

國立臺灣大學生物環境系統工程學系

碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

豪雨期間魚塭排水特性之研究及其對區域排水系統之影

響評估

A study of the drainage property of fish ponds during heavy  
rainfall and its impacts on regional drainage systems



陳德豪

Tak-Hou Chan

指導教授：譚義績 博士、賴進松 博士

Advisor: Yih-Chi Tan, Ph.D. , Jihn-Sung Lai, Ph.D.

中華民國 99 年 6 月

June, 2010

## 謝誌

首先誠摯的感謝指導教授譚義績 博士及賴進松博士二年來悉心的教導，在生活、處事上與專業上，不曾因為學生資質駑鈍，而厭煩放棄，反而不斷的鼓勵並指派學長給予意見及協助，令學生得到莫大助益，學生很珍惜師生間亦師亦友的美好關係。本文研究的開始係原自於經濟部水利署水利規劃試驗所之沿海魚塭養殖區之排水觀測與排洪特性研究，有幸參與該計劃使學生獲益良多，又在論文審查期間，承蒙水利署水利規劃試驗所陳弘由所長、行政院農委會農田水利處林尉濤科長、國立臺灣大學生物環境系統工程系侯文祥教授及國立台灣大學生物環境系統工程所潘宗毅博士給予熱心的指導與斧正，並提供諸多寶貴意見，使得論文更加充實。

另外亦得感謝學長指導宗毅論文方向，向寬學長傳授的 SWMM 絕技，順忠、俊益、豐佐組成的星期二無敵 meeting 小組，分享各人的經驗及研究。論文期間感謝現地查調的伙伴，有效率的梁研究員、好人德慧學姐、強大的以容學姐、尚容、軒榮、永豐、佳真和元馨，生活上互相幫忙的同學，飯友連宗勛、十分幫忙的連以婷、極速考上公務員的廖雯雯。特別感謝防災中心二室的富有的阿香姐、全能的峯毅學長、缺女友的小馬學長及善心的麗俐姐，同時不忘感謝室友---地上最強僑生余軍洪，拼命的寫論文，給予我莫大的壓力及鞭策。謝謝各位！

最後，謹以此文獻給疼我愛我的家人及給我無限支持的女友。

陳德豪 2010.8 於台大水工所

## 中文摘要

臺灣位處於西太平洋颱風路徑影響範圍，經常遭受颱風及西南氣流所產生之豪大雨的威脅，若颱風豪雨期間遇上漲潮時段，容易形成海水倒灌造成更嚴重的災害。魚塭被認定為具有滯洪的特性，可是對於其較為詳細的研究資料卻不充足，本研究目的是調查及分析魚塭之排水特性，並利用颱風來臨前之時間，套用氣象局預測之降雨量、當地雨型及潮位，分析魚塭排水對排水系統之影響。在屏東，多為初始水深 1.5m 的魚塭(總高 3m)，水體體積大，不需考慮鹽度條件，只需考慮防止溢堤的狀況，嘉義實驗區養殖池初始水深平均約為 1m，堤頂高約 1.7m，可容忍之降雨水深約 0.2m，排洪時需考慮鹽度變化。調節排水時間達到最大滯洪效果，計算養殖池需預留的深度，在洪鋒來臨前預先排水，保留養殖池容量，增加滯洪效果。建議建立中央抽水系統，關閉防潮閘門，可降低潮汐影響，另外抽排用水取自同一水路，不能確保水質。實驗區建立中央海水供應系統供沿海魚塭利用，好處有二，第一，魚塭不需抽取排水路之漲潮水，防潮閘門可確實關閉，降低排水系統水位；第二，同一排水路不應用作取水和排水，容易交叉污染，若建立中央海水供應系統，取水可作水質處理及檢驗，可確保水質。

**關鍵詞：**淹水、排水、魚塭、排水系統

## Abstract

Taiwan is frequently hit by typhoons and the southwest air current. It generated heavy rain. If rain during the high tide period, easy to form water intrusion or caused serious disaster especially in low-lying coastal areas. Fish ponds were identified as having the characteristics of flood protection, but for the more detailed research data is not much. Using the local rainfall pattern and tide, analyze the impact of derivation of the pond drainage on the drainage system. In Pingtung, the initial depth of 1.5m over the fish ponds (total 3 meters high), a large volume of water, irrespective of salinity just consider the situation to prevent overflow, the Chiayi area ponds initial average depth is about 1 meter and the dam high about 1.7 meters. The capacity of depth is about 0.2 meters; drainage should be considered when the salinity change. According to the maximum flow time adjusting drainage time, calculate the depth of ponds to be reserved in advance before the arrival of the maximum flow, retention ponds capacity, and increase flood detention effect. Proposed establishment of a central pumping system, the benefits of two points, first, close the downstream floodgate can reduce the tidal effects. Second, the drainage water easy to cross-contamination, if the establishment of a central water supply system, water can be used for water treatment and testing, to ensure water quality.

***Keywords: inundation, disaster, fish pond, Drainage system***

# 目錄

謝誌.....	I
中文摘要.....	II
Abstract.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
第一章緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究方法.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 魚塭文獻回顧.....	4
2.2 SWMM 之文獻回顧.....	8
2.3 氣候變遷.....	9
2.4 General Watershed Loading Function(GWLF).....	9
第三章 現地調查資料及概述.....	11
3.1 選取實驗地點.....	11
3.2 實驗地點之養殖池結構.....	14
3.3 水產分佈及生存條件.....	16
3.4 漁民之養殖現況.....	19
3.5 養殖池之抽排原則.....	19
3.5-1 抽水原則.....	19

3.5-2 排水原則 .....	19
3.6 養殖池排水能力調查 .....	20
3.6-1 魚池抽排水馬達動力調查 .....	20
3.7 養殖池排水方向調查 .....	21
3.8 現地觀測資料 .....	21
3.8-1 水位調查結果 .....	21
3.8-2 漲退潮之水質變化 .....	22
3.9 小結 .....	27
<b>第四章 排水模式建立 .....</b>	<b>28</b>
4.1 研究範圍與限制 .....	28
4.2 研究流程 .....	28
4.3 模式理論 .....	29
4.4 實驗區之雨量及潮位 .....	37
4.5 排水道斷面 .....	38
4.6 養殖池之建立 .....	38
4.7 排水路測試率定 .....	41
<b>第五章 不同條件下排水路之比較與分析 .....</b>	<b>45</b>
5.1 閘門及潮位之影響 .....	46
5.2 起抽水水位之影響 .....	48
5.3 不同鹽度之影響 .....	50
5.4 溢流條件及鹽度條件之關係 .....	58
5.5 分析滯洪效果 .....	58
5.6 評估漁塭抽排策略 .....	59
5.7 氣候變遷對排水路之影響 .....	63
<b>第六章 結論與建議 .....</b>	<b>70</b>
6.1 結論 .....	70
6.2 建議 .....	71
參考文獻 .....	72

## 表目錄

表 2-1 塭港 1962 至 2001 年年平均潮位變化表.....	8
表 3-1 嘉義縣鹹水魚塭魚種及面積.....	14
表 3-2 實驗區各魚種之初始水深及堤高.....	15
表 3-3 實驗區各魚種之生存條件.....	18
表 3-4 98 年 10 月 25 日漲潮時段之水質變化數據.....	22
表 3-5 10 月 23 日各測點之表面流速.....	23
表 3-6 10 月 24 日各測點之表面流速.....	23
表 3-7 10 月 24 日各測點之水下平均流速、河道斷面與平均水深.....	24
表 4-1 不同重現期下之降雨量.....	37
表 5-1 各種魚池之結構及滯洪水深.....	45
表 5-2 不同稀釋量所需增加之養殖池水深.....	53
表 5-3 養殖池需預留之滯洪水深.....	62
表 5-4 各模式在不同情境下之流量變化.....	69



## 圖目錄

圖 1- 1 嘉義沿海地區一日重現期距 10 年降雨狀況淹水潛勢圖.....	2
圖 1- 2 研究流程圖.....	3
圖 2- 1 開放系統.....	4
圖 2- 2 魚塭設計圖.....	5
圖 2- 3 地下養殖池.....	5
圖 2- 4 養殖池堤岸示意圖.....	6
圖 2- 5 魚塭規格示意圖.....	7
圖 2- 6 塭港 1962 至 2001 年年平均潮位變化圖.....	7
圖 2- 7 GWLF 水平衡示意圖.....	9
圖 3- 1 實驗區地點示意圖 1 .....	11
圖 3- 2 實驗區地點示意圖 2 .....	12
圖 3- 3 各魚種養殖面積比例.....	13
圖 3- 4 其他水產養殖面積比例.....	13
圖 3- 5 嘉義縣鹹水養殖面積比例.....	13
圖 3- 6 魚塭之配電裝置.....	15
圖 3- 7 抽水機.....	15
圖 3- 8 增氧設備.....	16
圖 3- 9 投放飼料平台.....	16
圖 3- 10 自動溢流管.....	16
圖 3- 11 連通其他魚塭的暗管.....	16
圖 3- 12 白蝦分佈圖.....	17
圖 3- 13 烏魚分佈圖.....	17
圖 3- 14 虱目魚分佈圖.....	17
圖 3- 15 鰻魚分佈圖.....	17
圖 3- 16 鱸魚分佈圖.....	18
圖 3- 17 混養示意圖.....	18
圖 3- 18 各魚塭排水方向.....	21
圖 3- 19 新店大排與後鎮大排之水位差 .....	22
圖 3- 20 監測點位置.....	23
圖 3- 21 八月六日莫拉克颱風來臨前的北港子橋.....	24
圖 3- 22 八月八日颱風當天中午水淹到橋底.....	24
圖 3- 23 8 月 7 日上午 10 點北港子橋底 45cm .....	25
圖 3- 24 8 月 8 日上午左邊養殖池水比排水路水位低.....	25
圖 3- 25 8 月 7 日北港子橋上游方向.....	25
圖 3- 26 8 月 8 日 10 點水位高於魚塭.....	25



圖 3- 27	8 月 8 日 13:05 分淹至北港子橋路面.....	25
圖 3- 28	13:55 分北華橋水位急升.....	25
圖 3- 29	10 月 23 日北港子橋滿潮水位.....	26
圖 3- 30	八八水災破壞魚池堤岸.....	26
圖 3- 31	水災後漁民加高堤頂.....	26
圖 3- 32	水災破壞的魚池堤岸.....	26
圖 3- 33	試驗區排水路中露出排水管.....	26
圖 3- 34	北港子橋加高土堤.....	26
圖 3- 35	北港子橋下退潮水位.....	27
圖 3- 36	退潮時魚池排水.....	27
圖 3- 37	退潮水位.....	27
圖 3- 38	量測低潮水位.....	27
圖 4- 1	模式輸入及輸出資料圖.....	29
圖 4- 2	實驗區魚塭系統之示意圖.....	36
圖 4- 3	實驗區設計兩型.....	37
圖 4- 4	實驗區斷面點位置.....	38
圖 4- 5	各養殖池之面積(公頃).....	39
圖 4- 6	各養殖池之排水方向.....	39
圖 4- 7	串聯簡化 3 個養殖池之比較.....	40
圖 4- 8	串聯簡化 2 個養殖池之比較.....	40
圖 4- 9	實驗區及監測點位置(bk13).....	41
圖 4- 10	實驗區上游監測點(bk13)之水位歷線.....	41
圖 4- 11	比較當地淹水排水路及模擬之淹水清況.....	43
圖 4- 12	模擬 8 月 7 日到 8 月 9 日之水位歷線.....	43
圖 4- 13	模擬 8 月 8 日莫拉克颱風時之最高水位及堤頂高.....	44
圖 4- 14	建有護岸之水路.....	44
圖 4- 15	沒有護岸之水路.....	44
圖 5- 1	養殖池排水結構示意圖.....	46
圖 5- 2	魚塭排水系統示意圖.....	46
圖 5- 3	不同潮位設定對排水路水位之影響.....	47
圖 5- 4	閘門關閉時之最高水位.....	47
圖 5- 5	大潮加上 25 年重現期降雨.....	48
圖 5- 6	重現期 15 年雨量下之流量.....	49
圖 5- 7	重現期 15 年雨量下排水路水位.....	49
圖 5- 8	重現期 25 年雨量設定下之流量.....	50
圖 5- 9	重現期 25 年雨量下排水路水位.....	50
圖 5- 10	雨水對水體變化示意圖.....	52
圖 5- 11	不同稀釋量所需之降雨深度圖.....	53

圖 5- 12 在 15 年重現期雨量下養殖池不排水之鹽度變化圖.....	54
圖 5- 13 在 25 年重現期雨量下養殖池不排水之鹽度變化圖.....	54
圖 5- 14 在 15 年重現期雨量下鹽度下降至 20ppt 時補注海水.....	54
圖 5- 15 在 25 年重現期雨量下鹽度下降至 20ppt 時補注海水.....	54
圖 5- 16 在 15 年重現期雨量下初始水深 1m 提前海水補注之鹽度變化.....	55
圖 5- 17 在 25 年重現期雨量下初始水深 1m 提前海水補注之鹽度變化.....	55
圖 5- 18 在 15 年重現期雨量下初始水深 0.5m 提前海水補注之鹽度變化.....	55
圖 5- 19 在 25 年重現期雨量下初始水深 0.5m 提前海水補注之鹽度變化.....	55
圖 5- 20 重現期 15 年下不同鹽度條件下對排水路之流量影響(養殖廣鹽性魚種)	56
圖 5- 21 重現期 15 年下不同鹽度條件下對排水路水位之影響(養殖廣鹽性魚種).	56
圖 5- 22 重現期 15 年下不同鹽度條件下對排水路之流量影響(養殖高鹽性魚種).	56
圖 5- 23 重現期 15 年下不同鹽度條件下對排水路水位之影響(養殖高鹽性魚種).	56
圖 5- 24 重現期 15 年下不同鹽度條件下對排水路之流量影響(養殖貝類).....	56
圖 5- 25 重現期 15 年下不同鹽度條件下對排水路水位之影響(養殖貝類).....	56
圖 5- 26 重現期 25 年下不同鹽度條件下對排水路之流量影響(養殖廣鹽性魚種).	57
圖 5- 27 重現期 25 年下不同鹽度條件下對排水路水位之影響(養殖廣鹽性魚種).	57
圖 5- 28 重現期 25 年下不同鹽度條件下對排水路之流量影響(養殖高鹽性魚種).	57
圖 5- 29 重現期 25 年下不同鹽度條件下對排水路水位之影響(養殖高鹽性魚種).	57
圖 5- 30 重現期 25 年下不同鹽度條件下對排水路之流量影響(養殖貝類).....	57
圖 5- 31 重現期 25 年下不同鹽度條件下對排水路水位之影響(養殖貝類).....	57
圖 5- 32 排水道流量圖.....	59
圖 5- 33 排水路之最高水位.....	59
圖 5- 34 實驗區排水路較低點.....	60
圖 5- 35 比較養殖池排水對洪峰流量之影響.....	60
圖 5- 36 排水路最高水位.....	61
圖 5- 37 調整排水時間前後之流量圖.....	62
圖 5- 38 排水路最高水位.....	63
圖 5- 39 各種情境之不同溫室氣體排放情境 (摘自 IPCC, 2007, Figure3.1) ...	63
圖 5- 40 實驗區集水區內流量站選定.....	64
圖 5- 41 模擬值和厚生橋流量之線性回歸.....	64
圖 5- 42 MRI-CGCM2.3.2 預測未來雨量.....	65
圖 5- 43 NIES-MIROC3_2-MED 預測未來雨量.....	65
圖 5- 44 CSIRO-MK3 預測未來雨量及溫度.....	66
圖 5- 45 氣候變遷下之 15 年重現期降雨.....	67
圖 5- 46 雨量增加 49%下之排水路水位 .....	67
圖 5- 47 各模式在不同情境下之流量.....	68

# 第一章緒論

## 1.1 研究背景與動機

臺灣位處於西太平洋颱風路徑影響範圍，經常遭受颱風及西南氣流所產生之豪大雨的威脅，降雨逕流迅速集流到下游，常造成下游嚴重的水患，特別是沿海低窪地區，因坡度平緩，排水不良，若颱風豪雨期間遇上漲潮時段，容易形成海水倒灌造成更嚴重的災害。由於臺灣地狹人稠，使土地利用朝向高產值方向發展，西南部沿海之水產養殖業也不例外，魚塭趨向養殖高產值魚種，養殖業成為當地重要的經濟支柱，但每當淹水後，經濟損失亦大大增加。

近年來，政府開始推動「國土保育計畫」及「促進養殖漁業與環境和諧計畫」，分別利用工程手段改善魚塭之排水設備及海水供應系統，幫助各種海產養殖，但隨著全球氣候變遷，海水位持續上升，極端水文事件頻頻出現，除了改善排水系統外，對於魚塭排水特性的掌握也有其必要性。有鑒於此，本研究調查及分析魚塭之排水特性，並利用颱風來臨前之時間，套用氣象局預測之降雨量、當地雨型及潮位，演算出魚塭排水對排水系統之影響，調節排水時間達到最大滯洪效果，以供未來魚塭水利規劃之參考。

## 1.2 研究目的

本研究選定之實驗區位於嘉義沿海地區，此區為水利署定義之「嚴重地層下陷區」，如圖 1-1，其原因很多，第一，過去養殖業超抽地下水，造成地層下陷；第二，近年來，氣候變遷造成海水位上升，每當颱風豪雨來臨時，往往會造成淹水；第三，該區河段屬於感潮河段受潮汐影響；第四，當漁民需抽用漲潮半鹹水，作為養殖用途時，導致下游防潮閘門效用下降。雖然魚塭被認定為具有滯洪的特

性，可是對於其較為詳細的研究資料卻不充足，本研究目的是調查養殖式魚塭，了解魚塭之基本特性排水系統的影響及利用調查資料建立模式，評估魚塭之滯洪效率並提出建議。

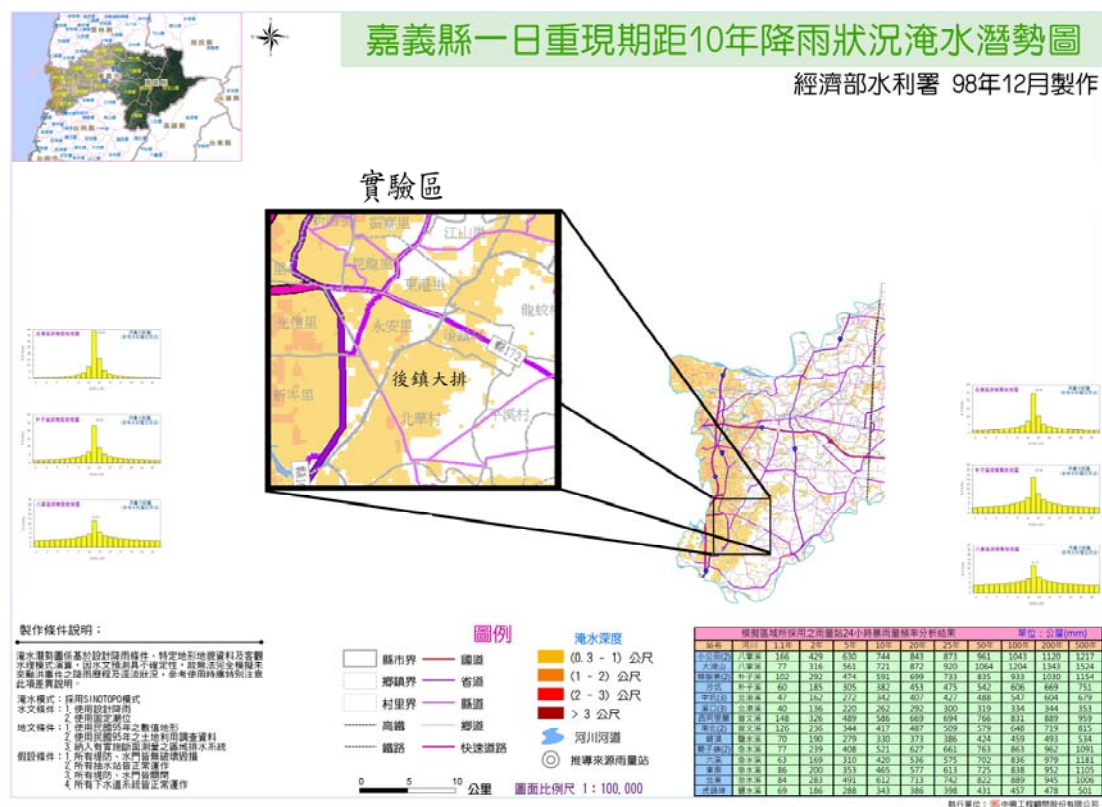


圖 1-1 嘉義沿海地區一日重現期距 10 年降雨狀況淹水潛勢圖

## 1.3 研究方法

本研究藉由文獻回顧及現地調查，了解該地區降雨特性變化，魚種之生存條件及養殖池的結構進而分析魚塭排水能力。藉由先前資料建立排水模式，比較人為抽水操作上對於排水系統的影響，再來是了解在不同潮汐及雨量條件下排水系統之差異變化，進而探討有極端氣候環境下現行排水系統之最大承受量，最後對於魚塭排水之操作改善做出建議。

