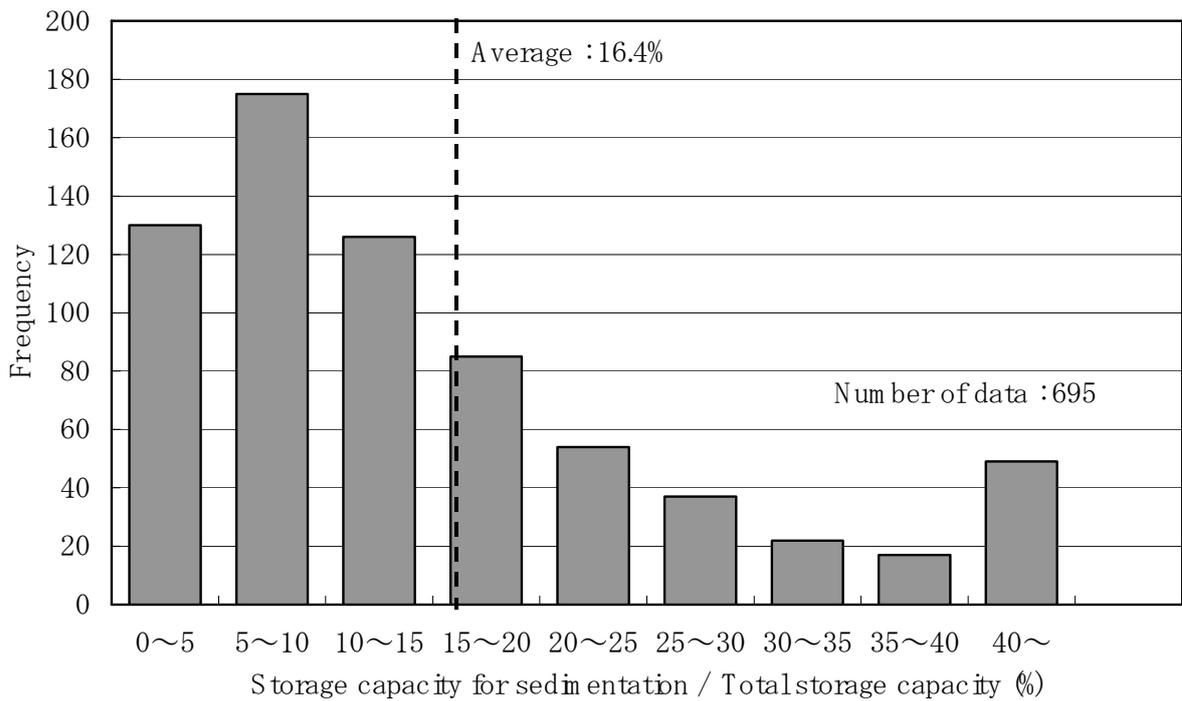


圖 3-9 水庫淤砂率與數量百分比圖

(五)淤砂之顆粒尺寸(如圖 3-10)

- 1、細顆粒 (沉泥+黏土) 約佔全部淤砂之 55% (含懸浮液).
- 2、細顆粒之比例隨水庫而變，因此，在日本淤砂管理須考量較大範圍之顆粒尺寸。

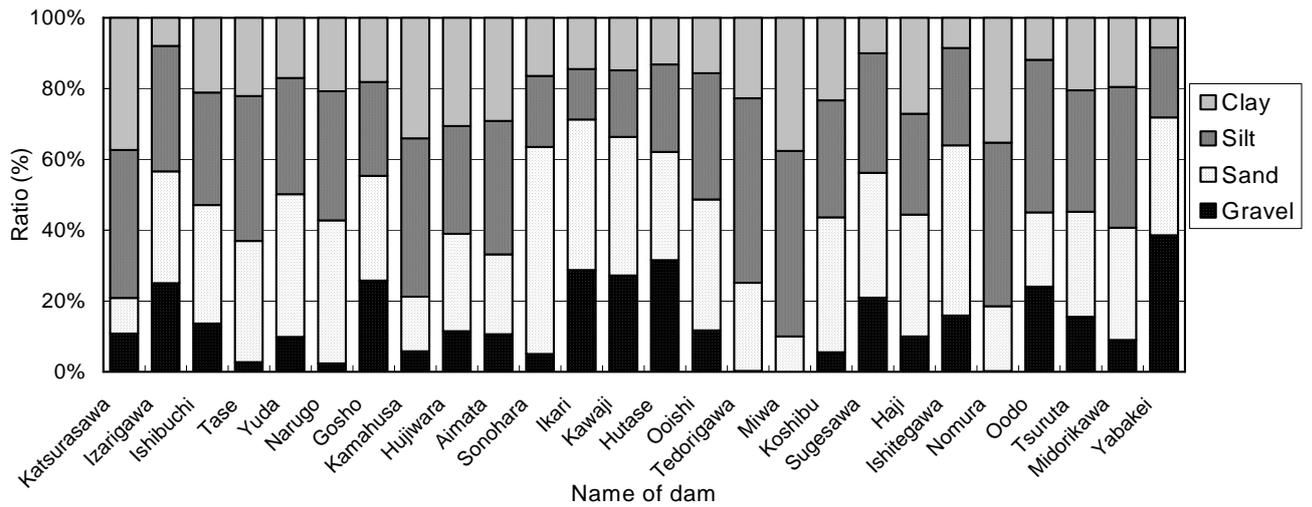


圖 3-10 各水庫之淤砂顆粒尺寸比率圖

四、水庫淤砂之對策

(一)概述

- 1、在日本侵蝕控制方法僅含括於防災計畫內，目前並沒有特別針對水庫淤砂之計畫。
- 2、目前實際採行或試驗中的淤砂控制方法有水力排砂、排砂隧道、挖掘或浚渫、濁流排放及空庫排砂等。

(二)水力排砂(Sediment flushing)

