

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

洪氾淹水模擬與 3D 地形地貌結合之虛擬實境即時展示技術 研發

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2622-E-002-022-CC3

執行期間：93 年 11 月 01 日至 94 年 10 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學水工試驗所

計畫主持人：賴進松

計畫參與人員：李豐佐, 李碧雲, 張向寬, 劉建位, 鄧良俊, 白華勝, 王士瑋, 陳瑞麟, 蘇清施, 呂文櫻

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 95 年 1 月 16 日

行政院國家科學委員會補助產學合作研究計畫成果完整報告

洪氾淹水模擬與 3D 地形地貌結合之虛擬實境

即時展示技術研發

計畫類別：產學合作研究計畫

計畫編號：NSC 93-2622-E-002-022-CC3

執行期間： 93 年 11 月 1 日至 94 年 10 月 31 日

計畫主持人：賴進松 國立台灣大學水工試驗所副研究員兼
國立台灣大學水工試驗所推廣組組長

計畫參與人員：	李豐佐	國立台灣大學水工試驗所研究生助理
	李碧雲	國立台灣大學水工試驗所研究助理
	張向寬	國立台灣大學水工試驗所研究助理
	劉建位	國立台灣大學水工試驗所研究助理
	鄧良俊	國立台灣大學水工試驗所研究生助理
	白華勝	愛迪斯科技股份有限公司資深程式設計師
	王士瑋	愛迪斯科技股份有限公司介面程式設計師
	陳瑞麟	愛迪斯科技股份有限公司系統規劃設計師
	蘇清施	愛迪斯科技股份有限公司系統整合設計師
	呂文櫻	愛迪斯科技股份有限公司美術設計師

處理方式：完整報告內容因涉及專利、技術移轉案或其他智慧財產權，不予公開。

執行單位：國立台灣大學水工試驗所、愛迪斯科技股份有限公司

中 華 民 國 94 年 1 月 16 日

中文摘要

台灣因其地理與氣候條件特殊，河川短促，降雨量之分佈不均，集中於夏秋兩季，並且常遭颱風或豪雨之侵襲，造成嚴重之水災。近年來由於都會區人口密度增加，土地需求殷切，故河川沿岸地勢低窪之邊際土地多被開發利用，相對地洪水發生時所可能造成災害之機會則大幅提高。而且近年國內外之社群參與及環保意識日漸提昇，公共建設必須經由良好之溝通協商過程，始可順利推展。利用立體互動式虛擬實境(3D/VR)的技術，展現立體之地形地貌，可大幅提升視覺效果。然而在洪氾淹水之數據模擬結果，無法利用目前虛擬實境軟體已有之功能來即時結合 3D 地形地貌之場景，而僅能利用”繪圖”之方式將淹水圖片貼上，不能即時結合 3D 地形地貌之虛擬實境場景，來呈現淹水境況，而無法在防災系統中洪水預警預報模擬中，進行立即之運算展示；若僅用目前之虛擬實境技術，在防災預警報系統中從降雨、逕流、河道中之洪水演算，進而潰溢堤後洪水在洪氾區中運行淹水之範圍與深度，則無法即時呈現於模擬區域中，直接提供決策支援所亟需之資料。本計畫將利用虛擬實境軟體工具，開發出一套結合水理數值模式(洪氾淹水模式)、數值地形高程(DEM)及立體航照圖的展示軟體與介面，立即呈現河川流域洪災發生時的洪氾淹水景況，確實對支援防救災決策層級能提供其更精確的判斷並有效地縮短其反應的時間，即使是不同政府機關或是不同專門領域的人，也能透過立即呈現洪氾淹水的虛擬實境場景，淺顯易懂的了解洪災影響的區域與範圍。

關鍵詞：洪氾淹水模式、虛擬實境、數值地形高程

英文摘要

Influenced by natural and human factors such as climate changes and global warming, the climate seems presenting unusual phenomenon, which may cause severe flooding. Due to growing population in Taiwan, the floodplain has been widely developed by building levees to confine the river flow, especially near the metropolitan areas. The construction of levee around the urban area prevents the damages from flooding. However, the levee built on the floodplain reduces the river cross sections which may originally be large enough to allow the passage of the flood. The water stage in the river can easily rise due to the cross section constriction and to create dangerous situations. To construct a computer-generated world with three-dimensional environments, the technologies of virtual reality involve real-time computer graphics, color displays and simulation software. The three-dimensional virtual reality (3D/VR) environments reshape the interface between people and information technology by offering new ways for the visualization of processes, the communication of information and the creative expression of ideas. The constructed virtual environment containing real-world systems like buildings, bridges, landscapes, motion of the water can represent any 3D world. By using a 3D/VR engine Virtools is employed to edit, select or manipulate 3D models. This proposal for the study is to combine the flood inundation model and the 3D topographical environments by using virtual reality techniques for real-time display.

Keywords : flood inundation model, Virtual reality.

目 錄

	頁次
中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖錄	VI
表錄	IX
謝誌	X
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究目的及方法	1
1.3 文獻回顧及其相關研究	2
1.3.1 洪氾淹水模式	2
1.3.2 洪氾淹水模擬相關研究計畫	3
1.3.3 虛擬實境相關研究計畫	5
第二章 淹水模式之建立	7
2.1 二維淹水模式	7
2.1.1 基本方程式	7
2.1.2 數值方法	8
2.2 起始與邊界條件	10
2.3 模擬案例之建立	11
第三章 即時展示技術之研發	16

3.1 系統構想及技術背景	16
3.1.1 系統構想	16
3.1.2 技術背景	16
3.2 系統執行範圍	17
3.3 系統製作方式	18
3.4 系統流程及架構圖	22
3.4.1.開啟程式	23
3.4.2.進入主選單	23
3.4.3 開啟專案	24
3.4.4.新增專案	25
3.4.5.場景中移動鏡頭方式	27
3.4.6.儲存專案	28
3.4.7.匯出展示檔	29
第四章 虛擬實境即時展示系統	31
4.1 3D 地形地貌結合	31
4.1.1.地形 DTM 載入	31
4.1.2.地形 DTM 設定	32
4.1.3.航照圖載入	34
4.1.4.航照圖設定	35
4.2 淹水模擬與地形地貌結合	37
4.2.1.水深設定	37
4.2.2.載入高程(淹水 DTM)	39
4.3 模組功能及微調系統	42

4.3.1.鏡頭設定	42
4.3.2.導覽路徑設定	44
4.3.3.儲存導覽路徑	45
第五章 結果與討論	46
5.1 研發成果	46
5.2 計畫成果自評	49
5.2.1 實務應用效果	49
5.2.2 效益	50
5.2.3 潛力	50
參考文獻	52

圖錄

	頁次
圖 1.3.1 賀伯颱風時新海橋測站之大漢溪水位歷線	4
圖 1.3.2 兩種潰堤假設之入流歷線	4
圖 1.3.3 模擬演算最大淹水深分布結果	5
圖 1.3.4 汐止國小之淹水調查平均水位與模擬之淹水歷線結果比較	5
圖 2.3.1 基隆河流域 HADCM3 短期模擬結果	11
圖 2.3.2 基隆河流域 HADCM3 中期模擬結果	11
圖 2.3.3 基隆河流域 HADCM3 長期模擬結果	12
圖 2.3.4 鹽水溪流域 HADCM3 短期模擬結果	12
圖 2.3.5 鹽水溪流域 HADCM3 中期模擬結果	13
圖 2.3.6 鹽水溪流域 HADCM3 長期模擬結果	13
圖 2.3.7 I1 模擬區範圍	14
圖 2.3.8 D1 模擬區範圍	14
圖 2.3.9 D2 模擬區範圍	14
圖 2.3.10 D3 模擬區範圍	14
圖 2.3.11 I1 模擬區模擬結果	15
圖 2.3.12 D1 模擬區模擬結果	15
圖 2.3.13 D2 模擬區模擬結果	15
圖 2.3.14 D3 模擬區模擬結果	15
圖 3.3.1 結合地形圖及航照圖	19
圖 3.3.2 結合數值模擬結果及 DEM 資料之流程圖	21

圖 3.3.3 結合數值模擬結果及 DEM 資料之成果	21
圖 3.4-1 系統流程架構圖	22
圖 3.4-2 系統操作流程圖	23
圖 3.4.1.1 系統開啟圖	23
圖 3.4.2.1 系統開啟圖	24
圖 3.4.3.1 專案開啟圖 1	24
圖 3.4.3.2 專案開啟圖 2	25
圖 3.4.4.1 新增專案開啟圖	25
圖 3.4.4.2 新增專案開啟圖 2	26
圖 3.4.4.3 新增專案開啟圖 3	26
圖 3.4.4.4 新增專案開啟圖 4	27
圖 3.4.6.1 儲存專案開啟圖 1	28
圖 3.4.6.2 儲存專案開啟圖 2	29
圖 3.4.7.1 匯出展示檔開啟圖 1	29
圖 3.4.7.2 匯出展示檔開啟圖 2	30
圖 4.1-1 3D 地形地貌結合操作流程圖	31
圖 4.1.1.1 地形 DTM 載入開啟圖 1	31
圖 4.1.1.2 地形 DTM 載入開啟圖 2	32
圖 4.1.2.1 地形 DTM 設定圖 1	33
圖 4.1.2.2 地形 DTM 設定圖 2	33
圖 4.1.3.1 航照圖載入圖 1	34
圖 4.1.3.2 航照圖載入圖 2	34
圖 4.1.3.3 航照圖載入圖 3	35

圖 4.1.4.1 航照圖設定圖 1	36
圖 4.1.4.2 航照圖設定圖 2	36
圖 4.2-1 淹水模擬與地形地貌結合操作流程圖	37
圖 4.2.1.1 水深設定展開圖 1	37
圖 4.2.1.2 水深設定展開圖 2	38
圖 4.2.2.1 載入高程(淹水 DTM)展開圖 1	39
圖 4.2.2.2 載入高程(淹水 DTM)展開圖 2	40
圖 4.2.2.3 載入高程(淹水 DTM)展開圖 3	40
圖 4.2.2.4 載入高程(淹水 DTM)展開圖 4	41
圖 4.2.2.5 載入高程(淹水 DTM)展開圖 5	42
圖 4.3-1 模組功能及微調系統操作流程圖	42
圖 4.3.1.1 鏡頭設定展開圖 1	43
圖 4.3.1.2 鏡頭設定展開圖 2	43
圖 4.3.2.1 導覽路徑設定展開圖	44
圖 4.3.3.1 儲存導覽路徑展開圖	45
圖 5.1.1 自動生成 3D 立體地形圖	46
圖 5.1.2 3D 立體地形圖結合航照圖	47
圖 5.1.3 結合 3D 立體地形圖、航照圖及淹水模擬	47
圖 5.1.4 設定自動導覽路徑	48
圖 5.1.5 輸出成網頁格式	48

表錄

	頁次
表 3.2.1 程式包含內容	18
表 3.4.4.1 新增專案目錄資料夾	27

謝 誌

本研究承蒙國科會經費補助（計畫編號：93-2622-E-002-022-CC3），台灣大學水工試驗所協助本計畫之執行，愛迪斯科技股份有限公司提供虛擬實境相關技術支援，以及經濟部水利署第十河川局提供虛擬實境相關資料，謹此致謝。

第一章 緒論

1.1 前言

台灣的經濟迅速成長，人口集中於都會區中，使得近年來各地區都市化的現象日益顯著，特別是沿河兩岸開發之都市；因之，都市水文有關問題亦日趨重要。且台灣地處亞熱帶，因其地理與氣候條件特殊，河川短促，降雨量之分佈不均，集中於夏秋兩季，並且常遭颱風或豪雨之侵襲，造成嚴重之水災。近年來由於都會區人口密度增加，土地需求殷切，故河川沿岸地勢低窪之邊際土地多被開發利用，相對地洪水發生時所可能造成災害之機會則大幅提高。

近年國內外之社群參與及環保意識日漸提昇，公共建設必須經由良好之溝通協商過程，始可順利推展。利用立體互動式虛擬實境(3D/VR)的技術，展現立體之地形地貌，可大幅提升視覺效果。以本計畫主持人曾執行參與之「基隆河整體治理計畫(前期計畫)防洪成效立體互動式虛擬實境展示」及「基隆河整體治理計畫(前期計畫)堤防工程立體互動式虛擬實境展示」計畫，其展示基隆河整治完工前後之景況，不但有助於工程規劃作業，並可促進與各界人士之溝通，證明為極具展示效果之工具；由於執行成果十分良好，計畫主持人曾伴隨水利署陳署長，在去年(92 年)向經濟部林部長報告，並到經建會向林副院長簡報基隆河虛擬實境之成果展示，且在去年底最後一次行政院院會向游院長報告成果，獲得高度肯定。

然而，在執行上述計畫時，發現仍然有很多困難處，等待相關技術的研發與突破。其中一個困難點即是在洪氾淹水之數據模擬結果，無法利用目前虛擬實境軟體已有之功能來即時結合 3D 地形地貌之場景，而僅能利用”繪圖”之方式將淹水圖片貼上，不能即時結合 3D 地形地貌之虛擬實境場景，來呈現淹水境況，而無法在防災系統中洪水預警預報模擬中，進行立即之運算展示；若僅用目前之虛擬實境技術，在防災預警報系統中從降雨、逕流、河道中之洪水演算，進而潰溢堤後洪水在洪氾區中運行淹水之範圍與深度，則無法即時呈現於模擬區域中，不足以直接提供決策支援所亟需之資料。

因此，在本計畫特別針對目前已有之虛擬實境製作技術，增加其功能，改進其即時展示及資料運算之技術，開發出一套結合水理數值模式(洪氾淹水模式)、數值地形高程(DEM)及立體航照圖地貌實景的展示軟體與操作介面，立即呈現河川流域洪災發生時的洪氾淹水景況。

1.2 研究目的及方法

近年來，由於氣候變遷、全球暖化等自然或人為因素之影響，使得全球產生氣候異於往常的現象。而台灣地區也發現了降雨強度增加、延時縮短的現象發生，其亦加

劇洪災淹水的範圍與深度，對於現有防洪系統更是一大考驗。

本計畫的目的擬利用虛擬實境軟體工具 3D Max、Virtools 及相關程式語言(C++、Fortran)，開發出一套結合水理數值模式(洪氾淹水模式)、數值地形高程(DEM)及立體航照圖的展示軟體與介面，立即呈現河川流域洪災發生時的洪氾淹水景況，確實對支援決策層級能提供其更精確的判斷並有效地縮短其反應的時間，即使是不同政府機關或是不同專門領域的人，也能透過立即呈現洪氾淹水的虛擬實境場景，淺顯易懂的了解洪災影響的區域與範圍。

1.3 文獻回顧及其相關研究

本計畫的目的乃是，開發出一套結合水理數值模式(洪氾淹水模式)、數值地形高程(DEM)及立體航照圖的展示軟體與介面。因此，以下將敘述相關之洪氾淹水模式，及本計畫主持人主持或參與之研究計畫，並說明評估相關展示技術。

1.3.1 洪氾淹水模式

洪氾淹水模式乃是針對洪水波傳播運行之模擬。Bolloffect 等[20]曾以一維變量流方程式為基本控制方程式，將洪氾區依地勢分隔為若干格網，網格間以管線相連接，利用管網分析法建立空間二維性網路模式(space two-dimensional network model)，以研究潰壩後洪水在洪氾區中傳播之情形。國內顏等[15]曾應用水庫瀦蓄之概念，以一維變量流理論探討濁水溪下游堤防潰決後洪水波傳遞之狀況。

Preissmann 與 Cunge[21]曾研究洪氾淹水區準二維洪流模式(quasi-two-dimensional flood plain flow model)，其將洪氾淹水區依地形和地貌，如灌溉渠道、低堤、涵洞等水工構造物，做為核胞(cell)網格畫分之根據，配合其所發展之理想化渠道、堰等概念模式，利用一維變量流理論，以隱式法聯立解得各網格中心之水深歷線，爾後應用於湄公河三角洲低窪之洪氾平原區；Vongvisessomjai 等[22]再將此模式推廣應用於曼谷地區。國內許等[5,6,7]曾以上述模式之概念建立淹水核胞模式(cell model)應用於台灣地區八掌溪北岸流域；蔡等[1,9,10]亦以核胞格網之觀念建立淹水模式，得到合理的模擬結果。不過上述方法需在洪氾區內廣設水文站來獲得長期洪水水位觀測記錄，以檢定模式中各種參數，如此模式方能符合實況，Xanthopoulos 等[23]簡化二維性變量流方程式，利用有限差法(FDM)求解潰壩後洪流運行於洪氾平原之流況。

國內賴[11]利用有限差分法解忽略慣性項之二維水深平均變量流方程式，將之應用於三重蘆洲地區之淹水模擬[16]。顏等[16,17]將此模式銜接淡水河系之洪水演算，以模擬潰堤後洪流在洪泛區傳播之情形；之後，又將之推廣使用於大台北都會區結合都市排水模擬，研究暴雨時都市淹水情形，以作為大台北都會區捷運車站入口高程設計之依據[18]。許等[2,3,4]亦曾將此模式應用於基隆河沿岸低窪地區及八掌溪流域淹水之模擬。最近由台灣省水利處委託台灣大學水工試驗所執行之「淡水河整體洪水預報系統模式之研發」、「花蓮市排水及美崙溪河口淤砂之研究及改善計畫」，台灣高鐵公司委託

「高速鐵路沿線車站及維修調車基地淹水位之研究」計畫案中，在淹水模擬模式方面，亦採用二維零慣性淹水模式[19]來進行淹水路徑及範圍之模擬。

洪水流經廣闊之淹水地區時，應可以忽略二維水深平均變量流方程式中之慣性項，得到二維零慣性(zero-inertia)方程式來描述水流流況[16,17]以簡化模式，減少電腦 CPU 時間。二維零慣性淹水模式乃依據本計畫主持人在民國七十五年參與國科會防災科技研究計畫「淡水河系洪水演算模式(4)堤防潰決洪流模式之建立」，所發展出來之二維性洪流演算模式為基礎，加以改進研發，其利用 MAC(marker & cell)之差分觀念，以交替方向顯式法(alternating direction explicit scheme)來解二維零慣性方程式，建立二維零慣性淹水模式。