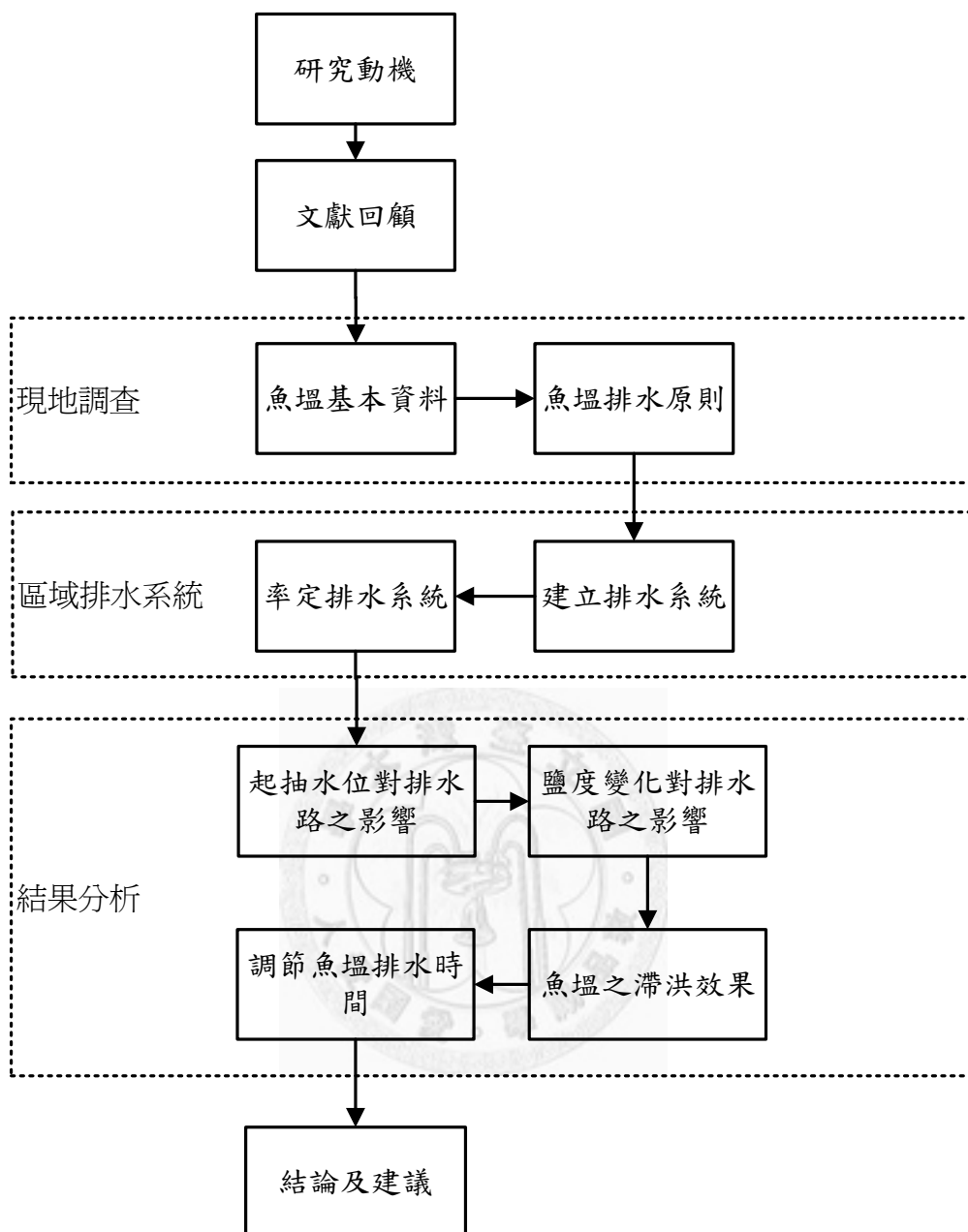


圖 1-2 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 魚塭文獻回顧

養殖池型態分三種，Wheaton et al.(1985)將沿岸養殖池型式區分為開放系統、半密閉系統及密閉系統。開放系統是直接開放在水體中放養，如圖 2- 1。半密閉系統(semiclosed systems)以自然水體作養殖用水，水體不重複利用。密閉系統(closed systems)池中水體永不更換或經過循環利用一段長時間後才作更換。

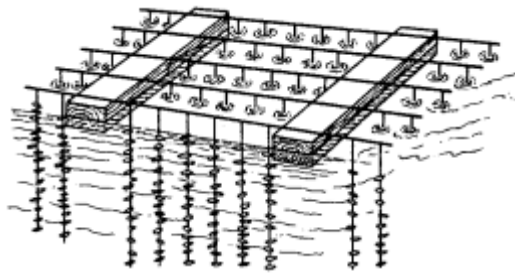


圖 2- 1 開放系統

本研究實驗區內之魚塭屬於半密閉系統魚塭之水源來自漲潮水或地下水。半密閉魚塭管理效果較開放式系統還要好，因為開放式系統過於複雜，難以經由管理達到最大生產量；半密閉系統收穫也較快速及經濟；但實驗區之養殖池十分密集，而抽排水又都在同一排水路，特別容易造成交叉感染。密閉系統的缺點是設施成本過高和良好的操作管理；優點是不會對於排水路造成負擔。

在魚塭結構方面，Kipkemboi et al.(2007) 在非洲肯尼亞利用 STELLA 模試計算養殖池之水平衡，是靠依降雨為養殖用水佔總進水的 90%，出水損失為入滲和蒸發佔 30-70%總損失，其設計為 24mx8m 如圖 2- 2，兩邊深分別為 1m 和 2m，水深 1.5m，只能在豐水期內養殖，當地豐水期約 6 個月。

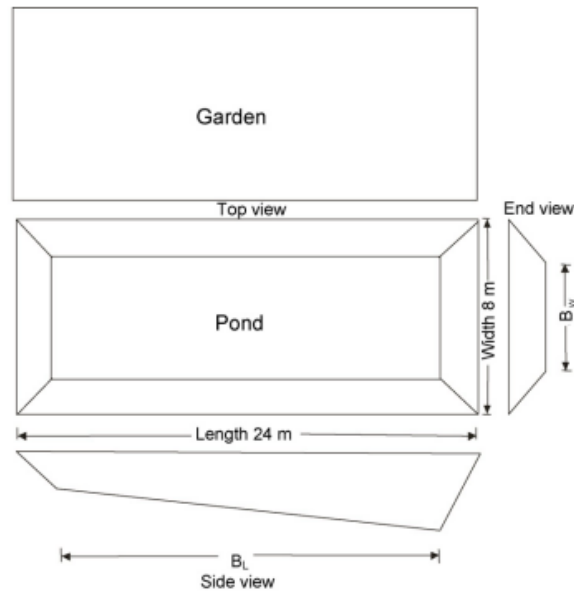


圖 2-2 魚塭設計圖

Hu(1986) 有提及到澎湖地區地下養殖池的結構，10m 長 x5m 寬 x2m 深，漲潮時海水會覆蓋養殖池，為水產帶來養份，並達到換水效果。為了防止漁貨逃逸，會有池面蓋上尼龍網，如圖 2-3。

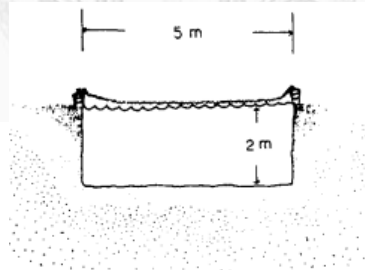


圖 2-3 地下養殖池

根據不同地區及魚種養殖水深高度也不一。曾(2006) 提及養殖池不能有水根性的植物，水深高度必須 1m 以上。因此，本研究實驗區水深高度平均約 1m 符合其描述，嘉義當地蒸發量高，漁民不一定會將所有魚塭用作養殖，一般會將保留一個養殖池作儲水用途，除了保持水質同時確保其他養殖池能維持 1m 之水深。

根據土提材質魚塭土堤可有不同坡度，多數土堤坡度為 2：1 or 3：1。岩石材質可使用坡度比 2：1。不穩定土堤坡度大於 3：1。池底向排水口傾斜，坡度至少 1000：1，1000：3-1000：6 更佳。池塘排水口附近需挖深 45-60cm，面積為池塘之 1-10%，方便收集魚獲。

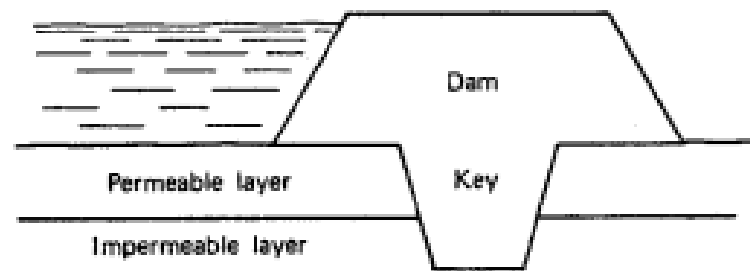


圖 2-4 養殖池堤岸示意圖

侯(2005)在「利用微細氣泡機增氧對養鰻池節約地下水使用之效益研究」計畫成果報告中指出：「彰雲地區以流水式養殖法，鰻魚池在夏季的日間換水率可從 4~30%不等。」

內政部土地重劃工程局「農地重劃區農路、水路建造物規格手冊」(2004)提到養殖區因養殖魚類在養殖池溢流將逃逸，不容許溢流，故日暴雨之重現期距自平地混作區之 10 年 1 次提昇至 15 年 1 次，所以本研究多以 15 年重現期降雨量模擬。根據規格手冊，養殖池設計之貯留雨水深度約 10cm，一般養殖池水面到池頂出水高度有 50cm 左右，貯留雨水深度 10cm，約佔全部水深之 1/10 以下，對養殖池之水質影響尚在可容忍範圍內，如圖 1- 1，故養殖池貯留 10 cm 雨水不致於影響池堤安全也不影響水質，超過 10cm 之降雨量，均視為排出水，納入排水路設計容量。在實驗區當地養殖池水面離池頂約 70cm，而漁民排水原則是離堤頂 50cm，故若不考慮水質影響，容許貯留在養殖池之雨量約 20cm。



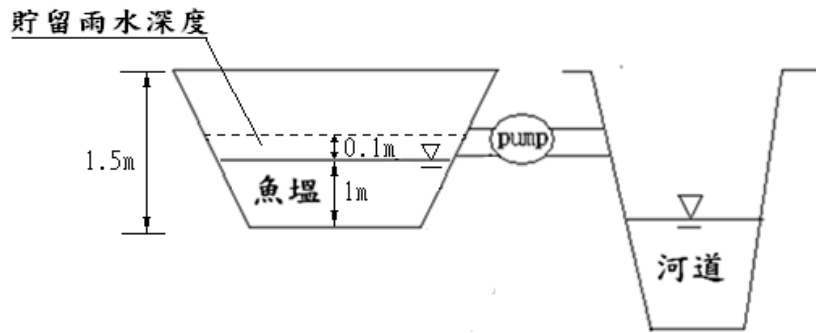


圖 2-5 魚塢規格示意圖

依據水利署塭港檢潮站 1962 至 2001 年統計資料，大潮平均高潮位約 1.42m，平均高潮位約 1.12m；小潮平均高潮位約 0.8m。排水路最低堤頂高程 1.25m，豐水期平均高潮水位達溢堤水位，若遇上降雨容易溢堤。

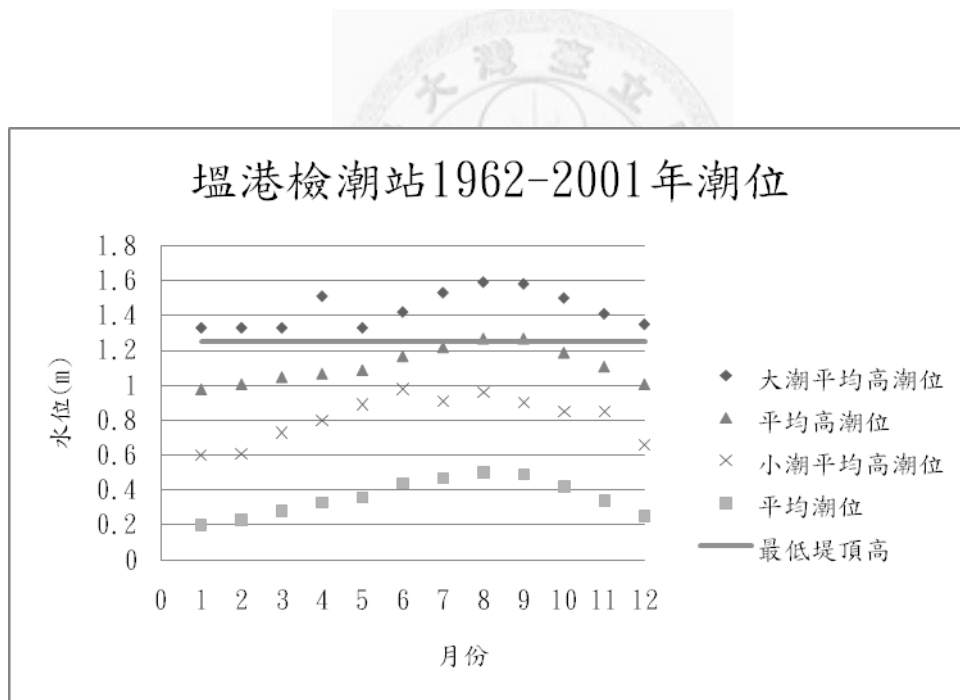


圖 2-6 塭港 1962 至 2001 年年平均潮位變化圖

表 2-1 塭港 1962 至 2001 年年平均潮位變化表

月份	最高潮位	大潮平均高潮位	平均高潮位	小潮平均高潮位	平均潮位	小潮平均低潮位	平均底潮位	大潮平均低潮位	最低潮位
1	1.75	1.33	0.98	0.6	0.2	-0.16	-0.57	-1.07	-1.38
2	1.75	1.33	1.01	0.61	0.23	-0.07	-0.54	-1.02	-1.82
3	1.7	1.33	1.05	0.73	0.28	0.03	-0.5	-0.91	-1.26
4	1.7	1.51	1.07	0.8	0.33	0.05	-0.45	-0.9	-1.4
5	1.89	1.33	1.09	0.89	0.36	0.07	-0.41	-0.64	-1.45
6	1.85	1.42	1.17	0.98	0.44	0.1	-0.29	-0.82	-1.45
7	2	1.53	1.22	0.91	0.47	0.15	-0.29	-0.78	-1.91
8	2.05	1.59	1.27	0.96	0.5	0.19	-0.28	-0.68	-1.12
9	2	1.58	1.27	0.9	0.49	0.2	-0.29	-0.66	-1.1
10	2	1.5	1.19	0.85	0.42	0.1	-0.36	-0.75	-1.15
11	1.8	1.41	1.11	0.85	0.34	0.04	-0.43	-0.94	-1.34
12	2	1.35	1.01	0.66	0.25	0.14	-0.53	-1.04	-1.36
歷年年平均	2.05	1.42	1.12	0.8	0.36	0.05	-0.41	-0.87	-1.91

單位:m

## 2.2 SWMM 之文獻回顧

Storm Water Management Model (SWMM)是美國環保署(EPA U.S.) 在 1969 到 1971 發展之模式，Tsihrintzis et al.(2007) 曾利用 SWMM 建立沿岸養殖池操作管理，其中水文條件及因子包含了流況、水質、水路分佈及水量，再模擬沿海養殖池之水流分佈與水位變化量，連續監測多種環境參數，用以了解養殖池在不同季節及不同潮位下之水文條件與水質濃度變化。本研究利用 SWMM 模擬一日降雨事件，並非長期監測。因此，水質方面只考慮降雨對養殖池鹽度之變化。模式分為二個輸入檔案，地表逕流(Runoff) 及幹線輸水(Extran)，Runoff 主要輸入有關逕流的資料，例如集水區面積、雨量及雨形，可模擬降雨逕流歷線，Extran 輸入檔主要是排水路之建立，可輸入大部份參數，例如：河道斷面、潮位變化、魚塭資

料、抽水機參數等，模式以一維連續方程式與動力波理論。本研究應用 SWMM 對後鎮大排進行分析檢討，相關理論及模式參數設定將在第四章說明。

## 2.3 氣候變遷

自工業革命以來，因為人類活動，大量增加溫室氣體之排放，因而加強大氣溫室效應。CO<sub>2</sub> 濃度約從工業革命前之 280ppm 增加至目前之 360ppm。加強溫室效應可能造成全球氣候變遷，且因此改變各區域溫度及降雨。氣候改變最直接之影響包括水文、水資源、農業生產與農業需水量、及生態系統等。童（1999）分析台灣四個集水區，其受氣候變遷之影響為豐枯水期極端化。豐水期流量加強將導致防洪更嚴重之挑戰，枯水期流量減少將增加供水管理之困難。

## 2.4 General Watershed Loading Function(GWLF)

GWLF（Haith，1992）模式之河川模組模擬河川流量，模式將地下含水層分為三層，靠近地表上兩層為非受壓含水層（Unconfined Aquifer），其中包含未飽和層（Unsaturated Zone）與飽和層（Shallow Saturated Zone），第三層為受壓含水層（Confined Aquifer）。模式中所有參數的計算皆以日為計算時距，計算單位為 cm。未飽和層與飽和層水平平衡模式如下：

$$U_{t+1} = U_t + P_t - Q_t - ET_t - PC_t$$

$$S_{t+1} = S_t + PC_t - D_t - G_t$$

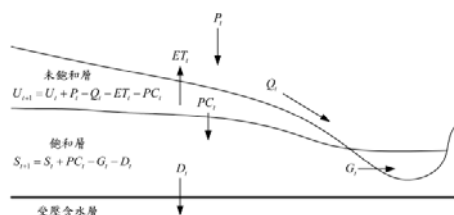


圖 2- 7 GWLF 水平平衡示意圖

其中  $U_t$  為第  $t$  日非受壓含水層之未飽和層含水量； $P_t$  為第  $t$  日降雨量 (Precipitation)； $Q_t$  為第  $t$  日逕流量(Runoff)； $ET_t$  為第  $t$  日蒸發散量 (Evapotranspiration)， $PC_t$  為第  $t$  日由未飽和層滲漏至飽和層滲漏量 (Percolation)； $S_t$  為第  $t$  日非受壓含水層之飽和層含水量； $G_t$  為第  $t$  日地下水流 出量 (Discharge)； $D_t$  為第  $t$  日深層滲漏量 (Deep Seepage)。(楊 2003)



## 第三章 現地調查資料及概述

### 3.1 選取實驗地點

根據水利署「加速辦理地層下陷區排水環境改善示範計畫」之示範區域嘉義縣的新店、西新店、北港子、竿子寮、過路子、東好美及好美養殖漁業生產區之鹹水養殖區，因以上區域均為易淹及排水不良之區域，所以本研究選取該區為實驗區域，希望能改善該區在豪雨時的排水策略。

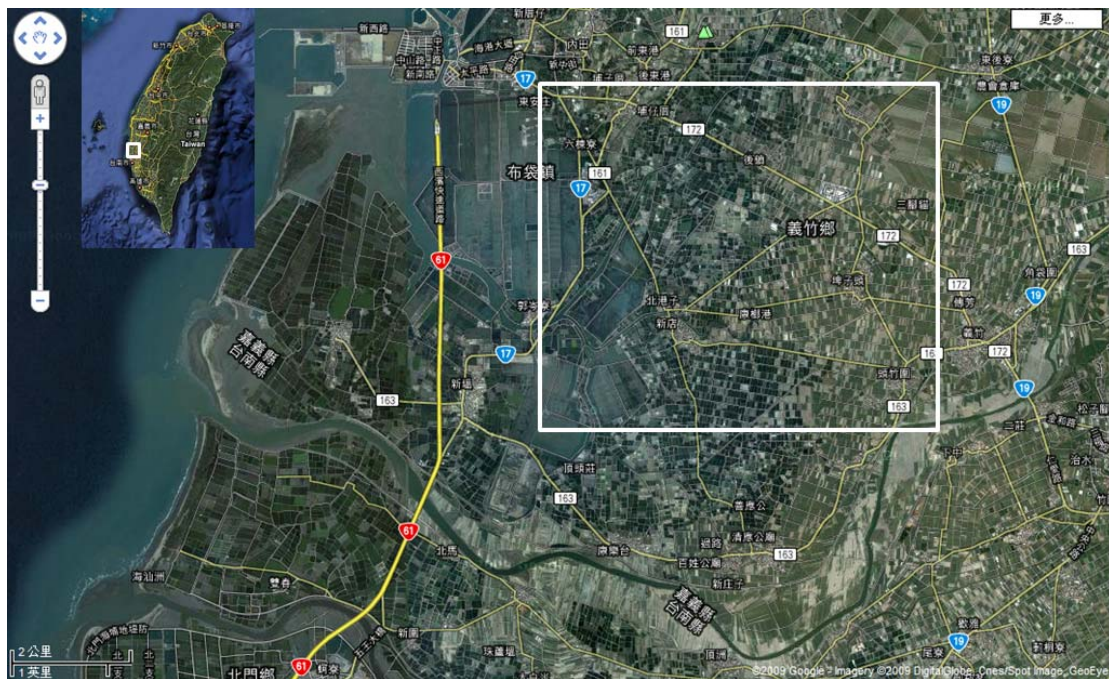


圖 3-1 實驗區地點示意圖 1





圖 3-2 實驗區地點示意圖 2

嘉義縣布袋鎮新塭示範區，附近的村里有五個，分別為：好美里、新塭村、新店村、北港子村、後鎮村。而主要排水路為龍宮溪、新塭排水、新店大排，選定北港子排水支線主要有幾個原因：第一、上游後鎮村為較稀疏之住宅區，比較不會受到生活污水影響；第二、水路較單純，附近以養殖區為主；第三、水路斷面較小，測量時較容易，可減少人為量測之誤差。原本考慮新店中排作為實驗區，但該排水路經過新店村和北港子村，該兩村皆為高密度住宅區，較不適合作為實驗區。

嘉義縣主要鹹水魚類養殖佔 1,411 公頃，依養殖面積排序，分別為虱目魚、吳郭魚、烏魚、鱸魚及鯛類，見圖 3-3。蝦類佔 954.82 公頃，主要為白蝦及草蝦。海水養殖之貝類水產只有文蛤佔 958.3 公頃，見圖 3-4，主要以混養方式養殖詳見表 3-1。

