

出國報告（出國類別：實習）

水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態 影響評估

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：莊家春(一般工程監)

派赴國家：日本

出國期間：99年11月3日至11月12日

報告日期：100年1月5日

出國報告審核表

出國報告名稱：水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態影響評估		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
莊家春	一般工程監	台灣電力公司
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：99年11月3日至99年11月12日		報告繳交日期：100年1月5日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位  主管 	主管處 主 管 	總經理 副總經理 
-----	---	-----	--	--	--

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態影響評估

頁數 44 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

莊家春/台灣電力公司/環境保護處/一般工程監/02-23667207

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：99.11.3~99.11.12 出國地區：日本

報告日期：100.1.5

分類號/目

關鍵詞：水庫淤沙、河域生態評估

內容摘要：(二百至三百字)

河流泥沙淤積於水庫，使下游泥沙供應減少，造成河床沙石顆粒巨大化，以及河側與海域的侵蝕，影響河域生態系機能。為減輕水庫淤沙、延長水庫的壽命及回復下游物理環境，水庫進行清理作業是必要的措施。

關西電力株式會社於黑部川出平壩之空庫排沙及電源開發株式會

社(JPower)於天龍川佐久間壩秋葉壩的綜合土砂管理，為日本有成效之水庫淤沙清理案例。水庫清淤清沙最直接的影響是懸浮質濃度上昇且溶氧下降、微細粒泥砂的堆積等，而造成對河域生態影響。對於河域生態影響評估應先對庫區、河流、海岸進行詳細的調查，項目包括水質、底泥、水生動植物、淤沙狀況等；進行水工模型試驗，包括排水、淤沙傳輸等；數值模擬分析：包括流速、水溫、SS、濁度擴散等進行數值模擬預測等；河域生物影響評估有棲地評估程序(HEP)及正常流量漸增法(IFIM)，另有關排沙過程水中懸浮質濃度對魚類影響的壓力指標法(SI)，以及人工生命模擬魚類在排沙時，魚群游動躲避的行為之 A-Life 模式。

日本河域生態評估所採用的定量方法，可做為本公司未來的借鏡，以評估本公司水庫淤沙清理作業時河域生態之影響。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

	頁次
壹、出國目的	1
貳、實習過程	1
參、實習心得	2
3.1 水力電廠水庫之環境影響	2
3.2 日本水力電廠水庫淤沙及清理措施	2
3.2.1 關西電力株式會社淤沙對策研究	5
3.2.2 電源開發株式會社(JPower)淤沙對策研究	10
3.3 水庫排沙對環境造成之影響及環境監測	15
3.4 水庫排沙之河域生態環境影響評估	16
3.4.1 水體環境評估	16
3.4.2 河域生態評估	17
3.5 結論	28
肆、建議事項	29
附件 關西電力株式會社出平水壩 平成22年度連續排砂時之環境調查計畫(案)	31

壹、出國目的

水力電廠水庫於 921 地震後淤沙嚴重，為維續水力電廠發電功能，本公司正研擬水庫沙清理作業可行性，未來清淤工作將涉及環境影響評估作業，因河域生態影響評估為清淤工作為環評之重點項目，且本公司目前尚無類似項目，故擬前往先進國家研習水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態影響評估。

研習日本先進國家水力電廠水庫淤沙清理作業前河域生態影響評估，藉以提昇本公司水庫淤沙清理作業時規劃河域生態影響評估能力。

貳、實習過程

一、99 年 11 月 3 日

內容：往程

地點：台北→大阪→富山

二、99 年 11 月 4 日至 6 日

內容：水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態影響評估

地點：關西電力株式會社北陸支社

三、99 年 11 月 6 日至 7 日

內容：移動及整理資料

地點：松本→東京

三、99 年 11 月 8 日至 10 日

內容：水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態影響評估

地點：電源開發株式會社(JPower)

四、99年11月11日

內容：水力電廠水庫淤沙清理作業河域生態影響評估

地點：Hitachi Plant Technologies, Ltd.

三、99年11月12日

內容：返程

地點：東京→台北

參、實習心得

3.1 水力電廠水庫之環境影響

水力電廠水庫的建設，除發電效益外，可兼顧防洪、供水、灌溉等多種水資源的開發利用，對人類生活有所改善，具有環境的效益。水力發電屬於清潔能源，基本上不會改變水質，不排放污染物，可替代火力發電減少二氧化碳排放，並具有尖峰調節的優點。由於水力發電廠的計畫設置水壩後，將改變河川現有自然流量，另亦可能出現一個新的水庫，對環境面產生的衝擊，包括社會經濟方面的影響，如水力發電計畫施工運轉期間，造成就業人口增加的就業形態改變，同時水壩完成後，形成的水庫常成為當地的地標，對地區的旅遊及娛樂有所改變。地球物理方面的影響，如水庫形成後對洪水型態、潮汐等的改變，水壓對壩體安全的問題，及水壩上下游泥沙淤積、坡度穩定等影響。水方面的影響，如河川改變為庫湖型態的水文變化，水溫、濁度、營養鹽等物理、化學的水質的改變。氣候方面的影響，如蒸發、鹽度變化造成區域溫度、濕度等微氣候的變化。陸域及水域動植物的影響，如水庫形成的淹沒區，改變原有植物的生長，使該區域的陸域動植物棲地消失的影響，以及水域河流型改變為庫湖型態的動植物組成的變化。

3.2 日本水力電廠水庫淤沙及清理措施

日本壩高 15 公尺以上的高壩約有 2700 座，數量是世界第 4 多，密度

佔世界第 3 高，總貯水容量約 230 億立方公尺。日本於二次世界大戰前所建設之水庫以水力發電為主，1950 年至 1960 年代經濟高速發展階段，為滿足經濟和城市的發展，大量建造水庫以滿足水資需求。1960 年以後，水庫建造大多以多目標用途調節洪水及用水供給為主。

日本由地形、地質和水文條件上的特點，很多河流屬於陡坡急流型河流，使日本河流的產沙量較其他國家高，每當發生洪水時，巨大的水體動能將大量的泥沙帶入水庫，並淤積在水庫中，造成許多水庫產生淤沙的問題。許多水庫因為淤沙發生的比預期快，大量的儲沙容量(通常是以容納 100 年為考量)已喪失。同時產生水庫上游河川容積的減少、水壩取水設備及底部放流設備遭受淤沙的埋沒、水庫下游河道河床的刷深及海岸的侵蝕等問題。1980 年代，日本意識到需要對淤積的水庫進行安全檢查，因此規定貯水容量為百萬立方公尺以上的水壩(約 877 座)，有義務定期進行淤沙的調查。調查結果發現，大部分在二次世界大戰前建造的水庫，儲沙容量已損失百分 60 至 80 之間，1950 年至 1960 年建造的水庫有百分之 40 以上的損失，1960 以後的也有百分之 10 至 30 的損失。經由收集 50 多個水庫的調查資料，得到了很多寶貴的泥沙淤積管理知識後，可將日本的水庫泥沙管理的需要性歸納為以下三點：1) 為防止淤塞進水設施或上游河床淤積造成水壩及河道的安全；2) 維持水庫的儲水功能，為下一代保有永續的水資源管理；3) 經由水壩的排沙的泥沙輸送機制，進行整體性的淤沙管理。上述三點必須經過個別水壩的重新檢查後，才能知道上述那一點才是該水壩和河流最為重要的淤沙管理方式。

對於水庫淤沙的管理，需要從淤沙產生區域、水庫區域、河道區域、河口與海岸區域等，提出不同的淤沙對策。

1. 淤沙產生區域之對策方針，以抑制淤沙流入河道及水庫為主，其對應的策略方案有維護森林管理，限制森林開發、進行森林復育等保護水土保持功能；設置攔沙壩以攔截土沙；設置梳子壩防治土石流及漂流木的對策措施。監測項目包括瞭解攔沙壩抑制淤沙流入效果、植生的維護管理

與及流入淤沙量的關係。

2. 水庫區域之對策方針，以防上淤沙的堆積及供給下游的泥沙為主，其對應的策略方案有浚渫加置沙、貯沙壩加置沙、乾涸區的挖土加置沙、設置排沙隧道及排沙門等。監測項目包括瞭解各水庫的淤沙量、各水庫的淤沙粒徑、向壩下游通過淤沙量與其粒徑。
3. 河道區域之對策方針，以促進泥沙的流通、河岸環境的恢復為主，其對應的策略方案有設置在堰壩的排沙道、水壩放流量控制、減少河岸的人為干擾。監測項目包括瞭解洪水時的泥沙移動量與其粒徑、河床的變動（如定期的橫斷面測量）、河床粗粒化的傾向（如定期的河床沙料調查）、自然環境的狀況（如河岸植被類型的變化、置沙對應策略的環境影響）。
4. 河口與海岸區域之對策方針，以海濱環境的復原為主，其對應的策略方案有海岸養灘、鄰河口區的補沙。監測項目包括瞭解海岸線變遷及其等深線的變化（如定期的等深線測量）、河口流出泥沙量與其粒徑、自然環境的狀況（如潮間帶生物的調查）。

水庫淤沙管理以水庫區域進行清理作業，是減輕水庫淤沙、延長水庫壽命及回復下游物理環境必要的措施。水庫清理方式可分為機械清淤（採用挖泥船、搬運船）及水能清淤（採用繞道排沙、推移排沙）等兩種方式。在考量清理方式前應先瞭解水庫淤積的特徵，一般從水庫上游沖刷下來的淤沙，成份有粒徑較大的推移質（bed load）、懸浮於水中的河床質（suspended load）及粒徑小於 0.062mm 的流洗載（wash load），進入庫區後淤積於庫區上、中游以推移質及懸浮河床質為主，接近壩體的庫區下游則以懸浮河床質及流洗載為主，淤沙於庫區形成三角洲（delta）及沙肩（shoulder）的形態（詳圖 1），就淤沙的性質而言，庫區的上游粒徑較大，以礫石、砂為主，細顆粒分佈比率小於 30%，越接近壩體其粒徑越小，也改變為以黏土、矽土為主，細顆粒分佈比率大於 90%。庫區的淤沙可做為建材、農業、窯業及環境利用，如土壤改良材料、客土、肥料、混凝土骨