本計畫中洪氾淹水模式將採用二維水深平均變量流理論為基礎，忽略加速度項建立之二維零慣性淹水模式，期可模擬計算淹水區內各時段洪水波鋒線前進之位置，以及淹水面積、淹水深度、淹水時間等水理現象。由於淹水區洪水下游移動邊界條件無法得知，亦即波鋒線前進位置難以預測，故採行顯式法計算[11]。

1.3.2 洪氾淹水模擬相關研究計畫

(1)計畫名稱：河川潰堤淹水模式之研究(一)(二)(三)[12]

本研究計畫為整合型計畫：「都會區淹水區域預測之研究(一)(二)(三)」之一子計畫，將以台北都會區為研究對象，結合國科會環發會在氣象方面規劃之颱風統計預測方法研究群及台灣省水利局正在進行之河川洪水預報系更新作業，期以模擬及預測都會區淹水情。而本研究透過二維零慣性淹水模式之研發，藉以準確掌握洪水傳播及淹水域區內之水理特性，期建立一完善之台北都會區洪水與淹水預報模式，以非工程之預警方法，減少台北都會區水患之損失。

計畫之研究內容將分三年依序進行。第一年完成以有限差分法建立二維零慣性淹水模式，給定在潰決處假設之入流歷線，初步模擬水流在潰堤後之運行，探討兩模式間之差異；接著第二年，以本整合型計畫中指定之都會區進行潰堤淹水模擬，準備地形資料及網格劃分，利用第一年建立之模式加以演算來測試模式之適用性。第三年則以整合計畫中指定之淹水區域（台北縣三重、蘆洲及新莊、樹林地帶），進行不同重現期距降雨造成之淹水模擬，以提供河川洪水發生造成潰堤時整體性都會區淹水預報、淹水潛勢及防災系統防護之參考依據。

針對潰堤之淹水情況進行模擬，並說明成果。模擬區域為新莊樹林區，潰堤位置假設為大漢溪新海橋處。本研究假設兩種潰堤情形：(1)以 85 年賀伯颱風在新海橋處之大漢溪水位歷線為外水位條件（如圖 11.3.2.1 所示），潰堤寬度假設為一個網格寬度 120 公尺，潰堤高度由堤頂至地表；由堰流公式計算可得潰堤入流歷線（如圖 11.3.2.2 所示）。(2)以大漢溪 200 年頻率尖峰洪水位為外水位條件，並以顏等(1986)採用之瞬時潰堤入流歷線作為入流歷線之依據，潰堤寬度設定為 20 公尺，潰堤高度亦由堤頂至地表，計算所得之入流歷線如圖 1-2 所示。模擬演算結果可得新莊樹林區在 200 年重現

期距降雨及兩種潰堤假設下之最大淹水分佈圖，並知在暴雨來襲時發生潰堤將發生嚴重的淹水情況。以提供河川洪水發生造成潰堤時整體性都會區防災系統防護之參考。

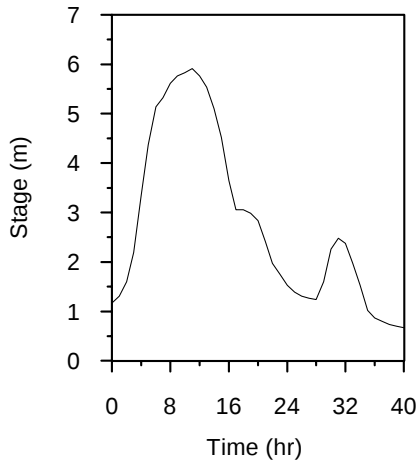


圖 1.3.1 賀伯颱風時新海橋測站之大漢溪
水位歷線

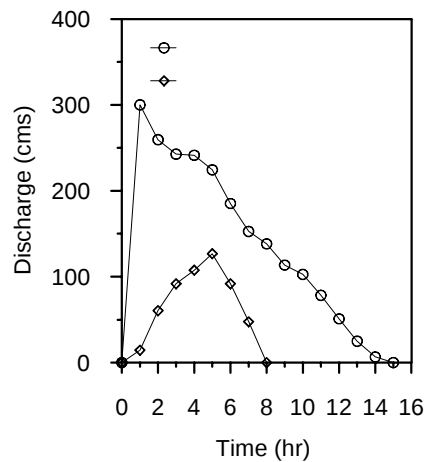


圖 1.3.2 兩種潰堤假設之入流歷線

(2) 計畫名稱：高速鐵路苗栗、彰化與雲林車站及汐止基地淹水防洪之研究[8]

由於台灣地區水文特殊，豪雨及暴雨所造成之水災時常發生，若鐵路車站及調車維修基地一旦遭受水患，其損失之嚴重將難以估計。因此，台灣高速鐵路股份有限公司於民國 86 年委託國立台灣大學辦理「高速鐵路沿線車站及維修基地淹水位之研究」計畫，針對台北、桃園、新竹、台中、嘉義、台南與高雄等七處車站及鄰近之維修調車基地進行淹水防洪之研究，研究成果已提供高速鐵路車站設計之參考。本計畫「高速鐵路苗栗、彰化與雲林車站及汐止基地淹水防洪之研究」為前一計畫之後續研究，目的為研究高速鐵路苗栗、彰化與雲林車站及汐止基地於 100 年與 200 年重現期距之潛在淹水位；並提出車站與維修調車基地洪防措施之相關建議，以作為各車站設計時之參考依據。

工作內容包括高速鐵路苗栗、彰化與雲林車站及汐止基地區域水大及地文資料蒐集整理、所屬集水區內雨量資料分析、長延時與短延時之雨型設計、100 年與 200 年重現期距雨量推估、上游集水區降雨逕流量演算和利用二維淹水模擬 100 年與 200 年重現期距雨量之淹水之情況。另外，考察國內外相關之車站防洪保護措施，並針對研究範圍內高鐵系統之防洪編組與淹水改善提出建議。

(3) 計畫名稱：基隆河流域颱風發生潰堤災害之境況模擬(一)(二)(三)[13]

台灣地區河川短促，陡坡流急，每當颱風暴雨來臨，河川中水位高漲，河川沿岸地勢低窪的洪泛平原每每氾濫成災；且若颱風或豪雨形成大洪水時，水位一旦高出堤防漫溢而下，奔流而入高速大量的洪水即刻可能造成嚴重的災害。為了探討都市區內因颱風或豪雨所造成之洪流流況及淹水情況，本子計畫模擬研究區範圍洪流之傳遞現象以及可能之淹水深度與淹水範圍。

本研究計畫為整合型計畫：「防洪示範區淹水境況模擬與決策支援系統之研究」之

一子計畫，將以基隆河流域為研究對象，收集研究區域之降雨資料與地文資料，將透過平面二維淹水模式之研發，利用有限差分法建立二維零慣性淹水模式，以模擬瑞伯颱風事件下，基隆河流域中游段汐止、五堵地區之可能淹水範圍與淹水深度。另外，將針對模擬演算結果做初步之分析，輸出研究區域內三個代表性地區，長安國小、汐止國小及汐止鎮公所之淹水歷線，將其模擬演算結果與淹水範圍調查結果進行比較。整理瑞伯颱風事件之雨量資料與地文資料，並於模式中給定邊界條件，進行基隆河流域之淹水模擬，模擬時間為民國 87 年 10 月 15 日上午 12 點至 10 月 17 日上午 7 點，共 56 小時。淹水模擬結果顯示隨著最大尖峰流量過後，康誥坑溪下游之智慧里及北岸之江北里，淹水現象尚未減少，且淹水深高達 3 公尺以上。圖 11.3.2.3 為模擬演算至 48 小時內最大之淹水深分布結果，其中實線所框繪之範圍為台灣省水利處之瑞伯颱風基隆河流域(汐止、五堵)淹水範圍調查結果。結果顯示淹水趨勢與淹水範圍調查結果相近。另外，模擬演算最後輸出淹水歷線，圖 11.3.2.4 為汐止國小之模擬淹水歷線與淹水範圍調查之平均淹水位比較結果。

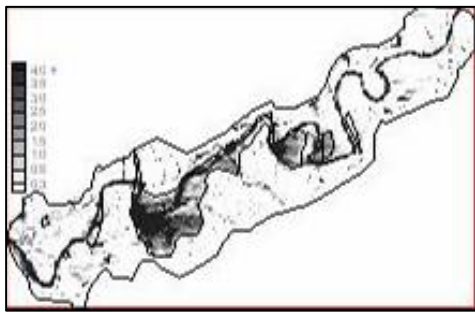


圖 1.3.3 模擬演算最大淹水深分布結果

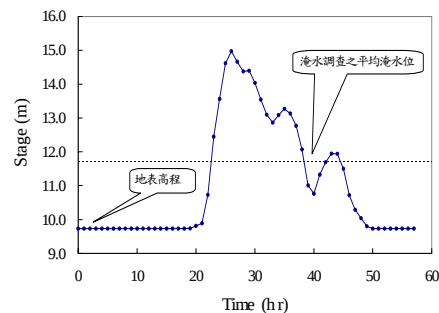


圖 1.3.4 汐止國小之淹水調查平均水位與模擬之淹水歷線結果比較

1.3.3 虛擬實境相關研究計畫

(1) 計畫名稱：基隆河整體治理計畫(前期計畫)防洪成效互動 3D 虛擬實境展示[13]

該計畫之目的為針對基隆河整體治理計畫之前期計畫（包括員山子分洪工程及防洪區塊河道堤防工程）完成前後，藉由電腦繪圖之 3D 立體虛擬實境展示各重現期距洪水發生時，基隆河沿岸整體防洪治理成效之境況；同時利用虛擬實境技術將經濟部水利署第十河川局正在執行之員山子分洪工程計畫，生動而具體地呈現其工程設計構造佈置、施工前後週圍之環境變化，洪水來臨時之分洪效果。且透過網際網路之傳輸，達成政策說明及與民眾直接互動之成效。

(2) 計畫名稱：基隆河整體治理計畫(前期計畫)堤防工程立體互動式虛擬實境展示

基隆河流域兩岸社區發展迅速，無法拓寬河道以容納因人為過度開發所增加之逕流量，導致河川兩岸低窪地區常遭洪水氾濫成災。為解決當務之急，政府正積極推動基隆河整體治理工作，其中前期計畫的防洪工程部分，以分區塊治理方式分年分期辦

理；基隆河整體治理計畫(前期計畫)共分為過港、大華、樟樹、鄉長、北山、碇內、七堵、橋東、百福、六堵及瑞芳區塊等十一個區塊，行政區域屬台北縣及基隆市。為使堤防型式及美綠化設計能展現當地特有的特色，並能以電腦模擬之方式呈現出來，透過互動式虛擬實境之場景展示與操作，讓想像和成果能更為接近，縮短決策、增進設計工作效率、促進溝通協商。本計畫應用 3D 虛擬實境網路互動相關技術，輔助即將進行的堤防設計作業，使內部工程決議得到較優良之溝通，且可結合網際網路，提供民眾良好之互動展示管道。

第二章 淹水模式之建立

根據本計畫之目的乃在開發出一套結合水理數值模式(洪氾淹水模式)、數值地形高程(DEM)及立體航照圖的展示軟體與介面。為準確模擬水流在地表之流動情形，本研究採用二維淹水模式來模擬探討，藉由二維零慣性波 (non-inertia wave) 傳遞理論為基礎，利用二維交替方向顯式 (ADE) 差分法建立二維地表漫地流數值模式，以模擬地表漫地流之水流動態、淹水範圍及淹水深度。模式並可納入降雨、入滲、重力排水、抽水站及河川溢堤等多項功能。本節將針對二維淹水模式之理論部分敘述如下：

2.1 二維淹水模式

2.1.1 基本方程式

對於一般之地表漫地流而言，變量流方程式中加速項之大小級次 (order of magnitude) 通常遠小於重力項或摩擦項。假設洪水歷線上升平緩，且忽略科氏力、風力及加速項之影響，則地表漫地流況可用二維零慣性模式予以描述，其控制方程式可簡化如下：

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial (ud)}{\partial x} + \frac{\partial (vd)}{\partial y} = q \quad (2-1)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = u \left[\frac{n_x^2 |u|}{d^{4/3}} + \frac{q}{dg} \right] \quad (2-2)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} = v \left[\frac{n_y^2 |v|}{d^{4/3}} + \frac{q}{dg} \right] \quad (2-3)$$

式中， x, y : 模擬地模擬區標示之迪卡兒空間座標[m]；

t : 時間座標[sec]；

d : 模擬區地表水深[m]；

u, v : 分別為沿 x, y 方向之平均流速[m/sec]；

n_x : 沿 x 方向之曼寧糙度值[m^{1/6}]；

n_y : 沿 y 方向之曼寧糙度值[m^{1/6}]；

h : $d + z$ ，地表水位[m]；

z : 地表高程[m]；

g : 重力加速度[m/sec*2]；

q ：單位表面積之側流量[m/sec]，為有效降雨強度。

(2-1)式為連續方程式；(2-2)式、(2-3)式分別為沿 x, y 方向之運動方程式。若地形高程、曼寧糙度和側流量已知，則(2-1)、(2-2)及(2-3)式含有三個因變數 d, u, v 。此含三個因變數的偏微分聯立方程式，須利用數值方法求解之。

2.1.2 數值方法

假若地表於初始時刻為無水狀態，洪流傳遞之前緣與乾地表接觸之交界鋒線將隨時間向下游推進，為簡易處理這種移動邊界水流流況，本文採用交替方向顯式差分法（Alternating Direction Explicit Method，簡稱 ADE）以建立模式。依標示網格（Marker And Cell，簡稱 MAC）差分觀念，若將(2-1)、(2-2)及(2-3)式中任意變量以 f 表示，其中 f 可代表 d 、 n_x 、 n_y 、 q 、 u 或 v 等變量，採用之差分型式如下：

$$\begin{aligned} f_{i+1/2,j} &= \frac{1}{2}(f_{i,j} + f_{i+1,j}) \\ f_{i,j+1/2} &= \frac{1}{2}(f_{i,j} + f_{i,j+1}) \\ \frac{\partial f}{\partial t} &= \frac{f_{i,j}^{m+1} - f_{i,j}^m}{\Delta t} \\ \frac{\partial f_{i,j}^m}{\partial x} &= \frac{f_{i+1/2,j}^m - f_{i-1/2,j}^m}{\Delta x} \\ \frac{\partial f_{i,j}^m}{\partial y} &= \frac{f_{i,j+1/2}^m - f_{i,j-1/2}^m}{\Delta y} \end{aligned} \quad (2-4)$$

式中， Δx 、 Δy 代表沿 x 、 y 方向之網格距離； Δt 代表演算時間間距； m 為時間指標； i 、 j 分別為沿 x 、 y 之空間指標。

本研究採用交替方向顯式法，將演算時距(Δt)等分為兩個時階，且每前進一個時階即分別交替求解流速 u 及 v 。(2-1)、(2-2)及(2-3)式之差分方程式可依第一、二時階，分別列出如下：

1. 第一時階($m + \frac{1}{2}$):

$$\begin{aligned} d_{i,j}^{m+1/2} &= d_{i,j}^m - \frac{1}{2} \Delta t \left\{ \frac{[(d^m u^{m+1/2})_{i+1/2,j} - (d^m u^{m+1/2})_{i-1/2,j}]}{\Delta x} \right. \\ &\quad \left. \frac{[(dv)_{i,j+1/2}^m - (dv)_{i,j-1/2}^m]}{\Delta y} - q_{i,j}^{m+1/2} \right\} \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1/2} - (d+z)_{i+1,j}^{m+1/2}]}{\Delta x} = \left\{ u^{m+1/2} \left[\frac{(n_x)^2 |u|^{m+1/2}}{(d^m)^{4/3}} + \frac{q^{m+1/2}}{(d^m * g)} \right] \right\}_{i+1/2,j} \quad (2-6)$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1/2} - (d+z)_{i,j+1}^{m+1/2}]}{\Delta y} = \left\{ v^{m+1/2} \left[\frac{(n_y)^2 |v|^{m+1/2}}{(d^{m+1/2})^{4/3}} + \frac{q^{m+1/2}}{(d^{m+1/2} * g)} \right] \right\}_{i,j+1/2} \quad (2-7)$$

式中， m 為時間座標；(2-5)式為 $(i, j, m+1/2)$ 座標點之連續方程式，(2-6)及(2-7)式則分別為 $(i+1/2, j, m+1/2)$ 座標點沿 x 方向運動方程式與 $(i+1/2, j, m+1/2)$ 座標點沿 y 方向運動方程式。求解時首先將(2-5)及(2-6)兩式聯立解出 u 及 d ，在代入(2-7)式中解出 v ，如此可得 $m+1/2$ 時階之 u 、 v 及 d 。

