

# 港灣季刊

(原港灣報導季刊)

第 97 期

交通部運輸研究所

中華民國 103 年 02 月

## 港灣季刊第 97 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw)

電 話：(04)26587176

總 編 輯：林志明

編輯委員：邱永芳、朱金元、林昭坤、謝明志、何良勝、簡仲璟  
蘇青和、單誠基、馬維倫

出版年月：每年 2、6、10 月

創刊年月：中華民國 77 年 2 月 1 日

定 價：100 元

本次出刊：130 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

印 刷 者：悅翔數位印刷有限公司

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：2007700020      ISSN：1019-2603

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

# 目 錄

## 一、跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理..1

- 鄭明淵 國立臺灣科技大學營建工程系特聘教授  
吳育偉 國立臺灣科技大學營建工程系博士後研究員  
林三賢 國立臺灣海洋大學河海工程學系教授  
林雅雯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員  
胡啓文 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員  
廖振程 財團法人臺灣營建研究院副研究員  
許長安 中興工程顧問公司高級研究員  
廖哲民 中興工程顧問公司工程師  
李冠曄 中興工程顧問公司

## 二、利用多重觀測指標預測未測站水位之研究.....12

- 游保杉 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授  
邱永芳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任  
林雅雯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員  
楊道昌 國立成功大學水利及海洋工程學系副研究教授  
詹勳全 國立中興大學水土保持學系助理教授  
郭振民 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員  
陳右錚 國立中興大學水土保持學系博士生  
周容辰 國立成功大學水利及海洋工程學系研究助理  
郭家姣 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生

## 三、山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發.....22

- 黃敏郎 聚禾工程顧問有限公司應用地質技師  
張道光 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員  
許錕安 聚禾工程顧問有限公司技師  
曾志民 長榮大學土地管理與開發學系副教授

#### 四、軌跡探勘於航港效率與安全指標之應用研究.....30

- 張淑淨 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系副教授  
張時銘 國立臺灣海洋大學光電科學研究所博士生  
蕭登騰 國立臺灣海洋大學電機工學系碩士生  
王暉智 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系碩士生  
胡曉蒼 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系碩士生

#### 五、臺北港風場之預報特性研究.....40

- 陳昭銘 國立高雄海洋科技大學 海事資訊科技系  
何良勝 交通部運輸研究所 港灣技術研究中心  
黃茂信 交通部運輸研究所 港灣技術研究中心  
郭智明 國立高雄海洋科技大學 海事資訊科技系  
劉進順 國立高雄海洋科技大學 海事資訊科技系

# 跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理

鄭明淵 國立臺灣科技大學營建工程系 特聘教授  
吳育偉 國立臺灣科技大學營建工程系 博士後研究員  
林三賢 國立臺灣海洋大學河海工程學系 教授  
林雅雯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員  
胡啓文 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 助理研究員  
廖振程 財團法人臺灣營建研究院 副研究員  
許長安 中興工程顧問公司 高級研究員  
廖哲民 中興工程顧問公司 工程師  
李冠擘 中興工程顧問公司

## 摘要

為了提供橋梁安全預警、橋梁基礎耐洪安全評估及橋梁維護等，交通部運輸研究所 98 至 100 年度「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」計畫中，已針對大甲溪石岡壩下游跨河橋梁建置潛勢分析模式與預警通報機制，藉以提升防災預警之效能。跨河橋梁沖刷潛勢分析模式首先進行集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度，然後，計算橋梁之耐洪安全係數作為即時未來三小時橋梁預警之依據。分析結果如超過警戒值，則自動啟動預警通報機制，提早通報橋梁管理單位，爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障。本研究將跨河橋梁預警範圍擴展至大甲溪石岡壩上游至馬鞍壩。同時，藉由颱風期資料持續修正大甲溪流域預測及預警模式，並與公路總局通報機制整合。本研究將利

用港研中心專利「災害預警資料交換機」，針對大甲溪馬鞍壩下游流域跨河橋梁，整合以下資料：橋梁基本資料、水理分析、耐洪安全評估、預警通報系統等。擴充跨河橋梁安全預警系統，將大甲溪馬鞍壩下游橋梁納入預警範圍，開發自動化執行機制。本系統可接收大甲溪河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，再與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域之未來一至三小時之降雨強度，然後結合集水區演算、地表漫地流演算、水庫演算、河道一維及二維水理演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度，進而計算橋梁耐洪安全係數。據此，提供橋梁管理單位颱風時決策支援，並有利於爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障。

## 一、前言

臺灣地理環境特殊，中央山脈高峰處超過 3000 公尺，但東西最寬處僅約

150 公里，造成臺灣河川坡度陡、流速急的現象，每年 7、8 月又有颱風豪雨的侵襲，面對目前及未來更為嚴峻的氣候變化挑戰，跨河橋梁如何提高安全性，每年汛期如何預警，亟需一套完整的研究。

交通部運輸研究所自 98 年辦理交通部交辦「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」計畫，此計畫由公路總局、國道高速公路局經費共同支應，並由運研所港研中心成立橋梁技術研發室，與國內各專業團隊進行合作研究，研究項目包括基本資料調查、橋梁損壞調查、水理分析、橋梁監測、耐洪安全評估、橋梁檢測、保護工法、規範檢討、工程材料、預警報系統及計畫整合等。此計畫係從一個河系上游、橋梁處的橋河共治區至下游，依整體河系做一個通盤全面性的研究，以達到先期預測、先期通報、先期預警的效果，並提供橋梁管理單位決策支援，減少汛期所造成的傷害，保障用路人安全。計畫成果目前已應用於大甲溪流域石岡壩下游跨河橋梁，並以河系管理預警之概念研發，將同一河系（大甲溪）之跨河橋梁納入預警範圍，達有效快速預警之效能。本系統首先自動接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，再與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域之未來一至三小時之降雨強度，然後結合集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度；據此再將橋梁材料結構特性納入考量，進行橋梁耐洪

穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數，以作為即時及未來一至三小時橋梁預警之依據。另外，在重要橋梁則利用水理分析二維模式對各橋墩做較精確的計算及安全預警，最後再結合救災資源派遣與救災應變作業，形成一個完整的預警應變系統。本系統會自動分析計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位颱風時決策支援，有利於爭取防災應變之黃金時間，提供用路人生命財產更多的保障。

根據往年災害案例之紀錄，跨河橋梁災害多發生於高程 300m 以上，因此本研究將跨河橋梁預警範圍擴展至大甲溪石岡壩上游至馬鞍壩，即新增公路總局轄管馬鞍壩下游至石岡壩，共 2 座跨河橋梁（東勢大橋、天福大橋）。同時，藉由颱風期資料之收集，持續修正大甲溪流域預測及預警模式，並與公路總局通報機制整合。

本研究依循「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」中模式建置之流程，利用港研中心專利「災害預警資料交換機」整合以下資訊：基本資料調查、水理分析、橋梁監測、耐洪安全評估、預警報系統等，並建置一適用於大甲溪流域之預警系統，將大甲溪石岡壩上游之跨河橋梁納入預警範圍，接收大甲溪河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，在與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域之未來一至三小時之降雨強度。然後結合集水區演算、地表漫地流演算、水庫演算、河道一維水理及二維水理運算，推估河道之流量、水位

、流速與沖刷深度。據此，加入橋梁材料結構特性納入考量，進行橋梁穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數，以作為即時及未來一至三小時橋梁耐洪預警之依據。最後根據大甲橋梁管理單位救災派遣與救災應變作業，為了能立即掌握即時跨河橋梁安全情況，並提供災時工程人員應變、決策及通報的機制，應用「災害預警資料交換機」即時收集災情資訊與安全評估結果，一旦橋梁安全係數到達設定之警戒值時，系統將以主動及被動兩種方式與公路總局通報機制進行整合。(1)主動方式:系統將啟動自動通報機制藉由交通部公路防救災資訊系統(<http://bobel68.tw>)通報相關負責工程人員進行道路管制或封閉的措施，並至公路總局通報系統，填報相關資料。(2)被動方式:目前公路總局所採用公路防救災系統，其資訊可取用網路端發布之資料，並採用 KML 格式。因此，本研究提供大甲溪流域橋梁最新雲資訊，以 KML 格式供公路防救災系統(<http://bobel68.tw/>)整合。

## 二、研究範圍與驗證規劃

### 2.1 河道資料與橋梁圖說資料收集

本研究範圍為大甲溪馬鞍壩下游，如表 1 所示，本研究根據此河道範圍取得經濟部水利署第三河川局大甲溪大斷面資料及跨河橋梁圖說資料。

### 2.2 驗證點規劃

本階段建議計畫案「跨河橋梁流域

表 1 研究範圍橋梁

橋梁名稱	範圍
台 61 線大甲溪橋	石岡壩下游
台 1 線大甲溪橋	
海線大甲溪鐵路橋	
國 3 大甲溪橋	
高鐵大甲溪橋	
國 1 大甲溪橋	
后豐大橋	
新山線大甲溪鐵路橋	
東勢大橋	石岡壩至馬鞍壩
天福大橋	

管理方法與驗證之研究」之一維水理分析可設置之驗證點。並根據本研究之二維水理分析及耐洪安全評估模式之需求與特性，分別進行驗證點之可行性探討。

計畫案「跨河橋梁流域管理方法與驗證之研究」之一維水理分析涵跨之範圍包含上游水庫入流、放流之比對，各橋梁之水位、流速及沖刷深度預測與實際值之比較。最後選取有監測儀器且提供即時監測數據之驗證點:德基水庫、石岡壩、馬鞍壩、台 1 線大甲溪橋、國道 3 號、國道 1 號、后豐大橋及東勢大橋等。本研究建置資料連結，即時更新各項資訊，並提供「跨河橋梁流域管理方法與驗證之研究」成功大學進行模式驗證。

二維水理分析之驗證分析對象為台 1 線大甲溪橋、國道 3 號、國道 1 號。

原「跨河橋梁安全評估之研究」中，耐洪安全評估模式中之土壤參數為假設值，為驗證這些假設值是否符合現地

土壤特性，因此本研究至現場進行土壤振動頻率量測，提供後續 SAP2000 數值分析模式土壤參數之校核與驗證。在考量耐洪安全計算時需要完整之橋梁結構計算書，並且有完整監測等資料之需求，符合之橋梁為台 1 線大甲溪橋與國道 3 號作，在此二座橋安裝振動頻率量測儀器，量測現場振動頻率，以驗證所假設土壤參數之正確性。



圖 1 颱風災害跨河橋梁防災架構圖

### 三、跨河橋梁安全預警系統之擴充

本研究係以河系管理預警之概念進行研發，跨河橋梁預警系統會自動接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，在與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域未來一至三小時之降雨強度，再結合集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度；然後考量橋梁材料結構特性，進行橋梁穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數做為即時及未來一至三小時橋梁預警之；另外，針對重要橋梁則利用二維水理分析模式對各橋墩做較精確的計算及安全預警，最後結合救災資源派遣與救災應變作業，建置一個完整的預警應變系統。本系統自動計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位，在颱風時作決策支援，有利於爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障，其架構如圖 1 所示。以下分別敘述各部份工作內容。

#### 3.1 降雨逕流與一維水理分析

由於臺灣地區河川多屬短陡且雨量相當充沛，經常造成河川上游集水區面臨每逢暴雨即發生洪水，進而對橋梁的安全造成莫大之威脅。以 2000 年碧利斯颱風為例，當時台 1 線高屏大橋受到碧利斯颱風帶來暴漲溪水沖毀橋墩，造成長達 100 公尺的橋面掉落至高屏溪中，且有 22 位民眾受輕重傷，救難相關單位動員近千名人員前往救援。2008 年辛樂克颱風在中部地區帶來超過 700 毫米的降雨，大甲溪溪水暴漲造成台 13 線后豐大橋斷裂，造成民眾 2 死 4 失蹤。2009 年莫拉克颱風在中南部多處降下刷新歷史紀錄的大雨，雙園大橋橋墩被高屏溪洪水沖斷，南端橋面剩 1100 公尺長，北端剩 200 公尺長，多位民眾失蹤。因此，需要發展一套降雨期間橋梁水位與沖刷預警機制，給予民眾生命財產更多的保障。

本階段整合「跨河橋梁流域管理方法與驗證之研究」之一維水理分析成果，再結合中央氣象局雷達雨量預報、現場水位與橋墩沖刷觀測資料，建立水文

分析模式，計算橋梁上、下游處可能的水位，進而估算此降雨對下游橋墩可能的沖刷深度，該模式主要分成三大部分：

- 1.雷達雨量預報：利用中央氣象局的QPESUMS 降雨資料，以支撐向量迴歸法修正雷達降雨受到地形或測站位置的影響。同時根據氣象局的未來 1~3 小時的雨量預報，提供集水區未來的可能降雨量空間分布。
- 2.格網分布型降雨逕流估算下游洪水量：由於格網分布型降雨-逕流模式具有模擬空間降雨、地文等特性，因此模式將結合格網分布型降雨-逕流模式與雷達降雨資料，計算暴雨期間目前與未來 1~3 小時下游河道變量流演算。
- 3.水位與橋梁沖刷計算：根據河道水理演算與沖刷深度分析結果可以計算暴雨時期的水位與橋梁沖刷。

橋墩沖刷預警：整合以上模式，藉由所預測未來 1~3 小時水位與沖刷深度，作為後續階段橋梁耐洪安全評估之輸入值，以評估橋梁之安全性。

### 3.2 二維水理分析

此階段藉由所蒐集之最新地形資料建立二維數值模型，配合一維水理分析所提供之邊界條件，進行細部橋墩周圍之流場模擬，再將模擬結果輸出搭配沖刷公式進行沖刷深度之推估。本研究採用非結構性三角網格之有限體積法來建立相關之數值模式，非結構性網格不僅能有效且快速處理實際水利及海

岸工程常遭遇之幾何複雜性（包含如橋墩等之內部不透水邊界）問題，而且配合彈性易用之網格建立工具，亦能大幅減輕使用者建模之負擔，相對於有限元素法亦有計算效能上之優勢，本研究二維水理分析初步規劃流程如圖 2 所示。

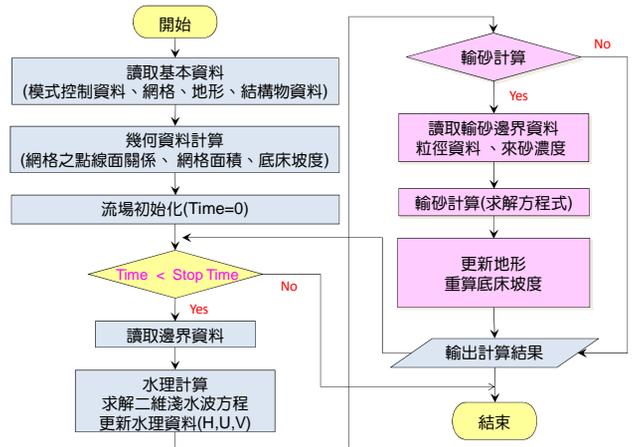


圖 2 二維水理分析流程圖

### 3.3 橋梁耐洪安全評估

在颱風洪水作用下橋梁基礎處之沖刷深度、水流流速與水位高度之變化，為直接攸關既有橋梁基礎的穩定，沉箱基礎因橋墩基礎沖刷所導致之破壞，可區分為：橋墩基礎土層流失導致基礎承载力破壞，橋墩與裸露沉箱受洪水之側向水流力作用所導致之傾覆破壞，及受洪水之側向水流力作用之滑移破壞。樁基礎裸露導致的基礎結構破壞模式則可區分為：基礎土層流失導致基礎承载力破壞，及側向水流力作用所導致基礎剪力與彎矩破壞。

本研究橋梁基礎耐洪安全評估參考「跨河橋梁安全評估之研究」對橋梁基礎結構耐洪能力所建立之橋梁耐洪



竣工平面圖以及基樁橋墩結構立面圖供使用者查詢，其中立面圖上顯示了橋面板高程、原河床面高程基樁底高程、沖刷後河床高程、水位高程、封橋水位高程、警戒水位高程，讓使用者可即時瞭解各橋墩的細部情形。

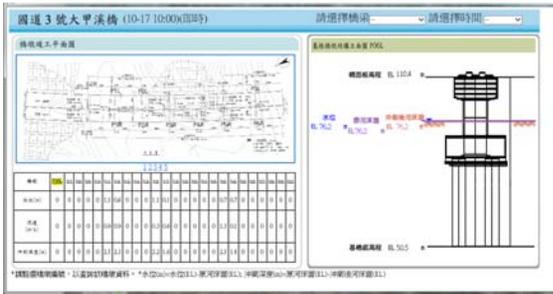


圖 6 二維水理分析資料模組

安全評估分析資料模組(圖 7)，此模組頁面上所提供的資訊與二維水理分析資料模組相似，有二維水理分析之橋梁以二維分析之成果進行橋梁耐洪安全評估。而部分橋梁由於無河道斷面資料，無法作二維水理分析。這些橋梁是採用一維水理分析模式所得平均河床沖刷深度，及整座橋的平均流速，再依此進行耐洪安全評估。



圖 7 安全評估分析資料模組

使用系統管理模組時，需使用管理者帳號、密碼登入，嚴格控管使用者身分。登入完成後，將顯示系統管理模組介面(如圖 8)，主畫面分為三個區塊，

最上層為登入者訊息，以及問題排除之說明，或以 GIS 圖面顯示、公路總局客製化及模式更新；中間層為一維水理分析、二維水理分析及安全評估之更新狀況和歷史資料查詢功能；最底層為系統連結各橋梁之監測資訊。其中 GIS 圖面顯示與歷史資料查詢為本次研究所新增之功能，災害資訊整合則依研究範圍新增：后豐大橋、東勢大橋及天福大橋之即時監測資訊。



圖 8 系統管理模組

以點選一維水理分析石岡壩放流量歷史紀錄為例，系統將顯示石岡壩放流量之即時流量、未來 1-3 小時之預估流量(如圖 9)。使用者可依不同年份、月份及日期進行查詢，結果將以表格方式顯示。並可點選繪製日圖表，系統將依當日之實際放流與預測放流繪製曲線圖，如圖 10。圖中，上圖顯示即時、1-3 小時之預設放流量；下圖顯示預設值與實際值之差異。

