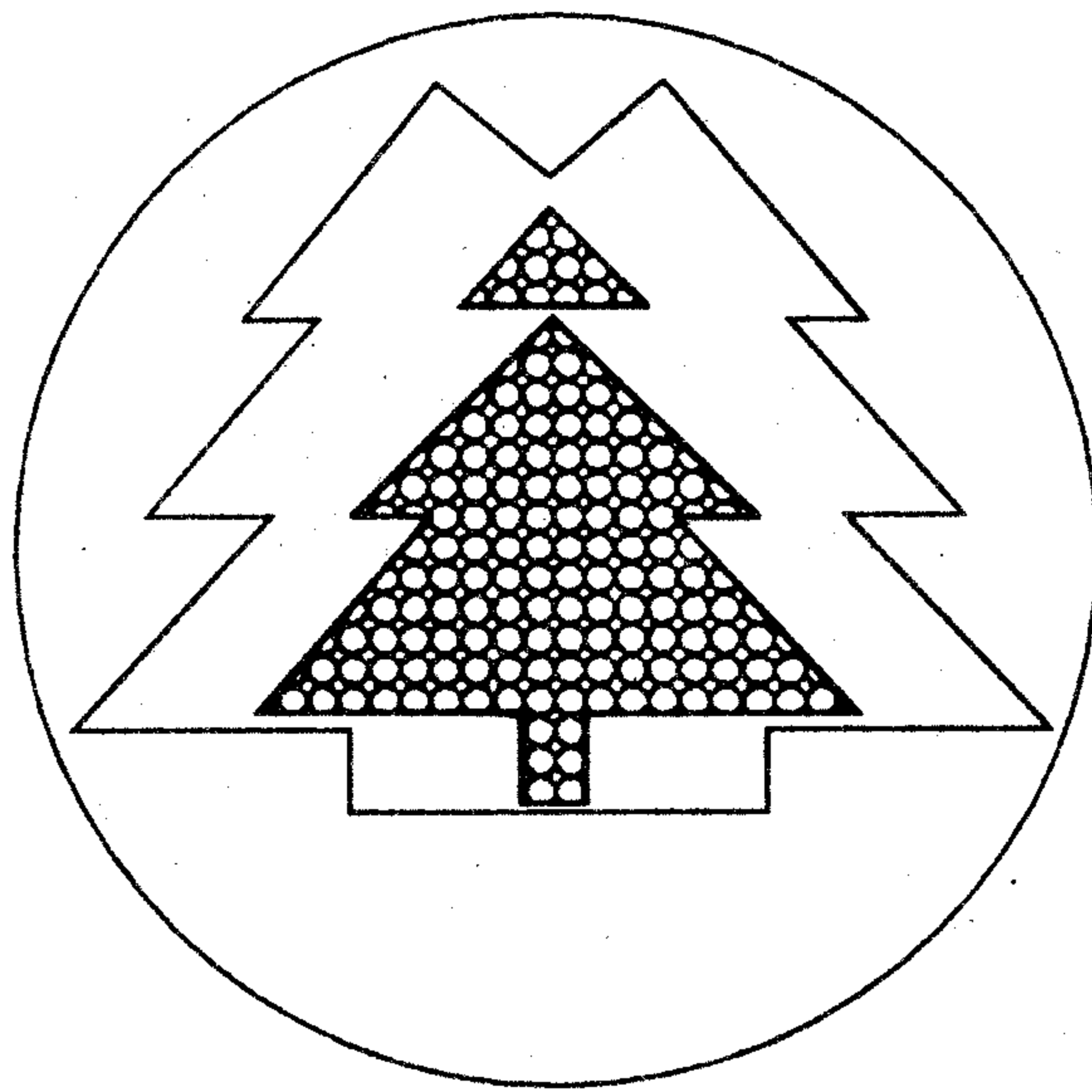


臺灣省農林廳林務局保育研究系列——85-10號

台灣河川魚道設置現況調查及研究  
Studies on the Fishway of Taiwan

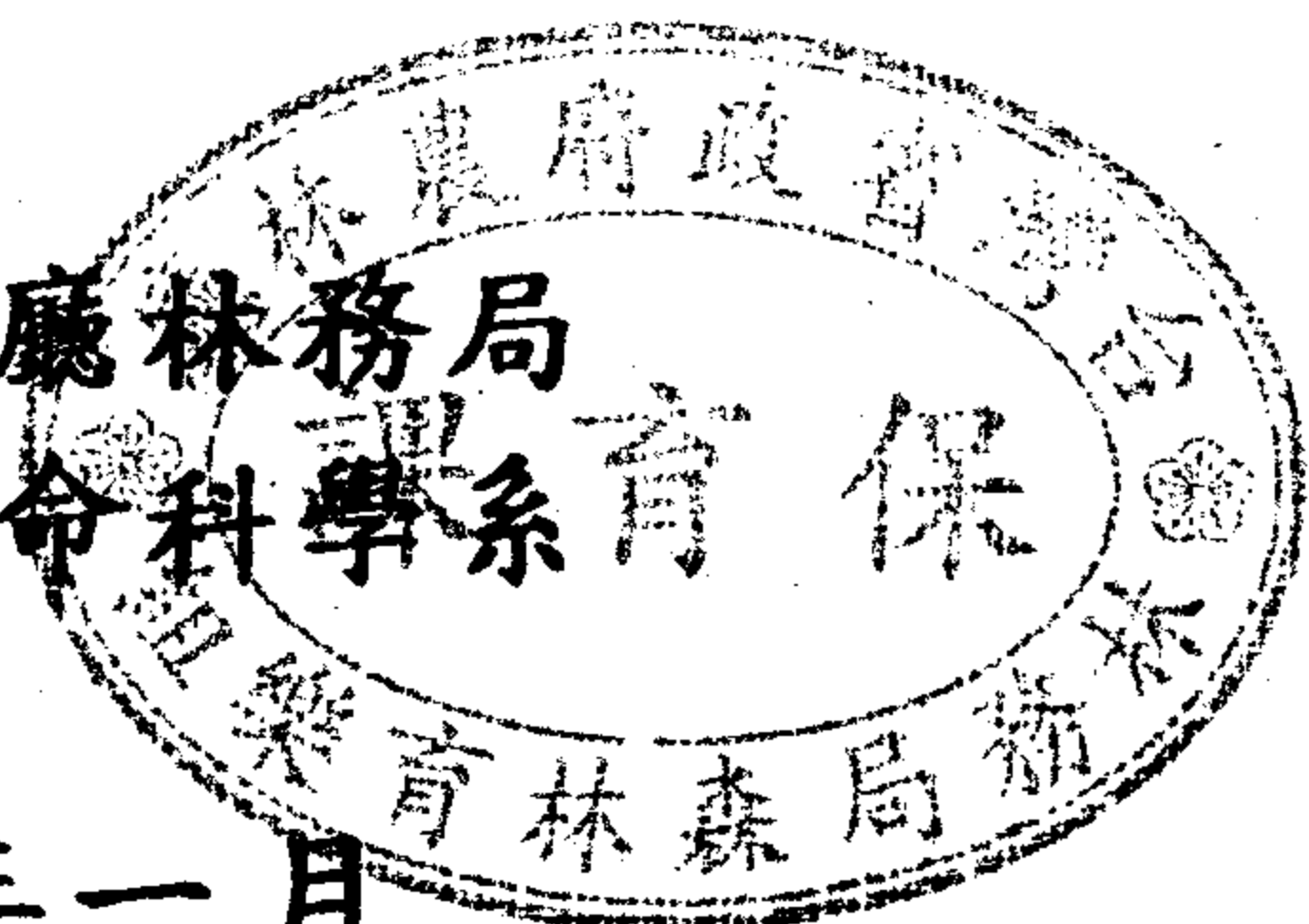
曾 晴 賢

Chyng-Shyan Tzeng



主辦單位：臺灣省農林廳林務局

執行單位：清華大學生命科學系



中華民國八十六年一月

# 目次

壹、前言 .....	1
貳、研究項目 .....	5
參、過程和方法 .....	6
肆、結果與討論 .....	6
伍、建議 .....	9
陸、謝誌 .....	9
柒、參考文獻 .....	10
附錄一、魚道工程基本概念 .....	12
附錄二、魚道的設計 .....	20
附錄三、台灣現有魚道統計 .....	20

## 壹、前言

台灣位於亞洲大陸棚邊緣，全島略呈南北走向的甘藷型。從島之最北端—富貴角至最南的鵝鑾鼻，最長約380公里。中部之平均寬度，東起秀姑巒溪口，西至濁水溪口，約有140公里。全島海岸線長達1,144公里以上。加上本島四周有澎湖群島、小琉球、蘭嶼、綠島、龜山島、基隆嶼、彭佳嶼等島嶼，形成一個具有廣闊的沿岸及近海水域。也由於本島中部正為北回歸線所經過，本島東側又有黑潮主流帶來的溫暖海水，因此除了終年生活於純淡水中的魚類之外，還有極豐富的河海洄游性魚類。

由於台灣正巧位於東亞生物分佈的境界線附近，舊北區和東洋區的魚類均可能出現於其間。而且本島又正位於分劃亞洲大陸區和亞澳過渡帶的著名華萊士線北端。因此淡水魚類的種類繁多，同時其分佈情形更饒富意義，在詳細的調查各區域的魚類相之後，可以看出非常有趣的魚類分佈情形。

本島之主要分水嶺為中央山脈，縱貫全境呈南北走向，因此全境河川多為東西向分別流入太平洋或是台灣海峽，河流均短促。旱季水量甚缺，逢雨成澇，尤以颱風季節每每洪水為患。雖然本省全年降雨量甚為豐富，但是約78%之年雨量集中於五至十月之間，因此枯水期算是相當長。本島之山脈多屬沈積岩及變質岩，性質脆弱易斷裂，風化情形甚嚴重。又因降雨強度大，和水流速度快，土壤侵蝕嚴重，繼而影響到本省河川環境相當不穩定。

全省河川甚多，列為主要河川者有十九條，次要河川三十二條，普通河川百條，大都係河短流急。其中以濁水溪為最長，亦僅186公里，高屏溪次之，為170公里。由於本島之都市開發集中於各河川下游附近，因此水污染之情形頗值得重視。

由於河川和海洋相通，如何在河口區劃出一個明確的界線以區別河川和海洋的分界，本來就是極為困難的事。縱使很勉強的給予一個分界線，你卻又會發現到有一些魚，可以在兩個被個為我們視為截然不同的水域中來去自如，你如何稱呼它們呢？是淡水魚或是海水魚？

廣義的淡水魚係泛指所有能夠自淡水河川或是靜水域中所能捕獲的魚類。但是根據達林頓（Darlington, 1957）按照魚類生態的區分，依魚類對於不同鹽分（海水）的適應生存能力為基準，可以將淡水魚類劃分成為三群；分別是初級性（Primary Division），次級性（Secondary Division）和周緣級性（Peripheral Division）淡水魚。

在所有的台灣產淡水魚中，我們可以按照這種區分法，分別給予較明確的區分。

(1) 初級性淡水魚類：這是終生只能在淡水水域中生活的魚類。何如本省產的鯉科、鰍科、平鰭鰍科、鯰科、塘蝨魚科、黃鰱魚科、鰍科魚類等等。

(2) 次級性淡水魚類：係指大部份時間生活在淡水水域中，但是可以短時期生活在海水域中之魚類。如慈鯛科、胎生鱘魚科等魚類。

(3) 周緣級性淡水魚：本類淡水魚對於海水的適應力極強，包括溯河性魚類（鮭科、香魚科和部分蝦虎科魚類等），降海性魚類（鰻鱺科、湯鯉科和許多蝦虎科魚類等）以及一些偶而溯入河川中生活的海水性魚類（鮐科、條紋雞魚科、塘鱧科、海龍科、雙邊魚科等等）。由本省四面環海，每一條河川都流入海中，所以周緣級性的魚類應當極為普遍。但是由於各河口較缺乏詳細之調查資料，因此仍有許多河口性魚類未曾有詳細紀錄。

台灣產的淡水魚約在一百五十種以上，大約有一半是初級性的淡水魚（純淡水生活之魚類），其中有二十餘種以上是本省特有種或特有亞種。以台灣如此狹小之島嶼，竟有如此豐富之淡水魚類，實在是值得我們驕傲，也因此更需要我們珍視它們。

由於本省河川均係東西平行走向，每一條河川中的魚類分佈也已經有相當清楚的研究，所以在本省產的淡水魚類的分佈研究上，已知其分佈的整體概念。本省全部的河川水系，受到島中央隆起山脈的分隔、南北氣候影響及淡水魚的起源等等不同因子的影響，可以很明顯的區劃出三個動物地理區；(1) 東部地區；包括卑南大溪、秀姑巒溪、花蓮溪和立霧溪，主要魚類以台東間爬岩鰍為代表；(2) 南部地區；包括濁水溪（不含）以南之曾文溪、高屏河流域，以中間鰍鮓為代表；(3) 北、中部地區；包括濁水溪以北之北部及中部兩個亞區；其中北部亞區包括蘭陽溪、淡水河、頭前溪、後龍溪；魚種以扁圓吻鰻、大眼華鰻、台灣黃鰻魚、橙色黃鰵魚、長黃鰵魚、紅鰻、棘鰍、小林氏棘鰍、截尾鮠、短吻鰻柄魚為代表；中部亞區包括大安溪、大甲溪、大肚溪及濁水溪，魚種以台灣鱒、日月潭鮠、粗唇鮠、南投鮠、台灣鰻、陳氏鰍鮓和台灣白魚為代表。本島魚類分佈明顯地有由南北兩端往中部地區逐漸分佈的現象。

除了以上所述的純淡水性魚類之分布現象外，尚有一些河海洄游的魚類，包括鮭目、鰻鱺科、蝦虎亞目、湯鯉科等等魚類，亦有明顯的分佈區劃現象。例如香魚的分佈係以北回歸線以北為界（銀魚亦相同），而鱸鰻及白鰻之分佈則略呈南北互為優勢的現象。

在台灣本島裡，各河川間的魚類相也有極大的差異存在，這個問題主要是受到台灣島本身形成過程的影響。中央山脈的隆起，隔絕了東西二地，東部因河川環境條件較差，能夠留存的魚種較少，卻因和西部隔離時間頗長，也有一個特有的種類——台東間爬岩鰍。相對應的在中央山脈以西的河川中卻另有一個相近種——台灣間爬岩鰍，這種極為特殊的例子在學術的研究上頗有價值。

大部份台灣產的淡水魚，它們的分布都有區域性，如高身鏟頰魚和何氏棘鯢分布在南部和東部地區，埔里中華爬岩鰍和二種相近似的鰍鮎魚類只分布在中部和南部，台灣纓口鰍和黃鰍魚科魚類大部份分布在濁水溪以北；台灣白魚是中部特產，台灣鱒則只分布在大甲溪上游的一個小小範圍裡。這些有趣的分布現象都是用來討論台灣島內各河川關係的最佳證據。

在台灣的每一條河川中，生物種類之組成都有其特異之處。沒有兩條河川有相同的魚類分布，甚至是同一條水系的兩條支流都有不同的魚類組成。雖然我們至今仍未能清楚的了解到每條河川的魚類相，但是天然環境變化和人為改變環境等兩種因素，會將一些特別的生物組成改變，甚至是澈底毀滅。為了讓這些原本就棲息在自然河川中的生物得到應有的尊重和照顧，我們得要注意到一些特別的經營和保育之問題。如果我們忽略了這個問題，我們將會失去極為珍貴的資源，其損失將是不可估計。

因人類的行為而導致台灣淡水河川的改變，可以分為三大類：物理性、化學性和生物性。巨大的物理性改變係指人為建造攔河堰或水庫，改變了水流變化，影響水溫——通常係降低了上游的水溫而提升了下游的水溫，阻斷魚類找尋適當水域產卵覓食的生理需求。

雖然近年來各地有一些魚道、魚梯的設計，逐漸改善了這種阻隔的障礙，但是因為基本資料的不足，設計和施工仍未能完全發揮其功能。有一些魚類在上游產卵，卵會順著水流而下，如果水流太緩，則會降低其活存率。甚至魚卵在較深的水庫區中，會沈到較冷、較深的水庫底，或是被埋到水庫底的沈積淤泥之中而大量的死亡。我們砍伐河岸的植物或是開墾性活動如抽砂、河川地耕作等等，會增加河川的淤泥，可能汙染魚類的產卵場或毀去了魚類賴以為生的底棲性生物，如水生昆蟲和藻類等。混濁度之增加也會對一些表層掠食性的魚類造成威脅，因為視覺受阻而更加不易捕獲食物。

台灣河川生態保育工作最早在林務局等單位的推動之下，逐漸有相當好的成效，因此有各處的保護區之成立，以及河川中各種保育措施的工程，陸續的進行與施工，魚道設施即是一例。雖然台灣各地已經有大約八十餘座的魚道，

但是真正有效果的魚道並不多。主要原因除了對於台灣河川魚類的基本生態知識不足之外，尚因為工程設計所採用的方法是以寒帶地區所常用的方式，因此並未能完全適應台灣魚類之所需。因此有必要在推展更新的魚道設計觀念之前，先行對於台灣現有的魚道進行調查分析，了解各個魚道的優缺點，以便吸取更多的經驗，結合現有的魚類生態知識，促進新的魚道工程觀念的進步。由於目前台灣魚道的分布大部分是在各林班地附近，因此配合林務局現行各項溪流魚類保育工作的推行，進行本項調查。

本計劃的目的在於：

- (一) 了解台灣現有魚道的分布位置與各項基本結構調查分析。
- (二) 現有各魚道之功能調查與分析。
- (三) 適合台灣溪流環境所用的魚道基本條件分析研究。

台灣最早的魚道設計，應屬於日本人在1918年左右於淡水河以上南勢溪沿線所造的3~4個魚道，由下游往上分別在桂山攔水壩、龜山路、忠治以及烏來等地均有此類設施，可惜截至目前僅剩桂山攔水壩的魚道亦因年久自然毀損而於前年重新按舊設計整修，其餘的均因壩堤二次改建後遭廢置了。

十餘年前，林務局在南勢溪上游各地，以及水利局在北勢溪上游陸續建立幾處魚道的設施，帶動了本省各地魚道設計的風潮。可惜這些早年的魚道設計因為參考之資料相當有限，大都只是仿美日等溫帶地區國家常用做為鮭鱒類所用的魚道設計，因此對本省淡水魚類而言，使用上仍有不方便之處。理論上我們應當首先了解當地魚類的特性，再針對各種魚類的習性加以規劃，方能將魚道造的適合當地魚類所需，否則誠屬可惜！

這幾年各工程單位積極引進新的魚道設計技術和觀念，因此近年來所建之魚道日漸精良，但是有關的效益是否有所提升，均未有過相關的調查分析與評估，其相關的魚道之分佈現況也不清楚。因此每每有人想要徵詢現有值得推介之魚道，實有相當的困難。雖然台灣目前即將施工中之魚道設計已應用一些較新之觀念，但是對於以往舊有魚道的優缺點未能有詳細的分析評估，可能還是不易將台灣的這項河川生態保育工程推向另一個新的紀元。

本省各地數十條河川裡，因各種給水，蓄水、發電、灌溉、娛樂、防洪或是水土保持等不同的目的，興建有數千座的攔水壩、攔砂壩或是堰堤、水庫。這些人工構造物之興築，大都會對於河川生態造成莫大的衝擊，其中之一即為

