

大型船舶進入基隆港之安全評估模式

A Safety Assessing Model for a Large Vessel Sailing into Keelung Harbor

袁順光 (Shun-Guan Yuan)^①、蔡奇呈 (Chi-Cheng Tsai)^②、黃俊誠 (Juan-Chen Huang)^③、
林晉璋 (Chin-Wei Lin)^④、陳志立 (Chih-Li Chen)^⑤

摘要

本文係以航海者導向建構大型船舶進入基隆港之安全評估模式，其未來不僅可應用於其他港口亦可作為船舶交通服務的進港預警系統。首先審視船舶進港過程並將安全評估關鍵歸納為「是否具備保持航向能力？」、「艏向與航向之差角是否過大？」及「衝止距是否小於安全距離？」等三問題；繼而，彙集相關經驗公式並依公式概念性、測試性及保守性等三原則整合出一套半經驗暨半理論解析的船舶操縱公式，其貢獻在於僅使用船舶規格明細表與領航資料卡等有限資訊即可計算，並以情境分析確認，再配合基隆港發生的實際案例驗證本文整合公式所建構的安全評估模式。該計算結果顯示，這即時的大型船舶進港之安全評估模式確實可行且符合實際。

關鍵字：船舶操縱、航行安全、衝止距

Abstract

This paper proposes a navigator-oriented safety assessing model for a large vessel entering Keelung Harbor. This model can not only be further applied for another port entrance of a large vessel but also be combined into a pre-alert system

① 國立臺灣海洋大學商船學系碩士、臺北港引水人。

② 國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系博士班研究生。

③ 國立臺灣海洋大學商船學系助理教授。

④ 國立臺灣海洋大學商船學系碩士班研究生。

⑤ 國立臺灣海洋大學商船學系副教授 (聯絡地址：20224 基隆市中正區北寧路二號；E-mail: clchen@mail.ntou.edu.tw)。

for vessel traffic service. First of all, the operation process was formed in three key issues, which were “the keep course ability”, “the deviation between heading and course” and “the crash stop distance”. A class of semi-analysis and semi-empirical formulation were subsequently adopted in order to meet the criteria of conceptual, testable and conservative propositions. Moreover, the integrated formulation could fulfill the practical circumstance with only limited information in a ship’s particular and a pilot card. Scenario analyses in conjunction with case studies were conducted to verify and validate the safety assessing model. The results shown that the real-time model, through several practical case studies, can spontaneously evaluate the safety in currently available process.

Keywords: ship’s maneuvering, navigational safety, the crash stop distance

壹、緒論

大型船舶因慣性大、方塊係數 (block coefficient, C_b) 大及長寬比小等不易操縱的特點，且易受環境外力影響如風及流等，進出港操縱之困難度較其他船舶高。並且港區操縱餘裕較小，使大型船舶進港更具危險性。若天候狀況或港區地理環境險峻，則船舶操縱之困難度遽增。因此，在大型船舶進港前，必須綜合考量船舶操縱特性、環境外力及港區特性等安全影響因素 (熊振南等人，2008；湯國杰，2010)，全面地評估其進港之安全性，即進港預警系統，其係航海實務之重要課題 (涂鐵昆，2005；梁小成、盧俊良，2010；裘榮，2010)。

為深入探索船舶進入基隆港過程，本研究首先與擔任該港引水人 (pilot)¹ 的航海前輩們進行焦點團體訪談法 (focus group interviews) (高博銓，2002)，其程序概分為分離激發及收斂整合兩步驟；即由具有共同專長的引水人們，深入討論船舶進港之安全關鍵，透過其經驗分享及彼此的回應，激發不同的見解；進而收斂並聚焦問題，釐清進港安全評估的關鍵，再參酌船舶操縱特性歸納出安全評估因素。船舶進港過程概分為「港外航道至防波堤口」及「防波堤口至靠泊碼頭」等兩階段，分述如下：

階段 1：港外航道至防波堤口；主要係風與流等環境外力對於船舶操縱特性之影

¹ 第一作者曾擔任基隆港引水人多年，目前則是臺北港引水人。

響，必須掌握當時風壓及流壓作用下，舵壓是否足以穩住航向；繼而，進港艏向的偏移是否能通過防波堤的限制。因此，此階段之安全評估關鍵在於：「是否具備保持航向能力？」及「艏向與航向之差角是否過大？」等兩問題。此兩問題係息息相關，保持航向能力愈佳且艏向與航向之差角愈小，則船舶進港之可控性愈高。

階段 2：防波堤口至靠泊碼頭；防波堤內，環境外力較不明顯，重點在於船舶操縱特性是否能符合港區特性之限制。據此，其安全評估關鍵為：「衝止距是否小於安全距離？」。此係具有轉移性，不同港區則有不同的安全距離標準值。

另此等問題，係以我國基隆港較具代表性，尤以冬季最為明顯（楊永祿、劉加釗，2005），原因歸納如下：

1. 基隆港港口面朝正北，東北季風期間，風及浪皆來自北北東至東北方向；距堤口外 0.5 哩處，海象尤為惡劣；
2. 防波堤口附近橫流及亂湧明顯，極易影響船舶保持航向能力，進而影響進港艏向與預定航向之差角；
3. 港口內縱深距離短，堤口至迴旋池中之安全距離僅有 1300 公尺。

我國雖由航海資歷豐富之引水人引領船舶進港，然其必須根據經驗，透過船舶規格明細表 (ship's particular)、領航資料卡 (pilot card) 等有關船舶操縱特性的有限資訊，輔以環境外力及港區特性等，即時評

估：「是否准許進港？」；因此，「簡明的大型船舶進港之安全評估模式」係可為引水人操縱船舶之參考，亦可作為進港預警系統之用，具體提升大型船舶之進港安全（熊振南等人，2008；湯國杰，2010）。