石岡壩放流預測值歷史紀錄

選擇年份 2013 選擇月份 04 日期 01 送出查詢 圖製日圖表 圖製月圖表

年	時間	即時流量(cms)	1小時後流量(cms)	2小時後流量(cms)	3小時後流量(cms)
2013	04-01 00:00	2.69	7.99	13.50	26.93
2013	04-01 01:00	2.68	7.98	13.49	26.92
2013	04-01 02:00	2.68	7.98	13.49	26.92
2013	04-01 03:00	2.67	7.97	13.48	26.91
2013	04-01 04:00	2.66	7.96	13.47	26.90
2013	04-01 05:00	2.66	7.96	13.47	26.90
2013	04-01 06:00	2.66	7.96	13.47	26.90
2013	04-01 07:00	2.64	7.94	13.45	26.88
2013	04-01 08:00	2.64	7.94	13.45	26.88
2013	04-01 09:00	2.64	7.94	13.45	26.88
2013	04-01 10:00	2.63	7.93	13.44	26.87
2013	04-01 11:00	2.63	7.93	13.44	26.87
2013	04-01 12:00	4.26	9.56	15.07	28.50
2013	04-01 13:00	2.74	8.04	13.55	26.98
2013	04-01 14:00	2.8	8.10	13.61	27.04
2013	04-01 15:00	3.44	8.74	14.25	27.68
2013	04-01 16:00	2.92	8.22	13.73	27.16

圖 9 石岡壩放流預測歷史紀錄

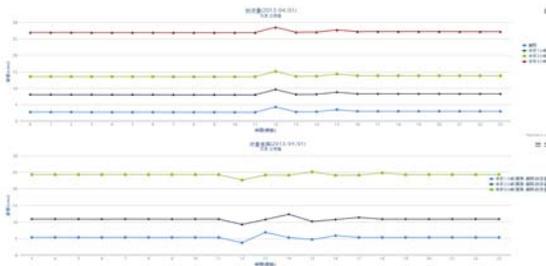


圖 10 石岡壩每日實際與預測放流量曲線圖

亦可點選繪製月圖表，系統將依當月之實際放流與預測放流繪製曲線圖，如圖 11。圖中，上圖顯示當月每日最大放流量；下圖顯示每日實際與預測值最大差異值。上述功能可供管理者檢驗控制點之記錄，在洪汛期查看德基水庫、石岡壩或其他裝設監測儀器點之實際值與預測值之差異，作為模式驗證與修正參考使用。



圖 11 每月實際與預測比較圖模組

如使用者想以大甲溪流域圖層方式顯示綜合資訊，可點選 GIS 圖面顯示功能。大甲溪流域範圍內各監測儀器數據值，將在圖層相對位置顯示，可供管理者於單一畫面監控各項監測數據值，如圖 12 所示。



圖 12 GIS 圖面顯示功能

點選公路總局客製化按鈕，可開啟公路總局大甲溪流域管轄橋梁清單，系統自動取得多重監控指標，並依迴歸公式計算求得各橋梁之水位高程及耐洪安全狀態，如圖 13。亦可點選橋梁名稱開啟圖面資料，顯示水位、封橋水位等資料。



圖 13 公路總局客製化頁面

點選模式更新按鈕，可開啟系統模式更新功能，此功能分為一維水理分析模式、二維水理分析模式與耐洪安全評估模式，其中一維水理分析模式更新，如圖 14。可參照地形檔格式範例，進行

流域地形檔更新。下方則會列出歷次更新紀錄，管理者可選取最後確認之地形檔資料。注意事項：請於單機介面確認此地形檔之正確性，再行更新，避免錯誤之地形檔資料造成分析結果錯誤或偏差。



圖 14 一維水理模式更新

## 四、驗證結果

### 4.1 二維水理分析模式驗證結果

本研究模擬新山線鐵路橋及台 1 線大甲溪橋於 2013 年 7 月 11 日蘇力颱風之水理情況作為驗證案例。石岡壩於蘇力颱風警報期間放流流量歷線如圖 15 所示。以下分述新山線鐵路橋及台 1 線大甲溪橋之定床水理驗證模擬成果。

採用交通部運輸研究所於民國 99 年『橋河共治區基本資料調查研究』計畫中所量測之大甲溪數值高程資料，建構成模擬河段中之數值地形。以台 1 線大甲溪橋為例，計算區域內之河床模擬地形如圖 16 所示。

模擬河段之計算區域包括主深河槽及高灘地，採用非結構性三角形網格，其網格面積小於 100 平方公尺。並於橋墩周遭進行局部格網加密，網格面積小於 10 平方公尺，同時設定橋墩為不通水結構物，圖 17 為台 1 線大甲溪橋

河段於計算域內共有 27,055 個計算網格點。

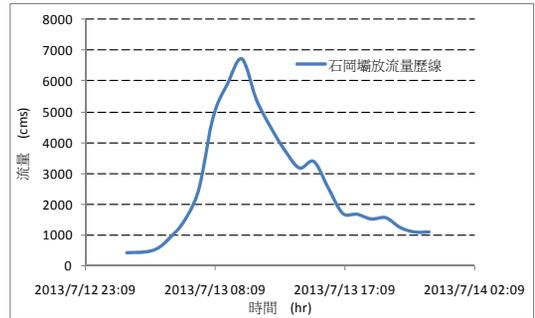


圖 15 石岡壩蘇力颱風放流歷線圖

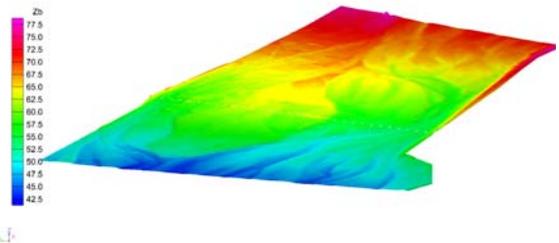


圖 16 台 1 線大甲溪橋段河床模擬地形

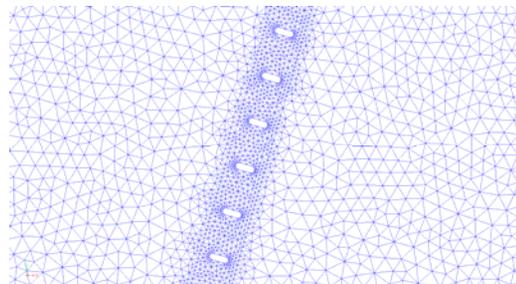


圖 17 台 1 線大甲溪橋段網格建置形式

河床糙率將影響水理計算結果，包括水位、流速等。依據民國 82 年前臺灣省水利局之「大甲溪治理規劃報告」及 94 年 12 月經濟部水利署水利規劃試驗所之「大甲溪流域聯合整體治理規劃檢討」報告，大甲溪河口至天輪壩河段之河床糙率採用 0.04。少部份區域採用 0.035 或 0.045。大致而言，曼寧 n 值分佈在 0.03~0.045 之間。本次模式河

床糙度主要採用 0.04。

經由蘇力颱風事件於台 1 線大甲溪橋之模擬水位與實測水位比較可知，在最高洪水位模擬之差異為 0.12%，如表 2 所示，顯示台 1 線大甲溪橋之數值模型之模擬準確度值得信賴。圖 18 為模擬水位與觀測水位繪製比較圖。

表 2 蘇力颱風模擬水位與實測水位比較表

水位 橋名	模擬最高 洪水位 (公尺)	實測最高 洪水位 (公尺)	水位差異 (%)
后豐大橋	203.68	203.21	0.23
台 1 線 大甲溪橋	57.49	57.58	0.16

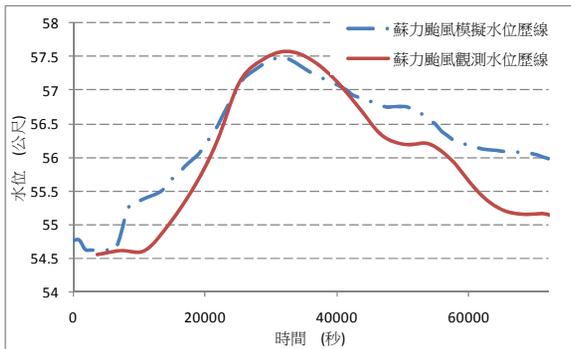


圖 18 蘇力颱風台 1 線大甲溪橋水位比較圖

#### 4.2 橋梁耐洪安全評估現地土壤參數驗證結果

本研究中選取國 3 大甲溪橋中 P28L 橋墩基礎及台 1 線大甲溪橋 P19 橋墩建立 SAP2000 數值分析模擬，並結合振動量測分析資料進行 SAP2000 分析模式中土壤參數之驗證與修正。

本計畫振動頻率量測之主要振動量測重點為橋墩基礎之自然振動頻率，因此將 2 組三軸向速度規擺設於樁帽

上，並選定距離墩柱及樁帽邊緣有一定距離之位置進行固定，以減少結構邊界對於振動量測之影響。

固定 2 組三軸向速度規時皆以箭頭標示方向對準車型方向為縱向 (Longitudinal)，與縱向水平垂直之方向 (即為水流方向) 為橫向 (Transverse)，另一方向即為垂直向 (Vertical)，固定後靜置一段時間後開始量測，量測照片如圖 19。



圖 19 三軸向速度規擺設情形

本次量測設定以 2 組三軸向速度規共計 6 頻道擷取資料，每頻道擷取速率為 1024 筆/秒，每 1 分鐘記錄成 1 筆資料，採全波形方式進行紀錄，共計量測 30 分鐘之資料。現地振動量測資將使用快速傅立葉轉換進行振動歷時曲線分析，分析結果如圖 20 所示，水流方向主頻率為 3.69Hz。

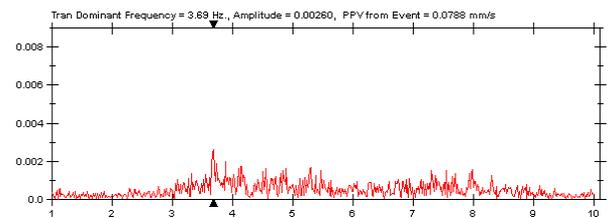


圖 20 現地振動量測資分析結果

依據量測頻率平均為 3.69Hz 之結

果，進行 SAP2000 模型土層參數修正，修正後 SAP2000 模型分析結果顯示自然振動頻率為 3.66Hz，與現場量測結果相比誤差為 0.81%，確認該模型可適用。

## 五、結論

橋梁為臺灣地區用來連絡河流兩岸之重要交通工程設施，然而臺灣屬季風型氣候夏季多雨，洪水往往造成橋梁重大威脅。跨河橋梁如何提高安全性，颱風豪雨期間如何預警並與防災預警通報體系結合，以提升橋梁防災預警時效，為一重要整合課題。

本研究之成果可提供交通部公路總局，對於所轄跨河橋梁(大甲溪)之管理及防災作為進行整合。本研究將整合防災系統於資料交換平台架構下。在此一系統的建立與運作下達成以下效益：以「後端系統運作 (Invisible computer)」概念建置「跨河橋梁安全預警系統」，讓橋梁管理單位及工程人員能享受系統所提供防災預警與時效性之便利，而無須擔心系統人機介面操作、資料整合分析及系統維護之額外人力負擔。且運用資料交換平台之新增系統連結機制，整合大甲溪河域橋梁網站監測資訊，亦可減少人為介入所發生之問題。河系管理預警之概念研發，將同一河系(大甲溪)之跨河橋梁納入預警範圍，達有效快速預警之效能，系統接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域之未來一至三小時之降雨強度，結合集水區演算、地表漫地

流演算、水庫演算、河道一維水理及二維水理演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度，並加入橋梁材料結構特性進行橋梁耐洪穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數做為即時及未來一至三小時橋梁預警之依據，並在重要橋梁再利用水理分析二維模式對各橋墩做較精確的計算及安全預警，最後再結合救災資源派遣與救災應變作業，形成一個完整的預警應變系統，系統自動計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位颱風時決策支援，並有利於爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障。

## 參考文獻

1. 林呈等(2002) 臺灣河流之沖刷對橋梁基礎與道路邊坡之影響及因應對策研究，交通部公路總局合作研究計畫報告。
2. 游保杉等(2011) 河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
3. 廖哲民等(2011) 橋墩沖刷計算模式之建立研究，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
4. 林三賢等(2011) 跨河橋梁安全評估之研究，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
5. 鄭明淵等(2011) 橋梁通阻檢測分析模式建立之研究，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。

# 利用多重觀測指標預測未測站水位之研究

游保杉 國立成功大學水利及海洋工程學系 特聘教授  
邱永芳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 主任  
林雅雯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員  
楊道昌 國立成功大學水利及海洋工程學系 副研究教授  
詹勳全 國立中興大學水土保持學系 助理教授  
郭振民 國立成功大學水利及海洋工程學系 博士後研究員  
陳右錚 國立中興大學水土保持學系 博士生  
周容辰 國立成功大學水利及海洋工程學系 研究助理  
郭家奴 國立成功大學水利及海洋工程學系 碩士生

## 摘要

本文旨在利用大甲溪上游雨量與放流量等觀測指標建立下游橋梁水位之推估方法，以提供大甲溪石岡壩下游橋梁安全分析預警之用。目前公路總局提供一個簡單的方法，藉由上游歷史雨量與下游水位之統計關係，當上游雨量達到特定門檻值時即發佈下游警戒，然而像大甲溪這種下游缺乏水位紀錄站之區域，則無法應用此種方法。

為解決無水位紀錄之問題，本研究嘗試整合交通部運輸研究所的「大甲溪跨河橋梁安全預警系統」與公路總局「降雨指標」方法，以發展未測站觀測指標預警之方法。首先根據歷史颱風事件之雨量資料，利用「大甲溪跨河橋梁安全預警系統」之一維水理模式建立下游未測站橋梁斷面之水位資料庫，根據上游雨量站與下游未測站的時間-

空間特性，確認洪峰傳遞由上游降水至下游各未測站所需之時間。根據時間-空間分析成果，選定降雨輸入因子，建議採用的指標組合為下游區域面積平均雨量2小時前之時雨量與馬鞍壩1小時前之放流量，以簡單線性迴歸方法預測石岡壩下游重點橋梁斷面之水位，以提供跨河橋梁安全預警系統進行橋梁安全評估。

## 一、前言

臺灣地理環境特殊，中央山脈高峰處超過 3000 公尺，但東西最寬處僅約 150 公里，造成臺灣河川坡度陡、流速急的現象，每年又有颱風豪雨的侵襲，面對目前及未來更為嚴峻的氣候變化挑戰，跨河橋梁如何提高安全性，颱風豪雨期間如何預警，亟需一套完整的研究。

有鑑於此，交通部運輸研究所港灣技術研究中心於 2009 年至 2011 年建

立「跨河橋梁安全預警系統」整合型計畫，利用即時及未來1-3小時之雷達降雨資訊，藉由集水區水文與水庫演算、一維及二維水理分析，並考量橋梁結構特性、材料劣化因子等進行橋梁安全評估，針對石岡壩下游各橋梁提供即時及未來1-3小時之預警之依據，以期減低災害損失。

公路總局目前橋梁流域管理方法係比對歷次豪雨期間標的橋梁上游集水區實體雨量站之降雨觀測組體圖歷線與其下游水文站之水位及流量歷線，尋找可能形成洪峰之降雨規模(連續降雨延時累積雨量或重現期或時雨量及24小時累積雨量)為行動值，採取保全方式管理。其啟動及管理機制目前係依據上游所選定特徵雨量站之各降雨延時累積雨量，提供行動值參考，而考量各路段不同之交通量特性及動員所需時間，提前率定警戒值與預警值，並依上述方法訂定重點監控橋梁多重降雨指標。此方法主要是根據統計特性而來，然而也因為統計分析需要大量的數據才得以完成，對於缺乏水位與流量觀測之橋梁處，將會面臨無法建立降雨指標之窘境。

為解決無資料建立降雨指標之困難，本研究整合「跨河橋梁安全預警系統」與公路總局降雨指標之方法，利用大甲溪一維水理分析之過程來建立未測站之歷史雨量-水位資料庫，以進一步分析其多重觀測指標操作方式之研究，提供跨河橋梁防災實務應用，研究流程如圖1。

## 二、研究區域

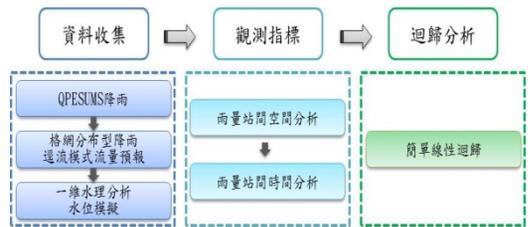


圖1 研究流程

大甲溪為臺灣第四大河，位於臺灣本島中部西側，流貫臺灣西部，南北分別和烏溪與大安溪為鄰；大甲溪主幹長約124km，流域面積約1235.7km<sup>2</sup>，其中山地占90%，大部份地形都屬於山地是典型的急流河川。流域最上游源自南湖溪，流至松茂附近匯入合歡溪及七家灣溪後，始稱為大甲溪。隨後大甲溪流經梨山、佳陽，到達見之後河幅變寬，並呈帶狀溪谷；再經谷關、白冷、馬鞍寮、東勢後，流入平原地形地區；大甲溪過石岡後蜿蜒即向西流，於清水鎮與大安鄉接壤處流入臺灣海峽。大甲溪流域內主要的水源調節設施為德基水庫與石岡壩，台電公司於這兩設施間設有一系列水力發電廠，因應其發電需求，設有青山壩、谷關壩、天輪壩、馬鞍壩、馬鞍後池堰等調節池。

本流域的平均年雨量約為2200mm，平均月雨量的分佈，以5月至9月豐水期的降雨量最多，約佔全年總降雨量的67%，枯水期則占33%，各月雨量分佈與臺灣地區其他地區類似，流域內的降雨以平地向山地遞增。

## 三、觀測指標資料庫

石岡壩下游重點監控橋梁處並無水位觀測資料，為建立未量測地點之觀測指標資料庫，根據交通部運輸研究所的「大甲溪跨河橋梁安全預警系統」建立歷史颱風事件中下游未測站橋梁斷面之水位資料庫，簡述如下：