- 1、已在 kurobe River (如圖 3-11)實施混合的排砂方式，包括水力排砂及空庫排砂。

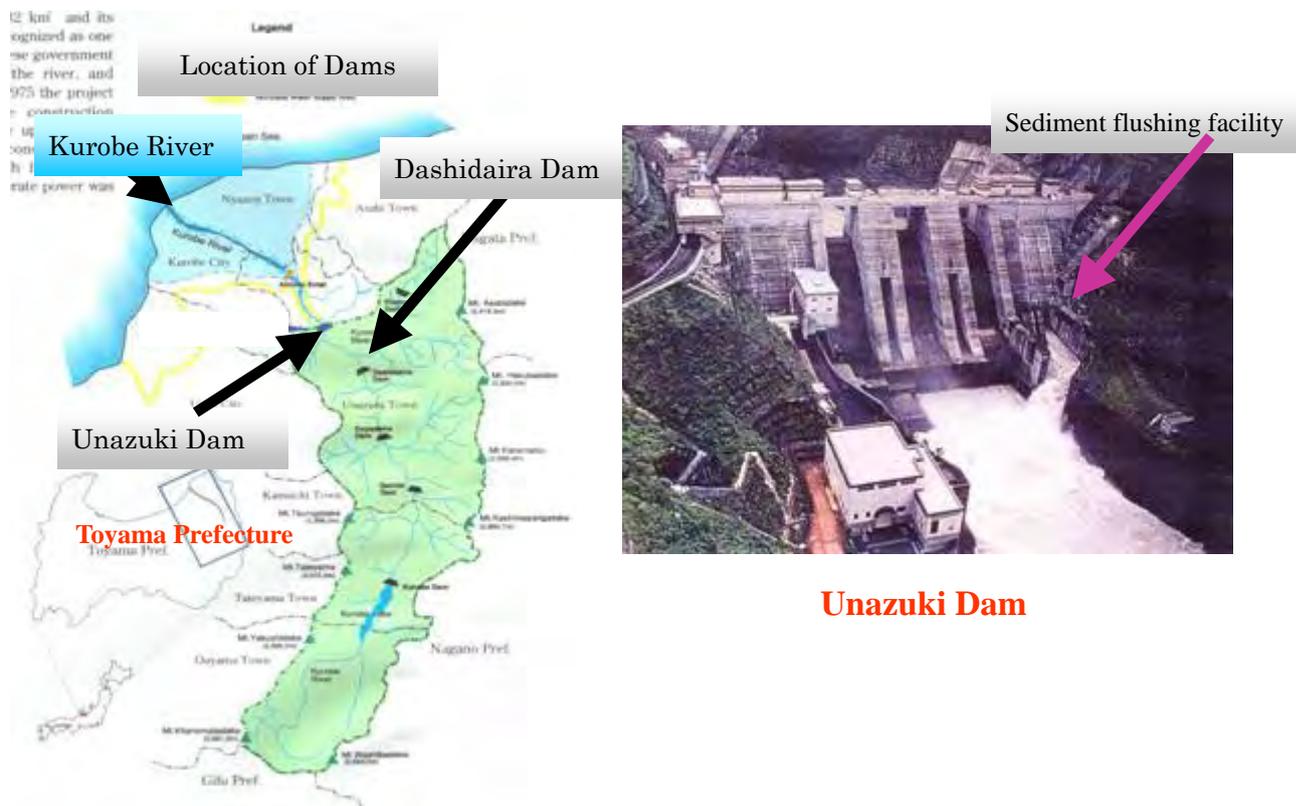


圖 3-11 實施水利排砂及空庫排砂的 kurobe 河上之水庫位置圖

2、排洪操作一直延至洪水期末期才開始，以降低因排砂對環境之衝擊，如

圖 3-12。

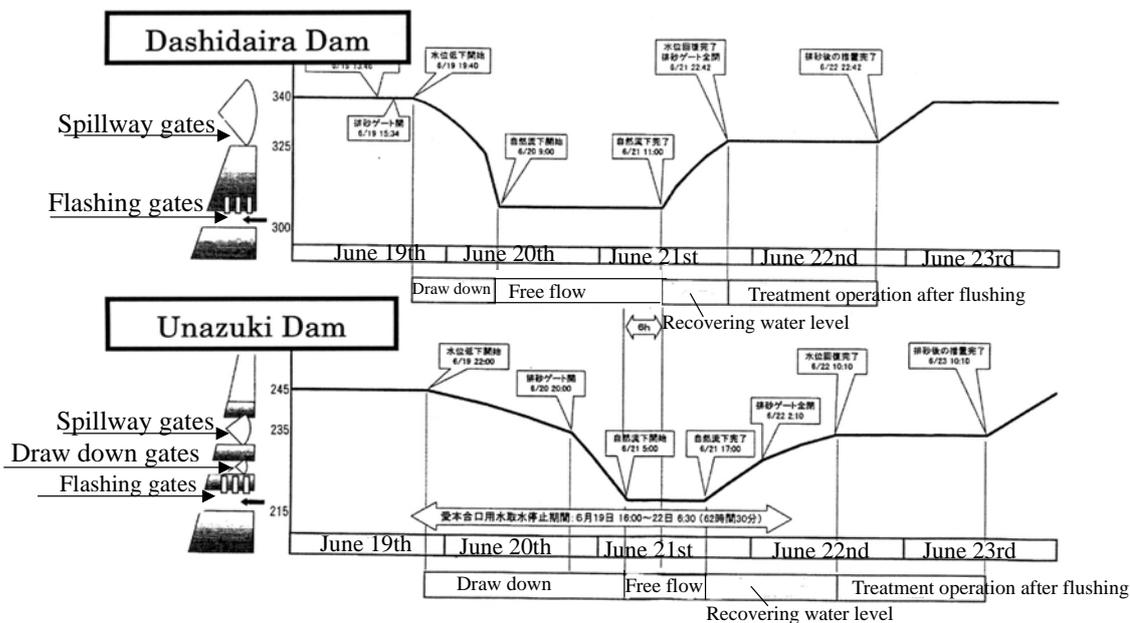


圖 3-12 排砂操作時水庫水位之變化

3、然而，第一次於 Dashidaira 水庫實施排砂作業時，非但沒達到預期之排砂效果，所排放之淤砂反而造成環境問題，如圖 3-13。

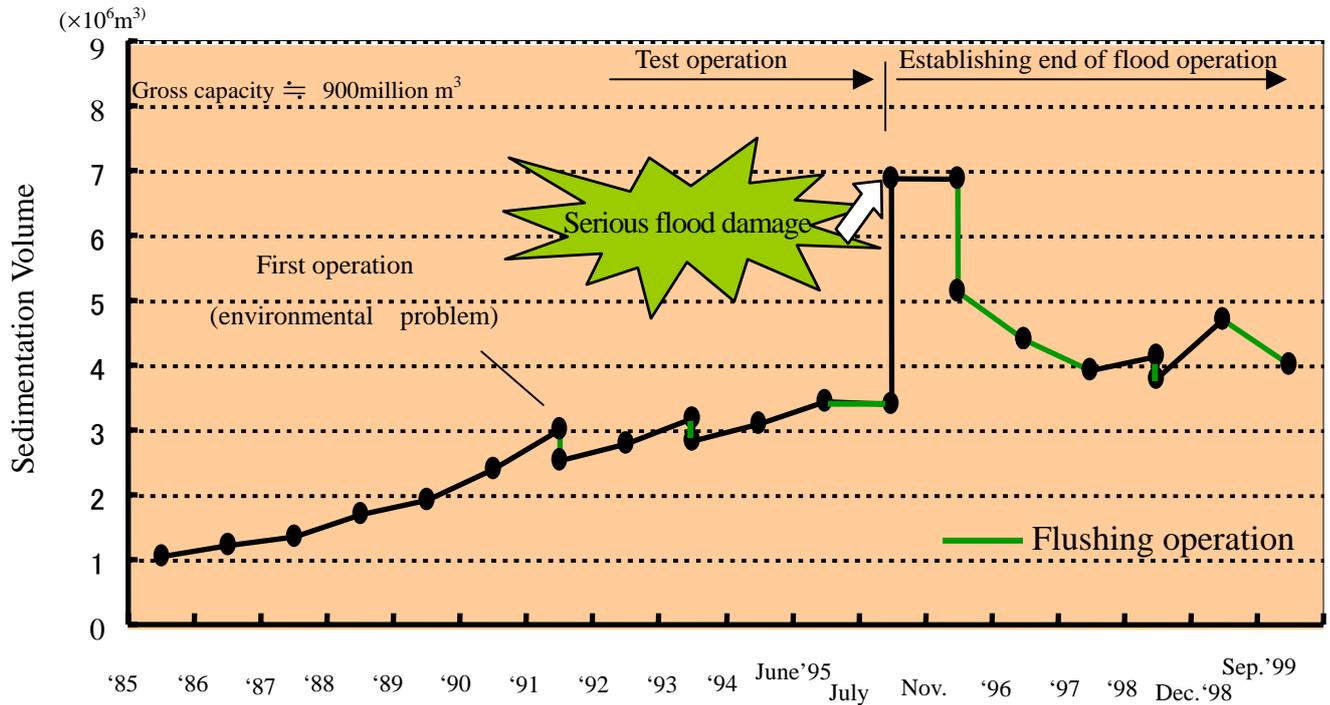


圖 3-13 Dashidaira 水庫實施排砂作業時淤砂體積之歷時圖

- 4、由於排洪作業須考量進流量之補注能力，故所能降低之水位範圍(排砂效果)有限。
- 5、在雪量較多之區域則可利用融雪之入流來進行排砂作業。
- 6、包括細顆粒淤砂之河川變化的數值模擬可有效地用來估計排洪操作的效果，如圖 3-14。

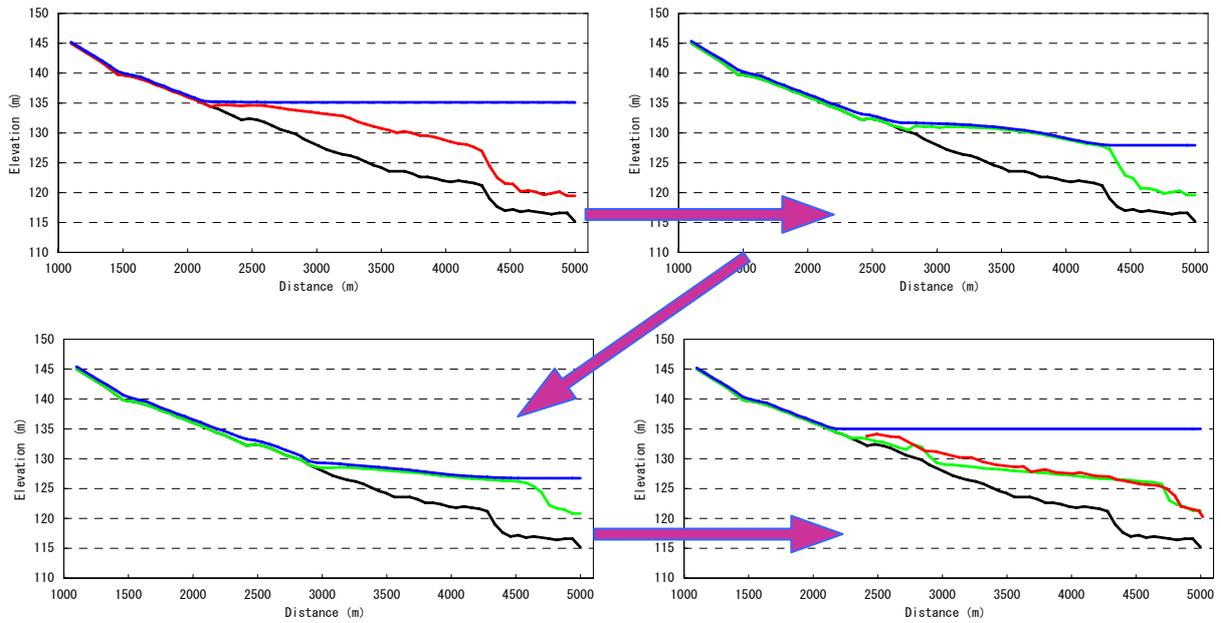


圖 3-14 排洪操作時河床變動模擬之實例(Sabaishikawa dam, 1D model)