回顧大型船舶進港安全評估相關文獻，概可分為兩類：一為經驗式，多以經驗分享，歸納大型船舶進港安全之影響因素，進而提出對策（涂鐵昆，2005；楊永祿、劉加釗，2005；梁小成、盧俊良，2010；裘榮，2010）；另為理論式，以模糊集合為基礎，透過安全影響因素為準則，評估進港風險程度（熊振南等人，2008；湯國杰，2010）。然而，其均無法提供有關舵效與俾令等具體可行的參考數據。進而搜尋船舶運動方程式相關文獻發現，有採用計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 結合船舶運動學直接進行船舶航行模擬（林義復，2008；Jacquin et al., 2006），或計算相關船舶水動力參數（Simonsen, 2002）；亦有採用運動方程式進行船舶航行模擬（Yoshimura, 2005）。雖採用 CFD 或運動方程式建構模式者可獲得較為準確的數據，但其缺點係不具即時性，亦無法符合航海實務有限資訊情境；計算係數則與進港安全無關。此即引發本研究的強烈動機，蒐集散落於船舶操縱專書（岩井聰，1984；孟祥武，1999；本田啟之輔，2001；徐國裕，2008；Armstrong, 1980；Rowe, 2000）的「半經驗暨半理論解析」船舶操縱公式，其特點在於可透過船

船舶資料明細表及領航資料卡等有限資料即時計算與評估，整合成航海實務導向的大型船舶進港之安全評估模式。

準此，本文首先歸納與整理基隆港附近之天候狀況及港區特性等環境，藉以確定該港的安全評估標準值；繼而，蒐集半經驗暨半理論解析的船舶操縱公式，整合航海實務導向的大型船舶進入基隆港之安全評估模式，並輔以實際案例作為確認與驗證；最後，則提出結論與建議。

貳、基隆港環境

透過與引水人們之焦點團體訪談、蒐集與整理相關文獻 (楊永祿、劉加釗，2005；交通部運輸研究所，2008) 及海圖資料，歸納基隆港環境外力及港區特性等安全影響因素，據以確定大型船舶進港之安全評估標準值。

2.1 環境外力

概分風、浪及潮流等三種。由於基隆港港口面朝正北偏西，受東北季風影響最為嚴重。根據統計資料 (交通部運輸研究所，2008)，基隆港每年 11 月迄隔年 3 月的東北季風期間，真風向介於 330° 至 020° 間、平均風速每秒 8.7 公尺 (蒲福風級 5 級) 以上、最大瞬間風速達到每秒 14.1 公尺 (蒲福風級 7 級) 以上；伴隨強風吹

拂，常有浪向南南西至西南方向的大浪，浪高 1.5 公尺以上最常出現 (約 73.6%)。

潮汐則為晝夜漲落各一次，且漲落之水位差不規律。進港航道內，漲潮時流向多向西，落潮時則向東，在高潮與低潮後 1 至 2 小時流速最強，漲落時流速約每小時 3 海浬；防波堤堤口附近，漲潮流向西南，落潮時則流向東北，防波堤口更常有逆流發生。潮流之流向與流速歸納如表 1，作為計算之用。

表 1 基隆港潮汐流流向與流速歸納表

	流向 (°)*	流速 (kts)	備註
低潮時	225	0.65	
低潮後 1 小時	225	1.30	最強流速
低潮後 2 小時	225	0.98	
低潮後 3 小時	225	0.65	
高潮前 2 小時	225	0.33	
高潮前 1 小時	000	0.00	憩流 (轉流)
高潮時	045	0.33	
高潮後 1 小時	045	1.30	最強流速
高潮後 2 小時	045	1.04	
高潮後 3 小時	045	0.78	
低潮前 2 小時	045	0.52	
低潮前 1 小時	000	0.00	憩流 (轉流)
低潮	225	0.33	

*註：流向以真方位表示。

由於風、浪及潮流等交互作用，基隆港距防波堤外 0.5 海浬處海象最差，船舶所受風壓及流壓最大；而防波堤口則常有橫流及橫浪等，均對進港船舶造成航行安全上的疑慮。

2.2 港區特性

分為進港航向及進港安全距離。雖港外航道採分道通航制，引水人通常在距離堤口 1.5 海浬處登輪，此處至防波堤堤口中心點之航向為 $153^\circ(T)$ ；防波堤兩端相距

約 276 公尺，但實際主航道有效寬度約 250 公尺；進入防波堤後，港內航道航向為 170° ，通常於迴船池進行迴旋以利靠泊，防波堤口中心至迴船池中心距離約 1300 公尺。基隆港之港區特性如圖 1 所示。