### 3.1 跨河橋梁安全預警系統之一維分析

「跨河橋梁安全預警系統」的一維水位與沖刷之深度估算過程主要是由三個模組組成，如下述：

#### (1)QPESUMS 雷達雨量估算

利用大甲溪流域內的雨量站以及中央氣象局的QPESUMS降雨資料，以支撐向量迴歸法配合Kriging法修正雷達降雨受地形或測站位置的影響，以提昇雷達降雨量估算精度(Kim *et al.*, 2008; Cole and Moore, 2008)。同時根據未來1-3小時雨量預報，提供集水區目前與未來的可能降雨量空間分布。

#### (2)格網分布型降雨逕流估算下游洪水量

根據德基水庫在颱風事件時的放流資料與雷達降雨資料來計算下游石岡壩的入流量，配合地理資訊系統與遙測影像來建立集水區的地文特性，同時以不同的颱風歷史資料來建立模式的參數，驗證後本模式可以有有效的模擬石岡壩的入流。結合格網分布型降雨-逕流模式與雷達降雨資料，計算暴雨期間目前與未來1-3小時石岡壩的

入流量與放流量，提供石岡壩下游河道變量流演算(Jonch-Clausen, 1979; 郭振民, 1999; 王毓麒, 2006; 游保杉, 2008)。

#### (3)一維橋梁水位與沖刷深度計算

根據預估的石岡壩的放流量，藉由CCHE1D模式模擬石岡壩以下各斷面的河道水位，即可預測大甲溪下游重點監控橋梁的水位與流量，配合動床模組計算出可能的沖刷深度。經2005年泰利及2008年辛樂克的颱風事件驗證，本模組可有效的估算下游水位與沖刷深度。

### 3.2 觀測指標資料庫

本研究利用前述QPESUMS雷達預報雨量，共蒐集八場颱風事件(如表1)之雨量資料，輸入格網分布型降雨逕流模式計算石岡壩放流量，再以一維水理分析計算大甲溪下游重點監控橋梁(如表2)各斷面之歷史水位資料，則可建立雨量-水位資料庫。

為探討適當之多重觀測指標因子，本研究整理各颱風發生時之觀測資料，該資料係與大甲溪下游橋梁斷面水位具相關性之水文資料，以做為觀測指標因子之選擇。所整理各水文資料如下：

- (1)雨量站資料整理：整理歷史颱風期間石岡壩以上之自動雨量站紀錄，雨量站位置如圖2所示。
- (2)德基水庫入流/放流
- (3)馬鞍壩入流/放流
- (4)石岡壩入流/放流

表 1 建立水位-流量資料庫之歷年颱風場次

代號	颱風名稱	侵(近)台時間
TR1	泰利(TALIM)	2005/09/01
TR2	碧利斯(BILIS)	2006/07/13
TR3	聖帕(SEPAT)	2007/08/18
TR4	科羅莎(KROSA)	2007/10/06
TR5	鳳凰(FUNG-WONG)	2008/07/28
TR6	辛樂克(SINLAKU)	2008/09/14
TR7	薔蜜(JANGMI)	2008/09/28
TR8	莫拉克(MORAKOT)	2009/08/08

表 2 大甲溪下游重點監控橋梁資訊

橋梁名稱	水利署斷面樁編號	代號
埤豐橋	35	#1
舊山線鐵路橋	32-1	#2
新山線鐵路橋	30-1	#3
后豐橋	28-1	#4
國 1 大甲溪橋	23-1	#5
高速鐵路橋	19-1	#6
國 3 大甲溪橋	9-1	#7
海線鐵路橋	7-2	#8
台 1 大甲溪橋	7-1	#9
台 61 大甲溪橋	1-1	#10



圖 2 研究區域與雨量站位置

## 四、研究方法與過程

為尋找重點監測橋梁之降雨指標操作方式，根據不同的歷史水文資料進行分析，選取適當之觀測指標以線性迴歸分析方法建立多重觀測指標估算下游河道斷面處可能發生的水位之方法。

### 4.1 觀測指標因子之探討

適當指標的設定係從統計各個相關因子的歷史長期或颱風事件的特性以及與下游橋梁斷面之水位關係，進而由單一或是數個因子的組合做為指標，亦為迴歸模式之輸入因子

#### (1) 石岡壩下游橋梁斷面之水位相關性分析

首先分析每個斷面水位間的相關性，以了解各橋梁斷面水位間之關係。由表 3 可知各橋梁斷面之水位具有高度相關性，因此後續分析步驟將會先以後豐橋(#4)做為代表進行分析探討，再延伸至其他橋梁斷面。

表 3 泰利颱風石岡壩下游各橋梁斷面水位之相關係數

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
#1	1	.99	.98	.98	.96	.97	.95	.94	.92	.92
#2		1	.99	.98	.97	.97	.96	.95	.93	.93
#3			1	.98	.97	.97	.95	.95	.93	.93
#4				1	.99	.96	.94	.94	.93	.92
#5					1	.96	.95	.95	.94	.93
#6						1	.99	.98	.97	.96
#7							1	.99	.98	.99
#8								1	.99	.99
#9									1	.99
#10										1

#### (2) 雨量站空間相關性分析

大甲河流域內石岡壩以上各雨量站之間的相關性分析，如表 4(泰利颱風)，顯示本流域內有三個相關性高的分區，分別是梨山、大禹嶺與翠巒；白冷、白毛台、上谷關、稍來與雪嶺；龍安、慶福山、東勢、新伯公與石岡等雨量站雨量之間均具有高度相關性，這些具有高度相關性之雨量站分別位於德基水庫上游(上游)、德基

水庫至馬鞍壩間(中游)以及馬鞍壩至石岡壩間(下游)的三個區域。所有歷史颱風事件皆有此相似特性，本文僅以泰利颱風代表。

表 4 泰利颱風石岡壩上游雨量站雨量之相關係數

	梨山	大禹嶺	翠巒	白冷	白毛台	上谷關	稍來	雪嶺	龍安	慶福山	東勢	新伯公	石岡
梨山	1	.72	.87	.02	-.02	.27	.45	.43	-.08	-.07	.00	-.02	-.07
大禹嶺		1	.88	.00	-.03	.22	.57	.58	-.10	-.03	.01	-.03	-.05
翠巒			1	.10	.06	.34	.62	.60	-.01	.04	.08	.05	-.01
白冷				1	.97	.88	.62	.64	.91	.85	.92	.93	.86
白毛台					1	.89	.56	.60	.96	.92	.93	.95	.88
上谷關						1	.67	.72	.80	.84	.75	.77	.68
稍來							1	.98	.42	.47	.55	.51	.42
雪嶺								1	.46	.52	.57	.54	.45
龍安									1	.93	.95	.97	.95
慶福山										1	.84	.87	.81
東勢											1	.99	.96
新伯公												1	.97
石岡													1

### (3) 平均雨量與后豐橋斷面水位之時間關係

為確認降雨傳遞至重點監測橋梁之時間，利用交叉相關分析方法，推估降雨量與后豐橋斷面水位最大關連時間，其中，上游雨量受限於德基水庫操作，因此改以德基流量進行分析。表 5 為八場歷史颱風事件各觀測指標與后豐橋斷面水位之尖峰時間差，德基放流量至后豐橋平均時間約 2 小時；下游雨量至后豐橋平均時間約 2 小時發生；中游雨量至后豐橋平均時間則是 3 小時。

然而，2013 年發生的蘇力颱風中，石岡壩雖然有相當高的入流量紀錄，但是上游的水庫在台電公司依當日發電需求與水庫蓄水狀態考量下，德基水庫在整個颱風期間並未進行排

洪，也因此可以發現德基水庫的放流量與下游控制點石岡壩的入流未有直接的關係，亦即德基水庫至馬鞍壩均受到人為水庫操作影響，因此不適合選擇德基水庫放流量做為本研究之觀測指標，僅能以最下游的馬鞍壩放流量做為指標因子。又配合「雨量站空間分析」結果，本研究將以馬鞍壩放流量以及下游面積平均雨量等兩個指標進行後續迴歸分析，其中，馬鞍壩放流量到達下游斷面之時間差為 1 小時。

表 5 區域平均雨量站與后豐橋斷面水位之尖峰時間差

各區域與后豐橋 水位之時間差	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	平均
德基	1	1	4	3	5	3	1	1	2
中游	3	4	2	5	3	4	1	1	3
下游	2	6	2	2	4	1	1	1	2

單位：hr

## 4.2 多重降雨指標分析

透過簡單線性迴歸方法以 4.1 節所選用的觀測指標做為輸入因子估算下游重點橋梁斷面之水位。簡單線性迴歸理論方法簡述如後：

簡單線性迴歸為利用一個變數來預測另一個變數，找出兩個變數間的關係模式的方法。若有一序列自變數與  $x_i$  應變數  $y_i$ ，則可建立一最佳適合 (fit) 迴歸直線，以  $\hat{y}_i = a + bx_i$  表示。其迴歸係數  $a$  及  $b$ ，可用最小二乘法，令實際應變數  $y_i$  與迴歸式  $\hat{y}_i$  之差異，即殘差  $e_i$  之平方和為最小推求。即

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (1)$$

對式(1)偏微分，令其為 0，推得  $a$ 、 $b$ ：

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (3)$$

### 4.3 啟動降雨指標關係之門檻值訂定

本研究之主要標的是針對颱風期間的防災應用，因此著重於高水位之研究統計歷史各颱風事件於后豐橋水位高程大於200公尺時之石岡壩放流情形，根據統計結果如表6，可發現即時

程：208.5公尺)之水位進行迴歸分析。雖然各橋梁斷面之水位具有高度相關性，但為了未來應用之便利，本研究。迴歸分析的過程中避免低水位之影響，以後豐橋為例僅選擇后豐橋斷面水位大於200公尺(后豐橋梁底高放流量以碧利斯颱風(TR2)最小；2小時及3小時累積放流量以鳳凰颱風(TR5)最小，本研究建議石岡壩放流量啟動降雨指標關係之門檻值(1)即時放流量：500cms；(2)2小時累積放流量：920cms；(3)3小時累積放流量：1285cms，三項門檻值皆達到時，可使用本研究流程進行模擬與預警。

表6 各颱風事件於后豐橋水位達200m時，石岡壩放流量統計表

即時放流量(↓)		2小時累積放流量(↓)		3小時累積放流量(↓)	
TR4	892.36	TR4	1362.21	TR3	1724.07
TR6	758.79	TR3	1208.47	TR4	1715.78
TR3	712.55	TR6	1083.75	TR8	1438.93
TR7	594.85	TR8	1056.12	TR6	1401.65
TR8	573.81	TR1	1047.02	TR1	1381.13
TR1	539.63	TR7	1043.89	TR7	1373.24
TR5	511.72	TR2	979.33	TR2	1334.76
TR2	499.26	TR5	920.7	TR5	1285.56

單位：cms

## 五、結果與討論

本研究利用線性迴歸搭配選定之觀測指標作為輸入因子建立估算下游重點橋梁斷面之水位之方法。

由於本研究區域較為特殊，上游有數個控制點，而標的橋梁斷面之水位受上游石岡壩之入/放流量影響甚大，且有高度相關性。因此利用觀測指標推估下游橋梁斷面水位之前，將先討論利用迴歸方法推估石岡壩之入流量，以檢驗所選取之觀測指標是否恰當，再應用至水位分析。

迴歸參數的推求採用交叉驗證方

法，在八場歷史，輪流選取七場進行迴歸參數的率定，另外一場則做為驗證，如表7所示，共有A-H八種組合，其中灰底的場次為該組的驗證場次，其餘則為率定場次。最後再將各組迴歸公式之係數平均，即為最終之水位迴歸公式。

表7 交叉驗證各種組合之場次分配

組合	分析場次							
A	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
B	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
C	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
D	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
E	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
F	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
G	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8
H	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8

## 5.1 石岡壩入流量

根據前述觀測指標因子探討分析結果，以 1 小時前的馬鞍壩放流量[ $Q_{\text{馬鞍壩放流量}}(t-1)$ ]與馬鞍壩到石岡壩之間的面積雨量[ $P_{\text{下游面積雨量}}(t-2)$ ]等兩個觀測指標進行迴歸分析。交叉驗證之結果如表 8 所示，將各組迴歸公式之係數平均，即可獲得石岡壩入流量之迴歸公式。

將歷史各颱風場次以迴歸公式進行計算，圖 3 為觀測值與迴歸值之比較，圖中粗線與細線分別代表石岡壩入流量之觀測值與迴歸值，相關係數為 0.81。

表 8 石岡壩入流量簡單線性迴歸分析結果

$$Q_{\text{石岡壩入流量}}(t) = a + b \times Q_{\text{馬鞍壩放流量}}(t-1) + c \times P_{\text{下游面積雨量}}(t-2)$$

組合	係數			率定		驗證	
	a	b	c	R	RMSE	R	RMSE
A	358.03	0.81	57.59	0.81	439.10	0.78	180.58
B	390.92	0.77	60.942	0.81	440.15	0.59	254.60
C	374.59	0.77	54.59	0.79	445.76	0.96	323.45
D	181.37	1.16	47.51	0.86	383.36	0.89	794.44
E	389.47	0.80	61.45	0.82	401.33	0.80	552.66
F	180.52	1.28	66.58	0.82	536.61	0.69	586.56
G	440.76	0.67	46.07	0.80	347.30	0.87	832.85
H	362.81	0.80	58.22	0.80	451.38	0.91	197.08
平均	334.81	0.88	56.62			0.97	478.11

雨量單位：mm/hr；流量單位：cms

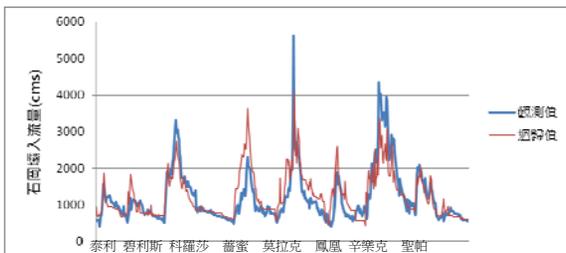


圖 3 簡單線性迴歸之石岡壩入流量結果(歷史颱風)

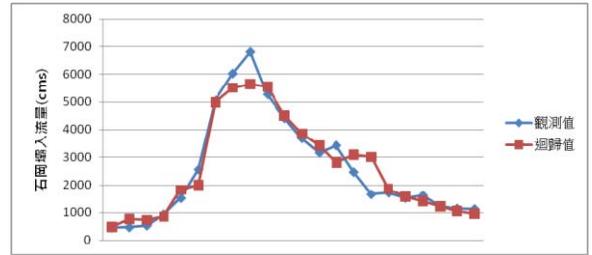


圖 4 簡單線性迴歸之石岡壩入流量結果(蘇力颱風)

## 5.2 石岡壩下游重點監控橋梁斷面水位

根據石岡入流量推估的成果，選用相同的指標分析，以  $Q_{\text{馬鞍壩放流量}}(t-1)$  與  $P_{\text{下游面積雨量}}(t-2)$  進行石岡壩下游重點監控橋梁斷面水位之迴歸分析。后豐橋斷面水位之迴歸分析結果如表 9 所示，將各組迴歸公式之係數平均之，即后豐橋水位之迴歸公式。

表 9 后豐橋斷面水位簡單線性迴歸分析結果

$$Q_{\text{后豐橋斷面水位}}(t) = a + b \times Q_{\text{馬鞍壩放流量}}(t-1) + c \times P_{\text{下游面積雨量}}(t-2)$$

組合	係數			率定		驗證	
	a	b	c	R	RMSE	R	RMSE
A	199.72	0.00095	0.029	0.85	0.37	0.88	0.41
B	199.76	0.00092	0.028	0.83	0.39	0.71	0.24
C	199.84	0.00083	0.028	0.82	0.38	0.93	0.36
D	199.62	0.00120	0.024	0.88	0.34	0.92	0.69
E	199.78	0.00094	0.031	0.84	0.37	0.90	0.41
F	199.83	0.00088	0.028	0.83	0.38	0.90	0.36
G	199.82	0.00080	0.027	0.80	0.36	0.91	0.52
H	199.81	0.00086	0.030	0.83	0.37	0.87	0.38
平均	199.77	0.00092	0.028			0.83	0.37

水位單位：m；雨量單位：mm/hr；流量單位：cms

以迴歸公式計算歷史各颱風場次下后豐橋斷面的平均水位高程，如圖 5，圖中粗線與細線分別代表「跨河橋梁安全預警系統」之系統演算水位以及迴歸公式所計算之水位，相關係數與均方根誤差分別為 0.83 與 0.37m。

圖 6 則為 2013 年蘇力颱風事件驗證結果，圖中之驗算值與迴歸值之相關係數與均方根誤差分別為 0.96 與 0.57m。而觀測值為水利署水位站之實際測量值，結果顯示迴歸公式所計算之水位與演算水位具有高度相關性。

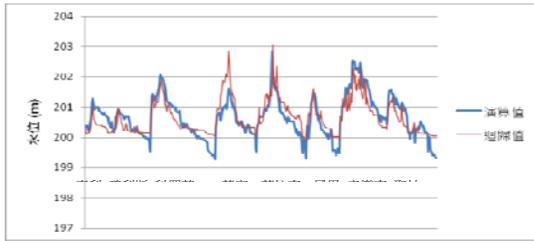


圖 5 線性迴歸之后豐橋斷面水位結果(歷史颱風)

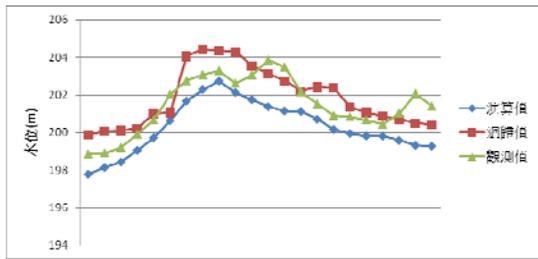


圖 6 線性迴歸之后豐橋斷面水位結果(蘇力颱風)

若採用即時觀測資料，該回歸式的實質意義應為：

$$S_{\text{后豐橋斷面}(t+1)} = 199.77 + 0.00092 \cdot Q_{\text{馬鞍埔放流量}}(t) + 0.028 \cdot P_{\text{下游面積雨量}}(t-1) \quad (4)$$

