

# 「七家灣溪河床棲地改善之試驗研究」

## An Experimental Study of Channel Habitat Improvement for Chi-Chia-Wan Creek

委託單位：內政部營建署雪霸國家公園管理處

執行單位：中華水土保持學會

計畫主持人：葉昭憲（私立逢甲大學土地管理系副教授）

協同主持人：段錦浩（國立中興大學水土保持學系教授）

研究人員：連惠邦（私立逢甲大學水利工程系副教授）

中華民國八十七年六月

# 目錄

壹、計畫緣起.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 計畫範圍.....	1
1.3 計畫流程及方法.....	1
1.4 計畫工作內容概述.....	5
貳、相關研究回顧.....	6
2.1 櫻花鉤吻鮭之族群特性.....	6
2.2 河床棲息地改善工程.....	6
2.3 滯洪壩之特性研究.....	8
參、水文分析.....	10
3.1 水文分析.....	10
3.1.1 基本資料分析.....	10
3.1.2 試驗區設計流量分析.....	11
3.2 水工模型試驗.....	14
3.2.1 試驗目的.....	14
3.2.2 工作流程.....	14
3.2.3 現場調查報告.....	16
3.2.4 模型尺寸分析.....	19
3.2.5 模型製作與儀器設備.....	21
3.2.6 結果與分析.....	21
肆、結論與建議.....	43
4.1 結論.....	43
4.2 建議.....	44
伍、參考文獻.....	45

## 圖目錄

圖 1-1 雪山溪四號壩位置圖.....	2
圖 1-2 研究流程圖.....	3
圖 2-1 滯洪壩之示意圖.....	8
圖 2-2 滯洪壩構築後之河床型態.....	9
圖 3-1 不同降雨情況下之時間分布曲線.....	12
圖 3-2 四號壩設計流量歷線.....	13
圖 3-3 工作流程圖.....	15
圖 3-4 雪山溪四號壩原地形與上游淤砂坡度線圖.....	18
圖 3-5 現場防砂壩尺寸圖.....	20
圖 3-6 防砂壩缺口模型圖.....	22
圖 3-7 矩形缺口(A 型)之下游單位淘刷深度圖.....	26
圖 3-8 矩形缺口(B 型)之下游單位淘刷深度圖.....	26
圖 3-9 梯形缺口(A 型)之下游單位淘刷深度圖.....	27
圖 3-10 梯形缺口(B 型)之下游單位淘刷深度圖.....	27
圖 3-11 矩形缺口(A 型)之中游單位淘刷深度圖.....	27
圖 3-12 矩形缺口(B 型)之中游單位淘刷深度圖.....	27
圖 3-13 梯形缺口(A 型)之中游單位淘刷深度圖.....	28
圖 3-14 梯形缺口(B 型)之中游單位淘刷深度圖.....	28
圖 3-15 矩形缺口(A 型)之上游單位淘刷深度圖.....	28
圖 3-16 矩形缺口(B 型)之上游單位淘刷深度圖.....	28
圖 3-17 梯形缺口(A 型)之上游單位淘刷深度圖.....	29
圖 3-18 梯形缺口(B 型)之上游單位淘刷深度圖.....	29
圖 3-19 矩形缺口一次拆除之排砂歷線圖.....	34
附圖 3-1 深槽形成圖.....	56
附圖 3-2 深槽形成圖.....	57
附圖 3-3 深槽形成圖.....	58
附圖 3-4 深槽形成圖.....	59
附圖 3-5 出砂歷線圖.....	60

附圖 3-6 出砂歷線圖.....	61
附圖 3-7 出砂歷線圖.....	62
附圖 3-8 出砂歷線圖.....	63
附圖 3-9 出砂歷線圖.....	64
附圖 3-10 出砂歷線圖.....	65
附圖 3-11 出砂歷線圖.....	66
附圖 3-12 出砂歷線圖.....	67
附圖 3-13 出砂歷線圖.....	68
附圖 3-14 出砂歷線圖.....	69
附圖 3-15 出砂歷線圖.....	70
附圖 3-16 出砂歷線圖.....	71

## 表目錄

表 3-1 研究範圍內及附近之水文站.....	10
表 3-2 赤嘉楊大山站 75 年至 85 年間之暴雨資料.....	11
表 3-3 試驗條件表.....	20
表 3-4 河床最終平均坡度與各拆除缺口型式關係表.....	23
表 3-5 矩形缺口之最終平均坡度與相對坡度.....	24
表 3-6 梯形缺口之最終平均坡度與相對坡度.....	24
表 3-7 矩形缺口在下游河床面淘刷深度與相對深度.....	25
表 3-8 矩形缺口在中游河床面淘刷深度與相對深度.....	25
表 3-9 矩形缺口在上游河床面淘刷深度與相對深度.....	25
表 3-10 梯形缺口在下游河床面淘刷深度與相對深度.....	25
表 3-11 梯形缺口在中游河床面淘刷深度與相對深度.....	26
表 3-12 梯形缺口在上游河床面淘刷深度與相對深度.....	26
表 3-13 拆除形成之深槽蜿蜒度.....	30
表 3-14 拆除形成之深槽寬度.....	30
表 3-15 拆除缺口形成之深槽中心與左岸距離.....	31
表 3-16 拆除缺口形成之深槽與左岸之分離點.....	32
表 3-17 不同缺口型式上升段之最大排砂量.....	35
表 3-18 矩形缺口在不同缺除方式之上升段最大排砂量.....	35
表 3-19 梯形缺口在不同缺除方式之上升段最大排砂量.....	35
表 3-20 不同缺口型式上升段之最大排砂量.....	37
表 3-21 矩形缺口在不同拆除方式之尖峰段最大排砂量.....	37
表 3-22 梯形缺口在不同拆除方式之尖峰段最大排砂量.....	38
表 3-23 不同缺口型式對應之退水段最大淘刷深度及原型深度.....	38
表 3-24 矩形型式對應之退水段最大淘刷深度及原型深度.....	39
表 3-25 梯形型式對應之退水段最大淘刷深度及原型深度.....	39
表 3-26 不同缺口型式之泥砂排出總量與相對排砂率.....	40
表 3-27 矩形缺口不同拆除方式之泥砂排出總量與排砂率.....	40
表 3-28 梯形缺口不同拆除方式之泥砂排出總量與排砂率.....	41

表 3-29 不同缺口型式之泥砂濃度與濃度變化.....	41
表 3-30 矩形缺口不同拆除方式之泥砂濃度與濃度變化.....	42
表 3-31 梯形缺口不同拆除方式之泥砂濃度與濃度變化.....	42
附表 3-1 桃山站(1970-1995)各月降雨百分率.....	46
附表 3-2 赤佳楊大山站(1969-1995)各月降雨百分率.....	47
附表 3-3 平岩山站(1967-1995)各月降雨百分率.....	48
附表 3-4 思源站(1960-1995)各月降雨百分率.....	49
附表 3-5 環山站(1950-1995)各月降雨百分率.....	50
附表 3-6 七家灣站(1967-1995)各月降雨百分率.....	52
附表 3-7 各水文站之各年最大一日水文站.....	53
附表 3-8 各水文站之最大一日水文量之可能分布型態.....	54
附表 3-9 不同頻率年情況下之水文量.....	55

## 中文摘要

由於稀有動物保育意識逐漸受重視，政府乃將國寶魚櫻花鉤吻鮭復育列為重點計畫，其中又以防砂壩阻礙魚類迴游路線的問題需迫切解決，因為防砂壩造成族群隔離、近親交配，而導致生存能力降低。為了改善其棲息環境，曾有魚道之設計，但並不成功。因此本計畫預定將區內之防砂壩做適當之部份拆除或開口處理，以期能恢復魚類的生機。

本研究經由相關文獻回顧後發現，對櫻花鉤吻鮭而言，棲息環境因子之改變主要來自於物理性改變，其中以水溫變化與族群阻隔為更為明顯。而造成族群阻絕之原因則是來自河道中之防砂壩。由國內外棲息地改善工程之研究得知，具有束流功能之河工構造物可造成深潭而增進棲息地之多樣性。若將防砂壩改善而成為滯洪壩後，不僅可為櫻花鉤吻鮭提供迴游至上游之通道，同時也製造了低溫的深潭棲地。無論從流量、水溫或河床型態來看，將防砂壩改善成滯洪壩應為可行之棲息環境改善方式。而由水文分析可知，雨量與流量大多集中於春夏兩季（四月至九月），若根據水文條件及櫻花鉤吻鮭之生物特性，適當之施工時間應為梅雨季來臨前三、四月份。

根據室內水工模型試驗，本研究獲致三項有關防砂壩改善工程之成果：

- (1) 深槽線形成與發展：河床深槽線常於退水段形成，而其蜿蜒度受開口拆除方式影響有限，但拆除深度越大者，深槽線蜿蜒度有減小之趨勢。在深槽線寬度方面，梯形開口大於矩形開口，一次全部拆除較分次拆除為寬，而拆除深度越高，深槽線寬度有擴大趨勢。深槽線離岸距離(以左岸為準)，不論任何拆除方式、開口型式及拆除深度，均不會影響緊臨壩體上游左岸岸坡，惟深槽線離岸距離隨拆除深度而減少。而上游 80 至 100 公尺間右岸應防止沖刷。
- (2) 泥砂輸出歷線：相對於未拆壩之狀況，輸砂歷線可分為三個階段。在上升段，其流出壩體泥砂量增加，而泥砂來源主要是緊臨壩體開口上游處之砂石；在尖峰段，水流挾沙能力提高並具多來多排之特性，故流出壩體泥沙量雖然增大但壩體上游溪床面變動幅度卻非最大，而不論拆除方式及型式，流出壩體之泥沙量差異不大；在退水段，水流因具趨中特性而使床面產生溯源沖刷，加上水流挾沙能力降低但欠缺泥沙補充而易形成深槽，而流出壩體泥沙也會明顯地增加。
- (3) 以拆除部分壩體作為恢復河川魚類生態棲地環境之作法，對**溪流安定及泥沙輪移**

均未造成激烈之衝擊，具有相當的可行性。若以不同拆除型式及拆除方式進行改善工程後，壩體上下游之坡度增率、淘刷深度、深槽形成、排沙增率及泥沙濃度增率等河床變化為考量因素，本研究認為最佳之改善方式為分次將雪山溪四號防砂壩改造成具梯形開口之滯洪壩。

拆除型式		矩形缺口		梯形缺口	
		一次	分次	一次	分次
上游	坡度增率	2.57	2.48	2.32	2.32
	淘刷深度	2.5m	2.5m	2.7m	2.7m
	深槽形成	有	有	有	有
下游	排沙增率	1.28	1.15	1.29	1.17
	泥沙濃度增率	1.27	1.15	1.29	1.17
<b>拆除優先順序</b>		<b>④</b>	<b>②</b>	<b>③</b>	<b>①</b>

根據本研究之研究，雪山溪四號防砂壩進行改善工程為可行之方式。但考慮壩址位處雪山溪上游，並避免大型施工機械通道對環境之破壞，故建議使用施工人員可背負搬運之輕型破石器械進行改善工程。其次，為改進並驗證水工模型試驗之現場模擬能力，本研究建議在雪山溪四號防砂壩進行改善工程時，同時藉由現場之水位觀測及河道斷面測量等資料對室內模型試驗進行修正。如此，模型試驗、改善工程以及現場監測可在一年之研究期間同時進行。



## ABSTRACT

With higher recognition on conservation of endangered species in Taiwan, one of the major conservation projects for the government is the restoration of Formosan Salmon (*Oncorhynchus masu formosanus*) which is threatened by check dams in the channel for blockading the pathway to upstream and causing the problems of population isolation and close-blood mating for this treasure fish. Auxiliary fishways were investigated and installed to solve this problem, but their effect was decreased dramatically by the damage and deposit of sediment. By partially breaking the dam body or cutting opening appropriately, this study tried to provide pathway for the fish to the better upstream channel habitat.

From literature review, this study confirmed that the major type of habitat environment changes for Formosan Salmon is from physical changes, especially on population isolation and change in water temperature. Also from papers and research about channel habitat improvement, channel structures with function of flow contraction can enhance the morphologic diversities of channel and biology. Converting traditional check dam into detention dam by cutting an opening in the center of dam is a practical and feasible way from the perspectives of flow discharge, water temperature, and channel morphology. According to hydrologic records and the characteristics of Formosan Salmon, this study suggests that the best time for habitat improvement is between March and April before raining season.

Three major conclusions were conducted from hydraulic model experiments under different opening types (rectangular or trapezoid) and disassembling procedures (gradually or simultaneously):

### 1. Formation and Development of upstream main channel

The upstream main channel of the detention dam is formed at the stage of recession and its sinuosity does not be affected apparently by the disassembling procedures but will decrease when the opening depth increases. Wider upstream main channel can be found in the experiments with conditions of trapezoid opening, simultaneously disassembling procedure, or deeper opening depth. Upstream channel banks and their slopes next to detention dam are still stable for all experimental conditions, however, the main channel is closer to left bank when opening depth increases. Besides, the right bank about 80 to 100 meters away from the dam site should proceed erosion prevention.

### 2. Sediment Discharge through Dam Opening

Compared with the condition of no action, there are three stages for the sediment discharge from detention dam for all experiments. At raising stage, the sediment discharge through detention dam increases and the main sediment source is the volume right behind the opening. For peak stage, sediment discharge increases with flow discharge and keeps in the dynamic equilibrium condition such that both upstream channel morphology and sediment discharge do not change dramatically under all

conditions. At the final recession stage, with decreasing sediment supply from upstream, flow discharge decreases and concentrates at the middle of channel to cause head-cutting erosion and form flush chute which also increases the sediment discharge through the detention dam.

### 3. Conclusions

From the experimental results, this study confirms that converting traditional check dam into detention dam in this area is a feasible technique for channel habitat improvement based on the considerations of channel stability and sedimentation. If considering the effects of disassembling operation and morphologic changes in channel slope, scoring depth, formation of main channel, increment of sediment discharge, and increment of sediment concentration, this study suggests that the best way for dam-conversion construction of proposed dam site is to disassemble trapezoid opening gradually.

Opening Type		Rectangular		Trapezoid	
Disassembling Procedures		Simultaneously	Gradually	Simultaneously	Gradually
Upstream	Slope Ratio	2.57	2.48	2.32	2.32
	Scouring Depth	2.5 m	2.5 m	2.7 m	2.7 m
	Flush Chute	Yes	Yes	Yes	Yes
Downstream	Sediment Discharge Ratio	1.28	1.15	1.29	1.17
	Sediment Concentration Ratio	1.27	1.15	1.29	1.17
<b>Priority</b>		<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Based on the results of this experimental study, converting the original check dam of proposed dam site into detention dam is a feasible measure for channel habitat improvement. However, this study suggests that hiking workers with back-packing machinery are preferred for the dam-conversion operations to avoid the possible damage to the environment of this remote site. Besides, in order to enhance the accuracy of model experiment, this study also recommends that observation of flow stage and survey of channel cross sections should be applied at the proposed dam site along with implementation of channel habitat improvement.

# 壹、計畫緣起

## 1.1 前言

在日據時代，日人於民國 27 年曾將櫻花鉤吻鮭列為天然紀念物，規定在此魚生存範圍 300 公尺內，禁止砍伐林木及變更地形，當時魚類分布，舉凡有勝溪、雪山溪，士家灣溪迄梨山附近，均有其蹤跡，而目前卻僅於武陵農場附近七家灣溪及雪山溪，但在此二溪流中，共有壩高在 5 公尺以上之防砂壩十一座，而且均積滿砂石，櫻花鉤吻鮭絕無可能越過，所以這些防砂壩已將其生存區域切割成十餘個分離區域，不但減少彼此間交配機會，對維持櫻花鉤吻鮭基因之多樣性有妨礙，也容易使各地區分立的族群遭到絕滅的危機（林曜松、梁世雄，1990）。

由於稀有動物保育意識逐漸受重視，政府乃將國寶魚櫻花鉤吻鮭復育列為重點計畫，其中又以防砂壩阻礙魚類迴游路線的問題需迫切解決，因為防砂壩造成族群隔離、近親交配，導致生存能力降低，為了降低其生存阻力，需改善其棲息環境，前曾有魚道之設計，但並不成功，因此本計畫預定將區內之防砂壩做適當之部份拆除或開口處理，以期能恢復魚類的生機。

## 1.2 計畫範圍

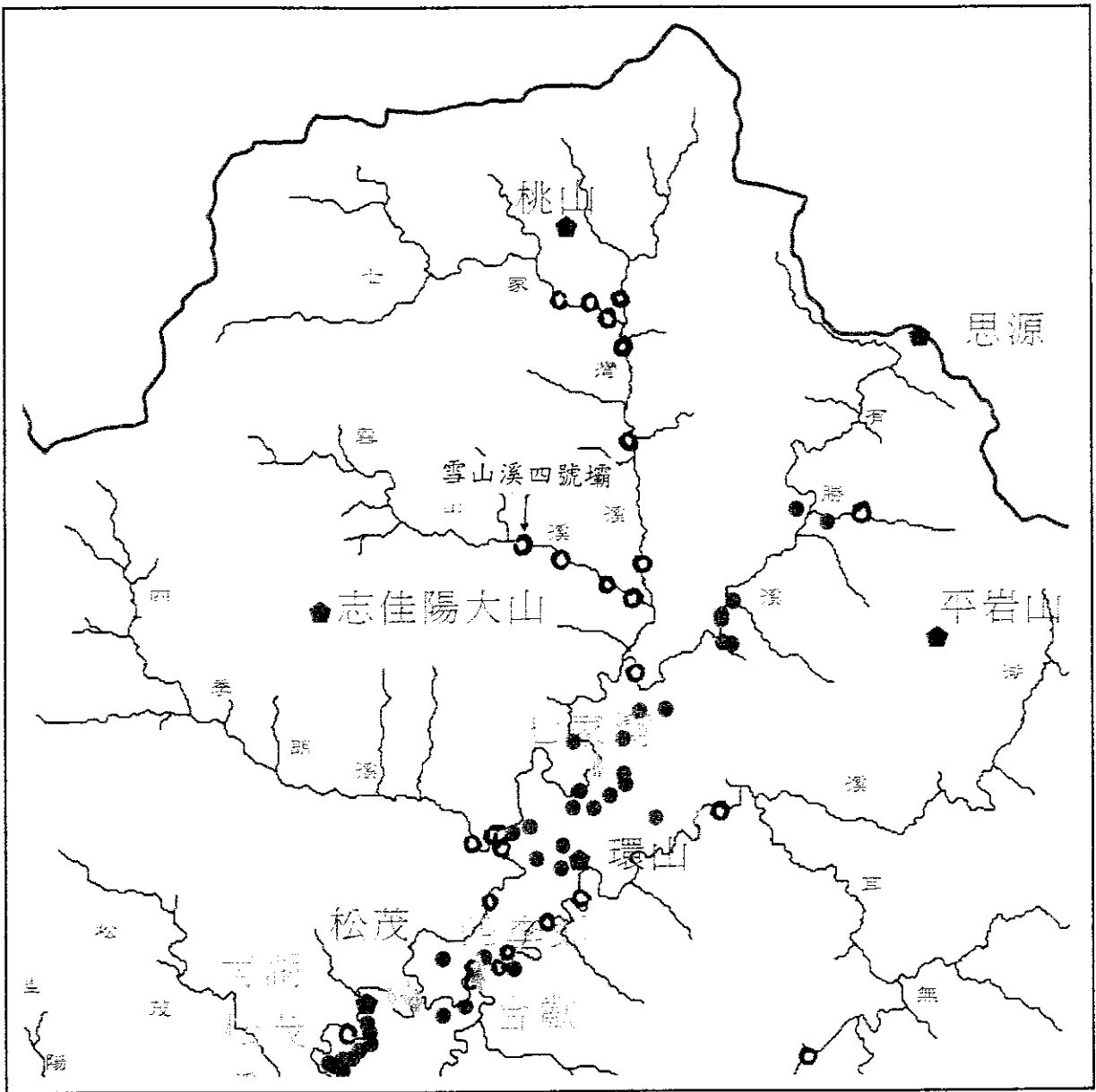
由於所進行之試驗研究乃是針對阻礙櫻花鉤吻鮭迴游路線的防砂壩，故計畫範圍亦是以櫻花鉤吻鮭之分布範圍為主，而實際進行拆除試驗工程之對象則是位於雪山溪之四號防砂壩(見圖 1-1)。由於該壩址並無水文站，故需以周圍之桃山站、志佳陽大山站、環山站、平岩山站及思源站之雨量資料以及七家灣站之流量進行資料分析，因此計畫範圍外之有勝溪子集水區亦包含於水文分析之過程。

## 1.3 計畫流程及方法

本計畫之研究流程依序為確定研究目標與範圍、相關研究回顧、現場調查、水文分析、選定試驗壩址與設計頻率、室內水工模型試驗、確定棲息地改善措施、現場施工觀測與評估以及加強推廣實施對象等步驟。

而各步驟之工作重點則概述如下(見圖 1-2)：

- (1) 確定研究目標與範圍：此階段之目的在於確定研究計畫之主要達成目標以及目前所面臨之狀況與難題。其次，研究範圍亦需於此階段工作中確認。



圖例

- 雨量站
- 水文站
- 防砂工程
  - 坑溝治理
  - 防砂工程
  - 崩坍地
- 河流
- ▭ 集水區邊界



1 0 1 2 Kilometers

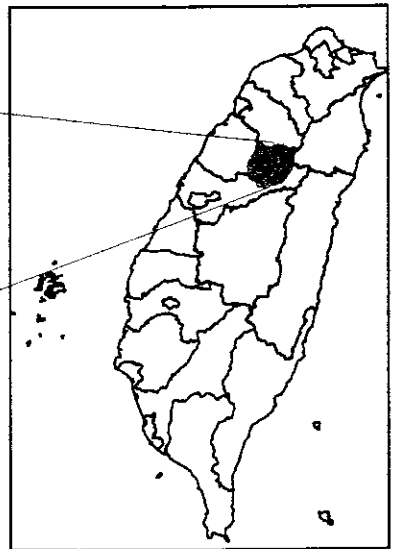
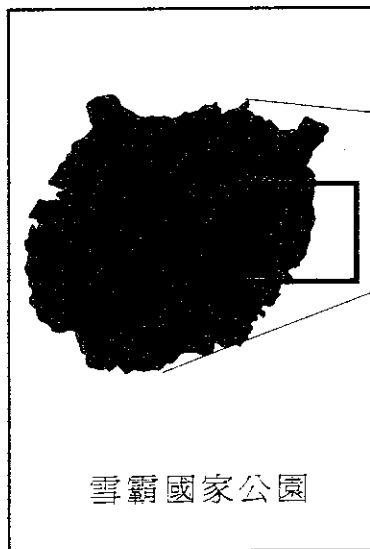


圖 1-1 雪山溪四號壩位置圖

研究流程

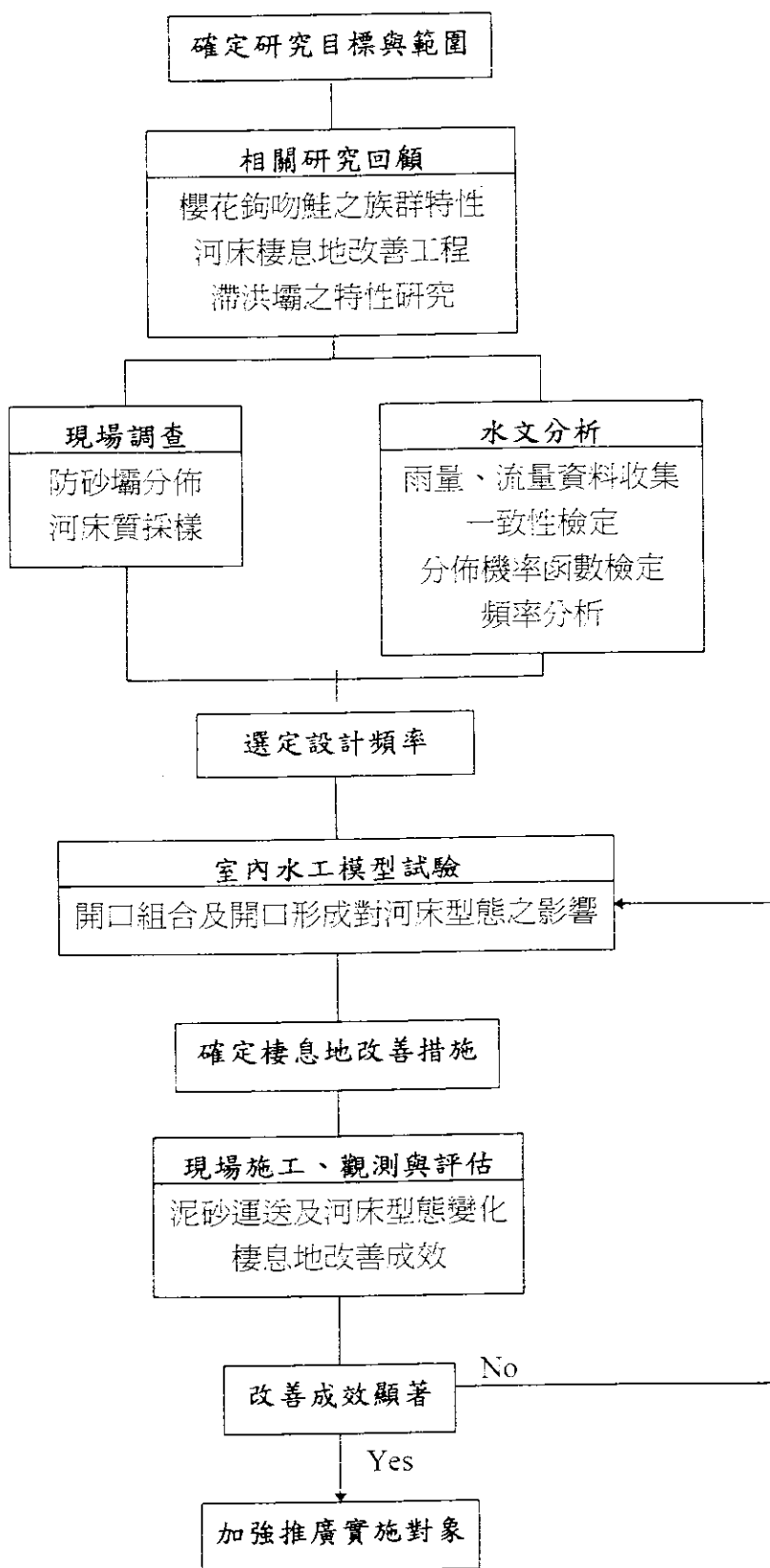


圖 1-2 研究流程圖

- (2) 相關研究回顧：為對研究對象有足夠之瞭解，本研究針對櫻花鉤吻鮭之族群特性、河床棲息地改善工程以及滯洪壩之特性研究等三方面進行既有之文獻回顧。
- (3) 現場調查：為使水工模型試驗能夠充份表現實際狀況，除前往研究範圍瞭解防砂壩之分佈情況外，並對實驗壩體附近之地形及河床質進行測量以及採樣之工作。
- (4) 水文分析：模型試驗前之另一項準備工作則是對實驗壩體之水文資料進行分析，首先收集前節所提之各水文站之雨量及流量資料，接著利用水文資料在各月之分佈百分率進行初步之一致性檢定，其次針對各水文站水文資料進行分佈機率函數檢定以利頻率分析之進行。
- (5) 選定設計頻率：根據水文分析之結果，確定模型試驗之設計頻率。
- (6) 室內水工模型試驗：此階段之工作重點在於瞭解開口措施對壩體上下游河川形態所可能造成之變化，這其中包括河床棲地之改變與施作過程之水質變動。
- (7) 確定棲息地改善措施：綜合分析模型試驗之實驗結果與魚類專家之意見，棲息地改善措施便可確定。
- (8) 現場施工觀測與評估：根據實驗結果所歸納之施工步驟，對實驗壩體進行開口工程。為瞭解其功效，棲地與魚類生態之實際狀況將進行定期觀測以利評估工作之進行。假若其功效不如模型實驗所預期，則重覆步驟(6)至(8)。
- (9) 加強推廣實施對象：若此防砂壩之開口工程的確具有改善櫻花鉤吻鮭生態之功能，則針對推廣實施之壩體進行各項分析以利開口工程之進行。