2. 第二時階($m+1$)：

將(2-5)式待求流速分量 u 更替 v ，並將(2-6)、(2-7)式之 u 、 v 互換，則(2-1)、(2-2)及(2-3)式之差分方程式可表示如下：

$$d_{i,j}^{m+1} = d_{i,j}^{m+1/2} - \frac{1}{2} \Delta t \left\{ \frac{[(du)_{i+1/2,j}^{m+1/2} - (du)_{i-1/2,j}^{m+1/2}]}{\Delta x} \right. \\ \left. \frac{[(d^{m+1/2} v^{m+1})_{i,j+1/2} - (d^{m+1/2} v^{m+1})_{i,j-1/2}]}{\Delta y} - q_{i,j}^{m+1} \right\} \quad (2-8)$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1} - (d+z)_{i,j+1}^{m+1}]}{\Delta y} = \left\{ v^{m+1} \left[\frac{(n_y)^2 |v|^{m+1}}{(d^{m+1/2})^{4/3}} + \frac{q^{m+1}}{(d^{m+1/2} g)} \right] \right\}_{i,j+1/2} \quad (2-9)$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1} - (d+z)_{i+1,j}^{m+1}]}{\Delta x} = \left\{ u^{m+1} \left[\frac{(n_x)^2 |u|^{m+1}}{(d^{m+1})^{4/3}} + \frac{q^{m+1}}{(d^{m+1} g)} \right] \right\}_{i+1/2,j} \quad (2-10)$$

(2-8)式為 $(i, j, m+1/2)$ 連續方程式，(2-9)及(2-10)式則分別為 $(i, j+1/2, m+1)$ 座標點沿 y 方向運動方程式與 $(i+1/2, j, m+1)$ 座標點沿 x 方向運動方程式。第二時階以(2-8)及(2-9)兩式首先聯立而解出 v 及 d ，再將之代入(2-10)式解出 u ，則 $m+1$ 時階之 u 、 v 及 d 即可求得。由第一及第二時階可交替解出每一演算時距 Δt 中之 u 、 v 及 d 等三個未知變數之值。

2.2 起始與邊界條件

二維淹水模式之初始條件係依臨前水文情況而定，並假設模擬區域內為無水狀態，亦即水深及流速均為零。邊界形態在本模式主要為閉合邊界，即不考慮海水倒灌，任何阻擋水流穿越之障礙物，如堤防線、擋水牆或模擬區域之周圍高地等皆可視為閉合邊界。因水流無法穿越堤防，故垂直於堤防線之流速可令為零，即為數值模擬之閉合邊界條件。

研究區域之排水系統於邊界出流處，在模式中需特別設定，並考慮外潮位之影響，使其淹水深到達某一高度後，即內水位高於外潮位時，將水以重力流方式排出模擬區域。

若邊界有堤防或建築物阻擋，但仍有箱涵或管涵等重力排水出口，以及內邊界(如路堤式鐵道之通道)形成水流通路，其流量關係屬於涵洞水流形式，由顏等之研究，可分為六種類型：若閘門入口及出口均潛沒，為潛沒管流型；若入口潛沒而出口未潛沒，為自由管流型；若入口潛沒但涵洞中為非滿管流動，為閘流型；若入口未潛沒而入口水深大於出口水深之 2/3 時，為潛沒管流型；若入口未潛沒而入口水深小於或等於出口水深之 2/3 時，則為自由堰流型。其流量公式可表示如下：

1. 管流型(入口潛沒)：

$$(1) \text{潛沒管流(出口潛沒):} \\ Q = \mu_3 BD \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2-11)$$

$$(2) \text{自由管流(出口未潛沒):} \\ Q = \mu_3 BD \sqrt{2g(h_1 - D - z_2)} \quad (2-12)$$

2. 閘流型(入口潛沒，非滿管流動)：

$$Q = \mu_0 BD \sqrt{2g(h_1 - z_1 - \mu_0 D)} \quad (2-13)$$

3. 堰流型：

$$(1) \text{潛沒堰流(出口未潛沒):} \\ Q = \mu_2 B(h_2 - z_2) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2-14)$$

$$(2) \text{潛沒堰流(出口潛沒):} \\ Q = \mu_2 BD \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2-15)$$

$$(3) \text{自由堰流:} \\ Q = \mu_1 B \sqrt{2g(h_1 - z_1)^3} \quad (2-16)$$

(2-11)式至(2-16)式中， Q 為箱涵之流量， B 為箱涵之寬度， g 為重力加速度， D 為箱涵高度， h_1 為入口上游趨近水流之水位(堤防內淹水模擬區)， h_2 為下游出口水位(堤防外河川水位)， z_1 及 z_2 分別為入口及出口之底床高程， μ_0 、 μ_1 、 μ_2 及 μ_3 均為流量係數，根據水流類型轉換時流量應連續之條件，可推導出對於方角邊緣之入口，其流量

係數 $\mu_0=0.6$ 、 $\mu_1=0.353$ 、 $\mu_2=0.96$ 、 $\mu_3=0.96$ 〔顏榮甫等(1994)〕。

2.3 模擬案例之建立

計畫之研究區域首先選定基隆河流域，基隆河模擬區域採用 DTM 精度 40 公尺*40 公尺，以 24 小時延時颱風雨為降雨代表型態，地表糙度依據「基隆河流域颱風洪發生潰堤災害之境況模擬」之分析結果，採用 $n=0.05$ ，並考慮沿岸 32 條支流所加入之側流量，及員山子最大分洪量 1310cms，模擬基隆河流域因氣候變遷所導致之洪氾災害，圖 2.3.1 至圖 2.3.3 分別為氣候變遷短、中及長期的模擬結果。

圖上顯示短、中及長期的淹水範圍並未隨著氣候變遷影響，而有明顯的差別，大部分地區仍集中在基隆河沿岸較低窪地區，包括五堵地區之百福里、堵南里、堵北里及百福社區、保長坑溪下游左右岸之長安里與保長里處，以及茄苳溪下游之橋東里，康誥坑溪下游之智慧里及北岸之江北里，汐止市附近之智慧里，下游社后橋及北山大橋段等處。但淹水深度則隨著氣候變遷影響有些許的差別，由 HADCM3 之預測，短期及中期的變化量不大，所以短期及中期的模擬結果在淹水範圍及深度上大致相同，但長期的模擬結果在淹水深度上則有較大的差異，主要顯現在五堵地區、汐止國小附近及南湖大橋附近。

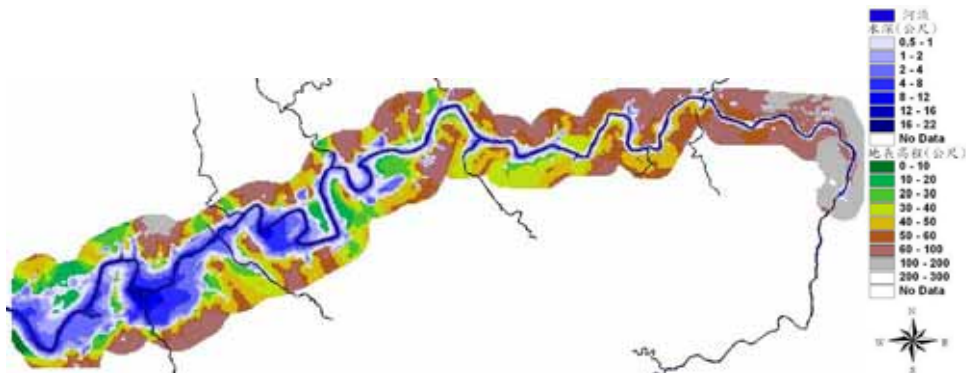


圖 2.3.1 基隆河流域 HADCM3 短期模擬結果

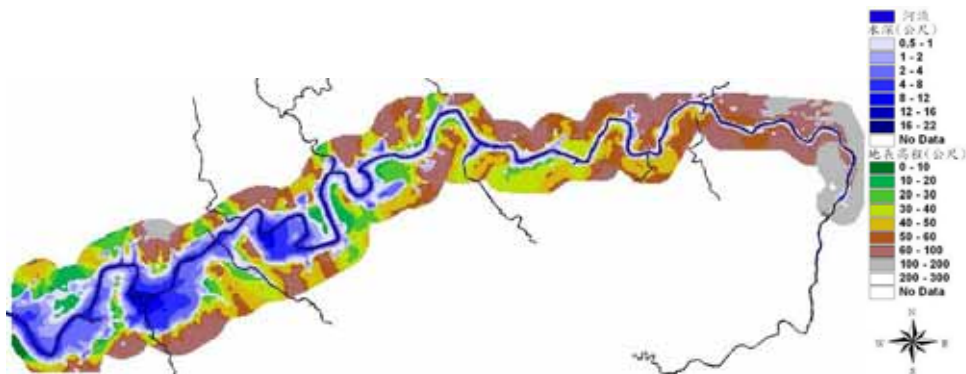


圖 2.3.2 基隆河流域 HADCM3 中期模擬結果

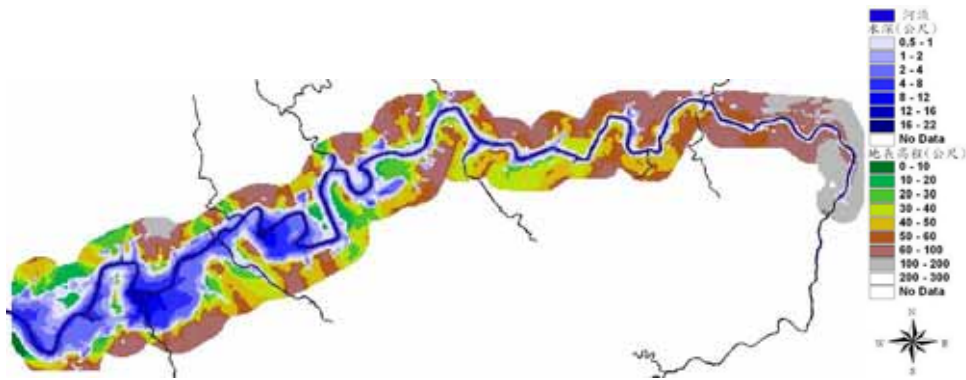


圖 2.3.3 基隆河流域 HADCM3 長期模擬結果

接著鹽水溪模擬區域採用 DTM 精度 200 公尺*200 公尺，以 24 小時延時颱風雨為降雨代表型態，且由內政部地政司的台灣省國土利用現況調查數化資料來決定不同土地利用狀況之曼寧糙度 n 值，堤防等相關水利設施係以「鹽水溪治理基本計畫」規劃中或已完成之現有資料為準。

圖 2.3.4 至圖 2.3.6 分別為氣候變遷短、中及長期的模擬結果，圖中顯示，較嚴重之淹水潛勢區包括鹽水溪北岸新市鄉西側之大洲、安順寮排水路附近地區、鹽水溪南岸永康市北部地區、二仁溪支流三爺宮溪上游在仁德鄉中部低窪地及仁德鄉南部在二仁溪與三爺宮溪交會處附近地區，由 HADCM3 之預測，短期及中期的變化量不大，所以短期及中期的模擬結果在淹水範圍及深度上大致相同，但長期的模擬結果在淹水深度上則有較大的差異，主要顯現在新市鎮西方、永康市北方及安平跟嘉南大圳之間，最嚴重地區位於台南系統交流道以西附近。

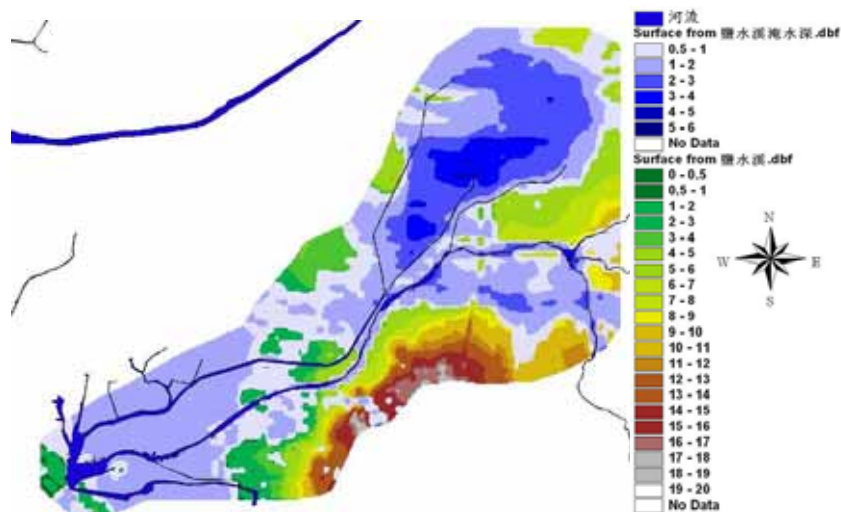


圖 2.3.4 鹽水河流域 HADCM3 短期模擬結果

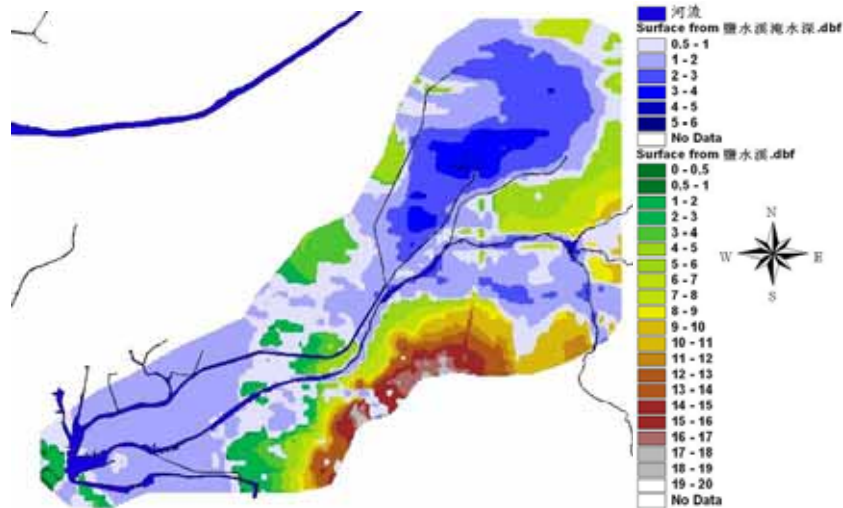


圖 2.3.5 鹽水河流域 HADCM3 中期模擬結果

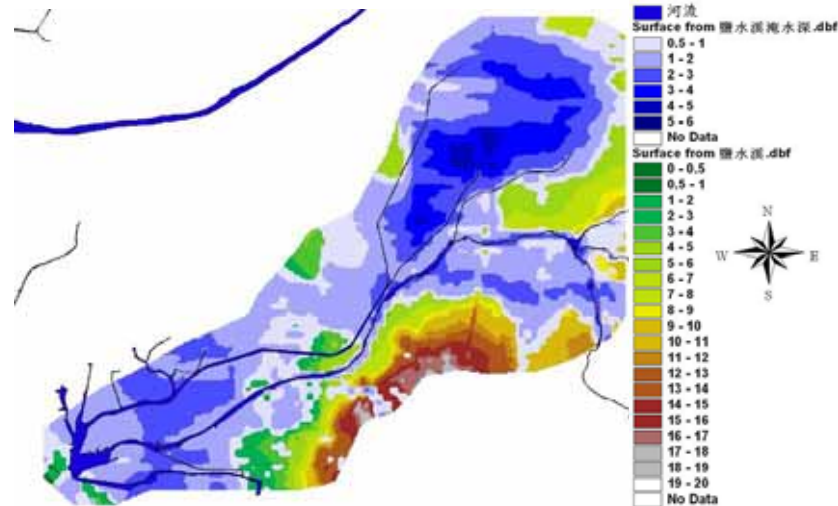


圖 2.3.6 鹽水河流域 HADCM3 長期模擬結果

最後選用四個小區域作為虛擬實境即時展示系統應用在其他地區測試之用，分別選用宜蘭地區冬山河流域 1 處(I1)及東港溪流域 3 處(D1、D2 及 D3)，I1 模擬範圍結合平地及山坡，D1~D3 區域則以平地為主，其航照圖範圍如圖 2.3.7~圖 2.3.10 所示，模擬條件則根據冬山河流域及東港溪流域 DTM 精度 200 公尺*200 公尺，以 24 小時延時颱風雨為降雨代表型態，且由內政部地政司的台灣省國土利用現況調查數化資料來決定不同土地利用狀況之曼寧糙度 n 值，求得最大降雨之可能淹水分佈，模擬結果如圖 2.3.11~圖 2.3.14 所示。



