

港灣季刊

(原港灣報導季刊)

第 101 期

交通部運輸研究所

中華民國 104 年 6 月

港 灣 季 刊 第 101 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

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臺灣技術研究中心網站

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、臺灣周圍海域暴潮模式建置研究.....1

劉正琪 國立成功大學水工試驗所研究員
李兆芳 國立成功大學水利及海洋工程學系教授
李俊穎 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
陳明宗 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

二、淡水河河口沙嘴風吹沙及水下河床沙丘特性研究 ...16

周憲德 國立中央大學土木系教授
林柏青 交通部運研所港灣技術中心研究員
何良勝 交通部運研所港灣技術中心科長
鄭年佑 國立中央大學土木系研究所碩士班研究生
黃鈞軒 國立中央大學土木系研究所碩士助理

三、港埠治理模式與港埠創新管理之研究

--以新加坡港為例24

林玲煥 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 助理研究員
王克尹 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

四、臺北港與國際港之颱風風場預報特性分析38

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

五、日本港灣構造物性能設計之維護管理理念探討52

邱永芳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
謝明志 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
蔡瑤堂 博士

臺灣周圍海域暴潮模式建置研究

劉正琪 國立成功大學水工試驗所 研究員

李兆芳 國立成功大學水利及海洋工程學系 教授

李俊穎 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

陳明宗 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

摘要

本研究以有限元素水動力模式為基礎，配合參數化颱風模式建置適合臺灣周圍海域地形等海象條件的中尺度臺灣周圍海域暴潮模組，具有同時模擬天文潮及颱風暴潮水位及流場變化之功能。本研究以 NAO.99Jb 潮汐模式建置模式開放邊界各節點水位時序列資料，模擬臺灣周圍海域天文潮水位及流場變化，選取基隆港等八個主要商港潮位觀測資料驗證水位模擬結果之正確性。以參數化颱風模式模擬侵臺颱風引起的暴潮水位變化，選取 2012 年中度颱風蘇拉為暴潮模擬對象，並檢討花蓮港等四個主要商港海域暴潮模擬結果之特性。

前言

臺灣夏秋之際常遭受颱風侵襲，颱風引起的暴潮及颱風波浪常危及臺灣周遭海域航運及海岸地區安全。依據中央氣象局颱風統計資料顯示，臺

灣周遭海域平均每年發生颱風侵臺事件之次數約為 3.48 次，每年發生颱風侵臺事件之次數最多可達 9 次。

在颱風暴潮數值模擬研究領域上，臺灣早期研究主要以楊(1974)、Li(1979)及劉(1987)等人為代表，其中楊(1974)以線性水動力模式進行臺灣北部地區的暴潮模擬研究，Li(1979)以二維有限差分模式建置臺灣海峽暴潮預報模式，劉(1987)以有限差分方法發展三維颱風暴潮數值預報模式。近年來拜科技進步之賜，國內在颱風暴潮數值模擬相關研究上成果相當豐碩；其中研究方法依水動力數值模式分類分別有 POM (Princeton Ocean Model)、ADCIRC、MIKE 21、COHERENS 及 SSM (Storm Surge Model)等數值模式；在數值計算方法分類上，以有限差分法居多數，其次為有限元素法。此外，颱風風(壓)場之模擬資料分類可區分為參數化颱風模式及天氣預報數值資料，其中天氣預報數值資料主要來源分別有我國中央氣象局之天氣預報數值資

料及 NOAA 天氣預報數值資料。

本研究係以有限元素水動力模式為架構，建置適合臺灣周圍海域模擬範圍的暴潮模式，並以完成港研中心現有主要商港小尺度水動力模組作業化模擬垂直整合為發展目標。

二、暴潮數值模式介紹

本研究暴潮數值模式分為水動力數值模式及颱風參數化模式兩部份，分述如下：

2.1 水動力數值模式

本研究水動力數值模式採用以有限元素方法求解水深積分平均之二維連續方程式及動量方程式；模式之基本控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = Q_0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}q_x)}{\partial y} - f q_y \\ &= -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_y^s - \tau_x^b) \\ &+ \left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yx}}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}q_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}q_y)}{\partial y} - f q_x \\ &= -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^s - \tau_y^b) \\ &+ \left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

式中 H 為總水深($=h+\eta$)， h 為海面

靜水深， η 為海面水位變化； q_x 、 q_y 分別為水體在 x 及 y 方向之流量， $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 分別為 x 及 y 方向水深平均之流速； Q_0 為單位面積水體質量增加率， g 為重力常數， p^s 為水面大氣壓力， ρ_0 為流體平均密度； τ_x^b 、 τ_y^b 分別為 x 及 y 方向之底床剪應力， τ_x^s 、 τ_y^s 分別為 x 及 y 方向之表面風剪應力； F_{xx} 、 F_{xy} 、 F_{yy} 代表垂直平均之紊流應力(turbulent stresses)， f 為柯氏力參數(Coriolis parameter)。

模式初始條件為

$$\eta(x, y, 0) = \eta_0(x, y) \quad (4a)$$

$$q_x(x, y, 0) = q_{x0}(x, y) \quad (4b)$$

$$q_y(x, y, 0) = q_{y0}(x, y) \quad (4c)$$

邊界條件包括開放邊界之水位邊界條件及陸地流量邊界條件，

$$q_n = \alpha_{nx} q_x + \alpha_{ns} q_y = \hat{q}_n \quad (5a)$$

$$q_s = -\alpha_{nx} q_x + \alpha_{ns} q_y = \hat{q}_s \quad (5b)$$

式中 α_{nx} 及 α_{ns} 為方向導數，下標 n 及 s 分別表示法線及切線方向， $\hat{q}_n$ 及 $\hat{q}_s$ 表示給定之邊界條件。

本研究以有限元素數值方法求解上述方程式，配合邊界條件利用加權殘差方法將上述方程式轉化成積分方程式，將所要計算之領域任意分割成許多副領域(稱之為元素)，利用線性三角形元素之形狀函數來描述計算領域中之函數變化，進而將積分方程式離散化，並簡化為聯立的數值方程組，藉以求解計算領域中所取元素節點上之函數值。詳細的有限元素數值求解

方法可參考邱等(2012)及李等(2013)。

2.2 颱風參數化模式

目前常見的參數化颱風模式分別有修正型的 Rankine vortex 風場模式、Jelesnianski et al. (1992)之 SLOSH 模式以及 Holland (1980)等模式風壓場；本研究以修正型 Holland 風場模式為基礎建置參數化颱風模式，相關說明如下：

假設颱風暴風圈內氣壓分佈可表示成

$$P(r) = P_c + a_c \exp\left[-(R_0/r)^B\right] \quad (6)$$

式中 P_c 為颱風中心氣壓(mb)， R_0 為近颱風中心最大風速之暴風半徑， r 為計算點至颱風中心之距離； a_c 為颱風氣壓常數($=P_a - P_c$)， P_a 為遠域氣壓值， B 為尖銳度參數。當 $B=1$ 時，(6)式可簡化為 Myers(1954)理論式；關於 B 值經驗式之討論，劉(1987)建議採用下列經驗式：

$$B = 2.7 - 0.0166667(P_c - 940) \quad (7)$$

Harper and Holland (1999)提出估算 B 值之經驗式：

$$B = 2 - \frac{(P_c - 900)}{160}, \text{ for } 1 \leq B \leq 2.5 \quad (8)$$

近颱風中心最大風速之暴風半徑 R_0 值除了可由氣象觀測資料決定外，亦可利用相關經驗公式計算之；如 Graham 及 Nunn (1952)提出 R_0 值與颱風中心所在緯度 ϕ 及颱風移動速度 V_f

有關係之經驗式：

$$R_0 = 28.52 \tanh[0.0873(\phi - 28)] + 12.22 \exp[(P_c - 1013.2)/33.86] + 0.72V_f + 37.22 \quad (9)$$

式中颱風移動速度之單位為 km/hr ；或龔(1997)分析 1945 至 1996 年中央氣象局發佈之颱風資料，得到 R_0 值與颱風中心氣壓值 P_c 之多項式迴歸關係式：

$$R_0 = 2 \times 10^{-5} P_c^3 + 0.0625 P_c^2 - 56.112 P_c + 16899 \quad (10)$$

另外，MacAfee and Pearson (2006)提出以颱風中心所在緯度 ϕ 、颱風中心氣壓 P_c 及颱風最外圍閉合之等氣壓 P_n 計算 R_0 值之經驗公式：

$$\ln R_0 = 2.636 - 0.00005086(P_n - P_c) + 0.0394899\phi \quad (11)$$

其中

$$P_n = P_c - 20.69 + 1.33W_{\max} + 0.11\phi \quad (12)$$

在颱風之風場分布方面，若不考慮科氏力效應時，颱風模型風場之旋衡風速 W 可以表示成

$$W(r) = \sqrt{\frac{Ba_c \left(\frac{R_0}{r}\right)^B}{\rho_a} \exp\left[-\left(\frac{R_0}{r}\right)^B\right]} \quad (13)$$

當考慮科氏力影響時，颱風模型風場之梯度風風速($gradient\ wind\ speed$) W_g 計算如下：

$$W_g(r) = \sqrt{\frac{Ba_c \left(\frac{R_0}{r}\right)^B}{\rho_a} \exp\left[-\left(\frac{R_0}{r}\right)^B\right] + \frac{(rf)^2}{4} - \frac{rf}{2}} \quad (14)$$

當 r 值趨近於 R_0 時，相較於壓力差科氏力之影響可以忽略，此時最大旋衡風速 $W_{\max}$ 等於：

$$W_{\max} = \sqrt{B \frac{(P_a - P_c)}{\rho_a e}} \quad (15)$$

對於近颱風中心最大風速 $W_{\max}$ 之估算，Atkinson and Holliday (1977) 提出 $W_{\max}$ 與颱風中心氣壓值 P_c 之經驗式如下：

$$W_{\max} = 3.44(1010 - P_c)^{0.644} \quad (16)$$

此外，本研究亦針對修正型的 Rankine vortex 風場模式及 SLOSH 風場模式進行評估，提供未來颱風模型風場改善之依據；其中修正型的 Rankine vortex 風場模式其軸向風速分布如下：

$$W(r) = W_{\max} (r/R_0)^b, \quad r < R_0 \quad (17a)$$

$$W(r) = W_{\max} (R_0/r)^b, \quad R_0 \leq r \quad (17b)$$

式中指數 b 為形狀參數，具有調整軸向風速分布之功用，其值約介於 0.4~0.6 之間。

SLOSH 風場模式其風速分布採用下列表示式：

$$W(r) = W_{\max} \left(\frac{2R_0 r}{R_0^2 + r^2} \right) \quad (18)$$

基於上述各風場模式之風速均屬海面風速，因此必須將海面風速 W 校正至海面 10m 處風速 W_{10} ，即

$$W_{10} = k_m W \quad (19)$$

式中 k_m 為校正係數，Harper and Holland (1999) 建議 $k_m=0.7$ ，另 Powell (1987) 建議 $0.75 < k_m < 0.8$ ，湯(1971)建議

採用 0.6，本研究採用 0.8。

由於實際颱風風場受到表面摩擦效應之影響，颱風風向通常會沿等壓線向颱風中心傾斜；此風向與等壓線切線夾角 β 值，Bretschneider (1972) 提出下列近似關係式：

$$\beta = 10^\circ (1 + r/R_0), \quad 0 \leq r < R_0 \quad (20a)$$

$$\beta = 20^\circ + 25^\circ (r/R_0 - 1), \quad R_0 \leq r < 1.2R_0 \quad (20b)$$

$$\beta = 25^\circ, \quad r > 1.2R_0 \quad (20c)$$

此外，當颱風移動對風場產生的校正風速 W' 通常可表示成

$$W' = c_2 V_f \quad (21)$$

式中 V_f 為颱風移動速度(m/s)，係數 c_2 值之估算，湯(1971)建議臺灣地區可採用下列關係式

$$c_2 = 0.6 \frac{W_g}{W_{\max}} \quad (22)$$

另 Jelesnianski(1966)曾針對緩慢移動颱風提出下列關係式

$$c_2 = \frac{R_0 r}{R_0^2 + r^2} \quad (23)$$

因此在颱風暴風圈內任何地點(x, y)之海面上 10m 風速可表示如下：

$$W_x = -W_{10} \left(\frac{\Delta x}{r} \sin \beta + \frac{\Delta y}{r} \cos \beta \right) + c_2 V_f \sin \theta \quad (24a)$$

$$W_y = W_{10} \left(\frac{\Delta x}{r} \cos \beta - \frac{\Delta y}{r} \sin \beta \right) + c_2 V_f \cos \theta \quad (24b)$$

式中 $\Delta x = x - x_c$ ， $\Delta y = y - y_c$ ， θ 為颱風移動方向。

三、數值模式建置說明

本研究中尺度臺灣周圍海域暴潮

模式建置目的，除了提供颱風期間主要商港颱風暴潮水位變化資訊及溢淹預警資訊外，尚需考量的因素，包括模擬範圍必須除分為水動力數值模式及颱風參數化模式兩部份，分述如下：

3.1 數值計算網格之建置

本研究規劃的中尺度臺灣周圍海域颱風暴潮模擬範圍，涵蓋包括自東經 116.5°到東經 125°以及北緯 21°到北緯 26.5°間之海域，如圖 1 所示。由於本研究有限元素水動力模式屬於直角座標系統，因此本研究先將前述模擬範圍轉換成六度分帶投影座標系統，再著手建置三角元素非結構性數值計算網格，如圖 2 所示；圖中有限元素計算網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素組成。模式水深資料則依據海科中心臺灣附近海域格網數值地形資料及海軍測量局刊行之海軍水道圖(編號 0307)建置的，圖 3 所示為本研究臺灣周圍海域暴潮數值模擬使用的地形水深分布狀況。

3.2 模式邊界條件及初始條件

本研究臺灣周圍海域暴潮模式依其側向邊界之型態可區分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界採用不滑動邊界條件，即假設陸地邊界節點流速等於零。

至於，海域開放邊界採用水位條

件為模式邊界條件；換言之，當模式模擬對象僅為颱風暴潮引起的水位偏差(即所謂的暴潮偏差)時，模式開放邊界上水位邊界條件可以採用邊界上氣壓差值推估水位偏差值作為模式開放邊界條件，即

$$\eta = \eta_a(t) = \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \quad (25)$$

若模式模擬對象僅為天文潮水位變化，此時開放邊界上水位邊界條件即為天文潮水位時序列資料；針對模式開放邊界之天文潮水位資料輸入方式，本研究採用 Matsumoto et al.(2000)發展的 NAO.99Jb 潮汐模式建置模式開放邊界節點之水位時序列資料，如圖 4 所示。圖中顯示模式左上角(與大陸相鄰之節點)潮位變化屬於半日潮型，模式東側鄰西太平洋右上及右下角節點潮位變化則呈現混合潮型，模式左下角節點潮位變化則屬全日潮型。

若同時考慮颱風暴潮及天文潮影響時，針對開放邊界水位邊界條件之處理，本研究採用線性疊加方式處理天文潮水位及氣壓差引起的水位校正量。

模式表面邊界條件為海面氣壓差及風剪應力(或海面 10m 處風場)，此部份可利用本研究建置的參數化颱風模式產生颱風風場及氣壓場，作為模式模擬颱風暴潮之表面邊界條件；或利用天氣預報模式產生的數值風場及氣

壓場資料為模式輸入條件。

模式初始條件除了採取熱啟動模擬方式外，均假設流場初始速度及水位均為零。

3.3 模式參數率定與驗證

本研究有限元素水動力模式數值計算之穩定性，除了與三角元素大小、節點水深大小及時間項差分之間距 Δt 大小有關外，模式所使用的物理參數如渦動粘滯性係數及底床摩擦係數大小，以及模式模擬之起始條件等均會影響至模式計算之穩定性。針對渦動粘滯性係數本研究採用 Connor and Wang (1974)之經驗關係式估算，即

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \quad (26)$$

式中 E_{xx} 為渦動粘滯性係數，其單位為 m^2/s ， a 為無因次係數，其值介於 0.01~0.1 之間； $\tilde{\eta}$ 為潮汐代表性潮差， $\tilde{u}$ 為潮流代表性流速， $\tilde{x}$ 為三角元素代表性邊界長度。

至於，時間距 Δt 對模式穩定性影響判斷條件，Connor and Wang (1974) 建議採用

$$\Delta t < 1.5\Delta t_{cr} = 1.5\Delta s^*/U^* \quad (27)$$

式中 Δs^* 為代表性網格大小， $U^* = \sqrt{2gH}$ 。

假設忽略風場及氣壓變化之影響，本研究先針對天文潮水位變化進行數值模擬，並依據水位模擬驗證結果率定相關物理參數值。

在模式天文潮水位模擬結果驗證上，本研究選取基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港及花蓮港等主要商港外海潮波儀之水位觀測資料(港灣技術研究中心)與天文潮水位數值模擬結果比較，如圖 5 至圖 10 所示，驗證結果顯示僅基隆港水位模擬結果與觀測資料偏差較大外，其餘各港口水位模擬結果之振幅及相位變化均與觀測值相近似。

模式參數率定結果如下：模式模擬之時間間距 Δt 為 2.0 sec，底床摩擦係數採用曼寧公式計算，其中曼寧係數 n 值為 0.02；各元素之渦動粘滯性係數採用(26)式計算，其中無因次係數 a 為 0.025，代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 為 1.25 m，代表性潮流流速 $\tilde{u}$ 為 0.5 m/s。

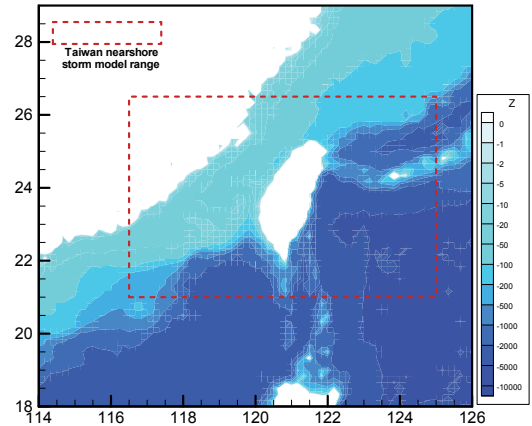


圖 1 臺灣周圍海域暴潮模擬範圍圖

依據 97 年度基隆港及臺北港 TWD97 坐標系統複測案之控制測量成果，先針對港區主控制點及部分導線點之 TWD97 坐標進行檢測，檢測時各

港區需一併聯測 4 點(含)以上一至三等衛星控制點，經檢測無誤後，再以檢測合格之主控制點及導線點進行港區碼頭岸肩及防波堤位移控制點複測，並與港務單位原有資料進行坐標位移比較。

在港區位移控制點坐標高程檢核放面，依檢測合格之主控制點及導線點進行導線測量，再以導線點為主站，採支距法逐一檢測各位移控制點之坐標，施測時於位移控制點上架設稜鏡三角支架觀測，每個點位至少以正倒鏡觀測求取平均值。