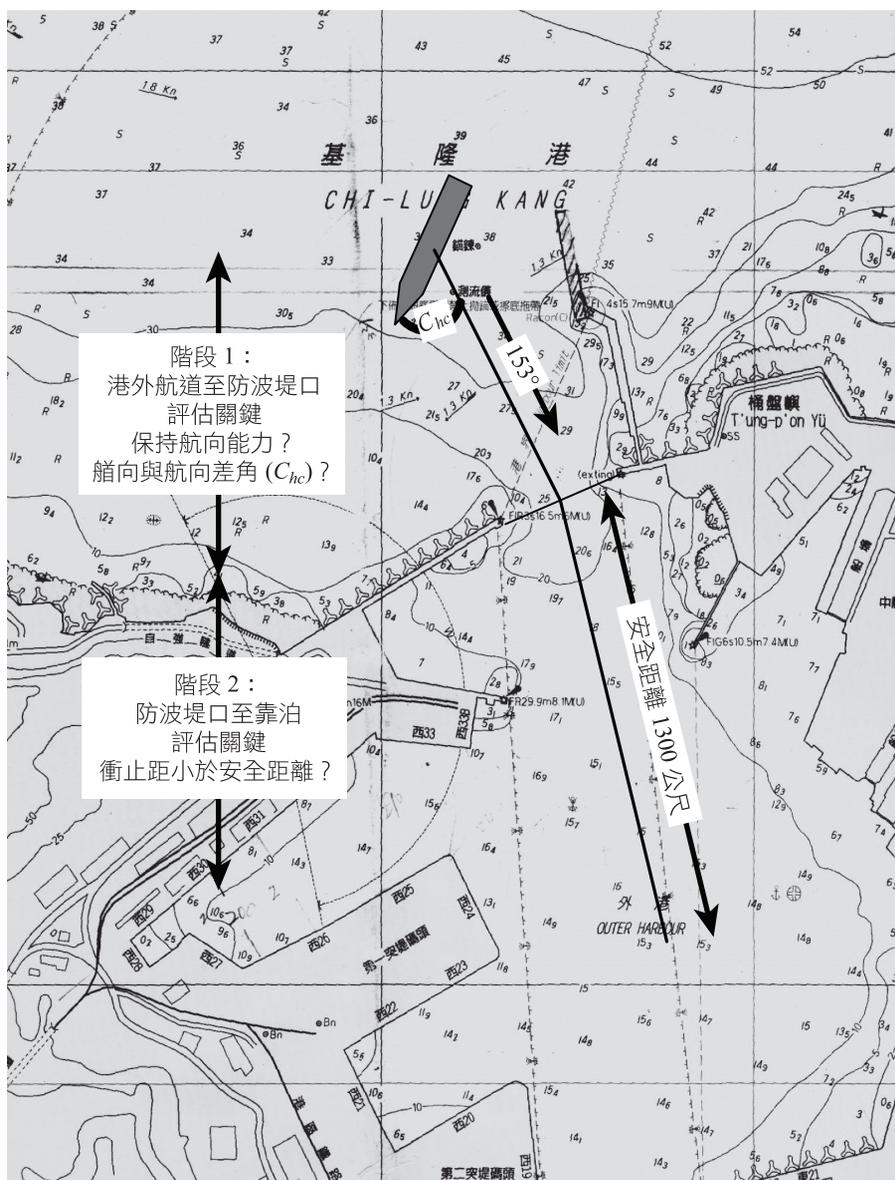


圖 1 基隆港海圖

準此，基隆港港區特性之限制有二：其一，顧及進港船舶之保持航向能力愈佳且艏向與航向差角愈小，可控性愈高，並考量進港航道及港內航道之航向差異，即過防波堤後仍需轉向，本文採納焦點團體訪談法之結果，即引水人們的經驗法則，在保持足夠的舵效餘裕下，設定艏向與航向差角之安全標準最大為 10°；其二，因

堤口中心至迴船池中心距離 1300 公尺，該距離則可視為船舶衝止的安全距離。

參、研究方法及其程序

航海實務上，係引水人登輪後，透過船方提供的領航資料卡內容，如表 2，包

表 2 模擬情境 1 之船舶規格明細表

SHIP'S NAME: CHENG GONG		PARTICULAR		SHIP'S TYPE: 散裝船 (BULK CARRIER)	
OWNER:		FLAG:		PANAMA	
BUILDER:	JAPAN	CALL SIGN:		H8NJ	
WHEN BUILD:	1980	OFFICIAL NO.:		30111-04-A	
L.O.A.:	224	IMO NO.:		7907453	
*L.P.P.:	218	CLASS:		IRS	
*BREADTH:	36	MAIN ENGINE:		SULZER6RND90M	
*DEPTH:	22.3	BUILT BY:		JAPAN	
DEAD WEIGHT:	72724.7	WHEN BUILD:		1980	
*DISPLACEMENT:	87877	*SEA SPEED RPM:		106	
*SUMMER DRAFT:	14	*MAIN ENGINE H.P		19080	
GROSS TONNAGE:	45855	DIESEL G/E:		RSVR	
NET TONNAGE:	20827	CYL:		RSVR	
LIGHT SHIP:	15152	HORSE POWER:		RSVR	
*KEEL TO MAST:	47.6	BOILERS:		AUS	
LOAD CNTR(TTL):		*SERVICE SPEED:		14.2	
ON DECK:		CONSUMP:IFO		50	
IN HOLD:		CONSUMP:MDO		2.5	
ON DECK:		DERRECK		NA	
IN HOLD:		STACK WT: DECK		NA	
REEFER:		STACK WT: HOLD		NA	
BUNKER:	2779	STACK WT: AFT		NA	
WATER BALLAST:	14854	VENTILATION:		1	
FRESH WATER:	RSVR	NAUTICAL EQ:			
NUMBER OF HOLDS:	7	INMARSAT-A:		RSVR	
NUMBER OF HATCH:	14	INMARSAT-C:		RSVR	
HATCH COVER:	RSVR	TELEPHONE:		RSVR	
HATCH WAY: NO.1	RSVR	TELEX:		RSVR	
NO.2	RSVR	FAX NO.:		RSVR	
NO.3~NO.9	RSVR	MMSI:		RSVR	
BOWTHRUSTER:	NIL	E-MAIL (65):		RSVR	

註：*安全評估模式輸入資訊。

括船舶尺度、吃水及操縱性能等船況，依 其中，領航資料卡係由船舶規格明細表，
據其經驗即時計算概估船舶進港安全性。 如表 3，相關資料彙整而成。有鑒於此，

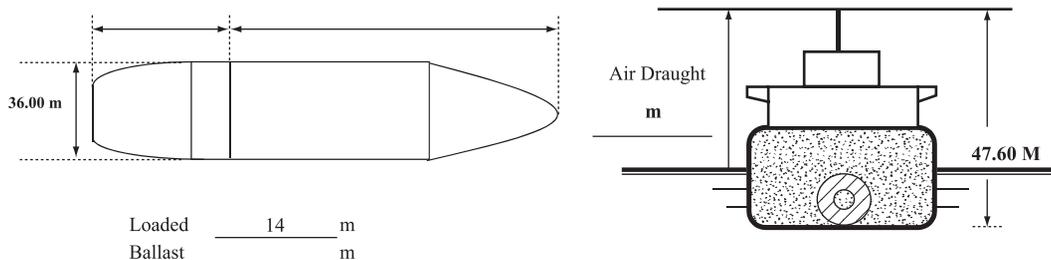
表 3 模擬情境 1 之領航資料卡

PILOT CARD

Ship's name CHENG GONG Date _____
 Call sign H8NJ Deadweight 72724.7 Year build 1980
 Net Tonnage: 20827 Gross Tonnage: 45855
 *Draught Aft 9.8 M / Ft Forward 9.8 M / Ft Displacement 87877