阻絕了魚類的洄游。早年（日據時代）爲了保護珍貴的河川資源，許多的河川工程（電力株式會社所設的發電廠水壩）均特別設置有魚道的設施，以供珍貴的洄游性魚類（鱘魚、香魚等等）及蝦蟹（長腳大蝦及毛蟹等等）度過這些人工障礙物。這些設施不僅真正做到資源保護的工作，同時也樹立了環保教育的好形象。

光復後這項河川保育工程停頓甚久，一直到近十餘年來，才逐漸在各相關單位之重視之下，部份堰堤陸續設了魚道設施，或是在規劃前即考慮加設魚道之設施，再再顯示國人對魚道功能的重視。目前林務局、山地農牧局（水土保持局前身）、水利局、水庫管理局、國家公園管理處等單位，分別在全省各地河川，設計與建造了數十座魚道。但是一般國人尙未能知曉魚道的現況及其真正效益。許多魚道的設計亦因缺乏經驗及參考資料，缺失甚多而且無法改善。1990年於日本舉辦了第一屆國際魚道研討會，更說明魚道在河川資源保育以及環境保護等工作上，具有極大的價值及重要性。1995年更又舉辦第二屆國際魚道會議，加緊推動相關的工程研究。因此，儘早收集本省各有關之魚道設計資料，並進行初步效益評估，將有助於日後類似工程設計之水準提升，亦將有助於推廣河川環境教育。

## 貳、研究項目

本計劃之主要研究項目包括：

- (1)、收集本省各河川中現有之水庫、堰堤、防砂壩等設施之規模、分佈情形。
- (2)、針對前項設施是否設有供魚類洄游之用的魚道分別進行研究。
  - (a)、設置有魚道設施之規模、設計方式及設計圖之收集。
  - (b)、現有設施之現有狀況與效益之初步評估。
- (3)、編印本省魚道設計調查報告書，供工程設計單位、環保、教育單位參考。

## 參、研究方法與過程

(1) 本計劃主要以訪問的方式，請相關單位（如林務局、水利局、水保局、台電公司、自來水公司、水庫管理局、國家公園、農田水利會）提供有關河川工程之相關資料以及魚道設計圖等。

(2) 實地針對各地溪流中已設之魚道進行全面的調查，包括現地河川狀況、魚道結構、通水狀況、魚類利用情形、結構保全等項目。

(3) 編印本省河川之魚道設計調查報告書，包括設計技術、設計實例及效益評估、環保教育之應用等內容。

## 肆、結果與討論

本計劃執行之後隨即展開國內相關團體的訪問與了解，發覺目前農委會也同時委託另兩單位（台灣大學動物系與文化大學土地資源學系）進行相關魚道研究案，該兩案分別進行（1）台灣河川既有魚道效應評估計劃，以及（2）台灣地區重要河川魚道設計之研究，雖然有部份工作著重於魚道基本原理與設計概念的項目，但是仍不能涵蓋整體檢討本省現有魚道的利弊得失，以做為未來本項河川生態工程的參考。為不重複浪費人力資源，因此本計劃主要進行各地魚道的功能效益評估，以及各種設計的優劣點檢討，希望能夠就專業的生態立場，對於分布各地的魚道進行檢討，以提供各興建單位的參考。

台灣最早的魚道設計，應屬於日本人在1918年左右於新店溪以上南勢溪沿線所造的3~4個魚道，由下游往上分別在桂山攔水壩、龜山路、忠治以及烏來等地均有此類設施，可惜截至目前僅剩桂山攔水壩的魚道亦因年久自然毀損而於前年重新按舊設計整修，其餘的均因壩堤二次改建後遭廢置了。

前幾年，林務局在南勢溪上游各地，以及水利局在北勢溪上游均有魚道的設施。這幾年各工程單位積極引進新的魚道設計技術和觀念，因此近年來所建之魚道日漸精良，有關本省魚道之分佈現況陸續在調查整理之中。雖然目前本省現有值得推介之魚道仍有限，但是台灣目前即將施工中之數座魚道設計已應用一些較新之觀念，相信可以將此項河川工程推向另一個新的紀元。

就本計劃執行過程中所調查過的台灣各地魚道設施而言，現有的數十座魚道之中，除了極少數還算是能夠發揮功能之外，大部分的魚道都有許多共同的缺點，甚至有一半左右的魚道已經毀壞或是近於毀壞的程度。因此如果逐一



檢討各魚道的優缺點，似乎沒有什麼意義。因此就整體的問題來分析本省魚道的現況，幾乎都可以應用於每一座魚道的分析之上。

本省現有魚道的問題包括有；

#### 一、生態性問題；

(1) 本土河川洄游性生物生態應用的適當性不足；大部分的魚道都是參考教科書的範例，而以寒帶性的洄游性生物為對象魚，完全忽略亞熱帶洄游性魚類的不同需求。因此千篇一律的設計基準並未見到有生態需求的考量，例如河川上中下游不同洄游性生物種類和體型大小所需的基準不同，但是幾乎沒有一個魚道考慮到這些問題。例如雙溪貢寮取水堰與知本攔河堰的魚道，主要都是小型洄游性蝦虎為最主要的使用魚種，坪林攔河堰是小型香魚和鯉科魚類幼苗為最主要使用的對象，這些魚道的落差和水理條件並不能用大型魚類的標準來設計。

2 ( ) 同一魚道缺乏可供不同魚類使用的考量；大部分的魚道都只是單一規格，大部分都是給跳躍性或是游泳能力極強的種類使用，攀爬性或是黏貼性的生物種類較不易使用現有的魚道，例如平鰭鰍類、鰍類、蝦虎、鰻魚和蝦蟹類等等，運動的方式不同於一般的鯉科魚類。

#### 二、工程設計問題；

(1) 堰堤主體工程設計上的問題；有許多攔砂壩或是攔河堰本身結構有問題，因此颱風侵襲之後，連帶造成附屬魚道工程一併被摧毀。以今年賀伯颱風侵襲苗栗縣為例，後龍溪上游的十餘座魚道無一倖免的全數毀壞。

(2) 魚道配置未能和主體工程配合；有的魚道只設在主壩的地方，而副壩卻沒有魚道。例如仁澤防砂壩副設魚道工程、七家灣溪簡易魚道設施的例子。

(3) 魚道的擺設位置和主水流方向不同；這個問題是極普遍的現象，主要的原因有的時候是因為設計者忽略當地水文特性，有的時候是因為忽略魚道引水的考慮。甚至是因為壩體結構工程本身不平，或是水流逐漸切割壩體形成缺刻之後，主水流不往魚道的方向流過。魚道這種情形普遍的造成魚道缺水。

(4) 魚道進水口堵塞；由於流木或是砂石的堆積造成進水口淤積或是堵塞，同時又缺乏清理保全，因此魚道功能就此荒廢，桶後溪數座魚道與知本溪魚道都有同樣的問題。

(5) 出水口位置佈置不當；許多的出水口位置並不能適當吸引魚類的聚集，許多魚類還是迷失於攔砂壩或是攔河堰之下。這種問題在各地魚道都存在，例如粗坑壩、鹿角坑溪攔水堰、貢寮攔河堰、桶後溪各地攔砂壩、烏石坑溪攔砂壩等等附設的魚道都有這類的問題。

(6) 魚道內水理條件欠佳；例如水流過快、泡沫過多、休息場所的缺乏等等。

(7) 魚道結構未能考量到洪水衝擊的可能性；魚道結構直接暴露主水流的位置，在洪水期經常遭受到流木或是砂石的撞擊而毀壞。

(8) 魚道保全與管理的欠缺；大部分的魚道因為缺乏水流量調節措施，甚至是有調節措施也不用，因此許多時候都是缺乏水流的狀況。魚道內的淤砂或積土都沒有清除，毀壞的隔壁也都沒有修理。

(9) 管理法令的缺乏；由於缺乏相關法令的限制，對於這類最需要管理的設備都無法限制人類的活動，因此魚道內經常有人趁機擺設陷阱捕魚，或是在魚道附近釣魚，影響魚類的溯河意願。

(10) 設計概念的過於保守與缺乏新知；本省現有的魚道設計大都是水利或是土木工程師所設計，他們所能參考的資料有限，因此大部分的設計都還是傳統第一代的設計概念，許多新的革命性觀念與設計實例都缺乏認識。大部分的設計者沒有機會到國外實際參觀考察，國內也缺乏相關工程規劃研討的機會，因此進步相當有限。甚至有許多規劃中的案例，都還是採用逐漸被淘汰的設計觀念。

綜括以上的分析和實際調查本省現有已經使用中的魚道（不包括興建中的魚道），很不幸的我們實在找不到一座可以當做示範性的魚道，因此我們還是有必要將一些設計的必要概念重新灌輸給相關的設計人員。當然，在我們所造訪的幾個相當有經驗的設計工程師的過程之中，我們的確發現他們的設計概念已經有了相當程度的進步，如果相關單位還能夠加以輔導的話，或許未來的設計將會有長足的進步。

然而在整體研究的結論裡，我們發現所有的工程規劃設計與施工，都是非常容易可以克服的問題，所有的缺失都很容易改正。但是對於所有設計人員而言，最大的問題卻是本省洄游性生物生態資料的缺乏。沒有相關的資訊可以提供設計基準的對象魚種、洄游季節、游泳能力、活動週期、生理需求（例如集集攔河堰附設魚道需要魚類對於光線的需求資料）等等基本生態資料。因此所能設計的基準沒有辦法做任何的調整，這個問題一直是本省魚道工程發展上的一大瓶頸，未來所有的努力應當以此為優先才對。

## 伍、建議

一、由於林務局相關魚道設計的工程師具有最多的實務經驗，只是缺乏觀摩國外相關現代化的實際案例的機會，以及不易有機會吸收新的設計概念，因此有必要針對各相關工程師舉辦講習班，邀請國內外的學者專家教授實務經驗。翻譯相關設計新知以供設計者的參考，並且選派相關工程師出國進修或是見習。

二、現有魚道應當由各相關主管單位重新整頓或是檢討改善各項缺失；最好有機會能夠邀請相關專家學者進行現場會堪，以了解問題的所在和解決方法。

三、繼續研究適合於本省河川水文與生態特性所使用的魚道設計；例如除了針對目前現有魚道的缺失可以做修正補強的功能之外，又可以在未設魚道而卻有必要設立魚道的地點補設魚道等雙重功能的簡易式魚道設施的研究。

四、選擇適當的地點進行小規模的改修試驗，並且舉辦相關的講習訓練以及進行環境教育的宣導；本項工作似乎可以和台灣省特有生物保育研究中心目前所執行的計劃互相配合，在本省北中南東各地都可以舉辦相關的活動。例如北部可以選擇桶後溪攔砂壩、中部可以選擇烏石坑溪攔砂壩、南部可以和東部一併選擇在知本溪攔砂壩等地的附設魚道工程進行相關的活動。

## 陸、謝誌

本研究期間除了承蒙林務局保育課全體同仁的協助之外，也得到各林區管理處保育與治山防洪工程人員的協助。野外的調查有賴清華大學生命科學系生態與分子系統學實驗室同仁的幫忙，各項資料的獲得更有賴各地友人的協助，均一併的致謝。國外的考察感謝日本豐橋技術大學中村俊六教授、愛媛大學水野信彥教授的協助與提供寶貴資料，更應特別感謝之。

## 柒、參考文獻

- Bates, K., 1993, Fish passage policy and technology. Proceedings of a symposium of the Bioengineering Section of the American Fisheries Society, 209pp.
- Boltz, J., C. Bell, P. Leonard. 1995. The challenges of developing habitat suitability criteria for a large southeastern river. *Water Power* 95': 92-101.
- Chang, K. H., et al., 1992, Fishway design plan for the Maan Dam project. (unpublished data).
- Downing, J. K. 1983. Accuracy and precision in estimating instream flow requirements. *Water Power* 83': 1284-1293.
- Ghanem A., and F. Hicks, 1992. A review of the hydraulic models used in instream flow needs assessment methods. *Water Resources Engineering Report No.92-4:1-64*.
- Ishida, R., S. Nakamura, N. Mizuno, N. Tamai, and H. Mayama. 1991. Stream restoration for fishes in Japan. *ISHIDA ET AL.*: 225-237.
- Larinier, M., 1990, Experience in fish passage in France: Fish pass design criteria and downstream migration problems. in *Proceedings of the International Symposium on fishways '90 in Gifu Japan*, :65-74.
- Leonard, P., C. Bell, and J. Boltz. 1995. Habitat modeling in a southeastern alluvial floodplain river. *Water Power* 95': 102-111.
- Nakamura, S., 1990, A review of the Fish passage facilities in East Asia. in *Fish passage policy and technology (Proceedings of a Symposium presented by the Bioengineering Section of the American Fisheries Society, in Sept. 1993, Portland, Oregon USA. edited by Bates)*,
- Ott, R. F., and M. R. Stansbury, 1990, Passage improvement at the Glenn-Colusa irrigation diversion. *ibid*, :147-153.
- 水野信彦編，1987，內水面漁場環境，利用實態調查報告書。日本全國內水面漁業協同組合連會印，265頁。
- 沈世傑，曾晴賢，周鎮傑，1990，鹿角坑溪取水堰魚道設置研究。陽明山國家公園管理處印，33頁。
- 李載鳴，謝國正，1996，新段溪流域攔砂壩魚道設計之評估，第八屆水利工程研討會論文集，1127~1134頁。

張崑雄，詹榮桂，鄭明修，曾晴賢，陳育賢，1992，東北角海岸風景特定區海域、溪流生態及解說資源運用之調查研究，觀光局東北角海岸風景特定區管理處印行，155頁。

曾晴賢，1986，欖仁溪攔砂壩之魚道規劃設計研究，墾丁國家公園管理處保育研報33號，52頁。

曾晴賢，1993，保育台灣河川資源的魚道工程，新竹市國民小學教師環保教育研習營論文集，新竹師院印行，：10-18。

曾晴賢，李淑珠譯，1987，魚道的設計指南及案例，中國水產，419：21—28。

陳俊宏，1996，台灣河川既有魚道效應評估計劃，農委會八十五年度自然保育研究計劃執行成果簡報摘要。

廣瀨利雄，中村中六，1991，魚道的設計，山海堂，日本東京，376頁。

黃毓嵩，1985，水文氣象與壩工工程。銀禾文化，186頁。

顧培森，1995，高山地區防砂壩與生態維護，林務局，20頁。

闕狀狄，鄭枝修，張瑞欣，1987，櫻花鉤吻鮭魚道勘查規劃。農委會76年生態研究第007號報告，53頁。

臺灣漁業技術顧問社，1995，石岡壩魚道興建可行性評估及初步規劃，台中縣政府委託計劃報告。

## 附錄一、魚道工程的基本概念

### (壹)：前言

河川資源保育一直是我們共同努力的目標，因此不得不多方吸取新知，隨時運用在執行保育的工作上。「魚道」這個名詞也許大家都常聽到過，但是深知其中理論者並不多。筆者有幸接觸一些此方面的資料，更親自參觀了一些中、日日各地的魚道，深深感覺這樣一個設計，對於台灣河川魚類的保育的價值，將有難以形容的功效。

民國七十四年時，內政部營建署墾丁國家公園管理處，有見於區域內之欖仁溪因建築攔砂壩，將對該河川之珍貴生態造成影響。因而委託筆者進行有關增修魚道之研究，以改善攔砂壩對於生態的影響。在那個時候，台灣地區幾乎沒有任何相關的研究報告，或設計資料可供參考，亦無任何專家可供諮詢。因此只能憑著自己對當地河川生態的認識，搜集國外相關設計資料，並親赴日本考察旅行，方能提出一份初步規劃報告以供參考。雖然該魚道未能建成，當時的研究報告在今日從新翻閱，亦覺諸多缺失之處，但是讓筆者從此深深體會到魚道工程對於河川生態保育之重要性，進而學習一些設計的相關技術。

由於台灣多山地之地形，又因水資源有限，許多地方建了水庫和攔砂壩，因而影響河川之生態的完整性和連通性。許多魚類之棲地受破壞，或是魚類之自然洄游行為被阻隔。河川生物資源亦因而受到極嚴重之傷害。

台灣省各單位為整治各溪流，廣泛整建防砂壩（攔砂壩），每年約以65座之增加速度興建中，至民國八十年的調查，全省總共有2855座（顧培森，1995）。在這些防砂壩中已損毀者和完全淤滿者約佔有80%以上。由此可知一座平均造價2~3百萬元之防砂壩，如果以純粹攔砂之目標，大約2~3年即完全淤滿而喪失攔砂之功能。淤滿後雖仍可以緩和溪床坡度，但是亦只能減低部份地區的流速，以防止部份地區的沖刷及崩坍而已。可是對於整條溪流而言，未必都有顯著之功能。然而對於溪流生態環境而言，無疑是將河川攔腰切成兩段，使上下段的棲地完全分隔而不相連。

在自然的河川環境下，許多水生物可以藉著上下的遷移活動，可以躲避不良的生活條件，或尋找更合適生活的場所。例如洪水期裡，大部份上游的魚類會順流而下，一直到下游有一個夠大的深潭，水流亦較緩慢，魚類不虞被急流沖走了，就會留在那裡度過危險期。當洪水退了，這些魚類就陸續的再回溯到它原來的棲地。如果河川中沒有任何巨大障礙，魚類很容易可溯回上游了。可是當攔砂壩將河川截為二段之後，本身就形成了人為的障礙，由於魚類的跳躍能力無法克服過高的攔砂

壩，就再也回不了壩上的棲地了。因此可以說攔沙壩對於溪流生態的第一個危害就是阻隔魚類在河川中的自由遷移，攔沙壩上游的魚類種類會越來越少。

攔沙壩對於溪流生態的第二個相當重要的影響，主要是在壩的上方，因為淤沙的關係，河床變得平緩而缺乏變化。原本深潭與急流交錯的溪流形式，完全變成均勻的緩流，許多原本可以供魚類棲息的深潭，全部被沙石所填平。甚至許多水流較小的地方都成為伏流的狀態，以至生物減少或是完全絕跡。

為了解決上述的問題，就攔砂壩本身建造的設計而言，可以往二個方向尋求解決之道。第一：由於攔砂壩最重要的功能在於減低河川的坡降，那麼以往習慣只建一個高壩的方式，倒不如多建幾個低壩。如此一來，對於河床的穩定作用將更有益，而且在流速控制以及壩體構築的成本和保固方面，當更合乎我們的要求。而低壩對於魚類的溯游更有利。瑞士聯邦水資源部（1982），在對河川中是以鮭鱒魚類為主的話，則攔砂壩不得超過60~100cm，否則就會有嚴重的影響。在本省河川裡，主要是較小型的鯉科魚類，因此在壩高的限制上，應在40~80cm左右。同時也可以儘量的依照目前世界各國積極推展的多自然型河川工法，或是近自然河川工法設計各項壩體結構。

第二個解決之道係在較高的壩體上，增加構築可供魚類遷移溯游的魚道。如果魚道的設計夠仔細的話，也可以使這個人為的障礙減低到最小的程度。有關魚道的基本概念與設計原理在下節與第三章中分別詳細說明。

## （貳）：魚道的基本概念

### （一）設立魚道之目的

- 1、在阻礙魚群洄游的構造物或特殊的河床地形上，為了去除或減輕其障礙性，因而設立魚道。
- 2、設計魚道之主要目的是為了保育水產資源。
- 3、維持「適合魚類棲息的河川」是次要目的。「適合魚類棲息的河川」，事實上可因國人之親水性而異，換句話說，魚道設置的真正目的就是維持讓人們更容易親近的河川。

### （二）魚道的種類和構造

魚道 (Fishway, Fish pass) 的定義：為使魚類能克服河川中任何阻礙，使其順利往上溯游的任何人為所做的通路之通稱。在於名詞上，魚道係指構造較單純，僅是減低落差的通路，稱之為魚道。如果通路中具有較複雜的導壁或隔壁等設施，則稱之為魚梯 (Fish ladder)。

### (三) 魚道的型式

魚道的設計型式必須依照阻礙 (瀑布、堰堤或水壩) 的規模、構造、放水狀況、位置、河川的特性、魚類的生態和經濟效益等因素來考慮。因此魚道有許多不同型式，大致上可以區分為三種類型：

#### A-1 水路式

- 1、平面式魚道 Simple plane system.
- 2、導壁式魚道 Complex plane system.
- 3、階段式魚道 Pool and fall system(step system).
- 4、逆流式魚道 Counter current system(Denil system).
- 5、隧道式魚道 Tunnel system.
- 6、鰻魚道 Eel ladder.

