

## 台灣本土性魚類魚骨型魚道上溯試驗研究

王順昌<sup>[1\*]</sup> 陳樹群<sup>[2]</sup>

**摘要** 河川溪流資源開發利用，係人類生命及文化重要的生存依據，由於臺灣山林坡陡與土質脆弱，河川坡陡流急，洪流泥砂輸砂量大，致造成河流不穩定，因此，以水利工程之方法設施如攔砂壩、攔河堰、固床工及水壩的興建，易導致生態物種單調化，嚴重則導致物種之滅絕，中斷溪流生態的連續性，阻斷魚類的洄游與遊憩。以往設置魚道常遇失敗的主因，包括對水理不佳、泥砂淤積、魚類生態之不瞭解、洪流破壞、流木撞擊損壞等。前人研究已對魚類溯游能力、魚道坡度及設計布置方面有部分研究結果，但尚少建立多樣性本土魚類上溯方面之探討。本研究，擬藉由魚骨型魚道較佳配置之水理、輸砂及魚類上溯路徑時對流速及流場變化分析探討，尋求適合於臺灣河川特性之魚道，促進本土魚類生態多樣性魚道使用，以發揮魚類生態保全之功效，以豐富自然生態系統及永續生息。

**關鍵詞**：攔砂壩、攔河堰、固床工、魚道、魚骨型、上溯路徑、輸砂。

### Migration Behaviors of Taiwan Indigenous Fish in the Fish-Bone-Type Fishway

shang- Chang Wang<sup>[1]</sup> Su-Chin Chen<sup>[2]</sup>

**ABSTRACT** Resource development and utilization of rivers and streams are the important survival basis of human life and culture. Owing to the steep slopes and fragile soil of Taiwan's mountains, rivers and steep slopes are swift and transportation of rivers sand sediment are big. They make water conservancy instable.

Facilities with hydraulic engineering, such as dams, weir, solid bed work and construction of the dam, easily lead to ecological species, monotonous, what is worse, to lead to the extinction of species interrupt the continuity of the stream ecology, resistance off fish migration and mobilization.

Before, the main reason of failure of setting the fishway, include lack of understanding of water management, sediment and fish ecology, torrent damages, floating woods impact damages. Previous people studies have partial results, but still less discussion for establishing diversity of fish. This study path test the flow rate and the flow field upstream sediment transport and fish by fish-bone-type fishway to seek fishway suitable for the characteristics of the rivers of Taiwan, to promote ecological diversity of fish use to play the effect of fish ecology preservation, to enrich natural ecosystems and sustainable interest-earning.

**Key Words:** Dams, Weir, solid bed, fishway, fish bone type, traced the path, sediment transport.

[1] 國立中興大學水土保持學系博士生 (\* 通訊作者 E-mail: [osc@wrap.gov.tw](mailto:osc@wrap.gov.tw))

Doctoral student, Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[2] 國立中興大學水土保持學系教授

Professor, Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

## 一、前言

臺灣本土魚類的生活史，受河川環境及河川構造物之改變而影響，魚類上溯之因素包含魚類內、外在因素及生理條件、水環境、魚類本身能力與特性等。河川溪流資源開發利用，係人類生命及文化重要的生存依據，由於臺灣河川特性坡陡流急，洪流泥砂輸砂量大，常造成河流不穩定，因此，水利設施如攔砂壩、攔河堰、固床工及水壩的興建，易導致生態物種單調化，中斷溪流生態的連續性，阻斷魚類的洄游與移動，嚴重則導致物種之滅絕。臺灣河川生物物種多樣，但體型較小，遇地形環境落差較大時，即無法上溯，所以營造友善的生態環境，係有助於河川生物及魚類健全生命發展，是需瞭解魚類所需運動流場環境，與好的魚道型式設計，來幫助生物及魚類，魚道設計係為使水流型態改變、減緩流速以使魚類順利溯游。Drucker,E.G.(1996),研究指出魚類或水中生物皆以游泳做為逃避天敵的方法，以及關係到覓食及求偶等能力。但臺灣魚道設計應用上，仍常遇到許多問題而導致失敗，例如泥沙淤積及水理不佳等。臺灣現有魚道大約九成以上為階段式魚道（pool and weir type fishway）其設計大多參仿國外以大型洄游性魚類為對象魚種之設計，忽略臺灣本土性魚類的生態需求，以致魚道設置後常發生魚道淤塞、洪流撞擊破損及有水無魚或無水等之窘境。在數值模擬上的研究甚多，但大多係考慮魚道本體及魚道上下游水域水理流場之研究，對於魚道泥砂及魚類上溯則較少。1991年日本廣瀨利雄與中村中六，提出應在設計魚道時，同時考慮魚道之上、下游附屬構造物之設置，以達到導游、集魚、補注、分流等較佳效果，有助於提供適合臺灣河川生物之通道設計。

本研究擬藉由魚骨型魚道輸砂及臺灣本土魚類上溯路徑試驗，以瞭解所設計之魚道型式在排砂、流速及流場變化，尋求適合於臺灣河川特性之魚道，期能發揮魚道設計功能，促進生態多樣性魚類使用，以豐富自然生態系統及永續生息。

## 二、前人研究

Jones,D.R.等(1974)，泳速也是魚類與許多水生生物主要存活的關鍵。Beamish,F.W.H.等(1978),對於魚類游泳速度之討論大多著重於魚類的最大持續泳速(MSSS)與突進泳速。Triantafyllou,G.S., Triantafyllou,M.S., and Grosenbaugh,M.A.,(1993)，研究認為魚類前進所產生的渦流，係魚類身體擺動後所產生之軌跡，且最大擺動幅度與頻率，所產生一個穩定的渦流強度與前進速度，在這樣的理論基礎上提出一個無因次參數  $St$ (Strouhal number)，用來描述魚類前進時所產生的渦流特性及判斷魚類前進之效率，研究結果指出魚類最佳之  $St$  參數值介於 0.25-0.4 之間 ( $St=fA/U$ ; 式中  $f$  為擺動頻率(Hz);  $A$  為渦流寬度(m);  $U$  為魚類平均游泳前進速度(m/s))。陳彥璋等(2006)，魚類運動時附近流場可視化之研究，利用高速攝影機技術運用，對試驗水槽中之台灣特有種臺灣繸口鰻的運動造成之移動軌跡明確判斷，得到最大游泳速度為 1.198m/sec 及最小速度為 0.37m/sec。

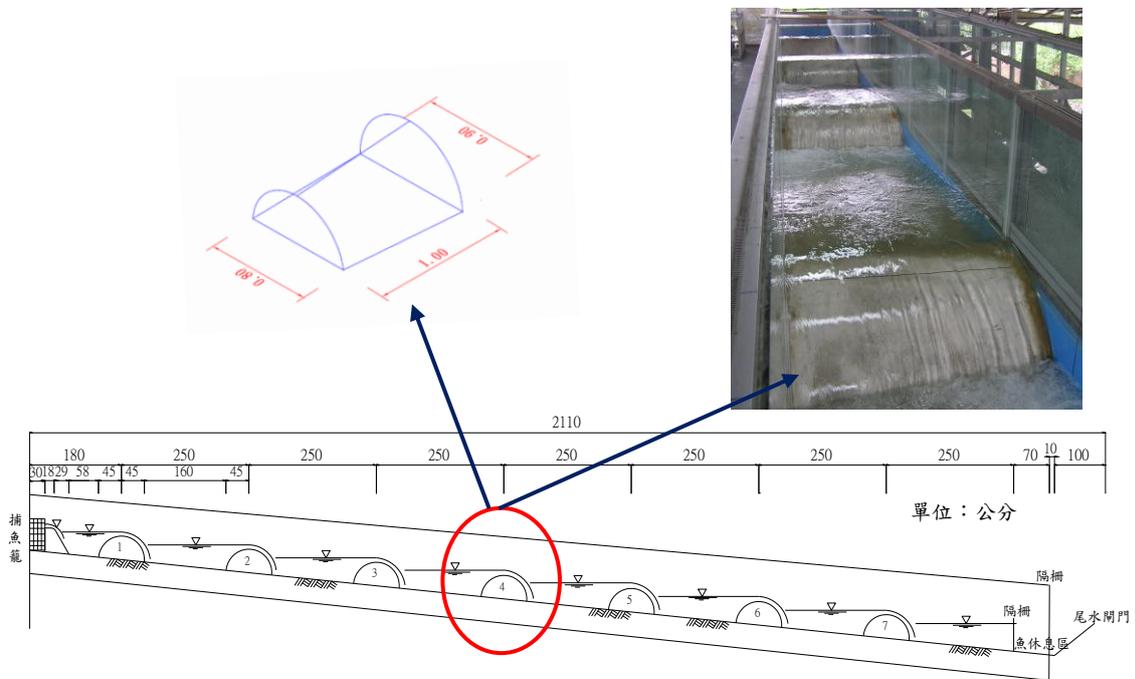
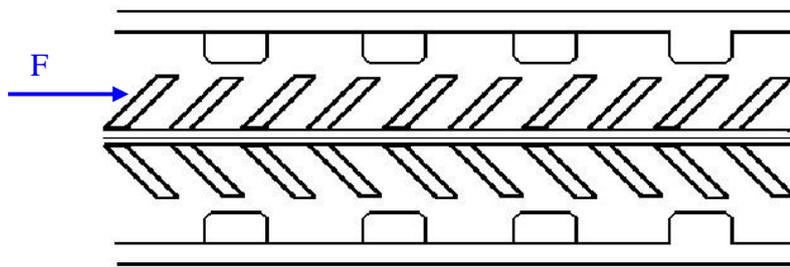
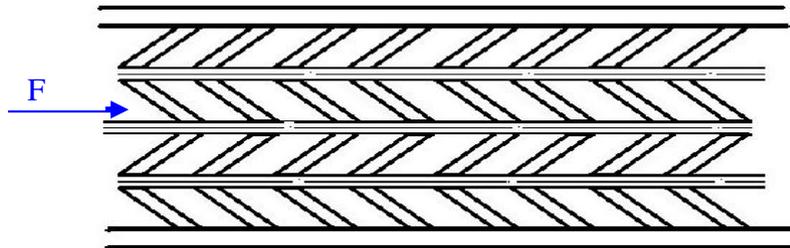
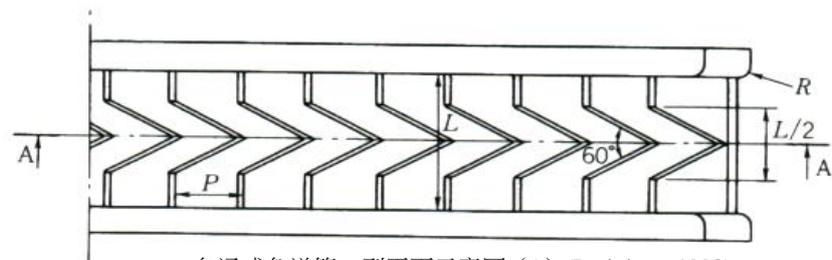
水池型魚道研究，以階段式魚道設計時必須考慮四大要素，如水位差、流量、隔板間距及坡度。其適用之魚類包括有台灣鏟頰魚、台灣石鱸、台灣馬口魚、粗首鱧、台灣爬岩鰻以及台灣繸口鰻等。設計的水位差應在 10 ~ 40 cm 之間。階段式潛孔口型魚道之設計比較適合於底棲性的魚類利用，此種魚道之流速受水位差與潛孔口形狀所控制，試驗經驗顯示，上下水位差若大於 30 cm，潛孔流速較難讓游泳性魚類通過，但對底棲性魚類的利用較易。

