

## 航路系統規劃之因素與程序<sup>▲</sup>

### Factors and Procedures of Designing a ship Routeing System

林彬 Bin LIN<sup>\*</sup>

#### 摘要

1967 年世界第一個分道通航制在多佛海峽開始實施後，大幅減少該海域船舶碰撞及擱淺事故的發生頻率，因此，各國紛紛在繁忙的水道及港口附近建立航路系統。為確保船舶航路能改善航行安全，國際海事組織制定「船舶航路」，對航路系統的規劃目標與設計基準作了標準規範。本研究乃參考該規定及相關論文，分析航路系統在規劃上必須考慮之相關因素，並介紹層級分析法在制定其規劃步驟之用途。本文以高雄港規劃航道系統作為案例，提供各海域作為設計航路系統之參考，期使能有效地提升附近水域的航行安全。

關鍵字：分道通航制；航行安全；海上交通流；層級分析法

#### Abstract

The frequency of ship collision and grounding has been largely decreased in Dover strait after the first Traffic separation scheme (TSS) in the world used in 1967. Therefore, a number of routing systems have been established within congested traffic waters and ports in many countries. For effectively improving navigational safety International Maritime Organization (IMO) issued Ships' Routeing to announce the standards of objectives and design criteria for any routeing system. In this study, in accordance with the standards and some reference papers, the relevant factors being considered were analyzed, and then Analytic Hierarchy Process (AHP)

<sup>▲</sup> 本文轉載自 2013 年 11 月 14 日到 16 日在武漢理工大學航運學院舉行之「第四屆海峽兩岸海洋工程和航海技術研討會」論文集(P.51~57)

<sup>\*</sup> 國立海洋大學商船學系講座教授，基隆市北寧路 2 號，E-mail: blin@mail.ntou.edu.tw

method was introduced to establish procedures for design of routeing system. The system designed in Kaohsiung as a case study, may provide for any waters and port approaches being established routeing system to improve navigational safety significantly.

**Keywords:** traffic separation scheme, navigational safety, marine traffic flow, analytic hierarchy process

## 一、前言

在航行自由的理念下，只要有足夠的水深，任何方向船舶都可以航行前進。船舶的航線是由每位船長自行設定，每位船長都有其自我的考量因素，縱使是相同的出發港及目的港，鮮少有兩位船長會設定完全一樣的航線。由於不同航向與航速的船舶分佈於水面各處，兩船相遇時，會造成多種交會的現象，當彼此之間的相對方位變化不大，而距離愈來愈近，就產生碰撞危機。在固定的水域中，船舶碰撞次數與船舶密度之平方成正比[1]，換言之，航行船舶數量愈多，碰撞的機率愈大。

國際海上避碰規則是船舶航行與採取避讓措施的準則，可是任何法規都只是原則性之規定，碰撞危機之化解必須靠航行員的應變能力，在最短時間內做出最正確的判斷，並採取最適當的避讓行動。所謂應變能力是指航海人員的學識、經驗與技術之合成，其中任何一項的缺失都可能減損避讓行動的成效，甚至最終還是無法避免碰撞之發生。船舶往來頻繁且航向複雜的海域內船舶會遇的機率增加，尤其能見度不良時，發生人為疏失造成碰撞的機率相對提高，也最容易發生碰撞事故，碰撞次數又以兩船迎艏正遇或幾乎迎艏正遇所佔的比例最大[2]。

1960年代，西歐的英吉利海峽、多佛海峽及北海南側海域是全世界船舶碰撞次數最高的海域[2]。1961年英國、比利時、法國及德國的航海學會共組研究團隊，在多佛海峽規劃分道通航，1966年完成，1968年經政府間海事諮詢組織(IMCO，國際海事組織IMO的前身)通過[3]。實施後，該分道通航海域內迎艏正遇的船舶碰撞次數從1957-1961年間之110次，降至1972-1976年間之17次[4]。見此成效，於是各海難頻傳、交通流繁忙、船舶密度大、寬度狹窄、淺灘密布及港口附近海域均紛紛設置航路系統，藉此提升航行安全，降低海難事故[5]。依據1999年IMO所發行的「船舶航路(Ship's Routeing)」，當時全球即已有169個水域設置航路系統[6]，由此可見，航路系統確實能增加船舶航行的安全與效率，其成效已為各國政府所肯定，且是重要的施行方向。