#### A-2 擲揚式

- 7、升降梯式魚道 Elevator system.

#### A-3 閘門式魚道

- 8、閘門式魚道 Lock and gate system.

前所述8種魚道的基本型式，其構造分別是：

#### 1、平面式魚道

僅設計一個簡單的斜坡式構渠，可供水流通，或者可兼作行船之用的水路。主要的是利用在低落差的障礙物上使坡度降低後，水流的速度能夠減至魚類的流泳能力界限之內。對於一些游泳能力頗強的鮭鱒魚類較為適用。這種簡單的水路為了適應地形，或達到低坡度的要求，可以做成彎曲的弧形，或做多次的轉折。有的時候為了使用水流速降低，亦可在中途構築幾個小池，或將底部造成波狀隆起，或立一些石頭或小柱子，以減低水流之速度。在一些較低的攔水壩或攔砂壩，可以在壩頂的一側設置一個切口，沿切口向另外一側加設一個斜走的坡道，亦可供一些魚類使用。這些多變化的設計觀念仍被廣泛運用在現代的魚道設計之上。



## 2、導壁式魚道

因難此在式設道的水流速度過大緩，設加中溯將有困難，因此在水道中加設緩和水流的出隔導壁，角有助於對水流速度的控制。導壁的形狀，間隔和突出的角度渦流提供短暫的型式。主要是配合魚類的習性，或造成一些渦流，或提供魚類短暫休息的場所。這是魚道設計型式的較新趨勢之一。

## 3、階段式魚道

隔較魚道和導壁式魚道的主要差別在於做為減低水流的隔壁，較之導壁式的導壁速度，能兩側夠低緩下魚道的兩側，水流主要是越過隔壁時速度能能夠低緩下用。形主式要魚道的設普遍而且效果極佳，為一般人所採用本形式魚道主要的設流水深於隔高的形式變化。如果隔高的著隨會低之別，則越流的水深會隨著高低使則而變可水變深，流速也因而有緩有急，每一個隔壁能交互使用，則可使水流置溯隔壁的下方，魚類可有依其游泳能可求適合的位置上溯。隔壁的下方有時可挖持一仍保水同流有流有可以減低水壓，也能在水位極低落時仍保持有水流，同時向走，直下部石雜物的功能。隔壁有時是和水流走向垂直，或向上流部或向下流成梯形有不同效果。有時為了加強隔壁的穩定，可以做成梯形。

## 4、逆流式魚道

型殊特些置設能在水道中設置一些特殊型式的隔（導）壁，使部份的水流能實的價故歡亦，高值愈來受歡速之效果極佳，在實用上的價值亦高，故愈來愈受歡迎及廣泛使用。

## 5、隧道式魚道

便利用區暗之設計水渠式路內的不方便，則可以利用暗渠式之設計，水路內的對黑水路仍階段排的有造在此因性於，斥類對於全黑的水路仍有排斥性，因此在光採界外自風足直接管，魚內仍有直足風管直接自外界採光，以保持魚道內仍有足夠的光照。

## 6、鰻魚道

鰻竹用利中供可籠蛇或管隱，藏和渠中利用竹管或蛇籠，可供鰻魚的隱藏和上籠亦裝可供鰻利魚用，沿潛孔的些置，有設蛇籠的裝置，亦可供鰻魚利用。有些特設計可以動曲折的長調木水筒和水位，則特別設計一些可以自動曲折的長木，筒

筒內有許多固定的突起，水流可由木筒穿過隔板而流出，鱘魚即可鉤長木筒內往上溯，這種設計在許多舊型攔水堰中頗適用。

### 7、升降梯式魚道

本式魚道適合於較高之水壩，藉著附加的動力，使壩下方集結的魚群能運送到壩頂上方而放流。大部分的設計依照以下的順序操作之，階段式魚道→集魚池→升降梯式電梯→放魚用水道→水庫放流。本式魚道的規模頗大，必須和誘魚的裝置或連接的水路相結合，同時要有固定的人管理才可行。

### 8、閘門式魚道

利用二組以上的閘門做交替的啓閉，使魚能順利往上溯。通常時上游的閘門先關閉，而開啓下游的閘門，使魚游入水室中。接著將下游的閘門放下，再開啓上游的閘門，使水室中的魚繼續往上溯。這種方法和許多運河中供船舶行走的閘門操作原理相同。

#### (四) 設計魚道的必備條件

爲了要使魚道能夠充份發揮其效果，必須考慮以下6項條件。

1、魚道出水口必須容易誘集魚類。讓必須使用魚道的魚兒們，能毫無阻礙地儘快到達入口，且順利進入魚道中。

2、能夠長期保持有適當的水流。

3、構造必需適合本地魚種和魚類溯河時之體長使用。使進入魚道的魚兒們，能輕易且快速的游完全程並從出口游出。

4、避免造成魚類的傷害或造成魚的過度疲勞。從魚道游出的魚兒們，能夠立即找到正確的方向，避免陷入迷失方向的危險狀態。

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。

以上6項條件按照其優先順序排列，尤其前三項是最需要考慮的條件。爲了達到以上的要求，在設計之前必須考慮到魚道設置的（A）位置和方向，（B）魚道的寬度，（C）放流量、流速和放水狀況，（D）魚道的傾斜度和建築構造。

#### （A）位置和方向

魚類在往上溯的時候，往往是沿著河岸兩側者爲多。因此魚道通常設在岸側，使魚類較容易集中到魚道的出水口。另外，在岸側構築工事亦較方便。魚類上溯到了堰堤時會尋找主要的水流位置，再沿其兩傍上溯，因此魚道的位置要和水流的中心互相配合。如果堰堤和河流的走向略爲傾斜，魚道則設置在較斜向上游的一側，因爲魚類會沿著堰堤而朝上游的方向移動。

魚道下方的出水口附近是魚類聚集之所，魚道的下方往往被沖成一個較深的凹地，水流的方向亦會影響到魚停留在這個位置的時間長短，如果魚道出水口的方向和河流的方向保持在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之間。魚類的誘集情形最好，如果超過 $90^{\circ}$ 以上，則效果會減低。

魚道位置的選擇尚要注意不要使出水口過於遠離堤堰，或是和發電廠的取水口和排水口過近，否則魚類易於迷失方向。

#### （B）幅員

水流往往會決定魚道的成敗，如果水流量愈大，愈能將魚類誘集在一起，而魚道中流水速度又會影響魚類上溯的能力，因此只有改變魚道的幅員（寬度），可以取得適當的水流量和流速。如果魚道幅員愈廣，則水流量可以增加，但是更得考量可以利用的取水量，以及堤堰的安全顧慮，不能過於擴張魚道的幅員。根據國外一些水壩築設魚道的統計中發現，較常被採用的幅員約是堰堤長度的4~5%，如果幅員低於3%，則效果不佳。如果堰堤愈長，道幅員則必須有正比例的增加。

#### （C）通水量、流速和放水狀況

魚道中的通水量是以水流的斷面積乘以流速的積。通水量愈大雖然更能誘集魚類，但是必須考慮魚類的游泳能力，並且考慮魚類在魚道中的停留時間，僅量不要使魚類過於疲勞而無法游完全程。

魚的游泳能力是決定魚道內水流速度的重要因子，游泳能力又取決於魚的種類、體長大小、生理狀況、水溫和溯河時間。其中較重要的是要知道是那一種多大體長的魚來使用這個魚道。想要得到這個資料，就必須由河川魚類調查的資料中取

得。例如在河川的上中下游各設有供香魚使用的魚道，則因下游的魚道是香魚幼苗溯河的地方，必須針對其游泳能力較弱的事實來決定魚道的設計，例如體長6~10cm的香魚幼苗，如果水流速在50~60cm/s時，其游泳能力最強，可達100cm/s，而水流變弱或變強，香魚的游泳能力亦會減弱，因此在設計上就以選定50~600cm/s為水流速度的標準。

相對的，在中游地區，香魚體形較大，適合的水流為50~70cm/s。上游段的水流速又因香魚體形更大，而且游泳能力更強，因此又可提高至60~80cm/s的設計標準了。一般的鰻魚游泳速度和體長也有相同的正相關，鰻線用之魚道用水流在40cm/s時最合適，如果鰻魚體長達到15~30cm時，水流標準又可提升到150cm/s。又如臺灣常見的溪魚，在體長7.5~9.5cm之開時，在流速80cm/s以下，溯河毫無問題，而水流如超過100cm/s，則較不易通過。關於這種溪流中魚類游泳能力的數據，目前仍極缺乏，如果我們國內溪流生態的研究無法提供這項資料的時候，則工程界的朋友在設計魚道時，將無可以參考之標準。

在臺灣的河川，在四季水量並不十分充足的情況下，甚難長時間的使魚道內的水流量維持在一定高的標準。但是過小的水流量對於魚類的刺激作用較弱，因此如何配合魚種的溯河季節和溯河時間，做較大規模的放水，將有助於誘集魚群，以及使魚群能順利的溯上。像鰻魚這種主要在夜間溯河的種類，可在晚上放流較大量的水，就可以有效的刺激鰻魚的溯河。在白天則因鰻魚均蜇伏在下游深潭的隱蔽處，縱使放大量的水，也無法引誘其上溯。每一種魚溯河的時間略有不同，因此魚道的放水狀況應視溯河魚種之不同而加以調整。

#### (五) 魚道的管理

魚道管理的主要項目如下：

- 1、調節流量。
- 2、堆積砂土等的排出。
- 3、對於鳥類，禁止捕魚等活動的監視和防止。
- 4、對於破損、河床低下等導致的功能降低之改善。
- 5、其它。

#### (六) 今後之課題

- 1、找不到入口處（入口處設計不良者），聚集成群的魚兒們究竟會採取什麼樣的行動呢？
- 2、在群體行動中，每一隻的游泳力、跳躍力有多大的差別呢？
- 3、慢到什麼程度的流速，魚兒不再上溯？
- 4、魚道內魚群混雜，會出現什麼樣的障礙呢？（或是魚道內可容納多少尾魚？）
- 5、調節流量的裝置，並不是讓流量確保在一定數量，也不是在固定的時間間隔內調整流量的變化，什麼樣的調節方式最適當呢？

以上這些疑問，須要實地調查與無數次的實驗。除此以外當然還有許多待改進之處，這些都需借助新儀器與新血輪的加入，共同克服這些問題。魚道設計乃一專門技術，不僅須有魚類生態學的基本知識，尚得結合水利、土木工程學知識，甚至機械、電機等專門學識也是必須知曉的條件。希望本次的演講，能引起大家的興趣與迴響，共同為此項河川工程而努力。

## 附錄二、魚道的設計

(本文主要譯自中村俊六，1991，土木學會水理委員會，水工學叢書91-A-6)

### 1. 設計程序

魚道的設計程序如後。

#### [ 資料準備 ]

1) 需要魚道設計計劃的建築物 ( 堰或水庫等 ) 之概況資料 ( 包括取水量、放流量、取、放水時間、取水口位置、放流地區等 )。對於魚道設置的目的，諸如 ( a ) 溯河魚用； ( b ) 降河魚用； ( c ) 採捕用； ( d ) 多用途等都必需確認。同時，魚道流量 ( 包括引水 ) 都應在可能的範圍內加以瞭解。

2) ( a ) 設施地點流域地形圖； ( b ) 水理建築物 ( 水庫等 ) 周邊的平面圖 ( 地形圖 )，側面圖等之準備。

#### [ 掌握對象魚類的生態 ]

3) 列出魚道的對象魚種名錄 ( 儘可能估算出利用魚道的魚尾數。同時對主要魚種能夠 ( a ) 明確知道其溯河及下河的目的 ( 諸如產卵 )， ( b ) 準備其持續游泳能力的時間資料。

4) 查明主要魚種的溯河 ( 或下河 ) 時期 ( 及其顛峰時期 )，此外也應該了解與當時水溫之關係。

5) 查明主要魚種的產卵場所，生育場所及攝餌場所。

#### [ 水文條件的掌握 ]

6) 繪製預定地的流量曲線，明白其豐水量，常水量、低水量、枯水量等數據。另外，也需預測浮流砂量及下游地區的河床異動。

7) 魚道的上流及下流之水位——準備其流量曲線，除了查明上述的流況，也需瞭解其上下游的水理條件。

#### [ 魚道的水理計算 ]

8) 選定魚道的位置，特別是魚道的入口及出口的適當位置，先劃定數個可能的地點，再進一步檢討。

9) 依據設置地點的條件，選定其魚道形式。

10) 從設置地點 ( 魚道的上、下游位置 ) 決定魚道之坡度，再根據上述 6 )、7) 的各項水位條件，推估出各種魚道的適當尺寸。決定出各形式的概略規模。

#### [ 建設計劃及概略設計 ]

11) 在上述2) (b) 的圖面上標示出魚道的位置，同時對於引水供應魚道，流量的供給水路（包括管線）等也應概略設計。

12) 擬定多份概略設計，再加以比較檢討。比較時應該斟酌上述3) —7) 所述說的條件。另外，魚道周邊流況（流速分佈）之大略估算、集魚效果、迷入可能性等問題也需一併檢討。此外，依情況應該進行模型實驗或現場（假設）模擬試驗。

13) 選擇最好的地點。

〔效果的驗證計劃及細部設計〕

14) 為確認魚道的效果，計劃上需編入能計算上溯尾數的池子及計數設備，為監控及驗證，計劃中應提出具體方案。

15) 管理上及維護上所需各項設備，也應納入設計，並擬定管理及維護計劃。

16) 最後，對於一些情況應當有因應對策。例如能在四處設置角落為因應有效對策。

## 2. 日本主要洄游魚種的游泳能力

### 2.1 日本主要洄游魚種

表一·日本主要洄游魚種及其分佈地區（石田力三，中村中六1991）

科名	中名及學名	主要分佈區域
(1) 溯河型：在淡水孵化，暫時停留淡水之後降海成長，而在產卵時溯河上游。		
七鰓鰻科	日本七鰓鰻 <i>Entospheus japonicus</i>	太平洋方面：利根川以北 日本海方面：島根縣以東
片口鰻科	鳳鱗 <i>Coilia inustus</i>	九州西部有明海沿岸
胡瓜魚科	亞洲胡瓜魚 <i>Osmerus dentex</i>	北海道的太平洋岸
	柳葉魚 <i>Spirinchus lanceolatus</i>	北海道的太平洋岸
	池沼公魚 <i>Hypomesus olidus</i>	太平洋方面：千葉縣以北 日本海方面：島根縣
銀魚科	小齒日本銀魚 <i>Salangichthys microdon</i>	全海域
鮭科	駝背大麻哈魚 <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (細鱗大麻哈魚)	北海道

	大麻哈魚 <i>Oncorhynchus keta</i>	太平洋方面：利根川以北 日本海方面：島根縣以東
	馬蘇大麻哈魚 <i>Oncorhynchus masou</i> (櫻花鉤吻鮭)	太平洋面：神奈川縣以北 日本海方面：熊本縣以北
	大鱗大麻哈魚 <i>Oncorhynchus rhodurus</i>	西日本的太平洋方面
	遠東紅點鮭 <i>Salvelinus leacomaenis</i> (黃斑鮭)	太平洋方面：北上川以北 日本海方面：追良瀨川以北
刺魚科	三刺魚 <i>Gasterosteus aculeatus</i>	主要在北緯35度以北海域
蝦虎魚科	彼氏單鰭蝦虎魚 <i>Leucopsarion petersi</i>	全海域
(2) 降河型：在海水孵化、成長於淡水；而產卵時降海		
鰻科	日本鰻 <i>Anguilla japonica</i>	全海域，特別在太平洋方面：松島灣以南 日本海方面：能登半島以西
	鱸鰻 <i>Anguilla marmorata</i> (花鰻鱺)	鹿兒島縣～房總半島
(3) 兩側洄游型：在淡水孵化後立即降海，而溯河於川中成長、產卵		
香魚科	香魚 <i>Plecoglossus altivelis</i>	全海域
蝦虎魚科	褐吻蝦虎魚 <i>Rhinogobius brunneus</i>	全海域
	暗縞蝦虎魚 <i>Tridentiger obscurus</i>	北海道網走湖以南的日本全水域
杜父魚科	江鱸 <i>Trachidermus faciatus</i>	流入有明海灣澳的河川
	杜父魚 <i>Cottus kazika</i>	太平洋方面：相模川以南 日本海方面：雄物川以西



另外，這些魚種的產卵時期及產卵場所如表二

表二：日本主要洄游魚種的產卵時期及產卵場所（石田力三、中村中六1991）

魚種	成魚的體長 (cm)	產 卵 期 (月)	產卵場所
(1) 溯河型			
日本七鰓鰻	40~50	4~6	在緩流的砂礫質河床
鳳鱗	40~60	6~8	下流河域
亞洲胡瓜魚	15~20	4~5	下流砂礫底
柳葉魚	13~16	10	從河口往上游數公里之淡水域砂礫河床
池沼公魚	6~15	1~4	水深較淺的砂礫底、水草
小齒日本銀魚	8~10	3~5	2~3米以內的淺砂礫底、水草
駝背大麻哈魚	40~70	10	上、中游的砂礫底
大麻哈魚	55~100	9~12	流速緩慢的砂礫底及湧水處
馬蘇大麻哈魚	40~60	9~10	從上、中游的深淵到淺灘的移動區
大鱗大麻哈魚	30~35	9~11	水深10~30公分的砂礫床
遠東紅點鮭	30~60	10~11	上、中游的石礫底
三刺魚	8	4~6	流速緩慢近水草的砂泥底
彼氏單鰭蝦虎魚	4~6	1~5	流速緩慢較淺的礫河床石頭下面
(2) 降河型			
日本鰻	40~90		推測在西南太平洋中層水域
鱸鰻	160左右		
(3) 兩側洄游型			
香魚	15~30	10~12	中游的砂礫底
褐吻蝦虎魚	6~8	4~9	平淺灘石頭下面
暗縞蝦虎魚	3~6	5~8	石頭下面
江鱸	10~16	1~3	半鹹水的二枚貝殼空中
杜父魚	15~20	12~3	推測在半鹹水中

與魚道設計關係最大的是此等魚類溯河或降河時的體長，如表三所示。

表三、日本主要洄游魚類的溯河期、降河期及當時的體長 (石田力三、中村中六1991)

