

# 港口規劃建設與船舶通航安全之探討\*

## 以高雄港洲際碼頭二期計畫為例

徐國裕<sup>1</sup> 胡延章<sup>2</sup> 宋瑞屏<sup>3</sup>

### 摘要

港口在整個運輸系統中佔重要地位，加強港口建設，擴大港口規模是目前港口發展的重要方向。高雄港為提昇港口競爭力及滿足高雄港貨櫃運量成長之需求，先後規劃了洲際一、二期工程。然對於二期規劃中的航道規劃、極限船舶操縱條件，進出港口交通管理等並未作成整體性的嚴密考量。作者整理了有關港口航道系統設計基準並從海上交通工程的觀點，論述通航安全、降低風險的要求目標。本文亦對於規劃案中的碼頭佈置，航道規劃設計與未來交通管理等相關內容，分別做出討論與分析，並提出相關改善建議。

### 一、前言

多年來世界貿易增長以高出世界增長速度一倍多的幅度增長。國際貿易量的 90% 是經由海運和港口完成的，港口在整個運輸系統中佔重要地位對地區經濟的發展具推動作用。港口建設投資大，週期長，關聯問題多，做好不同階段的港口發展規畫和佈置，是進行港口建設前期工作的主要內容。現代港口作為全球綜和運輸的核心，為適應船舶大型化的趨勢，對港口自然條件和設備要求提高。加強港口建設，擴大港口規模是目前港口發展的重要方向。船舶是海上運輸的工具，是港口的主要服務對象之一，規劃和設計港口、航道時，必須使之能滿足船舶外型、尺度、噸位、航行性能、錨泊、停靠及裝卸操作等方面的條件和要求。海港指港口位於有掩護的海灣內或位於開敞的海岸上，亦有屬於半掩護海灣的海港。高雄港即屬位於開敞海岸的港口，船舶進出港口航道易受風浪及流壓的影響，如圖 1-1 所示。

\* 本文發表於 2015 年海峽兩岸「海上安全暨船舶交通管理」研討會，承蒙作者與主辦單位同意轉載，謹申謝忱。

<sup>1</sup> 大連海大交通運輸工程博士、高雄引水人、海洋事業協會理事長。Email: ky.hsu@ntou.edu.tw

<sup>2</sup> 海洋大學商船碩士、高雄引水人辦事處主任、

<sup>3</sup> 海洋大學商船碩士、航港局北部航務中心

高雄港為提昇港口競爭力，以及為了滿足高雄港貨櫃運量成長之需求，乃於 2004 年開始推動高雄港洲際貨櫃中心第一期工程計畫，希望藉由興建新一代的貨櫃儲運中心，來提升高雄港的貨櫃裝卸能量，期使高雄港在全球海運市場持續扮演貨櫃轉運樞紐港的角色。第一期工程計畫經由取得紅毛港土地，並辦理外海圍堤、公共水域浚挖以及區內聯絡道路等各項基礎工程，並配合民間業者採 BOT 模式投資興建 4 席水深為-16.5 公尺，可供 13,000TEU 新式大型貨櫃船靠泊之深水碼頭，在 2011 年正式開始營運。

交通部為持續建設高雄港，並朝向全球現代化之貨櫃中心及物流基地邁進，確保亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位；另外，將可協助舊港區石化業者之順利遷建，在新港區重新建立南部石化儲運中心，延續我國石化產業之競爭力；同時可藉由整體結構性調整舊港區使用機能，達成重塑港市共榮生活圈之願景。爰提報「高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫」案，該洲際二期工程計畫於 2011 年 3 月 11 日奉行政院核定實施。期望藉由本計畫之推動，可同時解決高雄港舊港區石化油品儲運業者搬遷安置需求，並建設最新現代化貨櫃中心，吸引航商進駐及大型貨櫃船彎靠，以確立亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位，奠立高雄港未來數十年之營運根基。該計畫預定興建水深-16~-18 公尺之深水碼頭共 19 席，包含 5 席水深-18 公尺，可供 18,000TEU 級貨櫃輪靠泊之深水貨櫃碼頭，10 席水深-16~-18 公尺之石化油品碼頭，以及 4 席水深-16 公尺之散雜貨碼頭，並規劃分為石化油品儲運中心、貨櫃基地及港埠用地等三區塊進行開發。

洲際二期碼頭區域已完成修正規劃，並針對該港域進出港口之航道做出適當調整。洲際二期港域在原來第二港口之外側，航道中有一部分將會兩港域共用，且洲際二期港區所設計規劃之船舶型式均為大型貨櫃船與大型散裝船。在船舶操控及通航安全上尚未全然提供嚴謹保障。對於規劃案中的碼頭佈置，航道規劃設計與未來交通管理等相關內容，有必要分別做出討論與分析。



圖 1- 1 位於開敞海岸的高雄港

## 二、港口營運規劃

### 2.1 港埠營運發展

國際貿易的發展，帶動了國際海運的發展，也帶動了港口相關企業的發展。港口規模大小和未來發展，直接影響該港口所在城市區域的經濟發展。近二十年來全球經濟議題有了較快發展，形成國際貿易和運輸系統新的經濟技術環境。國際海運市場快速成長，船舶噸位無論在油輪、乾貨船、及貨櫃船接趨向大型化如圖 2-1、表 2-1 所示，尤其在近二十年來，貨櫃化的發展程度已趨成熟，海運業界基於市場及成本考量，貨櫃船噸位大型化愈趨明顯快速，如圖 2-2、表 2-2所示。為因應海運產業在全球化及整合物流趨勢發展需要，港灣前線、腹地之擴展功能，已成為各港口當局重要策略之一。高雄港為因應全球運輸變革及配合船舶大型化，並配合國際新潮港口之設計及物流發展需求，擴增營運基地及物流腹地，以吸引國際廠商、大型物流業者投資，同時因應港口營運量之增加以及整體營運發展趨勢之需要，港區前線、腹地之擴展工已為高雄港營運規劃發展的重要策略，並期望能朝國際化大港邁進，提升高雄港的國際競爭力。

高雄港於 2005 年起開始推動自由貿易港區，均係於既有港區申請自由貿易區，港區內缺乏完整之土地，無法提供產業設廠進行淺層加工及生產製造，僅能發展運輸型自由貿易港區；然配合本計畫之推動，不僅可以快速取得完整土地作為高雄港自由貿易港區之發展腹地，並可規劃部分區域引進產業進行生產與製造業務，同時也藉由高雄港之物流、運輸機能，創造該產業成為國際物流供應鏈之重要節點，提供物流銷配體系，藉以提升高雄港碼頭作業及船舶運輸能量。

### 2.2 航運市場環境

#### 2.2.1 船舶大型化

全球海運船舶大型化的趨勢，散貨船大都在 15-20 萬噸，油輪也發展到 30-50 萬噸。隨著市場需求不斷的成長，貨櫃船也已發展到 18,000Teu 的船舶進入市場營運，如圖 2-1、表 2-1 所示。以散裝船而言，全球散裝船載重噸之統計，平均載重噸自 1990 年的 4.45 萬噸成長至 2012 年的 7.63 萬噸，成長率為 71.45%。1991-2012 年間，以海岬型散裝船成長幅度最高，超過 4 倍。可知全球散裝船市場結構逐漸以大型船舶為主。

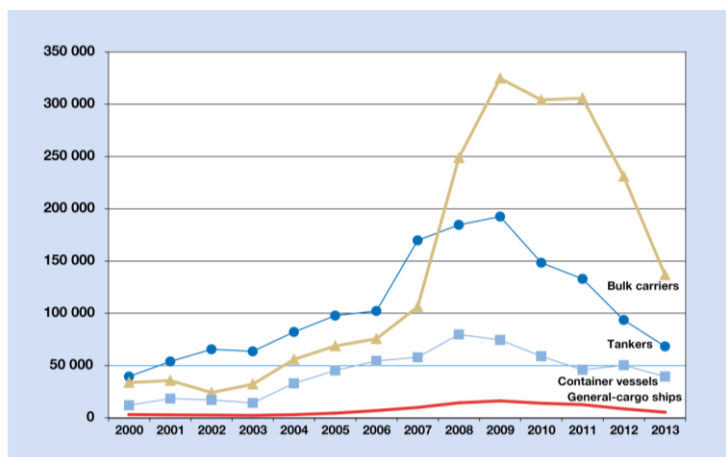


圖2- 1 World tonnage on order, 2000-2013(Thousands of dwt)

資料來源：Compiled by the UNCTAD secretariat, on the basis of data supplied by Clarkson Research Services.  
註：Propelled seagoing merchant vessels of 100 GT and above; beginning of year figures.

表 2- 1 Tonnage utilization by type of vessel, January 2013(percentage of dwt or cubic metres)

	In service	Idle and laid up	Long-term storage	Repairs and not in service for other reasons	Total
Bulk carriers	99.75	0.14	0.02	0.10	100.00
Chemical tankers	99.57	0.36	–	0.08	100.00
Container ships	99.85	0.12	–	0.03	100.00
Ferries and passenger ships	98.23	1.49	–	0.28	100.00
General-cargo ships	98.78	0.87	0.04	0.31	100.00
Liquefied-gas carriers	98.62	1.19	0.19	–	100.00
Offshore supply	94.52	4.40	–	1.08	100.00
Oil tankers	98.16	1.25	0.48	0.12	100.00
Other/n.a.	99.31	0.53	–	0.16	100.00
<b>Total</b>	<b>98.96</b>	<b>0.73</b>	<b>0.16</b>	<b>0.15</b>	<b>100.00</b>

資料來源：Compiled by the UNCTAD secretariat, on the basis of data supplied by Clarkson Research Services.