圖 2.3.7 I1 模擬區範圍



圖 2.3.8 D1 模擬區範圍



圖 2.3.9 D2 模擬區範圍



圖 2.3.10 D3 模擬區範圍

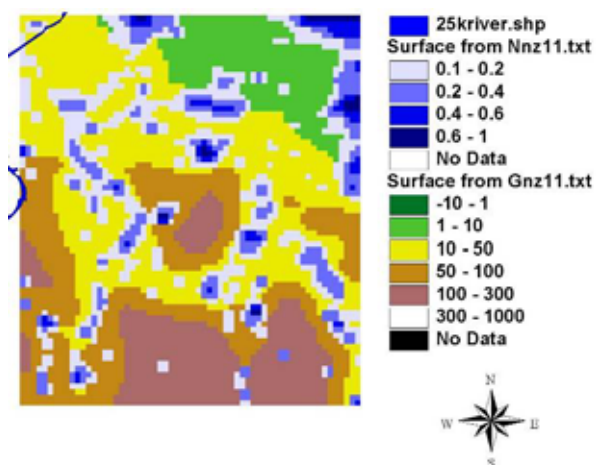


圖 2.3.11 I1 模擬區模擬結果

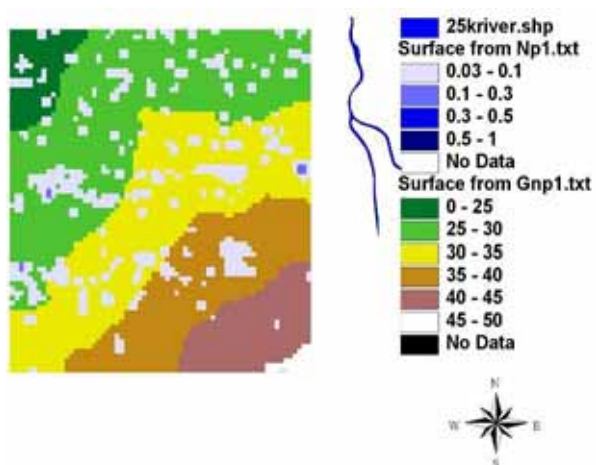


圖 2.3.12 D1 模擬區模擬結果

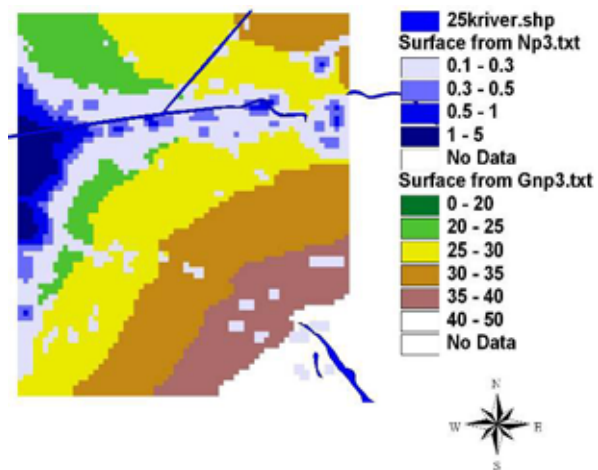


圖 2.3.13 D2 模擬區模擬結果

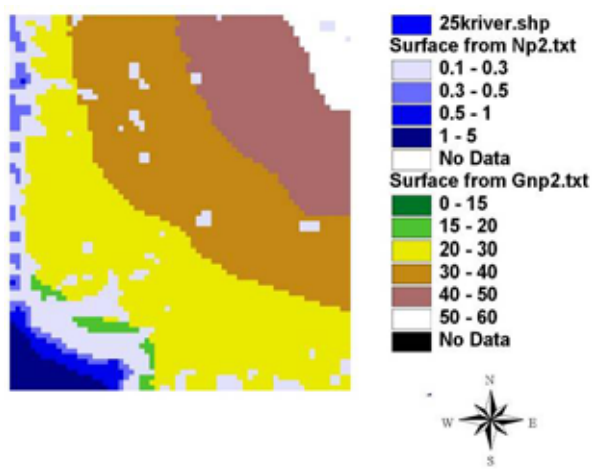


圖 2.3.14 D3 模擬區模擬結果

第三章 即時展示技術之研發

3.1 系統構想及技術背景

3.1.1 系統構想

即時展示虛擬實境場景之架構主要將透過自行研發之虛擬實境技術，配合 DEM 及航照圖製作出各類即時呈像虛擬實境模型，以展示洪氾模擬區域模擬之淹水影像。以基隆河流域為例，藉由 3D/VR 展示技術，透過 3D 場景建置、C++ 程式語言的資料轉換及相關程式碼所開發之展示器等方法，呈現洪氾模擬結果在三維模型所影響的範圍，令觀看者直覺易懂地瞭解模擬結果。本計畫將使用工作團隊所自行研發 3D/VR 展示器，匯入二維零慣性淹水模式所模擬之水深及範圍以及 3D 虛擬場景。以下將此展示器的所具備之技術功能及硬體設備說明如下：

- (1)開發工具：VC++ 7.0、Virtools；
- (2)作業平台：Windows 視窗皆可(98/2000/XP)；
- (3)支援檔案：河床資料、2 維水理演算座標、水深及水位資料；
- (4)系統需求：顯示卡要支援 3D 加速、 DirectX 9.0 以上；
- (5)展示功能：自由遊走時，可以旋轉、翻轉及平移、套疊航照圖、依時間序列顯示各模擬時段之淹水景況；
- (6)微調功能：調整展示時間的快慢、淹水展示顏色、模擬結果座標定位、淹水展示柔化效果。

3.1.2 技術背景

本研究使用工作團隊所使用之 3D/VR 網際網路技術軟體 Virtools，運用即時運算的 3D 虛擬實境、隨點即至技術(One-click)、壓縮技術、整合各種多媒體、豐富的運鏡、操作控制介面及使用主流瀏覽器等技術，協助各單位製作出最新進的 3D/VR，全面提升數位化程度，以利於網際虛擬空間中提供全方位的互動式資訊。Virtools 的技術功能簡介如下：

- (1)即時運算的 3D 虛擬實境:使用 C++及組合語言建構出之 Virtools，具備高效率之演算法,能處理大量之 3D 圖像。
- (2)隨點即至技術 One-click：透過目標物隨點即到，隨點觸發，以及各種多媒體的隨點即播功能，使得一般使用者均能輕易瀏覽 3D 虛擬實境。

- (3)獨特壓縮技術：高倍率的壓縮技術，突破傳統 3D 網頁難以容納大量精緻圖像與資料量過大的限制，同時大幅降低檔案大小與減少網路傳輸的時間。
- (4) 3D 加速卡自動偵測：能自動偵測使用者系統啟動 3D 加速卡，並支援 Microsoft Direct3D 加速技術。
- (5) 整合各種多媒體：各種多媒體檔案（動畫、影片、音樂、音效等）能於 3D 環境中表現，並支援 Stream 傳輸方式。
- (6) 豐富的物理特效：支援各種光源、變形、重力、天氣變化等自然界效果，讓網頁能呈現更真實、更多樣化的風貌。
- (7) 操作控制介面：結合操作環境的優點，在 Virtools 中也能設計各種操作介面，使用者的瀏覽與操作更方便。
- (8) 使用主流瀏覽器：支援 Microsoft Internet Explorer，使用者無需另外安裝特定瀏覽器。

3.2 系統執行範圍

在防災系統中洪水預警預報模擬上即時之運算展示，乃是本研究技術提升的重要指標。以往在地形地貌的虛擬實境製作上，必須依據 DEM 的數值資料，利用人工的方式，在虛擬實境軟體工具內，針對各個地形高程點，將其修正到實際的高度與比例尺寸；因此，若是製作的地形地貌範圍廣大，所需要的人力作業將是十分的耗時，而現有的虛擬實境軟體工具，在製作上，除了 3D 地形所建構之骨架網格要先製作外，網格外部材質(如航照圖提供之地貌資料)與骨架網格的結合尚需重新調整，使得材質(航照圖)與骨架網格的各個座標點都能儘可能的契合，而且骨架網格與航照圖上各個標的物及河流的座標位置如何定位，也是本計畫技術提升的一大重點。

此外，受到 DEM 網格精細程度的影響，也會增加整個虛擬實境在製作上的困難度。若是 DEM 網格太大，則整個畫面在網格與網格間就會變成菱菱角角的，非常的不協調，若是 DEM 網格太細，雖然整體畫面會較清晰與協調，但所耗時的人力與時間則會等倍的增加，所以如何依據現有 DEM 精度，將所製作出來的地形地貌網格能與航照圖精確地套疊結合，讓整體畫面符合實際現況，又能節省人力來縮短製作的時間，將是本計畫技術提升的關鍵，以下將整個技術提升的內容簡列如下：

- (1)開發即時呈現展示技術，結合 3D DEM 數值資料、航照圖及洪氾淹水模擬數值

演算結果。

(2)配合 DEM 精度及航照圖解析度，自動化定位 3D 地形與河流及建物地標座標。

(3)柔化 DEM 精度不同所產生之網格現象與洪氾淹水模擬資料圖層邊緣鋸齒化現象。

表 3.2.1 程式包含內容

程式	地形設定	地形 DTM
		航照圖
	淹水生成	淹水高程 DTM
	導覽設定	展示路徑錄製、模組微調設定

3.3 系統製作方式

藉由 3D/VR (Virtual Reality:以電腦模擬真實世界的技術) 展示技術，針對洪氾區淹水景況，模擬技術(Simulation)、互動效果(Interactive)等展示方法，呈現淹水境況。以本計畫主持人曾執行「基隆河整體治理計畫(前期計畫)防洪成效互動 3D 虛擬實境展示」為例，當基隆河整體治理計畫前期計畫完成後，各重現期距洪水發生時，基隆河沿岸景況；並結合週圍環境，生動而具體地展現出來，以此方式讓設計構想和未來完工後之成果更接近，除了在進行工程設計討論時，可加速溝通時效、縮短決策過程、提高工作效能等功用外，尚可結合網際網路，作為與民眾參與互動的有效管道，增進大眾對基隆河整治工程的認識。

3D/VR 虛擬實境的製作，傳統上是經由設計製作人員，將 CAD 設計圖及影像等多種資料，透過軟體(如 Virtools)繁複的技術，匯整製作成大眾可觀看的檔案格式。下列將詳細說明其傳統製作過程與方法：

- (1)蒐集各主要地點之地形等高線圖，運用等高線圖的資訊，可分析出距離(長度)、面積(範圍)、地形剖面、地形坡度與坡向、水系(谷系)、稜線和集水區等，進而以等高線圖作基礎繪製三度空間立體圖如下圖所示。
- (2)蒐集各主要地點之地形航照圖，藉由航照圖的實景呈現，可清楚了解地形、構造、植被等相關資料；另外，收集到的航照圖，解析度越高，越能呈現真實面貌，如圖 3.3.1 所示。
- (3)將等高線圖之比例、XYZ 距離面積等資料換算出來，繪製出主要地形之三度空

間立體模型，而製作時須注意山谷、河流、低地等地形的連接狀況。

- (4)收集到的航照圖資料轉換成 Image 影像格式(或其他可支援 PhotoShop 的影像格式)，經由 Adobe PhotoShop 影像編輯軟體，編修其航照圖，讓影像更為清晰以便使用。
- (5)3D 立體模型和影像圖檔製作編修完成後，運用 Virtools 及 3D Studio Max 軟體等工具，將影像圖檔一塊塊貼附至 3D 立體模型的各個角度上，以建立虛擬實境中的真實地形地貌。
- (6)主要地形之 3D 地籍圖建置完成後，接著運用 Virtools 的技術功能，整合即時運算的 3D 虛擬實境、隨點即至技術(One-click)、串流技術(Streaming)、整合各種多媒體、豐富的運鏡及獨特壓縮技術等，進行地籍圖之腳本的規劃設計與製作排程，這樣則可完成 3D 地籍圖的完整表現方式，如圖所示。
- (7)最後透過 Virtools，將製作完成的 3D 地籍圖轉換成 HTML 與 SGE 等兩種檔案類型，運用 Virtools plug-in 程式，使 3D 地籍圖可以自由在 Internet Explorer 上瀏覽。



地形圖

航照圖

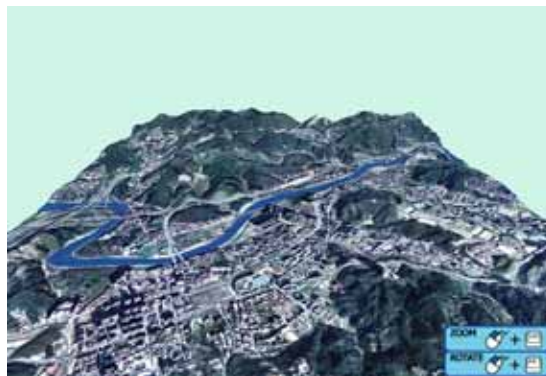


圖 3.3.1 結合地形圖及航照圖

在本研究中，3D/VR 虛擬實境的製作，是經由設計製作人員，將 CAD 設計

圖、DEM 資料及影像等多種資料，透過 C++ 程式語言等繁複的技術，匯整製作成大眾可觀看的檔案格式，其流程如圖 3.3.2 所示。以下將針對本計畫會使用到的技術流程說明。

在本計畫中，將以 3D/VR 技術呈現立體場景，清楚展現基隆河流域。3D 場景製作過程將分為三個步驟說明：

- (1)取得基隆河流域之地形高程資料；
- (2)將高程資料及航照圖，透過 CAD 軟體之 Plug-in 程式，轉製作成可運用的檔案；
- (3)製作完成後的檔案及材質，再經過 C++ 程式語言等繁複的運算技術，產生立體虛擬實境場景。

接著本計畫中，將以自行研發展示器，藉以展現基隆河流域洪氾模擬的淹水情境，資料轉換過程將分為三個步驟說明：

- (1)取得二維零慣性淹水模式所模擬之淹水資料，包含範圍、座標及淹水深度；
- (2)利用 C++ 程式語言及 Virtools 所開發之資料轉檔工具，將淹水資料轉換成展示器所需要之檔案格式；
- (3)將轉換完成後的檔案及立體虛擬實境場景，匯入展示器中，產生自動化立體互動式虛擬實境展示。結果如圖 3.3.3 所示。

