

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

(裝訂線)

## 水庫淤積及清淤處理實習報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：郭泳承 土木工程師

出國地區：日 本

出國日期：100 年 11 月 20 日至 100 年 11 月 26 日

報告日期：100 年 12 月 22 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：水庫淤積及清淤處理實習報告

頁數 40 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/ (02) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

郭泳承/台灣電力公司/營建處/壩工設計專員/ (02) 2366-7749

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100 年 11 月 20 日至 100 年 11 月 26 日 出國地區：日本

報告日期：100 年 12 月 22 日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

台灣近年每逢颱風暴雨，山坡地即大量崩塌，進而流入水庫集水區，導致水庫嚴重淤積，有效容量大量減少；爰此，如何處理與降低水庫淤積，乃重要且刻不容緩須面對課題，目前新建發電水庫不易，在有限水資源條件下，欲因應未來發電用水持續穩定情境，現有水庫功能之維持實為重要，台灣未來可供興建水庫之優良壩址已逐漸減少，水庫興建亦日益困難，加上氣候變遷的威脅，未來水庫將面臨洪水量增加與來砂量增加之雙重挑戰，故加強現有水庫保育，維護既有功能，必須雙管齊下強化水庫的減淤與排砂工作，使水庫得以永續利用。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

# 目錄

一、前言 .....	3
二、行程 .....	3
三、出國期間所遭遇之困難與特殊事項 .....	4
四、實習內容 .....	7
4.1 造成水庫淤積成因 .....	7
4.2 淤積所產生問題 .....	7
4.3 旭壩(Asahi Dam)繞道排砂系統(Bypass System)簡介.....	9
4.4 繞道排砂隧道設計 .....	18
4.4.1 設計流程 .....	18
4.4.2 決定繞道排砂隧道排洪量 .....	19
4.4.2.1 庫區混濁度數值模擬.....	19
4.4.2.2 排砂數值模擬.....	22
4.4.3 分流堰進水口 .....	23
4.4.4 截流牆 .....	24
4.4.5 決定繞道排砂隧道尺 .....	25
4.4.6 出水口 .....	26
4.5 運轉紀錄 .....	27
4.5.1 降低濁水數據統計.....	27

4.5.2 降低庫區淤積數據統計.....	33
4.5.3 穩固下游河床及豐富旭川生態.....	35
4.6 排砂隧道磨損對策.....	36
五、心得與建議.....	39

## 一、前言

台灣地區山高坡陡，河短流急，雖雨量豐沛，但豐枯懸殊，然因地質條件欠佳，山區地質鬆軟，近年每逢颱風暴雨來襲，山坡地往往產生大量沖蝕崩塌，進而流入水庫集水區導致水庫嚴重淤積，並使水庫有效容量大量減少，減損水庫蓄水量；爰此，如何處理與降低水庫淤積，乃為重要且刻不容緩須面對解決之課題，目前新建發電水庫不易，在有限水資源條件下，欲因應未來發電用水持續穩定情境，現有水庫功能之維持實為重要，尤以水庫防淤管理措施為首要，以避免既有水庫容量損失，進而影響水力發電功能。

台灣未來可供興建水庫之優良壩址已逐漸減少，水庫興建也日益困難，加上氣候變遷的威脅，未來水庫將面臨洪水量增加與來砂量增加之雙重挑戰，故加強現有水庫保育，維護既有功能，必須雙管齊下強化水庫的減淤與排砂工作，今後水庫除要解決目前水庫淤積之困境，也須積極面對氣候變遷帶來之挑戰，使水庫得以永續利用。

## 二、行程

參訪日期 100 年 11 月 20 日~100 年 11 月 26 日共計 7 日

表 2.1 參訪行程表

日期	城市及機構	工作內容
100.11.20	台北~日本長野市	去程
100.11.21~ 100.11.22	長野市 大林組長野淺川壩工務所	淺川壩施工暨淺川滯洪防淤 因應對策實習
100.11.23~ 100.11.25	東京 大林組東京本社	水庫淤積及處理資料蒐集及 技術研討實習
100.11.26	東京~~台北	回程

本次參訪地點主要如下：

1. 赴大林組長野淺川工區及工務所參訪暨日本水庫淤積對策實習。
2. 赴大林組東京本社技術部及海外部實習日本旭水庫繞道排砂隧道  
規劃及設計。



圖 2.1 大林組長野工務所及大林組東京本社辦公室

### 三、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

本次出國實習，行前得知日本繞道排砂技術已趨成熟，爰透過中興工程顧問公司聯絡日本關西電力公司表示有意參訪該公司繞道排砂相關工程案例，不料原計畫參訪之旭水庫遭日本當地 12 號及 15 號颱風侵襲，致其通達道路中斷，無法進入庫區，且其員工正忙於搶修災損，該公司建議於 101 年 3 月水庫放空再行參訪較為適宜，得知此訊息後，本人即轉洽日本中國電力公司派駐台灣人員詢問是否有類似繞道排砂工程可供參訪實習，惟該公司表示並無相關繞道排砂工程案例，其所轄水壩之淤積大多以開挖及浚渫方式處理，續透過青山施工處洽詢青山分廠復建計畫 I-A 標承商-華大林組，得知該公司於世界各國均有水壩施工之經驗，且有關繞道排砂亦為大林組東京本社技術部現正研究之課題之一，經由華大林組之引鑑以及本處、青山施工處長官及同仁之大力協助，遂獲得此一赴日實習機會。

出國期間，大林組東京本社人員熱忱接待，引導參觀施工中之淺川水壩，該壩屬滯洪沉砂壩，主要係由壩體蓄積上游洪流並逐漸排放，以穩定下游流量，惟該壩集水區植生覆蓋狀況良好，且「淺川」顧名思義其河川平時流量小（「淺」語意為「少」），預估土砂入庫量少，少量土砂未來將於乾季以開挖方式處理，並無規劃較特殊之排砂技術。惟本人行前已告知大林組本次實習主題為水庫淤積處理，故大

林組淺川工務所、東京本社技術部及海外部皆有準備該公司及日本相關水庫排砂資料並加以解說，本人爰透過 3 次會議方式討論日本現有排砂相關技術，經由聆聽簡報，竭盡所能詢問及洽取相關資料，俾達成取得繞道排砂相關資料之任務，供本公司往後參考。

本次出國期間僅 7 天，扣除前後 2 天路程，且 100 年 11 月 23 日為日本國定假日勞動節（本人利用該日由長野前往東京路程），實際僅剩 4 天實習時間，加上參訪地點位於長野市及東京，兩地相隔較為遙遠，建議今後公司能再派員且以更長時間前往研習，以補本人此次實習之不足，另建議如有正當因素，如關西電力公司旭水庫通達道路中斷，無法前往，公司能將實習預算保留至明年度，以獲充分時間面對突如其來之變數，如此則能更豐富實習之內容。

## 四、實習內容

### 4.1 造成水庫淤積成因

台灣雖雨量豐沛，但因降雨時間及空間分佈不均勻，故透過水庫興建，採蓄豐濟枯方式運用水資源，但由於台灣水庫上游集水區多屬沉積岩和變質岩層，其岩性鬆脆，極易高度風化，故降雨時表土沖蝕顯著，使下游河流含砂量大，河道淤積快速，加上每年汛期颱風豪雨降雨強度大，水庫上游集水區洪水挾帶大量泥砂下移至水庫庫區，進而影響水庫正常運轉及使用壽命。一般而言，水庫中的淤砂來源主要可分為自然因素及人為因素所造成，自然因素所造成的淤砂主要與上游集水區地質、土壤及上游崩塌地有顯著關係，而人為因素造成之淤砂則與上游集水區之土地超限利用、道路施工或河道不當開採等行為息息相關，自 921 地震後，土砂災害頻頻發生，因而更加速水庫淤積，當含砂河水由河道進入庫區，此時水深由淺變深，流速則由快變慢，河水中之粗顆粒首先淤積，細顆粒次之，極細顆粒與水流混合形成均質漿液，當該均質漿液受到之重力大於慣性力，便沉入庫底淤積。

### 4.2 淤積所產生問題

水庫淤積之影響主要為減少有效庫容，庫容損失將造成下列負面影響：

1. 水力發電損失

2. 民生用水損失

3. 滯洪功能降低

上游集水區將持續淤積，下游河床將逐漸下降、造成下游沿岸持續淘刷侵蝕、河水混濁並破壞當地原有生態，對於水工結構物或設備亦將造成下列負面影響：

1. 進水口磨損

2. 頭水隧道磨損

3. 水輪機磨損

4. 進水口阻塞

5. 頭水隧道阻塞

6. 排砂或排洪隧道磨損

對於水庫淤積之因應對策，其排砂對策主要包括水庫集水區沖砂、洩砂、繞道排砂、異重流排砂以及水壓吸引排砂，至於機械清淤則包括開挖與浚渫，茲參考經濟部水利署相關文獻，將上述因應對策彙總如圖 4.1 所示：