SHIP'S PARTICULARS

Length overall: 224 Anchor chain: Port: 10.5 Shackles Starboard: 10.5 shackles
 Length P. P.: 218 (1shackles = 27.5 m)
 Breadth: 36 Bulbous bow Yes / No No



Type of engine: SULZER6RND90M		Maximum power: 19080	
Manoeuvring Engine order	Rpm/pitch	Speed (knots)	
		Loaded	Ballast
* Full ahead	59	9.0	
* Half ahead	47	7.0	
* Slow ahead	36	5.5	
* Dead slow ahead	30	4.5	
* Dead slow astern	30	Time limit astern min	
* Slow astern	36	Full ahead to full astern 120" sec	
* Half astern	47	Max. no. of consec.starts	
* Full astern	59	Minimum RPM knots	
		Astern power % ahead	

STEERING PARTICULARS

Type of rudder **ORDINARY** Maximum angle 35 Hard to hard

RSVR	(ONE PUMP UNIT)
RSVR	(TWO PUMP UNIT)

 Rudder angle for neutral effect _____
 Thruster: Bow **NIL**

CHECKED IF ABOARD AND READY

Anchors	<input checked="" type="checkbox"/>	Steering gear	<input checked="" type="checkbox"/>
Whistle	<input checked="" type="checkbox"/>	Number of power units operating	<u>[1]</u>
Radar <input checked="" type="checkbox"/> 3cm	<input checked="" type="checkbox"/> 10 cm	Indicators:Rudder	<input checked="" type="checkbox"/>
ARPA	<input checked="" type="checkbox"/>		
Speed log Doppler:	<input checked="" type="checkbox"/>		

註：*安全評估模式輸入資訊。

本研究依據此有限資料下，採用公式概念性、公式測試性及公式保守性等原則，蒐集船舶操縱或操船學等專書的相關公式並整合之。整合原則概述如下：

1. 公式概念性：歸納各公式並判斷其原型，藉以瞭解其意義及完整性；
2. 公式測試性：礙於可取得之粗略且有限資訊，公式應具備測試性；
3. 公式保守性：模式係以安全為目標，且基於簡化公式，評選最保守公式。

後續將基於上述原則，並以船舶進港過程及其關鍵問題順序，說明相關半經驗暨半理論解析船舶操縱公式，整合大型船舶進入基隆港之安全評估模式。另便於說明及快速參考等因素，茲將所有變數或參數的符號及其定義或說明等，彙整於附錄。

3.1 港外航道至防波堤口 (階段 1)

由於此階段主要受到風、流及潮汐等外力影響，因此，本階段係評估「是否能保持航向？」及「艏向與航向之差角是否過大？」等兩個關鍵問題。當外力作用於船舶產生風壓力矩與流壓力矩，使其發生迴旋運動，適度操縱舵角則可產生舵壓力，進而產生舵壓力矩保持航向；另外，外力亦將導致船舶艏向改變，當其與進港航向大於 10° ，進港則有安全疑慮。

步驟 1：計算風壓力

風壓力計算公式，概有「簡易算法」、「 1000 m^2 側面正橫受風面積之風壓力」及「Hughes 氏」等三種，前兩者計算簡便，僅提供最大受風力，無法如「Hughes 氏」公式計算引水人操縱船舶所需的各風舷角壓力值，因此，本文即選用「Hughes 氏」公式。風壓力 (R_w) 之計算，係風舷角 (θ) 時，風力對船舶乾舷面產生的作用力。其中，當船舶受風面積愈大時，風壓力愈大。公式如下：

$$R_w = \frac{1}{2} \rho_a C_w V_w^2 (A \cos^2 \theta + \beta \sin^2 \theta) \quad (1)$$

步驟 2：計算風壓力矩

風壓力矩 (N_w) 取決於風壓力 (R_w)、風壓中心 (a) 及風壓力作用方向 (α)。其中，風壓中心係隨風舷角改變；風壓力作用方向則必須經過轉換求得。風壓力矩計算如下：

$$a = (0.291 + 0.0023\theta)L_{pp} \quad (2)$$

$$\alpha = \left\{ 1 - 0.15 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right) - 0.8 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right)^3 \right\} \times 90 \quad (3)$$

$$N_w = R_w \times \sin \alpha \times (lp' \sim a) \quad (4)$$

步驟 3：計算風生流

影響船舶之海流，係包含潮流及風力吹拂所引起的海流，後者稱風生流(wind-induced current)。港區附近，其流向與風

向平行，流速計算如下：

$$V_{wc} = \frac{0.0127}{\sqrt{\sin \varphi}} V_w \quad (5)$$

步驟 4：計算流壓力

相對於風壓力，流壓力係潮流等對船舶水線下的作用力，取決於水線下面積。流壓力與流壓力係數的定義如式 (6)。其中，流速 (V_c) 為潮流與風生流之綜合流速。

$$R_c = \frac{1}{2} \rho C_c V_c^2 L_{pp} d \quad (6)$$

步驟 5：計算流壓力矩

流壓力矩計算與風壓力矩類似，由流壓力、流壓中心及流壓力作用方向決定，然而，目前流壓中心與流壓力作用方向等流壓係數均以查表所得為之。流壓力矩計算如下：

$$N_c = R_c \times \sin \gamma \times (lp' \sim a_c) \quad (7)$$

步驟 6：計算舵壓力

舵壓力計算公式計有「Beaufoy 氏」、「Jossel 氏」及「岡田/藤井舵壓力實驗式」等三種，由於「Beaufoy 氏」未考慮滑失率，「Jossel 氏」計算結果不符合公式保守性原則，因此，本文選用「岡田/藤井舵壓力實驗式」作為舵壓力計算公式。舵壓力 (P_r)，係操縱舵角 (δ) 時，螺旋槳排出流對舵產生作用，使其兩面產生壓力差而產生。由於船舶進港必須反覆用俾，增加舵壓，必須充分考量螺旋槳滑失