(三)排砂隧道

- 1、排砂隧道之排砂方式是從水庫上游側建造一旁通之隧道至下游側來排砂。
- 2、基於對環境影響的考量，排砂之分類有大範圍顆粒分佈及細顆粒兩種。
- 3、Asahi 水庫採用排除大範圍顆粒分佈之排砂隧道，而其下游似乎也復原的相當良好，如圖 3-15 及圖 3-16。

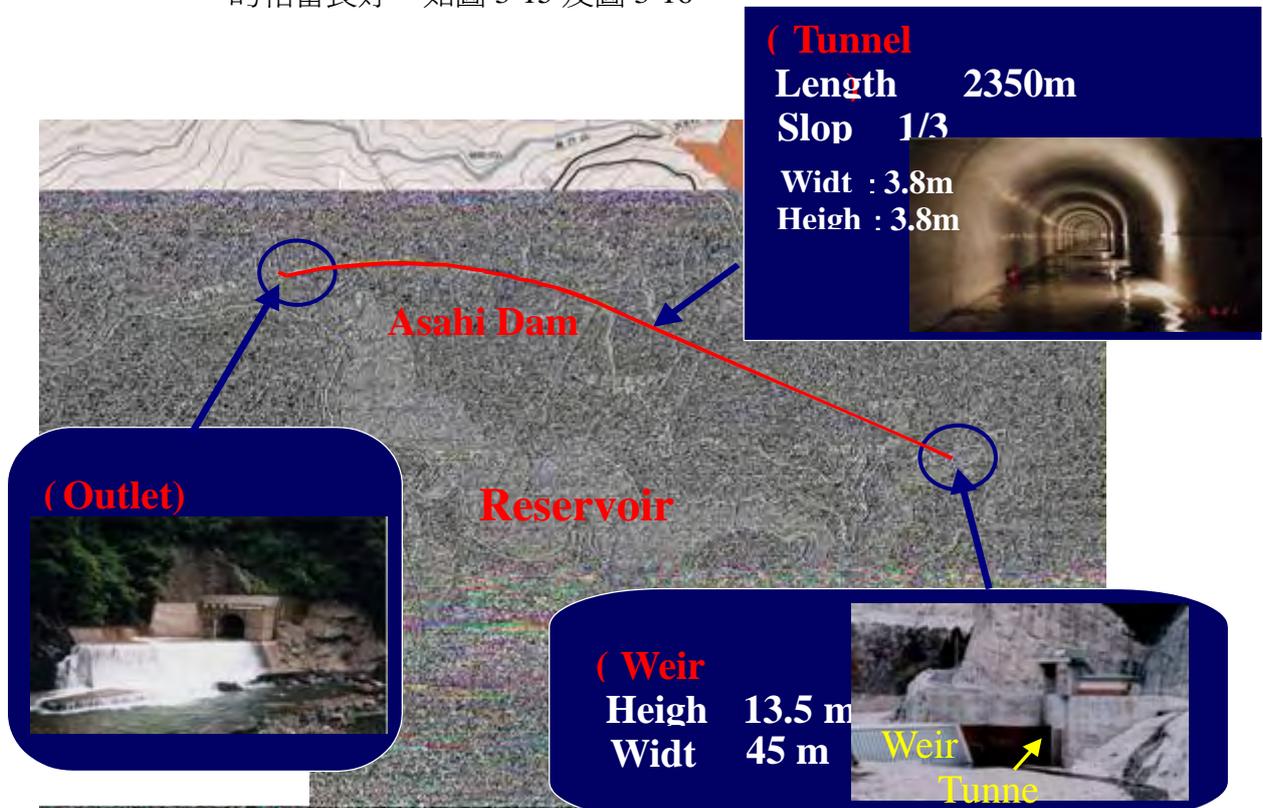


圖 3-15 Asahi 水庫之排砂隧道設施配置圖



圖 3-16 Asahi 水庫下游側之河道變化比較(距水庫約 200m)

