

(仮訳)

Key Issues :

3 : 魚の回遊・舟運

気候区分 :

Cf : 西岸海洋性気候

主題 :

- 複合型大規模魚道の適用

効果 :

- 魚類の生息環境に対する影響の軽減

プロジェクト名 : Maan ダム

国名 : 台湾、Taichung 県 (アジア)  
(N 24 ° 11 ' , E 121 ° 56 ' )

実施機関 / 実施期間 :

- プロジェクト : Taiwan Power Company  
1998 年 -
- Good Practice : Taiwan Power Company  
1998 年 -

キーワード :

水力発電所の効率運用、複合型大型魚道、魚類の生息環境

要旨 :

Maan ダムは台湾で最初に複合型の大規模魚道の建設を行ったプロジェクトである。それは、魚類の生息環境への影響を最小化しよう計画され、その効果はいくつかの研究により評価されてきた。

### 1. プロジェクトの概要

1979 年当時、台湾の主要河川の一つである大甲溪には、上流から順に德基 青山、谷關、天輪、社寮という5つの発電所があった(最大出力の合計は 972,000kW 図1)。下流側の天輪発電所トンネルの通水容量(68m<sup>3</sup>/s)は上流の発電所に比べて(相対的に)小さく、また調整池の容量も小さかったため、上流の発電所のピーク運転が制限されていた。この問題を解消するとともに流域全体の水資源を有効活用する観点から計画されたのが新天輪発電所と馬鞍発電所である。馬鞍発電所の概要を表1に示す。馬鞍発電所では、新天輪発電所の放水口の下流約 900mに馬鞍ダムを設置して取水



表1 Maan プロジェクト諸元

項目		諸元
水系		Tachia
集水面積		916.4 m <sup>2</sup>
発電所	最大出力	133,500 kW
	最大使用水力	144.5 m <sup>3</sup> /s
	有効落差	106.08 m
ダム	ダム名	Maan
	形式	コンクリート重力式
	高さ	41.00 m
貯水池	幅	239.50 m
	総貯水容量	965,000 m <sup>3</sup>
	有効貯水容量	575,000 m <sup>3</sup>
導水路トンネル	利用水深	3.4 m
	長さ	7,477 m
	内径	6.4 m

(仮訳)

し、天輪後池に放流している。建設工事には馬鞍ダムから放水口の間での発電施設新設工事で天輪後池付近の施設の改良工事が含まれている。本発電所では 台湾で初めての大型魚道設置や ISO14001 認証システム取得 (1998 年) などに見られるように、環境に配慮した取り組みを行っている。馬鞍発電所は 1992 年着工され、1998 年に運開した。