王瑞雯(2010)，垂直槽豎孔式魚道水理流場之研究，係為改善魚類的通道，因此首要任務是減少垂直槽豎孔的最大速度，利用粒子圖像及高速攝影機取得非常精細的速度場，當魚通過不同的寬度和坡度（從 5% 至 15%）豎孔式魚道，是由斜坡或階段的矩形渠道，以不同型式之隔板分隔成數個池子，流水經由隔板上之垂直豎孔往下游流動，較不受魚道內淤砂之影響，流速受水位差及閘口形狀所控制。

舟通式魚道可細分為三種(第一型、第二型以及改良型)。第一型是由法國工程師 Larinier 所提出的魚道原型，如圖 1 所示，改良型舟通式(魚骨型)魚道可供多樣魚類使用且對泥砂的排除效果良好，經過試驗包括跳躍性、攀爬性及鰻類亦可使用。

半圓錐型魚道，係以交錯的半圓錐體配置，在流量小時，水流集中於低半圓邊呈現水路型態，當流量大時，水流則呈現水池型態，兼具水路與水池兩種水流型態，流場的歧異度高，適合魚類多樣性的選擇，如圖 2 所示。

Katopodis(1990)，進行各種型式魚道之模型試驗，以現場及試驗室之研究成果，包括 6 種丹尼爾式魚道、18 種豎孔式魚道、3 種階段式魚道及 6 種暗管式魚道，探討流量率定曲線及特徵速度剖面等。現場調查著重於評估已存在之各種魚類及新建魚道之通過效果。試驗室工作主要在分析由試驗室及現場所獲得之結果比較，並探討魚類游泳特性之相關文獻資料，最後提出幾項重要發現及試驗成果：(1)設計魚道之生物及水力標準隨著魚的種類、大小而定。(2)魚道的效能主要考量係集魚效果及魚類是否能安全快速地通過魚道。(3)魚道入口處的集魚效果，主要與不同魚種的習性及溯游動機有關，因此對於目標魚種進行試驗，通常是魚道入口設計最佳指標。(4)在魚道中，魚類的溯游成功主要依靠游泳能力大於水的流速，游泳能力隨不同魚種、大小、溶氧量、水溫、PH 值及鹽分而異。流速決定於魚道種類、渠道坡度及水深，並且魚道流速與水深是流量與坡度的函數。



曾晴賢與李淑珠(1987)，研究指出魚道中的流速以不超過 1.5 m/s 為原則，保守流速為 1.2 m/s，魚道內之流速亦不可過小 0.4 m/s，避免魚類喪失上溯意願，較佳流速為 0.6 m/s，另必須確保魚道的水流量，洪水期間須確保魚道結構之安全，及避免魚道礫石淤積阻塞等，對於階段式魚道而言，階段高度應在 30 cm 以下，且一池的長度要有 2 m 左右，平均坡度在 1/10 以下，越流界限水深在 15 ~ 23 cm 之間。

胡通哲等(1999)，於大甲溪之八寶圳，進行階段式魚道之魚類跳躍高度試驗，當水位差超過 35 cm 後魚類越過率明顯降低，研判階段式魚道落差之設計應以不超過 35 cm 為佳，對魚類之溯游試驗，在無潛孔之階段式魚道，其台灣本土性魚類上溯數量之多寡與坡度成正比，研判與跳躍能力、流況(水花氣泡及聲響等)有關，而苦花魚受坡度的影響則不明顯。林家愈(1999)，進行三種魚道型式(階段式、潛孔式、豎孔式)之水工模型水理試驗，並以電磁式三維流速儀量測流場流速及進行水理特性之探討，獲得多項實用之結果。胡通哲(2001)，進行坡度對魚類在改良型舟通式魚道溯游影響之試驗研究，針對多樣性魚類溯游與泥砂排移效果試驗，以台灣鏟頰魚、台灣石鱸等的台灣原生魚種進行不同坡度及流量下的魚類溯游試驗，並於魚道上游處置 16 公斤級配卵石以 24 小時之泥砂冲刷試驗與流速測定等，由試驗結果推論游泳性魚類，如台灣鏟頰魚與台灣石鱸的極限坡度應為 1/4，最佳坡度為 1/8。王順昌(2002)，利用水槽模型試驗，針對魚骨型魚道之水理與泥砂特性試驗研究，主要目的在於瞭解魚道入口水理及泥砂運移等機制，建立魚骨型魚道最佳設計布置之參考依據，提供台灣本土性魚類較適用型式之魚道。

葉明峰等(2004)，藉由採集、馴養試驗魚、環型水槽、流速、水溫、光照、溶氧控制系統及錄影監測系統等試驗相關設備之配置與試驗條件，完成 6 種試驗魚之巡航速度、突進速度及游泳速度與體長間之關係，包括：台灣鏟頰魚、台灣石鱸、台灣馬口魚、粗首鱨、平頰鱨、明潭吻鰕虎，除充實河川生態基礎資料庫外，亦提供有關單位魚道設計施工時之參考。試驗過程發現，明潭吻鰕虎因係底棲性淡水魚，在野外自然環境中多以其特化成吸盤狀的腹鰭攀附在岩石上抵抗水流的沖擊，而少如鯉科魚類以左右擺動的方式頂流游泳。該魚種在無流速時係停棲在底部管壁，當水槽流速增加時，即以其盤狀的腹鰭攀附在管壁以抵抗水流之沖擊，直至力竭無法與強水流抗衡而貼在觀察部下方的隔離網。

台北科技大學水環境研究中心(2005)，以環形循環水槽的實驗方式，建立平頰鱨與台灣鏟頰魚之生物參數，包括最大持續流速與跳躍能力。試驗結果發現，平頰鱨在高度 40 cm 時仍可跳躍成功，而台灣鏟頰魚在高度達 30 cm 後，即無法成功跳躍。此外，也比較在不同高度時，各種體長等級的平頰鱨與台灣鏟頰魚，跳躍成功隻比例。結果發現在高度 10 cm 時，體長 50 mm 以上的平頰鱨與台灣鏟頰魚，均有跳躍成功的個體。隨著跳躍高度的增加，跳躍成功的個體數逐漸減少，而體長 50 ~ 100 mm 的平頰鱨，在高度 10 ~ 30 cm 時，跳躍成功的比例均較高。而高度達 40 cm 時，僅一隻體長超過 100 mm 的平頰鱨跳躍成功。整體而言，平頰鱨之跳躍能力大於台灣鏟頰魚。

揚津豪(2006)，根據前人研究結果，整理台灣魚類適合的水深與流速資料，其中某些魚種目前沒有實測資料。此外，鱧鰻在水流速度超過 0.4 m/sec 時，會改以蛇行狀的擺動的方式鑽行於淺水邊。台灣石鱸之棲地水深適合與水深呈正相關，水深愈大適合度有愈佳的趨勢，水深 70 cm 以上則相反，推測台灣石鱸最喜好的水深應該 60 cm 左右。

中區水資源局(2006)，對於石岡壩魚道生態監測與效能評估的研究報告指出，石岡壩附設的階段式魚道本體適合各種魚類的利用，對於較小型的魚類或是蝦類溯河也沒有問題。然而，魚道整體系統性的最大問題是魚道出口(進水口)的開口低於正常水位達 3.4 m，因此導致進水口流速過高。相對的也會使得許多垃圾流木堵塞住魚道出口，導致魚道通流量不穩定。此外，魚道入口的位置僅止於第一個消能池，因為副壩缺乏適當魚道提供下游生物上溯的條件，因此大多只有攀爬能力較強的魚類可以利用本魚道上溯。此外，報告中根據六項設計之條件，以評估魚道效能，包括：(1)魚道入口(出水口)必須容易誘集魚類。(2)能夠長期保持有適當的水流。(3)構造必需適合本地魚種習性，和魚類溯河時之體長使用。(4)避免造成魚類的傷害或造成魚的過度疲勞。(5)建造、管理和維持要儘量簡便，建造費不宜過高。(6)保全設施必須完全。

中區水資源局(2007)，針對集集攔河堰之魚道進行效能評估。該地區主要的洄游性生物為純淡水性的鯉科魚類和平鰭鰍科魚類，以及洄游性的蝦類。集集攔河堰附設魚道屬於階段式，每一階段的高差為 30 cm，底部設有潛孔，藉以調節水流。由於高差過大，每一階的越流部和潛孔部之流速都超過 2 m/sec 以上，對於當地的魚類而言並不適合。此外，現有的設計結構與通水條件，本魚道無法達到原有設計的效果，實際的調查也證實這樣的問題。因此研究報告亦針對問題，提出魚道的改善建議，如：魚道本體加裝隔壁、魚道本體形式修改為垂直導壁式、魚道本體底部加裝方形石籠、增設雙開門設計等。

數值模擬研究方面，Tsujiimoto and Shimizu (1996)，採用  $k-\epsilon$  紊流模式，進行多種水路型魚道之流場模擬。Meselhe and Odgaard (1998)採用有限差分法配合曲線座標系統與紊流模式，以三維的雷諾平均納維耳-斯托克斯方程式(Reynolds-averaged Navier-Stokes equations)，進行哥倫比亞河 Wanapum 壩附設之魚道水工模型試驗，以及流場數值模擬應用。Andreas and Tobias (1999)採用有限體積法為基礎的 Star-CD 商業模式，配合 ICFM CFD 劃分區塊網格，進行 Leine 與 Ihme 河旁附設的魚道流場模擬，將模擬結果與水工模型試驗結果比較，供現場魚道建置的參考。Gotoh *et al.* (1999)採用數值方法 MPS(moving particle semi-implicit method)，進行階段式魚道之流場模擬。Meselhe *et al.* (2000)延續 Meselhe and Odgaard (1998)所發展的三維水流模式之驗證，將數值模擬結果與現場試驗量測資料進行比較探討。Masayuki and Shinako (2001)採用有限體積算則，進行兩種不同豎孔式魚道之流場模擬結果顯示，水深與流場之模擬結果與試驗值相吻合。Cea *et al.* (2007)發展由水深平均紊流數值模式，進行豎孔式魚道之數值模擬，並將在三種不同流量下之模擬結

果與試驗值進行比較驗證，結果顯示相吻合。

吳富春等(1998)，應用物理棲地模式 PHABSIM(Physical Habitat Simulation System)，包含水理演算與棲地模擬兩部份，推估濁水溪之生態基流量，並針對集集攔河堰下游河段之生態放流量進行評估，探討各種放流量方案對於維護河溪內魚類棲地之功效。陳正昌(2003)，以蘭陽溪為研究案例，探討丁壩工對魚類棲地面積之影響，使用水平二維水理輸砂 TABS-2 模式為主要模擬工具，在定床水理模擬後，可知丁壩壩域最佳之長寬比為 3~3.4 之間，在此較佳之配置下魚類棲息地面積均有增加，顯見丁壩工對生態棲息地的正面影響。許銘熙與蘇騰鉉(2003a)，採用三階段 MacCormack 顯式模式進行豎孔式魚道之流場模擬，利用白金漢進行參數之因次分析，依據不同長寬比之魚道，建立休息池之無因次水深與豎孔處無因次水深公式。施上粟等(2004)，以擬似二維數值水理模式 NETSTARS 進行生態工法規劃設計流程之通洪能力分析，並以水平二維水理模式 TABS-2 進行不同工法對魚類棲地面積的影響研究。