4、Asahi 水庫入流之淤砂已由排砂隧道有效排除(尤其是洪水期間)，如圖 3-17。

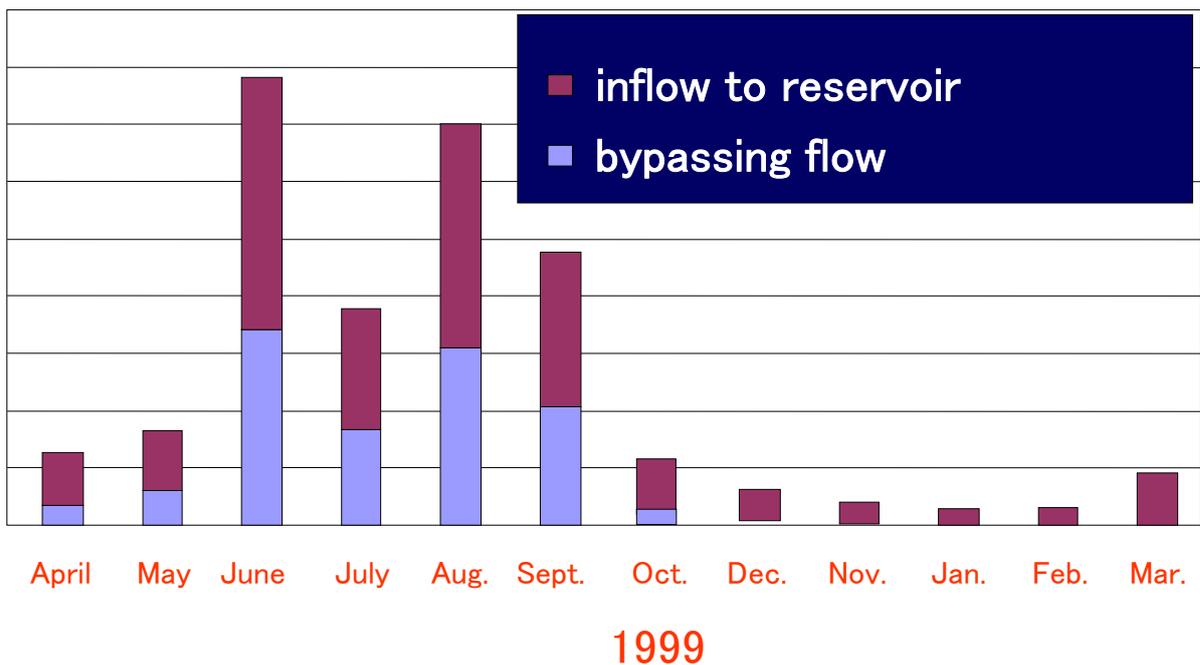


圖 3-17 排砂隧道之排砂效果

5、隧道彎折處部份混凝土面受侵蝕磨損，則須修補以維持功能，如圖 3-18，最大受損深度達 260mm，平均磨損深度則有 45mm。

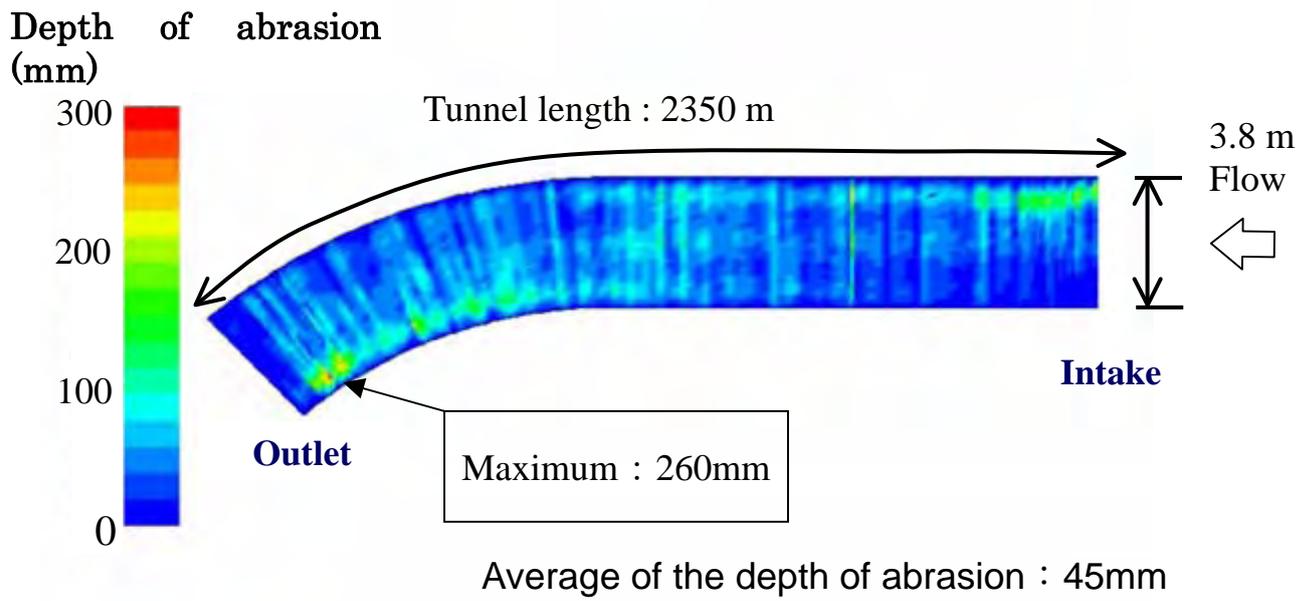


圖 3-17 排砂隧道之磨損紀錄 (operational period:Apr.'98~Dec.'98)

6、2005 年將啓用之 Miwa 水庫排砂隧道則只排除細顆粒，砂與礫另由攔砂壩攔阻後進行有效利用，如圖 3-18。

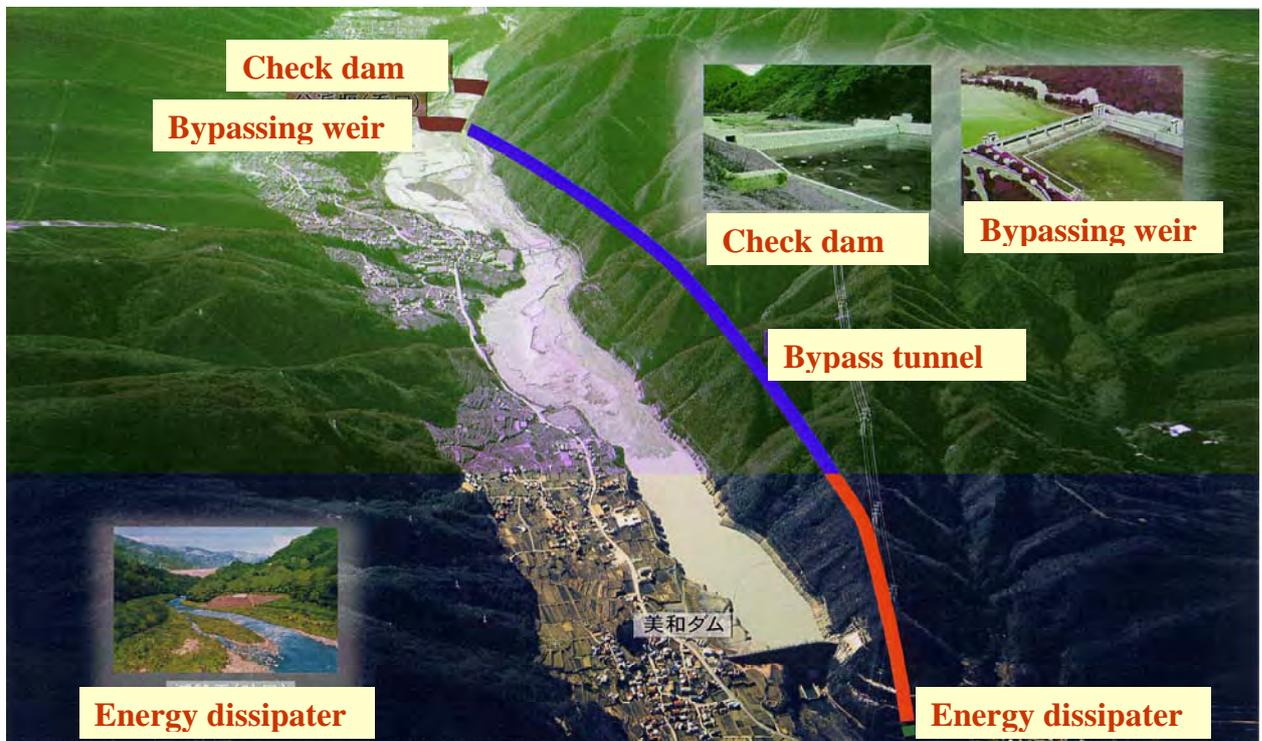


圖 3-18 Miwa 水庫之排砂隧道設施圖

(四)挖掘與浚渫

- 1、挖掘與浚渫是最標準的清淤方式，在日本每年依此方式大約移除年淤砂量的 20%。
- 2、大約 60% 清理出的淤砂被有效地再利用以作為混凝土骨材、築堤材料等。
- 3、部份水庫則嘗試將清理出的淤泥置於下游河川，於洪水來時讓洪水將這些淤砂帶走，如圖 3-19。

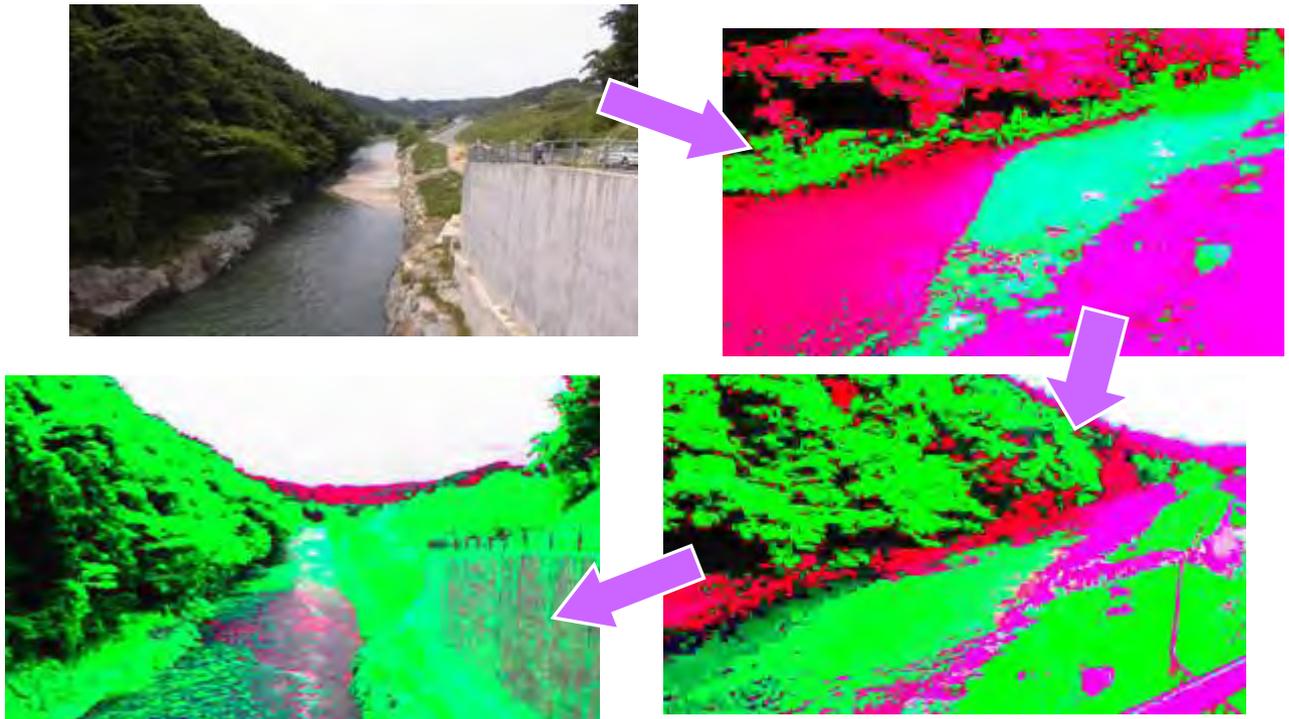
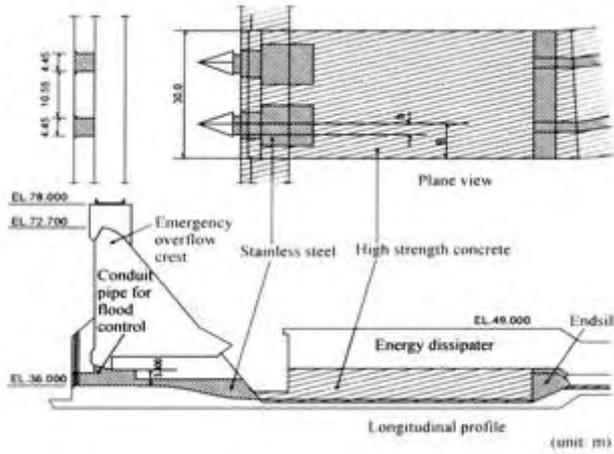