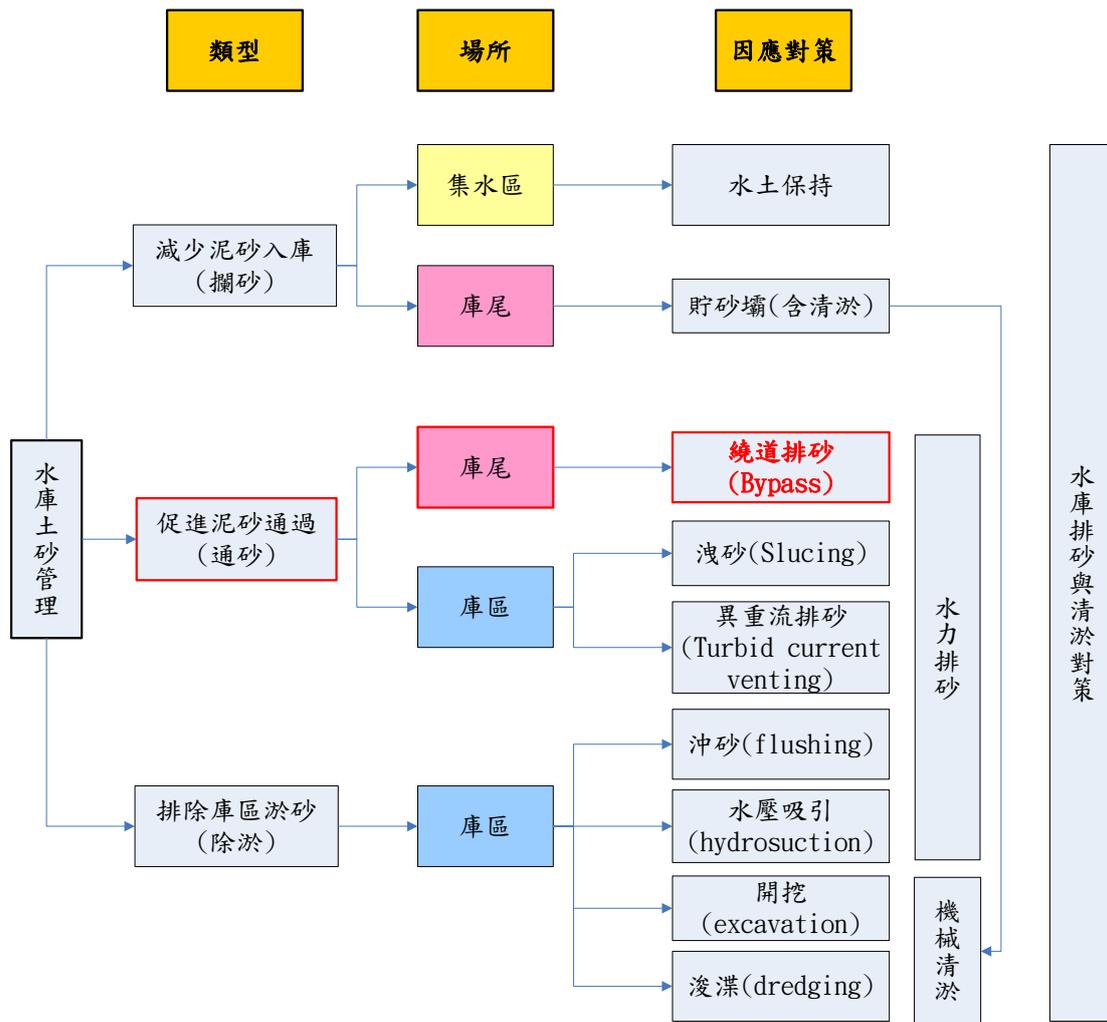


圖 4.1 水庫淤積之因應對策彙總表

### 4.3 旭壩 (Asahi Dam) 繞道排砂系統 (Bypass System) 簡介

日本早期水庫之土砂管理，多採取機械開挖與水中浚渫與上游設置貯砂壩等方式為之，1980 年代後，伴隨著土砂災害頻發，日本部分多砂河流，例如天龍川、黑部川、新宮川、矢作川等，出現土砂入庫量大於當年的設計值，已開始考量於水庫實施「恆久排砂對策」，而所謂的恆久排砂對策，係有別於以往的人工開挖或浚渫之局部對

策，而是採取根本性排砂措施，即是以「水力排砂」為核心，包括利用底孔閘門排砂、繞庫排砂等方式，來解決流入土砂之課題，此一課題，也是今日台灣水庫管理所面臨的現象，其中「繞庫排砂」工法乃各種水力排砂對策中投資經費較昂貴者，因繞庫排砂除了須設置排砂隧道外，還須於壩區上游設置分流堰，若排砂隧道小於 1 公里者(例如布引壩)，則投資成本相對減省，且分水分砂特性也須辦理相關的調查，故日本辦理繞庫排砂工程，通常先辦理數年的基本資料觀測與分析，並與其他替代方案比較，再付諸於實際。

日本奧吉野發電廠乃一抽蓄水力電廠，建造於 1978 年，為日本關西電力公司所屬，該地下式抽蓄發電廠係利用上下池間 530 公尺之落差發電，6 部發電機之最大出力有 120 萬 6 千 KW，電力送至奈良、大阪以及京都等城市。而旭壩即為其下池壩，建於新宮川水系之旭川上，壩體為圓蓋型拱壩，壩高 86.1 公尺，有效蓄水量為 1,250 萬立方公尺，相關地理位置及照片詳圖 4.2~4.4。



圖 4.2 日本旭壩位置示意圖



圖 4.3 日本旭壩下游測照片



圖 4.4 日本旭壩蓄水庫照片

由於旭川上游集水區的人為開發，農園設置，導致颱風豪雨時，上游大量含土砂河水流入水庫，庫區嚴重淤積，蓄水範圍皆出現混濁狀態，壩體長時間放流濁水，詳圖 4.5~4.6 所示。



圖 4.5 旭水庫混濁情形



圖 4.6 旭壩下游河水混濁情形

觀測 1978 年~1988 年旭水庫淤積量為平均 20,000 m<sup>3</sup>/年，1989 年~1995 年其淤積量快速增加為平均 85,000 m<sup>3</sup>/年，1990 年甚至因河水混濁長達 200 天，導致停止發電 4 次，於是關西電力公司於 1993 年進行分析評估，結果顯示未來淤積高程將達進水口高程，發電水源所挾帶大量土砂將造成水輪機磨損並影響發電，其預估旭水庫淤積情形如圖 4.6 所示。

經關西電力公司檢討結果，最後決定規劃繞道排砂系統，該系統於 1994 年 6 月開工，1997 年 12 月完工，1998 年 4 月開始運轉，繞道排砂系統諸元詳表 4.1 所示，相關示意圖及照片詳圖 4.7~4.14 所示。

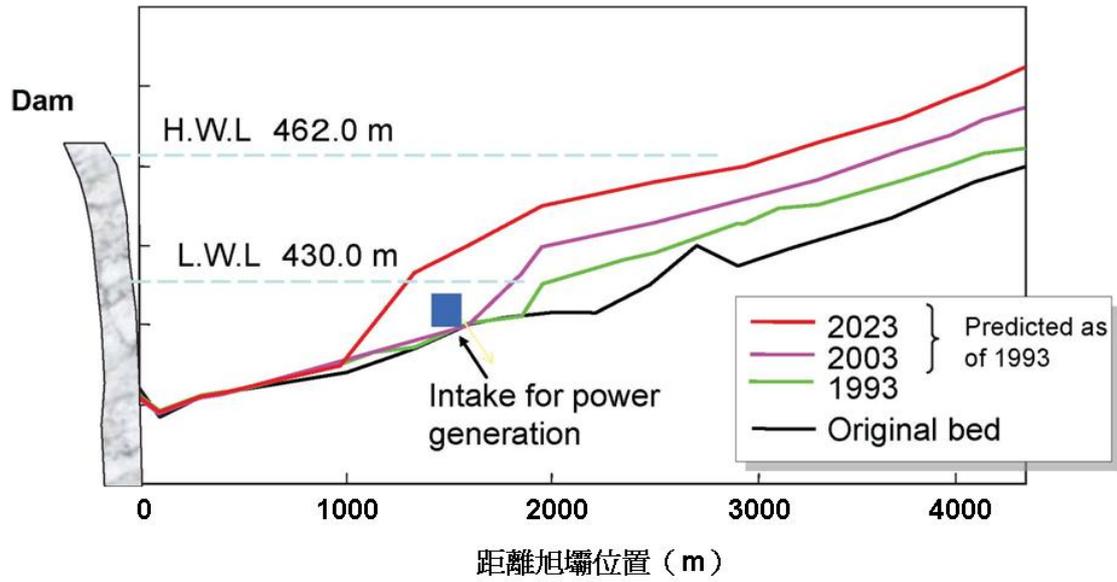


圖 4.6 預估旭水庫淤積高程變化圖

表 4.1 旭壩繞道排砂系統諸元表

分水堰	高度	13.5 m
	堰頂長度	45.0 m
進水口	高度	14.5 m
	寬度	3.8 m
	長度	18.5 m
	型式	RC、鋼襯
	柵欄門	1
繞道排砂隧道	高 × 寬	3.8 m × 3.8 m
	形狀	倒D形

	坡度	約1/34
	最大排放量	140 cms
	襯砌	RC、鋼襯
出水口	寬度	8.0 ~ 5.0 m
	長度	15.0 m
	型式	RC
運轉日期		1998年4月