為了維護基隆港、蘇澳港、臺北港等三大港口之航行安全，提昇碼頭營運績效，更新港區水深地形資料，以多音束測深系統來測量港區航道、迴船池及碼頭之水深地形，並建置於港區及碼頭即時水深預報系統中；如此，將可以提供三大港口在港區營運規劃、船舶吃水深度判別、船席靠泊與潮位研判，碼頭設施施工或浚漂規

劃等的重要參考依據。

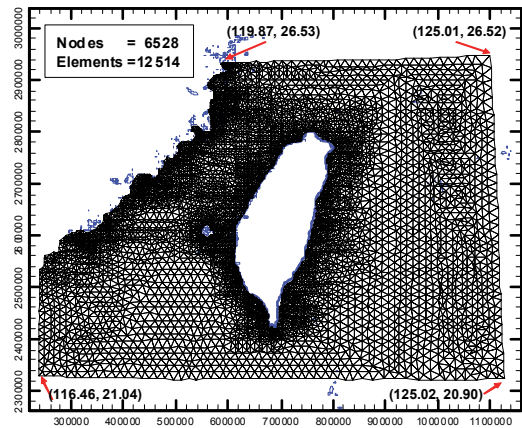


圖 2 臺灣周圍海域非結構性有限元素網格分布圖

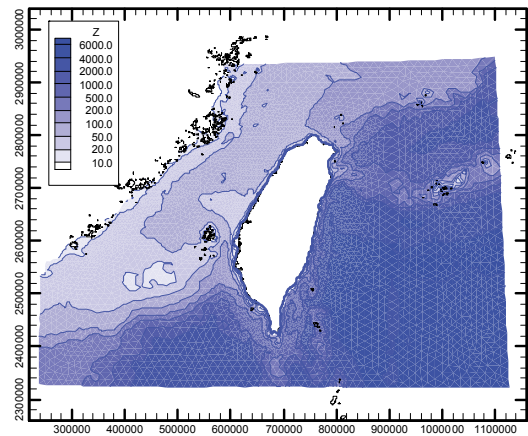


圖 3 臺灣周圍海域暴潮模式網格之地形水深分布圖

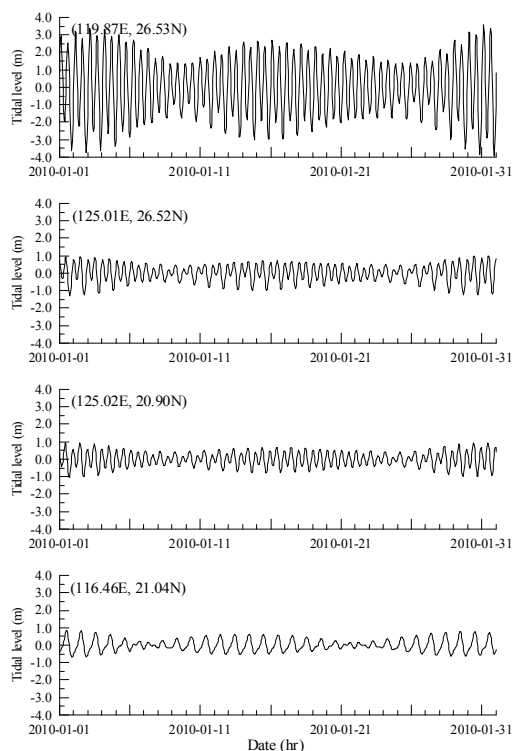


圖 4 本研究以 NAO.99Jb 潮汐模式建置天文潮水位邊界條件之時序圖

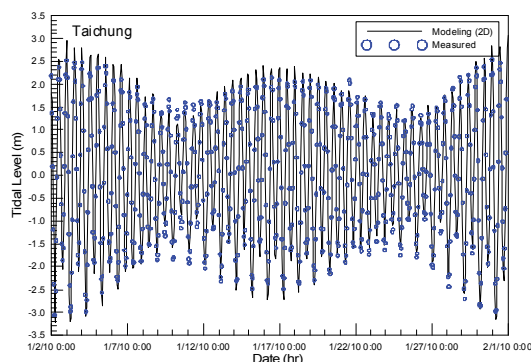


圖 7 本研究臺中港水位模擬與觀測資料之比較圖

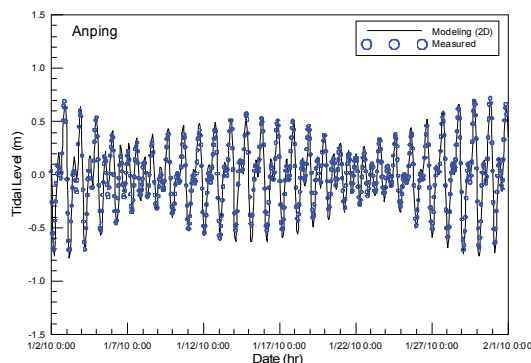


圖 8 本研究安平港天文潮位模擬與觀測資料之比較圖

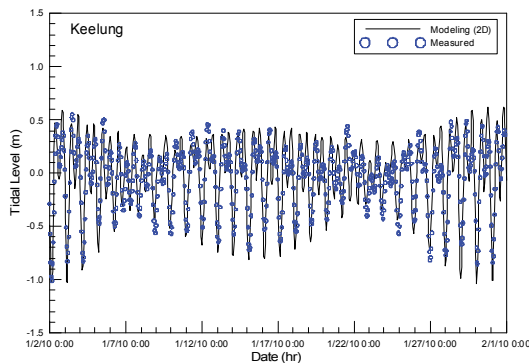


圖 5 本研究基隆港天文潮位模擬與觀測資料之比較圖

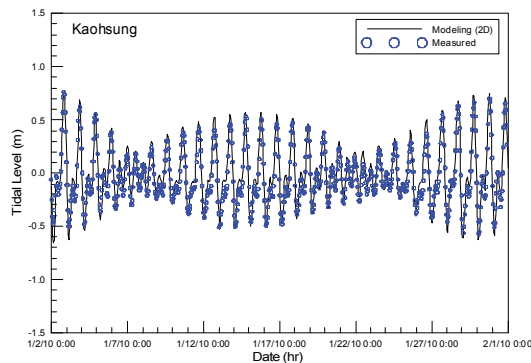


圖 9 本研究高雄港天文潮位模擬與觀測資料之比較圖

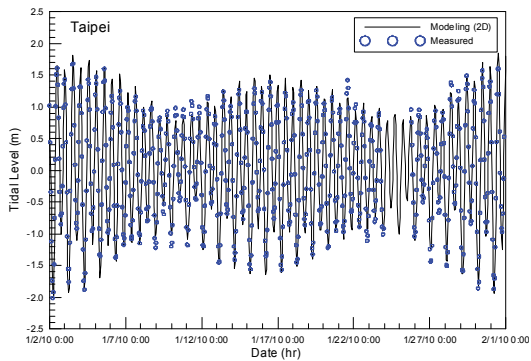


圖 6 本研究臺北港水位模擬與觀測資料之比較圖

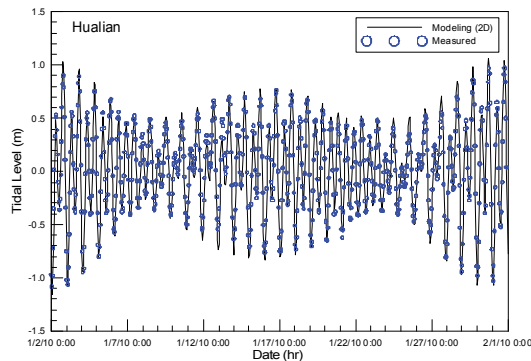


圖 10 本研究花蓮港天文潮位模擬與觀測資料之比較圖

四、颱風暴潮初步模擬與驗證

4.1 侵臺颱風資料

本研究以 2012 年第 9 號颱風蘇拉 (SAOLA) 為研究(模擬)對象，蘇拉颱風於 7 月 27 日於菲律賓東方海面生成，以北北西方向移動。海上颱風警報發布時間為 7 月 30 日 20 時，中心位置在北緯 20.6° ，東經 124.6° ，約在鵝鑾鼻東南東方向 410km 海面上；8 月 2 日 3 時 20 分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈現打轉狀態；2 日 14 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，3 日 6 時左右於馬祖北方進入福建，3 日 14 時中央氣象局解除蘇拉颱風陸上及海上警報。

蘇拉颱風生命期間，颱風強度最大為中度，近中心最大風速為 38m/s，颱風中心最低氣值為 960mb。圖 11 所示為中央氣象局發布的颱風移動路徑圖，在颱風侵臺路徑分類上，蘇拉颱風移動路徑屬於第二類侵臺路徑，遭受其威脅之主要商港包括花蓮港、蘇澳港、基隆港及臺北港等港口。因此本研究除了蒐集中央氣象局發布的颱風警報單建置參數化颱風模式所需之颱風資料外，並選取花蓮港等四個港口颱風暴潮模擬結果進行驗證與討論。

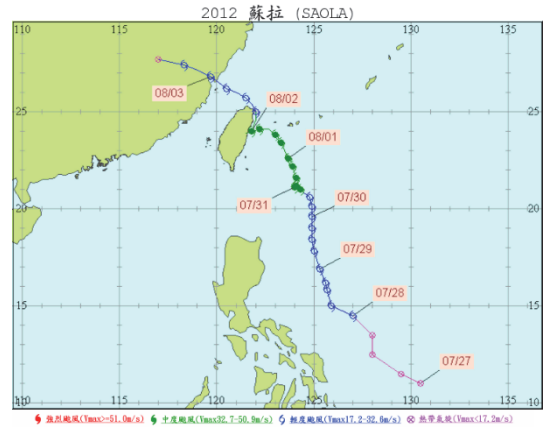


圖 11 2012 年中度颱風蘇拉侵臺路徑圖

4.2 暴潮偏差觀測資料分析結果

本研究蒐集 2012 年花蓮港等港口港內潮位觀測資料，分別以天文潮調和分析方法建置天文潮預測值；颱風侵臺期間各港口暴潮偏差觀測值定義為各港潮位觀測資料與天文潮預測值之差值。據此，本研究得到中度颱風蘇拉侵臺期間各港最大暴潮偏差值分別為花蓮港 0.509m、蘇澳港 0.418m、基隆港 0.224m 及臺北港 0.329m，顯示蘇拉颱風引起的暴潮偏差以花蓮港最大，其次為蘇澳港；由於蘇拉颱風接近基隆港及臺北港時，颱風強度已減弱為輕度颱風，故其對兩港口產生的最大暴潮偏差值分別較花蓮港及蘇澳港小亦屬合理的現象。

圖 12 所示為中度颱風蘇拉侵臺期間花蓮港潮位觀測值及本研究天文潮調和分析預測值及潮位暴潮偏差分析結果，顯示颱風暴潮尚未對花蓮港產生顯著影響前，潮位觀測資料與天文

潮預測值相當吻合；隨著颱風逐漸接近本島，花蓮港觀測資料與天文潮預測值亦逐漸出現偏離現象，此時花蓮港暴潮偏差分析值呈現逐漸增大現象，暴潮產生的前驅湧(forerunner)現象並不明顯；當颱風中心於8月2日3時左右在花蓮秀林鄉附近登陸時，花蓮港暴潮偏差出現第一次峰值(peak)約0.49m；之後，因颱風登陸後呈現打轉狀態，造成暴潮偏差呈現向下修正；後因颱風中心往南(花蓮港方向)偏移出海，再度造成花蓮港暴潮偏差出現第二次峰值約0.51m，發生時間為2日8時，此時颱風中心氣壓上修為970mb，中心位置約在花蓮東方20km海面上，並以向北轉西北方向移動，逐漸遠離花蓮港。當颱風中心逐漸遠離花蓮港後，花蓮港暴潮偏差值呈現快速下降並且有振盪(或餘湧, resurgence)的現象，與暴潮實際的物理現象相當吻合。

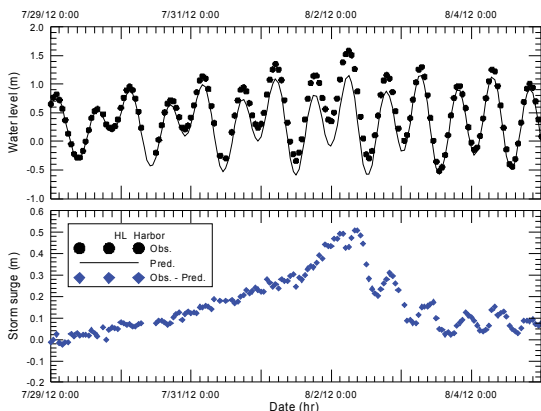


圖 12 中度颱風蘇拉侵臺期間花蓮港觀測潮位、天文潮位及暴潮偏差分析歷線圖

圖 13 所示為基隆港潮位觀測值及

本研究天文潮調和分析預測值及潮位暴潮偏差分析結果，顯示中度颱風蘇拉侵臺期間對基隆港港內水位(暴潮)變化的影響明顯小於花蓮港，主要原因應與蘇拉颱風接近基隆港時，颱風結構受到臺灣陸地破壞且減弱為輕度颱風有關。此外，由基隆港潮位分析得到的暴潮變化，其最大偏差量約為0.22 m，時間點出現在月2日0時~4時之間，依據中央氣象局發布的颱風警報單資料顯示2日5時蘇拉颱風中心氣壓已減弱為970 mb，代表上述基隆港暴潮偏差分析結果應屬合理的結果。

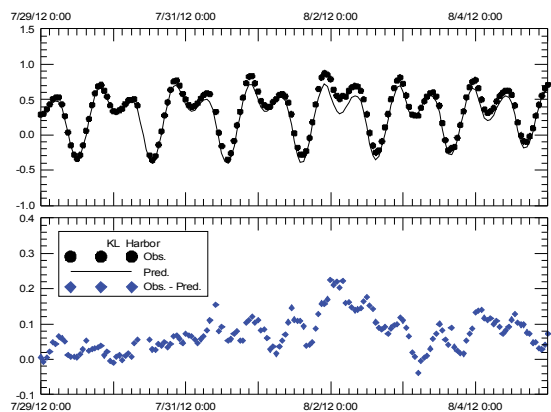


圖 13 中度颱風蘇拉侵臺期間基隆港觀測潮位、天文潮位及暴潮偏差分析歷線圖

4.3 颱風暴潮模擬結果與討論

本研究依據建置的中尺度臺灣周圍海暴潮模組，針對2012年7月30日侵臺中度颱風蘇拉進行暴潮數值模擬。

本研究採用參數化颱風模式模擬蘇拉颱風侵臺期間之氣壓場及風場，

測試階段初步假設氣壓分布方程式(6)之形狀參數 $B=1$ ，遠域氣壓值為1013.2 mb；近颱風中心最大風速之暴風半徑 R_0 值採用方程式(9)決定，因此有關本研究颱風氣壓場及風場模擬僅需輸入颱風中心位置(經、緯度)、中心氣壓值及時間(含日期)等資料，上述輸入資料均可由中央氣象局發布的颱風警報單獲得。暴潮水動力模式假設不考慮天文潮效應，因此開放邊界水位條件主要以颱風模式計算的壓力差估算水位值。

圖14至圖17所示分別為本文花蓮港、蘇澳港、基隆港及臺北港等港口外海暴潮數值模擬結果與港內潮位觀測資料暴潮分析結果之比較，因本文暴潮模擬未考慮天文潮之效應，故數值模擬結果通常無法呈現出伴隨暴潮發生的前驅湧及餘湧等現象。

依據本文數值模擬結果顯示對於颱風直接侵襲的花蓮港及蘇澳港而言，本研究採用模型颱風之等壓力分布之形狀參數 $B=1$ 及 R_0 值均可能偏小，因此無法有效模擬颱風中心接近臺灣東部海岸前花蓮港及蘇澳港暴潮偏差已提前反映之現象；另對於蘇拉颱風登陸後打轉再出海往北移動等行為，同樣也因為模型颱風內圍壓力場分布過度集中而與現實狀況有段差距，致模式無法有效模擬颱風打轉期間花蓮港及蘇澳港暴潮現象。數值模擬結果顯

示，花蓮港最大暴潮偏差模擬值出現時間為2日5時，約介於暴潮觀測分析結果二次尖峰值發生時間之間；蘇澳港最大暴潮偏差模擬值出現時間為2日3時與暴潮觀測分析結果一致，再次出現峰值時間為2日11時，此時應屬颱風中心再次接近蘇澳港所產生的模擬結果。

基隆港海域暴潮數值模擬結果顯示第一次出現峰值時間應屬於颱風中心登陸前後第一次接近基隆港所產生的效應；當颱風中心登陸、打轉往南移動時，基隆港海域暴潮數值模擬結果因氣壓差變小而呈現下修狀況；當颱風掠過北部海域時，因颱風中心再次接近基隆海域，數值模擬結果再次出現暴潮峰值；第二次暴潮峰值大小明顯高於基隆港暴潮觀測分析值，此應屬於模型颱風無法考慮陸地效應而產生的高估現象。同樣的現象亦發生在臺北港海域暴潮模擬結果。

綜合以上模擬結果討論，本研究以模型颱風模擬2012年侵臺中度颱風蘇拉引起的暴潮，經與花蓮港等主要商港觀測潮位之暴潮偏差分析值比較，雖然因模型颱風參數設定值有偏小現象，致數值模擬結果與各港暴潮歷線之變化仍有差距，此部份未來可藉由參數的校驗修正偏差；此外，本研究對於各港海域推算點最大暴潮模擬值與發生時間之評估則與各港口暴潮分

析結果相近，代表本研究建置的臺灣周圍海暴潮模式在暴潮模擬預測上仍具有應用性及貢獻。

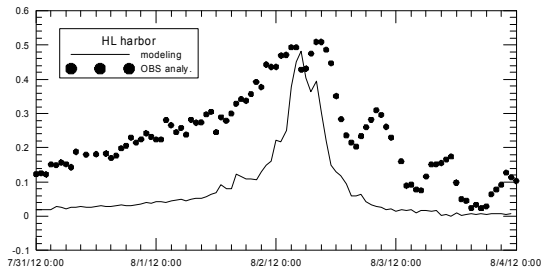


圖 14 中度颱風蘇拉侵臺期間，花蓮港模與擬觀測之暴潮偏差比較圖

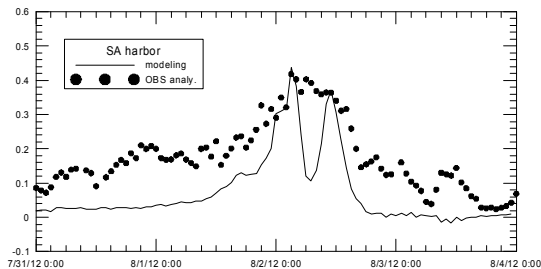


圖 15 中度颱風蘇拉侵臺期間，蘇澳港模擬與觀測之暴潮偏差比較圖

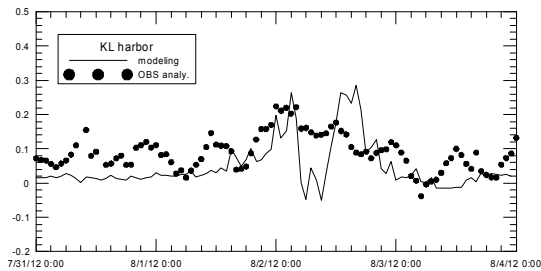


圖 16 中度颱風蘇拉侵臺期間，基隆港模擬與觀測之暴潮偏差比較圖

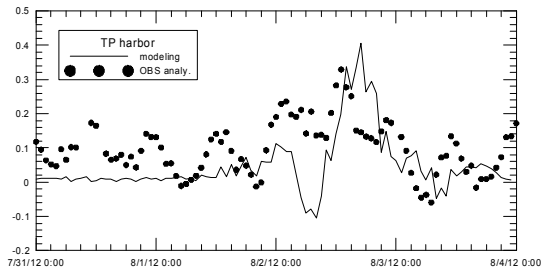


圖 17 中度颱風蘇拉侵臺期間，臺北港模擬與觀測之暴潮偏差比較圖

整體而言，本研究模式暴潮水位升降的主要影響因子為壓力差變化，其次以向、離岸風速對海岸地區水位升降有較明顯的影響。因此氣壓分布之形狀參數 B 值及近颱風中心最大風速之暴風半徑 R_0 值之決定是影響本文數值模擬結果之關鍵因子。