材、路基、陶土、磚材、水泥原料、河川供給材料、養灘材料、濕地復原材料等。

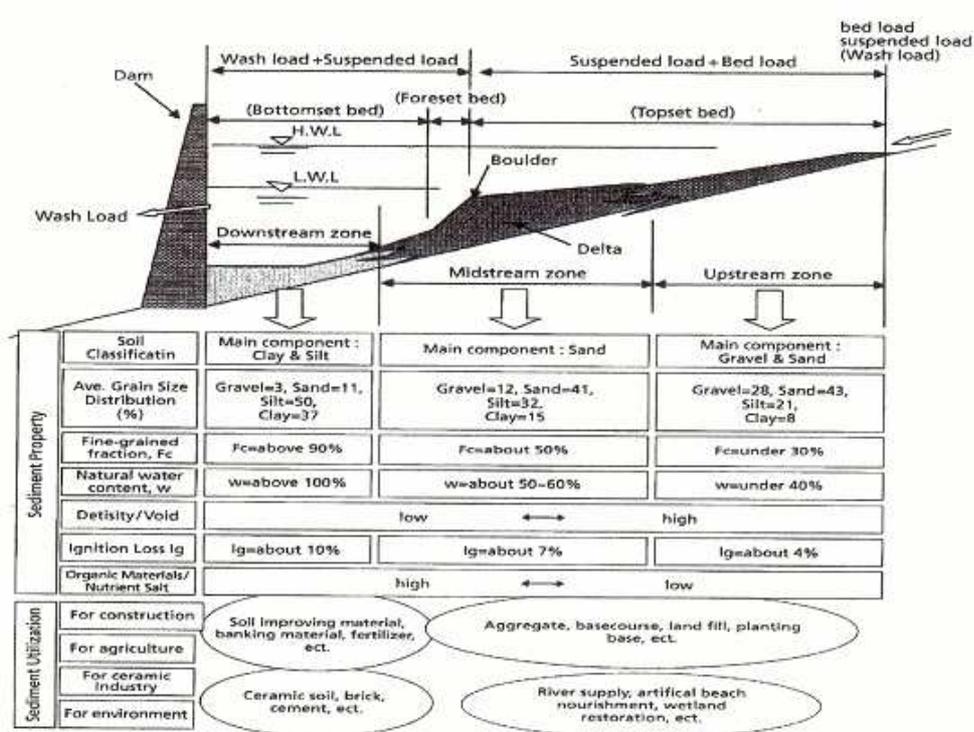


圖 1 水庫淤沙性質與利用

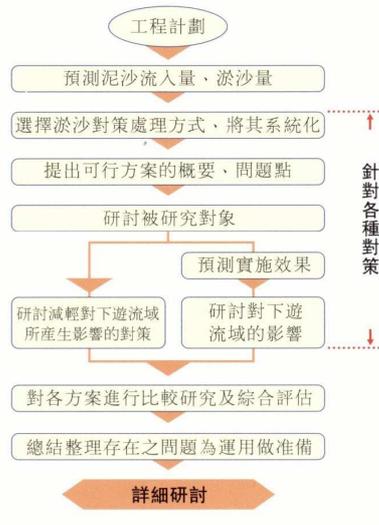
3.2.1 關西電力株式會社淤沙對策研究

大壩的淤沙問題是引發水系及流沙系各種問題的要因。考量解決此一問題，長期的維護管理工作是必不可少的。關西電力集團以謀求大壩與河流和諧共存為目標，加強泥沙綜合管理的研究。憑藉多年來累積的排沙技術，研究探討符合水庫各種條件的對策，確立向下游排沙的泥沙管理體制，正致力於研討淤沙排除對策及有利於泥沙向大壩下游移動的放流方式。

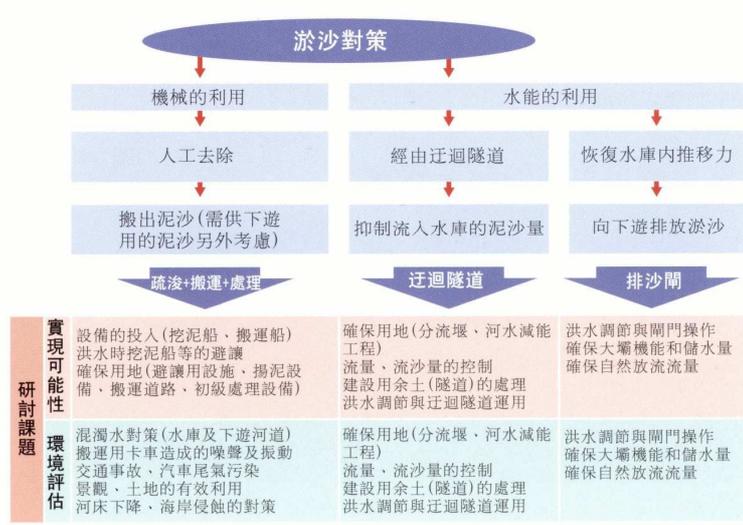
1. 大壩淤沙對策的研究流程

依下列順序研討淤沙對策：首先進行泥沙量、淤沙量的預測等研討，再依被研究對象大壩的條件，流域內的泥沙流出條件等選擇最佳方案；然後以所定方案為基準，制定更詳細的實施計畫，流程如下：

全體流程



淤沙對策的選定



2. 主要淤沙對策概要

(1) 排沙閘排沙

在種種對策中，排沙閘排沙方式由於利用大自然的力量，不僅可使水庫得到保護和回復，而且能讓下游河道、海域的泥沙環境回復原樣。此方法是透過利用安裝在水庫大壩上的排沙閘，降低水庫水位，使水庫內的推移力回復到淤沙的極限推移力以上，以便使淤積的泥沙順著流入水庫的水流排到水庫下游，其操作過程詳圖 2。

(2) 利用隧道繞道輸送泥沙

繞道排沙方式是指從水庫上游到大壩下游設置繞道隧道，利用大自然力量將混濁水及淤積的泥沙經由隧道繞道向下游排沙的方式。關西電力株式會社利用所擁有的大規模水力實驗設施來驗證隧道繞道排沙的性能。

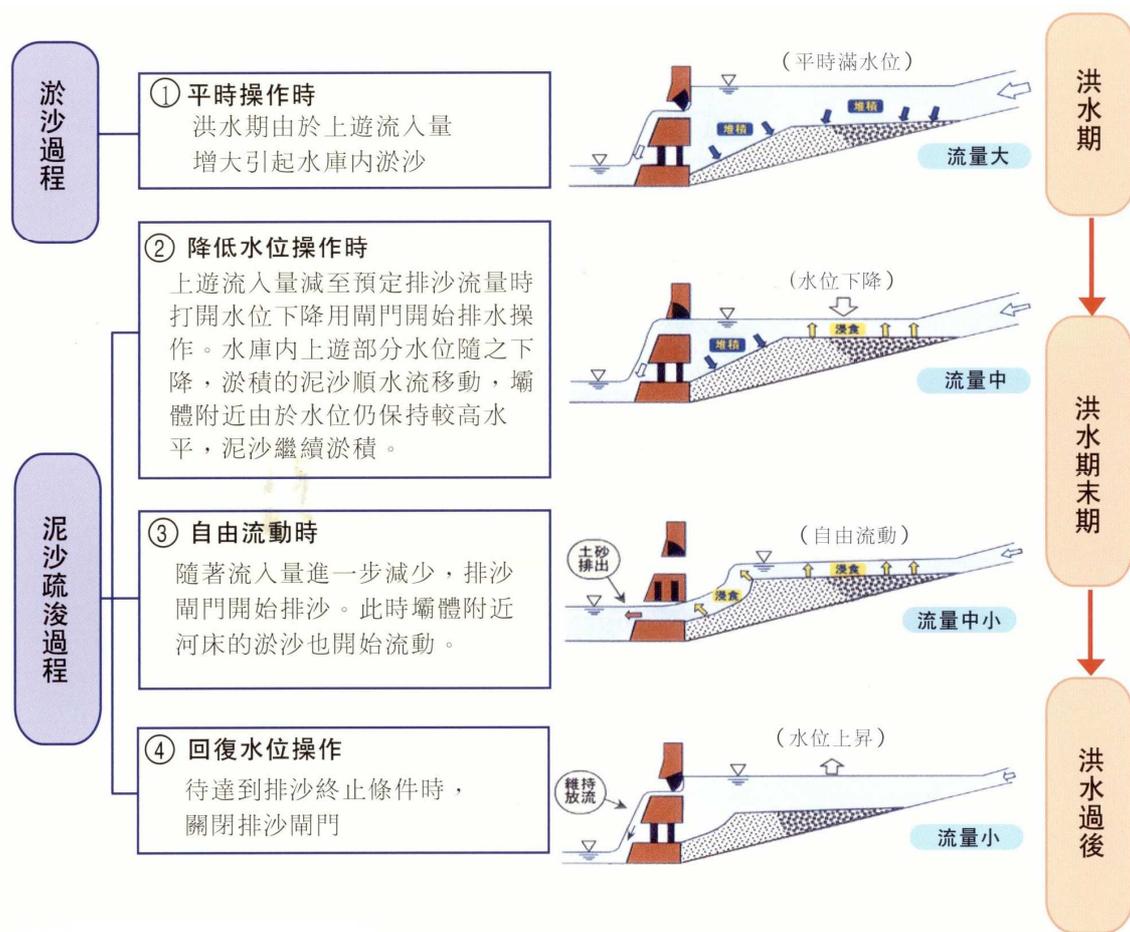


圖 2 排沙閘排沙操作過程

3. 閘門排沙案例 -- 出平大壩排沙閘排沙原理：

在利用排沙閘排沙方面關西電力株式會社具有領先的技術，在黑部川水系出平大壩多次取得成果。黑部川流域的地勢非常急峻，由於地處寒冷多濕地區，崩塌現象在流域內各處無所不在。單位流域面積的泥沙流出量在日本名列首位。因此，出平大壩在考慮流域特性的基礎上，為確保水庫取水機能及蓄水容量，防止上游河道的河床上昇及下游河道的侵蝕，以及海岸侵蝕，建有大規模排沙隧道 2 條，形成一個透過降低水庫的水位，恢復水庫內推移力，使水庫內淤沙能夠排出的構造(詳圖 3)。