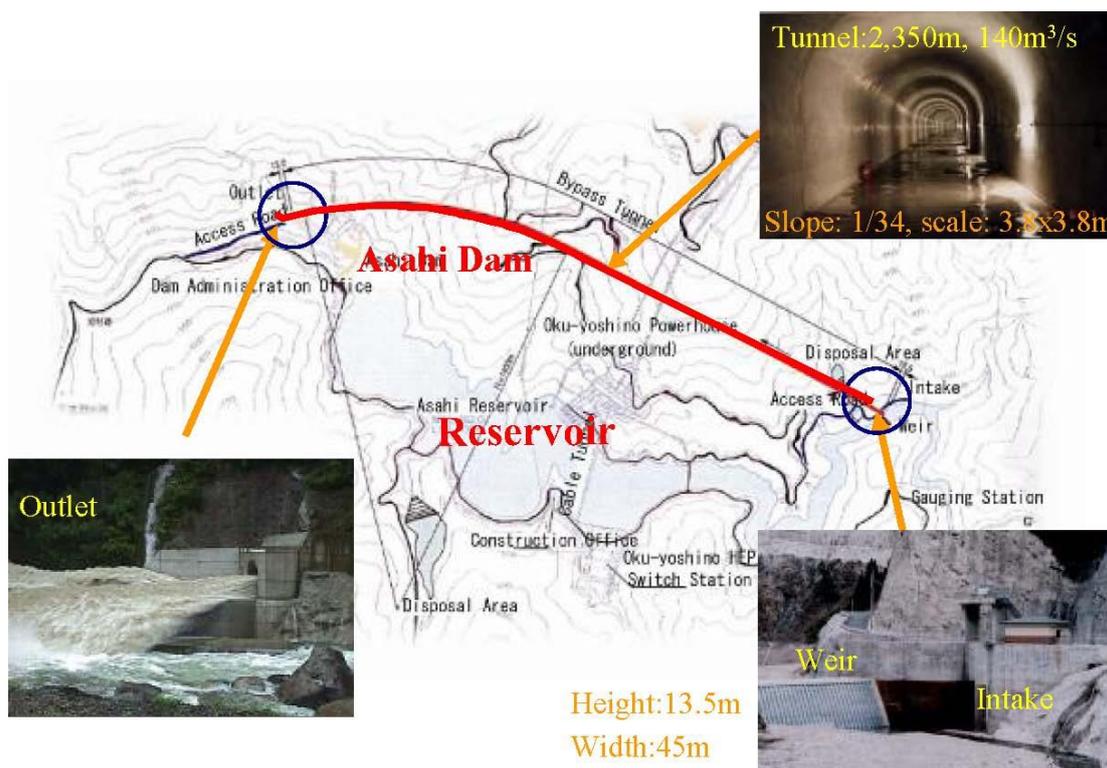


圖 4.7 旭壩繞道排砂系統規劃示意圖

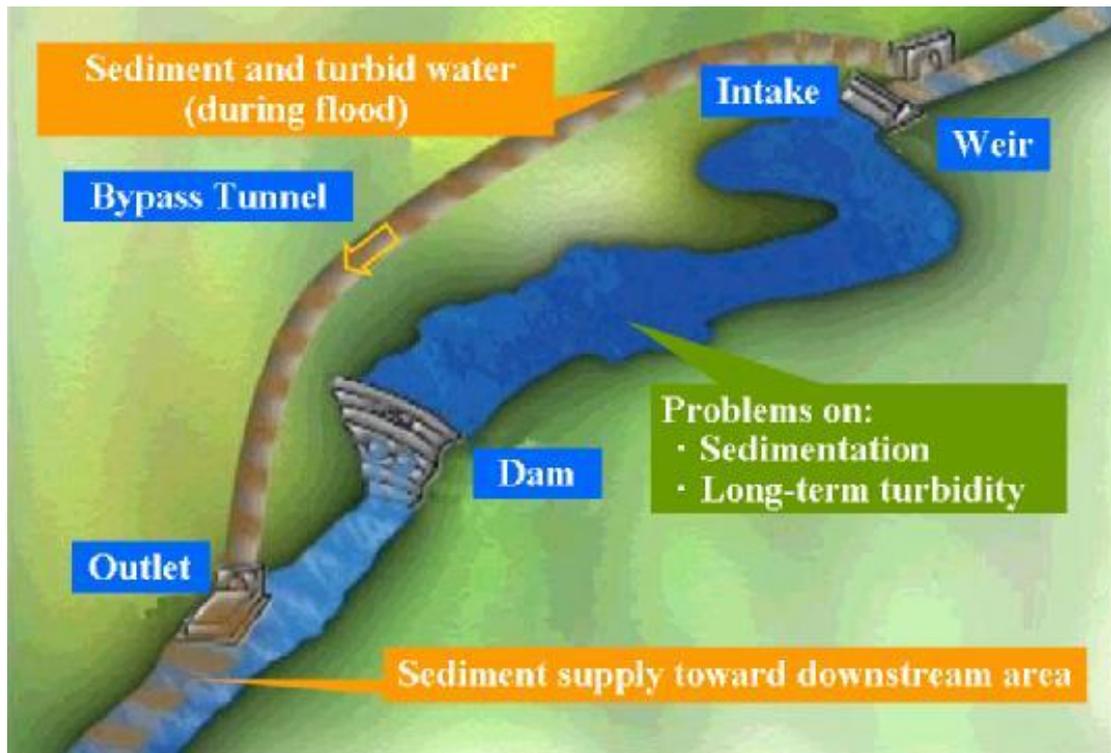


圖 4.8 旭壩繞道排砂系統示意圖



圖 4.9 分流堰

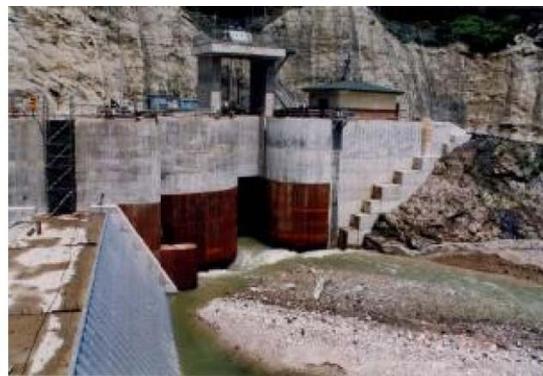


圖 4.10 進水口



圖 4.11 進水口近照

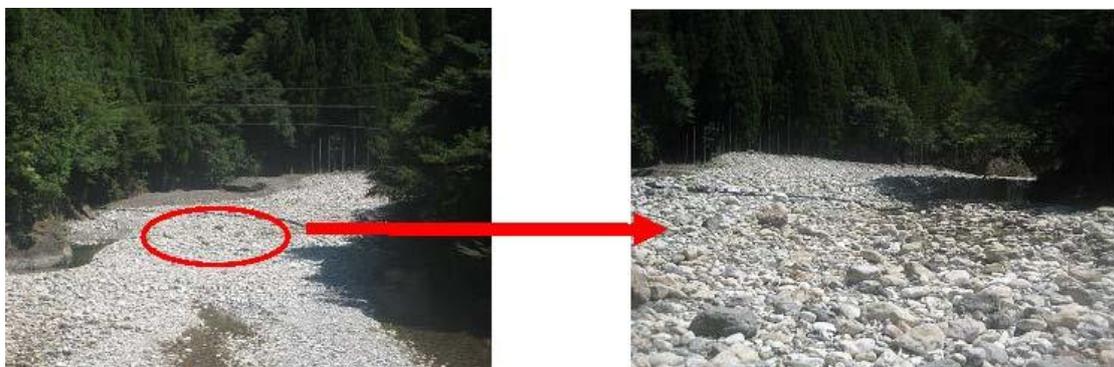


圖 4.12 旭川上游河床照片



圖 4.13 旭壩繞道排砂系統出水口照片

## 旭ダムバイパス放流設備の概要

### ●旭ダムバイパス放流設備について

旭ダムでは、近年、旭川上流の開発により、台風等による大雨の時には、ダム上流から濁水が大量に流入しダム湖全体に濁りが広がり、その結果、ダムから放流している水が長期にわたって濁っている状態になりました。また、ダム内の堆砂も懸念される状況になり、これらの対策について検討した結果、バイパス放流設備を設置し、平成10年4月より運用を開始しました。つまり旭ダムバイパス放流設備は、出水時における濁水の長期化を軽減して、旭川と旭ダムの水質保全を図る設備です。

### ●バイパス放流設備のしくみ

ダム湖の上流からダムの下流まで、水路トンネルを設置し、出水時に上流から流れてくる濁水や砂利等を直接下流河川へ流すので、濁水の長期化の改善と旭川の水質・河川環境保全を目指しています。



### イメージ図



平成11年度 土木学会賞  
技術賞 受賞!!

**旭ダムバイパス放流設備は、奥吉野発電所の特性を活かした日本で唯一の設備です。**

↑旭川上流域特有の白い丸みのある石が戻ってきています。

### 効果

#### ◎濁水長期化の解消

平成10年9月22日の台風7号により、3年に1回規模の大雨が降りましたが、上流からの濁水を直接ダム下流に放流したため、旭ダム内の濁りも大幅に改善され、台風通過後短期間で放流する水に濁りがなくなるようになりました。

#### ◎ダム下流への砂利の供給

これまでダムでせき止められていた砂利を直接ダム下流へ供給できるため、河川全体の環境がダム建設以前の状態に回復しつつあります。

図 4.14 旭壩繞道排砂系統相關結構物示意图

## 4.4 繞道排砂隧道設計

### 4.4.1 設計流程

主要以數值模擬分析及水工模型試驗為設計依據，首先進行濁水及排砂數值模擬分析來決定繞道排砂隧道排洪量，進而決定分水堰、進水口、出水口之位置、高程及繞道排砂隧道形狀、尺寸，後續再以數值模擬分析及水工模型試驗進行系統測試，確認繞道排砂隧道並無遭砂土阻塞現象，最後決定繞道排砂隧道磨損對策，有關設計程序詳如圖 4.15 所示：

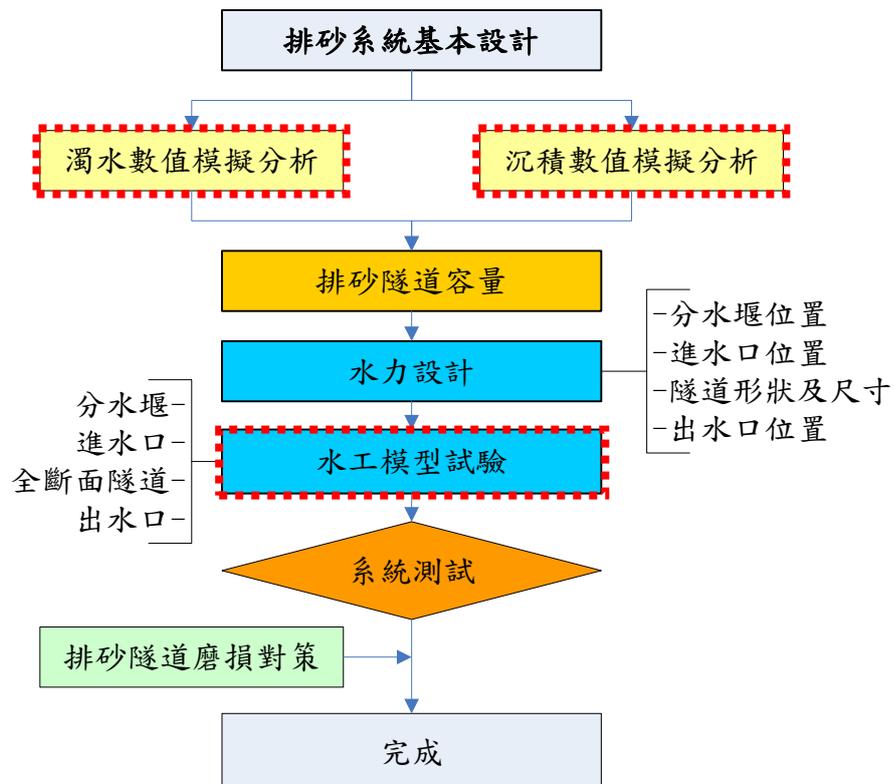


圖 4.15 旭壩繞道排砂系統設計流程圖

## 4.4.2 決定繞道排砂隧道排洪量

### 4.4.2.1 庫區混濁度數值模擬

首先以歷年旭壩水位觀測資料為依據，取 50cms、170cms、330cms、660cms 四種洪峰入流量，其中 660cms 為過去曾發生最大洪峰流量，並初步假設 8 種繞道排砂隧道排洪量，分別為 0cms、3cms、90cms、120cms、170cms、240cms、320cms、550cms，依此進行庫區混濁度數值數值模擬分析，摘錄其分析結果如下：

#### A. 無繞道排砂隧道 (0cms)

當發生四種洪峰流量 (50cms~660cms) 入流至旭壩水庫時，庫區濁水滯留期間約為 50~160 天。

#### B. 設置 3cms 繞道排砂隧道

當洪峰流量小於或等於 50cms 時，旭壩水庫不發生濁水滯留；當洪峰流量為 170~660cms，其庫區濁水滯留期間約為 30~80 天。由此一分析結果得知，設置 3cms 繞道排砂隧道將有助於降低庫區濁水滯留期間約 50%。

#### C. 設置 120cms 排砂隧道

當發生洪峰流量小於或等於 170cms 時，庫區不發生濁水滯留，當發生洪峰流量 330cms 時，其庫區濁水滯留期間約為 20 天；當發生洪峰流量 660cms，其庫區濁水滯留期間約為 70 天。故其結論為設置