率之影響，因此，本文採用「岡田/藤井舵壓力實驗式」，如下：

$$P_r = \frac{1}{2} \rho A_r V^2 (1 - \omega)^2 (1 - 3.6s^{1.5}) \sin \delta \frac{6.13\lambda}{\lambda + 2.25} \quad (8)$$

步驟 7：計算舵壓力矩

因舵壓力作用，使船舶產生繞迴旋支點 (pivot point) 的迴旋力矩，稱舵壓力矩 (N_r)。航行中的迴旋支點假設在距船尾 $2/3$ 船長 (L_{pp}) 處。舵壓力則採用「岡田/藤井舵壓力實驗式」，舵壓力矩計算如下：

$$l_p = \frac{2}{3} L_{pp} \quad (9)$$

$$N_r = P_r l_p \cos \delta \quad (10)$$

步驟 8：計算進港艏向

進港艏向 (C_h) 係由船舶航向、航速，潮流與風生流合力 (C_c) 之流向與流速等，採用二維向量計算。(薩師洪，1996；張吉平，2002)

$$\vec{C}_h = \vec{C} + \vec{C}_c \quad (11)$$

3.2 防波堤口至靠泊碼頭 (階段 2)

此階段船舶進入防波堤後，外力影響較不明顯，主要考量係船舶在各種俾速下「衝止距是否小於安全距離？」。

步驟 1：計算主機推力

主機推力 (T_{sf})，係由船舶規格明細表及領航資料卡登載之海上常用船速推力 ($B.H.P$) 及海上常用航速 (V_{sf}) 等計算得到：

$$T_{sf} = 0.0948 \frac{B.H.P}{V_{sf}} \quad (12)$$

步驟 2：計算各俾速推力

進俾推力，係由海上常用船速轉速 (RPM_{sf}) 與各俾速轉速之比，結合主機推力 (T_{sf})；倒俾拉力則假設為進俾推力之 75%。以全速前進推力 (T_F) 與全速後退拉力 (T_{FA}) 為例，計算如下：

$$T_F = T_{sf} \times \left(\frac{RPM_F}{RPM_{sf}} \right)^2 \quad (13)$$

$$T_{FA} = 0.75 \times T_F \quad (14)$$

步驟 3：計算衝止距

衝止距 (S)，係由船舶航行餘速，透過倒俾拉力制止船舶前進，其計算概有「荒木氏」、「力學基本計算方式」及「經驗評估法」等三種方式，經測試，三者計算結果幾乎相同，本文基於公式概念性及公式測試性等原則，選用國人常用，且具保守性的「荒木氏」來計算衝止距；以全速前進航速 (V_F) 與全速後退拉力 (T_{FA}) 為例，計算式如下：

$$S = 0.0135 \frac{1.2M}{T_{FA}} V_F^2 \quad (15)$$

肆、模擬情境與案例分析

本研究採用試算表 (Excel) 撰寫程式，將前述公式整合為大型船舶進入基隆港之安全評估模式，以船舶操縱特性、環境外力與港區特性等安全影響因素作為輸入變數，同時計算並評估進港船舶「是否具備保持航向能力？」、「艏向與航向之差角是否過大？」及「衝止距是否小於安全距離？」等關鍵問題。其中，為便於說明，將進港過程分為兩階段：「港外航道至防波堤口」及「防波堤口至靠泊」，前者係以引水站為起始點，即進港航向 (153°) 上距防波堤口 1.5 海裡處；後者則以防波堤中心開始計算。

藉由模擬情境與案例分析確認 (verification) 與驗證 (validation) 本模式。其中，模擬情境有二，係同一規格船舶在兩種不同環境外力影響下，評估其進入基隆港之安全性，據以確認本模式對於情境模擬之可行性；案例分析則整理自實際發生事件，藉由本模式之計算結果與案例發生過程對照，以驗證本模式之正確性。

4.1 模擬情境 1 安全評估分析

模擬情境 1 之進港船舶資訊，係歸納自表 2 與表 3，彙整如表 4；當時環境外力係為風向 $22.5^\circ(T)$ 、風速 28 節 (蒲福風級 7 級)，低潮後 1 小時，經查表 1 獲知流向 $225^\circ(T)$ 、流速 1.3 節；進港船舶於引

表 4 模擬情境 1 之船舶資訊歸納表

船舶規格明細表*			
船名	ship's name	CHENG GONG	
船舶類型	ship's type	bulk carrier	
垂間距	L.P.P	218	m
船寬	breadth	36	m
模深	depth	22.3	m
排水量	displacement	87877	ton
夏季吃水	summer draft	14	m
船高	keel to mast	47.6	m
海上常用航速轉速	sea speed RPM	106	RPM
主機馬力	main engine H.P	19080	H.P
海上常用航速	sea speed	14.2	kt
領航資料卡**			
主機性能 (轉速/航速)		RPM	speed (kt)
全速前進	full ahead	59	9
半速前進	half ahead	47	7
慢速前進	slow ahead	36	5.5
微速前進	d/slow ahead	30	4.5
微速後退	d/slow astern	30	
慢速後退	slow astern	36	
半速後退	half astern	47	
全速後退	full astern	59	
吃水	draft	9.8	m

註：*彙整自表 2；**彙整自表 3。

水站接引水人登輪，即進港航向上距防波堤 1.5 海浬處，採取初航速為「微速前進 (d/slow ahead)」，即 4.5 節 (kts)，藉以分別計算風壓力矩、流壓力矩、舵壓力矩、進港艏向及衝止距等結果；並與基隆港安全評估標準值比較之，據以評估其進港之安全性。本情境的計算結果與安全評估等資訊彙整在表 5。

階段 1：港外航道至防波堤口

關鍵 1：是否具備保持航向能力？

風壓與流壓之合力矩為 1844.96 噸，朝左舷偏轉。該船舶進港初航速 4.5 節，當該船舶增速至「全速前進 (full ahead)」時，採取 10° 以上舵角，或當該船舶增速至「半速前進 (half ahead)」，採用 15° 以上舵角，其舵壓力矩大於風壓與流壓之合