## 二、船舶航路之相關規定

有鑑於航路設置逐漸普遍，打破了航行自由的觀念，必須先釐清設置航路之法源。IMO為避免船舶任意違規而違背航路設置之目的，決定賦予航路的強制力，乃於1972年國際海上避碰規則(COLREG)的第10條，強制規範所有船舶在分道通航制(Traffic Separation Schemes, TSS)之航行原則[7]。接著，1974年海上人命安全國際公約(SOLAS)第5章第10條規定：為增進海上人命安全、增加航行效率、保護海洋環境，各國依據IMO發行的「船舶航路」(Ship's Routing)制定航路系統，建議得強制要求所有船舶或裝載特定貨物之船舶依規定航行[8]。1982年聯合國海洋法公約(UNCLOS)第22條中規定沿海國對領海內分道通航制管理上之權利與義務；第41條亦賦予海峽沿海國制定航路及規定分道通航制之權利與義務[9]。

### 2.1 1982 年聯合國海洋法公約

1982 年聯合國海洋法公約是聯合國大會通過之國際公約，法律地位高居於 IMO 制定之各項國際公約。該公約第 22 條規定沿海國為考慮航行安全，有權利在領海設置航路及分道通航制，並要求無害通過的外國船舶依規定航行，並對於具有危險或運載有毒物質的船舶，包括油輪、核子動力船舶與載運核子物質或原料，可特別要求只准在上述航路通過。可是該規定亦考慮到沿海國大量設置航路，將過度影響船長的航行自由權，因此，也要求沿海國在指定航路及分道通航制時，應考慮到：

- (1) 主管國際組織的建議；
- (2) 習慣上用於國際航行的水道；
- (3) 特定船舶和水道的特殊性質；
- (4) 船舶來往的頻繁程度。

至於船舶常通行之海峽，海峽沿岸國亦可於必要時指定航路及規定分道通航制，以促進船舶的安全通過。但依據該公約第 41 條規定海峽沿岸國應先將提議提交主管國際組織，得到採納後，海峽沿岸國才可對這些航路及分道通航制予以規定。如果所提議的航路或分道通航制穿過該海峽兩個或兩個以上沿岸國的水域，有關各國應同主管國際組織協商，合作擬訂提議，而非單一海峽沿岸國可以單獨提出。此條款所規定之主管國際組織意指 IMO。不論第 22 條或 41 條均指定航路及分道通航制的沿海國或海峽沿岸國應在海圖上清楚地標出其所指定或規定的一切航路及分道通航制，並應將該海圖妥為公布。

## 2.2 1974 年海上人命安全國際公約

1974 年 SOLAS 第五章航行安全制定時，雖已體認航路設定對航行安全的重要性，但又需顧慮各海域廣泛設至又會增加對航行自由的限制，因此，規定設置航路之目的是為了在船舶匯集地區防止穿越指定水域、船舶或某種類型船舶應避離之水域、防止不安全情況等，確實有助於航行安全，建議有關之所有船舶予以採納。並明確告知 IMO 是唯一的國際機構，得以設立或採納有關航路的國際基準辦法。

航路之選擇及其有關措施與如何劃分匯集水域，為各有關政府之主要責任，各有關政府對於在國際水域上之航路發展計畫希望 IMO 採納者，應適當依據 IMO 所刊行之有關資料設置，換言之，必須參考 IMO 的「船舶航路」作為規劃準則。航路一旦經 IMO 採納，該國政府應利用其影響力以確保所採納之航路能適當的使用，並在其權力範圍內採取各種措施，以確認其規定得以執行。