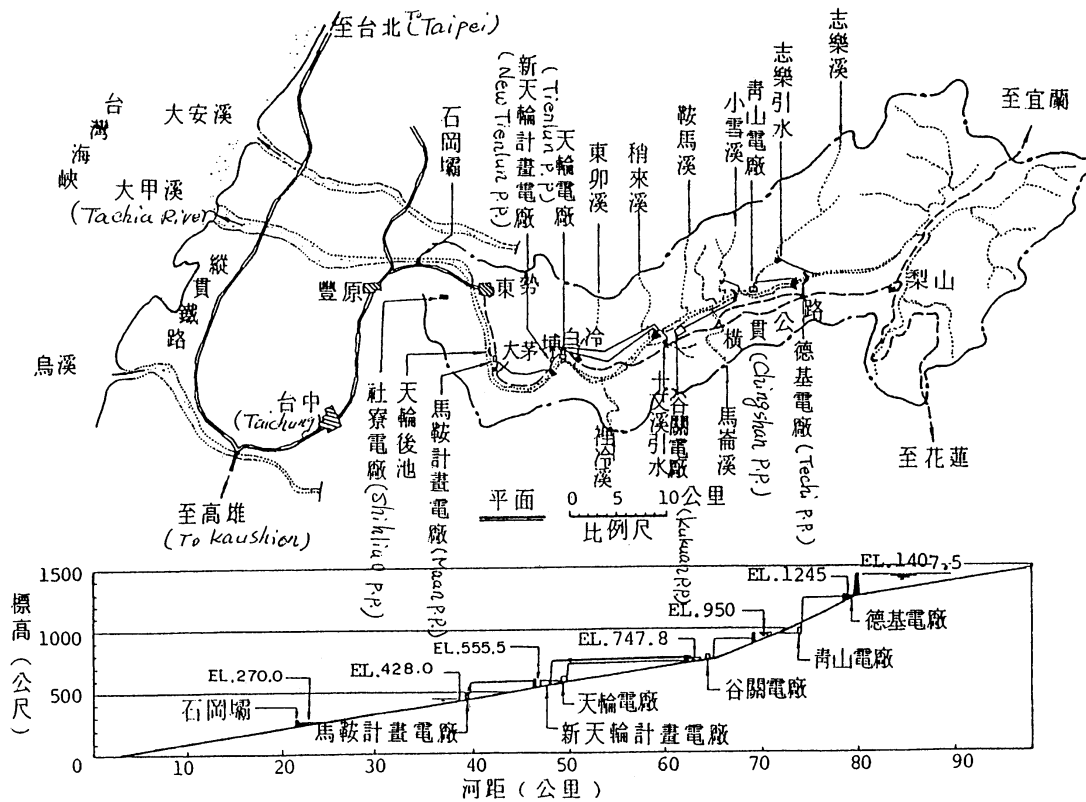
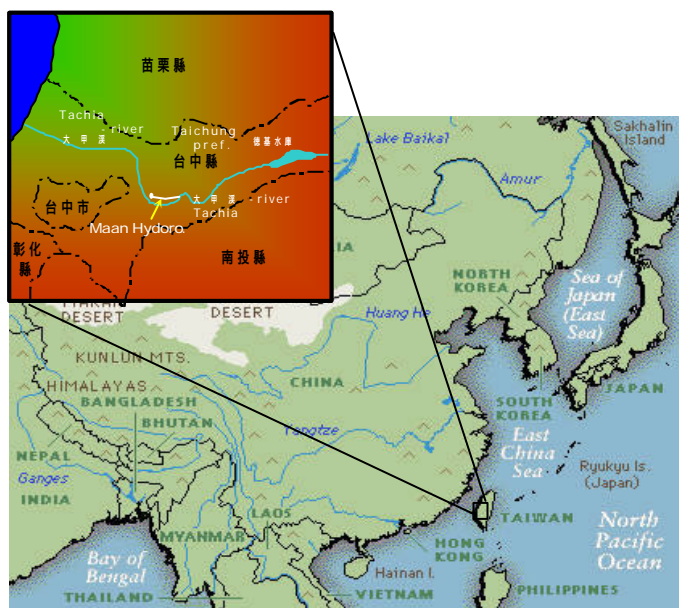


図1 大甲溪の発電所の概要図

## 2. プロジェクト地域の特徴

馬鞍発電所は 台湾中部を東から西に流れる大甲溪の中流域に位置する。この付近の年平均降雨量は 2 459 mm 年平均気温は 22.4 である。

大甲溪の水源は中央山脈の南湖大山 (標高 3 740m) であり 河口は台中県の清水鎮である。流域面積は 1, 235.7km<sup>2</sup> 全長は 140.2km で、22 本の支川があり、台湾の中で最も水資源が豊富な水系である。大甲溪の上流域は雪霸国家公園に指定されており、侵食などにより形成された溪谷が美しいことで有名で、年間約 20 万人の観光客が訪れる。支流の一つ七家湾溪がサケ科魚類の中で最も南に分布する「台湾鱒 (中華民国指定国宝魚)」の生息地として世界的に有名であるほか、本川



(仮記)

支川を問わず多くの魚類が生息しており水産資源が豊富である。流域内には12の郷・鎮・市があり、人口は65万人余である。

本川中流域には台湾中部を代表する谷關温泉(硫黄泉 泉温48 )があるほか台中地震(1999年)の時に本川に生じた 豊 斷層瀑布(高さ約8m)が有名である。馬鞍發電所はこの温泉と滝との中間に位置する。