圖 3-19 將淤泥置於下游河川，讓洪水將這些淤砂帶走之實例(Miharu dam)

(五)空庫排砂

空庫排砂只能用於特定目的之防洪水庫。為達到空庫排砂的目的，必須在相當於河川高程之位置設置無閘門之排砂口，如圖 3-20。



Construction condition

圖 3-20 空庫排砂之實例 (Masudagawa 水庫)

五、水庫淤砂與淤砂聯合管理

(一)非庫區之淤砂控制

- 1、在山區、山腳及沖積扇地區廣設坡地保護工(hillside work)、攔砂壩(check dam)及滯洪池(retarding basin)等，如圖 3-21。
- 2、在下游地區則設置堤腳保護工(foot protection work)、地檻(groundsill) 以阻止砂石被淘洗帶走、河床疏浚挖掘(riverbed excavation)及擾流丁壩(spur dike)等，如圖 3-22。



坡地保護工



攔砂壩



圖 3-21 坡地保護工與攔砂壩

3、沿海地區自 60's 以來侵蝕問題相當嚴重，對此設置有消波工(wave absorbing works)、防波堤(jetty)、離岸堤(offshore breakwater)、潛堤 (artificial reef)、頭型堤(head land)、砂越堤(sand bypass)等人工補助措施，如圖 3-23。

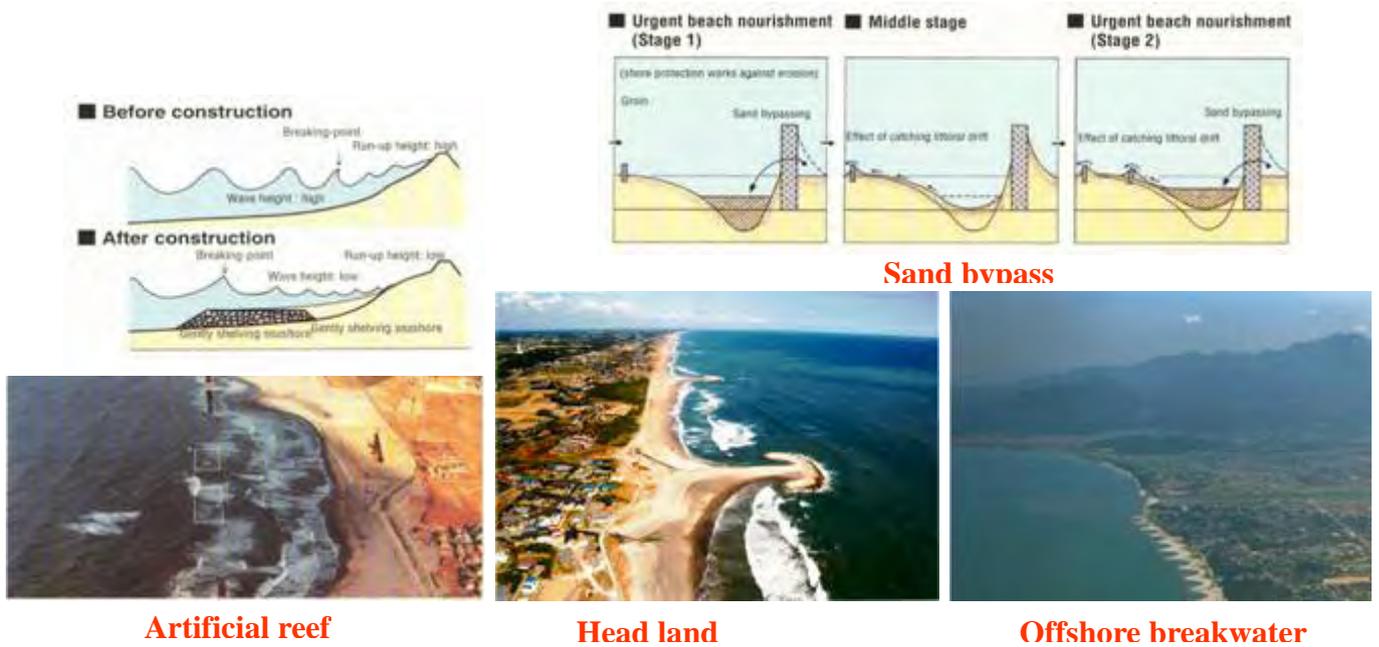


圖 3-22 下游地區設置之保護工

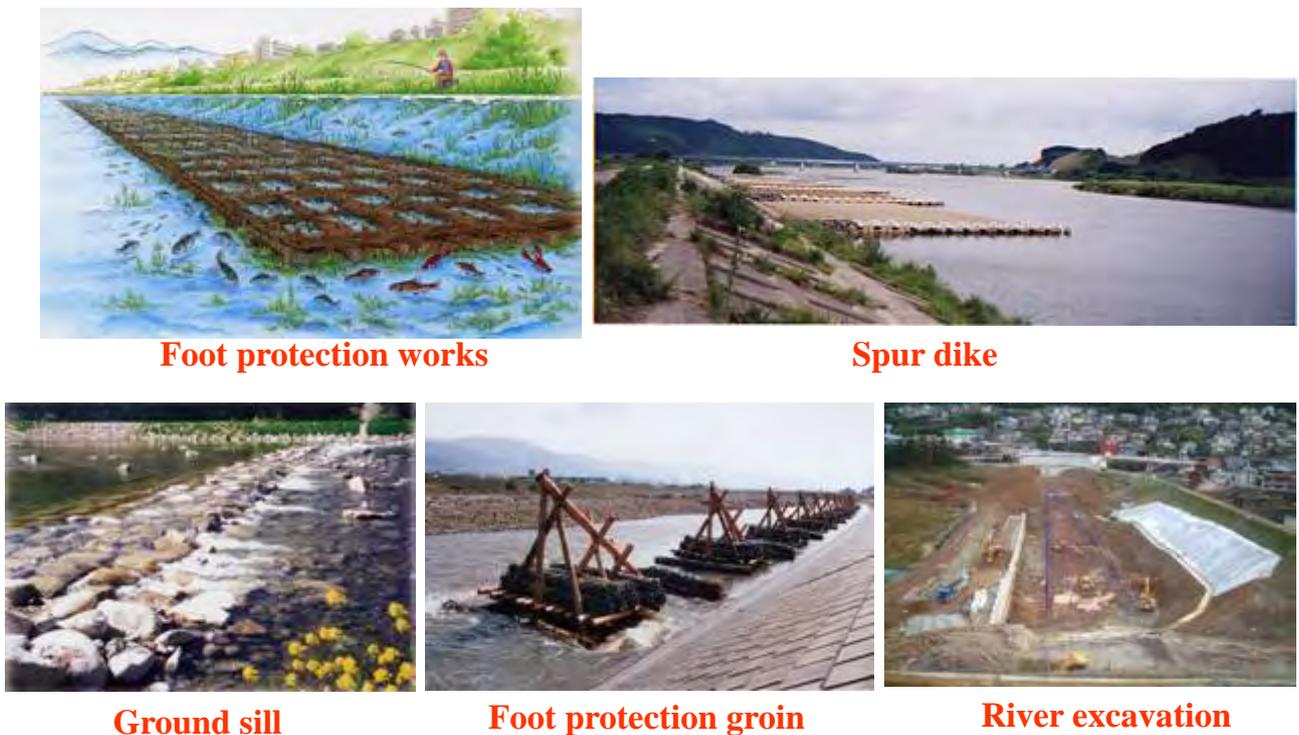


圖 3-23 沿海地區設置之保護工及補助措施

(二)聯合淤砂管理之構想

1、河川整體政策委員會(General Policy Committee of River Council, MOC)的
 整體淤砂控制小組(The General Sediment Control Subcommittee)於 1998
 年七月提出聯合淤砂管理之構想並提出如圖 3-24 所示之淤砂移動圖：

