

國立臺灣大學工學院工程科學及海洋工程研究所

碩士論文



Department of Engineering Science and Ocean Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

客船在週期性運動狀況下的逃生出口規劃及模擬

Evacuation Simulation and Exit Assigning for

Passenger Ship under Periodical Ship Motion

劉育吟

Yu-Yin Liu

指導教授：郭真祥 博士

Advisor: Jen-Shiang Kouh, Dr. Ing.

中華民國 103 年 6 月

June, 2014

## 誌謝



能夠完成這篇論文，我要特別感謝我的指導教授郭真祥老師，在研究所兩年期間不吝惜地給予研究方面的建議，一直都很有耐心地和我一同討論研究內容，也非常關心我未來的就業計劃，感謝宗岳學長的指導與照顧，在我摸不清頭緒，找不到研究方向的時候，非常熱心地給予需要的幫助，並且教導我寫程式，也要感謝實驗室的每一位成員對我的支持與鼓勵，淳宇學長、怡凱、冠碩、仲凱、曼玫、嚴敏、子靖，因為有你們，實驗室裡的總是在溫馨、幽默、互相關心、互相打氣的氣氛之下，因此能夠舒緩寫論文的沉悶。再來也要謝謝家人、朋友的鼓勵與關心，在我心情悶悶不樂的時候願意陪在身邊，謝謝大家。如果不是來自各方的打氣與鼓勵，我想這份論文是無法順利完成的，最後希望能夠將完成碩士論文的這份喜悅分享給身邊的每一個人。

## 中文摘要

海上人命安全一直以來為眾人所重視的議題，IMO 訂定客船逃生疏散分析的相關規範，使客船在設計階段必須執行模擬分析逃生路徑及人員撤離安全性。由於海上交通除了運輸貨物之外，近年來海上觀光諸如大型郵輪再度興起，因此在緊急狀況下乘客如何更有效率地安全逃生便是設計上的一大考量。

本文利用逃生模擬軟體 AENEAS 進行客船之人員逃生模擬及分析，由於參考船不同出口有不一樣的人數限制，因此在規劃逃生路徑指派艙間至目標出口時，以其路徑勢能做為評分的依據，並使用貪婪演算法進行運算，分配不同艙間乘客的逃生出口及路徑，首先以限制出口人數方式分派艙間至適合出口，接著考慮人員的群體互動行為也運用對應出口位置設計之對稱性，運用防止交錯行為的方式分配艙間至出口進行模擬。在分析逃生時間方面，首先考慮在靜水情況之下的模擬，再進行船體規則運動下的逃生模擬，以觀察在環境條件較嚴苛的情況。模擬時的假設條件均依照國際海事組織所訂定的「新建造與現成客船疏散分析指導方針」。模擬結果顯示，目前的路徑規劃所需要的逃生時間符合疏散分析指導方針所訂定的規範，雖然週期性運動比靜水狀況下需要更長的逃生時間，不過也在安全範圍之內，而貪婪演算法的分配出口方法之中，限制出口人數方式比較適用於局部艙間逃生的特殊情況，防止交錯行為的分配出口方法比較適用於整體艙間的逃生情況。

後續研究進行的方向可考慮船舶破損狀況下的逃生模擬，由於船身的傾斜程度隨時間變化越趨不利於乘客逃生，以此為逃生時間限制或許比疏散分析指南更為嚴苛，將能更貼近船難發生的情況。另外將路徑規劃之演算法加以改良，以達到出口使用率平衡分配，降低出口前的擁塞情形，以縮短逃生時間，亦是值得繼續探究的課題。

關鍵字：逃生模擬、路徑規劃、客船、AENEAS

# ABSTRACT

Safety of life at Sea has been emphasized for a long while. Since International Maritime Organization published regulation referring to evacuation analysis for passenger ship, it is essential to implement simulation about egress route distribution and safety of passengers. Although ships are for carrying goods mainly, maritime tourism has sprung up recently such as luxury cruises, as the result, it becomes more and more important to arrange egress route distribution that leads to efficient evacuation for passengers under emergency conditions.

AENEAS was used for the following simulation about evacuation and analysis for passenger ship. Due to the limit of each exit, it is essential to assign specific rooms to appropriate exit. In this case, potential is the key to determine the exit which each room prefer to go, furthermore, Greedy Algorithm is applied to reach the result. The other way to assign exit is taking account of conflict of agents. After assigning rooms to each exit and distributing egress routes among all cabins, simulation was implemented under static condition. Afterwards, simulation under periodical ship motion was implemented to observe what happens when the environment became more dangerous for passengers. The assumption and environmental parameters all correspond to “Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships”. It seemed that the result of simulation comply with the guideline mentioned which means that the current egress route distribution and total travel time are literally proper. Although the condition with periodical ship motion takes more travel time than static condition, it still comply with the guideline. And the results show that restricted capacity for exits of Greedy Algorithm is more suitable to evacuation simulation of partial area, on the other hand, assign exit by considering conflict of agents is more proper to simulation of all passenger decks.

In the future, ship damage condition could be considered for further evacuation simulation. When ship is tilting, as freeboard immersed and water flowing into cabins, the general environment becomes more harmful for passengers. In this way the evacuation time should be less and condition becomes more dangerous than the guidelines published by IMO, it will reflect the reality of shipwrecks.

Keywords: Evacuation, Passenger ship, AENEAS



# 目錄



誌謝 .....	i
中文摘要 .....	ii
ABSTRACT .....	iii
目錄 .....	iv
圖目錄 .....	vi
表目錄 .....	viii
<b>Chapter 1 緒論 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 研究背景與動機 .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 國際規範沿革 .....	1
1.1.2 重大損傷船難事件 .....	2
1.1.3 逃生模擬之必要性 .....	4
<b>1.2 文獻回顧 .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 船上演習實驗結果 .....	5
1.2.2 人員行為及環境相關參數 .....	6
1.2.3 其他逃生模擬結果 .....	7
1.2.4 圖論及最短路徑搜尋方法 .....	8
<b>1.3 研究目的與方法 .....</b>	<b>13</b>
1.3.1 研究目的 .....	13
1.3.2 論文架構 .....	13
<b>Chapter 2 法規及參考船相關資料 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 國際法規 .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 總疏散時間規定 .....	15
2.1.2 人員參數 .....	16
<b>2.2 參考船型 .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 船型基本資料 .....	18
2.2.2 參考船之一般配置 .....	19
2.2.3 國際法規之規範 .....	23

	
<b>Chapter 3 軟體應用及分配出口之方法 .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 逃生模擬分析軟體 .....</b>	<b>25</b>
3.1.1 AENEAS 逃生模擬設定步驟 .....	25
3.1.2 幾何前置處理 .....	26
3.1.3 路徑勢能(Potential) .....	30
3.1.4 人員參數及行進方向 .....	37
3.1.5 地面傾斜下對行走速度的影響 .....	39
<b>3.2 出口分配 .....</b>	<b>43</b>
3.2.1 貪婪演算法 .....	43
3.2.2 計算出口至艙間之路徑勢能 .....	45
3.2.3 分配出口－限制出口人數 .....	56
3.2.4 分配出口－防止交錯行為 .....	59
<b>Chapter 4 結果分析 .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1 靜水狀況之下的模擬 .....</b>	<b>63</b>
4.1.1 整體艙間之逃生模擬 .....	63
4.1.2 局部艙間之逃生模擬 .....	67
<b>4.2 週期性橫搖與縱搖運動狀況的模擬 .....</b>	<b>72</b>
4.2.1 週期性運動參數設定 .....	72
4.2.2 船體運動週期 .....	72
4.2.3 整體艙間之逃生模擬 .....	73
4.2.4 局部艙間之逃生模擬 .....	81
<b>Chapter 5 結論與未來展望 .....</b>	<b>84</b>
<b>5.1 結論 .....</b>	<b>84</b>
<b>5.2 未來展望 .....</b>	<b>85</b>
<b>參考資料 .....</b>	<b>86</b>

# 圖 目 錄



圖 1.1	南韓「世越號」沉沒事件 (1) .....	3
圖 1.2	南韓「世越號」沉沒事件 (2) .....	3
圖 1.3	七橋問題.....	9
圖 1.4	將七橋問題轉為由點和線組成的圖.....	9
圖 1.5	迷宮範例.....	10
圖 1.6	從 S 點出發至 E 之路徑選擇.....	11
圖 1.7	從 E 點出發至 S 之路徑選擇.....	11
圖 1.8	迷宮範例之橫向優先搜尋.....	12
圖 1.9	迷宮範例之縱向優先搜尋最短路徑.....	12
圖 1.10	迷宮範例之縱向優先搜尋最長路徑.....	12
圖 2.1	載客甲板一般配置圖 .....	20
圖 2.2	將載客艙間劃分為 50 個區域 .....	21
圖 3.1	軟體應用及分配出口流程 .....	24
圖 3.2	右圖中黑色網格為牆壁網格 .....	26
圖 3.3	右圖 G 為目標網格也就是出口網格 .....	27
圖 3.4	右圖 D 為門口網格 .....	27
圖 3.5	右圖的樓梯網格模型分為三種為 UP-上樓，S-跳躍，DN-下樓 .....	28
圖 3.6	一般配置圖的網格模型 .....	29
圖 3.7	231×175 網格內路徑勢能擴散情形 .....	30
圖 3.8	路徑勢能範例網格模型 .....	31
圖 3.9	出口 1 之路徑勢能擴散結果 .....	32
圖 3.10	出口 2 之路徑勢能擴散結果 .....	32
圖 3.11	出口 1 之路徑勢能擴散過程 .....	33
圖 3.12	出口 2 之路徑勢能擴散過程 .....	33
圖 3.13	路徑勢能分布過程 .....	35
圖 3.14	出口 1 的路徑勢能分布 .....	35
圖 3.15	正中間為人員所在位置與其可能行為的方向 .....	38
圖 3.16	走道，橫傾 .....	41
圖 3.17	走道，縱傾 .....	41
圖 3.18	樓梯，橫傾 .....	42

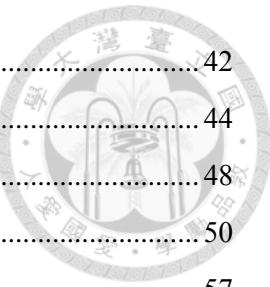


圖 3.19 樓梯，縱傾 .....	42
圖 3.20 分派艙間至出口的程式流程 .....	44
圖 3.21 計算各出口至各艙間之路徑勢能的方式 .....	48
圖 3.22 樓梯編號圖 .....	50
圖 3.23 不同顏色的區域分配至個逃生出口之分布圖（限制出口人數） .....	57
圖 3.24 不同顏色的區域分配至個逃生出口之分布圖（防止交錯行為） .....	60
圖 4.1 靜水狀況發生次數-逃生時間分布圖 .....	64
圖 4.2 靜水狀況在時間內逃出人數 .....	65
圖 4.3 依防止交錯行為方式分派方式發生次數-逃生時間分布圖 .....	66
圖 4.4 防止交錯行為方式在時間內的逃出人數 .....	67
圖 4.5 比較靜水情況兩種分配方式平均模擬結果 .....	67
圖 4.6 艙間 A 所在位置 .....	68
圖 4.7 艙間 B 所在位置 .....	68
圖 4.8 艙間 C 所在位置 .....	69
圖 4.9 不同橫搖振幅之下，縱搖振幅對平均行進時間的影響 .....	74
圖 4.10 不同縱搖振幅之下，橫搖振幅對平均行進時間的影響 .....	74
圖 4.11 $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ 發生次數-逃生時間分布圖 .....	75
圖 4.12 不同橫搖振幅之下，縱搖振幅對平均行進時間的影響 .....	77
圖 4.13 不同縱搖振幅之下，橫搖振幅對平均行進時間的影響 .....	77
圖 4.14 $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ 發生次數-逃生時間分布圖 .....	78
圖 4.15 比較運動 ( $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ ) 情況兩種分配方式平均模擬結果 .....	79
圖 4.16 比較靜水及運動 ( $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ ) 情況兩種分配方式平均模擬結果 .....	79
圖 4.17 比較 $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ 與 $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 2^\circ$ 逃生時間平均值 .....	80
圖 4.18 艙間 A 所在位置 .....	81
圖 4.19 艙間 B 所在位置 .....	81
圖 4.20 艙間 C 所在位置 .....	82

## 表目錄



表 1.1 國際規範沿革 .....	1
表 2.1 不同性別、年齡、身體狀況之人口比例 .....	16
表 2.2 不同性別、年齡之平均行進速度 .....	16
表 2.3 人員在平面上的行進速度 .....	17
表 2.4 人員在上下樓梯時的行進速度 .....	17
表 2.5 出口逃生人數限制 .....	21
表 2.6 各層甲板載客人數及艙間分布 .....	22
表 2.7 人員在各艙間的分布 .....	22
表 3.1 網格種類 .....	26
表 3.2 具編號之網格路徑勢能值 .....	32
表 3.3 人員參數的定義 .....	37
表 3.4 各出口至各艙間之路徑勢能(不計入門口及樓梯) .....	45
表 3.5 對於各艙間有利出口的優先順序 .....	46
表 3.6 各層甲板艙間區域、出口、向上和向下樓梯之數量 .....	49
表 3.7 各層甲板乘客前往出口的方式 .....	49
表 3.8 各艙間至出口 .....	51
表 3.9 各艙間至向下樓梯 .....	51
表 3.10 各向下樓梯至出口 .....	52
表 3.11 各艙間至各出口 .....	52
表 3.12 各艙間至向上樓梯 .....	52
表 3.13 各艙間至向下樓梯 .....	53
表 3.14 各向上樓梯至出口 .....	53
表 3.15 各向下樓梯至出口 .....	53
表 3.16 各向上至向下樓梯 .....	54
表 3.17 各艙間至向上樓梯 .....	54
表 3.18 各艙間至向下樓梯 .....	54
表 3.19 各向上至向下樓梯 .....	55
表 3.20 各艙間至向上樓梯 .....	55

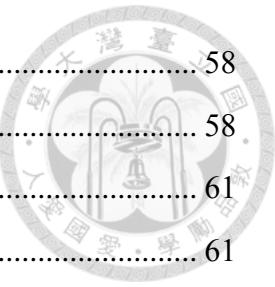


表 3.21 各艙間區域乘客人數及分派之出口 .....	58
表 3.22 各出口分派之乘客人數及剩餘位子 .....	58
表 3.23 防止交錯行為方式分配的結果 .....	61
表 3.24 分派至 1 各出口的人數及剩餘位子 .....	61
表 4.1 八個模擬案例 .....	62
表 4.2 靜水狀況逃生時間模擬結果 .....	64
表 4.3 依防止交錯行為方式分派方式之模擬結果與比較 .....	66
表 4.4 艙間 A 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果 .....	68
表 4.5 艙間 B 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果 .....	68
表 4.6 艙間 C 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果 .....	69
表 4.7 比較三個不同艙間的模擬結果 .....	70
表 4.8 客船週期性運動參數設定 .....	73
表 4.9 週期性橫搖與縱搖運動平均行進時間模擬結果 .....	74
表 4.10 週期性橫搖與縱搖運動最大行進時間模擬結果 .....	75
表 4.11 $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0$ 逃生時間模擬結果 .....	75
表 4.12 週期性橫搖與縱搖運動平均行進時間模擬結果 .....	78
表 4.13 週期性橫搖與縱搖運動最大行進時間模擬結果 .....	78
表 4.14 $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0$ 逃生時間模擬結果與比較 .....	78
表 4.15 艙間 A 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果 .....	81
表 4.16 艙間 B 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果 .....	82
表 4.17 艙間 C 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果 .....	82
表 4.18 船體運動狀況下比較三個不同艙間的模擬結果 .....	83

# Chapter 1 緒論

## 1.1 研究背景與動機

### 1.1.1 國際規範沿革

自海上交通發展以來，不幸地發生了數次的海難事件，其中最著名的便是 1912 年在北大西洋撞上冰山鐵達尼號沉沒事件，超過 1500 人死亡，因此在 1914 年國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)訂定國際海上人命安全公約(International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS)[1]，內容包含和船舶相關的船員及旅客安全設施最低標準，但未包含逃生疏散具體的相關規定。

和乘客逃生相關的規定最早於 1999 年頒布「滾裝式客船簡易疏散分析暫行指導方針」，經由修改及增訂於 2007 年頒布「新建造與現成客船疏散分析指導方針」。另外關於高速客船的規定於 2001 年頒布「高速客船簡易疏散分析暫行指導方針」，並於 2005 年提出「高速客船簡易疏散分析指導方針」，如表 1.1。

表 1.1 國際規範沿革

滾裝式客船及一般客船疏散分析指導方針		
MSC/Circ. No.	年份	指導方針
909	1999	滾裝式客船簡易疏散分析暫行指導方針
1033	2002	新建造與現成客船疏散分析暫行指導方針
1238	2007	新建造與現成客船疏散分析指導方針
高速客船疏散分析指導方針		
MSC/Circ. No.	年份	指導方針
1001	2001	高速客船簡易疏散分析暫行指導方針
1166	2005	高速客船簡易疏散分析指導方針





### 1.1.2 重大損傷船難事件

1994 年 9 月 28 日，「愛沙尼亞號」(Estonia)[2]在芬蘭西南部波羅的海海域沉沒。客輪在沉沒之前曾發出無線電求救信號。當時正在附近海域行駛的另外幾艘船隻在接到求救信號後立即趕到出事地點進行搶救，由於海風強大，救援工作十分困難。海難事故調查人員認為，愛沙尼亞號船頭艙門封閉不嚴，加上在大風大浪的海上航行速度太快，是導致這艘船迅速沉沒的主要原因。船上乘客和船員共 964 人，倖存者只有 141 人。

近年引人注目的船難事件發生於 2006 年 2 月 2 日午夜，埃及滾裝式渡輪「薩蘭姆九八號」(Al Salam Baccaccio 98) [3]從沙烏地阿拉伯駛往埃及途中在紅海沉沒，船上載有 1310 名乘客及 104 名船員和約 200 輛汽車，僅 300 餘人生還。船隻本身設計不良，是發生失事慘劇的重要關鍵，其船齡 35 年，閘門結構和 1994 年沉沒的「愛沙尼亞號」(Estonia)的閘門類似，但是更為老舊，因此當承載汽車層的甲板進水，船體就會失去穩度而翻覆。