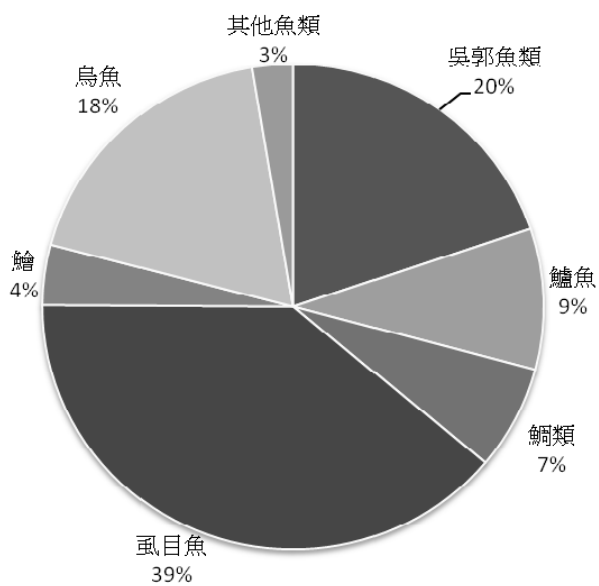


圖 3-3 各魚種養殖面積比例

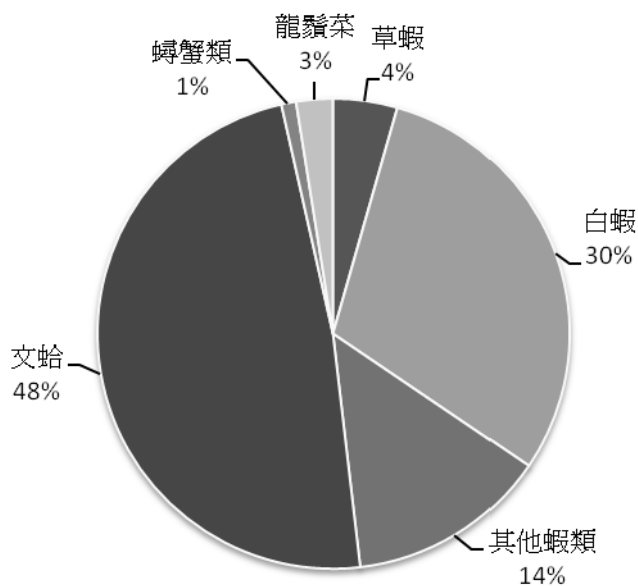


圖 3-4 其他水產養殖面積比例

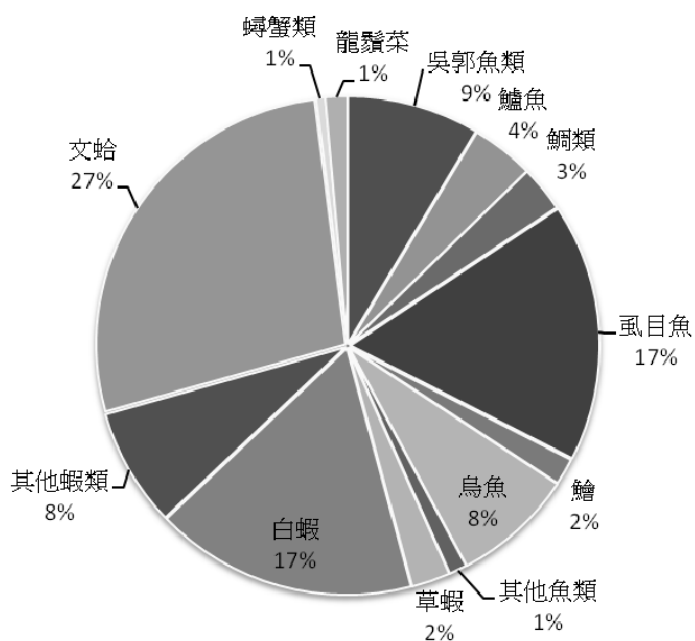


圖 3-5 嘉義縣鹹水養殖面積比例

表 3-1 嘉義縣鹹水魚塭魚種及面積

嘉義縣	單位:公頃			
魚類別 Species	內陸養殖			
	Inland Water Culture			
	鹹 水 魚 塭			
	Brackish Water Pond			
	小 計	單 養	混 養	休 養
	Total	Mono-Culture	oly-Culture	uspend-Culture
總計	3,499.31	1,326.63	1,893.42	279.26
魚類 合計	1,411.38	560.01	788.23	63.14
吳郭魚類	300.21	121.61	162.00	16.60
鱸魚	142.36	110.36	9.00	23.00
鯛類	105.01	82.00	10.41	12.60
虱目魚	591.22	189.38	392.50	9.34
鱸	60.89	47.16	6.73	7.00
烏魚	276.70	51.50	218.00	7.20
其他魚類	40.00	40.00	-	-
蝦類 合計	954.82	628.64	193.68	132.50
草蝦	87.54	58.34	11.90	17.30
白蝦	596.50	390.00	121.50	85.00
其他蝦類	270.78	180.30	60.28	30.20
貝介類合計	958.30	26.68	871.00	60.62
文蛤	958.30	26.68	871.00	60.62
蟳蟹類	20.00	-	20.00	-
藻類 合計	49.80	29.30	10.10	10.40
龍鬚菜	49.80	29.30	10.10	10.40

來源:行政院農委會漁業署漁業資訊服務網站

### 3.2 實驗地點之養殖池結構

當地養殖池主要由三個部份組成：第一、「主池」，四面以土壩堆起的堤岸約 1.7m，水深約 1m，堤岸上以塑膠布及磚塊覆蓋，具有防滑及防止風蝕的功用；第二、「抽水馬達」，抽取魚塭用水或排水，水源主要是漲潮水或地下水；第三、「增氧設施」，由於魚塭高密度的養殖，所以氧氣需求高，漁民多以兩台以上的



哺氣機在一個池子上，哺氣機會旋轉拍打水面，將水撥離水面，增加水點溶氧面積，達到增氧效果。另外還有一些配套設備，例如：投放飼料的平台、大光燈、自動溢流水管和舢舨等。

在實驗區內養殖池之池岸高度不一、魚種也不盡相同。但平均來說，水深高度約 1m，水深距離堤頂介於 0.5m 至 0.7m。表 3-2 之數據可作為建立排水模式時之參數，堤頂高減去池水深，是魚塭可容忍之降雨水深。

表 3-2 實驗區各魚種之初始水深及堤高

魚種	池水深，cm(距堤頂高，cm)
鰻魚	100-110(60)
七星鱸	80-90(70)
虱目魚	80-100(60)
白蝦	80-100(60)



圖 3-6 魚塭之配電裝置



圖 3-7 抽水機



圖 3- 8 增氧設備



圖 3- 9 投放飼料平台



圖 3- 10 自動溢流管



圖 3- 11 連通其他魚塢的暗管

### 3.3 水產分佈及生存條件

實驗區內總共有 132 個養殖池，主要水產分別為：虱目魚、白蝦、烏魚、鰻魚和鱸魚。當中分佈最廣的是白蝦，區內每個養殖池皆有養殖白蝦，其次是烏魚，60 個魚塢有養殖(佔 45%)；第三是虱目魚，54 個魚塢有養殖(佔 41%)；第四是鰻魚，21 個魚塢有養殖(佔 16%)，最後是鱸魚 9 個魚塢有養殖(佔 6.8%)。建立模式時，由於一個養殖池可能會混養多種水產，而不同水產對鹽份下降時的容忍能力不同，模式會採用最脆弱之魚種的容忍能力作為限制條件。「沿海漁塢養殖區之排水觀測與排洪特性研究(1/2)」，2009。



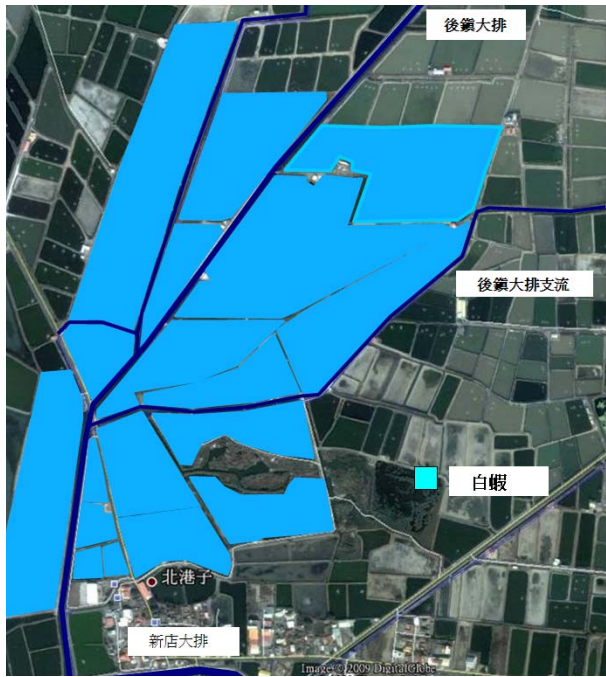


圖 3-12 白蝦分佈圖

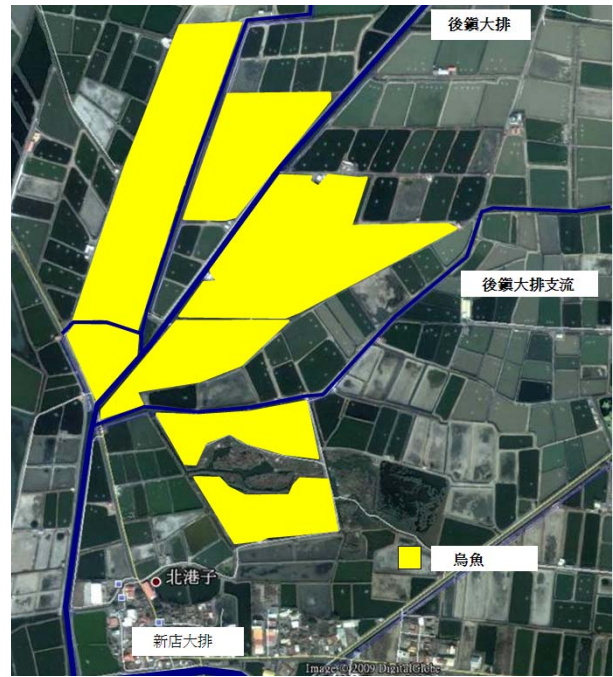


圖 3-13 烏魚分佈圖



圖 3-14 風目魚分佈圖

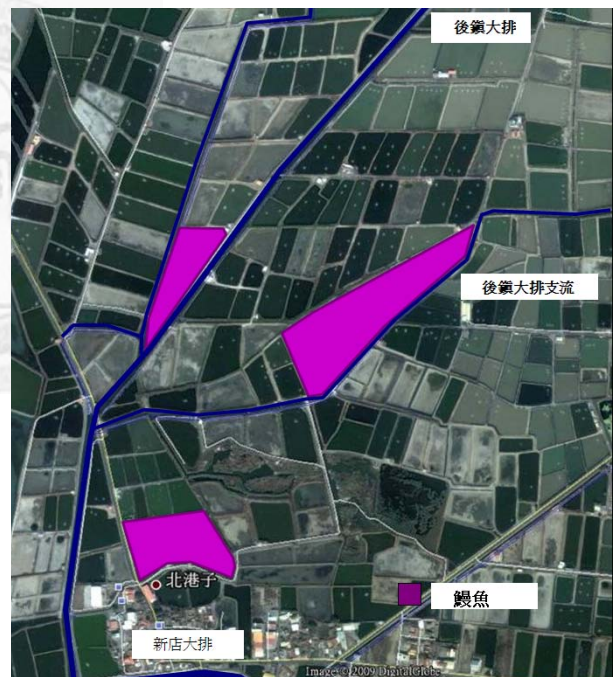


圖 3-15 鰻魚分佈圖



圖 3-16 鱸魚分佈圖

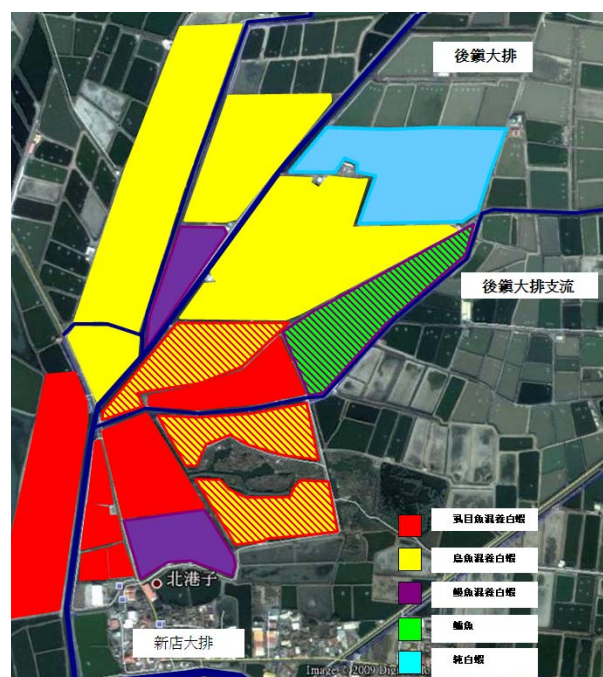


圖 3-17 混養示意圖

實驗區內所養殖的魚種有不同之生存環境，見表 3- 3，鰻魚是迴游性魚類，能夠適應淡水和海水，鱸魚、白假、虱目魚和烏魚都為廣鹽性魚類，較能適應鹽度的變化，模式建立時利用各魚種鹽度條件，池水經雨水稀釋，鹽度下降，計算超出魚種適合範圍之降雨深度，作為區分各魚種排水時間的依據。

表 3-3 實驗區各魚種之生存條件

魚種	適合鹽度	適合水溫	限制溫度
鰻魚	淡水魚	20-30℃	15℃ 以下或 30℃ 以上會影響其活力
鱸魚	7-35ppt 廣鹽性	20-25℃	3℃ 以下或 35℃ 以上不生長
白蝦	10-25ppt 廣鹽性	23-32℃	18℃ 攝食停頓,9℃ 死亡
虱目魚	12-30ppt 廣鹽性	25℃ 以上	14℃ 運動變遲鈍,9℃ 以下即會死亡
烏魚	20-30ppt 廣鹽性	12-32℃	3-35℃ 為生存水溫

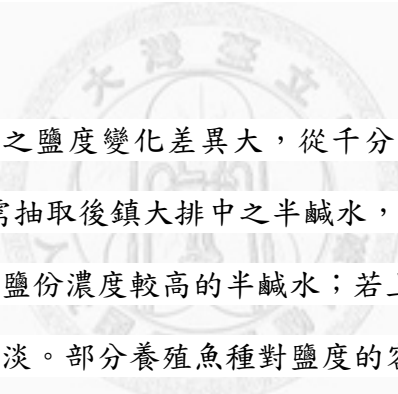


### 3.4 漁民之養殖現況

當地漁民表示，由於近兩年飼料費上漲，漁民無法經由養殖單一魚種獲利。因此，採用白蝦苗混養策略，但當白蝦處於低鹽度環境中，會對其造成壓力，使白蝦無法養殖至商業標準體型，業者會在一個月中，放一到三次蝦籠，出售每次捕獲之白蝦，用以貼補魚貨利潤；另外漁民抽取排水路漲潮水使用，使抽排水交叉污染。同時，由於成本問題，大部份漁民無法對入流水作消毒處理，建議建立中央抽水系統，確保乾淨水質之供應。

### 3.5 養殖池之抽排原則

#### 3.5-1 抽水原則



在漲潮期間排水路中之鹽度變化差異大，從千分之五到千分之三十上下(從5‰~30‰)，當地業者如需抽取後鎮大排中之半鹹水，會先以目測判斷：若漲潮水呈現深綠色，則判斷為鹽份濃度較高的半鹹水；若上游農田水路排出灌溉用水時，後鎮大排之水色會較淡。部分養殖魚種對鹽度的容忍力較低，業者會以鹽度計量測，再考慮是否抽取地下水稀釋鹽度。

魚塭之平均鹽度為25‰，如果當天排水路鹽度不高，漁民會藉由蒸發養殖池水，因為嘉義地區日蒸發量高，再補注漲潮半鹹水，來減少淡水提升鹽度；如果鹽度過高時，則抽取地下水或上游農田用水進行稀釋。

#### 3.5-2 排水原則

第一次現場量測在2009年8月，當地數個月以來降雨量甚少，實驗區之水位，比養殖池之水位還低。8月7日，莫拉克颱風登陸前夕嘉義地區只有間歇性風雨，後鎮大排與支流之水位，皆高於實驗區域內的養殖池，沒有業者有任何排放池水

的動作。8月8日，降雨量大，養殖池水位距離魚塭滿水位約50cm時，漁民開始進行排出養殖池水之動作。8月8日下午，後鎮大排水位已經溢流至路面，業者加緊以馬達全速排水，直至傍晚潰堤，北港子橋左邊全部淹沒，後鎮馬路和嘉29線水深已達100cm。

遭遇莫拉克颱風期間，且適逢大潮，其排水路溢堤至路面水深約50cm，路面水位皆高於魚塭。漁民緊急加派挖土機，堆高魚塭之堤頂，同時漁民以抽水機最大馬力將池水排至路面。

### 3.6 養殖池排水能力調查

#### 3.6-1 魚池抽排水馬達動力調查

調查區域內，養殖池面積多數約3至5分地(1分=66.67m<sup>2</sup>)。而馬達配置則為3分的魚塭配置一個4至5HP的馬達，或是搭配2個2HP方便移動之沉水馬達；5分地以上魚塭才會使用2個4HP之定制式馬達，一個業者同時管理數個養殖池，為節省動力支出以暗管連通數個養殖池，當水量不足時，抽取地下水或暴雨排放雨水時可以節省電力與馬達數量。流量計算方式如下：

$$P_f = \rho \times Q \times H \times g \quad 3-1$$

$P_f$ =馬力=746W=1HP；W=功率(Watt)；HP=馬力；

$\rho$ =水的密度=1000kg/m<sup>3</sup>；Q=流量(cms)；H=揚程(m)；

$g$ =重力加速度=9.81m/s<sup>2</sup>

### 3.7 養殖池排水方向調查

現地實驗區內各養殖池的排水方向如圖 3- 18，基本上養殖池會以最近的排水路排水，而串聯不同魚塭的連通管難以靠目測判斷，必須詢問當地漁民。



圖 3- 18 各魚塭排水方向

### 3.8 現地觀測資料

#### 3.8-1 水位調查結果

實驗區域於 8 月 27 日 6:00-18:00 期間排水路的潮位水位變化，北港子排(後鎮大排)末端連接新店大排，該點建有防潮閘門，當天閘門之內、外水位如圖 3-19，在新店大排接近最低潮時關閉閘門，北港子排水之水位向其他出口流動，最低水位低於新店大排最低潮位，即使關閉閘門，11:00am 後水位上升之趨勢和漲潮趨勢一致，受潮位影響。

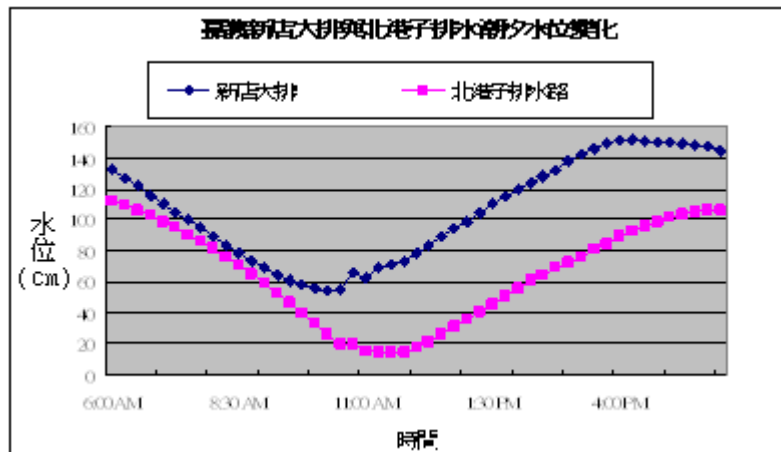


圖 3- 19 新店大排與後鎮大排之水位差

### 3.8-2 漲退潮之水質變化

10 月 23 日至 25 日，實驗有採集水樣，漲潮水質擾動較大，水中的濁度會偏高，故此樣本採自上層水較合適。

表 3- 4 98 年 10 月 25 日漲潮時段之水質變化數據

	漲潮/退潮	時間	鹽度(ppt)	濁度(NTU)	pH	水溫(°C)
測點 1	漲潮	09:28	15	12.2	7.76	24.9
		11:35	10	25.8	7.75	25.2
		12:41	11	35	7.72	24.4
測點 2	漲潮	12:56	11	39.2	8.11	25.6
		13:34	11	33.8	7.91	25.6
		13:59	10	31.4	7.78	25.2
測點 3	漲潮	13:11	9	39	7.75	25.5
		13:43	10	25	7.71	25
		14:08	10	30.5	7.7	24.9





圖 3- 20 監測點位置

表 3- 5 10 月 23 日各測點之表面流速

測點位置	測量時間	流速(m/s)
1	PM3:55	0.52
2	PM3:38	0.19
3	PM3:23	0.38

表 3- 6 10 月 24 日各測點之表面流速

測點位置	測量時間	流速(m/s)
1	AM11:55	0.25
2	AM11:15	0.11
3	AM10:55	0.24

表 3-7 10 月 24 日各測點之水下平均流速、河道斷面與平均水深

	時間	平均流速(m/s)	平均流量(m <sup>3</sup> /s)	河寬(m)	斷面積(m <sup>2</sup> )	平均水深(m)
測點 1	AM 09:28	0.124	1.4	12.15	11.3	0.93
	AM 11:35	-0.035	-0.52	15.96	14.93	0.94
	PM 12:41	-0.036	-0.71	16.5	19.7	1.19
測點 2	PM 12:56	-0.04	-0.17	6.36	4.1	0.64
	PM 13:34	-0.112	-0.46	5.6	4.2	0.94
	PM 13:59	-0.12	-0.47	5.17	3.85	0.74
測點 3	PM 13:11	-0.14	-0.17	16.12	12.65	0.91
	PM 13:43	-0.16	-2.18	14.87	14	0.94
	PM 14:08	-0.16	-2.29	15.9	14.5	0.91

備注：平均流速在水面下 50cm 量測，負值代表水流往上游流動。

現場調查期間遇到了莫拉克颱風，以下是當天的現勘照片：



圖 3-21 八月六日莫拉克颱風來臨前的北港仔橋 圖 3-22 八月八日颱風當天中午水淹到

橋底

橋底



圖 3-23 8 月 7 日上午 10 點北港子橋底

45cm



圖 3-24 8 月 8 日上午左邊養殖池水比排水

路水位低



圖 3-25 8 月 7 日北港子橋上游方向



圖 3-26 8 月 8 日 10 點水位高於魚塭



圖 3-27 8 月 8 日 13:05 分淹至北港子橋

路面



圖 3-28 13:55 分北華橋水位急升





圖 3-29 10 月 23 日北港子橋滿潮水位



圖 3-30 八八水災破壞魚池堤岸



圖 3-31 水災後漁民加高堤頂



圖 3-32 水災破壞的魚池堤岸



圖 3-33 試驗區排水路中露出排水管



圖 3-34 北港子橋加高土堤



圖 3- 35 北港子橋下退潮水位



圖 3- 36 退潮時魚池排水



圖 3- 37 退潮水位



圖 3- 38 量測低潮水位

### 3.9 小結

八八水災其間，嘉義縣後鎮大排北港子橋向上游一公里的河道淹水最嚴重，原因有二點：第一、當天遇上大潮，海水水位比內水水位高，為了防止海水倒灌，下游閘門被關閉；第二、後鎮大排下游連接著新店中排，新店中排上游有新店村及北港子村，為了保護當地居民，該地的抽水站會將水抽至新店中排，增加了排水路水量，結果導致後鎮大排淹水，魚塭排水不是引發淹水的主因，但實驗地區屬於易淹區域，養殖池應避免在洪峰時期排水，以減少整體排水系統負擔。