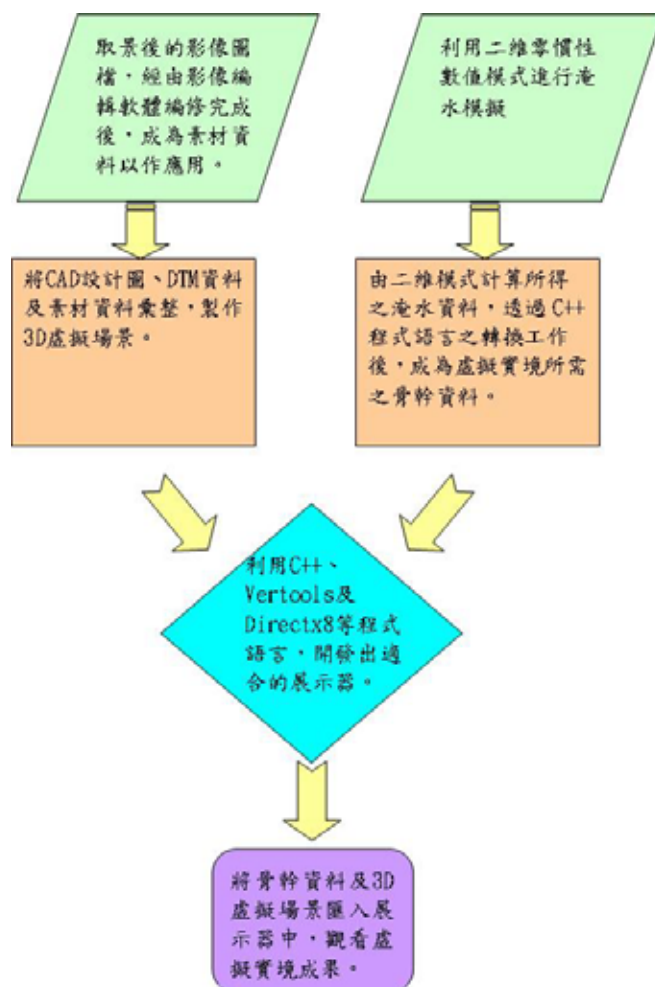


圖 3.3.2 結合數值模擬結果及 DEM 資料之流程圖

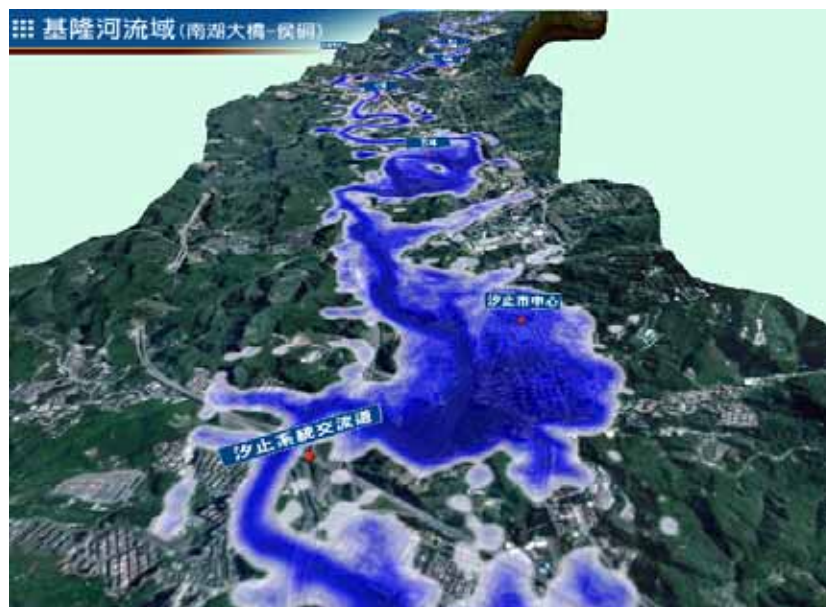


圖 3.3.3 結合數值模擬結果及 DEM 資料之成果

3.4 系統流程架構圖及系統操作說明

系統流程架構圖如下所示

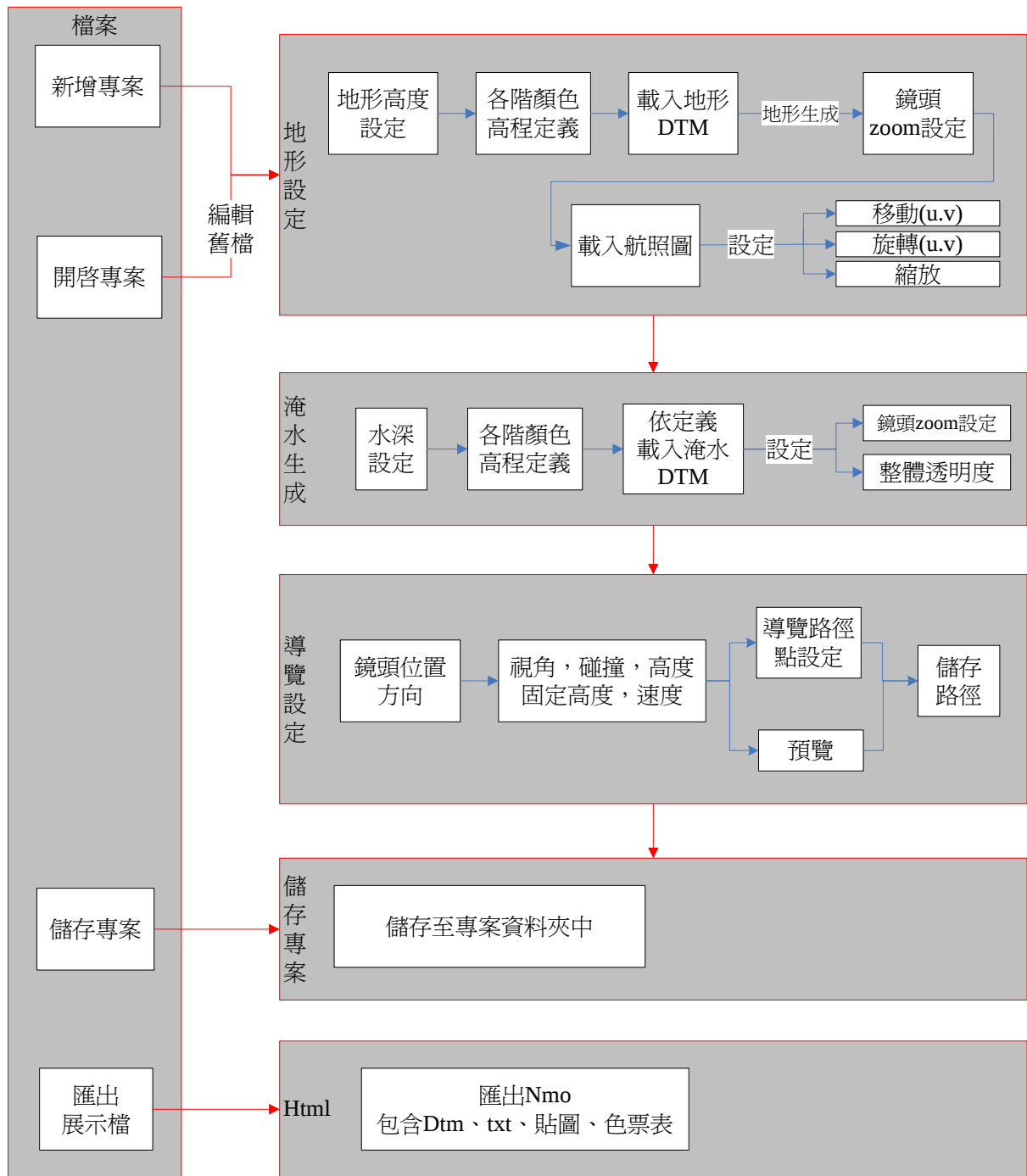


圖 3.4-1 系統流程架構圖

操作流程圖如下所示



圖 3.4-2 系統操作流程圖

3.4.1.開啓程式

開啓程式的方法如下所示



圖 3.4.1.1 系統開啟圖

- 步驟說明：程式開啟後會進入首頁，點選 Enter 進入，如上圖所示。

3.4.2.進入主選單



圖 3.4.2.1 系統開啟圖

3.4.3 開啟專案

- 步驟說明：

(1)使用者可以選擇開啟舊檔來開啟舊的專案檔案，即會載入所有地形及淹水資料進行編輯。

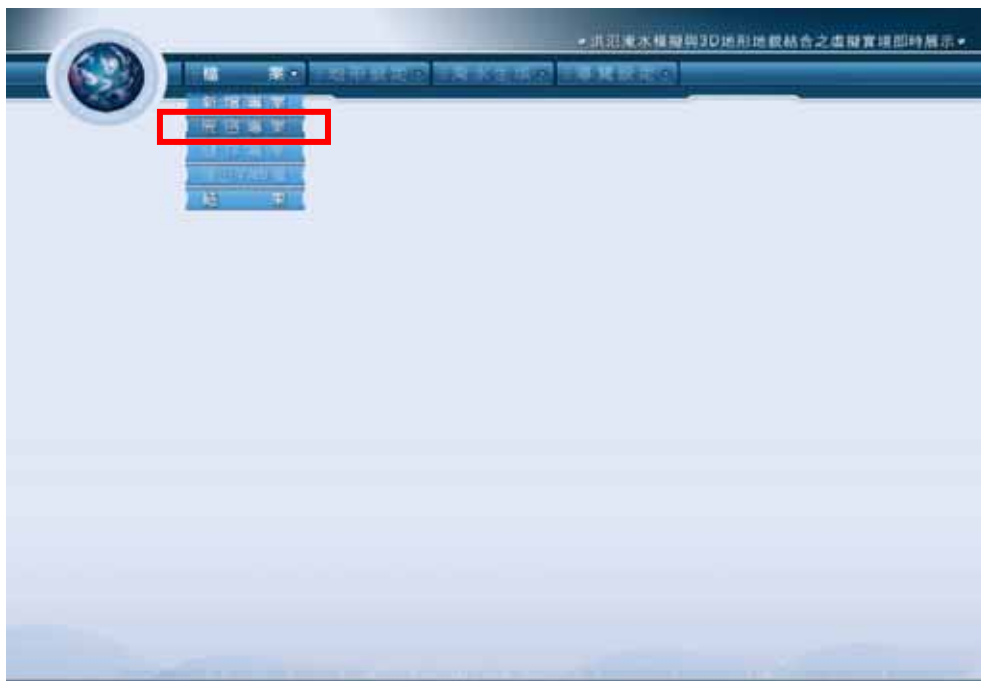


圖 3.4.3.1 專案開啟圖 1

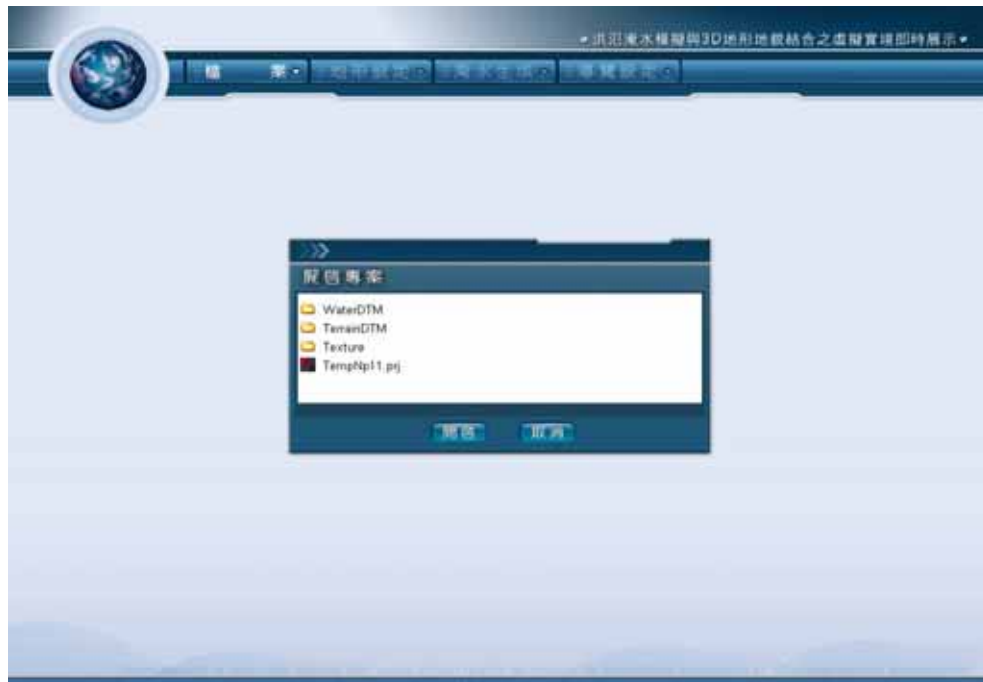


圖 3.4.3.2 專案開啟圖 2

(2)使用者在場景中移動鏡頭的操作方式，請參閱 3.4.5.場景中移動鏡頭方式。

3.4.4.新增專案

步驟說明：

(1)選擇新增專案來開啟新的專案

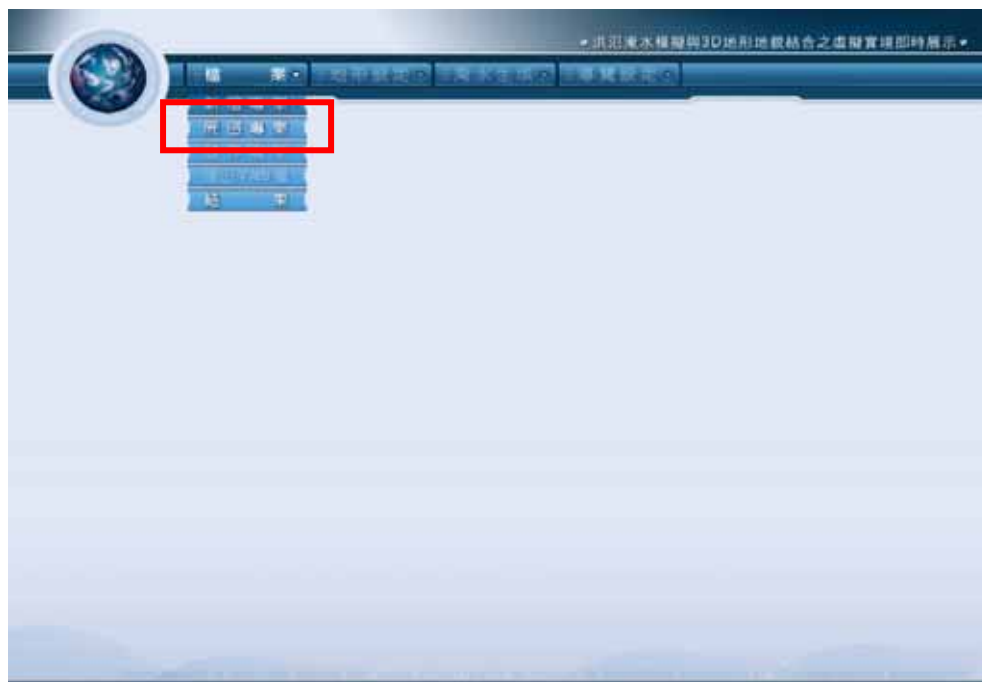


圖 3.4.4.1 新增專案開啟圖

(2)點選新增專案之後，會跳出一個輸入檔名的對話框，在輸入名稱完畢之後按鍵盤 Enter 或是點選確定按鈕結束。

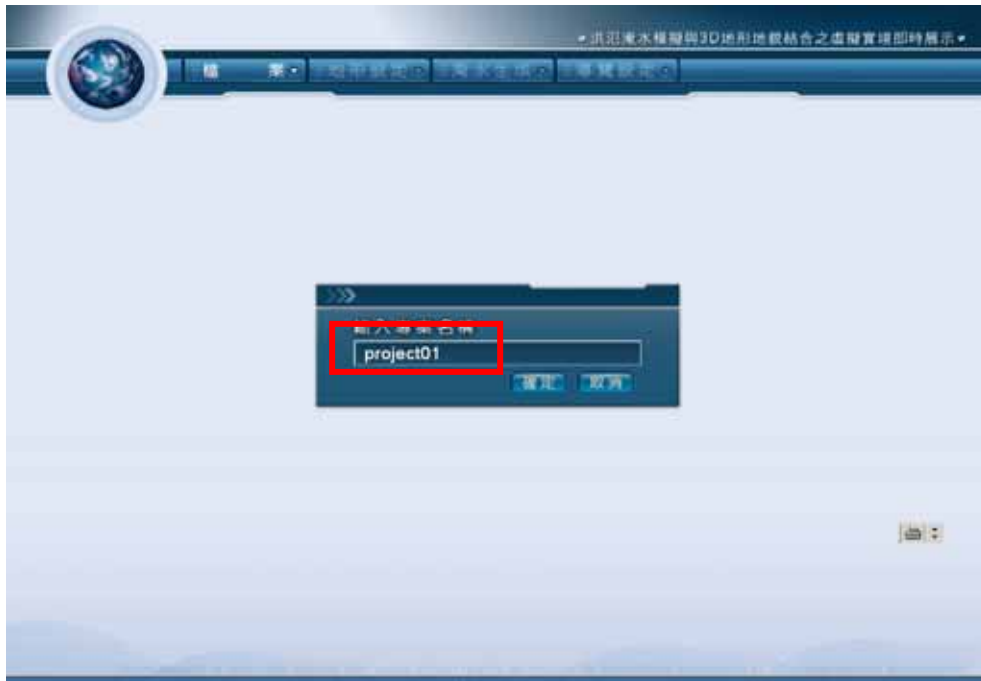


圖 3.4.4.2 新增專案開啟圖 2

(3)當新增專案名稱完畢之後，會在程式目錄底下的 Project 資料夾下產生名為專案名稱的專案目錄。

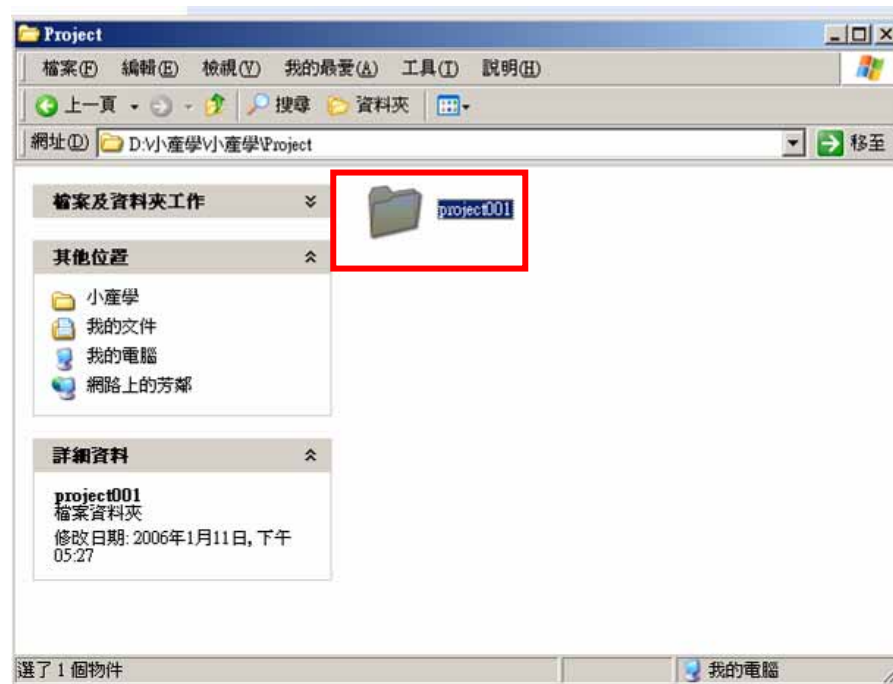


圖 3.4.4.3 新增專案開啟圖 3

(4)此時將相關的資料放入相對應的資料夾，下表為各目錄清單說明。

表 3.4.4.1 新增專案目錄資料夾

目錄(資料夾)	說明
WaterDTM	請在此置入淹水的高程 DTM 資料檔案
TerrainDTM	請在此置入地形的 DTM 資料檔案
Texture	請在此置入與地形 DTM 尺寸相符合的航照圖

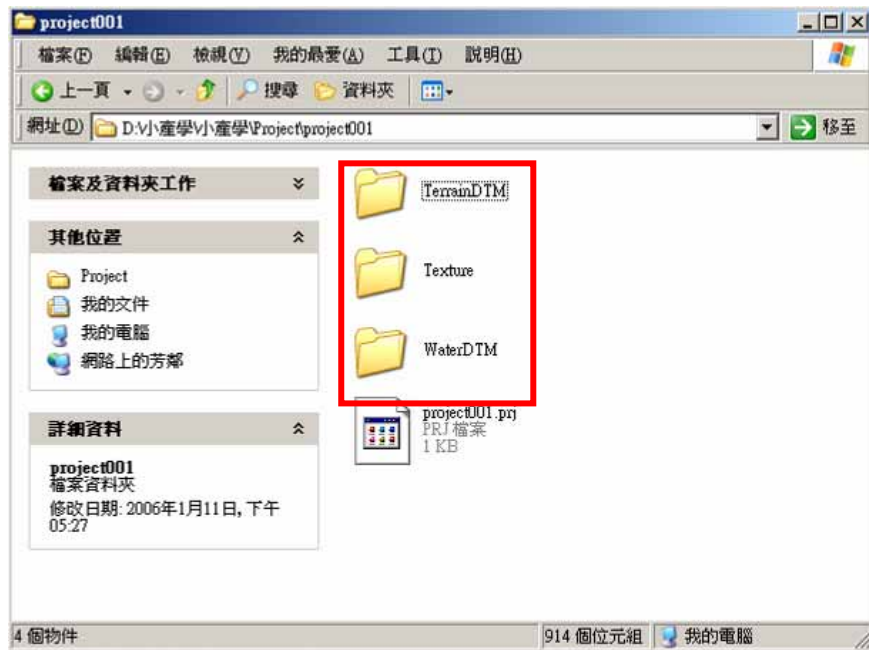


圖 3.4.4.4 新增專案開啟圖 4

3.4.5.場景中移動鏡頭方式

- 按鍵 W 為往前 zoom in
- 按鍵 S 為往後 zoom out
- 按鍵 A 為往左轉動鏡頭
- 按鍵 D 為往右轉動鏡頭
- 按鍵 Page up 為向上仰視
- 按鍵 Page Down 為向下俯視