種類	溯河時期	溯河時的體長	降河時期	降河時的體長
日本七鰓鰻	3月上旬	40~50	4~5	14~18
鳳鱗	4月上旬~	~60		
亞洲胡瓜魚		15~20	黎明	
柳葉魚		13~16		10mm
池沼公魚		6~15		
小齒日本銀魚		8~10		
駝背大麻哈魚	6~9	40~70		34~36毫米
大麻哈魚	9~12	55~100	2~5	60毫米左右
馬蘇大麻哈魚	5~7	40~60	3~6	
大鱗大麻哈魚	4~6	30~35	12~2	15~20
遠東紅點鮭	8月中下旬	30~60	4~6	17左右
三刺魚	2~3	8左右	夏~秋	2~3
彼氏單鰭蝦虎魚	1~5	4~6		4~5毫米
日本鰻	12~5	5左右	8~10	35~70
鱸鰻				
香魚	2~5	數公分程度	秋	成魚降下產卵場，孵化後數毫米
褐吻蝦虎魚		2~數公分左右		成魚時下產卵場，孵化後數毫米
暗縞蝦虎魚	秋	1公分左右		成魚時下產卵場，孵化後數毫米
江鱸	5~6	3左右	11月左右	成魚時下產卵場，孵化後數毫米
杜父魚	4~5	3~5		成魚時下產卵場，孵化後數毫米

## 2.2 游泳力

魚逆流而游泳時，其進行速度常因流速不同而異，當流速慢慢增加到魚逆流而游時，外觀上其行進速度好像是零而呈停止狀態，此時的流速稱為這種魚的「游泳速度」。長時間（通常30~60分間）持續著的最大游泳速度稱為「巡航速度cruising speed」或是「耐久速度endurance speed」，而只能在極短時間（1~數

秒)內持續的游泳速度稱為「突進速度burst speed」或「瞬間最大速度」。(塚本勝己, 1973)。

同樣的魚會由於測定方法不同, 游泳速度也不同, 不同的魚種其游泳速度不能一概而論, 大部份的魚(體型呈紡錘型), 其體長以BL(公分)代表時:

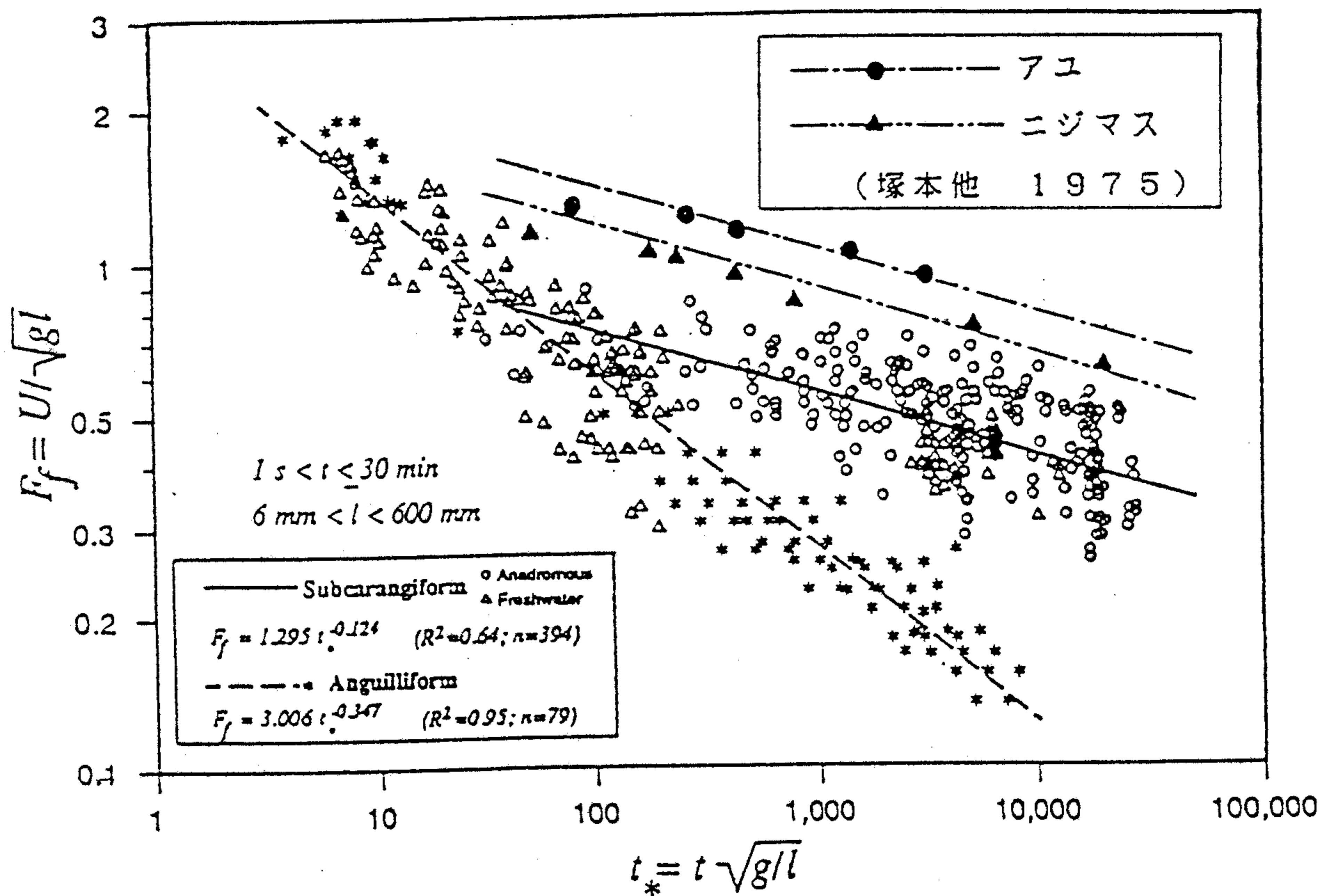
$$\text{巡航速度} = 2 \sim 3BL \text{ (公分/秒)}, \text{突進速度} = 10BL \text{ (公分/秒)} \dots (1)$$

但是, 鮭科魚類其巡航速度 = 3~4BL左右。

$$\text{香魚的情況: 巡航速度} = 5 \sim 7BL, \text{突進速度} = 12 \sim 18BL \dots (2)$$

以上皆為普通的游泳速度。(塚本勝己1973等)。

依據卡多波迪氏(Katopodis 1990)的研究, 多數的淡水魚的大其游泳速度和持續時間的關係如圖一所示。



圖一：淡水魚的游泳速度與持續時間的關係 (Katopodis 1990、塚本等 1975)

( $F_f$ 無次元游泳速度、 $U$ ：游泳速度、 $G$ ：重力加速度、 $L$ ：體長、 $T$ ：無次元持續時間、 $T$ ：持續時間)

圖中的anguiliform及subcarangiform顯示其游泳型態, 如鰻一樣能全身彎曲泳動的為anguiliform, 如鮪魚一樣靠尾柄部及尾鰭游泳者為thunniform, 界於

這兩者之間的，還有以魚體部份擺動游泳的subcarangiform和以接近尾鰭泳動的carangiform。淡水魚有anguiliform及subcarangiform兩種游泳型。而在圖中塚本等（1975）曾測定香魚及虹鱒的結果也一併記入。由此可看出，測定方法雖有不同，但香魚的游泳力仍在平均以上。因此，依據卡多波迪氏研究的平均曲線用來設計魚道算是安全的。

### 3、設計對象（河川）的水流量

決定魚道設計的對象魚種之後，由於這些魚種有其特定的溯河及降河期間，因此設計時需考慮其期間（設計對象期間）的河川流況。雖然有期間的限制，但是河川的流況，會因下雨等因素而有很大的變化。若將魚道設計成能適應任何流況是不經濟的。最好是估水流量及水位的上限及下限，而設計適合該範圍的魚道。這種魚道設計，有一固定的河川流況，謂之「設計對象之流況」。

決定設計對象之流況前，必須先瞭解魚道上流方面（出口）及下流方面（入口）的水位變動幅度，且流水所帶來的砂量、下流區域的流速分佈也當一併考慮。如果沒有這些資料也必須想辦法推測，一定要確定後方能定出符合條件的設計。從流量資料來推測水位比較容易，因此先制定「設計對象（河川）之水流量」。在河川建築物上增設魚道，可以利用先前在設計建築物時已有的資料。可採用的而資料，諸如水位、流量的月報等等，數據資料，將這些資料做為設計參考。

獲得資料的方法有：

- 1、從數據資料直接取得其條件值。
- 2、以概率方式換算出。

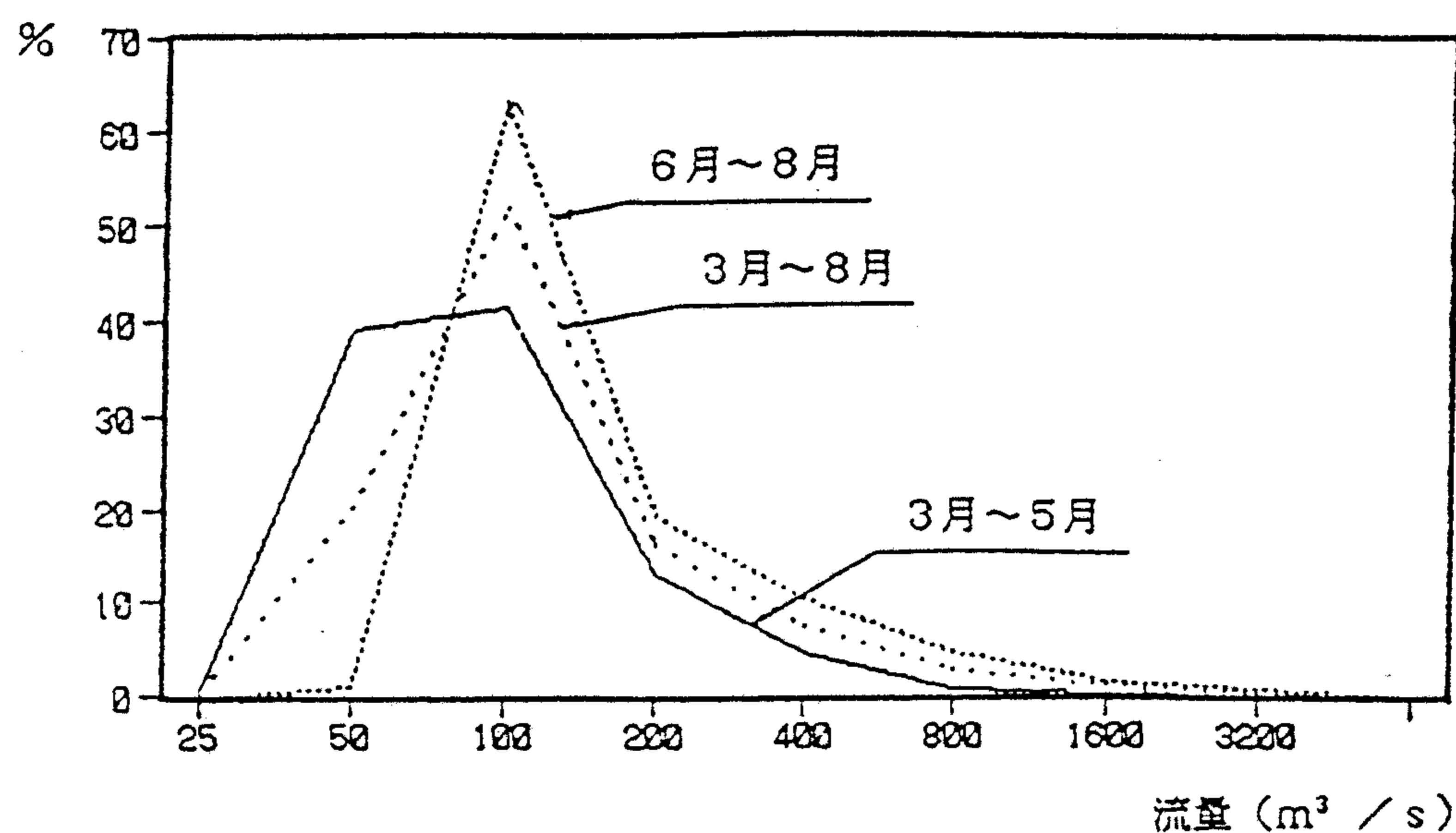
第一個方法，可去除出水時的流量，以其他時期的平均值為設計條件的基準值。第二方法為：（a）從頻度分佈來決定設計條件，（b）沿用河川計劃中的超過率（或非超過率）以茲判斷，（c）考慮對象魚種之特性，限定溯上魚的待命期間，可用比例值計算出。

以某一水庫十年間的日流量數據做為例子。設計對象之期間在3月～8月，其分佈頻度如圖二所示，由托馬斯法分析顯示非超過確實率如圖三。從圖二來看，例如：最高頻度的流量為100立方米／秒，以此做為設計對象之水流量的基準值，@依上述（a）的方法上限值如決定在200立方米／秒。再由圖三所示，設計對象之水流量以200立方米／秒為上限值時，則超過上限值的流量比率在15%左右。

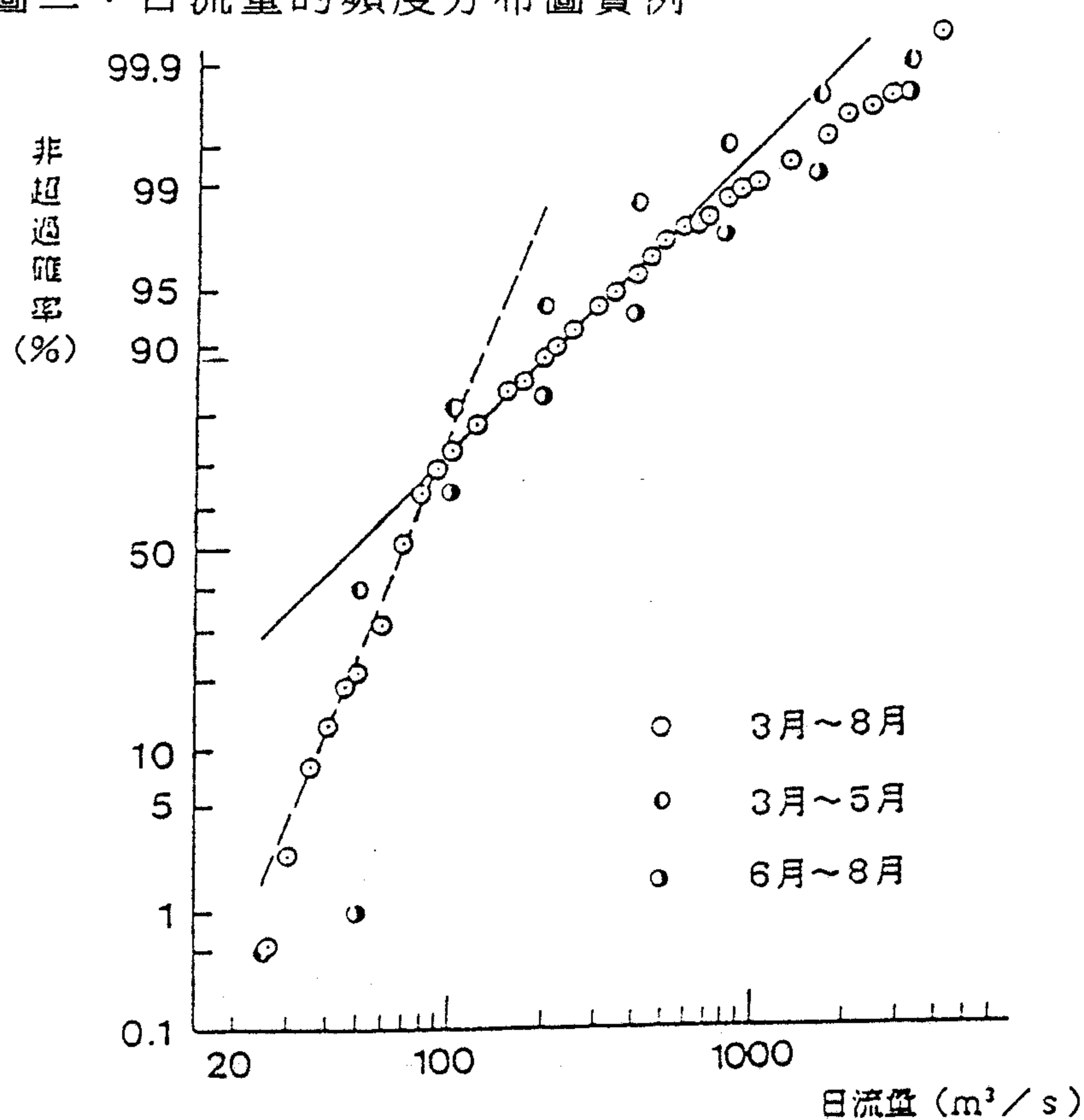
這樣的方法看似科學上，但問題點仍有不少。例如，以上述方法假設其比率值為50%，對溯河魚而言（已設計好的魚道裡，在那種條件下，確實能溯上的話）能溯上魚道之比率並不是50%。若是溯至魚道附近，才開始出水的話，貯水位及流量會因出水而與設計條件不吻合且持續增高時，魚道在此時期不能發揮效用，此時期通常不是一、二天能結束的，這種情況的比率為50%，換言之二天中有一天不能溯河。

如同鮭魚，一定要在產卵時期到達決定產卵場所，時間上的延誤（等待時間）往往會有重大的損失。因此在設定設計條件時，這種延遲時間的最大容許限度是重點所在。鮭魚必需在特定的期間內溯河不可，香魚及鱒魚時間上則沒有那麼的緊迫。但是，設置魚道的目的就是要讓魚能快速溯上，情況不符合設計條件而強制溯河魚待命的時間，為「猶豫期間」。考慮此猶豫期間，採用比例值的方式是合理的。在「猶豫期間」的限定條件下，如上述（c）所共述求得其比例值，具體方式則如下所示。

現在如果假設，河川流量一超過某一流量後，魚道流量的增加可能使魚不能溯上，反之，則可以溯河，估計其猶豫時間為三天。延誤溯河只能在三天之內，因此在對象期間中的任何時間，3日以內都必需保持在「限界設計對象流量」之內。此限界流量如果是 $Q_{3d}$ 的話，以4的數據資料 $Q_{3d}$ 的計算方式如下。（Katopodis 1988）。



圖二：日流量的頻度分布圖實例



圖三：日流量的非超過比率分布實例

- (1) 首先把最初三日的最小流量值暫定為 $Q_{3d}$ 。
- (2) 其次，挪開1日再取往後3日，即2日~4日的最小值，與上一個 $Q_{3d}$ 比較，而取其較大值為 $Q_{3d}$ 。
- (3) 相同的，逐日挪開一日，求得3日間的最小值中的最大值，直到對象期間的結果，而求得正確的 $Q_{3d}$ 。

圖4的數據，最初以圖中的a為 $Q_{3d}$ ，其次再以4~6日各流量的最小值b所取代，接著是c、而12日的出水後則為d，依次得到新的 $Q_{3d}$ 值，最後求得g為這期間的 $Q_{3d}$ 。