## 第四章 排水模式建立

### 4.1 研究範圍與限制

本研究之實驗地點選擇在嘉義縣布袋鎮新塭示範區。調查後發現，該區引致淹水的主要原因是漲潮水及排水不良；次要原因是排水路下游之住宅區，當豪雨來臨時，下游為了居民安全會以抽水機把水排到新店中排，所以本研究調查該區水產資料及潮汐變化，再利用 SWMM 模擬排水道的排洪能力及調節魚塭排水時間對排水道的變化。魚塭及排水路有其最大可承受雨量，重現期 25 年之雨量，若超過設計之可承受量，則不納入研究範圍。氣候的限制，八八水災之後的芭瑪颱風(2009.10.05)則未有對實驗區造成明顯降雨。

### 4.2 研究流程

由於沿海地區地勢普遍低窪，一般較難以重力排水，而近年又因氣候變遷關係，海水位上升及極端水文事位頻頻發生，急需改善沿海地區的防洪能力。魚塭一般被認為具滯洪效果，但研究資料卻不多，因此，本研究希望調查其排水滯洪特性，模擬不同狀況下對排水路之影響，並提出改善方案。藉由文獻回顧探討國內外魚塭之特性及其相關規定，決定所需之調查資料，接著到實驗區調查魚塭之基本資料及魚塭抽排特性。利用調查資料建構排水系統，模擬排水系統在不同人為操作及降雨條件下之變化，最後調整魚塭之排水策略，減輕排水路負擔。

### 4.3 模式理論

採用暴雨水流管理模式(SWMM)進行區域排水之水理演算，演算過程分地表逕流及幹線輸水兩部分。輸入各斷面集水面積、魚塭面積及抽水機特性等資料，並考量農漁業用地之土壤特性設定適當不透水鋪面比例，以求得符合現況之地文參數並產生有效之降雨逕流體積及魚塭排水量。輸入模擬區域之排水斷面形狀、座標、坡度、曼寧粗糙係數，計算渠道流況及可能之溢流量。新店大排排水系統：包括新店大排及其上游之北港子排水支線(後鎮大排)與東新店排水支線。

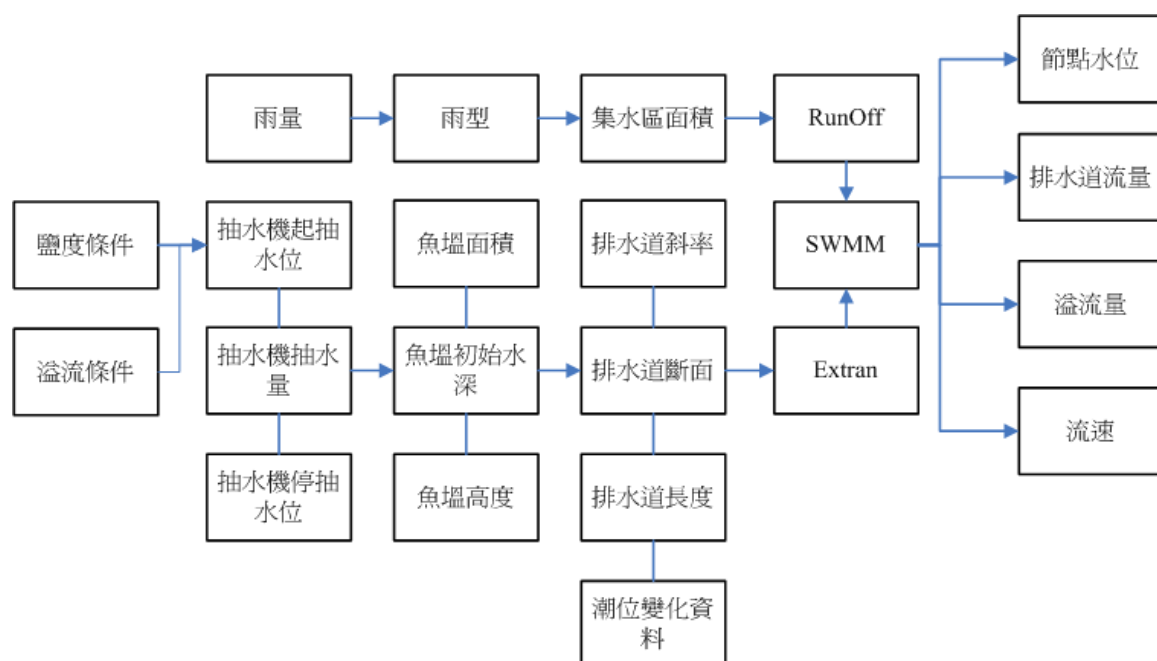


圖 4-1 模式輸入及輸出資料圖

SWMM 模式主要分 2 個輸入檔，第一個是 RunOff，主要是輸入降雨逕流的資料，例如降雨量、當地雨型和集水面積；第二個是 Extran，是有關於排水道的建立，在本研究中可分為三個部分，排水道建立、魚塭建立和抽水機之設定，經由 SWMM 計算以後，可得到排水道之水位、流量、溢流量和斷面流速。

關於管路的水理演算係採用一維變量流理論，根據 Saint-Venant 所導出之緩變量流基本方程式：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4-1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f \quad (4-2)$$

方程式(4-1)及(4-2)乃假設無側流量下，一維緩變量流(one-dimensional gradually varied unsteady flow)之連續方程式及動量方程式，式中  $Q$  為流量， $X$  為沿流動方向之空間座標， $V$  為斷面之平均流速， $y$  為水深， $t$  為時間座標， $g$  為重力加速度， $n$  為曼寧糙度係數， $R$  為水力半徑， $S_o$  為渠底之縱向坡度， $S_f$  為能量坡度線，可利用曼寧公式計算，即  $S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$ 。

## 地表逕流(RUNOFF)

此部分模擬雨滴降落地面後，進入各排水幹道前之漫地流現象。當雨水降落後，如其強度超過地表入滲容量(infiltration capacity)時，地面凹陷部份開始積水，積水達窪蓄飽和容量時，水便溢出而呈漫地流。在漫地流現象中，包括降雨量及入滲量等。

將地表逕流原理及解析解，簡述如下：

- (1)根據降雨強度組體圖(hyetograph)計算降雨後之水深， $D_1 = D_t + R_t \cdot \Delta t$ ，式中， $D_1$  為雨過後之集水區水深， $D_t$  為在  $t$  時刻時之集水區水深， $R_t$  為在  $\Delta t$  時段內之平均降雨強度， $\Delta t$  為計算之時距(time interval)。
- (2)由荷頓方程式(Horton's equation)計算入滲損失， $I_t = f_o + (f_i - f_o)e^{-\alpha t}$ ，式中， $f_i$  為起始入滲率， $f_o$  為最終入滲率， $\alpha$  為入滲遞減率， $I_t$  為  $\Delta t$  內之平均入滲率。
- (3)扣除入滲損失，計算入滲後之水深  $D$ ， $D_2 = D_1 - I_t \cdot \Delta t$ 。



- (4)如  $D_2$  大於地表阻滯量  $D_d$  (detention requirement)則有逕流發生，利用簡化之動量方程式（曼寧公式）計算速度及流量其出流速度， $V = (D_2 - D_d)^{2/3} S^{1/2} / n$ ，出流量， $Q_w = V \cdot W \cdot (D_2 - D_d)$ ，式中， $W$  為次區寬度。
- (5)以連續方程式計算下一時段  $t + \Delta t$  之水深  $D(t + \Delta t)$ ， $D(t + \Delta t) = D_2 - (Q_w / A) \cdot \Delta t$ ，式中， $A$  為次區之面積。
- (6)計算側溝之入流量， $Q_{in} = \sum Q_{w,i} + \sum Q_{g,i}$ ，式中， $\sum Q_{w,i}$  為各區入流量和， $\sum Q_{g,i}$  為上游側溝流量和。
- (7)利用連續方程式計算側溝水深， $Y_1 = Y_t + (Q_{in} / A_s) \cdot \Delta t$ ，中， $A_s$  為  $Y_1$  及  $Y_t$  之自由水面面積平均值。
- (8)利用曼寧公式計算側溝流速及流量，出流速度： $V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ ，出流量： $Q_g = V \cdot A_c$ 。
- (9)以連續方程式計算次時段  $t + \Delta t$  之側溝水深  $Y(t + \Delta t)$ ， $Y(t + \Delta t) = Y_t + (Q_{in} - Q_g) \cdot \Delta t / A_s$ 。
- (10)重覆步驟(6)至(9)，直到所有側溝皆完成計算。

上述各步驟計算所得之出口流量  $Q_w$  及水深  $Y(t + \Delta t)$ ，將作為排水區域幹線輸水計算之輸入歷線。

## 幹線輸水(EXTRAN)

雨水降落地面形成漫地流，經由側溝匯集進入人孔後，導入幹管中，此輸水模式依水力學原理，採用變量、非均勻之自由地表流(unsteady nonuniform free surface flow)特性，以模擬在管渠中之水流流動情況，藉以了解各管渠中之流量以及各人孔處可能之溢流量(surcharge)，作為檢討管渠排水之能力及系統改進之參考。

### (1)基本假設

為避免因複雜水力演算而耗用大量的計算時間及需求詳盡資料之困擾，SWMM 模式逕流演算做下列合理之假設：

a. 忽略局部加速度項(local acceleration term)  $\frac{V}{t}$  的影響，即方程式為準變量流(quasi-steady)。

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \left( S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} \right)^{1/2} \quad (4-3)$$

b. 如人孔上游端之入流量大於下端幹線之最大輸流量時，則溢流即發生淹水情況。SWMM 模式假設一旦淹水，其溢流之水量可暫時貯存於人孔附近，俟入流量減少時再回流幹管系統，而忽略人孔因淹水所造成能量坡降線的提高，僅用幹渠坡度代替能量坡降線以計算下游幹管滿管流量，此假設用在市區一般平坦地形，由於管線坡度和緩，因此管線兩端壓力水頭差變化不大，因而尚屬合理。

### (2)演算過程

將連續方程式(4.1)寫成有限差分方程式，可得：

$$\frac{(1-W_t)(A_{j,n+1} - A_{j,n}) + W_t(A_{j+1,n+1} - A_{j+1,n})}{\Delta t} + \frac{(1-W_x)(Q_{j+1,n} - Q_{j,n}) + W_x(Q_{j+1,n+1} - Q_{j,n+1})}{\Delta x} = 0 \quad (4-4)$$

式中，j 表示上游，j+1 表示下游情況，n 表示前時段，n+1 表示下一時段之情況；

$W_t$ ：取時間微分時，在點 j+1 位置之權重係數；

$1-W_t$ ：取時間微分時，在點  $j$  位於置之權重係數；

$W_x$ ：取位置微分時，在  $n+1$  時段之時間權重係數；

$1-W_x$ ：取位置微分時，在  $n$  時段之時間權重係數。

以每一管渠上游端已知之流量與通水面積為邊界條件，前時段之流量與通水面積作為起始條件，由上游沿管渠向下游計算，以求解下游之流量及通水面積。

$$\begin{aligned} Q_{j+1,n+1} + \frac{\Delta x W_t}{\Delta t W_x} A_{j+1,n+1} + \frac{\Delta X}{\Delta t W_x} \left[ (1-W_t) \cdot (A_{j,n+1} - A_{j,n}) + W_t A_{j+1,n} \right] \\ + \frac{1-W_x}{W_x} (Q_{j+1,n} - Q_{j,n+1}) Q_{j,n+1} = 0 \end{aligned} \quad (4-5)$$

若以註腳  $f$  代表滿流情況，定義  $\alpha$  及  $\varphi$  值如下：

$$\alpha = A/A_f, \quad \varphi = Q/Q_f \quad (4-6)$$

其中， $A_f$  及  $Q_f$  分別表示滿流時之斷面積及流量，如此式可改寫如下：

$$\varphi_{j+1,n+1} + C_1 \alpha_{j+1,n+1} + C_2 = 0 \quad (4-7)$$

式中：

$$C_1 = \frac{\Delta X W_t A_f}{\Delta t W_x Q_f} \quad (4-8)$$

$$\begin{aligned} C_2 = \frac{\Delta x A_f}{\Delta t W_x Q_f} \left[ (1-W_t) \cdot (\alpha_{j,n+1} - \alpha_{j,n}) - W_t \alpha_{j+1,n} \right] \\ + \frac{1-W_x}{W_x} (\varphi_{j+1,n} - \varphi_{j,n}) - \varphi_{j,n+1} \end{aligned} \quad (4-9)$$

$$\varphi = \frac{Q}{Q_f} = \frac{AR^{2/3}S_f^{1/2}}{A_f R_f^{2/3} S_f^{1/2}} = \frac{AR^{2/3}}{A_f R_f^{2/3}} = f(\alpha) = f\left(\frac{A}{A_f}\right) \quad (4-10)$$

因斷面資料為已知，水力半徑  $R$  亦為通水斷面積  $A$  之函數。(4-3)式在滿流情況下可寫成：

$$Q_f = \frac{1}{n} A_f R_f^{2/3} S_f^{1/2} \quad (4-11)$$

$$Q_f = \frac{1}{n} A_f R_f^{2/3} \left( S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = S_o - \frac{\partial}{\partial x} \left( y + \frac{V^2}{2g} \right) \quad (4-12)$$

再將上述之微分式寫成差分式，而式中各項值均可以前時段之值代入，得：

$$S_f = S_o + \frac{y_{j,n} - y_{j+1,n}}{\Delta x} + \frac{V_{j,n}^2 - V_{j+1,n}^2}{2g\Delta x} \quad (4-13)$$

為減少可能發生的不必要微小振盪及考慮迴水因素(back-water effect)的影響，SWMM 模式在每一時段中可使用數次疊代以求得  $Q$  值，且在計算  $Q$  時，採用前次疊代值與剛計算所得值之平均值，更能增加結果之穩定性。如以  $i$  代表疊代之次數，則在第  $i$  次疊代中  $Q$  可寫成：

$$Q_{f,i} = \frac{1}{2} Q_{f,i-1} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{n} A_f R_f^{2/3} S_f^{1/2} \right) \quad (4-14)$$

由(4-13)、(4-14)式及前時段資料計算出  $Q$ ，由斷面資料及(4-10)式建立  $\alpha$  及  $\varphi$  之關係曲線，再代入(4-10)式中，以牛頓－拉福生法(Newton-Raphson)解得  $\varphi$  及  $\alpha$  值，最後代入(4-9)式中，可算得下游段之  $Q$  及  $A$  值，依此逐步向下游演算，直至

最下游段為止。同理再向下一時段推進，直至模擬時間終止。其中，下水道系統由於管線交叉，其分配流量各依其排水能力。

$$\begin{aligned} QI_j &= QO_i \times \frac{QF_j}{QF_j + QF_k} \\ QI_k &= QO_i \times \frac{QF_k}{QF_i + QF_k} \end{aligned} \quad (4-15)$$

式中， $QI$  為入流量， $Q$  為出流量， $QF$  為滿管流量。



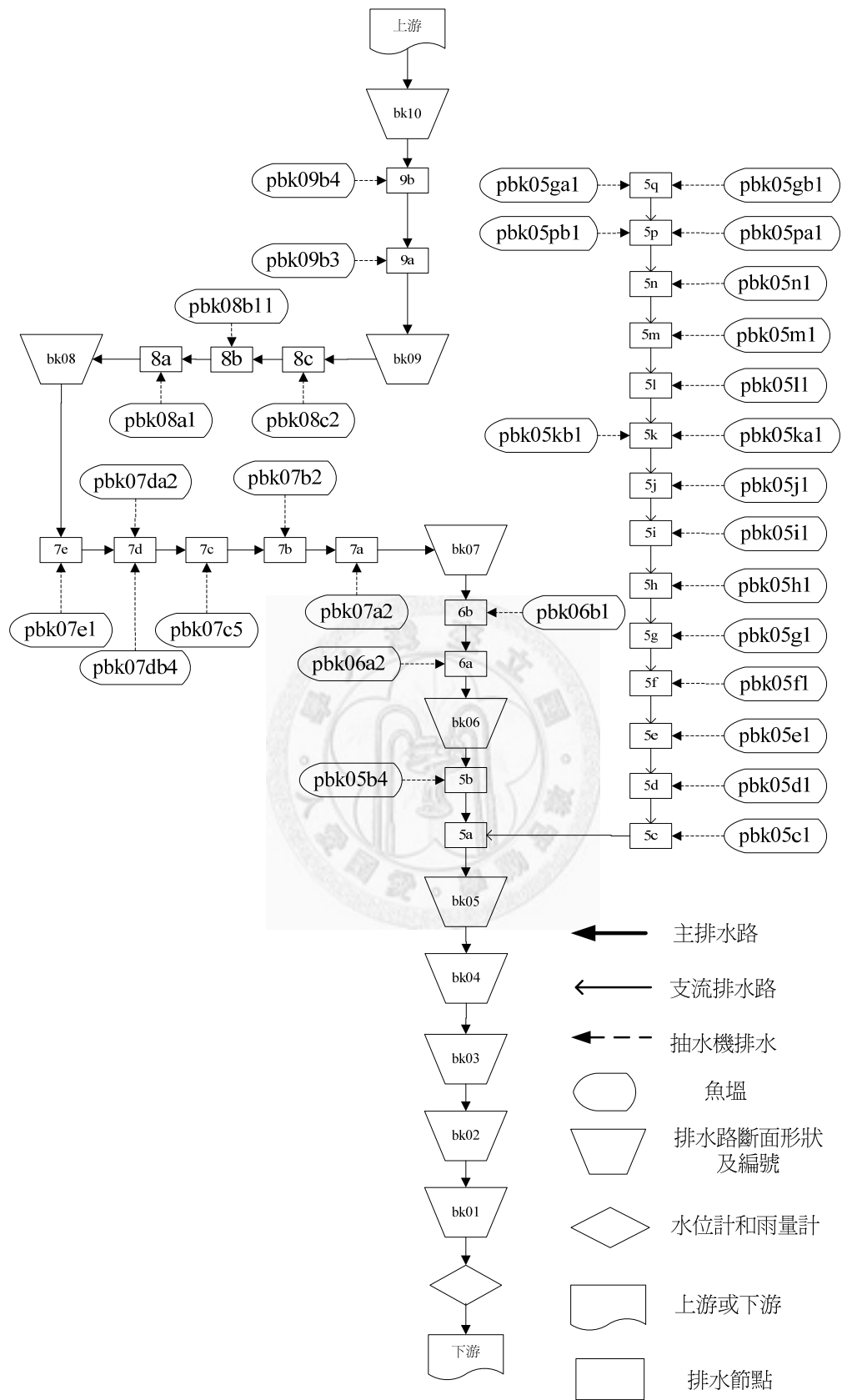


圖 4-2 實驗區魚塭系統之示意圖

## 4.4 實驗區之雨量及潮位

利用水利署「淹水潛勢圖更新前期計畫－演算資料調查及雨量預警之研究」(2006)，當中雨量資料來自嘉義縣溪口雨量站之 24 小時總降雨量如表 4-1 所示。

表 4-1 不同重現期下之降雨量

測站	2 年	5 年	10 年	15 年	20 年	25 年
溪口站	204.77	267.38	298.10	307.5	316.90	326.30

單位：毫米

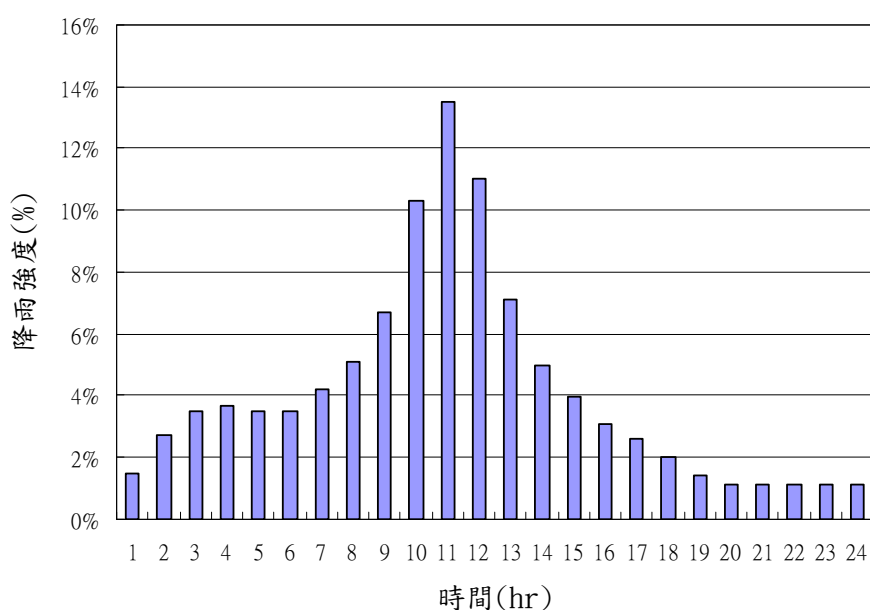


圖 4-3 實驗區設計雨型

根據內政部土地重劃工程局 2004 年 8 月「農地重劃區農路、水路建造物規格手冊」，養殖區池水位超過堤頂會使魚類逃逸，所以設計不容許溢流，故一日暴雨之重現期距比起平地混作區之 10 年 1 次將提昇至 15 年 1 次，另外加上排水路的設計 25 年不溢堤的模擬。潮位影響資料是利用表 3-4 之平均最高潮位及豐水期最高潮位進行模擬，分析潮位對排水路的影響程度。

## 4.5 排水道斷面

排水路斷面利用水利署「沿海漁塭養殖區之排水觀測與排洪特性研究」(2009)調查到的斷面資料，調查方法是利用退潮時，直接量測排水路之斷面形狀及尺寸，得到該資料建立排水模式，可以明顯看到斷面是有淤積狀況，後鎮大排上有 22 個斷面，有魚塭排水資料之點為 bk01-bk09，下一章會有清淤之後排水狀況探討，另外參考該報告之建議，以 0.02 作為魚塭區之曼寧糙度值。