五、結論

本研究以有限元素水動力模式為基礎，配合參數化颱風模式建置適合臺灣周圍海域地形等海象條件的中尺度臺灣周圍海域暴潮模組，此模組係以臺灣周圍海域為中心，模擬範圍含蓋東經 116.5° 至 125° 及北緯 21° 至 26.5° 的海域，具有同時模擬天文潮及颱風暴潮水位及流場變化之功用。

本文分別針對天文潮及颱風暴潮水位進行模擬，相關水位模擬結果經與主要商港潮位及暴潮偏差分析結果比較，証明本文數值模擬結果之正確性及可信度。其中參數化颱風模式僅需輸入颱風中心位置、中心氣壓值及時間等資料，產生模式所需要的颱風氣壓場及風場，應用性相當方便。

針對颱風暴潮初步模擬結果分析顯示，模式無法有效模擬颱風打轉效應，各港暴潮歷線之變化仍有差距，但最大暴潮模擬值與發生時間與實測暴潮分析結果相近。整體而言，採用參數化颱風模式模擬預測臺灣周圍海

域暴潮，颱風模式相關參數決定是否符合或接近侵臺颱風之特性，將是影響暴潮數值模擬預測品質優劣之關鍵。因此，未來模式之應用可朝向發展適合於臺灣周圍海域之颱風參數經驗關係式，藉以提昇臺灣周圍海域暴潮模擬預測之品質。

參考文獻

1. 楊春生(1974)，*臺灣北岸暴潮推算之研究*，臺南水工試驗所土木水利學術彙刊，第 49-63 頁。
2. 劉肖孔(1987)，*臺灣海域颱風暴潮及氣象潮數值預報模式研究計畫*，第三階段成果報告，中央氣象局研究報告第 279 號。
3. 龔誠山(1997)，*颱風暴潮推算*，中興工程顧問社專案研究報告書。
4. 邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏、鄭宇君、陳宜芝(2012) *提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究*(1/4)，交通部運輸研究所研究報告。
5. 李兆芳、邱永芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏(2013)，「*提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究* (2/4)」，交通部運輸研究所研究報告。
6. 劉正琪、邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、鄭博今(2014)，「*提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究*(1/2)」，交通部運輸研究所研究報告。
7. Atkinson, G.D., and Holliday, C.R. (1977). Tropical cyclone minimum sea level pressure - maximum sustained wind relationship for the western North Pacific. *Monthly Weather Review*, 105,421-427.
8. Bretschneider, C.L. (1972). A non-dimensional stationary hurricane wave model. *Proceedings of the Offshore Technology Conference*, Paper No. OTC 1517, Houston, Texas, Vol. I, pp. 51-68.
9. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975) *Mathematical Modelling of Near Coastal Circulation*, Pentech Press.
10. Graham, H. E. and Nunn, D. E. (1959), *Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane*, Atlantic and Gulf Coasts of United States, National Hurricane Research Project, Report No. 3, US Weather Service.
11. Harper, B.A., and Holland, G.J. (1999). An updated parametric model of the tropical cyclone. *Proceedings of the 23th Conference of Hurricane and Tropical Meteorology*, Dallas, Texas, pp. 893-896.
12. Holland, G.J. (1980). An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Monthly Weather Review*, 108, 1212-1218.

13. Jelesnianski, C.P. (1966). Numerical computations of storm surges without bottom stress. *Monthly Weather Review*, 94(6), 379-394.
14. Jelesnianski, C.P., Chen, J., and Shaffer, W.A. (1992). SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes. *NOAA Technical Report*, NWS 48, Silver Springs, Maryland, 71 p.
15. Li, H. W. (1979), *Numerical prediction of typhoon surges along the coast area of Taiwan Strait*, ActaOceanographica Taiwanica , Science reports of the National Taiwan University,10,pp.50-66.
16. MacAfee, A. W. and Pearson, G. M., (2006), Development and testing of tropical cyclone parametric wind models tailored for midlatitude application : Preliminary results, *Appl. Meteorol. Climatol.*, 45, pp. 1244– 1260.
17. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M., (2000) “Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/ POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan,” *J. Oceanogr.*, Vol. 56, pp. 567-581.
18. Myers, V. A. (1954) Characteristics of United States hurricanes pertinent to levee design for Lake Okeechobee, Florida, *Hydrometeorological Report No. 32*, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC.
19. Sobey R.J., Harper B.A., and Stark K.P. (1977). *Numerical Simulation of Tropical Cyclone Storm Surge*. Research Bulletin CS-14, Department of Civil and Systems Engineering, James Cook University, Australia.

淡水河河口沙嘴風吹砂 及水下河床沙丘特性研究

周憲瀟 國立中央大學土木系教授
林柏青 交通部運研所港灣技術中心研究員
何良勝 交通部運研所港灣技術中心科長
鄭年佑 國立中央大學土木系研究所碩士班研究生
黃郅軒 國立中央大學土木系研究所碩士助理

摘要

近二十年(1996 - 2013) 淡水河口段之河床變動呈逐年淤積的趨勢，河口底床則淤積約 1m。依據水利署十河局的河口斷面觀測，2005 年及 2008 - 2013 年間的通水面積較年平均値小 7% 以上，達需疏濬作業的條件。八里挖子尾風吹砂監測站的資料顯示夏季以海風(300° 向陸)為主，颱風外圍環流效應及 9 月下旬起挖子尾主要風速轉為陸風(風向角 60°-120°)且風速值達 10-20 m/s，此一期間的風吹砂最活躍，向岸的風吹砂效應也較明顯。超聲波測深儀可量測斷面速度及床底形態並探討水流、水下沙丘、粒徑三者之關係。淡水渡船頭到第二漁港的水下砂丘以中砂為主，河口內、外砂丘長度約 20-120 m，水深約 5.3 - 7.7 m，沙丘高度約 0.5-1.5m，漲潮流的水深平均流速約 0.7-0.91 m/s，河口內流速大於河口外，

底部且有迴流。

一、前言

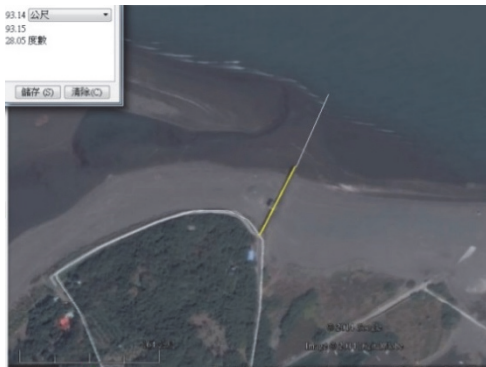
風吹砂是許多沿海及沙漠地區地貌形成的重要機制，而沙漠或沿岸地區的土地利用和沙漠化的演變是全球氣候變遷所面臨的嚴重環境議題。風吹砂的傳輸特性或風吹砂量的估算是探討風力所形成地貌的演化過程及影響範圍的核心課題。風吹砂的研究首由 O'Brien and Rindlaub (1936)觀察美國哥倫比亞河河口處風砂傳輸和風速間的關係。Bagnold (1941)等學者基於顆粒碰撞的動量損失提出風砂傳輸模式，但並無廣泛適用性 (Namikas and Sherman, 1998)。理論或經驗模式所預測值和實際觀察的差異在於模式常基於理想條件的假設，如：風場為單向流、均勻、穩定且完全發展的紊流，且砂開始運動風剖面仍遵循邊界層規律 (law of the wall)；沙灘的灘面平整，且

砂假定為均勻粒徑，表面乾淨且乾燥等。本文分別就淡水河河口段的沙嘴的風吹砂及水下沙丘進行觀測，並分析其運動特性以推估河口水面上、下的地貌演變及輸砂特性。

二、研究範圍及方法

2.1 風吹砂

為能定期觀測挖子尾觀海長堤兩側沙灘的地形改變，並能分析挖子尾風吹砂的特性及效應。本計畫於 103 年 7/25-8/7 日在八里挖子尾觀海長堤上的檢查哨建置風吹砂監測站如圖 1 所示。監測站設備包含風速資料收集系統及地形觀測設備兩部分，分別說明如下：



(a)位置圖



(b) 檢查哨測站及西側沙灘

圖 1 八里挖子尾風吹砂監測站位置

風速資料收集系統包含兩組高解析旋杯風速風向計 (Young, Wind monitor Model 05103) 及自動資料蒐集記錄系統 (DT12 資料蒐集記錄器，取樣頻率為每五分鐘一筆平均值及最大值)。風速計架設於挖子尾海防署檢查哨的屋頂，二風速計間隔 2 m，且下風速計高於屋頂圍牆 1 m。數位化之風速資料則儲存於檢查哨 2 樓房間內的 DT12 資料記錄器(圖 2)。



(a)Young 05103 風速計 (b) DT12 資料蒐集記錄器

圖 2 八里挖子尾風速資料收集系統

八里挖子尾沙灘地形觀測設備如圖 3 所示，包含設於檢查哨周圍三部攝影機(CCD)及室內攝影機主機及監控螢幕各一台。西側砂丘為觀測重點，故於砂丘頂面上豎立一有刻度的標竿做為地形變化的指標(圖 4)。



圖 3 八里挖子尾沙灘地形觀測設備



圖 4 西側砂丘現況及刻度標尺

風吹砂監測站於2014/8/7建置完成後，經一週的測試(8/7-8/15)成效良好，然砂丘現況易被遊客腳印干擾及豎立之刻度標尺常被移位或丟棄，故日後將進行多點參考座標及定位，並提升 CCD 解析度以了解風吹砂造成之地形改變。

2.2 水下沙丘

為了解水深、流速和水下沙丘粒徑的關係，於2014年8月7日及10月20日進行水下沙丘的量測，航段 A、B 皆根據前述 2008/2011 自強公司多音束水深量測；2014年8月22日進行水下沙丘採樣，位置如圖中標記的 A1、A2、A3、A4、B1、B2、B3 及 B4。兩次的航跡如圖 5 所示，並將航跡分成 A、

B 及 C 三段以利後續分析。

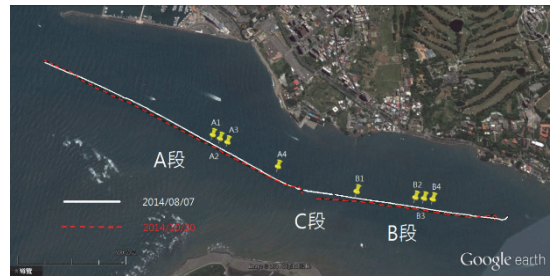


圖 5 2014 River-Ray ADCP 在淡水河口進行量測之航跡

三、挖子尾風吹砂特性

由觀察所得的資料可知 8-9 月的風向白天主要為海風(300o 向陸)，晚上則以陸風(120o 向海)為主。白天最大風速主要介於 6-12 m/s，晚上的風速的則偏小。9 月 14-16 日因受海鷗颱風外圍環流效應，約有 48 小時皆吹陸風(風向角 60o-120o)，風速值達 10-20 m/s，故推斷此一期間的風吹砂最明顯；而 9-10 月的風向主要為東北風(風向角 60 o)，最大風速介於 7-12 m/s。

圖 7 為 9 月 15 日 14:00(b) - 18:00(d) 的沙丘，虛線所示為砂連峰線。在 14:00 -16:00 間其位移量約 20 cm，即波峰移動速度約為 10 cm/hr。



圖 6 2014/09/15 上方風速計歷程圖

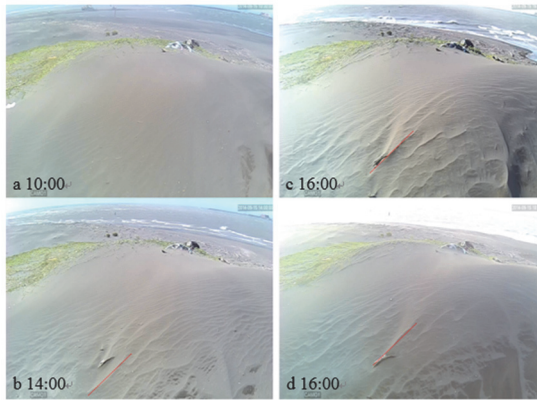


圖 7 2014/09/15 檢查哨西側砂丘地形變化歷程

另一強風期間則為 2014/9/21 (圖 8)，當日風向為東南風(120°)，5-min 平均風速最大約 18 m/s，當日沙丘地形變化歷程如圖 8 所示，沙丘運移方向為西北向(河口方向)。圖 8 中直立標竿(圈 1 處)在 06:00- 14:00 間約刷深 0.05 m，同時可見迎風面之掩埋枯木(圈 2 處)逐漸露出，而下游端之枯木則漸淤埋(圈 4 處)。

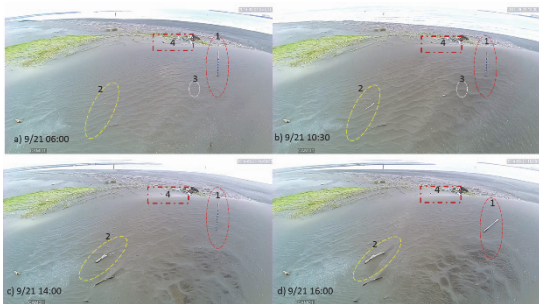


圖 8 2014/09/21 檢查哨西側砂丘地形變化歷程

圖 9 顯示沙丘頂端小石頭(圓圈處，即圖 8 圈 3 處)在 06:00- 07 :30 沙漣約運移 10 cm，即沙丘移動速度約 6.7 cm/hr。



圖 9 2014/09/21 砂丘上沙漣運移歷程

本計畫於西側迎風面(A)、砂丘頂面(B)、及背風面(C)各取一砂樣進行粒徑分析，結果如圖 10 所示。粒徑分布以迎風面最粗，砂丘頂面次之，背風面最細。相應之平均粒徑分別為 0.27mm、0.25 mm 及 0.21 mm。

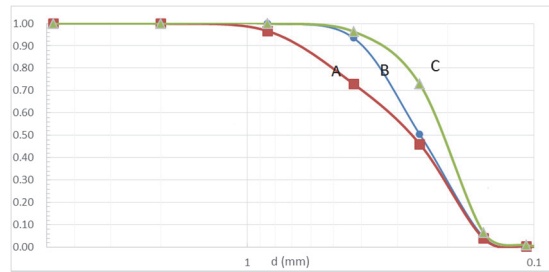


圖 10 檢查哨西側砂丘粒徑分布圖

四、風吹砂量推估

根據 Bagnold 的臨界剪應力概念及 Hsu 的經驗式 ($u^*=0.044U_{2m}$)， U_{2m} 為沙灘面以上 2m 高之風速值)可推求挖子尾顆粒 ($d=0.21-0.27$ mm，取平均值為 0.25 mm) 的臨界剪力速度值，風吹砂的啟動速度(U_{2m})約為 8.2 m/s。由前述直立標竿的沖蝕速率約 8 hr 刷深 0.05 m，即 0.0063 m/hr，並忽略沙丘前緣之輸砂量(因被檢查哨阻擋)，可由輸砂連續方程式推估輸砂量如下：

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-n)} \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$q_s \approx \frac{-\partial z}{\partial t} (1-n)L \quad (2)$$

令孔隙率 $n=0.4$ ， $L=6.0$ m (標竿到檢查哨距離，見圖 8)，代入(式 1)可估算得 9/21 日挖子尾沙丘的平均輸砂量約或 $q_s \approx 1.1 \times 10^{-2} \text{ kg/m/s}$ 。將八里挖子尾觀海長堤上風吹砂監測站的各旬風速資料(2014/8/7-10/23)代入風吹砂公式，可得各旬最大風速下的單寬輸砂量如圖 11 所示。各輸砂量公式中最大者為 Lettau & Lettau (1977)，最小值為 Kawamura (1951)。O'Brien-Rindlaub (1936)，Bagnold (1941)，Hsu (1977) 及 White (1979) 等四個公式的估算值及歷程趨勢較相近，且稍大於由現場沙丘地形變化所推估的平均值(0.011 kg/m/s)，故建議先以此三個公式推算挖子尾風吹砂的輸砂量。

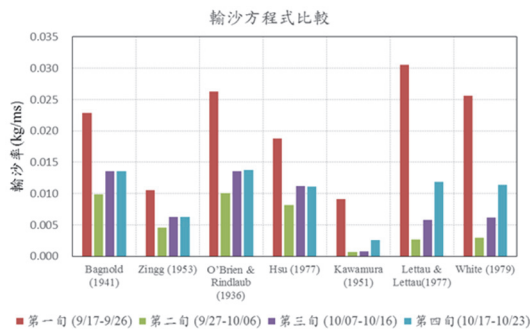


圖 11 2014/9-10 月各旬挖子尾沙丘的風吹砂量推估

五、河口流場及底床沙丘觀測

透過 ADCP 可得到沿航段的底床的型態，如圖 12、13 所示。B 段之採樣平均水深約 5.7 m，A 段之採樣水深

則約 7.6 m。

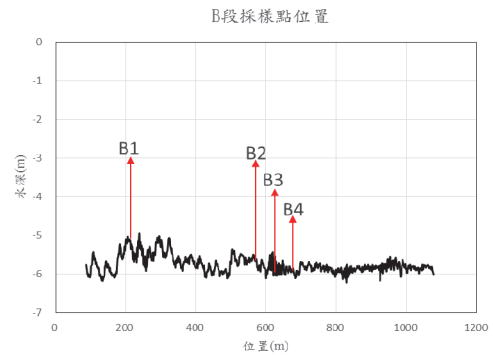
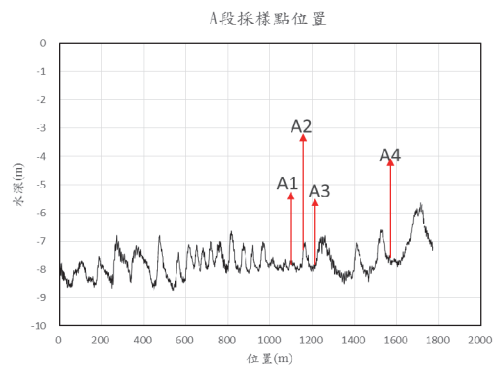