排沙閘排沙方式工作原理為：透過利用安裝在大壩上的排沙閘，降低水庫水位，使水庫內的推移力回復到淤沙的極限推移力以上，以便讓淤積的泥沙順著流入水庫的水流排到水庫下游。



詳圖 3 出平大壩排沙情形

(1)排沙閘設備概要(詳圖 4)：

出平大壩有大規模的排沙隧道 2 條，每條排沙隧道的斷面大約 5m×5m，為防止排沙隧道的底部及側部的磨損，隧道裡使用鋼材做襯。各排沙隧道設置有 3 個閘門，上游方面(前段)設置有滑式閘(維護檢查時用)，中(段)游設置有滾式閘(隔開流水、流沙時用)，下游方面(後段)則使用輻射(radial)閘(擋水、緊急時用)。

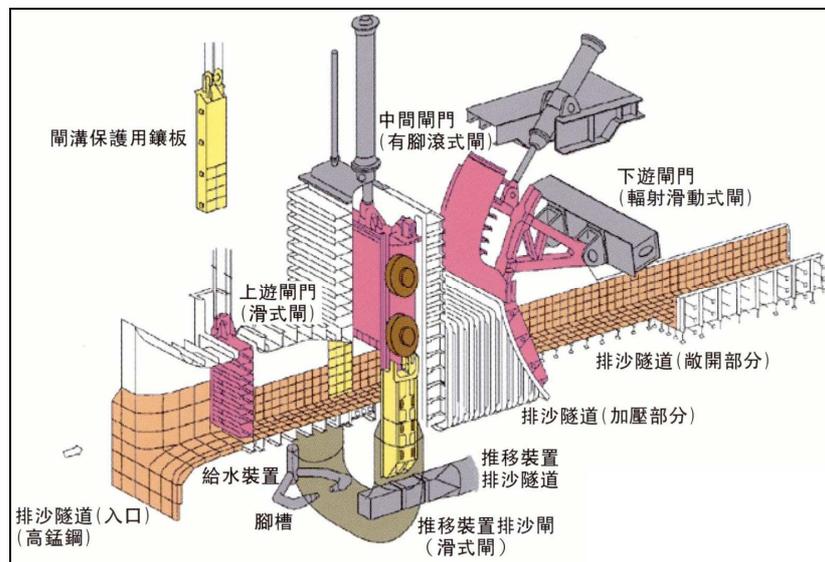


圖 4 排沙閘設備概要

(2)排沙實績：

自 1985 年大壩建成至 1991 年時，淤沙量已達約 300 萬 m^3 。為此

實施了第一次排沙。此後，又實施了數次排沙工程，透過對各種技術研討，同時針對排沙對環境的影響進行調查，逐步確立對環境影響較小的排沙方法。

4. 隧道繞道排沙案例--運用於旭大壩的隧道繞道排沙法工作原理：

關西電力株式會社於新宮川水系旭大壩的運行中累積技術，在日本率先開發出隧道繞道排沙法。自 1978 年奈良縣奧吉野發電站所屬旭大壩開始運轉以來，雖然也很重視水質問題，但因為颱風所造成的大規模洪水，導致水質長期濁，這項問題已惡化到不容忽視的程度。加之對持續惡化的淤沙狀態的憂慮，作為徹底治沙對策，產生了運用隧道繞道進行排沙的計畫。

由於旭大壩為抽蓄水力發電廠，不需蓄水，隧道繞道排沙法對旭大壩這種流域比較小的大壩來說，是可發揮其最大限度特性的方法。當洪水發生時，從上游流下來的混濁水和沖刷泥沙，因繞道隧道的存在其不會流入蓄水庫區，而是直接排入下游河段，從而改善河水的長期混濁問題，保護了旭川的水質及流域環境。

隧道繞道排沙法是透過在大壩的蓄水區上游至大壩的下游之間設置繞道隧道，利用大自然的力使混濁水及泥砂經由迂迴隧道直接排至大壩下游的排沙法。

(1) 繞道排沙設備概要：

繞道隧道排沙大致由抽水設備、隧道泄水設備構成。各設備的規模及形狀、則是根據大規模水利模型試驗(詳圖 5)和數據模擬結果決定。



取水處模型 (比例尺 1: 30)



隧道處模型 (比例尺 1: 70)



放流處模型 (比例尺 1: 30)

圖 5 隧道繞道排沙水工模型試驗

(2)排沙成果：

1998 年由於颱風引起洪水暴發時，此法獲得了切實的排沙成果。調查結果顯示，從上游沖下的泥沙基本全部由隧道繞道排掉(詳圖 6)，水質濁長期化問題也得到改善。同時，下游河段河床也漸漸恢復到大壩建造前的狀態。

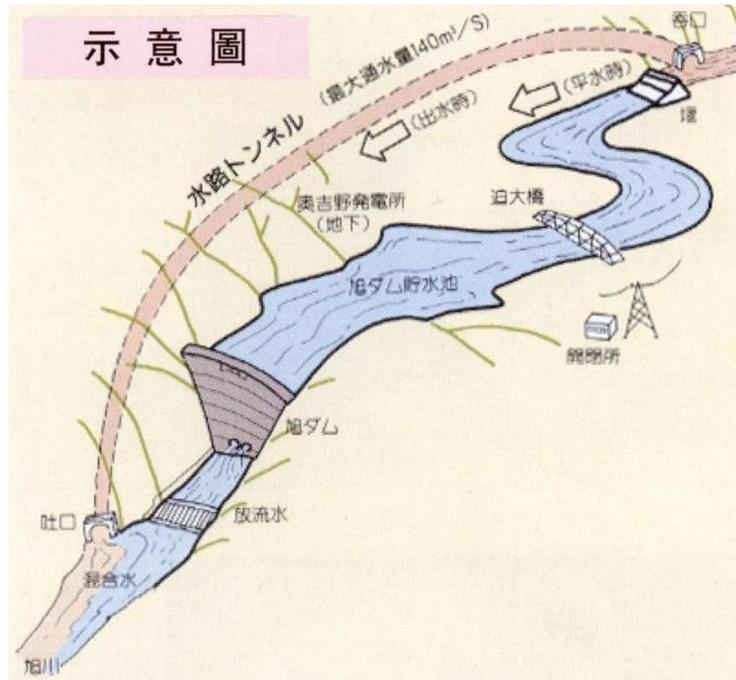


圖 6 旭大壩隧道繞道排沙示意圖

3.2.2 電源開發株式會社(JPower)淤沙對策研究

JPower 在天龍川流域(如圖 7)設置 9 個電廠，分別為佐久間、佐久間 2、新豐根、秋葉 1、秋葉 2、秋葉 3、船明、鹽鄉及早木戶電廠，裝置容量共約 1,727MW，佔整個流域(53 個電廠)發電量 2,179MW 的 80%。天龍川的長度約 213 公里，集水面積約 5,090 平方公里，河床坡度約 1/280。

其中在佐久間壩、秋葉壩、船明壩及鹽鄉壩等連續水壩，每年的淤沙流入量分別約為 131.5、6.7、1.4、1.9 萬立方公尺，累積之總淤沙量分別約為 1,196、1,434、84、867 萬立方公尺，淤沙量與貯水量比率分別約為 36.6%、33.3%、5.8%及 28.9%。為維持水壩的功能，有需對淤

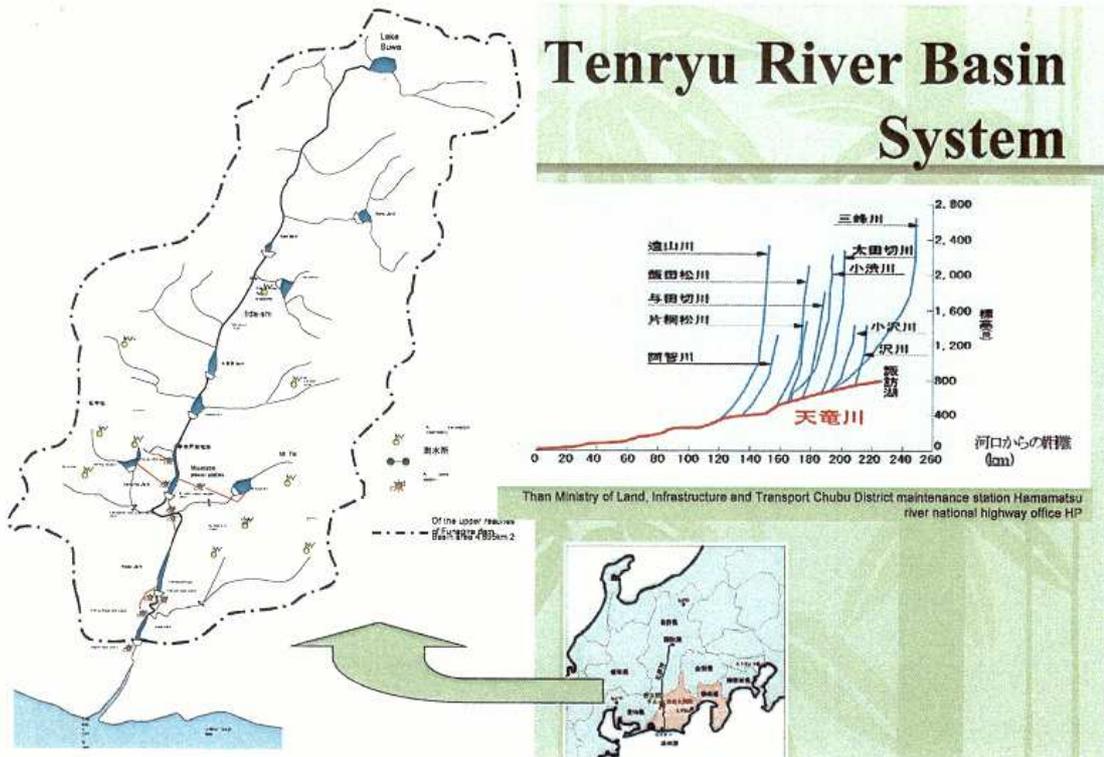
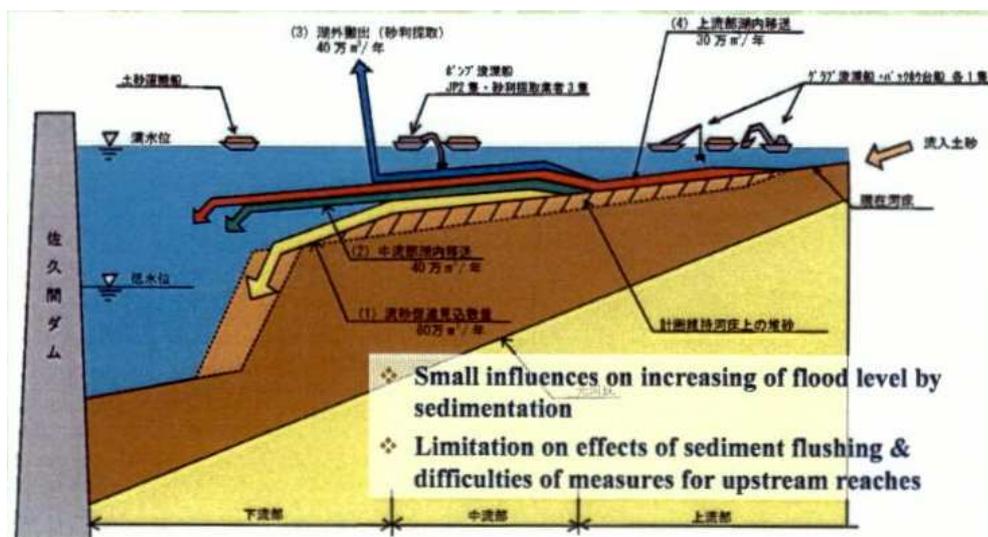