而在 2014 年 4 月 16 日上午，南韓「世越號」[4]在全羅南道珍島郡觀梅角西南方向約 3 公里海上意外進水，疑似因撞上暗礁導致汽車甲板內之汽車移位造成客輪迅速傾斜，另有一說為高速急轉彎造成船體傾斜，使未繫牢貨物位移加劇傾斜而翻覆，140 分鐘內客船完全沉沒，其載客人數 476 人，僅 174 人獲救，圖 1.1[5] 與圖 1.2[6]為事發當時的圖片，事發當時代理船長只顧自身安全率先棄船，且部分船員並未達到疏散乘客的義務，當時船上廣播又要求乘客留在原地不動，遲半小時才開始疏散而耽誤逃生良機。此次事件造成許多原先應當能避免的悲劇，船員事先的疏散演習及教育訓練非常重要才能臨危不亂，海上人命安全不容輕視，必須要有事先的預防措施及適當逃生規劃，事發時的冷靜應變掌握黃金逃生時間。



圖 1.1 南韓「世越號」沉沒事件（1）



圖 1.2 南韓「世越號」沉沒事件（2）



### 1.1.3 逃生模擬之必要性

航運佔了海上交通運輸一大部分之外，近年來海上觀光諸如大型郵輪再度興起，許多豪華客輪所搭載的旅客人數加上船上服務人員是數百人或數千人以上，因此當船體受損或發生火災等重大事故而必須棄船時，眾人關注的重點將會是逃生系統能否在短暫的時間內安全順利的疏散所有旅客及船員。海上逃生比陸上逃生更為嚴苛，由於必須考慮到船體晃動，另外依逃生設備的不同種類而出口人數受到限制，再加上甲板分層較複雜，不如一般地面建築的格局容易理解，所以在設計空間配置的階段時，如何做到最佳的疏散路徑的規劃是一大難題。

各式的旅客船於設計初期對於船上旅客的疏散路徑之規劃及疏散程序之安排將會是影響船舶營運安全的一個重要因素。然而實驗方法無法在設計階段派上用場，並且參與實驗的人口參數分布較不易接近真實載客情況，無法任易地改變人口參數值，也無法考慮船體晃動情況。應用逃生模擬軟體可以深入地分析人員分布及艙間佈置，並利用電腦軟體進行逃生疏散模擬分析反映船難的情況，比起實際實驗更為安全而且有效率，並能在短時間之內得到不同的人員參數分布及幾何參數設定之下大量的模擬分析數據資料。



## 1.2 文獻回顧

本小節將探討研究中的參考文獻，當中又可以分為以下四部分來做進一步的說明，分為以下四點：

1. 船上演習實驗結果
2. 人員及相關環境參數
3. 其他逃生模擬結果
4. 圖論及最短路徑搜尋方法

### 1.2.1 船上演習實驗結果

在發展及規劃逃生系統時，人類的行為研究是不可或缺的一環，又逃生模擬所需要的人員行進速度及人員的其他參數資料必須要透過實驗得知，依據不同的實驗結果能提供相當重要的參數資訊，而經由其他的實驗加以驗証，提供更高的參考價值。目前為止有許多實驗研究人類在不同情況下如平面、樓梯、地面橫傾或縱傾等等的行走速度。在[7]的研究指出在逃生分析中，對於人員安全行進速度是非常重要的因素，為了提出因發生意外而必須要棄船的情況的預防措施，客船的逃生分析是必要的。此研究為了開發逃生模擬分析軟體而進行船上實驗以得到人員行為資料，其中包含靜水狀況及船體運動狀況，並假設船上人員依船員的指示逃生並且沒有處在恐慌的狀態，除了記錄個體行為之外，也記錄群體行為。其實驗在走廊模型裡進行，縱傾角度在-20°到 20°之間，橫傾角度在 0°度到 20°之間，實驗結果顯示因地面搖晃會使人員行進速度下降 10%-20%，而地面只有傾斜沒有搖晃的情況也會影響人員行進速度，當人群交會時約減少行走速度的 30%-60%，記錄了橫傾角及縱傾角對於人員行走速度的影響，實驗的結果有助於增加逃生模擬系統的準確性。

國內的案例分析中，[8]應用「新建造與現成客船疏散分析指導方針」於夜間的案例，使用的假設為：所有人員在同一時間開始撤離，人員流向不包含任何因個人決策所引起的阻礙，全體人員行動力均為正常，皆跟得上群體的移動能力，利用教育部訓練船「育英二號」，總共 83 人參與演習，對照育英二號訓

練船的一般配置圖繪製出疏散路網，然後以緊急疏散液體模型量化撤離時間，緊急疏散液體模型為緊急情況下人員移動的研究，主要是基於移動速度和撤離人員密度之間的關係，並假設所有人員在相同時間開始撤離；人員流動不包含任何因個人決策所引起的阻撓；全體人員行動力均為正常行動力，具備跟得上群體移動能力。其實驗結果總疏散時間為 45 min，並未超過法規所要求的 60 min，因此在主要逃生路徑及人員撤離方向之指派，可以參考研究內容所制定逃生方法。研究中辨識出擁塞發生位置，預估夜間撤離方案的擁擠位置並提出該方案之改善與建議，並指出客船在設計建造階段，應考量緊急事故發生後船上人員的逃生撤離計畫。

### 1.2.2 人員行為及環境相關參數

[9]研究中，利用國際安全法規所定義的逃生分析必需考慮的四種情況，該情況基於最近進行的客船撤離風險評估和可能實際發生的事故，並提到四個主要具有風險的情境，分別為區域發生火災、整艘船起火、船體沉沒及船體擱淺，並提出如何在四種風險情境評估逃生疏散的成果及表示如何和不同的實際設計方案達到連結性，在進行疏散模擬時需要輸入不同的環境參數及設定以求模擬的準確性。在疏散模擬中依使用情況的不同，所有的參數定義可以分為四類：其一幾何，包含逃生路線，與其障礙及不可使用的部分，還有初步乘客和船員分布的佈局；其二人口，是與船上的人員和人口統計及分布的相關參數；其三環境，指船體有無運動的狀態；其四程序，包括了在緊急情況下機組人員準備好協助的程序，以及乘客的反應的程序，例如要求乘客到召集站前在艙間內先拿取救生衣，還是應該在集合警報聲響時立即前往集合地點才拿取救生衣，考慮上述四類參數並模擬在不同危急狀態下的逃生情形，進行風險評估，並提出比現存國際法規更多的不同情境設定。當災難發生時大多數的人難以保持冷靜，因身處在混亂的環境，所以，在逃生模擬之中若能考慮更多的人為因子，則能夠更貼近真實的情況並增加模擬的真實性。

[10]運用以網格模型為基礎，在時間、空間、及狀態參數都是離散的，使之得以適用於大尺度的模擬，並考慮人員行為進行模擬。當人員在緊急情況下傾向

比平常的行走速度還要快，並往出口方向前進。人員行為可分為三種，個體行為指在逃生過程中人員基本的行進方向，群體行為是因人員和其他人員有互動產生而改變行進方向及速度，而為了避免和其他人員碰撞而往反方向行走為稱為避免交錯行為。當考慮個體行為時，以 Dijkstra's 演算法[11]並運用橫向優先搜尋法找出最短路徑並決定行走方向及速度，以人員所在的單一網格為基準，計算目標網格的路徑。而群體行為的計算時考慮人員之間的互動半徑，計算範圍從單一網格到  $3 \times 3$  網格。改變人員行走速度及方向的群體行為其中有三項基礎原則：其一 分離，為人員會試著避免和他人碰撞；其二 排列，指人員會直接跟著群眾前進，與相鄰的其他人員保持相同的行進方向及速度；其三 聚集，是指人員傾向待在群體的中心，進而在緊張的狀況之中找尋安全感。由上述參考資料可以得知，為了提升逃生模擬的準確程度，在逃生模擬之中人員行為和環境參數的設定及相關研究非常重要。

### 1.2.3 其他逃生模擬結果

[12]運用英國逃生疏散軟體 maritimeExodus 模擬兩艘不同的大型客艙的疏散情況，針對不同的人口組成及初始位置分派進行逃生模擬，分析阻塞的現象及發生點並試圖降低擁塞程度。文中指出在相同的橫向或是縱向的傾斜角度下，橫傾對於人員的行進速度的影響比縱傾大；乘客性別分布對逃生時間影響顯著，因為男性平均行進速度大於女性，故為了增加模擬可靠度，在人口組成設定時應當考慮實際上的男女乘客比例。而相同船型改變載客量對於整體逃生趨勢影響不明顯，但若當承載人數低於某一程度時，反應時間將直接對模擬結果產生影響，因為最後逃出的少數人口影響總逃生時間，所以較不具準確性。另外，因隨機分布造成部分人員位於露天甲板等離逃生設備較遠之處，需要花費的逃生時間較人員固定於座位上的逃生時間更長。而在真實情況之中乘客之男女比例並非人為能夠控制，故在逃生模擬時男女比例以隨機分布或許較貼近真實，逃生模擬較具有可靠性。

[13]主要在探討旅客疏散逃生的最新法規，以及對船上逃生系統的部署及需求，設計出符合法規要求之佈置，並利用疏散分析軟體 AENEAS 進行模擬驗

證。以「高速客船簡易疏散分析指導方針」規劃目標船舶之疏散程序及逃生方式，應用疏散分析軟體 AENEAS 進行模擬，以確認是否符合安全標準。模擬結果雖然空間較狹小的區域有堵塞之現象，但是因其分析結果符合法規需求，故不須做進一步的改善，而模擬的參考船艙間少，逃生路徑單純，建置疏散模型的時間遠大於簡易疏散分析計算，故逃生模擬計算較適合運用在艙間設計比較複雜的客船。

#### 1.2.4 圖論及最短路徑搜尋方法

應用圖論(Graph Theory)[14]，將所要探討的問題以圖的形式描述，由數個節點(vertex)及數個邊(edge)所構成，其中最著名的是柯尼斯堡七橋問題[15]，如圖 1.3。河中心有兩個小島，小島與河的兩岸有七條橋連接。在所有橋都只能走一遍的前提下，如何才能把這個地方所有的橋都走遍。Leonhard Euler 在 1735 年提出並沒有方法能解決這個問題，若將每一座橋視為一條線，橋所連接的地區視為點，如圖 1.4。若從某一點出發後最後再回到相同的點，則這一點連接的線必須是偶數，稱為偶頂點。相對的，連線數為奇數的點稱為奇頂點。由於柯尼斯堡七橋問題中存在的是 4 個奇頂點，無法達到一筆畫完成，相反的若所有的點均為偶頂點，便能夠一筆畫完成。



圖 1.3 七橋問題

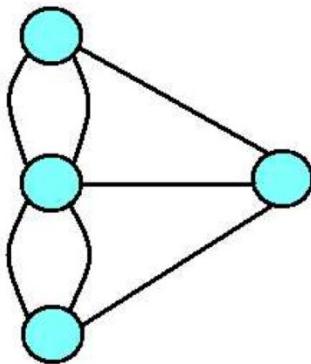


圖 1.4 將七橋問題轉為由點和線組成的圖

而除了探討一筆畫問題之外，圖論也能應用於解決最短路徑問題，其中分為兩種方式，分別為横向優先搜尋 (breadth-first search)[16] 及縱向優先搜尋 (depth-first search)[17] 。

### 1. 橫向優先搜尋

以某一節點為出發點，先拜訪所有相鄰的節點。再依序拜訪與剛才被拜訪過的節點相鄰但未曾被拜訪過的節點，直到所有相鄰的節點都已被拜訪過。

### 2. 縱向優先搜尋

以某一節點為出發點，不斷地前進拜訪未曾被拜訪過的節點，直到無路可走或是所有相鄰的節點都已經拜訪過為止，然後再退回前一個節點，尋找沒有拜訪過的節點，直到所有相鄰的節點都已被拜訪過。



下述為一個迷宮的範例，如圖 1.5，由 S 點出發至點 E，途中 1、3 點為分岔點，將此迷宮圖形轉換成圖論的形式，如圖 1.6，圖 1.7 是以從終點 E 走回起點的方式找尋路徑，兩者殊途同歸，皆能夠找到走出迷宮的路徑。圖 1.8 為橫向優先搜尋法示意圖，假設有一人由 S 點出發，經由 1 號點時一分為二，分別走向 2 號及 3 號點，經由 3 號點時再一分為二，分別走向 4 號點及 E 點，最後抓出走向 E 點的人，查看其行走路徑便能找到走出迷宮的解答，此方法的特性是每到交叉口時，行進之人便一分為二，或是一分為三等等，進行橫向搜尋。假設有一人由 S 點出發，經由 1 號點時做出選擇走向 2 號點，發現是死路後返回 1 號點走向另一個選擇 3 號點，再進行下一步選擇時走向 4 號點，卻又發現是死路再度走回 3 號點，走向另一個選擇 E 點並走出迷宮，此方法若是每一步選擇都正確的話，如圖 1.9，能夠快速且有效率地找出解答，但相反地若每一步都選擇錯誤的話，如圖 1.10，將花費更多的時間找出解答。

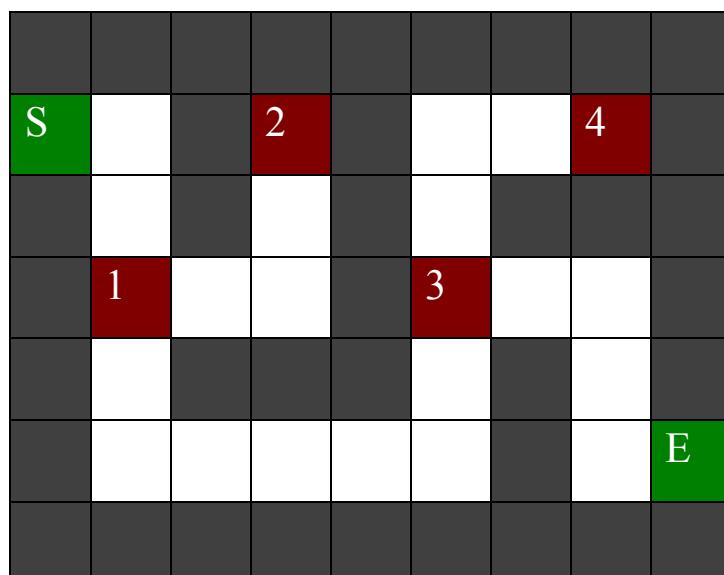


圖 1.5 迷宮範例

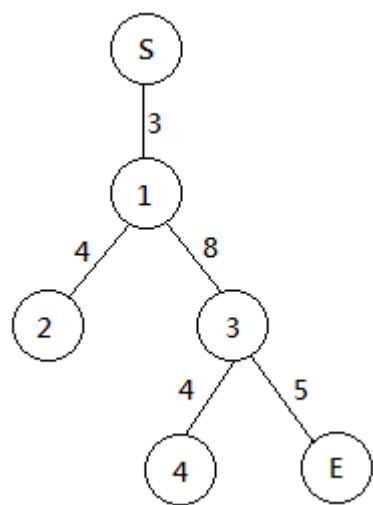


圖 1.6 從 S 點出發至 E 之路徑選擇

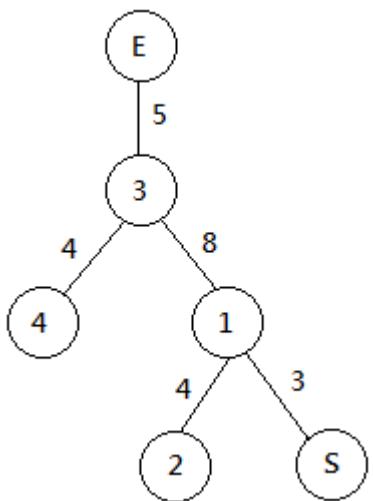


圖 1.7 從 E 點出發至 S 之路徑選擇

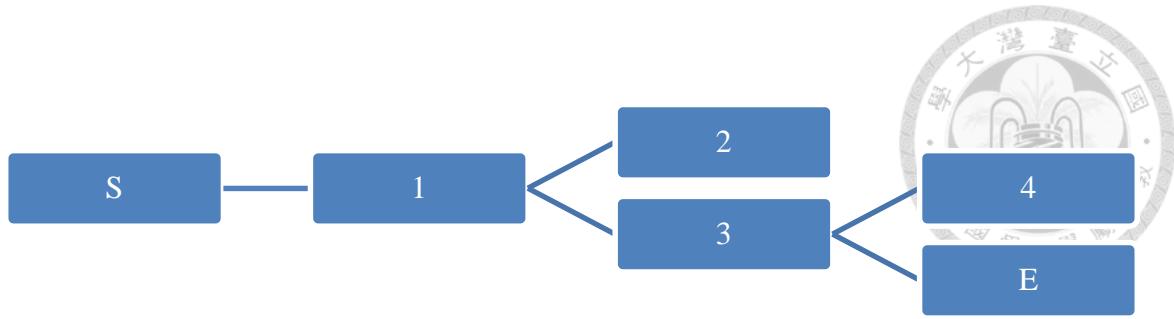


圖 1.8 迷宮範例之橫向優先搜尋



圖 1.9 迷宮範例之縱向優先搜尋最短路徑



圖 1.10 迷宮範例之縱向優先搜尋最長路徑



## 1.3 研究目的與方法

### 1.3.1 研究目的

本研究應用 AENEAS 逃生分析軟體，依照國際法規之內容，在夜晚並且滿載的設定條件下，模擬滾裝式客船「新台華輪」在靜水及船體週期性運動之下的逃生疏散情形。應用不同的出口配置方法，目的是要得到最少總逃生時間，應用逃生模擬軟體可以深入地分析人員分布及艙間佈置，並利用電腦軟體進行逃生疏散模擬分析反映最真實的船難情況，希望能為日後減少因船難發生的悲劇。

### 1.3.2 論文架構

本論文共分五個章節，概述如下：

第一章：緒論，說明本研究之動機與背景及文獻探討。

第二章：法規及參考船相關資料，針對本研究所參考的船型資料以及國際相關法規做介紹。

第三章：軟體應用及分配出口之方法，介紹本研究所應用之逃生分析軟體 AENEAS，並提出兩種分配出口的方法，分別為限制出口人數方式及防止交錯行為方式。

第四章：結果分析，本章節以 AENEAS 軟體模擬的結果進行分析，船體環境分為靜水狀況、船體運動狀況；人員分布分為整體艙間、局部艙間的情況之模擬結果。

第五章：結論與未來展望，探討本研究結論及未來發展建議。



## Chapter 2 法規及參考船相關資料

### 2.1 國際法規

在 1999 年海事安全委員會(Maritime Safety Committee, MSC)制定「滾裝式客船簡易疏散分析暫行指導方針」(Interim Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis of Ro-Ro Passenger Ships, MSC/Circ.909)，經由多次修訂後，於 2005 年訂定「高速客船簡易疏散分析指導方針」(Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis of High-Speed Passenger Craft)[18]，並在 2007 年公佈「新建造與現成客船疏散分析指導方針」(Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships, MSC/Circ.1238)[19]，規範客船在設計階段必須執行模擬分析逃生路徑及人員撤離安全性評估。