## 2.2.2 貨櫃船大型化

影響貨櫃海運發展趨勢之因素包括：貨櫃海運市場變化，航商營運型態改變，貨櫃船型之發展趨勢，港口深水化，及航線軸心化。其中貨櫃船大型化的發展衝擊了貨櫃港埠規劃與營運，對港口的營運發展影響重大。下表 2-2 及圖 2-2 中說明了貨櫃船大型化的趨勢。

溯及十多年多前，即有針對貨櫃船大型化發展趨勢的探討與研究，在「最適化貨櫃船之探討」中(2002)，考量船舶的操縱控制限制與港口的水域條件，提出 12000Teu 的貨櫃船為最適發展的規模型式。葛蕙銀在「越太平洋最適貨櫃船船型之研究」中(2005)，基於貨源市場及成本考量因子分析 認為 9000Teu 為最佳配置 然隨著航運市場的變化，歐洲/遠東航線已出現 CMA CGM 營運的船舶，可載運 16,020Teu，Maersk Line 的 Triple E class 船舶可載運 18,270Teu；CSCL 的 19,100Teu；今年(2015)年一月 MSC 營運的

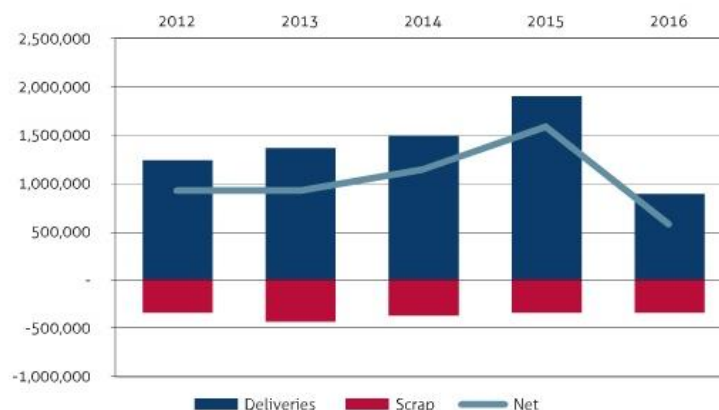
19,224Teu 的船舶已在韓國下水。上述有關貨櫃船大型化的研究，對應於現況，已顯現說明了海運市場，特別是在貨櫃營運上的快速變化。

**表2- 1 World Cellular Fleet-November 2014**

(excluding newbuildings postponements and cancellations under negotiation)

Teu Size range	In service November 2014		Outstanding Orderbook 2014		On Order 2015		On Order 2016+		Total vessels on order	Total teu on order
	No	Teu	No	Teu	No	Teu	No	Teu		
0-499	322	87,389	0	0	3	350	0	0	3	350
500-999	717	542,760	0	0	5	3,806	2	1,247	7	5,053
1,000-2,999	1,853	3,351,086	15	25,649	78	148,070	67	125,888	160	299,607
3,000-4,999	924	3,819,588	4	16,505	13	50,710	9	34,600	26	101,815
5,000-7,499	618	3,727,315	2	11,900	9	54,201	0	0	11	66,101
7,500-9,999	371	3,198,982	3	26,200	69	620,786	26	240,448	98	887,434
10,000-12,999	83	904,846	0	0	16	165,800	11	112,020	27	277,820
13,000-15,999	148	2,006,158	0	0	24	338,350	35	494,350	59	832,700
16,000+	20	336,670	1	18,400	30	538,110	10	191,000	41	747,510
<b>Total</b>	<b>5,056</b>	<b>17,978,594</b>	<b>25</b>	<b>98,654</b>	<b>247</b>	<b>1,920,183</b>	<b>160</b>	<b>1,199,553</b>	<b>432</b>	<b>3,218,390</b>

資料來源：Lloyd's List intelligence.



**圖2-2 Net fleet additions by capacity(teu)**

註：Scrap levels for 2015 and 2016 estimated.

## 2.3 碼頭建設規劃

規劃和設計港口、航道時，必須考量地理環境條件，分析航運經濟，航運市場變化趨勢及未來船型發展與極限操作條件(Limiting Operation Conditions) 根據未來發展目標和近、中期任務，確定設計船型。設計船型分本期設計船型，中期規劃(15~20年)船型，及用於研究本港極限尺度的船型。極限尺度船型是指確定對本港長遠發展有影響尺度的船型。例如確定防波堤堤頭位置所確定的堤口寬度，此寬度大體上控制了未來進入本港最大尺度的船型。

港口規劃調查包括經濟社會條件調查(港口及城市現況，相關企業)，自然條件調查(地形、地質)，以及氣象(風、雨、霧、冰)，海象(潮汐、風浪、海流)，對港口影響的調查。

港口規劃在城市範圍系統內可區分為港口佈局規劃、港口整體規劃、和港口港區規劃。港口總體規劃內容中包含了港口航道規劃，航道淤積問題的分析，港口配套設施規劃，環境評析與環境保護規劃。港口港區規劃，除了小型港口外通常大中型港口都由幾個港區或作業區組成。港口港區規劃是對總體規劃中涉及的組成部分深入規劃。港域設施及碼頭平面佈置之良窳脩關高雄港未來洲際貨櫃中心之營運甚鉅。

高雄港洲際貨櫃中心二期工程計劃，可一舉解決高雄港舊港區石化油品儲運的需求，建設最新現代化貨櫃中心吸引大貨櫃船彎靠，以確立亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位，奠立高雄港未來數十年之營運根基。該計畫預定興建水深 16~18 公尺之深水碼頭共 19 席，包含 5 席水深 18 公尺，可供 18,000TEU 級貨櫃輪靠泊之深水貨櫃碼頭，10 席水深 16~18 公尺之石化油品碼頭，以及 4 席水深 16 公尺之散雜貨碼頭，並規劃分為石化油品儲運中心、貨櫃基地及港埠用地等三區塊進行開發。圖 2-3 為洲際貨櫃中心二期工程計劃圖。



圖 2-3 洲際貨櫃中心二期工程計劃圖

### 三、船舶通航安全

#### 3.1 航道設置規劃

船舶進出港口之航道務必仔細考量，而且要有前瞻性，除了目前經常使用的船型之外，未來可能發展的船型也要一併考慮，所以港口之航道長度、寬度、水深、航道彎曲度與迴船池等相關規範均需做仔細考量。

### 3.1.1 航跡帶寬度

船舶在航道上行駛受風、流影響，其航跡很難與航道軸線平行，即使在無風流狀態下行駛，由於螺旋槳產生的橫向力距亦迫使船舶偏轉，船舶為保持實際航向與真航向間，保持風流壓偏角如圖 3-1 所示，船舶與風流壓偏角在導航中線左右擺動前進所佔的水域寬度稱為航跡帶寬度。在中國港口工程技術規範中規定，航跡帶寬度按下式確定：

$$A=n(L\sin \gamma+B)$$

式中：

- A：航跡帶寬度(m)
- n：船舶飄移倍數,見表 3-1
- $\gamma$ ：風、流壓偏角(°)
- L：船長(m)
- B：船寬(m)

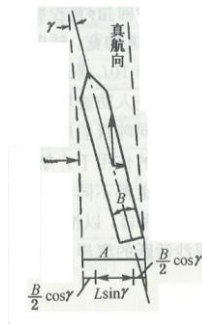


圖 3-1 船舶真航向與風流壓偏角

表 3-1 滿載船舶飄移倍數 n 和風、流壓偏角  $\gamma$  值

風力	橫風 $\leq 7$ 級			
橫流 V (m/s)	$V \leq 0.25$	$0.25 < V \leq 0.5$	$0.5 < V \leq 0.75$	$0.75 < V \leq 1.0$
n	1.81	1.69	1.59	1.45
$\gamma$ (°)	3	7	10	14

航跡帶寬度一般在  $2.0B \sim 4.5B$  的範圍內。

航道寬度由三部分組成：

1. 航跡帶寬度(A)
2. 船舶間錯船之餘裕間距(b)
3. 克服岸吸作用的船舶與岸壁間之餘裕間距(C)

航道寬度 W 的取值：

雙向航道  $W=2A+b+2C$

單向航道  $W=A+2C$

典型的雙向航道寬度為  $8B$ ，單向航道寬度為  $5B$ ， $B$ ：船寬(m)

依 IALA 之原則規定，需考慮系統定位的準確度，船舶大小，船速及交通流密度。IALA 對準確度的標準，依國際海事組織 A.529(13)決議中，制訂了航海的準確度之標準：

1. 準確度的要求取決於各種因素，其中包括船速和與最近航行危險物的距離。
2. 一般航行區域可分類為(1)港口口門，進出港航道和操縱受限制的水域；(2)其他水域。
3. 航行巷道及分隔區的寬度，依船舶設定航道系統之一般規定，分隔區寬度不應低於定位系統標準誤差橫向分量的三倍。航行巷道為  $0.48$  浬，分隔區寬度為  $0.42$  浬。

### 3.1.2 港口寬度

規劃進出港口航道首先必須考慮到港口寬度，因為港口為船舶經由航道進出港埠之門戶，而港口寬度係指垂直航道中心線之有效船舶航行水深的寬度，其寬度端視最大計畫船型或目標特殊船型之尺寸而定。對港口寬度之決定，各參考規範提出之建議如下：

1. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準修訂」

決定航道與港口寬度時，應就船舶之船型、通航量、地形、氣象、海象、單向或雙向航行、有無拖船協助等，作充份之考量研究。一般港口有效寬度與航道寬度可採同等寬度，如為求得港內水域較為平靜，則可將港口寬度略作縮小。一般港口及航道寬度規定如下：

單向航道為船長之  $0.5$  倍以上

雙向航道為船長之  $1\sim 1.5$  倍

2. Port Design

一般港口寬度在  $0.7\sim 1.0$  倍計畫船型船長之間，另若受潮汐漲、退影響，致水流通過港口之進出流速超過  $3.0$  節( $1.5\text{m/sec}$ )時，則港口寬度需再行調整放寬。



洲際二期計畫與長程計畫之港口及航道寬度設定，以最大計畫船型進港時，應採單向航行為考量。當 15,000TEU 船舶進港時，依上述規範，港口及航道寬度分佈在 200~400m。

由於目前高雄港二港口航道寬度僅約 170m，洲際二期貨櫃中心，港口寬度採用 340m，已符合相關規範要求之單向航道其港口寬度規定。

### 3.1.3 航道寬度

由前述中得知航道寬度由三部分組成

1. 航跡帶寬度
2. 船舶間錯船之餘裕間距
3. 克服岸吸作用的船舶與岸壁間之餘裕間距

航道寬度必須考量的因素很多，參考各種設計基準如下：

1. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準修訂」：決定航道寬度時，應就船舶之船型、通航量、地形、氣象、海象、單向或雙向航行、有無拖船協助等，作充分之考慮研究。航道之寬度一般規定如下：

雙向航道 - 船長之 1 倍至 1.5 倍或船寬之 3.6 倍再加 90m。

單向航道 - 穩靜且潮流與航道平行時，船長之 0.5 倍以上，或船寬之 0.45 倍再加 90m。若情況特殊如受地形限制或可使用拖船時可酌予縮小。

2. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準增補研究」：航道之寬度一般規定如下表 3-2 所示：船長以 L 表示。

表3-2 航道之寬度與船長度比

航道寬度	通行狀況	寬度
距離較長之航道	船舶往來頻繁	2L
	其他	1.5L
其它	船舶往來頻繁	1.5L
	其他	L

### 3. 日本港灣協會「港灣の施設の技術上の基準同解説」：

雙向航道為船長之 1.0 倍以上，其中航道距離較長者或計畫船型進出航道頻繁者應採用 1.5 倍船長以上。

單向航道應採 0.5 倍船長以上，同時航道寬度在 1.0 倍船長以下時，應適當考慮必要之航行支援。

### 4. Port Design

Port Design 將航道所需寬度分為三個部份考量，包含船舶航行寬度、離岸距離與船舶間距離，如下圖 3-2 所示。各部份寬度之需求整理如下：

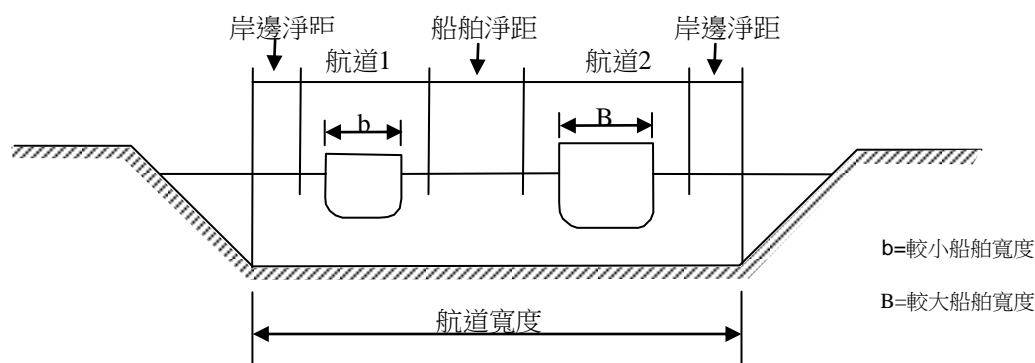


圖3-2 航道寬度示意圖

航行寬度建議為 1.6 倍至 2 倍船寬，視風、流、及船舶之操航性而定。  
離岸距離建議為 1 倍至 2 倍船寬，視岸壁性質及船舶操航性而定。  
船間間距建議保持 30 公尺或一倍船寬。

綜合上述分析，Port Design 建議單向航道總寬度應為 3.6 倍~6 倍之船寬範圍間；雙向航行則為 6.2 倍~9 倍之船寬間。

### 5. Port Engineering

- Port Engineering 亦將航道所需寬度分為三個部份，此部份與 Port Design 之分類方式相同，故亦可參考上航道寬度示意圖所示，惟其定義說明整理如后。
- 航行寬度(航道)：即船舶航行時所需之寬度，一般考量在良好狀況下航行，其寬度約需 1.8 倍船寬。

- 離岸距離(岸邊淨距)：為避免船舶偏離航道而與岸壁產生相吸作用，致有碰撞之虞，故需留離岸距離約 1.5 倍船寬。
- 船間距離(船舶淨距)：雙向航行時為避免航行船舶間之雙吸作用而產生碰撞現象，另須保留若干船舶間距，一般約需 30 公尺以上，單向航道則不考量。

依 Port Engineering 之建議，如以單向航道考量，有效航道寬度單向為 4.8 倍船寬；雙向航道則為 6.6 倍船寬加 30m 寬。

## 6. Approach Channels, A Guide for Design

該規範詳細考慮影響航道寬度之各項因素，並依外航道與內航道方式分別進行估計，依洲際二期港域之條件，計算出各影響項目與總合所需之航道寬如表 3-3 所示，單向航道之外航道寬為 6.1 倍船寬以上，內航道寬度則為 4.6 倍船寬以上；雙向航行之外航道寬為 7.5 倍船寬以上，內航道寬度則為 5.8 倍船寬以上。

表3-3航道寬度估算表

項 目	內航道	外航道	條 件
1.船舶基本操航性能	1.8B	1.8B	差(保守假定)
2.環境影響額外需求			
(1)船速	0	0	船速小於 8 節
(2)橫風	0.5B	0.5B	4 級風~7 級風
(3)橫流	0	1.0B	0.5~1.5 節(外航道)
(4)縱流	0	0	低速
(5)波浪	0	0.5B	3m > Hs > 1m
(6)助航設施	0	0	特佳
(7)底床表面	0.1B	0.1B	底床平滑、有坡度且較堅硬
(8)航道深度	0.4B	0.2B	深度 < 1.25 吃水
(9)貨物危險	0.8B	1.0B	高危險
3.離岸淨空額外需求	1.0B	1.0B	兩側各 0.5B，慢速
4.船舶淨距	1.0B	1.2B	雙向航道，船速小於 8 節
5.交通密度	0.2B	0.2B	雙向航道，中等
合計	單向航道	4.6B	6.1B
	雙向航道	5.8B	7.5B

註：B 為船寬；資料來源：Approach Channels, A Guide for Design

## 7. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

航道寬度之決定，主要考慮船型大小、交通量、航道長度及氣、海象條件。航道寬度一般以雙向航行及單向航行設計，如下所述：

- 雙向航道寬度為大於  $1.0L$ ，除以下三種情況：航道長度較長，航道寬度為  $1.5L$ ；船舶進出頻繁，航道寬度為  $1.5L$ ；航道長度較長，且船舶進出頻繁，航道寬度為  $2.0L$ 。
- 單向航道寬度採用大於  $0.5L$ ，而當航道寬度小於  $1.0L$  時，有拖船協助航行較為安全。

由於航道寬度之設定並非定值，其大小需視環境狀況而有所調整。因此洲際二期計畫及長程計畫於最大計畫船型進港時，應以單向航行為考量。當 15,000TEU 船舶進港時，按照各規範要求之航道寬度分佈在 248~400m，因此航道寬度採用與港口寬度相等之 340m 即可。

### 3.1.4 航道法線

依交通部之「港灣構造物設計基準增補研究」，航道曲線之最大交角以不超過 30 度為原則，若超過 30 度時，航道中心線所成之圓弧其曲率半徑應大於計畫船型之 4 倍船長，轉彎處航道寬度應至少滿足或大於需求。若採雙向航道規劃，於航道轉彎處角度大於 30 度時，航道寬度應至少為計畫船型之 1 倍船長，轉彎處的航道寬度應酌予增加，詳如下圖 3-3 所示。現況二港信號台前的隘口航道寬度僅 183m，對長度大於 400m，寬度大於 50m 貨櫃船向南轉向 60 度靠泊六櫃或向北轉向 115 度航進，在信號台前以港區安全操控速度 4-5 節情況下無法達成安全迴轉。考慮全速倒俾的制動距離及偏轉現象，加上低速情況下的風流影響，使船舶安全通過隘口的風險極高。拖船若能在船舶進入防波堤後隨即協助護航，則或可降低風險。