式中水位為 m；雨量為 mm/hr；流量為 cms。亦即採用此迴歸方法可以預估未來 1 小時後的水位。

大甲溪流域石岡壩下游其他重點監控橋梁因與后豐橋有高度相關特性，因此採用相同指標，以線性迴歸方法建立水位與觀測指標關係，結果如表 10 與圖 7 所示。

表 10 石岡壩下游重點監控橋斷面水位迴歸公式與結果

S 橋梁斷面水位(t+1)=a + b × Q 馬鞍埔放流量(t) + c × P 下游面積雨量(t-1)					
橋梁	係數 a	係數 b	係數 c	R	RMSE
#1	238.17596	0.00113	0.04875	0.83	0.53
#2	224.22203	0.00113	0.04665	0.83	0.51
#3	215.90205	0.00067	0.02723	0.85	0.28
#4	199.77692	0.00092	0.02847	0.83	0.37
#5	172.90454	0.00053	0.01739	0.83	0.23
#6	135.89120	0.00049	0.02504	0.83	0.24
#7	68.77610	0.00077	0.03500	0.81	0.39
#8	56.87726	0.00069	0.02127	0.83	0.28
#9	55.19312	0.00031	0.01717	0.83	0.16
#10	14.15426	0.00043	0.01205	0.77	0.21

水位單位：m；雨量單位：mm/hr；流量單位：cms

圖 8 為各橋梁斷面水位於 2013 年蘇力颱風事件之驗證結果。整體而言，利用  $Q_{\text{馬鞍埔放流量}}(t-1)$  與  $P_{\text{下游面積雨量}}(t-2)$  之指標組合所迴歸之公式可合理的模擬橋梁斷面之水位，且該組合之模擬可提供 1 小時的預警動員時間進行各項管理措施布置。

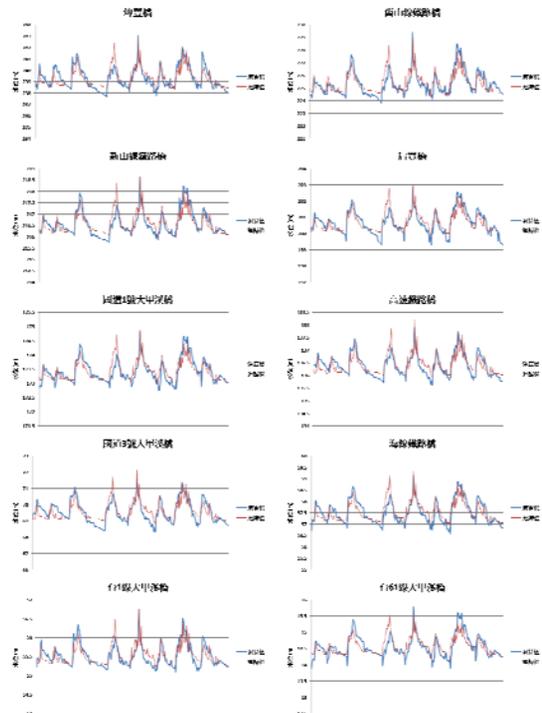


圖 7 線性迴歸之石岡壩下游重點監控橋梁斷面水位結果(歷史颱風)

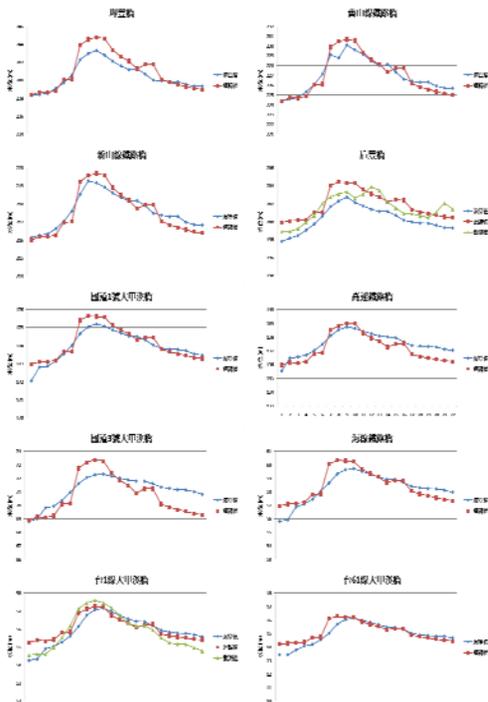


圖 8 線性迴歸之石岡壩下游重點監控橋梁斷面水位結果(蘇力颱風驗證)

## 六、結論

本研究成功整合交通部運輸研究所的「大甲溪跨河橋梁安全預警系統」與公路總局「降雨指標」方法，發展未測站降雨指標預警之方法。首先根據歷史颱風事件之雨量資料，利用「大甲溪跨河橋梁安全預警系統」之一維水理模式建立下游未測站橋梁斷面之水位資料庫，依上游雨量站與下游未測站的時間-空間特性，確認洪峰由上游雨量傳遞至下游未測站所需之時間，依照時間-空間分析成果，選定降雨輸入因子，利用迴歸分析搭配降雨指標建立下游未測站的水位，解決無水位紀錄站區域之問題。

根據多重觀測指標分析之結果，

採用馬鞍壩到石岡壩間雨量站 1 小時前的面積平均雨量與馬鞍壩即時放流量，配合線性迴歸即可合理預測石岡壩下游 1 小時後之水位，以提供橋梁安全預警系統使用。

在未來研究方面，可考慮應用於其他未測站區域提供預警資訊。惟在選擇未測站區域時，可考量避免有水庫操作影響之流域，應能在上游雨量與下游未測站橋量之時間-空間分析中，得到更好的分析結果，獲得更合適的多重觀測指標。

## 參考文獻

1. Cole, S. J. and Moore, R. J., (2008) "Hydrological modelling using raingauge- and radar-based estimators of areal rainfall," *Journal of Hydrology*, Vol. 358, pp. 159-181.
2. Jönch-Clausen, T., (1979) "Système Hydrologique Européen, A Short Description," Danish Hydraulic Institute.
3. Kim, B. S., Kim, B. K. and Kim, H. S., (2008) "Flood simulation using the gauge-adjusted radar rainfall and physics-based distributed hydrologic model," *Hydrological Process*, Vol. 22, pp. 4400-4414.
4. 王毓麒(2006) 「分布型水文模式於洪災消滅及未量測集水區逕流歷線之推估」，國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
5. 郭振民(1999) 「應用遙測與地理資訊系統於分佈型降雨-逕流模式之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

- 6.游保杉(2008)「雷達降雨應用在洪水及淹水預報之研究－總計畫暨子計畫：空間逕流量即時分析與預報技術研發」，行政院國家科學委員會專題研究計畫報告。
- 7.劉鑛銓(2009)「利用機器學習修正QPESUMS雷達估計降雨」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

# 山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警 管制技術之研發

黃敏郎 聚禾工程顧問有限公司 應用地質技師  
張道光 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員  
許銀安 聚禾工程顧問有限公司 技師  
曾志民 長榮大學土地管理與開發學系 副教授

## 一、前言

本計畫選定台 24 線之山區道路進行災害案例蒐集，並以坡面為分析單元，探究道路邊坡致災因子，期規劃建置合理之整合性山區道路邊坡山崩潛勢評估流程與方法。本計畫同時運用證據權法進行道路邊坡災害潛勢分析，並對各項自然環境及邊坡開發等致災潛勢因子進行其權重值之量化分析，以此建置災害潛勢模式。本研究並將結合地理資訊系統繪製山區道路邊坡災害之潛勢圖、環境地質敏區圖與易致災路段風險圖，並探討山區道路邊坡致災因子、降雨及道路邊坡破壞與否間之關係，以期建立降雨引致之道路邊坡山崩之量化分析模式。研究中亦將影像判釋技術應用於大規模滑動區位之判釋，並分析其滑動成因與特性。本研究之成果可提供公路總局及相關單位在山區道路坡地災害防治之參考與應用，做為後續相關研究之基礎。

## 二、研究地區與研究方法

本計畫主要著重在山區道路易致

災路段之調查與評估方法建立，與初步風險分析，據此本計畫以四階段流程完成各項工作，分別為計畫前期作業、山區道路易致災路段之調查評估、山區道路易致災路段風險評估與計畫成果提送等四階段。

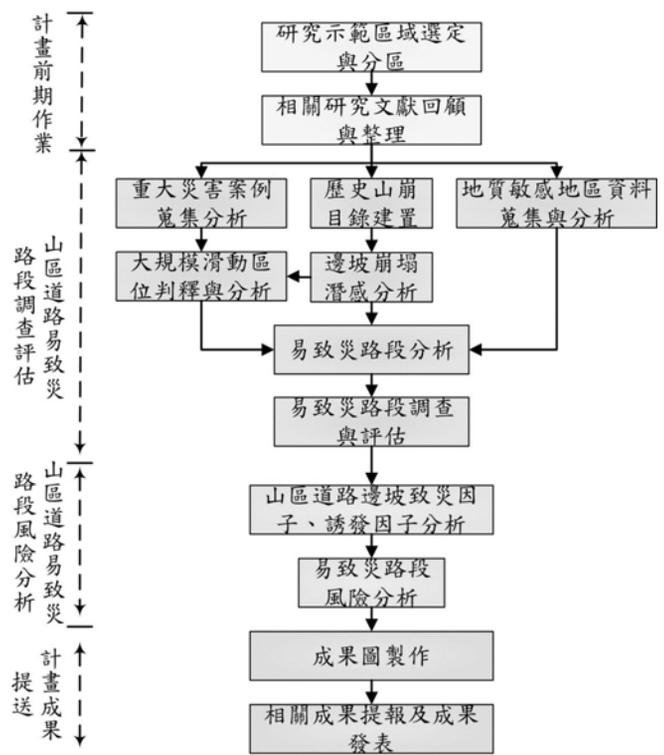


圖 1、本研究方法與流程圖

### 2.1 山區道路災害類型

在山區道路邊坡破壞模式之分類

方法甚多，國內公路系統習於參考歐美方法，認為道路邊坡破壞種類依據材料可分為岩坡與土坡；依據運動型態則可區分為墜落(fall)、傾覆(topple)、滑動(slide)、側移(spread)、流動(flow)及複合型(Varnes, 1984)。水土保持界則將邊坡破壞綜合名之為崩塌並概分為山崩、地滑、潛移、土石流與沖蝕等(水土保持局、中華水土保持學會, 2005)。

本研究為使用地調所之環境地質敏感區進行後續之分析，因此將臺灣地區山區道路規劃設計參考手冊中之邊坡破壞類型與地調所之環境地質敏感區進行對應，對應結果如表 1。其中，環境地質敏感區中之河岸侵蝕與順向坡並未出現在邊坡壞類型中，而本研究亦將此兩種敏感區類型納入，以完整進行分析。

表 1、邊坡破壞類型與環境地質敏感區對應表

臺灣地區山區道路規劃設計參考手冊	地調所環境地質敏感區
邊坡壞類型	環境地質敏感區
沖刷破壞	蝕溝
墜落型	崩塌(落石)
滑動型	崩塌(岩屑崩滑、岩體滑動)
流動型	土石流
其他	河岸侵蝕
	順向坡

## 2.2 本研究範圍

本研究範圍選定台 24 線三地門至阿禮段之山區道路為研究對象。

## 2.3 易致災路段劃分方法

以往易致災路段大部分採固定里



圖 2、本計畫研究對象-台 24 線三地門至阿禮段之山區道路

程進行劃分，此方式劃分結果有可能發生同一災害橫跨不同路段的現象，同時也會造成後續災害相關統計的困擾。因此本計畫納入坡面單元進行山區道路之分區。國家災害防救科技中心(2008、2009)的技術報告，曾針對十條易致災省道(台 8、台 20、台 21、台 9、台 7、台 7 甲、台 18、台 14、台 24、台 27)，進行道路警戒分段與致災比率分析，其易致災路段之分段主要依據(a)災點分佈、(b)縣市分界、(c)村里分界、(d)替代道路、(e)影響人口數等五項劃分原則，同一道路劃分約以 6~7 段為限。

本研究易致災路段之劃分方法，將山區道路所在邊坡之地質、地形等致災因子，以坡面單元概念劃分，在以此坡面單元之地質敏感區特性，進行易致災路段之劃分，以確立各易致災路段之區位與災害類型，後續再進行降雨誘發因子之分析，並嘗試建立各易致災路段之警戒基準。

本研究之山區道路之分區方法，首先套疊道路圖層，將道路依據坡面單元加以切割，再結合災害特性，針

對流動型災害(如土石流或蝕溝)區位以水系資料與環境地質敏感區資料再進行細分,如此可明確律定易致災路之主要災害類型,再透過水系分析將土石流、蝕溝等流動型災害進行細分,以與滑動型災害進行區隔,以利後續之災害統計與分析,最後完成易致災路段之劃分作業。經由上述之方法,易致災路段亦會記錄主要災害特性、地形特性,後續再透過資料蒐集與現地查核方式,針對道路排水或相關工程等重要區位導對災害發生與影響進行細部調查,以完整易致災路段之分析作業。

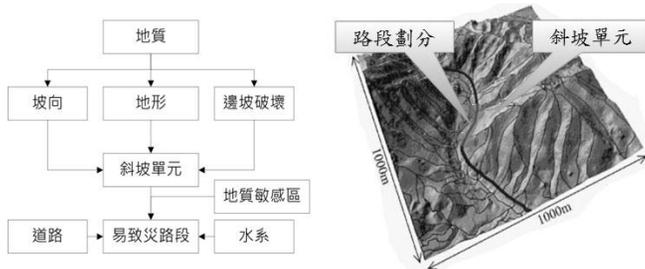


圖 3、本計畫易致災路段劃分流程

### 三、研究成果

#### 3.1 山崩目錄建置

本研究使用自 2005 年至 2011 年之颱風豪雨事件的福衛二號影像 18 幅,所判釋出的崩塌面積及數量統計結果顯示,歷史山崩面積與數量自 2008 年米塔颱風後,有逐年增加的趨勢,而 2009 年莫拉克颱風顯示極端降雨事件造成崩塌面積與數量急遽增加的現象。

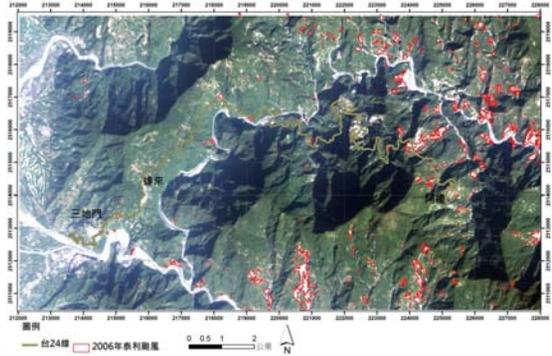


圖 4、山崩目錄建置成果(以 2006 年泰利颱風為例)

#### 3.2 山區道路重大災例蒐集、成因、特性與復建措施分析

本計畫蒐集重大災害案例共 39 處,其中有 29 處實際發生阻斷,以河岸侵蝕為最多共計 10 次,其中共有 9 處皆為 30K+890 的伊拉橋產生的交通阻斷,其次為岩體滑動共計 9 次。在重大災害案例復建措施分析結果方面,依據調查結果顯示 29 處復建措施工程現況中,13 處既有工程、5 處新建工程與 11 處緊急工程。在 13 處既有工程中,有 1 處全部毀損、有 7 處部分毀損、有 5 處運作良好,此顯示有超過一半以上之既有工程設施有持續受破壞的情形。

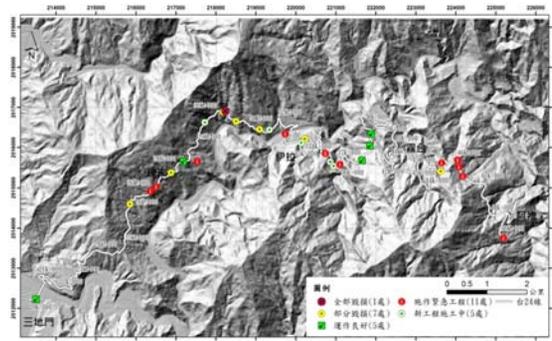


圖 5、台 24 線山區道路重大災例復建措施工程現況圖

### 3.3 山區道路易致災路段之調查評估

本研究參考港研中心山區道路歷史災害及現地調查資料庫，配合本研究預計蒐集示範研究區道路災害案例，輔以衛星影像判釋技術，建置示範區道路邊坡歷史山崩目錄。針對全流域山崩發生潛勢，本計畫透過上節建置之山崩目錄為基礎，採用證據權重法，製作山崩潛感圖，藉以劃定山崩發生之高潛勢區，以進行全研究區域深層滑動區位篩選之參考。在山崩目錄選定上，本計畫用研究區域內莫拉克災後，產生大量山崩之颱風豪雨事件，進行後續證據權重法分析。

同時為探究研究示範區山區道路疑似大規模滑動之區位，本計畫以潛在山崩面積大於 10 公頃者為潛在山區道路邊坡大規模滑動區位之必要條件，利用影像判釋分類之技術，結合有利山崩發生之各項自然環境或人為利用等因子分析方式，有系統地探究示範山區道路各類型之疑似大規模滑動區位。

除山崩災害外，本研究認為山區道路災害與所在之地質敏感地區有關，而依據經濟部地調所之地質敏感地區之相關調查研究，共包括山崩、土石流、順向坡、河岸侵蝕與向源侵蝕五大類，而上述區位皆會造成山區道路災害，因此本計畫擬增加地質敏感地區資料之蒐集與分析工作，以釐清山區道路所處之坡面單元內各種災害之類型與相互影響之關係。

易致災路段分析目的為從示範山區道路中，透過上述各節之山崩目錄、山崩潛感、重大案例、潛在大規模滑動與環境地質敏感區資料蒐集與分析，將易致災之山區道路單元與主要之災害種類篩選出並進行相對之分級，以進行後續調查評估、與風險分析之依據。此外，再針對示範區道路進行歷史災害特性分析及復建措施探討。