由於本計畫將以水工模型實驗來模擬壩體及現場在設計暴雨下之變化，藉此以決定何種拆除方式(直、斜、橫拆)，對魚類的影響最小。而防砂壩之開口或拆除寬度需考量兩項主要因素：是否會造成堵塞以及砂石流出量對魚類之影響。因此，許多施工之細節亦是本研究考量之重點，例如：如何配合水文選擇開口或拆除時機、須開口或拆除防砂壩之個數及先後順序、開口式拆除方式及深度如何採漸進式的拆除小部份方式、當壩體拆除或開口後是否需對壩體補強或其他後續工程、施工期間的防污設施、如何擬定長期施工計畫以一年或更長時間對一座壩體施工等。

#### 1.4 計畫工作內容概述

本研究計畫預計於兩年內完成(民國八十六年七月一日至八十八年六月三十日)，今年度為研究計畫之第一年，而兩年度之工作內容概述如下：

- (1)第一年:研究壩體如何部份拆除或開口，實驗壩體經由室內模擬壩體之水工實驗，可知對下游魚類影響最小的壩體部份拆除或開口方式，及壩體結構安全的補強。
- (2)第二年:開始對壩體施工，再開始對第二座壩體作水工模型實驗與第一座壩體作驗證視結果是否相同。
- (3)第三年:如有必要則繼續上兩步驟至目標達成。

## 貳、相關研究回顧

為使本研究順利進行並對研究主題有充份之瞭解，本研究針對櫻花鉤吻鮭之族群特性、河床棲息地改善工程以及滯洪壩之特性研究等三方面進行既有之文獻回顧。

### 2.1 櫻花鉤吻鮭之族群特性

根據林曜松、梁世雄(1990)之研究，有關鮭、鱒魚類良好生存條件應包括：低水溫(16°C以下)，高溶氧(6ppm以上)，水量充沛，覆蓋充分，無脊椎動物數量豐富，無污染與底質適於產卵、孵化及護育。而影響其生存的人為因素計有：火災、森林的砍伐、不良的農耕、過度放牧、污染、開礦、水災、人為或自然的乾旱、築壩、游淤泥及溶氧降低與河川改道等。一般而言，櫻花鉤吻鮭對棲息地之喜好，隨其成長而改變。幼魚期不適合在急流中運動和覓食，故在水潭中數量較急流中為多。而二歲大的鮭魚則較喜出現在半急流半水潭的水域，成魚則多生活在急流中，此可能與該地的水生昆蟲較水潭區域為多之故。在流速較快的區域，鮭魚族群數量會增加，除了其趨流反應外，主要可能為空間和食物的關係。而對環境中溫度變化，由於鱒魚屬冷水性魚類故其要求相當嚴格。一年及二年生的虹鱒，其最適合的生長溫度約在13°C左右，而其生長、產卵及卵之孵育溫度約在9-13°C之間，過高或過低均會產生不良的後果，而櫻花鉤吻鮭其主要棲息地之溫度列在16°C以下。

以上之研究成果，亦在清華大學曾晴賢教授為雪霸國家公園所做之櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估(1997)中獲得驗證。根據曾教授之研究，七家灣溪在二號壩以下水溫過高的河段，櫻花鉤吻鮭受精卵的野外死亡率在65%至100%之間，發育初期的死亡率為40%至100%之間。過高的水溫與日溫差對櫻花鉤吻鮭族群天然更新有不利的影響。孵化前期的平均水溫12°C可視為孵化期的上限致死溫度。估計十二年間(1985年至1997年)11.2°C等溫線往上游退縮約1.56km。二齡以上成魚在繁殖期的分佈與水溫的相對高低有關，性成熟的成鮭有聚集河川封閉區間的低溫區以尋求有利於孵化的水溫環境。

### 2.2 河床棲息地改善工程

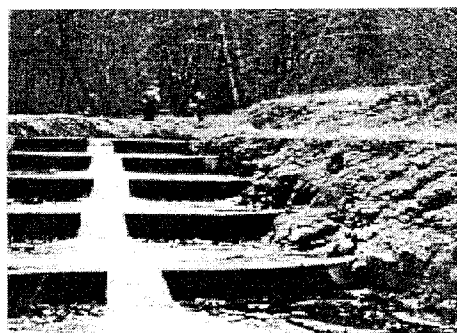
根據棲息環境因子之改變，中研院張崑雄(1990)將之區分為物理性、化學性和生物性三方面。就物理性的改變而言，包括建造攔河堰、水庫、水閘以及森林或河岸植物的大量砍伐，或是其它開墾性的活動等。化學污染水源方面是來自大量使用肥料和農藥的農地，因雨水的沖積而滲入河川，或者是大量垃圾與其它污染源如未經完善處理的家庭、工業廢水的排放入河川中。生物性的影響主要是來自於未經評估的外來種動、植物的引進。

對櫻花鉤吻鮭而言，棲息環境因子之改變主要來自於物理性改變，其中以水溫變化與族群阻隔為更為明顯。而造成溪流溫度改變的原因，可大致分為幾種(林曜松、梁



世雄，1990）：(1) 氣溫的異常變化；(2) 溪流附近的開發；(3) 砍伐森林；(4) 人工水庫的建造。然而，族群阻隔的主要因素則為防砂壩之設置。一般而言，防砂壩建立後，壩後便因攔阻而形成水潭，可能造成：(1) 將產卵區和設育地淹沒；(2) 湖泊型態的環境，減緩幼年魚的游泳速度，造成洄游上障礙；(3) 產生某些不想要的魚類。但對櫻花鉤吻鮭的情況而言，防砂壩除了造成的水溫升高現象導致的七家灣溪中下游河段（二號壩以下）櫻花鉤吻鮭繁殖期的受精卵高死亡率外，並且導致遺傳多樣性貧乏（曾晴賢，1997）。

根據邱健介（1990）之研究，魚類棲地改善工作即在避免或解決棲地環境惡化的問題，並增加溪流承載力，以蓄集更多的魚類資源。其研究更進一步將棲地改善之作法歸納為四類：(1) 魚梯工程魚道設施（圖一）；(2) 植生工法（圖二）；(3) 木、石、網、籠棲地改善設施（圖三）；以及(4) 其它方法如構築柵欄、鐵刺網等藩籬阻隔牲畜、野生動物或人類活動以保護水源、水質及魚類棲地。



圖一：魚道



圖二：枯枝增加隱蔽場所



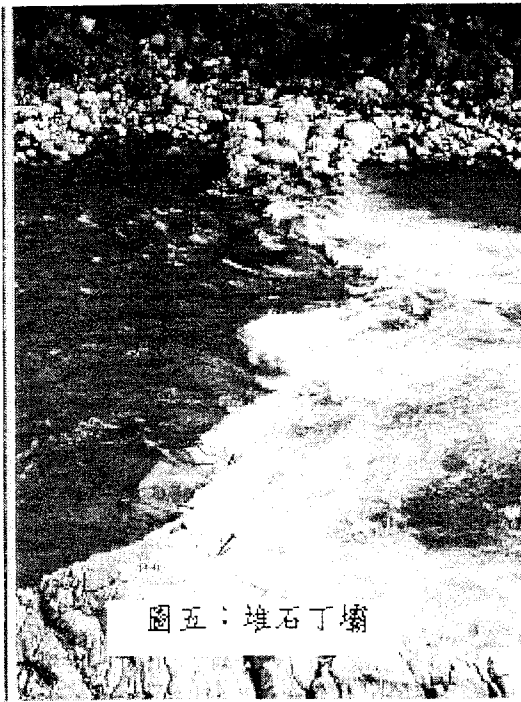
圖三：堆石增加流速及水潭

（以上照片取自林曜松之「美國棲地改善研習及考察報告」，1990）

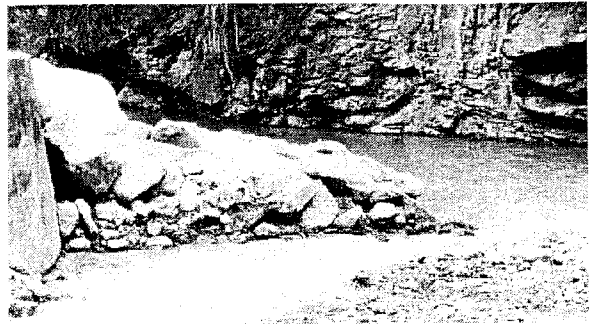
國內之棲地改善研究相當有限，其中以本研究計畫協同主持人段錦浩教授之相關研究較具代表性。在名為「大甲溪水潭水文及河道疏濬及沖淤研究」（段錦浩，1993）中，應用四種方式（見圖四～六）來進行棲息地改善工程：開口式輪胎壩；堆石丁壩；開口式堆石壩以及河道挖濬。其中，開口式輪胎壩除如預期地產生沖刷坑外，其上游亦因束流而出現滯洪坑，針



圖四：開口輪胎壩



圖五：堆石丁壩



圖六：混凝土堆石丁壩

對魚類棲息地而言效果最佳。堆石丁壩雖有砂石運移至該區，但其束流效果仍可使丁壩發揮功效而產生主深槽。而開口式堆石壩雖位於淤積河段，但仍可使開口下游產生深潭，效果良好。河道挖濬段經過第一次雨季有加深加大的現象，但82年5月觀察時已完全淤滿，故人工挖濬若不配合其他工程似不適用。

由以上相關研究可知，對於櫻花鉤吻鮭而言，將原有之防砂壩在壩體中央開設直抵壩基之開口而形成滯洪壩應為可行方式。

### 2.3 滯洪壩之特性研究

滯洪壩在外形上類似傳統之重力式防砂壩或鋼筋混凝土擋土牆，但與前述兩種防砂構造物之最大差別在於壩體中央之開口（圖 2.1），而其主要功能在於調節洪水，但也具有攔阻砂石及控制流心等功用。

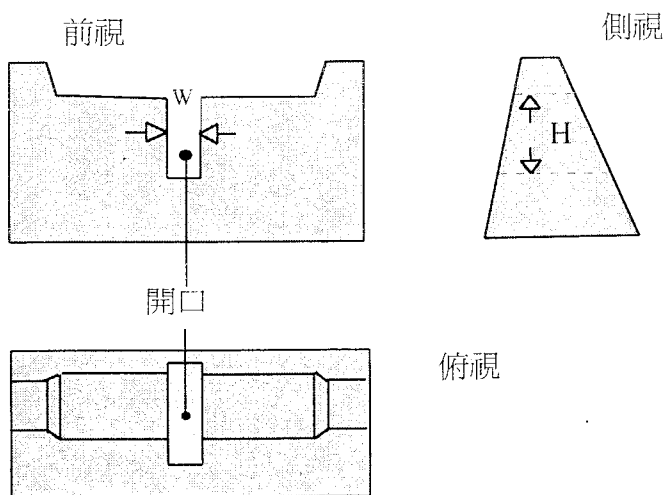


圖2.1：滯洪壩之示意圖

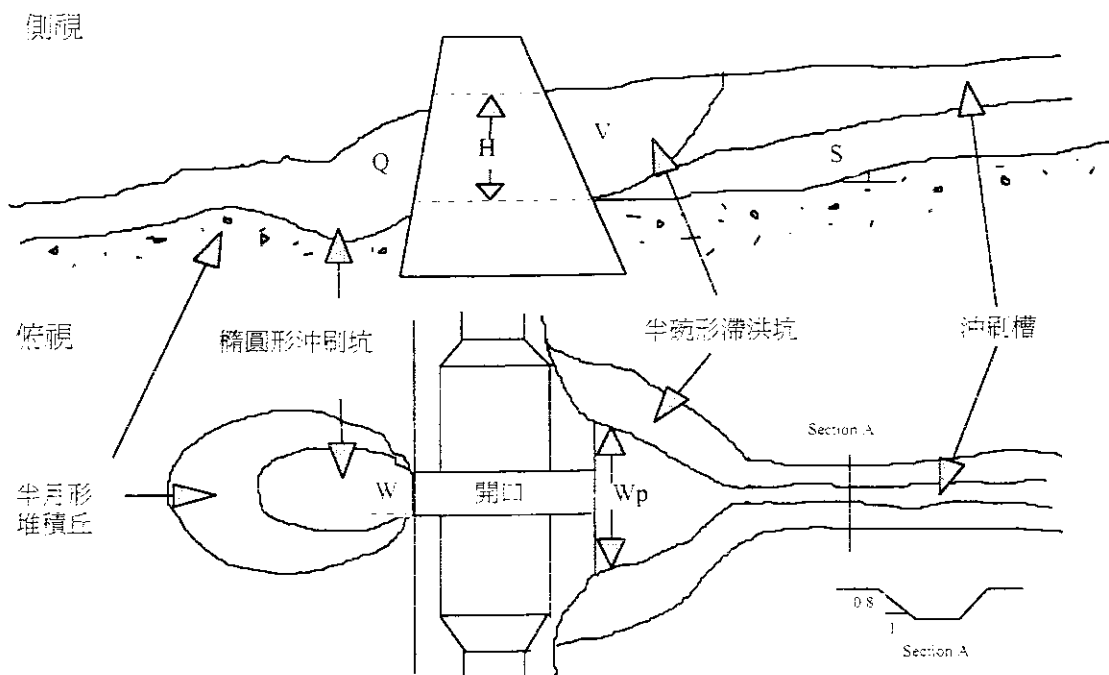


圖2.2：滯洪壩構築後之河床型態

滯洪壩在經過一段時間後，壩體上下游之河床型態也會產生變化（見圖 2.2）。在壩體上游會形成一個半碗形的滯洪坑，而在滯洪坑的上游處則是一條具梯形斷面的沖刷槽，在下游處則會產生一個橢圓形之沖刷坑，而在沖刷坑的下游面則是一個半月形的堆積丘。而這些特殊河床型態的尺寸則與開口寬度( $W$ )、單位寬度流量( $q$ )、有效壩高( $H$ )及原河床坡度( $S$ )有關（葉昭憲、段錦浩，1994）。由上述的簡單介紹可知，滯洪壩不僅可為櫻花鉤吻鮭提供迴游至上游之通道，同時也製造了低溫的深潭棲地。因此，無論從流量、水溫或河床型態來看，將防砂壩改造成滯洪壩應為可行方式。

## 參、水文分析

### 3.1 水文分析

#### 3.1.1 基本資料分析

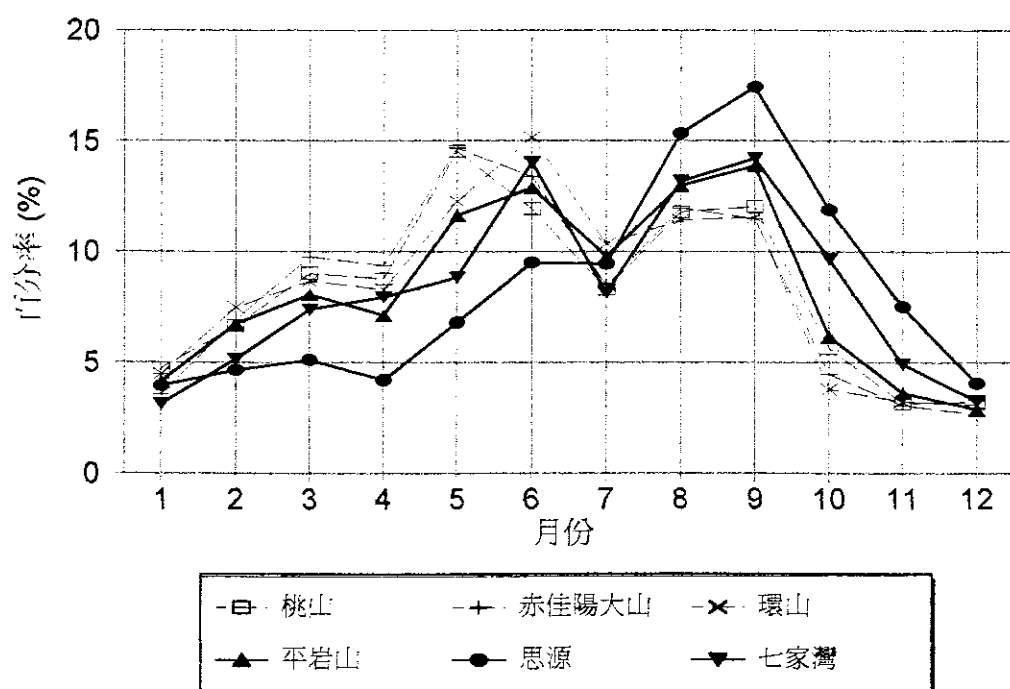
為使室內水工模型試驗能充分模擬現場之水文狀況，本研究針對櫻花鉤吻鮭主要棲息地附近之水文站進行水文資料收集及分析。經調查，位於研究範圍內及附近之雨量站共計有桃山、志佳陽大山、環山、平岩山及思源等五處，而具有流量紀錄之水文站僅有一處：七家灣站。雖然各站之資料長短不一，但皆有二十五年以上之紀錄（見表 3-1）。

表 3-1：研究範圍內及附近之水文站

水文站名	桃山	志佳陽大山	環山	平岩山	思源	七家灣
資料類別	雨量	雨量	雨量	雨量	雨量	流量
紀錄期間	1970 至今	1969 至今	1950 至今	1967 至今	1960 至今	1967 至今

為了解各站水文資料是否具有一致性，將各站之資料（日雨量與日流量）按照各年情況分別計算其月分佈百分率（見附表 3-1 至附表 3-6），一般而言，各站之月分佈呈現類似之情況，也就是雨量與流量大多集中於春夏兩季（四月至九月），其中，思源站之分佈略不同於其它各站，據判斷應是由於不同受風面所致，此項差異可作為分析試驗壩體處流量推估時之重要參考，由此分布百分率之結果，本研究認為進行防砂壩改造為滯洪壩之最佳時段應在每年十一月至次年二月之間，因為在這期間內之總雨

### 水文資料之月分佈百分率



量僅佔全年的 20%，且每各月平均僅有 5%之年總雨量。

在進行頻率分析時，本研究先將各水文站資料中篩選出各年之最大一日水文量(見附表 3-7)，再依照不同機率分布函數 (Log-normal, Log-Pearson III, General Extreme Value, Gumbel, 及 Weibull) 之理論分布值來檢定各水文站最大一日水文量之可能分布型態(見附表 3-8)。其中，GEV 機率分布函數用於七家灣溪流量資料以及 Log-Pearson III 機率分布函數用於赤嘉揚大山站雨量資料稍具成效，但其符合度皆未達 90%。若以各機率分布函數來進行頻率分析，不同頻率年情況下之水文量則如附表 3-9 所示。

### 3.1.2 試驗區設計流量分析

由於缺乏試驗壩址(雪山溪四號壩)之流量紀錄，故模型試驗所需之流量歷線必須以設計暴雨加以模擬進行。這過程包含設計暴雨量之決定、降雨分布狀態以及逕流歷線之推導三部分：

#### (1) 設計暴雨量之決定

由於試驗壩址位於赤嘉揚大山站之範圍內，故以該站之頻率分析結果作為決定設計暴雨之依據。依照 Log-Pearson III 機率分布函數之推估結果為主並參考其他機率函數，頻率為 10 年、20 年及 50 年之 24 小時暴雨分別為 2900、3400 及 4000 公厘。

#### (2) 降雨分布狀態

為了解試驗區之降雨分布狀態，首先蒐集赤嘉揚大山站 75 年至 85 年間之暴雨資料，並將各暴雨之最大 24 小時降雨紀錄加以分離(見表 3-2)。其次，將這 11 場暴雨之最大 24 小時降雨依其總降雨量分為五類，再計算各小時之降雨百分率，最後獲得不同降雨量下之時間分布曲線(見圖 3-1)。由該圖可知，對雨量超過 300 公厘之暴雨而言，降雨大致平均分布但以第 12 至第 18 小時較高(約 33.3%)，而對雨量介於 200 與 300 公厘之暴雨而言，降雨則集中於前 12 小時(約 63.2%)，這種時間分布之差異則表現在流量歷線之洪峰到達時間上。

表 3-2 赤嘉揚大山站 75 年至 85 年間之暴雨資料

年度	暴雨期間	總雨量 (mm)	最大 24 小時 降雨 (mm)	最大 48 小時 降雨 (mm)
75	8/22/0500-8/23/0400	123	123	-
	8/24/0100-8/24/2400	92	92	-
	9/17/0100-9/20/0300	479	360	472
76	7/26/1100-7/28/2000	145	99	-

78	9/11/0100-9/13/0300	289	221	288
79	6/22/1500-6/24/1800	206	142	204
	9/07/0100-9/08/2400	165	109	165
81	8/29/0100-8/31/2400	261	161	240
82	5/31/1400-6/02/1400	186	114	185
83	8/08/0500-8/10/0700	320	254	316
	10/9/0100-10/11/0300	227	191	226
84	6/08/1500-6/10/1700	162	115	162
85	7/30/1300-8/01/1800	485	391	477

Temporal Distribution of Storms  
( 24-hr Duration )

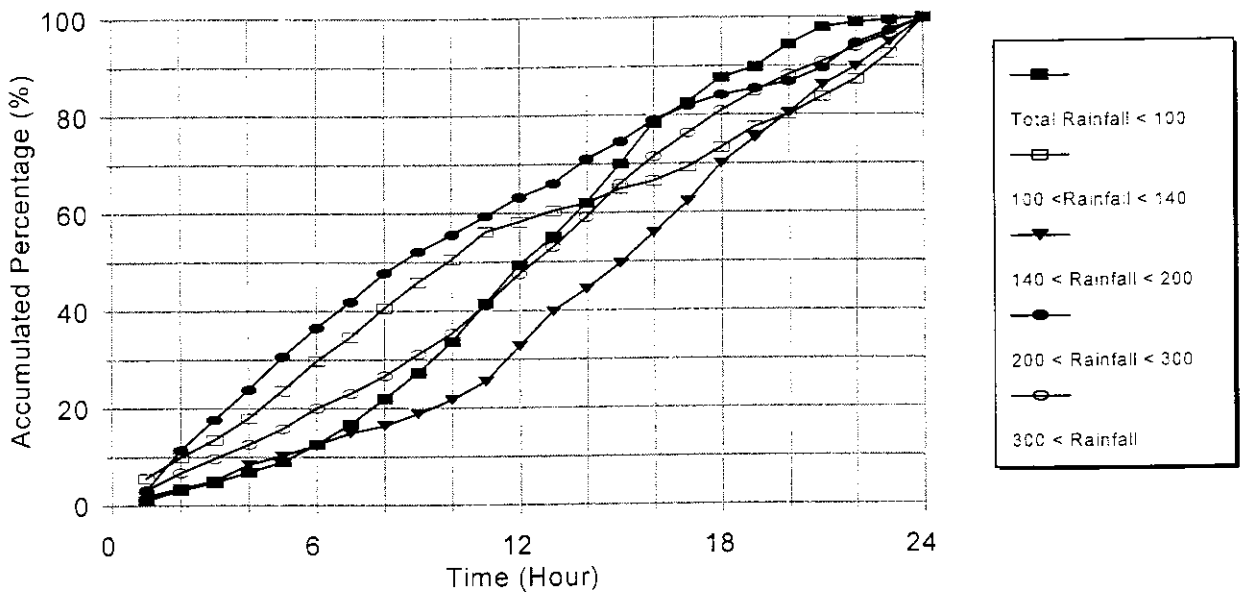


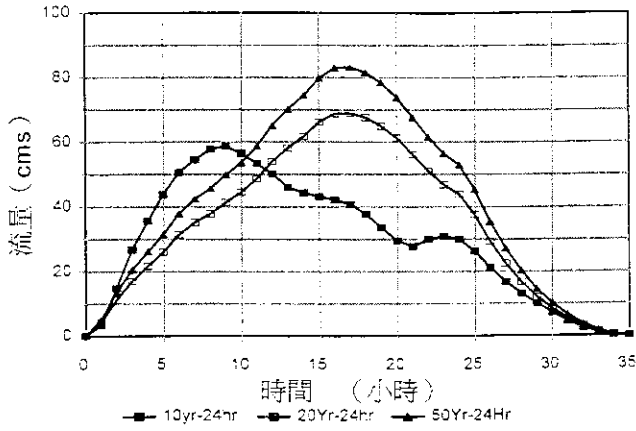
圖 3-1 不同降雨總量情況下之時間分布曲線

### (3) 逕流歷線之推導

為產生設計暴雨之逕流歷線，本研究利用相關研究結果並配合試驗壩址之地文參數（如集水區面積、主流坡度、主流長度）來推導該壩址之單位歷線，計有 1967 年吳建民推求本省主要集水區之合成單位歷線、美國土壤保持局(U.S. Soil Conservation Service)分析近 500 各大小集水區所得之三角型單位歷線、及陳樹群之三角型單位歷線三種方式。最後，將不同頻率之設計暴雨量分配於 24 小時上，再配合上述三種單位歷線則可產生該壩址之設計流量歷線（見圖 3-2）。比較這些歷線可知，10 年頻率之洪峰流量較 20 年及 50 年頻率之洪峰流量提早七至九小時；而不同單位歷線所推算之洪峰流量，其差異大致在 10cms 之範圍內，而吳建民合成單位歷線比其他兩種推算方法能產生圓滑之歷線。

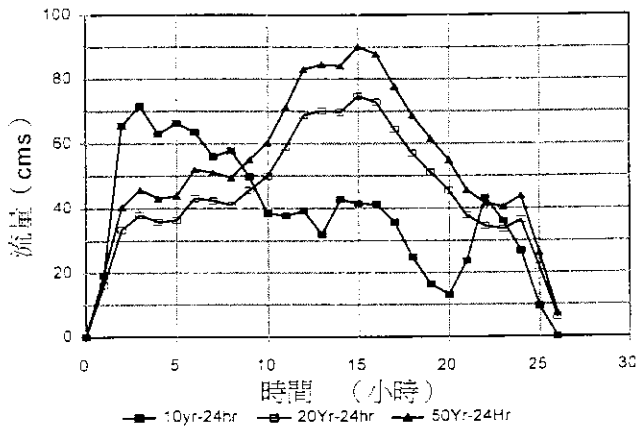
### 設計流量歷線

(吳建民單位歷線)



### 設計流量歷線

(美國土壤保持局三角單位歷線)



### 設計流量歷線

(陳樹群三角單位歷線)

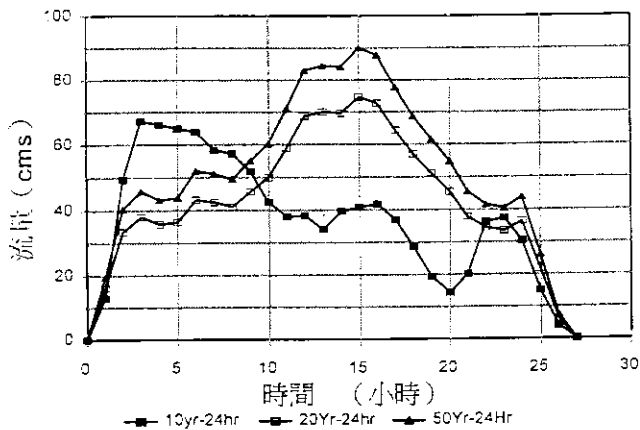


圖 3-2 不同單位歷線所推算之流量歷線

## 3.2 水工模型試驗

### 3.2.1 試驗目的

魚類棲息環境之改善可分為(1)生態觀點、(2)水利觀點、(3)水土保持觀點分別討論之：

- (1)生態觀點：鮭魚主要是以水生昆蟲為食，水生昆蟲又以落葉、藻類為食，這食物鏈中不管是那種因素受到破壞，都會使魚類生存出現問題，另外當施工進行時所造成水流泥砂濃度增加，也是會造成魚類生存環境出現危機的關鍵。
- (2)水利觀點：水流之流速對魚類溯溪上游佔有決定性關鍵，當壩體施工後，其集中水流之流速會對魚類迴游造成影響，當流速過快時魚類不易溯溪迴游；流速過慢時，流量不夠也會造成魚類無法迴游。
- (3)水土保持觀點：由於壩體上下游皆呈現穩定狀態，淤砂坡面已達飽和狀態，因此當壩體進行拆除工作時，其壩體拆除後留下的缺口會使上游漸漸出現深槽坑線，此種情況是由於壩體出現缺口後，泥砂會隨著缺口深度加大而增加其泥砂出淤量，當壩體缺口拆除到河床時，深槽坑線將會成有穩定斷面之發生，此穩定斷面將會直接影響岸邊植物入侵之程度，其對於穩定岸坡與提供食物來源有著直接影響，而在拆除期間所造成水體之含砂量增加，對於魚類棲息環境是否會有影響，也是本次試驗需探討的問題。不過，基本上當壩體拆除缺口後，可以將壩體間流路打通、增加魚類棲息流域、擴大覓食空間、形成階梯河道，對於魚類棲息環境將有重大之改善。