由於臺灣河川坡陡流急、颱洪暴雨常夾帶大量泥沙等特性，因此臺灣魚道設計應用上仍常遇到許多問題而導致失敗，又臺灣現有魚道九成以上為階段式魚道，大多參仿國外以寒帶大型洄游性魚類為對象魚種之設計範例，忽略臺灣本土性魚類的生態需求，以致魚道設置後常發生魚道泥砂淤塞或有水無魚等情況，魚骨型魚道近年來在臺灣河川溪流現場布置已有較多之採用，本研究將進一步對魚道之排砂及本土魚類之上溯路徑加以探討，以做為臺灣河川魚類生態保育及永續利用。

### 三、試驗布置

#### 3.1 模型布置與方法

本試驗採用單寬模型，乙座由鋼骨基座長 10 公尺之可調坡度(蹺蹺板型式)魚道，模型底座為 6 公釐之鋼板，其上部側牆為 15 公釐透明壓克力、高 0.3 公尺，魚道內魚骨主幹阻流材以上等亞杉木材做成魚骨型角材(寬 0.1 公尺、高 0.1 公尺)，主幹兩側魚骨傾斜 45 度，第一個阻水箱為長 66.72cm 寬 20cm 高 25cm，其後兩旁邊阻水箱(長 75.6cm 寬 20cm 高 25cm)為防水三夾板做成總共 8 對，休息區(長 52.4cm)，坡度 1/8 及 1/10 布置設計，魚骨型魚道布置平面圖及測點布置示意圖，如圖 3 所示，魚道模型側面布置示意圖，如圖 4 所示，本模型為可調整坡度之魚道，流量之供應，由一頭水箱長 3 公尺、寬 2 公尺、高 1.5 公尺，連接魚道間伸縮縫 0.2 公尺之後為魚道模型長 10 公尺、內寬 1 公尺、高 0.3 公尺，再接下游沈砂池長 3.2 公尺、寬 1.1 公尺，水流繞流經三角堰(長 5.3 公尺、寬 2.1 公尺)，再流入蓄水溝循環利用。試驗單位寬流量設定為 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1 及 0.15 m<sup>3</sup>/sec-m 等 6 種。

採用之泥砂平均粒徑  $D_m = 9.27\text{mm}$  及  $D_m = 10.77\text{mm}$  兩種，加砂量之估算，考慮河床坡度 1/100 時所推移之砂量為依據，在衡量試驗材料及施放能力，採用梅爾-彼得(Meyer-Peter)推移載公式(水利局「防洪工程規劃講義」，1981)計算得：

$$g_s^{2/3} = 250q^{2/3}S - 42.5D_{50} \quad \text{----- (1)}$$

式中  $D_{50}$  = 中值粒徑(m)；  $g_s$  = 推移載(kg/sec-m)；  $q$  = 單寬流量(m<sup>3</sup>/sec-m)；  $S$  = 河川坡降(%)

該式係適用於粗粒徑河床，求得在平均粒徑 9.27mm； $q=0.075 \text{ m}^3/\text{sec}$  時推移載為 0.012kg/sec， $q=0.1 \text{ m}^3/\text{sec}$  時推移載為 0.055kg/sec， $q=0.15 \text{ m}^3/\text{sec}$  時推移載為 0.175kg/sec。在平均粒徑 10.77mm 時只有在  $Q=0.1 \text{ m}^3/\text{sec}$  時有推移載為 0.023kg/sec， $q=0.15 \text{ m}^3/\text{sec-m}$  時有推移載為 0.124kg/sec，模型試驗加砂量表，詳如表 1 所示。

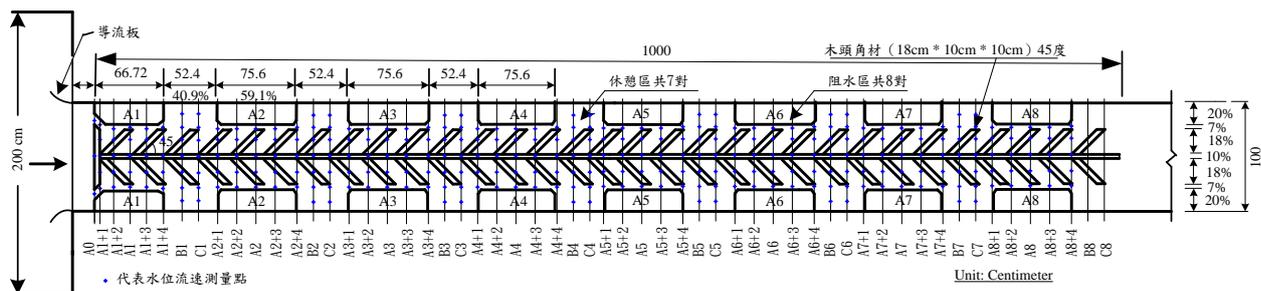


圖 3 魚骨型魚道模型斷面測點及平面布置示意圖

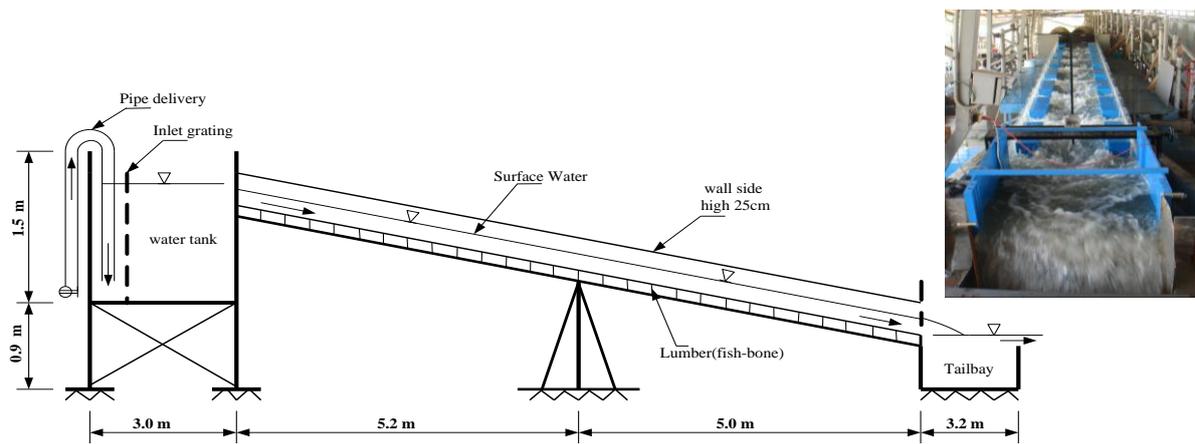


圖 4 魚骨型魚道模型側面布置示意圖

表 1 魚骨型魚道加砂試驗量表(坡度 1/8、1/10)

流量 $q(m^3/sec)$	0.075		0.100		0.150	
粒徑 $dm(mm)$	9.27	10.77	9.27	10.77	9.27	10.77
加砂 100 分鐘總量(kg)	70.1	140.1	333.2	745.3	1049.6	

### 3.2 試驗方法

本試驗係利用魚道下方之三角堰，以體積法求得頭水箱水位與流量率定曲線公式， $h=-489.82x^2+232.31x+50.098$ ， $R^2=0.9996$ 。流速量測以二維電磁流速儀量測（KENEK VM801D 型主機，VMT2-300-04P 測棒）。水深水位之量測，係採用魚道上方之手動固定鐵架所架設微調游標針尺垂直魚道量得。水深（位）及流速量測縱斷面編號分別為  $A_0$  及  $A_{1+1}$ 、 $A_{1+2}$ 、 $A_1$ 、 $A_{1+3}$ 、 $A_{1+4}$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ ，共 8 組計 56 個斷面，每組 39 個點，總計有 303 個測點（斷面  $A_0$ 、 $A_{1+1}$ 、 $A_{1+2}$ 、 $A_1$ 、 $A_{1+3}$ 、 $A_{1+4}$ ~ $A_{8+1}$ 、 $A_{8+2}$ 、 $A_8$ 、 $A_{8+3}$ 、 $A_{8+4}$  各 5 個點，共 205 個測點， $B_1$ 、 $C_1$ ~ $B_7$ 、 $C_7$  各 7 個點，共 98 個測點， $A_0$  共 3 個測點），每 1 點各測 3 次後再取平均。

輸砂用磅秤採用 Jadever 廠牌-jps-1050 型。加砂試驗以每 10 分鐘為一加砂單元，共 100 分鐘，後再繼續以清水沖刷 100 分鐘，停水後計算其殘留魚道內泥砂量，於試驗中每 10 分鐘收砂一次，直至 110 分鐘止，第 110~200 分鐘為最後，試驗至第 200 分鐘為停水時間。

多樣性魚類魚道試驗水質參數採用 YSI 廠牌多探頭水質測定儀，量測魚道內相關環境數據，包括水溫(°C)、酸鹼值(PH)、總溶解固體量(TDS)、導電度(CON)、溶氧量(DO)、鹽度(Sal)等。

### 3.3 魚類上溯率試驗方法

- (1)量測魚道內相關環境數據，包括水溫(°C)、酸鹼值(PH)、總溶解固體量(TDS)、導電度(CON)、溶氧量(DO)、鹽度(Sal)等。
- (2)記錄每隻試驗魚兒之體長、重量。
- (3)每次試驗取游泳性魚類粗首鱧、台灣石斑及何氏棘魷各 50 尾及白鰻 10 尾，於試驗前 30 分鐘放入魚道下端休息池適應水溫及環境等。
- (4)試驗時間總共放水 180 分鐘，前 60 分鐘試驗中，每 10 分鐘計算各區（池）魚類上溯數，60~180 分鐘魚類繼續上溯或下降，直至 180 分鐘時關水，並計算各池魚類上溯數及上溯成功（進入魚籠）之數目，在關水之前先將魚籠關閉，以免魚兒因水量變動而隨水下降。

### 3.4 魚類上溯試驗

多樣性魚類係選台灣特有種游泳性魚類如粗首鱧、台灣石斑、何氏棘魷、白鰻，多樣性魚類魚種如照片 1 所示。

#### 1.粗首鱧（台灣特有種）

分佈於全省各地溪流，俗名溪哥、苦槽仔、闊嘴郎（雄），外形口大，斜裂達眼直下方，體背側略灰綠色，體側腹部銀白色，雄魚兩側具有十條淺灰色狹長橫紋，除背鰭與尾鰭外，其餘及各鰭之鰭膜在生殖季時呈現黃紅橙色，初級性淡水魚，性喜涼溫性水域，廣棲於河川上中外游水域之淺流、淺瀨、深流、深潭，及水庫湖泊

與溝渠等多種型態水域，幼魚為雜食性，以水生昆蟲及在水面上活動的昆蟲為食，主要攝食附著性藻類，成長後轉為肉食性，嗜食昆蟲、小魚及蝦，繁殖期主要在春夏季，多隻雄魚經追逐與打鬥後，勝利者與雌魚在河床砂粒上排精、產卵。