### 3.4 山區道路易致災路段分析

易致災路段劃分方法主要以坡面單元劃分結果(共 119 個坡面單元)為基礎，結合環境地質敏感區特性與水系分析結果，共將台 24 線自三地門至阿禮路段劃分為 138 段，這些路段在災害類型統計方面以岩屑崩滑為主共有 42 個路段，其次為岩體滑動共有 22 個路段，而有 18 個路段則無顯著災害路段，相對於其他路段而言，屬於安全路段，可考量建構臨時駐車與避難空間，供用路人於災害來時避難使用。若將上述之路段進行災害發生之邊坡區位分析，屬全坡面發育者共有 96 處佔絕大多數，此顯示本路段之地質環境不佳，易造成全坡面之崩壞災害。再者，若依據易致災路段所處之地形進行分析，超過 50% 以上的路段位於陡坡地形，共計 72 個路段，其次為緊鄰河岸與位於順向坡。而在易致災路段災害潛勢調查與分析成果部分，災害潛勢高者共有 83 個路段、災害潛勢中者共有 30 個路段、災害潛勢低者則有

25 個路段。

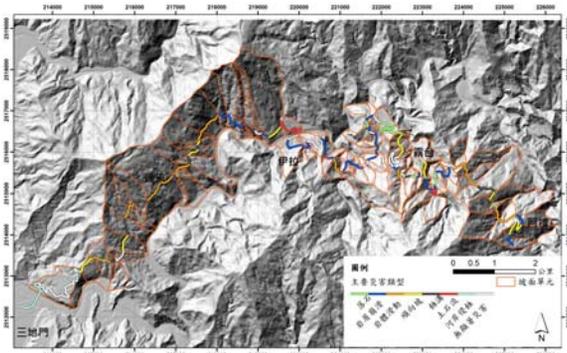


圖 6、台 24 線山區道路易致災路段主要災害類型分布圖

### 3.5 山區道路易致災路段警戒監控分析

本研究蒐集 2008 年迄今中央氣象局劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS)之空間網格降雨資料，並運用地理資訊系統的內插推估計算功能，分析研究區域各坡面單元在歷史颱風豪雨期間之降雨歷程。本研究進一步依據各坡面單元之降雨歷程歸納該坡面單元之降雨延時、總累積雨量、尖峰時雨量、最大 6 小時雨量及最大 12 小時雨量等降雨指標，並繪製成降雨引致之道路邊坡山崩影響臨界曲線，藉以探討致災因子、降雨及道路邊坡破壞間之關係。

有關各路段災害發生機率方面，主要係以降雨為考量基準。依據造成道路中斷之坡面單元災害類型(崩塌或土石流)，分別訂定災害致災雨量基準，再推估此雨量基準之重現期(發生機率)。

水利署(2001)以臺灣地區雨量紀錄年限超過 20 年之測站資料(水利署 87 站，臺灣電力公司 39 站，中央氣象局 18 站)，利用頻率分析推求各站最適合的降雨機率分布，再以 Horner 公式之型態，建立不同重現期之降雨強度( $I$ )-延時( $t$ )公式如下：

$$I = \frac{a}{(t + b)^c}$$

其中  $I$  為平均降雨強度(mm/hr)； $t$  為降雨延時(min)； $a, b, c$  為待定係數。以阿禮雨量站為例，各重現期之係數如表 2 所示。本研究將各坡面單元之致災雨量，以 12 小時短延時為依據，將滑動型(岩體滑動、岩屑崩滑、順向坡、河岸侵蝕)與流動型(土石流、蝕溝)的致災雨量與阿禮站各重現期雨量相比較，再內插找出最接近的重現期，此重現期的倒數即為發生機率，以作為估算發生機率之基礎。經計算結果滑動型發生機率為 1/6，流動型發生機率為 1/25。

表 2、屏東阿禮雨量站各重現期之降雨強度-延時公式係數

重現期 係數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
a	458.35	698.63	963.05	1474.16	2027.86	2759.70	3709.51
b	10.78	23.55	34.42	49.75	61.35	72.11	81.66
c	0.4270	0.4434	0.4683	0.5080	0.5404	0.5730	0.6052
R2	0.9977	0.9931	0.9873	0.9764	0.9660	0.9539	0.9402

### 3.6 山區道路易致災路段災損分析

在易致災路段的損失程度部分，

本研究蒐集歷年各台 24 線之災害路段與其復建經費，並依據本研究易致災路段進行單位長度之復建經費乘以該路段長度進行估算，再予以正規化以為該路段災害損失程度之依據。單位長度之復建經費計算原則，若路段中有重複部分，則以經費最高者為該路段之單位損失程度，若路段中無復建經費資料，則以所蒐集資料中復建經費最低者為該路段之單位損失程度，待後有新設工程時再進行復建經費之蒐集。本研究蒐集 95 年 0609 豪雨與莫拉克颱風災害台 24 線搶修及復建計畫之復建經費資料。分析 95 年 0609 豪雨與莫拉克颱風災害復建經費資料可發現，單位長度之復建經費以 32K+890 伊拉橋之復建工程經費 4,485.71 (千元/公尺) 為最高，因此為高架長跨距橋梁，相對復建工程較高，其次為 95 年 0609 豪雨災害搶修工程 35K+555~625 之復建工程經費 398.84(千元/公尺)。



圖 7、莫拉克風災台 24 線長期復建工程劃分圖 (資料來源：交通部公路總局第三區養護工程處)

### 3.7 山區道路易致災路段風險分析

山區道路邊坡主要為山崩所造成之各類邊坡災害，而針對造成山崩之

致災因子與誘發因子如圖 3 所示。於致災因子中，主要為地質、地形與地下水條件，而於誘發因子部分則包括降雨、侵蝕、地震及人為因素。

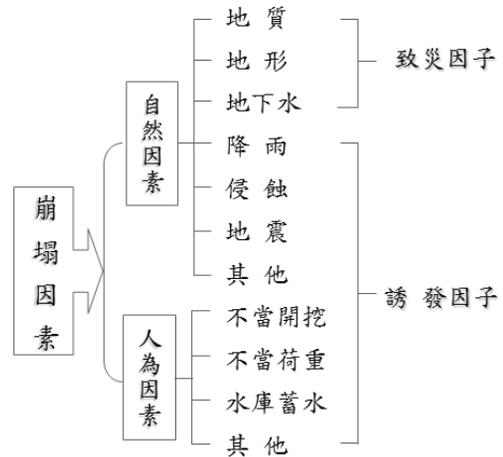


圖 8、山崩之致災因子與誘發因子 (資料來源：奧園誠之，1986)

在風險評估方面，鄭明淵 (2007) 以台 18 線案例資料進行統計分析以「觀光損失評估模式」，結合「生命損失評估模式」及「交通運輸損失評估模式」建立道路邊坡山崩潛勢分析及災損風險評估模式，而考蘇文瑞等人(2010)以災害潛勢 (Susceptibility)、發生災害之機率(Probability) 與損失程度等三部分進行風險評估，本計畫參考蘇文瑞等人(2010)之研究方法，將災害風險表示為下式 [1]、[2]：

$$R(\text{災害風險})= S(\text{災害潛勢})\times P(\text{發生機率})\times L(\text{損失程度}) \quad [1]$$

$$R(\text{災害風險})=H(\text{危害度})\times L(\text{損失程度}) \quad [2]$$

式子[1]中 S 代表災害潛勢，P 代表發生機率，而兩者相乘為危害度 H。

本研究以降雨導致之山崩風險計算為例，山崩風險計算分為兩個部分，分別是山崩災害的危害度，與災害發生時對道路所造成的損失程度，藉由此兩者的結合而得到山崩風險值，最後藉由GIS分級工具依據等數量間距進行分級。

山區道路易致災路段風險主要依據災害潛勢(S)、發生機率(P)與損失程度(L)進行風險評估，分析結果顯示台 24 線易致災路段風險值，以 32K+700 至 33K+100 伊拉橋之河岸侵蝕風險為最高，其次為 35K+350 至 35K+640 之岩體滑動風險為次之。因 32K+700 至 33K+100 伊拉橋復建工程為高架長跨距橋梁，相較於其他路段之復建經費高出許多，因此也影響風險分析結果。

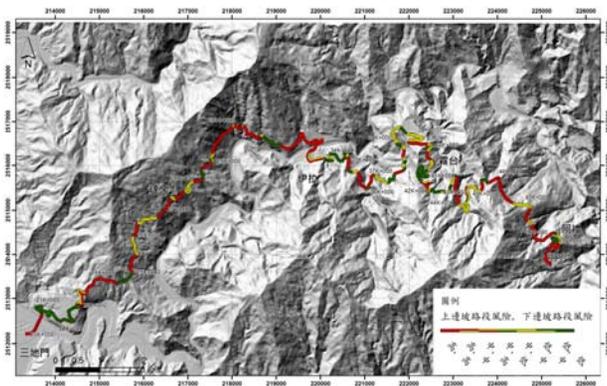


圖 9、台 24 線易致災路段風險圖

#### 四、結論與建議

採用坡面單元結合地質敏感區進行易致災路段劃分，各路段具相近物理特性與災害發生機制，有利於掌握災害特性、進行預警、管制等對策研

擬。此劃分方法可確立各易致災路段之區位、致災因子與誘發因子，後續建議可擴及各山區道路進行實際劃分與驗證，並協請各相關單位(如農委會、經濟部、交通部等)提供所需之致災因子資料，以提升本方法劃分精度。易致災路段之風險分析有待詳細之災害發生時間與當時雨量資訊，本年度使用氣象局雨量站之雨量資料，因其空間解析度低，因此影響降雨機率的計算結果與風險分析效益，因此建議後續可針對重大災害案例路段進行簡易自計式雨量站設置，再視經費擴及至各路段以提升風險分析之精度。

為有效進行道路管理，建議可以用現有之LiDAR測繪車科技，進行公路上下邊坡之地形、道路與設施之蒐集管理作業，建立道路結構物與附屬設施、地形、地物等基本資料庫，並建立道路管理系統。同時定期利用測繪車進行公路上下邊坡之資料蒐集作業，針對不同時期之道路結構物與附屬設施，透過分析軟體進行差異比對，找出設施狀況變化區域，供巡查人員於巡察時參考，針對不同時期之道路上下邊坡進行變異分析，找出經常變異區位與易致災路段資料庫，做為後續治理與防救災依據。

#### 參考文獻

- 1.鄭明淵，(2007)，「臺灣山區道路邊坡災害防治最佳化之研究---子計畫:道路邊坡山崩潛勢分析及災損風險評估(III)」，行政院國家科學委員會

- 補助專題研究計畫，計畫編號：NSC 96-2625-Z-011-002。蘇文瑞、蔡元芳、林立偉、陳怡臻，(2010)，「國民小學天然災害風險評估之研究—以土石流、洪水、地震為例」，華岡地理學報，第 25 期，pp. 21-35。
2. 國家災害防救科技中心，(2008)，「精進颱風災害應變預警技術技術報告」。
  3. 國家災害防救科技中心，(2009)，「颱風災害風險評估方法之建立技術報告」。
  4. 陳韻如、林聖琪、王俞婷、李宗融，(2011)，「山區道路崩塌災害潛勢評估」，臺灣公路工程，第 37 卷「第 1 期」，pp.5-24。
  5. 李維峰、林秉賢、李漢鑑、連惠邦，(2010)，「山區道路崩塌風險潛勢評估-以台 14 線為例」，港灣報導。

# 軌跡探勘於航港效率與安全指標之應用研究

張淑淨 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系 副教授  
張時銘 國立臺灣海洋大學光電科學研究所 博士生  
蕭登騰 國立臺灣海洋大學電機工學系 碩士生  
王暉智 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系 碩士生  
胡曉菁 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系 碩士生

## 摘要

航運與港埠在國家的經濟與發展中扮演著關鍵角色，為了管理與改善則需選擇可量測的適當指標。隨著各國船舶自動辨識系統(Automatic Identification System, AIS)巨量資料的累積，如何透過資料探勘將AIS應用於航港安全、效率與環保指標已獲得越來越多的研究關注。本研究整合船舶動態與電子海圖地理資訊，進行AIS巨量資料的時空分析，目的是為航港安全與效率提供量化指標，做為交通部航港局與港務公司在航運規劃與營運效率的重要參考，輔助規劃增進現有各港務分公司的船舶服務系統效能。基於船舶領域的near-miss事件數可應用於安全指標。在效率指標方面包括：進港航跡長度與航行時間過長的比例、港外漂航等待位置與時間等。

## 一、研究背景與目的

航運與港埠在國家的經濟與發展中扮演著關鍵角色，為了管理與改善則需選擇可量測的適當指標。依據聯

合國貿易與發展會議(UNCTAD 1976)提出的「港埠績效指標(Port Performance Indicators, PPI)」報告，蒐集資料計算指標是為港埠的規劃與控制提供管理資訊[1]。UNCTAD 1976建議的港埠績效指標分為財務指標與營運指標兩大類，只涵蓋船舶裝卸貨物的環節，未涵蓋整個運送鏈中屬於海上航運或港埠航行服務的功能區塊，但所需資料包括「船舶檔案」，用以計算：船舶到達率、等候時間、服務時間、周轉時間...等營運面的指標。船舶檔案資訊項目包括：抵達時間、停泊延遲與延遲原因代碼(分別對應於等待泊位、領港、拖船、輸出貨物等)、靠泊時間...等。

港埠基本上是船舶、貨物、內陸運輸等活動的服務提供者，其績效指標也應考慮使用者的看法，例如：港埠運營者雖希望將碼頭或泊位的利用率最大化，航商卻希望能避免船舶等待的時間延遲，所以一般認為各泊位的使用率應盡量維持在60%至80%以避免船舶等待泊位的時間延遲[2]。因此近年的研究多提倡應該納入使用者滿意度相關指標[3]，這意味著：時間延

遲不能只看港區範圍內的部分。除此之外，對應於各種新挑戰的其他因素也逐漸被納入，例如：歐盟由 2010-2011 年的 PPRISM 計畫提出一組由港埠各方關鍵利害關係人（含使用者）共同定義並認可的港埠績效指標，涵蓋歐洲港埠系統的環境、社會經濟與供應鏈效能[4]。

近來 AIS 船舶軌跡探勘應用已成為相當熱門的研究議題。例如：美國交通運輸部研究創新科技署設置於大學的運輸暨基礎設施研究教育國家中心(CFIRE)正進行 AIS 資料探勘研究計畫[5]，目的是指出高風險與高交通量的位置、使航行時間的估算更準確、偵測船舶的抵達、指出關鍵交通區域據以投資強化、改善碼頭之運作管理、以及更了解特定區域的船舶交通狀況。瑞典海事局與美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA) 則以 AIS 分析航行風險，據以排定海道測量的優先序[6, 7]。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心曾於民國 95 年提出「國內各國際港埠船舶進出港操作效率比較分析」研究報告[8]，對於港埠作業效率營運績效指標與國內外相關研究有詳細的探討。其中提到：雖然「船舶平均等待時間」的計算都是依據船舶抵港與進港的時間差，但各港計算方法不一致，其結果不宜用於各港比較。我國國際商港每年有業務統計，但目前僅見台中港列出「船舶等候時間」，而且自 95 年起將不歸屬於港務公司因素剔除，

詳見表 1。可見此項計算仍有其困難點或待確認的地方。船舶抵港時間認定不易，抵港而無法進港時，理應於指定的錨區等待，卻也常見於港外任意錨泊或是漂航的情形，曾被國內研究列為臺灣港口 10 大航行安全憂慮之首[9]，在接近港區海域的多餘等待時間也徒增空汙或溫室氣體的排放量。因此無論是從效率、航安或環保的觀點，船舶活動資料的蒐集都具有其指標意義。

表 1、台中港公佈之 101 年度營運指標[10]

年別	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
船舶到達率 (艘次/天)	15.8	16.3	16.1	16.1	16.3	16.0	17.3	19.7	19.1	20.2
船舶等候時間 (時/艘次)	5.1	5.2	5.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	1.0
船舶停泊時間 (時/艘次)	29.5	33.0	31.9	34.3	34.6	30.6	27.1	28.3	27.9	28.2
船舶在港時間 (時/艘次)	30.4	33.9	33.2	35.4	35.5	31.5	28.1	29.2	28.8	29.1
碼頭使用率 (%)	42.1	48.7	46.3	50.0	50.9	47.4	44.8	45.6	44.03	47.17

備註：「船舶等候時間」自 95 年起，將不歸屬於港務公司因素剔除。

我國已陸續建置各商港船舶交通服務並建立船舶自動辨識系統 (Automatic Identification System, AIS) 的沿岸接收網路。從這些系統的顯示畫面可看到船舶即時動態，也可以選取特定船舶畫出其軌跡。但是若要從巨量的船舶動態資料中取出資訊，應用於可量化之指標，做為改善或相關決策的依據，仍必須再進行船舶軌跡探勘分析與統計。此即本研究的目的。

本研究係以「電子海圖服務與資料安全系統建立研究」、「智慧化海運系統建立之研究」這兩個四年期計畫成果

為基礎，屬於「結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫(1/4)」的研究子題，本論文為計畫成果的部分摘錄。

## 二、船舶進港相關效率分析

### 2.1 港外等待情形之觀察與偵測

本研究採用的資料主要來自「臺灣海域船舶動態資訊系統」透過沿岸 AIS 接收設備蒐集的 AIS 船舶報告。其中船舶尺寸、吃水等靜態及航程資料必須經過關聯處理，船位動態資料則必須過濾掉代表無法取得數值或是數值異常的記錄。在發展分析方法的過程中，則需不斷因應資料異常狀況，增加演算法處理能力，以滿足巨量 AIS 時空資料分析的要求。但無論在分析方法設計之初或測試驗證的過程中，都必須有一個可彈性顯示船舶軌跡平台以供觀察。圖 1 是在平台上觀察到的船舶早已抵達卻在港外遲遲卻在港外遲遲無法進港的情形。



圖 1、因無法進港而在基隆港外漂航繞圈的貨櫃輪航跡

為了自動偵測在港外等待的情況，我們研發之程式首先將各船的 AIS 船位報告依時間先後排序，以中斷時

間超過  $T_{max}$  為界將航跡分段（因考量沿岸 AIS 接收站涵蓋範圍的間隙，目前設  $T_{max}$  為 1 小時），分析篩選出有進出港口的船舶航跡，然後依航速的變化判斷航行狀態的改變。經過測試分析後得出判斷方式如下：航速降到 0.5 節以下視為進入停船狀態，直到其航速增加到高於 2 節（考量港外水流速度）才視為離開停船狀態。航跡點、進入與離開停船狀態的時間點、時間長度（秒）、狀態都會被記錄下來，提供查詢或統計。