有鑑於此，本試驗擬以水工模型試驗方式模擬雪山溪四號壩，在壩體不同的開口型式及深度下，探討其上游淤砂流出及其幾何形態對魚類棲息環境之影響。

### 3.2.2 工作流程

依據試驗目的，為達到壩體及其上游淤砂模型相似之要求，必須進行現場資料蒐集及分析(包括集水區地形數量計算)、水文演算、模型計算、模型砂計算、模型製造、模型測試及其資料分析及研判等工作，詳見圖 3-3。



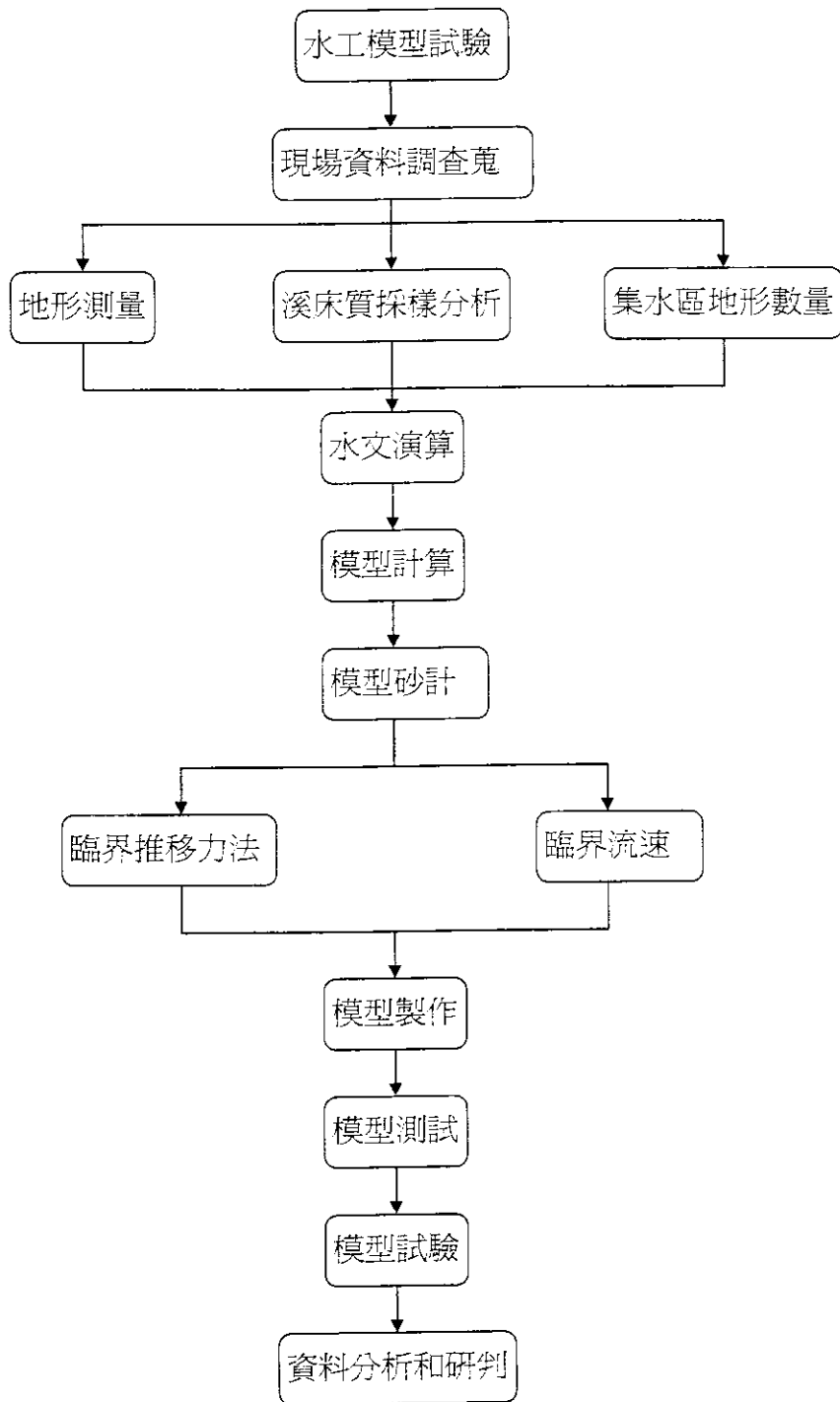


圖 3-3 水工模型試驗工作流程圖

### 3.2.3 現場調查報告

#### (1) 自然環境(集水區概述)

大甲溪上游有合歡山、畢祿山、無明山、中央尖山、桃山、次高山、大劍山、大雪山等海拔 3000 公尺以上之大山環抱，而大甲溪發源於中央山脈，流貫台中縣境內，在梧棲之北注入台灣海峽，主流長度 140.21 公里，總流域面積 1244 平方公里，溪床坡降甚大，溪流之湍急，遠超過本省其餘各溪流。

雪山溪為大甲溪上游之支流，發源於次高山，向東流經國軍退除役官兵輔導委員會所開發之梨山武陵農場，與向南流之七家灣溪在億年橋附近會合後改稱為七家灣溪，之後一路南流納入有勝溪而為伊卡丸溪主流，蜿蜒曲折至環山之北，匯入發源於次高山之四季郎溪，繼續向西南流至松茂之北而注入大甲溪主流。雪山溪之兩岸，目前是屬於保護區，不能墾植利用，但是七家灣溪右岸在武陵農場至招待所之間，已經開墾種植高冷蔬菜及落葉果樹，因此為了防止兩岸泥砂下移，流入德基水庫，縮短水庫壽命，林務局曾先後於民國六十多年期間構築一系列之防砂壩，分別是雪山溪有四座，七家灣溪則有五座。

#### (2) 現場狀況

從雪山溪一號壩之後的一段距離後，往上游前進就需渡溪而上，因為此處屬於保護區，平時不會受到人為的破壞，所以植物、林相都相當的完整，鮮少有人為的構造物，只有於民國六十年代構築之系列防砂壩，但是現今多已呈現老舊、穩定的狀態；雪山溪一至四號壩皆為傳統式的重力式防砂壩，其中二號及三號壩皆有設置副壩，主要是要保護主壩基腳免受淘刷，但是二號壩之副壩已經出現損壞，可先修復（見右上圖）。

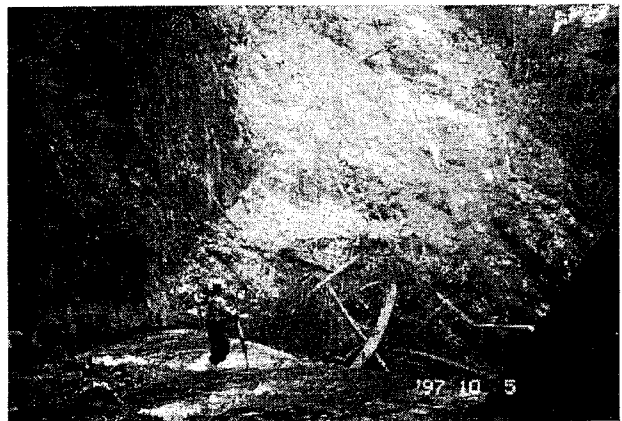
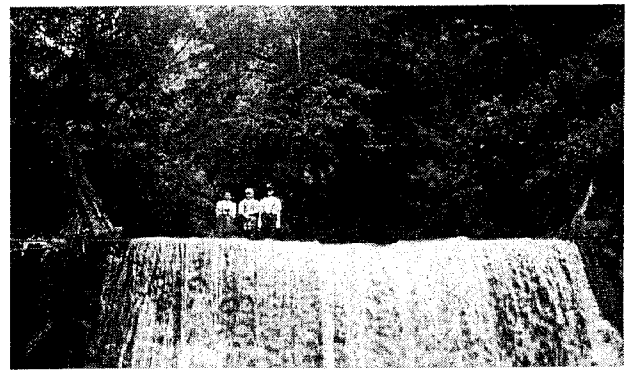
從當時設置防砂壩到現在的時間，經過二十多年的時間，壩體上游都已呈現穩定的狀態（見右下圖），溪流之寬度少則有 5~6 公尺、

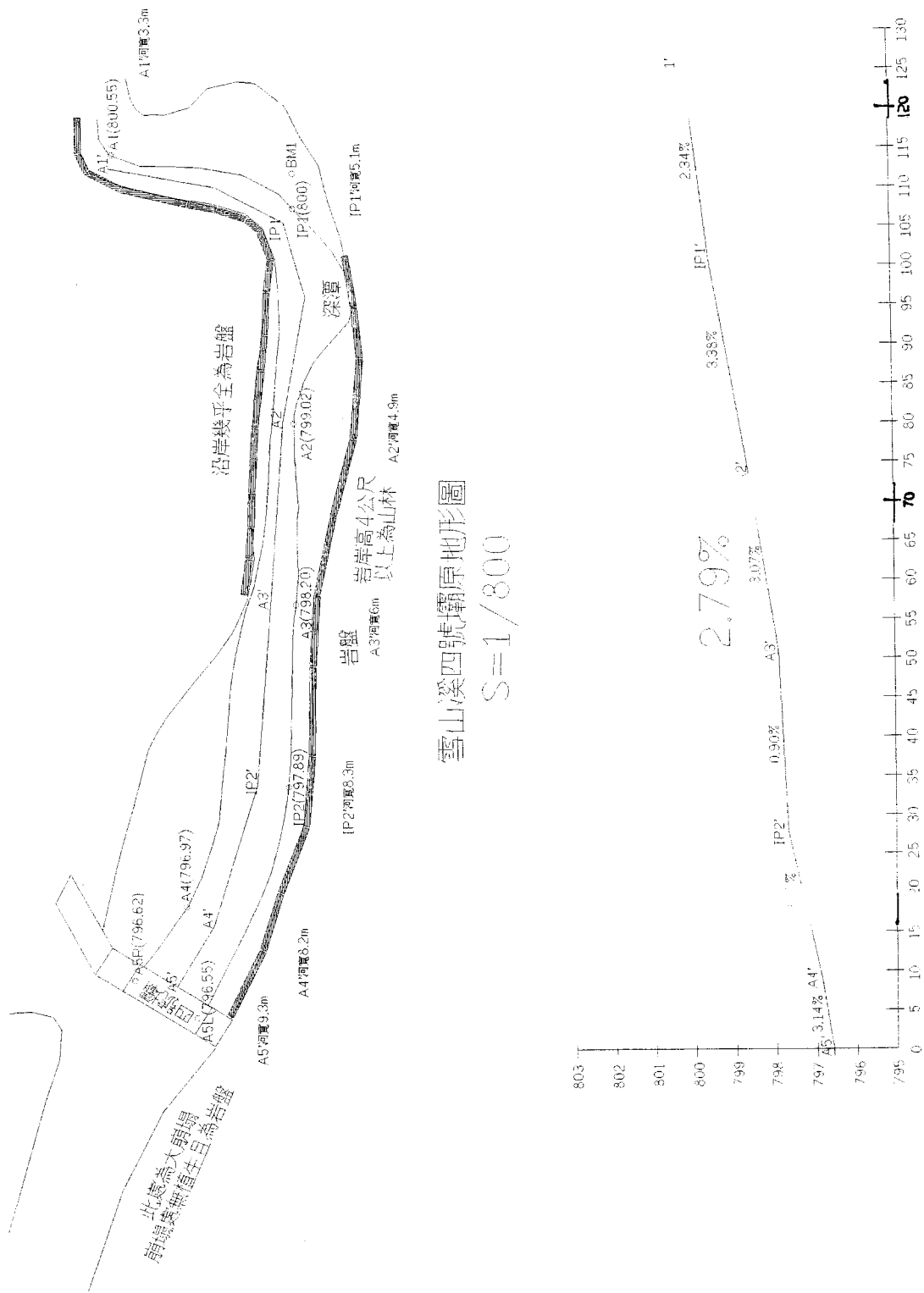


多則有 30~50 之間，因此河道寬度之變化可謂相當大，但是，一般而言河道之寬深比(河道寬度/河道深度)皆小於 10，因此可以判定雪山溪屬於寬淺型的河流；而寬淺型河溪，其特性為鮮少有深潭的出現，將導致魚類棲息環境之惡化，使魚類無法生存。

在河流中淤積的狀況相當嚴重，河床中都是上游沖積下來的土砂、礫石，使得河流寬度日益減小，這種狀況將會導致河岸旁落葉不足、林蔭不夠，使得以落葉、藻類之水生昆蟲相對減少，間接使以水生昆蟲為食之魚類覓食更加困難。

本次計劃主要是針對四號防砂壩；四號壩是座單一重力式防砂壩，但在壩體下游左岸的部份有一處新形成的大崩塌，崩塌處上方為大岩盤，且其崩塌掉落之土石、樹木橫置在河道上，容易阻礙河流通行，應事先清除，保持河道暢通。上游淤砂坡面已呈現穩定的狀態，在壩體上游之左岸都為岩壁，岩壁上方皆為完整的林帶向上延伸，右岸則為林帶或河灘地，在河灘地中堆積的土石多呈現扁平，粒徑分佈多在數十公分之間，整體而言，壩體上游面已呈穩定的局面；而在壩體上游六十多公尺處有一處小深潭，其形成之原因是因為水流直接沖刷結果，而在此處之河道蜿蜒相當大，大約呈 50 度的變化(見圖 3-4)。





雪山溪四號壩地形圖

S=1/800

圖 3-4 四號壩上游之游砂坡度線

### 3.2.4 模型尺寸分析

經由現場調查報告，預定施工地點最大河床寬度約為 20 多公尺，而實驗室中渠道寬度為 30 公分，因此欲模擬現場整體狀況，則須將現場比例縮尺成 1/70，才能容納現場整體狀況，因此若不考量其他因素時，則可選用此數據，但是並不是只須考量現場因素，也須考量泥砂粒徑的比例縮尺，當泥砂之比例縮尺過大時，則試驗容易出現懸浮質，增加量測泥砂出淤量之困難度，因此模型之比例縮尺必須同時兼顧模型與泥砂，在兩者之間取得平衡。

模型試驗必須遵守五個相似條件，分別為(1)動力相似、(2)阻力相似、(3)顆粒起動相似、(4)輸砂量相似、(5)時間相似，分述如下：

1. 重力相似條件：

$$V_r = \sqrt{H_r} \quad (3-1)$$

2. 阻力相似條件：

$$V_r = \frac{1}{n_r} H_r^{1/5} \sqrt{H_r \frac{H_r}{L_r}} \quad (3-2)$$

3. 泥沙起動相似條件(根據水土保持技術規範第 71 條之規定)

$$Q_r = Q_{cr} = d_r^{1.56} \frac{L_r}{H_r} \quad (3-3)$$

4. 輸沙量相似條件：

$$P_r = P_{or} \quad (3-4)$$

5. 沖淤時間相似條件：

$$T_r = \frac{L_r H_r}{P_r} \quad (3-5)$$

式中， $V_r$ =流速； $V_o$ =起動流速； $H$ =水深； $n$ =粗糙係數； $L$ =河流長度； $d$ =固體泥沙顆粒密度； $\rho$ =水體密度； $P$ =輸沙量； $P_o$ =輸沙公式； $T$ =時間； $\gamma_o$ =混合泥沙比重；下標  $r$  表原體與模型之比。

根據以上之相似條件，可以得出在現場狀況與試驗室中各模擬條件之比例關係，所敘各模擬條件與現場狀況比例關係列於表 3-3。

表 3-3 試驗條件表

試驗條件項目	原型條件	模型比尺
試驗流量條件	採用現場推算之 50 年頻率暴雨	$Q_r = 24750$
試驗坡度條件	2.79%	$3.906\% (S_r = \frac{V/H_r}{V/L_r} = \frac{70}{50} = 1.4)$
試驗砂石條件	現場所採樣之土石	$d_r = 30$
試驗時間條件	現場之時間	$T_r = 16$
試驗壩體條件	現場量測之結果	不等比縮尺 ( $L_r = 70$ 、 $H_r = 50$ )

此次試驗乃為水工模型試驗，因此模型與原型之間有一定之比例關係，壩體之原型尺寸(圖 3-5)與模型之長、寬、深比例各為 1 : 70、1 : 70、1 : 50。

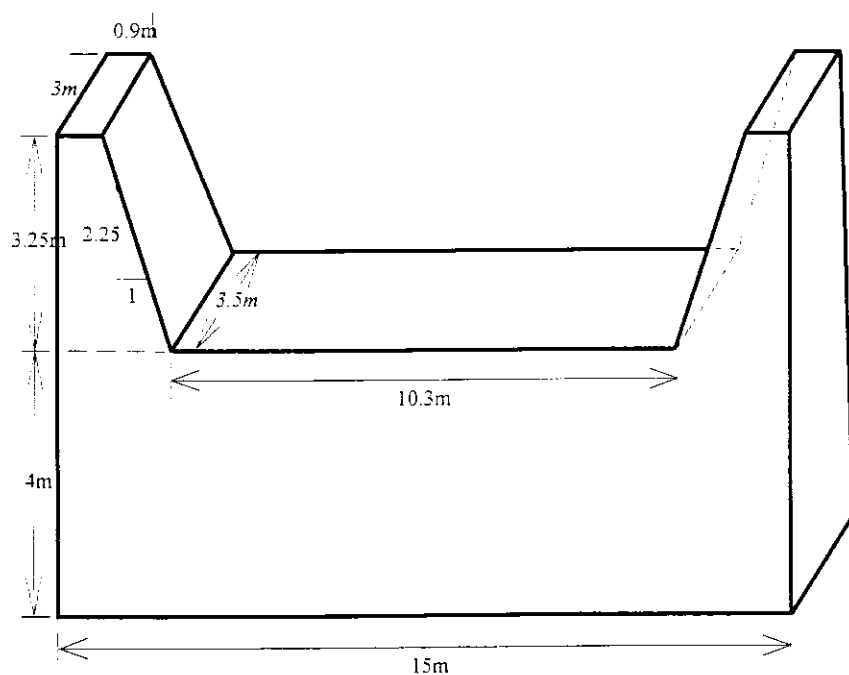


圖 3-5 現場防砂壩尺寸圖

本次試驗採用兩種缺口型式，一種為矩形形式缺口，其為寬3公分、長5公分，深8公分之缺口，另一種缺口型式為倒梯形，其開口形式為上寬8.8分、下寬3公分、長5公分，深8公分之缺口(圖3-6)，而拆除的方式則採用一次拆除(A型)，與分次拆除(B型)兩種拆除方式來作為探討的方向。

此外，模型試驗中流量與沖刷時間的取得，也是經由水文分析與比例縮尺的演算而求得到的結果，經由現場集水區量測而得出之水文歷線，需經演算轉換成試驗中之流量數據，因此試驗中之流量與沖刷時間與現場的水文特性有著一定之關係。

### 3.2.5 模型製作與儀器設備

本次試驗所選定之場地為逢甲大學水工實驗室，試驗中所用的渠槽是採用長7公尺、寬30公分，渠槽可調整坡度範圍在0~20度之間，本次試驗是模擬現場而進行試驗，所以坡度在模擬試驗時為定值；在流量控制與沖刷時間方面，是以閘門控制水流流量與沖刷時間，因此必須要先計算好流量與沖刷時間，才能提高試驗的準確、速度性。

在現場調查中，可得知現場壩體為重力式的防砂構造物，因此在經過模型比例縮尺後，壩體模型可能只剩數公分的厚度，跟現場河流長度比較則壩體厚度影響的範圍則較小，所以壩體可選用三合板加以模擬，對試驗也可收方便之效。

泥砂粒徑以一定比例縮尺後，所得出之粒徑結果，可以選用現場採集之土砂部分為主，再酌與搭配其他級配粒徑之土石，如此則可增加現場與模型試驗之相關性。

### 3.2.6 結果與分析

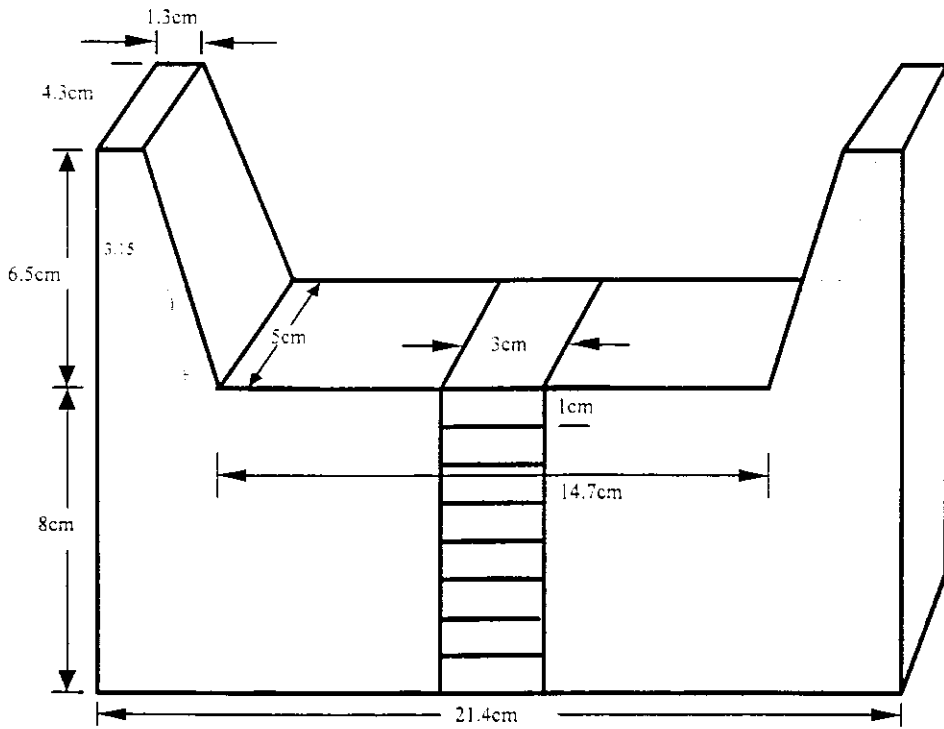
分析的內容主要以各種因壩體拆除缺口後而發生之現象，可分為下列數項：

- (1)壩體上游淤砂坡度之變化
- (2)壩體上游河床淘刷之深度
- (3)壩體上游深槽線之形成與發展
- (4)輸砂量分析

#### (1)壩體上游淤砂坡度之變化

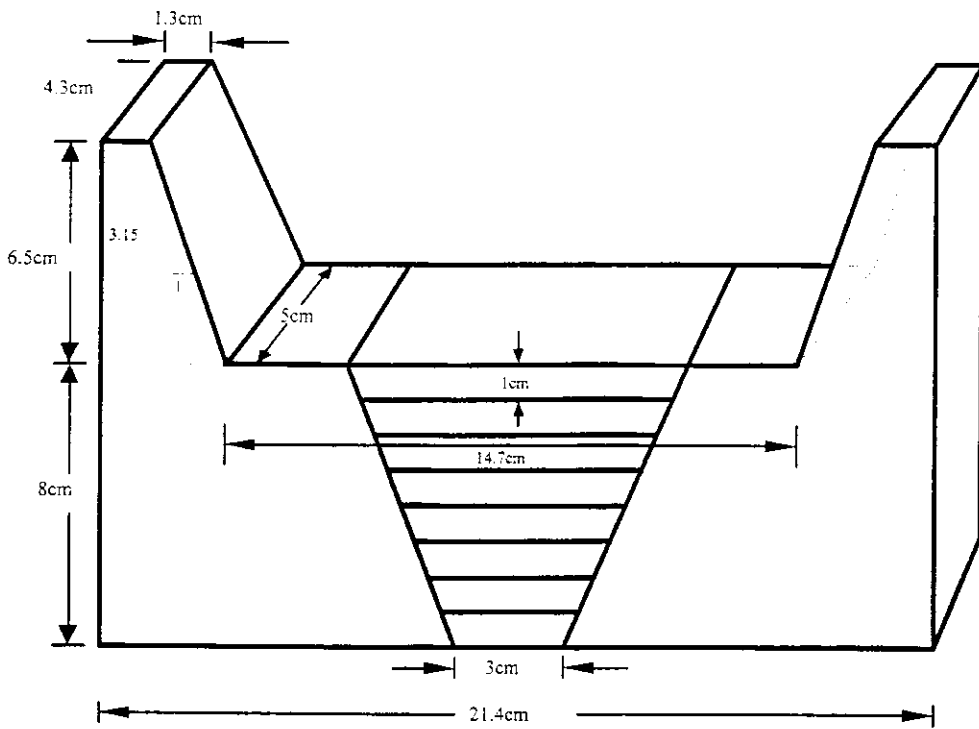
上游河床之最後流量所形成之平均坡度比其他流量形成之平均坡度重要，因為此時之平均坡度為最後形成深槽之平均坡度，上游水流此時皆由此處深槽往下游流動，此條深槽則為壩體拆除缺口後之自然河道，當最後河道平均坡度愈陡時，水流就會愈

## 壩體拆除型式及方式(一)



防砂壩矩形缺口模型圖

## 壩體拆除型式及方式(二)



防砂壩梯形缺口模型圖

圖 3-6 防砂壩缺口模型圖



急速，此時對於魚類要迴游上溯則會增加其困難度，因此以平均坡度的觀點而言，最好是不要過於陡峭，下表為各型式缺口拆除後所形成之平均坡度。

表 3-4 河床最終平均坡度與各拆除缺口型式關係表

矩形缺口	最終平均 坡度(%)	原型最終平 均坡度(%)	梯形缺口	最終平均 坡度(%)	原型最終平 均坡度(%)
未拆除	2.673	1.91	未拆除	2.673	1.91
A 式 1cm	4.317	3.08	A 式 1cm	3.577	2.56
A 式 2cm	4.399	3.14	A 式 2cm	4.317	3.08
A 式 3cm	4.892	3.49	A 式 3cm	4.646	3.32
A 式 4cm	5.385	3.85	A 式 4cm	4.728	3.38
A 式 5cm	5.632	4.02	A 式 5cm	4.810	3.44
A 式 6cm	6.535	4.67	A 式 6cm	4.974	3.55
A 式 7cm	6.782	4.84	A 式 7cm	5.549	3.96
A 式 8cm	6.864	4.90	A 式 8cm	6.207	4.43
B 式 2cm	4.399	3.14	B 式 2cm	4.317	3.08
B 式 4cm	5.467	3.91	B 式 4cm	4.947	3.53
B 式 6cm	5.632	4.02	B 式 6cm	5.056	3.61
B 式 8cm	6.618	4.73	B 式 8cm	6.207	4.43

A 式：一次拆除 B 式：分次拆除

表 3-4 中原型河床之最終平均坡度，是由模型河床經模型比尺換算而得，在模型比例關係中，其長、寬比例分別為  $L = 70$ 、 $H = 50$ ，因此將試驗所得之最終河床坡度除 1.4，即可預測原型河床最終平均坡度。

整體而言，上游平均坡度與壩體拆除方式之關係並不顯著，表示一次拆除與分次拆除最後形成之河床最終平均坡度差別並不大，並不會因拆除時間的多寡而影響到上游最終平均坡度，反而到是拆除深度對河床最終平均坡度的影響較大，不管何種缺口型式，其河床最終平均坡度都會隨著拆除深度的增加而變陡峭。