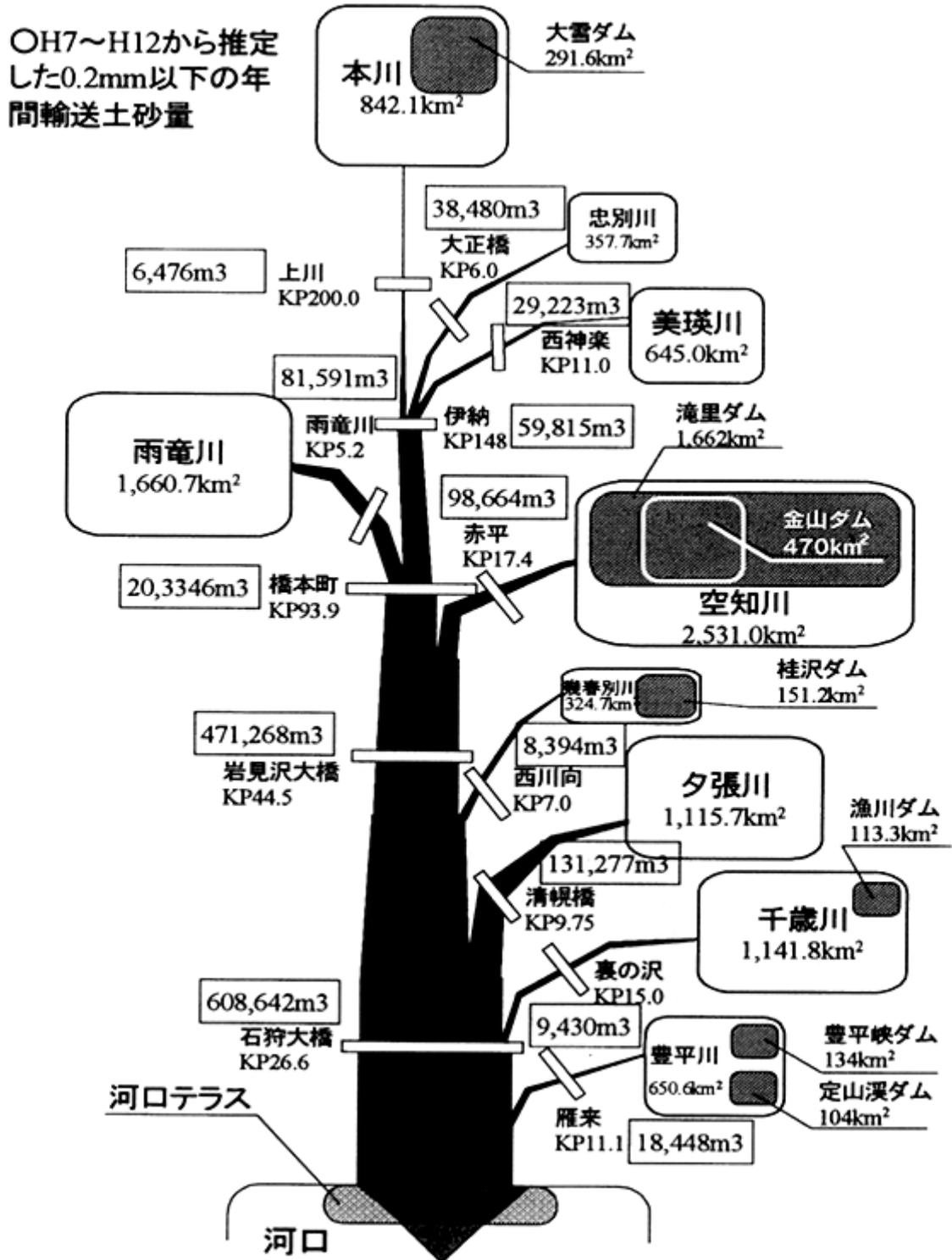


圖 3-24 淤砂移動圖

- 2、該小組所提出之淤砂問題有：
 - (1)崩塌土石流引致之災害及土石堆積於河川上游的問題
 - (2)水庫過多之淤砂及長時間渾濁的問題
 - (3)河川保護及大規模河川變動造成對生態及河川管理設施之影響
 - (4)海岸防蝕的進展
- 3、聯合淤砂管理的目標有
 - (1)防止災害
 - (2)保護河川與海岸環境
 - (3)適當地使用河川與海岸
- 4、聯合淤砂管理的看法有
 - (1)考量淤砂位置與時間的連續性
 - (2)考量淤砂的質與量
 - (3)考量淤砂與水流間的關係
- 5、聯合淤砂管理建議的措施有
 - (1)提昇監控與識別有關淤砂輸送的問題
 - (2)建立淤砂的復原系統
 - a、提暢 Sabo works 的淤砂供給模式
 - b、建立水庫的淤砂管理系統(包含淤砂供給的量測).
 - (3)控制採砂石以維護河川構造物
- 6、Sabo works 的一些新觀念與聯合淤砂管理同時進行，如圖 3-25
 - 短期：阻止並儲存土石流
 - 中期：控制淤砂至相當程度
 - 長期：排放所儲之淤砂



圖 3-25 穿越型的攔砂壩

(三)對水庫之要求

1、水庫應具有：

(1)淤砂監控設施

(2)淤砂控制設施(如攔砂壩)

2、為具有控制淤砂之功能應完成淤砂供給設施

六、當前之課題

(一)目前日本水庫面臨的淤砂問題有

1、淤砂量隨著河川系統不同變化甚大(由少於 $100 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 至 $10,000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$)，即使是同一河川系統內，也隨水庫位置不同而有所不同。