圖 12 2014/8/22 沿航段 B 底床採樣點位置及水深



底床採樣粒徑分佈 B 段平均粒徑介於 0.32-0.4 mm 屬中砂。B2-B4 位於深槽區，故其粒徑較粗，反之，B1 靠河中心水深較淺(5.2 m)，故粒徑較細(約 0.32 mm)。A 段底床平均粒徑則介於 0.25-0.3 mm 亦屬中砂。兩段沙丘組成粒徑以中砂為主，且以 B 段中介於淡水渡船頭與挖子尾河口間的粒徑最粗。

2014/08/07 與 2014/10/20 兩次 ADCP 所得 A, B 段八個採樣點之水深及流速資料整理如表 1 所示。

表 1 A, B 段 八個採樣點之水深及流速資料

測點	水深 (m)	水深平均 流速 (m/s)	方向角 (度)	整段平均 水深 h(m)	整段平均 流速 U(m/s)
2014 年 8 月 7 日					
A1	7.869	0.749	116.1	7.660	0.769
A2	7.333	0.956	116.1		
A3	7.867	0.602	116.1		
A4	7.569	0.769	116.1		
B1	5.327	1.009	107.7	5.716	0.799
B2	5.682	0.825	107.7		
B3	5.952	0.566	107.7		
B4	5.902	0.795	107.7		
2014 年 10 月 20 日					
A1	6.580	0.719	119.5	6.882	0.707
A2	7.257	0.592	119.5		
A3	6.532	0.790	119.5		
A4	7.160	0.729	119.5		
B1	5.234	0.594	113.9	5.197	0.547
B2	5.054	0.509	113.9		
B3	5.207	0.462	113.9		
B4	5.292	0.623	113.9		

圖 14、15 分別為 A 段 520~600m 處的水深-位置-流速和 B 段 860~905m 的水深-位置-流速圖。從圖 13、14 中皆可以看出河水在流經波峰後於波峰後方皆可看出迴流的區域。

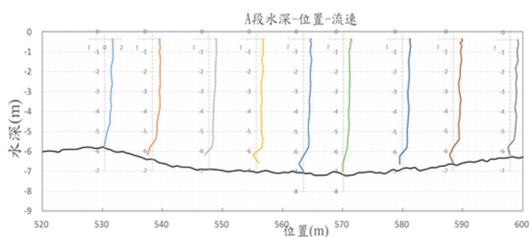


圖 14 A 段水深-位置-流速

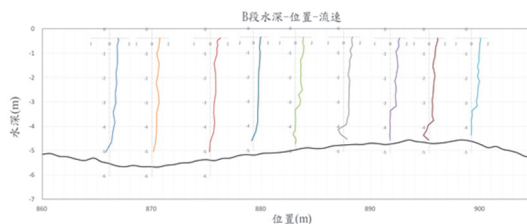


圖 15 B 段水深-位置-流速

六、結論

八里挖子尾觀海長堤上的檢查哨建置風吹砂監測站以分析挖子尾風吹砂的特性及效應。8-9 月的風向白天主要為海風(300° 向陸)，晚上則以陸風(120° 向海)為主。白天最大風速主要介於 6-12 m/s，晚上的風速的則偏小，風吹砂方向以沿淡水河岸為主，向離岸的風吹砂效應可忽略。颱風外圍環流效應及 9 月下旬起挖子尾主要風速轉為陸風(風向角 60°-120°，即東北風或東南風)且風速值達 10-20 m/s，此一期間的風吹砂最明顯，向岸的風吹砂效應較明顯。根據 Bagnold 的臨界剪應力概念推求挖子尾顆粒 ($d=0.25$ mm) 的啟動風速(U_{2m})約為 8.2 m/s 各風吹砂公式中以 O'Brien-Rindlaub(1936)、Bagnold (1941)、Hsu (1977) 及 White (1979) 等四個公式的估算值及歷程趨勢較相近。

以船掛式超聲波測深儀進行兩次斷面速度及床底形態之量測，並現場取得八個底床砂樣，以探討水流、水下沙丘、粒徑三者之關係。淡水渡船頭與挖子尾河口間的深槽區粒徑最粗

為 0.32-0.4 mm 的中砂，河口到第二漁港的平均粒徑則介於 0.25-0.3 mm。河口外砂丘長度約 35-120 m，水深約 6.9 - 7.7 m，沙丘高度約 1.0-1.5m；河口內沙丘波長則介於 20-100 m，水深約 5.3-5.7 m，沙丘高度約 0.5-1.0 m。漲潮流的水深平均流速約 0.7-0.91 m/s，河口內流速大於河口外，且底部有迴流產生。

七、建議

淡水河下游目前仍缺乏長期性之颱風期間之實測流量及同時間之濃度資料。建議持續收集河道斷面量測資料、河床質分佈、疏浚資料及流量資料等以驗證淡水河口長期之輸砂特性。挖子尾風吹砂的輸砂量推算，日後應有更完整的現地地形及風場資料的季節歷程，並進行更深入的驗證與比對。

參考文獻

1. 國立臺灣大學水工試驗所 (2014), 「石門水庫放淤對下游河道變遷影響分析」— 成果報告, 經濟部水利署北區水資源局委託計畫, 2014 年 3 月。
2. 逢甲大學 (2014), 「石門水庫放淤對下游河道生態影響之調查研究計畫」— 成果報告, 經濟部水利署北區水資源局委託計畫, 2014 年 3 月。
3. Bagnolds, R. A. (1941) *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
4. Dong, Z., Liu, X., Wang, H., & Wang, X. (2003). Aeolian sand transport: a wind tunnel model. *Sedimentary Geology*, 161(1), 71-83.
5. Dong, Z., Wang, H., Qian, G., Luo, W., & Zhang, Z. (2006). Wind shear with a blowing-sand boundary layer. *Geophysical research letters*, V.33, issue 22, DOI: 1029/2006GL026739.
6. Hsu, S. A. (1977), "Boundary Layer Meteorological Research in the Coastal Zone," *Geoscience and Man*, H. J. Walker, ed., School of Geoscience, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, Vol 18, pp 99-111.
7. Kadiba, .A. (1965) *A Function of sand Movement by Wind*. Univ. Calif. Tech. Rept. HEL-2-12,91pp.
8. Kawamura, R. (1951) *Study of Sand Movement by Wind*. Univ. Tokyo, Rept. Inst. Sci. & Technology, 5.
9. Lettau, K. & Lettau, H. (1977) *Experimental and micrometeorological field studies of dune migration*. In: *Exploring the World's Driest Climate* (Ed. by K. Lettau & H. Lettau). University of Wisconsin Press, Madison.

10. O'Brien, M.P. & Rindlabubb, B. D. (1936) The transport of sand by wind. Civil Engineering, 6,325-27.
11. Sarre, R. D. (1988). Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England. Sedimentology, 35(4), 671-679.
12. White, B.R. (1979) Soil transport by winds on Mars. J .geophys. Res., 84, 4643-51.
13. Zingg, A .W. (1953) Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. Proc. 5th Hydraul. Conf; Bull. Iowa State Univ, Studies in Engineering, 34, 111-135.

港埠治理模式與港埠創新管理之研究

--以新加坡港為例

林玲煥 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 助理研究員

王克尹 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

摘要

近二十多年來由於全球商品生產區域的轉移，及時製造的盛行，供應鏈及複合運輸的整合，和貨櫃船大型化及航線軸心化等諸多因素的影響，對全球的港埠治理結構產生很大的挑戰，因此各國均進行某種程度的港埠治理改革，重新檢討港口當局的角色及公部門涉入的最適範圍，希望藉由新的治理模式，以企業化的經營及創新的服務來強化其港埠競爭力。而港埠治理模式採公營或私營？何者為優？至今尚無定論，且由於全球港埠治理模式受各國國情及港區土地所有權歸屬之不同而發展出不同的類型，至今全球尚無一套可適合各國通用的最佳治理模式。另港埠創新成敗主要取決於港埠領導層的遠見與膽識，即領導層是否有承擔風險的能力以及具備相關知識與技術能耐而定。本研究從新加坡港的港埠治理與創新管理的案例中，發現兩者之間並無絕定性的關係，港埠治理模式僅是影響港埠創新之其

中一項因素。總之，就港埠治理模式而論，無論公營或私營，只要是一個經營有效率的港埠，所採行的模式即是對其最好的治理模式。

關鍵詞：公共治理、港埠治理模式、創新、新加坡港

一、前言

近二十多年來各國港埠為因應全球商品生產區域的轉移，貨櫃船大型化及航線軸心化的發展趨勢，均重新評估港口當局的角色及公部門涉入的最適範圍，以進行某種程度的港埠治理模式變革。希望藉由新的治理模式，以企業化的管理及創新的服務來加強其港埠競爭力。其中新加坡港在激烈的港埠競爭中，其貨櫃運量除能保持世界領先地位外，並進而將其港埠技術及資本輸出至其它國家。其港埠治理模式及技術創新均有值得借鏡之處。本研究之目的在藉由新加坡港的治理模式及創新管理的經驗來探討港埠治理模式與港埠創新管理的關係，以供政府施政參考。

本研究首先廣泛討論治理的意涵及港埠治理模式演變，接著從理論上探討港埠治理模式與港埠創新管理的關係。最後藉由新加坡港的治理模式及創新管理為例探討兩者的關係。

二、什麼是治理

目前對治理的關注係從 1980 代早期開始，主要由英國及美國當時的新自由主義政府改革公共部門所吹起。權力下放變成是所謂新公共管理及新自由主義廣泛運動的主角。所謂權力下放是指政府將原先擔任的部份職能及其所擁有並經營的公共事業體諸如電信、鐵路或港口等轉移給民間企業團體經營。這個運動來自兩股不同的改變動力，也引發了兩種不同思維的反應。第一種是對“政府失靈”引發的趨力，包括政府效能不彰，及由於財政拮据及累積的財務負擔，給政府壓力以找出可以用少量的資源來做更多的事。第二種趨力是政府的資訊科技的快速發展提高了政府運作的透明度，提供人民較大的監督及參與政府活動的能力。這些趨力都是針對在傳統政府官僚式管制所引發的問題。

公共治理雖與一般企業或團體的治理不同，它的主體是國家和政府，是國家意志的體現，本質上都屬於集體行動 (collective action) 的問題。Steiner 區別公共治理與一般商業治理

或策略的不同有五點：(Steiner, quoted in Gilbert, 1984)

1. 政治主宰公共部門，也就是政府中重要的政策決定大都是政治考量。這與絕大多數的商業決策純以經濟考量為主，兩者最根本的差異。
2. 利益團體在公部門中有法定的角色影響政策，但在私部門並沒有法定的角色。
3. 在公部門組織中目標與目的較多也較廣泛，因此較不能像私人企業可以有長期的策略規劃。
4. 公部門評估的準則也較不清楚，使公部門在評選替代方案及決策時較私部門困難。私部門的評估準則一般是投資報酬率，市場佔有率，利潤及獲利率等，而公部門的評估準則為公眾利益，政治效率及成本效益分析。但公眾利益，政治效率都屬於質化的術語不易量化。
5. 公部門經理人與政治人物的時間視野往往不同，而政治人物卻是公共政策形成的關鍵人物。政治人物常因權宜阻延公部門專業經理者的策略規劃與分析。

二、港埠治理的演變

就港埠而言，它的公共性不容置疑，依據聯合國貿易發展會議 UNCTAD 對現代化港埠的定義如下：“港口是水陸運具的交會點，也是一個

整合運輸的中心。尤其它們是多功能的市場及工業的區域，許多貨品經由這裡被運輸、整理、製造及配送。事實上港埠是多向度的系統，必須整合在運籌鏈中以完成它們正確的功能。一個有效率的港埠，除了基礎設施(infrastructure)、岸上設施機具設備(superstructure)外，還需要能與其他運具充份的連結，動機很強的管理及有足夠合格的員工。”

由於港埠的公共性及相當程度的地域獨佔性，傳統上港埠都是由公部門做為港口的組織者與管理者。但隨著新自由主義的管理經濟思惟的擴散，加上全球化，海運市場的劇烈變化及科技快速變遷的影響，世界各國港埠治理系統的調整首先由英國在 1981 年將 21 個由運輸委員會所控制的港口賣給英國聯合港埠公司（Associated British Ports）發起全球港埠治理改革的浪潮，隨後包括阿根廷、智利、哥倫比亞、馬來西亞、墨西哥等國亦跟進。後來包括世銀及聯合國也都積極推動港埠治理改革，到今天世界各國港埠系統的調整還在持續進行，然而關注的焦點顯然從早期的財政及效率考量，開始更關注包括公平，分配不均及永續發展的面向。

目前港埠治理的議題包括：
(Brooks and Pallis, 2012)

1. 在港區範圍內有最佳績效的適宜模式

2. 如何有效執行此模式以獲得因降低進入門檻所致港內競爭的效益
3. 港埠勞力如何改革以改善績效，及
4. 如何促使在地各權益關係人致力於改善港口腹地的進出效率。

而對於港埠創新的議題相對較少探討。

在世界銀行出版的港埠工具庫書(the World Bank Port Reform Tool Kit)中針對港埠治理模式依民營化的程度，管理的層級(地方、區域或中央)簡單分類包括：服務港(the Service Port)，工具港(the Tool Port)，地主港(landlord port)，及民營服務港(the Private Service Port)。該書評價了各種治理模式的優缺點，並考察了各國港埠變革的軌跡。發現各國港埠治理式的抉擇受諸多因素影響，包括該國的社經結構，港埠發展的歷史，港埠所在位置(靠近都會或偏遠)及所處理貨物的種類等。

後來研究者大都接受這種分類進行相關研究，主要是在改革後的績效比較研究，雖然民營化較有效率的趨勢，但並沒有絕定性的論據。然而學術界對於最適合港埠治理模式的辯論並未停止，尤其對於具公共財屬性的港埠事業，改由民間來管理或經營的程度，更是涉及長久以來二個眾所周知之港埠政策主義路線的爭論，即歐陸主義(Continental European Doctrines)與盎格魯撒克遜主義(Anglo-Saxon)。

歐陸主義視港埠為整個社會之基層組織(infrastructure)，其價值不應僅以設施價值而應自工業發展與腹地貿易貢獻之角度加以評價。因此歐陸主義主張，港埠並不當然需要收支平衡，或賺取盈餘(不論是既有或未來投資計畫)，Anglo—Saxon 主義之觀點則不論港埠對腹地之利益，而認為港口應獨立經營，至少它不應該虧損，最好能賺取合理利潤。二者之差異常反映在港埠費率訂價政策上，前者如西歐及其他接受國家公開鉅額補助之港口，其港埠費率自可較未受補助者為低；而後者如英國，其對於投資計畫和費率政策之主要理論依據即為獲利。

持平而論，港口欲求生存，必須有一健全財務基礎，而其收入緣於對航運界提供服務所收取之費用。在某些「港口國有化」之國家，常因認為國家港口係公用事業單位，而願承受虧損。不論此觀點孰是孰非，經驗指出會導致效率低落者即屬錯誤。而人之本性在於必須靠獲利才得以生存時，通常才會促使其尋求提高效率之新方法。衡諸實際，港口實應視為彼此競爭之企業，以提供更好之服務及吸引更多顧客，此於港口為公營或私營皆然；因吾人很難指望一個經營不善、效率低落、連年虧損單位，有能力提昇服務品質，汰舊換新機具、設施等。

儘管世界銀行出版的港埠工具庫

書的治理模式分類最常被引用，Brooks 及 Pallis 認為它只聚焦在港埠當局的角色(地主，工具，服務或民營)及活動來做為港埠治理的核心議題，但並未就問責制(line of accountability)，合宜的治理結構及信託責任等議題深入討論。尤其是，該工具書並未提供任何証據來說明那種治理模式會有好的績效，所以在實用上效果有限。

因此，Brooks 及 Pallis (2012)經由問卷調查 125 個最大的港口，發表「港埠治理(Port Governance)」一文，除了藉此瞭解目前實務運作中治理模式的類型外，也就土地所有權在港埠治理模式的不同，區分出五種類型，發現政府擁有所有權仍是顯著的特色。絕大多數的大港都有商業化或公司化的治理結構，也都儘量增加私營部門的參與。

至於針對港埠治理模式與創新管理的研究幾乎不見，更遑論就兩者關係的理論探討。所以本研究僅能從其它創新及管理文獻找尋有關治理模式與創新的關係。

三、港埠治理與創新管理

就創新本質的探討，在經濟學上，熊彼得(Schumpeter 1934)是有關創新理論最先的倡導者之一，他的創新觀念涵蓋了下列五個領域：

1. 組織創新(organizational innovation)，新產業組織的施行。
2. 投入創新(input innovation)，原料或中間投入的新來源。
3. 程序創新(process innovation)，新生產方法的導入，包括產品處理的新商業方法。
4. 產品創新(product innovation)，新產品或產品的新品質的導入。
5. 市場創新(market innovation)，新市場的開發。

後續的研究者針對究竟是什麼力量驅動創新的課題方面進行探索，Trott (2008)認為有兩股不同的思潮，亦即市場基礎的觀點(market-based view)及資源基礎的觀點(resource-based view)。市場基礎的觀點認為市場的狀況提供了廠商創新的機會，那就要看廠商如何把握這個創新的機會了。資源基礎的觀點認為動態變化的市場並不能保證廠商能夠形成創新的策略，倒是廠商自有的資源能夠穩定地提供其創新的活動，進而依其意願塑造市場。因此，這個創新觀點就特別著重廠商及其資源、能力與技能。當廠商掌有珍貴、稀少而不易為人仿效的資源時，就可以有創新產品而享有永續的競爭優勢。

其實這兩種觀點也都呈現在熊彼得不同時期對創新的看法上，早期他主張市場基礎的觀點，而認為一些新

興的企業家洞察到市場的機會而予以具體市場化。但後來他則認為大公司因具有資源優勢而可以有系統的投入研究與發展，所以有利於創新。如果從各種產業發展的過程，我們約略可以發現，這兩種趨力都存在。在產業發展的早期，因為市場情況未明，只有少數洞燭先機者率先創新投入產生新產品，這同時是產品創新及市場創新，也許伴隨著組織創新。隨著市場擴大，創業家會帶領該產業的競爭者跟隨；也就是說，創新活動是會經由模仿而擴散。市場競爭的結果愈來愈成熟，此時擁有資源者相對較有優勢，可以在流程創新及市場創新做有系統的研究與開發。直到克雷頓·克里斯汀生所謂的破壞性創新(disruptive innovation)打破原有的產業生態。

創新研究變成顯學，各家理論雖多，卻少有研究者針對港埠治理與創新之關係加以研究探討，而前節所提到的港埠原具有的公共政策性質及各國港埠改革後多樣的治理模式，更是傳統創新研究領域所未見，具有其特殊性。