3.4.6.儲存專案

步驟說明：

(1)當地形設定、淹水生成與導覽設定完成後，可點選儲存專案，



圖 3.4.6.1 儲存專案開啟圖 1

(2)跳出視窗詢問使用者是否儲存專案？點選「是」則將所有設定以覆蓋儲存的方式記錄在專案資料夾中。選擇「否」則不儲存。



圖 3.4.6.2 儲存專案開啟圖 2

3.4.7.匯出展示檔

步驟說明：

- (1)當所有設定完成後，亦可點選匯出 web 檔，依所有條件設定，輸出 nmo 即可在 Internet Explorer 瀏覽導覽路徑。



圖 3.4.7.1 匯出展示檔開啟圖 1

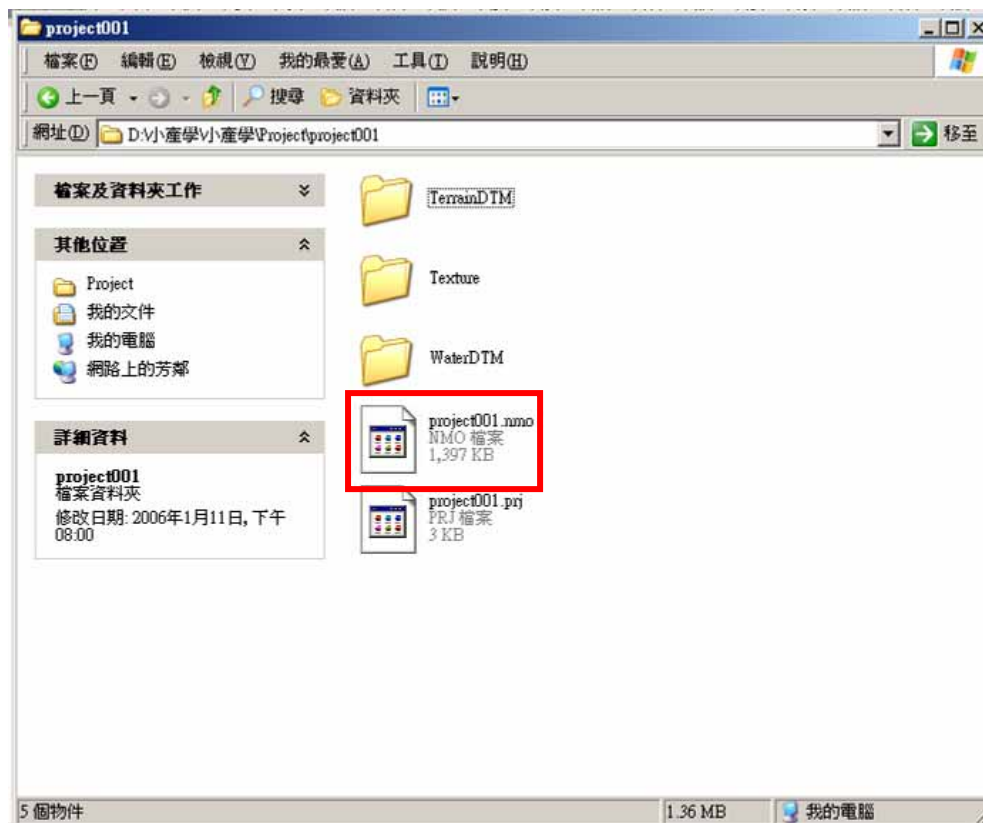


圖 3.4.7.2 匯出展示檔開啟圖 2

第四章 虛擬實境即時展示系統

4.1 3D 地形地貌結合

3D 地形地貌結合操作流程圖如下所示

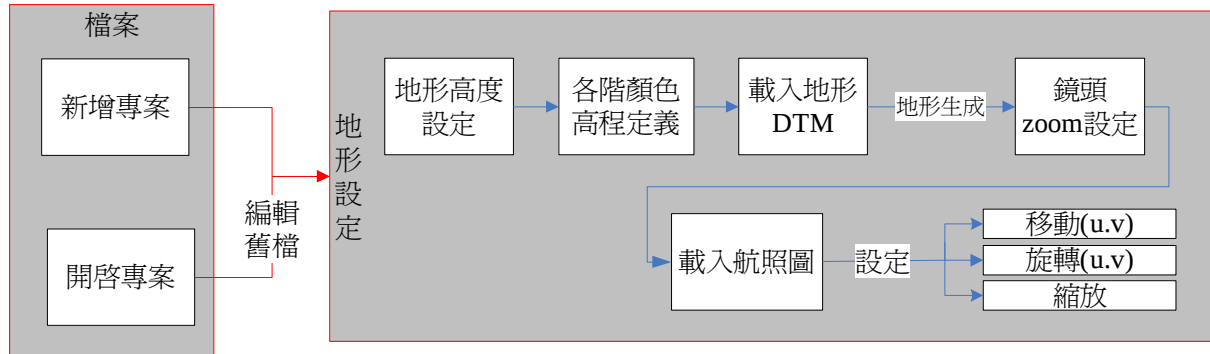


圖 4.1-13D 地形地貌結合操作流程圖

4.1.1.地形 DTM 載入

步驟說明：

(1)點選地形載入，彈出選項，選擇 DTM 載入。

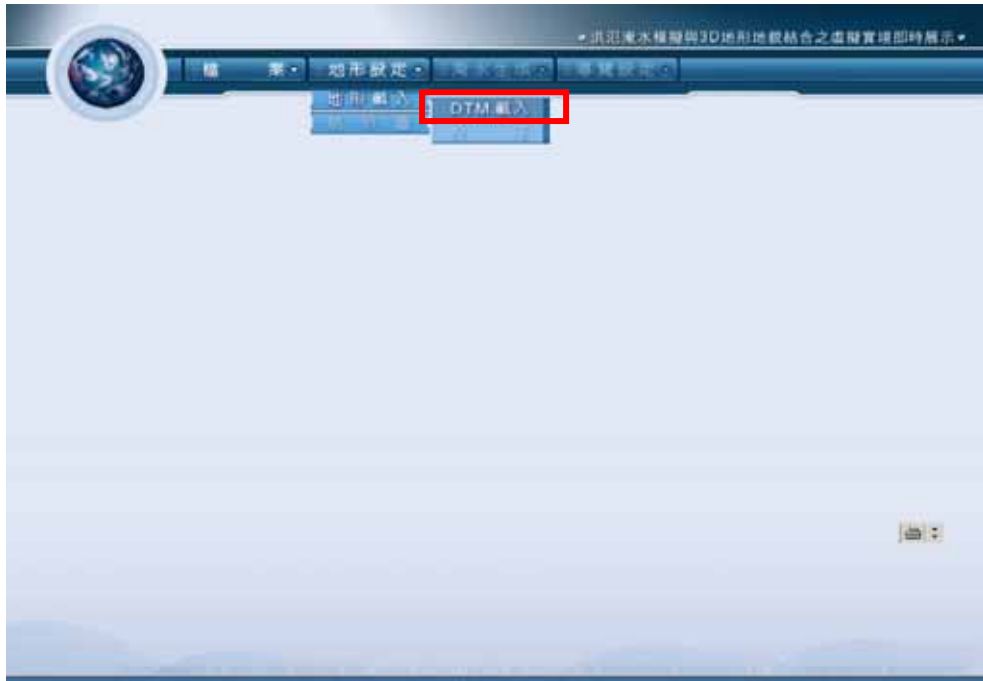


圖 4.1.1.1 地形 DTM 載入開啟圖 1

(2)跳出視窗，在 TerrainDTM 資料夾中選擇一個地形 DTM 檔案

(3)選定按下開啟鍵，地形即依照之前高度設定條件載入。

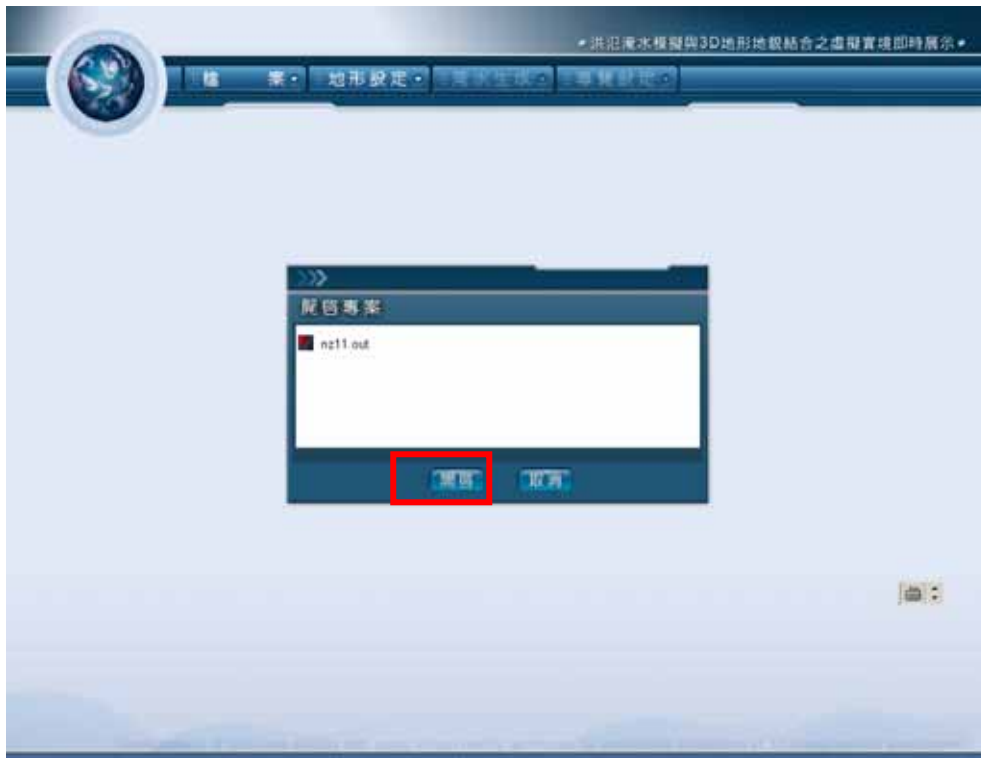


圖 4.1.1.2 地形 DTM 載入開啟圖 2

4.1.2.地形 DTM 設定

步驟說明：

- (1)若地形 DTM 載入後，不論是屬於龐大或微小的地形。系統依照地形的最大的對角線寬度，自動調整顯示全部的地形場景，但是鏡頭的 Zoom in/out 速度需要由使用者依個人喜好手動輸入數值設定。
- (2)點選地形載入，彈出選項，選擇設定。