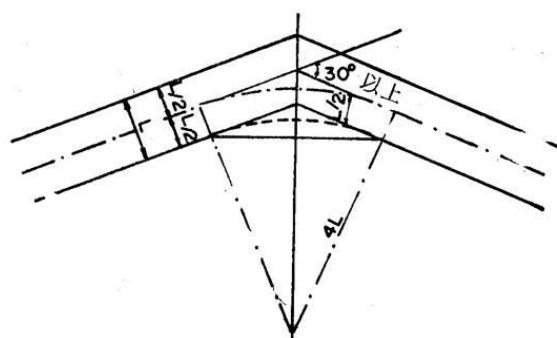


圖3-3曲線航道寬度增加示意圖

### 3.1.5 航道長度

航道長度主要與當時之盛行風與潮流，對於使用航道船舶之影響有很大之關係，依船舶操縱一般控制停船學理，停船距離  $S$  的公式為：

$$ts = Wks/Tp \cdot g \times Vo \quad (\text{Sec})$$

$$S = 1/2 \times Vo \times ts \quad (\text{m})$$

式中： $ts$ ：停船時間， $S$ ：停船距離， $W$ ：排水量(噸)， $Ks$ ：虛質量係數，  
 $Tp$ ：倒俾制動力(噸)， $g$ ：重力加速度， $Vo$ ：初速(m/sec)

下述規範中分別提出了安全停船的考量與建議：

#### 1. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準修訂」及「港灣構造物設計基準增補研究」

(1) 船舶進港時，為避免風與潮流等之影響，於尚未進入防波堤所保護之水域時，都必須保持某種程度以上之航速。因此，有必要決定從港口防波堤入口處至碼頭之航道長度，以確保其長度足敷船舶停船所需。停船距離則依船舶的船型及進港初始速度而定，超大型船舶可考慮採用拖船協助。一般自港口至碼頭之航道長度即停船安全距離至少應等於 5 倍船長以上之長度。

#### (2) 2. Port Design

剎車距離之計算，應從船舶進入遮蔽區域之起點至迴船池中心點為止，一般可使船舶完全停止之距離，以下列方式估算：

船舶空載時，所需航道長度約為 3~5 倍船長

船舶滿載時，所需航道長度約為 7~8 倍船長

#### (3) 3. Port Engineering

一般船舶於外海由全速航行至停車所需之距離，依其船舶排水量大小推估約在 10~20 倍船長間。緊急剎車距離之大小實與進港船速有極大之關係。而船舶進港靠

泊過程，多為低航速狀況(非全速航行)，故所需距離並不長，依 Port Engineering 載述得知，一般「緊急剎車距離」多約在 3 倍船長左右。

有關進港航道長度設定，依所採用之計畫進港船型之船長資料，納入前述各規範中計算，則可得洲際二期計畫及長程計畫之進港航道長度，應採至少 5 倍以上船長規劃，即維持在 2,000m 以上。然原規劃 15,000Teu 之貨櫃船設計航道長度為 2350m，操船模擬試驗結果，進港靠泊洲際一、二期在船舶操航上尚能安全控制。若增大為 18,000Teu 的貨櫃船，船舶全長雖維持 400m，但在寬度上增加將近 9m，船舶排水量大為增加，慣性加大，肥胖係數增大，操控困難度增加，制動停船所需的距離更有必要相對加長。船舶停船不能常態性以快速倒俾甚至緊急到車來制止前進，這些情況在港口航道長度規劃時必須予以考慮增長為至少 6 倍船長。

### 3.1.6 航道水深

關於航道水深，通常必須考慮進港船舶之長度與吃水、波浪作用等因素，各種規範對於航道水深之建議如后：

#### 1. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準修訂」及「港灣構造物設計基準增補研究」

航道水深採用與船席相同之水深為原則。但如港外船舶以經常速度航行之航道，又如波浪、風、潮流等特強之航道，潮差極大之航道及超大型船之航道，應考慮下列因素增加餘裕水深：因波浪作用之船身擺動、船舶之俯仰差(Tirm)、船舶之蹲距作用(Squat)、海底地質以及操船之難易度。

載貨及航行所產生之船艏與船艉吃水差稱為俯仰差(Trim)。通常載貨情形下且以低速航行時船艏下傾，若以高速航行，船艉有下傾之傾向。若船速在 6 節以下時，可以船長乘 0.0025 計算，所增加之吃水與航速平方成正比，並與船底至航道底之餘裕水深有關。餘裕水深大下傾之程度大，餘裕水深小則下傾之程度小。

航道水深應以航行船舶吃水深加上各種餘裕水深值。石質港底應再附加 0.5~1.0m 餘裕，硬質岩底應加 1.0m 以上餘裕為宜。一般港口與航道之水深除考慮加以載航吃水差餘裕外，尚須加最大波高之 2/3，及滿載吃水作為設計水深。或滿載吃水加潮高與最大波高 1/2 為設計水深。

#### 2. 日本港灣協會「港灣の施設の技術上の基準・同解説」

航道水深之決定需考量船速、船體運動、船體下沉、底質土質狀況、海圖誤差、測量誤差、浚挖精度等餘裕水深。一般船舶航行運動時產生之餘裕水深，中小型船可用波高之 2/3，大型船則採 1/2 即可。

### 3. Port Design、Port Engineering

Port Design 於航道水深描述中，將其區分為航道設計水深(Nominal Seabed Level)與實際浚挖水深(Dredged Level)二大部份，其間所考量之因素確有不同，而航道深度之相關區分如下圖 3-4 所示。

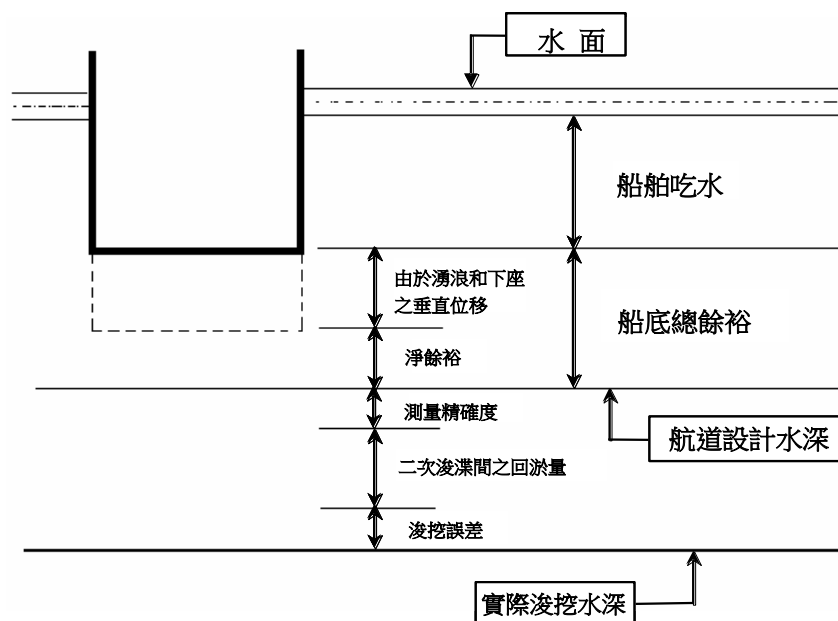


圖3-4航道設計水深示意圖

航道設計深度主要由允許船舶吃水加上船底總餘裕水深合計而得。而航道實際浚挖深度，則需再考慮測量精確度、浚挖容許誤差及二次浚挖間之回淤深度作適當超挖。茲將各項設計水位定義說明如下：

- 船舶吃水(Admissible draft)：依計畫最大進港船型之滿載吃水而定。
- 船底總餘裕水深(Gross Under Keel Clearance)：總餘裕水深為船體航行受波浪及船速產生下座影響，所生之船體垂直運動量 (Vertical ship movement due to swell、squat due to speed)與淨餘裕水深(Net Under Keel Clearance)之總和。船體垂直運動量中，因航行所產生之蹲距作用(squat)現象，船舶慢速航行時，船舶下座量不太可能超過 0.3m；船體受波浪作用所產生之起伏，對於大型船舶而言，波浪週期須超過 9.0 sec 以上方需考慮受波浪起伏影響。

而淨餘裕水深部份，一般為預防船舶坐底產生危險，沙質海床通常至少需有 0.5m 之淨餘裕；岩質海床則至少需 1.0m 之淨餘裕。依洲際二期計畫與長程計畫區之海床特質考量，有關淨餘裕水深部份，宜採 0.75m 之中間值因應。

#### 4. Technical Standards and Commentaries for Port and harbour Facilities in Japan

航道水深除應確保船席相同之水深外，更應隨狀況而加上若干餘裕水深。

- 船舶因裝載以及航行所產生的船體前後吃水差稱為俯仰差(Trim)，通常船舶載貨在低速時，船艏下沉，高速時船艉下沉之傾向。
- 海底地質若為很硬之海底地層，若船底與海底接觸時將會產生很大的海難事故，所以最好能取多一點的餘裕。

至於防波堤外航道水深尚須考量：

- 波浪所致船體之搖動，由船長、船寬、船速、波長、波高等所決定，但因搖動所須之餘裕水深，通常小型亦或中型船時，大約為波高之 2/3。大型船時，預估為 1/2 即可，但仍應參考船舶之航行條件與其他航道之實在狀況為宜。
- 淺水區域或航道斷面積小之水域，航行中船體周圍之水被加速，壓力減小，船體附近水位減低使船體下沉，另外此時隨著起伏之變化，出現操舵不易之現象，因此在設定航道水深時必須特別注意。

經由上述相關規範計算，可得各類計畫船型所需之航道水深，當 15,000TEU 超大型貨櫃輪進港時，此時所需之航道水深至少需在 18.0m 以上。故洲際二期計畫及長程計畫之進港航道水深、迴船池及泊渠之設計水深至少須達 18.0m(高雄港 低潮系統)以上。