120cms 排砂隧道較設置 3cms 排砂隧道佳，但結果差異不大。

#### **D. 設置 170cms 排砂隧道**

當發生洪峰流量 330cms，其庫區濁水滯留期間為 20 天，此結果與設置 120cms 排砂隧道相同，當發生洪峰流量 660cms，其庫區濁水滯留期間約為 70 天，此結果亦與設置 120cms 排砂隧道相同。

#### **E. 設置 240cms 排砂隧道**

當發生洪峰流量 330cms，其庫區濁水滯留期間約為 10 天，此結果與設置 120cms 或 170cms 排砂隧道差異不大，當發生洪峰流量 660cms 時，其庫區濁水滯留期間約為 60 天，此結果與設置 120 cms 或 170cms 排砂隧道差異不大。

由上述數值模擬分析結果得知，設置排洪量 120cms 排砂隧道即可解決洪峰流量 170cms 所產生之庫區濁水滯留情況，另如將排砂隧道之容許排洪量擴增至 170cms 或 240cms，對於較大洪峰流量（330 cms、660cms）並無明顯幫助，故關西電力公司認為繞道排砂隧道之排洪量至少應規劃 120cms 以上；上述混濁度數值模擬分析及結果彙整如表 4.2 及圖 4.17。

表 4.2 庫區混濁度數值模擬分析表

庫區混濁度數值模擬分析	假設排砂隧道 排洪量 (cms)	假設庫區最大 入流量 (cms)	庫區濁水滯留情形	備註
	0	50	50~160 天	-
		170		-
		330		-
		660		-
	3	50	不發生濁水滯留	濁水滯留期間約 50%
		170	30~80 天	
		330		
		660		
	120	50	不發生濁水滯留	較設置 3cms 排 砂隧道佳
		170	20 天	
		330		
		660		
	170	50	不發生濁水滯留	同 120cms 排砂 隧道
		170	20 天	
		330		
		660		
	240	50	不發生濁水滯留	同 120cms 排砂 隧道
		170	10 天	
		330		60 天
660		與設置 120cms 或 170cms 排砂 隧道差異不大		

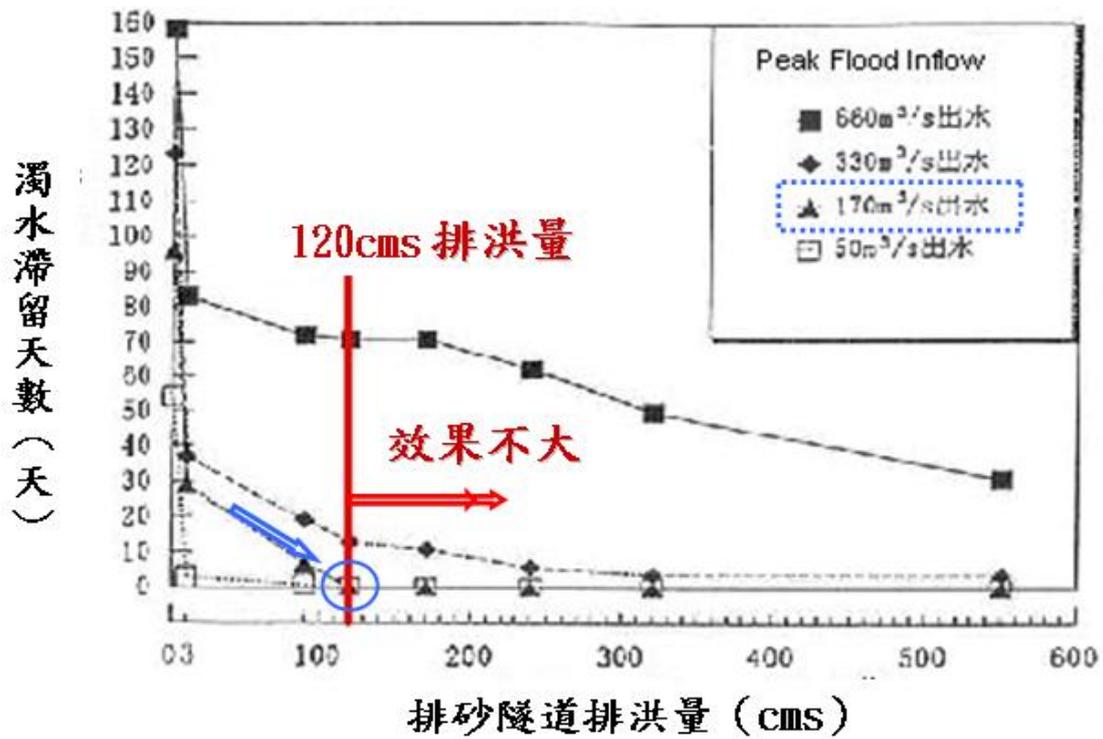


圖 4.17 排砂隧道排洪量/濁水滯留天數 關係曲線圖

#### 4.4.2.2 排砂數值模擬

以歷年旭壩觀測水位圖為依據，假設四種庫區洪峰入流流量，分別為 170cms、280cms、560cms、1020cms，據以進行排砂數值模擬分析，其結果顯示當繞道排砂隧道之排洪量為 80cms 時，即使發生 1020cms 洪峰流量，亦可將大部分河床推移質排放至旭壩下游，分析結果詳圖 4.18 所示。

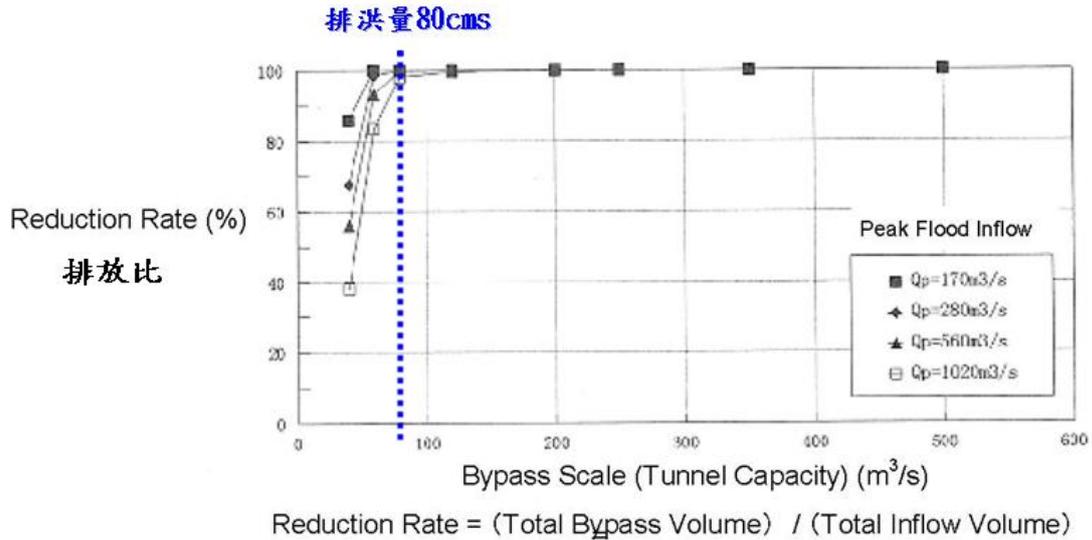


圖 4.18 排砂隧道排洪量/排砂比 關係曲線圖

經由 4.3.2.1 及 4.3.2.2 節數值分析結果可知，當繞道排砂隧道排洪量為 120cms 時，即可避免庫區濁水滯留及旭壩下游河水長期混濁情況發生，當繞道排砂隧道排洪量為 80cms 時，即可將大部份旭壩庫區淤積土砂排放至旭壩下游，由於繞道排砂隧道將以渠道流 (Open channel flow) 為設計，其隧道容許水量假設為 80%，另為預防數值模擬與實際情況有落差，故關西電力公司決定選用排洪量 140cms 作為繞道排砂隧道之設計。

#### 4.4.3 分流堰進水口

分流堰之地理位置設置於旭壩上游庫區末端，而進水口地理位置則設置於分流堰上游且為河水流向之正衝河岸 (攻擊護岸)，關西電

力公司依現地地形縮小比例進行水工模型試驗，主要分為三種型式，詳圖 4.19 所示。

型式 1：僅設置進水口

型式 2：分流堰與進水口分開

型式 3：分流堰與進水口連結

依據水工模型試驗結果，分流堰與進水口分開之方案較能將大部分洪水及其所挾帶砂土帶入隧道內，故選擇型式 2，分流堰與進水口分開之方案。

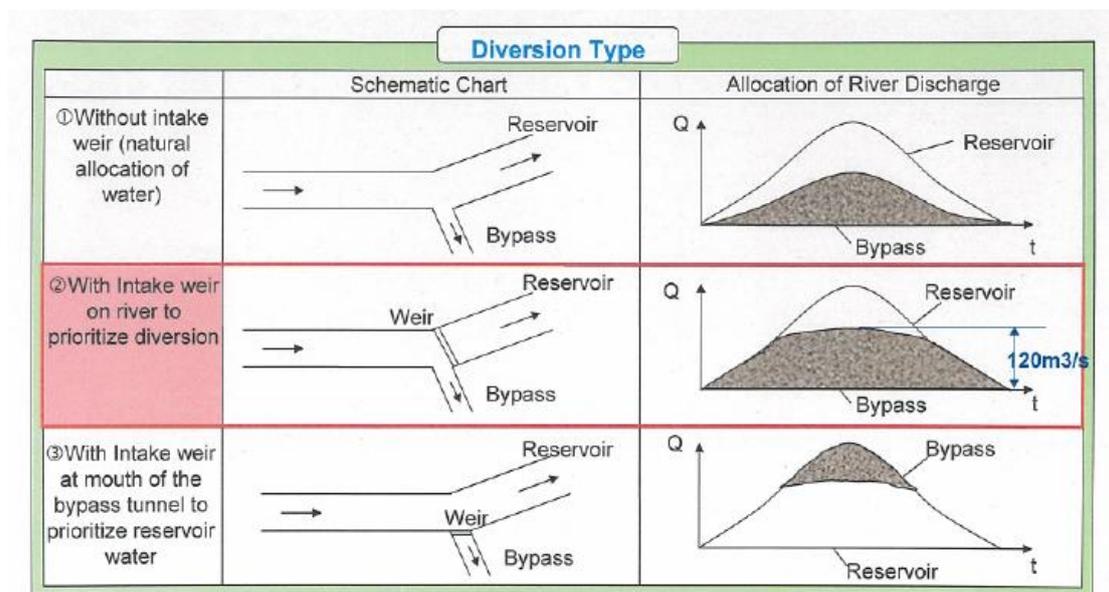


圖 4.19 分流堰及進水口型式示意圖

#### 4.4.4 截流牆

由 4.3.2 節可知關西電力公司決定繞道排砂隧道排洪量為 140cms，且該隧道為渠道流 (open channel flow) 設計，為防止洪

峰期間，河水大量進入繞道排砂隧道，超過隧道排放容量，造成壓力流，損傷隧道內結構，故於進水口前設置一截流牆，以控制隧道入流流量，該流量以不超過 140cms 為原則，用以穩定隧道內結構並防止繞道排砂隧道阻塞，當水流小於繞道排砂隧道排洪量，所有河水以渠道流方式 (Open channel flow) 流入繞道排砂隧道，當水流大於繞道排砂隧道排洪量，截流牆將阻擋大於 140cms 之水流，此時流入隧道之河水則以孔口流方式 (Orifice flow) 流入 (詳圖 4.20~21)，若庫區入流量更大，水位蓄積高於分流堰頂高程 (EL. 462)，河水將自分流堰頂溢流至下游。