分析指導方針中內容包含最大允許撤離時間、人群移動速度等、人口組成分布，而分析的方法分為兩種，一為簡化的分析，利用指導方針內給定的試算公式及數據，以計算出總共的疏散撤離時間，並且船上所有人員視為擁有相同的特性；二為進階的分析，利用疏散撤離模擬軟體模擬逃生情境，加以得知疏散撤離過程中發生擁擠的地點及疏散撤離所需的時間，並考慮船上所有人員為不同的個體，每個人具有的特性不同，以下述人員參數定義。國際海事組織所訂定的「海上人命安全公約」對客船撤離時間規定在棄船信號發出後全部救生艇筏設備下水的時間最多為 30 min。



### 2.1.1 總疏散時間規定

本研究依據 IMO 所頒布「新建造與現成客船疏散分析指導方針」中的進階逃生分析和本研究模擬計算結果進行比較。法規中計算總疏散時間的公式為

$$1.25T + \frac{2}{3}(E + L) \leq n$$

$$E + L \leq 30 \text{ min}$$

$T$  = 行進時間 (Travel Time)

$E$  = 逃生設備如救生艇之登艇時間 (Embarkation Time)

$L$  = 逃生設備如救生艇之下水時間 (Launching Time)

$n$  = 60 min. Ro/Ro 客輪，非 Ro/Ro 船之客輪，主垂直區(MVZ)三個或以下時。

80 min. 非 Ro/Ro 船之客輪，主垂直區 (MVZ)三個以上時。

在上式中  $E$ 、 $L$ 、 $n$  皆有規定值，而  $T$  需實際進行模擬才能得知。

主垂直區(MVZ)[20]為 Main Vertical Zone，主垂直區的主要以防火用途劃分，其長度或寬度最多可延伸至 40 米，是在作為該主垂直區界面的艙壁上最遠各點之間的最大距離，旨在使主垂直區的末端與分艙水密壁重合，或旨在容納一個延伸至主垂直區整個長度的大型公用艙；但在任何甲板上的主垂直防火區的總面積不得大於 1600 平方米。

## 2.1.2 人員參數

依據 IMO 「新建造與現成客船疏散分析指導方針」中的進階逃生分析所規定之人口組成及行進速度如下表，為在年齡、性別、身體情況不同的下的分布比例，不同的模擬情況或人口初始分布位置不同的時候應當使用同樣的分布比例，人口分布應包括如表 2.1 的統計分布，考慮性別、年齡、身體狀況不同佔有不同的人員比例。而依男女、年齡的不同，有著不同的平均行進速度如表 2.2，而當人員身在平台或者是上下樓梯的時候行進速度依不同情況或增或減，如表 2.3 與表 2.4，在最大值及最小值之範圍內進行隨機均勻分布。

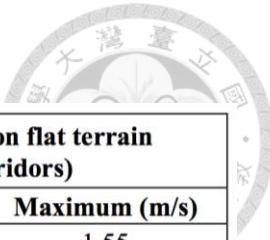
表 2.1 不同性別、年齡、身體狀況之人口比例

<b>Population groups - passengers</b>	<b>Percentage of passengers (%)</b>
Females younger than 30 years	7
Females 30-50 years old	7
Females older than 50 years	16
Females older than 50, mobility impaired (1)	10
Females older than 50, mobility impaired (2)	10
Males younger than 30 years	7
Males 30-50 years old	7
Males older than 50 years	16
Males older than 50, mobility impaired (1)	10
Males older than 50, mobility impaired (2)	10
<b>Population groups – crew</b>	<b>Percentage of crew (%)</b>
Crew females	50
Crew males	50

表 2.2 不同性別、年齡之平均行進速度

<b>Gender</b>	<b>Age (years)</b>	<b>Speed (m/s)</b>
Female	2 - 8.3	0.06 * age + 0.5
	8.3 - 13.3	0.04 * age + 0.67
	13.3 - 22.25	0.02 * age + 0.94
	22.25 - 37.5	-0.018 * age + 1.78
	37.5 - 70	-0.01 * age + 1.45
Male	2 - 5	0.16 * age + 0.3
	5 - 12.5	0.06 * age + 0.8
	12.5 - 18.8	0.008 * age + 1.45
	18.8 - 39.2	-0.01 * age + 1.78
	39.2 - 70	-0.009 * age + 1.75

表 2.3 人員在平面上的行進速度



Population groups – passengers	Walking speed on flat terrain (e.g., corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Females younger than 30 years	0.93	1.55
Females 30-50 years old	0.71	1.19
Females older than 50 years	0.56	0.94
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.43	0.71
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.37	0.61
Males younger than 30 years	1.11	1.85
Males 30-50 years old	0.97	1.62
Males older than 50 years	0.84	1.4
Males older than 50, mobility impaired (1)	0.64	1.06
Males older than 50, mobility impaired (2)	0.55	0.91
Population groups – crew	Walking speed on flat terrain (e.g., corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Crew females	0.93	1.55
Crew males	1.11	1.85

表 2.4 人員在上下樓梯時的行進速度

Population groups – passengers	Walking speed on stairs (m/s)			
	Stairs down		Stairs up	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Females younger than 30 years	0.56	0.94	0.47	0.79
Females 30-50 years old	0.49	0.81	0.44	0.74
Females older than 50 years	0.45	0.75	0.37	0.61
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.34	0.56	0.28	0.46
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.29	0.49	0.23	0.39
Males younger than 30 years	0.76	1.26	0.5	0.84
Males 30-50 years old	0.64	1.07	0.47	0.79
Males older than 50 years	0.5	0.84	0.38	0.64
Males older than 50, mobility impaired (1)	0.38	0.64	0.29	0.49
Males older than 50, mobility impaired (2)	0.33	0.55	0.25	0.41
Population groups – Crew	Walking speed on stairs (m/s)			
	Stairs down		Stairs up	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Crew females	0.56	0.94	0.47	0.79
Crew males	0.76	1.26	0.5	0.84



## 2.2 參考船型

### 2.2.1 船型基本資料

本文之參考船型資料為船舶及海洋產業發展中心所提供的滾裝式客船「新台華輪」。船型資料如下：

全船長  $L_{OA} = 110\text{ m}$

垂標間距  $L_{pp} = 98.5\text{ m}$

船寬  $B = 17.8\text{ m}$

設計吃水  $d = 5\text{ m}$

定傾高度  $\overline{GM} = 0.75\text{ m}$

載重量  $1250\text{ MT}$

船速  $V = 24\text{ knots}$

而  $\overline{GM}$  的計算方式如下：

$$\begin{aligned}\overline{GM} &= \overline{KM} - \overline{KG} \\ &= \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG}\end{aligned}$$

當  $d = 5\text{ m}$  時，

$$\begin{aligned}\overline{KB} &= 2.915\text{ m} \\ \overline{BM} &= 6.133\text{ m} \\ \Rightarrow \overline{KM} &= 9.048\text{ M}\end{aligned}$$

而一般裝載的情況下，

$$\begin{aligned}\overline{KG} &= 8.3\text{ m} \\ \Rightarrow \overline{GM} &= 0.75\text{ m}\end{aligned}$$

## 2.2.2 參考船之一般配置

本研究之參考船最大載客量 550 名，船員 35 名，其載客甲板主要有三層：航海船橋甲板、上層船橋甲板、主甲板，下層汽車甲板則是有船員休息室及娛樂設備如電影院，如圖 2.1。全船總共有六個逃生出口，分別限制人數如表 2.5，主甲板沒有出口配置。表 2.6 為假設夜間情況所有人員均分配在各自的床位或是座位上，各層甲板載客人數及艙間分布，除了人數低於 25 人之客艙與工作艙間之外，將載客量較大的座艙分割成 2 或 4 個區域，以此劃分成 50 個區域並且含有不同的人數，圖 2.2 為艙間編號圖，區域 23-32，37-42 為較大艙間，表 2.7 為人員在不同種類之艙間分布情形。



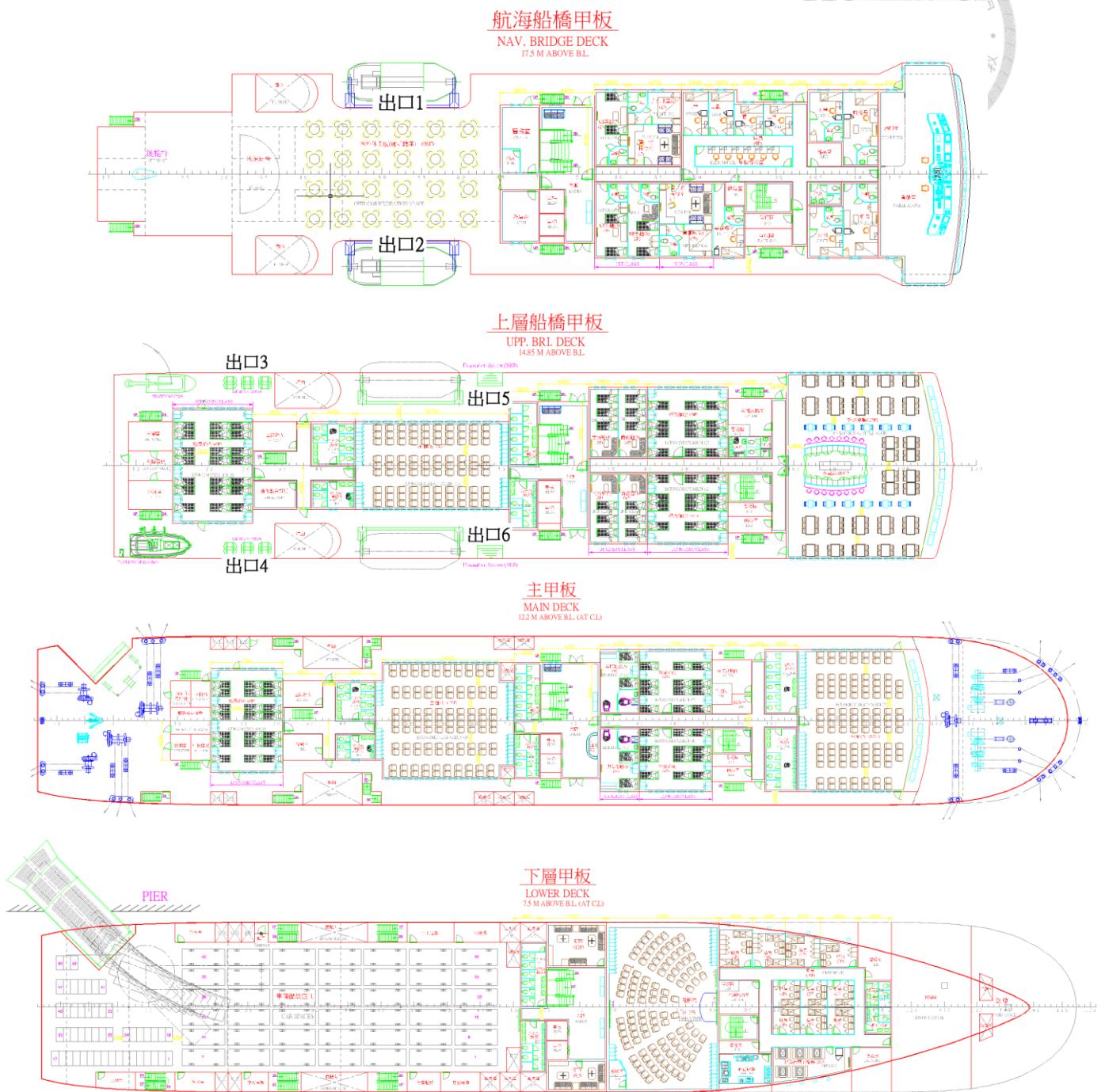


圖 2.1 載客甲板一般配置圖

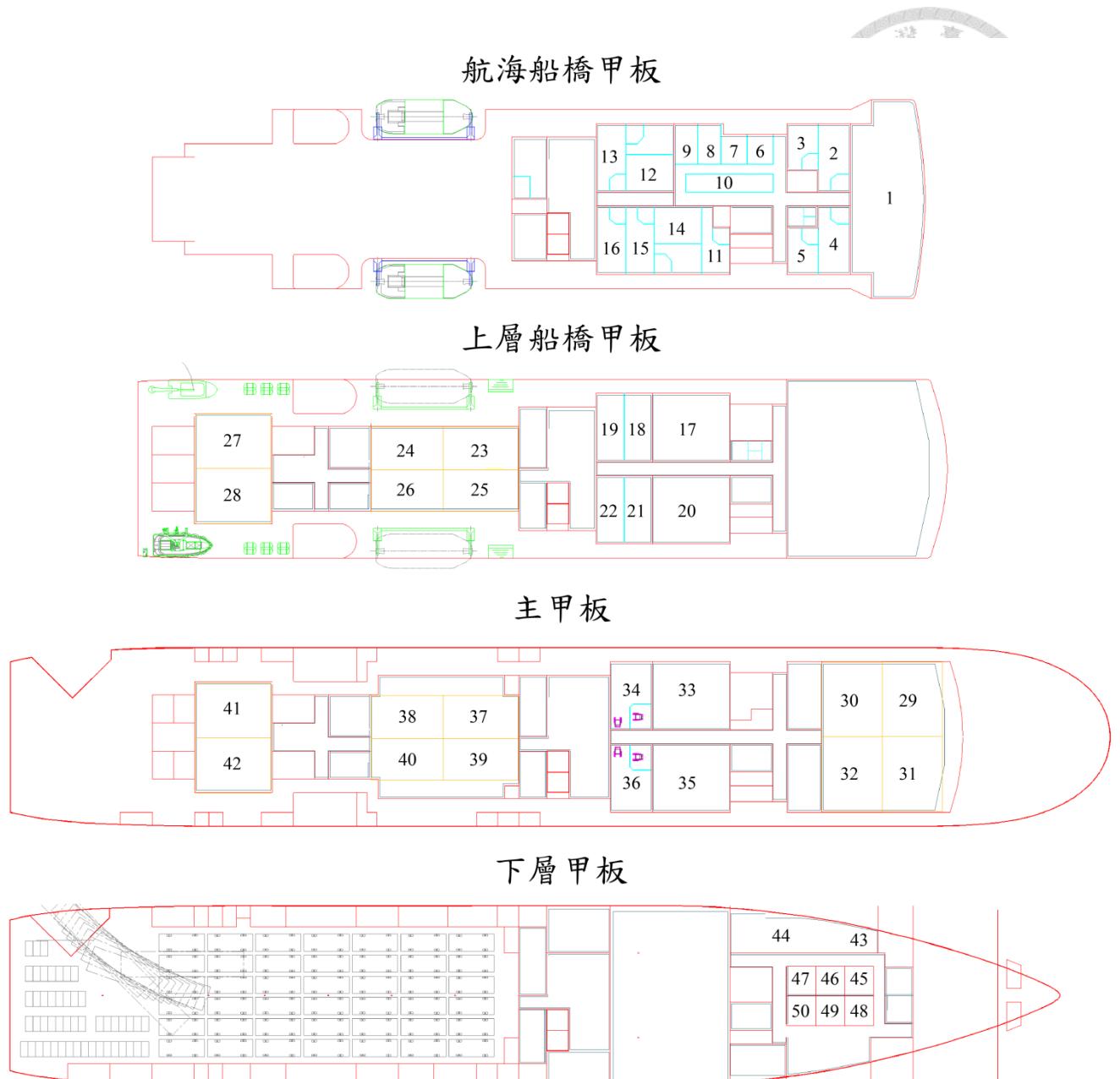


圖 2.2 將載客艙間劃分為 50 個區域

表 2.5 出口逃生人數限制

載客甲板	出口位置(編號)	人數限制(人)
航海船橋甲板	左 (1)	120
	右 (2)	120
上層船橋甲板	左前 (5)	300
	右前 (6)	300
	左後 (3)	150
	右後 (4)	150

表 2.6 各層甲板載客人數及艙間分布



載客甲板	人員數(含乘客及船員)	艙間區域編號
航海船橋甲板	18	1-16
上層船橋甲板	336	17-28
主甲板	204	29-42
下層甲板	27	43-50
合計	585	

表 2.7 人員在各艙間的分布

人員分布(人)		
乘客(臥舖)	V.I.P	4
	頭等艙	6
	商務艙	24
	經濟艙	180
	身障者	4
小計		218
乘客(座位)	經濟艙(1)	90
	經濟艙(2)	122
	經濟艙(3)	120
小計		332
船員		35
總計		585

### 2.2.3 國際法規之規範

依據 IMO 「新建造與現成客船疏散分析指導方針」中，進階逃生分析假設條件為每一位乘客及船員皆為不同的個體，人員參數及反應時間皆不一樣，其中行進時間  $T$  是由逃生分析軟體 AENEAS 的模擬結果得知。依據國際海事組織訂定的規範，所能容忍的最多行進時間為 32 min。依照下列公式計算：

$$1.25T + \frac{2}{3}(E + L) \leq n$$

$$E + L \leq 30 \text{ min}$$

$$n = 60 \text{ min}$$

$$\Rightarrow T \leq 32 \text{ min} = 1920 \text{ s}$$



## Chapter 3 軟體應用及分配出口之方法



本章節說明本文使用的研究方法，一開始是先將參考船型的平面一般配置圖匯入到 AENEAS 模擬軟體轉換成網格模型並計算出各艙間到各出口的路徑勢能值。再運用 AENEAS 計算出的路徑勢能值，以貪婪演算法的方式，發展出兩種分配出口的方法：限制出口人數、防止交錯行為，將各艙間分配至參考船中適合的出口。最後回到 AENEAS 模擬軟體進行逃生模擬，並使用 IMO 所訂定的人員參數分佈及數值，研究方法流程圖如下圖 3.1。詳細說明請見本章節內容。