#### 2.台灣石鱮(台灣特有種)

分布於西部各河川溪流，俗名石斑，外形圓長，具有兩對鬚，體側有七條暗灰色的橫紋，尤以幼魚最為明顯，為雜食性魚類，成魚體長可達 30 公分，初級性淡水魚，亞底棲性，主要棲息於河川中游較清澈之淺流、深流、深潭中，白天喜鑽入石縫裡，幼魚則穿棲於河岸石頭間，夜行攝食屬雜食性，主要攝食石頭上的藻類、溪底的各種水生昆蟲，雄、雌魚的吻部均有追星，雄魚個體較小，魚卵有毒，避免誤食。

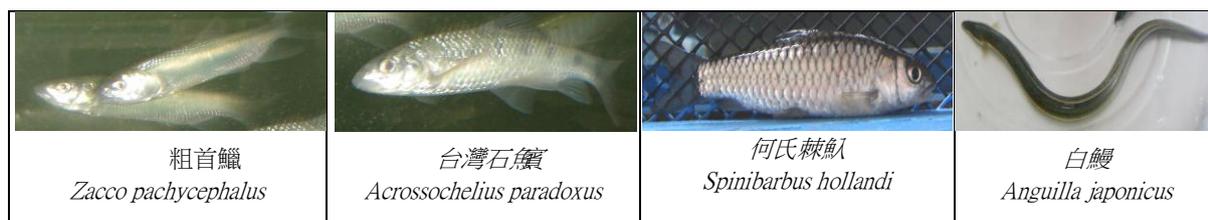
#### 3.何氏棘魮(台灣特有種)

分布於曾文溪、高屏溪、卑南大溪、秀姑巒溪、花蓮溪及烏溪，俗名更仔、留仔，初級性淡水魚，本種成魚主要在河川具有深潭之區域中棲息，幼魚則在溪岸之淺水區常可發現，大多棲息在河川中下層水域且河底為礫石之河段，性活潑而善跳躍。主要以水生昆蟲、小魚、蝦為食，生長快，可長至 30-40 公分。

#### 4.白鰻

分布於全省各地溪流，降河性洄游魚類，淡水魚底棲性，常棲息於低海拔之河川深潭、水庫、池沼底粗的土穴、石縫中。魚類體延長似蛇狀，軀幹部圓柱形，尾部側扁尖形尾，口裂開於吻端、達於眼睛後緣下方，體表面光滑，多黏液，背鰭起點至鰓裂的距離大於至肛門的距離還長，為主要的辨認特徵之一，胸鰭短小而寬圓，無腹鰭，體側無斑紋，背部灰黑色至黃褐色，腹部白色，成魚體長一般為 40 公分，重約 1 公斤，大者體長可至 130 公分，體重 5 公斤，存活達 17 年，夜行攝食者，肉食性，嗜食小魚、小蝦及水生昆蟲等，一般在秋冬季節降河游入海中產卵，卵孵化後之幼魚即隨海流漂游，待發育成線鰻後，再順漲潮時溯河而上，於淡水中成長。

照片 1 各類魚種圖照（王順昌）



## 四、試驗成果分析與討論

### 4.1 水深方面

當坡度 1/8 時水深方面每區段之各斷面尚屬一致，惟第一段為入水流段（A0、A1+1、A1+2、A1、A1+3、A1+4、B1、C1）明顯束縮水流情況，當流量 0.016m<sup>3</sup>/sec-m 時 B1 平均水深為 6.44cm，其後 A2~A8 段水流急變情況較為一致，其中 B2~B7 綜合平均水深為 5.2cm 最淺，如表 2 所示。

當坡度 1/10 時水深方面每區段之各斷面變化亦尚屬一致，各斷面平均水深較坡度 1/8 時深一些，惟入水流段（A0、A1+1、A1+2、A1、A1+3、A1+4、B1、C1）一樣有明顯束縮水流情況，當流量 0.016m<sup>3</sup>/sec-m 時 B6 平均水深為 5.71cm 最淺，其後 A2~A8 段水流變化情況一致，其中 B2~B7 綜合平均水深為 5.12cm 最淺，如表 3 所示。

表 2 魚骨型魚道各斷面綜合平均水深(坡度：1/8)

單位：cm

流量 斷面	0.016 m <sup>3</sup> /sec-m	0.032 m <sup>3</sup> /sec-m	0.048 m <sup>3</sup> /sec-m	0.075 m <sup>3</sup> /sec-m	0.1 m <sup>3</sup> /sec-m
A0	13.70	17.00	19.80	23.80	27.50
A1+1	12.97	15.96	18.77	22.99	26.42
A1+2	9.64	11.55	14.32	18.54	21.98
A1	10.94	12.39	13.72	16.14	18.54
A1+3	8.91	12.56	15.10	15.98	17.92
A1+4	7.05	11.56	13.82	16.87	18.79
B1	6.44	10.67	12.06	15.57	17.69
C1	9.47	11.85	14.66	17.80	19.05
A2~8+1	9.95	12.54	16.00	18.62	21.32
A2~8+2	7.96	10.88	13.31	16.74	20.09
A2~8	9.33	11.79	16.03	19.39	21.99
A2~8+3	7.44	11.41	14.50	17.86	20.60
A2~8+4	6.02	11.29	15.45	18.21	19.87
B2~8	5.20	10.02	12.56	14.87	17.60
C2~8	6.78	10.76	15.71	18.34	21.27

表 3 魚骨型魚道各斷面綜合平均水深(坡度：1/10)

單位：cm

流量 斷面	0.016 m <sup>3</sup> /sec-m	0.032 m <sup>3</sup> /sec-m	0.048 m <sup>3</sup> /sec-m	0.075 m <sup>3</sup> /sec-m	0.1 m <sup>3</sup> /sec-m
A0	14.30	18.10	21.00	24.50	28.40
A1+1	13.52	16.19	18.09	23.48	27.07
A1+2	10.99	12.04	14.80	19.00	22.54
A1	15.15	17.99	18.47	20.85	23.12
A1+3	10.16	12.86	14.56	16.74	18.70
A1+4	8.64	12.18	14.12	17.64	19.89
B1	8.63	11.45	13.38	16.64	18.51
C1	10.39	12.97	15.62	18.61	20.36
A2~8+1	10.09	14.59	16.45	19.32	21.56
A2~8+2	8.72	12.23	15.02	18.84	21.45
A2~8	9.75	14.07	16.26	20.01	22.52
A2~8+3	8.19	12.90	15.69	17.97	20.33
A2~8+4	6.68	12.97	16.24	18.49	20.35
B2~8	5.12	9.72	11.52	13.90	16.15
C2~8	6.33	12.31	13.92	16.35	18.38

#### 4.2、流速方面

當坡度 1/8 時在流速方面每區段之各斷面因屬急變流有些許差異變化與不一致，第一區段為入水流段 (A0、A1+1、A1+2、A1、A1+3、A1+4、B1、C1) 明顯束縮水流情況，當流量 0.016m<sup>3</sup>/sec-m 時 A1 綜合平均流速為 0.735m/sec，A2~A8 之綜合平均流速為 122.6cm/sec，如表 4 所示。當流量 0.01m<sup>3</sup>/sec-m 時水流只集中於魚骨兩旁水道，致部分流速比其他較大流量下之流速大，經重複量測無誤，研判係因水流集中未溢流滿過魚骨所致。在流速方面各階段之各斷面發生最高平均流速在 A 斷面處，當流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時單點量測之最高流速高於平均流速分別為 220.4、238.7、230.5、277.5、294.5cm/sec，如表 5 所示，發生位置以 C 斷面魚骨中間點較多。

當坡度 1/10 時在流速方面每區段之各斷面因屬急變流有些許差異變化與不一致，第一區段為入水流段 (A0、A1+1、A1+2、A1、A1+3、A1+4、B1、C1) 明顯束縮水流情況，當流量 0.016m<sup>3</sup>/sec-m 時 A1 綜合平均流速為 69.5cm/sec，A2~A8 之綜合平均流速為 108cm/sec，如表 6 所示。由於水流只集中於魚骨兩旁水道，

致部分流速比其他較大流量下之流速大，經重複量測無誤。在流速方面各階段之各斷面發生最高平均流速在 A 斷面處，當流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時單點量測之最高流速高於平均流速分別為 113.8、148、226.5、273.8、283.8cm/sec，如表 7 所示，發生位置以 C 斷面魚骨中間點較多。

表 4 魚骨型魚道各斷面綜合平均流速比較 S:1/8 單位：cm/sec

斷面編號	0.016 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.032 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.048 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.075 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.1 (m <sup>3</sup> /sec-m)
A0	13.7	25.5	33.9	42.8	44.2
A1+1	49.2	54.7	59.2	67.5	75.0
A1+2	61.7	80.4	85.7	90.2	98.5
A1	73.5	115.0	144.8	144.8	169.3
A1+3	75.3	89.6	124.2	142.6	153.5
A1+4	79.3	104.2	101.0	72.3	111.2
B1	70.0	86.8	98.2	92.2	96.5
C1	43.8	62.5	61.8	31.6	59.4
A2~8+1	114.94	101.65	109.33	144.53	150.78
A2~8+2	88.69	98.90	93.84	111.25	133.20
A2~8	122.58	137.82	128.00	133.88	145.80
A2~8+3	100.53	113.64	96.93	125.07	139.52
A2~8+4	106.57	111.78	68.33	105.46	109.59
B2~7	81.29	85.09	90.84	108.14	115.88
C2~7	62.71	82.18	46.11	67.21	91.73

表 5 平均流速與點最大流速比較 S:1/8 單位：cm/sec

流量 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.016	0.032	0.048	0.075	0.1
平均最大流速 (cm/sec)	126.4	138.6	144.8	169.3	181.8
位置	A5	A6	A1	A1	A1
點最大流速 (cm/sec)	220.4	238.7	230.5	277.5	294.5
位置	B6	A7+4,B7	C5 中間	C6 中間	C2 中間

表 6 魚骨型魚道各斷面平均流速比較 S:1/10 單位：cm/sec

斷面編號	0.016 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.032 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.048 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.075 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.1 (m <sup>3</sup> /sec-m)
A0	16.9	24.2	32.3	46.0	52.2
A1+1	57.2	54.7	61.8	67.6	75.8
A1+2	72.7	72.2	80.3	78.6	105.6
A1	69.5	69.5	95.4	103.2	117.4
A1+3	69.4	89.2	118.1	136.8	143.6
A1+4	86.9	100.7	89.7	116.3	106.8
B1	53.7	78.5	94.5	86.7	101.4
C1	38.7	50.5	44.9	50.8	61.9
A2~8+1	104.3	88.4	113.1	136.2	146.7
A2~8+2	95.2	72.9	81.3	107.8	128.8
A2~8	108.0	106.4	122.8	129.5	140.7
A2~8+3	101.1	74.4	99.7	126.0	137.7
A2~8+4	105.0	71.8	69.2	93.2	100.2
B2~7	63.4	67.8	75.8	87.6	99.2
C2~7	62.3	36.6	40.9	62.8	76.8

表 7 平均流速與點最大流速比較 S:1/10 單位：cm/sec

流量 (m <sup>3</sup> /sec-m)	0.016	0.032	0.048	0.075	0.1
平均最大流速 (cm/sec)	113.8	111.7	136.3	139.4	149.8
位置	A6	A2	A8	A2	A8
點最大流速 (cm/sec)	113.8	148	226.5	273.8	283.8
位置	A6	B1 中間	B3 中間	C2 中間	C4 中間