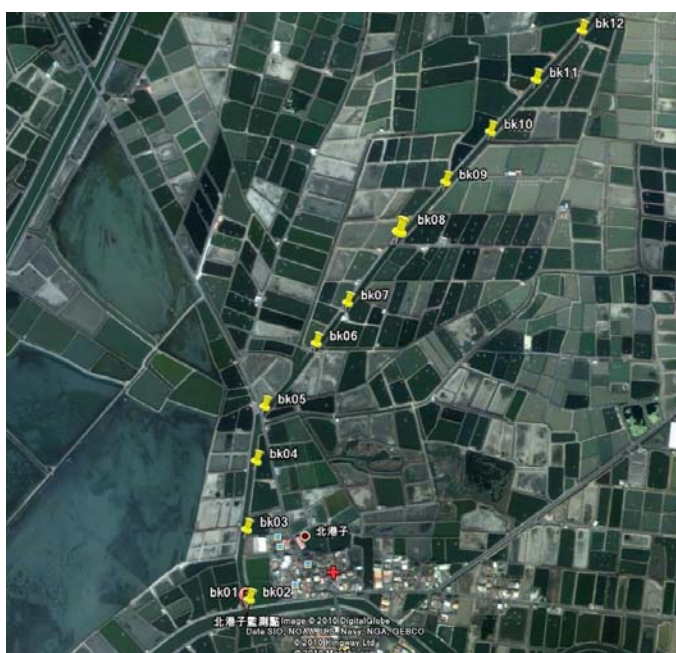


圖 4-4 實驗區斷面點位置

## 4.6 養殖池之建立

由於實驗地區魚塭十分密集，且排水路面積不大，魚塭之面積可直接視為集水區。設定以後鎮大排為示範區。魚塭排水之方向以現地調查為依據，其面積是以航照圖得出之魚塭面積。





圖 4-5 各養殖池之面積(公頃)



圖 4-6 各養殖池之排水方向

實驗區已調查之魚塭數為 63，總面積為 25.46 公頃。本研究嘗試簡化魚塭系統，一般魚塭地區排水系統之魚塭數量眾多，集水面積也十分廣大。為節省建置模式與計算之時間，因此研究簡化設定魚塭之方法。簡化之型式如下(簡化前後之總面積相同)

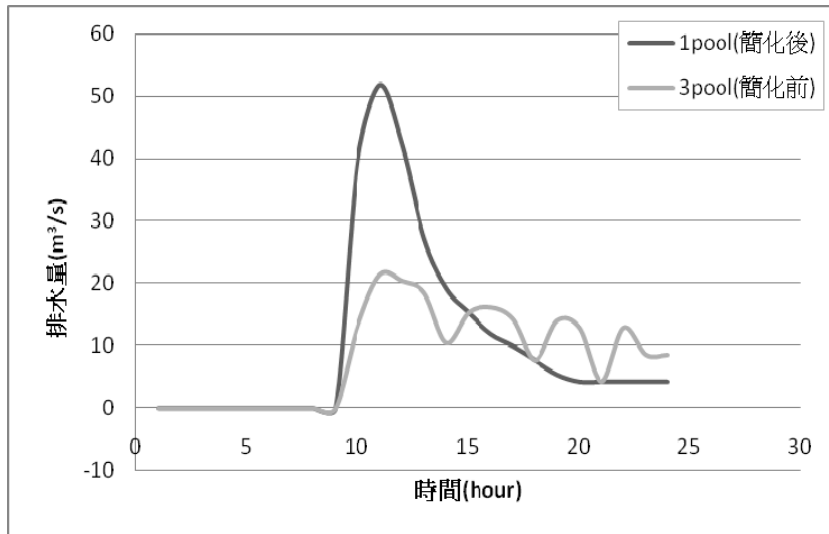
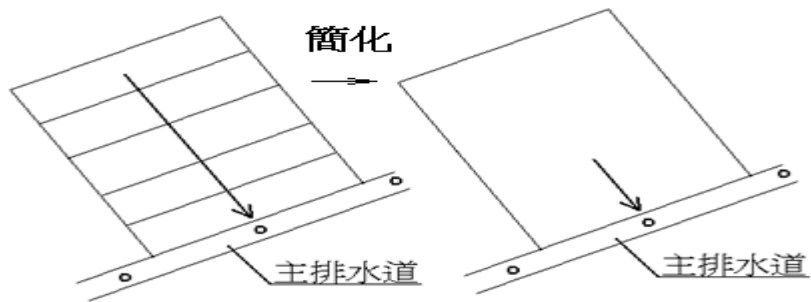


圖 4-7 串聯簡化 3 個養殖池之比較

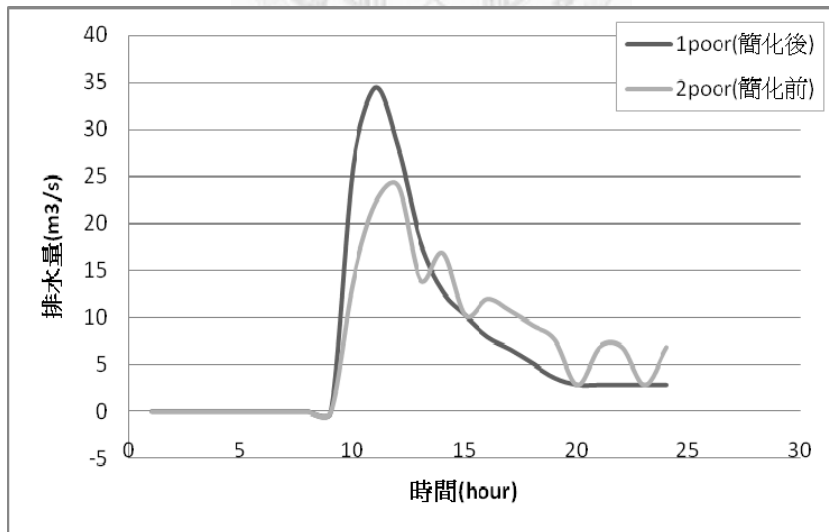


圖 4-8 串聯簡化 2 個養殖池之比較

以上模擬之輸入資料是根據當地串聯魚塭之大小及結構，串聯 3 養殖池總面積比串聯 2 池子的面積大。比較簡化前後之排水量，由圖 4-7 及圖 4-8 得知由於

當地連通管之直徑較小，多為 4.5 吋直徑，導致後池排水不良，前池可排水減少，故本研究之實驗區不應簡化成一個較大養殖池進行模擬，以免引致較多之誤差。

## 4.7 排水路測試率定

本節會分兩個情況率定：第一、平日沒有降雨時之率定；第二、模拉克颱風時之淹水點率定，嘉義新塢地區後鎮大排下游邊界條件來自後下游(斷面 bk01)自計水位計之水位資料，利用在 2010 年 4 月 26-27 日現地調查到之水位資料和模擬水位作比較，監測點在實驗區之上游，函蓋整個實驗區(斷面 bk05-bk09)，如圖 4-9，模擬之水位和調查資料趨勢接近。



圖 4-9 實驗區及監測點位置(bk13)

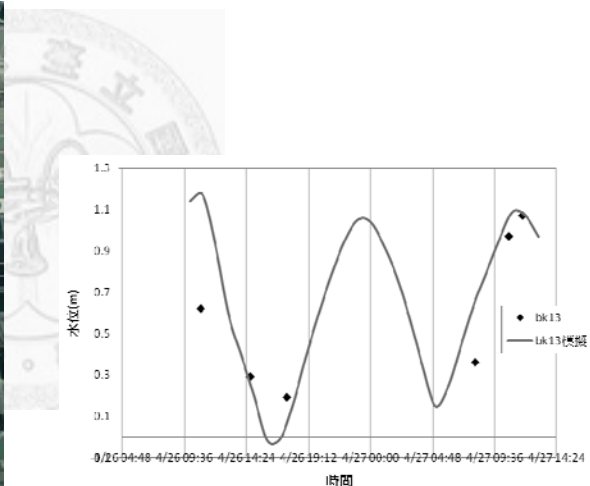


圖 4-10 實驗區上游監測點(bk13)之  
水位歷線

同樣利用莫拉克颱風時下游量測之水位及雨量資料，模擬當天排水道狀況，主要分成閘門開啟及關閉兩部份，如圖 4- 12，第 1 至 42 小時下游閘門關閉，內水位急速上升接近外水位，在第 12 至 18 小時的現場數據和模擬不合，詢問提供資料的單位，回覆是當時閘門被打開，在第 18 小時關門再次關閉，第 40 小時至 70 小時閘門開啟，資料和模擬之曲線吻合，圖 4- 11 中 1 至 22 為模擬之斷面點，圓圈代表該斷面沒有溢流，三角形代表颱風當天 24 小時內曾發生溢流，而經由和養殖戶口述調查得知從 8 月 8 日下午 1 至 14 之斷面有淹水情況，15 至 22 沒有淹水情況，但模擬結果第 8、9、10 點之水位沒有溢堤，調查後發現主要因為該三點建有較高之護岸如圖 4- 14，其中斷面 8 上建有橋樑，地勢較高，而出現溢流之點位多為沒有護岸之水路如圖 4- 15，圖 4- 13 模擬閘門開啟時段之左右岸之堤頂高及最高水位，最高水位高於堤頂或重疊代表該斷面溢流，可以從圖中看到斷面 14 以下之堤頂高只有 3 點沒有溢流現象，而斷面 14 以上之堤頂則只有 2 點溢流，符合養殖戶之描述。





圖 4- 11 比較當地淹水排水路及模擬之淹水清況

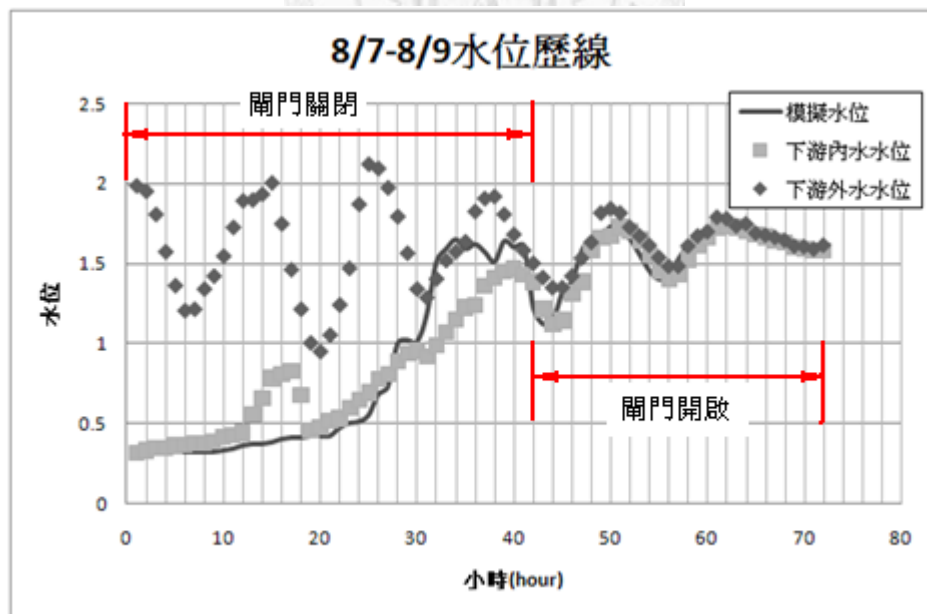


圖 4- 12 模擬 8 月 7 日到 8 月 9 日之水位歷線



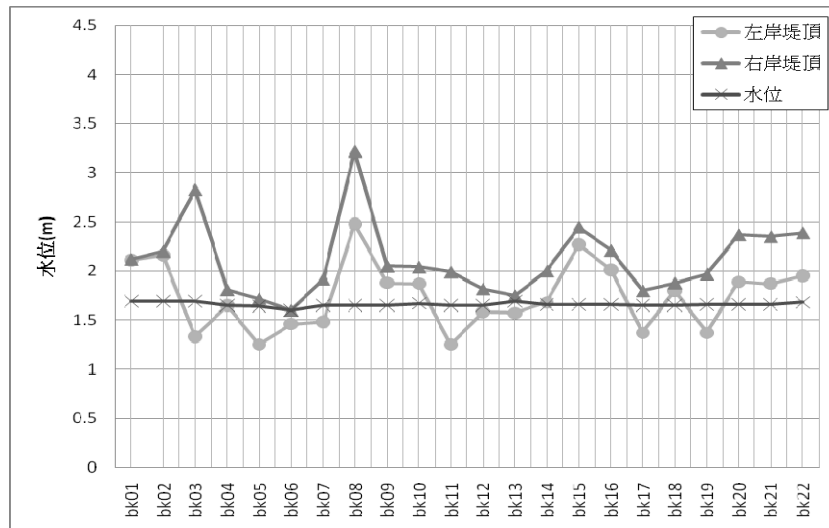


圖 4- 13 模擬 8 月 8 日莫拉克颱風時之最高水位及堤頂高



圖 4- 14 建有護岸之水路



圖 4- 15 沒有護岸之水路



## 第五章 不同條件下排水路之比較與分析

本章共五部份分別為魚塭起抽水位對排水路之影響、鹽度變化對排水路之影響、魚塭之滯洪效果、調節魚塭排水時間和初步探討對未來氣候變遷對排水路之影響。各部份會以三種魚塭結構作比較，如表 5-1，嘉義實驗區屬廣鹽性養殖池，當地還有不少部份貝類養殖池，而高鹽度養殖池資料是來自屏東，起抽水位是根據當地漁民之排水原則，即是距離堤頂 0.5m 開始排水，貝類養殖池堤頂低，若根據魚塭之排水原則貝類養殖池的初始水深等如排水水深，故改為用養殖池之設計容水量，根據內政部土地重劃工程局(2004)「農地重劃區農路、水路建造物規格手冊」中提到：「養殖池之水面到池頂高度差距一般尚有 0.5m 左右，且可容納雨水貯留 0.1m(約佔全部水深之 1/10 以下)。」，所以貝類養殖池的滯洪水深為 0.1m。三組養殖池皆以嘉義實驗區排水路作模擬比較。

表 5-1 各種魚池之結構及滯洪水深

	堤高(m)	初始水深(m)	起抽水位(池水位距離堤頂 m)	滯洪水深(m)
高鹽度養殖池	3	1.5	0.5	1
廣鹽性養殖池	1.7	1	0.5	0.2
貝類養殖池	1	0.5	0.4	0.1

實驗區養殖池結構如圖 5-1，距離堤頂 0.7m，可貯留 0.2m 之雨水深度作為滯洪水深。在模式中依當地漁民排水原則及水文條件作設定，降雨條件為重現期為 15 年及 25 年，魚塭排水規則如下，第一，溢流條件，當水位上升至離堤頂 0.5m 時開始排水，第二，水質條件，雨水將養殖池鹽度約從 25ppt 稀釋至 20ppt 時開始排水，魚塭之系統如圖 5-2。當一場降雨事件發生時，魚塭的水位因降雨而上升，當上升到一定水位，漁民根據魚種之鹽度條件或溢流條件發動抽水機，抽水機以最大抽水量排水。

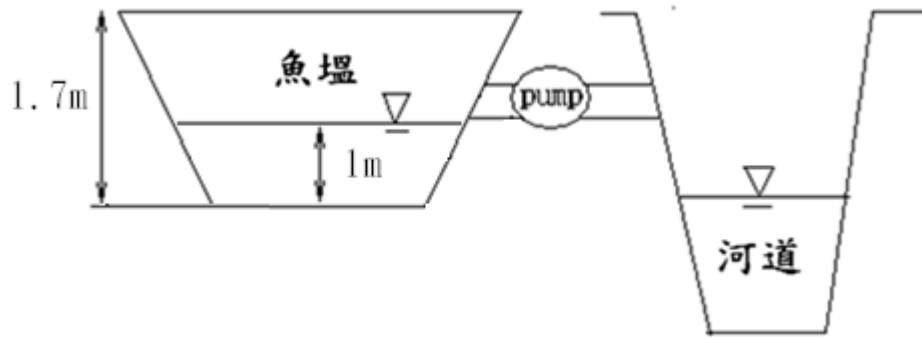


圖 5-1 養殖池排水結構示意圖

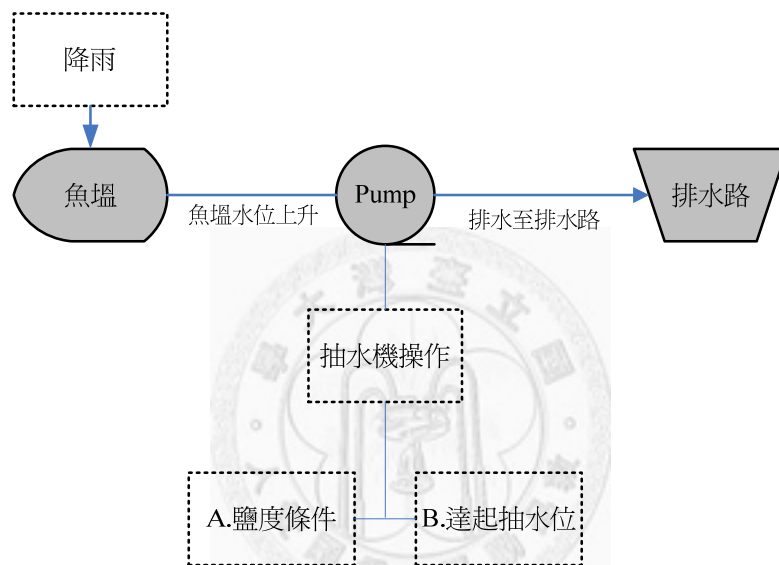


圖 5-2 魚塢排水系統示意圖

## 5.1 閘門及潮位之影響

後鎮大排距離出海口約 6km，屬於感潮河段，根據表 2- 1 水位主要受潮汐影響，利用豐水期(8 月)之平均高潮位、大潮平均高潮位及小潮平均高潮位輸入 SWMM，模擬滯洪水深 0.2m 之魚塢排水對排水路的影響。結果如圖 5- 3 顯示小潮平均高潮水位約 1m，平均高潮水位約 1.27m，斷面 bk04、bk05 和 bk11 已溢流，bk03、bk17 及 bk19 接近溢流。大潮平均高潮位約在 1.6m，左岸大部分斷面點發生溢流，建議排水路堤頂高程增加至 1.7m，防止漲潮時發生溢流。

若在漲潮前關閉下游防潮閘門，可減輕排水路之負擔，模擬在水位 0m 的時候關閉閘門，如圖 5-4，15 年重現期時最高水位上升約 0.75m，25 年重現期時最高水位上升約 0.85m，比平均高潮位低。

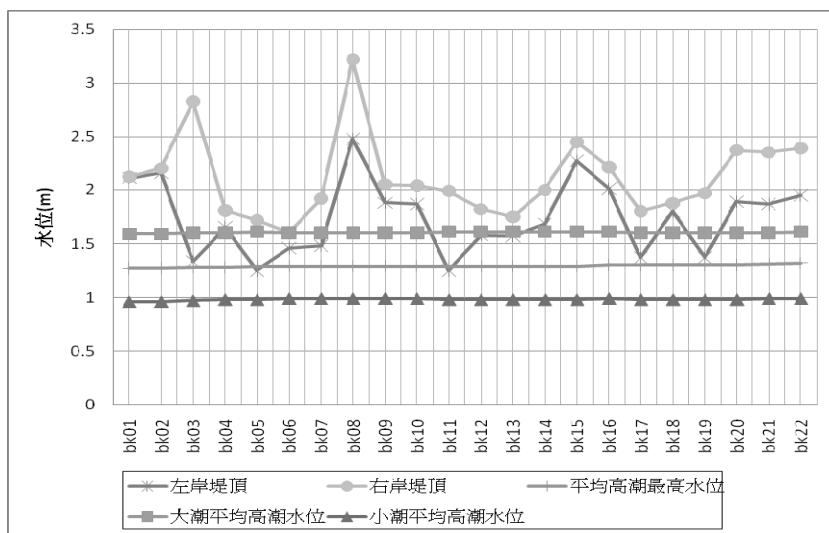


圖 5-3 不同潮位設定對排水路水位之影響

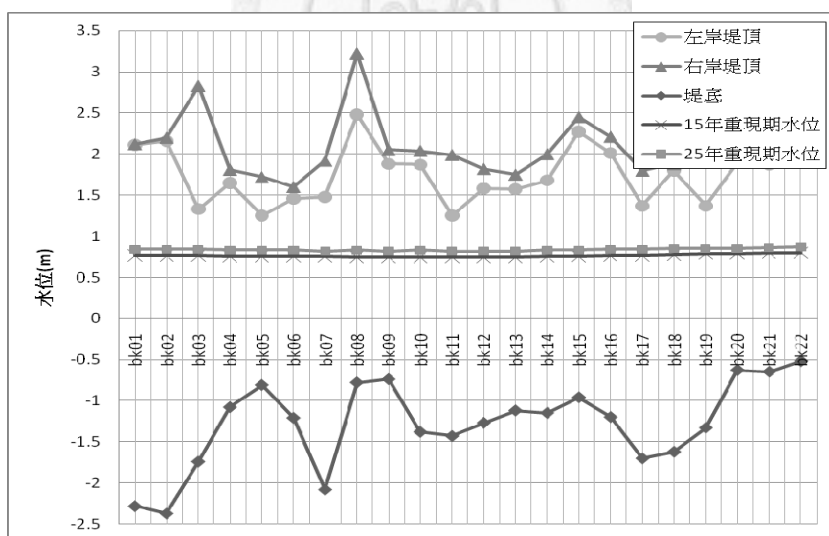


圖 5-4 閘門關閉時之最高水位

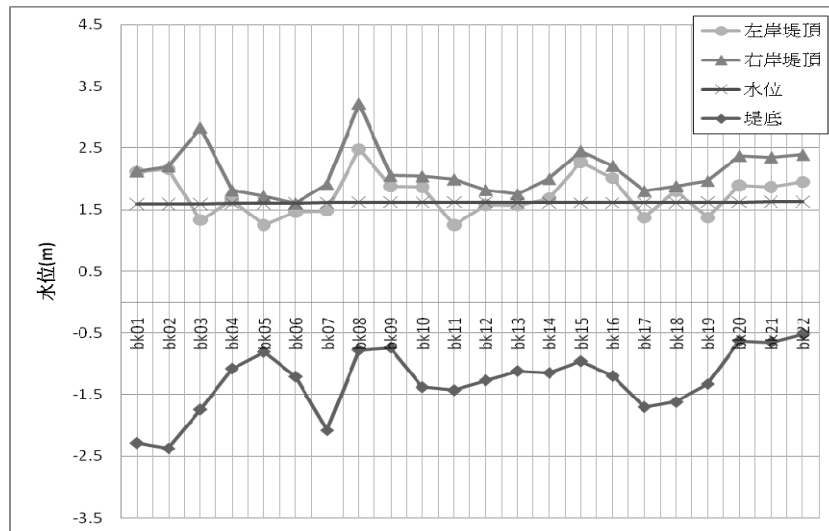


圖 5-5 大潮加上 25 年重現期降雨

## 5.2 起抽水水位之影響

魚塭排水主要分兩個條件—溢流條件及鹽度條件，本節分析溢流條件對排水路之影響，不考慮鹽度抽水條件，模擬三組設定分別針對高鹽度養殖池、廣鹽性養殖池及貝類養殖池套用在實驗區排水路作模擬，圖 5-6 顯示不同設定下監測點之流量，監測點是堤岸較低之斷面(bk06)，流量正代表水流向下游流動(退潮)，負代表水流向上游流動(漲潮)，圖 5-7 顯示排水路 24 小時內之最高水位。