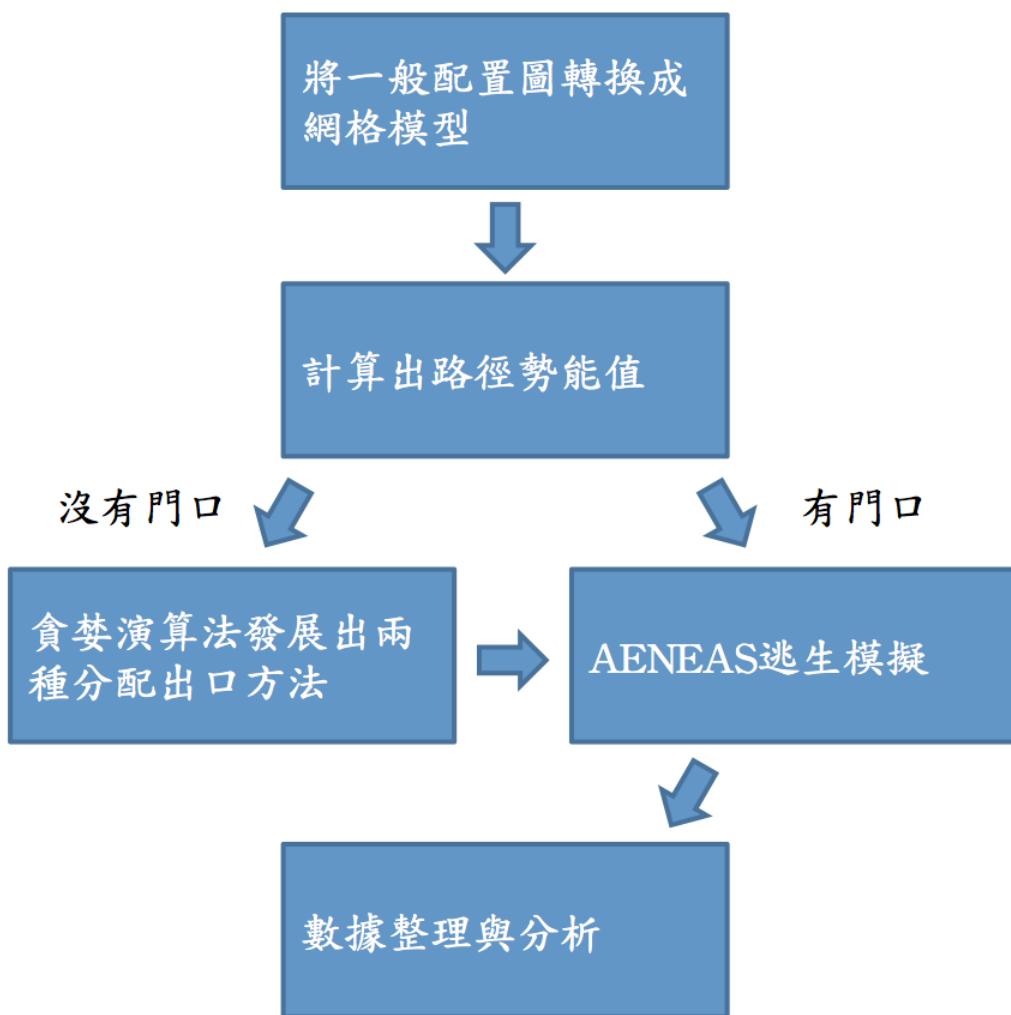


圖 3.1 軟體應用及分配出口流程

### 3.1 逃生模擬分析軟體

本研究使用之逃生模擬套裝軟體為 AENEAS[21]，本小節對於此軟體使用方法及模擬方式做進一步的說明。



#### 3.1.1 AENEAS 逃生模擬設定步驟

此軟體總共有三個執行程式，分別為編輯器、模擬器、觀察器，其設定步驟如下：

1. 打開編輯器，輸入 2D 圖 dxf 檔案類型，畫出幾何網格圖。
2. 定義逃生出口及路徑。
3. 配置船上人員位置、及定義人員屬性為船員或是乘客。
4. 打開模擬器，將人員參數設定為和 IMO 法規內容相同。
5. 若模擬船體規則性運動情況，輸入橫搖及縱搖周期、振幅。
6. 可以選擇快速模擬、單次模擬、多次模擬。
7. 觀察器主要是提供單次模擬的簡易 3D 視覺化結果。



### 3.1.2 幾何前置處理

運用此軟體的編輯器將參考船之一般配置平面圖轉換成網格狀的不連續模型，每一網格對應到 2 維平面面積為  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ，將網格的幾何特性分為自由、牆面、目標、門口、樓梯五種。網格的種類如下表 3.1：

表 3.1 網格種類

自由 Free	人員可以自由走動	白色
牆壁 Wall	障礙物、牆壁，完全阻絕人員的行動	黑色
目標 Goal	逃生出口	藍色
門口 Door	各艙間門口，當人員通過時行走速度降低	綠色
樓梯 Stairs	由上、下樓梯、跳躍點組成，人員通過時行走速度也會降低	紅色

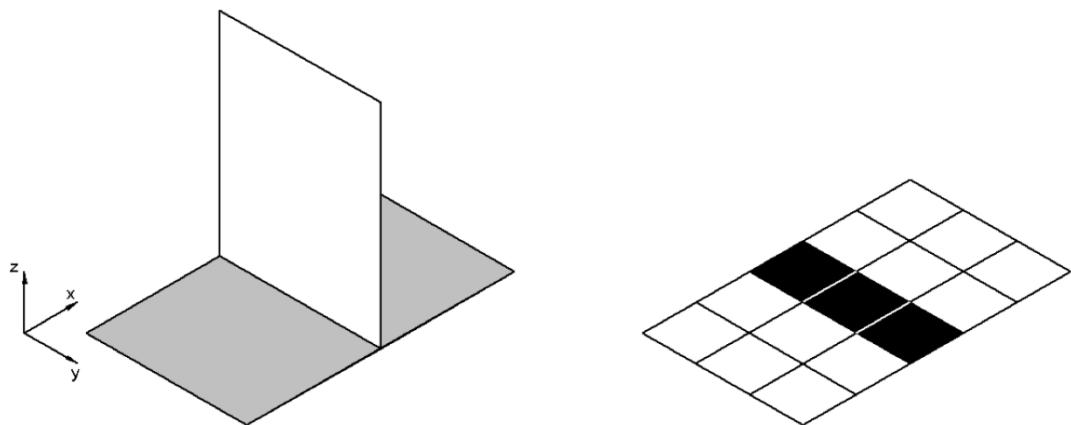


圖 3.2 右圖中黑色網格為牆壁網格

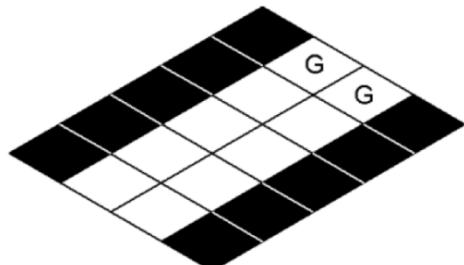
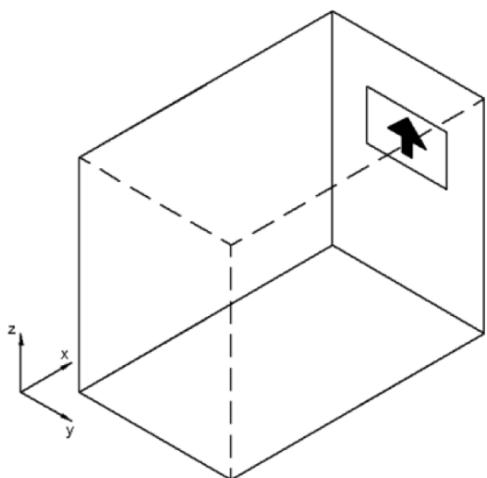


圖 3.3 右圖 G 為目標網格也就是出口網格

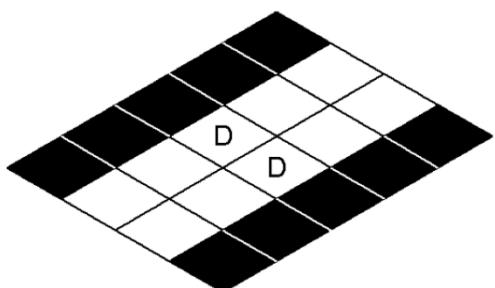
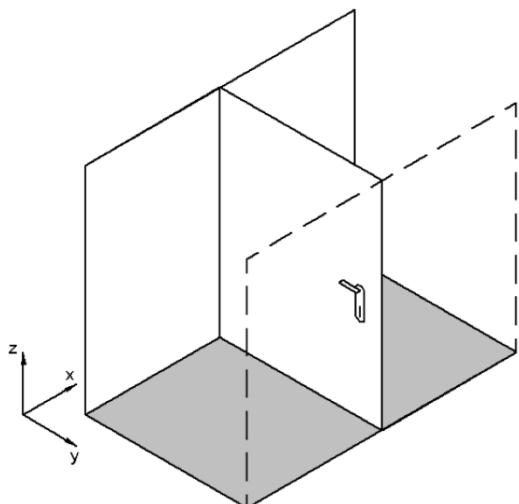


圖 3.4 右圖 D 為門口網格

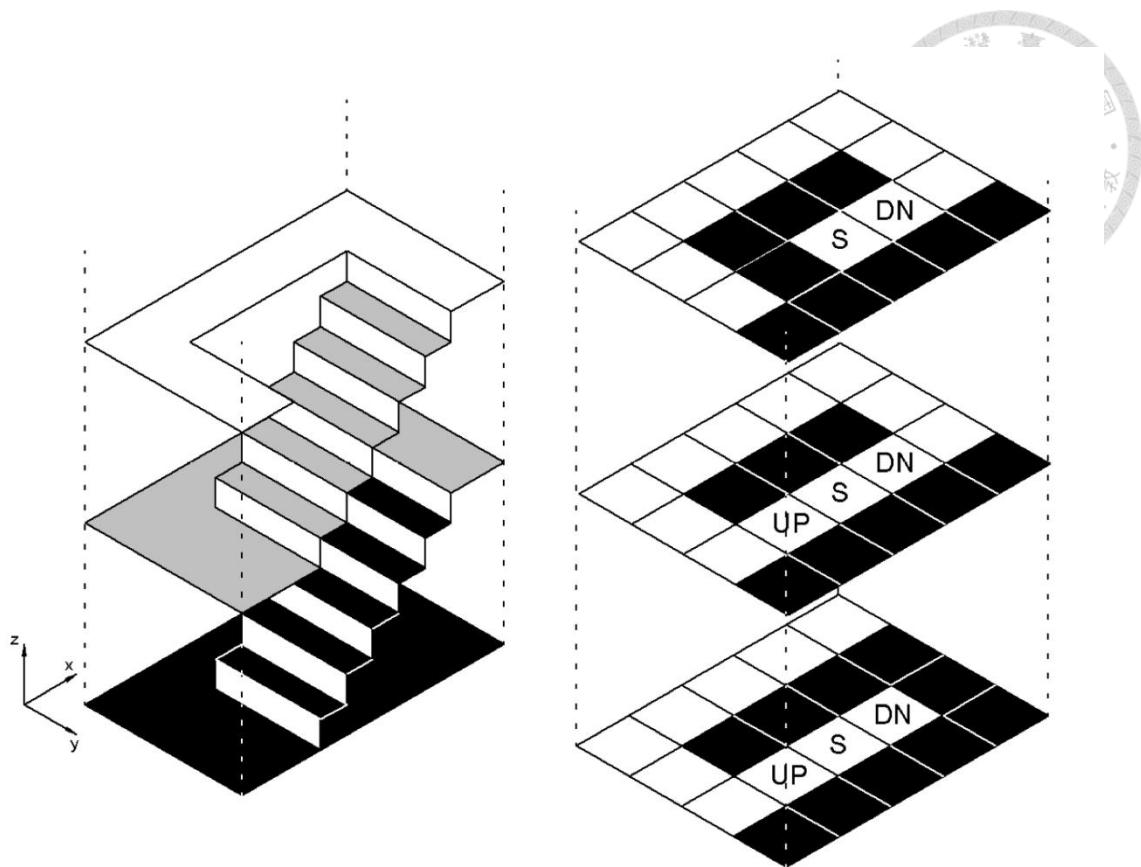


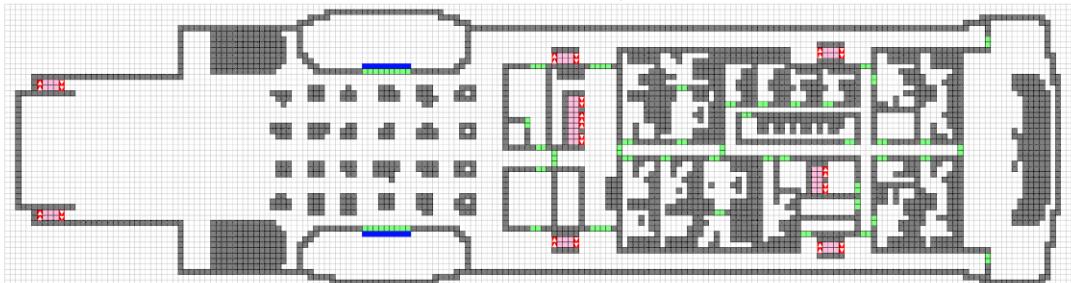
圖 3.5 右圖的樓梯網格模型分為三種為 UP-上樓，S-跳躍，DN-下樓

圖 3.5 的左邊三個平面對應到右邊的三個平面，S 為跳躍網格的定義為當人員由 UP 到 S，即往下一層，若人員由 DN 到 S，即往下一層。

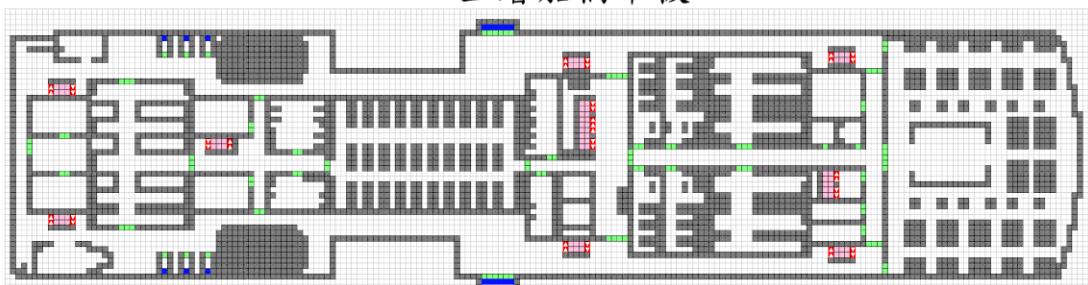
利用 AENEAS 編輯器將一般配置圖轉換成網格模型如圖 3.6，黑色代表障礙物，意即牆壁及設備、傢俱等等，紅色代表樓梯，綠色代表門口，藍色代表逃生出口。



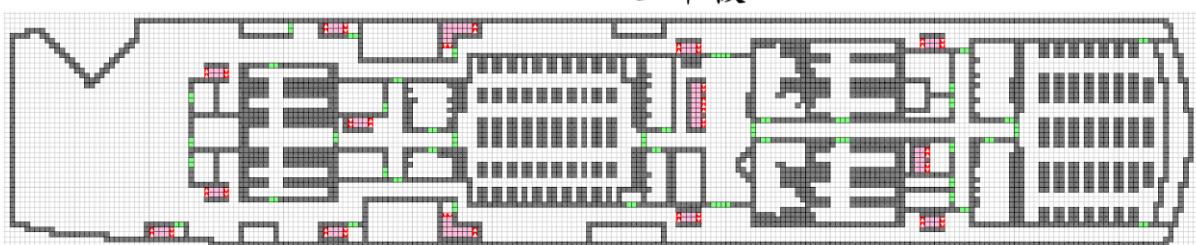
航海船橋甲板



上層船橋甲板



主甲板



下層甲板

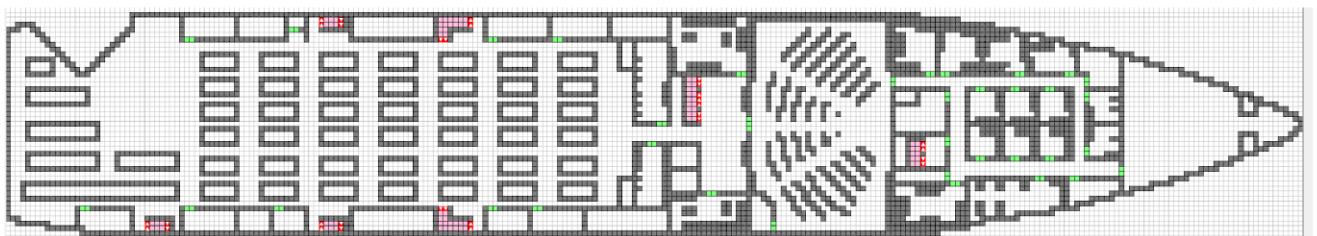


圖 3.6 一般配置圖的網格模型



### 3.1.3 路徑勢能(Potential)

為了瞭解在 AENEAS 逃生模擬軟體中，船上人員是如何選擇行進方向，必需要知道其路徑勢能在幾何環境之中是如何擴散至各可行走網格。平面幾何分布及逃生出口設定完成後，路徑勢能由其中一指定出口散佈到每一個可行走網格。指定出口的路徑勢能為 0，其他網格的路徑勢能則表示所在位置與目標出口之距離函數，距離指定出口越遠，路徑勢能越大，網格的路徑勢能隨著距離指定出口越遠成比例增加。路徑勢能以同心圓方式擴散，當遇到障礙物時會彎折的現象發生。圖 3.7 為  $231 \times 175$  網格，並在圖上標示出綠色區域中間處之路徑勢能值，逃生出口放置大約在正中間之處，圖下半有一道障礙物，由此例中可見，當平面範圍比較大的時候，較容易看出以同心圓方式擴散的情形。