### 3.1.7 迴船池規劃

#### 1. 迴船池直徑



迴船池係供船隻調頭迴旋之處所，其大小得視船長、流速、風向、船速、有無拖船協助及船舶之機動性而定。一般而言，迴船池愈大，船舶操航愈容易，在短時間內即可調整船向；船舶迴轉時若使用拖船協助或船艙裝有側推器，則迴船池可考慮酌予減小，惟迴船池大小尚應考量對港域船舶進出能量的影響。一般將迴船池視為圓形迴旋，其大小依各相關規範分析而有差異，茲簡述如下：

(1) 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準修訂」及「港灣構造物設計基準增補研究」、日本港灣協會「港灣の施設の技術上の基準 同解説」迴船池設置時應考慮有無拖船以及風與潮流等影響，並需能夠安全操船之廣闊水面。迴船池之面積需要下列數值：

- 自行調頭—直徑  $3L$  之圓
- 由拖船協助調頭—直徑  $2L$  之圓

如因受地形限制，可利用下錨或風與潮流時，可減少至下列各值：

- 自行掉頭—約直徑  $2L$  之圓。
- 由拖船掉頭—約直徑  $1.5L$  之圓。

(2) Port Design 中建議迴船池之設計原則如下：

- 船舶在無船艙側向動力裝置或藉拖船協助下而自行調頭迴轉時，其迴船池直徑至少須為 4 倍船長以上。
- 船舶於拖船協助下調頭轉向，則其迴船池直徑約須 2 倍船長。
- 於自然條件頗佳之情況下，上述二種情況所需之迴船池直徑可分別減為 3 倍及 1.6 倍船長。

(3) Port Engineering 中建議迴船池之設計原則有下列數點：

- 最佳之迴船池面積為 4 倍船長直徑之水域，船隻可自行轉向。
- 中型範圍迴船池面積為 2 倍船長直徑之水域，於此水域迴轉困難度增加，船舶需有較大馬力及領港操舵靈活或有拖船之協助。

- 迴船池直徑如小於 2 倍船長，船舶需拋下前錨並在拖船協助下方可迴轉。
- 最小之迴船池直徑為 1.2 倍以上船長，船舶迴轉需用迴船池旁碼頭、突堤、繫船樁或下錨，以一固定點為軸心在拖船協助下迴轉。

(4) **Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan** 該規則對迴船池之面積規定如下：

- 船舶在無拖船協助下，自行調頭迴轉約需 3 倍船長直徑之水域。
- 由拖船協助調頭迴轉時則約需 2 倍船長直徑之水域。
- 如因地形關係，不得已得需利用錨、風及潮流時，此時可將自行調頭迴減為 2 倍船長，由拖船協助調頭迴轉者則減為 1.5 倍船長。

綜合上述規範對迴船池直徑之計算原則，可得各種計畫船型所需迴船池直徑。由於洲際二期計畫之最大進港船舶為 15,000TEU 貨櫃輪，屬超大型船舶，進出港時必須有拖船協助拖帶及調頭迴轉；故洲際二期港區內採用 2 倍船長以上(800m)為迴船池直徑，應已能滿足相關規範之要求。倘港區水域寬闊，且迴船池前方仍有泊渠水域空間可資利用，故迴船池直徑之規劃亦可適度加大。

## 2. 迴船池深度

迴船池深度同樣係考量進港船舶之長度與吃水、波浪作用等因素，亦將配合進港航道水深規劃之。

### 3.2 船舶安全操縱的限制

從船舶航行安全方面考慮，進入堤口後需有足夠的航行水域控制航向，便於船舶對準航道或泊位航行，或慣性滑行，或供緊急意外操縱等。防波堤設置所包圍的水域要適當留有發展餘地，應盡可能顧及到港口發展之極限和港口極限尺度的船型。水域小，易發生操船事故，壓縮港口未來發展。水域大，納潮量愈大，淤積量愈大。影響內港水域的泊穩度。堤口寬度在任何情況下，不宜小於設計船長，並應詳細研究預測本港極限尺度船型的船長。

航道規劃大約完成，對於進出洲際二期之船舶，為了船舶與港區之安全，有關船舶操縱安全上必須做相當規範。在做安全規範時，下列各項應列入考慮：

1. 船速限制:進入洲際二期之船舶，船速不宜過快，因未通過遮蔽處至迴船池中心點大約 2000 公尺，船速過快將可能無法在迴船池中附近停船而衝過頭。所以建議進入洲際二期之船舶在通過遮蔽物時船速不宜超過 8 節。當航進過程中發現風、流影響，非用高船速不足以產生舵效轉進堤口時，應放棄進港。
2. 吃水限制: 洲際二期水域之設計水深為-18 公尺，考慮船舶最大吃水與總餘裕水深，以及船舶受波浪作用而搖擺所加深之吃水，因此最深吃水以 16 公尺為宜。
3. 風力與風向強度限制：高雄港對於颱風時期之風力限制為蒲福 7 級風，風向則無特別規定限制。然而高雄港夏季盛行西南風，冬季盛行東北風，船舶在操航進出港時，尤其是受風面積大的船舶，必須特別注意風對於本船的影響。風流壓偏角過大，增加航跡帶寬度，容易造成擱淺。據到港船長的敘述，14,000Teu 的大型貨櫃船行駛蘇伊士運河，當偏流角超過 8 度時，將暫停行駛過河。北歐有些港口因港口條件的限制，當地引航規定，當風力達 25 節以上，即停止航行離靠作業。
4. 拖輪協助相關限制：大型重載船例如 15000TEU 之貨櫃船應有馬力在 5000 匹以上之拖輪 3 艘協助。其他船舶則按其噸位與吃水，根據港口拖輪派遣規定派遣拖輪協助，在任何特殊狀況下，應隨時建議增加拖輪來協助操縱船舶。
5. 距離限制：通常進入洲際二期之船舶，無論貨櫃船或液化散裝船都屬大型船舶。因此，進港之船與船之間之安全距離，至少應保持 1.5 海浬較為安全。出港船則兩船之間以 1 海浬之間距即可。

### 3.3 交通流與進出航道

由於進出洲際二期港區之船舶多設計為較大型之船舶，所以船舶交通服務系統(VTS)必須特別注意交通流之狀況，儘量讓船舶進出港口保持順暢。按照設計與規劃第二港口原航道與洲際二期港區均採用同一航道進出，因此對於進出港口之排序必須特別用心，除了安全之外效率也必須注意。

在做進出港口交通流之排序時，首先必須考量進港船與出港船所需佔用航道之時間，再按照實際狀況排定進出港口之順序，儘量讓所有使用航道之船舶都能安全又有效率的進出港口。

### 3.3.1 估算船舶進出港佔用航道時間

首先要估算船舶進出港在下列狀況，所需佔用航道的時間。

進港船可能是進入洲際二期港區，也可能是進入原第二港口區，因此要考慮到二段航道通行時間：

- 自引水站至洲際二期港區，
- 自引水站至原第二港口信號台前之迴船池

由於高雄港第二港口與洲際二期港區之進港船舶包括：

- 1 萬噸以下之各型船舶
- 1 萬至 5 萬總噸以下之各型船舶
- 5-10 萬總噸之貨櫃船
- 15 萬總噸級以上之貨櫃船
- 10 萬總噸之散裝船
- 15 萬總噸級以上之散裝船
- 10 萬總噸之液化散裝船
- 15 萬總噸之液化散裝船

上述各類型船舶重載或輕載時，佔用進港航道之時間必須確切瞭解，以做為進出港口交通流之管制基礎。

### 3.3.2 出港船舶所需考慮之時間包括：

1. 拖輪派遣後，抵達出港船之時間。

2. 船舶離開碼頭後，原地調頭或利用到拖方式抵達原二港迴船池之時間。
3. 自迴船池駛往港外通過洲際二期港區所需之時間。

### 3.4 進出航道之交通管理

港灣水域的規模隨國際經濟建設計劃及社會經濟發展而定，且必須在已規定的規模面積下達到在工程研究方面能維持靜態水面以及在航行研究方面使各種船舶順利進出航行、淀泊的要求。我國對於港口的開發建設，向來著重在外廓的碼頭工程，對於航行研究方面較為不足。此項研究對港口規劃營運非常重要，其重要性較港灣佈置模型試驗更大。

IMO 於 2000 年頒訂船舶交通服務準則，船舶報告系統一般原則及船舶設定航道系統之一般規定。這些系統對於港口的規劃佈置部分有相關影響，需列為考量事項之一。

#### 3.4.1 航道系統(Routeing System)

設定航道系統之目的在增進船舶於匯集水域及通航密度大的區域或船舶行動自由受水域環境、航行障礙、水深有限或氣象狀況不良區域之航行安全。通航巷道及分道航行是其中重要的部分。任何設定航道系統之正確目標係取決於特定的危險環境。

高雄港為配合 VTS 的設置發展於 2001 年完成了通航巷道及分道航行的規劃建置，為高雄港水域的通航安全奠定了基礎。該規劃中分別在第一港口及第二港口防波堤外畫

定了警戒區、進出港分道航行巷道、引水站位置、錨泊區及其外側提供船舶南北向航行的通航水道。為緩解洲際二期完成後的堤口進出交通流，有學者提出複式航道方案，此有待進一步的評估研究。