## 2.3 1972 年國際海上避碰規則

依據 IMO「船舶航路」之設計方式，航路系統是由多種不同型態的航路組成，包括：分道通航制度、雙向航路(Two-way Route)、近岸航行區(Inshore Traffic Zones)、深水航路(Deep-water Route)、建議航線(Recommended Track)等，其中以分道通航制的功能最為顯著，也是各海域使用的最多。因此，配合西歐的英吉利海峽、多佛海峽及北海南側海域所設置的分道通航制在 1972 年成為強制要求航行船舶遵守，並在制定國際海上避碰規則時，加入第 10 條之規定。

分道通航制是參考道路分隔島之設計，利用分隔區的設計，將航道分成兩個相鄰但方向相反的航行巷道，所有船舶依照巷道指示方向航行，禁止巷道內通行船舶跨越隔離區與對面船舶相向而行，使迎艏正遇的情形無法存在，以減少船舶相互碰撞之危險。分隔區可以緩衝船舶的越界行為，也可以作為緊急避讓的處所。在一些特殊海域內，可供航行的範圍太過狹隘，為提供足夠寬度的巷道，分隔區只好改用分隔線來替代，但其意義相同。巷道內的水深經過仔細測量，船舶只要確認船位在正確的巷道中航行，即可遠離危險區，避免擱淺。因此，只要是在沿海國所設定之分道通航海域內航行的所有船舶都必須遵守國際避碰規則之規定航行，巷道內船舶航向變得單純化，相互之間僅有追越與被追越的關係，或與橫越巷道的船舶成垂直橫向交叉，減少不同航向的會遇機率，防止碰撞。

### 三、航路系統在設計上需考慮之因素

從法律地位分析，航路系統之選擇與發展是有關政府之主要責任，沿海國指定航路必須針對航行安全上有其必要性，可對所有船舶或特定類別之船舶規定航路，換言之，所轄海域若因海上交通流量過大或地理環境與天候水文的特殊情形致使航行船舶之安全有所顧慮時，沿海國即應負責指定航路。沿海國所指定之航路系統係在該國領海之外，該國政府必須與國際海事組織諮商，經由 IMO 採納或修改後才可供國際使用。若航路系統在該國領海之內，也應依據 IMO 的「船舶航路」作為標準設計後供其採納，或該國自行向航海人員公布，並保證在海圖與航海刊物上明白指出該設計所採用之規則。

#### 3.1 船舶航路之設計準則

IMO 出刊「船舶航路」的目的是在船舶匯集而交通密度很大，或因水域受限需限制船舶自由航行，或太多障礙及水深受限等水域，增進航行安全，也因減少碰撞及擱淺事故，進而降低船舶受損產生的海洋污染。依據「船舶航路」建議分道通航制應符合設計準則之主要項目如下[6]：

- (1) 分道通航制之規劃，應以能達成航行安全之範圍為限。
- (2) 航行巷道之設計，應利用當地之水深及可安全航行之水域，並考慮該水域範圍內最大水深。巷道之寬度應考慮船舶密度、水域使用情形及有效水域範圍等問題。
- (3) 當水域足夠時，對兩個反向巷道之隔離及近岸航行區之隔離，應儘量使用隔離區而不用分隔線。
- (4) 在分道通航制範圍內，日、夜皆能隨時以目測、雷達方位與距離及無線電測向方位等來測定船位。
- (5) 航行巷道隔離區之最小寬度應與船位測定所用方法之精確度有關，而其定位設備之性能應能符合 IMO 所規定之設備性能標準。
- (6) 如屬可行，隔離區之寬度至少應為定位方法所產生之標準誤差橫向分量(沿著隔離區之橫向測量)之三倍。當必要且實際可行時，應提供更多之分隔空間，期使相反航向船舶能及早確認其在正確之一側通過。
- (7) 若對船舶正確定位之能力有所質疑時，或對分隔線或隔離區所在位置混淆時，