關西電力公司另於截流牆後方設置導氣孔，俾利導入空氣，以防止隧道內產生負壓，損傷繞道排砂隧道內結構，截流牆及導氣孔示意圖詳圖 4.21。

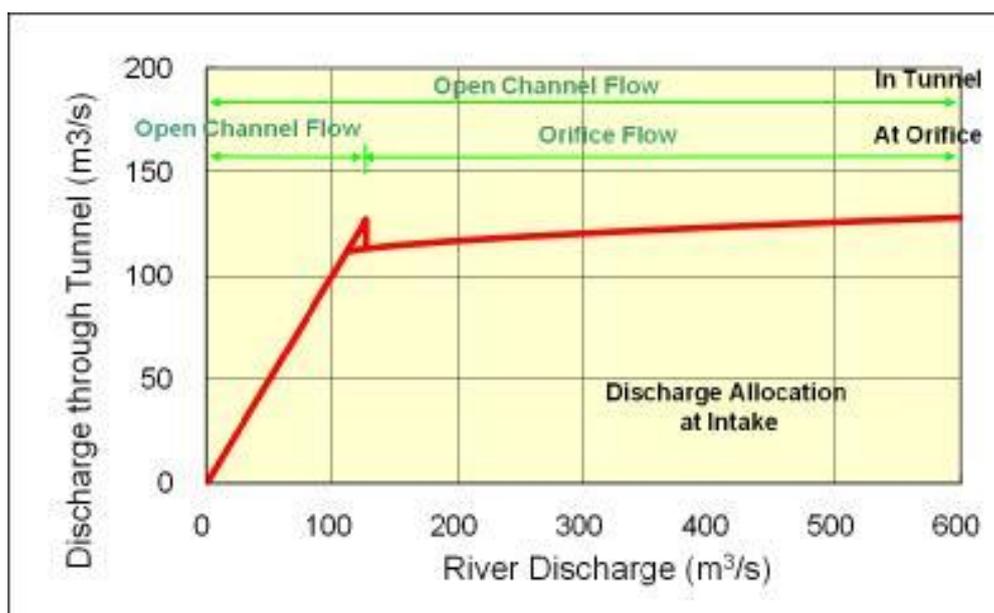


圖 4.20 繞道排砂隧道排洪量-河川入流量示意圖

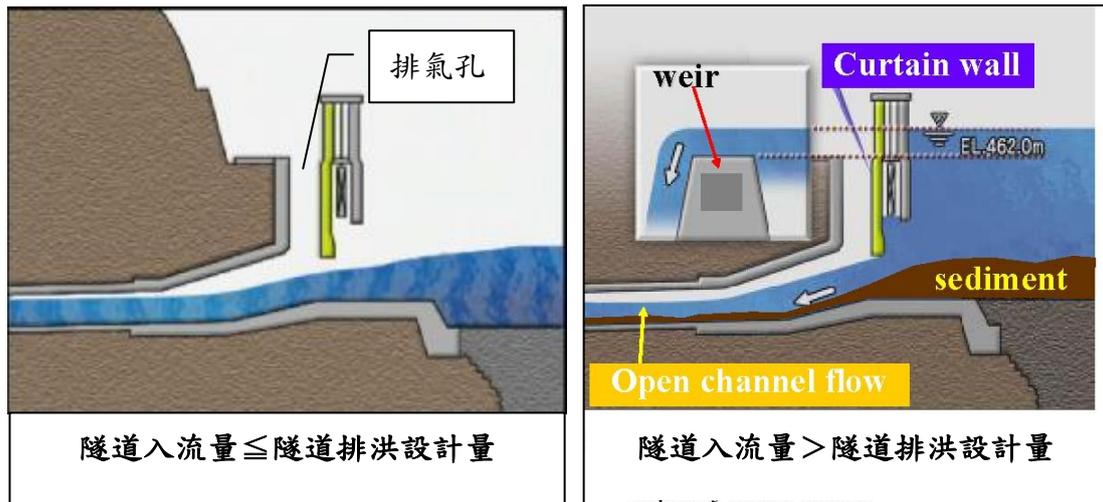


圖 4.21 截流牆示意圖

#### 4.4.5 決定繞道排砂隧道尺寸

首先假設隧道為圓形及倒 D 形二種斷面，配合 4.3.2 節之分析結果（隧道排洪量 140cms）再進行 2 組數值模擬分析，另考量隧道未來不可避免將遭砂土磨損，必須供施工機具、車輛等方便進出進行維修，故選擇倒 D 形斷面以為設計，尺寸（3.8m×3.8m），關西電力公司為防止隧道阻塞，爰依據隧道全斷面尺寸再進行水工模型試驗及數值模擬分析，以確保隧道流暢不致阻塞。

#### 4.4.6 出水口

出水口地理位置理所當然選擇於旭壩下游，且考量出流水剛好能夠流入河道主流之位置，為避免河水倒流或遭淹沒出水口情事發生，關西電力公司將出水口高程位置設置於高於 1200cms 水位高程

(1200cms 為旭壩之設計流量)，即使旭壩洩洪仍不至於淹沒繞道排砂隧道出水口或導致河水倒流情事發生；其次因出水口位置存有許多顆粒較大之河床料以供消能，故並無另外設置消能設施，依據上述原則，關西電力公司縮小實際地形，進行水工模型試驗，以確保出水口不致發生阻塞現象，相關水工模型詳圖 4.22 所示。

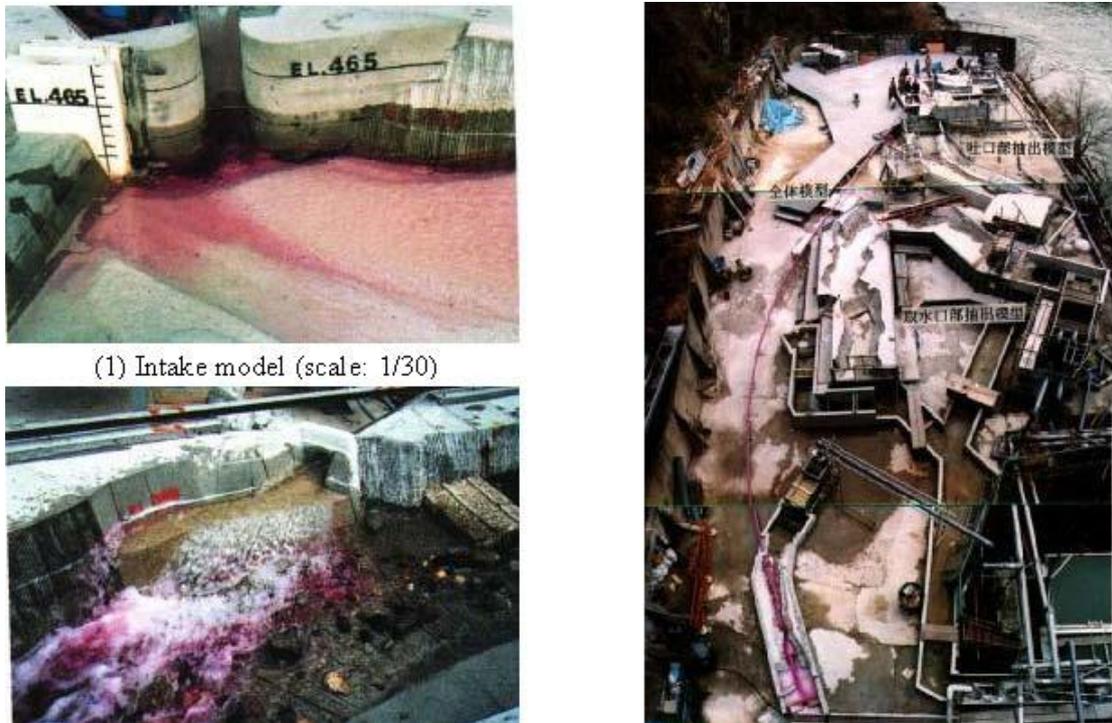


圖 4.22 旭壩繞道排砂系統水工模型試驗照片

## 4.5 運轉紀錄

### 4.5.1 降低濁水數據統計

旭壩繞道排砂系統於 1997 年 12 月完工，1998 年 4 月開始運轉，

1998年9月22日，遭受7號颱風侵襲，其所挾帶大量豪雨，造成旭川流量高達383cms，旭壩繞道排砂系統首度排放設計容量140cms洪水，圖4.23即為當時分流堰上、下游及出水口排放情形照片；由1999年~2009年運轉紀錄統計圖（圖4.24）可知，大約66%之旭水庫入流量可經由繞道排砂隧道排放至旭壩下游。