因此，若要洞察港埠創新的本質，首先應要探討下面所列的一些問題：

1. 是那些力量趨動港埠創新的發展？
2. 港埠創新活動的阻力是什麼？這些阻力是源自組織內或是組織外？創新所需要的成本其重要性為何？

3. 政府的角色或者港埠管理當局在提倡創新上有多重要？
4. 是否某些研究主題更適合目前的時刻？

根據 Taneja 等人(2010)對鹿特丹港的創新分析，創新首先需要有創新的想法，然而創新的想法只是第一步。要把一個創新的想法實施需要建立技術上的能力(包括原型，先驅研究，做模型)和經濟的可行性，並且要能夠將該計畫整合到整個系統中。這些都在需要知識及人力資源，也需要跨部門間的密切合作與組織上的調整。對於鹿特丹港務局曾經企圖創新之項目但最後未成功的因素，最多的是市場條件尚未成熟及資金不足需要政府補貼等。

Taneja 等人綜合分析結果創新的助力及阻力因素包括：遠見及膽識，成本，與現有組織系統的契合，觸動時機，創業的主動精神與合作，網絡與組織架構等。

遠見及膽識：遠見及風險承擔是創新最基本要素。而這是影響一個組織領導及治理是否具有創新能量的最重要指標。

成本：成本包括投資成本及維護成本及收益。對一個商業組織而言非常重要，除了技術上的可行外，一定要考慮到經濟可行性。

與現有組織系統的契合：從技術

與組織的觀點，創新的觀念是否能結合到現有的組織系統中也是創新能否成功的因素。

觸動時機：所謂觸動時機是指有些創新的阻力當某些門檻或條件達到時，該阻力自然就化解了。需要為創造之母，當需求加速將有助於新科技得到成長的助力。

而一項針對鹿特丹港及阿姆斯特丹港的創新績效所做的評估發現，大約有三分之二的創新努力是針對效率，只有三分之一是針對新產品。儘管創新規劃一詞經常出現在公司的策略中，真正能把它化為實際的政策，並給予人力上的配合，組織結構的調整等，大致上都有明顯的落差。最常被提到的議題與困難包括：

- 規則及變動性
- 預算議題
- 缺少足夠的能力，伙伴間的摩擦及工人的抗拒。

基於港埠有其特殊性，上面這三點阻力並不見得一定存在不同的港埠環境，由於目前研究文獻上並未針對港埠治理模式與創新的相關研究，僅依上述整理一些影響創新的重要元素包括，

1. 外部因素--全球化，變動的市場環境，快速變遷的科技，國際環保及節能減碳要求。

2. 內部因素—領導層的遠見與膽識，風險承擔能力，知識技術能耐。
3. 當地因素—政府態度與支持，港埠業者合作文化，所在地城市的壓力。

從演化的觀點，能夠調適並且克服上面三類因素的港埠治理模式，就是最能夠創新的港埠。但是因為無法廣泛的蒐集足夠且不同的港埠治理模式進行創新績效的比較，本研究先以港埠界的模範生—新加坡港做為個案研究，藉由新加坡港的治理模式及創新管理為例進一步探討兩者的關係

四、新加坡的港埠治理變革與創新成效

新加坡港是國際著名的港口和世界第二大貨櫃港，也是世界最重要的航運中心之一。它也是全世界最大的轉運樞紐港（transshipment hub）。但在一九九六年以前，新加坡與航運相關的部門，有港灣部（Marine Department）、國家海事委員會（National Maritime Board）和港務局（Port of Singapore Authority）。港灣部是交通部的行政部門，負責船舶的登記註冊、航行安全和防止船舶污染環境等相關行政業務；國家海事委員會則管理船員的選用、福利和培訓等相關業務；港務局則負責港埠之經營與管理。當時新加坡港務局係依「新加坡港務局法」（Singapore Port Authority Act）成立的，為一特殊公

法人組織，進行「政企合一」的港埠經營管理模式，港務局除了行使部分港埠行政管理業務外，也秉持公司獨立自主之精神，直接負責港埠貨物的裝卸、倉儲及其相關業務經營。港務局設委員會，負責港務局重大問題與決策的審定，並聘任局長負責日常業務之執行。

為了因應來自馬來西亞、印尼等鄰近國家不斷的進行深水港埠開發所帶來的競爭壓力，並為原新加坡港務局的港埠相關業務部門，尋找新的業務發展機會，以保障原新加坡港務局近萬名員工的工作權。該國於 1996 年 1 月進行「政企分離」的航港經營管理體制改革，希望以公司化的港務組織強化港埠營運活力。

在「政」的方面，新加坡港務局（Port of Singapore Authority）於 1996 年 2 月 2 日與國家海運委員會（National Maritime Board）、海事處（The Marine Dept.）合併，成立「新加坡海事港務管理局」（The Maritime and Port Authority of Singapore，簡稱 MPA），綜理新加坡港務及海運事務，並擔任政府有關海運、海事及港埠服務與設施的專責機構諮詢。MPA 為經費自行籌措的法人機構，設有航運、港口、訓練、技術、政策及整體服務等 6 個部門。

在「企」的方面，1997 年 10 月 1 日 MPA 的營運部門改組成立「新加坡

港務公司」(PSA International Ltd)，為一公司組織，與 MPA 各司其職。其中 MPA 職司政府功能，而新加坡港務公司則經營商業性活動，成為新加坡港的唯一港埠事業經營者，並定位為「全球性的港埠經營公司」(a global port operator)。新加坡港務公司復在 2003 年 12 月時進行重組，成為新加坡國際港務集團(PSA International Pte Ltd)的主要控股公司之一。

改制後 PSA 為新加坡淡馬錫公司 100% 股權擁有公司。它的治理結構包括股東大會、董事會、監事會與管理層。董事會設置 9 席董事，設董事主席一人，總經理一人，其下有三位副總經理，在組織架構上分二個大核心群組：一為策略性商業群 (Strategic Business Group)，一為策略性發展群 (Strategic Development Group)。策略性商業群設有三個部門：貨櫃中心部 (Container Terminal Division, CTD)、國際商業部 (International Business Division, IBD) 及倉儲物流部 (Warehousing and Logistics Division, WLD)。策略性發展群有六個部門，分別是公司服務部、工程部、財務部、人力資源部、資訊部及財產部。

與世界銀行所鼓勵的民營化方向不同，PSA 公司的經營體制係由該公司經營大部分的碼頭業務，僅部分業務以外包方式，由民間裝卸業者經營。

所以就性質而言，PSA 是公營港埠企業化經營模式。但 PSA 在卸下執行公權力的角色及脫離政府的控制後，該公司之經營策略得以較過去多元化。其經營之策略包括三大面向：

- 強化新加坡港之業務
- 擴展海外之投資業務，及
- 加強國際運銷業務。

在強化新加坡港之業務方面，所採措施包括：

1. 長期碼頭服務協定：該公司與航商簽定長期碼頭服務協定 (Terminal Service Agreement, TSA)，除保證作業效率外，並給予減價之契約費率，以換取航商每年最低保證運量之承諾。這項措施是該港留住客戶的利器。該公司也設置專戶經理 (Customer Service Manager)，個別服務特定的主要客戶。
2. 費率政策：PSA 針對不同的客戶提供彈性費率以符合顧客的需求而非單一服務單一價格費率政策。
3. 多角化經營：PSA 公司及其各子公司或合資公司經營港埠業務及投資港埠相關或其他事業。
4. 設置國際顧問協會 (International Advisory Council, IAC)：為掌握全球性的港埠、航運經營趨勢並回應顧客之看法與意見，此委員協會由各航運公司船東組成，由成員提供 PSA 公司

策略意見，以增加公司的服務品質與維持競爭力。

另外為提昇員工知能，PSA 每年投入可觀的教育訓練費用(達到全年薪資的 4%)，以隨時讓員工跟上港埠最新技術的潮流並且滿足客戶的需求，這項業務後來並奠定 PSA 為全球港埠相關從業人員訓練的中心之地位。

此外在擴展海外之投資業務及加強國際運銷業務方面，由於 PSA 公司有著積極成為一全球化的公司的願景與遠見，由該公司的國際商業部主導尋找世界其他港口營運者形成夥伴，並與各港共同形成一世界級的碼頭經營及物流中心，且分析研判國外港埠投資機會或者提供其它港口港埠經營管理之專業技術諮詢。而其倉儲物流部則是提供顧客一貫作業的貨物運送、倉儲及物流業務之服務，並在世界各地與各國合資成立物流中心。

改制後的 PSA，不論就其治理結構、經營體制及公司領導階層大膽積極的願景與相配合的經營策略，都顯示具備創新的所有元素。例如其領導階層對 PSA 的願景定位是全球化首屈一指的貨櫃港，而它國際顧問委員會的設置，從創新的角度，它能提供領導層最新的趨勢與市場機會，而市場機會的辨識正是創新的第一步。也有國際商業部組織上的佈置，並有經營策略上的配合，人員的知識技能也都

能根據業務發展與客戶需求而適時提昇。而在實務上，PSA 也確實在創新的多個面向有非常好的績效。

PSA 的創新實績是全方位且多面向的，依據熊彼得(1934)的創新五大領域來探討，可包括：(1)組織創新-依「政企分離」的原則，將新加坡港務局改組為新加坡海事管理局(MPA)及新加坡港務公司(PSA Corporation Ltd)兩個組織；(2)投入創新-現代化機具、自動化設備與人員專業訓練；(3)程序創新-通關程序高度 e 化與自動化，含通關資訊技術創新，如建立全國 EDI 貿易服務網以及通關貿易網路平台(TradeNet)；(4)產品創新化-服務多元化、作業效率化、服務加值化；(5)市場創新-多國化等，詳如表 1 所述。其中就市場創新--多國化而言，PSA 為了成為全球性的港埠經營公司，在改制十年內 PSA 公司在貨櫃碼頭的投資與經營，除了本地之外，已經在 16 個國家總共投資 28 個港口的貨櫃碼頭。而在中國 PSA 投資經營的貨櫃碼頭更是充份掌握大陸經濟發展的熱流時機，投資包括香港、東莞、廣州、福州、天津及大連等地。使它成為全球僅次於和記黃浦集團(Hutchison Whampoa Ltd., HWL)的跨國貨櫃碼頭集團公司，尤其自 2006 年起其海外貨櫃總運量皆已超過新加坡港的貨櫃運量，成績相當驚人。

由於本研究聚焦於探索新加坡港是如何創新以及港埠治理模式與創新管理之間有什麼關係，故需再深入追究，到底新加坡港是怎麼辦到的。下

表一 新加坡港創新策略與實例

創新領域	創新策略	創新作法
組織創新	公司化	1. 1997 年依「政企分離」的原則，將新加坡港務局改組為新加坡海事管理局(MPA)及新加坡港務公司(PSA Corporation Ltd)兩個組織。 2. MPA 負責航港管理，PSA 負責港口經營管理。 3. 2003 年重組，新加坡港務公司成為新加坡國際港務集團公司(PSA International Pte Ltd)的主要控股公司之一。
投入創新	機械自動化	1. 自動化遙控橋式起重機(Remote-controlled Overhead Bridge Cranes)，可堆 9 層貨櫃。 2. 雙層拖車，同時可載 4 個 TEU。 3. 應用「崗哨自動化系統」(FTGS)與「貨櫃號碼辨識系統」(CNRS)等先進科技，縮短貨櫃車進出崗哨時間，提高生產力。
	人員專業化	MPA 及 PSA 皆有培訓中心，每年以收入的 4% 作為培訓基金，提高員工整體素質。
程序創新	資訊技術化	1. 公部門海運平台(航政監理)：MariNet 2. 航港業務平台：PortNet 3. 網網相連：MariNet、PortNet、TradeNet 及空運平台 Spectrum 皆已互相連結，加速航港與通關效率並降低成本。
	通關自動化	貿易簽審、通關平台：TradeNet、TradeXchange 使通關便捷化。
產品創新	服務多元化	1. 國際貨櫃管理和租賃中心 2. 海港聯運 3. 國際船舶換裝修造中心 4. 國際船舶燃料供應中心 5. 港口物流中心
	作業效率化	整合 PortNet、「電腦化整合型場站作業系統」(CITOS)、FTGS、CNRS 及貨櫃場遙控自動化裝卸機具等，使港埠作業效率極高。
	服務增值化	1969 年設立自由貿易區(FTZ)制度，至今共設置 7 個自由貿易區。在區內貨主免繳租稅及規費，可將貨物陳列、儲存、拆裝、改裝、加貼標籤、分類、重新包裝或與其他貨物混合加工等增值服務，提供倉儲和轉口貿易的方便性。

節即從 PSA 領導者，也就是董事會主席的觀點，來看 PSA 如何從事貨櫃碼頭的創新改造。

市場創新	多國化	PSA 公司在改制十年內，除了在本地球櫃碼頭的投資與經營外，另在 16 個國家總共投資 28 個港口的貨櫃碼頭，包括中國大陸、歐洲(比利時、荷蘭、葡萄牙、義大利、英國)、土耳其、印度、韓國、日本、東南亞(泰國、越南、新加坡)、巴拿馬、阿根廷及巴基斯坦等。
------	-----	---

五、新加坡港的貨櫃碼頭創新實例

PSA 的董事主席 Mr. Stephen Lee 在 2005 年 IAPH 第 24 屆年會發表貨櫃碼頭創新 (Innovation of Container Terminals)一文。它首先從歷史的角度提到 1956 年由 Malcolm McLean 創新的第一只貨櫃，啟動了之後一連串的貨物運輸革命。貨物貨櫃化急速增長從 1980 年代佔總貨物的百分之二十五到達當時的三分之二。所以 PSA 深切體認改善貨櫃碼頭的運轉及整個供應鏈是創新的重點。

Mr. Stephen Lee 接著討論要求創新的 3 個關鍵商業趨動力，包括：貨櫃量的快速成長壓力；製造商日益昇高的服務要求；海運安全的考量。

● 第一個動力：貨櫃量的快速成長壓力
世界總貨櫃量從 1980 年代三千六百萬 TEUs 到 2004 年幾乎達三億六千萬，成長十倍。而當時預測成長將會更加快速，將造成港口的擁擠，所以

貨櫃碼頭必須有創新的方法以增加容量。

另外一項更大挑戰的動力來自貨櫃船舶的大型化，當時 8000TEU 船舶訂單已經佔世界總容量的三分之一。而當時 PSA 也已看到今天會有 12,500 TEU 或更大容量的船舶將會問世，這將造成給貨櫃碼頭的操作容量及生產力帶來極大壓力。所以貨櫃碼頭必須找到創新的解答來快速消化這些巨型船舶的龐大貨櫃量。

- 第二個趨力：製造商日益昇高的服務要求

物流業的競爭使得對客戶提供及時的服務(just-in-time)變成必須。但是除快速與效率外，更要具成本效益。貨櫃碼頭如何能創新以提供更好更快但又不增加成本的傳遞方式。

- 第三個動力：海運安全的考量

世界相較於數年前已大不同。對港口及船隻的恐怖攻擊已是真實，由恐怖攻擊觸發的海事災難將對貿易及航運造成嚴重的後果。但是如果對貨物採取嚴格的安全檢查又會造成供應鏈的延誤。如何能找到平衡安全的考量與供應鏈效率的創新方式。

上面這些挑戰需要貨櫃碼頭營運業者跳出框架思考創新的解答，PSA 乃從兩個領域提出創新對策，即「貨櫃碼頭操作的創新」以及「貨櫃資訊使用的創新」。

- 第一個創新領域：貨櫃碼頭操作的創新

貨櫃碼頭操作的創新可以改善服務水準，減輕容量不足的問題並且降低成本。這個可由兩個主要方法來達成，即碼頭的硬體創新及支撐貨櫃碼頭運作的軟體之創新。

1. 碼頭的硬體創新：包括超級起重機及起重機之超級電容器。超級起重機的研發及製作，可以同時舉起兩個 40 呎貨櫃的超級起重機，是世界首次使用。起重機之超級電容器，藉由試驗起重機在落貨時，超級電容器能回收再生能量，以降低操作成本。

2. 支撐貨櫃碼頭運作的軟體之創新：主要是應用資訊技術以促進碼頭部份或全部的自動化，即應用「崗哨自動化系統」(FTGS)與「貨櫃櫃號辨識系統」(CNRS)等先進科技及貨櫃區自動導航車輛以調度碼頭起重機與櫃場間之貨櫃。

- 第二個創新領域：貨櫃資訊的創新使用

由於貨櫃需要穿梭不同的管制區域，其所裝載的貨物在運籌鏈上也有各種不同的使用者，都需要非常繁雜的文件資料，需強化運籌效率並確保安全，多頻辨識系統(RFID)使用於貨櫃，有利於貨櫃的追蹤偵測及貨物運籌的完整性。

- 跳出框架思考的其它相關創新對策與解答

「電腦化整合型場站作業系統 (CITOS)」的設置，除了提供貨櫃碼頭有效、快速且無縫的服務外，它也是一個資源規劃系統協調並整合整個新加坡港所有港埠運作。除了自己的研發部門外，也充分與學術單位合作研發貨櫃辨識系統，這個系統大大提升了港的工作效率。除了與學術單位合作，還與設備供應商及 IT 服務商共同研發一種減震器以減少機具故障停工時間。

PSA 甚至跟競爭者在某些市場或在特定條件下合作，如與其它碼頭營運商共享起重機及碼頭泊位長度等。很顯然的，在敵對貨櫃碼頭營運商間這種合作並不是那麼直截了當，然而帶著開放合作的心態，雙贏是可以達成的。PSA 也跟它的顧客，如承運人，透過網路預定他們想送貨或取貨的時間，這個簡單但優雅的解決方案，非常顯著地改善了供應鏈的效率，也同時疏解了尖峰時段交通擁擠及櫃區擁塞問題。

- Mr. Stephen Lee 的結論

貨櫃碼頭產業是一個成長快速且正面臨刺激挑戰的產業，面對這些挑戰及產業未來的解答不能僅僅依賴行禮如儀或遵循既有模式。身為港埠社會的一份子，港埠及碼頭營運商必須

尋求突破性的且大躍進的改善，創新是這些突破及躍進的關鍵。

從 PSA 的董事主席 Mr. Stephen Lee 的論述可清楚地看出，一個有創新的企業經營者的思惟與心態，就是必須具備能辨識創新的趨力、問對問題、找到創新的明確方向、擬定策略、明確的資源支持與卓越的團隊管理。

六、討論、結論與建議：

雖然「創新」已被廣泛認為是企業成長重要動力，而且創新的相關研究亦汗牛充棟，但並無重大的突破。其中最主要的困難在於企業創新是多種層面且非常複雜的行為與現象，其歷時甚長，一般的研究者如非企業的核心當事人，很難窺探其中的奧秘與決策的轉折點。研究者最常採用深入訪談的方式也相當受侷限：一者，很少有機會能採訪到企業高層決策人士；二者，事過境遷，當事人只能就記憶所及述說，而記憶口述常不夠完整可靠。所以本文參考由 PSA 領導者，也就是董事會主席的角度親自探究 PSA 如何從事貨櫃碼頭創新的思考歷程與執行方式，可更具完整性及參考意義。