圖 7 天龍川流域

沙進行清理作業，採取的方法為從水庫以機械取出、移出及水力排沙等三種，於佐久間水庫採取的淤沙管理原則：1) 為使洪水水位增加的影響微小，及 2) 限制排、取沙措施的作用局限至上游河段。所採行的方法分別為淤沙推移數量、中游水力輸送、機械湖外搬出、上游水力輸送等(詳圖 8)。



詳圖 8 佐久間壩淤沙管理

於秋葉水庫的淤沙管理，以減少可利用的淤沙及改變淤沙的質、量為原則，所採行的方法均以機械湖外搬出(詳圖 9)。

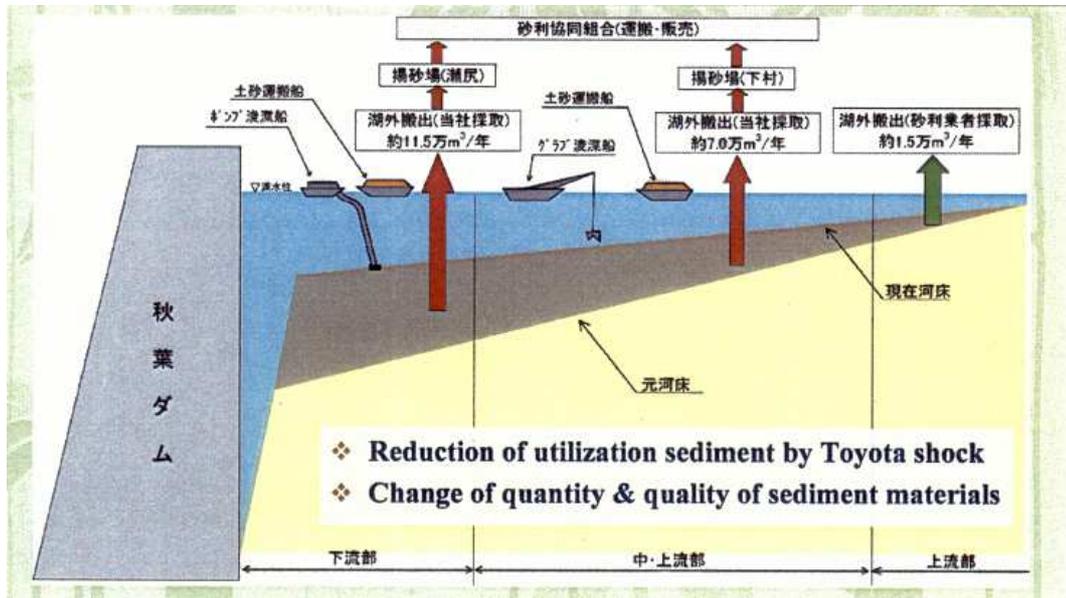


圖 9 秋葉壩淤沙管理

佐久間壩及秋葉壩在水庫區採用的怪手、抓斗式浚渫船及運輸船等機械清沙，有關採用機械及淤沙堆置情形，詳如圖 10 所示。機械式浚

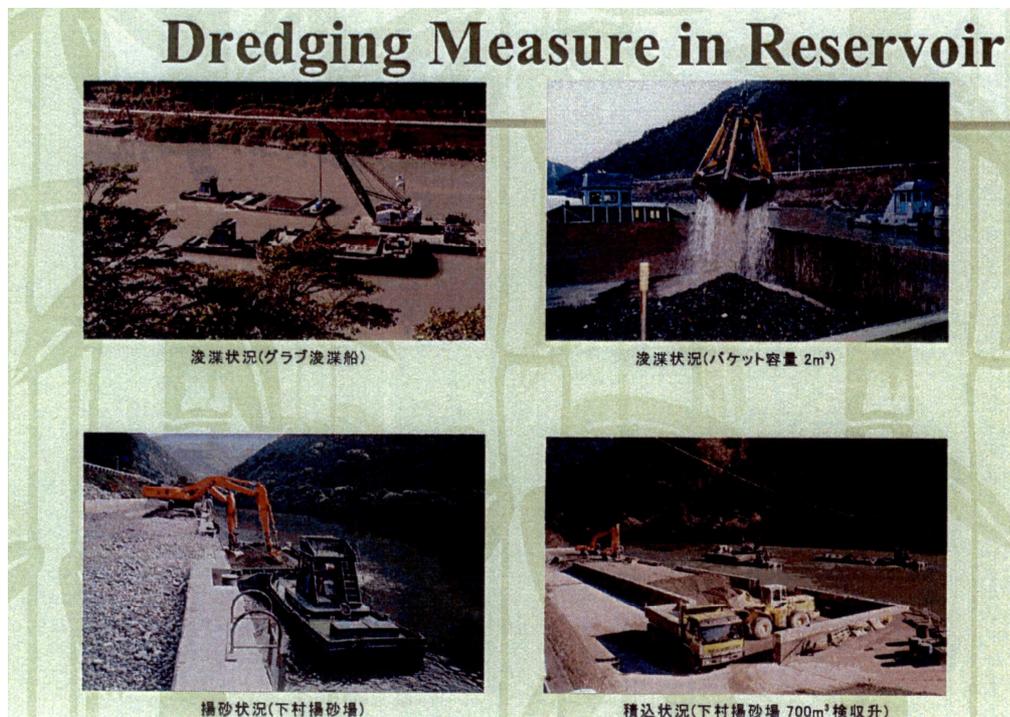


圖 10 機械式浚渫與淤沙堆置

挖的淤沙，一部分由清沙業者回收再利用，一部分堆置於壩下游河道中，利用汛期排放的水能，將河道中堆置的淤沙，安全的帶到下游河段補充沙源。對於河道中堆沙，JPower 經過嚴謹的水工模型試驗及數值模擬計算後，提出最佳的佈置位置及堆置形狀，經過多年的實施目前已有相當的成果，為使堆沙能於汛期順利輸送，也利用推土機輔助將沙推往河中(詳圖 11)。佐久間壩除了採機械式除沙外，同時也利用排沙閘門，降低的水位的水能方式排沙(詳如圖 12)。