圖 2 是分析 2009 年 9-10 月間進出台中港船舶 AIS 軌跡的結果，綠色框線為海圖上標示的港區範圍，淡紫色範圍是錨區，屬於停船狀態的航跡在港內者以紅色顯示，在港外以藍色實線顯示，非停船狀態的港外航跡以淡黃色顯示。圖 3 是這些船的停船漂航偵測結果在高雄港內外的情形，圖中可見不少在錨區外（淡紫色範圍）等待的情形，查詢可得紅色那一段航跡大約 3.2 小時，屬於貨櫃輪。



圖 2、2009 年 9-10 月間進出台中港船舶航跡之停船漂航狀態偵測

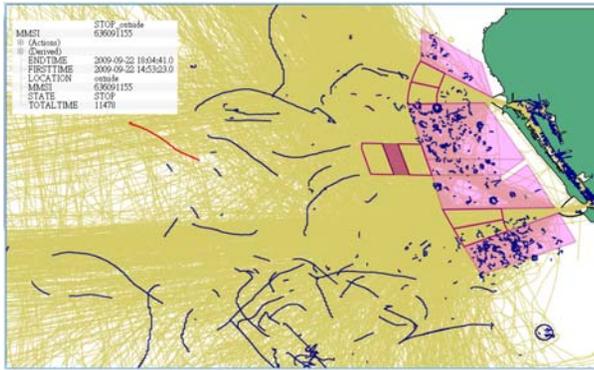


圖 3、2009 年 9-10 月曾進出中港之船舶於高雄港外停船漂航情形

以上是依據航速偵測進港船舶停船漂航情形，接下來則試驗從航行距離與時間來偵測統計船舶進港時的等待情形。

## 2.2 進港航行時間與距離之分析

首先就基隆港附近 AIS 歷史資料（2009 年 9-10 月間）進行試驗，以 JAVA 搭配 MySQL 資料庫實作程式，取 1000 艘船的船位報告依照時間排序，以連續兩點間隔超過一小時為界將航跡分段，就不同艘船(依 MMSI 識別碼)繪製成一條條航行軌跡線。就這些軌跡線偵測出其中有 80 條屬於進港航跡，以此分析進港船舶的航行距離。

分析時以港口兩側防波堤中間點為中心，產生 15 哩與 20 哩半徑的圓，計算進港航跡線與 15/20 哩線的交點，累計從穿過 15/20 哩線到進港（進防波堤）之間的航行距離。若該船 AIS 船位記錄的起點距離港口小於 15 哩則不計算其航行距離，起點大於 15 哩且小於 20 哩則僅計算 15 哩到港口的航行距離，起點大於 20 哩的船隻，則分別偵測 20 哩和 15 哩到港口的航行距離，最

後將各航跡和航行距離以線形圖徵物件與屬性方式建成地理資訊系統格式檔案。分析結果統計如表 2。

表 2、基隆港進港航跡的航行距離分析

基隆港進港 航行距離	記錄始於 20 哩外		記錄始於 15 哩外
	航跡數(條)		
	65		68
	港口到 20 哩線	港口到 15 哩線	港口到 15 哩線
最小值(哩)	20	15	15
最大值(哩)	38.1	32.1	32.1
距離平均值 $\mu$ (哩)	23.1	17.1	17.1
標準差 $\sigma$ (哩)	3.3	2.8	2.7
$\mu+\sigma$ (哩)	26.4	19.8	19.8
距離 $>(\mu+\sigma)$ 航跡數	5	4	4

圖 4 是以從 15 海哩線到港口的各航跡長度由低到高排列，然後再對應放入 20 海哩線到港口航跡長度的折線比較圖，其中從 20 海哩線到港口航行距離超出 26.4 海哩的異常航跡有 5 條，分屬 5 艘船，包括：客船、貨輪、油輪；從 15 海哩線到港口航行距離超出 19.8 海哩的異常航跡有 4 條。從圖 4 看來以平均值加標準差確實可做為判斷準則偵測異常航跡。圖 5 是航跡分析結果的圖形顯示，其中特別標示這 5 條距離超長的進港航跡，由圖可見這些航跡確實有在港外徘徊或是繞遠路才駛進港口的現象。

接著分析台中港進港航跡，並改以航行時間進行統計與偵測，從穿越 20 哩距離圈到進港花費的時間統計：最小值約 1.18 小時，最大值約 14.3 小時，平均值約 2.46 小時，標準差約 1.51 小時。取出進港時間超過 3.97 小時（平均值+標準差）的航跡，依船舶

識別分別以不同的顏色繪製其進港航跡，可看到其異常或延遲的狀況。

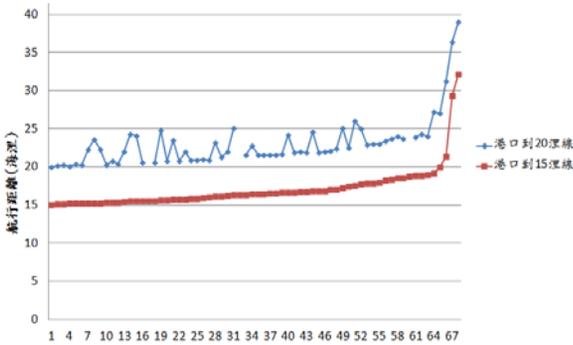


圖 4、基隆港進港航跡依 15 浬線到港口航行距離排序

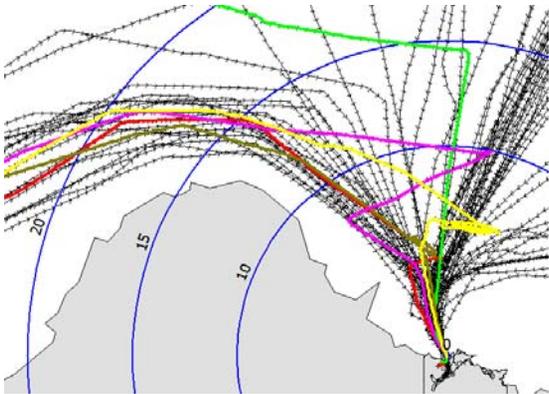


圖 5、基隆港進港航跡（黑色方向線）與異常進港航跡（粗線）

圖 6 顯示從台中港進港航跡檢測出異常/延遲航跡的結果，黑色虛線分別是 5、10、15、20 浬的距離圈，其中一條黃色航跡兩次穿越 20 浬距離圈（這是一艘散裝貨輪，進港後停靠 No. 99 碼頭）。放大檢視台中港異常進港航跡，可看到這些船舶進港後停靠的碼頭如圖 7，經查詢台中港網站公告的碼頭設施表，No. 10-11, No. 32-35 都是貨櫃碼頭，No. 20-26 是散雜貨碼頭，No. 99 是廢鐵碼頭。

受到港口的地理環境與進出港航道設計影響，從各個方向到港的正常

航行時間與距離都很可能有差異，因此可以再區分來向。以台中港為例，同樣從穿越 20 浬距離圈到進入台中港，從北側來港的路徑較長，分析後的統計結果如表 3。因此可以此分析方法，視實際需求再做區分得更細的統計分析。

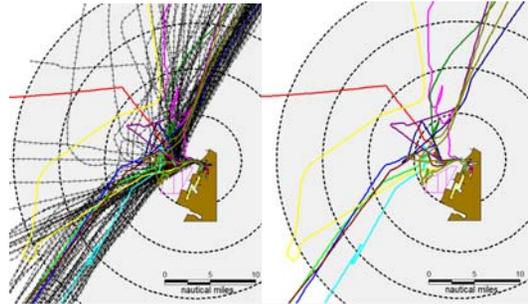


圖 6、台中港進港航跡（黑色方向線）與異常進港航跡（粗線）



圖 7、台中港異常進港航跡進港後停靠的碼頭

表 3、台中港不同方向進港航跡的航行距離與時間分析

通過 20 浬到進港	全部	北來(取 350 度~27 度)	其他來向
航跡數比例	100%	49.7%	50.3%
距離平均值 $\mu$ (浬)	23.35	24.60	22.12
距離標準差 $\sigma$ (浬)	4.20	2.97	4.83
距離 $\mu+\sigma$ (浬)	27.55	27.57	26.95
時間平均值 $\mu$ (秒)	8839	9436	8250
時間標準差 $\sigma$ (秒)	5446	6046	4706
時間 $\mu+\sigma$ (小時)	3.97	4.30	3.60

### 三、航行安全評估指標-以擱淺危機為例

在航行安全的指標方面，最常見的是以海難事故統計為依據。例如文獻[11]評估高雄港船舶交通服務的安全效益時採用的安全指數法，其安全指數計算方式是：安全指數=綜合換算事故數/船舶長度換算船舶活動量，其中綜合換算事故數是根據高雄港務局海難事故統計表勾稽，將海事案件依事故規模的大小換算取得；船舶噸位與長度換算船舶活動量，則除了計算通過艘次外還依據船舶的噸位與長度換算。然而在多重因素影響下，實際發生的海難事故數量相當少，差點發生而未發生的事件（稱之為"near-miss"）更具有航行風險的指標意義。

IMO 對於"near-miss"的定義是：「可能造成損失的一連串事件或狀況，只因偶然突破該連環事件或狀況而幸運地避免了損失」。這類事件比真正發生的海難更常見，也因此對於風險評估相當有用。其中因為採取緊急措施而避免碰撞的狀況可稱為"near-collision"，而船舶偏航誤入淺水區，還好遇到高潮位或是及時發現並採取適當措施而避免擱淺的狀況則稱為"near-grounding"。

2008 年國際海事組織的海事安全委員會與海洋環境保護委員會共同向各國發出 MSC-MEPC.7/ Circ.7 通函：「Near-miss 報告指南」，希望藉由鼓勵報告 near-miss 提升海運安全文化。

該指南指出：調查 near-miss 是持續改善安全管理系統不可或缺的要件。建議的調查程序是：蒐集資訊、分析資訊、指出原因、提出並實現相關建議事項。

在追究責任的陰影下，無論是公司或國家層級的系統，near-miss 報告的落實都面臨許多關卡[12]。本研究希望以 AIS 船舶軌跡探勘偵測出 near-miss 事件，除了用於風險指標，也可做為動態風險管理之用。先就 near-grounding 進行試驗。方法、步驟與成果如下：

#### 3.1 內插取得同一時間點的船舶動態資料

船載 AIS 設備會依船舶航速航向及航行狀態等調整時間間隔，分別以動態位置報告以及靜態報告持續對外廣播其識別碼、船位動態及其他靜態與航程相關資料。就 A 級 AIS 船載設備而言，標準傳送間隔如表 4。

表 4、A 級 AIS 動態船位報告訊息的傳送間隔 [13]

船舶動態狀況	報告間隔
錨泊或停泊中，且移動速度不超過 3 節	3 分鐘
錨泊或停泊中，且移動速度超過 3 節	10 秒
航速 0-14 節	10 秒
航速 0-14 節且轉向中	3 1/3 秒
航速 14-23 節	6 秒
航速 14-23 節且轉向中	2 秒
航速 >23 節	2 秒
航速 >23 節且轉向中	2 秒

為取得同一時間點的 AIS 船舶動態，本研究採用的內插方法是設定內插間隔後，取時間最接近該內插時間

前後的動態報告資料再依時間進行線性內插，使每個內插點都利用到最接近的報告資訊，無論是位置、航向、航速或艏向都是如此。

由於 AIS 採用 VHF 波段，穩定的涵蓋範圍約在 30 浬距離內，船位報告可能因為船舶駛離範圍而中斷（其間也有觀察到違反規定關機的情況）。本研究處理的方式是：只要同一艘船舶的先後兩筆船位報告時間相隔過長，超出設定的界限值，可能屬於不同的航次，其間不再內插；如果訊息中斷的時間在界限值內，則可能僅是短暫超出岸台通訊範圍，仍持續內插。此資料內插隨著應用的不同，需求也會不一樣，因此以「內插時間間隔」和「資料中斷界限值」這兩個參數提供彈性應用。此外航向航速必須用向量的方式內插，艏向內插需考慮轉向方向是順時針轉還是逆時針轉向，得依據動態資料判定。例如前一筆艏向是 5 度，後一筆是 355 度，若 AIS 報告中沒有轉向率數值，但時間僅相差 3 分鐘，則取轉向角度為 10 度，採逆時針方向內插處理。

### 3.2 船舶輪廓與船舶領域的空間幾何

船舶領域對於碰撞觸礁擱淺等航行風險的評估相當有用，尤其是在狹窄受限的水域或近距離會遇的情況。從船舶領域相關研究的探討中可知：大部分的船舶領域模型都是以幾何形式描述，而且與船舶長寬和船舶之間

的相對速度有關。因此要將此等船舶領域與地理環境資訊結合應用前，應能依據船舶動態資料與船舶基本資料產生代表各船舶領域的空間幾何圖徵。

可用以產生船舶輪廓與船舶領域圖徵的 AIS 資料包括船舶的長度、寬度、船位經緯度、對地航速、對地航向、艏向等。其中船舶的長度與寬度實際上是在 AIS 靜態報告中以定位天線分別到船艏、船艉、左舷、右舷的距離提供。本研究採用 Fujii 的船舶領域模型[14]，以 AIS 報告的船位依天線位置與艏向推算調整得出船舶領域的中心點，帶入以船舶長度為參數的橢圓長短軸領域邊界數值產生船舶領域圖徵。供後續利用空間資訊分析計算船舶領域之間，以及船舶領域與危險障礙物或淺水區之間的距離，偵測評估 near-miss 狀況。

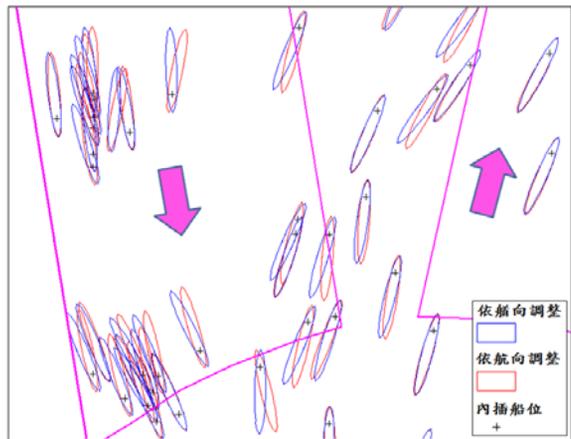


圖 8、依航向艏向推算中心位置產生的船舶真實比例輪廓

從圖 8 可比較推算調整船舶中心點的效果。該圖是以在基隆港進港與出港航行巷道上的天秤星號郵輪為例，

該輪的長度 216m 寬度 28m，GPS 天線安裝在比較靠近船艏的位置（以 + 號標示）。

### 3.3 船舶動態與海圖水深資訊的整合分析試驗

電子海圖內的水深資料包括：附有水深值屬性的水深點與等深線，以及附有最深最淺水深值屬性的水深區，其物件類別代碼分別是 SOUNDG, DEPCNT 與 DEPART。這些海圖圖徵資料可以依據所需地理空間範圍、圖徵物件類別、以及水深相關屬性條件，依循「開放地理空間聯盟 (Open Geospatial Consortium, OGC)」的「網路圖徵服務 (Web Feature Service (WFS))」標準協定[15]，透過網頁介面向後端由海洋大學電子海圖研究中心建置的 WFS 取得。

我們依據 2009 年 9 月 AIS 資料內插之後的船位，取各船長度為參數產生各船 Fujii 船舶領域縮小 1/2 後的橢圓形，同時也取出該船報告的最大吃水值，然後和從電子海圖網路圖徵服務中取出的比例尺 1:5000 沿岸航行用電子海圖內的 2, 5, 10, 20m 等深線進行空間關係的幾何分析。船舶領域與等深線交叉重疊而船舶的最大吃水大於該等深線深度值，則判定此船舶有擱淺的危機。為了驗證此功能設計，把其中偵測到吃水大於 10m 其船舶領域卻與 10m 等深線交叉重疊的船位資料，輸出顯示於網路地圖上提供檢視。圖 9 摘錄呈現其中的幾個結果，圖中各船

以較粗的紅色實線標繪橢圓形船舶領域，內以真實比例的紅色實心船形顯示船舶輪廓（被點選查詢時以橘黃色突顯），海圖中的等深線以黑色顯示，被設定偵測的 10m 等深線則以紅色突顯，圖中對話框內顯示的是查詢該船 AIS 動態靜態報告資料的結果，由上而下這三艘船當下報告的最大吃水數值分別是 10.2m, 13.7m, 11m，確實都大於其跨越之 10m 等深線。