表 5 模擬情境 1 安全評估表

船名：CHENG GONG				
船舶類型：散裝船 (bulk carrier)				
階段 1：港外航道至防波堤口				
初速	4.50			
風壓力矩	-1678.78			
流壓力矩	-166.18			
風壓流壓合力矩	-1844.96			
舵壓力矩	(增速至)			
舵角	全速前進	半速前進	慢速前進	微速前進
5	1495.95	704.11	314.41	164.55
10	2946.45	1386.83	619.28	324.10
15	4307.43	2027.40	905.32	473.80
20	5537.52	2606.38	1163.86	609.11
25	6599.36	3106.16	1387.03	725.91
30	7460.68	3511.57	1568.06	820.65
35	8095.32	3810.27	1701.45	890.46
預定航向	153			
艏向	170.4	169.0	167.2	165.4
航向與艏向差角	17.4	16.0	14.2	12.4
階段 2：防波堤口至靠泊碼頭				
安全距離	1300.00			
衝止距	全速後退	半速後退	慢速後退	微速後退
全速前進	2727.23	4297.64	7325.22	10548.31
半速前進	1649.80	2599.80	4431.30	6381.08
慢速前進	1018.50	1604.98	2735.65	3939.34
微速前進	681.81	1074.41	1831.30	2637.08

關鍵 1：
保持航向能力？

關鍵 2：
航向與艏向差角？

關鍵 3：
衝止距小於安全距離？

力矩，即具有保持航向能力；其他情況，則舵壓力矩小於風壓與流壓合力矩，保持航向能力不足。

關鍵 2：艏向與航向角度是否過大？

此情境，由於風與流等環境外力影響，該船舶進港艏向與預定航向之差角均大於 10°，進港時可能碰撞防波堤。

階段 2：防波堤口至靠泊碼頭

關鍵 3：衝止距是否小於安全距離？

若在堤口之航速為「慢速前進 (slow ahead)」，採取「全速後退 (full astern)」衝止，或當其堤口航速為「微速前進」，採用「全速後退」或「半速後退 (half astern)」等俾令，其衝止距小於基隆港港

區特性之安全距離；其他情況，則衝止距大於安全距離，有停車不及衝撞碼頭之虞。

評估結果與說明

考量該船舶操縱特性、環境外力及港區特性等，依階段評估進港船舶之三個關鍵問題，分述如下：

1. 該船於堤口之航速為「全速前進」或「半速前進」時，具備保持航向能力；
2. 進港艏向與預定航向之差角均大於 10° ；
3. 於堤口航速為「全速前進」或「半速前進」時，衝止距大於安全距離。

綜言之，為保持航向，該船必須增速至「全速前進」或「半速前進」，然其進港艏向與預定航向之差角大於 10° ，且衝止距將大於安全距離。因此，該進港船舶之安全頗有疑慮。

4.2 模擬情境 2 安全評估分析

模擬情境 2 之進港船舶係與模擬情境 1 為同規格船舶，其操縱特性與例題 1 相同，而計算所需之船舶資訊如表 4。僅改變天候狀況，即當時環境外力，風向 $22.5^\circ(T)$ 、風速減弱為 15 節，以及流向 $225^\circ(T)$ 、流速減為 0.65 節；與例題 1 情境相同，進港船舶於引水站接引水人登輪，即進港航向上距防波堤 1.5 海裡處，

同樣地採取初航速為「微速前進 (d/slow ahead)」，即 4.5 節 (kts)。試評估該進港船舶之安全性。其計算結果與安全評估如表 6。

階段 1：港外航道至防波堤口

關鍵 1：是否具備保持航向能力？

風壓與流壓之合力矩為 529.48 噸，朝左舷偏轉。當該船舶不增速並採取 15° 以下舵角，或增速至「慢速前進」並採取 5° 舵角時，舵壓力矩皆小於風壓與流壓合力矩，即產生無法保持航向的情況；除前述外，其他則是均具備有保持航向能力。

關鍵 2：艏向與航向角度是否過大？

此情境，該船無論增速或不增速，艏向與航向角度差均小於 10° ，可安全進港。

階段 2：防波堤口至靠泊碼頭

關鍵 3：衝止距是否小於安全距離？

由於僅改變天候狀況，而船舶資訊均相同，其衝止距結果與模擬情境 1 相同。

評估結果與說明

1. 該船在大多數情況下，均具備保持航向能力，詳見表 6；
2. 進港艏向與預定航向之差角均小於 10° ；
3. 於堤口航速為「慢速前進」或「微速前進」時，衝止距小於安全距離。

表 6 模擬情境 2 安全評估表

船名：CHENG GONG				
船舶類型：散裝船 (bulk carrier)				
階段 1：港外航道至防波堤口				
初速	4.50			
風壓力矩	-481.79			
流壓力矩	-47.69			
風壓流壓合力矩	-529.48			
舵壓力矩	(增速至)			
舵角	全速前進	半速前進	慢速前進	微速前進
5	1495.95	704.11	314.41	164.55
10	2946.45	1386.83	619.28	324.10
15	4307.43	2027.40	905.32	473.80
20	5537.52	2606.38	1163.86	609.11
25	6599.36	3106.16	1387.03	725.91
30	7460.68	3511.57	1568.06	820.65
35	8095.32	3810.27	1701.45	890.46
預定航向	153			
艏向	162.7	161.9	160.8	159.7
航向與艏向差角	9.7	8.9	7.8	6.7
階段 2：防波堤口至靠泊碼頭				
安全距離	1300.00			
衝止距	全速後退	半速後退	慢速後退	微速後退
全速前進	2727.23	4297.64	7325.22	10548.31
半速前進	1649.80	2599.80	4431.30	6381.08
慢速前進	1018.50	1604.98	2735.65	3939.34
微速前進	681.81	1074.41	1831.30	2637.08

該船在當時天候狀況下，於堤口增速至「慢速前進」與「微速前進」，具備保持航向能力，且能符合安全評估標準值，故該船舶可安全地進港。

模擬情境綜合說明

兩模擬情境係由同一規格船舶，藉由不同風與流等環境外力說明本模式可用於不同天候狀況，據以供引水人於操縱船

前或選擇進港時機之用。計算結果顯示，當風速與流速減弱時，風壓力矩由 1678.78 噸減少至 481.79 噸，流壓力矩由 166.18 噸降低至 47.69 噸，進港艏向則由 165.4° 至 170.4° 改變為 159.7° 至 162.7°，此等結果即具體確認本模式可以在不同環境影響下，有效執行船舶進港情境模擬。