應確切考慮設置足夠之助航浮標。

### 3.2 航路系統相關因素

配合上述主要準則，並從文獻資料分析，沿海國設計航路系統應考慮因素可歸納如下：

#### (1) 水域範圍

強制性的航路系統必須確實是為了增進航行安全，保護海洋環境，否則即應加以限制，因此，分道通航制之規劃，應以能達成航行安全之範圍為限。在現制範圍內，為維護航行安全，航路在設計上應保有安全餘裕(Safety Buffer)[10]。所謂安全餘裕是指為求船舶安全，除操船所需空間外，再額外規劃的空間，依照可供規劃水域、交通容量及錨泊容量而定。各水域之船舶碰撞危機受可運轉空間的影響最大，因此，安全餘裕也可視為水域安全性的一個指標。在航向交錯而空間充裕之水域，其規劃的重點在於將交叉會遇及正遇之交通流予以分隔，採取保守的寬度及寬闊的分隔區作為安全餘裕。至於受限制水域就必須善用安全餘裕的理論，並顧及各種水域在用途上之空間需求。

在設計及規劃分道通航制時，扣除礙航、禁航及保護等等不可航行之水域即是可供規劃之範圍。以分道通航制而言，安全餘裕可用分隔區之方式為之，也可增加航道寬度作為安全餘裕之考量[3]。

- 分隔區寬度：分隔區設立之主要目的在有效地分隔對向交通流，禁止船舶在分隔區內航行，並作為船舶運轉及定位誤差之緩衝區，故該區即為安全餘裕。分隔區的劃定是基於安全性的考量，然該水域不用於航行而將使整個規劃水域的交通容量及使用效率降低，因此，分隔區之規劃必須非常謹慎。影響分隔區寬度之變數包括：定位系統之精確度、水流及風壓因素等。在有限水域以浮標系統供船舶定位可將分隔區的寬度減至最低；流水及風壓等會造成船位偏移等不利現象。
- 航行巷道寬度：航道寬度在設計上必須考慮船舶行為之空間需求，船舶行為係指操船者在當前環境下，結合個人之操船行為及船舶操縱性能所展現之結果[11]。此外，亦應考慮定位系統之精確度及流水與風壓對船位之偏移效應。目前世界許多水域實施船舶交通服務(Vessel Traffic Services, VTS)，由岸上人員利用雷達監測船舶航行，對於不當航行能適時發出警訊，可減少船舶偏離航道之危機，有助於狹窄航道設計[12]。

## (2) 水文資料

設計分道通航制的航行巷道或深水航路必須經過審慎之測量[13]，在海圖上顯示正確之水深。指定航路系統是沿海國之權利，規定船舶必須在適當的航行巷道內航行，另一方面沿海國也有義務，海圖上顯示之水深必須經過嚴格測量，一但船舶因海圖水深錯誤而非航行過失，引致在航行巷道或深水航路內擱淺，沿海國必須負擔賠償責任。

## (3) 海難事故

海難事故為航行危機所呈現之結果，藉由海難分析，可以確認危險海域之所在，以及造成航行危機之原因。尤其碰撞事故資料分析，將與航路設計或修正有直接的航路[2]。海難資料主要包括：事故時間、位置、能見度、天氣及水文、船舶航向及船速、雷達使用狀況、避讓行為等。

## (4) 助航定位設施

航路水域必須提供足夠及準確的定位系統，能使船舶能隨時測定船位，以確認船舶在正確的水域內航行。利用助航浮標能提供較佳的定位能力，尤其水域狹窄處，在航路邊界設置足夠數量的浮標，航行員以目視或雷達即能認船舶是否在正確的航路內。若以燈塔作為測定船位的方式，則分隔區及航行巷道的寬度必須增加，只適用在可航空間寬廣的水域。

## (5) 交通流與密度

航路指定的交通流向應與經由調查的現有交通流儘量相近。交通流調查可透過岸際雷達觀測、模擬試驗[12]、船舶自動識別系統(AIS)觀測等方式蒐集船舶動態資料加以繪製，此資料亦可整理成船舶密度分布，與碰撞事故資料進行比對，分析船舶航行發生碰撞危機之可能範圍。