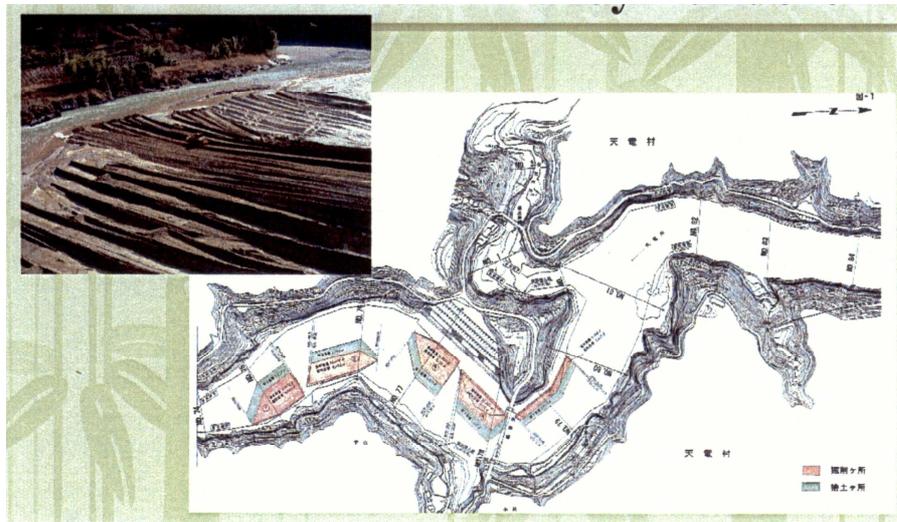


圖 11 河道堆置淤沙與推土機推沙

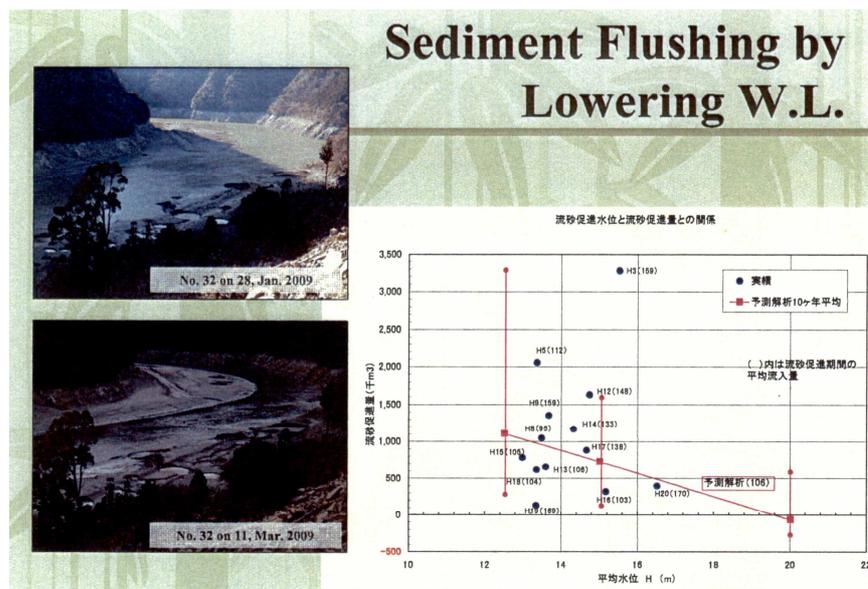


圖 12 排沙水位及排沙量的關係

JPower 經多年的淤沙處理，為維持兩水壩的功能，現對於佐久間壩及秋葉壩採取綜合淤沙管理，在考量佐久間壩上游淤沙入流量有 130 萬立方公尺，其中淤沙推移數量 40 萬立方公尺、湖內輸送 40 萬立方公尺將沈積於水庫中，湖外搬出有 30 萬立方公尺回收再利用，20 萬立方公尺將排放至壩下游。秋葉壩由上游排下的 20 萬立方公尺淤沙，加上 11 萬立方公尺支流的淤沙量，共 33 萬立方公尺，浚挖淤沙分兩處堆置，於壩區上游部(下村)的疏沙量為 15 萬立方公尺，其中 5.5 萬立方公尺回收再利用，6.5 萬立方公尺於船明壩下堆置，3 萬立方公尺於船明壩上游堆置。另於壩區中下游(瀨尻)的疏沙量為 16 萬立方公尺，其中 3 萬立方公尺回收再利用，13 萬立方公尺於船明壩上游堆置等(詳圖 13)。

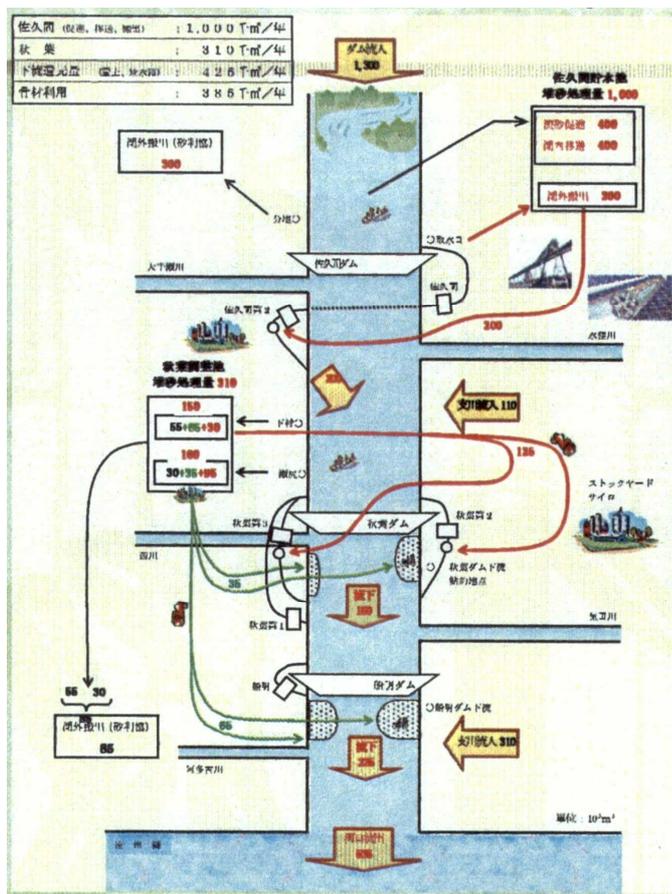


圖 13 天龍川佐久間壩秋葉壩之淤沙管理

3.3 水庫排沙對環境造成之影響及環境監測

日本水庫大量的泥沙淤積，使下游河沙供應減少，細顆粒之河沙逐年被沖走後，河床上的沙石漸漸顆粒巨大化，使底棲生物及附著性植物優勢種類改變，影響河域生態系機能，水庫淤沙經過多年，引發社會、經濟、環境和生態等問題。因此，現在很多水庫實施泥沙管理，將水庫上游與庫區的淤沙清理排放至下游，使河流中的淤沙可以連續性傳輸，恢復河流原有自然生態環境。而這些人為的泥沙清理行為，雖使原來河床土石顆粒逐漸巨大化情形，因淤沙的補充使顆粒大小配得以改善，同時河道刷深的現象亦可獲得淤沙的填補，然而清沙也對河川的生態環境產生影響，如河床地形的改變，造成庫區下游棲地的基礎產生中長期變化；淤沙清理時造成水中懸浮質上升、溶氧下降，將短暫的對魚類呼吸造成影響；水生植物藻類等微生物，因高濃度河沙的摩擦產生脫落；附著性水生植物，因排沙後的淤沙的沉澱堆積，而遭受覆蓋埋沒；底棲無脊椎動物因排沙被沖走、上游泥沙帶來營養鹽的堆積或棲息場所的變化；魚類產卵場被堵塞、幼魚被沖走、幼魚或成魚向下游移動等等之影響。

為了解排沙作業對環境之影響，於排沙作業前、排沙作業時及排沙作業後需進行相關之環境調查(詳圖 14)，調查區域包括水庫、河域及海域，其調查項目為水質、沙質、水生生物及淤沙狀況。以關西電力株式會社出平水壩的連續排沙為例(詳附件)，排沙的時間規劃從 5 月至 9 月份，排沙前後的定期調查(5 月、9 月)，在壩湖區的項目為水質、底質；河川的項目為水質、底質及水生生物；用水路之項目為底質；海域的項目為水質、底質及水生生物、水庫區橫斷面測量。排沙中的調查項目在水庫區為水質、底質；河川項目為水質；海域項目為水質、底質(其時間在排沙 1 日後)；水庫區橫斷面(排沙後儘速實施)。平常時期的調查(11 月)在河川及海域之項目均為水生生物；水庫區內橫斷面調查(12 月)。各監測項目的詳細內容為：

1. 水質調查內容有水溫、pH、水色、溶氧、懸浮質、濁度、導電度、生

化需氧量(化學需氧量)、總氮、總磷等。

2. 沙質調查內容有外觀、臭味、重金屬、燒失量、粒徑分布等。
3. 水生生物調查內容有魚類、固著生物, 葉綠素, 底棲生物, 浮游動物、浮游植物等。
4. 淤沙狀況調查內容有斷面、等高線等。

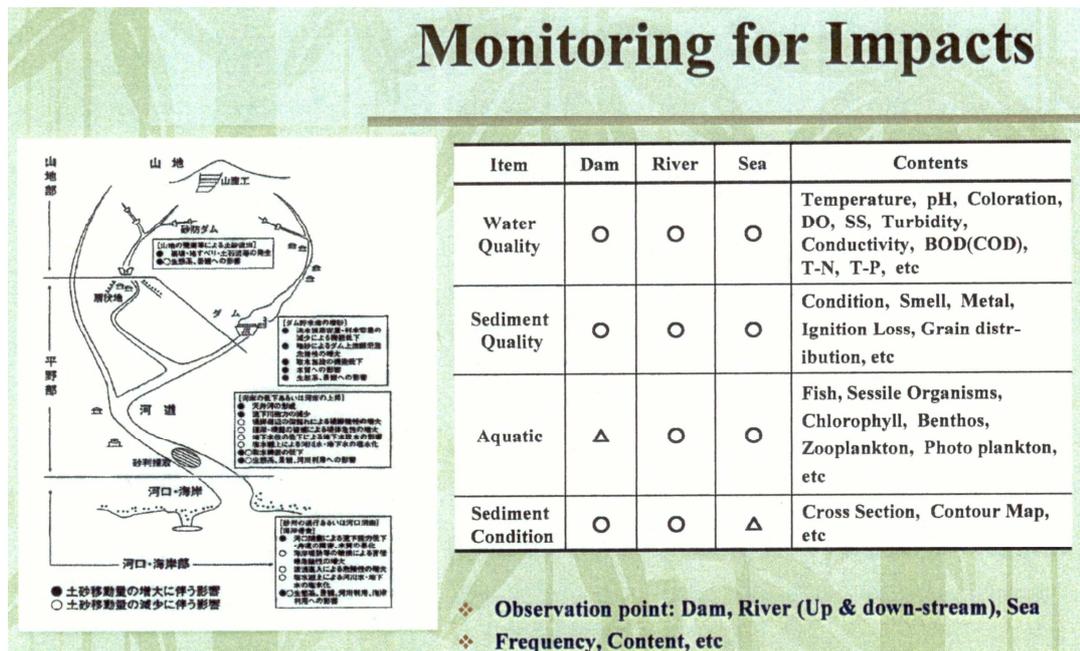


圖 14 監測作業位置及項目

3.4 水庫排沙之河域生態環境影響評估

3.4.1 水體環境評估

對於河域生態環境影響評估, 需先對於水域環境進行評估, 評估方技術包括現地觀測技術、物理試驗技術及數值解析技術等。

1. 現地觀測技術：

為瞭解水庫的水質, 由專業人員赴現場取樣, 利用專用儀器對水庫進行調查記錄, 或自動監測儀器觀測裝置, 經由傳送裝置, 將所取得之資料送至資料處理裝置, 以處理程式加以處理。對於水庫淤沙狀況則採用 GPS 自動導航量測系統, 由無人駕駛自動測量船, 船上裝載高精度、全方位 GPS

衛星定位系統，利用該船在水庫中自動測量淤沙狀況，可大大提高工作效率和安全性。以關西電力株式會社大河內發電廠之太田水庫為例，GPS 搭載自動測量船與以往的淤沙測量法之比較，以往準備作業、測量及測後作業合計需 15 人日，採用自動測量船後合計僅需 5.5 人日，操作時間和成本都有大幅減少。

另為瞭解壩下游於淤沙排沙時，所排出淤沙的濃度、粒徑組成等資料，須於壩下游河中設置取樣站，記錄流速、排沙濃度及粒徑分佈之情形。

2. 物理試驗技術：

為瞭解水庫、河域排水等水工模型試，以取得相關排放水係數。另為瞭解壩下游之堆沙，受水力沖刷情形之水工模型試驗。JPower 建議一般水工模型可以 1:200 縮尺，進行模擬時即可獲得良好的效果。