這樣求得的 $Q_{3d}$ ，僅代表此時期，以下再將此 $Q_{3d}$ 增加比例值的特性。

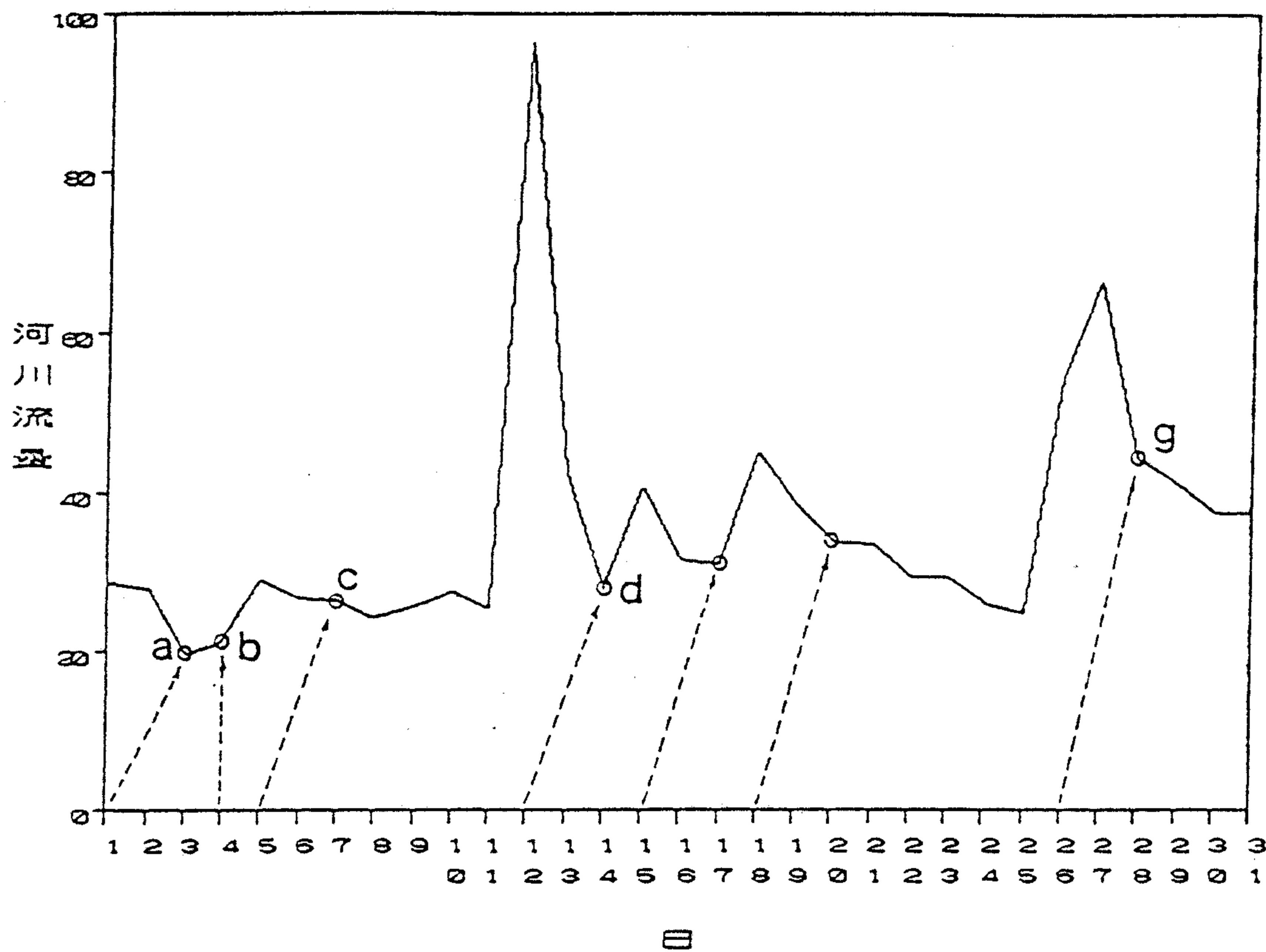


圖4「3日猶豫流量」 $Q_{3d}$ 的計算例

- (4) 對象期間為3月至8月，前面採用的是10年份的數據資料，先求得各年的 $Q_{3d}$ 。
- (5) 求得的10個月 $Q_{3d}$ ，以前面的非超過比率計算的話，則可得知5年會有一次超過設計條件所列可能的設計對象流量。

這個方法，不祇是用在流量，就連水位上下限值，猶豫期間的設定，皆有可能導入。將先前使用的10年間的數據，把猶豫期間設定在3日（ $Q_{3d}$ ）及7日（ $Q_{7d}$ ）時，則如圖5。由圖中得知，目前的情況如前述上限值用200立方米/秒的話，此時的非超過率則相當低。

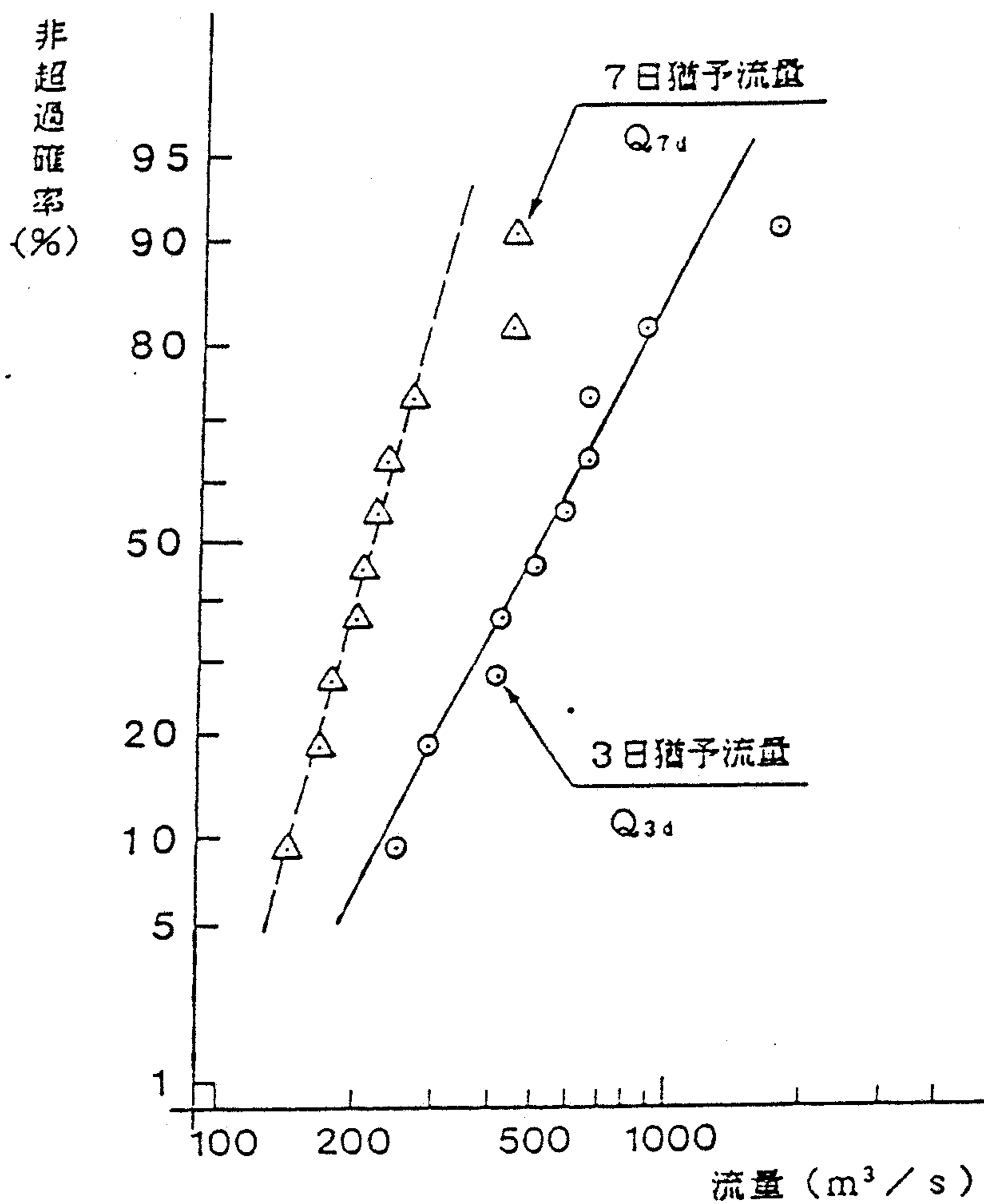


圖5 猶豫期間流量的非超過比率分佈之實例

#### 4、魚道的位置

##### 4、1 入口的位置

選定魚道的設置地點必須先考慮下列各項的重要因素（中村1990）：

- (1) 魚道的規模，依其建設經費而定；
- (2) 魚道的集魚效果、或集魚設備的必要性；
- (3) 可能會阻礙洪水流下，受到「河川設施之管理規定」等限制；
- (4) 排砂等維護的頻度；
- (5) 景觀；
- (6) 關係者以外進入的頻度。

其中，特別是以溯上魚為對象的魚道，為了發揮魚道的功能，第(2)項最為重要，也是魚道入口位置選定的首要條件。

溯河上來的魚、能集中於魚道的入口，魚道才能發揮其功能。設置入口處最適合的場所就是溯上魚集中的地方，但是在建堰等之前能正確預測出，是不容易的事。

在對象魚的溯上途徑中，有已經設立的障礙建築物，經過觀察等實地的調查可以很容易知道這些地點。堰等建築物在建造主體工程時，魚道的部份只要先建築與堰等建築物相關連的部份，其它包括入口的部份，則等看到魚的聚集情況後再予設置。特別是防砂壩等建築物，在完工之後流況變化顯著，上述的方法有效性增高，在日本實際上尚無此例。

事前對集魚場所（做為入口的為最適當場所）很難預測時，還可採用以下二種方法：

（1）把堰等建築物（域）全域做為魚道的入口；日本稱為「全面魚道」，滋賀縣有9例（中賢治等1990），另外在北海道止別川有把段差工事改為魚道狀等的實例（岩城勝義等1990）。

（2）魚的溯上時期僅魚道能供流水。魚溯河上游時必需有充沛的流量。美國的發電用水庫在發電放水路準備有集魚設備，只在溯上期以門操作集魚，這也是一個對策（Clay, 1961）。另外還有一種活動堰，在溯上的最盛期開啓堰之一部份候之上溯，這也是一種方式。在日本，發電放水口設置在離開水庫的下游，從水庫到那地點，魚道流出的水量如同河川流量一樣的大，極具效果，五瀨川的星山水庫（宮崎縣）魚道即是。

這些例子是較特別的，通常很少在事後才建魚道，做全面魚道也不合適，祇在魚道有流水也很少見。換言之還是先預測溯上魚聚集的地點。這個地點的預測必需聽取當地漁會會員的建議及從事實地調查而得知。這裡整理一些經驗上知識的累積，做出以下結論。

溯河上游的魚在堰等下面，一般的行為有：

- （1）迴避過強水流等溯上的障礙，延著緩流的邊緣地區移動；
- （2）平穩的朝緩流中流速較強的方向行動；
- （3）在周圍複雜亂流中選擇較平緩的寬流幅方向行動；
- （4）滯留在較強流水產生的循環流中游泳等這些情形。

因此，如（1）遇到溯上障礙時，會沿著邊緣前進；（2）及（3）則在水流的源頭附近；（4）則在循環流域裡，以上這些都是集魚的場所。這些場所一般都在堰下方的靠側岸附近及發電等放流口的旁側。

以上為經驗上的知識累積所做的整理，實際上在很多地方僅憑這些知識是不夠的。其它的經驗知識也有待指教，如堰及魚道做好後，河床形態及流況的變化等。要讓魚道能發揮長期間的效果，必須先預測其變化再決定位置。日本的急流河川特多，也是魚道位置選定較為困難的理由。建築堰堤引起的變化在這不敢多提，這要算是「河川地形學」或「土砂水理學」的專門學問。因魚道而導致河床局部的變動，在日本建設省土木研究所曾有先驅性的研究報告，其結果部份介紹如下：



實驗是以魚道從堰向下游延伸（突出型）；向上游延伸，入口在堰坡的斜坡下端附近（引入型）；魚道彎屈入口在堰的正下方，出口在正上方（彎曲型）。全都是設置在左岸方向，結果顯示，突出型與彎曲型的魚道在正下方堰的附近會有局部沖掘情形，引入型則在護床工事下游離堰較遠的位置才會有沖掘情形（神庭治司等、1990）。到目前為止還沒有更詳盡的報告。這種局部變動經長時間的演變，魚道入口的流況會發生什麼樣的變化，這有待未來檢討。

如果難以預測出設置後的變化，必須先考慮將來可以把入口處移至他處的可行性。實際上，在突出型的魚道增設彎曲型的支道，而情況獲得改善的例子，以及一開始就設置有支道且成功的例子都不少。情況獲得改善的有利根大堰的魚道（Moriguchi, 1990），最初即採用支道的有日高川（和歌山縣）的幾個魚道，皆為代表性例子。

#### 4.2 出口的位置

選擇出口位置特別要注意以下幾點：

- (1) 溯河上游的魚迷入取水口的可能性，會隨著由堰流出的水一起流下或折返（fallback）；
- (2) 容易流入砂土；
- (3) 因堆砂而可能閉塞；
- (4) 流量調節裝置計數設備等位置要適當。

入口選擇在良好的場所時，出口則會有(1)的問題發生。穩定水流的旁側為入口的好條件，同時也是取水口的好位置，但是就迷入的可能性來說，距離取水口較遠是沒有必要的。取水口周邊深且寬廣，只要稍微離開取水口即可，因為取水的水流速很明顯較小。如果溯上魚離開流速快的魚道，而突然轉入完全沒有流速的地方，很容易會迷失方向；要是能有某種程度的流速，較容易找到正確的方向。因此，只要把出口稍微移開些，防止迷入的話，將魚道與取水口設在同一方向，也有不少利點。

在(2)、(3)項則更明顯，對取水口來說，也是要避免(2)及(3)。實際上第(4)項也受到很大的約束。因為流量調節裝置等附帶設備、動力部份等的隱密部份，都要有足夠的空間。

無論如何，入口位置的選定要比出口位置的選定更優先，縱使出口位置有任何問題，可用其他方式來解決。

#### 5. 迷入對策及降河魚用魚道

魚道最重要的任務，在於提供淡水魚安全及確實的洄游路線，大部份的魚道主要功能是針對溯上的魚類。對於確保降河魚的洄游路線，以及在取水口防止迷入或帶入的對象也是重要任務。

到目前為止，防止迷入的對策經整理如表四所示（Task Committee on fish-Handling Capability of Intake structures, ASEC 1982）。

表4 防止迷入對策

思考方式	具體方法例
(1)集魚行動(fish collection and removal)	移動式屏幕 (Screen)
(2)導魚入安全通路(fish diversion)	傾斜屏幕加支流(by-pass)
(3)避免、抑止或妨礙進入(fish deterrence)	氣泡幕、電柵欄(Barrier), 塗紅漆
(4)利用過濾排除(Physical exclusion)	過濾

日本現有的例子幾乎都如上述(3)的方式，但其效果並不顯著。效果不能提高的理由之一，是魚如果發生退避行為而不進入取水屏幕，想要再退回安全的降下通路也是困難的。可再加入(1)及(2)的方式，將「安全通路」的一側做為魚道（或是魚道支流(fish bypass)。採用(1)及(2)的方式使之通過人為的安全通道（至少母集團）所救到的魚數相當明確，效果判定也比較容易。

## 6、魚道的形式及特徵

各種魚道形式及水理學特徵等整理如表五所示。

表五魚道形式及其特徵

名稱	特徵及留意事項
(A) 水池型	(連接水池形，不須要休憩用水池。水池間有隔牆相隔，能保持一樣的水流與固定的通路。)
(1) 階梯式	流速、流量因水位變化有很大影響。
(2) 潛孔式	流速、流量不易受到水位變化影響。
(3) 垂直槽 (vertical slot) 式	流速不受影響，流量依水位比例增減
(B) 水路型	(長形者必需有中途休憩用水池。像溪流一樣複雜的流況裡，魚可以選擇適當的通路。能適應某種程度的水位變化。)
(4)	緩斜坡支流水路人造河，且距離要長

(5) 舖上粗石的斜路，下游部份的流況預測及上游前端的工事は成功與否寬關鍵。

(6) 導流壁式 流況預測困難。

(7) 旦尼爾 (denier) 式

(a) : 標準型 底部流速慢，表層快，小型、急坡也能適用。

(b) : 通過陡坡型 (Steep pass) 底部流速快，表層慢。可適用小型急坡度。

(c) : 通船型 中央部可通船。必需具緩坡。

(8) 涵洞式 (Culvert) 為簡易魚道，必需有緩坡。

---

(c) 閘門型 (與有水位差的場所為通船而作閘門一樣的原理)

9a : 閘門型 集魚及促進通過掌握成否關鍵。

9b : 波蘭型 水庫用。同上

---

(D) 其他

(10) 升降機 (lift) 或是電梯 (Elevator) 式

(11) 魚泵 (fish pump) 式

---

除階梯式以外，在日本的實例如下：

(3) 垂直槽式：鳴瀨川水系道川 (宮城縣)；三方島堰、北上川 (呂城縣) 北上大堰、阿武隈川 (宮城縣) 阿武隈大堰。

(5) 有粗石斜路：仁淀川 (高知縣) 八田堰。

(7) 旦尼爾式中 (7) a : 標準型有 (簡易型) 鳴瀨川水系吉田川 (宮城縣) 粕川堰。

(9) a : 閘門型有：築後川 (佐賀縣) 築後大堰、信濃川 (新瀉縣) 蒲原大堰。

這些都是日本的代表性魚道，此外日本尚無旦尼爾式的通過陡坡型、通船型及涵洞型可參考卡多波迪氏 (Katopodis 1990) 及拉里尼亞 (Larinier 1990) 的文獻都有詳細介紹。而魚泵式則可參考小長谷 (小長谷, 1990) 的文獻。

## 7、引水

形式的選定及設計內部構造之前，必須先注意到引水，其基本要件如下：

(1) 如果引水可能達一定流量以上時，儘可能全部提供為魚道的流量。

(2) 如果此結果反而造成魚道入口旁的流況發生問題的話，為了緩和可附加入口池較佳。

(3) 如果分配的流量大，僅供魚道水流又有多時，必需另外再設放流設備，這個時候：

(3) a：引水的水流不能朝向魚道入口，避免將魚誘引至其它水路。

(3) b：引水的水流不要形成容易使溯上魚進入的循環流。

(3) c：引水的水流不能妨害魚進入魚道。

(3) d：避免魚來到魚道入口的附近，卻朝向引水的方向前進。

(4) 一般引水的放出口水勢強（流速大），則不易滿足上述各種條件，因此：

(4) a：儘可能平穩放水。

(4) b：用擴散裝置（如擴散器Diffuser）減速、擴散等方法放水當無困難。

(4) c：在強水流的引水水路兩側設魚道（稱爲引水水路式魚道）。對上述

(3) d：可達其效果。

## 8、流量公式及流況。

### 8、1階梯式。

越流流速  $V_c = (ghc)^{1/2} = (2gh/s)^{1/2}$  .....(3) ( $g$ =重力加速度  
 $h_c$ =界限水深  $h$ =越流水深)