#### 4.3 輸砂試驗結果

當坡度 1/8 時魚骨型魚道輸砂排砂情形，在平均粒徑 9.27 公釐及流量 0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 於 110 分鐘時皆可排除分別 95.82%、98.26%，至 200 分鐘時可排出 98.2~99.82%，詳如表 8 所示。在平均粒徑 10.77 公釐及流量 0.1 m<sup>3</sup>/sec-m 於 110 分鐘時皆可排除分別 96.58%，至 200 分鐘時可排出 99.65%。本型式之魚道可將水流輸送進來之泥砂順利排除，輸砂試驗情形，如照片 2~4 所示。

當坡度 1/10 時魚骨型魚道輸砂排砂情形，在平均粒徑 9.27 公釐及流量 0.075、0.1 m<sup>3</sup>/sec-m 於 110 分鐘時皆可排除分別 82.03%及 95.82%，至 200 分鐘時可排出 96.85%及 99.44%，詳如表 9 所示。在平均粒徑 10.77 公釐及流量 0.1 m<sup>3</sup>/sec-m 於 110 分鐘時皆可排除分別 90.49%，至 200 分鐘時可排出 98.39%。本型式魚道當坡度 1/10 時之水流輸送雖較坡度 1/8 時之泥砂排除弱一些，但仍可順利排除 96.85%以上之泥砂。

表 8 魚骨型魚道加砂試驗總表(坡度 1/8)

流量 q(m <sup>3</sup> /sec-m)	0.075		0.100			
粒徑 dm(mm)	9.27		10.77		9.27	
加砂總量(kg)	70.1		140.1		333.2	
已沖刷時間(min)	100~110	110~200	100~110	110~200	100~110	110~200
總輸砂率	95.82%	98.20%	96.58%	99.65%	98.26%	99.82%
殘留魚道砂石量與百分比	1.26kg	1.80%	0.49kg	0.35%	0.61kg	0.18%

表 9 魚骨型魚道加砂試驗總表(坡度 1/10)

流量 q(m <sup>3</sup> /sec-m)	0.075		0.100			
粒徑 dm(mm)	9.27		10.77		9.27	
加砂總量(kg)	70.1		140.1		333.2	
已沖刷時間(min)	100~110	110~200	100~110	110~200	100~110	110~200
總輸砂率	82.03%	96.85%	90.49%	98.39%	95.82%	99.44%
殘留魚道砂石量與百分比	2.21kg	3.15%	2.26	1.61%	1.86kg	0.56%



照片 2 流量 0.075 時分段收砂完成情形、試驗後殘留於 C 斷面情形



照片 3 流量 0.1 時分段收砂情形、試驗後殘留於 C 斷面情形、分段收砂完成情形



照片 4 加砂預備及分段收砂、試驗中砂石暫留、少部分殘留於 C 斷面情形

#### 4.4 魚類上溯試驗結果

##### 1、魚道坡度 1/8 時上溯試驗結果（春季）：

###### (1)、粗首鱧（台灣特有種）

粗首鱧於流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時上溯成功入籠率 20~56%之間，如圖 5 所示，上溯試驗情形如照片 5 所示。較佳上溯流量在 0.075m<sup>3</sup>/sec-m，成功上溯率達 56%，此平均最大流速約 1.693m/sec，單點最大流速 2.775m/sec，第 1 尾上溯成功最快時間為 990sec，如表 10 所示，以上溯成功率情形初步研判流量在 0.075m<sup>3</sup>/sec-m 以下皆適合上溯，其上溯路徑於流量小時，都在魚骨兩側之集水道上溯，如圖 6（1）~（4）所示。

###### (2)、台灣石鱧（台灣特有種）

台灣石鱧於流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時上溯成功入籠率 30~46%之間，如圖 5 所示，上溯試驗情形如照片 6 所示。較佳上溯流量在 0.1m<sup>3</sup>/sec-m，成功上溯率達 46%，此平均最大流速約 1.818m/sec，單點最大流速 2.945m/sec，第 1 尾上溯成功最快時間為 400sec，如表 10 所示，以上溯成功率情形初步研判流量在 0.1m<sup>3</sup>/sec-m 以下皆適合上溯，台灣石鱧於上溯時較粗首鱧之上溯更活躍，如圖 7（1）~（4）所示。

###### (3)、何氏棘魴（台灣特有種）

於流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時上溯成功入籠率 20~56%之間，如圖 5 所示，上溯試驗情形如照片 7 所示。較佳上溯流量在 0.075m<sup>3</sup>/sec-m，成功上溯率達 56%，此平均最大流速約 1.693m/sec，單點最大流速 2.775m/sec，第 1 尾上溯成功最快時間為 1,238sec，如表 10 所示。當流量在 0.016m<sup>3</sup>/sec-m 時成功上溯率只有 20%，以上溯成功率情形初步研判流量在 0.032~0.1m<sup>3</sup>/sec-m 間皆適合上溯，另影響上溯意願原因由可能為水流只集中於兩旁水道，另一為何氏棘魴喜歡急流跳躍方式上溯應為主因，其上溯路徑於流量小時，多於休息區休息，流量大時則喜歡一路衝游，如圖 8（1）~（4）所示。

###### (4)、白鰻

白鰻係屬夜行性魚類，以前於白天試驗之固床瀑布式及半圓錐型魚道上溯試驗，對於上溯有些許影響，平均上溯率 30~90%之間，當流量 0.048、0.032m<sup>3</sup>/sec-m 時，白鰻第 1 尾上溯成功入籠最快時間分別於

30 秒及 120 秒，如表 10 所示。上溯完成時間於 74 分鐘及 73 分鐘，魚道全長 10 公尺，白鰻魚身長為 38 公分至 45.5 公分。在流量 0.016、0.032、0.048m<sup>3</sup>/sec-m 時上溯成功入籠率 70~90%之間，如圖 5 所示，上溯試驗情形如照片 8 所示。初步判斷較佳上溯流量在 0.032m<sup>3</sup>/sec-m，成功上溯率達 90%，此平均最大流速約 1.386m/sec，當流量在 0.075m<sup>3</sup>/sec-m 時成功上溯率只有 50%，另試驗中發現於試驗開始 1 小時內上溯成功率約 30%，其上溯路徑於流量小時，多於兩旁水道上溯，流量大時則喜歡魚骨上方一路衝游，如圖 9 (1) ~ (4) 所示。

游泳性魚類上溯路徑於各流量下，休息區之流速介於 43.4~115.9cm/sec 之間，逆流區則介於 122.6~181.8cm/sec 之間，詳如表 11 所示，由休息區及逆流區之流速觀察，試驗之四種魚類都能適應及順利上溯。

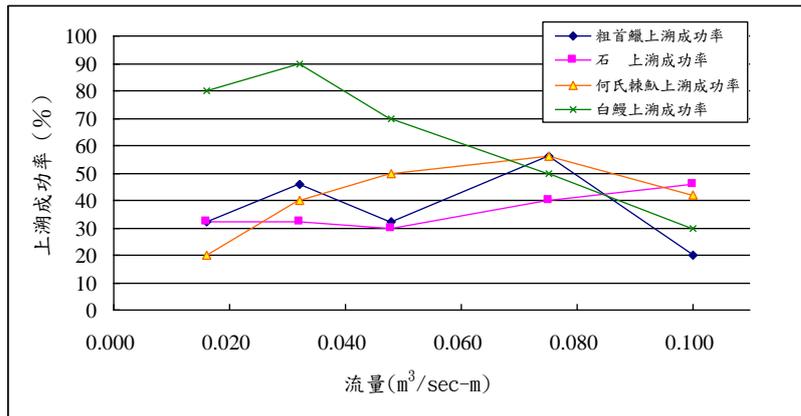


圖 5 魚骨型魚道各魚種上溯成功率比較 (春季)

表 10 魚骨型魚道各魚種第 1 尾上溯成功之時間比較 (春季)

流量(m <sup>3</sup> /sec-m)	粗首鱸上溯時間 (sec)	台灣石上溯時間 (sec)	何氏棘魷上溯時間 (sec)	白鰻上溯時間 (sec)
0.016	2190	810	2360	3220
0.032	1067	293	1960	120
0.048	1079	250	3310	30
0.075	990	460	1238	649
0.100	1680	400	2090	649

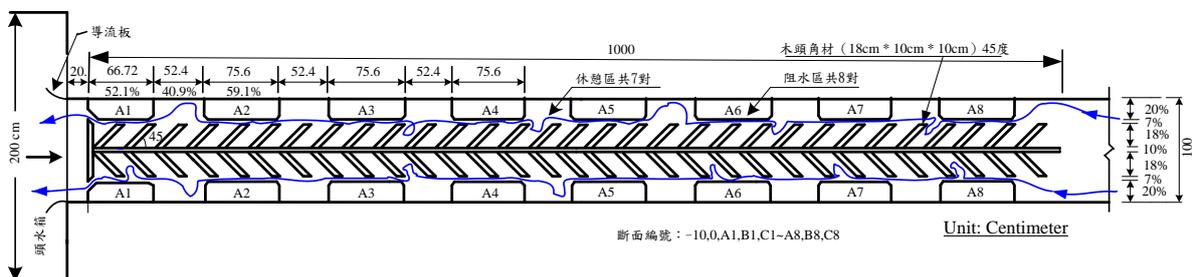


圖 6 (1) 魚骨型魚道粗首鱸上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.016cms)

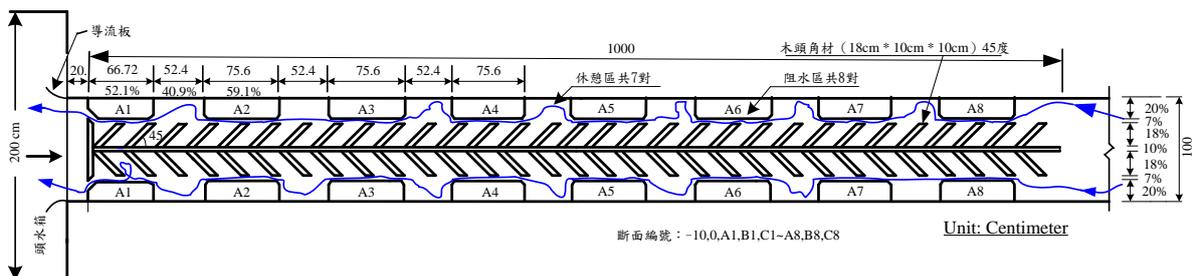


圖 6 (2) 魚骨型魚道粗首鱸上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.032cms)

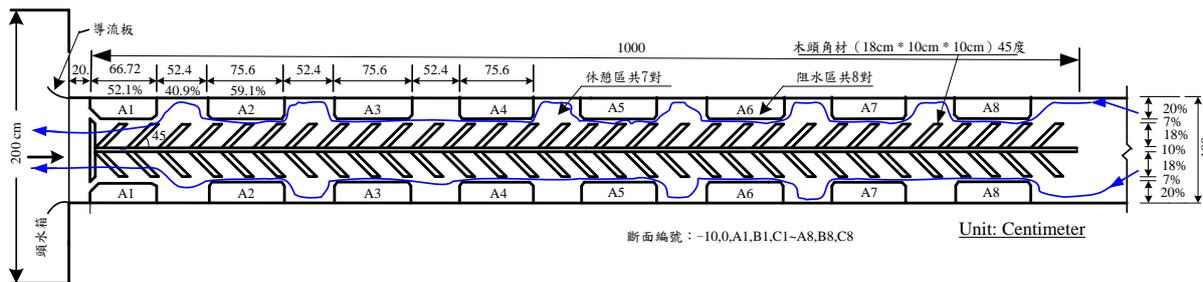


圖 6 (3) 魚骨型魚道粗首鱧上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.048cms)