3. 數值解析技術：

為對水域環境的變動進行控制提出應對方案並付諸實施，在現地觀測取得背景資料，及經水工模型試驗得到各項參數後，以數值模式模擬分析技術，對流速、水溫、SS、濁度擴散等進行數值模擬預測，是最經濟可行的方法。

3.4.2 河域生態評估

水庫排沙對河域生態的評估，可使用傳統的定量棲地評估法，有棲地評估程序(HEP)及正常流量漸增法(IFIM)，另有關排沙過程水中懸浮質濃度對魚類影響的壓力指標法(SI)，以及人工生命模擬魚類在排沙時，魚群游動躲避的行為之 A-Life 模式。

1. 生物棲地評估的方法：

(1) 棲地評估程序(HEP)

棲地評估程序 (Habitat Evaluation Procedure) 簡稱為 HEP，是一種以棲地“質”×“空間”×“時間”來評估野生生物棲地的定量方法。1969 年美國頒布國家環境政策法案 (NAPA)，要求環境評估的標的

要根據定量的環境因素進行評估，HEP 為美國聯邦魚類和野生動物局（U.S. Fish and Wildlife Service）所開發的其中一種定量評估方法。

其目的是透過以棲地的飼養、繁殖條件為“質”；棲地機能為“空間(面積)”；以及棲地存在為“時間(期間)”等不同的觀點，來評估事業開發對環境棲地的影響。其中“質”表示野生動物物種棲地的適度 HSI（棲地合適指數），HSI 是多個 SI（合適指標）的整合，以 SI 為 0（不適合棲息）至 1（最適）的標準化數值表示。SI 模型是一個顯示評估的標的野生生物物種與該物種棲地合適的個別環境因素及因果關係規則的模型。由“質”算出的 HSI 乘以棲地的“空間”（生態系的土地面積）得到 HU（棲地單位），評估棲地的每個植被、水體、人工物等被覆狀態算出 HU 的總合為 THU（總棲地單位）。此 THU 乘以棲地的“時間”算出 HEP 最後的累計 HU，累積 HU 為棲地的質×量×空間的三維量化指標。評估的程序如下：

程序 1 HEP 可行性調查：

在考慮成本和使用時間，以確定其可行性。

程序 2 HEP 事前調查

調查編組由開發方及保護方共同組成。為提供程序 3 必要的基本數據，項目有調查區域的確定、現有的資訊收集、覆蓋類型分類、目標設定及目標分類的條列、評估物種的選擇。

程序 3 HU 分析

程序 3-1 構築 HSI 模型：目的設定、環境要因選定、模型構築、HSI 及 SI 關係的設定、SI 模型的測試與改良、SI 模型的文字化。

程序 3-2：算出 HU

程序 4 作成減輕補償計劃

調查的最終目的，提供擬訂減輕補償計畫的必要資訊。

HEP 因易於判斷和解釋，是一種易於使用建立共識的工具，由於該模型以一個簡單圖形表示，地域的環境變化也可容易用圖象化表示，視覺化的表達效果，一般人可以理解；事業開發位置的棲地以單一數字來表示的評估結果，包括“質”、“空間”及“時間”概念的目標及結果的總合，可具體且容易的顯示，易於瞭解。

HEP 在日本及美國有良好的案例，並適用於所有生態系統。且可適用於事業單位在計畫階段、選址階段及減輕對策規劃階段對線和面開發的定量棲地影響評估。

(2) IFIM(魚類棲地正常流量)

IFIM 考慮一系列評估系統的總稱，是由美國開發的一種方法，目的在水資源開發計畫及管理計畫規劃時，經由各方的河川利用者的參與，將水利用的方法經比較檢討以解決問題。適用範圍僅限於河川，將河川及河道構造物以流量的觀點計算標的魚類的棲地、評估河川的物理的及生物的屬性。魚類等繁殖育成與棲地的關係以河川流量函數量化之，經由問題界定、規劃、實施、替代方案分析、問題解決等五個階段（程序如圖 15）。

第一階段問題界定：這個階段有兩個部分，為法律體制分析和物理分

析。法律制度分析找出所有受影響或有關方面的意見。物理分析在確定物理位置和地理範圍可能的物理和化學變化，以及對水產資源最關心的部分及其管理目標。

第二階段規劃：這一階段的重點是確定解決各方關注的問題哪些資訊是需要的，哪些資訊已經存在了，有什麼新的資訊必須再得到。以簡潔的書面記錄誰將於何時、何地、如何、多少經費去做什麼事。這項研究計畫必須是可行的，且設定一時程、人力和財力資源。

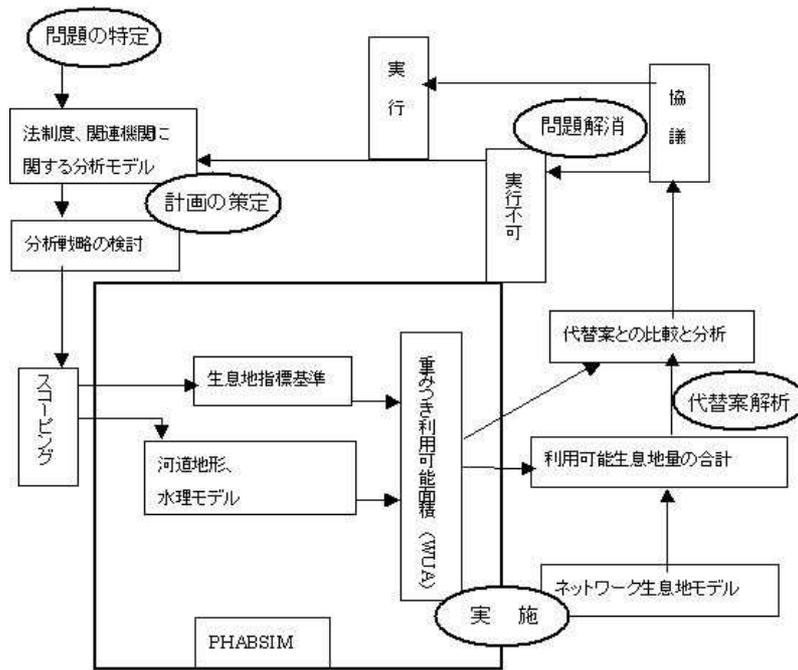


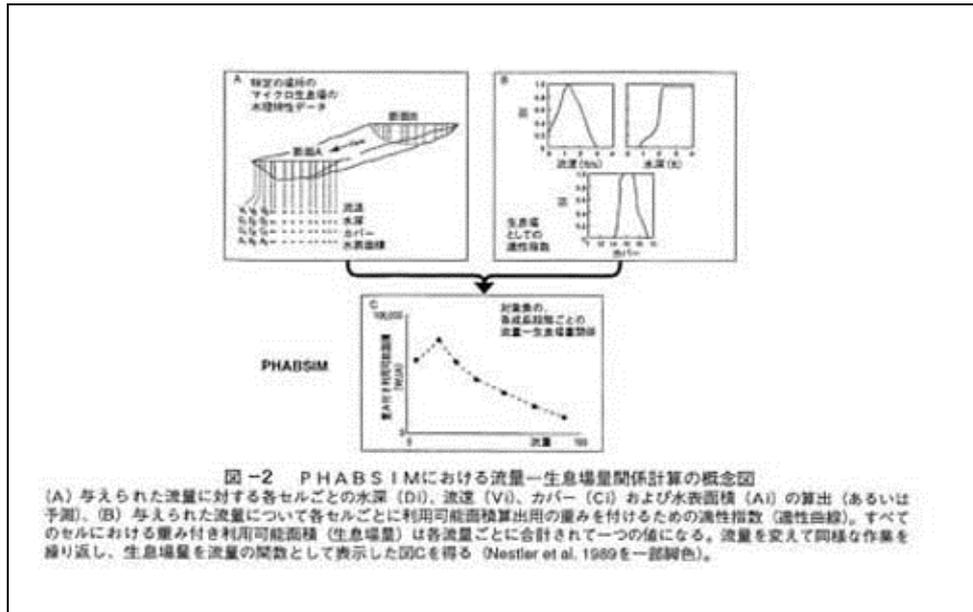
図-1 IFIMの構成と実行に至るフロー

圖 15 IFIM 的構造及實施程序

第三階段實施：這一階段包括數據採集、模型校正、預測模擬，結果綜合。在實施過程中，取樣地點的選擇是為收集數據以提供預測模型使用，包括溫度、pH、溶氧、生物參數的收集和流速、深度、覆蓋的測量。這些變數將利用於描述流量和棲地利用之間的關係。IFIM 在很大程度上依賴於模型，因為它們可以被用來評估新計畫或既有設施的新操作措施。整個棲地是由大尺度的巨棲地及小尺度的微棲地組成。

在巨棲地排水影響溫度、水質和渠道結構。溫度和排水影響水質範圍可達數英里。在微棲地排水和渠道結構影響深度、速度和底質構造。可以得到單位英里的棲地面積，兩者的乘積可以得到利用河川的總棲地。在不同排水量的棲地面積變化，採用物理棲地模擬系統(PHABSIM：Physical habitat simulation system)加以計算。以流量函數計算棲地值的 PHABSIM 概念(圖 16) 如下。

PHABSIM 計算棲地面積的方法：



(摘自中村俊六・テリーワドゥル (1999))

圖16 PHABSIM概念

- (A) 將河流斷面區分為小隔量測計算深度(D_i)、速度(V_i)、覆蓋情況(C_i)及面積(A_i)。
- (B) 對於魚種的成長階段的適合指數(SI)給定每一小隔面積一個權重。適合指數的實際數據在 0~1 之間。計算各小隔的合成適合指數(Composite Suitability Index :CSI) , $CSI = SI(D_i) \times SI(V_i) \times SI(C_i)$ 。
- (C) 全區範圍的棲地加權可利用面積 (WUA) 的計算方法：
 $WUA = \sum a_i (CSI)$ 其中 a_i 表個一小隔的面積。
- (D) 流量改變時，經由同樣的重複計算，可得到不同流量時的 WUA。
- (E) 僅涵蓋的河段 (如圖的段面 A~B)，可預見開發的影響將擴及至河川的下游段。「單位河道的 $WUA \times$ 有效河道長度」可以求得合計的可利用棲地面積量。