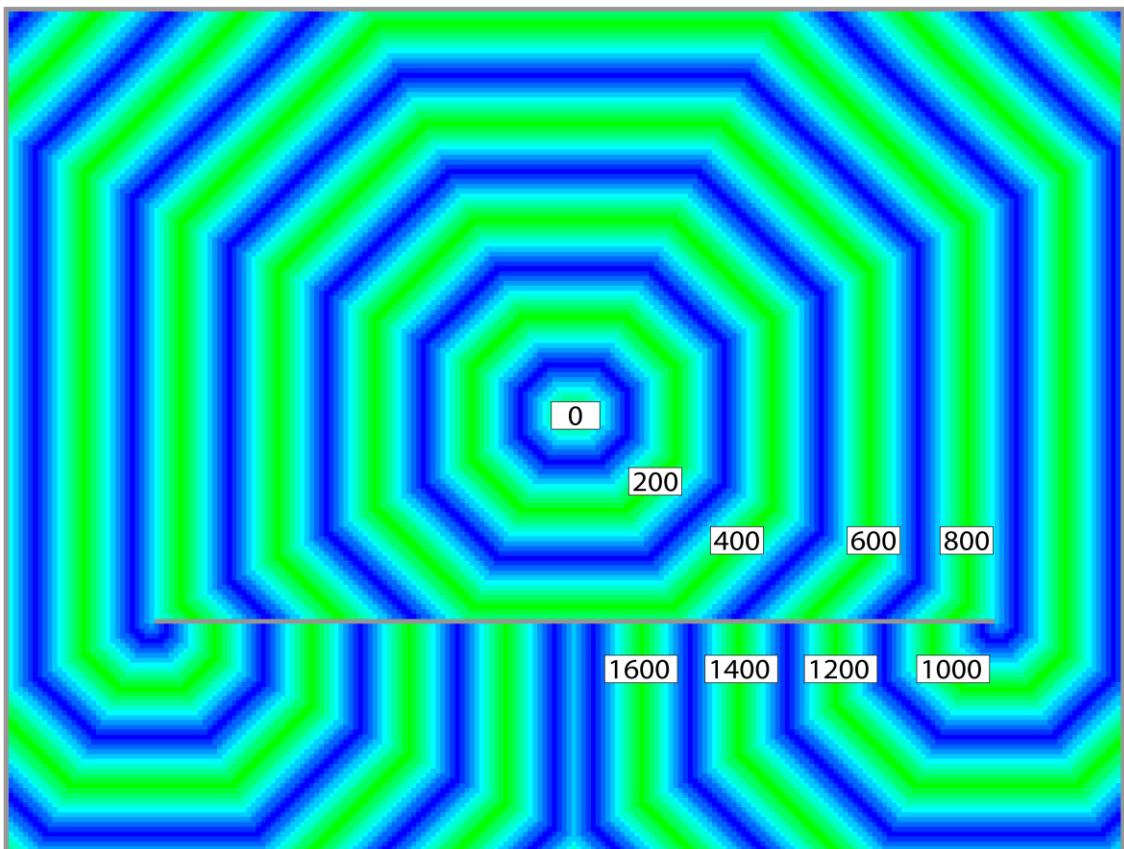


圖 3.7  $231 \times 175$  網格內路徑勢能擴散情形

AENEAS 逃生模擬軟體主要是以路徑勢能計算人員之行進方向，不過因其商業機密而無法得知其中確切的相關數學公式計算過程，然而經由使用 AENEAS 的軟體經驗可以觀察到以下路徑勢能之特性，並以下述幾何佈置較單純的例子說明。假設一個幾何空間  $26 \times 26$  紗格內有兩個艙間，分別有兩個門口，並在上下各有一個逃生出口，如圖 3.8，黑色為牆壁網格，綠色為門口網格，淺藍色為出口網格，將欲觀察路徑勢能之網格分別標上編號為 1-18。圖 3.9 及圖 3.10 為路徑勢能擴散之結果。表 3.2 是經由 AENEAS 模擬器所取出各個具編號之網格的路徑勢能值。

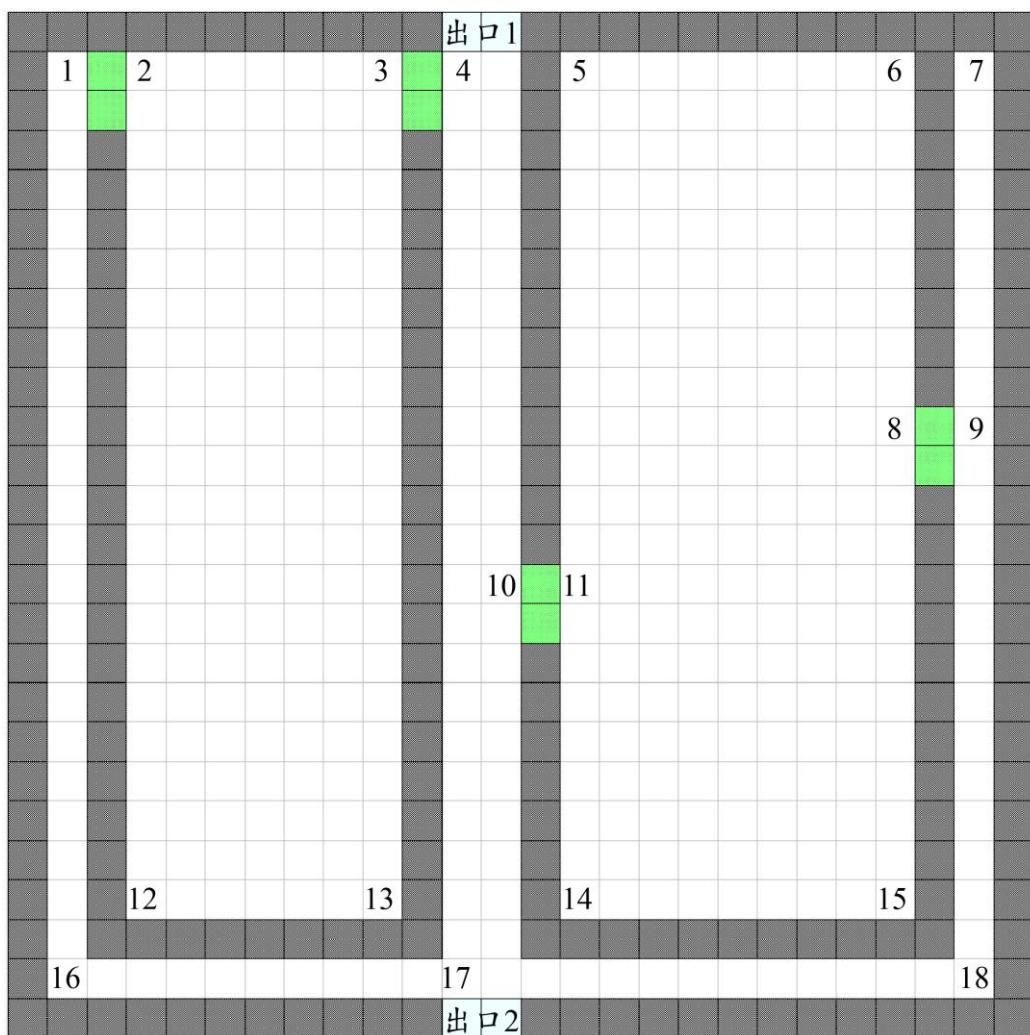


圖 3.8 路徑勢能範例網格模型

表 3.2 具編號之網格路徑勢能值

網格編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
出口 1	560	570	570	10	680	660	580	570	490
出口 2	340	350	350	240	460	440	360	350	270

網格編號	10	11	12	13	14	15	16	17	18
出口 1	140	570	770	770	640	670	330	240	350
出口 2	110	350	550	550	420	450	110	10	130

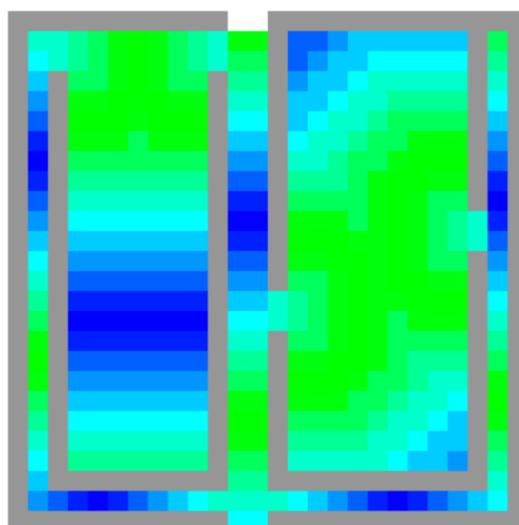


圖 3.9 出口 1 之路徑勢能擴散結果

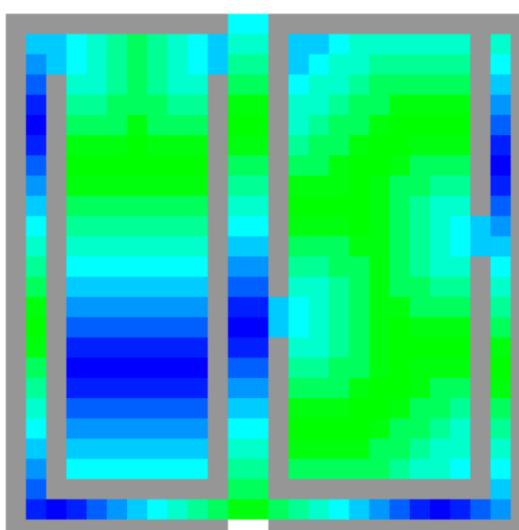


圖 3.10 出口 2 之路徑勢能擴散結果



此例中路徑勢能擴散之過程如下：

出口 1：

1. 下圖 3.11 中括號內的代表其網格的路徑勢能值，由網格編號 4 開始擴散路徑勢能，沿著走道依序碰到 10 及 17 號網格，而在 17 號網格處分為兩條路為通往 16 及 18 號網格，16 號可通至 1 號，18 號通往 9 號接至 7 號。
2. 此時走道的路徑勢能已擴散完畢，接下來欲擴散至兩個艙間。
3. 比較各個門外的路徑勢能值，其最大值 560 位於 1 號網格處，故門內網格 2、3、8、11 皆從路徑勢能值 570 開始向內擴散。

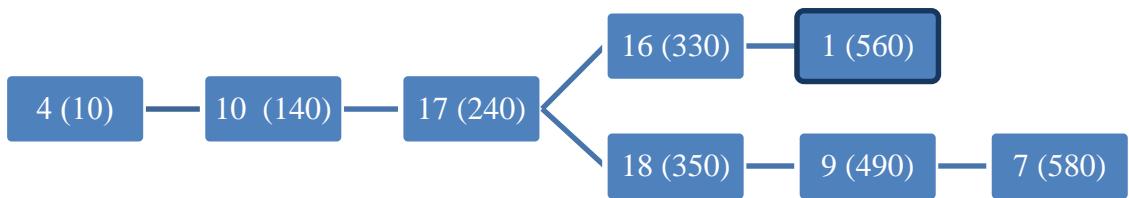


圖 3.11 出口 1 之路徑勢能擴散過程

出口 2：

1. 由下圖 3.12 可見，從網格編號 17 開始擴散路徑勢能，分為三條路為通往 10、16、18 號網格，10 號網格通至 4 號，16 號網格通往 1 號，18 號網格通往 9 號接至 7 號。
2. 此時走道的路徑勢能已擴散完畢，接下來欲擴散至兩個艙間。
3. 比較各個門外的路徑勢能值，其最大值 340 位於 1 號網格處，故門內網格 2、3、8、11 皆從路徑勢能值 350 開始向內擴散

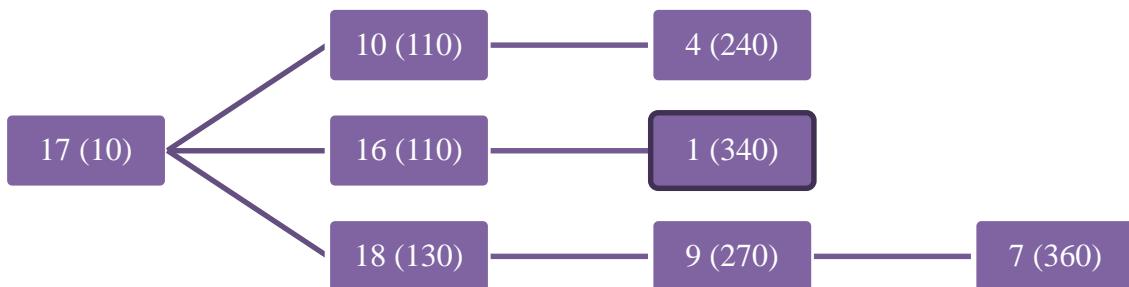


圖 3.12 出口 2 之路徑勢能擴散過程

由上述例子中可以看見當路徑勢能在走道之間擴散完畢欲進入艙間時，會比較多個門口外網格之路徑勢能值，並取較大的值再擴散之艙間之內。例如對於出口 1 的路徑勢能網格 1 為 560，網格 4 為 10，同時往圖 3.8 左邊的艙間擴散時取較大路徑勢能值 560 向內擴散因此網格 2 與 3 的路徑勢能值為 570。此做法如同隱藏了門口外的資訊，像是人員在艙間之內並不知道哪一個門口距離出口較近，兩個門口都是平等的，首要目標是逃出目前的艙間。

人員利用所在網格的路徑勢能決定行走方向，以個別所在位置之網格為中心和相鄰網格的路徑勢能做比較，前往低勢能的方向。由於出口之路徑勢能最低，故任一點只要前往具有較低路徑勢能網格最終必到到達出口。當人員向目標網格行進時，若使用者無指派特定路線，人員依比較周遭的路徑勢能梯度決定行走方向，但是如果使用指派特定路徑的話，人員即遵循軟體使用者所指派的路徑。在下一小節中以幾何較簡單的例子說明路徑勢能擴散的路線。

圖 3.13 為路徑勢能擴散的示意圖，紅色標線處為出口位置，擴散過程如下：

1. 從指定出口之網格，路徑勢能的值擴散到所在網格之艙間。其界限是牆壁、門口、樓梯的網格。而當路徑勢能擴散時，所有的門，樓梯的網格被標示並儲存為下一步驟之路徑勢能擴散的起點。
2. 繼上一步驟，從那些被標示並儲存為路徑勢能起點之網格開始，路徑勢能再次擴散至每一可行走網格至目前所在的艙間，並重複前一步驟將所有的門，樓梯的網格標示並儲存為下一步驟之路徑勢能擴散的起點。
3. 重複前一步驟直到再也找不到新的路徑勢能之起點。
4. 路徑勢能經由門口、樓梯網格擴散至各個艙間的每一個可行走網格。

而同一位置的網格，根據不同的出口有不同的路徑勢能值，例如出口 1 的路徑勢能分布情形如圖 3.14，其顏色僅代表變化情形，類似地圖上等高線的功能，但是不代表特定數值。