雖然河床上游最終平均坡度隨著拆除深度增加而變陡峭，但是其坡度增加的倍數與拆除深度增加倍數，並沒有呈正比例，顯示其坡度變化並不會太嚴重，見表 3-5、表 3-6。

表 3-5 矩形缺口之最終平均坡度與相對深度

拆除方式	(1)相對平均坡度	(2)相對深度	拆除方式	(1)相對平均坡度	(2)相對深度
A 式 2cm	1	1	B 式 2cm	1	1
A 式 4cm	1.22	2	B 式 4cm	1.24	2
A 式 6cm	1.49	3	B 式 6cm	1.28	3
A 式 8cm	1.56	4	B 式 8cm	1.50	4

表 3-6 梯形缺口之最終平均坡度與相對深度

拆除方式	(1)相對平均坡度	(2)相對深度	拆除方式	(1)相對平均坡度	(2)相對深度
A 式 2cm	1	1	B 式 2cm	1	1
A 式 4cm	1.09	2	B 式 4cm	1.15	2
A 式 6cm	1.15	3	B 式 6cm	1.17	3
A 式 8cm	1.44	4	B 式 8cm	1.44	4

由表 3-5、表 3-6 中(1)欄之相對平均坡度為以拆除 2cm 之平均坡度為基準之相對增加倍數，即缺口拆除後之平均坡度除上拆除深度 2cm 時之平均坡度，(2)欄之相對深度為拆除深度除上 2cm，由表中可知就算相對拆除深度增加到 4 倍時，最終平均坡度最大也才增加到 1.56 倍，顯示最終平均坡度隨拆除深度的增加而變陡峭之現象並不如想像中嚴重。

歸納以上所言，河床坡面愈陡峭，則水流愈急湍，對於魚類在迴游路徑上迴游時，會增加其迴游時困難度。因此缺口型式以梯形缺口所得之平均坡度較好。

## (2)壩體上游河床淘刷之深度

淘刷現象會因不同缺口型式與拆除方式而有不同之深度變化，因此特就此一現象加以探討，選定渠槽中之上、中、下游特定斷面為量測斷面。

上游河床淘刷深度會隨著壩體拆除後而產生變化，其淘刷深度大致會隨著壩上游可沖刷範圍之增加而加深，而壩上游可沖刷範圍會隨著拆除方式不同而產生變化，會因拆除深度增加而加大。

表 3-7 矩形缺口在下游河床面淘刷深度與相對深度

拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度	拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度
A 式 2cm	1	0.5	B 式 2cm	1	0.5
A 式 4cm	1.6	0.4	B 式 4cm	3.5	0.875
A 式 6cm	5.3	0.88	B 式 6cm	5.1	0.85
A 式 8cm	7.3	0.91	B 式 8cm	7	0.875

A 式：一次拆除 B 式：分次拆除

表 3-8 矩形缺口在中游河床面淘刷深度與相對深度

拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度	拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度
A 式 2cm	0.3	0.15	B 式 2cm	0.3	0.15
A 式 4cm	1.5	0.375	B 式 4cm	3	0.75
A 式 6cm	2.5	0.42	B 式 6cm	4	0.67
A 式 8cm	4	0.5	B 式 8cm	5.6	0.7

表 3-9 矩形缺口在上游河床面淘刷深度與相對深度

拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度	拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度
A 式 2cm	3	1.5	B 式 2cm	1.8	0.9
A 式 4cm	2.5	0.625	B 式 4cm	2.3	0.575
A 式 6cm	3.1	0.52	B 式 6cm	4	0.67
A 式 8cm	5	0.625	B 式 8cm	5	0.625

表 3-10 梯形缺口在下游河床面淘刷深度與相對深度

拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度	拆除方式	淘刷深度(cm)	相對深度
A 式 2cm	1.2	0.6	B 式 2cm	1.2	0.6
A 式 4cm	3.7	0.925	B 式 4cm	2.2	0.55
A 式 6cm	4.5	0.75	B 式 6cm	5.5	0.92
A 式 8cm	6	0.75	B 式 8cm	6.5	0.812

表 3-11 梯形缺口在中游河床面淘刷深度與相對深度

拆除方式	淘刷深度(m)	相對深度	拆除方式	淘刷深度(m)	相對深度
A 式 2cm	0.5	0.25	B 式 2cm	0.5	0.25
A 式 4cm	1.6	0.4	B 式 4cm	1.2	0.3
A 式 6cm	2.6	0.43	B 式 6cm	4	0.67
A 式 8cm	3.7	0.46	B 式 8cm	4.2	0.525

表 3-12 梯形缺口在上游河床面淘刷深度與相對深度

拆除方式	淘刷深度(m)	相對深度	拆除方式	淘刷深度(m)	相對深度
A 式 2cm	1.6	0.8	B 式 2cm	1.6	0.8
A 式 4cm	3	0.75	B 式 4cm	2.5	0.625
A 式 6cm	4.8	0.8	B 式 6cm	4.7	0.78
A 式 8cm	5.4	0.675	B 式 8cm	5.4	0.675

表 3-7~3-12 中之相對深度，乃是用淘刷深度除以拆除深度所得，其所表示之意義為單位拆除深度所造成之上游河床淘刷深度。

在下游斷面中，缺口型式對下游之淘刷深度的影響可由圖 3-7~3-10 比較中看出，隨著拆除深度的增加，矩形缺口所造成之淘刷情形較嚴重。

圖 3-7 矩形缺口 (A 型) 之下游單位淘刷深度圖

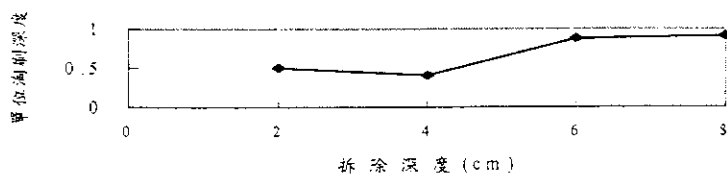


圖 3-8 矩形缺口 (B 型) 之下游單位淘刷深度圖

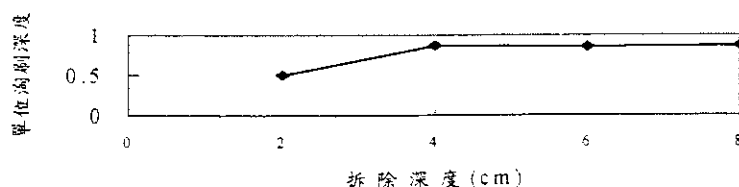


圖 3-9 梯形缺口 (A型) 之下游單位淘刷深度圖

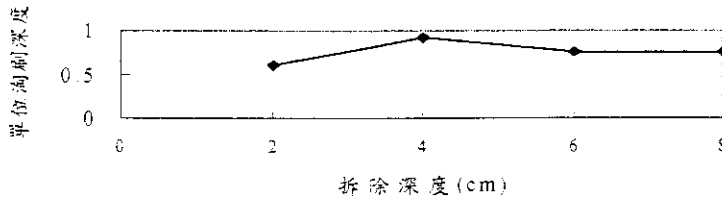
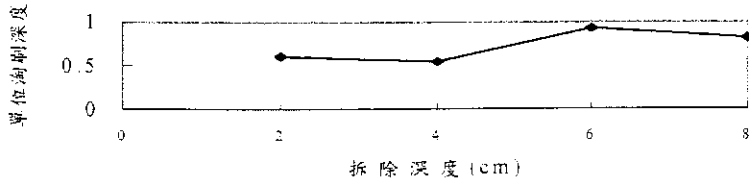


圖 3-10 梯形缺口 (B型) 之下游單位淘刷深度圖



在中游河段中，缺口型式對中游之淘刷深度的影響可由圖 3-11~3-14 比較看出，隨著拆除深度的增加，矩形缺口淘刷會比較嚴重。

圖 3-11 矩形缺口 (A型) 之中游單位淘刷深度圖

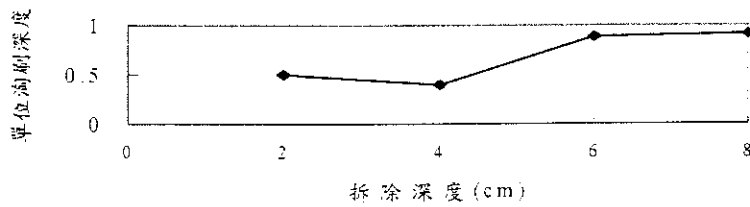


圖 3-12 矩形缺口 (B型) 之中游單位淘刷深度圖

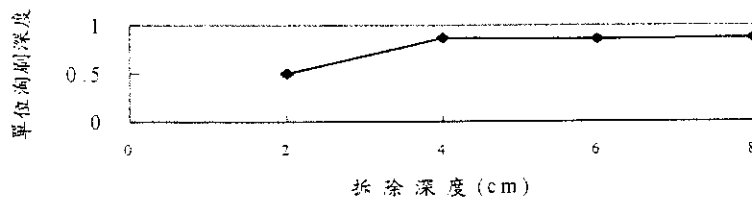


圖 3-13 梯型缺口 (A型) 之中游單位淘刷深度圖

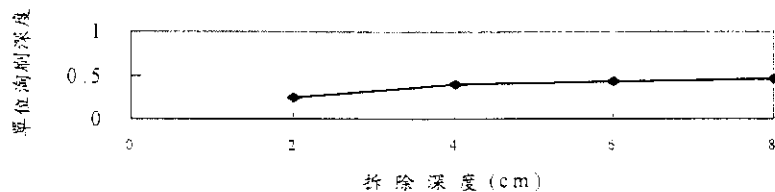
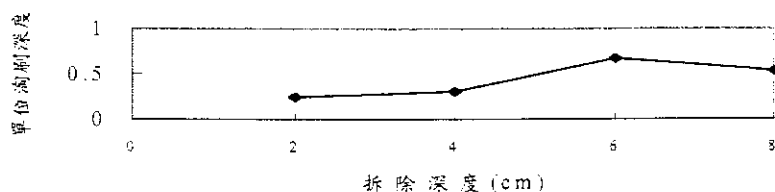


圖 3-14 梯型缺口 (B型) 之中游單位淘刷深度圖



在上游之河段中，缺口型式對上游之淘刷深度的影響由圖 3-15~3-18 比較看出，在上游淘刷情況會隨著拆除深度增加而減緩，而淘刷情況大致是梯形淘刷會比較嚴重。

圖 3-15 矩形缺口 (A型) 之上游單位淘刷深度圖

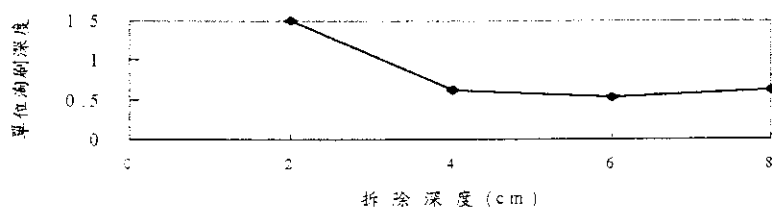


圖 3-16 矩形缺口 (B型) 之上游單位淘刷深度圖

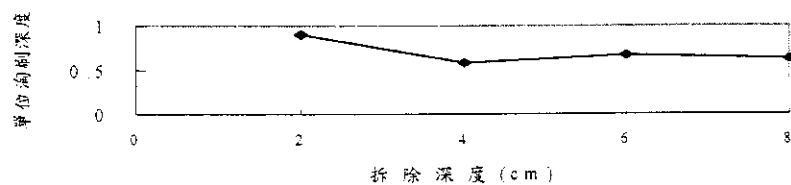


圖 3-17 梯形缺口 (A 型) 之上游單位淘刷深度圖

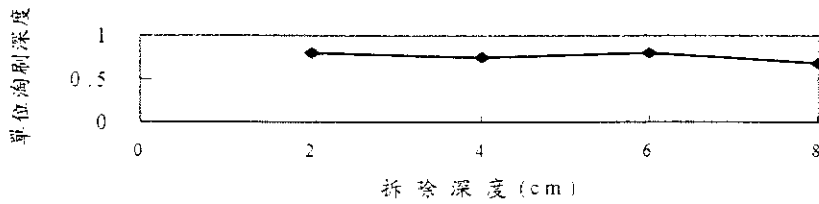
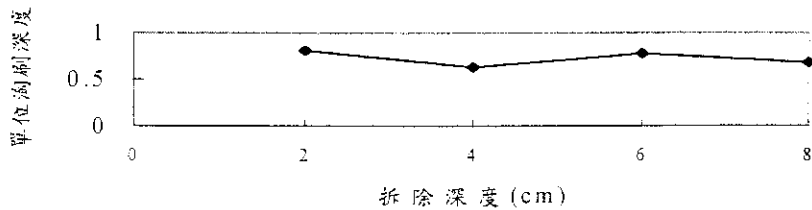


圖 3-18 梯形缺口 (B 型) 之上游單位淘刷深度圖



總體而言，矩形缺口中、下游段較易產生淘刷，而以生態復育上的關點來看，沖刷較深容易產生深潭，容易讓魚類生長繁殖。

### (3) 壩體上游深槽線之形成與發展

當壩體出現缺口後，上游泥砂自然而然會隨著水流排放到下游處，而上游面會在水流的沖刷下產生一條深槽線，此一深槽線會在模擬流量歷線中初始流量或者是在退水流量中才會出現在河床面上(附圖 3-1~3-4)。

#### 1. 深槽線蜿蜒度之分析

一般河川之蜿蜒度多在 1~3 之間，而各缺口拆除型式形成之蜿蜒度見表 3-13。

表 3-13 拆除形成之深槽蜿蜒度

矩形缺口	蜿蜒度	梯形缺口	蜿蜒度
缺口未拆除	1	缺口未拆除	1
A式1cm	1	A式1cm	1.04
A式2cm	1.1	A式2cm	1.07
A式3cm	1.06	A式3cm	1
A式4cm	1.02	A式4cm	1.03
A式5cm	1.03	A式5cm	1.05
A式6cm	1	A式6cm	1
A式7cm	1.02	A式7cm	1.02
A式8cm	1	A式8cm	1
B式2cm	1.1	B式2cm	1.07
B式4cm	1.04	B式4cm	1.03
B式6cm	1.02	B式6cm	1
B式8cm	1	B式8cm	1

A 式：一次拆除 B 式：分次拆除

一般而言，矩形缺口所形成之深槽蜿蜒度比梯形缺口所形成之深槽蜿蜒度大，深槽提供了魚類迴游的路線，因此當深槽的蜿蜒度愈高時，表示深槽會向岸邊偏移，此種現象會提供魚類良好的棲息環境，因為深槽靠近岸邊的結果會使落葉容易掉落到河中且樹蔭會降低水溫，使魚類生存容易。

## 2. 深槽線寬度之分析

深槽線寬度影響主要是在於其對兩岸的淘刷上，當深槽寬度愈寬時，則容易導致深槽淘刷到河床邊岸，產生側向沖刷，使邊坡因淘刷嚴重而產生崩塌。

表 3-14 拆除形成之深槽寬度

矩形缺口	寬度 (cm)	相對寬度	原型寬度 (m)	梯形缺口	寬度 (cm)	相對寬度	原型寬度 (m)
未拆除	0.4	0.4	0.28	未拆除	0.4	0.4	0.28
A式1cm	0.35	0.35	0.245	A式1cm	1.1	1.1	0.77
A式2cm	0.55	0.275	0.385	A式2cm	1.6	0.8	1.12
A式3cm	1.4	0.47	0.98	A式3cm	2.1	0.7	1.47
A式4cm	1.7	0.425	1.19	A式4cm	2.7	0.675	1.89
A式5cm	2.2	0.44	1.54	A式5cm	2.7	0.54	1.89
A式6cm	2.5	0.42	1.75	A式6cm	2.55	0.425	1.785



A式7cm	2.5	0.36	1.75	A式7cm	2.7	0.386	1.89
A式8cm	3.1	0.3875	2.17	A式8cm	3.9	0.4875	2.73
B式2cm	0.55	0.275	0.385	B式2cm	1.6	0.8	1.12
B式4cm	0.4	0.1	0.28	B式4cm	1.25	0.3125	0.875
B式6cm	1.5	0.25	1.05	B式6cm	2	0.33	1.4
B式8cm	2	0.25	1.4	B式8cm	2	0.25	1.4

表 3-14 中所列之相對寬度為其深槽寬度除上拆除深度所得單位拆除深度之深槽寬，且原型寬度為模型深槽寬度乘上模型寬度比尺 70 所得。

在缺口為梯形時梯形其最後深槽寬度會比較大，且寬度隨著拆除深度的增加而變寬，當深槽寬度愈寬，愈容易靠近河床邊岸，則此時所形成之棲息環境會較適合魚類生存。

### 3. 深槽線偏移性之分析

討論其深槽中心到邊岸之值，詳見表 3-15。

表 3-15 拆除缺口形成之深槽中心與左岸距離

矩形缺口	離左岸距離 (cm)	原型距離 (m)	梯形缺口	離左岸距離 (cm)	原型距離 (m)
缺口未拆除	1.4	0.98	缺口未拆除	1.4	0.98
A式1cm	2.05	1.435	A式1cm	2.9	2.03
A式2cm	2.05	1.435	A式2cm	3.0	2.1
A式3cm	4.36	3.052	A式3cm	3.5	2.45
A式4cm	3.75	2.625	A式4cm	3.3	2.31
A式5cm	3.6	2.52	A式5cm	3.25	2.275
A式6cm	3.3	2.31	A式6cm	3.3	2.31
A式7cm	3.2	2.24	A式7cm	3.3	2.31
A式8cm	2.95	2.065	A式8cm	2.7	1.89
B式2cm	2.05	1.435	B式2cm	2.5	2.1
B式4cm	2.1	1.47	B式4cm	3.1	2.17
B式6cm	3.2	2.24	B式6cm	3.2	2.24
B式8cm	3.15	2.205	B式8cm	3.15	2.205

表 3-15 中之原型距離乃為判定斷面之深槽中心離左岸距離，乘上模型寬度比尺 70 所得。

在此斷面之深槽中心離左岸距離，由表 3-15 可知其距離都是隨著拆除深度的增

加，而先增加後再減少，此種現象說明深槽偏移的趨勢都會先隨著拆除深度的增加而先往右岸偏移，等到水流淘刷右岸到一定程度而無法使深槽再往右岸偏移後，這時拆除深度繼續增加，則深槽就會往左岸偏移淘刷，使左岸之淤積範圍減少。

#### 4.深槽線與岩岸之分離點

由模擬現場狀況得之結果，發現由於上游水流都會往左岸流動，因此當最後出現深槽線時，都會沿著左岸發展，等到河床中間段時才會往右岸偏移，將上游深槽與左岸之分離點列於表 3-16。

表 3-16 拆除缺口形成之深槽與左岸之分離點

矩形缺口	分離點(cm)	原型距離(m)	梯形缺口	分離點(cm)	原型距離(m)
未拆除	72	50.4	未拆除	72	50.4
A式1cm	78	54.6	A式1cm	61	42.7
A式2cm	73	51.1	A式2cm	61.5	43.05
A式3cm	72.5	50.75	A式3cm	61	42.7
A式4cm	72	50.4	A式4cm	72.5	50.75
A式5cm	73	51.1	A式5cm	72	50.4
A式6cm	72.5	50.75	A式6cm	73	51.1
A式7cm	73	51.1	A式7cm	73	51.1
A式8cm	72	50.4	A式8cm	71.5	50.05
B式2cm	73	51.1	B式2cm	61.5	42.7
B式4cm	73	51.1	B式4cm	72	50.4
B式6cm	72.5	50.75	B式6cm	72.5	50.75
B式8cm	72.5	50.75	B式8cm	73	51.1

在表 3-15 中之原型距離為深槽與左岸分離點座標乘上模型長度比尺 70 所得。

分離點之值為左岸與深槽分開點，因此當數值愈大，則表示深槽與左岸愈快分開，反之，如果數值愈小，則表示深槽與左岸愈慢分開，由表 3-16 中可知，除了梯形缺口拆 1~3cm 之外，其他拆除方式分離點座標皆在 70cm 左右，顯示不管是何種缺口型式與拆除方式，深槽對左岸的沖刷都不會發展到橫座標 60cm 下，換成原型距離之後，如果要對壩體進行拆除之工作，為了避免嚴重的淘刷，可針對此處作河岸保護工。

#### (4)輸砂量分析

當壩體拆除後，除了給予其上游河床穩定及深槽形成產生影響外，自壩體缺口穿

過或越過之過多泥砂量，對下游魚類生態及其棲息環境亦造成極大之威脅，不得不慎。因此本計畫乃從泥砂輸出歷線，輸出總泥砂量及泥砂濃度變化等三方面進行討論，以解析壩體部分拆除後對水流泥砂含量之影響。

因此對於泥砂量分析，主要可分為下列三個方向：1.泥砂輸出歷線變化、2.泥砂輸出總量的變化、3.泥砂濃度的變化。

1.泥砂輸出歷線之變化：當壩體缺口拆除後，上游泥砂會隨模擬水流之流況而排出到下游，因此在各級模擬水流下，泥砂之排放量會隨著模擬流量的不同而產生不同之排放量，而在河床上游面又會隨著流量不同做定時定量的加砂工作，所以可以將泥砂排放量、加砂量及排放時間作成出砂狀況圖，經由圖表中可以討論加砂量與出砂量之對應關係，及在各種流量下之泥砂排出量，見附圖 3-5~3-16。

首先，由附圖 3-5 之出砂狀況可以看出，在缺口未拆除時，其上游加砂量與下游排砂量大致維持著沖淤平衡的狀態。上游加砂量為模擬從上游下移之泥砂量，可以由圖上所表示之沖淤平衡結果，判定河床面整體呈現穩定之狀態，由此結果，可以得知壩體缺口在未拆除時，其上游坡面大致維持著穩定平衡的狀態。

接下來是要進行拆除模型壩缺口後之泥砂變化量探討，對於在每個流量下從壩體上游沖刷下來之泥砂進行承接與量測的工作，依照每級流量所承接之泥砂總量與相對應之模擬時間繪製成壩體在缺口拆除後之出砂狀況圖，見附圖 3-5~3-16。

由附圖 3-5~3-16 中之出砂量歷線，可以得知出砂量大致上是隨著水流的增大而變大，所以出砂歷線也因此跟流量歷線一樣，可以曲分成上升段、尖峰段，退水段，三個部分，以下就這三個部分分別提出討論(見圖 3-19)。

#### 1.上升段：

在出砂歷線之上升段中，其一開始之出砂量通常會比較大，此種現象發生之原因是因為當壩體缺口拆除後，靠近壩體缺口附近之泥砂會最先流下，造成其出砂歷線在一開始時會突然增大，然後等到缺口附近泥砂排放結束後，泥砂排放量才會回復到正常的排放量。根據出砂歷線上升段最大排放量，分別以(a)拆除型式與(b)拆除方式作為比較依據。

(a)拆除型式：在拆除型式方面，可分為矩形與梯形缺口型式，在各種缺口中之上升段中所對應的最大出砂量見表 3-17。

圖 3-19 矩形缺口一次拆除之排砂歷線圖

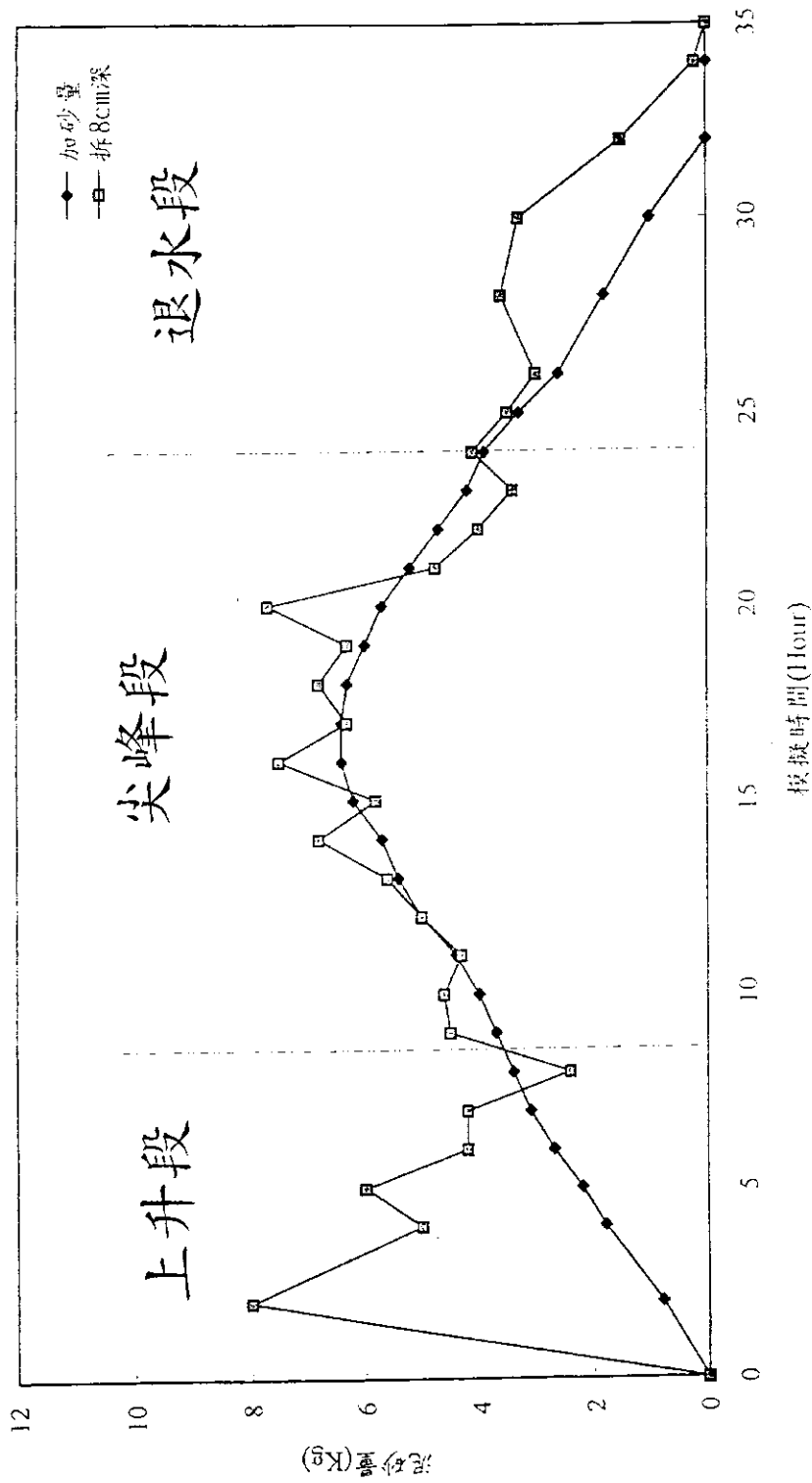


表 3-17 不同缺口型式上升段之最大排砂量

矩形缺口	最大排砂量(Kg)	梯形缺口	最大排砂量(Kg)
A式1cm	1.5	A式1cm	2
A式2cm	2	A式2cm	2.5
A式3cm	2.6	A式3cm	8.5
A式4cm	3.95	A式4cm	7
A式5cm	3.5	A式5cm	7.1
A式6cm	6.9	A式6cm	7.8
A式7cm	6.3	A式7cm	10.5
A式8cm	8	A式8cm	10.8
B式2cm	2	B式2cm	2.5
B式4cm	1.8	B式4cm	5
B式6cm	4.5	B式6cm	5.8
B式8cm	5	B式8cm	4.9

A 式：一次拆除 B：分次拆除

由表 3-17 中可以發現，由於梯形型式之開口比矩形開口大，所以當對壩體開口後，容易導致上游泥砂在剛開始拆除缺口時大量的排出，尤其是在立即對壩體做大型的拆除動作，更是容易使泥砂大量的排出，一般而言，梯形缺口在泥砂出砂歷線上升段之立即排砂量會比矩形缺口多，且排砂時間多集中在前 4 小時中排放。

由此可以判定，在拆除缺口方面，如果只考慮泥砂排放量之問題，以較小的缺口拆除壩體，泥砂一開始的排出量會較少，但是這方面的問題是可以克服，要避免因拆除動作而導致泥砂大量的流出，可以在拆除壩體時，裝設攔砂設施，以防止因拆除壩體時，大量泥砂突然擁入下游造成災害。