図2 豊斷層瀑布



図3 谷關溫泉



図4 台灣獮猫が描かれている雪霸國家公園の標識

### 3. 主要な環境影響

本プロジェクト開発前 その上流では5つの発電所が運転していた。これらはほぼ連続して取放水を繰り返している。最上流の德基発電所から最下流の馬鞍発電所までの間は急峻な地形となっている。減水区間に漁業はないが、プロジェクトの環境影響調査の一環として魚類の生息状況を調査した。

本プロジェクトでは 計画時に谷關から石岡ダム間において魚類の生態調査を実施した。調査時の測定ではこの付近の年平均水温は20、pH値は7~9(弱アルカリ性)、溶存酸素量は5 mg/L 以上であった。

調査において確認された魚種を表2に示す。このうちの一部を図5に紹介する。この流域では本・支流の下流付近では台湾石魚寛 粗首 が多く、支流上流域では台湾、台湾馬口魚、台湾纓口鰍及び台湾爬岩鰍等が多かった。組成をみると鯉科の魚種が多勢を占め(約

表2 調査で確認された魚種

科 (中文名)	中文名	学名	最大長 (成魚)
鯉科	草魚	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	150 cm
	青魚	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	122 cm
	鯉	<i>Cyprinus carpio carpio</i>	120 cm
		<i>Aristichthys nobilis</i>	112 cm
	白	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	105 cm
		<i>Carassius auratus auratus</i>	59 cm
	魚	<i>Cirrhinus molitorella</i>	55 cm
	台灣魚	<i>Varicorhinus barbatulus</i>	45 cm
	粗首	<i>Zacco pachycephalus</i>	25 cm
	台灣馬口魚	<i>Candidia barbatus</i>	20 cm
	台灣石魚寛	<i>Acrossocheilus paradoxus</i>	20 cm
	羅漢魚	<i>Pseudorasbora parva</i>	11 cm
	短吻小鰱 (短吻 柄魚)	<i>Microphysogobio brevirostris</i>	9 cm
革條副	<i>Paracheilognathus himantegus</i>	8 cm	
高體	<i>Rhodeus ocellatus</i>	6 cm	
鰕虎科	川虎鰕(褐吻鰕虎魚)	<i>Rhinogobius brunneus</i>	10 cm
	極樂鰕虎	<i>Rhinogobius giurinus</i>	8 cm
	短吻褐斑吻鰕虎	<i>Rhinogobius rubromaculatus</i>	約 3 cm
爬鰍科	台灣纓口鰍	<i>Crossostoma lacustre</i>	15 cm
	台灣間爬岩鰍	<i>Hemimyzon formosanus</i>	10 cm
	埔里中華爬岩鰍	<i>Sinogastromyzon puliensis</i>	9 cm
鰍科	泥鰍	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	24 cm
	大鱗副泥鰍	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	20 cm
	中華花鰍(沙鰍)	<i>Cobitis sinensis</i>	13 cm
鮭科	虹鱈	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	90 cm
	台灣鱈	<i>Oncorhynchus masou formosanum</i>	40 cm
鱧科	鱧魚	<i>Channa maculata</i>	20 cm
	七星鱧	<i>Channa asiatica</i>	20 cm
胡瓜魚科	香魚	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	70 cm
鮠科	脂鮠	<i>Pseudobagrus adiposalis</i>	14 cm
合鰓魚科		<i>Monopterus albus</i>	100 cm
科	台灣	<i>Liobagrus formosanus</i>	10 cm
鬥魚科	蓋斑鬥魚	<i>Macropodus opercularis</i>	6 cm
鯰科	鯰魚	<i>Silurus asotus</i>	100 cm
慈鯛科	吉利慈鯛	<i>Tilapia zillii</i>	40 cm
胎科	大肚魚	<i>Gambusia affinis affinis</i>	4 cm
鰻科	鱸鰻	<i>Anguilla marmorata</i>	20 cm