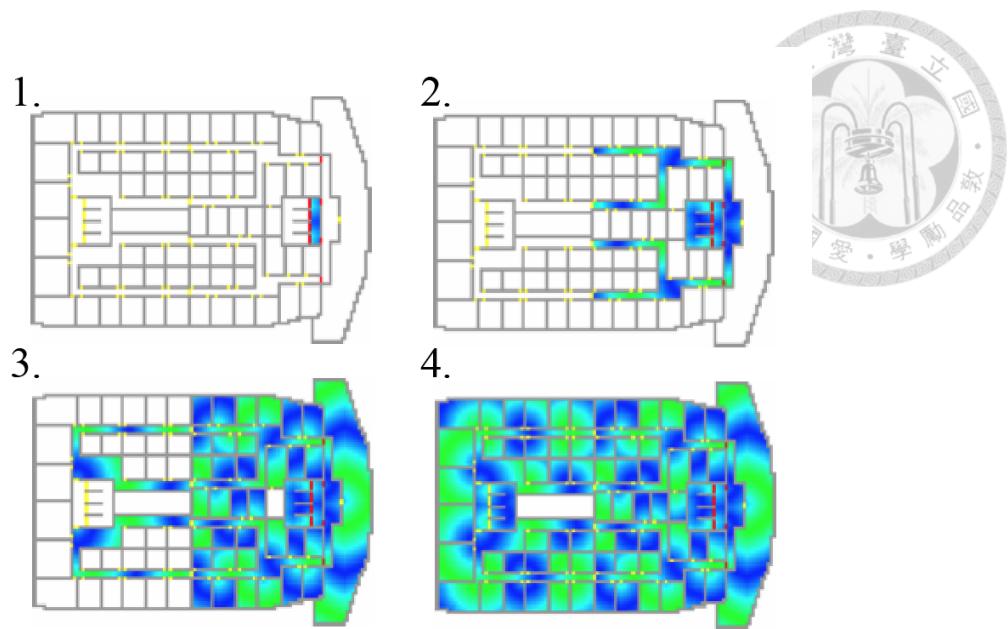


圖 3.13 路徑勢能分布過程

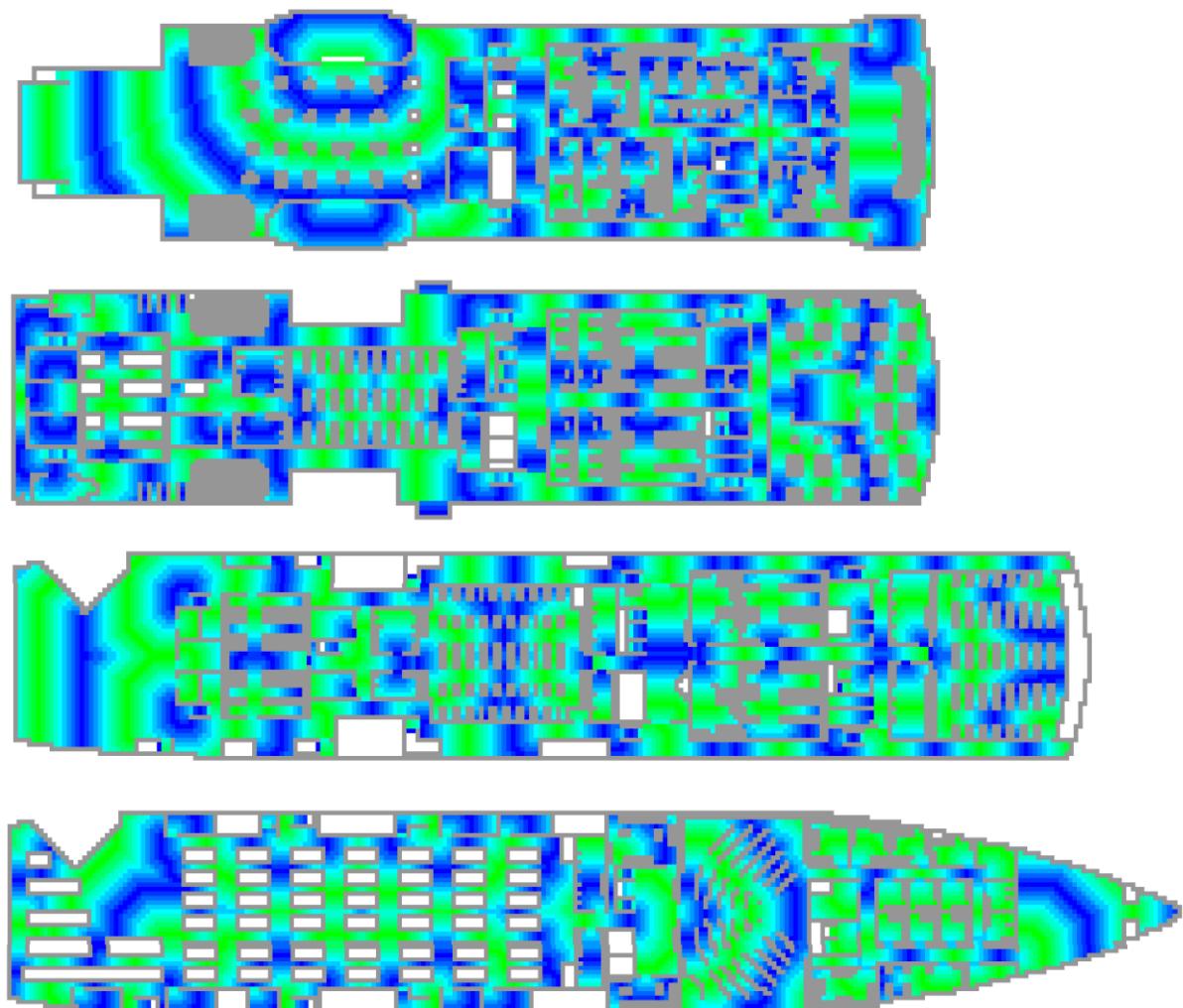


圖 3.14 出口 1 的路徑勢能分布

路徑勢能之特性：

1. 每個可行走網格依每一個出口有不同的路徑勢能值，如本研究之參考船有六個出口，故路徑勢能以當時所指定之出口進行擴散而有六個不同的值，表 3.2 表示上例中出口 1 及出口 2 至各編號網格之路徑勢能值。
2. 路徑勢能和當時的所在網格與指定出口之最短距離呈現正相關的關係，距離指定出口越遠，網格的路徑勢能值越大。路徑勢能的擴散方式是以橫向優先搜尋為基礎，參考橫向優先搜尋的特性，總是能得記錄最短路徑，因此得出路徑勢能值和前往出口的最短路徑成正比關係。(沒有門口的網格模型)
3. 當考慮單一人員時，從不同的網格前往指定出口，若人員所在的網格路徑勢能值較小，花費較少的時間抵達指定出口。而當考慮多個人員時，受其他人員參數及人員互動所影響，並不一定有相同的結果。
4. 依 AENEAS 軟體本身擴散路徑勢能的方式，當同一艙間有多個門口時，路徑勢能欲往艙間外的走道擴散時，以擁有較大的路徑勢能值為基準，例如有兩個門口為下一個路徑勢能擴散為起點時，以其中有較大路徑勢能門口的值為基準，兩個門口皆以其值再度進行擴散。(有門口的網格模型)
5. 類似於上述第 4 點之特性，同一艙間有多個門口相當於同一甲板有多個樓梯，因為當路徑勢能欲擴散至另一個上層或是下層的甲板時，以擁有最大路徑勢能樓梯的值為基準，其他的樓梯皆以相同的值再度進行擴散。

經由 AENEAS 逃生模擬軟體的編輯器計算出的路徑勢能有兩種運用方式

1. 如同圖 3.7 的例子，建立沒有門口網格的幾何模型，因為門口網格會隱藏艙間之外的資訊，而去除門口能使路徑勢能和最短路徑呈現正比，當路徑勢能越大表示該網格距離出口越遠。以此方式得到的路徑勢能值運用在 3.2 出口分配方法之中，貪婪演算法的輸入基礎。
2. 建立有門口的網格的幾何模型，如圖 3.8，並做為輸入至 AENEAS 逃生模擬的模擬器，逃生模擬的結果分析如第四章所述。

### 3.1.4 人員參數及行進方向

AENEAS 逃生模擬軟體之中其人員參數分兩種，其一為本能參數：行走速度(Vmax)、動搖程度(Sway)、反應時間(Reaction)、行走慣性(Inertia)，其二為社會行為參數：耐心程度(Patience)、遊蕩程度(Dawdle)、聚集特性(Clustering)其定義參見表 3.3，參數分布可指派為常態或等量分布，也可以直接設定成 IMO 所訂定之逃生指南內的指定人員參數。

表 3.3 人員參數的定義

本能參數		
行走速度	Vmax	人員每秒移動多少網格的最大值
動搖程度	S	人員遵循路徑勢能所引導路徑的準確程度
反應時間	R	接收到逃生信號至開始移動的持續期間
行走慣性	$\Theta$	人員傾向行走同一方向的慣性
社會行為參數		
耐心程度	P	當堵塞發生時，選擇其他路徑前人員可等待最大持續時間
遊蕩程度	D	人員降低行走速度或短暫停止不前的可能性
聚集特性	C	人員聚集成群組的程度



人員在接收到逃生警報後，在  $R$  時間後開始行動，行進的速度由  $V_{max}$  決定，行進的傾向(Orientation)主要是由路徑勢能決定，以人員所在的網格為中心，下一步可選擇周圍 8 個網格，如圖 3.15。前往下一個網格的機率以下式計算

$$p_i = e^{-\frac{(P_i - P_0) + S}{S}}$$

$p_i$  選擇第  $i$  網格的機率

$P_i$  第  $i$  網格的路徑勢能值

$P_0$  當  $i=0$  時的路徑勢能值

$S$  人員參數之中的動搖程度(Sway)

$$P_{direction,new} = P_{direction} \cdot \Theta$$

$P_{direction,new}$  考慮慣性影響之下選擇位在相同行走方向之網格的可能值

$P_{direction}$  選擇下一步移動方向的可能值

$\Theta$  人員參數之中的慣性(Inertia)

此時人員的本能參數決定了行走速度及傾向，在下一瞬間人員所決定的方向則由人員的社會行為參數與視其周圍是否有其他人而決定。

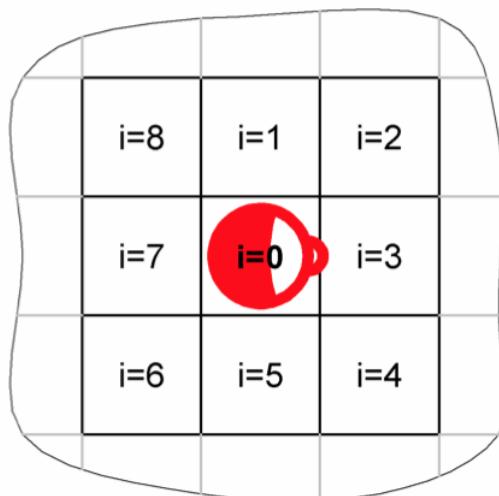
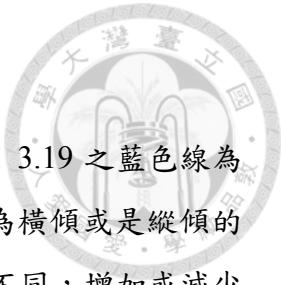


圖 3.15 正中間為人員所在位置與其可能行為的方向



### 3.1.5 地面傾斜下對行走速度的影響

當 AENEAS 進行船體週期性運動模擬[22]時，以圖 3.16~圖 3.19 之藍色線為基準，即為船體在固定的傾角下對人員行進速度的影響，橫軸為橫傾或是縱傾的角度，縱軸  $r$  為人員行進速度減少的係數。依人員所在的空間不同，增加或減少人員行進速度，並將每個時間步速度的改變，串連起來以達船體週期性時人員行進速度不斷改變的效果，船體做週期性運動時，每個時間步能對應至一縱傾及橫傾的角度，依此計算此步的行進速度衰減。圖中其他顏色的趨勢為其他國家不同單位或組織研究實際逃生實驗中，記錄甲板傾角對於人員行走速度的影響之結果。

甲板傾斜分成橫傾與縱傾兩種狀況，橫傾之角度分為 4 個範圍，而縱傾角度則分成 7 個範圍，其中針對橫傾與縱傾於走道與樓梯之狀況下，增加或減少係數  $r$  與橫傾或縱傾角度中之函數關係分別定義如下：

#### 1. 走道於橫傾狀況下，圖 3.16

$$r_{co,tran} = \begin{cases} -0.0067 \cdot \phi + 1 & : 0^\circ \leq \phi < 15^\circ \\ -0.0425 \cdot \phi + 1.5375 & : 15^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 0.05 & : 35^\circ \leq \phi < 45^\circ \\ 0 & : 45^\circ < \phi \end{cases}$$

#### 2. 走道於縱傾狀況下，圖 3.17

$$r_{co,long} = \begin{cases} 0 & : \varphi < -45^\circ \\ 0.05 & : -45^\circ \leq \varphi < -30^\circ \\ 0.085 \cdot \varphi + 2.6 & : -30^\circ \leq \varphi < -20^\circ \\ 0.005 \cdot \varphi + 1 & : -20^\circ \leq \varphi < 0^\circ \\ -0.015 \cdot \varphi + 1 & : 0^\circ \leq \varphi < 20^\circ \\ -0.07 \cdot \varphi + 2.1 & : 20^\circ \leq \varphi < 30^\circ \\ 0 & : 30^\circ < \varphi \end{cases}$$

#### 3. 樓梯於橫傾狀況下，圖 3.18

$$r_{sta,tran} = \begin{cases} -0.007 \cdot \phi + 1 & : 0^\circ \leq \phi < 20^\circ \\ -0.0085 \cdot \phi + 2.6 & : 20^\circ \leq \phi < 30^\circ \\ 0.05 & : 30^\circ \leq \phi < 40^\circ \\ 0 & : 40^\circ < \phi \end{cases}$$



#### 4. 樓梯於縱傾狀況下，圖 3.19

上樓梯：

$$r_{sta, long, up} = \begin{cases} 0 & : \varphi < -45^\circ \\ 0.038 \cdot \varphi + 1.76 & : -45^\circ \leq \varphi < -20^\circ \\ 1 & : -20^\circ \leq \varphi < 0^\circ \\ -0.015 \cdot \varphi + 1 & : 0^\circ \leq \varphi < 20^\circ \\ -0.065 \cdot \varphi + 2 & : 20^\circ \leq \varphi < 30^\circ \\ 0.05 & : 30^\circ \leq \varphi < 45^\circ \\ 0 & : 45^\circ < \varphi \end{cases}$$

下樓梯：

$$r_{sta, long, down} = \begin{cases} 0 & : \varphi < -45^\circ \\ 0.05 & : -45^\circ \leq \varphi < -30^\circ \\ 0.065 \cdot \varphi + 2 & : -30^\circ \leq \varphi < 20^\circ \\ 0.015 \cdot \varphi + 1 & : -20^\circ \leq \varphi < 0^\circ \\ 1 & : 0^\circ \leq \varphi < 15^\circ \\ -0.032 \cdot \varphi + 1.48 & : 15^\circ \leq \varphi < 45^\circ \\ 0 & : 45^\circ < \varphi \end{cases}$$

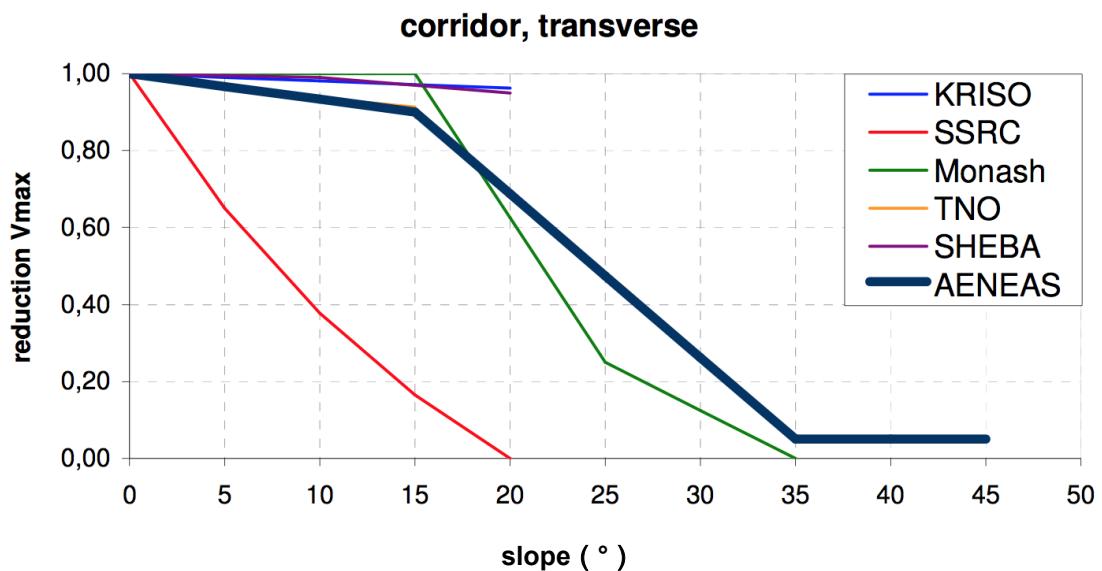


圖 3.16 走道，橫傾

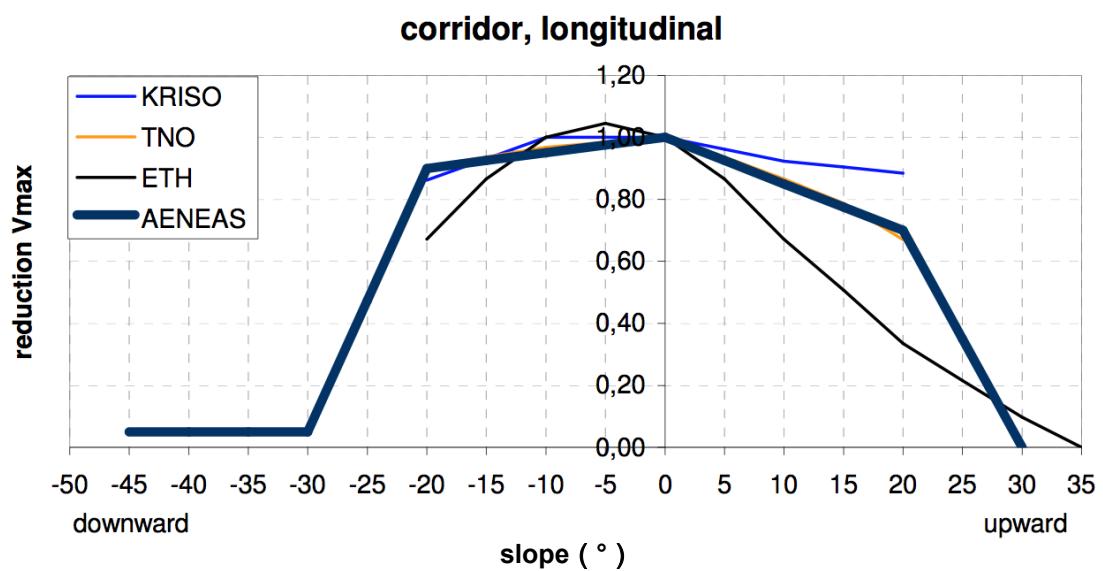


圖 3.17 走道，縱傾

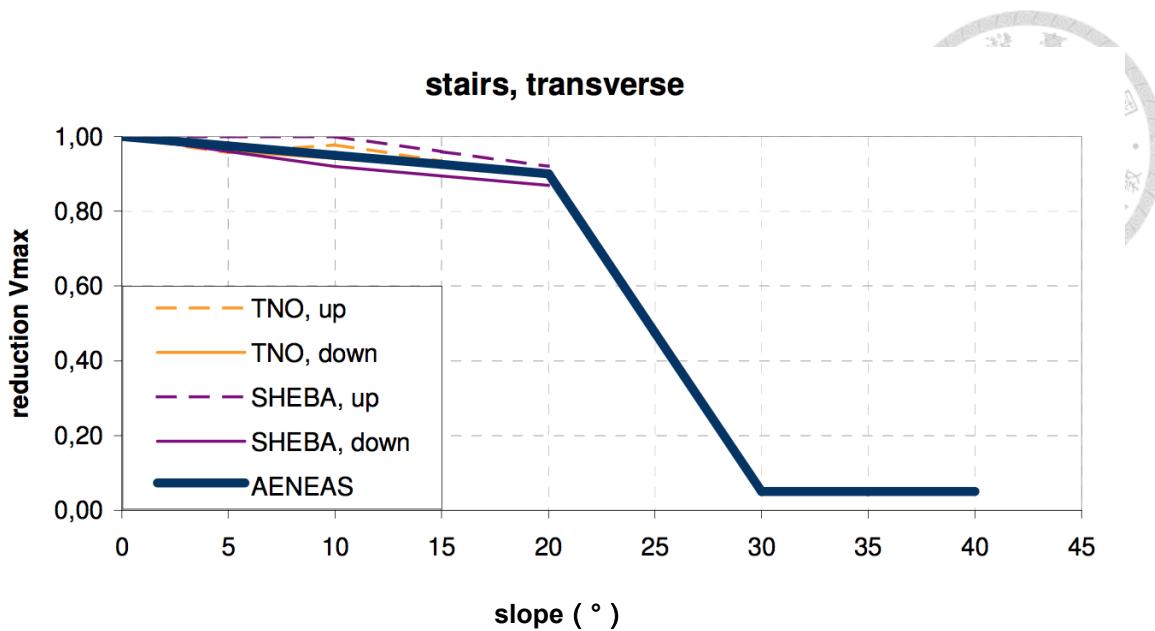


圖 3.18 樓梯，橫傾

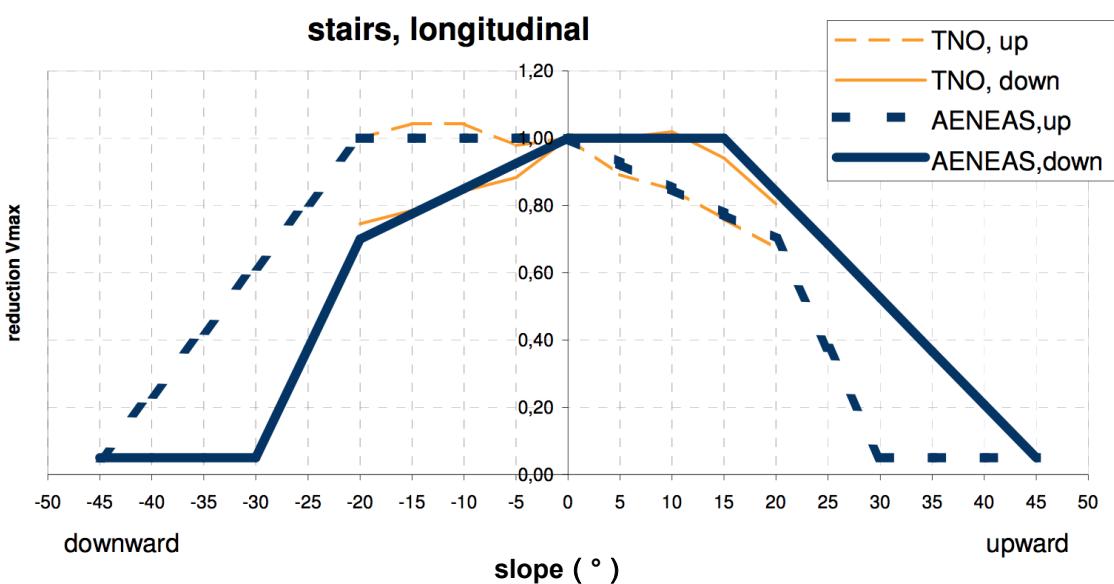


圖 3.19 樓梯，縱傾



## 3.2 出口分配

### 3.2.1 貪婪演算法

本章節應用貪婪演算法(Greedy Algorithm)[23] 找尋最佳解。由於出口和房間皆為多數，且各出口有人數限制，如表 2.5，故必須以演算法進行分配，使得各艙間能對應到最適合的出口。