## (6) 實用性

建置之航路若偏離船舶航行習慣，將造成部分船舶無法正確或違規使用，反倒增加航路內船舶的航行危機。為求所建置之航路確實可行，沿海國自設計時應先利用訪談或問卷調查與下列人員或部門諮商[6]：

- 使用該海域之航海人員；

- 負責助航設施，海道測量及航海刊物之主管機關；
- 港口主管機關；
- 如有必要，也應與漁業、近岸探勘或開發及環境保護之有關組織諮商。

### 3.3 層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)之應用

各海域的地理環境、水文、氣候及交通流等因素均不相同，不能將他處使用的航道系統全部照用，而且各項因素對航行安全的影響程度也不盡相同，要在多種設計方案中找出最佳的方案，必須經過合理的評選，層級分析法就是一項適當的工具。

層級分析法為 Saaty 於 1971 年所發展之一套決策方法[14]，先針對所要解決的問題進行分析，找出影響因素，建立層級關係架構，而後進行因素間相互比較的問卷調查，將調查結果以因素的相對重要性建立成對的比較矩陣，計算出矩陣的特徵值與特徵向量，並進行一致性檢定，若通過檢定，即可確認各個因素的權重。再將因素的權重帶入各方案中，即可以求得各方案的優先順序。

## 四、航路設計案例 - 高雄港

高雄港是台灣第一大國際商港，位於台灣西南海岸，形勢天成，航線遍佈全世界，曾是世界第三大貨櫃港，船舶航線暢通。交通部「交通統計月報」顯示[15]，高雄港2012年之全年進港及出港商船合計34,503艘，總噸位762,807，平均每日有近百艘船舶在高雄港進出。高雄港有一港口及二港口兩入口，兩個港口之間相距約五浬，其間的外海是錨泊區。

### 4.1 高雄港航行相關因素

#### (1) 水域範圍

高雄港外為平直的海岸，海域寬廣，有一港口及二港口兩入口，兩個港口之間相距約五浬，其間的外海是錨泊區。海岸為東南走向，地勢低而平坦，海岸地形變化規則，等深線約與海岸平行。一港口水深 11 公尺，防波堤間航道寬度約 500 公尺，可通行三萬噸級船舶；二港口水深 16 公尺，航道寬度亦約 500 公尺，可通行十萬噸級船舶。

#### (2) 水文資料



高雄地區全年平均風速為 2.6 公尺/秒，每月平均風速相差不大，大約介於於 2.3~2.9 公尺/秒之間。每年的六至十月屬颱風期，平均風速較強。五月至九月為高雄地區的雨季，且其平均每月皆有 9 天以上的降水日，雨量集中約佔全年降水量之 85% 以上。高雄港天氣能見度通常有 4 浬以上，在近岸水域因受陸上空氣品質影響，有時能見度僅 1.14 浬，但整體而言，港外航行水域之肉眼視程很少低於 2 浬。高雄地區的霧日並不多，平均每年約 5 至 6 日，因此，能見度對高雄港的航行影響並不大。高雄港附近海域之海流流向以西北-東南向為主，最大實測流速受大潮及颱風影響可達 117 公分/秒(約 2.27 節)，平均流速約在 15~22 公分/秒(約 0.29~0.43 節)間。

### (3) 海難事故

1991 至 1999 年商船在高雄港內水域所發生之海上交通事故佔所有船舶之 84.1%，漁船次之，只佔 8.7%，其他船舶佔 7.2%。在港外水域部份，商船及漁船所發生之海上交通事故分佔 34.8% 及 56.2%，其中，漁船之擱淺及觸礁事故所佔之比例最高，為 33.7%，共發生 30 件。而商、漁船之碰撞事故各發生 21 件及 20 件

### (4) 助航定位設施

高雄附近水域可利用全球定位系統(GPS)定位，助航設施主要有高雄燈塔一座，位於一港口旗后山山頂，燈光見距 25.2 浬。另外，高雄二港口北防波堤燈杆，位於二港口北防波堤末端，見距 13.1 浬。