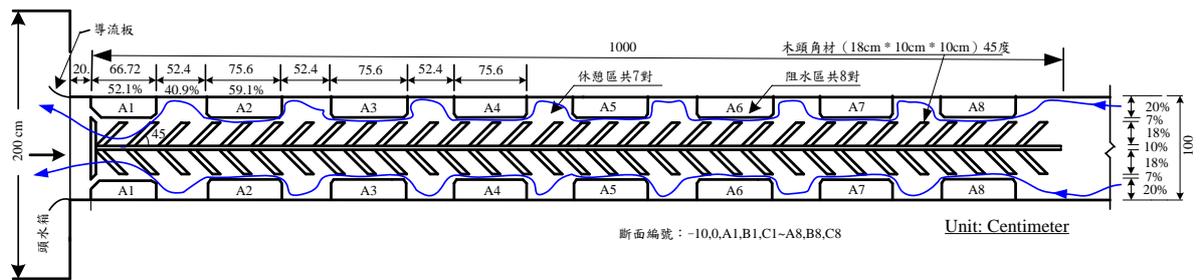


圖 6 (4) 魚骨型魚道粗首鱧上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.075cms)

表 11 魚骨型魚道魚類上溯路徑各區之平均流速

流量 (m <sup>3</sup> /sec-m)	休息區 (cm/sec)	逆流區 (cm/sec)
0.016	43.4~81.3	122.6
0.032	62.5~86.8	137.8
0.048	46.1~98.2	144.8
0.075	31.6~108.1	169.3
0.1	59.4~115.9	181.8

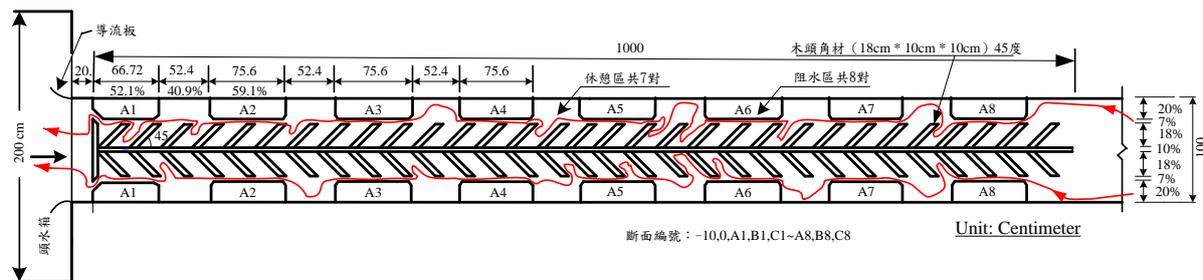


圖 7 (1) 魚骨型魚道台灣石鱚上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.016cms)

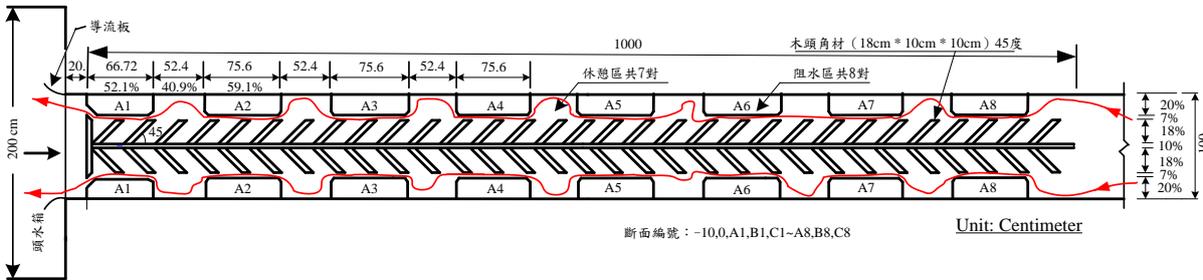


圖 7 (2) 魚骨型魚道台灣石鱚上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.032cms)

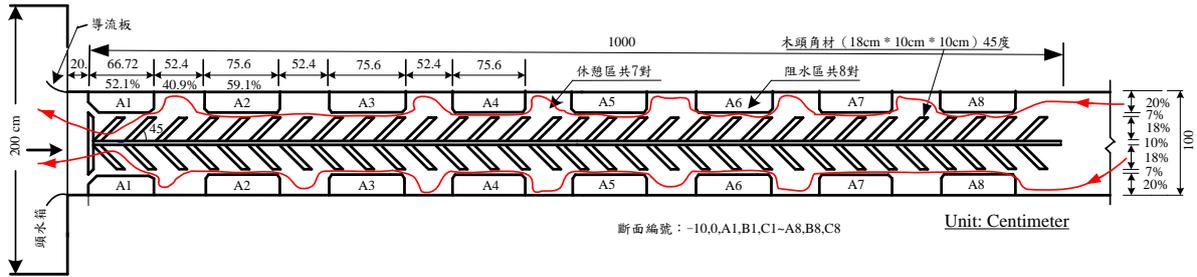


圖 7 (3) 魚骨型魚道台灣石鱚上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.048cms)

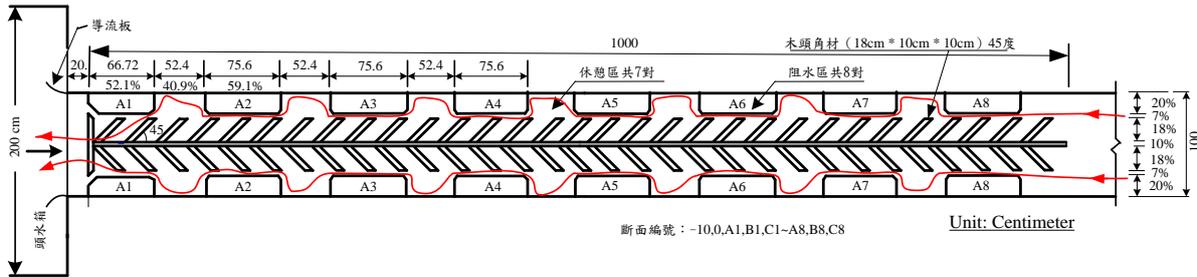


圖 7 (4) 魚骨型魚道台灣石鱚上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.075cms)

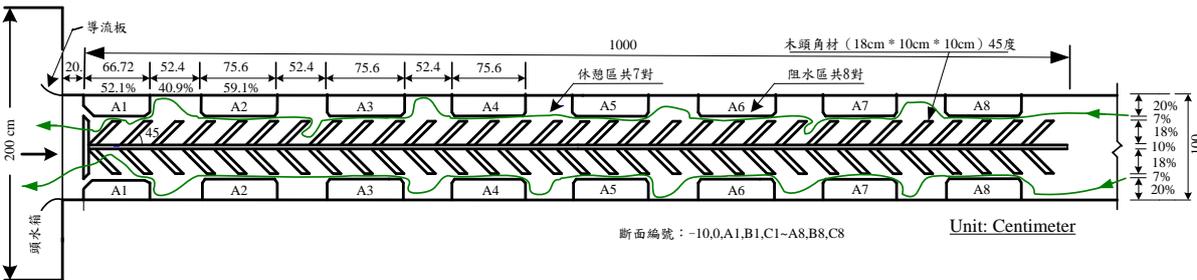


圖 8 (1) 魚骨型魚道何氏棘魮上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.016cms)

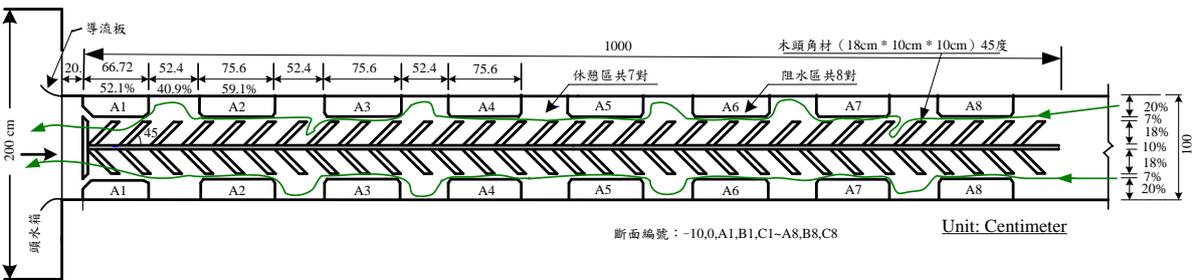


圖 8 (2) 魚骨型魚道何氏棘魮上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.032cms)

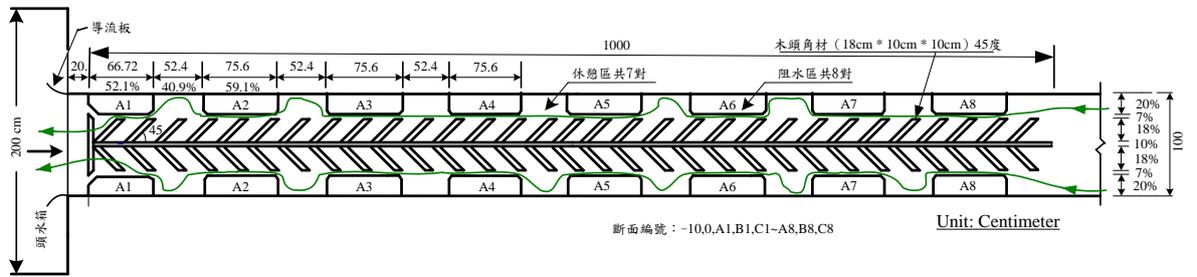


圖 8 (3) 魚骨型魚道何氏棘魮上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.048cms)

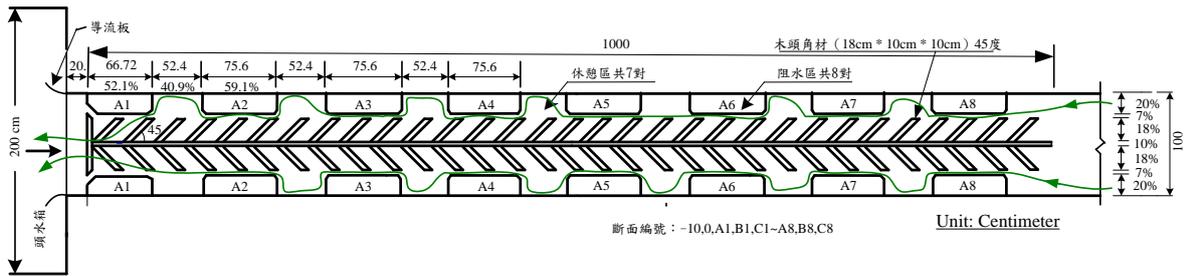


圖 8 (4) 魚骨型魚道何氏棘魷上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.075cms)