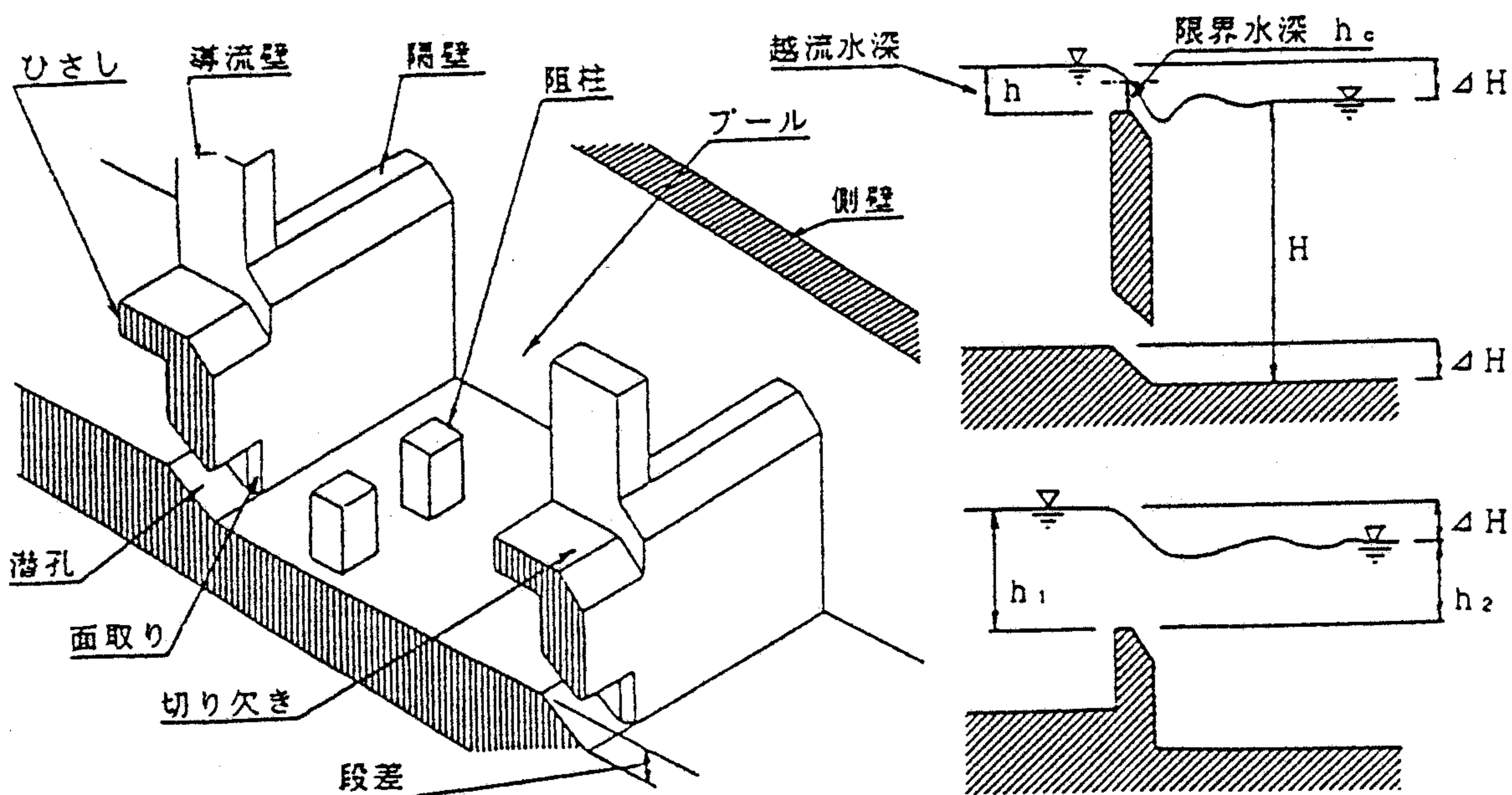
階梯式魚道設計重點，是不超過對象魚的突進速度。有的流量方面，則用以下的公式計算出。

越流流量  $Q_p = 0.61bh^{3/2}g^{1/2}$  (落下流狀態，完全越流的場合) .....(4)

$Q_p' = bh^2(2g(h_1-h_2))^{1/2}$  (潛孔越流的場合) .....(5)

潛孔流量  $Q_o = Ca(2g\Delta h)^{1/2}$  .....(6)

(這裡  $b$ ：越流幅， $h_1-h_2$ ：上、下流的水位差(= $\Delta h$ )、 $C$ ：縮流係數(= $0.65\sim 0.8$ )因潛洞形狀、接近流速而不同， $a$ ：潛洞斷面積)



圖六階梯式魚道內部的各種名稱（左）及記號，但是必需留意以下各點。

(1) 落下流狀態 (plunging flow) 及表面流狀態 (streaming flow) 流量大時，若是水池長、段差小，則水池內的水流呈表面流狀態 (圖七)。表面流狀態的流量：

$$Q_s = 1.5bd(gSL)^{1/2} \dots\dots\dots(7)$$

(這裡 d：隔牆上的水深，s：坡度 (=  $\Delta H/L$ )、L：水池長)

兩者遷移狀態的流量大約是

$$Q_t = 0.25bSL^{3/2}g^{1/2} \dots\dots\dots(8)$$

的程度 (Rajaratham & katopodis et al, 1988)。上述的  $Q_t$  是採用以急速高峰 (sharp crest) (越流水深/隔牆頂天端厚在二以上) 做為隔牆而實驗所得。隔牆頂端如是圓狀及  $Q_t$  的值比上述的值要大些。

設計時或校正時，設計對象水位的範圍，需計算  $Q_p$ 、 $Q_t$ 、 $Q_s$ ，並將此作為標準為要。

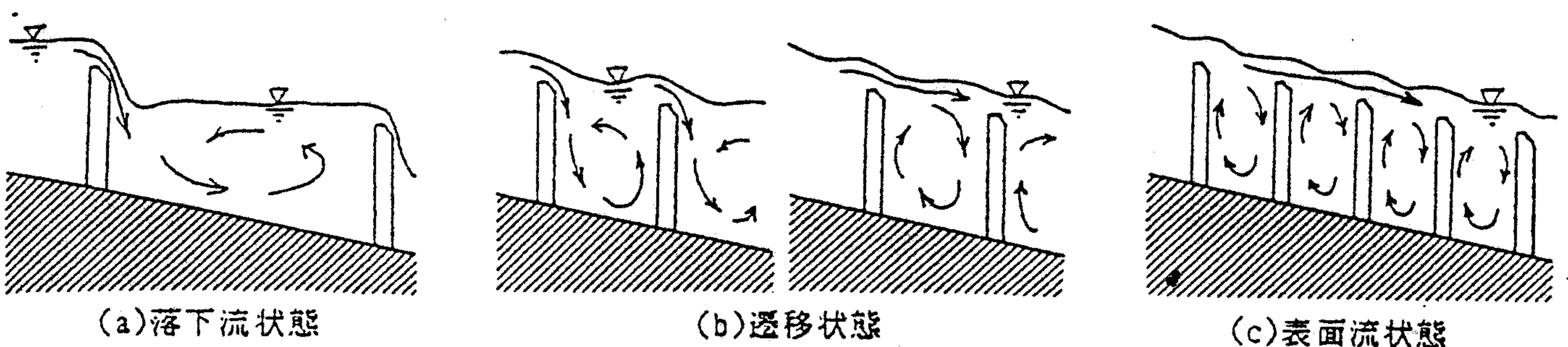
- 1)  $Q_t > Q_p$  而  $Q_t < Q_s$  時: 安定的落下流狀態
- 2)  $Q_t > Q_p$  且  $Q_t > Q_s$  時: 呈遷移狀態
- 3)  $Q_s > Q_p$  且  $Q_t > Q_s$  時: 安定的表面流狀態

茲就依上述考慮計算的話：

a) 段差在30公分時：水池長2米，越流水深在10公分時，呈安定的落下流狀態，水池長4米，越流水深在10~15公分時，也呈安定的落下水流狀態。

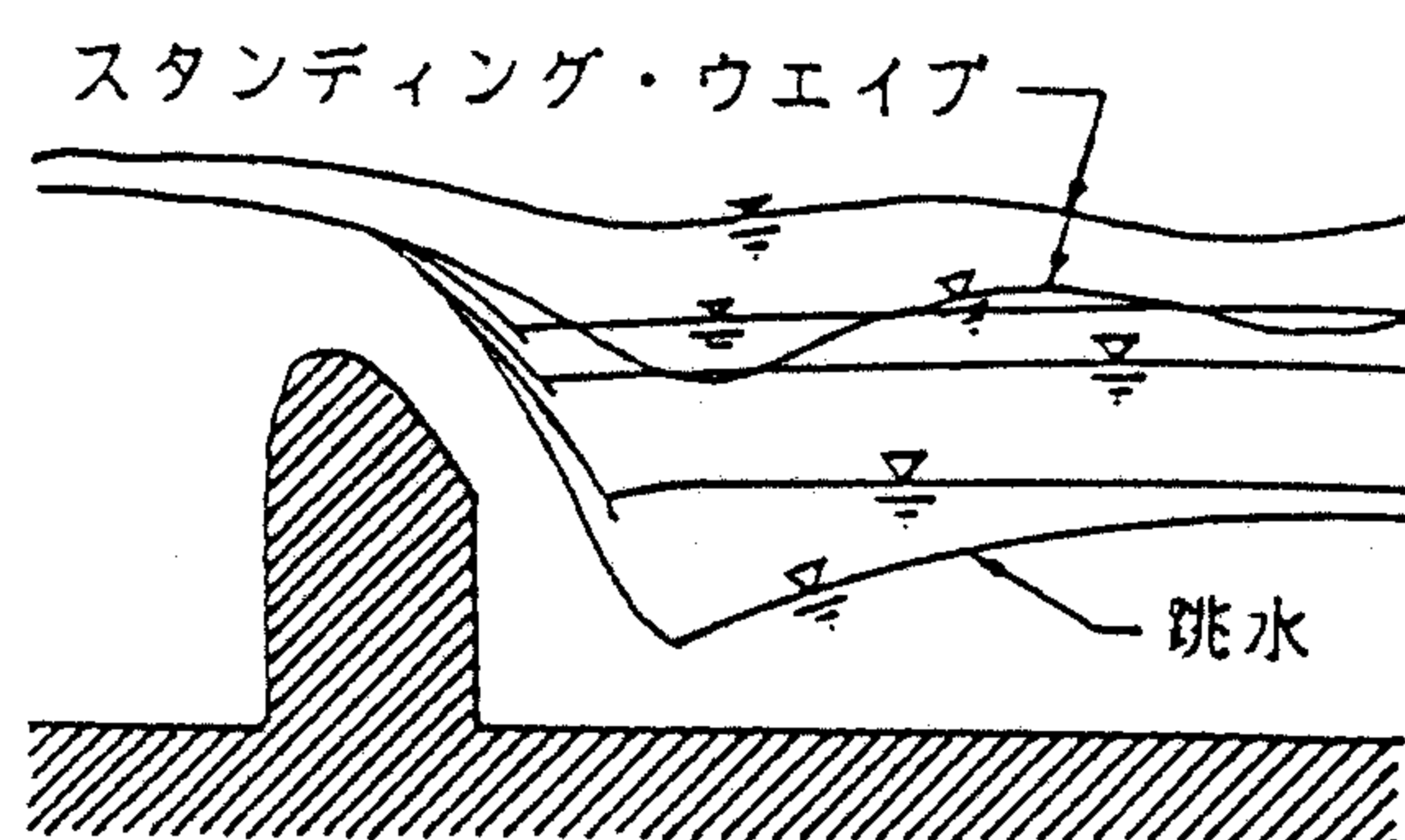
b) 段差在10公分時，水池長2米，越流水深在10公分時，可能呈遷移狀態，而水池長4米，越流水深15公分時，也可能成為遷移狀態。

在遷移狀態時，也會交替出現落下水流狀態及表面水流狀態，使得正在溯上的魚產生混亂現象。因此，在設計水池長、段差小的階梯式魚道時，必需特別注意。



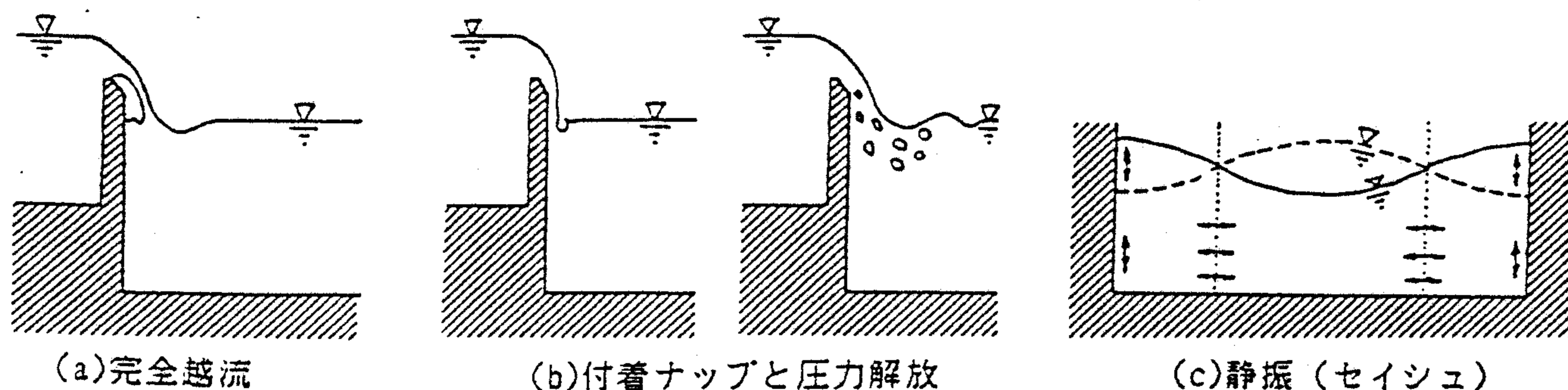
圖七：階段式魚道的“落下流狀態”與“表面流狀態”

(2) 固定(定常)波(Standing waves)越流時一般的水面形態，在下游水位會有如圖八所示的變化(white & Nemenyi 1942 或 Lentheusser & Birk 1990)。如圖所示，下游水位低會產生跳水或潛跳水情況，水位一上昇則產生固定波。階梯式魚道段差小時，也同樣會發生這種現象必需注意。



圖八：越流部下流的水面形

(3) 水面搖動與水振(seiche)一缺口的必需性。



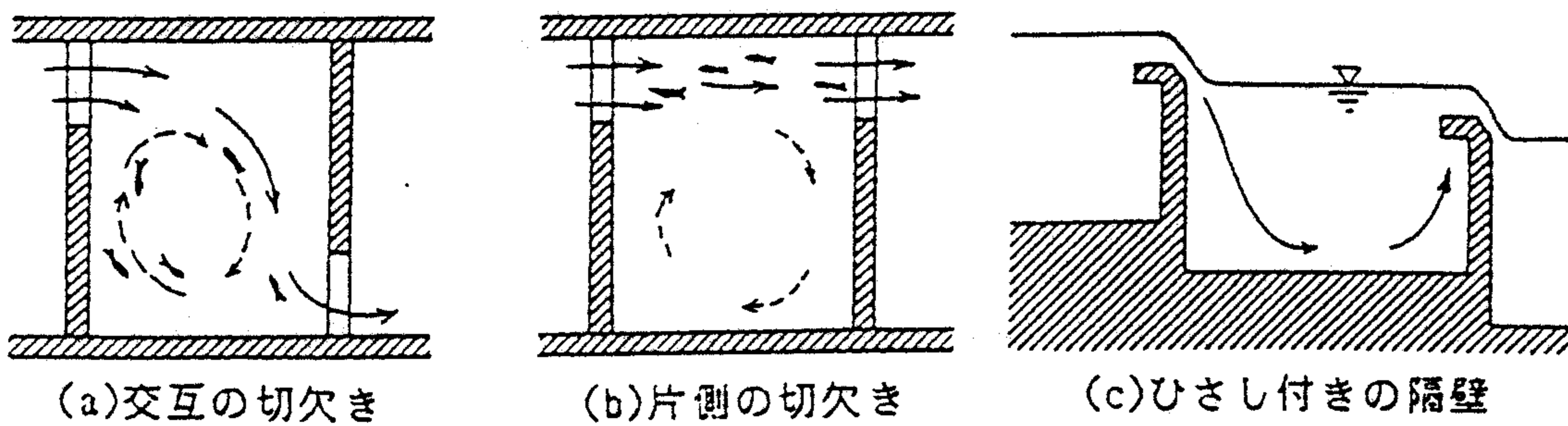
圖九完全越流、溢流水及解放壓力(水面搖動)、水振

沒有缺口的全面越流型的隔牆，若是段差大溢流水從側壁離開，空氣也由旁側自由出入，呈完全越流狀態(圖9-a)，如段差小空氣不易出入，隔牆背面的壓力呈不安定，(同圖b)而反覆發生附著的溢流水及解放壓力等情況，使得水池內水面搖動。

此外，水池內是會產生水振(如圖c)。由於無橫方向的水流，水粒子可自由的橫向振動。特別是魚道彎曲的地方，(轉彎區更帶動橫方向的波動)，乃寬幅大的魚道(水振周期長不易減小)易產生水振。流至下游時通常都還會再有跳動(beat)的現象，馬格那尼水庫(美國哥倫比亞河)的魚道就產生了這個現象，而波高達2.4米(clay 1961;或Bell 1986)。

這些現象如設計有缺口則可迴避。缺口部份空氣容易出入，缺口到周邊的快速水流會在水池內形成循環流(橫向水流)。

以對象魚類溯河上游的速度為重點，則缺口採用直線配置為佳。在缺口交叉設置的情況裡，向流性(游泳習性呈逆流情形)強的溯上魚類在每個水池中很容易會迷失在循環流中(如圖10(a))，假如採直線配置又顧慮到流速的增加時，缺口上加一段橫簷為佳(圖10(c))。



圖十 缺口配置及溯上魚類的行徑 (a)及 (b) 及有簷的隔牆 (c)

#### (4) 潛洞。

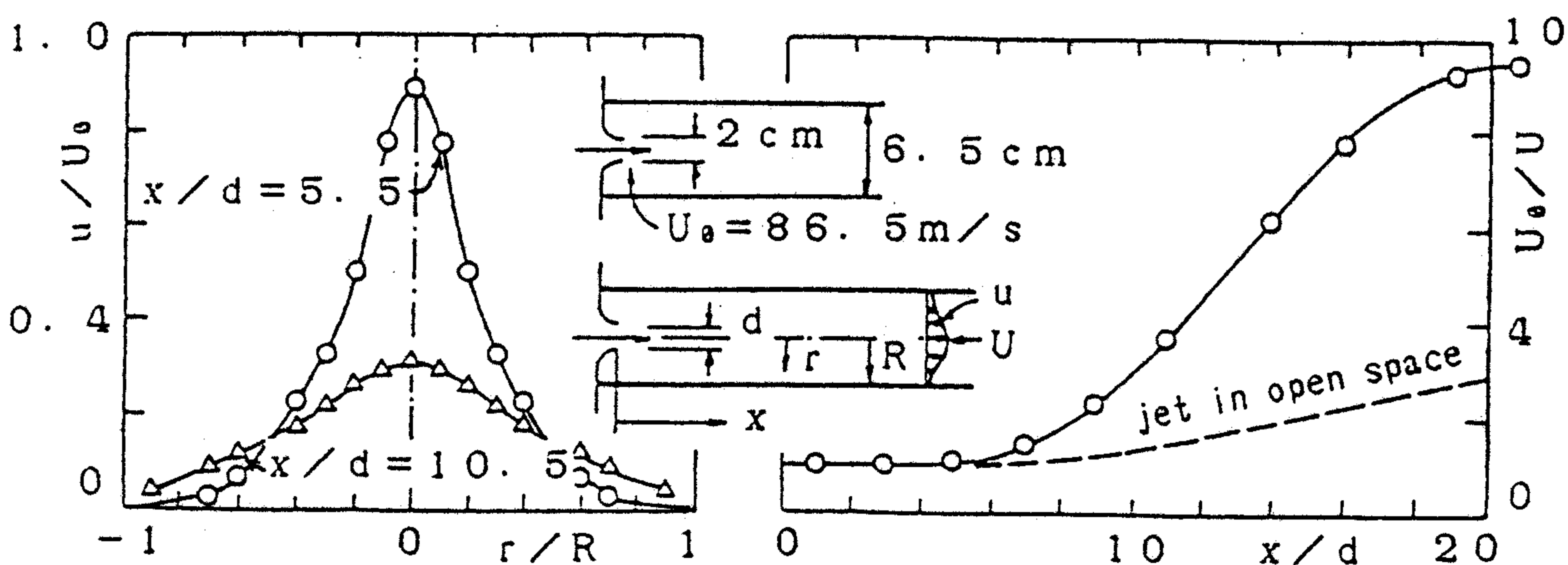
潛洞主要是仰賴越流隔牆的水流時，有以下的缺點：

- (1) 流量及流速受水位變化所影響；
- (2) 越流流速比對象魚類的游泳力小則流量太少（流量增加規模又變大）；
- (3) 溯上時對會多次浮於水表面，（但是只在底層移動的魚類則無法溯上）；
- (4) 在水池內容易堆砂，以上數點必須加以補救。