貪婪演算法是一種尋找最佳解的方法，其方式為從某一起點開始，不斷的改進目前的解答，找出周圍的較佳解，再轉移到該較佳解上，一直到無法改進為止，每一步驟的選擇，只求眼前最有利的解答，而不考慮對最後結果是否有不良的影響。一開始要設定選擇的規範，為貪婪準則，以評估各選擇之間做出目前看起來最好的選擇，也就是局部最佳解。貪婪演算法為非常有效率的方法，但是並不保證可以得到全域最佳解，在一般的情況下，結果大多是非常接近最佳解。

限制最佳型( Restricted Optimization )貪婪演算法為其中一種變形。其起點為未限制下的全域最佳解，在施加一定限制條件後，逐次搜尋額外成本最低的次佳解，直到解答符合限制條件。本研究即採取此演算法，計算各艙間至適合出口的程式演算流程如圖 3.20，由每艙間最高順位開始排訂出口如第 3 步驟，分別施加不同的限制條件後，尋求符合條件的最佳解，如第 4 步驟。

由於演算法的搜尋機制以路徑勢能為基礎，而路徑勢能未含有任何人員本能參數及社會行為參數，只是空間上的距離。故其解之特性為未考慮距離以外之任何因素，若有影響甚大的因素必須列入考量，則需以人工的限制條件達成。

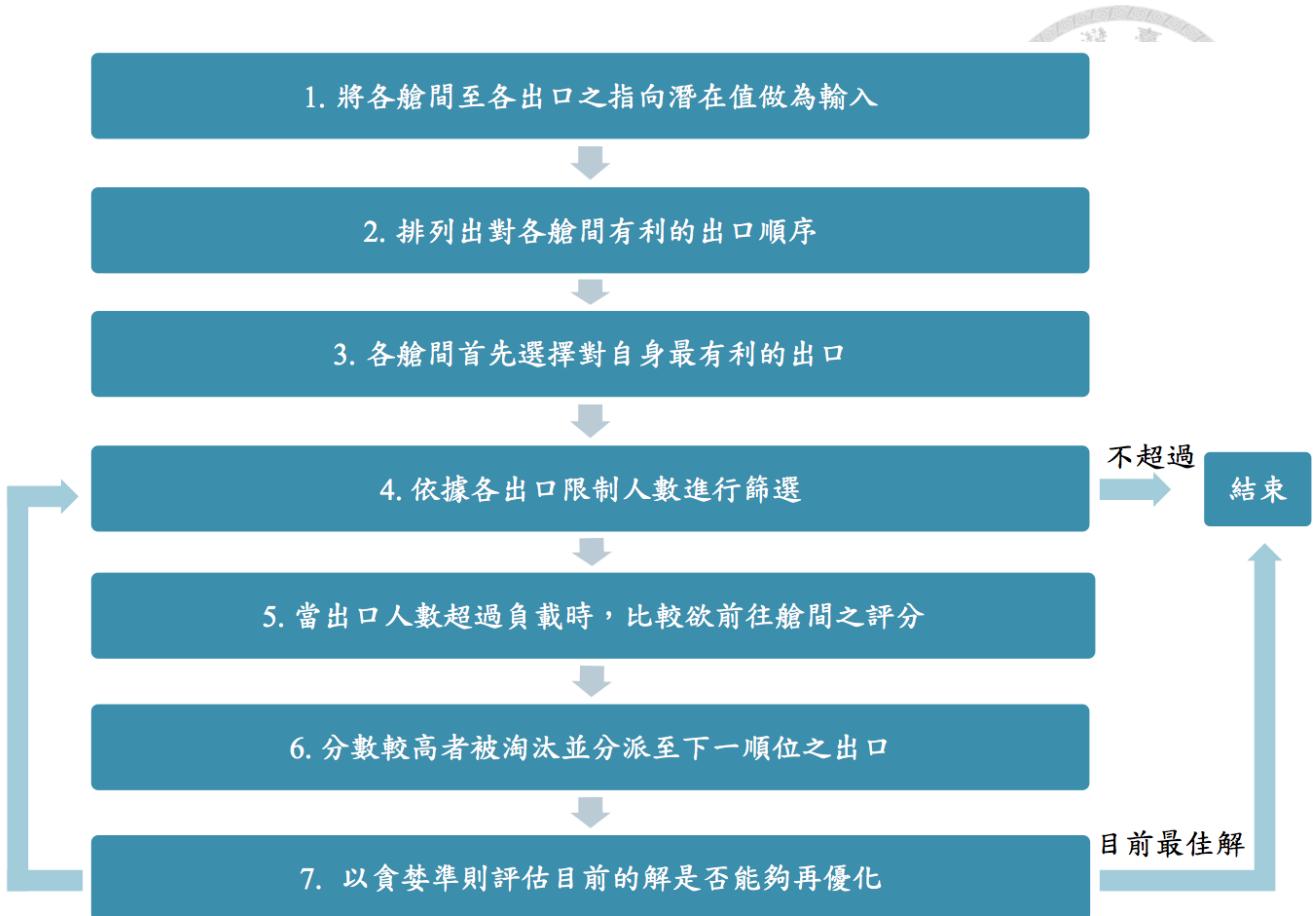


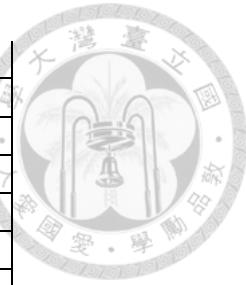
圖 3.20 分派艙間至出口的程式流程

### 3.2.2 計算出口至艙間之路徑勢能

從 3.1.4 節對路徑勢能特性的總整，路徑勢能在無門無樓梯狀況下與出口最短距離成正比，故船甲板分層構造和艙間門必須在計算出口至艙間路徑勢能時必須被移除。為了找出每一個艙間至各個出口之距離，以 AENEAS 所計算出不計入門口及樓梯各艙間中心位置的路徑勢能為參考，加以運算得到表 3.4，此表的路徑勢能可以當作路徑長短的參考依據，當路徑勢能越大，代表該艙間與指定出口距離越遠，反之亦然。再依表 3.4 排列出對各艙間有利的出口順序，如表 3.5。詳細運算過程如後所述。

表 3.4 各出口至各艙間之路徑勢能(不計入門口及樓梯)

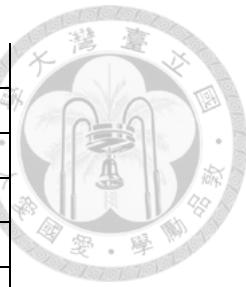
艙間\出口	1	2	3	4	5	6
1	1140	1120	1600	1580	1000	980
2	1120	1100	1590	1570	990	970
3	930	990	1310	1470	710	870
4	1080	1060	1560	1540	960	940
5	1050	930	1510	1310	930	710
6	900	880	1380	1360	780	760
7	830	810	1310	1290	710	690
8	780	760	1260	1240	660	640
9	750	730	1230	1210	630	610
10	840	820	1300	1280	700	680
11	820	800	1300	1280	700	680
12	690	670	1180	1160	580	560
13	590	570	1070	1050	470	450
14	730	710	1220	1200	620	600
15	650	630	1130	1110	530	510
16	570	550	1060	1040	460	440
17	790	770	1250	1210	670	650
18	690	670	1130	1090	570	550
19	630	610	1080	1040	520	510
20	780	760	1230	1190	650	630
21	660	640	1100	1060	540	520
22	590	570	1030	990	470	450
23	750	730	700	660	660	620
24	940	920	520	480	840	800
25	710	690	670	630	610	570
26	900	880	480	440	800	760
27	790	810	160	310	780	850
28	820	810	300	170	830	790
29	1330	1310	1820	1820	1220	1290
30	1210	1190	1700	1700	1100	1170



31	1310	1290	1800	1800	1200	1280
32	1170	1150	1660	1660	1060	1130
33	800	780	1290	1290	690	750
34	640	620	1130	1130	530	610
35	780	760	1270	1270	670	730
36	620	600	1110	1110	510	590
37	750	730	840	840	640	720
38	930	910	670	670	820	900
39	710	690	810	810	600	680
40	890	870	630	630	780	860
41	910	930	420	600	970	970
42	920	910	580	440	940	940
43	1240	1220	1730	1730	1130	1240
44	1000	980	1490	1490	890	1000
45	1190	1170	1680	1680	1080	1190
46	1110	1090	1600	1600	1000	1110
47	1050	1030	1540	1540	940	1050
48	1310	1290	1780	1740	1200	1180
49	1250	1230	1720	1680	1140	1120
50	1170	1150	1640	1600	1060	1040

表 3.5 對於各艙間有利出口的優先順序

艙間編號 \ 順序	1	2	3	4	5	6
1	6	5	2	1	4	3
2	6	5	2	1	4	3
3	5	6	1	2	3	4
4	6	5	2	1	4	3
5	6	5	2	1	4	3
6	6	5	2	1	4	3
7	6	5	2	1	4	3
8	6	5	2	1	4	3
9	6	5	2	1	4	3
10	6	5	2	1	4	3
11	6	5	2	1	4	3
12	6	5	2	1	4	3
13	6	5	2	1	4	3
14	6	5	2	1	4	3
15	6	5	2	1	4	3
16	6	5	2	1	4	3
17	6	5	2	1	4	3
18	6	5	2	1	4	3
19	6	5	2	1	4	3



20	6	5	2	1	4	3
21	6	5	2	1	4	3
22	6	5	2	1	4	3
23	6	5	4	3	2	1
24	4	3	6	5	2	1
25	6	5	4	3	2	1
26	4	3	6	5	2	1
27	3	4	5	1	2	6
28	4	3	6	2	1	5
29	5	6	2	1	3	4
30	5	6	2	1	3	4
31	5	6	2	1	3	4
32	5	6	2	1	3	4
33	5	6	2	1	3	4
34	5	6	2	1	3	4
35	5	6	2	1	3	4
36	5	6	2	1	3	4
37	5	6	2	1	3	4
38	3	4	5	6	2	1
39	5	6	2	1	3	4
40	3	4	5	6	2	1
41	3	4	1	2	5	6
42	4	3	2	1	5	6
43	5	2	1	6	3	4
44	5	2	1	6	3	4
45	5	2	1	6	3	4
46	5	2	1	6	3	4
47	5	2	1	6	3	4
48	6	5	2	1	4	3
49	6	5	2	1	4	3
50	6	5	2	1	4	3

表 3.6 列出各層載客甲板艙間區域、出口、樓梯的數量分布情形，而圖 3.21 則是樓梯編號圖。下圖 3.21 為表 3.4 的計算方式，其中第五個步驟之該層甲板艙間、出口、向上及向下樓梯之 6 種關係的路徑勢能如下，各層載客甲板之六種關係路徑勢能列在表 3.8 至表 3.20。



1. 各艙間至各出口
2. 各艙間至向上樓梯
3. 各艙間至向下樓梯
4. 各向上樓梯至出口
5. 各向下樓梯至出口
6. 各向上至向下樓梯

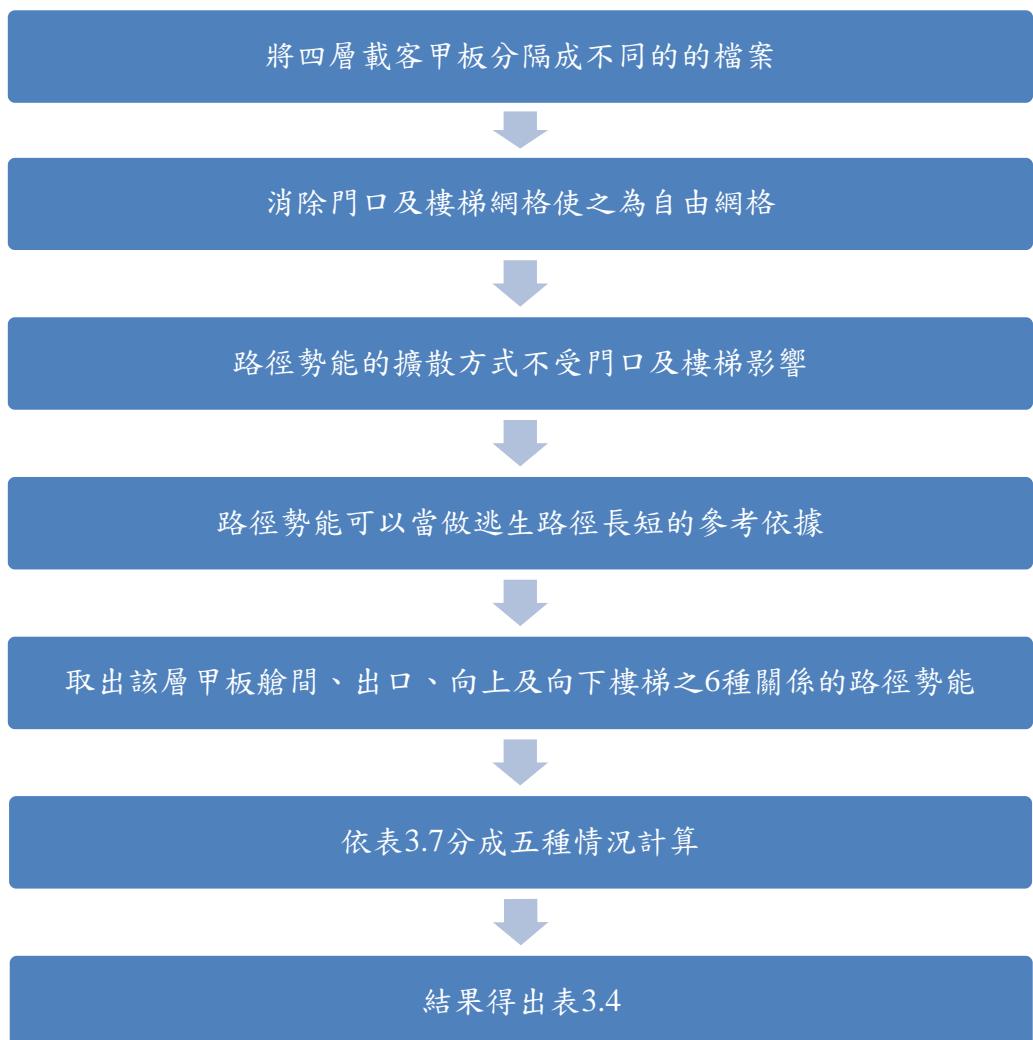


圖 3.21 計算各出口至各艙間之路徑勢能的方式

表 3.6 各層甲板艙間區域、出口、向上和向下樓梯之數量

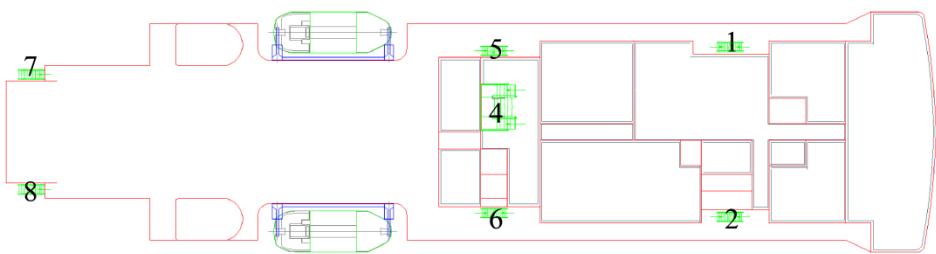
數量	艙間區域	出口	向上樓梯	向下樓梯
航海船橋甲板	16	2	0	8
上層船橋甲板	12	4	8	9
主甲板	14	0	9	7
下層甲板	8	0	7	0

表 3.7 各層甲板乘客前往出口的方式

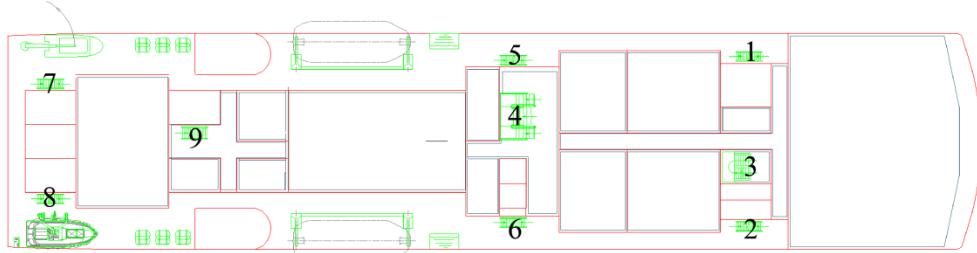
	不上下樓	下一層樓	上一層樓	上兩層樓	上三層樓
航海船橋甲板	V	V			
上層船橋甲板	V		V		
主甲板			V	V	
下層甲板				V	V