第一種，高鹽度魚類養殖池，可儲存水深 1m，能儲存較多雨水作滯洪功能，從圖 5-6、圖 5-8、圖 5-7 和圖 5-9 顯示排水路流量及水位都比其他兩組為低，代表高鹽度魚塭沒有加重排水路負擔，但若考慮到高鹽度魚種對鹽度適應力低，儲水量則應打折扣。

第二種，廣鹽性魚類養殖池，可儲存水深 0.2m，15 年重現期下，從圖 5-6 中顯示在第 12 小時魚塭水位達到起抽水水位，開始排水，排水路流量較第一種高，到 13 小時魚塭排水量使排水路流量達到尖峰，25 年重現期之排水路的水位特性和 15 年重現期大致相同，排水路水位比第一種高，低於第三組。

第三種，貝類養殖池，可儲存水深 0.1m，在圖 5- 6 顯示魚塭在第 10 小時到達尖峰時間，比其他兩組流量為高，另外排水路水位也比其他種類高。

結果顯示儲存水深高對於穩定流量及水位有一定作用，雖然加高魚塭堤頂有助防止養殖池溢堤，但並不能解決海水倒灌引起之區域淹水問題，建議建立中央抽水系統，確保關閉防潮閘門，降低潮汐對排水路之影響。

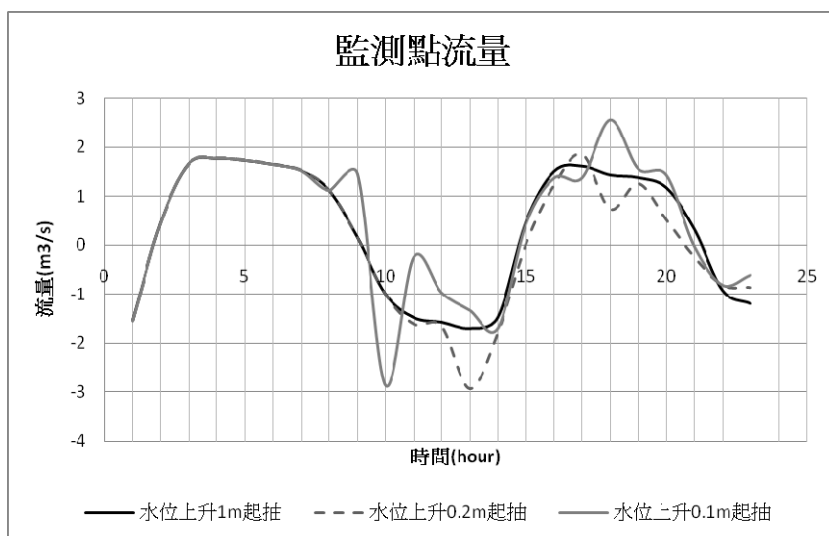


圖 5- 6 重現期 15 年雨量下之流量

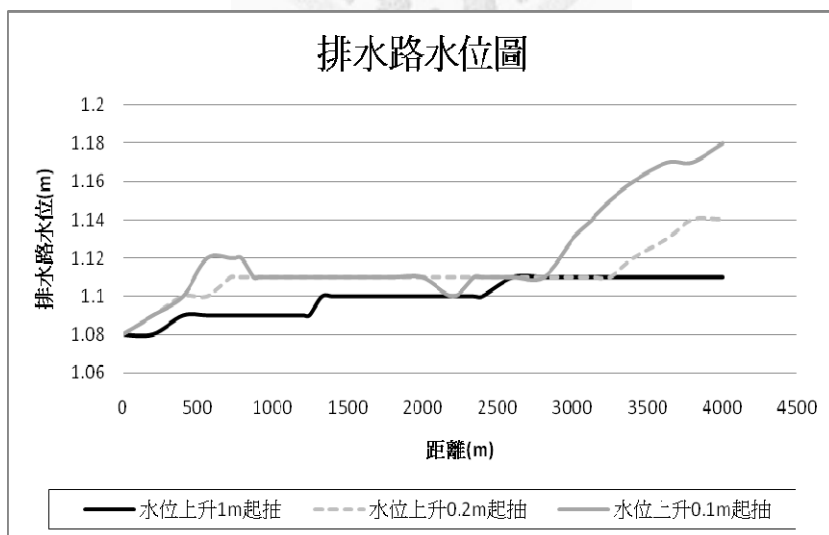


圖 5- 7 重現期 15 年雨量下排水路水位

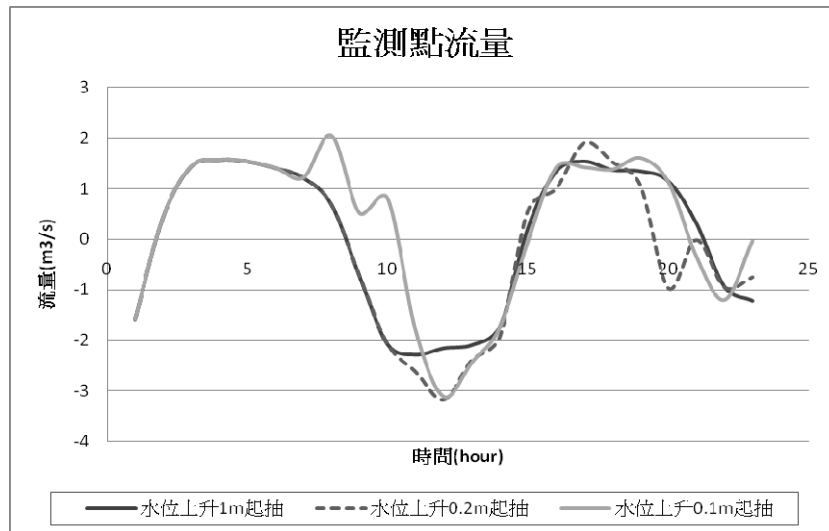


圖 5-8 重現期 25 年雨量設定下之流量

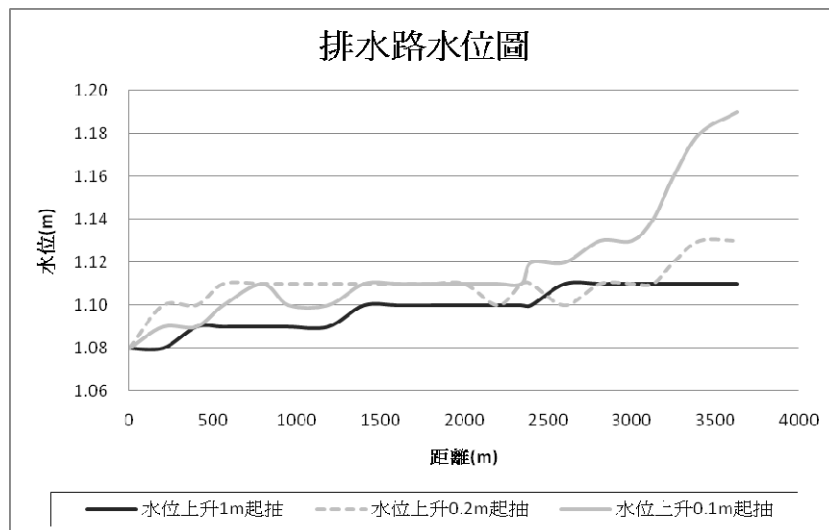


圖 5-9 重現期 25 年雨量下排水路水位

### 5.3 不同鹽度之影響

沿海地區養殖魚種多為鹹水魚種，降雨會將鹽度稀釋，對魚類構成威脅，故研究選擇鹽度作為魚種之生存限制進行模擬，當鹽度稀釋至一定量時，魚塭開始排水，並抽取海水補注提升鹽度。為了模式計算方便，需將鹽度條件量化為水位，舉例：估算將 25ppt 之鹽水稀釋為 20ppt 鹽水，所需之降雨量。



已知:溫度  $T=20^{\circ}\text{C}$ 、鹽度  $S_0=25\text{ppt}=25\text{g/kg}$ 、稀釋後鹽度  $S_1=20\text{ppt}=20\text{g/kg}$ 、鹽水密度  $\rho_s=1017.2\text{kg/m}^3$ 、水密度  $\rho_w=998.2\text{kg/m}^3$ 、體積  $V=1\text{m}^3$ 。

其他參數說明: $m_{\text{total}}$ =鹽水質量(kg)、 $m_s$ =鹽份質量(kg)、 $m_{\text{rain}}$ =稀釋所需之雨水質量(kg)、 $d_{\text{rain}}$ =稀釋所需之降雨深(m)

利用鹽水密度，得出總水體之質量:

$$m = \rho \times V \quad (5-1)$$

$$m_{\text{total}} = \rho_s \times V$$

$$m_{\text{total}} = 1017.2\text{kg}$$

計算水體中所含鹽份的質量:

$$m_s = V \times \rho_s \times S_0 \quad (5-2)$$

$$m_s = 1\text{m}^3 \times 1017.2\text{kg/m}^3 \times 25\text{g/kg}$$

$$m_s = 25430\text{g}$$

計算多少雨量才使 25ppt 下降至 20ppt:

$$S_1 = m_s / (m_{\text{total}} + m_{\text{rain}}) \quad (5-3)$$

$$20\text{g/kg} = 25430\text{g} / (1\text{m}^3 \times 1017.2\text{kg/m}^3 + m_{\text{rain}})$$

$$m_{\text{rain}} = 254.3\text{kg}$$

將降雨量換成水深，即下降  $d_{\text{rain}}$  深度的雨會使池中鹽度從 25ppt 下降至 20ppt

$$d_{\text{rain}} = (m_{\text{rain}} / \rho_w) / A \quad (5-4)$$

$$d_{\text{rain}} = (254.3 \text{ kg} / 998.2 \text{ kg/m}^3) / 1 \text{ m}^2$$

$$d_{\text{rain}} = 0.25475 \text{ m}$$

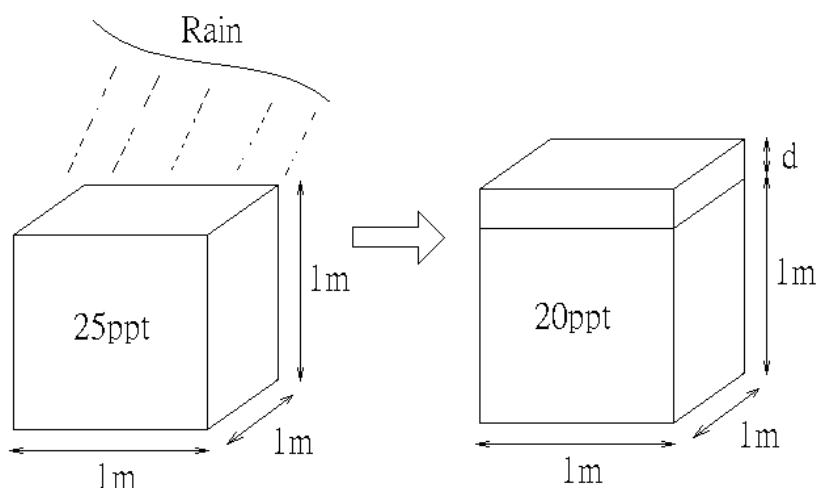


圖 5-10 雨水對水體變化示意圖

實驗區魚種生活的鹽度多為 20ppt-30ppt，所以取其中位數 25ppt 作初始鹽度。當 25ppt 降至 20ppt 時，開始抽水操作。初始水深越高，鹽份總量越多，需較多淡水作稀釋。表 5-2 表示在不同初始水深下不同稀釋量所需之降雨深度。模擬初始水深分別為 1.5m、1m 和 0.5m，1.5m 之初始水深是參考林邊鄉養殖區(石斑，高鹽度魚種)，1m 則是本實驗區(廣鹽性魚種)，0.5m 則是貝類養殖的水深，由於 1m 和 0.5m 初始水深的鹽份總量較少，所以鹽份較易受雨水影響。

表 5-2 不同稀釋量所需增加之養殖池水深

稀釋鹽度 $\Delta S$ (ppt)	初始水深 $H_0$ (m)		
	1.5	1	0.5
	稀釋所需之降雨水深 $\Delta H$ (m)		
1	0.064	0.042	0.021
3	0.208	0.139	0.069
5	0.382	0.255	0.127
7	0.594	0.396	0.198
9	0.860	0.573	0.287
11	1.201	0.801	0.400
13	1.656	1.104	0.552
15	2.293	1.529	0.764

備注:  $\Delta S = S_0 - S_1$  = 稀釋鹽度,  $S_0$  = 稀釋前鹽度,  $S_1$  = 稀釋後鹽度;  $\Delta H = H_1 - H_0$  = 稀釋所需之降雨水深,  $H_0$  = 初始水深,  $H_1$  = 稀釋後水深

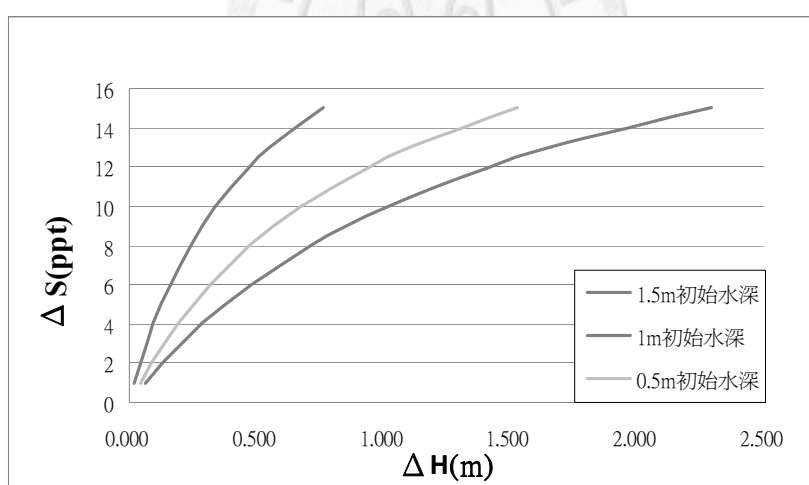


圖 5-11 不同稀釋量所需之降雨深度圖

得知鹽份降至 20ppt 所需之雨量後, 探討鹽度下降至 20ppt 所需的時間, 先不考慮排水, 模擬降雨對鹽度之影響, 利用式 5-3 計算不同初始水深時養殖池鹽度隨時間的變化, 如圖 5-12、圖 5-13 所示, 圖中線段的斜率越緩, 代表該小時降雨量較少, 反之則代表降雨強烈, 降雨強度圖可參考圖 4-3, 初始水深 1.5m 水體較大, 受雨水影響較低, 從降雨開始到結束都並未達下降到 20ppt, 從表 5-1 可

知屏東的高鹽性魚塭有足夠的滯洪水深，即使不排水，池中水位也不至溢流，具滯洪功能。初始水深 1m 及 0.5m 的養殖池分別在約第 10 小時和 14 小時鹽份下降至限制鹽度 20ppt。

若考慮海水補注海水提升鹽度，屏東漁民會以 1:1 排出池水並補注海水，臺灣海水平均鹽度為 34ppt，若加入排水及海水補注，在鹽分下降至 20ppt 時開始補注海水，以圖 5- 14 為例，發現無法保持鹽度在 20ppt 以上，若要保持鹽度，需要堤前補注海水，初始水深 1m 的養殖池需在 21ppt 時開始補注，初始水深 0.5m 的養殖池需在 24ppt 時開始補注如圖 5- 16、圖 5- 18。

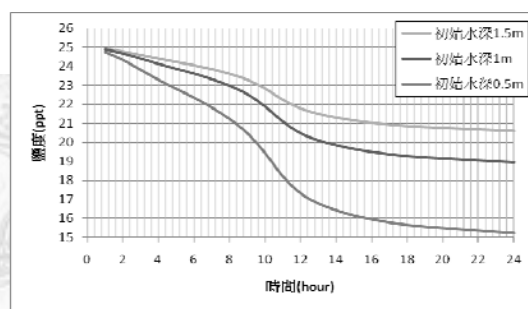
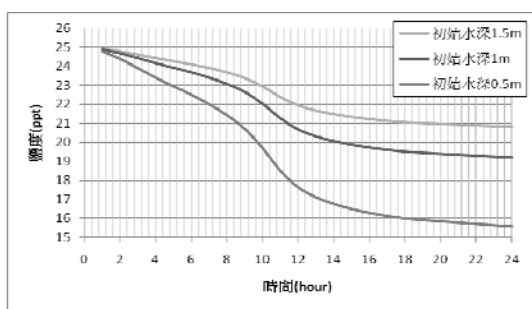


圖 5- 12 在 15 年重現期雨量下養殖池不排水 圖 5- 13 在 25 年重現期雨量下養殖池不排水之鹽度變化圖

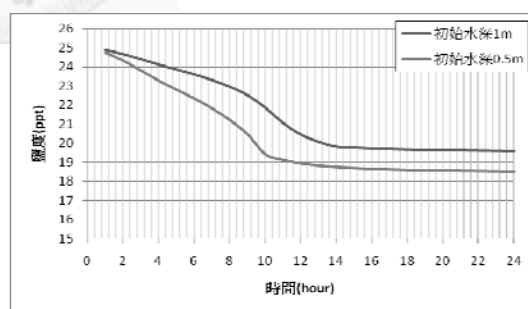
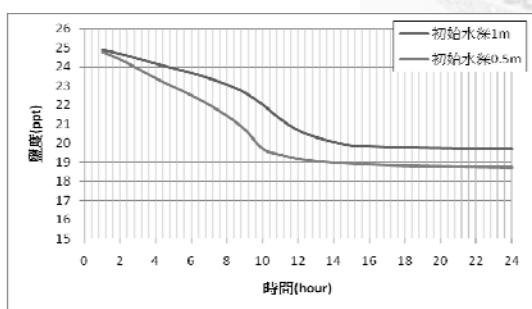


圖 5- 14 在 15 年重現期雨量下鹽度下降至 20ppt 時補注海水 圖 5- 15 在 25 年重現期雨量下鹽度下降至 20ppt 時補注海水

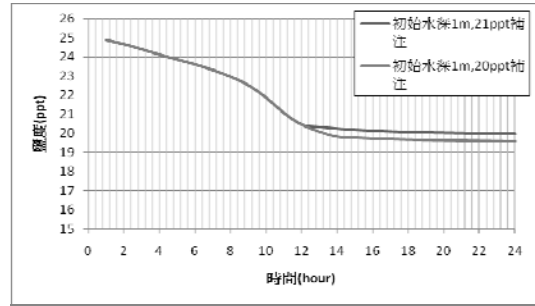
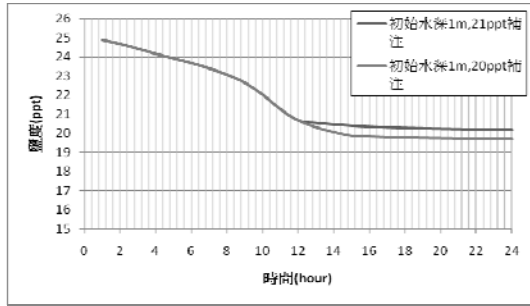


圖 5- 16 在 15 年重現期雨量下初始水深 1m 圖 5- 17 在 25 年重現期雨量下初始水深 1m 提前海水補注之鹽度變化

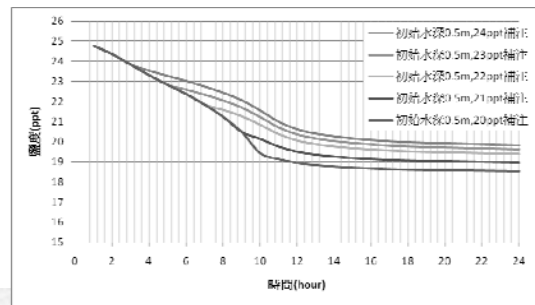
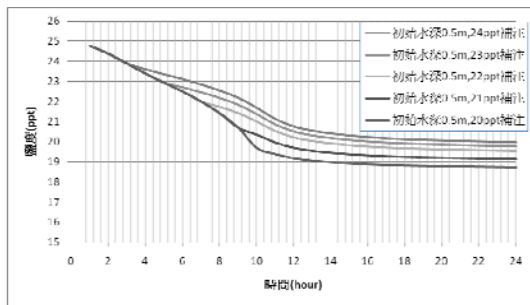


圖 5- 18 在 15 年重現期雨量下初始水深 0.5m 圖 5- 19 在 25 年重現期雨量下初始水深 0.5m 提前海水補注之鹽度變化

以下圖 5- 20 至圖 5- 31 是水位及流量圖，以 15 及 25 年重現期之 24 小時降雨事件作模擬，排水條件只考慮鹽度限制，流量圖的監測點為堤岸最低之排水段，圖 5- 21、圖 5- 23、圖 5- 25、圖 5- 27、圖 5- 29、圖 5- 31 顯示以實驗區各排水路之最高水位，而距離 1400m 處之上游排水路有一點水位最大值，是剛好發生在漲潮接近高潮時間，海水倒灌加上魚塭排水流量，使水位升高。鹽度之起抽條件是設定下降 5ppt 及 3ppt 時起抽，其水位變化較溢流條件明顯，也比溢流條件之排水時間快，圖 5- 7 顯示貝類溢流條件下下游實驗區之最高水位穩定約在 1.12m，貝類鹽度條件較早排水，最高水位達 1.17m，是最容易受鹽度影響之養殖池，漁民需要抽取海水補注，建議加高堤頂及養殖水深，降低降雨對魚塭之影響。