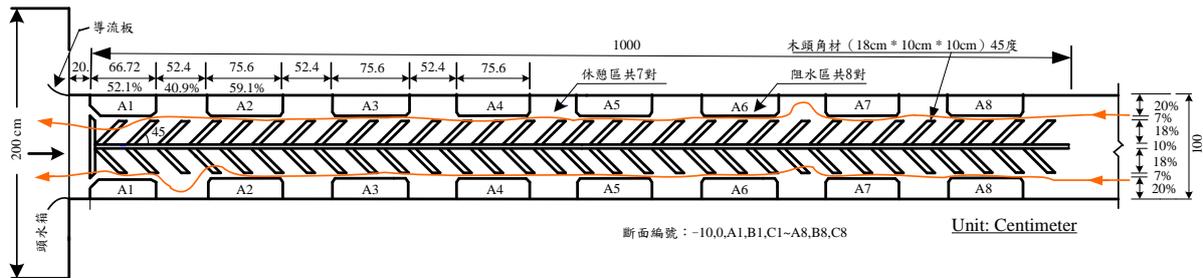


圖 9 (1) 魚骨型魚道白鰻上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.016cms)

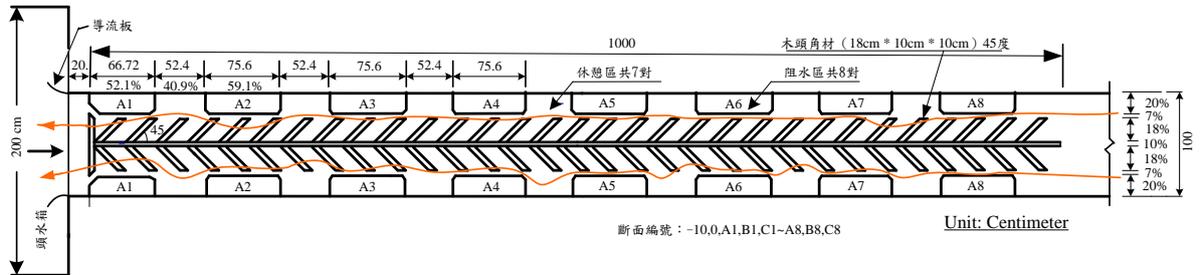


圖 9 (2) 魚骨型魚道白鰻上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.032cms)

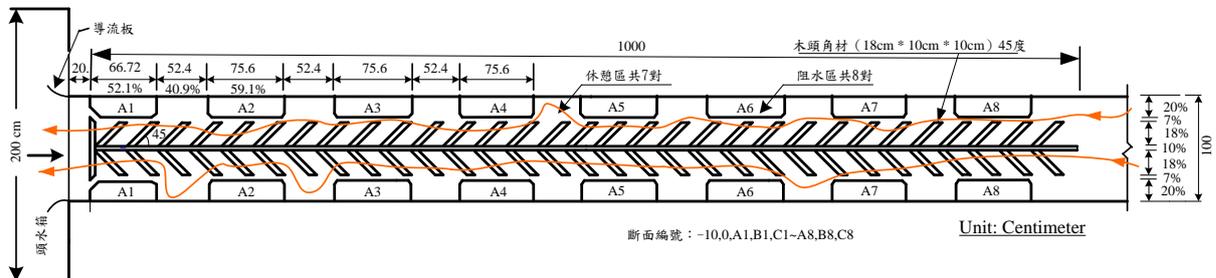


圖 9 (3) 魚骨型魚道白鰻上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.048cms)

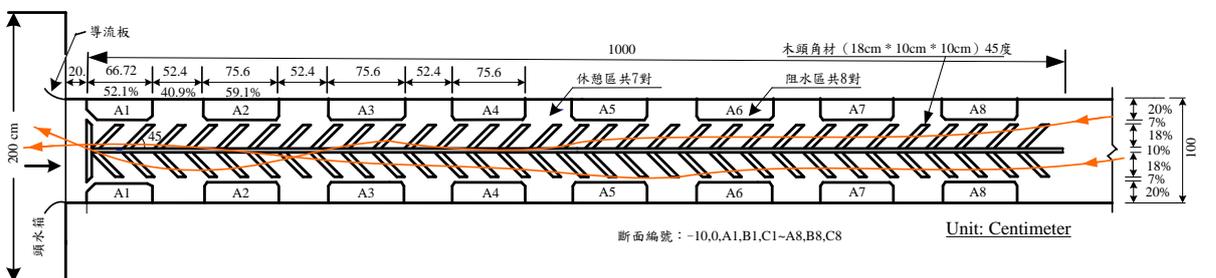
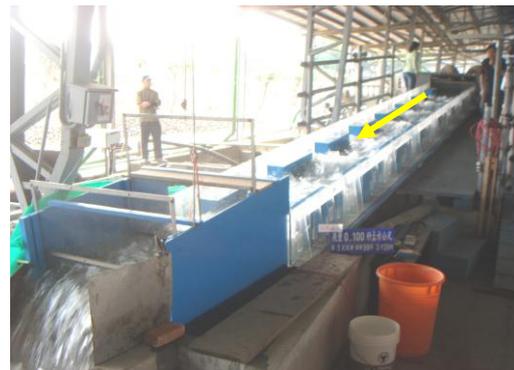


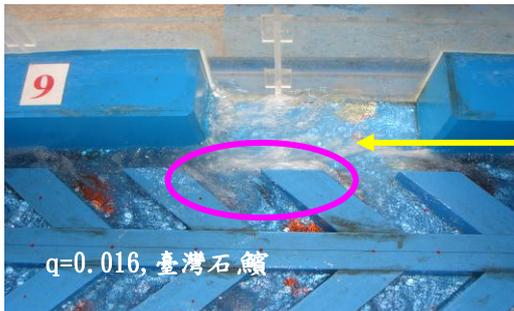
圖 9 (4) 魚骨型魚道白鰻上溯路徑 (S:1/10、1/8;q=0.075cms)



照片 5 粗首鱻上溯試驗情形



照片 6 臺灣石鱻上溯試驗情形



照片 7 何氏棘魮上溯試驗情形



照片 8 白鰻上溯試驗情形

## 2、魚道坡度 1/10 時上溯試驗結果 (夏季)：

### (1)、粗首鱻(台灣特有種)

粗首鱻夏季試驗於流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時上溯成功入籠率 52~100%之間，如表 12 所示。較佳上溯流量在 0.1m<sup>3</sup>/sec-m，成功上溯率達 100%，此平均最大流速約 1.498m/sec，單點最大流速 2.838 m/sec，上溯試驗 T<sub>50</sub> 為 1,543 秒，如表 13 所示，流量在 0.032m<sup>3</sup>/sec-m 時第 1 尾上溯成功最快時間為 65 秒，如表 14 所示，以上溯成功率情形初步研判流量在 0.1m<sup>3</sup>/sec-m 以下皆適合上溯。

### (2)、台灣石鱻 (台灣特有種)

台灣石鱻夏季於流量 0.016、0.032、0.048、0.075、0.1m<sup>3</sup>/sec-m 時上溯成功入籠率 38~94%之間，如

表 12 所示。較佳上溯流量在  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$ ，成功上溯率達 94%，此平均最大流速約  $1.17\text{m}/\text{sec}$ ，單點最大流速 1.48 公尺/秒，上溯試驗  $T_{50}$  為 1,543 秒，如表 13 所示，第 1 尾上溯成功最快時間為 132 秒，如表 14 所示，以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯。

(3)、何氏棘魷 (台灣特有種)

何氏棘魷夏季試驗於流量  $0.016$ 、 $0.032$ 、 $0.048$ 、 $0.075$ 、 $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時上溯成功入籠率 26~78% 之間，如表 12 所示。較佳上溯流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$ ，成功上溯率達 78%，此平均最大流速約  $1.498\text{m}/\text{sec}$ ，單點最大流速  $2.838\text{m}/\text{sec}$ 。上溯試驗  $T_{50}$  為 3,900 秒，如表 13 所示，流量在  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時第 1 尾上溯成功最快時間為 113 秒，如表 14 所示，以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯，惟流量  $0.016\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時有減低上溯意願上溯成功入籠率只有 26%。

(4)、白鰻

白鰻夏季試驗於流量  $0.016$ 、 $0.032$ 、 $0.048$ 、 $0.075$ 、 $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時上溯成功入籠率 60~100% 之間，如表 12 所示。較佳上溯流量在  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$ ，成功上溯率達 100%，此平均最大流速約  $1.117\text{m}/\text{sec}$ ，單點最大流速  $1.48\text{m}/\text{sec}$ ，上溯試驗  $T_{50}$  為 840sec，如表 13 所示，流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時第 1 尾上溯成功最快時間為 32sec，如表 14 所示，以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯。

綜合夏季上溯試驗環境相關參數，游泳性魚類粗首鱚試驗時平均溫度 27.8 度、PH8.31，台灣石鱚試驗時平均溫度 27.9 度、PH8.15，何氏棘魷試驗時平均溫度 27.7 度、PH8.18，白鰻試驗時平均溫度 27.9 度、PH8.23。

表 12 魚骨型魚道各魚種上溯成功率比較 (夏季)

流量( $\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$ )	粗首鱚	台灣石	何氏棘魷	白鰻	大和沼蝦
0.016	52%	38%	26%	60%	8%
0.032	84%	94%	48%	100%	74%
0.048	58%	74%	66%	90%	0%
0.075	76%	68%	74%	80%	0%
0.100	100%	60%	78%	80%	0%

表 13 魚骨型魚道各魚種上溯  $T_{50}$  時間 (夏季)

流量( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	粗首鱚上溯時間(sec)	台灣石 上溯時間(sec)	何氏棘魷上溯時間(sec)	白鰻上溯時間(sec)
0.016	6842	無	7200	1200
0.032	1801	2789	7200	1689
0.048	8102	2660	3900	2430
0.075	3822	5880	4660	900
0.1	1543	6774	6600	840

表 14 魚骨型魚道各魚種第 1 尾上溯成功時間 (夏季)

流量( $\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$ )	粗首鱚上溯時間(sec)	台灣石 上溯時間(sec)	何氏棘魷上溯時間(sec)	白鰻上溯時間(sec)
0.016	601	1361	1621	64
0.032	65	132	1106	43
0.048	504	172	228	290
0.075	510	261	113	36
0.1	435	794	257	32

五、結論

- (一)、魚道水深於坡度 1/8、1/10 之最少流量時，至少都有 5 公分以上，對於本試驗之台灣特有種魚類等尚足以供其使用無疑。當流量  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時水深恰滿魚骨高度約 10~12 公分之間，適合本試驗魚類身高之 4~5 倍水深。當流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時水深高度約 20 公分之間，仍不影響魚類的上溯使用。
- (二)、魚道流速於坡度 1/8 時略高於坡度 1/10 約  $0.2\text{m}/\text{sec}$  左右。當流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下時魚道 A1 斷面平均流速約  $1.5\text{m}/\text{sec}$  左右，但魚道內單點最高流速達  $2.2\sim 2.9\text{m}/\text{sec}$  左右，但仍然可供本試驗之台灣特有種魚類上溯使用無疑。
- (三) 魚道輸砂考慮河床坡度 1/100 時所推移進入魚道內之輸砂情況於坡度 1/8 時，當平均粒徑 9.27 公釐及 10.77 公

釐時於加砂完後 10 分鐘之輸砂率達 95.8~98.3%之間，第 200 分鐘時之輸砂率達 98.2~98.8%之間，本魚道布置設計皆能順利排除淤砂。當坡度 1/10 時，平均粒徑 9.27 公釐及 10.77 公釐時於加砂完後 10 分鐘之輸砂率達 82.0~95.8%之間雖有較多淤砂，但第 200 分鐘時之輸砂率達 96.9~99.4%之間，尚能順利排除淤砂。