圖 4.23 1998 年 7 號颱風來襲，旭水庫及繞道排砂系統出水口照片

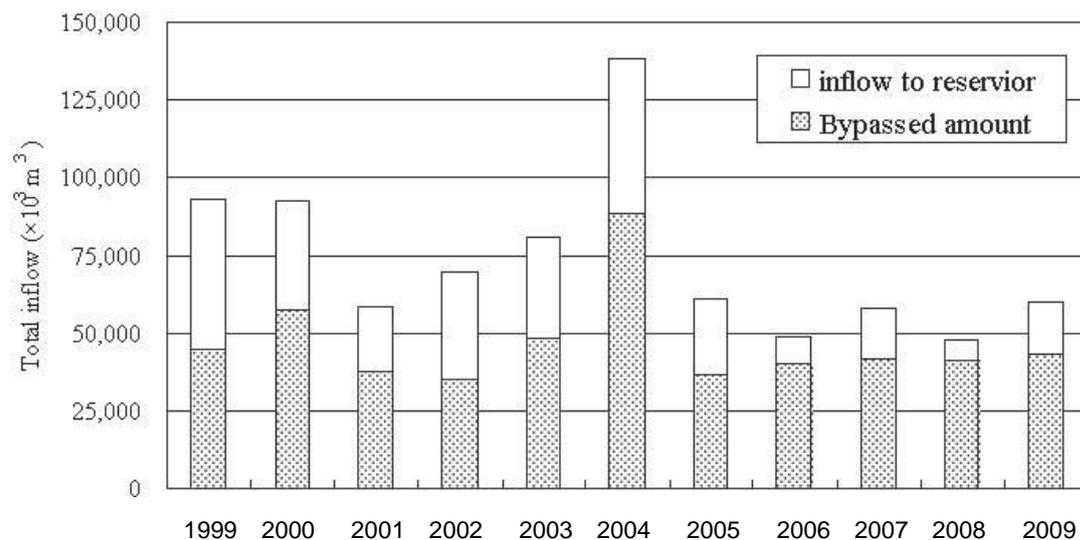


圖 4.24 旭壩繞道排砂系統 1999 年~2009 年運轉紀錄統計圖

關西電力公司藉由現地所設置之兩座河水混濁度觀測站(分別設置於旭壩上游 4.3km 及旭壩下游 1.5km 處),量測旭壩上、下游區域每年河水混濁度達 5ppm 以上之天數(詳圖 4.25),其結果顯示,旭壩繞道排砂系統運轉前(1989 年~1997 年),旭川濁水滯留情形約為 50~150 天,當旭壩繞道排砂系統運轉後(1998 年~2009 年),旭川濁水滯留情形約減少至 10 天,即使 2004 年旭川發生 200cms 洪峰流量,其濁水滯留天數仍遠小於旭壩繞道排砂系統運轉前(1998 年 4 月前),因此可應證旭壩繞道排砂系統運轉後,可有效減少旭川濁水滯留情形發生。

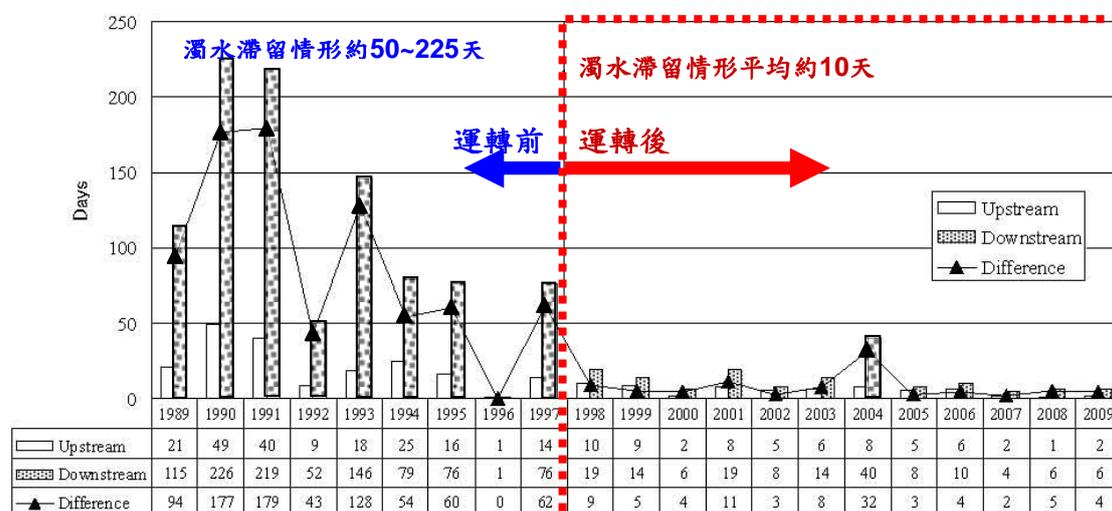


圖 4.25 旭川 1989 年~2009 年混濁度超過 5ppm 天數統計圖

註：1996 年並無發生豪大雨，較為乾枯，故旭川並無發生濁水滯留情形。

由圖 4.26 得知，2004 年 7 月 30 日及同年 8 月 5 日旭川分別發

生平均流量 139.7cms 及 133.5cms，致河水再次混濁，旭壩下游分別量測到 80ppm 及 120ppm 之混濁度，惟經由繞道排砂系統運轉後，短短 3 天即有效大幅降低其混濁度。

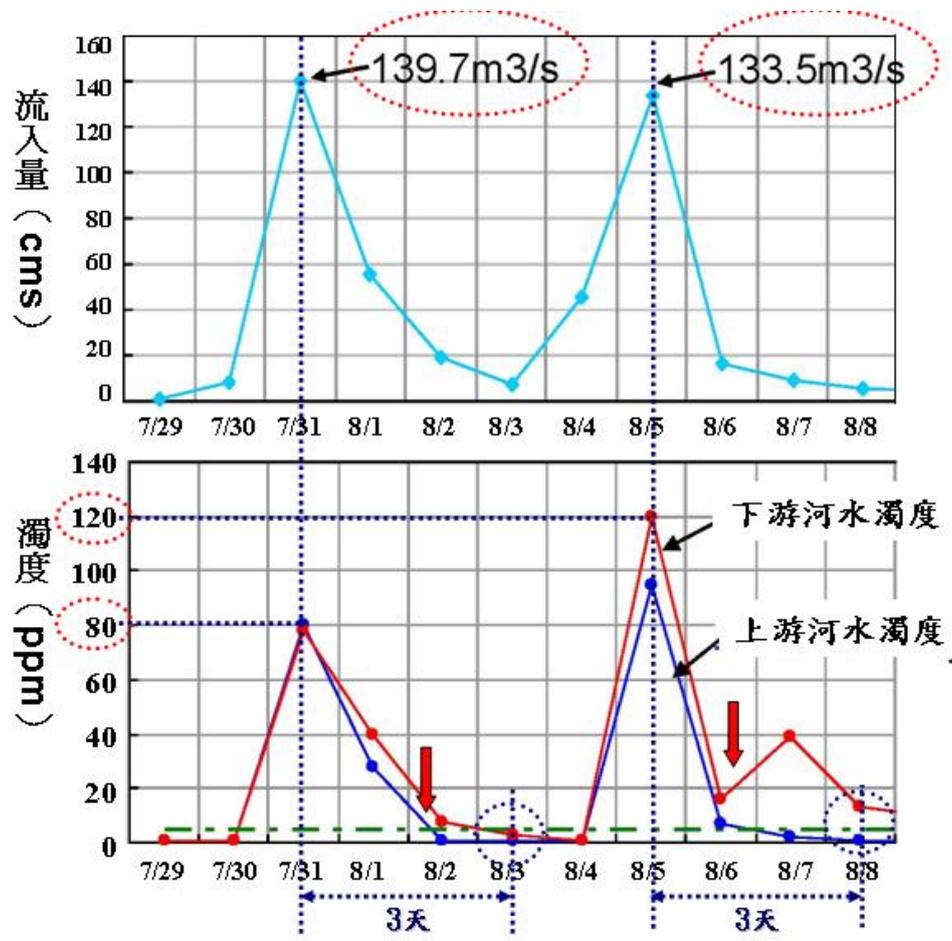


圖 4.26 旭川混濁度統計圖 (2004/7/31 及 8/5)

由圖 4.27 得知，2005 年 9 月 6 日旭川平均入流量為 99.3cms(洪峰流量 337.2cms)，該日於旭壩上、下游測得河水混濁度約為 110ppm，惟經由旭壩繞道排砂系統排放後，9 月 8 日量測其河水混濁度已大幅下降，下游亦同，恢復旭川之清澈樣貌。

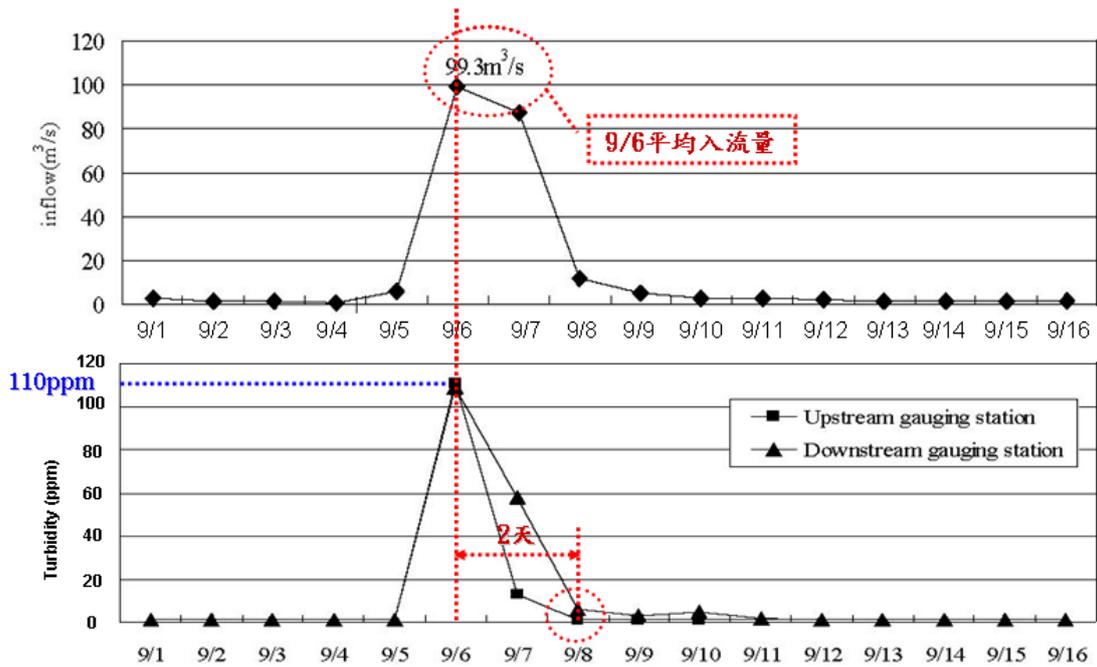


圖 4.27 旭壩庫區入流量及旭壩上、下游混濁度統計圖 (2005/9/6)

由圖 4.28 及 4.29 得知，於旭壩下游 1.6 公里處，1986 年 7 月 13 日旭川發生洪峰流量 270cms (繞道排砂系統運轉前)，經過 8 天時間，河水混濁度仍達約 15ppm，於相同位置相較 2001 年 6 月 20 日發生洪峰流量 288cms (繞道排砂系統運轉後)，當時河水亦呈現混濁情況，惟僅經過 1 天即有效降低其河水混濁度至約 10ppm，故再次證明旭壩繞道排砂系統對於降低河水混濁度有非常顯著之成效。