2、淤砂顆粒尺寸變化甚大，此點於淤砂管理上應特別注意。

3、不久之將來，水庫淤砂之情況將逐漸地升高。

(二)水庫淤砂的對策

1、目前，日本有些水庫已實施部份淤砂對策。

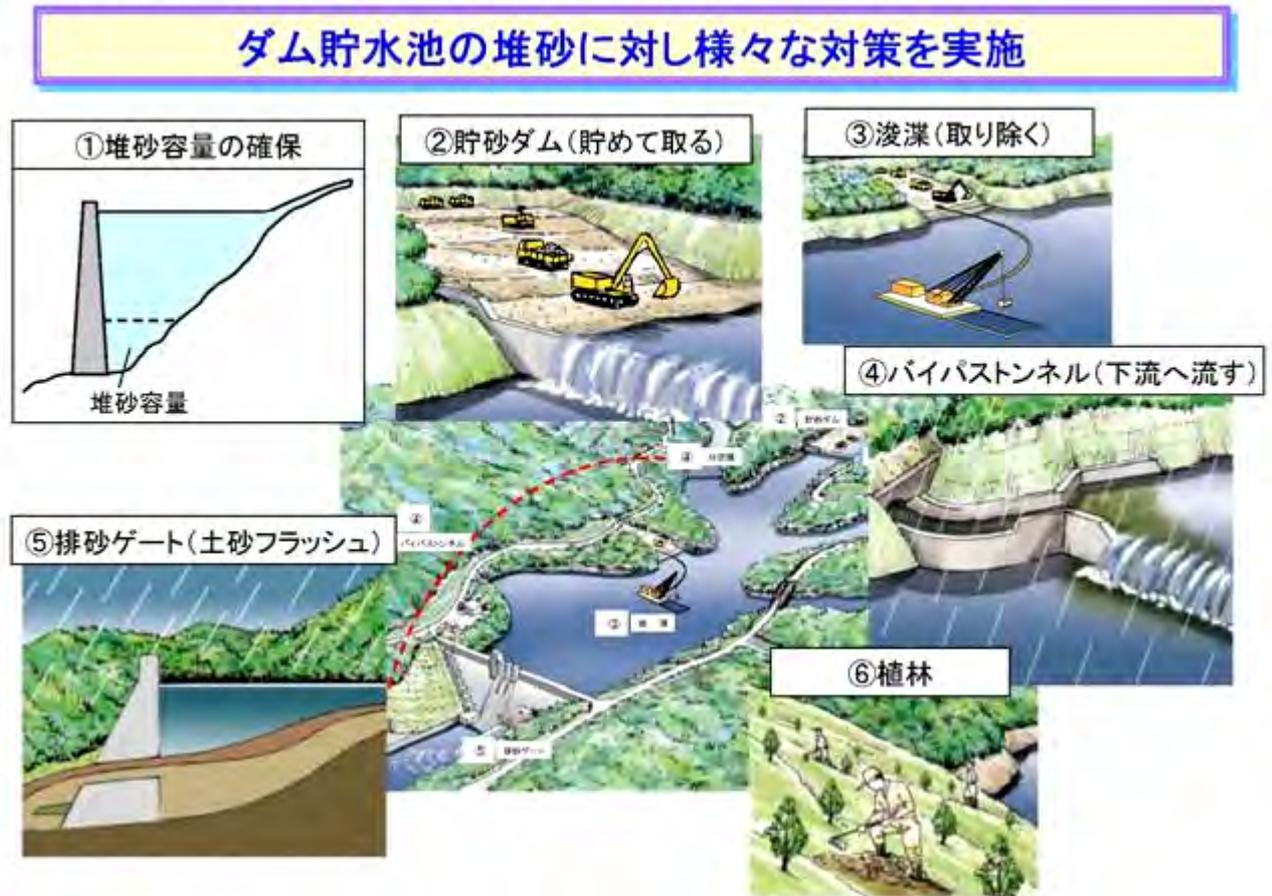
2、挖掘與浚渫仍是最常用之清淤方式，其他方式則按各水庫的情形來考量，如庫容大小、入流特性、入流淤砂量、顆粒尺寸、下游河川的地理特性等。

3、由淤砂聯合管理的觀點來看，水庫應具備有監控淤砂能力的相關設施。

肆、各單位排砂、清淤對策與淤泥處理技術綜合整理

ダム貯水池の堆砂

20



一、排砂、清淤對策

綜合參訪各單位之地理條件、設計理念與後續之管理方案，大致可將各單位排砂、清淤對策綜合整理成：

(一)適當的儲砂容量：如上圖①，日本近期興建之水庫多設計有 100 年之儲砂容量(呆水位以下)。儲砂容量除了就集水區內之地形、地理、地質及水文、水理條件以經驗或數學公式演算求得外，另一重要參考因素為鄰近既有類似條件水庫之淤砂統計，此點於規劃設計階段即詳加考慮之設計要求，經過數百個水庫數十年營運統計資料之驗證，已大大地降低水庫日後營運管理之困難。

(二)人工排砂：

1、挖掘：如上圖②，於枯水期或低水位期，以機械進行直接挖掘，方式簡

易但易受限於枯水期長短、挖掘機械能量、運輸動線及棄土場容量。同時因須等待低水位及場地工作度，施作規模及效果有限，本次參訪之美和及牧尾水庫採用此方式為排砂方式之一。

- 2、浚渫：如上圖③，於庫內以相關設備(浚渫船)直接抽排高濃度之泥水，方式簡易不受限於水位高低，但費用高且排砂能量有限，同時因須攪動淤泥易影響水質，此外排出之泥砂另有處理與置放之課題，本次參訪之美和水庫採用此方式為排砂方式之一。
- 3、攔砂壩：如上圖②，為確保水庫淤砂容量符合設計規劃，於淹沒區上游側興建攔砂壩將中至大尺寸之砂石先行排除，由於此法攔阻之砂石多具經濟價值，只要有合適之場地可以興建其效果皆甚良好，排砂方式一般以直接挖掘方式處理，本次參訪之小澗水庫採用此方式為排砂方式之一，近年來亦有數十座水庫採用此法進行排砂作業。

(三)水理排砂：

- 1、bypass 排砂隧道：如上圖④，於水庫上游側興建攔砂壩及排砂隧道將泥砂截至水庫下游側。此方式不須考慮水庫之高低水位，同時因將上游原屬河道內之泥砂帶回給下游河道，對下游河道之泥砂補注及生態平衡有正面之影響，除了工程設計施工技術層面較高，建設費用昂貴外，效果似乎甚佳，值得納入規劃設計探討，本次參訪之美和水庫採用此方式為排砂方式之一。
- 2、水力排砂：
 - (1)異重流排除：於洪水期適時開啓排砂閘門，將到達之異重流(密度流)藉由排洪同時排出，此法甚為經濟且效果甚佳，但因此類型水庫於日本甚少設計故異重流流況之掌握技術尚待建立，目前為摸索階段。
 - (2)排砂門、排砂管：如上圖⑤，於洪水期或高水位時，開啓閘門將庫內之淤砂帶走，此方式亦甚經濟效果亦佳，但因排除已淤積之泥砂所需水量及水位甚大，必須詳細評估考量水庫本身的功能及供水標的。
- 3、空庫排砂：於洪水期將庫水全部放出藉以帶走庫內之淤泥，效果甚佳，但因須空庫，隱含排水時下游淹水及庫容蓄水不足之風險。因此法將上游原屬河道內之泥砂直接帶給下游河道，對下游河道之泥砂補注及生態

平衡有正面之影響，本次參訪之宇奈月及出之平水庫即採用此方式進行上下游聯合排砂。

(四)集水區治理：

- 1、於淹沒區及集水區內興建相當數量之攔砂壩，將粗石先行攔截，攔砂壩堆滿後視設計原始概念有清理再攔砂與不清理作為河川坡度改良之分別。此項目在集水區崩塌較嚴重之地區如本次參訪之牧尾水庫上游、草木水庫集水區及常願寺川上游之立山(鳶山崩壞地)均以大量之攔砂壩(甚少施作其他護坡工程)有效的阻止大規模區域性之崩塌，藉由非自然手段將砂土自然地留於原集水區內，經過一、二十年的經營，原已呈光禿的上游側已明顯自然復育(輔以植栽、灑草種等)，以長期經營的角度來看，攔砂壩是復育的幫手並非生態殺手。
- 2、如上圖⑥，適當之開發管制與經營管理，如造林。由於日本平均國民所得甚高，一般國民至交通不便、生活條件較差之集水區內開發意願不高，集水區遭到人為破壞的情況較少發生，一般性天然災害多採自然復育，並無集水區治理之嚴重課題。

二、淤泥處理工法

參訪之單位幾乎沒有淤泥處理技術之需要或問題，授課的專家學者均未處理過此方面的問題或耳聞相關處理之技術。

除了牧尾水庫配合周邊地方政府之農地重劃，將部份淤泥混合有機質用於農地改良外，其他辦理清淤之水庫所清理出之淤泥多以置放於置土場之方式處理。而置土場之用地取得阻力並不大，依據參訪單位之介紹，只要事先良好溝通，規劃完善、水土保持措施合乎當地居民要求即可，法令上並無特別限制或規定。而置土場甚至可配合當地民眾要求，及結合地方生態專家植栽美綠化並規劃成休閒運動兼具之場所，提供民眾良好之遊憩空間，實為一舉數得。

伍、以石門水庫為例說明日本排砂與清淤對策之可行性

一、前言

石門水庫清淤作業規劃，係自民國 66 年起，分別於水庫中、下游段，採常年性辦理清淤作業，並視水庫水位變化情形，於枯水期間，增辦水庫上游段陸域開採方式辦理清淤，迄至民國 94 年 6 月，總清淤量近 1,165 萬立方公尺。石門水庫為一多目標水庫，具有灌溉、發電、給水、防洪、觀光等效益，因多年來上游歷經多次颱風暴雨侵襲及其他自然、人為因素影響，致土石沖刷流入水庫造成淤積，截至 93 年 8 月艾利颱風來襲前，水庫有效蓄水量約為 23,800 萬立方公尺，總淤積量為 5,615 萬立方公尺。艾利颱風以後，經測量結果淤積量約增加 2,788 萬立方公尺，即石門水庫總淤積量約達 8,403 萬立方公尺，水庫有效蓄水量減為 21,800 萬立方公尺。