(b)拆除方式：本次試驗主要針對兩種拆除方式來進行探討，一種為一次拆除方式，另一種為分次拆除之方式，兩種拆除方式對兩種缺口型式之上升段立即泥砂出砂量分別見表 3-18、表 3-19。

表 3-18 矩形缺口在不同拆除方式之上升段之最大排砂量

拆除方式	最大排砂量(Kg)	拆除方式	最大排砂量(Kg)
A式2cm	2	B式2cm	2
A式4cm	3.95	B式4cm	1.8
A式6cm	6.9	B式6cm	4.5
A式8cm	8	B式8cm	5

表 3-19 梯形缺口在不同拆除方式之上升段之最大排砂量

拆除方式	最大排砂量(Kg)	拆除方式	最大排砂量(Kg)
A式2cm	2.5	B式2cm	2.5
A式4cm	7	B式4cm	5
A式6cm	7.8	B式6cm	5.8
A式8cm	10.8	B式8cm	4.9

由表 3-18、表 3-19 中可以看出，在拆除方式上，不管何種型式的缺口，其一次拆除方式在上升段中之泥砂立即排出量都會比分次拆除的泥砂排出量大，此種現象發生的可能原因是分次拆除方式中泥砂立即排出量，在前次拆除的動作中，已經將部分靠近壩體缺口之土砂排出，所以等到再次拆除壩體缺口時，相對的所能排出在壩體缺口附近的泥砂量也會較少。

由此可知，在拆除方式上，分次拆除在上升段立即出砂量會比一次拆除之量要少，所以對於下游而言，影響比較少，因此如果在施工時間容許逐次拆除之施工方式，則最好是以多次漸進式施工來拆除壩體。

## 2.尖峰段：

在流量漸增的狀況之下，從壩體缺口流出的泥砂量也會逐漸的增加，此一趨勢在每種拆除缺口中都是一樣的，而將尖峰段的泥砂排出量跟上游加砂量相比，發現除了缺口未拆除、矩形缺口拆除 1cm 與 2cm 之外，在其它拆除方式之尖峰段泥砂排出量大都大於加砂量，當上游來砂量小於壩體缺口出砂量時，以沖淤平衡的觀念來看，此時，表示上游泥砂下移量不夠下游泥砂的排出，如此勢必會對河床面本身或兩岸進行淘刷，所以在尖峰段時，也容易是淘刷最嚴重的時後，而尖峰段之最大出砂量，更可能是其中的淘刷最烈時後。針對此一現象分別以(a)缺口型式與(b)拆除方式進行討論。

(a)拆除型式：在拆除型式方面，一樣可分為矩形與梯形缺口型式，在各種缺口中之尖峰段中所對應的最大出砂量與其對應之模擬時間見表 3-20。

表 3-20 不同缺口型式上升段之最大排砂量

矩形缺口	最大排砂量 (Kg)	模擬時間 (Hour)	梯形缺口	最大排砂量 (Kg)	模擬時間 (Hour)
未拆除	6.8	17	未拆除	6.8	17
A式1cm	7.1	16	A式1cm	7.5	16
A式2cm	6.5	16	A式2cm	7.4	16
A式3cm	7	16	A式3cm	7.3	17
A式4cm	7.2	14	A式4cm	7.1	16
A式5cm	8.3	15	A式5cm	7.1	16
A式6cm	6.9	16	A式6cm	7	17
A式7cm	7.2	16	A式7cm	7.5	14
A式8cm	8.8	14	A式8cm	7.1	17
B式2cm	6.5	16	B式2cm	7.4	16
B式4cm	6.6	15	B式4cm	7	17
B式6cm	6.85	16	B式6cm	7.1	17
B式8cm	7.6	19	B式8cm	7.1	16

A 式：一次拆除 B：分次拆除

由表 3-20 可知，在尖峰段之最大出砂量大都集中在 17 小時前後的時間，而 17 小時為模擬水流之尖峰流量，由此可知在水流為尖峰流量時，其對河床的淘刷都是呈現最嚴重的狀態。

缺口型式對於尖峰排砂量的影響似乎不明顯，此種原因可能是因為在尖峰段流量時，河床面呈現沖淤平衡的狀態，水流往下游帶走之泥砂，與上游下移之泥砂達成平衡，因此可以大膽假設，在尖峰流量時，在接近壩體之壩體上游河床面之淘刷情形可能不會很嚴重，但是在離壩體較遠之上游處則可能會因泥砂下移而會淘刷。

(b)拆除方式：拆除方式一種為一次拆除，另一種為分次拆除，兩種拆除方式對兩種缺口型式之尖峰段最大泥砂出砂量分別見表 3-21、表 3-22。

表 3-21 矩形缺口在不同拆除方式之尖峰段最大排砂量

拆除方式	最大排砂量 (Kg)	模擬時間 (Hour)	拆除方式	最大排砂量 (Kg)	模擬時間 (Hour)
A式2cm	6.5	16	B式2cm	6.5	16
A式4cm	7.2	14	B式4cm	6.6	15
A式6cm	6.9	16	B式6cm	6.85	16
A式8cm	7.5	16	B式8cm	7.6	19

表 3-22 梯形缺口在不同拆除方式之尖峰段最大排砂量

拆除方式	最大排砂量 (Kg)	模擬時間 (Hour)	拆除方式	最大排砂量 (Kg)	模擬時間 (Hour)
A式2cm	7.4	16	B式2cm	7.4	16
A式4cm	7.1	16	B式4cm	7	17
A式6cm	7	17	B式6cm	7.1	17
A式8cm	7.1	17	B式8cm	7.1	16

由表 3-21、表 3-22 中不同拆除方式之尖峰流量最大排砂量經過互相比較後，可以再次的確定其尖峰段最大出砂量已經達到沖淤平衡的狀態，所以拆除方式對尖峰流量之最大出砂量沒有太大的影響。

由以上可以得知，尖峰段的泥砂排出量與流量的大小成正相關，也就是當流量大時，所造成的出砂量才會比較大，和缺口型式與拆除方式較無明顯關係。

### 3.退水段：

在出砂歷線中，過了尖峰段之後，此時由於流量變小，所以泥砂的排出量也會隨之減小，但是當流量減小到一定程度之後，此時河床面上會出現一條深槽坑線，水流會集中於此條坑線流動，而隨著流量的減少，水流會產生溯源沖蝕的現象，等到水流穩定之後，深槽坑線的淘刷深度也就達到穩定。

在退水段時產生溯源沖蝕時，泥砂排出量會突然增加，因此分別以(a)缺口型式、(b)拆除方式，兩方面對退水段深槽坑線最大深度提出探討。

(a)缺口型式：分為矩形與梯形，其相對應之最大淘刷深度，原型深度，見表 3-23。

表 3-23 不同缺口型式對應之退水段最大淘刷深度及原型深度

矩形缺口	深度(cm)	原型深度(m)	梯形缺口	深度(cm)	原型深度(m)
未拆除	0.2	0.1	未拆除	0.2	0.1
A式1cm	1.2	0.6	A式1cm	1.1	0.55
A式2cm	2.2	1.1	A式2cm	2.1	1.05
A式3cm	3.2	1.6	A式3cm	3.1	1.55
A式4cm	4.3	2.15	A式4cm	4.1	2.05
A式5cm	5.3	2.65	A式5cm	5.1	2.55
A式6cm	6.3	3.15	A式6cm	6.1	3.05
A式7cm	7.3	3.65	A式7cm	7.1	3.55



A式8cm	8.6	4.3	A式8cm	8.2	4.1
B式2cm	2.2	1.1	B式2cm	2.1	1.05
B式4cm	4.2	2.1	B式4cm	4.1	2.05
B式6cm	6.3	3.15	B式6cm	6.1	3.05
B式8cm	8.2	4.1	B式8cm	8.2	4.1

A式：一次拆除 B：分次拆除

原型深度乃是將模型深度乘上模型深度比尺 50 而得，由上表可得，缺口型式對於淘刷深度的關係可以發現，矩形缺口所形成之最大淘刷深度都會比梯形深一點，而最大淘刷深度發生的地方都在接近壩體缺口之橫斷面上，矩形之最大淘刷深度會比梯形深之可能原因是缺口較梯形狹窄，因此水流被束縮後，流速較快，相對能帶走之泥砂粒徑較大量也較多一點，不過整體而言，差異並不大。

(b)拆除方式：各拆除方式之退水段最大淘刷深度及原型深度見表 3-24、表 3-25

表 3-24 矩形型式對應之退水段最大淘刷深度及原型深度

拆除方式	深度(cm)	原型深度(m)	拆除方式	深度(cm)	原型深度(m)
A式2cm	2.2	1.1	B式2cm	2.2	1.1
A式4cm	4.3	2.15	B式4cm	4.2	2.1
A式6cm	6.3	3.15	B式6cm	6.3	3.15
A式8cm	8.6	4.3	B式8cm	8.2	4.1

表 3-25 梯形型式對應之退水段最大淘刷深度及原型深度

拆除方式	深度(cm)	原型深度(m)	拆除方式	深度(cm)	原型深度(m)
A式2cm	2.1	1.05	B式2cm	2.1	1.05
A式4cm	4.1	2.05	B式4cm	4.1	2.05
A式6cm	6.1	3.05	B式6cm	6.1	3.05
A式8cm	8.2	4.1	B式8cm	8.2	4.1

由表 3-24、表 3-25 可知，拆除方式對最深之淘刷深度並無顯著影響。

## (2)輸出總泥砂量

泥砂排放總量為在壩體缺口拆除後，在 50 年頻率洪水中，泥砂總共排出之量。

針對此一狀態分別為(a)缺口型式、(b)拆除方式來進行討論：

(a)缺口型式：由於壩體河床面上泥砂在水流的帶動下，會產生泥砂運移沖淤的狀態，而在各缺口型式下之泥砂總排出量與相對排砂率見表 3-26。

表 3-26 不同缺口型式之泥砂排出總量與相對排砂率

矩形缺口	排砂總量 (Kg)	相對排砂率	梯形缺口	排砂總量 (Kg)	相對排砂率
未拆除	103.15	1	未拆除	103.15	1
A式1cm	100.15	0.97	A式1cm	110.35	1.07
A式2cm	103.59	1	A式2cm	110.5	1.07
A式3cm	112.8	1.09	A式3cm	116.6	1.13
A式4cm	113	1.1	A式4cm	116.5	1.13
A式5cm	123.90	1.2	A式5cm	122.9	1.19
A式6cm	123.65	1.2	A式6cm	122.6	1.19
A式7cm	123.25	1.19	A式7cm	132.65	1.29
A式8cm	132.15	1.28	A式8cm	133.2	1.29
B式2cm	103.59	1	B式2cm	110.5	1.07
B式4cm	104.55	1.01	B式4cm	116.4	1.13
B式6cm	113.35	1.1	B式6cm	120.5	1.17
B式8cm	118.91	1.15	B式8cm	121.2	1.17

由表 3-26 之相對排砂率為各種缺口型式之總泥砂輸出量除上缺口未拆除時之總泥砂輸出量，由上表所得發現都是梯形缺口其出總泥砂輸出量與相對出砂率得值較大，因此可以得知，當缺口大時，泥砂總出砂量也會比較大。

(b)拆除方式：分為一次與分次之兩種拆除方式，其缺口相對於兩種方式之對應泥砂總量與排出率，見表 3-27、表 3-28。

表 3-27 矩形缺口不同拆除方式之泥砂排出總量與排砂率

拆除方式	排砂總量 (Kg)	相對排砂率	拆除方式	排砂總量 (Kg)	相對排砂率
A式2cm	103.59	1	B式2cm	103.59	1
A式4cm	113	1.1	B式4cm	104.55	1.01
A式6cm	123.65	1.2	B式6cm	113.35	1.1
A式8cm	132.15	1.28	B式8cm	118.91	1.15

表 3-28 梯形缺口不同拆除方式之泥砂排出總量與排砂率

拆除方式	排砂總量 (Kg)	相對排砂率	拆除方式	排砂總量 (Kg)	相對排砂率
A式2cm	110.5	1.07	B式2cm	110.5	1.07
A式4cm	116.5	1.13	B式4cm	116.4	1.13
A式6cm	122.6	1.19	B式6cm	120.5	1.17
A式8cm	133.2	1.29	B式8cm	121.2	1.17

由表 3-27，表 3-28 可知，當壩體缺口一次拆除後，其泥砂增加率大約都為分次拆之 2 倍，因此分次拆除缺口不僅可以降低泥砂的流出量，且施工風險也相對的降低不少。

因此，由以上之觀點可知，對於壩體的施工過程，最好是採取少量而多次的施工方法進行，才可避免土石突然大量流出，造成下游災害的風險。

### (3) 泥砂濃度的變化

在壩體缺口拆除過後，由前面觀點可知，泥砂排出量會隨之產生變化，因此當泥砂排出量出現變化後，則下游的泥砂濃度也會隨之改變，當水中泥砂濃度改變時，影響最大的就是水中生物，因此將缺口未拆除前之濃度與壩體拆口拆除後之濃度作比較，以求出其濃度變化率。表中所列之濃度值為重量百分濃度，其濃度值算法為：

$$\frac{\text{泥砂排出量}}{\text{泥砂排出總量} + \text{水流重量}}$$

將濃度值討論分為(a)缺口型式、(b)拆除方式進行探討：

(a) 缺口型式：將各缺口型式對應之排砂濃度與濃度改變值列於下表：

表 3-29 不同缺口型式之泥砂濃度與濃度變化

矩形缺口	排砂濃度(%)	濃度變化	梯形缺口	排砂濃度(%)	濃度變化
未拆除	0.048		未拆除	0.048	
A式1cm	0.046	-0.00140	A式1cm	0.051	0.00335
A式2cm	0.048	0.0002	A式2cm	0.051	0.00342
A式3cm	0.052	0.00449	A式3cm	0.054	0.00626
A式4cm	0.053	0.00458	A式4cm	0.054	0.00621
A式5cm	0.058	0.00965	A式5cm	0.057	0.00919
A式6cm	0.058	0.00953	A式6cm	0.057	0.00905

A式7cm	0.057	0.00935	A式7cm	0.062	0.01372
A式8cm	0.061	0.01349	A式8cm	0.062	0.01398
B式2cm	0.048	0.0002	B式2cm	0.051	0.00342
B式4cm	0.049	0.00065	B式4cm	0.054	0.00616
B式6cm	0.053	0.00474	B式6cm	0.056	0.00807
B式8cm	0.055	0.00733	B式8cm	0.056	0.00840

由表 3-30 可知，當壩體拆除缺口愈大時，泥砂排出量愈大，以致於其濃度變化會愈大，所以在拆除缺口時，適當的開口才不會導致濃度的激增。

(b) 拆除方式：

表 3-30 矩形缺口不同拆除方式之泥砂濃度與濃度變化

拆除方式	排砂濃度(%)	濃度變化	拆除方式	排砂濃度(%)	濃度變化
未拆除	0.048		未拆除	0.048	
A式2cm	0.048	0.0002	B式2cm	0.048	0.0002
A式4cm	0.053	0.00458	B式4cm	0.049	0.00065
A式6cm	0.058	0.00953	B式6cm	0.053	0.00474
A式8cm	0.061	0.01349	B式8cm	0.055	0.00733

表 3-31 梯形缺口不同拆除方式之泥砂濃度與濃度變化

拆除方式	排砂濃度(%)	濃度變化	拆除方式	排砂濃度(%)	濃度變化
未拆除	0.048		未拆除	0.048	
A式2cm	0.051	0.00342	B式2cm	0.051	0.00342
A式4cm	0.054	0.00621	B式4cm	0.054	0.00616
A式6cm	0.057	0.00905	B式6cm	0.056	0.00807
A式8cm	0.062	0.01398	B式8cm	0.056	0.00840

由表 3-30、表 3-31 可知，濃度變化值會隨拆除方式而有變化，分次拆除方式中因為其泥砂排出量會較小，所以相對的泥砂濃度也會比較小，所以再次的證實，拆除方式以逐次拆除的方式對河中生態的影響會較小。

## 肆、結論與建議

### 4.1 結論

1. 本研究經由相關文獻回顧後發現，對櫻花鉤吻鮭而言，棲息環境因子之改變主要來自於物理性改變，其中以水溫變化與族群阻隔為更為明顯。而造成族群阻絕之原因則是來自河道中之防砂壩。因為防砂壩設置後，河床變寬、水位變淺、水溫增加、溪岸植群社會改變、溪流主要營養來源減少、溪流多樣性的環境改變，影響水生昆蟲和魚群種類、分布和數量(吳祥堅，1998)。而根據中興大學水保研究所何智武及段錦浩兩位教授多年之系列研究，防砂壩設置後，河床變寬且流心不穩定，進而沖刷壩體上游面河床抬高後之河岸，經常造成更多的崩塌，以蘭陽溪支流之圓山溪特別顯著。所以，如果針對防砂壩進行改善工程將有助於棲息環境之改善。
2. 由國內外棲息地改善工程之研究(林耀松，1990；邱健介，1990；段錦浩，1993；汪靜明，1994)得知，具有束流功能之工程構造物可造成深潭而增進棲息地之多樣性。若將防砂壩改善而成為滯洪壩後，在壩體上游會形成一個半碗形的滯洪坑，而在滯洪坑的上游處則是一條具梯形斷面的沖刷槽，在下游處則會產生一個橢圓形之沖刷坑(葉昭憲、段錦浩，1994)，如此滯洪壩不僅可為櫻花鉤吻鮭提供迴游至上游之通道，同時也製造了低溫的深潭棲地。因此，無論從流量、水溫或河床型態來看，將防砂壩改善成滯洪壩應為可行之棲息環境改善方式。
3. 利用各水文站之各月分佈百分率可知，雨量與流量大多集中於春夏兩季(四月至九月)，若根據水文條件，本研究認為進行防砂壩改造為滯洪壩之最佳時段應在每年十一月至次年二月之間，但此期間亦為櫻花鉤吻鮭之產卵期及幼魚之成長期，故較適當之施工時間應為梅雨季來臨前之三、四月份。
4. 針對水工模型試驗之結果，分述如下：

#### (1) 深槽線形成與發展

- 河床深槽線常於退水段形成。
- 深槽線蜿蜒度，矩形切口大於梯形切口；拆除方式對蜿蜒度影響有限；而拆除深度越大者，深槽線蜿蜒度有減小之趨勢。
- 深槽線寬度，梯形切口大於矩形切口；一次全部拆除較分次拆除為寬；而拆除深度越高，深槽線寬度有擴大趨勢。
- 深槽線離岸距離(以左岸為準)，不論任何拆除方式、切口型式及拆除深度，均不會影響緊臨壩體上游左岸岸坡，惟深槽線離岸距離隨拆除深度而減少。而上游 80 至 100 公尺間右岸應防止沖刷。

#### (2) 泥砂輸出歷線

- 上升段：相對於未拆壩時，其流出壩體泥沙量增加，泥沙來源主要是緊臨壩體上游，因壩體部分拆除後失去依靠而流出。
- 尖峰段：因水流挾沙能力提高，具有多來多排之特性，故流出壩體泥沙

量雖然增大，惟壩體上游溪床面變動幅度卻非最大。同時，不論拆除方式及型式，流出壩體之泥沙量差異不大。

- 退水段：水流因具趨中特性而使床面產生溯源沖刷，加上水流挾沙能力已降低，在欠缺泥沙補充的情況下，易形成深槽，而流出壩體泥沙也會明顯地增加。

(3) 以拆除部分壩體作為恢復河川魚類生態棲地環境之作法，對**溪流安定及泥沙淤移**均未造成激烈之衝擊，具有相當的可行性。若以不同拆除型式及拆除方式進行改善工程後，壩體上下游之坡度增率、淘刷深度、深槽形成、排沙增率及泥沙濃度增率等河床變化為考量因素，本研究認為最佳之改善方式為分次將雪山溪四號防砂壩改造成具梯形開口之滯洪壩。

拆除型式		矩形缺口		梯形缺口	
拆除方式		一次	分次	一次	分次
上游	坡度增率	2.57	2.48	2.32	2.32
	淘刷深度	2.5m	2.5m	2.7m	2.7m
	深槽形成	有	有	有	有
下游	排沙增率	1.28	1.15	1.29	1.17
	泥沙濃度增率	1.27	1.15	1.29	1.17
拆除優先順序		④	②	③	①

#### 4.2 建議

1. 根據本研究之水工模型試驗，雪山溪四號防砂壩進行改善工程為可行之方式。但考慮壩址位處雪山溪上游，並避免大型施工機械通道對環境之破壞，故建議使用施工人員可背負搬運之輕型破石器械進行改善工程。
2. 為改進並驗證水工模型試驗之現場模擬能力，本研究建議在雪山溪四號防砂壩進行改善工程時，同時藉由現場之水位觀測及河道斷面測量等資料對室內模型試驗進行修正。如此，模型試驗、改善工程以及現場監測可在一年之研究期間同時進行。

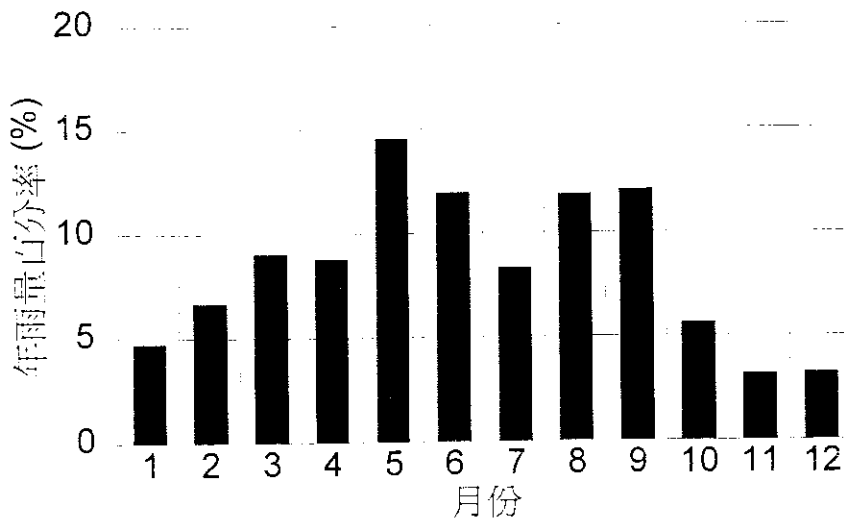
## 伍、參考文獻

- 邱健介，1990：森林溪流淡水魚類棲地調查、棲地改善概說，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局。
- 林曜松，1990：美國棲地改善研習及考察報告，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局。
- 林曜松、梁世雄，1990：鮭鱒魚類生態，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局。
- 張崑雄，1990：魚類生態，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局。
- 段錦浩，1993：大甲溪水潭水文及河道疏濬及沖淤研究--三年總結成果報告，國立中興大學水土保持研究所。
- 葉昭憲、段錦浩，1994：滯洪壩之水文水力特性，中華水土保持學報，25(4)，181-189。
- 曾晴賢，1997：櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估，內政部營建署雪壩國家公園管理處委託計畫，國立清華大學生命科學系。
- 吳祥堅，1998：由生態保育觀點評述上游集水區的土地利用，雪壩國家公園管理處研究報告。
- 王如意 1981：攔砂壩模型試驗及水理特性分析之研究，台大水工試驗所報告，p.11~17。
- 林曜松等 1985：南仁山淡水魚類及無脊椎動物簡說，內政部墾丁公園管理處，p.12。
- 林曜松、曹先紹、張崑雄 1989：櫻花鉤吻鮭之生殖生態與行為研究，農委會 78 年生態研究第 8 號，p.18。
- 徐享田，1988，花蓮縣壽豐溪集水區防砂壩效益評估研究報告，國立中興大學農業經濟研究所。
- 林曜松、曹先紹、張崑雄，1989，櫻花鉤吻鮭之生殖生態與行為研究，農委會 78 年生態研究第 8 號，18p。
- 段錦浩，1996/05，生態護岸及整流工程之初步探討，台北縣農業季刊 5 專題報導(4)，p.13-14。

桃山站(1970-1995)各月降雨百分率

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1970	8.51	1.90	14.05	2.74	7.14	8.63	5.48	5.71	29.35	9.35	0.83	6.31
1971	5.45	5.69	2.87	2.58	12.32	8.15	18.06	2.29	30.32	6.04	1.47	4.75
1972	7.48	5.78	1.10	4.97	10.75	14.82	15.97	20.79	4.27	2.36	6.38	5.32
1973	6.67	2.36	2.36	16.18	7.64	17.09	8.55	9.58	8.61	15.03	4.73	1.21
1974	0.94	4.33	4.18	16.90	22.96	15.88	5.08	5.95	8.36	10.50	1.47	3.46
1975	6.12	4.45	8.71	4.31	16.55	12.54	3.43	13.20	17.52	3.83	1.72	7.61
1976	4.90	3.39	5.28	3.65	20.11	8.61	15.27	20.24	12.45	4.27	1.32	0.50
1977	5.00	1.54	1.65	1.54	16.22	19.26	19.41	13.14	11.65	2.77	4.26	3.56
1978	5.12	4.85	15.86	9.71	17.04	10.19	3.02	8.85	3.51	16.77	0.76	4.31
1979	3.21	2.43	9.13	6.41	21.56	12.68	1.99	30.60	4.03	2.28	5.20	0.49
1980	5.99	8.54	4.98	14.12	14.59	2.42	1.48	23.67	14.66	2.82	5.31	1.41
1981	0.60	4.23	7.50	2.93	18.11	23.54	12.33	6.60	12.89	3.06	6.08	2.11
1982	1.75	6.65	8.51	8.56	10.95	12.49	24.03	14.94	3.62	0.69	4.04	3.77
1983	7.54	23.85	25.71	5.12	10.60	6.67	3.21	4.96	5.56	3.02	0.83	2.94
1984	1.07	2.29	8.86	17.78	22.87	7.59	4.23	23.64	4.89	4.33	1.78	0.66
1985	2.62	21.05	5.56	8.41	8.37	12.64	4.34	15.30	7.51	5.63	3.79	4.77
1986	1.73	9.97	14.05	2.21	20.71	10.40	3.16	10.50	16.54	1.10	7.29	2.35
1987	1.48	3.13	14.18	5.88	13.82	14.04	13.58	3.87	16.57	4.95	5.39	3.11
1988	7.02	6.00	12.64	19.09	14.52	4.42	1.94	7.12	17.25	3.27	4.73	2.00
1989	2.64	1.27	5.28	11.11	20.72	7.02	9.76	3.99	28.04	2.90	1.70	5.58
1990	4.83	4.36	4.63	23.80	4.29	14.44	2.29	25.78	13.87	1.21	0.21	0.28
1991	8.67	3.81	7.68	7.46	6.81	21.37	6.33	11.67	11.05	8.60	0.80	5.74
1993	8.26	1.18	21.34	12.58	13.55	19.45	3.93	3.47	5.22	0.75	7.37	2.90
1994	6.32	20.92	8.95	3.48	15.84	0.00	11.72	0.21	4.01	24.61	0.00	3.94
1995	4.60	13.18	11.29	8.44	15.86	14.32	9.27	9.20	9.37	0.96	2.03	1.48
Mean	4.741	6.686	9.054	8.798	14.56	11.95	8.314	11.81	12.04	5.644	3.18	3.222
S.D.	2.566	6.405	6.039	6.144	5.325	5.789	6.367	8.203	7.972	5.777	2.346	2.001

桃山站年雨量分佈  
(1970-1995)