(仮訳)

30%)、その他では爬鰻科(約 10%)を除くとどの種も全体の 10%に満たなかった。これらを生息場所で分類すると、急流に生息する種として台湾纓口鰻 台湾爬岩鰻 埔里中華爬岩鰻 川虎鰻などが挙げられ、流れが緩やかな場所に生息する種として短吻鎌柄魚 大鱗副泥鰻 沙鰻 台湾 泥鰻 羅漢魚 鯰魚 高體、吉利慈鯛などが挙げられる。なお、川虎鰻は本・支流に広く分布しており、鯰科の台湾石魚鰻 台湾馬口魚、台湾鮠、粗首、香魚及び台湾 などの生息域も比較的広がった。

この調査では「珍貴有保育種」をはじめ「台湾国固有種」が多種確認され、本プロジェクトによる主要な環境影響の1つとして魚類への影響を考慮する必要があると判断された。



図5 調査で確認された魚

#### 4. 環境影響緩和策

台湾国内には、50~70の魚道があるが、設置された時代が古く壊れているものも多い。馬鞍発電所では環境保全対策の一環として魚道を設置する計画とした。魚道付近の平面図を図6に、断面図を図7、また魚道の全景を図8に示す。

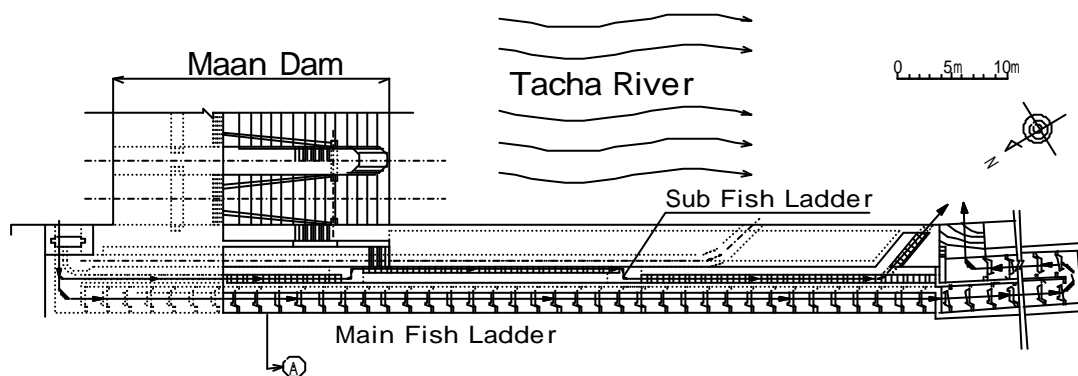


図6 魚道平面図

魚道は、河川を遡上・降下する魚類を対象にして設計した。馬鞍ダムは利用水深が3.4mと大きく、維持流量は1日の運用の平均をもって決定されている。すなわち、貯水位が1日の間でも大きく変化するため、魚道の機能を常時一定に保つこと困難である。このため、魚道は主魚道と副魚道を設置することとし、貯水位の高いときに大きな流量で魚道出入口口付近に魚を呼び込むこと、低いときに魚類が魚道を遡上することを設計の基本コンセプトとした。したがって、主魚道は魚道そのものの機能に、また副魚道は主に呼び水水路の機能に主眼をおくこととし、それぞれプール式とデニール式を採用した。

(仮訳)

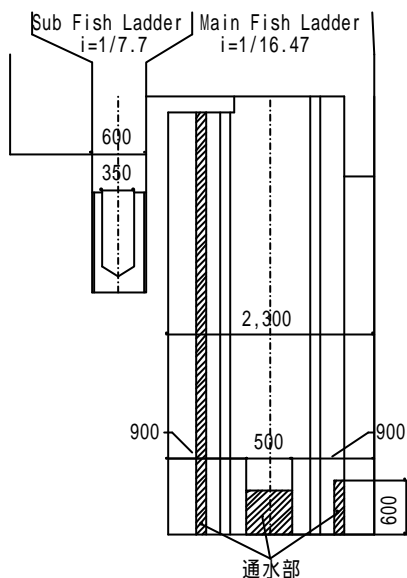


図7 A断面図



図8 魚道全景(上流より)