第三階段的結果在計算流量和總棲地之間的關係，以及根據所選擇的基準條件和各替代方案計算可利用的棲地量。此棲地量化自然地導入下一階段替代方案的比較及評估。

第四階段替代方案分析：水開發計畫者通常有一個首選的方案，決策過程其他各方也應提出替代方案，將所有替代方案與基準條件比較，以幫助瞭解潛在的影響，並開始協商及建立各方較可接受的新替代方案。

第五階段問題解決：幾個替代方案經詳細的評估後，選擇一解決方案，但 IFIM 並不能保證此為最佳的解決辦法，因為最佳的解決方案很難能識別，因為 1) 生物和經濟價值從來沒有真正相稱；2) 數據和模型是永遠不會完整或完美；3) 不同的人可以得到不同的結論；4) 對未來的不確定性始終存在。 IFIM 旨在幫助制定和評估方案，但是，它仍然很大程度上依據跨學科小組的專業判斷。

IFIM 輸入的環境資訊包括河流的深度，速度，沉積物和魚藏身之處，以及生物因素如魚的每一成長階段，個體的数量和棲地適合曲線，因此現地河川測量及魚類的潛水觀察、採捕調查是必要的，調查資料及既有案例對模型是有幫助的。輸出資訊為可計算出當流量變化時潛在的魚類棲地，以及考量採取替代或改善措施的棲地變化。IFIM 可運用在河川改善時，對於設定的標的魚種，設計一個適宜棲息的河川流量和河川環境。也可運用於多用途的取水時，推測河流整治對魚類潛在棲地的增減，進而評估預測棲地空間的構造及棲地的機能，以模擬流量的變化進行管理。IFIM 根據流量對魚類及底棲生物棲地的變化，檢討河川環境涵容能力，這個概念容易理解和易於解釋，為建立共識之易於使用的工具。開發單位在計畫的規劃、地點選定及減輕對策規劃階段適合採用來評估對魚類棲地的影響。IFIM 雖計算流量與 WUA 的關係，但周邊環境不在評估項目中，另魚種的移動及魚種的相互關係也被忽略。

2. 運用黑部川排沙魚類的壓力指標(STRESS- INDEX)評估方法

水中含沙量對魚類之影響，與持續時間有密切關係，Newcombe (1991)等提出 STRESS- INDEX (SI) 的方法，以河水含沙濃度 SS(mg/l)

乘以持續時間(hr)的自然對數值，作為評估河水含沙濃度對河域生態環境的影響評估，當得出 SI=6 時，表示生物處於不健全的狀態；SI=7 時，生息空間中度的喪失；SI=8 時，生理學的壓迫、組織學的變化；SI=9 時，成長率降低；SI=10 時，致死率達 0-20%；SI=11 時，致死率達 20-40%；SI=12 時，致死率達 40-60%，反映出短時間的高含沙量以及長時間的低含沙量，都有可能對河域生態產生影響，當 SI 值越大時，對魚類等水生動物的影響就越大。依日本宇奈月水庫排沙研究，含沙量及其持續時間的 SI 值上限應在 10 以下。另不同粒徑之含沙量對魚類的影響亦不同，粒徑較小者容易使魚類的魚鰓堵塞。不同魚類對於濃度之忍受度亦有所不同，因此應進行排沙時之全粒徑分析，另對該河段魚類針對不同粒徑進行試驗，以瞭解其影響。

3. 電源開發株式會社的魚類評估模式 A-Life

A-Life 模式是利用數學模型去模擬魚類在水庫和河流裡的行為。本模式是建立在三維水流模型之下，並以粒子團代表魚的行為。A-Life 模式方法將魚群在水流中的調適及分佈行為，應用在粒子團的特性行為，本模式也稱為"粒子調適模式"。模式中所有的參數是簡單的且定義明確的，這些定義都是以真魚在各種水槽實驗中觀察所得到的。數值模擬已在水槽實驗中得到驗證，模擬結果也符合實驗結果。可用數值模式中的粒子去表示魚類自然的行為，顯示這是生態系統評估的一種好方法。

在預測水庫環境的水流狀況通常以一維模式計算水溫分佈，也可表達水質及浮游生物的濃度，適用在預測水質長期趨勢，但是無法運用此模式去模擬魚類陷在取水口及魚兒改變大小的情形。由於受到水庫水流特性的影響以及每日浮游生物分布空間的改變，魚類的行為出現相當大的多樣性及複雜性，如小魚群的相互作用和大魚捕食小魚的行為。一維模式僅能描述濃度變化的情況，這些方程式無法將浮游生物與魚類的調適及分佈行為描述的很好，例如在模式中很難描述包括

魚類陷在進水口的情形。人工生命 (A-Life) 方法已經運用在模擬魚類的行為，此模式以粒子團描述魚兒及浮游生物的某些行為特徵。

水流特性對粒子的運動很重要的，數學模式的第一部分運用流體力學 (Navier-Stokes equations) 連續及動量方程式的三維水流模擬模式。模式的第二部分是魚類及其它物體視為粒子，如果時間夠長空間夠大時，這些粒子也可定義為一個組群，粒子雖受水流的拖拽力的影響，但是在水流中不考量反向的作用力，其動力就可以方程式化。這些粒子的動作受到一些簡單規則的影響，如速度的增減，由於與其他粒子團或粒子群的相互作用造成方向的改變，行為的規則如下：

- (1)速度的調整：粒子的移動須與最接近的粒子保持最佳的游動距離，約為粒子大小的 0.5 倍，並設定有一不得超過的最大游動速度，當粒子與前方粒子最近距離小於碰撞距離時，會減慢速度，大於碰撞距離時會加快速度，但大於碰撞距離且小於視覺範圍時，粒子就會轉向，使粒子維持幾為常數的穩定游動速度。
- (2)移動向量的調整：最近粒子間將平行移動，粒子會向另一個粒子群組的重力中心移動。當流速超過最大速度時，粒子將朝相反的方向移動，也會避開障礙，並移向特定喜歡的區域。一些粒子會隨著獵物移動，其他粒子嘗試逃避掠食者。此外，當上述條件都不適用時將添加一些隨機移動的變數(如圖 18 所示)，根據調適運動向量列出方程式。
- (3)領地和其他因素：粒子在其領域按照上述法則，進行避免碰撞，並保持游動、群聚、搜索和隱蔽等行為。最後，方程式中也包括粒子繁殖的增加及捕食的減少。

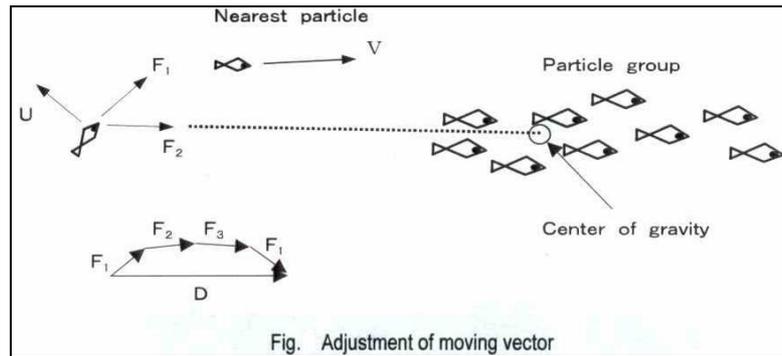


圖 17 魚類調適運動向量

有關本模式的參數的決定，是使用日本岩魚(體長 11-15 公分)進行試驗和分析，主要參數顯示如表 1，表中參數 1-3 項定義游動速度，4-6 項決定其他魚兒的調適行為，表中參數包括體型小的是白雲山鱒魚及體型大的是日本岩魚。一般而言，因需要使用巨大的實驗設施，所以較難用大型魚進行實驗測試，去確定游動速度的參數。

本文討論魚類調適行為的數值模式，已得出下列結論：

- (1) 魚類在溪流中的行為可以經由 A-life 的調適模式加以描述。
- (2) 參數是從真魚實驗測試獲得魚的調適行為。
- (3) 應用在"粒子適應模式"的參數是架構在三維水流模式。
- (4) 經由模擬描述魚類在溪流中的粒子基本行為已經確認。

最後，本文建議：需確立一審查方法及建立粒子定性和定量的特性，另需要從實際測量和實驗測試去決定特徵參數，以供本模式未來的發展和預測的使用。如果能夠符合上述條件，本方法就可以模擬魚類陷在水庫進水口情形，排沙時河道中魚群躲避的情形(詳圖 18)，以及運用在魚道效果的評估。

4. 底棲生物的評估方法

(1) 調查設計

在評估標的區間的選擇，從過去的研究，壩下游因支流匯入供應沉積物，已證明能夠抑制底棲生態系的退化。評估標的區間可選擇從壩正下方到的第一個支流匯處，及第一個支流匯處到下一個支流匯處。

表 1 模式參數

Item (A-life model) No.	Parameter from references	White cloud mountain minnow ^(*)2)	Japanese char ^(*)3)		
		Parameter from experiment	Estimated parameter ^(*)4)	Parameter from experiment	
1	Cruising speed	2 - 4 BL/s ^(*)1)	2-13.3 BL/s →	2-13.3 BL	—
2	Maximum speed	10 BL/s	16.5-30.0 BL →	16.5-30.0 BL	—
3	Judging speed for upstream moving	—	6.0 cm/s	6.0 cm/s	—
4	Visual limit distance	—	21.0 BL →	21.0 BL	—
5	Optimum cruising distance	Optimum distance: 1.0 BL Minimum distance: 0.3 BL	1.8 BL →	0.3 BL	—
6	Collision avoidance distance	—	3.6 BL	—	3.0 BL

*1) BL: Body Length (cm)
 *2) White cloud mountain minnow (Scientific name: Tanichthys albonubes) BL=2.8-3.0cm
 *3) Japanese char (Scientific name: Salvelinus leucomaenis) BL=11-15cm
 *4) These parameters are estimated from the references and the experimental parameters using "White cloud mountain minnow"