結論：

1. 全球港埠治理模式演變因各國的社經結構、港埠發展的歷史、港埠所在位置及改革目標的不同而顯現不同

的類型，從英國港埠私有民營化到美國港埠非常獨特的體制（美國聯邦政府唯一的角色僅航道及導航輔助），對於港埠治理模式與港埠績效是否相關，學界迄今尚未有絕定性的論據。

2. 港埠治理與創新管理的研究尚未成為學術研究的主流。而正如港埠治理模式與港埠績效間並無絕定性的相關論據，由於創新是多種層面且非常複雜的行為與現象，相較於一般企業，港埠之創新又更加複雜。治理模式頂多也只是影響港埠創新之其中一項因素。因為從唯一民營私有化的英國港埠案例，並未見有特別突出的創新實例。而對於絕大多數的私人企業，能夠創新的企業仍是少數，並未因其是私有企業而必然有創新的能耐。根本還是要回歸創新的本質，而創新的關鍵在領導層的遠見與膽識，視其是否有承擔風險能力及具備相關知識技術能耐而定。
3. 新加坡的港埠治理變革自 1996 年 2 月成立「新加坡海事港務管理局」（MPA），1997 年 10 月成立「新加坡港務公司」（PSA International Ltd），該公司仍經營大部分的碼頭業務，其治理模式為公營港埠企業化經營模式。其創新成效卓著，惟其創新並非從公司化後才開始。但改制後的 PSA，不論就其治理結構、經營體制及公司領導階層大膽積極的願景與相配合的

經營策略，都顯示具備創新的所有元素。

4. 本文案例由 PSA 領導者，也就是董事會主席的角度親自探究 PSA 如何從事貨櫃碼頭創新的思考歷程與執行，具有實用參考價值。

後續研究方向建議：

1. 港埠產業是國際性事業(international business)，我國雖然已完成階段性的體制改革，但隨著全球化競爭的加劇，仍需關注世界港埠潮流的發展，以及此新體制實踐的成效，宜適時的予以檢討並調整治理模式，絕非一勞永逸。
2. 本文主要探討港埠治理模式與創新管理之關係，並未深入探索港埠治理模式的類型及進行優缺點分析，Brooks 及 Pallis (2012)發表「港埠治理(Port Governance)」一文，經由問卷調查 125 個最大的港口，用以瞭解目前實務運作中治理模式的類型，其結論之一指出：大家對什麼是最適治理模式仍然未有共識。故相關主題頗值得持續研究探討。
3. 港埠治理議題的研究，因為每個國家及港口所處的環境各異，本文限於篇幅及研究主題僅就少數共通議題進行討論，而 Brooks 及 Pallis (2012)對此議題有建議兩個值得學界再深入研究的主題：其一為“公共財”的責任分配(the allocation of responsibilities

for “public goods.”) ；其二為除了從吞吐量大外，也可從多方面來進行港埠治理董事會的結構與港埠績效研究。針對後者，本所已於 2010 至 2015 年完成「臺灣港務公司之監督與公司治理績效評估研究」等相關研究，可供參考及後續研究引用。

4. 就創新而言，如新加坡案例所示領導層需具有辨識創新的趨力、問對問題、找到創新的明確方向、擬定策略、明確的資源支持與卓越的團隊管理，因此如何強化領導層此方面的知識能力，是關鍵且值得研究探討的問題。

參考文獻

1. Brooks, Mary R. and Athanasios A. Pallis, (2012)”Port Governance”, 2014 年 10 月 5 日，取自 [http://ebooks.narotama.ac.id/files/The%20Blackwell%20Companion%20to%20Maritime%20Economics%20\(Blackwell%20Companions%20to%20Contemporary%20Economics\)/Chapter%2025%20%20Port%20Governance.pdf](http://ebooks.narotama.ac.id/files/The%20Blackwell%20Companion%20to%20Maritime%20Economics%20(Blackwell%20Companions%20to%20Contemporary%20Economics)/Chapter%2025%20%20Port%20Governance.pdf)
2. Lee, S. (2005), “Innovation of Container Terminals,” 24th IAPH Conference.
3. Taneja, P., M. van Schuylenburg and T. Vellinga (2012), “Ports and Innovation” from Delft University of Technology Institutional Repository.
4. Trott, Paul (2008),” Innovation Management and New Product Development”, 4th ed., Pearson Education Limited.
5. 交通部運輸研究所 (2010)，「臺灣各港務局建立創新管理機制與創新指標之研究」。
6. 交通部運輸研究所 (2011)，「臺灣貨櫃港埠創新之管理研究」。
7. 交通部運輸研究所 (2015)，「臺灣港務公司之監督與公司治理績效評估之研究(2/2)」。

臺北港與國際港之颱風風場預報特性分析

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

摘要

本研究運用 ARW 模式，執行 2010-2014 年間颱風個案之風場預報實驗，分析 ARW 模式對臺北港與國際港颱風風場之預報能力，主要研究結果如下：

- 在 18 個颱風個案，臺北港風速預報良好個案為 13 個，佔 72%。
- 所有 5 個登陸颱風均為預報良好個案。所有 5 個預報不佳個案均未登陸，包括唯一的秋颱梅姬。
- ARW 模式對第 2、4、6 類路徑之預報能力較強，對第 1 類路徑之預報能力較弱。

臺北港、臺中港、高雄港、花蓮港之預報實驗顯示，ARW-2km 模式對臺灣港灣區堤頭與外海之開闊洋面風場，具有實質預報能力，對港灣區內風場之預報能力不佳。

一、前言

臺灣為一海島，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)。臺灣位於副熱帶洋面，西倚亞洲大陸，東臨太平洋，由於此二者的海陸差異，導引其季風氣候變化的基本型態(陳，2006)。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，且有較強風速，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 6-8 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)。黃(2013)分析臺

灣國際港風浪之季節特性，顯示西部港口於西南季風時期之平均風浪約為 2-4 級，但東北季風時期之平均風浪約為 4-5 級，臺中港風浪甚至可高達 6-8 級，其所引發之季節性大風大浪，值得注意。

除東北季風帶來強大風速之外，每年平均有 3-4 個颱風侵襲臺灣地區，以 8 月份颱風侵臺的次數最多，7 月份與 9 月份次之，全年侵臺颱風約有 3/4 於 7-9 月發生(中央氣象局，2006)。颱風暴風範圍之風力約為 7-10 級風，瞬間陣風最大可達 17 級，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，可藉由掌握上游高精確度大氣風場著手。氣象作業單位目前所提供之預報資料，於臺灣鄰近區域為 15-45 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建置與分析，藉此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、波浪預報系統之邊界條件，精進其預報能力與結果，提供精良之大氣-海洋預報資訊，助益沿海航行安全與港埠管理績效。

陳等(2014)執行後預報實驗，顯示 ARW 對港灣區 2km 風場具有相當程度預報能力，對日變化之變化趨勢與強度，於臺北港與國際港大部分月份，均能掌握其變化特性，反應 ARW 適宜作為港灣區風場預報模式之使用，且對颱風等災害性天氣之風速、波高預報，均有正向貢獻，反應其實質預報效能。陳等之測試僅從部分颱風個案得來，未來在全球暖化背景之下，氣候變遷對區域環境之衝擊及災害將更頻繁(IPCC 2001、2007)，預期颱風之強度與生命週期將更為加強(e.g., Emannul 2005; Webster et al. 2005; Oouchi et al. 2006)，在此背景之下，ARW 對所有颱風與強風現象之整體預報能力為何，仍有進行系統性完整檢驗之必要性。在充分瞭解其預報特性之後，方能適宜運用風力預報資訊，提

供並協助港灣區之風力與波浪預報使用，經由獲得高品質風-浪預報資訊，協助港埠單位執行災害性天氣時之運作與安全管理，穩定國家經濟發展，維持港灣區船隻與作業人員安全。本文主要研究目的，為運用 ARW 風場預報模式，執行對 2010-2014 年間之颱風風場預報實驗，藉此檢驗 ARW 模式對港灣區颱風風場之整體預報能力。

二、ARW 三層巢狀預報模式

本文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，因此使用 ARW 模式做為臺灣鄰近海域與港灣區之風場預報系統，ARW 模式之優越點為可使用多層巢狀方式，將全球觀測資料所預報之大尺度預報資訊(約為 50km 解析度)，以動力降尺度方式逐漸內化到各指定小區域，並經由提高網格點解析度，達到指定區域所需求之高解析度預報資訊。在此降尺度過程中，係以大尺度預報資訊為背景場來驅動 ARW 模式，而非運用實際觀測資料來驅動，亦即執行方式為未知之預報(forecast)過程而

非已知之即時預報(hindcast)過程。臺灣四周環海，中間有高聳中央山脈，各港灣只能在狹窄臨海區發展，內陸之腹地有限，加上地勢迅速增高變化，因此在數值模擬與預報上，面海背山之顯著多變地勢，常造成預報工作的困難性;港灣區之區域狹小，憑添動力預報難度，迄今仍是預報作業上充滿挑戰的新課題。

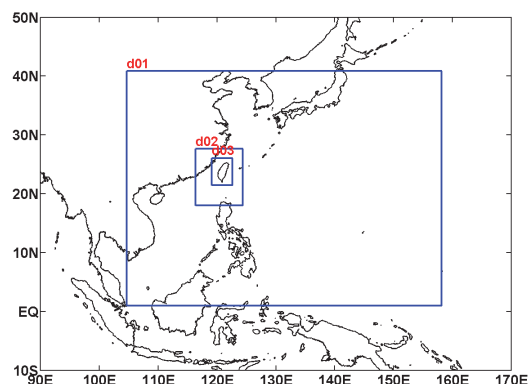
依港灣區預報作業之需求，本研究以全球預報模式之高解析度($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ，約 50km 網格點)預報結果為邊界條件，採用三層巢狀系統，以 4 倍放大率，使用 32km，8km，2km 解析度(圖一)，將全球預報資訊降尺度到臺灣鄰近海域與港灣區。此種降尺度系統，在過去研究報告中，已證實可有效、正確地將全球預報資訊轉化到臺灣小範圍區域之內(例，洪等 2006; 簡等 2006)。本研究 ARW 模式設定如下：

- 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
- 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
- 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

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，1km 以下計有 7 層，其高度分別約位於地表、60m、150m、400m、500m、600m、800m，1-2km 之間計有 3 層，其高度約位於 1km、1.5km、2km。

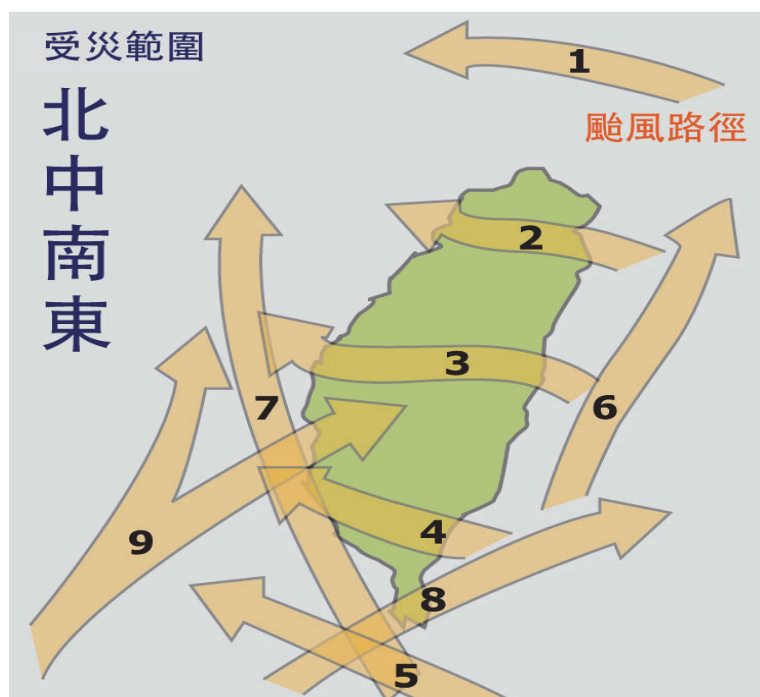
ARW 預報系統之測試，將注重在港灣區風場之預報能力，即是以 2km 解析度之預報結果，對應到各港灣區內之風速計觀測值，由於模式網格點與風速計所在位置有所差異，變通方法即是以包圍風速計的鄰近 4 網格點所預報數值之平均值，與風速計觀測值進行時間序列比較，藉此評估 ARW 模式對風場之預報能力。



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

三、颱風預報個案

為了檢驗 ARW 對港灣區風場之預報能力，本文選取 2010-2014 年期間，中央氣象局發佈颱風警報之 18 個颱風為分析對象，執行 ARW 預報實驗。此 18 個颱風之警報期間、名稱、近臺強度與路徑分類，如表一所示，依據中央氣象局所定侵臺路徑分類(圖二)，這 18 個颱風，第 1、3 類路徑各有 1 個，第 2、4、9 類路徑各有 2 個，剩下 10 個颱風則因只通過臺灣鄰近海域，故未歸類任一路徑。就季節而言，發生於 5-6 月梅雨季的颱風有 5 個，7-9 月颱風季有 12 個，10 月的秋颱僅 1 個，此分布亦反應 7-9 月為颱風主要發生季節。而在所有颱風中，僅有 5 個登陸，13 個未登陸，對應眾多颱風路徑未能歸類的原因。



圖二：侵臺颱風 9 種路徑(資料來源:中央氣象局)

表一：執行 ARX 風場預報實驗之 18 個侵(近)臺颱風資訊

年份	警報期間	中文名稱	英文名稱	近臺強度	侵臺路徑分類
2014	07/21~07/23	麥德姆	MATMO	中度	3
2013	08/20~08/22	潭美	TRAMI	輕度	1
2013	07/17~07/18	西馬隆	CIMARON	輕度	--
2013	07/11~07/13	蘇力	SOULIK	強烈	2
2012	09/27~09/28	杰拉華	JELAWAT	強烈	--
2012	08/14~08/15	啟德	KAI-TAK	輕度	--
2012	08/06~08/07	海葵	HAIKUI	中度	--
2012	07/30~08/03	蘇拉	SAOLA	中度	2
2012	06/28~06/29	杜蘇芮	DOKSURI	輕度	--
2012	06/19~06/21	泰利	TALIM	輕度	9
2011	08/27~08/31	南瑪都	NANMADOL	強烈	4
2011	08/04~08/06	梅花	MUIFA	中度	--
2011	06/23~06/25	米雷	MEARI	輕度	--
2011	05/27~05/28	桑達	SONGDA	強烈	--
2011	05/09~05/10	艾利	AERE	輕度	--
2010	10/21~10/23	梅姬	MEGI	中度	9
2010	09/17~09/20	凡那比	FANAPI	中度	4
2010	08/30~08/31	南修	NAMTHEUN	輕度	--

四、臺北港颱風風場預報分析

上述 18 個颱風針對臺北港之 ARW-2km 風場預報結果，將逐一進行分析探討。為了呈現 ARW 之整體預報能力，本研究將選取颱風逼近臺灣前之 4-5 個不同初始時間，分別進行預報，各個預報取其 48 小時逐時預報結果，與臺北港外海觀測樁之逐時風場互為比對，取風速 $(\sqrt{U^2 + V^2})$ ，緯向風速(U)，經向風速(V)分別計算 ARW-2km 預報結果與觀測風場之相關係數，以 48 點資料而言，若相關係數達到 0.28，即達到 95%顯著程度。另外亦計算預報風速與觀測風速於 48 小時預報期間之均方根誤差(root mean square error, RMSE)，再將此 RMSE 值除以觀測風速 48 小時平均值，計算 RMSE 相對平均風速之百分比率，稱為相對均方根誤差(relative RMSE, RRMSE)，RRMSE 比率越小，則反應預報風速強度與相位愈趨準確。其計算公式呈現如下：

設 $F_i, i = 1, 2, \dots, n$ ，為預報風場時間序列，

$O_i, i = 1, 2, \dots, n$ ，為觀測風場時間序列，

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(F_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}},$$

$$\bar{O} = \sum_{i=1}^n \frac{O_i}{n},$$

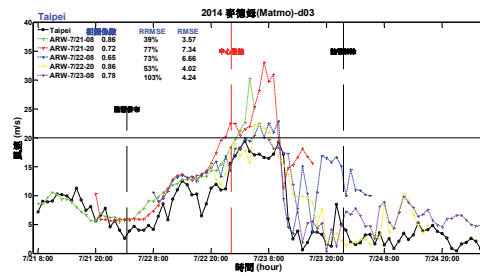
$$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}}$$

另關於颱風預報，重點之一即為最大風速發生期間之預報，因此，將計算預報最大風速之發生時間與最大觀測風速之差值，若預報發生時間比觀測提早 1 小時，則以-1 表示，若時間對應無誤差，則以 0 表示，若預報發生時間較觀測發生時間晚 1 小時，則以+1 表示，依此類推，運用此相位差來評估最大風速預報相位之準確性。

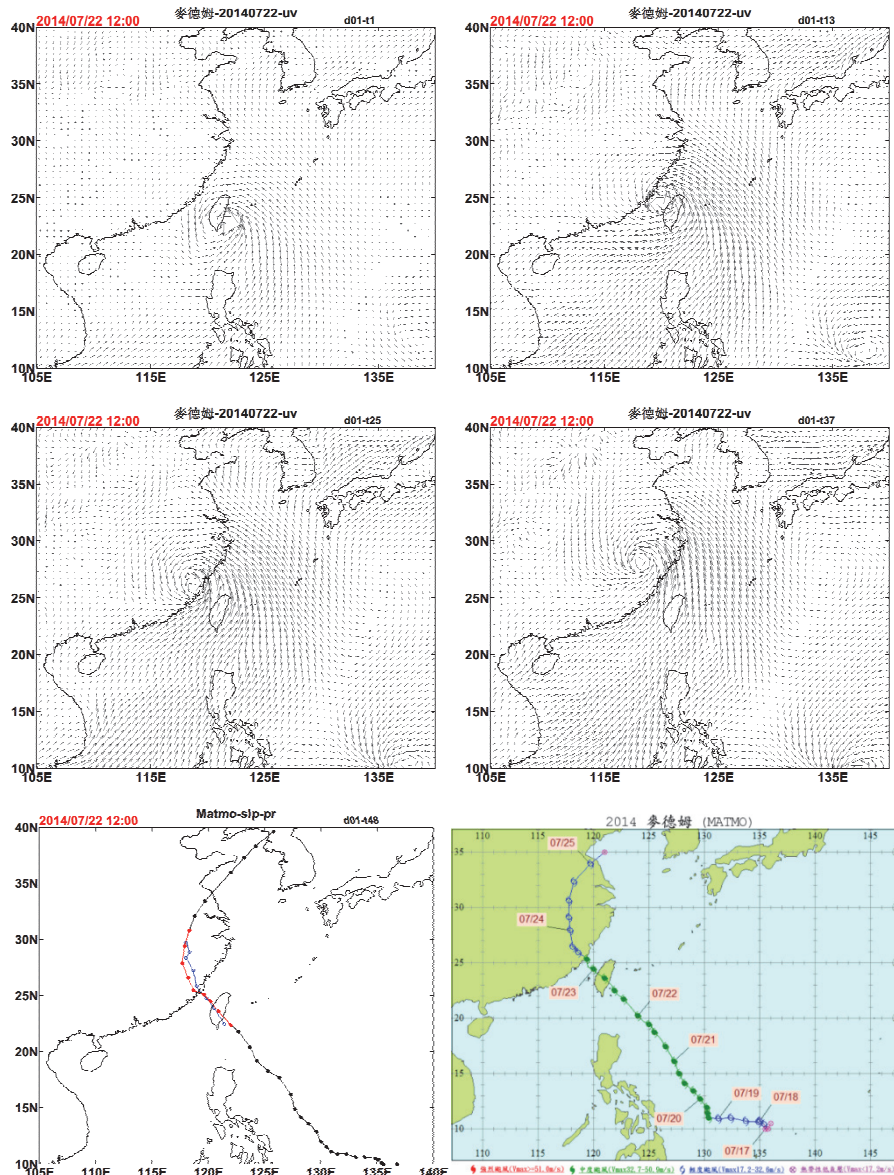
上述分析方法之應用，將以 2014 年麥德姆颱風預報風場為例，說明如下。圖三為 2014 麥德姆颱風侵臺期間之風速預報結果，觀測風速以黑線顯示，五個預報依時間順序以綠線、紅線、藍線、黃線、紫線顯示，48 小時預報之預報與觀測風速相關係數為 0.65-0.86，均有顯著相關性。前四個預報 RRMSE 為 39-77%，RMSE 為 3.57-7.34 m/s，第五個預報之 RRMSE 增強為 103%，ARW 未能掌握颱風過後風速快速減弱之變化。ARW-2km 模式雖可掌握臺北港風速增強趨勢與發生時間，但預報風場比觀測風場明顯增強。