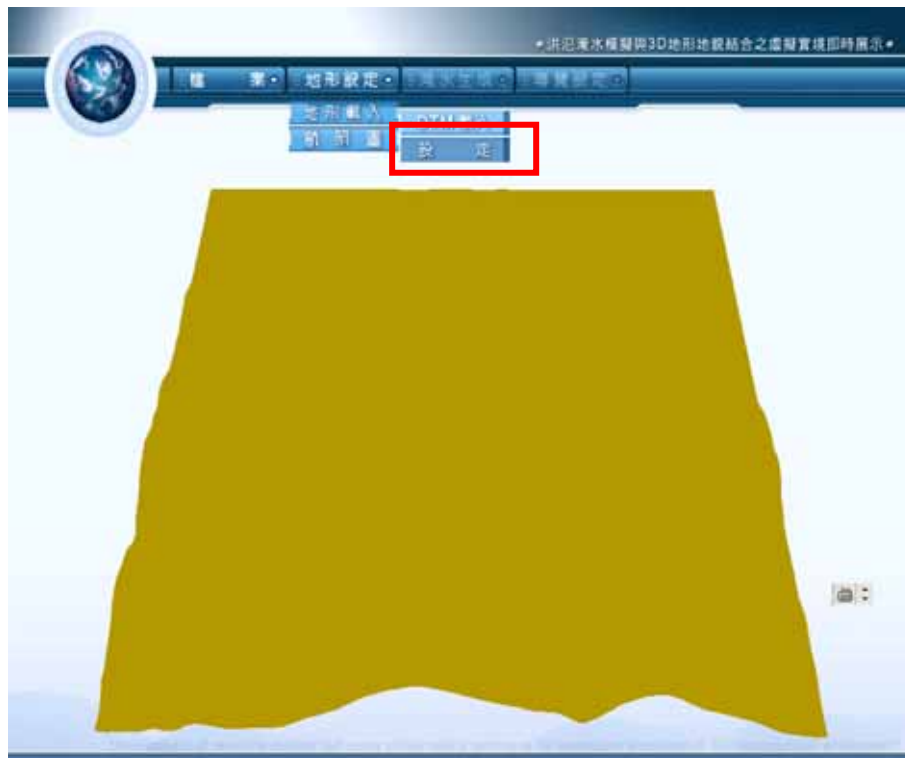


圖 4.1.2.1 地形 DTM 設定圖 1

(3)跳出 Zoom 速度設定視窗，請輸入數值，數值下限最少為 1，無上限(預設值 300)，速率單位為：公尺/秒

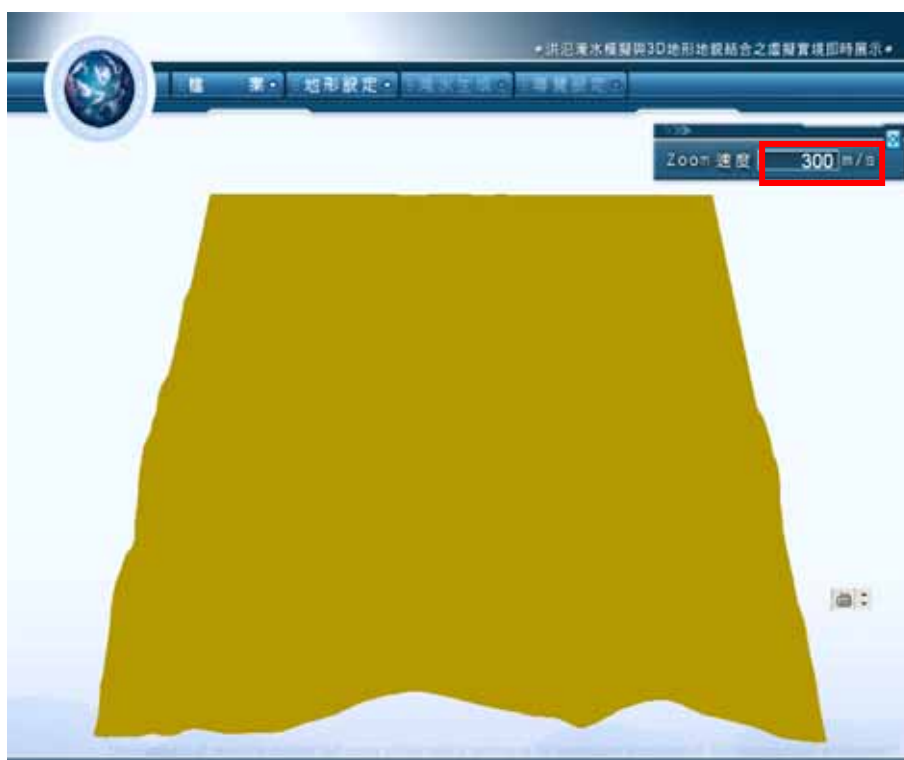


圖 4.1.2.2 地形 DTM 設定圖 2

4.1.3.航照圖載入

步驟說明：

(1)地形亦可載入航照圖方式瀏覽，點選航照圖，彈出選項選擇載入。

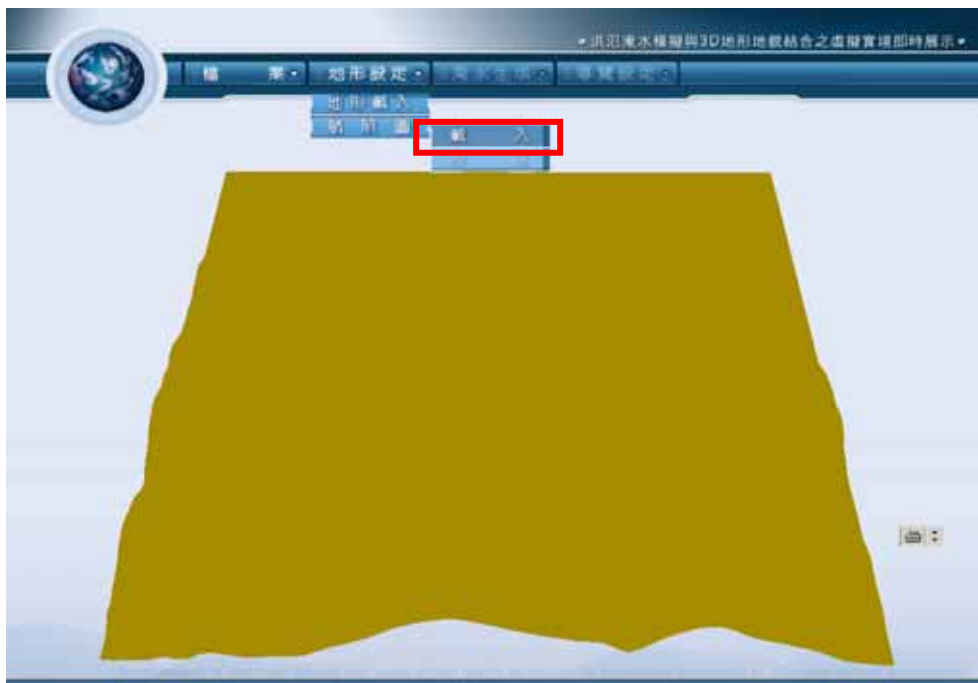


圖 4.1.3.1 航照圖載入圖 1

(2)跳出視窗，在 Texture 資料夾中選擇一個航照圖檔案。

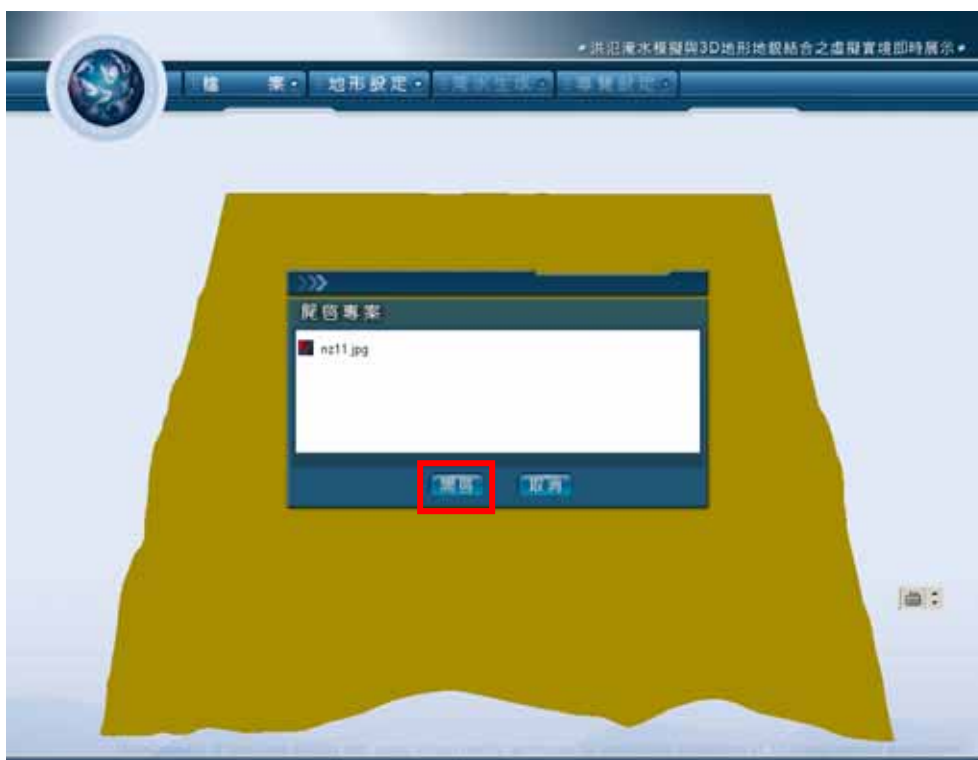


圖 4.1.3.2 航照圖載入圖 2

(3)選定按下開啟鍵即載入。



圖 4.1.3.3 航照圖載入圖 3

4.1.4.航照圖設定

步驟說明：

- (1)航照圖在載入地形 DTM 成為貼圖後，需要調整航照圖的大小尺寸與地形場景相符合。
- (2)點選「航照圖」，彈出選項選擇「設定」。



圖 4.1.4.1 航照圖設定圖 1

(3)出現視窗，預設選項為移動，可直接由滑鼠左鍵拖曳航照圖作任意方向位移。



圖 4.1.4.2 航照圖設定圖 2

(4)或是在視窗上的 U、V 欄位輸入數值並按下 Enter 執行精確位移，數值範圍 0～

999。

(5)視窗選項改選旋轉，則可直接由滑鼠左鍵拖曳航照圖依地形中心點作任意角度旋轉。

(6)或是在視窗上的旋轉欄位輸入數值並按下 Enter 執行精確旋轉，數值範圍 0～+180 或 0～-180，正向為順時鐘旋轉，負向為逆時鐘旋轉。

(7)縮放功能不論在移動或旋轉的選項時都可以滑鼠滾輪控制縮放比率。

(8)或是在視窗上縮放欄位輸入數值執行精確縮放，數值範圍為 0～100。

4.2 淹水模擬與地形地貌結合

淹水模擬與地形地貌結合操作流程圖如下所示

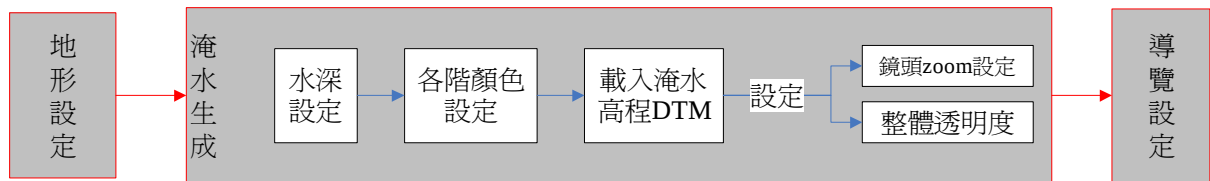


圖 4.2-1 淹水模擬與地形地貌結合操作流程圖

4.2.1.水深設定

步驟說明：

(1)點選水深設定即跳出淹水高度色階表視窗，開始設定未來的淹水高程 DTM 在載入程式時所需要的高程階層數值與顏色種類之生成條件定義。

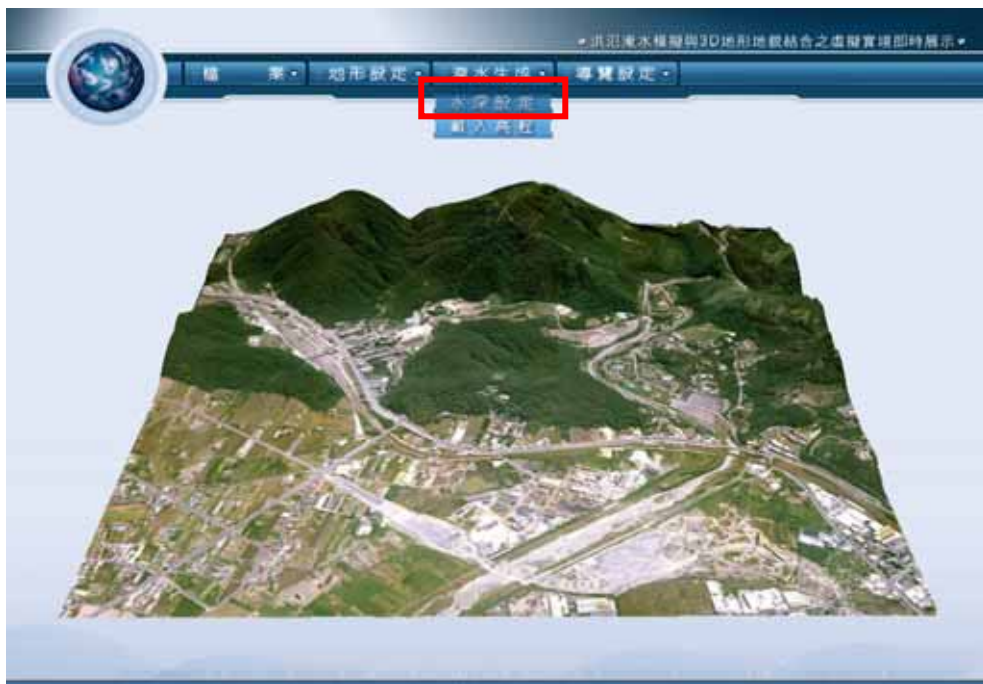


圖 4.2.1.1 水深設定展開圖 1

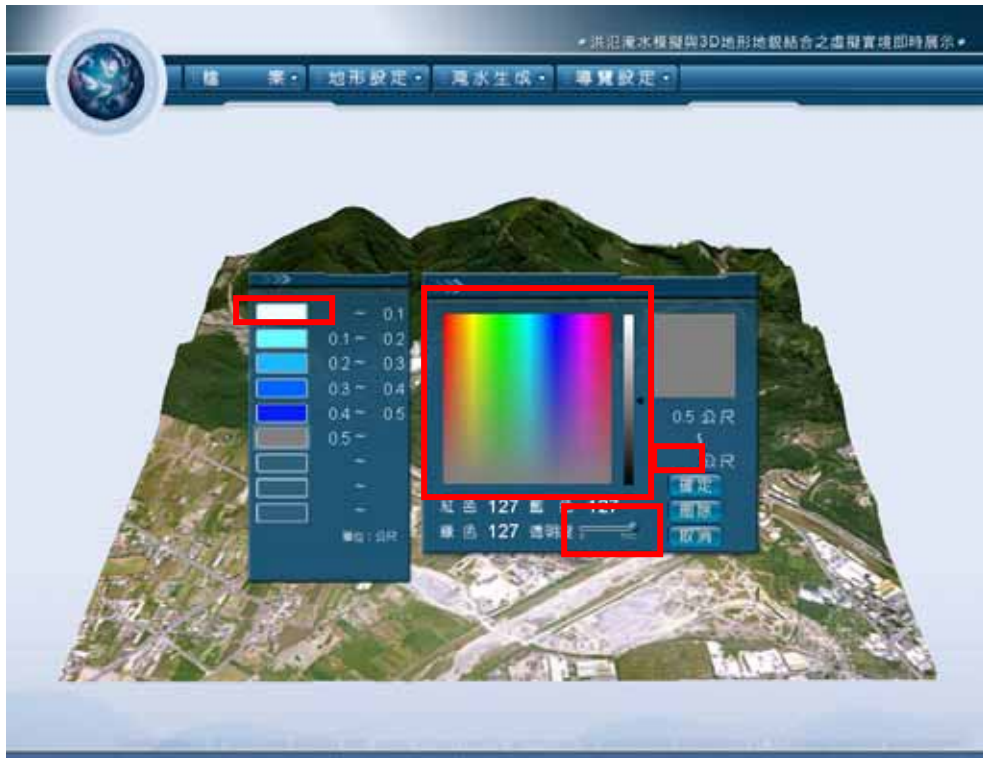


圖 4.2.1.2 水深設定展開圖 2

- (2)在色盤指定顏色種類，並參考下方 RGB 數值方式設定，數值範圍 0~255。
- (3)設定該顏色的透明度，數值範圍 0~100。
- (4)設定該顏色階層的水深高程，可輸入數值。
- (5)前階層顏色的最大值會自動定義為後一顏色階層的最小值。
- (6)設定好該階層顏色種類及水深高程，點選確定即完成。
- (7)淹水高度色階表設定完成，點選確定即完成所有定義。

4.2.2.載入高程(淹水 DTM)

步驟說明：

- (1)由於淹水高程 DTM 檔案是由多個時間點的.out 檔案組成，因此需要作多個.out 同時載入，使用者必須先做.out 的篩選或排序的動作。
- (2)點選載入高程跳出視窗，程式會在此視窗中顯示已自動選取的多個.out 清單。
(WaterDTM 資料夾中所有記錄檔皆會被自動選取)



圖 4.2.2.1 載入高程(淹水 DTM)展開圖 1



圖 4.2.2.2 載入高程(淹水 DTM)展開圖 2

(3)點選新增按鍵則會再跳出另一視窗，選擇 WaterDTM 資料夾中任何欲置入程式的.out。



圖 4.2.2.3 載入高程(淹水 DTM)展開圖 3

- (4)以滑鼠選取清單中任一個.out 檔，再點選刪除，則將該.out 自被選取清單中刪除。
- (5)清單中的.out 檔由上到下的順序即為先後順序，使用者可以滑鼠選取清單中任一個.out 檔，再點選上移或下移，依照需求調整排序。
- (6)在間隔時間欄位輸入秒數(0~60)或毫秒(0~999)，即設定每一個淹水高程.out 檔變化的間隔時間長度。
- (7)透明度欄位輸入數值，數值範圍(0~100)，設定整體淹水在預覽或將來輸出 web 檔瀏覽時所呈現的透明度。
- (8)點選預覽按鈕則會依照淹水高程.out 檔的順序即間隔時間播放一次，中斷鍵則是停止預覽功能。



圖 4.2.2.4 載入高程(淹水 DTM)展開圖 4

- (9)設定完成後，點選確定即儲存在至暫存記憶體，並退出；點選取消則放棄先前設定，並退出。



圖 4.2.2.5 載入高程(淹水 DTM)展開圖 5

4.3 模組功能及微調系統

模組功能及微調系統操作流程圖如下所示

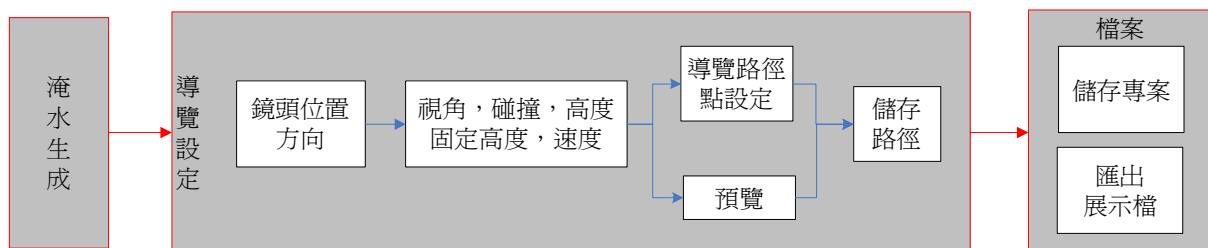


圖 4.3-1 模組功能及微調系統操作流程圖

4.3.1.鏡頭設定

步驟說明：

(1) 導覽設定為將來匯出 web 檔時瀏覽的內容設定。



圖 4.3.1.1 鏡頭設定展開圖 1



圖 4.3.1.2 鏡頭設定展開圖 2

(2)在載入視點設定中，依使用者需求選定鏡頭位置，以滑鼠左鍵點選在場景平面圖中，再以左右拖曳滑鼠轉動鏡頭方向，放開滑鼠左鍵即選定。

- (3)點選固定水平高度，鏡頭則依距離地面的預設數值 300m 顯示。
- (4)當有勾選固定水平高度時，亦可勾選限制場景範圍功能，使用者在瀏覽時就不會移動出場景範圍之外。
- (5)距離地面欄位，可依使用者需求輸入數值，數值範圍 0~9999。
- (6)視角 FOV 預設值為 90 度，欄位中可以輸入數值範圍 1~179。
- (7)鏡頭移動速度在匯出 web 檔瀏覽時，可以做切換快慢，快預設值 60m/s 慢 30m/s，亦可在欄位中輸入數值範圍 1~999
- (8)設定完成後，點選確定即可儲存暫存記憶體。

4.3.2.導覽路徑設定

步驟說明：

- (1)導覽路徑設定時則會依鏡頭設定的條件顯示；若無先在鏡頭設定中設定條件，而直接進入導覽路徑設定則會以鏡頭設定之預設值顯示。(預設值請參考 4.3.1.鏡頭設定 步驟說明)
- (2)欲新增路徑點，請以鍵盤 W、S、A、D 操作鏡頭移動到欲紀錄之場景位置，以滑鼠左鍵先後點下新增按鍵，即會依先後順序紀錄路徑點至清單中。



圖 4.3.2.1 導覽路徑設定展開圖

- (3)以滑鼠左鍵選取清單中任一路徑點，在點下刪除按鍵，即會將該路徑點刪除。
- (4)當導覽路徑編輯告一段落，可以點選預覽按鍵即播放所有紀錄路徑點先後串成的導覽路徑。
- (5)點選中斷按鍵即停止播放預覽之動作。

4.3.3.儲存導覽路徑

步驟說明：

- (1)若導覽路徑設定完成，使用則需點選儲存按鍵，記錄到暫存記憶體中。
- (2)若不需儲存編輯的路徑點，則點選取消按鍵，視窗則直接關閉。

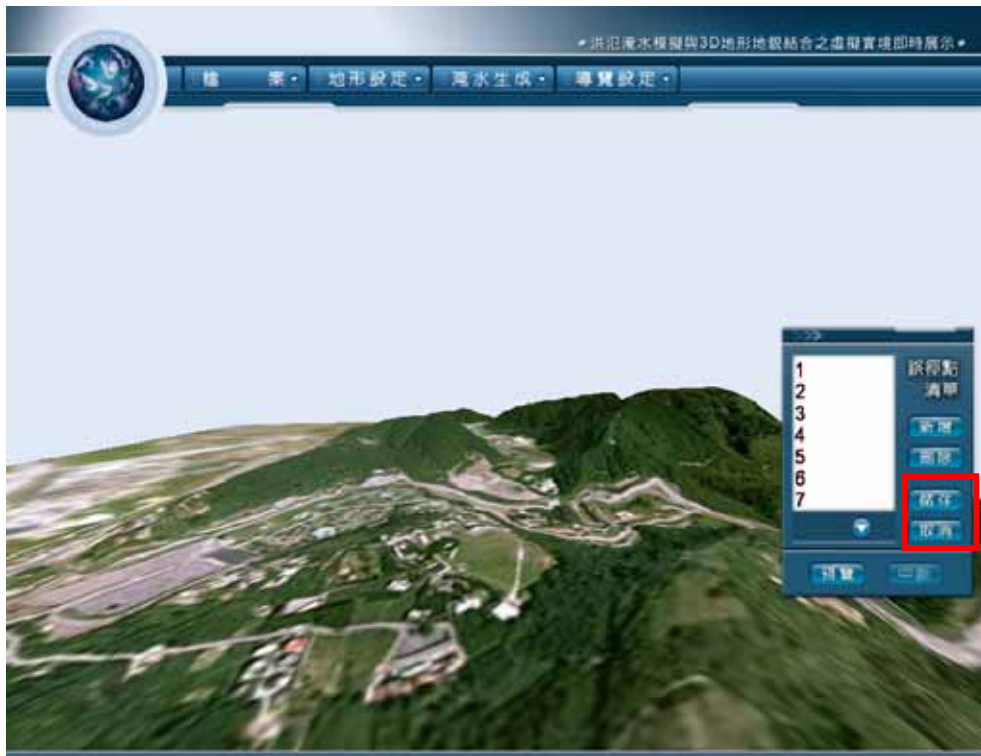


圖 4.3.3.1 儲存導覽路徑展開圖

第五章 結果與討論

5.1 研發成果

本研究之研發成果在於突破以往在地形地貌的虛擬實境製作上，必須依據 DEM 的數值資料，利用人工的方式，在虛擬實境軟體工具內，針對各個地形高程點，將其修正到實際的高度與比例尺寸；因此，若是製作的地形地貌範圍廣大，所需要的人力作業將是十分的耗時，而傳統的虛擬實境軟體工具，在製作上，除了 3D 地形所建構之骨架網格要先製作外，網格外部材質(如航照圖提供之地貌資料)與骨架網格的結合尚需重新調整，使得材質(航照圖)與骨架網格的各個座標點都能儘可能的契合，而且本研究將骨架網格與航照圖上各個標的物及河流的座標位置利用自動定位方式定位，減少了很多人力上的修圖及定位。