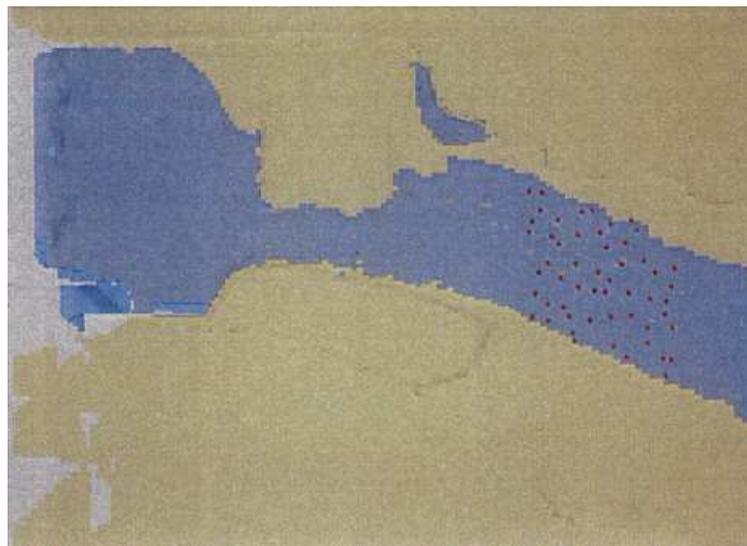


圖 18A-Life 排沙時河道中魚群躲避的情形

以 BACI 為基礎的調查設計，淤沙清理實施時，對受影響的衝擊區進行實施前、後的比較，作為評估淤沙還原效益重要的資訊。不過，對非人為衝擊的影響因素，即因時間不同原來自然現象變動的可能影響，調查設計時必須加以避免。有兩種具體的考量方式如下：

- A. 為了消除的標的區間以外的因素，除標的區外另設立一獨立的控制區，進行兩區域前、後比較，也就是 Before After Control Impact

(BACI) 的設計。

B. 重複進行調查以消除時間變化造成的影響。

BACI 設計是針對人類活動對自然環境影響的調查。標的區人為以外的因素（例如溫度變化、乾旱和洪水）的變化，可由標的區事前、後的調查加以排除。另外標的區及控制區重複同步進行調查，以消除兩者時空差異的影響。

控制區的設定受壩的影響要很小，壩對標的區無影響時的物理特性(如河川規模、河床坡度、河床料的粒徑、沿岸森林的蒼鬱度等)與控制區儘量相同，設定標的區與控制兩區間底棲生物群落相似度，使其容易檢出效果，及容易去瞭解標的區及控制區底棲生物指標的乖離率。如此可將控制區視為參考區，以做為泥沙還原時的評估基準。

控制區通常被設置在支流和水壩上游，如果同一流域沒有適當的地點設置控制區，可以在其他鄰近的流域設立。另因泥沙還原的效果與還原地點的距離不同有所差別，因此可在控制區內取數段做為比較。

衝擊區及控制區設定完後，接下來是調查位置和採樣地點的設定，一個調查位置取 3~4 個取樣區段重複調查。

(2) 調查時間和調查次數

調查次數以 2 次為準至少要 1 次，如果調查 1 次應選擇冬季（12 月至 3 月）進行調查（因為夏天底棲生物個體小數量多，很難準確的識別），此外，水壩冬季往往是一個穩定的流動狀態，大壩的影響明顯的時期進行調查。如果每年有 2 次調查，則選擇在冬季和夏季各一次。夏季調查時應在颱風過後，流量穩定後再進行調查。

(3) 調查方法

樣區的底棲生物指標物種、流量、水深、河床料等依序進行調查。底棲生物指標物種調查：設定底棲生物指標物種，瞭解底棲生物指標物種的個體數，採 50 厘米x 50 厘米的方形樣區加以計算；流速、水深的測量：以樣區四個角落測量水深及於 60% 的深度處測量流速，水

深變化大時至少要測 3 次，以測值的平均值代表樣區的流速及水深；河床料的調查：調查河床料粒徑別佔有河床面積，巨石、卵石、小卵石、砂等以百分比計算其佔據面積。以 25 厘米x25 厘米將樣區平均分為四等分，測量面積佔有率以提高精確度。

(4)BACI 設計為基礎的分析和評估

A.物理環境的調查結果的整理

物理環境河床料、流速、水深測量後，算出淤沙還原前後標的區、控制區的平均值及標準差，並確認測站間平均值差異的比較。平均值與其他測站比較特別大或者小，且標準差亦大者，可能是底棲生物指標物種在取樣地點外也有棲地。在這種情況下，應對取樣地點的底棲生物指標物種調查結果進行確認，底棲生物指標物種個體數異常的資料必須加以排除。

B.泥沙還原效果的評估

泥沙還原效果的時間（前，後）標的與控制樣區底棲生物的變異分析，泥沙還原後在標的區的時效，如果是短暫的為 **Pulse** 型，如果效果是長期的為 **Press** 型。**Press** 型表示泥沙長期間留在標的區域，泥沙還原產生長期的效果，若為 **Pulse** 型則表示細粒泥沙隨洪水流走，泥沙還原僅維持短暫的效果，淤沙清理時需調整清理淤沙粒徑的配比。

(5)結語

泥沙還原對底棲生物生態的定量評估方法，以 **BACI** 為基礎設計評估泥沙實施的效果，評估結果可區分為 **Pulse** 型及 **Press** 型。通過應用 **BACI** 技術，從調查推定效果的程序，可以判定泥沙還原的效果及其存續的時間。

3.5 結論

水庫淤沙清理作業是維護水庫壽命及功能的必要手段，雖然淤沙清理至水庫下游，對河域的環境有所助益，但也帶來暫時性的衝擊，若事前未

進行充分的規劃及溝通，將導致政府單位的制止及民情的抗爭事件，日本關西電力株式會社及電源開發株式會社的清沙作業，事前均經過詳細規劃評估，並取得相關單位審查許可後進行，多年來已順利進行淤沙清理作業，可做為本公司未來水庫清淤時之參考。

日本河域生態評估所採用的定量方法，可做為本公司未來的借鏡，以評估本公司水庫淤沙清理作業時河域生態之影響。

肆、建議事項

- 一、日本關西電力株式會社及電源開發株式會社的水庫淤沙清理作業已有相當經驗，本公司與其交流時，可請其相關人員提供規劃、設計及執行之協助。
- 二、日本水庫淤沙清理作業前均蒐集完整充分的資料，電源開發株式會社喜多村博士(水力輸變電部部長)認為淤沙清理作業中以蒐集詳盡的資料最為重要，本公司對於規劃淤沙清理作業之水庫上、下游調查工作，應力求詳細完整。
- 三、水庫河域生態影響評估為淤沙清理作業與各方溝通成功與否重要因素，應先對水庫下游之河域生態進行量化的評估，以探討淤沙清理作業時之影響，做為對各方溝通時說明之參考。
- 四、水壩排沙閘門的設計應避免採用類似出平壩排沙閘設備(詳圖 4)之推移裝置設計，因為運轉時需用給水裝置將凹槽內的泥沙沖洗乾淨後方能關閉。改善方式改以採用宇奈月壩的止水閘門設計(詳圖 19)。

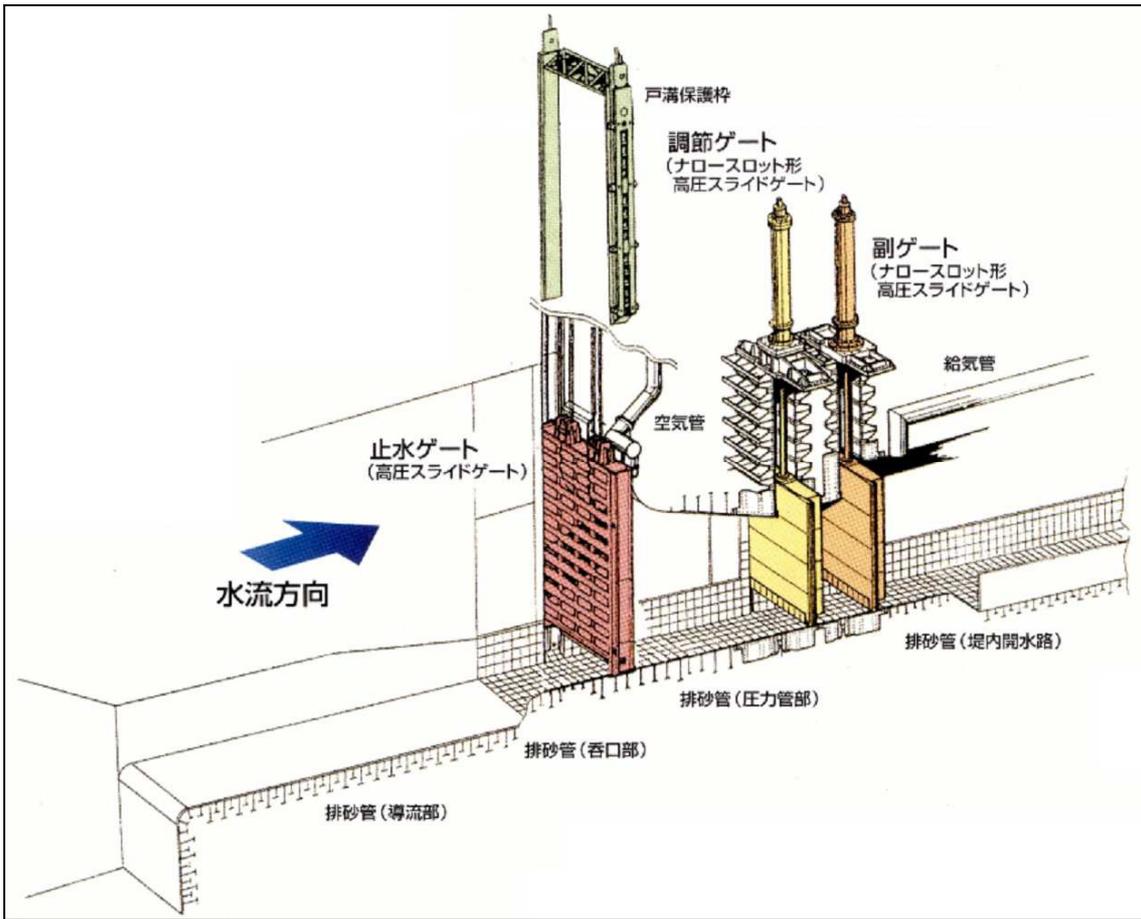


圖 19 宇奈月壩排沙閘的止水閘門設計

附件 1 關西電力株式會社出平水壩

平成 22 年度連續排砂時之環境調查計畫(案)