#### 3.4.2 船舶交通服務(Vessel Traffic Service, VTS)

全球重要港口均積極發展建設 VTS，從事港灣工程必須了解在港口工程規劃中亦需將其納入考量。VTS 的目的在促進船舶航行安全與效率，並保護海上環境，既可由資訊的蒐集與提供，進而擴及港內或航道交通之管理。近二十年來各國國際海運港口 VTS 提供資訊、助航，交通組織及支援聯合行動等服務，減少了港口及附近水域海難事故的發生。相關研究調查報告中亦說明了船長在港域航行時相當程度地仰賴 VTS 所提供的資訊及交通組織服務。無論 VTS 在業務行政上歸屬航政機關或港口當局，交通組織服

務的功能是在 VTS 區域內防止危險情況發生和保證交通安全及高效的航行，但配合港口的營運，進一步需考慮船舶進出港的通行安排。

高雄港於 1999 年 2 月開始船舶交通管理系統(VTMS)建設工程，並在 2002 年 2 月 18 日正式對外提服務，同年 7 月順應國際通用名稱，將船舶交通管理系統(VTMS)改名為船舶交通服務系統(VTS)。名稱上雖更改，然整體而言，VTS 的硬體設備皆符合標準，但部分 VTS 操作員在航海資歷背景方面尚未能全然符合要求。目前每日服務進出一、二港口的商船總計約 110 艘次，若加上其他工作小船等，業務堪稱繁忙。

高雄港 VTS 的實施在安全與效益上已顯現成效，但在船舶進出港通行的排序上仍未盡理想，如何提高航道通行安全及效率，達到科學化、量化管理的交通組織作業是亟需重視與建立。針對上述課題，在一篇「單向水道船舶進出港最適化排序模式」(2008)研究中，確實說明亦驗證了電腦科學化排序的優化可行性，該研究亦提出建構整合性船舶交通組織的模式。因應洲際二期碼頭的設置，Y 行航道的規劃，未來在交通管理及進出港通行排序上更益顯其複雜性，對於船舶抵各關鍵節點時間需做量化處理，建立電腦化排序的量化管理，否則由於超大型船舶的進出外港洲際碼頭造成原二港口進出船舶的滯候，對整體而言，在安全及效率上將有重大影響。

### 3.5 安全與效益

一般對於任何投資建設會考慮投資效益，在系統的運行管理上，同樣會面對安全與效率的問題。在海上交通工程的範疇中，安全與效率的權重會因不同的領域方案而有所不同，對於有關海上安全的研究報告，當安全與效率存在矛盾時，安全的考量絕大部分其權重皆遠重於效率。洲際二期的規劃佈置在既定投資預算下，希望能滿足極限化船舶的進出和靠泊，達到效益極大化。洲際二期的原規劃方案主要定位於滿足 15,000Teu 的貨櫃船進出需求。若水域碼頭佈置改變或服務船舶更趨大型，則在通航安全及船舶操控上必須審慎考量。

洲際二期碼頭計畫之施行，所應考慮的安全及其帶來的效益分別說明如下。

#### 3.5.1 安全

洲際二期計劃修定後的航道和堤口寬度設計佈置，必須足以保障船舶的操航安全。此外，VTS 必須提升交通管理的功能，準確掌握各船舶之動態，並根據各船舶所需佔用航道時間與泊靠碼頭位置，排定進出港口順序；協助護航的拖船更應盡早配合。

對船舶而言，為保障進出港口航行安全，需注意的重要事項包括：

1. 進港船舶保持準確的到港時間(ETA)。
2. 進出港口船舶主機保持正常運轉，因為進出港口時，各船一艘接一艘行進，各船均能保持正常運轉，對於所有船舶都安全。
3. 所有進出港口船舶確實遵守 VTS 所排定的進出港口順序。
4. 出港船舶應該在完成出港準備時，依 VTS 的排定順序，估計在適當時機離開碼頭，並完成調頭動作，以便在輪到出港時，可以立即動俾出港。
5. 無論進港船或出港船，在航行中務必與前面船舶保持安全距離，以免在緊急時，措手不及而發生危險。
6. 拖輪之協助護航，應以保持本船安全為考慮要件，切勿因為要節省拖輪費用而不用拖輪護航，將本船陷於危險環境之中。
7. 高雄港口防波堤附近之流水乃與進出港航道接近 90 度交角，即為橫流狀態，通過堤口時務必注意流水對於本船之影響。
8. 重載船舶必須注意龍骨下之餘裕水深，以免在狹窄航道中發生操縱困難之情事。

### 3.5.2 效益

南星洲際碼頭的建設完成將提供高雄港未來往南擴展之建設基地。高雄港未來將成為倫敦金屬交易中心(LME)遞交港，後續將成為非鐵金屬國際儲轉與發貨中心。藉由運輸結合產業，發揮自由港區效益，可帶來土地租金、管理費、港灣及棧埠相關收益及創造就業機會約 5000 人。吸引物流供應鏈產業進駐，除增加港口貨物轉儲能力，強化成為區域樞紐港地位。加入 LME 遞交港後，預計可額外增加 6.57 億元年產值、360 個就業機會及 4 萬 TEU 之貨運量。提供高雄港區投資業者更廣泛之基地選擇，配合高雄洲際二期貨櫃中心之啟動，促進相關產業之聚集、發揮貨櫃轉運與深層加工結合之加值效益。對於高雄港的營運及港口城市的發展具加乘的效益。

航道的規劃若能有安全、完善且有效的設計；VTS 能充分發揮交通組織與管理的功能，讓大型船舶都能安全且有效率的通行與灣靠，對於航商而言，可增進業務上的營運需求，高雄港亦能發揮最大的功能與效益。

## 4、真時操船模擬

航道之寬度、長度、水深與迴船池之範圍大小等規範大致確定之後，就要做真時操船模擬試驗，來驗證航道規劃之可行性。操船模擬試驗在國立台灣海洋大學之TRANSAS 操船模擬教室舉行。

#### 4.1 第一次操船模擬試驗

在 2011 年 5 月進行第一次洲際二期港區真實操船模擬試驗，採用之目標船型為 15000TEU 貨櫃輪，船長 400 公尺，船寬 51 公尺，吃水 15 公尺。操船環境條件為：風向北風與南風，風速 10m/s，潮流包括漲潮與落潮。操航次數為 86 次進港，16 次出港。全部操航之軌跡圖如下(圖 4-1)。

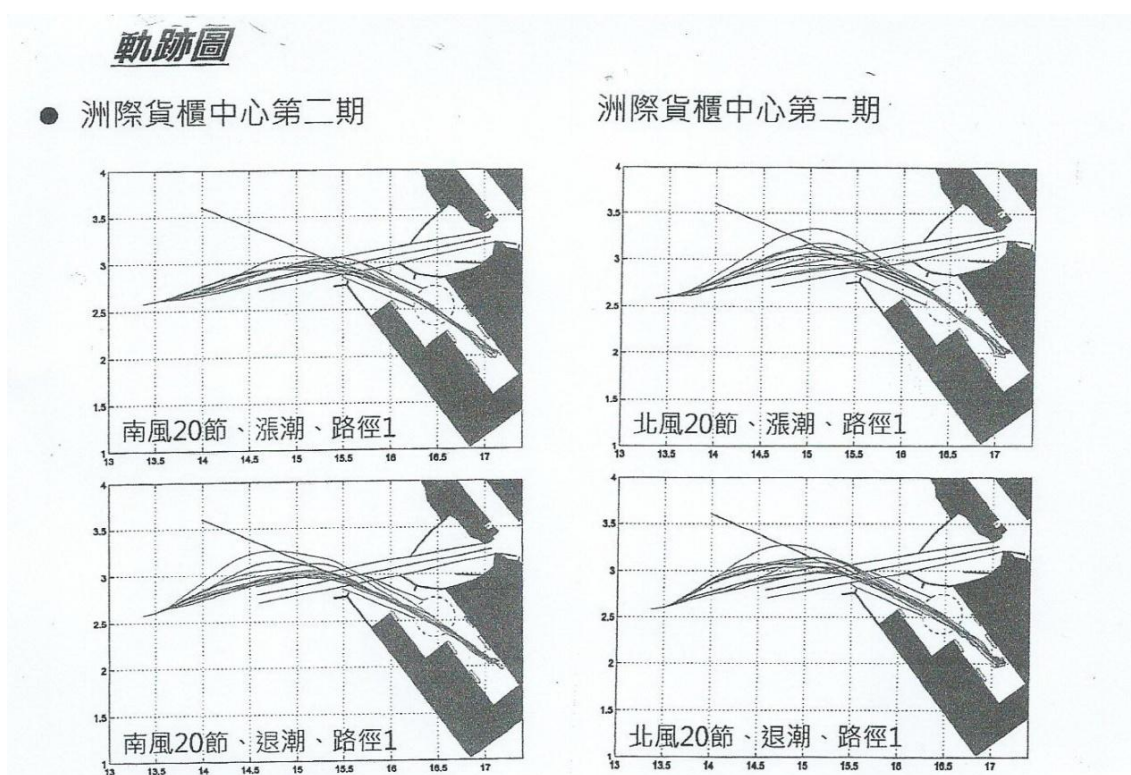


圖4-1 模擬操航之軌跡圖

本次操航試驗是在假定洲際二期港區外側無任何遮蔽防波堤之情況下進行，結果進港與出港總共 102 次，均屬安全成功之操航。初步認定洲際二期港區規劃之航道、迴船池與水深，對服務 15,000Teu 的貨櫃船而言，應屬恰當。