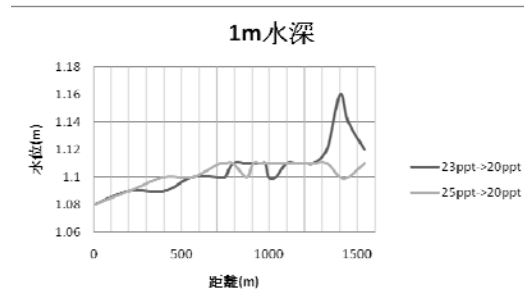
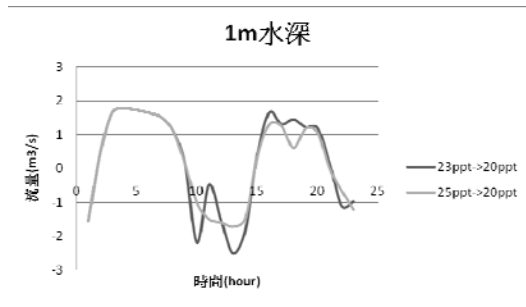


圖 5-20 重現期 15 年下不同鹽度條件下 圖 5-21 重現期 15 年下不同鹽度條件下對  
對排水路之流量影響(養殖廣鹽性魚種) 排水路水位之影響(養殖廣鹽性魚種)

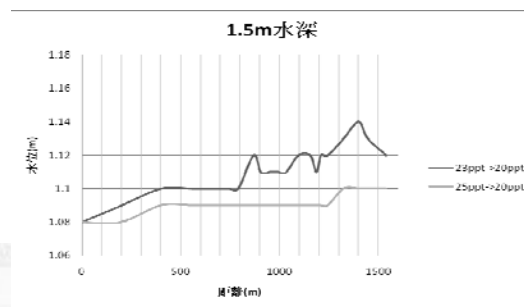
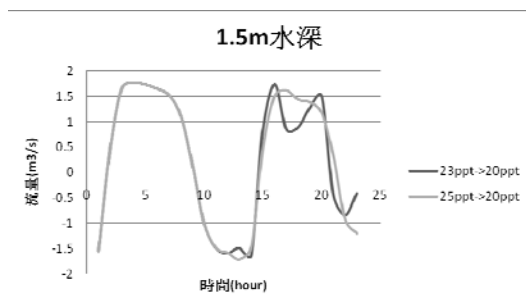


圖 5-22 重現期 15 年下不同鹽度條件下對 圖 5-23 重現期 15 年下不同鹽度條件下對  
排水路之流量影響(養殖高鹽性魚種) 排水路水位之影響(養殖高鹽性魚種)

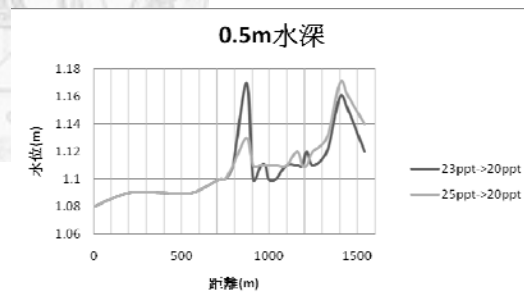
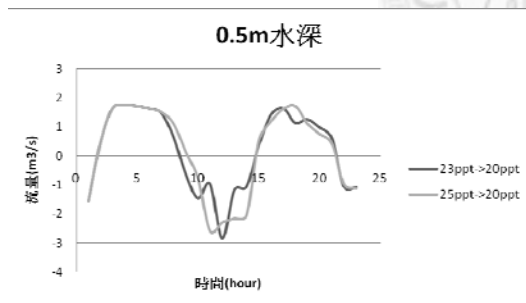


圖 5-24 重現期 15 年下不同鹽度條件下對 圖 5-25 重現期 15 年下不同鹽度條件下對  
排水路之流量影響(養殖貝類) 排水路水位之影響(養殖貝類)



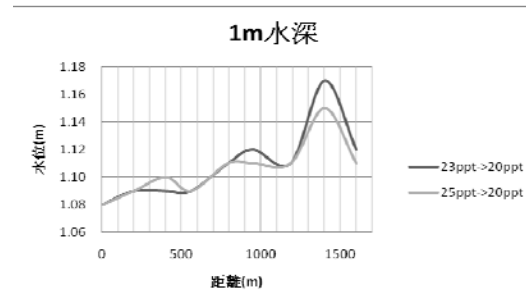
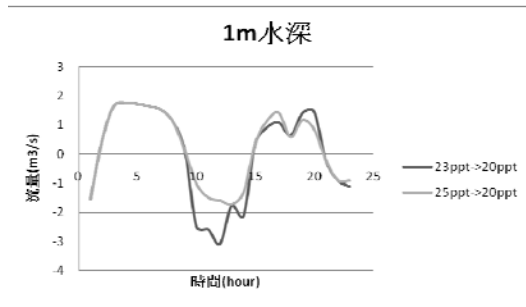


圖 5-26 重現期 25 年下不同鹽度條件下對 圖 5-27 重現期 25 年下不同鹽度條件下對  
排水路之流量影響(養殖廣鹽性魚種) 排水路水位之影響(養殖廣鹽性魚種)

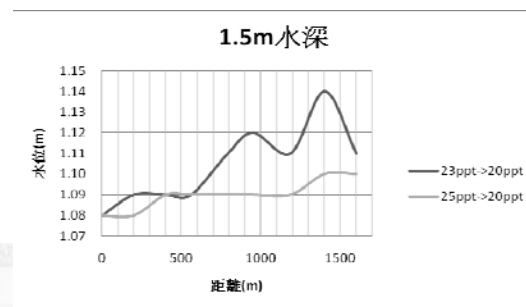
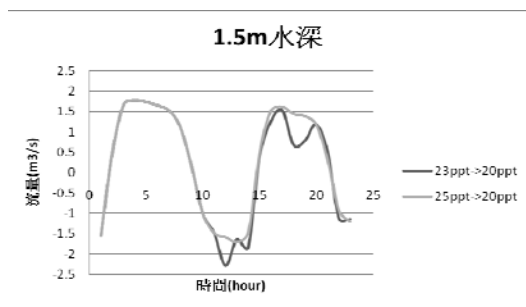


圖 5-28 重現期 25 年下不同鹽度條件下對 圖 5-29 重現期 25 年下不同鹽度條件下對  
排水路之流量影響(養殖高鹽性魚種) 排水路水位之影響(養殖高鹽性魚種)

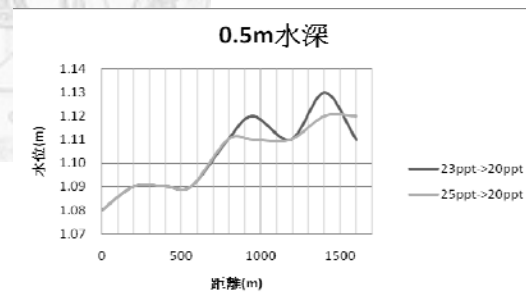
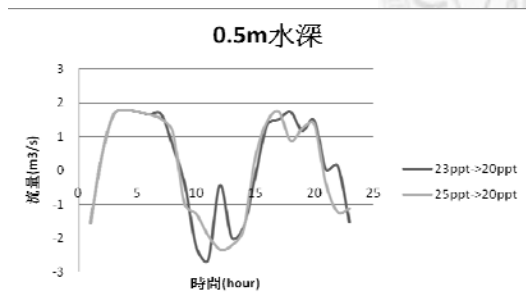


圖 5-30 重現期 25 年下不同鹽度條件下對 圖 5-31 重現期 25 年下不同鹽度條件下對  
排水路之流量影響(養殖貝類) 排水路水位之影響(養殖貝類)

## 5.4 溢流條件及鹽度條件之關係

溢流條件是當魚塭水位儲存足夠雨量而接近堤頂時，抽水機排出池水防止溢流，主要影響因子是魚塭初始水位和堤頂的距離；鹽度條件是當魚塭鹽度經雨水稀釋，池中鹽度下降影響水產之生存條件，故排出池水補注海水，提升鹽度，主要影響因子是魚塭初始水深和降雨量。溢流條件及鹽度條件不會互衝突，只要達到其中一個條件，就應開始排水動作，但一般來說溢流條件比鹽度條件重要，因為生物有適應能力，鹽度短暫下降不會立刻對生物造成傷害，但魚貨會因溢流而逃逸則對漁民造成直接損失。

## 5.5 分析滯洪效果

養殖池和滯洪池不同，滯洪池入流包括上游流量，實驗區養殖池入流為降雨，部份養殖區會抽海水作為入流。因此養殖池之滯洪量應為：

$$(D_{\text{total}} - D_s - 0.4) \times A$$

5-1

初始水深距離堤頂:  $(D_{\text{total}} - D_s) > 0.5\text{m}$

$D_{\text{total}}$ : 養殖池堤頂高;  $D_s$ : 養殖池初始水深

由於養殖池不容許溢流，距離堤頂 0.5m 是滯洪之上限，超過上限應以保護魚貨作優先考慮。滯洪效果主要取決於逕流之洪峰時間，若養殖池在降雨初期即開始儲水，當到達洪峰時段，魚塭已沒有空間容納落雨，各魚塭開始排水，反而加重排水路負擔，如圖 5- 32 模擬實驗區排水道在 25 年重現期降雨事件下之流量歷線，該排水道屬於感潮河段，設定最高潮位在第 9 及 21 小時，圖 5- 32 流量歷線，對照組之排水道旁皆為平地，雨降至平地直接逕流到排水道，對照組的平地面積和魚塭相等。模擬降雨時魚塭先儲水，第 11 小時流量較對照少，但最高水位卻比

對照組高 3cm，顯示漁民排水方法滯洪效果不理想，下一節討論之分段排水可增加魚塭之滯洪效率。

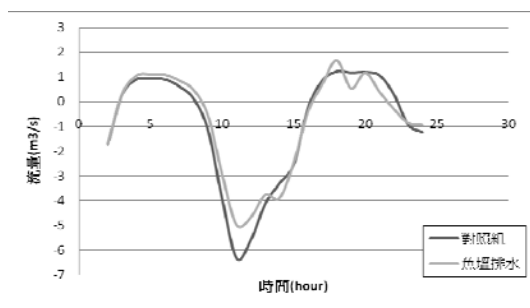


圖 5- 32 排水道流量圖

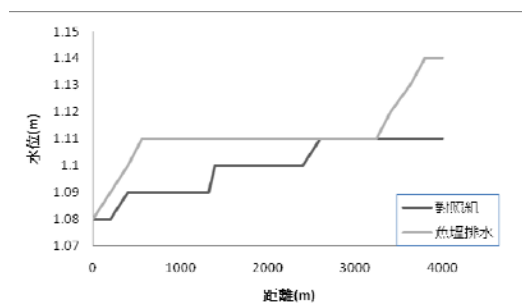


圖 5- 33 排水路之最高水位

## 5.6 評估魚塭抽排策略

將各項邊界或限制條件輸入模式中模擬，預先排水，下游閘門必需開啟，否則排水路水量不會減少。配合降雨條件，模擬兩次降雨，第一次魚塭不排水，水量來自上游集水區，第二次模擬魚塭正常排水，如圖 5- 34，比較魚塭排水時間及排出量，再調整排水時機。

首先模擬降雨的情況，每天潮汐中會有 2 次漲退潮，作為當地 25 年重現期又遇上漲潮的極端狀況，將漲潮時間調整在洪峰時間，以此狀況檢視模式中堤頂較低之河段如圖 5- 34，圖中顯示實驗區排水道之斷面，由最左面到最右面是排水道的下游到上游，下方的是排水之底部，中間的是水位，上方兩線分別為排水路之左右堤岸，以左右岸高程較低段作為監測的指標性河段，然後再模擬一次養殖池不排水情況下，該指標河段之流量變化，可得圖 5- 35，從圖中可得知不同時間養殖池排到該河段的水量，另外可知道養殖池不排水時的尖峰流量。利用魚塭分段排水，使得流量不超過排水路沒魚塭時集流之尖峰流量，養殖池只需要提前把相等於  $\Delta Q$  的逕流量排出，當到尖峰流量時就有足夠容量滯洪，避開在尖峰時間排水。

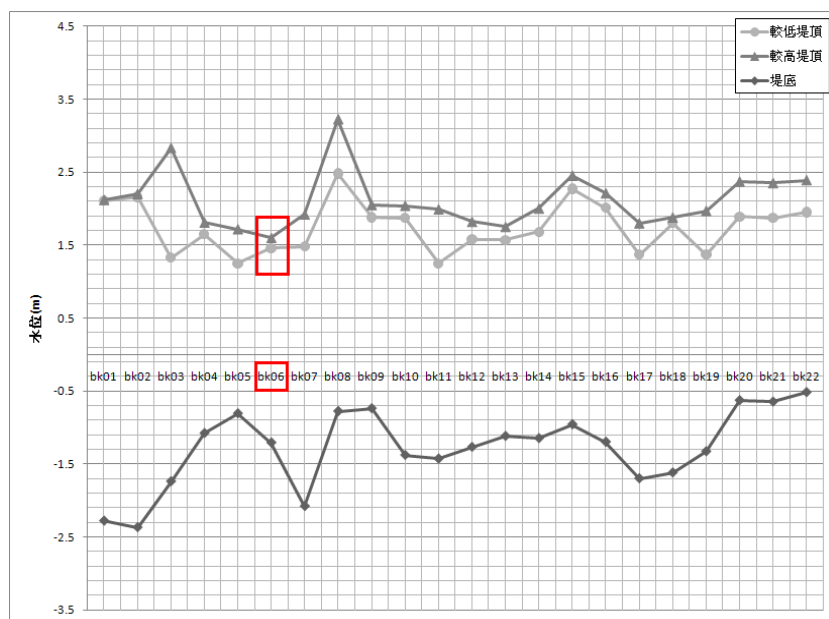


圖 5- 34 實驗區排水路較低點

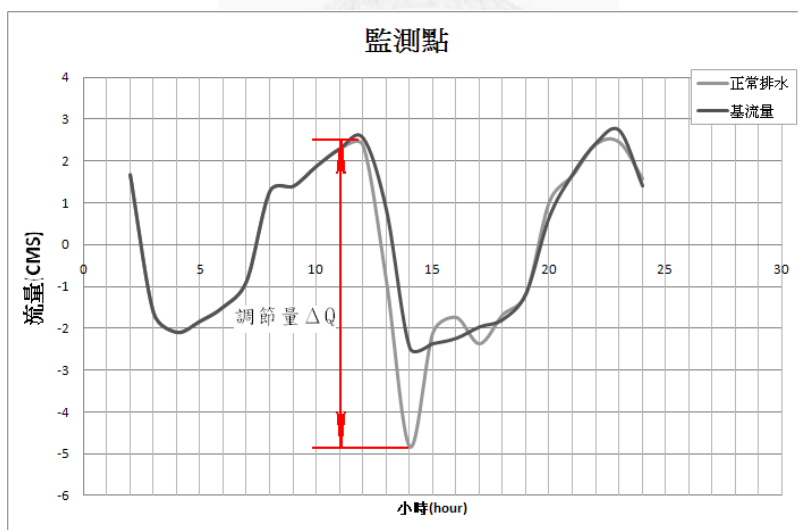


圖 5- 35 比較養殖池排水對洪峰流量之影響

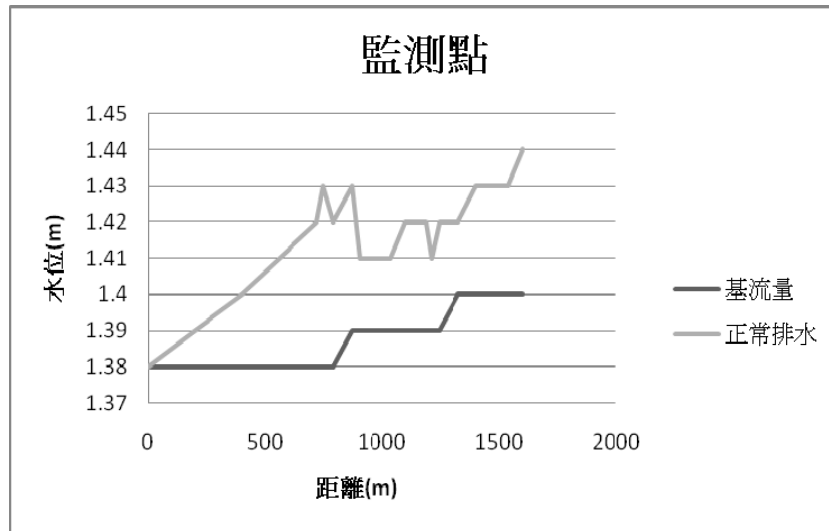


圖 5- 36 排水路最高水位

計算方面，當時間  $t$  為排水之尖峰時間，

$$[Q_{1t1}-Q_{2t1}]+[Q_{1t2}-Q_{2t2}]+[Q_{1t3}-Q_{2t3}]+.....=\Sigma\Delta Q_t$$

$$\Sigma\Delta Q_t \times 3600 = V_{out}$$

$$V_{out}/A_{poor}=D$$

其中， $Q_1$ : 養殖池正常排水時監測點之流量( $m^3/s$ )； $Q_2$ : 養殖池不排水時監測點之流量( $m^3/s$ )； $t$ : 排水路之洪峰時間( $s$ )； $\Delta Q_t$ : 在時間  $t$  之養殖池排水量( $m^3/s$ )； $V_{out}$ : 養殖池排出水之體積( $m^3$ )； $A_{poor}$ : 養殖池面積( $m^2$ )； $D$ : 養殖池需預留的深度( $m$ )

從 95 年水利署「淹水潛勢圖更新前期計畫—演算資料調查及雨量預警之研究」可知道當地雨形，再由氣象局預測當天降雨量及潮汐時間，可套配出尖峰時間及最大流量，模擬魚塢在尖峰時間之排水量，避免尖峰時間加重排水路負擔，魚塢應預留儲水空間，在排水道尖峰時間停止排水，如表 5- 3，假設第 12 小時為尖峰時間，養殖池需要預留 10cm 水深應付尖峰流量，所以養殖池應在第 1 至 9 小時排出降雨，第 10 小時開始儲水至第 12 小時，避開尖峰流量。根據第三章的調查資料，約 3 分地(1 分地等同 66.67 平方 m) 配置一 5HP 馬達，利用 3-1 算式

計出最高抽水量為 0.38cms，養殖池馬達效率為 0.6，故每小時可排出水深為 4.1m，有足夠之排水能力排出降雨。圖 5- 37 是監測點之流量圖，圖中三條線代表養殖池不調整排水時間之流量、調整排水時間之流量和基流量，調整後之洪峰流量不超過基流量，代表調整後養殖池排水並不會加重排水路之負擔，而不調整排水時間，即當魚塭水位達到溢流水位時開始排水，很可能遇上降雨之尖峰時開，降低滯洪效果。提前抽排若使鹽度低於鹽度限制，可補注海水補充鹽份，另外其排水原則和 5.4 節相同。

表 5- 3 養殖池需預留之滯洪水深

小時(hour)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
每小時降雨(mm)	4.61	8.30	10.76	11.37	10.76	10.76	12.92	15.69	20.60	31.67	41.52	33.82
累積降雨深(mm)	4.61	12.92	23.68	35.05	45.82	56.58	69.50	85.18	105.78			
應預留水深 d(mm)	100											

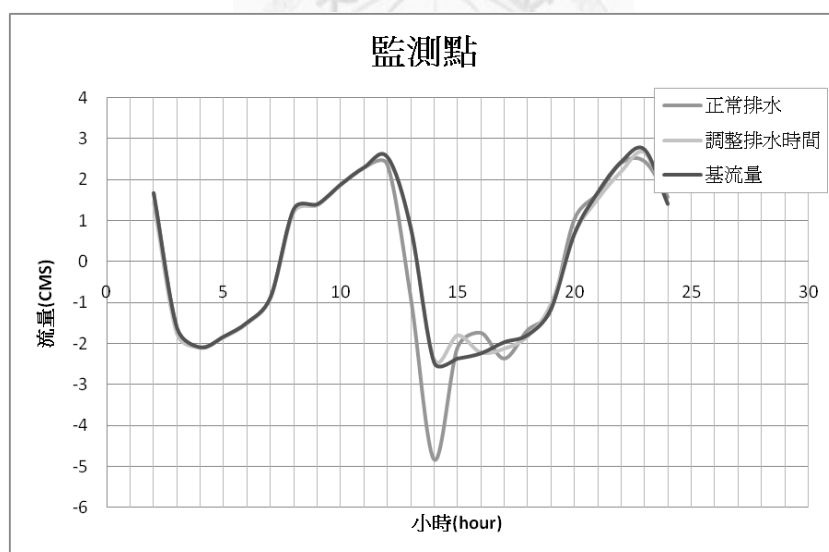


圖 5- 37 調整排水時間前後之流量圖

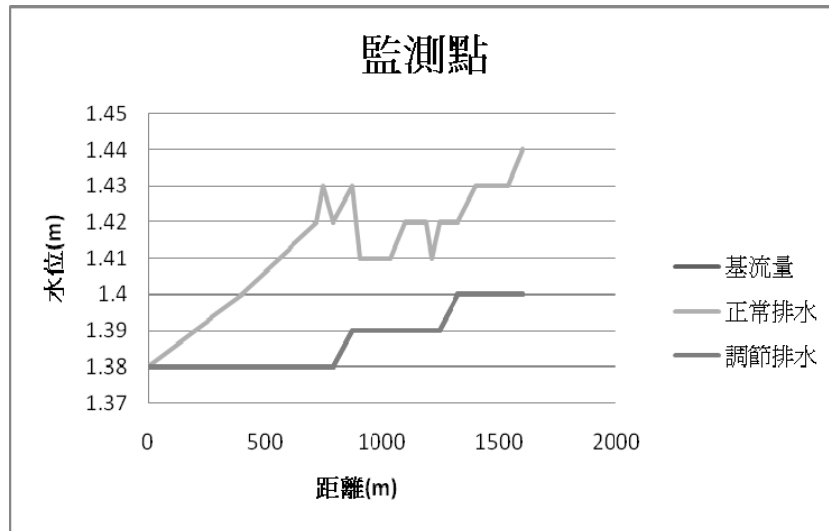


圖 5- 38 排水路最高水位

## 5.7 氣候變遷對排水路之影響

以下氣候變遷之研究只作初步探討，建議未來可作更深入之探討，利用全球環流模式(General Circulation Models, GCMs) 及簡易降尺度法，以 A2 情景推估未來 2010 至 2040 年的水文狀況，最後利用二維淹水模式模擬 2010 至 2040 年 200 年一遇降雨量對目前水利防洪設施的影響。