通過潛洞的流量，如公式 (6) 所示，仰賴水池間的水位差，而與水位無關，如果設有潛洞可確保流量的安定，則能緩和上述 (1) (2) 的缺點。此外，若將潛洞設置在底層時，可彌補 (3) 及 (4) 的缺點。但是針對 (3) 而將水池間的水位差（段差）變小，使流速比魚的游泳力還小的話，可能會比潛洞加大來得更有效果。

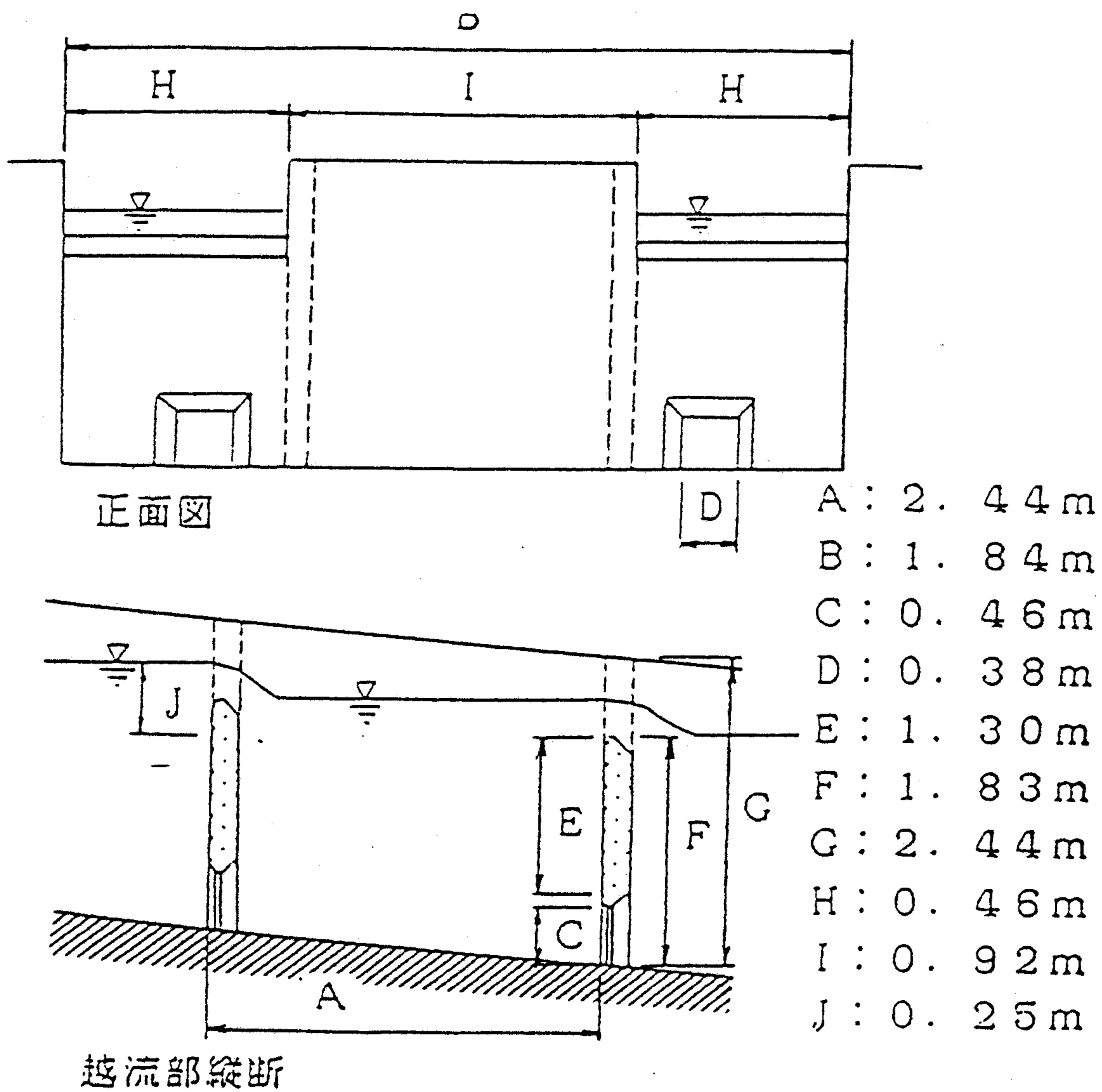
因此，若是設有潛洞，儘可能把段差弄小，流量儘可能大些的情況為佳。段差小的話，如前面所述，易發生表面流狀態及固定波等問題，經由底部潛洞的水流則可抑制這些現象發生。若加上大型物，從潛洞流出的強流（噴流）也不會減速的話，到下一個潛洞又形成接近流速時，流速會逐漸加強。實際上，潛洞的斷面積比起水池的斷面積大時，必須在短距離內減速。爲了維持噴流中心軸的高流速水流，加入的周邊水要像魚道那樣周圍必需圍有固定壁，產生強勁的抑制效果。

這個理論最早是由懷特及聶美 (White & Nemenyi 1942) 兩氏發表出，他們從事的風洞實驗如圖十一所示：



圖十一：周圍有固定噴流的流速分佈 (左) 及中心軸流速下降 (右) (依據 White & Nemenyi 1942 年再修改)

圖中顯示流速分佈呈噴流特有的吊鐘狀，短距離為扁平形（左圖），中心軸上最大流速（U）比起周邊無界限的噴流（破線）要來得明顯減速〔右圖、同圖為縱軸U。（噴出口的流速）／為U所取代，此值急速上升也意味著急減速。



圖十二 Ice Harvard型 (Bell 1986)



事實上，直到什麼程度流速才會變大，與水池的長、寬有關，必需進行有模型實驗的設計方可。由上述的馬格那尼水庫發生水振現象的失敗經驗中，反覆再進行詳細實驗而產生「ICE Harvard 型」如圖十二所示。

### 8.2 垂直槽 (Vertical slot) 式

槽部流速為  $V_s = (2g\Delta H)^{1/2}$  ..... (9)

(這裡  $\Delta H$  : 水池間的水位差 ( : 段差)

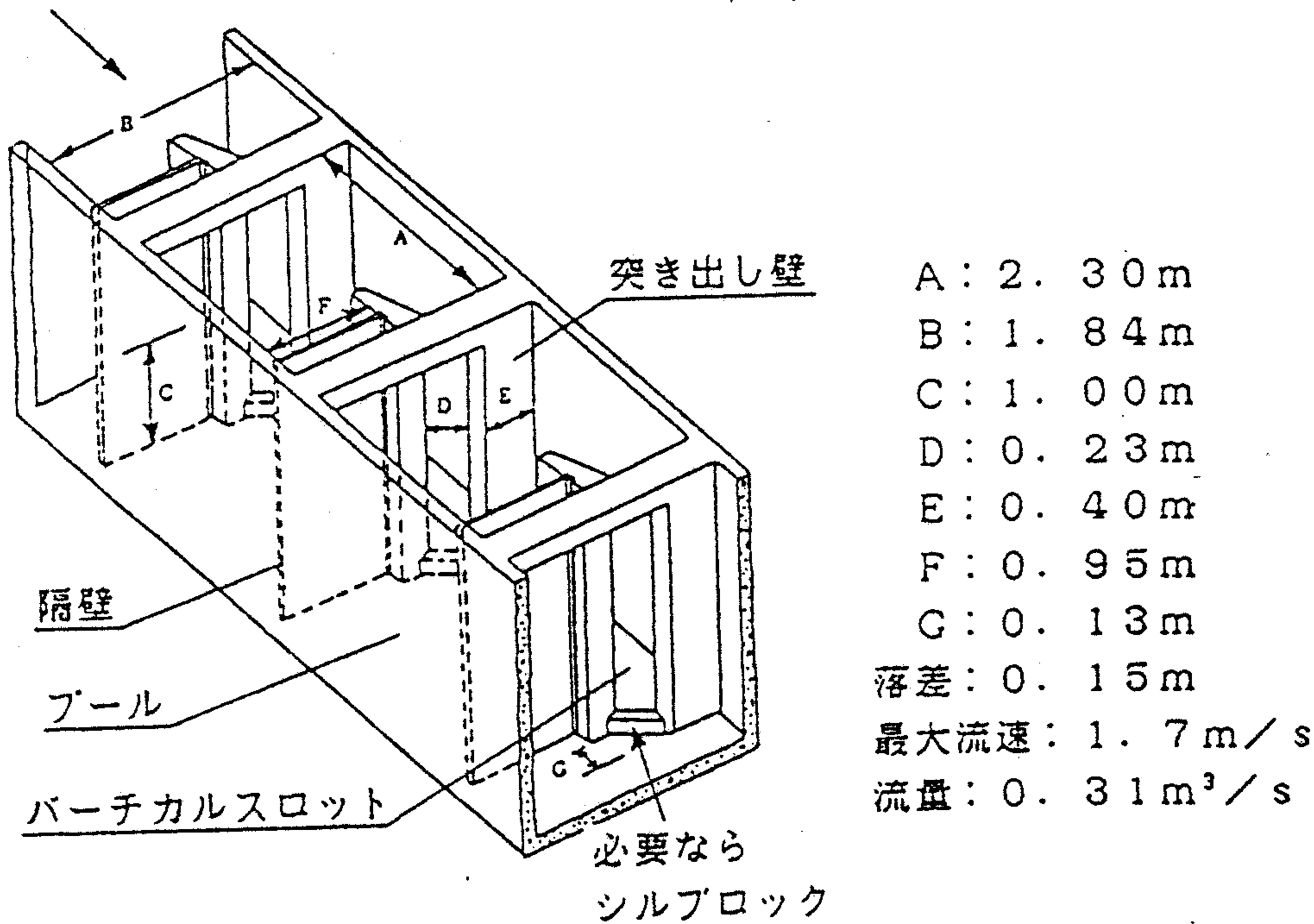
垂直槽是以不超過對象魚的突進速度而設計，流量是用以下列公式計算出 (圖十三參考設計為例)

流量  $Q_v = Cb_0H(2g\Delta H)^{1/2}$  ..... (10)

$Q_v = (3.77(H/b_0) - 1.11)(gSb_0^5)^{1.2}$  ..... (11)

( $L = 10b_0$ ,  $B = 8b_0$ ,  $1.9 < H/b_0 < 9.02$ ; Katopodis, 1990)

( C : 流量係數 (=0.75左右)  $b_0$  : 槽部寬幅 (圖13中的D) H : 槽部水深 S : 傾斜度 L : 水河長 B : 水河寬 )



圖十三、垂直槽式 (右側為參考尺寸)

槽部的流速縱方向大致相同 (Rajaratnam et al 1986及中村和田 1990) 溯上魚可在任意的水深位置上溯。

### 8.3 鋪上粗石的斜路

鋪上粗石斜路的設計，如同緩斜坡支流水路及導流壁式，同樣的等流公式：

平均流速  $V = S^{1/2} R^{2/3} / n$

(這裡 S : 波度 ; R : 徑深 ; n : 粗石的粗度係數)

N值大都是粗略估算，再算出流速及流量。埋有大石的淺水路其徑深的計算方法等並不明確，且N為因應水深有很多變化，不容易做出精確的估算。

提高其精確度的計算方法可參考Herbich & shulits (1964)，以巨大粗度（露出水面的大粗度）計算上層水流的形態。但是時下的場所中，僅在限定的坡度中原有可能的。

總之，水位變化會導致流況的改變，含有大量泡沫的激流，魚類不可能溯上，因此要設計八田堰（高知縣仁淀川）的魚道（照片1），橫方向的坡度要富變化，使得在任何地方的魚皆能上溯。



照片一 八田堰的石斜路

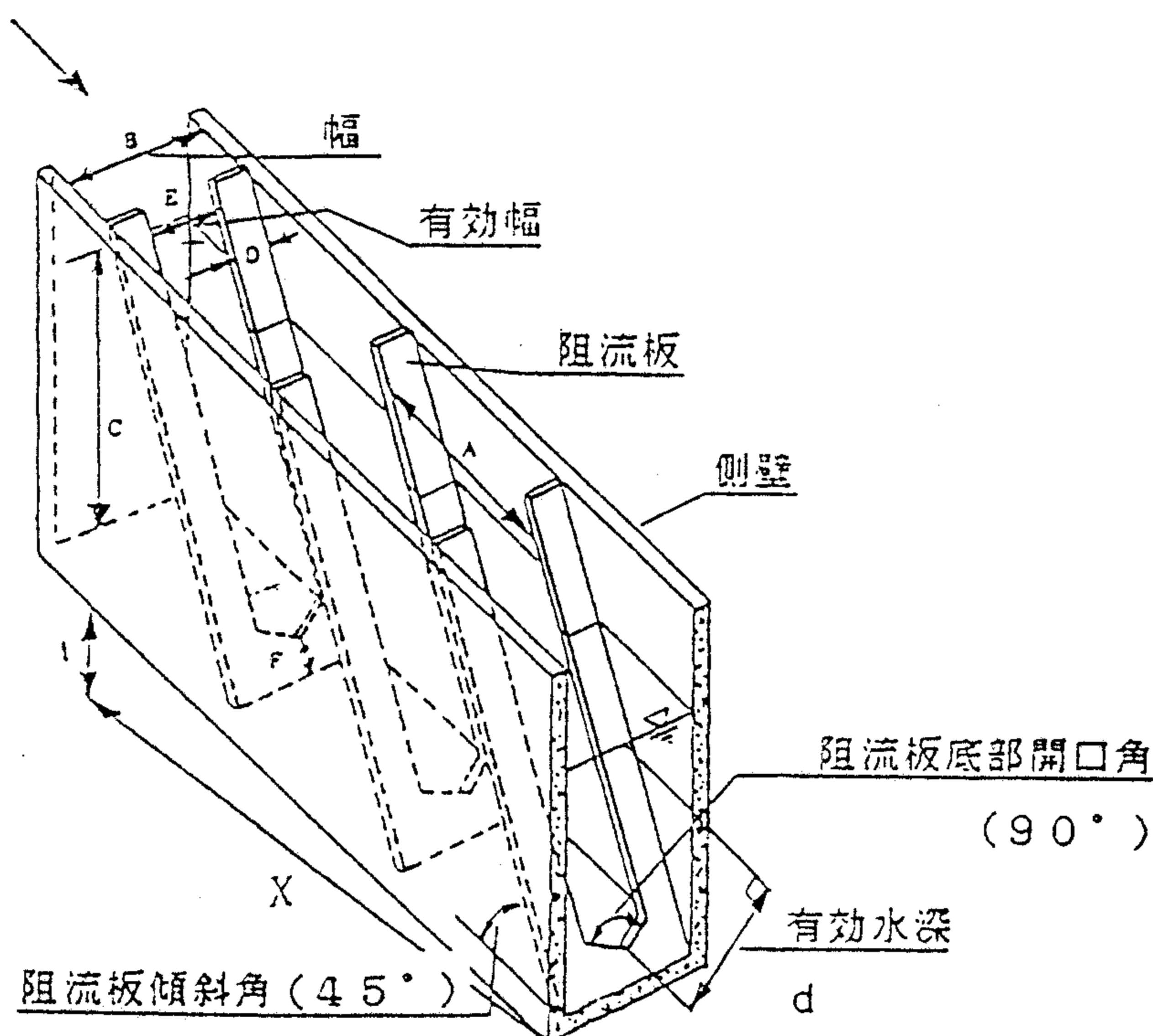
#### 8.4 旦尼爾式

(1) 標準旦尼爾式（圖14的A、B、D、E及F與圖中的尺寸相似，阻流板傾斜度為45度）

$$\text{流量 } Qd = 0.94(d/b)^2(gSb^5)^{1/2} \dots\dots\dots (13)$$

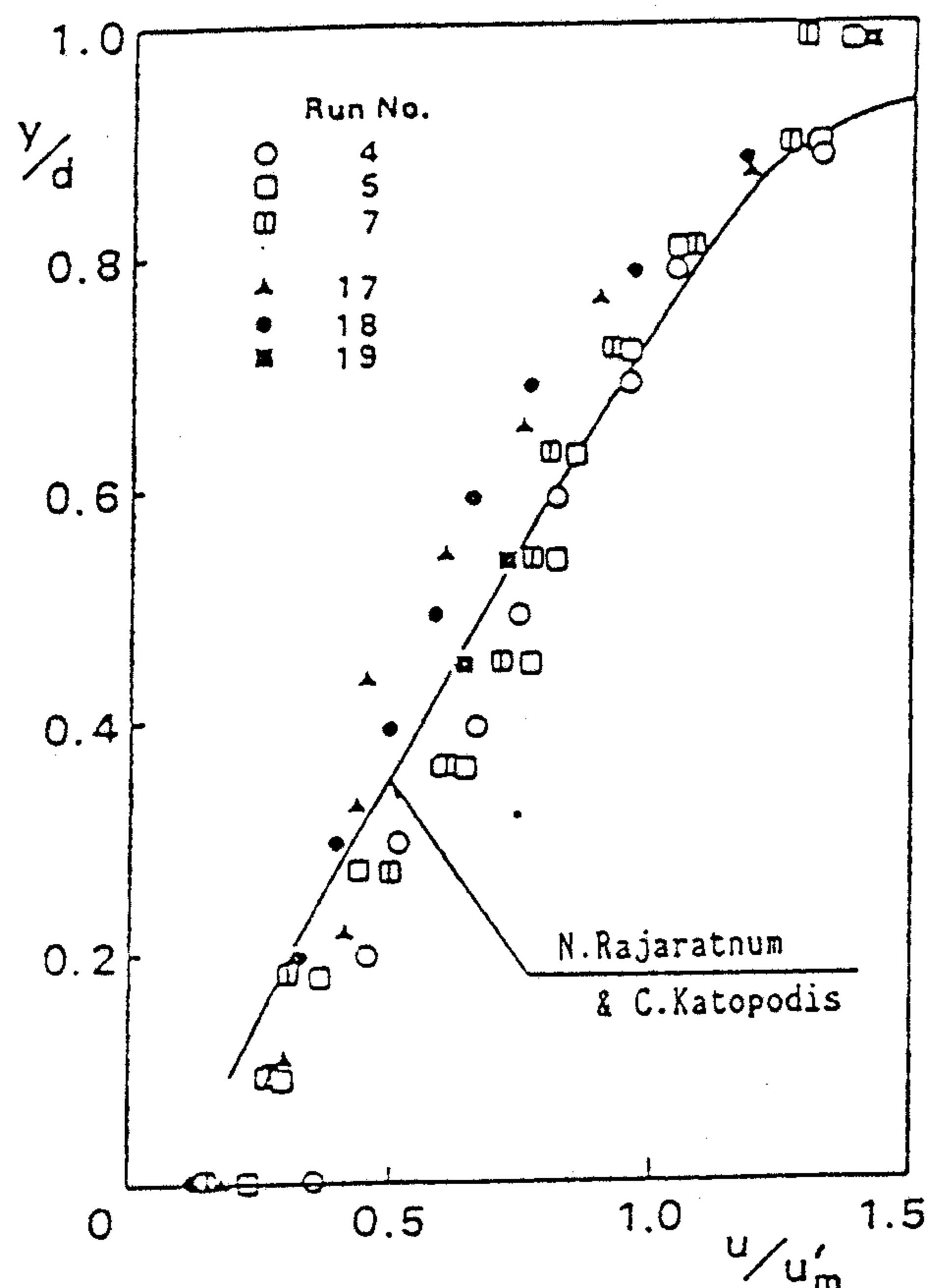
有關標準式，由公式中計算出流量，而流速方面以如下公式計算出的代表流速（水表面至水深25%下的流速）不會大於魚的巡航速度（Katopodis 1988）。

$$\text{代表流速 } Vd = (-0.184(d/b)^2 + 1.862(d/b) - 0.955)(gbS)^{1/2} \dots\dots\dots (14)$$