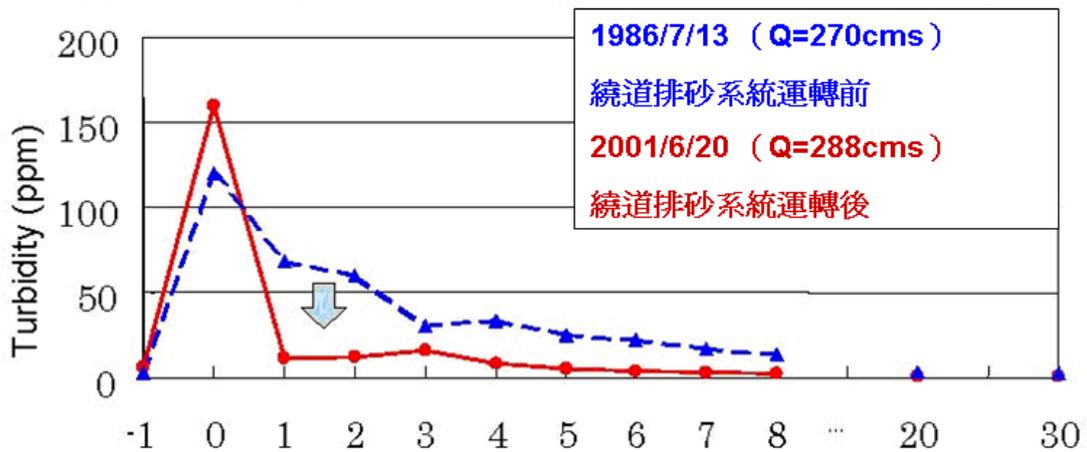


圖 4.28 繞道排砂系統運轉前、後濁水變化統計圖



圖 4.29 繞道排砂系統運轉前、後之旭川照片（相同位置）

由圖 4.30 所示，旭川於 1990 年 11 月 4 日發生洪峰流量 349cms（繞道排砂系統運轉前），1993 年 9 月 9 日發生洪峰流量 334cms（繞道排砂系統運轉前），1998 年 9 月 22 日發生洪峰流量 383cms（繞道排砂系統運轉後），2005 年 9 月 6 日發生洪峰流量 337cms（繞道排砂系統運轉後），比較上述相近之洪峰流量（約 330~380cms）發生於繞道排砂系統運轉前後，其河水混濁度下降速度明顯截然不同，運轉

前(1990.11.4及1993.9.9)發生洪峰(349cms及334cms)後11天，其河水混濁度仍達約50ppm，運轉後(1998.9.22及2005.9.6)發生洪峰(383cms及337cms)後經過2天，其河水混濁度即快速下降至約0ppm，再次證明旭壩繞道排砂系統對於降低河水混濁度有非常顯著之成效。

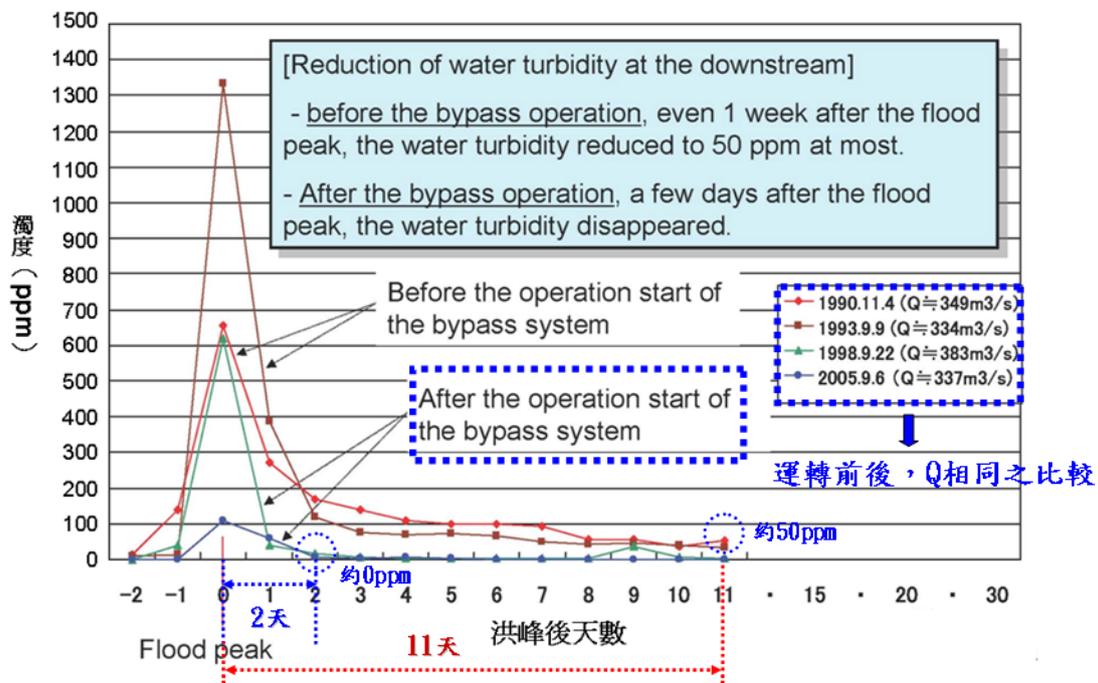


圖 4.30 旭壩繞道排砂系統運轉前、後之濁水變化統計圖

#### 4.5.2 降低庫區淤積數據統計

關西電力公司為了解旭水庫底部高程變化，比較1978年旭壩興建後，旭水庫之原始庫底高程、1998年旭壩繞道排砂系統開始運轉及2009年旭壩繞道排砂系統運轉約11後之旭水庫底部高程，進而繪

製旭水庫底部高程變化統計圖（詳圖 4.31），該圖顯示 1978 年旭水庫原始庫底高程最低，經過 20 年之淤積，部分河床已升高約 10m，1998 年繞道排砂隧道運轉後至 2009 年，為期約 11 年間，其庫區淤積量無明顯變化，由此顯示繞道排砂隧道運轉後，河水所挾帶之大部分推移質、沖刷質、懸浮質等皆直接經由繞道排砂隧道排放至旭壩下游，有效減少土砂進入旭壩庫區並有效降低旭水庫淤積速率。

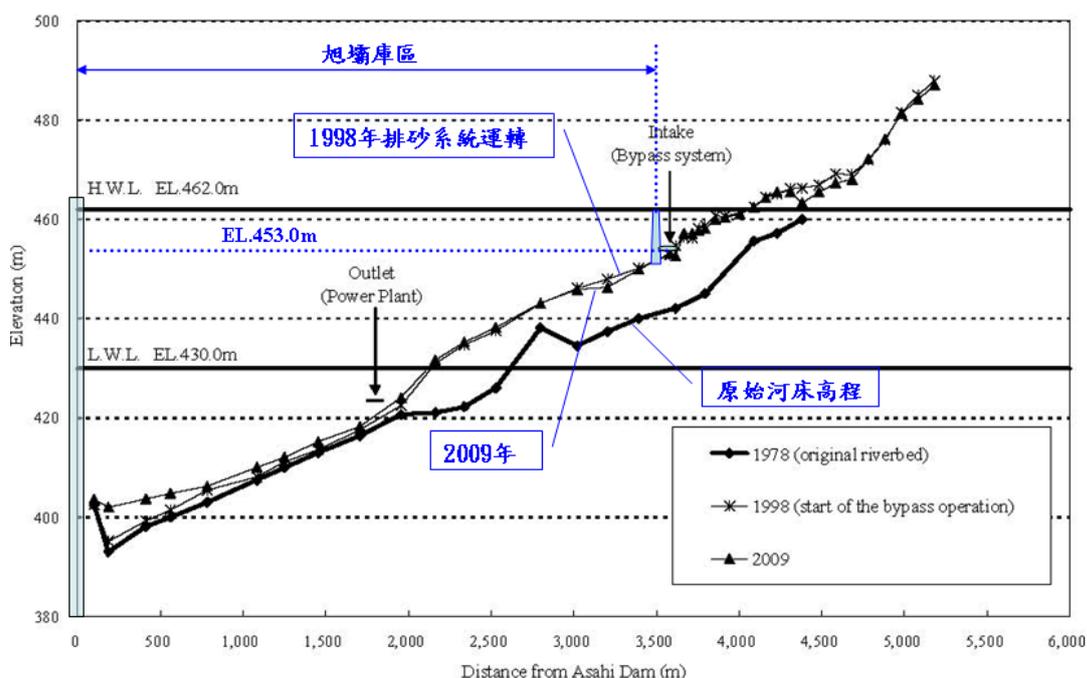


圖 4.31 旭水庫底部高程變化統計圖

關西電力公司另統計 1989 年至 2009 年旭壩庫區淤積量，由圖 4.32 顯示，1989 年~1997 年（繞道排砂系統運轉前），旭水庫淤積量逐年遽增，9 年間旭水庫淤積量累積共 57 萬立方公尺，1998 年~

2009 年（繞道排砂系統運轉後），12 年間旭水庫淤積量僅增加約 10 萬立方公尺；另經由數值模擬分析，模擬 1998 年～2009 年間如未興建繞道排砂系統之旭水庫淤積情形，結果顯示旭水庫淤積量預估將增加 84 萬立方公尺，預估總累積量將高達約 150 萬立方公尺。由上述實測、數值模擬及統計結果得知，80～90%之旭水庫預估淤積量皆可藉由旭壩繞道排砂系統排放至旭壩下游，不淤積於庫區。

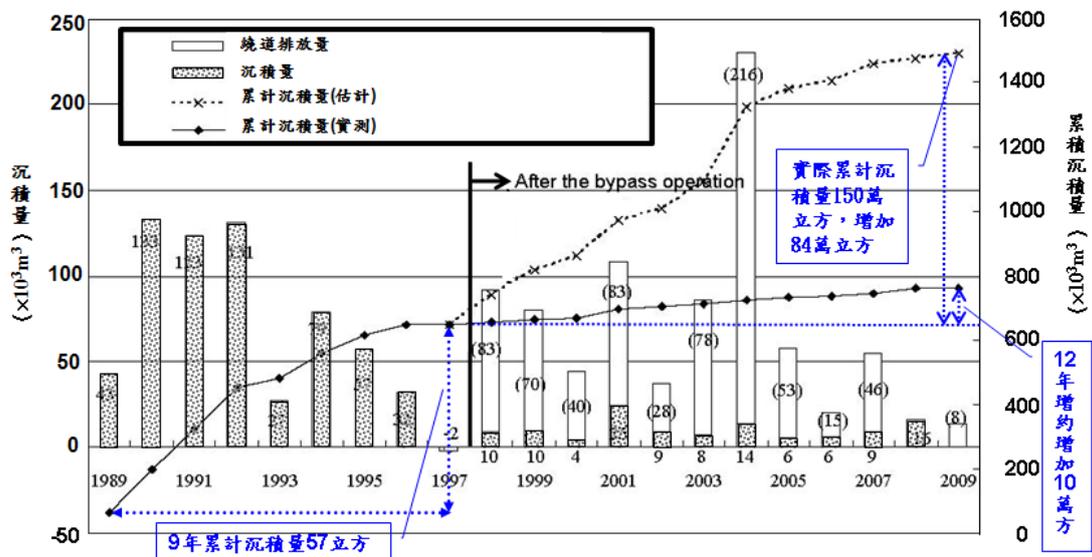


圖 4.32 旭壩庫區淤積量之實測值與預估值比較圖

### 4.5.3 穩固下游河床及豐富旭川生態

旭壩繞道排砂系統運轉後，關西電力公司比較排砂隧道下游同一位置之河床粒料分布情形，洪峰前河床岩盤裸露情況較為嚴重（圖 4.33 左），洪峰後河床粒料較為均勻，且覆蓋較多卵礫石及砂土（圖