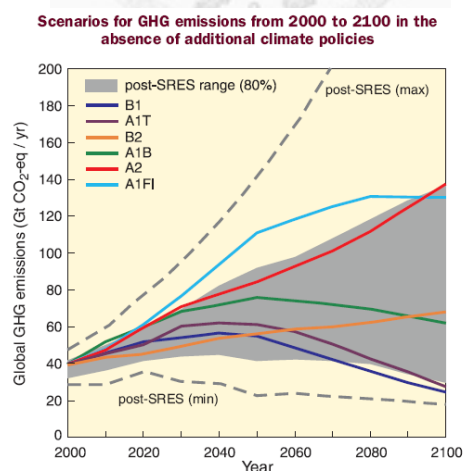


圖 5- 39 各種情境之不同溫室氣體排放情境  
(摘自 IPCC, 2007, Figure3.1)

模擬河川為靠近研究區域之八掌溪軍輝橋次集水區，其集水區為 113.65 km<sup>2</sup> 涵蓋大部份研究區域，為了確保 GWLF 模式的參數設定正確，並符合研究區之流

量特性，選定較接近實驗區之幾個流量站，將河川之集水區面積、土地利用係數和當地氣像資料模擬出每月平均流量，將之和歷史資料比對，得出各站流量圖：

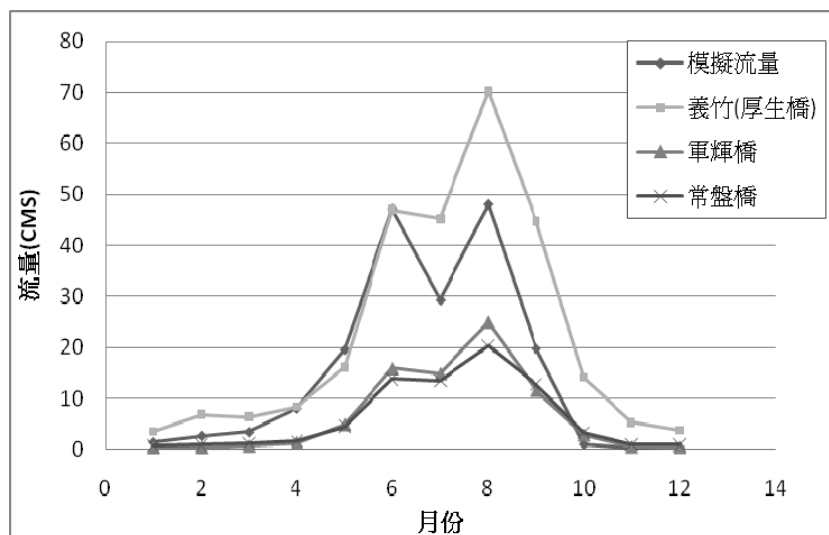


圖 5- 40 實驗區集水區內流量站選定

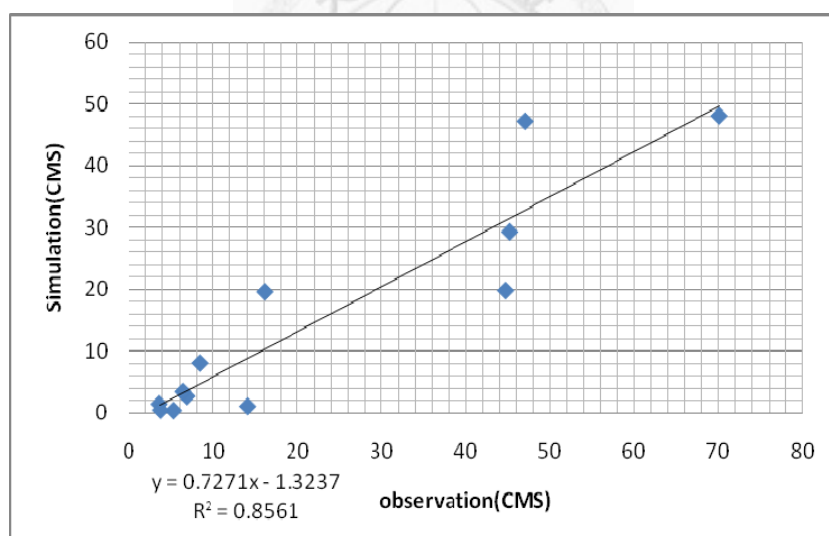


圖 5- 41 模擬值和厚生橋流量之線性回歸

因為厚生橋流量站和模擬流量較接近，所以選取厚生橋站，觀測值和模擬值之回歸值  $R^2 = 0.8561$  達可信範圍。GCM 之模式選取 MRI-CGCM2.3.2、NIES-MIROC3\_2-MED 和 CSIRO-MK3，原因是 MRI-CGCM2.3.2 和 NIES-MIROC3\_2-MED 是日本發展之模式，較能反影臺灣之氣候狀況，CSIRO-MK3 則是澳洲之模式，同理地理位置較接近臺灣。氣候情境則選取 A1B、



A2 和 B1 作分析。結果 A1B、A2 和 B1 之差別極微，因此以下只展示不同模式之短中長期變化。

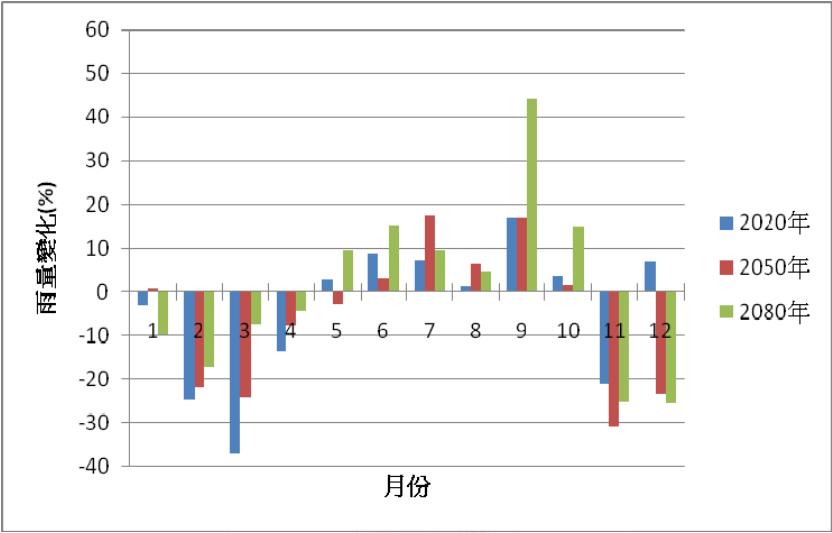


圖 5- 42 MRI-CGCM2.3.2 預測未來雨量

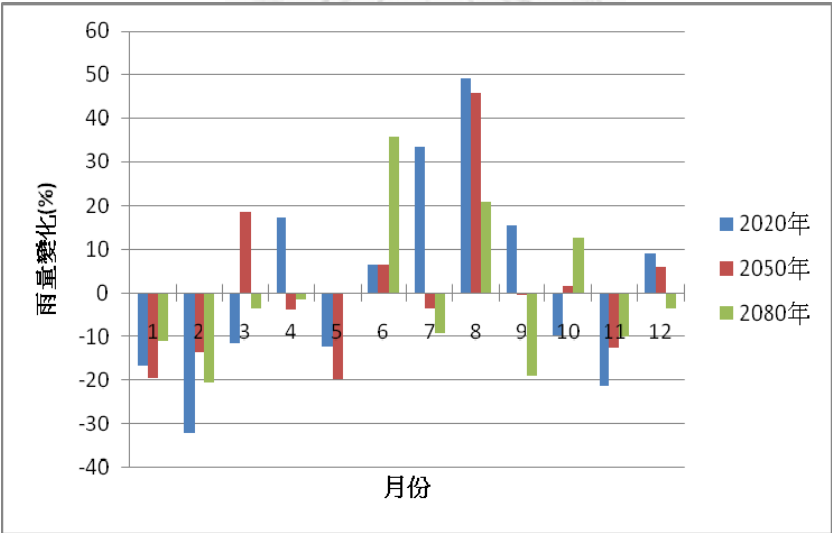


圖 5- 43 NIES-MIROC3\_2-MED 預測未來雨量

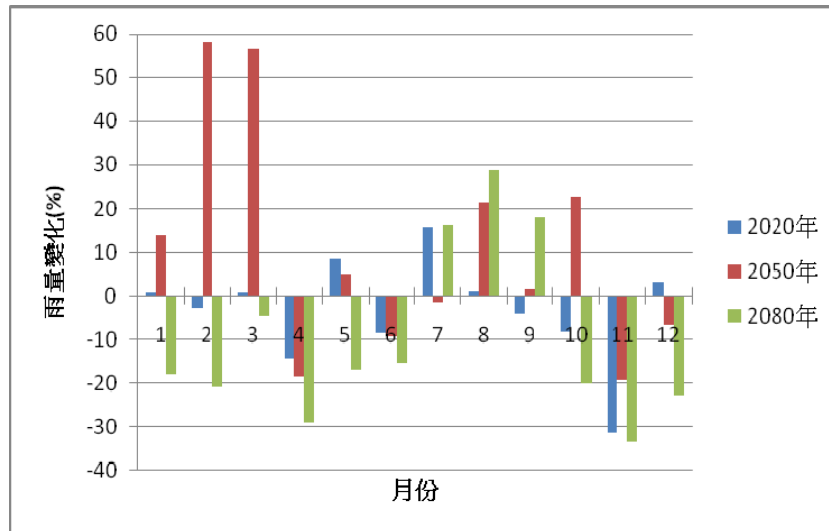


圖 5- 44 CSIRO-MK3 預測未來雨量及溫度

圖 5- 42、圖 5- 43 和圖 5- 44 中的 2020 年、2050 年和 2080 年為模擬未來短、中、長期平均雨量變化。模式 MRI-CGCM2.3.2 預計豐水期 6、7、8、9、10 月之雨量會更集中，1、2、3、4、11、12 月之雨量會減少，NIES-MIROC3\_2-MED 預計未來豐水期降雨量大增，但 7 月份短期雨量增加之後中長期雨量減少。澳洲模式 CSIRO-MK3 預計未來 6 月雨量減少，7、8 月雨量上升。利用各模式 7、8、9 月之極端值計算未來之降雨量，7 月雨量上升 35.7%，8 月雨量上升 49.3%，9 月上升 44%。利用 SWMM 計算 15 年重現期時雨量增加 49.3%，發現排水路能夠承受 15 年重現期時雨量，但若風颱風時期之雨量增加 49%，水位約增加 10cm。

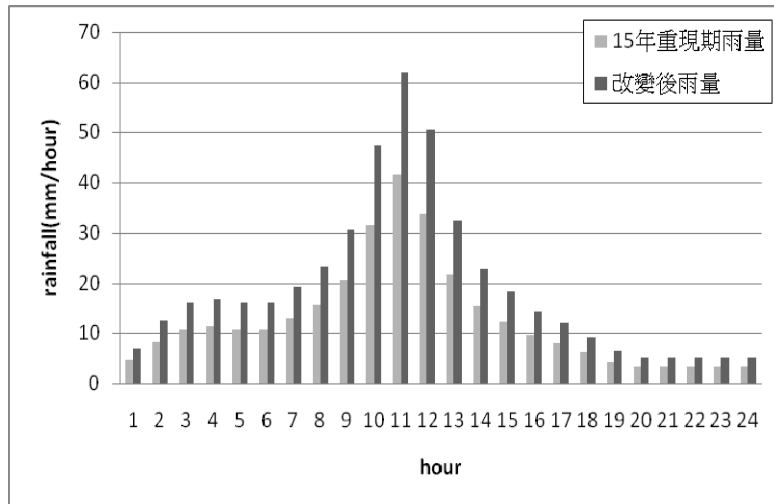


圖 5- 45 氣候變遷下之 15 年重現期降雨

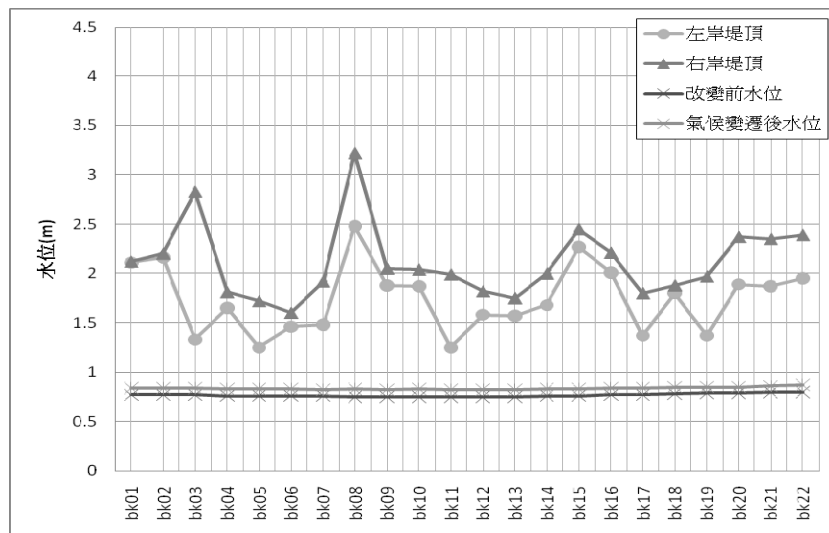
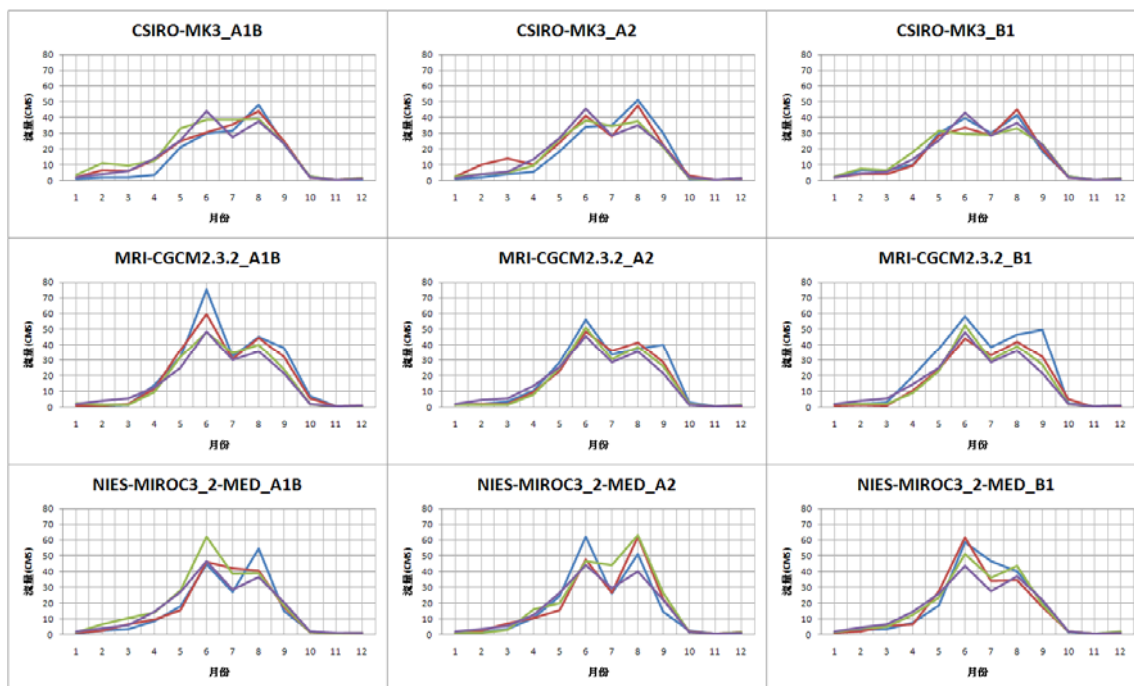


圖 5- 46 雨量增加 49%下之排水路水位



——對照組 ——2080年 ——2050年 ——2020年

圖 5-47 各模式在不同情境下之流量



表 5-4 各模式在不同情境下之流量變化

	Month	A1B			A2			B1		
		2080	2050	2020	2080	2050	2020	2080	2050	2020
CSIRO-MK3	6	-0.32	-0.31	-0.13	-0.25	-0.09	-0.16	-0.09	-0.23	-0.31
	7	0.14	0.29	0.40	0.23	-0.00	0.23	0.05	-0.01	0.01
	8	0.28	0.18	0.04	0.45	0.35	0.06	0.13	0.22	-0.11
	9	-0.03	0.06	0.01	0.36	0.02	-0.03	-0.18	-0.11	0.01
	10	0.56	0.02	0.31	-0.53	0.46	-0.29	0.14	-0.11	0.11
MRI-CGCM2.3.2	6	0.54	0.22	-0.02	0.23	0.07	0.13	0.20	-0.09	0.09
	7	0.08	0.02	0.15	0.18	0.26	0.07	0.36	0.17	0.06
	8	0.26	0.24	0.12	0.05	0.17	0.07	0.29	0.17	0.09
	9	0.77	0.49	0.12	0.86	0.33	0.21	1.32	0.49	0.25
	10	2.50	1.67	-0.09	1.10	0.28	0.45	0.23	1.30	-0.01
NIES-MIROC3_2-MED	6	-0.04	-0.01	0.34	0.42	0.08	0.05	0.35	0.41	0.18
	7	-0.07	0.46	0.34	-0.12	-0.10	0.48	0.68	0.23	0.30
	8	0.49	0.12	0.07	0.28	0.56	0.58	0.07	-0.08	0.17
	9	-0.28	-0.16	-0.11	-0.33	0.02	0.21	-0.04	-0.21	-0.13
	10	-0.11	-0.20	-0.39	0.55	0.19	-0.02	-0.23	-0.03	-0.02

由於淹水災害主要發生在 6-10 月，所以表 5-4 只針對 6-10 月預測流量變動，CSIRO-MK3 預計未來 6 月的流量會減少，7、8 月流量會增加，MRI-CGCM2.3.2 預測 7-9 月流量上升，並集中有 9 月分，NIES-MIROC3\_2-MED 預測未來 8 月分流量會增加，根據以上模式未來 8 月流量都會增加。

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

- (1) 本研究發現現有之魚塭操作對排水路之滯洪效果有限，需調整排水時間，使洪峰時間魚塭排水減少，提高魚塭之滯洪效果。
- (2) 實驗區排水道屬於感潮河段，受潮汐影響，另處於低窪地區，當漁民抽取漲潮半鹹水，作為養殖用途，導致下游防潮閘門效用下降：
  - a) 建議建立中央抽水系統，關閉防潮閘門，可降低潮汐影響，另外現在抽排用水取自同一水路，不能確保水質。建議實驗區建立中央海水供應系統供沿海魚塭利用，好處有兩，第一，魚塭不需抽取排水路之漲潮水，防潮閘門可確實關閉，降低排水系統水位；第二，同一排水路不應用作取水和排水，容易交叉污染，若建立中央海水供應系統，取水可作水質處理及檢驗，可確保水質。
  - b) 建議改建閘門成自動開關，當內水位比外水位高時開啟閘門，相反則關閉，降低人為操作之誤差。
- (3) 在鹽分下降至限制時才開始補注海水，無法保持鹽度在 20ppt 以上，若要保持鹽度，需要堤前補注海水，初始水深 1m 的養殖池需在 21ppt 時開始補注，初始水深 0.5m 的養殖池需在 24ppt 時開始補注
- (4) 嘉義實驗區內，多以半鹹水養殖為主的半密閉系統，排水路屬於感潮河段，大潮平均高潮位約在 1.6m，左岸大部分斷面點發生溢流，建議排水路堤頂高程增加至 1.7m，防止漲潮時發生溢流。
- (5) 豐水期遇上降雨，容易造成溢堤，下游防潮閘門管理對排水路水位影響大。

- (6) 魚種生存以鹽度為考量，初始水深對於養殖池的鹽度影響較大，在屏東，多為初始水深 1.5m 的魚塭(總高 3m)，水體體積大，在 15 年重現期降雨下，鹽度影響不大，只需考慮防止溢堤的狀況，嘉義實驗區為 1m 初始水深，若養殖高鹽度魚種，排洪時需考慮鹽度變化。在鹽分下降至限制時才開始補注海水，無法保持鹽度在 20ppt 以上，若要保持鹽度，需要堤前補注海水。
- (7) 颱風時期，中央氣象局會提供定量降雨及雨型，根據氣象資料可推估未來降雨情況，模擬得出尖峰時間及最大流量，計算養殖池需預留的深度，在洪鋒來臨前預先排水，保留養殖池容量，增加滯洪效果。

## 6.2 建議

- (1) 本研究目前僅針對嘉義區之魚塭作研究，當地鹹水魚種被馴養成廣鹽性魚種，建議未來可以將高鹽度魚種之魚塭地區納入研究。
- (2) 本研所建立之模式尚未考慮海水供應系統，海水供應系統主要供應給養殖高鹽度魚種的魚塭，建議未來進行模式改進時可考慮上述情況。
- (3) 建議未來氣候變遷對沿海地區之影響可作更深入之分析。

## 參考文獻

內政部土地重劃工程局，「農地重劃區農路、水路建造物規格手冊」，2004

行政院農業委員會漁業署，「漁業年報」，2008。

陳弘由、周志芳、林志翰，「嘉義新塭地區綜合治水及土地復育規劃」，第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會，2009。

侯文祥、葉曉娟，「利用微細氣泡機增氧對養鰻池節約地下水使用之效益研究」，台灣水利，55(4):67-76，2007。

曾國鋒，「養殖工程學講義」，2006。

經濟部水利署水利規劃試驗所，「沿海漁塭養殖區之排水觀測與排洪特性研究(1/2)」，2009。

經濟部水利署水利規劃試驗所，「嘉義沿海地區國土復育及永續發展規劃」，2008。

經濟部水利處水利規劃試驗所，嘉義沿海地區綜合治水規劃（北港溪以南至朴子溪以北），2008。

詹文懋，「區域排水系統閘門、泵整合應用之研究（以東石抽水站為例）」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，1999。

鄭耀智，「雲林縣新港北養殖區共同引水設施調查規劃」，2006

J. Kipkemboi, A.A. van Dam, J.M. Mathooko, P. Denny, “ Hydrology and the functioning of seasonal wetlandaquaculture–agriculture systems (Fingerponds) at the shores of Lake Victoria, Kenya,” Aquacultural Engineering, Vol.37,pp. 202–214,2007.

Sing-Hwa Hu, “ Introduction to the Design of Coastal Aquaculture Systems in Taiwan,” Aquacultural Engineering, Vol. 5,pp.235-252,1986

V.A. Tsihrintzis, G.K. Sylaios, M. Sidiropoulou, E.T. Koutrakis, “Hydrodynamic modeling and management alternatives in a Mediterranean, fishery exploited, coastal lagoon,” Aquacultural Engineering, Vol. 36,pp. 310–324,2007



Wheaton F.W. , “ Aquacultural Engineering”, 1985