- A : 0.26 m
- B : 0.58 m
- C : 0.97 m
- D : 0.11 m
- E : 0.36 m
- F : 0.13 m
- X : 12.5
- 勾配 : 1 / 12.5
- 代表流速 : 1.4 m/s
- 流量 : 0.45 m³/s

圖十四 標準型旦尼爾式和其參考尺寸



圖十五 標準型旦尼爾式的流速分佈

旦尼爾式的特徵之一為其特異的流速分佈，在標準形的情況是底部慢而上層快的流速分佈。當有效水深 $d$ 比有效幅 $b$ 大時，中央部則如圖十五一樣，呈直線式的流速分佈，底部的流速是(14)公式所得代表流速的一半以下。在水淺時，底層的流速一樣，為代表流速的0.6倍左右 (Rajaratnam & Katopodis 1984或Katopodis 1988)。水深大時上層的高流速並不適合魚溯上，因此對溯上而言增加了無效斷面(但上層的高流速做為引水則頗具效果)。為了避開這個問題，把淺旦尼爾式分為2段，即「雙層旦尼爾氏」(Rajaratnam, Katopodis, & Flint patersen 1987)。

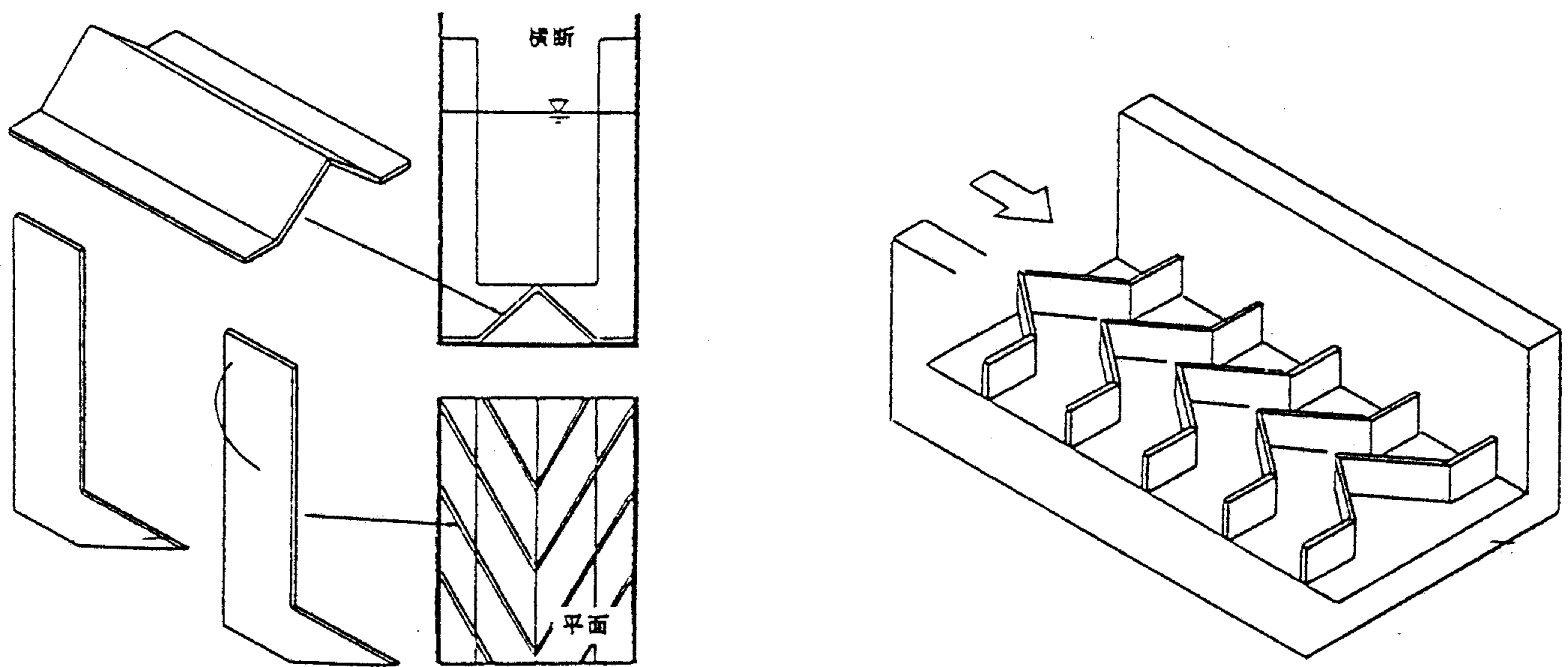
有效寬度要在對象魚體長的二分之一以上，對於阻流板的形狀、間隔、厚度、材質的要求並不很嚴苛。但是魚道的長度須有限制，如果過長，則需有適當的間隔供休憩用的水池。休憩用水池的間隔，如以鮭魚等大型魚為對象時，以溯上高度每隔1.8米為原則 (Senn H等1984)、坡度為 $1/5 \sim 1/6$ 時則每隔10米左右設之為佳。

其他魚類則由其游泳力-持續時間曲線，圖一計算，舉例試算香魚體長(1) = 10公分左右，重力加速度( $g$ )，則為1000公分/秒<sup>2</sup>，

$(gl)^{1/2}=1\text{m/s}$ ,  $(g/l)=10\text{s}^{-1}$ , 則圖一的橫軸如改爲10分之一秒，縱軸爲「米／秒」由Katopdis曲線得知，當持續時間是1秒、5秒、10秒、60秒，則游泳速度各爲1.35、0.8、0.7及0.6米／秒左右，魚道內的底部流速如爲0.5米／秒， $0.1 \times 60$ （秒）=6m、0.4米／秒的話，則每隔12公尺設置休憩用的水池。

(2) 陡坡通過型 (Steep pass) 如圖十六所示，其流速分佈有標準型及反方向型，即底部流速度快，上層則較慢（水深太深時，則呈中層慢、底層及上層快的情況。）有關流量公式可參考Katopdis 1990年的文獻。

(3) 通船型在歐洲船運盛行的河川上，通常都會在堰上設有閘門及通船。特別是在法國、在通船的水路底設置有以阻流板、阻流角材兼具魚道功能（如圖十七所示），這個也是旦尼爾式魚道的一種，有關流量的實驗公式可參考Larinier 1990文獻。



圖十六Steep型圖十七通船型

#### 8.5 涵洞式

在波狀管 (corrugata pipe) 中適當配置上阻流板及粗物 (阻礙流速的突起)，內部構造在原理上與階梯式、垂直槽式或是旦尼爾式相同，其實驗公式可參考Katopdis 1990論文。

## 9、付屬設備

### 9、1 流量調節設備

自古以來即有利用缺口及角落來調節流量，最近則多採用調節門（竹林、渡邊1990）使魚道本體可因應水位昇降（Watanabe等1990及高橋1990）。或是從魚道出口（或出口附近）的側壁將多餘的水溢流，用以穩定魚道的流量，且將溢流出的水做爲引水（卯月1990）。

### 9、2 引水的附加設備

引水水路也是所謂的開水路，通常會設置在流速較急處（例如築後大堰（佐賀縣、築後川）從管路（Pipe Line）經由擴散裝置放流到入口附近的水中（例如官中堰（新瀉縣、信濃川），拘束側壁而呈落下流，例如三方島堰（宮城縣、鳴瀨川）等。

9、3 計數裝置及觀察設備要採用何種型態，在7項已詳述過。自動計算通過的魚數設備有（1）光電管；（2）超音波探知機；（3）利用電氣傳導度的變化等方法。目前其精確度與其他問題點仍多。最近以電子學技術及電腦來發展畫面處理技術，此新技術的開發方興未艾（寺園他，1990）。

觀察設備可在魚道側面設一透明玻璃觀看，1988年在入間川（埼玉縣）是日本最早有此設備者，而目前北海道增毛町的暑寒公園內的魚道、水產廳養殖研究所日光支所內的魚道（在櫛木縣）等也有。

9、4 其他魚道上加防鳥網，在日本還沒有。在岐阜縣稱爲WUNAWA和歌山縣叫HAME等的魚梁漁法（追趕香魚專至一場所的漁法），是採用誘導方式。

入口側壁斗直且高時，以自然石塊埋入的側壁（水面上的部份）的部份，這是爲了防止日光反射。

四處多設置角落用的溝槽，以備不時之需。水池型魚道要著重角落的設置，階段式、潛洞式及垂直槽等三種形式，應具有隨時可變更之魚道設計以爲因應。

## 10 效果的檢驗

爲了檢驗其效果必須能計算出（1）溯上（或降下）魚的總數（母集團）、（2）魚道（或fish bypass）之通過數及（3）通過速度。（2）及（3）較爲容易而（1）較爲困難。標識魚的放流是簡便的方法之一。

附錄三：台灣現有魚道統計表，主要參考自顧（1995）之報告，另外有一些改修或是新建規劃的案例則未納入統計。

序號	地區	施工單位	工程名稱	設置年份	魚道的形式	魚道的規模			問題
						長(m)	寬(m)	高(m)	
1	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第一號防砂壩工程	71	水池階段式	9.6	2	3.25	
2	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第二號防砂壩工程	68	水池階段式	30.5	1.8	1.5	
3	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第三號防砂壩工程	71	水池階段式	15.6	3.2	1.5	
4	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第四號防砂壩工程	75	水池階段式	25	2.5	2.75	
5	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第五號防砂壩工程	75	水池階段式	15.6	2.5	2.75	
6	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第一號潛壩工程	71	水池階段式	15.4	1.8	1.5	
7	臺北縣 烏來鄉	新竹處	桶後溪第二號潛壩工程	80	水池階段式	23.3	4.1	4	
8	臺北縣 烏來鄉	新竹處	加久寮溪第一號防砂壩工程	77	水池階段式	28.8	2	2.5	
9	臺北縣 烏來鄉	新竹處	加久寮溪第二號防砂壩工程	77	水池階段式	24.04	2	2	
10	臺北縣 烏來鄉	新竹處	大羅蘭溪第一號防砂壩工程	78	水池階段式	15.6	1.5	2.5	
11	臺北縣 三峽鄉	新竹處	熊空溪第一號防砂壩工程	75	滑道截牆式	27	2.5	2	
12	臺北縣 三峽鄉	新竹處	熊空溪第二號防砂壩工程	75	水池階段式	30.5	2.5	4.25	
13	臺北縣 三峽鄉	新竹處	熊空溪第一號潛壩工程	76	水池階段式	20	1.5	4.8	
14	臺北縣 三峽鄉	新竹處	蚋仔溪第一號防砂壩工程	75	水池階段式	29.85	2.5	3.25	
15	臺北縣 三峽鄉	新竹處	蚋仔溪第二號防砂壩工程	75	水池階段式	33.45	2.4	2.5	
16	臺北縣 雙溪鄉	羅東處	灣潭溪第一號防砂壩工程	77	水池階段式	18.6	2.5	1.3	
17	臺北縣 雙溪鄉	羅東處	灣潭溪第二號防砂壩工程	77	水池階段式	22.49	2.5	1.3	
18	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第一號防砂壩工程	75	水池階段式	43	3	2.5	已毀壞
19	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第二號防砂壩工程	75	水池階段式	47.15	3	4.5	已毀壞
20	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第三號防砂壩加高及增設魚梯工程	75	水池階段式	29.7	3	4	已毀壞
21	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第四號防砂壩工程	81	水池階段式	27	2	2.5	已毀壞
22	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第五號防砂壩加高及增設魚梯工程	82	水池階段式	48	3	3.1	已毀壞
23	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第六號防砂壩新建工程	82	水池階段式	32.9	3.4	2.5	已毀壞

24	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第七號防砂壩新建工程	82	水池階段式	35.9	3.4	2.5	已毀壞
25	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第八號防砂壩新建工程	83	水池階段式	40.4	3.5	2.9	已毀壞
26	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第九號防砂壩加高及增 設魚梯工程	84	水池階段式	45.5	1.5	3.6	已毀壞
27	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第一號潛壩工程	76	水池階段式	32.3	3	2.5	已毀壞
28	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第三號潛壩加高及增設魚梯工 程		水池階段式	38.2	3.7	3.1	已毀壞
29	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	東河第四號潛壩新建工程	84	水池階段式	36.6	1.5	3.4	已毀壞
30	苗栗縣 南庄鄉	新竹處	石門防砂壩工程	83	水池階段式	55	1.5	3.3	
31	苗栗縣 泰安鄉	新竹處	汶水溪第一號防砂壩工程	76	滑道截牆式	35.6	2	1.2	
32	苗栗縣 泰安鄉	新竹處	汶水溪第二號防砂壩工程	77	滑道截牆式	23.1	2.5	2.3	
33	苗栗縣 泰安鄉	新竹處	汶水溪第三號防砂壩新建工 程	84	水池階段式	43.65	3.5	1.6	
34	苗栗縣 獅潭鄉	新竹處	明德水庫第三號防砂壩工程	76	水池階段式	20.5	1	3	
35	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪支流第一號防砂壩 工程	76	滑道截牆式	14	1	0.6	
36	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪支流第二號防砂壩 工程	76	水池階段式	25	1	0.75	
37	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪第一號防砂壩加高 及增設魚梯工程	79	滑道截牆式	38.69	1.5	1.1	
38	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪第二號防砂壩加高 及增設魚梯工程	79	水池階段式	29	0.8	1	
39	臺中縣 和平鄉	東勢處	210林道1K+500下方坑防砂 壩加高及魚梯新建工程	79	水池階段式	43.68	1.5	1.7	
40	臺中縣 和平鄉	東勢處	530林道長青椅上方防砂壩 工程	78	滑道截牆式	26	1.5	1.5	
41	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪530林道2K+301防 砂壩加高及魚梯新建工程	79	水池階段式	25.4	1.5	1.5	
42	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪第二號吊橋下崩塌 地處理工程	77	水池階段式	19.6	1.5	0.7	
43	臺中縣 和平鄉	東勢處	烏石坑溪第二號吊橋下防砂 壩加高及魚梯新建工程	79	水池階段式	38.5	1.5	1	
44	臺中縣 和平鄉	東勢處	雪山坑溪崩場地處理工程	76	水池階段式	16	1.5	0.9	
45	臺中縣 和平鄉	東勢處	南湖溪第四號防砂壩整修工 程	81	滑道截牆式	26	2.5	0.9	隔壁缺損
46	臺中縣 和平鄉	東勢處	七家灣溪簡易試驗工程	82	水池階段式	20	1	0.5	已拆除
47	南投縣 信義鄉	嘉義處	霍隆溪第一號潛壩工程	84	水池階段式	38	2.4	1.4	

48	高雄縣 桃源鄉	屏東處	馬里山防砂壩增設魚梯工程	83	滑道截牆式	55	2.5	2	
49	高雄縣 六龜鄉	屏東處	扇平防砂壩增設魚梯工程	83	滑道截牆式	38.5	1.6	2	
50	屏東縣 獅子鄉	屏東處	雙流溪第一號防砂壩加高工程	75	水池階段式	16.2	2.75	5	
51	屏東縣 獅子鄉	屏東處	雙流溪第三號防砂壩加高工程	75	水池階段式	13.8	2.7	5.6	
52	屏東縣 泰武鄉	屏東處	大後防砂壩增設魚梯工程	83	滑道截牆式	29.5	1.6	2	
53	宜蘭縣 大同鄉	羅東處	田古爾溪第三號防砂壩工程	77	水池階段式	51.5	1.8	1	
54	宜蘭縣 大同鄉	羅東處	田古爾溪第四號防砂壩新建工程	81	水池階段式	55.6	2	1	
55	宜蘭縣 大同鄉	羅東處	羅東溪第三號防砂壩工程	77	水池階段式	47.5	1.8	1	
56	宜蘭縣 大同鄉	羅東處	仁澤第一號防砂壩工程	79	水池階段式	46.5	1.8	1	淤積缺水
57	宜蘭縣 員山鄉	羅東處	粗坑第三號防砂壩工程	82	水池階段式	54	2.5	2	
58	宜蘭縣 蘇澳鄉	羅東處	武荖東坑第三號防砂壩工程	82	水池階段式	54.45	2.5	2	
59	臺東縣 卑南鄉	臺東處	知本溪第六號防砂壩工程	77	水池階段式	14.55	2	3.8	進水口堵塞
60	台北市 陽明山	陽明山 國家公園	鹿角坑溪攔水壩	80	階段隔壁式	35.5	1	3.1	出水口位置不當
61	台北縣 坪林鄉	水利局	北勢溪坪林攔河堰		水池階段式				缺水 出水口位置不當
62	台北縣 新店市	台灣電力公司	新店溪粗坑壩	新修	階段隔壁式				缺水 出水口位置不當
63	台北縣 新店市	台灣電力公司	南勢溪忠治壩		階段隔壁式				已毀壞
64	台中縣 和平鄉	台灣電力公司	大甲溪馬鞍壩	興建中	垂直槽式				興建中
65	台中縣 和平鄉	台灣電力公司	大甲溪馬鞍壩	興建中	單尼爾式				興建中
66	台中縣 和平鄉	台灣電力公司	大安溪士林壩	興建中					興建中
67	南投縣 竹山鎮	水利局	濁水溪集集攔河堰	興建中	階段隔壁式	~200	2.0	17-20	半密閉式 興建中
68	桃園縣 復興鄉	石門水庫管理局	大漢溪支流蘇樂一號防砂壩	82	階段隔壁式	26.5	1.5	7	入水口堵塞
69	台北縣 貢寮鄉	自來水公司	雙溪攔水堰	整建中	水池階段式	13	2	1.7	入水口堵塞