### (5) 交通流與密度

2000 年 8 月 29 至 31 日以雷達進行海上交通觀測，觀測時間總計連續 80 小時。觀測航跡：一港口進港 39 艘、出港 44 艘；二港口進港 52 艘，出港 74 艘；錨泊船舶 54 艘。船舶回跡資料直接傳送至電腦儲存，資料包括時間、船舶位置經緯度、船速、航向等。事後，再應用 Excel 軟體進行資料整理與分析，另外使用地理資訊系統(GIS)軟體繪製航跡圖表，如圖 1 所示。再由航跡計算交通流、船舶密度、船舶會遇機率(圖 2)。

### (6) 實用性

規畫分道通航制之前，先向使用高雄港附近水域之航海人員徵詢意見，針對引水人、船長、大副、船副，調查其進出高雄港的經驗設計一份問卷調查表，利用問卷調查方式，確實了解高雄港附近海域航行上之安全需求。

## 4.2 高雄港航道系統(圖 3)

針對上述因素，設計出四種高雄港支航道系統方案，再利用層級分析法求解出最佳方案如下：

### (1) 一港口及二港口

考慮水域範圍及錨地空間，防波堤處設計雙向航道(Two-way route)，可供船舶進港及出港，但因防波堤口航道狹窄，由 VTS 執行單行管制，同一時間內僅允須單方向的航行。雙向航道往西則為分道通航制，寬度逐漸加大，延伸至船舶會遇區外。因水域空間有限，中間以分隔線區隔進港及出港交通流。為能有效區隔交通流，分隔線之西端增設浮標，亦提供船舶定位之用。

### (2) 西側分道通航制

考慮進出一港口或二港口的船舶形成兩股迎艙對遇的交通流，乃在錨區外側設計東南-西北走向之分道航行，又因距離高雄港燈塔約 5-6 浬，考慮定位準確度、會遇機率、航行習慣，因此，設計航行巷道寬度 0.8 浬，長度 3 浬，分隔區寬度 0.5 浬。

## 五、結論

為增進海上交通安全，在可航空間受限、交通繁忙、航線複雜等危險水域設置航道系統，已是沿海國發展海運之趨勢。可是設計航道系統所需考慮的因素必須依據 IMO 「船舶航路」的規範，而非僅以幾位專家之經驗及知識在海圖上畫出航道這麼簡單。多佛海峽在四個國家合作下，花費 5 年時間設計的航道，50 年後仍能運作順利，可見當初思考之嚴密謹慎。設計不當的航道除易造成違規航行船舶外，也危及航道中正常航行船舶之安全。高雄港分析各項因素後，經由層級分析法評選出所設計之航道系統，使用至今，得到船長及航商等使用者的贊同，確實增加航行安全及效率。

## 參考文獻

- [1] Fukushima, H., 1976, Factors Contributing to Marine Casualties, Journal of Navigation, 29(1), 135-140.
- [2] Cockcroft, A.N., 1982, The Circumstances of Sea Collisions, Journal of Navigation, 35(1), 100-112.

- [3] Cockcroft, A.N., 1981, Routing in the English Channel, *Journal of Navigation*, 34(3), 392-413.
- [4] Cockcroft, A.N., 1978, Statistics of Ship Collisions, *Journal of Navigation*, 31(2), 213-218.
- [5] Beattie, J.H., 1978, Routing at Sea 1957-1977, *Journal of Navigation*, 31(2), 167-201.
- [6] International Maritime Organization, 1999, *Ships' Routeing*, London.
- [7] International Maritime Organization, 2007, *International Regulations for Preventing Collisions at sea, 1972*, London.
- [8] International Maritime Organization, 2008, *Safety of Life at Sea, 1974*, London.
- [9] United Nations, 1994, *Convention on the Law of the Sea, 1982*.
- [10] 徐國裕, 2011, 船舶操縱, 五南圖書出版公司, 台北。
- [11] Goodwin, E.M., 1975, A Statistical Study of Ship Domain, *Journal of Navigation*, 28(4), 328-341.
- [12] 林彬、黃義恩, 1996, 港口水域內航行空間規劃之研究, *海運學報*, 國立台灣海洋大學, 第4期, 1-16。
- [13] International Hydrographic Organization, 2008, *IHO Standards for Hydrographic Surveys – Classification criteria for deep sea soundings – Procedures for elimination of doubtful data*, Monaco.
- [14] Saaty, T. L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- [15] 交通部, 2013, 交通統計月報, <http://www.motc.gov.tw> (2013 08 03)