這項功能相當於 near-grounding 事件的偵測，實際應用時可再搭配潮位值進行偵測。

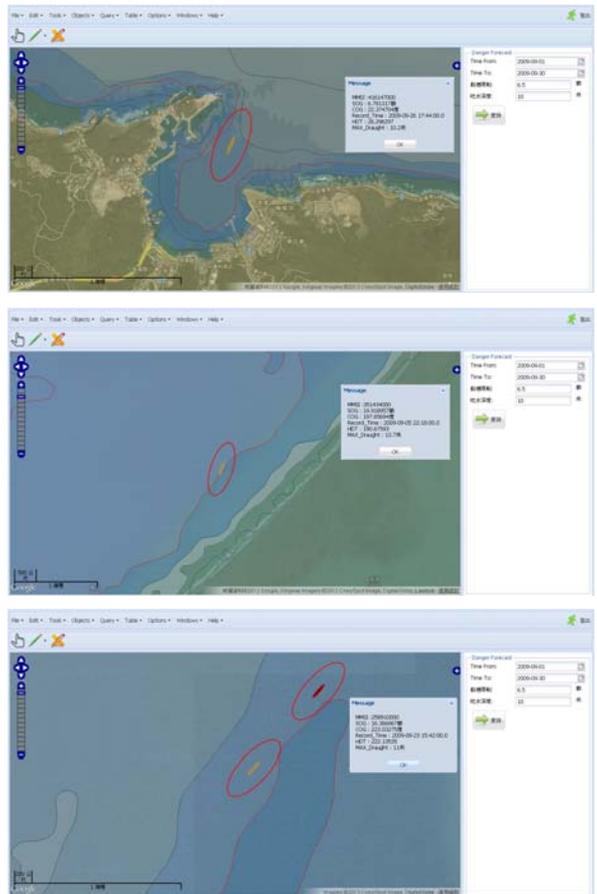


圖 9、整合船舶動靜態資料與水深資訊的擱淺危險檢測

## 四、結論與建議

本研究建立整合船舶動態資料與電子海圖地理資料庫的分析技術與平臺，以 AIS 巨量資料的時空分析，產出可應用於航港安全與效率評估指標的量化資訊。具體成果如下：

1. 建立方法與平台，可依據 AIS 船舶長寬、天線位置、航向或艏向等動靜態產生真實比例輪廓之船舶圖徵、船舶領域圖徵，並將此等圖徵和取自電子海圖網路圖徵服務之水深資訊整合分析，偵測近距離避開之擱淺事件。
2. 分析 AIS 動態航跡的速度變化，偵測取出在港外停船漂航的情形及其時間長度與空間分佈。
3. 分析 AIS 航跡穿越不同距離圈的角度及其到進港的實際航行時間與距離等，分別以進港航跡長度與航行時間分析偵測可能因等待領港/拖船、碼頭泊位或進出港排程等影響而在港外徘徊或是繞遠路才駛進港口的異常狀況，以及這些船舶進港後靠泊的碼頭位置。可據以檢視後續改善的重點。

本研究建立的各項分析方法與工具，可產生船舶交通的安全與效率相關指標，建議常規化應用。基於船舶領域的 Near-miss 事件數可應用於安全指標。效率指標方面則包括：進港航跡長度與航行時間過長的比例、港外漂航時間等。分析中的若干參數或預

設值，可依據各港實際數據調效驗證，以獲致更高的應用效益。例如：各港口從 20 哩到進港不同方向的正常航跡長度與時間不同，適合區分的角度範圍也不同。

## 參考文獻

1. UNCTAD, (1976). "Port Performance Indicators," United Nations Conference on Trade and Development, Secretary Report, New York, US.
2. Gordon Rankine, (2003). "Benchmarking Container Terminal Performance," ContainerPort Conference, Rotterdam.
3. Caldeirinha, V., J.A. Felício, A. Dionísio (2013), "The container terminal characteristics and customer's satisfaction," CEFAGE-UE Working Paper 2013/14.
4. European Sea Ports Organization, (2012), Port Performance Indicators: Selection and Measurement, Project Report, <http://pprism.espo.be/>
5. Peter S. Lindquist, (2012) "New Developments in the Great Lakes Maritime Information Delivery System," <http://www.glmri.org/research/>
6. M. Lundkvist, L. Jakobsson, and R. Modigh., (2008), "Automatic Identification System (AIS) and Risk-Based Planning of Hydrographic Surveys in Swedish waters," Proc. FIG Working Week 2008.

7. B.R. Calder and K. Schwehr, (2009). "Traffic Analysis for the Calibration of Risk Assessment Methods," Proc. of US Hydro.
8. 朱金元、謝幼屏、王克尹，(2006)，國內各國際港埠船舶進出港操作效率比較分析，交通部運輸研究所，ISBN：986-00-5272-7。
9. Chung-Ping Liu, Gin-Shuh Liang, Yuhling Su and Ching-Wu Chu, (2006) "Navigation safety analysis in Taiwanese ports," J. of Navigation Vol. 59, pp. 201-211.
10. Taiwan International Ports Ltd., (2013), "Port of Taichung Statistical Abstract 2012," <http://www.tchb.gov.tw/>
11. 胡延章，(2007)，高雄港實施船舶交通服務系統效益評估分析，國立臺灣海洋大學商船學系碩士學位論文。
12. J. Storgård, I. Erdogan, J. Lappalainen and U. Tapaninen, (2012), "Developing Incident and Near Miss Reporting in the Maritime Industry - A Case Study on the Baltic Sea," Procedia - Social and Behavioral Sciences, Transport Research Arena 2012.
13. International Electrotechnical Commission, (2012). IEC 61993-2: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Automatic identification systems (AIS) - Part 2: Class A shipborne equipment of the automatic identification system (AIS) - Operational and performance requirements, methods of test and required test results, Ed. 2.0.
14. Y. Fujii and K. Tanaka, (1971), "Traffic Capacity-Marine Traffic Engineering," J. of Navigation, Vol. 24, No. 4.
15. Open Geospatial Consortium, (2009). OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard, <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>

# 臺北港風場之預報特性研究

陳昭銘 國立高雄海洋科技大學海事資訊科技系  
何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
黃茂信 交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
郭智明 國立高雄海洋科技大學海事資訊科技系  
劉進順 國立高雄海洋科技大學海事資訊科技系

## 摘要

本研究計畫運用大氣數值預報模式，採用三層巢狀預報方法，執行 2009-2012 年後預報實驗與 2013 年蘇力颱風預報個案，將全球大尺度資訊降尺度預報到港灣區風場，以 2 公里解析度檢測臺北港風場之預報能力。主要研究結論陳述如下：

1. 臺北港風場主要分為東北季風(10-4 月)與西南季風(6-8 月)季節，東北季風主要風速(約 5-6 級)比西南季風主要風速(2-3 級)明顯增強。
2. 臺北港全年中，發生強風個案(7 級風以上)之機率約為 6%，強風個案主要發生原因來自東北季風(佔 75%)，颱風其次(佔 10%)。
3. 大氣模式之 2 公里預報對臺北港風場具有相當程度預報能力，對日變化之變化趨勢與強度，於大部分月份均能掌握，反應適宜作為港灣區風場預報系統之使用。
4. 大氣模式對 2013 年蘇力颱風預報個案，能相當準確預報颱風引發主要港灣區(臺北港、臺中港、高雄港)風場之變化趨勢與強度。

## 一、前言

臺灣為一海島，鄰近海域包括東側西太平洋，西側臺灣海峽，南側巴士海峽，西南側南中國海，北側東中國海，這些海域各有不同特性，西太平洋與東中國海為開闊洋面，且有黑潮主流通過，臺灣海峽與巴士海峽為狹道海流，南中國海則是半封閉型海域，臺灣鄰近各海域之海洋環境特性各有不同，例如臺灣西海岸的潮差從南北向中間遞增，在臺中、苗栗一帶最大可達 5 公尺；東海岸的潮差則變化不大，約小於 2 公尺(中央氣象局，2006)，在此海洋環境之下，造就臺灣南北部二大港(基隆，高雄港)之先天條件遠優於中部之臺中港。

除了海洋環境之外，氣象與氣候因素亦會造成鄰近海域與港灣區內不同風場與波浪變化，於每年 10 月到翌年 4 月，臺灣籠罩於東北季風之下，自北方南下之冷空氣具有較大密度，易下沉貼近洋面前進，臺灣海峽與南中國海北部直接受蒙古高壓外圍冷空氣環流影響，引發較大風浪；而西太平洋則距離亞洲陸地較遠，風浪於是較

小。在5-8月西南氣流季節，暖溼空氣密度小，易上升，吹襲洋面力道相較乾冷東北季風為小，於是各洋域之夏季風浪均小於冬季(陳等，2011)。臺灣鄰近海域之夏季平均風浪雖然較小，但突發性的颱風、豪雨，卻常在臺灣各海域造成重大危險狀況。依此，各港埠管理單位於颱風侵臺期間，依照觀測與預報之風力級數，決定是否採取封港等安全措施，而此機動性的移動措施，可能產生大量人力、財力的消耗。為避免無謂的損失，一套良好的大氣風場預報系統的建置為不可或缺的要件。

就臺灣鄰近海域與港灣區而言，其主要科技發展重點為精進海象要素(包括潮汐、水流、波浪)之監測與預報技術，然而鑑於大氣-海洋交互作用無所不在，欲精進海象技術，可藉由掌握準確大氣風場著手。但以現況而言，鄰近海域與港灣區，僅有零星浮標與觀測樁等設備，致使觀測資訊嚴重不足。因應之道為運用高解析度之大氣數值模式執行模擬與預報，再經由有限的港灣區氣象觀測資料加以檢驗，後續再輔以統計方法修正預報誤差(例，陳等，2011)，便可提供可信賴之預報資訊。氣象作業單位目前所提供之預報資料，於全球範圍約為50-100公里解析度，臺灣鄰近區域則是20-40公里解析度，此資料雖可提供各縣市範圍之氣象預報資訊，但不能滿足腹地範圍約在5-10公里左右之港灣區的需求。準此，國內亟需專為港

灣區預報需求而建置之大氣風場預報系統，解析度約在1-2公里之間，並搭配各港灣區風場觀測資料之收集建置，檢驗並修正風場預報結果，提供準確可信賴之預報資訊。再而，風場預報系統可提供高解析度預報資訊，當有助改善下游的水流、波浪預報系統之輸入條件，精進其預報能力與結果，提供精良之大洋-海洋預報資訊，助益沿海航行安全與港埠管理績效。

為因應港灣區高解析度風場之預報需求，本研究主要目的係以臺北港風場為研究對象，收集分析臺北港風場觀測資料與建置多層巢狀風場預報系統，執行預報實驗，評估大氣數值預報模式執行臺北港高解析度風場預報之預報能力與特性，並特別著重於評估颱風所引發港灣區強風之預報能力。

## 二、大氣數值預報模式

本計畫所使用之大氣數值預報模式係以 Weather Research and Forecasting (WRF) 模式 (e.g., Skamarock et al. 2001) 為基礎，經由進階改良之 Advanced Research WRF (ARW; e.g., Skamarock et al. 2005; Skamarock et al. 2008) 模式。WRF 與 ARW 之預報能力在國際間已經過普遍性檢驗，確認具有優越能力預報大氣變化。國內氣象界亦普遍使用 WRF 與 ARW 模式來分析、模擬、預報各種天氣現象，例如臺灣北部環流變化(廖與顧 2011)，梅雨季降雨變化(Chi and Jian

2009；簡與洪 2010)，資料校驗亦反應 WRF 與 ARW 之預報能掌握臺灣天氣變化特性(例，洪等 2006；簡等 2006)。另 ARW 亦被廣泛應用於颱風預報與特性分析，例如颱風侵臺路徑與強度變化(例，黃與李 2009；簡 2011)，對 2009 年莫拉克颱風破紀錄降雨之預報與模擬亦顯示適宜預報能力(e.g., Tao et al. 2011)，反應此模式可應用於颱風與相關災害性天氣之預報使用。

ARW 模式之基本架構以 WRF 模式為基礎，輔以改進之動力解模組，經由大氣氣體質量之調和(Eluerian mass solver)和非靜力中尺度模式(Nonhydrostatic Mesoscale Model)協助，更可有效掌握降雨相關過程(e.g., Xiao et al. 2009)。在 ARW 模式中，主要物理參數包括：

1. 微物理過程：雲物理
2. 積雲參數：對流降雨過程
3. 地表物理：地面特性與土壤模式
4. 邊界層物理：紊流與動能傳送
5. 大氣輻射物理：長波輻射、短波輻射、地表通量

過去研究顯示，在臺灣地區探討與颱風預報相關的 ARW 預報模式組合中，就屬邊界層物理、積雲參數、微物理過程等模組對預報結果之影響較大(例，陳與簡 2008)，其中又以使用 Yonsei University (簡稱 YSU, Hong and Pan 1996)之邊界層參數法、WRF Single-Moment 5-class (簡稱 WSM5, Hong et al. 2004)之微物理參數法，Kain-Fritsch (簡稱 KF, Kain and

Fritsch 1990, 1993)之積雲參數法等三種特定模組之組合，能獲得最佳之颱風預報結果(例，洪等 2006；陳與簡 2009, 2010)，本計畫當運用上述三種參數模組之組合建置 ARW 預報系統。在此 ARW 模式中，垂直分層計有 31 層，自地表延伸到 20km 高空。ARW 模式之詳細說明與特性，讀者可參閱 Skamarock et al.(2008)。

ARW 模式優越點為可使用多層巢狀方式，將全球觀測資料所預報大尺度預報資訊，以動力降尺度方式逐漸內化到各指定小區域，並經由提高網格點之解析度，達到指定區域所需求之高解析度預報資訊。依臺北港風場預報作業之設定需求，本研究將以全球預報模式之高解析度(0.5° X 0.5°，約 50 公里格點)預報結果為邊界條件，採用三層巢狀系統，以 4 倍放大效率，依序使用 32 公里，8 公里，2 公里解析度(圖一)，將全球預報資訊降尺度到臺灣鄰近海域與港灣區。此種降尺度系統，在過去研究報告中，已證實可有效、正確地將全球預報資訊轉化到臺灣小範圍區域之內(例，洪等 2006；簡等 2006)。本研究 ARW 模式設定如下：

1. 第一層(d01)：亞洲-太平洋地區(32km 解析度)，  
範圍：104.642°E-158.158°E,  
0.972°N-40.861°N  
水平網格點總數：173 x 14
2. 第二層(d02)：東亞臨海地區(8km 解析度)，  
範圍：116.349°E-124.361°E,

17.976°N-27.641°N

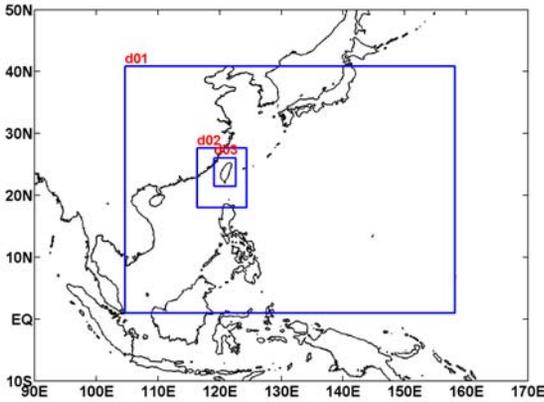
水平網格點總數：104 x 136

3.第三層(d03)：臺灣鄰近海域與港灣區（2km 解析度）

範圍：119.120°E-122.601°E,

21.463°N-26.071°N

水平網格點總數：180 x 260



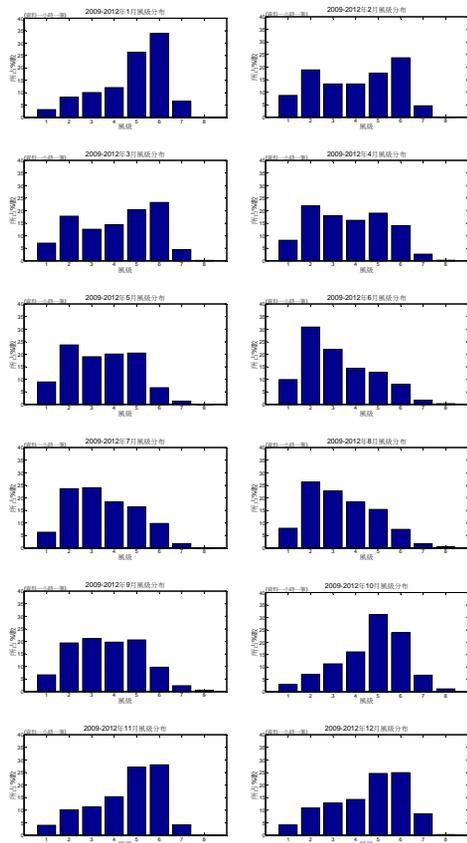
圖一、ARW 模式之三層巢狀降尺度預報系統之空間分佈圖，d01、d02、d03 範圍之空間解析度分別為 32 公里，8 公里，2 公里

ARW 預報結果之檢驗，將以 2km 解析度之預報結果，對應到港區內之風速計觀測值，由於模式網格點與風速計所在位置有所差異，變通方法即是以包圍風速計的鄰近 4 網格點所預報數值之平均值，與風速計觀測值進行時間序列比較，藉此評估 ARW 模式對臺北港風場之預報能力。

### 三、臺北港觀測風場

本研究收集 2009-2012 年，交通部運輸研究所港灣技術研究中心觀測之臺北港外海觀測樁（121.3757°E, 25.1825°N）之觀測風場，使用逐時資料，取每小時準點之 10 分鐘平均風速與平均風向代表該時之風場。臺北港

風場之特性分析，以月為單位，對各月風速大小依蒲福風級尺度分類，計算不同級風所佔百分比，其結果呈現如圖二。在 1 月時，主要風約在 5-6 級。2-3 月時，5-6 級風仍為主要風級，但 2-3 級風之比例逐漸上升。4-5 月時，則以 2-5 級為主要分佈。6-8 月則以 2-3 級為主，漸次往 6 級風減少。9 月與 4-5 月相似，風力位於 2-5 級之間。自 10 月開始，一直到 12 月，5-6 級風又變為主要風級。

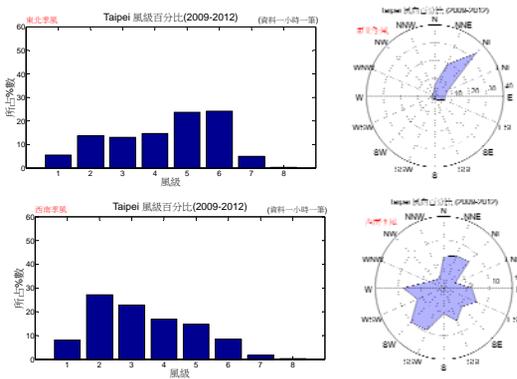


圖二、臺北港外海氣象樁 1-12 月之風速分佈

從圖二分析結果，可清楚看出臺北港外海氣象樁風場呈現季節性變化。臺灣周圍風場主要受季風影響（陳 2006），在 1-4 月，臺灣海峽上主要為

東北季風，極大值出現在海峽中線，位於中部外海。於5月，東北風減弱，進入季節變換時程。於6-8月，臺灣海峽上方之風場轉為西南風，風速隨著季節往後演變而逐漸減弱。自9月起，風場又轉換成東北風，10-12月期間，風速迅速增強，又呈現東北季風主導之季節特性。根據上述所呈現臺灣鄰近風場之分佈特性，可將臺灣風場分成下述四個季節：