主魚道(プール式)の前半部分の延長は約80mであり、川に沿って下流に向かって下った後折り返す。この区間では、水路は隔壁によって仕切られているが、vertical slot(高さ:3.5~5m、幅:約20cm)に加えて、水位の低いときでも流量を確保できるような潜孔(約45×15cm)を設けられている。後半部分は、川の上流に向かって約20m下る。この区間においても水路は隔壁によって仕切られているが、壁の両側にvertical slot(高さ:約100cm、幅:20cm)が設けられている。その後、魚道は川に向かって直角に曲がり大甲溪と接続する。

副魚道(デニール式)は呼び水水路に魚道の機能を追加したものである。副魚道は全長約63mであり、主魚道と平行して設置されている。デニール式魚道の阻流板はステンレス製で中心部がV型に加工されており、流水はその上を流れることとなる。

## 5. 影響緩和策の効果

### 5.1 概略

ダム建設による魚類の生息環境に対する影響は、魚類の回遊ルートの阻隔、魚類の種類の区分化、魚類生息地の単調化等が挙げられる。ここでは、ダム上下流の4地点において捕獲された魚類に対して実施した統計分析を行い、馬鞍ダムの生息環境保全効果について検討した。

### 5.2 評価方法

魚道の効果を評価する指標として、ダム上下流での魚類の分布等の差からダムが魚類の分布の持続性に影響しているかどうかについて評価するため、ダム上下流の4地点(図9)の魚種について、相関関係及び表3に示す3つの指標を用いて評価した。

表3 魚道の効果の評価指標

多様性指数 Shannon's Index( $H'$ )	$H' = - \sum P_i \ln P_i$ $H'$ = 代表特異度 $H' = 0$ の場合、生物の生息地の中でただひとつの種類であることを示す。 $H'$ = 最大値の場合、すべての種類の個体数が同じであり、かなり均一に分布するという豊富度があることを示す。つまり、種類が多いほど個体の分布は均一となって、この指数が高くなる。
Kruskal Wallis Test	複数の母集団の代表値が等しいという仮定を検定できる。 $\chi^2$ 分布においてサンプルより計算される統計量 $H$ 以上となる確率 $P$ が、検定者が設定する有意水準より大きくなる場合、有意な差があることになる。本調査においては、各地点数を母集団とし、母集団の違いによる魚種数に有意な差がないことを検定するのに用いた。
Analysis of Variance (ANOVA)	複数の母集団の平均値が等しくないという仮定を検定できる。F 分布においてサンプルより計算される統計量 $F$ 以上となる確率 $P$ が、検定者が設定する有意水準より小さくなる場合、各母集団の平均値は等しくないことになる。本調査においては、各地点数を母集団とし、母集団の違いによるの体長の平均値に有意な差がないことを検定するのに用いた。