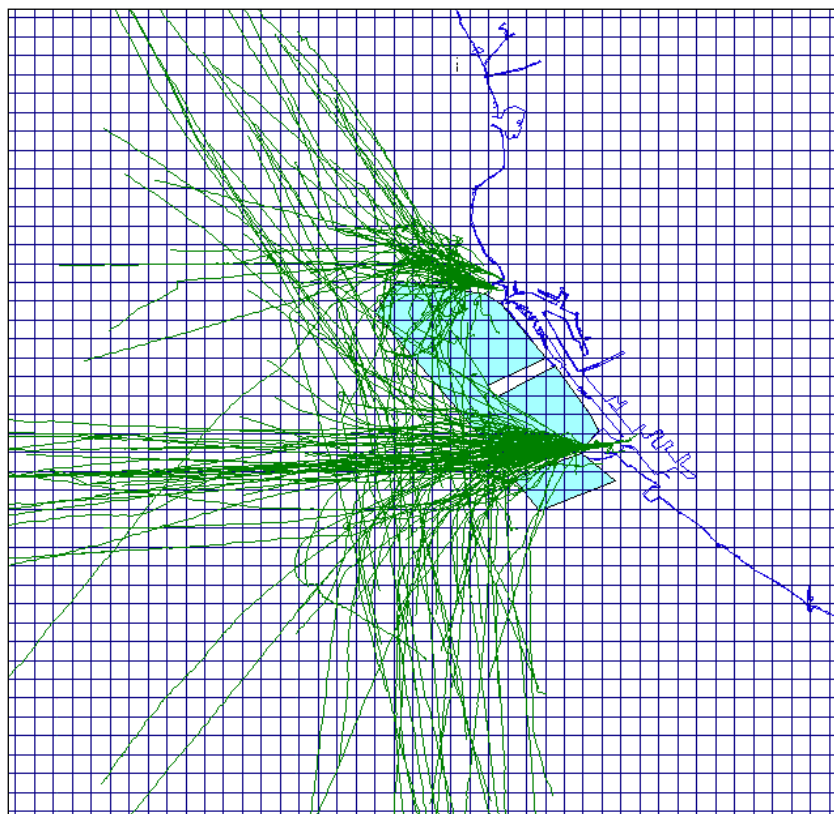


圖 1 高雄港外海船舶航跡分布

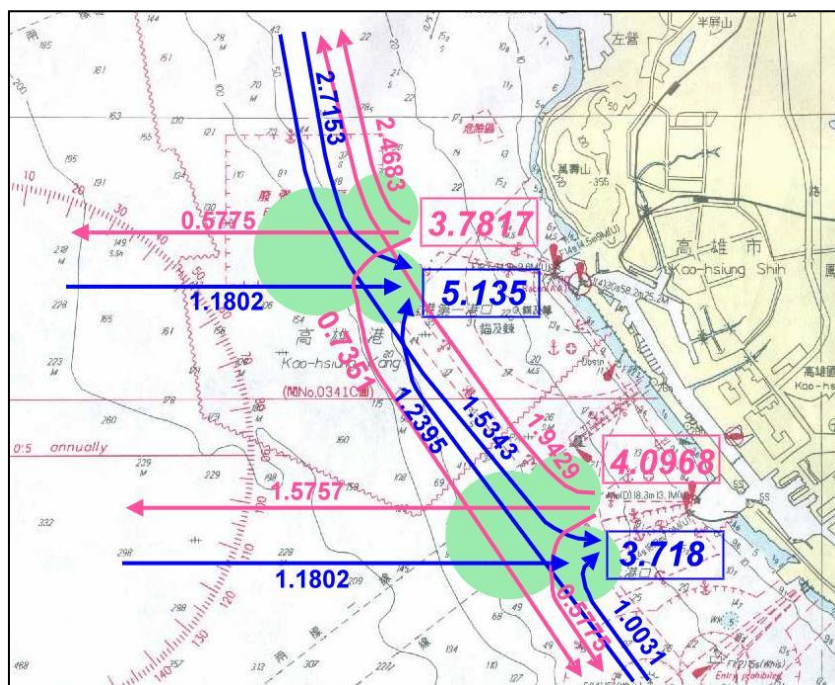