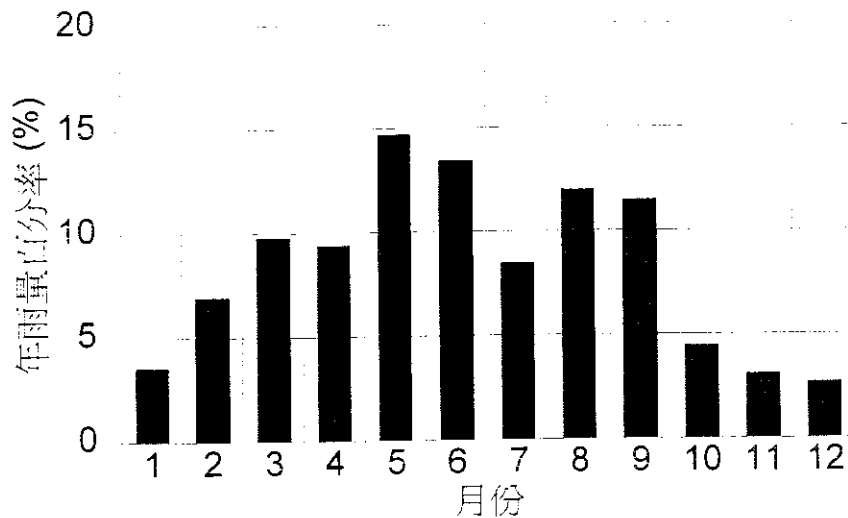
附表 3-1



赤佳陽大山站(1969-1995)各月降雨百分率

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1969	1.68	6.00	6.32	2.59	11.29	27.07	9.38	5.40	22.86	5.57	1.73	0.11
1970	5.62	1.51	13.64	3.02	9.60	9.87	8.02	5.89	25.15	9.39	1.17	7.13
1971	1.32	3.62	2.92	2.09	12.73	7.65	14.27	3.34	40.43	6.26	0.49	4.87
1972	7.28	4.30	1.37	4.96	10.27	13.13	16.96	29.13	2.87	1.79	5.43	2.51
1973	3.51	2.05	1.68	18.07	6.29	17.85	7.97	12.80	7.68	16.17	5.78	0.15
1974	0.67	5.38	3.75	9.32	16.63	20.13	6.25	9.47	10.76	13.31	1.97	2.35
1975	1.29	2.52	8.52	4.72	15.38	18.27	3.91	15.38	18.17	3.38	1.55	6.91
1976	1.55	2.51	4.73	3.62	21.60	8.28	19.97	20.41	9.76	4.59	2.07	0.89
1977	5.15	3.48	3.34	1.04	15.76	17.88	20.05	15.62	9.07	0.90	3.25	4.47
1978	5.25	5.99	19.29	11.94	17.35	5.08	3.59	10.41	3.51	11.73	0.66	5.20
1979	4.72	3.89	9.02	8.04	17.73	17.21	1.87	23.69	4.56	3.16	5.39	0.73
1980	8.04	13.49	4.68	15.69	11.56	1.82	0.66	27.31	6.55	3.52	5.40	1.27
1981	0.71	4.26	8.46	2.88	17.87	24.26	14.21	6.67	10.93	0.78	6.97	2.00
1982	1.25	8.31	9.61	12.93	16.00	16.82	19.37	2.16	3.12	0.72	6.01	3.70
1983	6.47	27.74	23.81	4.97	11.44	7.70	1.47	4.23	6.07	3.27	0.03	2.80
1984	2.15	2.62	13.05	11.11	26.99	8.65	4.40	19.92	4.66	3.04	2.57	0.84
1985	2.35	25.73	6.40	8.35	7.93	9.91	2.44	16.19	8.54	4.91	2.99	4.27
1986	0.43	11.04	16.20	2.06	19.52	11.98	3.97	8.33	18.69	1.62	3.97	2.20
1987	2.26	3.02	17.34	8.82	13.84	13.30	10.78	3.55	15.74	3.64	4.70	3.02
1988	6.27	5.03	17.07	24.79	15.03	4.08	1.64	7.81	11.52	2.31	3.33	1.10
1989	1.56	1.75	7.65	16.26	24.33	8.54	15.21	3.70	13.69	2.79	1.35	3.16
1990	3.81	7.35	5.69	25.19	3.33	15.72	2.75	25.20	9.08	1.56	0.20	0.11
1993	7.24	0.78	19.00	14.19	15.51	22.57	5.83	3.52	3.13	1.11	5.41	1.71
1995	5.17	14.64	11.47	8.92	14.89	14.15	8.78	7.28	8.95	1.37	1.67	2.71
Mean	3.573	6.959	9.792	9.399	14.7	13.41	8.49	11.98	11.48	4.454	3.087	2.675
S.D.	2.426	7.079	6.302	6.908	5.425	6.544	6.388	8.421	8.709	4.155	2.102	2.003

赤佳陽大山站年雨量分佈  
(1969-1995)

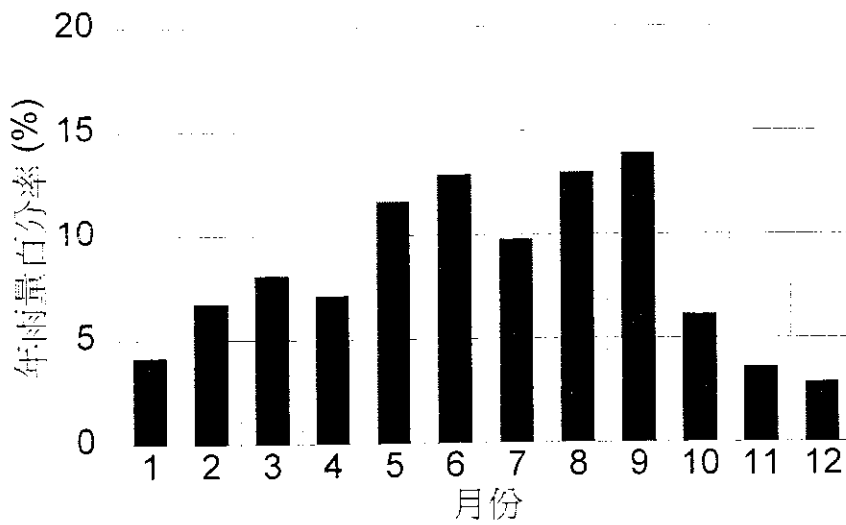


附表 3-2

平岩山站(1967-1995)各月降雨百分率

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967	5.47	4.98	2.29	3.56	13.14	5.17	7.80	11.63	6.55	12.33	22.18	4.89
1968	0.97	15.88	14.06	3.61	10.83	24.73	10.97	4.55	12.79	1.29	0.00	0.32
1969	2.07	5.02	4.13	1.80	6.20	19.22	8.77	4.48	32.01	13.94	1.91	0.46
1970	10.83	2.23	15.46	2.90	12.50	4.74	7.48	4.85	20.87	7.81	1.06	9.26
1971	4.43	3.52	1.33	0.82	8.04	8.09	19.10	2.74	42.14	4.52	1.19	4.07
1972	8.56	8.01	1.62	4.44	9.53	13.47	13.28	25.59	2.22	1.39	6.02	5.88
1973	5.91	1.95	1.91	12.01	4.24	14.44	8.86	16.44	7.05	22.96	2.86	1.38
1974	1.21	7.83	5.09	11.06	9.93	17.76	4.80	7.91	8.76	18.93	2.79	3.92
1975	5.34	3.65	7.11	4.13	9.51	15.59	1.58	23.63	15.26	5.53	1.44	7.22
1976	3.71	3.39	5.12	3.84	22.15	9.03	24.33	15.69	7.04	2.69	2.30	0.70
1977	5.86	2.26	2.07	0.89	11.07	22.34	22.15	12.06	11.22	1.23	4.77	4.08
1978	4.69	6.75	18.86	11.82	15.41	7.61	5.89	9.43	2.68	15.08	1.24	0.53
1979	3.17	2.36	8.54	5.70	13.83	14.56	7.65	29.78	2.64	6.63	4.60	0.53
1980	6.67	11.16	3.11	11.10	9.78	1.32	1.27	28.19	18.18	3.11	4.72	1.38
1981	0.38	3.14	7.55	2.18	15.37	27.21	15.45	6.25	12.73	1.34	7.36	1.03
1982	1.61	7.69	5.87	7.58	13.45	10.23	25.66	8.73	12.21	0.36	3.38	3.22
1983	7.40	27.26	25.11	4.52	9.13	8.86	2.05	6.12	3.29	2.97	0.73	2.56
1984	2.54	1.69	7.19	14.14	21.09	9.91	5.38	25.74	4.95	4.41	2.18	0.79
1985	2.90	20.67	4.93	7.58	4.85	13.38	2.24	14.29	15.95	6.01	1.95	5.26
1986	1.09	8.41	12.64	1.91	18.19	11.28	7.82	10.60	19.60	2.18	4.96	1.32
1987	1.54	3.02	12.34	5.46	10.33	10.30	12.50	5.14	24.21	10.12	2.91	2.12
1988	6.64	3.51	11.65	16.33	13.76	6.15	3.29	8.20	16.66	8.17	4.42	1.24
1989	2.81	1.96	4.89	12.62	14.54	4.39	10.38	2.66	36.89	1.40	1.50	5.96
1990	4.57	4.80	3.48	19.16	2.38	18.86	1.63	22.86	20.71	1.06	0.33	0.16
1991	7.02	2.53	6.78	6.48	6.12	17.53	12.94	6.92	17.36	5.79	4.26	6.29
1993	1.88	0.80	19.34	16.13	14.65	23.78	4.28	5.80	2.68	0.80	7.29	2.56
1994	3.64	9.58	4.37	1.35	10.04	7.84	16.55	34.20	1.60	9.29	0.00	1.54
1995	3.56	14.89	9.31	6.71	15.99	13.50	10.03	9.31	10.75	1.27	2.89	1.79
Mean	4.16	6.748	8.077	7.137	11.64	12.9	9.79	12.99	13.89	6.165	3.616	2.874
S.D.	2.567	6.269	6.065	5.241	4.75	6.661	6.904	9.193	10.52	5.896	4.166	2.436

平岩山站年雨量分佈  
(1967-1995)



附表 3-3

思源站(1960-1995)各月降雨百分率

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960	0.20	0.62	3.17	6.08	9.49	12.51	17.45	29.23	13.44	3.50	1.95	2.34
1961	0.58	5.44	6.13	2.64	9.40	3.64	8.59	11.86	38.56	5.82	3.93	3.41
1962	3.06	1.98	6.88	3.17	1.18	3.40	7.58	21.36	21.93	22.48	6.26	0.71
1963	1.02	2.19	2.72	0.85	1.09	10.08	26.31	4.74	35.83	4.46	6.85	3.87
1964	8.45	6.65	1.66	1.02	4.95	5.66	10.24	19.66	9.92	23.63	7.90	0.27
1965	4.81	3.30	3.03	5.78	6.35	10.14	16.43	18.98	7.21	6.05	12.79	5.12
1966	1.75	2.28	10.24	4.19	6.87	36.81	4.33	8.43	16.78	0.06	4.71	3.55
1967	3.50	4.49	2.38	3.09	8.48	8.73	5.77	8.92	6.38	22.00	19.42	6.83
1968	1.70	12.03	7.19	1.30	5.44	13.60	15.65	11.07	20.05	7.99	2.54	1.44
1969	2.06	4.03	3.85	1.80	2.93	11.00	9.00	5.98	32.83	13.86	8.96	3.69
1970	8.17	1.34	8.18	1.36	3.70	5.95	3.96	8.61	21.12	20.35	8.88	8.37
1971	3.33	1.74	3.71	1.33	6.40	3.80	15.71	2.30	37.23	12.79	7.02	4.63
1972	9.05	4.04	1.06	4.12	5.61	10.92	20.10	24.10	3.31	4.50	8.84	4.33
1973	5.01	1.56	1.20	8.18	1.84	10.91	5.05	19.09	14.19	23.30	7.10	2.57
1974	1.49	3.04	2.20	8.56	7.91	10.08	4.90	6.24	9.49	31.93	9.28	4.87
1975	3.36	2.61	3.89	2.90	5.18	6.96	2.41	18.07	23.52	19.10	3.50	8.51
1976	6.47	1.94	3.02	1.40	17.30	4.15	12.77	24.73	11.69	6.63	7.00	2.91
1977	6.38	3.70	1.83	0.78	7.55	10.39	14.79	15.26	21.76	2.76	11.44	3.35
1978	5.34	3.11	9.87	6.40	3.29	5.38	2.05	12.58	5.74	32.19	7.47	6.58
1979	2.33	1.91	5.06	3.75	12.27	7.31	5.96	26.67	13.09	9.04	9.30	3.30
1980	4.98	6.39	1.66	5.49	7.11	2.81	1.45	26.69	27.33	4.85	8.81	2.43
1981	1.26	1.66	4.07	1.12	10.31	25.98	10.07	5.22	19.13	6.17	11.23	3.77
1982	3.28	8.35	9.25	7.58	10.99	10.12	24.36	3.92	15.01	1.22	4.88	1.03
1983	5.23	19.18	17.66	3.99	7.82	7.32	4.27	8.22	9.37	8.88	3.89	4.17
1984	1.32	0.94	3.16	7.36	11.92	6.94	5.06	34.34	6.48	11.67	8.24	2.55
1985	3.64	15.18	3.68	5.08	6.12	9.63	3.14	16.72	15.55	10.70	4.41	6.15
1986	1.19	4.99	7.32	0.87	12.06	8.69	4.27	16.30	25.53	4.27	12.45	2.06
1987	2.23	2.82	9.06	4.37	7.15	6.60	12.30	7.42	28.60	6.42	8.74	4.28
1988	5.24	2.66	6.50	8.34	8.42	4.15	2.66	3.45	18.42	28.94	5.76	5.46
1990	1.15	4.31	3.04	11.82	3.19	16.80	2.49	22.66	24.36	4.53	4.16	1.49
1991	15.77	3.00	0.00	0.00	2.29	17.74	10.80	9.23	5.28	9.38	16.48	10.02
1992	2.78	9.77	4.27	5.50	4.50	3.47	3.41	36.41	22.94	6.10	0.86	0.00
1993	3.80	1.05	12.79	10.95	5.11	8.00	5.90	10.62	9.18	13.31	11.61	7.67
1994	3.32	6.40	3.36	0.92	5.58	3.39	19.86	24.77	5.51	17.95	2.23	6.71
1995	5.36	8.42	6.12	5.58	8.64	9.84	11.48	13.01	13.61	9.95	4.76	3.23
Mean	3.961	4.661	5.121	4.219	6.813	9.513	9.445	15.34	17.44	11.91	7.533	4.047
S.D.	3.063	4.126	3.719	3.072	3.55	6.713	6.696	9.128	9.714	8.863	4.041	2.422

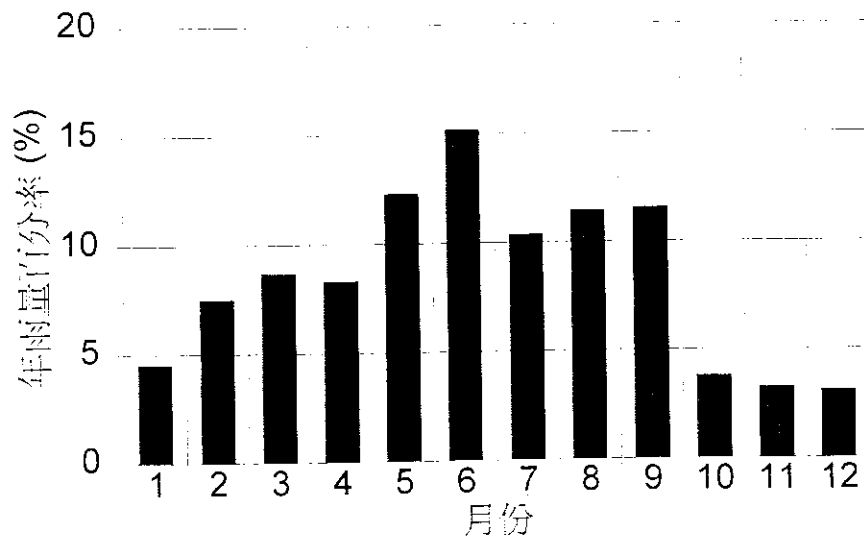
附表 3-4

環山站(1950-1995)各月降雨百分率

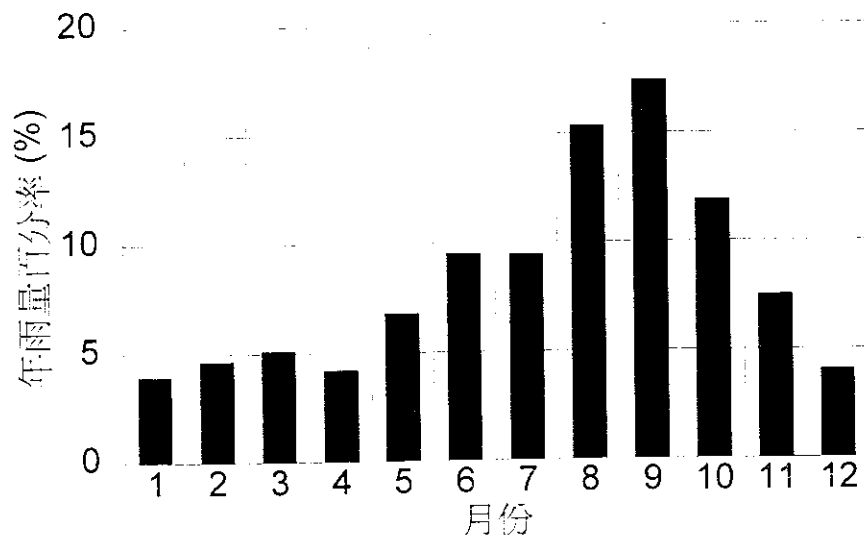
Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1950	7.80	13.51	1.21	9.16	19.37	23.15	8.75	11.20	0.47	1.95	2.00	1.45
1951	11.41	2.18	11.41	8.92	14.03	29.55	2.74	7.76	1.75	2.16	6.43	1.65
1952	5.23	8.87	6.73	13.26	7.25	5.85	25.87	3.63	10.76	0.69	4.63	7.24
1953	2.07	8.32	11.03	13.32	8.77	14.79	5.53	14.20	11.55	5.14	3.35	1.92
1954	3.88	8.86	13.94	14.80	0.53	10.20	12.30	9.08	5.05	4.20	14.83	2.33
1955	2.18	0.79	0.40	10.80	7.57	16.89	27.87	18.35	7.76	0.00	6.64	0.75
1956	6.96	8.01	5.75	4.30	9.05	6.33	3.54	9.98	28.02	2.90	2.70	12.45
1957	0.31	11.59	18.71	1.68	21.43	21.09	6.58	2.66	9.57	2.37	0.03	3.98
1958	5.64	13.13	8.56	4.41	9.35	7.64	27.34	7.92	7.73	3.94	0.00	4.33
1959	1.82	11.27	3.28	11.14	7.76	12.70	9.52	25.23	12.16	0.61	3.90	0.61
1960	3.18	0.66	9.59	9.81	13.76	17.51	15.83	19.25	5.80	0.26	1.81	2.55
1961	1.16	8.57	10.91	6.10	24.33	2.09	5.40	6.56	31.38	0.18	0.35	2.97
1962	9.05	4.04	1.06	4.12	5.61	10.92	20.10	24.10	3.31	4.50	8.84	4.33
1963	1.50	4.26	4.91	2.82	1.53	8.12	23.30	4.14	39.99	0.79	4.19	4.44
1964	17.30	5.64	1.91	0.18	7.82	29.01	5.81	17.00	3.15	9.69	1.39	1.10
1965	4.59	3.22	5.08	9.61	10.72	19.09	17.82	19.28	2.35	2.14	3.70	2.41
1966	0.62	5.12	6.71	5.54	7.05	46.14	7.25	9.26	10.08	0.00	0.90	1.34
1967	4.53	4.86	3.14	5.22	17.66	8.50	7.31	10.23	8.32	9.16	14.11	6.96
1968	1.51	17.31	16.03	3.57	13.53	24.56	7.64	4.64	10.23	0.68	0.00	0.30
1969	2.55	7.46	7.72	2.73	9.15	25.53	7.00	3.83	24.89	7.33	1.29	0.52
1970	10.74	2.14	16.12	3.17	13.88	6.22	5.52	4.85	21.04	7.11	0.70	8.51
1971	6.37	5.96	1.83	1.21	9.79	9.41	17.84	2.23	35.20	5.06	1.14	3.95
1972	7.79	8.79	1.58	5.43	11.22	16.95	11.19	21.69	2.84	0.53	4.72	7.26
1973	5.66	1.95	2.51	14.72	6.60	19.88	8.68	11.74	5.30	18.03	3.48	1.45
1974	1.48	8.22	6.10	11.30	13.72	22.94	3.10	9.13	5.00	14.22	1.35	3.45
1975	4.94	3.29	9.11	4.96	11.94	17.55	2.74	15.68	17.54	3.65	1.51	7.09
1976	3.61	3.61	5.51	4.17	20.93	7.51	29.54	14.37	5.75	2.41	2.08	0.51
1977	6.28	1.98	1.78	1.23	12.88	27.52	18.36	11.15	10.75	0.78	3.46	3.82
1978	4.69	6.89	19.56	12.25	16.48	5.87	5.65	6.81	4.17	11.34	1.20	5.10
1979	3.70	2.98	9.95	6.08	15.70	17.18	3.57	28.65	3.67	2.85	5.09	0.59
1980	7.36	11.06	3.42	13.29	9.85	4.66	0.80	27.16	14.25	3.13	3.97	1.05
1981	0.51	3.59	8.74	2.34	18.16	25.12	14.12	2.97	14.31	1.26	7.38	1.50
1982	1.88	7.62	7.44	9.95	12.64	13.44	21.87	8.68	8.96	0.34	3.54	3.63
1983	7.15	26.73	26.77	4.50	10.12	11.73	1.33	4.69	2.45	1.85	0.86	1.81
1984	1.84	3.33	10.55	17.36	27.39	11.98	3.69	15.00	3.94	2.92	1.28	0.72
1985	3.29	24.20	5.54	9.71	6.96	12.04	1.99	12.12	11.81	4.74	1.75	5.83
1986	0.68	11.03	15.52	2.18	20.32	12.04	4.47	8.55	17.78	1.60	4.31	1.51
1987	1.84	3.56	15.48	7.78	13.70	10.91	12.88	4.60	18.50	6.55	2.17	2.04
1988	6.28	4.28	16.09	18.88	15.94	5.38	1.30	9.32	15.29	3.08	3.16	1.00
1989	2.49	2.00	5.06	14.32	16.81	5.24	12.21	4.35	29.09	1.38	1.24	5.82
1990	4.90	5.09	4.12	24.41	2.75	19.70	1.53	20.60	14.75	1.49	0.48	0.19
1991	8.58	2.94	7.87	10.57	4.65	21.03	12.11	7.05	9.23	5.13	4.62	6.22
1992	5.24	20.68	16.50	15.25	9.08	8.79	8.58	1.38	11.94	0.07	0.63	1.86
1993	0.00	0.70	19.32	17.53	16.08	24.96	1.79	6.40	1.69	4.28	5.27	1.99
1994	3.31	11.94	5.47	1.53	12.69	7.56	15.27	31.50	1.11	8.31	0.00	1.31
1995	4.23	13.01	9.42	6.82	18.82	13.32	9.01	7.64	10.74	3.12	2.69	1.16
Mean	4.525	7.505	8.684	8.314	12.29	15.19	10.36	11.45	11.55	3.781	3.243	3.109
S.D.	3.4	5.936	6.049	5.583	5.85	8.74	7.963	7.665	9.433	3.863	3.201	2.645

附表 3-5

環山站年雨量分佈  
(1950-1995)



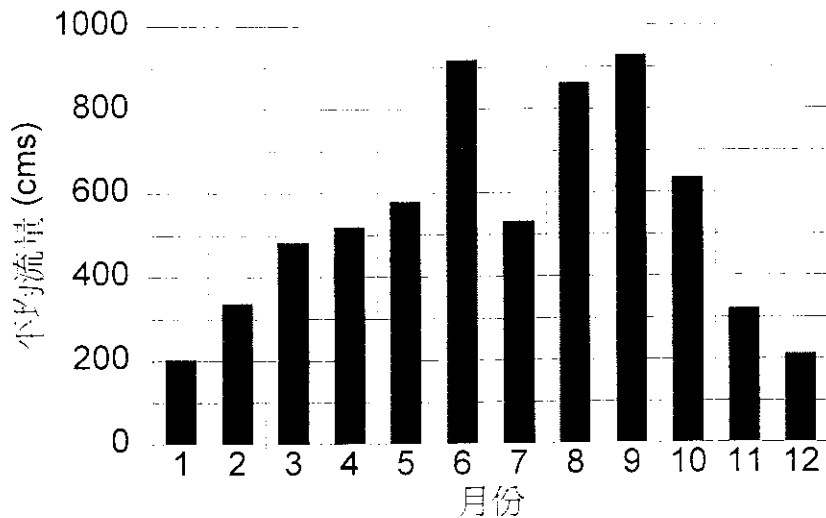
思源站年雨量分佈  
(1960-1995)



七家灣站各月流量

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
56	190	175	227	179	342	596	299	215	247	525	978	418
57	264	902	939	889	664	1873	893	760	550	554	208	150
58	127	149	281	217	212	1287	531	578	1796	2159	348	196
59	273	167	555	331	401	349	318	208	1056	654	268	281
60	193	314	350	190	294	349	588	546	2052	746	350	267
61	459	293	236	256	367	871	682	2283	688	247	225	182
62	250	173	142	564	273	901	394	522	528	1080	298	200
63	187	261	280	710	1006	1797	616	387	565	1375	698	378
64	424	400	520	571	815	1527	501	1305	1368	1034	398	469
65	294	188	218	236	639	427	1140	1114	413	355	211	157
66	147	191	118	114	376	1113	727	1706	705	448	267	165
67	195	222	826	785	917	638	257	366	367	789	413	260
68	212	192	341	487	817	1245	420	1623	1009	469	354	183
69	135	292	298	270	468	324	146	672	1246	388	243	138
70	111	125	300	212	488	2251	1050	557	819	385	390	190
71	134	152	582	230	528	629	874	1448	517	236	140	126
72	206	1574	2221	978	573	940	239	162	221	169	114	82
73	78	64	231	472	1062	934	330	1077	532	282	223	154
74	123	1117	573	758	455	1010	442	890	1056	1015	397	273
75	321	322	882	565	1023	1135	536	662	1189	493	418	283
76	136	84	413	502	453	505	692	478	952	585	381	286
77	242	199	294	695	598	542	210	158	360	498	313	170
78	140	112	149	497	538	800	369	391	2266	759	318	194
79	284	270	707	1770	752	1344	565	1971	2361	407	215	165
80	158	173	151	166	398	385	332	282	302	481	293	220
81	212	871	922	1011	862	854	652	1451	2108	539	233	146
82	153	108	392	474	416	826	267	177	109	111	110	97
83	104	394	379	234	567	439	962	2622	1183	1306	340	198
84	174	316	490	711	488	746	407	384	386	299	187	154
Mean	204.4	337.9	483.4	519.7	579	918.5	532.5	861.9	929.3	634.1	321.6	213.2
S.D.	90.36	344.7	412	354	236.6	490.7	262.5	676.5	649.7	436	172	90.81

七家灣水文站流量分佈  
(1967-1995)



附表 3-6

Annual 24-hr Maximum Records

Year	Flow #34	Rain #2	Rain #40	Rain #59	Rain #60	Rain #61	Rain #65
39		1495					
40		1316					
41		1441					
42		4415					
43		958					
44		1203					
45		2272					
46		1628					
47		4098					
48		3088					
49		3296	3324				
50		2860	3800				
51		3938	4759				
52		2495	2256				
53		707	870				
54		2033	2251				
55		1768	1000				
56	8500	992	1688		1850	970	
57	4390	1588	1305		1365	1590	
58	13900	3327	4118	3180	5140	2310	
59	8400	1632	1880	2450	1280	2290	2930
60	13800	2356	4160	2310	3540	3110	2370
61	13200	1372	2180	2280	1970	1240	2490
62	5600	1780	2240	900	2840	1960	970
63	3200	856	1680	890	1110	1320	1770
64	7800	2835	4230	1620	2650	1710	2470
65	8202	1761	2570	2380	2170	4005	2830
66	7533	1408	1900	2000	1800	2775	1790
67	2879	978	2190	940	1240	1625	900
68	5790	1150	2030	850	1530	815	2170
69	9468	2525	4560	3650	3610	3355	2490
70	7860	1258	1800	1910	2020	2545	1790
71	6883	2258	1870	1370	2490	1490	2050
72	4205	1693	590	1270	900	2435	910
73	3641	840	1250	1040	730	1195	1170
74	6175	1620	2250	2620	1720	2570	2530
75	7834	2592	4830	3400	2680	1460	2040
76	4808	1615	1700	1220	2320	1325	1080
77	1276	833	1580	1110	640	1265	980
78	17528	3625		2060	3495	2650	3810
79	13351	2815	3670	2515	3130	3485	2880
80	1974	1325	990	410	1480	1035	955
81	16798	1335	3270	1335	2130	1190	2210
82	1738	935	450	850	830	245	765
83	13181	2670	3630	1925	3010	1635	2345
84	1857	1325	600	960	1155	1225	700
Mean	7647.276	1963.261	2384.886	1757.222	2097.414	1890.517	1899.808
S.D.	4621.539	953.15	1272.439	862.2593	1047.773	895.5558	828.0429
Skewness	0.591663	0.877571	0.474293	0.56943	0.892991	0.6038	-0.00697