- (四) 當坡度 1/8 及春季時游泳性魚類上溯試驗結果粗首鱧、台灣石鱚、何氏棘魷等上溯成功率，粗首鱧以流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 56%，流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時第一尾上溯完成最快 990 秒。台灣石鱚以流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 46%，流量  $0.048\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時第一尾上溯完成最快只要 250 秒。何氏棘魷以流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 56%，流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時第一尾上溯完成最快 1,238 秒。白鰻則以流量  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳達 90%，流量  $0.048\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時第一尾上溯完成最快只要 30 秒。上溯試驗結果研判粗首鱧、台灣石鱚、何氏棘魷及白鰻等台灣特有種之游泳性魚類於流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時有較佳之上溯成功率。
- (五) 當坡度 1/10 時粗首鱧上溯成功率結果，夏季粗首鱧以流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 100%，第一尾上溯完成最快以流量  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時只要 65 秒，上溯試驗  $T_{50}$  最快以流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時於 1,543 秒完成，粗首鱧以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯。
- (六) 當坡度 1/10 時台灣石鱚上溯成功率結果，夏季台灣石鱚以流量  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 94%，第一尾上溯完成最快以流量  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時只要 132 秒，上溯試驗  $T_{50}$  最快以流量  $0.048\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時於 2,660 秒完成，台灣石鱚以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯。
- (七) 當坡度 1/10 時何氏棘魷上溯成功率結果，夏季何氏棘魷以流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 78%，第一尾上溯完成最快以流量  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時只要 113 秒，上溯試驗  $T_{50}$  最快以流量  $0.048\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時於 3,900 秒完成。何氏棘魷以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯，惟流量在  $0.016\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時因水流集中於魚骨兩旁水道及水深只 5 公分左右，較不適合習性喜愛跳躍游泳之何氏棘魷上使用，因此上溯成功率偏低。
- (九) 當坡度 1/10 時白鰻上溯成功率結果，夏季白鰻以流量  $0.032\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率最佳為 100%，第一尾上溯完成最快以流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時只要 32 秒，上溯試驗  $T_{50}$  最快以流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時於 840 秒完成。白鰻以上溯成功率情形初步研判流量在  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  以下皆適合上溯而且上溯成功率 80% 以上，惟夏季時流量在  $0.016\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時因水流集中於魚骨兩旁水道及水深只 5 公分左右影響上溯成功率但亦有 60%。
- (十) 本魚道模型水槽春季試驗期間平均水溫介於 22.2~23.6 度之間，夏季試驗期間平均水溫介於 27.7~27.9 度之間，一般現場河川環境水溫約 15~26 度左右，模型試驗水溫尚能符合試驗魚類使用，現場河川環境水溫都較模型試驗低一些。
- (十一) 春季試驗游泳性魚類粗首鱧、台灣石鱚、何氏棘魷等累積 180 分鐘之上溯成功率分析比較結果，以粗首鱧流量  $0.032$  及  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率較高，並於 120 分鐘時上溯成功率達 40% 以上。以台灣石鱚流量  $0.075$  及  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率較高，分別於 150 及 180 分鐘時上溯成功率達 40% 以上。以何氏棘魷流量  $0.048$  及  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率較高，並於 150 分鐘時上溯成功率達 40% 以上。由上溯時間之顯示粗首鱧上溯時間較快，台灣石鱚及何氏棘魷較有停留延遲之現象。
- (十二) 夏季試驗游泳性魚類粗首鱧、台灣石鱚、何氏棘魷等累積 180 分鐘之上溯成功率分析比較結果，以粗首鱧各流量  $0.016$  至  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率皆高，並於 90 分鐘時上溯成功率達 40% 以上，甚至於流量  $0.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時於 60 分鐘即以 100% 全部上溯完成。以台灣石鱚流量  $0.032$  至  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率較高，於 35 分鐘時上溯成功率達 40% 以上。以何氏棘魷流量  $0.048$  及  $0.075\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}$  時之上溯成功率較高，並於 60 分鐘時上溯成功率達 40% 以上。由上溯時間之顯示台灣石鱚上溯時間較快，次之何氏棘魷，最後為粗首鱧，夏季上溯速度較春季快。
- (十三) 魚骨型魚道上溯試驗結果，游泳性魚類粗首鱧、台灣石鱚、何氏棘魷及白鰻等上溯成功率皆高，且輸砂排砂效果佳。上溯路徑於各流量下，休息區之平均流速介於  $43.4\sim 115.9\text{cm}/\text{sec}$  之間，適合魚類休息之速度區域，逆流區平均流速則介於  $122.6\sim 181.8\text{cm}/\text{sec}$  之間，對於試驗之四種魚類皆有能順利上溯，流量大時在魚骨上方溯游而上。

## 六、參考文獻

1. 台北科技大學水環境研究中心，(2005)，「水庫集水區生態水工結構物設計參數之建立(2/3)」，成果報告。
2. 吳富春、胡通哲、李國昇、李德旺，(1998)，「應用棲地模式估算台灣河川之生態流量」，第九屆水利工程研討會，中壢，C21-C28。
3. 林家愈，(1999)，「魚道之水理研究」，台灣大學農工所碩士論文。
4. 施上粟、李鴻源、胡通哲，(2004)，「台中柳川應用生態工法於魚類棲地改善之研究」，中華水土保持學報，35(3)，229-239。

5. 胡通哲、張世倉、李訓煌，(1999)，“八寶圳階段式魚道之設計與試驗”，中華水土保持學報，30(1)，25-32。
6. 胡通哲，(2001)，“坡度對魚類在改良型舟通式魚道溯游影響之研究”，第十二屆水利工程研討會論文集，F47-F54。
7. 胡通哲、陳鴻烈，(2002)，“仁澤一號防砂壩魚道現地改善之設計施工與評估”，台灣林業，28(2)，19-23。
8. 胡通哲、陳鴻烈、林新發、林志訓，(2004)，“粗坑溪生態環境調查與魚道規劃”，中華水土保持學報，35(3)，197-210。
9. 胡通哲，(2005)，“砂婆礑溪六號防砂壩魚道增設工程規劃設計”，林務局花蓮林區管理處委託。
10. 胡通哲，(2006)，“國有林生態工法之研究(1/2)”，林務局。
11. 胡通哲，(2007)，“國有林生態工法之研究(2/2)”，林務局。
12. 許銘熙、蘇騰鏞，(2003a)，“豎孔式魚道水理分析”，台灣水利，51(4)。
13. 許銘熙、蘇騰鏞，(2003b)，“豎孔式魚道流速分布”，台灣水利，51(1)。
14. 陳正昌，(2003)，“丁壩工對魚類棲地面積之影響--以蘭陽溪為應用案例固床工對棲地流況影響之數值研究”，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
15. 陳樹群、王順昌，(2002)，“魚骨型魚道之水理及泥砂特性試驗研究”，中華水土保持學報，第33卷，第4期，271-282。
16. 張世倉、李德旺、李訓煌，(1998)，“烏石坑溪攔砂壩對河川生態的影響及其魚道效用之評估”，中日溪流生態保育研討會論文集，133-150。
17. 曾晴賢、李淑珠，(1987)，“魚道的設計指南及案例”，中國水產419，21-28。
18. 黃鄧達，(2004)，“源溪集水區魚骨型魚道水理特性之研究”，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
19. 揚津豪，(2006)，“河川生態廊道與魚類物理棲地之水理模式研究”，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
20. 經濟部水利署水利規劃試驗所，(2007a)，“河川生物通道流場模擬與虛擬實境展示系統建置(2/2)”，成果報告。
21. 經濟部水利署水利規劃試驗所，(2007b)，“河川型態應用於棲地環境復育之研究(2/2)”，成果報告。
22. 經濟部水利署中區水資源局，(2006)，“石岡壩魚道效能評估與上下游河道水域生態監測總報告”，成果報告。
23. 經濟部水利署中區水資源局，(2007)，“95年度集集攔河堰營運階段水域生態及水質監測”，成果報告。
24. 經濟部水利署臺北水源特定區管理局，(2007)，“北勢溪既有防砂壩、棲地、魚道功能評估及改善方案基本設計”，成果報告。
25. 葉明峰、李訓煌、張世倉、陳榮宗，(2004)，“台灣馬口魚、粗首鱸、平頰鱸、明潭吻鰕虎游泳能力之研究(3/3)”，行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
26. 廣瀨利雄、中村中六，(1991)，“魚道の設計”，山海堂(日文)。
27. 顏正平、羅煌木，(1996)，“攔河壩與魚道設置對水資源利用及環境生態保育之影響”，水土保持學報，28(1)，63-72。
28. 陳彥璋等，(2006)，魚類運動時附近流場可視化之研究，中國土木水利工程學刊，第十八卷，第四期，PP.603-610。
29. Andreas, H., and Tobias, L. (1999). “Restoration of Linear Passage for the Aquatic River Fauna--Physical Model Tests and Hydrodynamic 3D Flow Modeling Optimizing a Natural Shaped Fishway at the River Leine.” *Proceedings of the 1999 International Water Resources Engineering Conference*, Seattle, USA.
30. Beamish, F. W. H.(1978), “Swimming capacity,” Hoar, W. S. & Randall, D. J., Eds., *Fish physiology*, Vol. 7, Academic Press Inc., New York, pp. 101-187.
31. Cea, L., Pena, L., Puertas, J., Vazquez-Cendon, M. E., and Pena, E. (2007). “Application of several depth-averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(2), 160-172.
32. Drucker, E. G. (1996), “The use of gait transition speed in comparative studies of fish locomotion,” *Am.Zool.*, Vol.36, No 6, pp.555-566.
33. Gotoh, H., Sakai, T., and Shibahara, T. (1999). “Lagrangian approach to flow-velocity field under the existence of the drastic change of water surface.” *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, 43, 509-514.
34. Jones, D. R., Kiceniuk, J.W., and Bamford, O. S., (1974), “Evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River,” *Journal of the Fisheries Research Board Canada*, Vol. 31, pp.1641-1647.
35. Katopodis, C. (1990). “Advancing the art of engineering fishways for upstream migrants.” *Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu*, 19-28.
36. Masayuki, F., and Shinako, K. (2001). “Numerical simulation of flow in vertical slot fishways using solution adaptive quadtree grids.” XXIX IAHR Congress, Sept. 16-21, Theme D 876, Beijing, China.
37. Meselhe, E. A., and Odgaard, A. J. (1998). “3D numerical flow model for fish diversion studies at wanapum dam.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(12), 1203-1214.

38. Meselhe, E. A., Weber, L. J., Odgaard, A. J., and Johnson, T. (2000). "Numerical modeling for fish diversion studies." *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(5), 365-374.
39. Sfakiotakis, M., Lane, D. M., and Davies, J. B. C. (1999). "Review of fish swimming modes for aquatic locomotion" *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 237-252.
40. Triantafyllou, G. S., Triantafyllou, M. S., and Grosenbaugh, M. A. (1993). "Optimal thrust development in oscillating foils with application to fish propulsion," *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 7, No. 2, pp. 205-224.
41. Tsujimoto, T., and Shimizu, Y. (1996). "Flow structure of stream-type fish way." *Ecohydraulics*, 843-854.
42. R. W. Wang et al.: *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* (2010) 396, 02.