4.33 右)，此乃旭壩上游土砂經由繞道排砂隧道排放至旭壩下游所致，對於河床之穩固將有正面之助益；關西電力公司亦預估旭壩繞道排砂隧道系統運轉後，將有助於旭川恢復原始樣貌，使之更為美麗，生態更為豐富（詳圖 4.34）。



圖 4.33 旭壩繞道排砂前後，下游河床粒料分布情形



圖 4.34 旭壩繞道排砂前後下游恢復河川美景

#### 4.6 排砂隧道磨損對策

由於旭川挾帶大量推移質、沖刷質、懸浮質等土砂及卵礫石，其粒徑平均大約為 5cm，最大約 30cm，皆經由旭壩繞道排砂隧道排放至

旭壩下游，故該排砂隧道襯砌必遭受磨損，關西電力公司為解決此問題，爰藉由鋼襯護及高強度混凝土來保護排砂隧道，規劃進水口起 20m 之隧道長度，全斷面施作鋼襯護，其餘 2,350m 隧道則以高強度混凝土( $f_c' = 700 \text{ kgf/cm}^2$ )襯砌保護之，並設計排砂隧道仰拱襯砌容許磨損深度 10cm，側壁襯砌容許磨損深度 5cm；排砂隧道鋼襯範圍示意圖及隧道斷面示意詳圖 4.38。

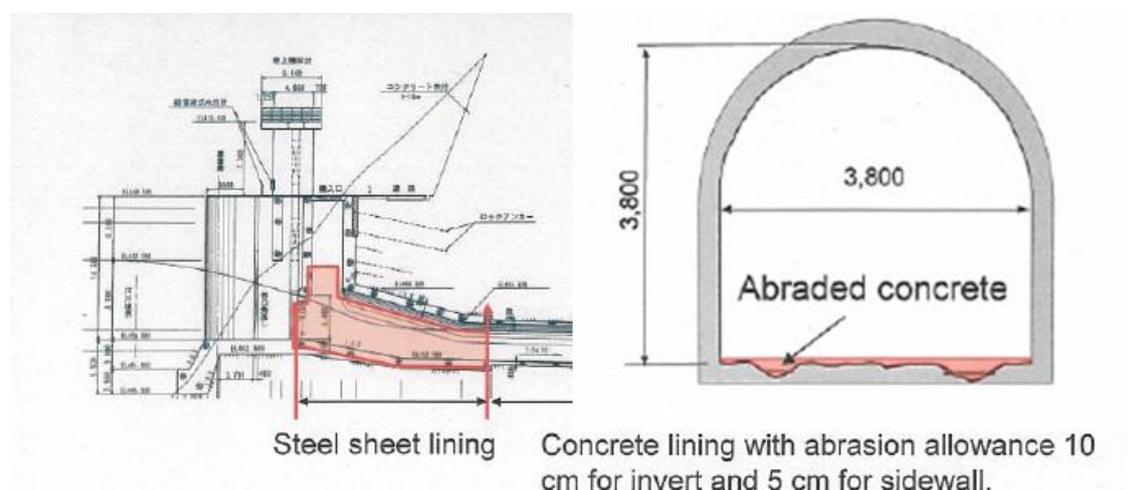


圖 4.38 排砂隧道鋼襯範圍示意圖及隧道斷面圖

由 1998 年~2009 年繞道排砂隧道維修統計圖（圖 4.39）顯示，平均每年磨損高強度混凝土約為  $165\text{m}^3$ ，平均每年磨損高強度混凝土深度為 1.8cm，面對必然之磨損，關西電力公司於每年乾季進行隧道內部檢查，惟並非每年進行維修，須視排砂隧道磨損狀況進行評估後加以維修，以確保旭壩繞道排砂隧道於汛期能夠正常運轉，1998 年~2009 年排砂隧道維修紀錄如表 4.3 所示。

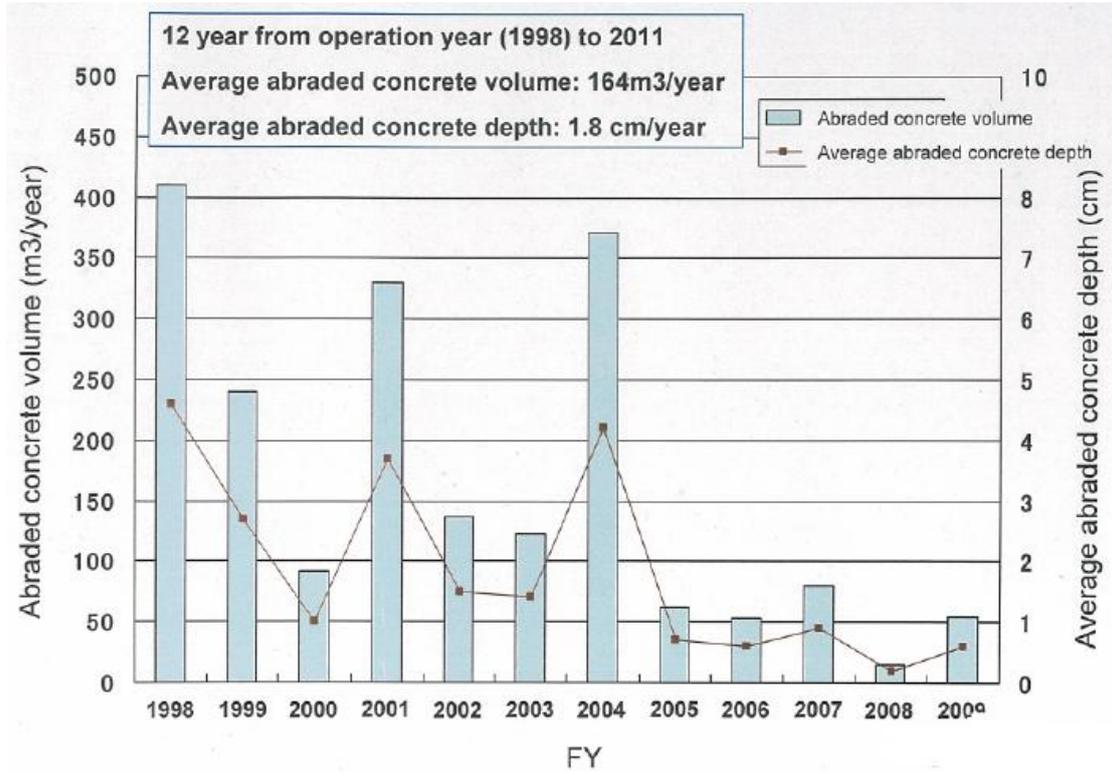


圖 4.39 排砂隧道維修紀錄統計表

表 4.3 排砂隧道維修紀錄統計表

FY	Repair Works	Concrete volume placed for the concrete abrasion (m <sup>3</sup> )	Concrete strength of the concrete used for the repair work
1998	○	43	fck=70N/mm <sup>2</sup>
1999	○	167	
2000	○	59	
2001	○	388	
2002	×	—	
2003	○	268	fck=70N/mm <sup>2</sup>
2004	○	512	
2005	×	—	
2006	○	438	fck=70N/mm <sup>2</sup>
2007	×	—	
2008	×	—	
2009	×	—	
2010	×	—	

○: Conducted ×: Not conducted

## 五、心得與建議

日本旭川河床料粒徑分布平均僅5公分，最大粒徑30公分，相較於台灣部分河川塊石粒徑達數公尺，實不足為道，然而日本20餘年前即積極正視此一問題，模擬預測未來庫區淤積量，為保水庫壽命及生態環境，不惜重金興建繞道排砂系統；反觀台灣山高坡陡，地理位置地震及颱風發生頻繁，水庫淤積問題已存在多年，且其淤積情況相較日本及其他國家應有過之而無不及，其嚴重性絕不亞於各國，更應正視目前及未來將遭遇到之水庫淤積問題，正所謂居安當思危，思則有備，有備則無患。

台灣目前新建發電水庫不易，現有水庫功能之維持更顯重要，日本旭水庫入流量及淤積情況雖遠不及本公司現正規劃繞道排砂計畫之霧社水庫，且旭水庫之主要問題在於河水混濁，次為淤積，不同於霧社水庫主要為淤積問題，惟經由旭壩繞道排砂系統運轉後之統計數據，該排砂系統除能有效降低河水混濁度外，對於庫區減淤亦有明顯正面助益，日本與台灣之地理位置相近，地理條件亦相仿，建議仍可參考日本繞道排砂技術，俾解決台灣水庫淤積情形。

繞道排砂系統雖能有效降低河水混濁度及減少庫區淤積問題，但其後續仍存在排砂隧道磨損問題，尤其台灣部分河川存在粒徑較大塊石，其磨損程度將相對嚴重，面對此一不可避免之隧道磨損課題，建

議應於繞道排砂系統分流堰上游興建攔石壩，甚至應視河床塊石存在多寡來決定攔石壩之興建數量，以避免大塊石直接撞擊排砂隧道，造成損毀或阻塞排砂隧道，亦可於庫尾興建攔木設施，以攔阻漂流木阻塞排砂隧道，建議設計時即應考量未來排砂隧道維修等問題，如以倒D形隧道斷面設計，以利維修機具及車輛方便進出，另排砂隧道襯砌較易磨損位置通常於轉彎處，建議隧道應儘量採直線佈設，且應事先針對襯砌磨損進行模擬分析，預估襯砌磨損最大深度及位置，以此分析數據設計隧道襯砌容許磨損深度，方可延長繞道排砂系統之使用壽命並維持其功能。

台灣山區地質鬆軟，近年每逢颱風暴雨來襲，山坡地往往產生大量沖蝕崩塌，進而流入水庫集水區導致水庫嚴重淤積，其肇因除天災所致外，人為開發亦為主因，高山農場及民宿林立，建議開發前後均應做好水土保持處理維護等工作，方能從源治本，俾利山坡地防災，降低崩塌發生，進而達到水庫減淤之目的。