4.3 案例之安全評估分析

案例分析船舶之船舶資訊歸納如表 7；當時環境外力係風向 22.5°、風速 30 節，高潮後 2 小時，其流向 45°、流速 1.04 節；案例發生經過係因當時天候狀況不佳，且防波堤外浪高約 3 至 4 公尺，引水艇無法外出，因而引水人要求船長自行

進港，待船舶進入防波堤口後登輪領航。該船舶進港初航速為「微速前進」，即 5.5 節，為增加其舵壓力矩，增速至堤口附近之航速為「全速前進」，約 12 節；進入防波堤口後，因航速過快，導致衝止距過大而衝擊碼頭。

表 7 案例分析之船舶資訊歸納表

船舶規格明細表			
船名	ship's name	xxx	
船舶類型	ship's type	container	
垂間距	L.P.P	150	m
船寬	breadth	25	m
模深	depth	12.8	m
排水量	displacement	22939	ton
夏季吃水	summer draft	8.7	m
船高	keel to mast	42.6	m
海上常用航速轉速	sea speed RPM	123	RPM
主機馬力	main engine H.P	11640	H.P
海上常用航速	sea speed	17.6	kt
領航資料卡			
主機性能 (轉速/航速)		RPM	speed (kt)
全速前進	full ahead	82	12
半速前進	half ahead	58	8.5
慢速前進	slow ahead	48	7
微速前進	d/slow ahead	38	5.5
微速後退	d/slow astern	38	
慢速後退	slow astern	48	
半速後退	half astern	58	
全速後退	full astern	82	
吃水	draft	8.7	m

透過本模式，依照案例發生所採用之俾速，分別計算其風壓力矩、流壓力矩、舵壓力矩、進港艏向及衝止距等，據以分析此案例並驗證本模式之計算結果，計算結果與安全評估即彙整如表 8。

階段 1：港外航道至防波堤口

關鍵 1：是否具備保持航向能力？

當時風壓與流壓合力矩 1040.52 噸，朝左舷偏轉。該船舶由「微速前進」的

5.5 節，增速至堤口「全速前進」之 12 節，採取 10° 以上舵角，其舵壓力矩即可大於風壓與流壓之合力矩，具備保持航向能力。

關鍵 2：艏向與航向角度是否過大？

受潮流與風生流之合力影響，該船舶艏向為 147.4°，艏向與航向角度小於 10°，可安全進入防波堤。

表 8 案例分析安全評估表

船名：xxx				
船舶類型：貨櫃船 (container)				
階段 1：港外航道至防波堤口				
初速	5.50			
風壓力矩	-1025.01			
流壓力矩	-15.51			
風壓流壓合力矩	-1040.52			
舵壓力矩	(增速至)			
舵角	全速前進	半速前進	慢速前進	微速前進
5	838.35	303.12	158.98	72.32
10	1651.22	597.02	313.13	142.44
15	2413.93	872.79	457.77	208.24
20	3103.29	1122.04	588.49	267.71
25	3698.35	1337.19	701.34	319.04
30	4181.05	1511.72	792.87	360.68
35	4536.70	1640.31	860.32	391.36
預定航向	153			
艏向	147.4	148.1	148.6	149.5
航向與艏向差角	5.6	4.9	4.4	3.5
階段 2：防波堤口至靠泊碼頭				
安全距離	1300.00			
衝止距	全速後退	半速後退	慢速後退	微速後退
全速前進	2560.50	5117.95	7472.57	11922.99
半速前進	1284.69	2567.86	3749.26	5982.19
慢速前進	871.28	1741.53	2542.75	4057.13
微速前進	537.88	1075.13	1569.76	2504.66

階段 2：防波堤堤口至靠泊碼頭

關鍵 3：衝止距是否小於安全距離？

該船通過防波堤堤口速度 12 節，採取任何後退俾令，衝止距遠大於安全距離。

評估結果與說明

1. 該船舶以 5.5 節增速至 12 節，只要採取 10° 以上舵角，即具備保持航向能力；
2. 進港艏向與預定航向之差角小於 10°；
3. 堤口航速 12 節時，衝止距均遠大於安全距離。

綜合上述結果，該船舶由進港航道之「微速前進」增速至堤口之「全速前進」，雖可保持航向，亦可通過防波堤口，但衝止距大於港區特性之安全距離，進港危險性高。因此，其撞擊碼頭的結果，與本模式計算結果相同。

伍、結論與建議

航海實務係在有限資訊情境下，即時概估船舶進港之安全性。本文即蒐集、歸納，並基於公式概念性等原則整合半經驗暨半理論解析的船舶操縱公式，建構出航海實務導向的大型船舶進港之安全評估模式，並輔以情境與案例分析作為確認與驗證。本文結論歸納如下：

1. 本文將船舶進港過程分為「進港航道至防波堤口」及「防波堤口至靠泊碼頭」

兩階段。參酌實務工作者之經驗及相關文獻，將評估關鍵具體歸納成：「是否具備保持航向能力？」、「進港艏向與預期航向之差角是否過大？」及「衝止距是否小於安全距離？」三項。

2. 由於基隆港港口面朝正北，東北季風期間強風與強流，導致防波堤口外 0.5 海浬處海象最差；港區特性之限制亦明顯，如設定進港艏向與預定航向之差角應小於 10° 及衝止距應小於 1300 公尺之限制等，本文即以該港為範圍建構模式。
3. 基於公式整合原則，本文採用「Hughes 式」風壓力計算公式及與其原理相同的流壓力計算公式、「岡田/藤井舵壓力實驗式」、二維向量及「荒木氏」衝止距計算公式等，透過試算表建構大型船舶進入基隆港之安全評估模式；即同時計算風壓力矩、流壓力矩、舵壓力矩、進港艏向及衝止距等結果。
4. 模擬情境與案例分析係使用前述計算結果與安全評估標準值比較之，據以評估進港船舶之安全性。兩模擬情境分析結果顯示，本文建構之大型船舶進港安全模式確實可行；案例分析結果則驗證本模式評估結果之正確性。