1. 東北季風：10-4月
2. 西南季風：6-8月
3. 過渡時期：5月、9月



圖三、臺北港外海氣象樁風速與風向之季節分佈特性

依前述風場之季節分佈特性，本研究分析2個主要季節（東北季風、西南季風）之風場，圖三所示為臺北港外海氣象樁觀測風場之風級、風向之季節分佈特性。東北季風季節主要風級為5-6級，西南季風季節則以2-3級為主，4-5級為次。在風向方面，東北季風季節主要以東北風與北北東風為主。在西南季風時期，西南風與南南西風分量明顯增多，但北北東風風與東北風仍繼續存在。上述分析顯示，

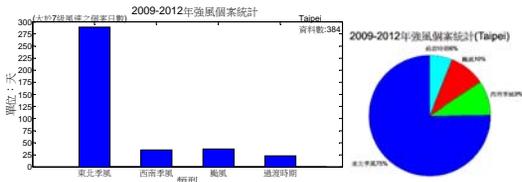
臺北港觀測風場不論在哪個季節，均呈現東北風與北北東風之存在，反應地域性風場特性。除此之外，隨著東北季風減弱，西南風與南南西風於西南季風季節達到最明顯狀態。

#### 四、強風個案分佈特性

本研究發展港灣區風場預報系統，主要著眼點為有效掌握颱風等災害性天氣之預報能力，強風所引發之大浪，對港埠泊船常會造成災情。因此對強風若能事先提供適時預報資訊，供港灣管理單位參考，擬定適當防災措施，當可降低可能災情之程度。因此，本研究自風場觀測資料分析臺北港之強風個案分佈特性，藉此歸類各季節之預報作業注意事項。依此，以每小時平均風速大於7級( $\geq 13.9\text{m/s}$ )之個案為強風天氣案例，整理2009-2012年間之所有強風個案，並依其發生所對應之天氣因素，歸類為東北季風、西南季風、颱風，過渡時期(5月、9月)等四類，將各類別之個案總數(一天計算為一個案)與所佔百分比分別呈現。7級風做為強風標準，主因為當風速達到7級風時，港埠管理單位將依此標準進行封港相關準備作業。

臺北港外海氣象樁觀測風場之分析結果，呈現如圖四，強風個案主要成為東北季風，約佔75%，其次為颱風，約佔10%，再其次為西南季風，佔9%，過渡時期佔6%，顯現臺北港位於北部，受到東北季風直接影響程度相

當顯著。



圖四、臺北港強風個案(風速大於七級)之個數與對應天氣因素及其百分比分佈

## 五、ARW 預報風場特性

為了對 ARW 預報風場之特性與預報能力進行系統性分析，本研究設計一套預報實驗，選取 2009-2012 年間，每月 10 個預報個案(每月之第 1、4、7、10、13、16、19、22、25、28 天)，進行三層巢狀模式之 72 小時預報，自 32km (domain-1, d01)、8km (domain-2, d02)、2km (domain-3, d03) 解析度，逐次降尺度到港灣區風場。在驗證 ARW 整體預報能力方面，本研究計算逐月 24hr 預報之 ARW 風場，例如 1 月之平均風速即為選取 2009-2012 年間，每年 1 月的 10 個預報個案，共計 40 個案之 24hr 預報，分別計算不同預報時間之 40 個案平均值，做為 ARW 之預報平均值，再選臺北港外海氣象樁周圍 4 個點的網格點，取此 4 個網格點之風場平均值，與港灣觀測風場對應氣候平均值進行比較。以日變化之趨勢、強度等特性，計算觀測與預報風場時間序列之相關係數，比較預報與觀測風場之異同，做為評估預報能力之依據。表一所示為臺北港 1-12 逐月之風場模擬預報之相關係數，整體而言，ARW 對東北季風(10-4 月)季節之風場模擬，其

相關係數均頗高，除了 4 月與 12 月例外，其月份均在 0.7 以上。對西南季風(6-8 月)季節之風場模擬，其相關係數均相當高，位於 0.7-0.9 之間。整體而言，ARW 對臺北港風場之趨勢變化有相當程度之整體預報能力，特別在颱風盛行之夏季，其預報能力普遍均佳，對未來颱風預報當有所助益。

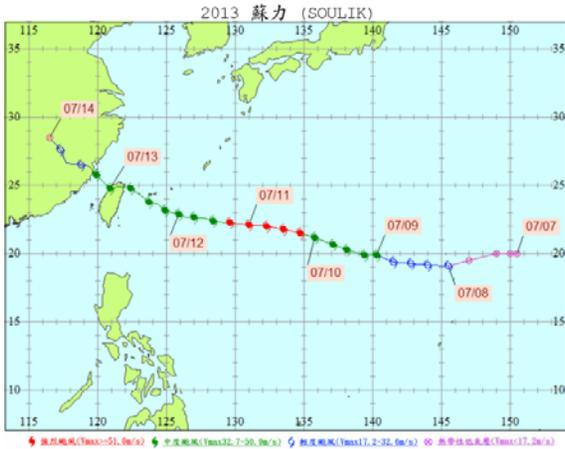
表一、ARW 對臺北港風場日變化之逐月相關係數

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
相關係數	0.90	0.77	0.81	0.36	0.67	0.74
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
相關係數	0.85	0.87	0.67	0.74	0.77	0.28

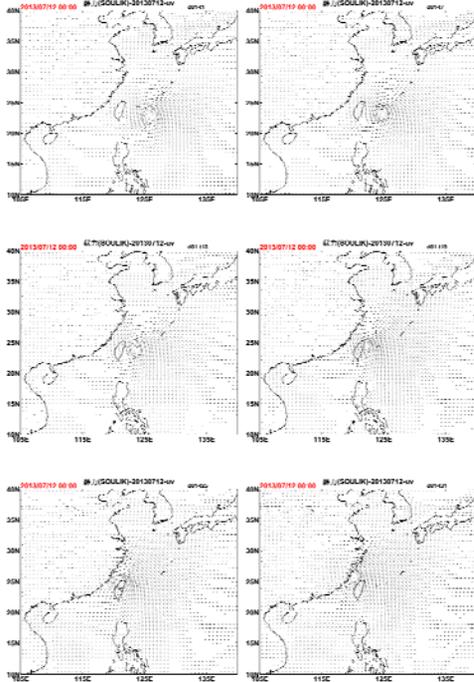
## 六、蘇力颱風預報個案

ARW-2km 高解析風場對港灣區風場具有實質預報能力，特別是在颱風盛行的季節(6-9 月)，對各港口風場之預報能力普遍均佳，此結果反應 ARW 適用做為預報颱風引發港灣區強風風場之數值工具。為了檢驗此推論，本研究執行 ARW 之颱風預報個案與分析，以檢驗 ARW 預報港灣區颱風風場之適宜性。本研究所選取之個案為以西北行方向行經臺灣北部之 2013 年蘇力(Soulík)颱風，其最大強度達到強烈颱風，行經路徑如圖五所示。本研究運用 ARW 模式，以 2013 年 7 月 12 日 00Z (臺灣當地時間早上 8 點)為初始條件，進行 96 小時預報，其風場預報結果，以每 6 小時間隔，呈現於圖六。從此圖可清楚看出，ARW 預報蘇力颱風中心以西北方向移經臺灣北部，並持續朝向大陸東南岸前進，於 24 小時之後(預報時間 t25，圖六之左下圖)，蘇力颱風之預

報位置位於臺灣西北方桃園，新竹一帶，與圖六所示 7 月 13 日 00z 之位置吻合，反應 ARW 能適切預報蘇力颱風之移動路徑與速度。



圖五、2013 年蘇力颱風之路徑 (資料來源：中央氣象局)

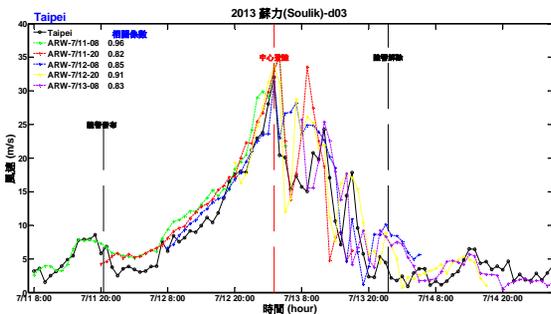


圖六-ARW 於 2013 年 7 月 12 日 00Z 對蘇力颱風之風場預報:1 小時預報(左上), 7 小時預報(右上), 13 小時預報(左中), 19 小時預報(右中), 25 小時預報(左下), 31 小時預報(右下)

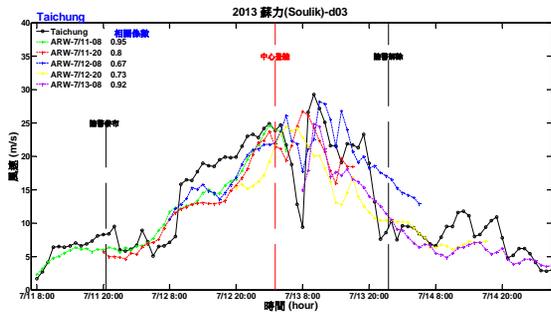
為了呈現 ARW 對颱風之預報能力，本研究選取不同初始時間之預報，每個預報選取最前面 48 小時風場預報，並與對應之港灣區風場比對，以檢驗 ARW 對港灣區風場之實質預報能力。圖七所示為 ARW 之 2km 網格模式所預報之臺北港風速，預報初始時間分別為臺灣當地時間 7/11 上午 8 點(00z)，7/11 下午 8 點(12z)，7/12 上午 8 點(00z)，7/12 下午 8 點(12z)，7/13 上午 8 點(00z)，其 48 小時臺北港風場預報分別以綠線，紅線，藍線，黃線，棕線顯示，而臺北港外海氣象樁之連續觀測風場資料，則以黑線呈現。上述五個 48 小時預報之風場時間序列與對應觀測風場時間序列之相關係數，呈現於圖左上角。整體而言，ARW 對蘇力颱風所引發之臺北港強風之變化，均能適切掌握，從 7/11 上午 8 時開始，風速逐漸增強，於 7 月 13 日凌晨颱風登陸之後，風速達到極大值，於當日晚上颱風警報解除後，風速便趨於微弱。各個預報個案之 48 小時風速預報的相關係數分別為 0.96，0.82，0.85，0.91，0.83，顯現 ARW 能充分預報蘇力颱風影響臺北港風場之變化形態與強度。

除了臺北港之外，本研究亦分析臺中港預報風場，並與其外堤觀測樁風速進行檢驗比對，分析結果如圖八所示。整體而言 ARW 仍能相當準確預報蘇力颱風影響臺中港風場之變化形態與強度，五個預報個案之相關係數分別為 0.95、0.8、0.67、0.73、0.92，

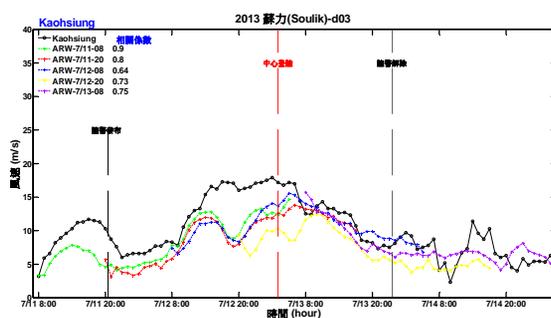
反應 ARW 預報風場能準確地預報臺中港觀測風場之變化趨勢與強度。於南部，高雄港之風場預報結果如圖九所示，雖然是岸上觀測站風場相對較微弱，ARW 預報風場亦能密集掌握高雄港岸上觀測站之風場變化特性與強度，5 個預報個案之 48 小時預報相關係數分別為 0.9、0.8、0.64、0.73、0.75，反應 ARW 能準確預報蘇力颱風期間高雄港風場之變化情形。



圖七、ARW 2km 模式對蘇力颱風所引發臺北港強風個案之預報結果，黑線為觀測風場，其它色線為預報風場



圖八、ARW 2km 模式對蘇力颱風所引發臺中港強風個案之預報結果



圖九、ARW 2km 模式對蘇力颱風所引發高雄港強風個案之預報結果

上述研究結果可看出，ARW 能相當準確地預報蘇力颱風行經臺灣北部之路徑與時程，進而相當正確預報西部各港(臺北港，臺中港，高雄港)風場變化型態與強度。這些個案分析結果，清楚反應本研究所建置之 ARW 模式具備預報臺北港與臺灣港灣區風場之實質能力。

## 七、結論

本研究主要目的為建置大氣數值預報系統，運用 ARW 模式，藉由三層巢狀模式之動力降尺度方法，針對港灣區風場預報需求，提供 2km 高解析度之預報資訊，藉以檢驗 ARW 模式對臺北港風場之整體預報特性，並評估 ARW 模式對颱風引發強風個案之預報能力。研究所獲得之主要結論如下：

1. 臺北港風場變化主要受到季風影響，大致可分為東北季風(10-4 月)與西南季風(6-8 月)季節，東北季風之主要風速(約 5-6 級)比西南季風之主要風速(2-3 級)明顯增強。
2. 臺北港全年之中，發生強風個案(7 級風以上)之機率約為 6%，強風個案主要發生原因來自東北季風(佔 75%)，颱風其次(佔 10%)。
3. ARW 對臺北港風場具有相當程度預報能力，就長期平均值而言，ARW 對日變化之變化趨勢與強度，於大部分月份，均能掌握其變化特性，反應 ARW 適宜作為港灣區風場預報系統之使用。

4. ARW 對 2013 年蘇力颱風預報個案顯示, ARW 能相當準確預報颱風引發主要港灣區(臺北港、臺中港、高雄港)風場之變化趨勢與強度。

研究結果亦顯示, ARW 對風向之預報仍有待加強, 其原因可能與港灣區複雜之海陸地形差異與繁密建物有關, 使地面風之區域微氣象特性, 較難為 ARW 之 2km 網格點所預報, 此系統性問題仍待未來研究來克服。本研究執行之高解析度(2 公里)風場預報可應用於港灣區風速預報與波浪預報, 特別是針對災害性天氣(如颱風)個案之風場與波浪預報, 有其實質應用效能, 可協助實際預報使用, 提升預報效能之效益, 可反應於協助國內港埠區之防災準備, 提升安全管理績效, 適宜納入未來整體防災體系運作之一環。

## 參考文獻

1. 中央氣象局, 2006: 氣象宣導系列合輯, 交通部中央氣象局, 112 頁。
2. 洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中, 2006: WRF 模式之敏感度測試第一部分: 探空測站上的校驗, 大氣科學, 34, 241-260。
3. 廖杞昌、顧凱維, 2011: 臺灣北部地區局部環流特徵之模擬, 建國百年天氣分析預報與地震測報研討會, 2011 年 9 月 20-22 日, 臺北, 臺灣。
4. 陳昭銘、簡芳菁, 2008: 高精度大氣數值模式及校驗系統之研究。國防科技學術合作研究計畫成果發表暨研討會, 2008 年 11 月 25 日, 高雄, 臺灣。

5. 陳昭銘、簡芳菁, 2009: 高精度大氣數值模式及校驗系統之研究(II), 國防科技學術合作研究計畫成果發表暨研討會, 2009 年 12 月 3 日, 高雄, 臺灣。
6. 陳昭銘、簡芳菁, 2010: 高精度大氣數值模式及校驗系統之研究(III), 99 年度海軍軍事科技研討會, 2010 年 11 月 25-26 日, 高雄, 臺灣。
7. 陳昭銘、劉進順、張家治、毛正氣, 2011: 波浪預報精進技術之研究(I), 100 年度海軍軍事科技研討會, 2011 年 11 月 23-24 日, 高雄, 臺灣。
8. 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎, 2006: WRF 模式之敏感度測試第二部分: 定量降水預報校驗, 大氣科學, 34, 261-276。
9. 簡芳菁、洪玉秀, 2010: 梅雨季西南氣流氣候平均與個案之數值研究。大氣科學, 38, 237-266。
10. 簡國基, 2011: 海棠颱風登陸臺灣前內核結構演變之研究。大氣科學, 39, 83-93。
11. 黃清勇、李志昕, 2009: 西北巷向侵臺颱風中心路徑打轉之模擬研究。大氣科學, 37, 121-154。
12. Chi, S.-S. and G.-J. Jian, 2009: The effects of the heavy rainfall event of 12 June 2005 on Taiwan terrain. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 20, 629-644.
13. Emanuel, K., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.
14. Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322-2339.

15. Hong, S.-Y., J. Dudhia, and S.-H. Chen, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 103-120.
16. Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entrain/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2784-2802.
17. Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale modes: The Kain-Fritsch scheme, The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., *Amer. Meteor. Soc.*, 246pp
18. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and J. Dudhia, 2001: Prototype for the WRF (Weather Research and Forecasting) model. Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, *Amer. Meteor. Soc.*, J11-J15.
19. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2005: A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR/TN-468\_STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 88pp.
20. Skamarock, W. C., and Coauthors, 2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech Note NCAR/TN-4751STR, 125 pp.
21. Tao, W.-K., J. J. Shi, P.-L. Lin, J. Chen, S. Lang, M.-Y. Chang, M.-J. Yang, C.-C. Wu, C. Peters-Lidard, C.-H. Sui, and B. J.-D. Jou, 2011: High-resolution numerical simulation of the extreme rainfall associated with Typhoon Morakot. Part I: Comparing the impact of microphysics and PBL parameterizations with observations. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 22, 673-696.
22. Xiao, Q., X. Zhang, C. Davis, J. Tuttle, G. Holland, P. J. Fitzpatrick, 2009: Experiments of Hurricane Initialization with Airborne Doppler Radar Data for the Advanced Research Hurricane WRF (AHW) Model. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 2758-2777.

## 港 灣 季 刊 徵 稿 簡 訊

- 1.本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
- 2.投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
- 3.來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
  - (1)以紙本或是數位方式出版。
  - (2)進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
  - (3)再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
  - (4)為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
- 4.作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
- 5.稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
- 6.本刊每年刊行 3 期，分別於 2 月、6 月、10 月出版。如蒙惠稿請於每期出版前 30 日寄交本刊。
- 7.聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫  
傳真電話：(04)2656-4415  
E-mail：**elisa@mail.ihmt.gov.tw**
- 8.歡迎賜稿，來稿請寄：  
43542 臺中市梧棲區中橫十路 2 號  
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣季刊編輯委員會」收