此外，本研究也克服了受到 DEM 網格精細程度的影響。傳統上，若是 DEM 網格太大，則整個畫面在網格與網格間就會變成菱菱角角的，非常的不協調，若是 DEM 網格太細，雖然整體畫面會較清晰與協調，但所耗時的人力與時間則會等倍的增加，所以本研究依據現有 DEM 精度，製作出地形地貌網格能與航照圖精確地自動套疊結合，讓整體畫面符合實際現況且縮短製作的時間，以下將說明本研究各項研發成果。

(1)載入 DEM 高程資料，配合鏡頭位置的設定及地形高程的設定可自動生成 3D 立體地形圖。

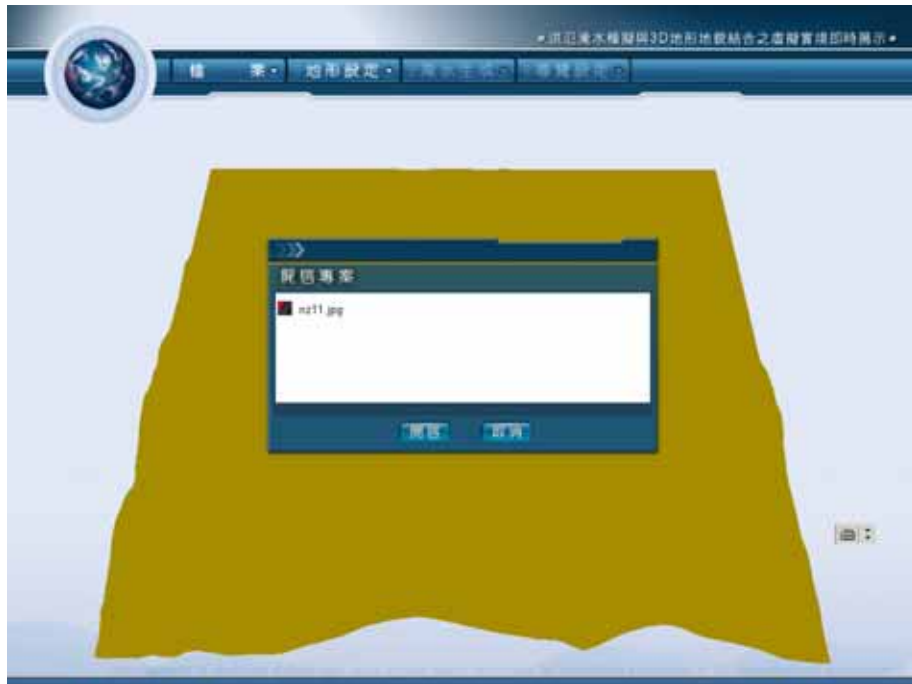


圖 5.1.1 自動生成 3D 立體地形圖

(2)載入航照圖，配合移動旋轉及縮放的功能可自動結合 3D 立體地形圖，並且自動

柔化 DEM 網格精細程度的影響及自動化定位 3D 地形與河流及建物地標座標。



圖 5.1.2 3D 立體地形圖結合航照圖

(3)載入二維淹水模式之模擬檔案，配合淹水深度的輸入，自動結合 3D 立體地形圖及航照圖，並且自動柔化淹水模擬網格所產生的菱菱角角，消除資料圖層邊緣鋸齒化現象。



圖 5.1.3 結合 3D 立體地形圖、航照圖及淹水模擬

(4)透過自動導覽的設定，可依據使用者的設定路徑做循環式的連續移動。

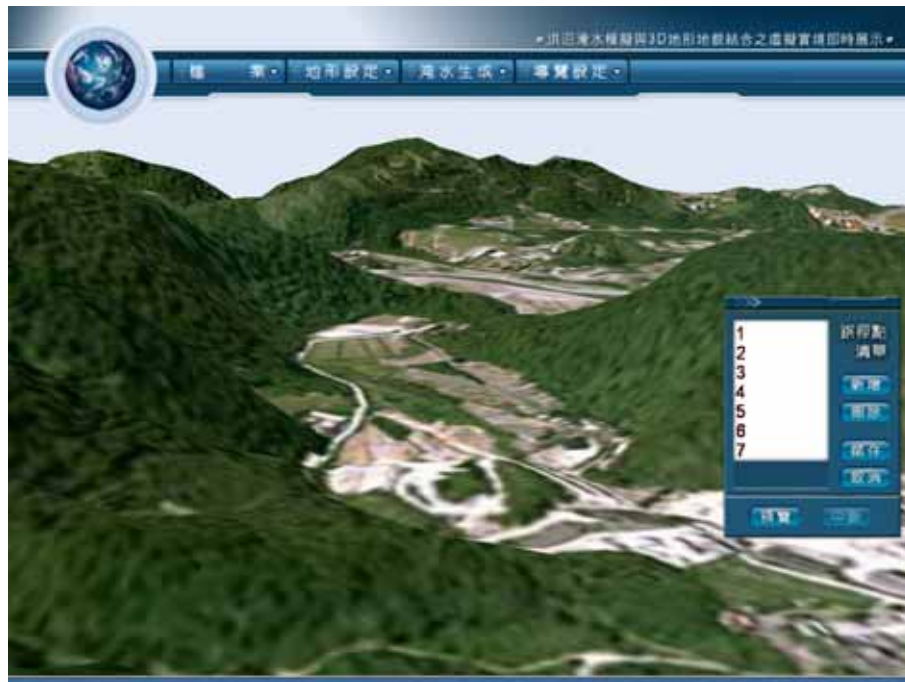


圖 5.1.4 設定自動導覽路徑

(5)透過互動式功能，使用者可任意移動或是旋轉到適當的地點或角度觀看，並且輸出成網頁格式，讓其他使用者可以利用 IE 或是瀏覽器瀏覽。

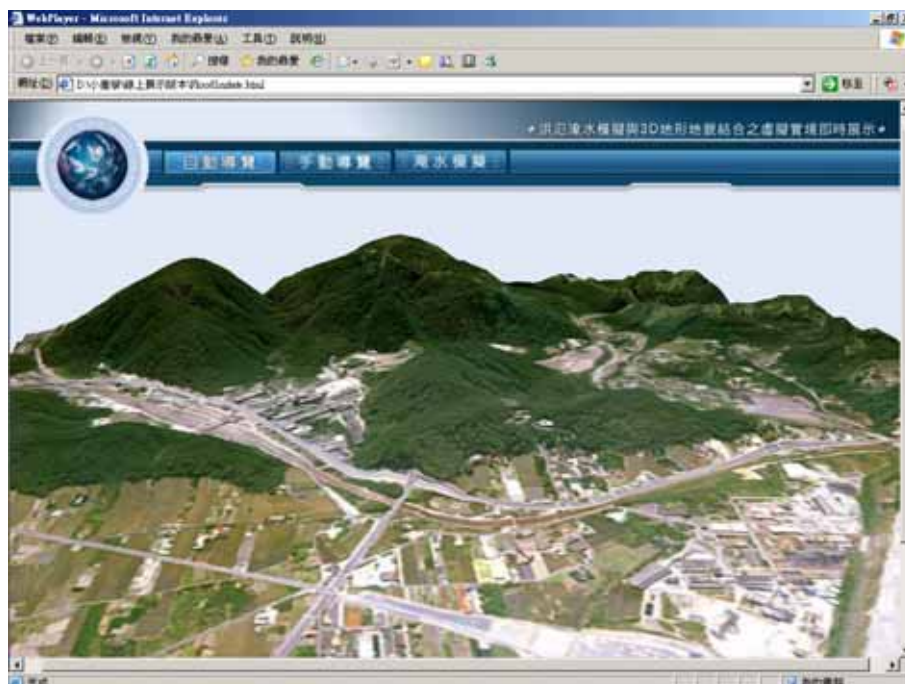


圖 5.1.5 輸出成網頁格式

5.2 計畫成果自評

近年國內外之社群參與及人民意識日漸提昇，公共建設必須經由良好之溝通協商過程，始可順利推展。利用立體互動式虛擬實境(3D/VR)的技術，立即展現淹水模式模擬結果與 3D 地形地貌虛擬實境場景，在防災議題上，將可促進與各界人士之溝通，實為極有效之媒合工具。本計畫利用 3D/VR 技術，預期可以創造的實務應用效果、效益及潛力歸納如下。

5.2.1 實務應用效果

(1)提供洪水預警預報，即時將模擬結果搭配 3D 地形的展示技術：

以往洪災的預警預報功能，必須經由模式模擬演算過後，再將模擬演算的資料透過人工繪圖及整理的方式，利用圖、表或是商用軟體(如 Arcview、Tecplot)等工具，依需求將結果進行套疊的工作，過程費時且無法即時呈現結果，僅可提供洪災潛勢之展示，尚無法支援洪災決策系統之需求。因此，經由本研究的技術提升後，將使洪水預警預報的效能得以提升。

(2)淹水模擬結果可經由網際網路方便瀏覽：

由於網際網路的盛行，本計畫所製作出的 3D/VR，是直接運用 IE 瀏覽器展現效果。因此，可方便的結合至各網站，方便資料之傳輸與瀏覽。

(3)做為與民眾溝通的輔助工具：

由於每個人的成長背景及專業素養不同，對於流域、堤防等水利防洪專業名詞的認知會有所差異。這樣的例子在專業工程領域中更是層出不窮，只有將這類的差異減至最低，彼此的認知程度才能越接近，完成後的工程品質及成果才會越令人滿意，雖然以書面文件敘述、照片(色差不要太嚴重)、樣品的提供等方法，都是可以輔助溝通的工具。而利用 3D/VR 的方式，以電腦模擬的技術，預先將設計觀念佈置與工程場景建置完畢，將欲製作的工程模擬於場景中，更可以補充文字、照片和樣本提供等方法所不足之處，是溝通的有效工具。

(4)與地形地貌結合於 VR 場景中：

洪氾模擬區域的景觀是既存的景象，但是洪氾模擬前後，現有場景將會有所不同，有些地方可能會被洪水淹沒，因此透過 3D/VR（立體互動式虛擬實境）模擬展示的方式，可讓當地居民早一步於腦海中呈現洪氾影響的範圍，對於洪氾過後相關區域的規劃，不管是休閒娛樂或是綠地的再利用，或是防災應變路線，都可預先規劃，將民眾生活與防災工作緊密結合在一起。

(5)製作之 3D 地形地貌為可重複使用之物件：

製作的 3D 地形模型和成果，在一般主流電腦就可以執行使用，不僅可做為工程進行前的溝通工具、進行中的驗收對照依據，還可將檔案成品與網頁技術結合，與大家分享進度和淹水展示成果。花一次的經費，可以產生數種用途。運用新科技，預先將成果和可能的方案模擬出來，以互動的方式來討論可節省時間，並可將原先規劃不符合之狀況降低到最小程度，方便有效的防救災規劃。

5.2.2 效益

虛擬實境製作上分為兩大重點，第一就是地形地貌網格的製作，第二就是航照圖與地形地貌網格的結合與定位，上述兩項工作都必須耗費相當的人力與時間執行製作，經濟效益不足。因此，本計畫研究重點，係開發一展示技術，將現有之數值高程精度資料，依據 x,y,z 座標，自動生成實際尺寸的 3D 地形網格，再將修整過後的航照圖拖拉進入所開發出來的展示器中，讓航照圖與 3D 地形自動結合與定位準確；同樣的，水理模式所模擬出來的資料，也是依據 x,y 座標以及各個座標點的水深及水位資料，利用所開發出來的展示技術，自動讀取模擬結果的資料來源檔，讓模擬結果所應呈現的淹水範圍與深度，立即自動化地呈現在地形地貌的虛擬實境場景上，並透過所開發的展示技術，依據各個使用者的喜好或是觀察重點，可以些微的調整展示時間的快慢、淹水展示顏色等等效果，如此，將能大幅的減少耗費的人力與時間，經濟效益也能大幅的提升。以下簡列所帶來的效益：

- (1)將數值高程(DEM)資料、航照圖及水理分析結果，利用所開發之展示技術，立即呈現洪氾模擬在地形地貌虛擬場景上所影響的範圍與深度，直接提供洪水預警報之即時展示功能。
- (2)節省地形地貌網格製作的時間、航照圖定位問題、網格邊緣柔化效果及水理模擬演算後資料轉換及圖檔套疊修正的時間，可節省人力與製作成本。

5.2.3 潛力

經由所開發之展示技術，除了可以呈現立體互動式虛擬場景結合洪氾淹水模擬結果，未來還可以結合 GIS 系統，套疊不同人文及生態的圖層，顯現模擬區域對各種人文及自然生態的影響範圍與深度，並且可結合已經建構或新增之各種地物及地貌，如代表性建築物、橋樑、植物或是生態工程等等，以及虛擬實境場景上河道水流的狀態及流速分布狀況。未來若能套疊各種人文、生態圖層及洪氾區域，可提供政府部門對於防救災體系的相關資訊，立即且準確的動用相關部門進行防救災工作，且更有助於與民眾之溝通宣導。另外，經由虛擬實境軟體工具所建構之各單元物件，如地標、河流、橋樑、植物及場景等，皆可做為未來不同虛擬實境場景適合的 3D 構件，同時也可做為各種教育訓練時，所需要的教育題材。以下將可能的潛力重點條列如下：

- (1)未來可以結合 GIS 系統，套疊不同人文、地理及生態的圖層；亦可連結相關的資料庫。
- (2)利用 Virtools 及相關程式語言所開發之展示功能與單元構件，未來可行銷至國際市場上，對於開發廠商與代理廠商而言皆有技術提昇及獲利的潛能。
- (3)利用虛擬實境軟體所建構的單元物件，可做為不同虛擬實境場景及教育訓練的題材。

參考文獻

1. 呂育勳、蔡長泰、顏沛華、吳現慶，「淹水數學模式之實驗研究」，台灣水利，第四十三卷，第二期，第 37-44 頁，1995 年。
2. 許銘熙、顏清連、謝慧民，「基隆河沿岸低窪地區淹水模式(一)之建立與驗證」，行政院國科會研究計畫報告第 78-57 號，1990 年。
3. 許銘熙、顏清連、謝慧民、鄧慰先，「基隆河沿岸低窪地區淹水模式(二)市區排水設施納入模式中」，行政院國科會研究計畫報告第 79-66 號，1991 年。
4. 許銘熙、鄧慰先、吳啟瑞，「八掌溪流域淹水模擬(一)河川演算模式與沿岸地區淹水模式之建立」，行政院國科會研究計畫報告第 80-56 號，1992 年。
5. 許銘熙、鄧慰先、吳啟瑞、楊應平，「八掌溪流域淹水模擬(二)沿岸地區小範圍之淹水模式之建立」，行政院國科會研究計畫報告第 81-50 號，1993 年。
6. 許銘熙、吳富春、鄧慰先、吳啟瑞，「八掌溪北岸淹水預報模式之研究(一)」，行政院國科會研究計畫報告，1995 年。
7. 許銘熙、楊錦釧、蘇明道，「嘉義地區流域逕流及淹水模式之研究(一、二、三)」，台灣省水利局專題研究計畫，台大水工試驗研究報告 154, 175, 202 號，1993, 1994, 1995 年。
8. 許銘熙、林國峰、鄭克聲、賴進松，「高速鐵路苗栗、彰化與雲林車站及汐止基地淹水防洪之研究」，國立台灣大學水工試驗所研究報告第 382 號，2000 年。
9. 蔡長泰、楊昌儒，「八掌溪洪水平原淹水及排水模式之研究(一、二)」，行政院國科會專題研究報告 NSC82-0414-P006-011B，NSC83-0414-P006-013B 號，1993, 1994 年。
10. 蔡長泰、顏沛華，「濁水溪沿岸潰堤淹水模式之研究(一、二、三)」，行政院國科會防災科技研究報告 77-35, 78-26, 79-06 號，1988, 1989, 1990 年。
11. 賴進松，「堤防潰決後二維性洪流演算模式」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，1986 年。
12. 賴進松，「河川潰堤淹水模式之研究(一、二、三)」，國立台灣大學水工試驗所研究報告第 303、339、366 號，1997, 1998, 1999 年。
13. 賴進松，「基隆河整體計畫(前期計畫)防洪成效互動 3D 虛擬實境展示」，國立台灣大學水工試驗所研究報告第 536 號，2003 年。
14. 賴進松、張向寬、李豐佐，「員山子分洪工程對汐止五堵地區淹水之模擬分析與虛擬實境展示」，台灣水利，第五十二卷，第二期，第 58-68 頁，2004 年。
15. 顏清連、葉克家，「濁水溪洪災模式初步研究」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，1980 年。
16. 顏清連、許銘熙、陳昶憲、賴進松，「淡水河系洪水演算模式(4)堤防潰決洪流模式之建立」，行政院國科會防災科技研究報告 75-19，1986 年。

17. 顏清連、許銘熙、賴進松，「洪氾區二維變量流模擬-ADE 與 SES 法之比較」，民國七十八年電子計算機於土木水利工程應用研討會，台北市，1989 年。
18. 顏清連等，「台北都會區大眾捷運系統防洪排水設計之研究」，國立台灣大學水工試驗所研究報告第 100 號，1989 年。
19. 台灣省水利處，「淡水河整體洪水預報系統模式之研發」，1997 年。
20. Balloffer, A. & M. L. Scheffler, "Numerical Analysis of the Teton Dam Failure Flood", Journal of Hydraulics Research, Vol. 20, 1982, pp.317-428. 共 42 頁 第 30 頁
21. Cunge, J. A., F. M. Holly, & A. Verwey, "Practical Aspects of Computational River 甲、 Hydraulics", Pitman Publishing Ltd., London, 1980.
22. Vongvisessomjai, S., T. Tingsanchali, & C. Chaiwat, "Bangkok Flood Plain Model", 21st IAHR Congress, Melbourne, Australia, 19-23 August, 1985.
23. Xanthopoulos, T. & C. Koutitas, "Numerical Simulation of a Two-Dimensional Flood Wave Propagation due to Dam Failure", Journal of Hydraulics Research, ASCE, Vol.14, 1976, pp.321-431.