#### 4.2 第二次操船模擬試驗

##### 4.2.1 洲際二期港區外側設置遮蔽堤之設施



高雄港務分公司在 2011 年擘劃「高雄港 2040 主計劃」經綜合考量後，確定高雄港未來將往南開發。原訂在第二港口北方之洲際貨櫃中心決定不進行開發，影響所及為洲際二期港域將會失去遮蔽設施，因此，特定來自東北與西北方向之颱風波與湧浪，將會侵入洲際二期港域。為了確保洲際二期港域有較佳之船舶靠泊水域靜穩度，以及碼頭裝卸設施等不致受損，便規劃設計在洲際二期港區外側設置遮蔽設施。

原先規劃在洲際二期港域外側設置遮蔽設施為設計人工島，該設計具有多重功能，包括對於洲際二期港域有遮蔽及擋浪效果，又可對於旗津海岸有保護作用減低浪湧侵蝕，在建造期間可以接受安定型廢棄物之填埋，進行環保署推動之「推動安定廢棄物填海造島計畫」，完成後有觀光休憩之功用。後來因為某些特殊原因，停止了人工島的計畫。

經過設計更改之後，決定在洲際二期港域外側設置能夠遮蔽北向波浪之防波堤。經過港域靜穩度數值模擬以及水工模型試驗結果，初步決定興建 475 公尺離岸防波堤，最具經濟效益。

#### 4.2.2 第二次操船模擬試驗

當高雄港務分公司將設計之洲際二期港域外側設置遮蔽波浪之防波堤配置圖(見圖 4-2)提供給引水人閱覽，並徵詢相關意見。引水人強烈質疑該設計之擋浪防波堤，會是影響進出港口之障礙物。高雄港務分公司便決定再做一次操船模擬試驗，亦即第二次操船模擬試驗。



圖4-2 洲際二期港域外側設置遮蔽波浪之防波堤配置圖

2014年11月2日至12月2日為期1個月，在國立台灣海洋大學之操船模擬教室舉行第二次操船模擬試驗。

採用之目標船型為18000TEU貨櫃輪，船長400公尺，船寬59公尺，吃水16公尺。操船環境條件為：風向北風與南風，風速13.9m/s，潮流包括漲潮與落潮。操航次數為洲際二期港域47次進港。全部操航之軌跡圖如下(圖4-3)。在全部47次進港操船模擬試驗中，共有成功39次，失敗8次(見圖4-4)。從操船模擬之結果來看，其失敗率為17%；若以淨原始40次計，失敗率為20%，實屬偏高。對進靠洲際一期第六貨櫃中心11次的模擬試驗中，總計11次，失敗3次，失敗率27%；若以淨原始10次計，失敗率為30%，關鍵點在於通過信號台狹窄隘口因素及未能安全制止船舶停船。

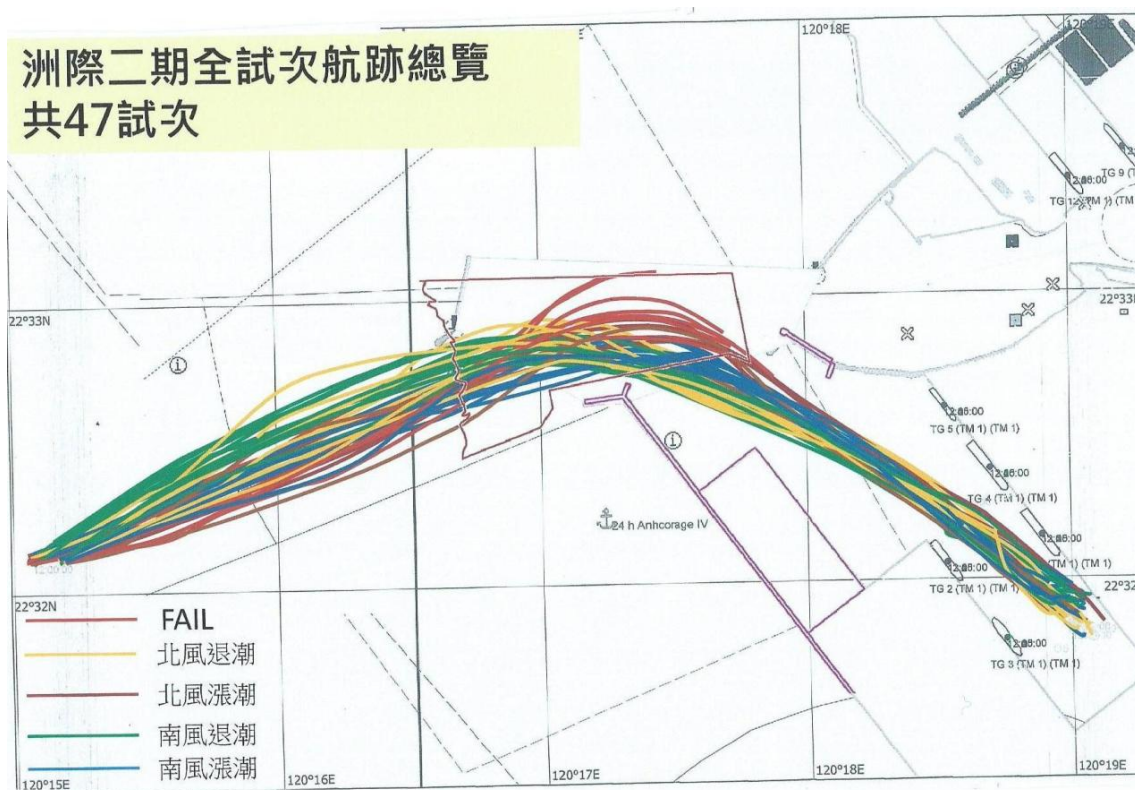


圖4-3 洲際二期港域47次進港之軌跡圖

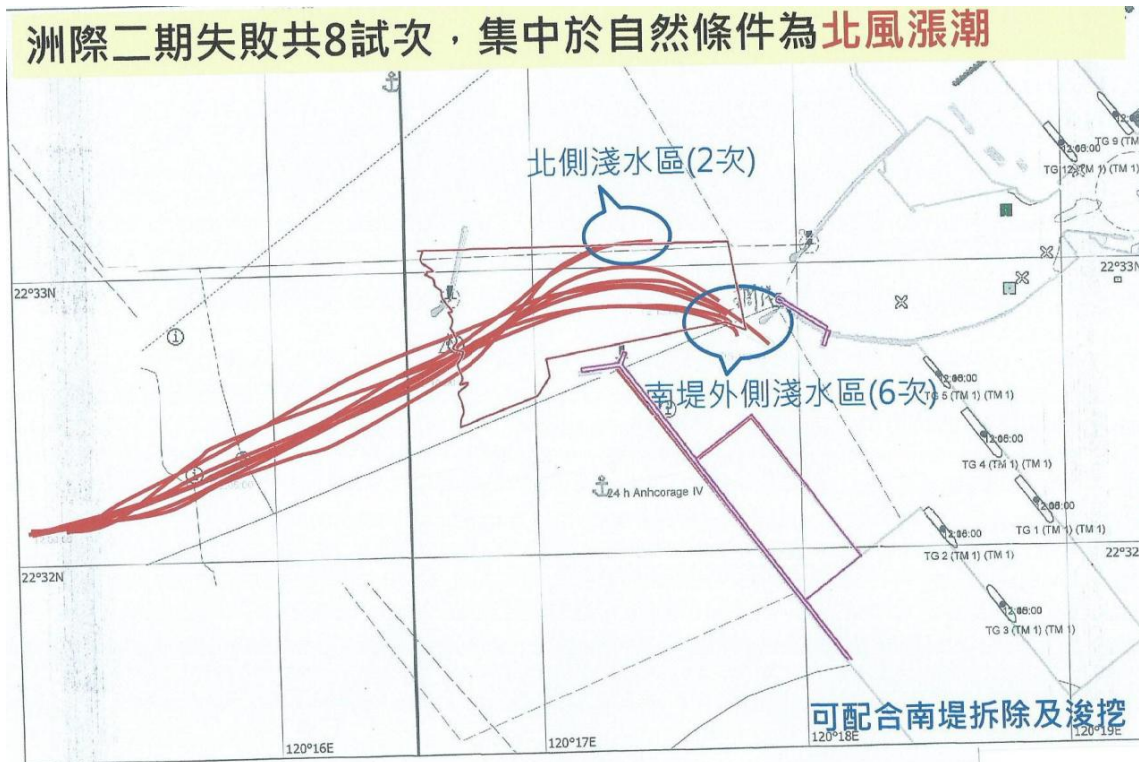


圖4- 4操船模擬失敗8次

檢討失敗之原因：

1. 天氣之條件嚴苛，風力為 13.9m/s 約為 7 級風。
2. 洲際二期港域外側設置之遮蔽波浪之防波堤，對於操船進港造成心理壓力，為一大障礙。當大船嘗試用大俾與大舵角通過擋浪堤時，立即要做向右轉向進入洲際二期港區，多次因為前進距太大與橫距不足而發生擱淺。
3. 設定之風向為北風與南風對於進港船而言，是為橫風。對於大型貨櫃船在操航進港時，一直有向上風偏轉傾向，必須用大俾大舵修正，修正不及就可能擱淺，即使沒發生擱淺，也可能減速不及。
4. 大型貨櫃船進入洲際二期港區外堤之速度平均高達 10 節，航道長度為 2000 公尺，以大船之巨大排水量，加上 10 節速度，其動量相當大，如果按實船正常之操船程序，將可能因船速較快而打不出倒車，或者倒俾打出來卻無法及時停船。