圖四顯示麥德姆颱風之 37 小時預報風場分佈圖，時間間隔為 12 小時，結果顯示模式能準確預報麥德姆颱風穿越中臺灣往西北方向前進之路徑，左下圖顯示預報颱風中心位置(藍點線)與觀測中心位置(紅點線)相近，颱風中心位置取自日本氣象廳之定位資料(<http://www.jma.go.jp>)，與右下圖中央

氣象局定位位置可能略有差異。



圖三 麥德姆颱風之臺北港 48 小時預報風速(色線)與觀測風速(黑線)之比較



圖四: ARW 對麥德姆颱風之每 12 小時預報、預報(藍點)與觀測(紅點)之颱風中心位置(左下圖)、中央氣象局分析之實際颱風路徑(右下圖)

ARW-2km 模式對麥德姆颱風於臺北港風場之預報特性彙整如表二，相關係數均高於 0.65，高相關係數歸因於 U 分量。第五個預報之 RRMSE 放大為 103%，遠大於前四個預報，但對應之 RMSE(4.24 m/s)卻比第二、三個預報 RMSE(6.66-7.34 m/s)為低，該預報對應颱風過後風速快速減弱隨之減弱，RMSE 隨之變小，但誤差相對減弱之觀測平均風速，卻使 RRMSE 值放大。最大風速相位差為 3-5 小時，預報風場在觀測最大風速之後仍然持續增強，反應風速過強之預報。在上述分析中，48 小時風速預報（圖三）與預報特性彙整表（表二）所使用時間均為臺灣地方時，但在 1-37 小時颱風路徑預報與中央氣象局之颱風路徑圖（圖四）使用國際標準時(Z)，臺灣地方時為國際標準時加 8 小時，國際標準時 00Z 轉換成地方 08 時。

表二: ARW 預報麥德姆颱風之臺北港風場
(風速、U 分量、V 分量)相關係數、RRMSE、
RMSE、最大風速發生時間相位差(單位:小時)

2014 麥德姆	風速相關 係數	U相關係數	V相關係數	RRMSE	RMSE	最大風速 發生時間 之相位差
7/21 08	0.86	0.66	0.11	39%	3.57	
7/21 20	0.72	0.8	0.5	77%	7.34	4
7/22 08	0.65	0.86	0.42	73%	6.66	5
7/22 20	0.86	0.76	0.37	53%	4.02	3
7/23 08	0.78	0.45	0.52	103%	4.24	

依循麥德姆颱風之分析方法，本文對 18 個颱風之臺北港預場風場進行分析，依據各個颱風之相關係數(風速、U 分量、V 分量)、RRMSE、RMSE 等數值，計算所有預報之平均值，依預報結果之成效，分為良好與不佳兩種類別，分別彙整如表三所示，其主要結果敘述如下：

- 在 18 個颱風中，13 個颱風個案風速平均相關係數高於 0.5，為 0.5-0.87 之間，具有良好預報能力(約 72%，近 3/4)，其平均 RMSE 有 10 個低於 5m/s，3 個位於 5.01-5.22m/s 之間。5 個颱風預報能力不佳，平均相關係數低於 0.5，為 0.22-0.48 之間，其平均 RMSE 僅 1 個低於 5m/s(4.97m/s)，其餘 4 個均大於 5m/s，位於 5.05-6.4m/s 之間，數值偏高。

表三: ARW-2km 模式對颱風引發臺北港風速變化預報良好與預報不佳個案之相關資訊

預報良好個案								預報不佳個案							
名稱	警報期間	路徑	相關係數	U相關係數	V相關係數	RRMSE	RMSE	名稱	警報期間	路徑	相關係數	U相關係數	V相關係數	RRMSE	RMSE
2014 麥德姆	07/21~ 07/23	3	0.77	0.71	0.38	69%	5.17	2013 西馬隆	07/17~ 07/18	其他 (5)	0.48	0.39	0.59	92%	5.41
2013 蘇力	07/11~ 07/13	2	0.87	0.62	0.91	43%	4.3	2013 潭美	08/20~ 08/22	1	0.22	0.12	0.30	114%	6.4
2012 蘇拉	07/30~ 08/03	2	0.66	0.76	0.87	38%	4.49	2011 艾利	05/09~ 05/10	其他 (6)	0.22	0.41	0.49	162%	4.97
2012 泰利	06/19~ 06/21	9	0.76	0.53	0.44	67%	3.12	2010 南修	08/30~ 08/31	其他 (1)	0.21	0.35	0.20	85%	5.05
2012 杜蘇芮	06/28~ 06/29	其他 (5)	0.57	0.62	0.57	87%	5.22	2010 梅姬	10/21~ 10/23	9	0.32	0.26	0.66	106%	6.42
2012 海葵	08/06~ 08/07	其他 (1)	0.53	0.59	0.58	42%	4.1								
2012 啟德	08/14~ 08/15	其他 (5)	0.69	0.73	0.48	43%	2.4								
2012 杰拉華	09/27~ 09/28	其他 (6)	0.78	0.54	0.9	25%	3.09								
2011 南瑪都	08/27~ 08/31	4	0.50	0.67	0.44	56%	5.01								
2011 米雷	06/23~ 06/25	其他 (6)	0.76	0.88	0.81	27%	2.88								
2011 桑達	05/27~ 05/28	其他 (6)	0.77	0.69	0.72	23%	2.4								
2011 梅花	08/04~ 08/06	其他 (6)	0.71	0.75	0.73	49%	3.7								
2010 凡那比	09/17~ 09/20	4	0.85	0.61	0.86	29%	3.25								

表四: 颱風預報能力與路徑之對應關係

颱風路徑	預報良好個案數	預報不佳個案數	良好-不佳
1	1	2	-1
2	2	0	2
3	1	0	1
4	2	0	2
5	2	1	1
6	4	1	3
7	0	0	0
8	0	0	0
9	1	1	0

五、國際港颱風風場預報分析

本節將討論 ARW-2km 模式對臺灣國際港之風場預報能力，圖五所示為各國際港之港區地形分佈與風速計設立位置，其中臺中港之風速計位於 24.299N、120.487E，高雄港風速計位於 22.548N、120.299E，花蓮港風速計位於 23.981N、121.620E，臺中港與高

雄港之風速計均位於堤頭開闊位置，但花蓮港風速計則位於港灣區內之陸上位置。

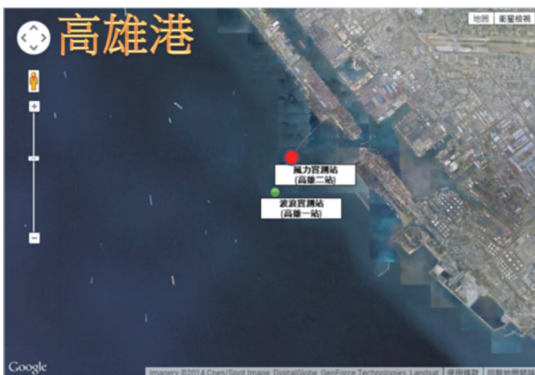
表五所示為臺北港、臺中港、高雄港、花蓮港 48 小時預報風速與觀測風速之所有預報平均相關係數，相關係數大於 0.5 者代表預報良好個案，以陰影區標示。無數字者為該港區無對應觀測資料，故未能計算。在全部颱風預報個案中，預報良好個案數於臺北港為 13 個，比例為 13/18=72%。臺中港為 10 個，比例為 10/17=59%，高雄港為 12 個，比例為 12/17=70%，花蓮港僅有 4 個，比例降低到 4/17=23%。預報良好個案之平均 RMSE 值比不佳個案為低，臺北港為 3.78m/s：5.65m/s，臺中港為 4.18m/s：4.49m/s，高雄港為

3.32m/s：3.63m/s。預報良好個案中，臺北港使用外海觀測樁之觀測風速，臺中港、高雄港使用堤頭風速計之觀測風速，上述觀測風場不受地形障礙，能充分反映颱風風速，呈現較高比例預報良好個案(59-72%)。花蓮港使用港灣區內之陸上觀測風場，受地形影響，可能與外海/堤頭觀測風場有所差異，而 ARW-2km 模式對港灣區內之細部地

形、建物等掌握能力有所不足，使預報與實際觀測風場產生較大差異，使預報良好個案明顯降低到接近 1/4 比例而已。此分析結果反應 ARW-2km 模式對臺灣港灣區外海或堤頭等開闊區域之風場，具有實質預報能力。花蓮港之風速預報因使用內陸觀測風場進行檢驗，呈現預報能力較差，顯示地形遮蔽為影響風速預報之重要因素。

表五：臺北港、臺中港、高雄港、花蓮港之 48 小時預報風速與觀測風速之平均相關係數

颱風	台北		台中		花蓮		高雄	
	相關係數	RMSE	相關係數	RMSE	相關係數	RMSE	相關係數	RMSE
2014麥德姆	0.77	5.17	0.65	4.93	0.45	9.35		
2013西馬隆	0.48	5.41	0.50	2.17	0.39	2.03	-0.27	3.72
2013潭美	0.22	6.40	0.46	4.46	0.33	5.58	0.73	3.73
2013蘇力	0.87	4.3	0.81	4.23	0.59	7.83	0.76	3.7
2012泰利	0.76	3.12	0.32	6.04	-0.04	6.53	0.75	3.24
2012蘇拉	0.66	4.49	0.61	4.81	0.14	8.52	0.75	5.45
2012啟德	0.69	2.40	0.42	2.22	0.46	2.53	0.82	1.69
2012杰拉華	0.78	3.09	0.80	5.13			0.64	2.53
2012海葵	0.53	4.1	0.61	2.08	0.36	1.65	0.17	2.54
2012杜蘇芮	0.57	5.22	0.63	2.13	0.54	2.12	0.35	5.46
2011梅花	0.71	3.7	0.35	3.96	0.27	1.82	0.61	3.37
2011桑達	0.77	2.4	0.88	5.75	0.70	5.51	0.72	2.4
2011艾利	0.22	4.97	0.45	2.95	-0.06	2.1	0.77	2.33
2011米雷	0.76	2.88	0.67	3.67	0.42	3.86	0.54	2.31
2011南瑪都	0.50	5.01	0.23	8.02	0.10	8.01	0.58	4.68
2010凡那比	0.85	3.25	0.66	6.91	0.52	6.71		
2010南修	0.21	5.05	0.20	3.78	0.09	2.47	0.36	2.81
2010梅姬	0.32	6.42			0.32	3.82	0.85	4.42
	相關係數 >0.5者佔 13/18(72%)	平均 4.30	相關係數 >0.5者佔 10/17(59%)	平均 4.31	相關係數 >0.5者佔 4/17(23%)	平均 4.73	相關係數 >0.5者佔 12/16(75%)	平均 3.40



圖五：臺中港、高雄港、花蓮港之風速計位置(紅點標示)與港區分佈地形(資料來源：港灣技術研究中心)

六、結論

本研究使用 ARW 模式，依三層巢狀降尺度方式，以 32km、8km、2km 之尺度，對 2010-2014 年間侵(近)臺颱風進行預報實驗，探討 ARW-2km 模式對颱風引發臺北港與國際港風場變化

之預報能力，藉此評估使用大氣風場預報模式執行港灣區災害性天氣預警之適宜性。

分析 18 個颱風個案對臺北港風場變化之 ARW-2km 預報實驗，主要研究結果陳述如下：

- 在 18 個颱風預報個案中，有 13 個個案預報結果良好，約占 72%，近 3/4，其 48 小時預報風速之平均相關係數高於 0.5；另有 5 個預報個案不佳，平均相關係數均低於 0.5。
- 所有 5 個登陸颱風(麥德姆、蘇力、蘇拉、南瑪都、凡那比)預報結果均為良好，當颱風愈接近臺灣時，預報能力有愈佳之趨勢。所有 5 個預報不佳個案，均未登陸，包括唯一的秋颱梅姬。其中 4 個預報風速呈現偏強誤差，另一個呈現風速偏弱誤差，歸因於預報路徑偏離臺灣，而使風速減弱。
- ARW 模式對第 2、4、6 類路徑之預報良好個案較不佳個案明顯增加者(多 2 個案)，反應對這些路徑之預報能力較強。對第 1 類路徑之預報良好個案比不佳個案數減少(少 1 個案)，反應對此路徑之預報能力較弱。
- 颱風預報良好個案比例於臺北港為 72%，臺中港為 59%，高雄港為 70%，花蓮港僅 23%。臺北港使用外海觀測樁風速，臺中港與高雄港使用堤頭風速計觀測風速進行驗證，花蓮港使用港灣區內陸上觀測風場進行驗證，反

應 RW-2km 模式對臺灣港灣區外圍開闊洋面風場，具有實質預報能力。

綜合上述分析結果，ARW-2Km 模式對颱風個案均具有相當程度預報能力，就其整體準確性而言，臺北港與高雄港之颱風風場之預報能力約在 7 成左右，臺中港約在 6 成。就臺北港強風個案之預報而言，其整體準確度約在 7 成，與颱風個案相近，顯現 ARW-2Km 模式對強烈風場之穩定預報能力。

依研究結果，針對未來改進風場預報能力之建議事項，如下所述：

- ARW-2Km 模式藉由提升解析度，有效強化預報風速強度，提升對災害性天氣強風個案之預報能力，提供港灣管理單位一個優質之預報工具，對下游波浪預報亦有實質助益。ARW-2Km 對港灣區外海或堤頭位置之觀測風場，均具有相當優良預報能力(如高雄港、臺中港、臺北港)，但對港灣區內部之陸上觀測風場，則呈現不佳預報能力(如花蓮港)，建議未來增設港灣區之堤頭或外海觀測設備，運用開闊區域觀測風場檢驗預報，當具有更精準驗證結果。
- ARW-2Km 模式，對颱風移動路徑有合理之掌握能力，但對颱風移動過程之空間與時間預報誤差，仍未深入研究。建議未來應進行颱風預報實驗，針對颱風預報位置與移動路徑之誤差特性，進行系統性之檢驗與分析，

以強化對颱風預報資訊之精確使用。

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. 陳昭銘，2006:“氣候變異”，氣象與工程系列叢書，謝信良主編，財團法人中興工程科技研究發展基金會發行，ISBN-13:978-986-7142-24-5，63PP。
4. 陳昭銘、何良勝、黃茂信、郭智明、劉進順，2014: 臺北港風場之預報特性研究。港灣季報，97, 40-49。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
 9. 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。
 10. 黃韋豪，2013: 臺灣國際港之風浪特性分析。國立高雄海洋科技大學海事資訊科技系，碩士論文，85 頁。
 11. Emanuel, K., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.
 12. 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.
 13. 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.
 14. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001: The third assessment report “Climate change 2001”, 398pp.
 15. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007: The fourth assessment report “Climate change 2007”, 852pp.
 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. Oouchi, K., J. Yoshimura, H. Yoshimura, R. Mizuta, S. Kusunoki, and A. Noda, 2006: Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20 km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 259-276.
 19. 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.
20. 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.
21. Skamarock, W. C., and Coauthors, 2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech Note NCAR/TN-4751STR, 125 pp.
22. Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry, and H.-R. Chang, 2005: Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment. *Science*, 309, 1844-1846.