綜言之，本模式具有轉移性，可評估各天候狀況下船舶進港安全，亦可更換「港區特性」之評估標準值，轉移至其他港口使用。本文成果，期能提供引水人操

縱船舶之參考；亦可作為事前預警或事後仲裁之依據。值得說明的是，本模式之風壓係數、流壓係數等係採用相關著作附表計算，建議後續研究可針對此等參數進行研究，進而建構不同船舶之相關係數，俾能使安全評估模式更臻完整。

參考文獻

- 本田啟之輔，2001，*操船通論*，成山堂書店，東京。
- 交通部運輸研究所，2008，*臺灣海氣地象觀測資料年報*，交通部運輸研究所，臺北市。
- 孟祥武，1999，*船舶操縱*，大連海事大學出版社，大連。
- 岩井聰著，周沂、王立真譯，1984，*操船論*，人民交通出版社，北京。
- 林義復，2008，*計算流力模擬船舶岸壁效應*，國立高雄海洋科技大學航海科技研究所碩士論文。
- 徐國裕，2008，*船舶操縱——理論與實務*，五南圖書出版公司，臺北市。
- 高博銓，2002，*教育研究法：焦點團體訪談法*，*教育研究月刊*，第 103 期，101-110。
- 涂鐵昆，2005，*大型船舶在受限水域操縱應重視的安全因素*，*中國航海*，2005 年第 4 期，31-32 及 36。
- 張吉平，2002，*航海氣象學與海洋學*，大連海事大學出版社，大連。
- 梁小成、盧俊良，2010，*大型深吃水船舶進出港的安全通航保障*，*航海技術*，2010 年第 4 期，21-23。
- 湯國杰，2010，*超大型船舶受限水域航行風險評價*，*中國航海*，第 33 卷，第 3 期，105-108。
- 楊永祿、劉加釗，2005，*冬季進靠基隆港的船舶操縱*，*青島遠洋船員學院學報*，第 26 卷，第 4 期，42-44。
- 裘榮，2010，*超大型船舶港口操縱時的注意事項*，*航海技術*，2010 年第 3 期，26-28。
- 熊振南、張壽桂、翁躍宗，2008，*大型船舶在港口航道的操縱安全綜合評價法*，*上海海事大學學報*，第 29 卷，第 4 期，6-9。
- 薩師洪，1996，*航海學*，文笙書局，臺北市。
- Armstrong, M.C., 1980. *Practical Ship-Handling*, Berne Convention: Glasgow.
- Jacquin, E., Guillerm, P.E., Drouet, A., Perdon, P. and Alessandrini B., 2006. Simulation of Unsteady Ship Maneuvering Using Free-Surface RANS Solver. In *proceeding of 26th Symposium on Naval Hydrodynamics*, 17-22, Rome, Italy September 2006.
- Rowe, R.W., 2000. *The Shiphandler's Guide*, The Nautical Institute: London.

Simonsen, C.D. and Stern, F., 2002. Verification and validation of RANS maneuvering simulation of Esso Osaka: effects of drift and rudder angle on forces and moments. *Computers and Fluids*, 32(10), 1325-1356.

Yoshimura, Y., 2005. Mathematical Model for Maneuvering Ship Motion. In *Workshop on Mathematical Models for Operations involving Ship-Ship Interaction*, Tokyo, Japan.

附錄：本文使用符號及其定義或說明表

符號	定義或說明
$\rho_a \sim \rho$	ρ_a 為空氣密度， $1.25 \times 10^{-4} \text{ ton} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ ； ρ 為海水密度， $0.1045 \text{ ton} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ 。
$C_w \sim C_c$	C_w 為風壓係數； C_c 為流壓係數。兩者均以查表獲得。
$V_w \sim V_{wc} \sim V_c \sim V$	V_w 為風速； V_{wc} 為風生流速； V_c 為潮流流速； V 為航速。公制單位 (m/s)。
$V_{sf} \sim V_F$	V_{sf} 為海上常用航速； V_F 為全速前進航速。單位為節 (kts)。
$A \sim B \sim A_r$	A 為正面受風面積； B 為側面受風面積。單位為 m^2 ； A_r 為舵面積，單位為平方公尺 (m^2)。
$\theta \sim \alpha \sim \delta$	θ 為風舷角； α 為風壓力作用方向； δ 為舵角。
φ	φ 為當地緯度，基隆為 25.2° 。
γ	流壓力作用方向，由查表得。
$L_{pp} \sim d$	L_{pp} 為垂間距長； d 為吃水。單位公尺 (m)
$a \sim l_p' \sim l_p$	a 為流壓力中心與船艏距離； l_p' 為距船艏 1/3 處； l_p 距船尾 2/3 處。單位公尺 (m)。
a_c	a_c 為流壓力中心與船艏距離，由查表得。
$\omega \sim \lambda$	ω 為伴流係數，取 0.4； λ 為舵長寬比，取 1.6。
s	滑失率。
$R_w \sim R_c \sim P_r$	R_w 為風壓力； R_c 為流壓力； P_r 為舵壓力。單位為噸 (ton)。
$N_w \sim N_c \sim N_r$	N_w 為舵壓力矩； N_c 為流壓力矩； N_r 為舵壓力矩。
$\vec{C} \sim \vec{C}_c \sim \vec{C}_h \sim C_{hc}$	\vec{C} 為船舶航向與航速向量； \vec{C}_c 為綜合流向與流速向量； \vec{C}_h 則為船舶受綜合流影響下，艏向與航速之向量； C_{hc} 為艏向與航向差角。
$T_{sf} \sim T_F \sim T_{FA}$	T_{sf} 為主機推力； T_F 為全速前進推力； T_{FA} 為全速後退拉力。單位為噸 (ton)。
M	船舶質量，取當時排水量。
S	衝止距，單位為公尺 (m)。