圖 2 高雄港外海尖峰期間船舶會遇機率

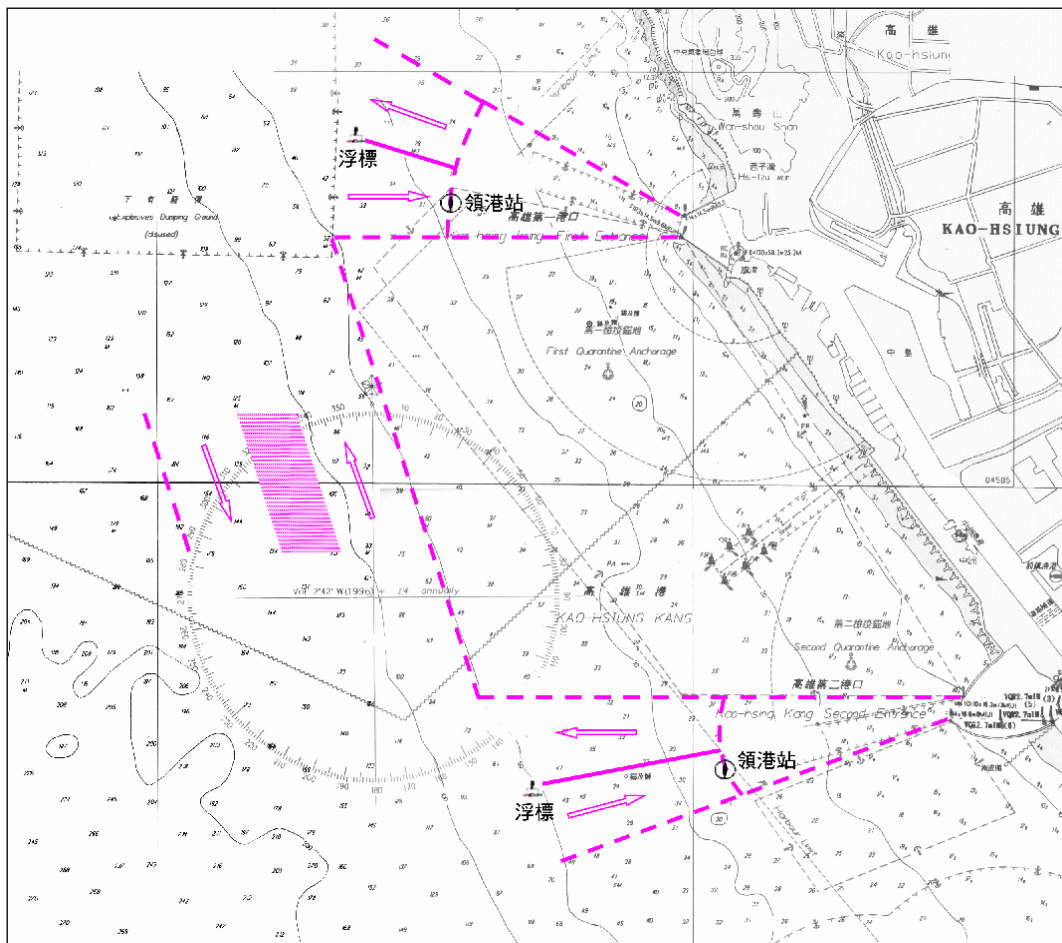


圖 3 高雄港航道系統