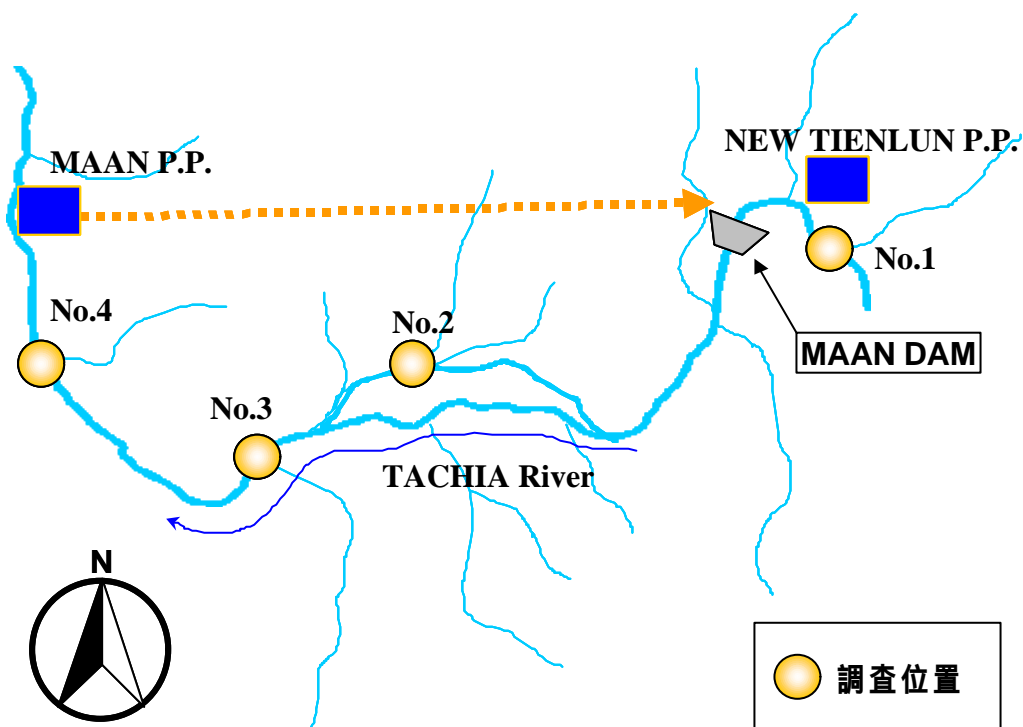


図9 魚類の調査地点

### 5.3 結果

2003年1月～2004年3月の4箇所の採取結果について分析・評価した。なお、採取地点(No.1)については、2003年1月のダム上流での採取地点では捕獲法に問題があったため、2003年3月採取から東卯溪流と大甲溪流の合流地点下流付近(図9内No.1)に移動した。

各採取地点の魚種の相関性についての統計分析結果を表4に示す。相関係数は比較的高く、各採取地点の魚種は同じであるといえる。

(仮訳)

表4 魚種の相関性についての統計分析結果

Table with columns for months (Jan-03 to Mar-04) and sample numbers (No.1 to No.4). The table contains a grid of numerical data representing the results of statistical analysis on fish species correlations.

表5 種類・個体数・多様性指数

Table with columns for month (Jan-03 to Mar-04), sample number (No.1 to No.4), number of species (種類), number of individuals (個体数), and Shannon's Index (H' (Shannon's index)).

表6 採取された固体の平均体長

Table with columns for month (Jan-03 to Mar-04), sample number (No.1 to No.4), and average body length (平均体長) for various fish species: 台湾石鰕 (Acrossocheilus paradoxus), 明潭吻鰕虎 (Rhinogobius candidianus), 台湾溪石鰕 (Acrossocheilus paradoxus), and 台湾吻鰕虎 (Rhinogobius candidianus).

採取した魚類の種類 個体数及び多様性指数 (Shannon's Index(H'))を表5に示す。馬鞍ダムの上流採取地点での魚種数や個体数は下流の採取地点ほど多くない。また多様性指数 H' を月別にみると、多様性指数 H' はダム上下流であり変わらず、かつ一定の規律性がない。したがって採取地点間に多様性の差は見られず、ダム上下流の魚類生息地の構造にも明らかな差異はないといえる。また、採取地点間の魚類の組成比率について、Kuruskai - Wallis Test を行った結果、明らかな差は見られなかった。ANOVAの対象とする魚種は、各採取地点で優勢であった台湾石鰕 (Acrossocheilus paradoxus) (流れを好む)と明潭吻鰕虎 (Rhinogobius candidianus) (底棲)とした。採取された固体の平均体長等を表6に示す。各採取地点間で台湾石鰕 (Acrossocheilus paradoxus) の平均体長の分析したところ、F3,24=0.354 P=0.786となり、採取地点間に明らかな差は見られなかった。また、各採取地点間で明潭吻鰕虎 (Rhinogobius candidianus) の平均体長の分析したところ、F3,24=0.328 P=0.805となり、採取地点間に明らかな差は見られ