附表 3-7

Values of Recurrence

Station No.	Return Year	2	5	10	20	50
Flow #34	Log-Normal	6371	9988	12947	16198	21022
	Log-Pearson III	10774	11405	14614	17616	21339
	GEV	7163	11336	13825	16023	18629
	Gumbel	6888	10972	13677	16270	19628
	Weibull	7147	11481	13932	16026	18440
Rain #2	Log-Normal	1760	2592	3179	3766	4560
	Log-Pearson III	1742	2617	3253	3902	4802
	GEV	1831	2685	3225	3725	4348
	Gumbel	1807	2649	3207	3742	4434
	Weibull	1809	2721	3270	3755	4330
Rain #40	Log-Normal	2061	3112	3923	4780	6005
	Log-Pearson III	3097	3442	4240	4953	5797
	GEV	2273	3421	4088	4655	5331
	Gumbel	2176	3300	4045	4759	5683
	Weibull	2277	3453	4103	4651	5275
Rain #59	Log-Normal	1559	2298	2838	3390	4151
	Log-Pearson III	1603	2437	2978	3482	4111
	GEV	1669	2448	2910	3315	3796
	Gumbel	1616	2378	2882	3366	3992
	Weibull	1668	2474	2928	3315	3760
Rain #60	Log-Normal	1859	2761	3415	4081	4998
	Log-Pearson III	1894	2886	3554	4194	5020
	GEV	1950	2888	3484	4036	4725
	Gumbel	1925	2851	3464	4052	4814
	Weibull	1925	2928	3534	4070	4707
Rain #61	Log-Normal	1677	2436	3001	3584	4399
	Log-Pearson III	1882	2772	3195	3498	3780
	GEV	1795	2604	3087	3516	4024
	Gumbel	1743	2535	3059	3561	4212
	Weibull	1792	2632	3109	3517	3988
Rain #65	Log-Normal	1723	2444	2955	3467	4160
	Log-Pearson III	1770	2599	3117	3588	4162
	GEV	1861	2602	3003	3334	3693
	Gumbel	1764	2496	2980	3445	4046
	Weibull	1871	2610	2996	3313	3665

附表 3-8

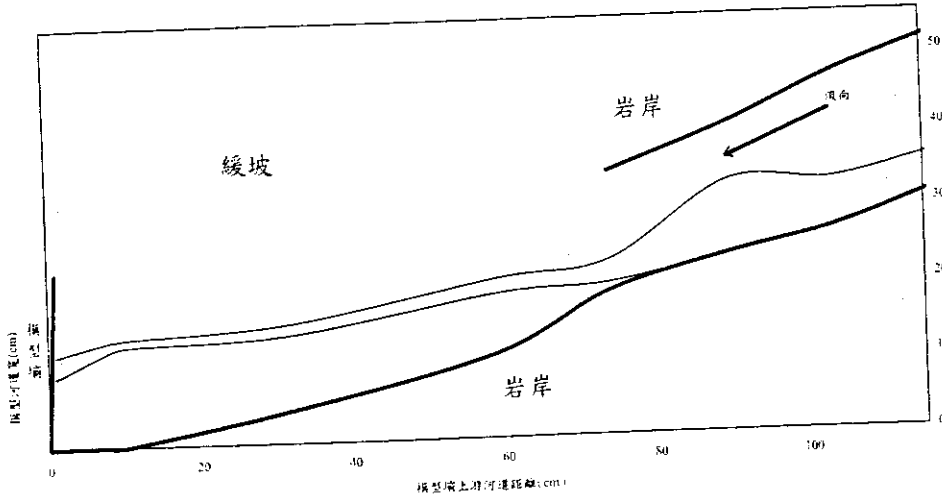


Goodness of fit

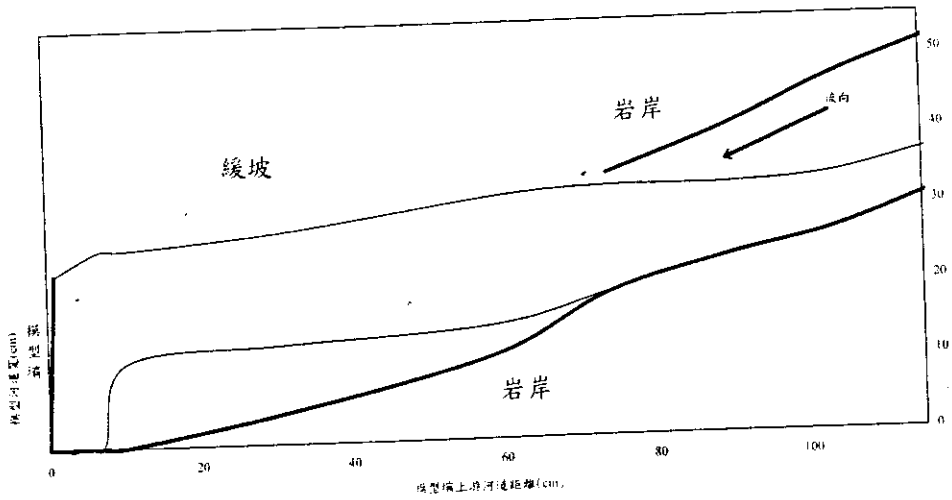
Station No.	Year		K2	K5	K10	K20	K50	>K50	Chi-Square	
Flow #34	29	Distribution	14.5	8.7	2.9	1.45	0.87	0.58	13.80	
		Log-Normal	13	9	0	5	2	0		
		Log-Pearsom III	22	0	5	1	1	0		14.84
		GEV	14	8	4	1	1	1		0.95
		Gumbel	13	9	3	2	2	0		2.43
		Weibull	14	8	5	1	1	0		2.33
Rain #2	46	Distribution	23	13.8	4.6	2.3	1.38	0.92	5.30	
		Log-Normal	25	9	6	3	3	0		
		Log-Pearsom III	25	10	5	3	3	0		4.29
		GEV	28	8	4	3	2	1		4.10
		Gumbel	28	7	5	3	3	0		7.51
		Weibull	28	8	4	3	2	1		4.10
Rain #40	35	Distribution	17.5	10.5	3.5	1.75	1.05	0.7	8.56	
		Log-Normal	17	7	5	5	1	0		
		Log-Pearsom III	24	2	6	3	0	0		13.72
		GEV	23	3	3	4	2	0		11.61
		Gumbel	17	8	4	5	1	0		7.42
		Weibull	23	3	3	4	2	0		11.61
Rain #59	27	Distribution	13.5	8.1	2.7	1.35	0.81	0.54	4.90	
		Log-Normal	13	6	5	1	2	0		
		Log-Pearsom III	13	8	3	2	1	0		0.95
		GEV	14	7	3	1	2	0		2.58
		Gumbel	13	7	4	1	2	0		3.17
		Weibull	14	8	2	1	2	0		2.58
Rain #60	29	Distribution	14.5	10.5	3.5	1.75	1.05	0.7	2.28	
		Log-Normal	14	8	3	3	1	0		
		Log-Pearsom III	14	9	4	1	0	1		1.80
		GEV	14	9	2	3	0	1		2.95
		Gumbel	14	9	2	3	0	1		2.95
		Weibull	14	9	2	1	2	1		2.18
Rain #61	29	Distribution	14.5	8.7	2.9	1.45	0.87	0.58	4.40	
		Log-Normal	16	5	4	3	1	0		
		Log-Pearsom III	17	7	2	1	1	1		1.51
		GEV	17	6	2	3	1	0		3.80
		Gumbel	17	4	4	3	1	0		5.64
		Weibull	17	6	2	3	0	1		4.38
Rain #65	26	Distribution	13	7.8	2.6	1.3	0.78	0.52	10.74	
		Log-Normal	9	9	7	0	1	0		
		Log-Pearsom III	9	13	3	0	1	0		6.64
		GEV	12	10	3	0	0	1		3.28
		Gumbel	9	12	4	0	1	0		6.13
		Weibull	12	10	3	0	0	1		3.28
Fitness Level			0.975	0.95	0.9	0.1				
Chi-Square			0.216	0.352	0.584	6.25				

附表 3-9

矩形缺口一次拆1cm深形成之深槽線

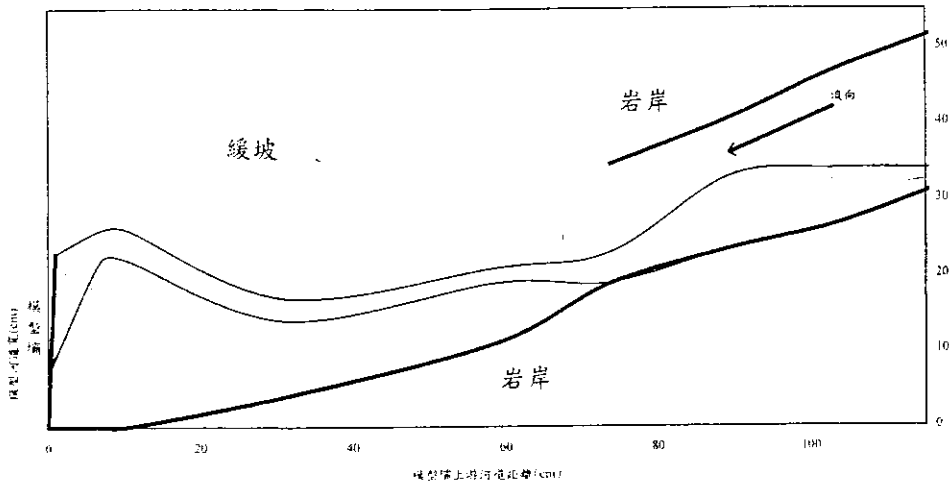


矩形缺口一次拆8cm深形成之深槽線

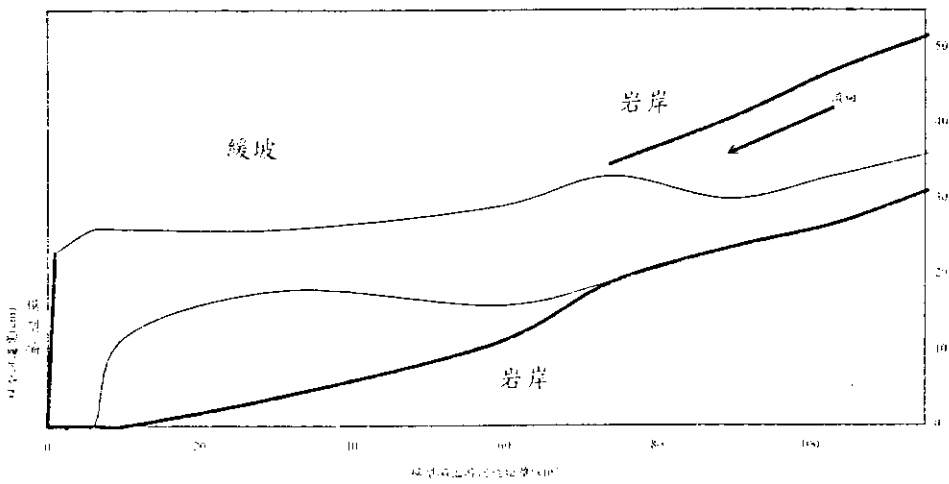


附圖 3-1 深槽形成圖

矩形缺口累計拆2cm深形成之深槽線

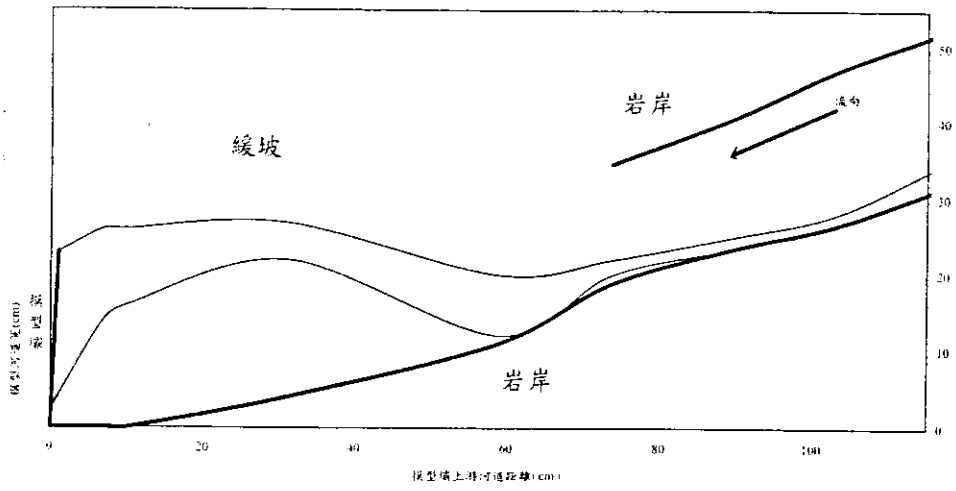


矩形缺口累計拆8cm深形成之深槽線

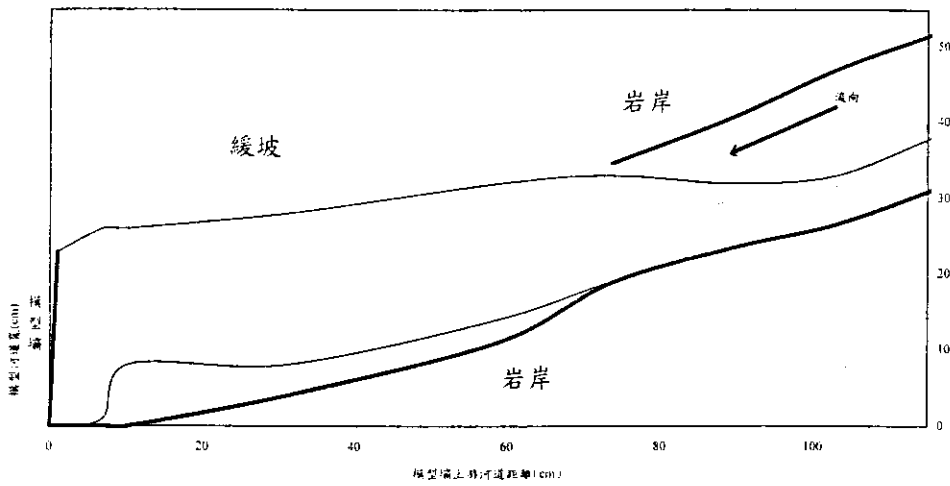


附圖 3-2 深槽形成圖

梯形缺口一次拆1cm深形成之深槽線

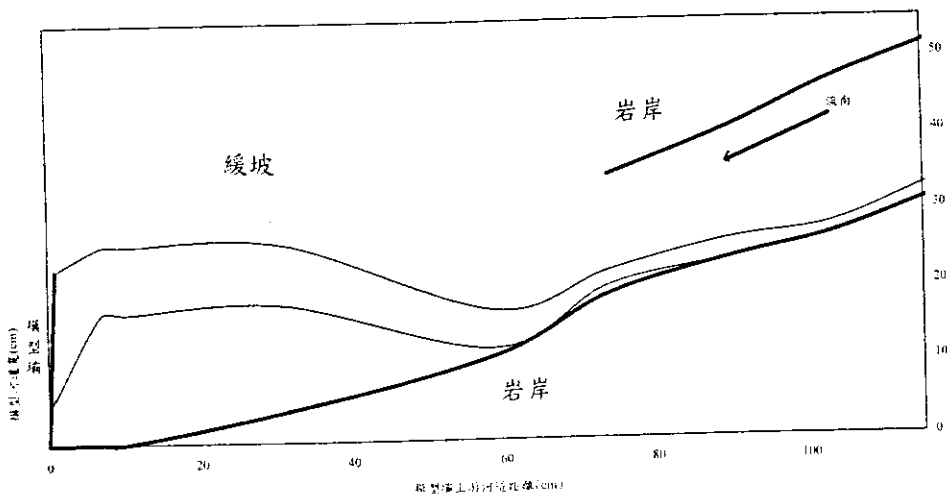


梯形缺口一次拆8cm深形成之深槽線

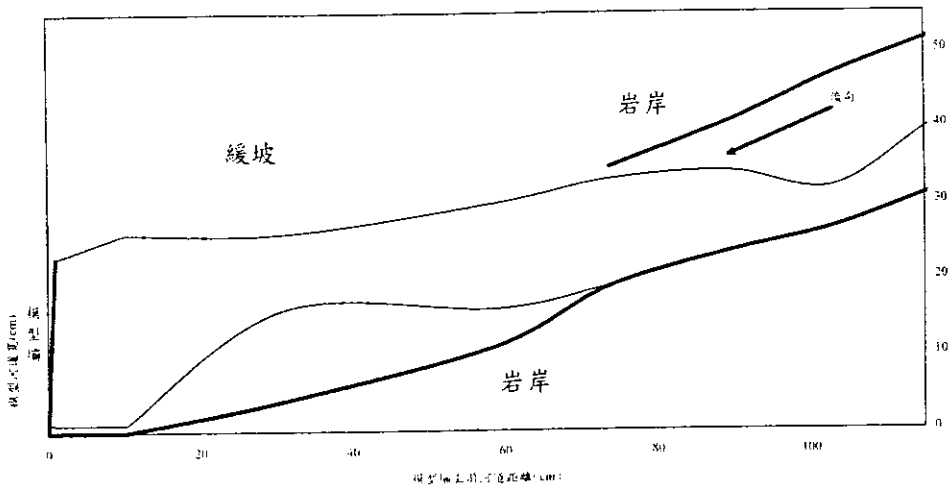


附圖 3-3 深槽形成圖

梯形缺口累計拆2cm深形成之深槽線

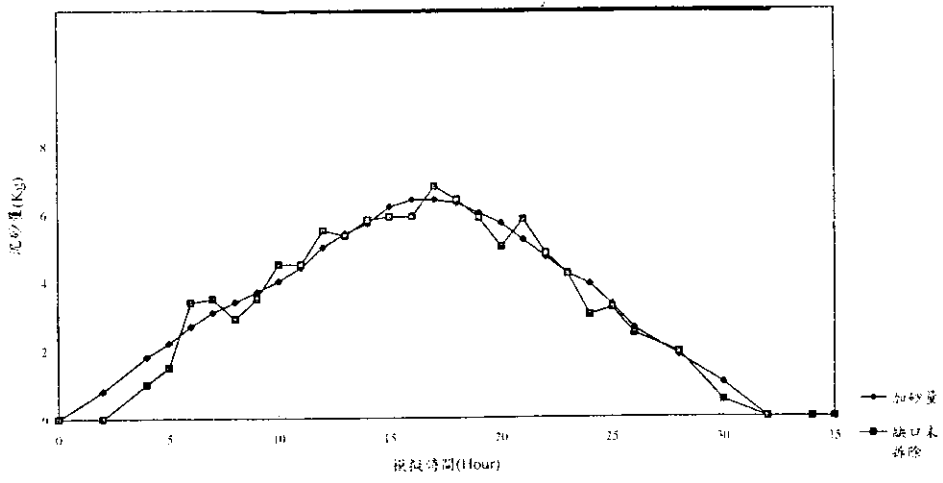


梯形缺口累計拆8cm深形成之深槽線

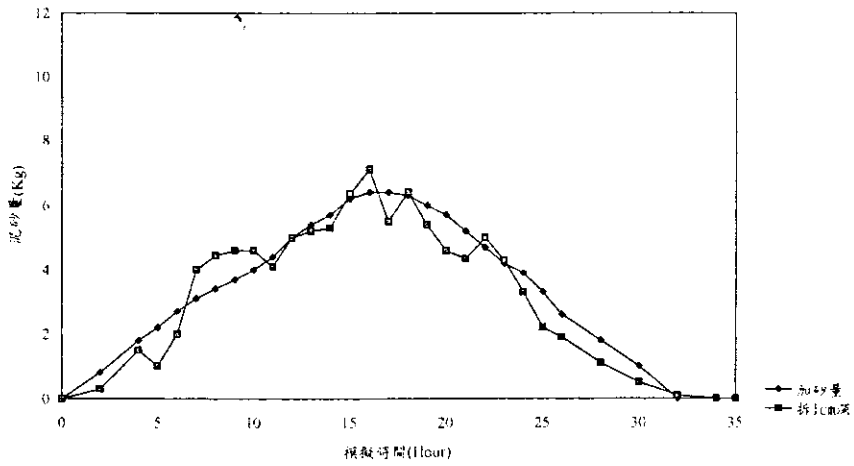


附圖 3-4 深槽形成圖

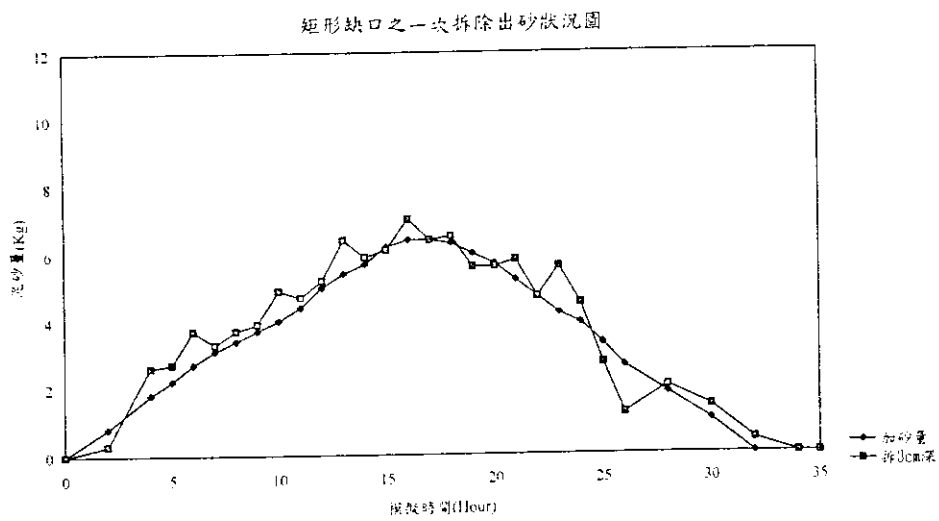
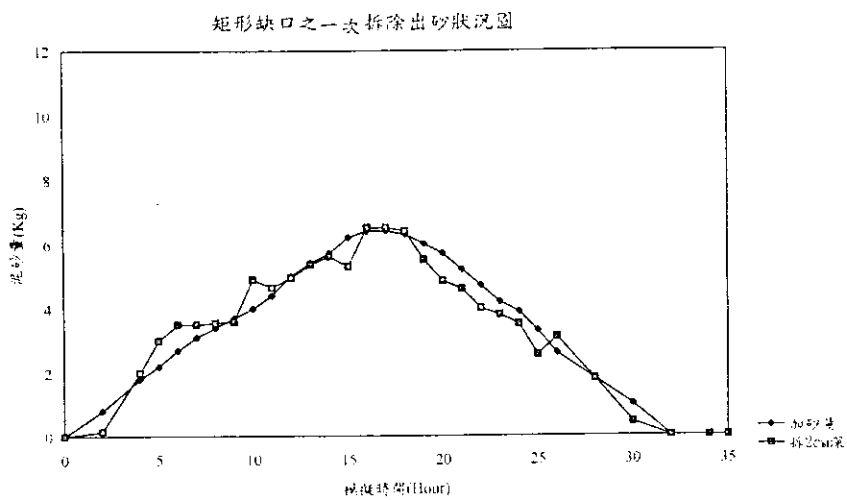
缺口未拆除