二、清淤規畫及執行成果

石門水庫歷年來清淤作業情形，分別為：

(一)水庫上游段(復興橋附近)：

本區段曾於民國 82 年間，利用水庫枯旱時期以陸域開採方式辦理清淤，91、92 兩年又適逢水庫枯旱，並奉行政院指示辦理水庫緊急清淤，分別於 91 年清淤 3.36 萬立方公尺、92 年清淤 13.1 萬立方公尺，93 年初，亦配合水庫枯旱時期辦理清淤，及至 93 年 5 月共完成 10 萬立方公尺。未來亦將於每年枯水期間，視水庫水位情況，辦理上游段清淤。

(二)水庫中游段(阿姆坪附近)：

本區段係自民國 68 年起，陸續委由民間業者以深水抽取方式辦理，並於 90 年續辦，清淤總量為 60 萬立方公尺，計畫年清淤量為 15 萬立方公尺。於 91 年間利用水庫枯旱時期增加陸域緊急開採，該年緊急清淤量為 3.6 萬立方公尺，91 年 93 年 10 月止共計清淤共約 25 萬立方公尺。

(三)水庫下游段(大壩附近)：

本區段最早係於 74 年 3 月，採用深水抽泥船，將發電進水口前附近淤泥與水，以管線輸送至後池堰下游沉澱池內存放，俟淤泥沉澱後，清水仍放流於河川，以供應下游灌溉及公共給水使用。及至 84 年 4 月共約十年時

間，使得發電進水口前之淤積面由標高 174.55 公尺降至標高 163.70 公尺，約降低 10.9 公尺。惟民國 85 年 8 月賀伯颱風過後，發電進水口淤積面又回升七、八公尺，淤積量高達 867 萬立方公尺。為確保發電進水口免於淤塞，乃續辦第二次淤泥清淤作業，87 年至 94 年 10 月止，清淤淤泥共約 98.7 萬立方公尺。

(四)沉澱池淤泥處置：

為辦理事門水庫下游清淤所抽出之淤泥，乃於水庫下游設置 13 座沉澱池供抽出淤泥置放，其容量共約 380 萬立方公尺，由於辦理第一期淤泥清淤工作階段（74 年至 84 年間），所抽除淤泥已將 13 座沉澱池填滿，故目前需先處置沉澱淤泥，始能騰出現有沉澱池供抽出淤泥放置。

關於沉澱池內淤泥之處理，需先降低含水量或將淤泥固化或脫水後始能清運至合法使用場地，且必須慎防發生二次公害。由於合法棄土場所取得不易，清運時又常遭民眾抗爭，同時沉澱池大量淤泥，除少部份提供作為磚窯廠、砂石場、輕質骨材場或有機培養土、農地改良等，作為原料再利用外，大部份均以廢棄土處置之，處理上困難重重，致無法及時騰出現有沉澱池，供水庫清淤淤泥抽置，勢將影響水庫下游清淤成效。

三、現階段水庫排砂方案

由於水庫辦理清淤之目的，主要係為清除水庫各取水工(如發電、石圳)附近之淤積物，而非以清淤之手段，作為水庫增加蓄容量之目的，惟目前水庫淤積量約達 8,403 萬立方公尺，確有影響水庫有效蓄水量，惟若以人工清淤方式進行疏浚，成效相當有限。

現階段淤水庫大量淤泥之清除方式有二，其一為利用平時石門電廠發電時，將大壩附之淤積物，藉由閘門操作、發電放流水時，一併逐流而下，藉以達成清淤目的。

此外於颱風期間，利用洩洪時，將水庫內淤積物以重力排砂方式，併同洩洪排放，以有效大量排放淤泥，避免上游挾流之土石，積留於水庫內。

四、未來計畫執行方案

由於水庫大壩附近之淤積物，係屬極細之黏質土，無法再行利用，經抽

置沉澱池沉澱後，因缺欠大量淤泥之合法棄土場，致淤泥處理上困難重重，影響水庫下游清淤成效。

為解決上開問題，除研擬水庫淤泥脫水、固化等可行降水措施，期以於運輸過程不造成二次污染及便於利用外，另就台北商港填海造地設港計畫，需大量填方土料，其中由石門水庫提供 700 萬立方公尺以上之淤土，作為其土方料源部份，刻由行政院協調相關部會研議可行方案及合作方式，如得以成案，勢將有效解決水庫清淤之困難。

此外另規劃於沉澱池下游右側，延河川堤線興建堤防，利用堤後浮覆地作為沉澱池淤泥填置場所，約可收容近 80 萬立方公尺土方。

此外，配合地方政府協助設置相關土方收容、強化水庫蓄清排渾操作、有效開發研究水庫清淤淤積物處理技術等，亦為改善淤泥處理困難之主要解決方案。

為水庫活化永續經營，擬增設排砂道，於颱風期間，利用洪峰將異重流排至下游，如此可有效減少水庫淤積並迅速降低水庫水質濁度，近期內將先行辦理現有排砂設施改善，將發電廠之輸水壓力鋼管以旁通(bypass)方式，於颱風期間將高濁度之異重流排至下游，而不經過發電機，可增加排砂量並確保發電機組免受損害之虞。另為能迅速掌握排砂時機，正辦理異重流監測建置作業並與國內知名大學合作研究異重流發生時之排砂時機及監測作業，期能有效解決石門水庫之淤積及迅速降低水質濁度。

陸、結論與建議

- 一、先前本國水庫於規劃設計期並未考量因 1999 年集集一般巨大地震所引致之土石鬆動，尤其是集水區內嚴重之土石流於洪水期大量沖刷進入水庫，其中又以懸浮載的問題最為嚴重。由於歷史背景不盡相同，日本水庫多設計有 100 年之淤砂容量，且幾乎沒有懸浮載的問題。即使是部份因上游集水區大量崩塌造成泥砂暴增的水庫，則多採空庫排砂或蓄水位降至淤積面下採直接挖掘方式排砂，其擁有之操作條件著實令台灣的水庫羨慕。另日本對集水區之崩塌，多考慮以設置連續性攔砂壩及加強上游水土保持(或植生)方式來減少土砂流入水庫，以延長水庫壽命。

二、排砂對策不僅是水理學上之技術面，更包含了治山、防洪有關之地質或防砂工學及資源、環境工學等，需要有全盤性之研究。以石門水庫為例，目前面臨的難題有：

(一)bypass 排砂隧道已規劃中，但緩不濟急。

(二)空庫排砂可能造成蓄水量不足之風險太高，又於土石壩辦理壩體改造之風險、成本太大。

(三)機械浚渫之能力有限約為 25 萬 M^3 /年，比起每年入庫約 2000 萬 M^3 的懸浮載實於事無補，且因土資場設置問題、懸浮載本身之特性，造成浚渫後之淤泥無處堆置或處理困難。

(四)目前之操作方式傾向於水力排砂，約有 500 萬 M^3 /年之能力，但因此水庫關係 300 萬居民之民生用水，閘門開關之時機點非常重要。因此，目前必須掌握之清水與渾水間的關係，包括

1、流速與流量間之關係

2、如何計算或估計

3、驗證或取樣之技術，項目含流量、流速、水質、濁度、懸浮載分析、溫度與密度等。

三、就技術層面而言，台日背景不同，但於中上游之處理方式大致相同，但於下游側，多數日本水庫則無本國水庫急需處理的懸浮載問題，其中以脫水、固結或燒結技術較需優先處理。參訪之單位幾乎沒有淤泥處理技術之問題，授課的專家學者均未處理過此方面的問題或耳聞相關處理之技術。

四、就政策層面而言，在台灣上中下游涉及水的單位有水土保持局、水利署、農田水利會、自來水公司與地方政府，事權不統一又無一協調仲裁主管，各單位往往各行其是。反觀日本，上中下游之主管單位一致，採整體一致之管理方式，且除了河川法規範外，並無其他法規限制管理單位的處置方式，只要與鄰近居民溝通協調取得共識即可。由於環保團體無限抗爭及相關法令諸多限制，台灣地方政府核可設置之土資場不多，致使目前台灣的水庫多面臨淤泥無處置放的窘境，而將淤泥放流至下游側的作法亦將面臨環境再衝擊與環保團體之抗爭。

五、就水庫之經營管理層面而言，除了執行水庫任務的基本經營管理外，本次參訪

之水庫除了再提供附加之休閒與遊憩功能外，另在親民、開放與民眾教育方面著實值得學習。尤其是在民眾教育方面做得相當地仔細與忠實，如日吉水庫於廊道內設置教育展出館與琵琶湖設置開發展示館等，其「民眾對水庫越了解，對水庫越支持」的思維與務實作法，值得我們深思與效法學習。