#### 4.2.3 擬進行之第三次操船模擬試驗

2014 年 12 月 10 日針對第二次操船模擬試驗之結果做檢討，認為洲際二期港域外側設置之遮蔽湧浪之防波堤，對於操船進港實為一大障礙。然而擋浪堤對於洲際二期港域遮蔽湧浪之需求實在有其必要性，因此經過研究討論與數值模擬實驗，決定將擋浪堤向西北方向外移，並將航道加寬為 500 公尺，再做一次操船模擬試驗，是為第三次操船模擬試驗。

第三次操船模擬試驗所採用之目標船型為 18000TEU 貨櫃輪，船長 400 公尺，船寬 59 公尺，吃水 16 公尺。操船環境條件為：風向北風與南風，風速 10m/s，潮流包括漲潮與落潮。操航次數為洲際二期港域 40 次進港，10 次出港；另外第六貨櫃中心也排定操航進港 20 次。第三次操船模擬試驗之港域配置圖(如圖 4-5) 操航實驗日期尚未排定。

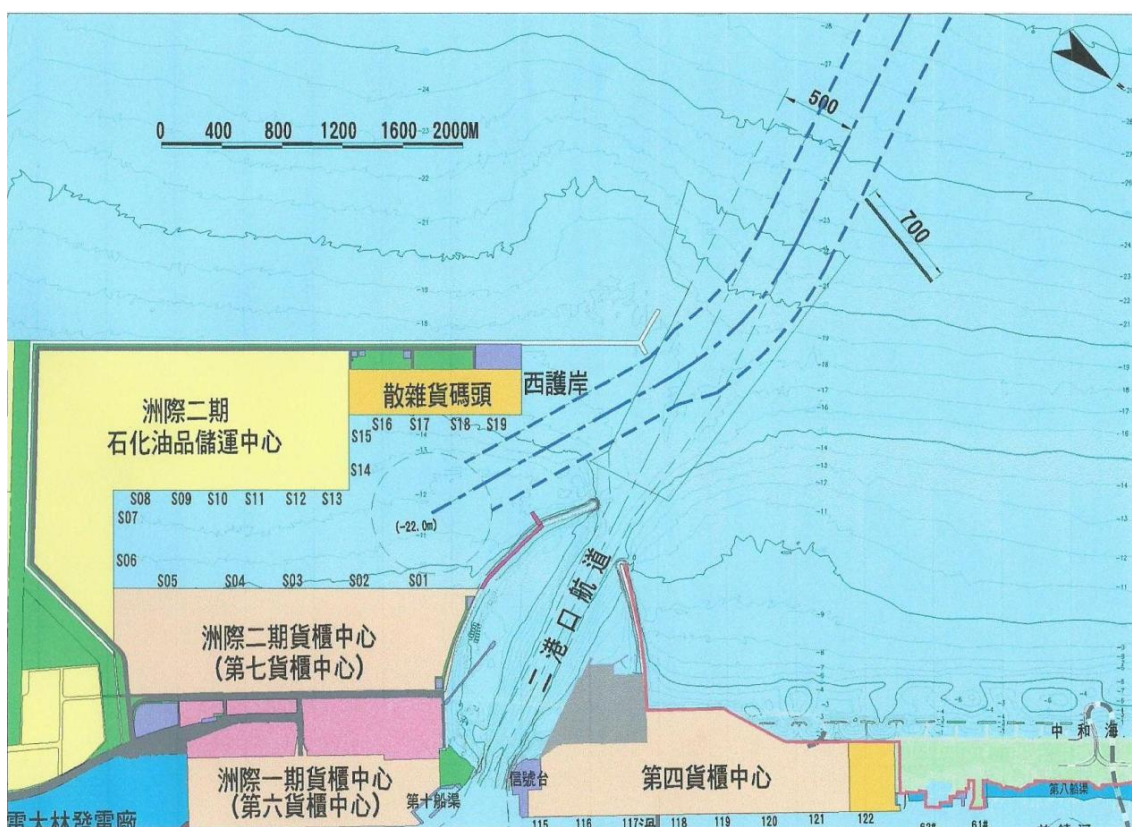


圖 4-5 第三次操船模擬試驗之港域配置圖

### 4.3 風險評估

風險是事故發生的概率與後果嚴重性的組合，高雄港洲際碼頭的規劃與航道設計佈置，隨著服務船舶型式的不同規格，其風險的評估自有不同程度的考量。

洲際一期第六貨櫃中心在既有港口條件下，原規劃為服務 13,000Teu 的貨櫃船，在理論與實務操作上均為可行。洲際二期的原規劃為服務大型散裝船、油化品船及 15,000Teu 的貨櫃船，在尚未將雙堤口單向進出的交通組織與管理的效能因素納入考慮下，經操船模擬試驗結果(如 4.2.1 節所述)顯示為安全可行度高。

若服務船舶擴大為 18,000Teu，僅從操船模擬試驗的結果顯示，無論洲際一期或二期，兩者失敗率頗高，風險發生概率高，屬高風險的範疇。洲際一期由於信號台前隘口因素，改善空間有限。洲際二期則必須對堤口、航行巷道、航道長度及遮蔽區予以改善，或限制風力和流速影響。對大型重載船舶而言，任何風險事件的發生，所產生的災害損失將至為鉅大。

## 五、結語

港口在整個運輸系統中佔重要地位，隨著船舶大型化、貨櫃船大型化，加強港口建設，擴大港口規模是目前港口發展的重要方向。規劃和設計港口、航道時，必須考量地理環境條件，分析航運經濟，航運市場變化趨勢及未來船型發展與極限操作條件(Limiting Operation Conditions)。高雄港為提升競爭力，並在全球海運市場持續扮演貨櫃轉運樞紐港的角色。自 2004 年起推動洲際貨櫃中心第一期計畫，建造 4 座深水貨櫃碼頭，可供 13,000TEU 新式大型貨櫃船靠泊。2011 年 3 月通過「高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫」案，期望持續建設高雄港，朝向全球現代化之貨櫃中心及物流基地邁進，並確保亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位。

洲際二期港域部分業已定案，其服務船舶型式規格的大小，對進出港口的航道規範亦有所不同。對於目前洲際二期設計的進出港航道寬度、長度、水深與迴船池等，經參考比較各種港灣設計資料，大致尚能符合規範要求。唯因港域之開口朝向西北西方向，必須在港域外側設一座遮蔽湧浪之擋浪堤，以保障較佳之靠泊水域靜穩度，以及碼頭裝卸設施等不致受損。擋浪堤之設置對於使用進出港口航道之船舶，航行通過時將會產生心理壓力，對於航行安全將造成影響。現階段只有改善修正擋浪堤位置，並利用操船模擬試驗以獲取驗證。期望未來定案之擋浪堤不但對於港域之靜穩度有所助益，對操船航行亦無阻礙。文中的真實操船模擬資料可提供參考。

巨型貨櫃船受風、流壓影響頗大，在受限的水域航行與靠泊作業，有必要訂定安全作業規範。港務公司必須準備足夠馬力與數量之拖輪，滿足巨型貨櫃輪與大型石化液體散裝船使用，且必須盡早到堤口外協助護航。二期規劃對港口整體的交通流勢必造成影響，港口 VTS 對於整體的進出港口的交通流管制與排序亦需謹慎訂定規則，以維護航行安全與港埠效率。

## 參考文獻

1. 于汝民主編，「港口規劃與布置」，人民交通出版社，2003.9.
2. 湯麟武主編，「港灣及海域工程」，科技圖書公司，2001.9.
3. 吳兆麟、朱軍編著，「海上交通工程」，大連海事大學出版社，2006.1.
4. IALA NAVGUIDE/國際航標協會助航指南，人民出版社 2003.2.
5. IALA VTS Manual/2002
6. "高雄港水域航路錨區及船舶航行規則之研究"，高雄港務局委託研究報告.2001.3
7. 徐國裕，葛蕙銀，"最適化貨櫃船之探討"，中國航海技術研究會. 2002.9.
8. 葛蕙銀，"越太平洋最適貨櫃船型之研究"，高雄第一科大運籌管理系碩士論文，2005.1
9. 徐國裕，「船舶操縱理論與實務」，五南圖書公司出版，2011.3.二版.
10. 徐國裕，郭塗城，吳兆麟. "單向水道船舶進出港最適化排序模式".大連海事大學學報，VOL34(4)，2008.11.
11. 高雄港洲際貨櫃中心計劃檢討及第二期工程先期規劃作業報告書，宇泰工程顧問公司. 2009.11.
12. 擬定高雄市南星計畫區細部計畫書，高雄市政府，2013.6.
13. 中國交通部「港口工程技術規範」，北京，人民交通出版社，1987.
14. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準修訂」，2005
15. 交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準增補研究」，2007
16. 日本港灣協會「港灣の施設の技術上の基準 同解説」，平成十一年(1999)
17. 「Port Design」，Thoresen, 1988
18. 「Port Engineering」，Bruun, 1989
19. 「Approach Channels Preliminary Guidelines」，PIANC, IAPH, IMPA, IALA, 1995
20. 「Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan」  
OCDI，2002.