日本港灣構造物性能設計之維護管理理念探討

邱永芳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 主任
賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員
謝明志 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員
蔡瑤堂 博士

摘要

目前最新版「日本港灣施設技術基準同解説」係於 2007 年修訂，英文版則於 2009 年出版，此版本與以往最大的不同是引進性能設計(Performance-based design)概念。在性能設計的概念下，設計時要顧及設施的可維護性(maintenanceability)，而在設施的設計使用年限(design working life)內，必須滿足性能要求(performance requirements)。而港埠構造物老化造成性能下降是很普遍的現象，因此日本與東協國家合作執行了一個三年計畫，提出港埠構造物維護管理策略指引(Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures, 2012)，提供各國港灣維護管理策略操作之參考。本研究藉由對日本港灣構造物性能設計之維護管理理念做探討，以瞭解其精神及做法，提供未來研訂港灣構造物維護管理辦法及手冊之參據。

一、前言

在性能設計中，其設計須滿足可維護性(maintenance ability)，這是設施維護的性能要求。而遵循技術基準的設施必須根據維護管理計畫妥善維護，使其在設計使用年限(design working life)內能滿足性能要求。在這裡所謂設計使用年限意指：在設計設施時，所設定可滿足性能要求的年限。因此設施性能設計時不但要通過性能檢核確定其滿足性能要求，也要滿足可維護性，俾使設施在使用期間在維護管理計畫執行下均能滿足性能要求。因此設施的維護管理必須以滿足性能要求為目標。

維護管理工作是一序列的程序，首先要掌握結構或構件因損壞導致性能的下降，此損壞是由於結構體變形及年久老劣化等，經過精確的檢測及診斷，然後綜合評估其結果，並採取適當的措施，如必要之維修工作。而維修工作必須根據妥善的計畫及準則

來執行。

因此一序列的維護程序是：(1)維護管理計畫的預備(2)設施現況標準化的檢測(3)根據檢測結果評估結構或構件剩餘性能和預測未來性能下降情形(4)利用設施未來使用計畫、剩餘使用時間和生命週期成本等做綜合評估(5)根據綜合評估結果執行必要的維修對策。本研究將從五方面探討日本維護管理理念。

二、維護管理計畫書的預備

因為港埠設施一般處在惡劣自然環境，材料劣化、構件損壞、拋石基礎的沖刷、沉陷、淤積等常導致設施在設計使用年限內發生性能下降。因此需事先規劃並妥善的維護以防止設施在設計使用年限內無法滿足性能要求。故必須建立一套有效精確的維護管理計畫作為維護工作的依循。

1. 維護管理計畫書預備者

一般由設施所有者預備，因為維護管理計畫的形成，必須從設施的規劃、設計、施工、到維護工作整個過程具一致性的邏輯。因此由對此過程最了解的設施所有者來預備維護計畫是最合適的。

2. 維護管理計畫書預備應考慮事項

- (1) 一套合適的維護管理計畫及準則
必須考慮結構形式、構件的結構

特性、材料種類及品質、其四周的自然環境、使用狀況、未來計畫、設計使用年限、重要性、替代設施、和檢測、診斷分析及維護工作的困難度等。

- (2) 設施的維護管理不只包括結構物，如防護設施、繫泊設施等，也包括機具如貨物裝卸設施、上下旅客設施等，這些機具的維護工作也包括充分的按其特性妥善的使用及操作。其使用也需事先規範，包括實際安全措施、責任、操作規則等。這是為了有效保護操作手和一般大眾，不只在平時，也在惡劣天候時，同時也是要避免與其他港埠設施造成整體性操作的困難，如碼頭上的裝卸設備。
- (3) 維護管理策略：幾乎所有的港埠設施其設計使用年限為 50 年或更長，在嚴酷的環境下要維持結構物/設施長期使用是不容易的，因此，為滿足設施的性能要求，維護管理計畫除了須事先建立。還須從(1)設施目的(2)設計使用年限(3)性能要求(4)設計概念(5)其替代性的觀點，採取如表 1 維護管理策略作為基本的維護管理策略，且根據此策略建立一套適當的維護管理計畫。

配合初始性能要求與選定的維護管理策略，應把維護管理策略應用到新設施的初始設計階段。

尤其在設計及施工階段採用下列

措施有助於設施在其設計使用年限的維護管理工作。

- 1) 在設施構件預留監測感應器安裝孔和腳手架。
- 2) 安裝監測感應器。
- 3) 按計畫預先採取有助於設計使用年限內維護管理之執行的任何措施。
- 4) 必要時，預先採取有助於老劣化構件更換的任何措施。

表 1 維護管理策略

策略類別	策略內涵
第 I 類	需要採取高水準預警以維持設施的結構性能在其設計使用年限均高於所需性能要求水平。如圖 1 所示，在使用期間預期會保持在最小程度的性能下降或變形，但其應維持在小規模的範圍(高於維護界限)。例如，此策略可應用到其壽命比預計使用期限更長的結構，如使用抗腐蝕鋼筋(如不鏽鋼或環氧樹脂塗裝鋼筋)的混凝土結構。
第 II 類	需要在每一初期性能下降階段即不斷重複小規模的維修，以維持結構的性能在設計使用年限都高於所需性能要求水平。如圖 2 所示，在使用期間預期會出現某種程度的性能下降或變形，但其應維持在某一範圍。例如，按計劃在鋼結構表面重複的塗裝或鋼管樁與鋼板樁更換陰極防蝕陽極塊等。
第 III 類	如果仍能滿足結構性能要求水平，則容許性能某種程度的下降，如圖 3 所示，可在設施設計使用年限分次進行一次或兩次的大規模維修。此策略一般應用到其壽命比整體設計使用年限短的結構物，如場地鋪面及碼頭防舷材。

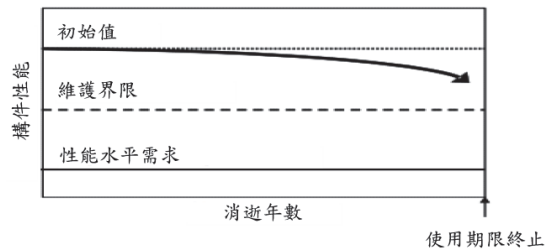


圖 1 維護管理策略(第 I 類)

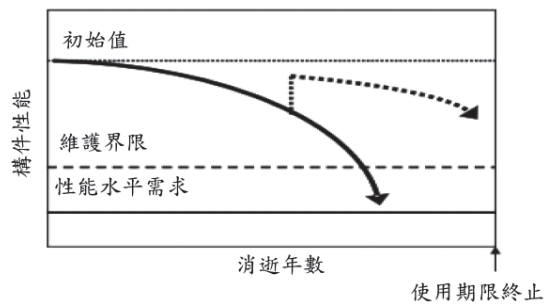


圖 2 維護管理策略(第 II 類)

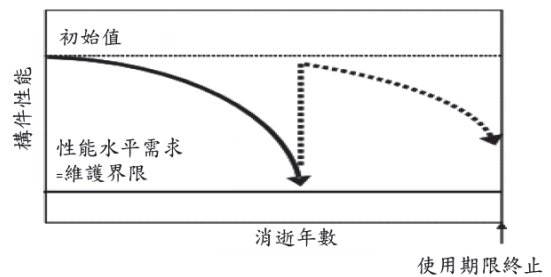


圖 3 維護管理策略(第 III 類)

- (4) 維護管理計畫要規範維修方法、細節、檢測及診斷時程、綜合評估等，然後根據設施的維護策略著手進行維修和干預。未來設施結構構件之性能隨時間的變化也要考慮進去。
- (5) 維護管理計畫的形成需把維護的基本概念具體化至實作階段，根據設置目的、設計使用年限、和性能要求等，經充分研究要怎樣的維護工作和可能的情境。

- (6) 在研擬維護計畫時，建議諮詢在維護方面對技術有認知的專家，如對設施的損壞、損壞的檢測及診斷、劣化及其他設施的變形、整體設施維護的綜合評估、維修工作、和其他維修手段等。若維護工作負責人是這方面的專家，則不需要。

3. 維護管理計畫書須規範之主題

- (1) 設施設計使用年限及整體性及其結構構件維護的基本概念。
- (2) 設定維護策略。
- (3) 對設施的損壞、老劣化、和其他變形做有計畫和適當的檢查及診斷。
- (4) 綜合評估設施損壞、老劣化、和其他整體性變形等的檢測和診斷結果，必要的維修工作和其他作為(activities)。
- (5) 對設施的損壞、老劣化、和其他變形做有計畫和適當的維修工作。
- (6) 與維護工作相關紀錄儲存格式和保存的規定。

三、檢測及診斷計畫

因為發生在港埠設施結構構件的變形是互相密切關連，應把「變形連鎖(deformation-chains)」的概念考慮進去，檢測及診斷應選擇相稱的檢測項目、方法與程序以達到有效的檢測，茲說明如下：

1. 「變形連鎖」概念

受到各種外在因素影響的港埠設施是由相對複雜的結構物所組成，以至於構件發生變形、擴散和演變就像一個連鎖反應。設施合理的維護管理需要專注在主要檢測項目，其可能象徵損壞、老劣化與構件變形，並主導它們對構件性能的影響。

一個變形的系列，包括其原因、發生、和效應，將導致結構性能下降，這稱為「變形連鎖」。因此當選定檢測項目時，應充分考慮到「變形連鎖」的概念，再者，在「變形連鎖」中要專注在特別重要的連鎖，此對達到合理的維護管理是必要的。

2. 檢測和診斷

基於上述「變形連鎖」的概念，有計畫和妥適的檢查及診斷的執行，對有效偵測設施的劣化是有必要的。下列是設施的檢測和診斷項目：

- (1) 初步檢測：執行初步檢查以便掌握維護初始狀況，其範圍不只是整體設施也包括其構件和配套設備，其時機是在施工或改善工作的完工階段，若是既有設施則在預備維護管理計畫的階段。當初步檢查是在施工完工或改善後馬上執行，初始狀態可著眼在完工時品質及工藝(施工細節)檢查的結果。

- (2) 日常檢測：經常性的檢查容易檢測的部分的變形和其變形程度。
- (3) 定期檢測和診斷：定期檢測不易檢查的結構和構件，包括變形的細節和其程度。分為一般和詳細定期檢測和診斷兩種。前者是以目視檢查水面以上部分或以相對較短的時間間隔做簡易的量測；後者以相對較長的時間間隔執行，且其對象包括前者不易執行部分。
- (4) 一般臨時檢測及診斷：在地震或惡劣天候之後的異常時機盡可能在盡早階段執行，主要是以目視檢查或簡易的量測檢查設施的變形及其變形程度。
- (5) 詳細臨時檢測及診斷：從定期或一般臨時檢測及診斷的結果發現特殊或意想不到的異常現象，則需做詳細臨時檢測及診斷。

3. 檢測和診斷結果

一般來說，檢測時除由目測可以確定已發生在外表的變形並採用適當的判斷標準來判斷影響部分的劣化程度。日本將劣化度的判斷標準分為四個等級(a, b, c,和 d)，如表 2 所示。

表 2 檢測結果說明

劣化度	部件或構件情況
a	構件性能已嚴重劣化
b	構件性能已劣化
c	構件性能尚未劣化， 但有變形發生
d	未發現變形

四、綜合評估

經總括設施構件檢測結果，損壞的演變和整體老朽化的情形等，做出綜合評估以決定設施性能下降程度。然後再考慮未來設施使用計畫、設施的重要度、預算和維修工作的限制等，依評估來決定維修對策與執行時機。

1. 評估原則

將採用下列維護管理原則來做綜合評估：

- 1) 確定緊急修補和構件補強，及其方法
- 2) 確定維修和構件補強，及其方法的計畫
- 3) 確定暫時需待觀察的構件
- 4) 確定對設施使用必要的限制或暫停
- 5) 確定檢測計畫的修訂(下次檢測時機及方法等)
- 6) 確定設施更新或拆除
- 7) 確定緊急維修措施

2. 評估結果分類

如表 3 所列，評估結果分為 A、B、C、和 D 四個等級。因為評估可能受到設施鄰近條件的影響，因此有必要對每一個構件時間序列的檢測結果做全面審查，必要時，還要做額外的進階分析。

表 3 評估結果的分類

評估等級	設施狀況
A	設施性能已下降
B	若不注意， 設施性能下降可能發生
C	未發現與設施性能相關之變形，但需要持續觀察
D	未發現大的變形且 維持充分性能

「評估」的結果顯示檢測設施性能下降的綜合程度，換言之，就是設施性能下降的定性度。這些結果代表從技術與工程觀點的設施評估，這無法確定設施是否需要修補或採取其他措施。應更注意一個基於維護水平、重要度、設計使用年限、未來計畫、執行維修工作的困難度、成本和其他因素等的綜合檢討。

3.生命週期成本

在成本方面採用「生命週期成本(Life-Cycle-Cost)」的概念，即設施生命週期每階段成本的總和，包括(1)規劃(2)設計(3)建造(4)營運(5)維護(6)設施拆除和移除等。

一般生命週期成本在設施規劃階段就要估計，並使各階段成本的加總為最小(在性能設計，使用可靠度設計法時，以生命週期成本最小化，也是設定目標安全等級的方法之一)。而現有設施其施工已完成，則僅考慮維護成本。故若維持設施使用收益固定，則維護管理計畫應規劃如何使維護成

本最低，或最大化使用收益，而維持維護成本在某一範圍內。

就考慮需維修的維護管理策略第Ⅱ類和第Ⅲ類，在使用期限其性能下降和成本及維護策略的關係示如圖 4。

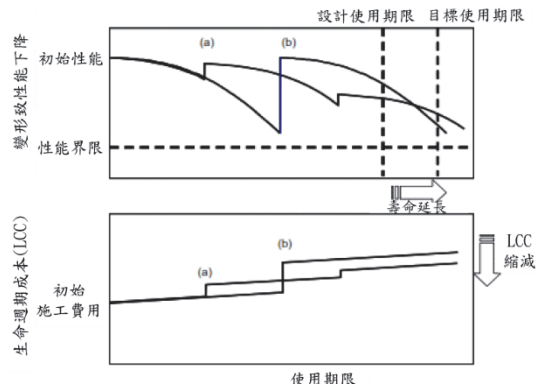


圖 4 生命週期成本及維護策略

圖中(a)及(b)分別代表維護策略第Ⅱ類及第Ⅲ類，顯示兩類維護策略，均保持該設施的性能遠高於所要求的水準。

策略(a)需要在劣化初期，即花小額的費用重複小規模維修，使設施在設計使用期限內能持續使用，另一個策略(b)如果仍能滿足結構性能要求水平，則容許性能某種程度的下降，可在設施設計使用年限就整體進行一次或兩次的大規模維修，其費用相對上是龐大的。不論採用哪個策略，設施的生命週期成本必須考慮在維護管理計畫內且趨向最小化。

對港埠設施而言，很難具體確定其生命週期，例如，防波堤預期能使用較長的時間，某些設施可能某些原

因：如老劣化、船舶大型化、和提升裝卸貨物方法等，終止原來的功能而結束其生命週期。

考慮上述因素，港埠設施之生命週期分為兩大類：1)設施體的生命週期(設施性能方面)、和 2)功能的生命週期(設施功能方面)。當估計設施生命週期成本，有必要考量以下不定因素的風險，以正確地判斷哪一個生命週期控制成本。設施體的生命週期面臨未知外力的風險，如地震，和比預期更快老劣化的風險。功能的生命週期面臨船舶大型化致功能過時，和裝卸貨物方法提升的風險。重要的是使用期限可能影響生命週期成本的估計，因此對兩種生命週期都要做深入的考量。

為了要恢復結構物及構件的性能使其不再下降，維護工作所需要之綜合評估的結果，不只要包括硬體方面的措施，如維修和補強工作，也包括軟體措施，如臨時停止使用、使用限制、載重限制等以確保安全。

五、維護對策

根據綜合評估結果必須適當地執行必要的對策，茲說明如下：

1. 綜合評估結果，制定包括其類型和時機的維護對策執行計畫。性能的恢復程度和所需費用的估計，須就設施現場限制，對策設計研究後，才能確定。

2. 經由綜合評估判斷維護對策對設施現況或將來有需要，則應考慮設施剩餘使用時間，並重新檢討維護管理計畫。一般替代對策包括：(1)密集檢測(2)修繕(3)補強或升級(4)拆除(5)設施更新。替代對策評估時，必須考慮生命週期成本、現有預算、社會衝擊和其他技術判斷除外的因素。
3. 維護工作需採取適當的安全對策，包括制定明確的操作手冊、防災的方法等，以確保安全使用主體及其周圍設施。
4. 對於除役的設施需要採取適當的作為，如移除或妥善的維護以確保其鄰近地區的安全，並避免此設施妨礙港埠的發展、使用及維護。
5. 維護對策執行結果必須併入檢測計畫作為維護管理計畫的回饋。

六、資料儲存與管理

所有與維護工作相關紀錄要按規定的格式儲存和保存。有系統的整理設施維修資料，做為評估設施剩餘功能和執行維護對策的依據。

一旦對單一設施累積大量維修資料，最好建立一有效的資料庫系統，使資料方便使用。

七、結語

綜上維護管理計畫程序由維護前提(設計使用期限及維護管理策略)、維護管理計畫的預備、檢測和診斷、綜

合評估、維護對策、及對策執行等之標準流程圖示如圖5等。圖中顯示在執行各階段工作時，都要以性能設計所訂之設計使用年限及性能要求做為檢討的依據。

本研究藉由對日本港灣構造物性能設計之維護管理理念做探討，以瞭解其精神及做法，可提供我國研訂港灣構造物維護管理辦法及手冊之重要參考依據。

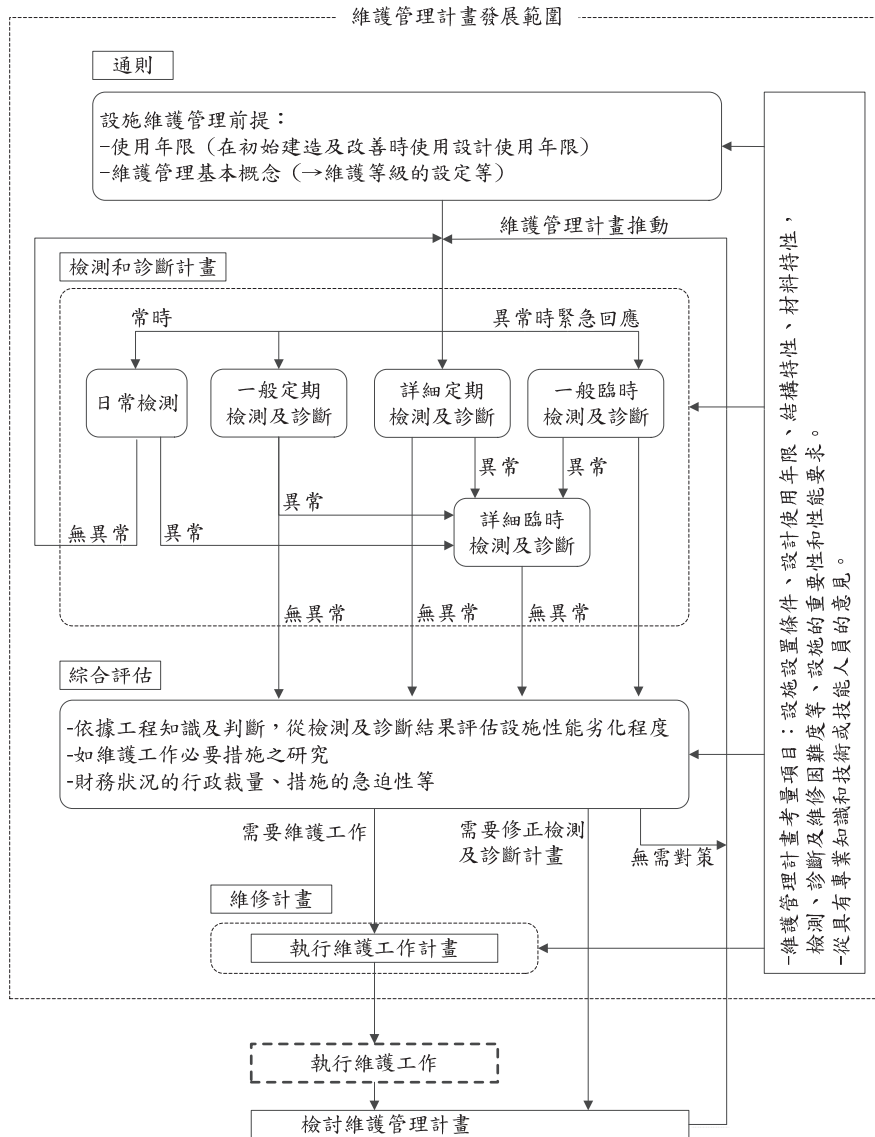


圖5 維護計畫文件和需規範項目標準流程圖

参考文献

1. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities, p.998, 2009.
2. Port Technology Group, ASEAN-Japan Transport Partnership: Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures, p.139, 2012.

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