矩形缺口之一次拆除出砂狀況圖

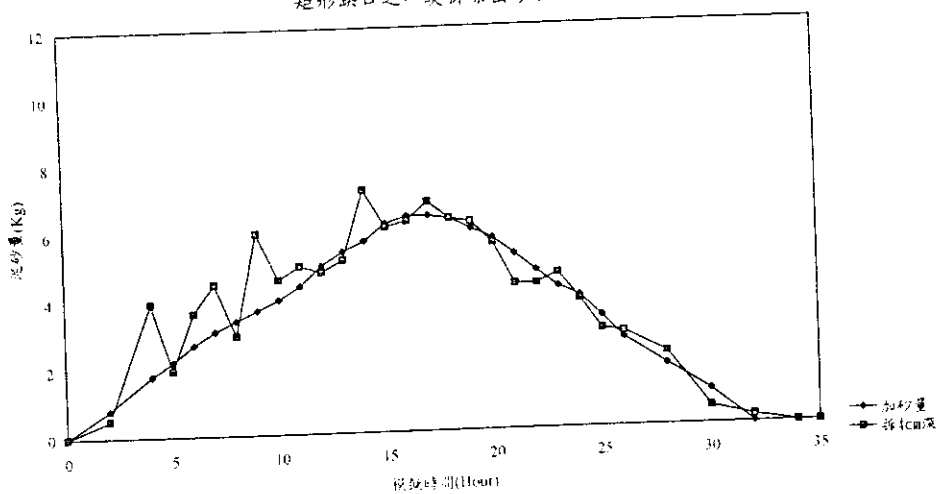


附圖 3-5 出砂歷線圖

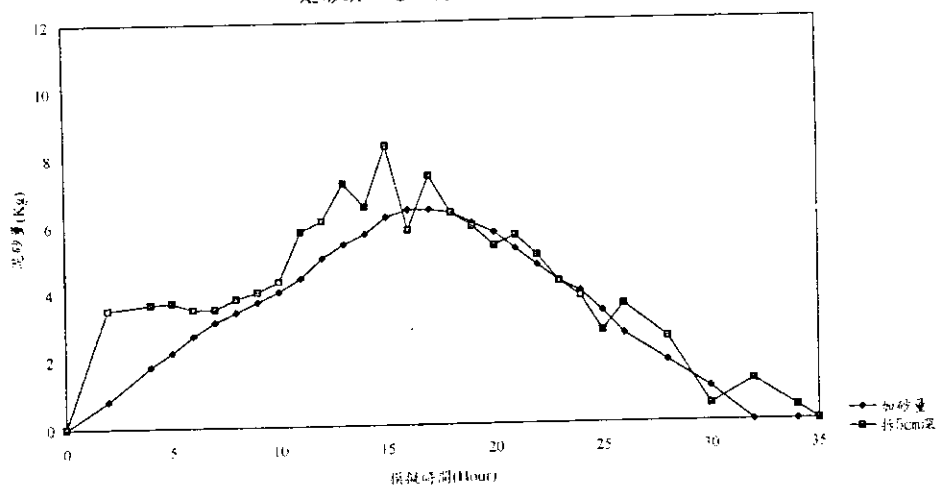


附圖 3-6 出砂歷線圖

矩形缺口之一次拆除出砂狀況圖



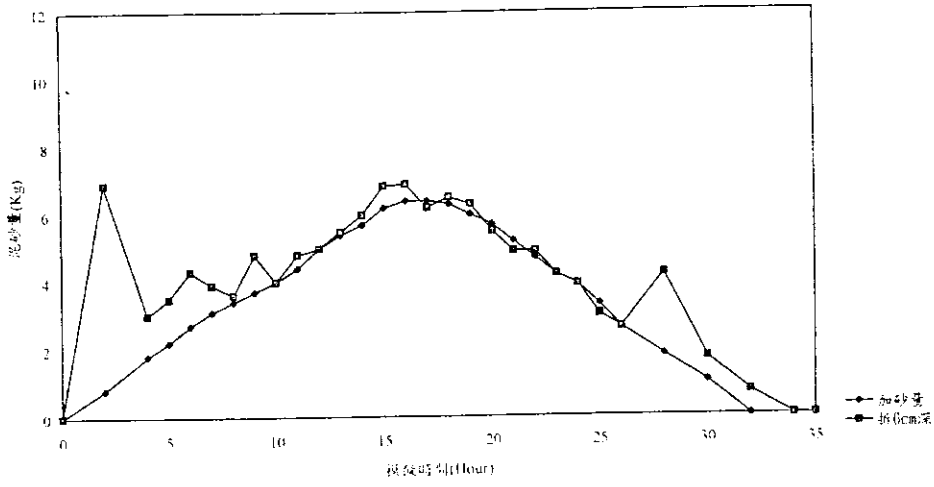
矩形缺口之一次拆除出砂狀況圖



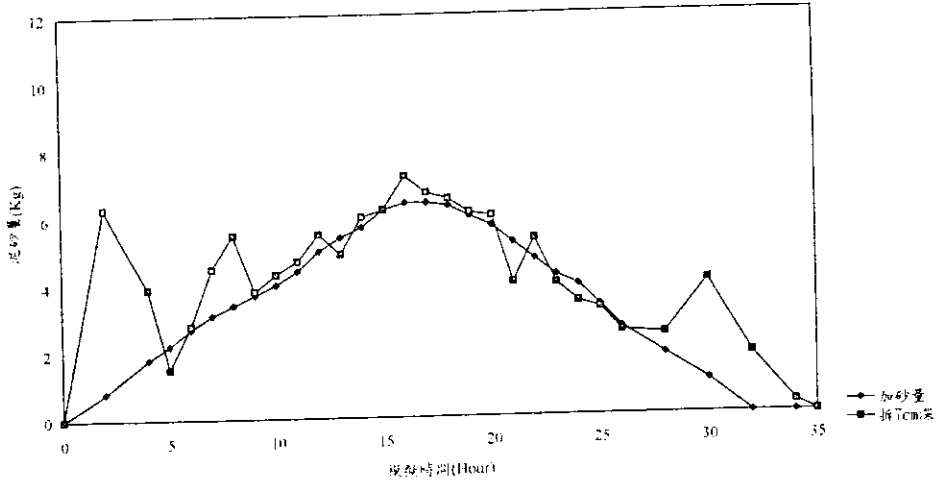
附圖 3-7 出砂歷線圖



矩形缺口之一次拆除出砂狀況圖

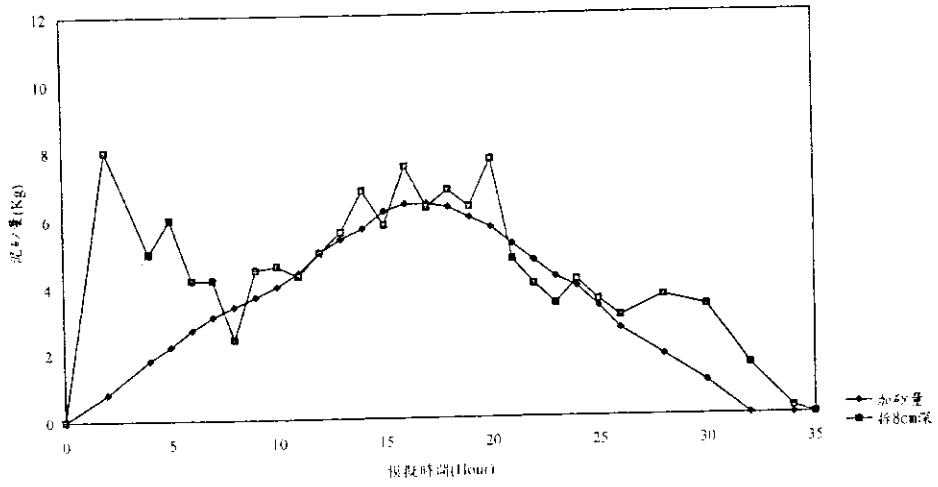


矩形缺口之一次拆除出砂狀況圖

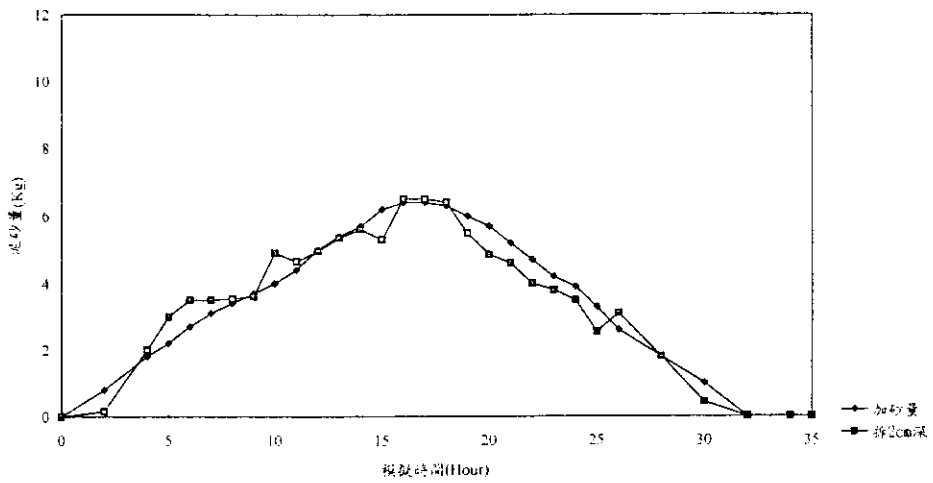


附圖 3-8 出砂歷線圖

矩形缺口之一次拆除出砂狀況圖

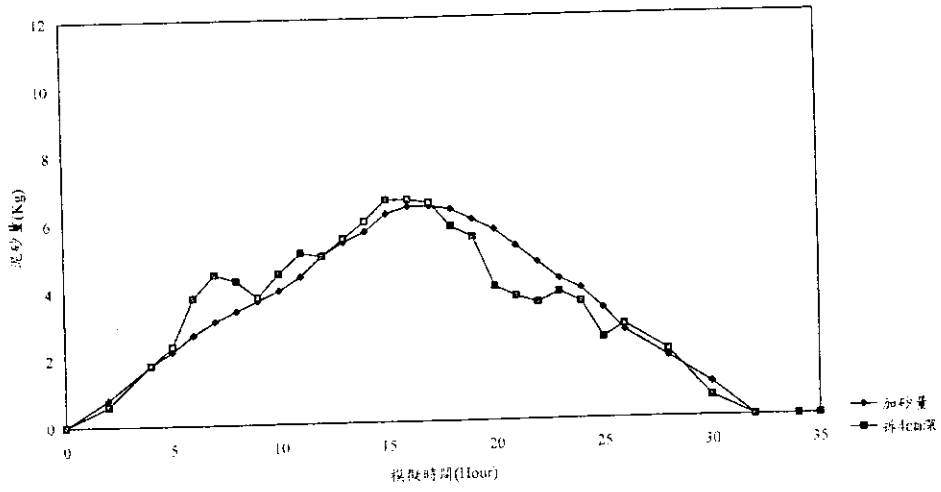


矩形缺口之多次拆除出砂狀況圖

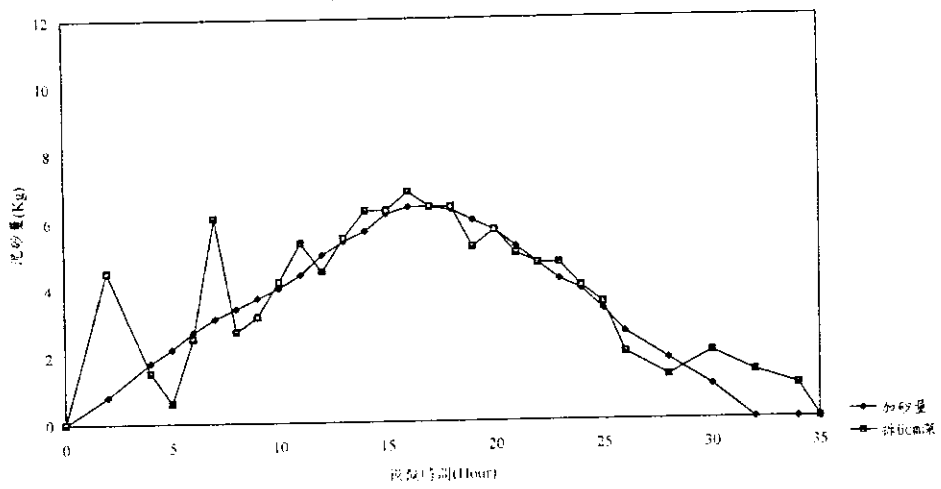


附圖 3-9 出砂歷線圖

矩形缺口之首次拆除出砂狀況圖

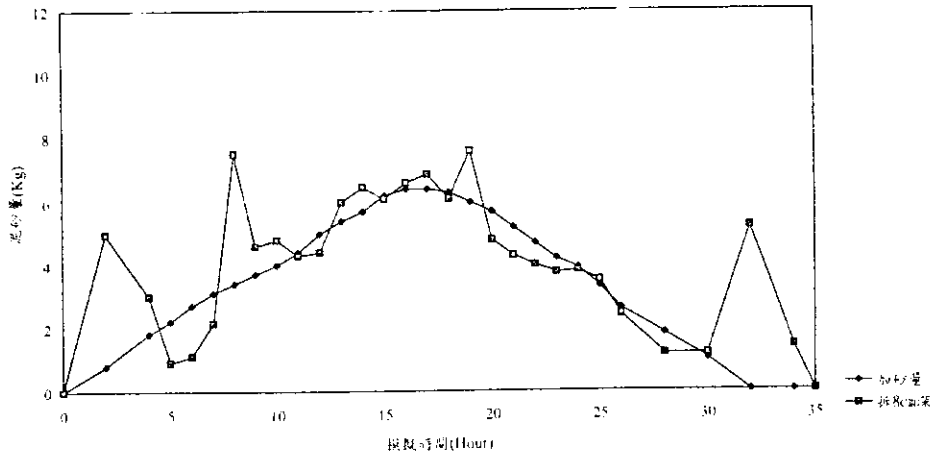


矩形缺口之再次拆除出砂狀況圖

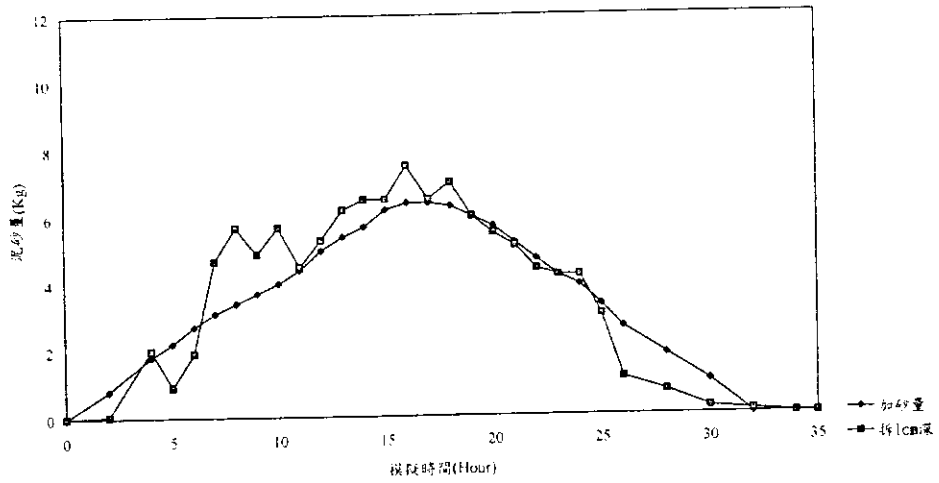


附圖 3-10 出砂歷線圖

矩形缺口之多次拆除出砂狀況圖

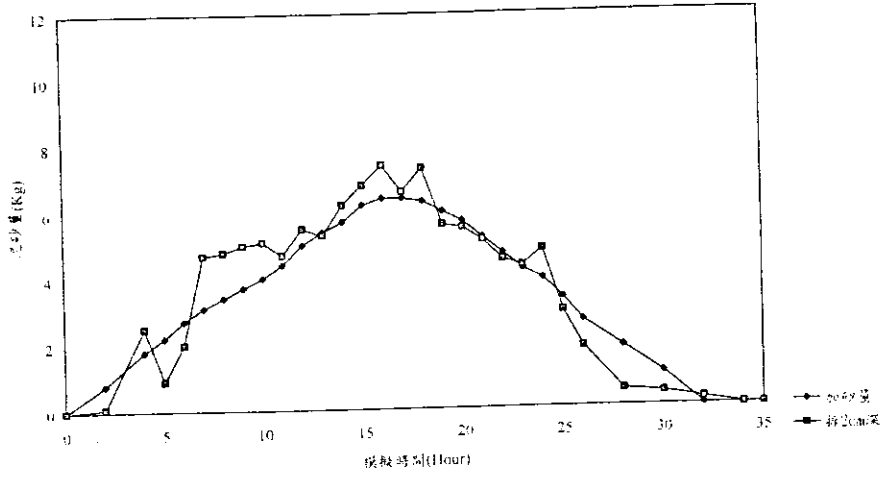


梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖

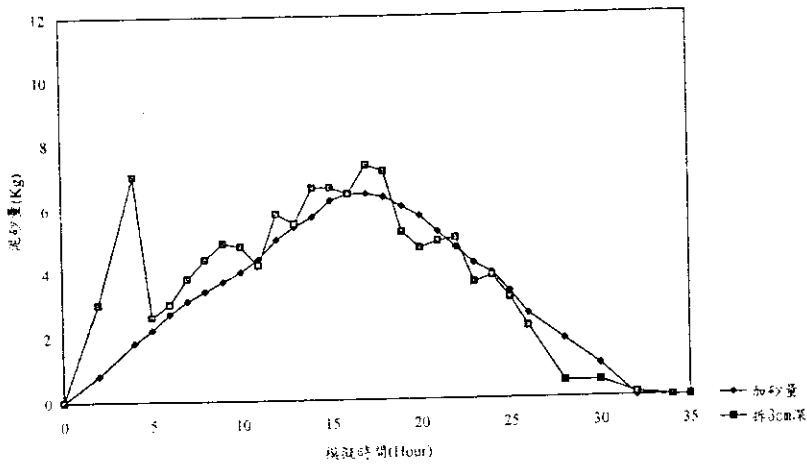


附圖 3-11 出砂歷線圖

梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖

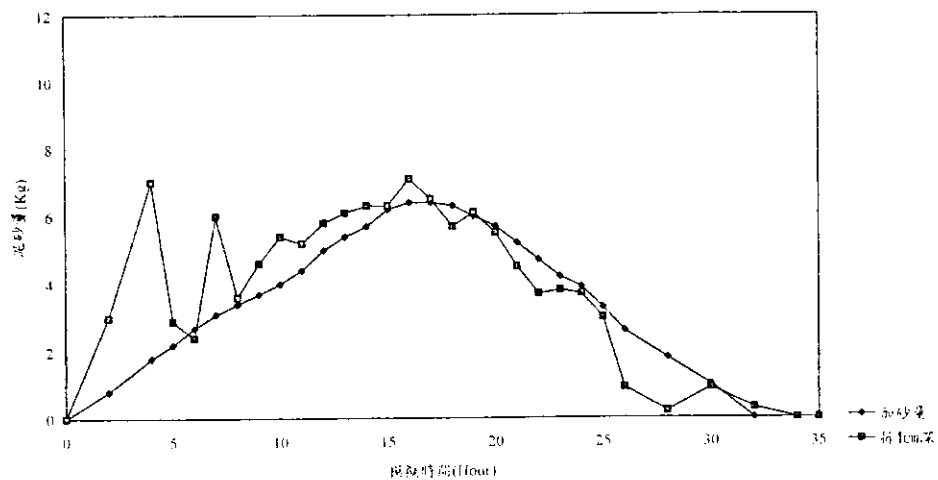


梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖

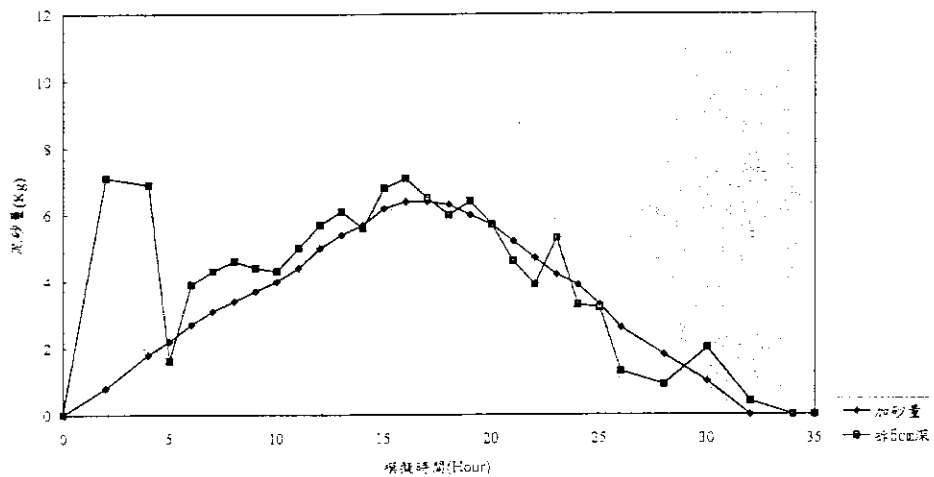


附圖 3-12 出砂歷線圖

梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖

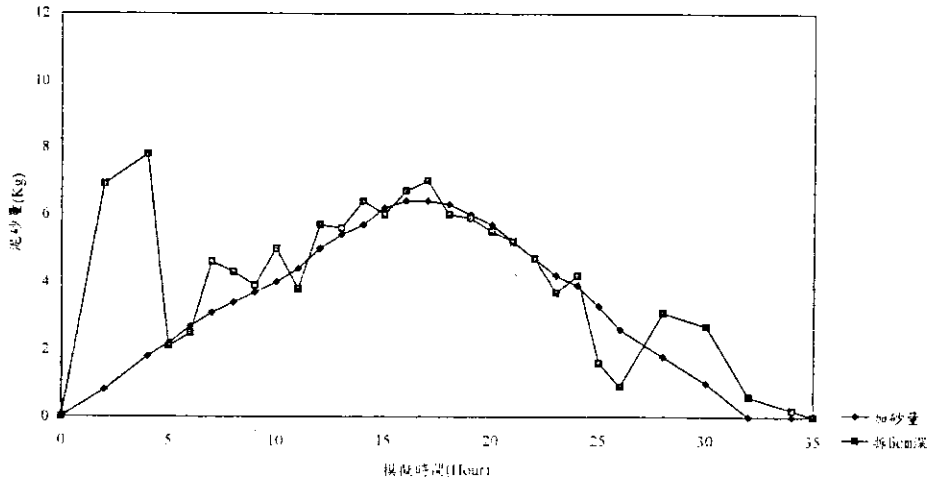


梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖

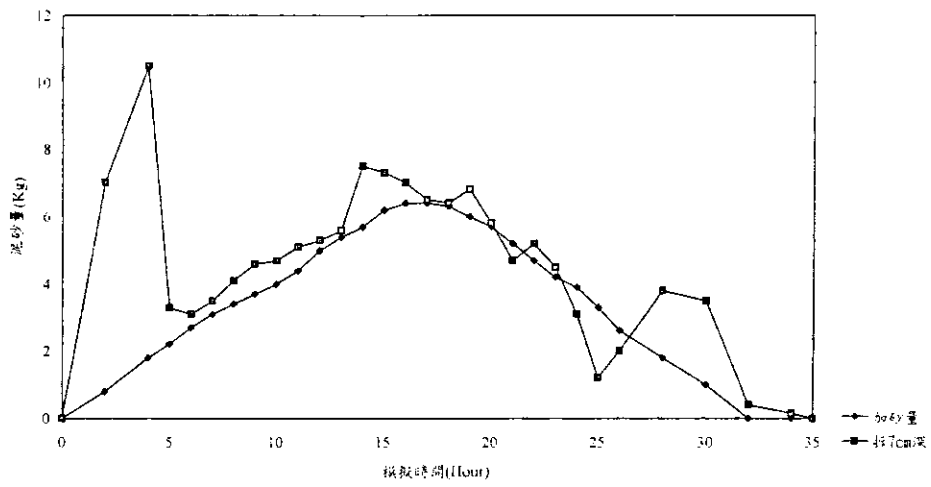


附圖 3-13 出砂歷線圖

梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖

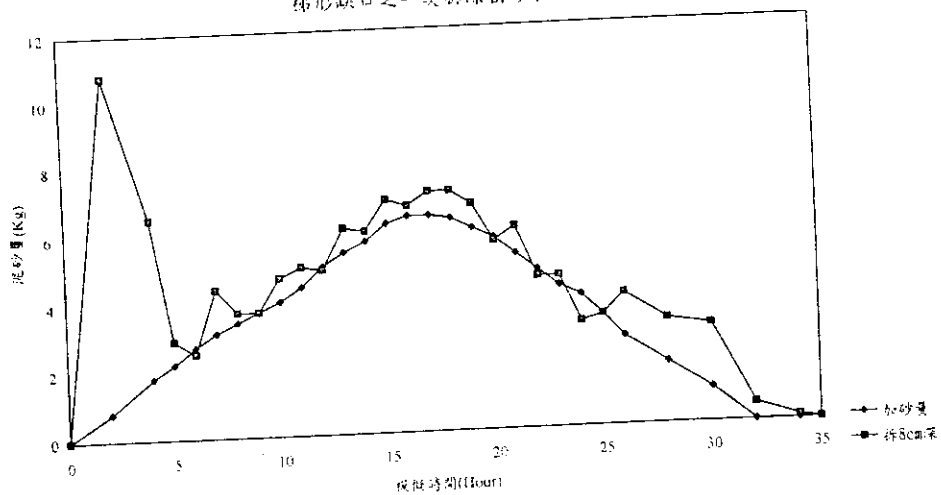


梯形缺口之立即拆除出砂狀況圖

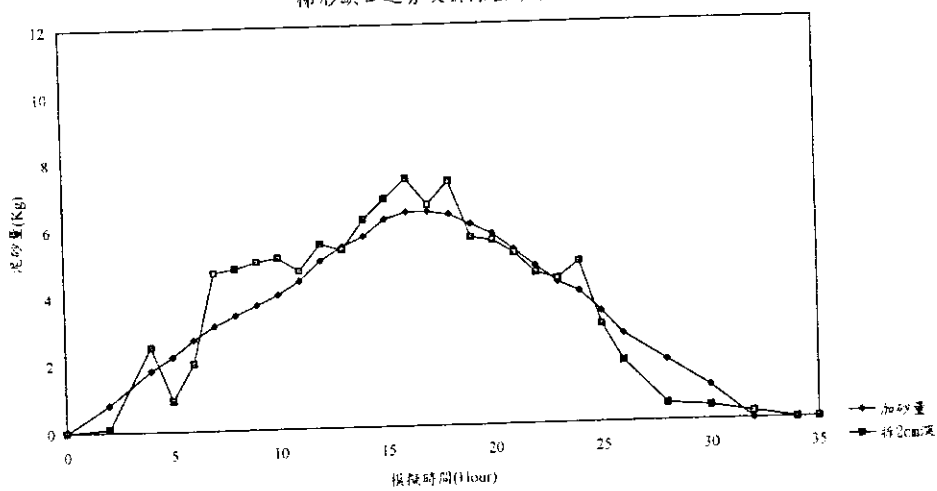


附圖 3-14 出砂歷線圖

梯形缺口之一次拆除出砂狀況圖



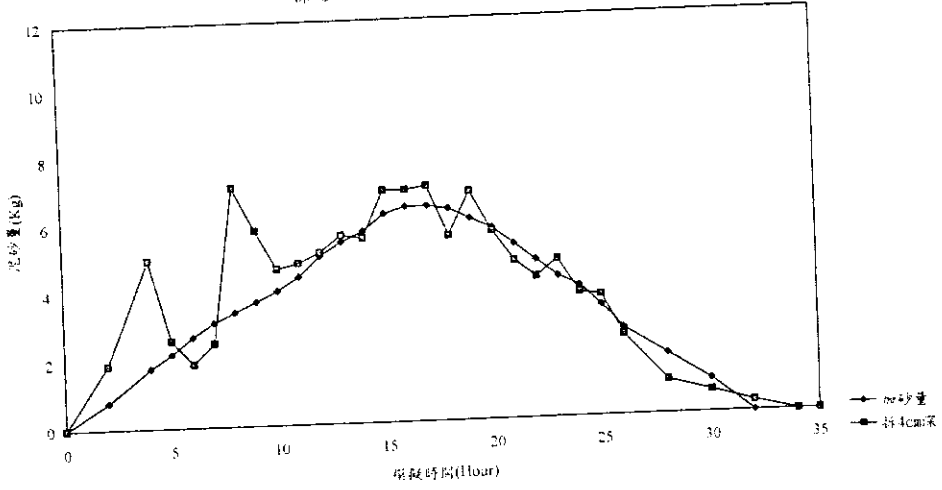
梯形缺口之分次拆除出砂狀況圖



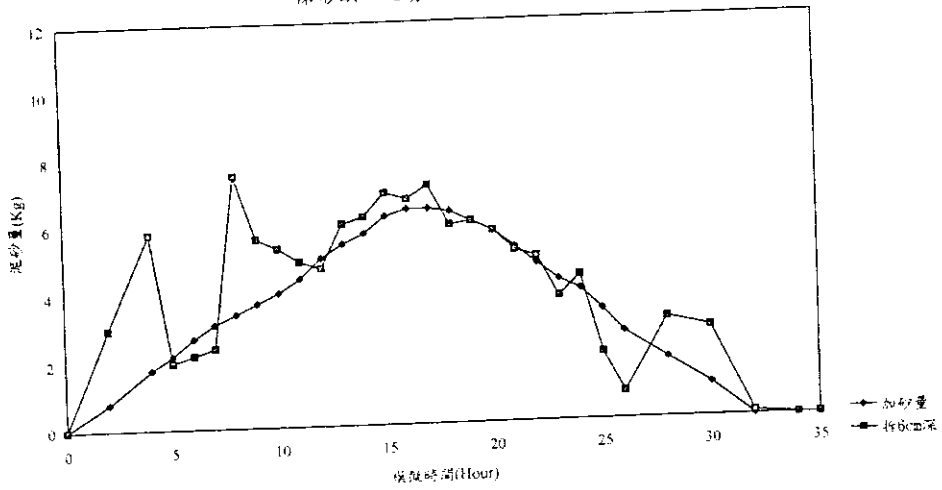
附圖 3-15 出砂歷線圖



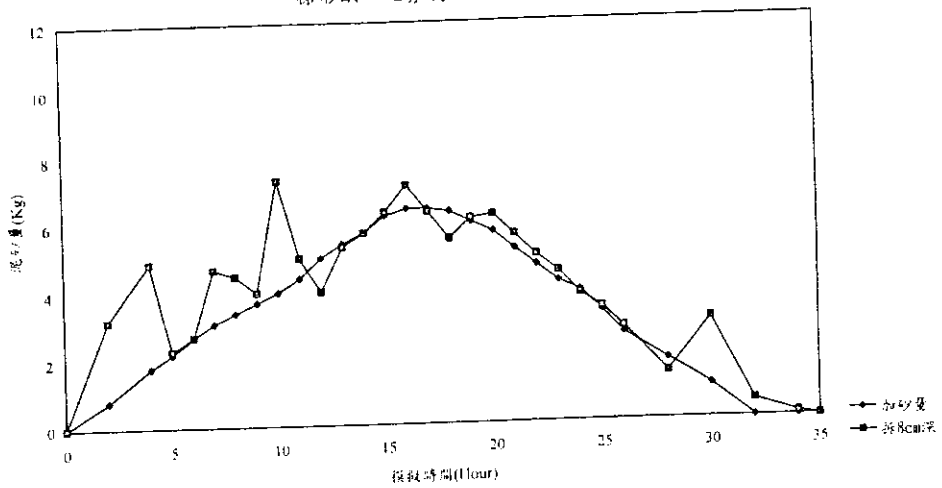
梯形缺口之分次拆除出砂狀況圖



梯形缺口之分次拆除出砂狀況圖



梯形缺口之分次拆除出砂狀況圖



附圖 3-16 出砂歷線圖