## (仮訳)

なかった。

また、2003年5月には、魚道出口にて台湾頰魚 (*Varicorhinus barbatulus*) と台湾間爬岩鰍 (*Hemimyzon formosanum*) が観察されたほか、2003年8月にはデニール式魚道の中で台湾石鰍 (*Acrossocheilus paradoxus*) ・粗首 (*Zacco pachycephalus*) が採集され、2003年9月にはプール式魚道入口で粗首 (*Zacco pachycephalus*) ・台湾石鰍 (*Acrossocheilus paradoxus*) ・明潭吻鰕虎 (*Rhinogobius candidianus*)、台湾間爬岩鰍 (*Hemimyzon formosanum*) が採集された。

以上の結果から、馬鞍ダムの上流・下流の採取地点間で魚種数や個体数などに明らかな差は見られず、馬鞍ダムが魚類の生息場所を隔離するような現象は見られなかった。また、上下流の魚種の組成の類似度も高く、本調査ではダムの上下流で魚種は連続しないという現象 (discontinuity) も見られなかった。魚道の中で何種類かの魚種が採取されていることから考えて、魚道がこれに貢献しているものと推察される。

## 6. 成功の要因

### (1) 事前の魚類調査

魚道の設計の基本となる大甲溪に生息する魚類の調査を実施した。この結果、対象とすべき魚類が明らかにした上で、設計を行うことができた。

### (2) 完成度の高い設計

設計に際し、魚道の検討経験が豊富な日本人専門家及び国内の魚類の生態に明るい台湾人専門家の意見をあおいた。その上で魚道の模型実験 (S=1/4) を行い、この結果を踏まえて形状を修正した。この結果、魚道内の流速が各種の魚類の遡上能力に適合するものとなっているほか、ダムの特性にも見合ったものとなった。

### (3) 操作性の良い魚道

ダム水位の運用を考慮した混合式魚道の採用により、構造が簡単で、操作等維持管理が容易な設計とすることができた。

## 7. 第三者のコメント

<台湾の水庫 pp. 23> 這種魚是利用水墊、沿程摩阻及水流封衝、擴散來消能、改善流態、降低過魚孔的流速、並能以調整過魚孔的型式、位置、尺寸的應習性魚類的需要、其結構簡單、維修方便、最近多採用這種形的魚道 (その構造は簡単で、維持補修が簡単で、最近多く採用される魚道の型式である。)

## 8. 詳細情報の入手先等

### 8.1 参考文献

- 1) ANNUAL REPORT, TAIPOWER 1995
- 2) PROSPECTIVE VIEW OF MAAN
- 3) QUESTIONNAIRE ON THE ST1, ANNEX, 1998
- 4) Shunroku Nakamura : A Review of Fish Passage Facilities in East Asia,
- 5) <http://homepage1.nifty.com/hhmm/masu/sub-mtext/tw-masu.html> MAYAMA Hiroshi
- 6) 林孟龍 etc. : 台湾的河流, 遠足文化, 2002
- 7) 兆慧 : 台湾的水庫, 遠足文化, 2002
- 8) <http://www.chinatimes.org.tw/features/river-new/rivers/00005-dacha-1.htm>
- 9) 時報文教基金會 Chinatimes Foundation



(仮訳)

- 10) 詹見平 etc , 大甲溪生態之旅( 上 ) , 大甲溪生態環境維護協會 , 1993
- 11) <http://fishdb.sinica.edu.tw> 中央研究院動物研究所
- 12) <http://www.oceantaiwan.com> 海洋台灣
- 13) <http://www.bio.ncue.edu.tw> 国立彰化師大生物學系

8.2 問い合わせ先

SHANG-HSIUNG YU

DIRECTOR

POWER DEVELOPMENT DEPARTMENT

TAIWAN POWER COMPANY

TEL: +886-2-2366-6850

FAX: +886-2-2368-3960

E - M a i l : [u063026@taipower.com.tw](mailto:u063026@taipower.com.tw)