1. 不上下樓：直接取出該艙間至指定出口之路徑勢能。
2. 下一層樓：取出艙間至向下樓梯之路徑勢能，加下一層甲板的向上樓梯至指定出口之路徑勢能。
3. 上一層樓：該層甲板艙間至向上樓梯之路徑勢能，加上一層甲板的向下樓梯至指定出口之路徑勢能。
4. 上兩層樓：該層甲板艙間至向上樓梯之路徑勢能，加上一層甲板的向下樓梯至向上樓梯之路徑勢能，加上兩層甲板的向下樓梯至向上樓梯之路徑勢能。
5. 上三層樓：該層甲板艙間至向上樓梯之路徑勢能，加上一層甲板的向下樓梯至向上樓梯之路徑勢能，加上兩層甲板的向下樓梯至向上樓梯之路徑勢能，加上三層甲板的向下樓梯至指定出口之路徑勢能。

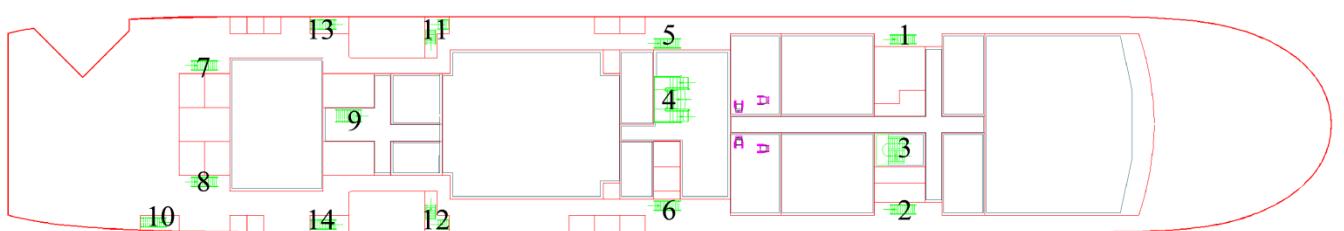
航海船橋甲板



上層船橋甲板



主甲板



下層甲板



圖 3.22 樓梯編號圖



以下為各層載客甲板艙間、出口、向上及向下樓梯相互之間的路徑勢能關係：

1. 航海船橋甲板

表 3.8 各艙間至出口

各艙間\出口編號	1	2
1	1140	1120
2	1120	1100
3	930	990
4	1080	1060
5	1050	930
6	900	880
7	830	810
8	780	760
9	750	730
10	840	820
11	820	800
12	690	670
13	590	570
14	730	710
15	650	630
16	570	550

表 3.9 各艙間至向下樓梯

艙間\向下樓梯編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	410	410	350	760	880	860	1710	1710
2	410	410	350	750	870	850	1710	1710
3	100	350	290	650	610	750	1560	1570
4	380	380	320	720	840	820	1680	1680
5	350	100	150	690	810	610	1570	1560
6	210	310	370	540	660	640	1500	1500
7	270	430	370	470	590	570	1430	1430
8	340	500	440	420	540	520	1380	1380
9	400	500	440	390	510	490	1350	1350
10	330	330	270	460	580	560	1420	1420
11	460	460	400	460	580	560	1400	1400
12	640	660	600	340	460	440	1280	1280
13	730	750	690	230	350	330	1170	1170
14	560	580	520	380	500	480	1320	1320
15	650	690	630	290	410	390	1250	1250
16	720	740	680	220	340	320	1160	1160

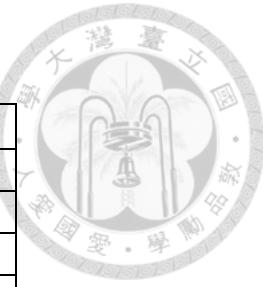


表 3.10 各向下樓梯至出口

向下樓梯\出口編號	1	2
1	840	1000
2	980	840
3	1010	990
4	420	400
5	360	520
6	500	360
7	560	580
8	570	560

## 2. 上層船橋甲板

表 3.11 各艙間至各出口

艙間\出口編號	3	4	5	6
17	1250	1210	670	650
18	1130	1090	570	550
19	1080	1040	520	510
20	1230	1190	650	630
21	1100	1060	540	520
22	1030	990	470	450
23	700	660	660	620
24	520	480	840	800
25	670	630	610	570
26	480	440	800	760
27	160	310	780	850
28	300	170	830	790

表 3.12 各艙間至向上樓梯

艙間\向上樓梯編號	1	2	3	4	5	6	7	8
17	610	590	390	370	570	570	1510	1470
18	750	750	550	270	470	470	1390	1350
19	690	690	610	210	410	420	1330	1290
20	600	580	380	360	560	560	1500	1460
21	720	720	520	240	440	440	1360	1320
22	660	650	570	170	380	370	1290	1250
23	830	790	830	330	550	530	950	910
24	1020	980	1020	520	740	720	780	740
25	790	750	790	290	510	490	930	890
26	980	940	980	480	700	780	640	700
27	1350	1440	1520	1020	850	940	230	400

28	1410	1370	1470	970	910	870	280	250
----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

表 3.13 各艙間至向下樓梯

艙間\向下樓梯編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	500	520	400	380	480	480	1460	1420	1120
18	670	670	550	250	370	370	1330	1290	1010
19	700	700	580	160	280	290	1240	1200	920
20	500	500	380	360	460	460	1440	1400	1100
21	640	640	520	220	340	340	130	1260	980
22	680	680	560	160	270	260	1220	1180	900
23	900	860	820	300	440	420	900	860	560
24	1090	1050	1010	490	630	610	710	670	370
25	860	820	780	260	400	380	880	840	550
26	1050	1010	970	450	590	570	690	650	360
27	1430	1520	1520	1000	930	1020	150	320	240
28	1500	1440	1480	960	1000	940	320	160	200

表 3.14 各向上樓梯至出口

向上樓梯\出口編號	3	4	5	6
1	1210	1410	610	940
2	1410	1210	940	610
3	1460	1420	880	860
4	920	920	320	430
5	720	920	120	650
6	920	720	650	120
7	270	530	890	1070
8	540	280	1080	900

表 3.15 各向下樓梯至出口

向下樓梯\出口編號	3	4	5	6
1	1290	1490	690	980
2	1290	1490	990	690
3	1460	1420	880	860
4	920	920	320	430
5	790	990	190	560
6	1000	800	560	200
7	190	450	810	990
8	460	200	1000	820
9	360	360	680	680

表 3.16 各向上至向下樓梯

向上\向下樓梯編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	110	490	370	500	440	760	1400	1570	1250
2	470	110	290	600	740	440	1570	1400	1250
3	280	200	40	580	680	680	1660	1620	1320
4	610	700	590	10	150	250	1130	1120	820
5	600	900	780	220	120	480	910	1080	760
6	890	590	770	330	470	110	1080	910	760
7	1560	1740	1720	1180	1060	1240	120	390	460
8	1730	1550	1670	1150	1230	1050	390	110	430

## 3. 主甲板

表 3.17 各艙間至向上樓梯

艙間\向上樓梯編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	550	660	450	900	1050	1090	2010	2000	1570
30	540	540	330	780	960	970	1920	1880	1450
31	640	590	440	880	1060	1080	2020	1980	1560
32	500	500	290	740	920	930	1880	1840	1410
33	610	610	390	370	550	550	1510	1470	1030
34	670	690	550	210	390	410	1350	1310	890
35	590	590	370	350	530	530	1490	1450	1010
36	650	650	530	190	380	390	1330	1290	870
37	820	800	840	320	560	520	940	900	480
38	1000	980	1020	500	740	700	790	750	310
39	780	760	800	280	520	480	920	880	450
40	960	940	980	460	700	660	740	700	270
41	1370	1430	1510	990	870	950	230	400	290
42	1400	1380	1480	960	920	880	390	240	260

表 3.18 各艙間至向下樓梯

艙間\向下樓梯編號	3	4	10	11	12	13	14
29	450	870	2030	1490	1510	1750	1710
30	320	750	1900	1370	1390	1630	1580
31	440	880	2020	1500	1520	1760	1700
32	310	740	1890	1360	1380	1620	1570
33	410	350	1510	970	990	1230	1190
34	570	210	1350	830	850	1090	1030
35	400	340	1500	960	980	1220	1180
36	560	200	1340	820	840	1080	1020
37	870	330	950	710	670	690	630

38	1050	510	790	550	510	530	470
39	840	300	920	680	640	660	600
40	1000	460	740	500	460	480	420
41	1530	990	440	470	550	230	400
42	1500	960	280	520	480	390	240

表 3.19 各向上至向下樓梯

向上\向下樓梯編號	3	4	10	11	12	13	14
1	400	500	1680	960	1280	1220	1380
2	310	590	1520	1260	960	1410	1200
3	30	560	1720	1180	1200	1440	1400
4	600	10	1220	650	790	910	900
5	780	220	1190	460	950	720	910
6	770	310	1030	950	460	930	710
7	1730	1170	340	590	770	350	610
8	1690	1150	90	750	590	610	350
9	1260	720	530	280	300	260	260

#### 4. 下層 甲板

表 3.20 各艙間至向上樓梯

艙間\向上樓梯編號	3	4	10	11	12	13	14
43	400	800	1980	1340	1320	1640	1640
44	240	560	1760	1120	1110	1420	1400
45	360	750	1940	1300	1280	1600	1590
46	290	670	1870	1230	1210	1530	1510
47	210	610	1790	1150	1130	1450	1450
48	290	870	2070	1430	1410	1730	1710
49	230	810	2010	1370	1350	1670	1650
50	150	730	1930	1290	1270	1590	1570



### 3.2.3 分配出口—限制出口人數

表 3.21 是以出口人數做限制條件經由貪婪演算法得出的較佳解，分配的結果滿足各出口的人數限制如表 3.22，並且每一個艙間都能夠前往各自的第一順位出口，也就是每一位乘客都可以走最短路徑到對自己最有利的出口，然而分配的結果未達平衡，圖 3.23 不同顏色表示分配至不同的出口，藍色區域範圍內的乘客分派出口 3；灰色區域範圍內的乘客分派出口 4；紫色區域範圍內的乘客分派出口 5；黃色區域範圍內的乘客分派出口 6。沒有艙間被指派至出口 1 和 2，而一般配置圖的設計幾乎是對稱，有少部分樓梯和艙間不對稱，出口 3 與 4，5 與 6 在甲板空間中為左右對稱而且是相同的逃生設備，但是分派的結果，欲前往出口 3 和出口 4 的人數不相近，欲前往出口 5 及出口 6 的人數也不相近，不符合幾何對稱性的結果是在逃生中會發生較多的人員交錯行為，可能造成堵塞而花費更多的逃生時間，故在分派出口時也應當考慮出口位置的對稱性，才比較容易能達到分流效果。並且鄰近的艙間分派至出口的結果是差異較大，這樣的結果較不符合實際，因為在緊急情況下人類的行為傾向跟隨鄰近的人逃生，若鄰近艙間分派至的出口不具有一致性，也較難執行準確的逃生，人員反而無法遵守被分派至的出口。因此就算是每個人都前往各自最有利的出口，並不能保証全體能達到最短的逃生時間。不過以貪婪演算法的方式分配艙間至出口解決了各出口有人數限制的問題，此分配方式依路徑勢能的大小判斷出對於各個艙間有利的出口，而因為有貪婪準則能在短時間內找到較佳解。

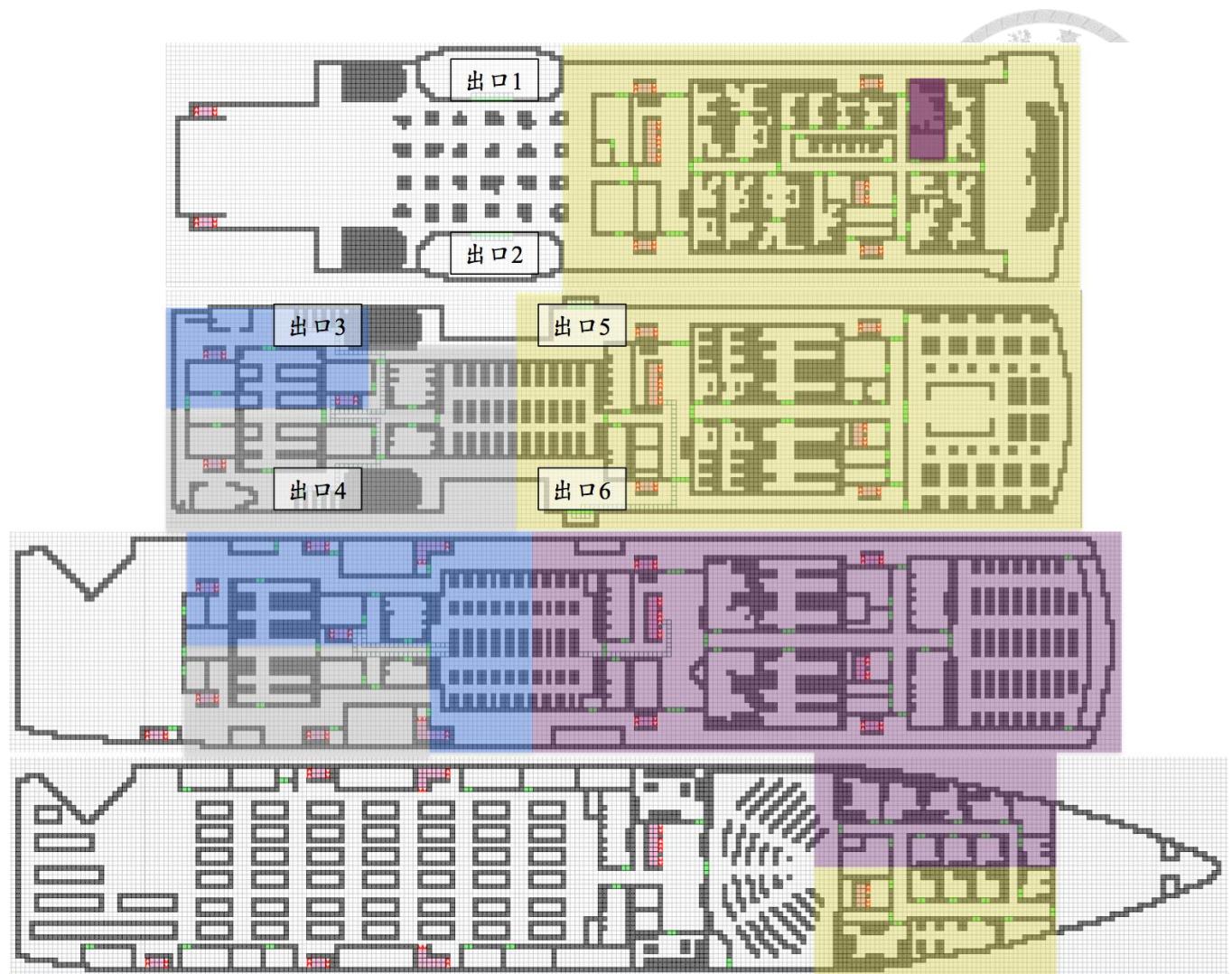


圖 3.23 不同顏色的區域分配至個逃生出口之分布圖（限制出口人數）

表 3.21 各艙間區域乘客人數及分派之出口

艙間編號	乘客人數	出口編號	順位	艙間編號	乘客人數	出口編號	順位
1	2	6	1	26	22	4	1
2	1	6	1	27	21	3	1
3	1	5	1	28	21	4	1
4	1	6	1	29	31	5	1
5	1	6	1	30	30	5	1
6	1	6	1	31	30	5	1
7	1	6	1	32	31	5	1
8	1	6	1	33	24	5	1
9	1	6	1	34	2	5	1
10	6	6	1	35	24	5	1
11	1	6	1	36	2	5	1
12	2	6	1	37	30	5	1
13	2	6	1	38	30	3	1
14	2	6	1	39	30	5	1
15	2	6	1	40	30	3	1
16	2	6	1	41	21	3	1
17	24	6	1	42	21	4	1
18	6	6	1	43	2	5	1
19	6	6	1	44	4	5	1
20	24	6	1	45	2	5	1
21	6	6	1	46	2	5	1
22	6	6	1	47	2	5	1
23	22	6	1	48	2	6	1
24	23	4	1	49	2	6	1
25	23	6	1	50	2	6	1

表 3.22 各出口分派之乘客人數及剩餘位子

出口	限制人數	乘客人數	剩餘位子	出口使用率
1	120	0	120	0.00 %
2	120	0	120	0.00 %
3	150	102	48	32.00 %
4	150	87	63	42.00 %
5	300	247	53	82.33 %
6	300	149	151	49.67 %



### 3.2.4 分配出口—防止交錯行為

前一小節以貪婪演算法的方式限制出口人數分配艙間至出口，不過分配的結果可以再增加限制條件找到另外的最佳解，針對前小節所提到的問題為人員之間發生的交錯行為進行改善，並且還是保有出口人數限制的條件。本小節所採取的方式為減緩前後、左右及上下樓梯人員的交錯行為，故在計算艙間至出口的勢能時，將以下行為施加懲罰性的路徑勢能值。

1. 位於左舷的艙間前往右舷的出口，反之亦然，如圖 3.24 中的紅色切割線。
2. 位在圖 3.24 橘色切割線之前的艙間前往切割線之後的出口，反之亦然。
3. 下樓梯，此限制能減少在樓梯發生的交錯行為，人員傾向停留在原甲板或是向上逃生。

分配的結果如圖 3.24，紅色區域範圍內的乘客分派至出口 1；綠色區域範圍內的乘客分派至出口 2；藍色區域範圍內的乘客分派出口 3；灰色區域範圍內的乘客分派出口 4；紫色區域範圍內的乘客分派出口 5；黃色區域範圍內的乘客分派出口 6。表 3.23 為以防止交錯行為方式分配的結果，表 3.24 為分派至各出口的人數及剩餘位子之數量。分配的結果是艙間區域 1-16 前往第三或第四順位的出口，艙間區域 17-50 前往第一或第二順位的出口，並且出口使用率較上一小節的結果更為平均，達到左右平衡的效果。防止交錯行為分配方式像是追求群體利益的社會主義；而前一小節限制出口人數的分配方式像是追求個人利益的資本主義。

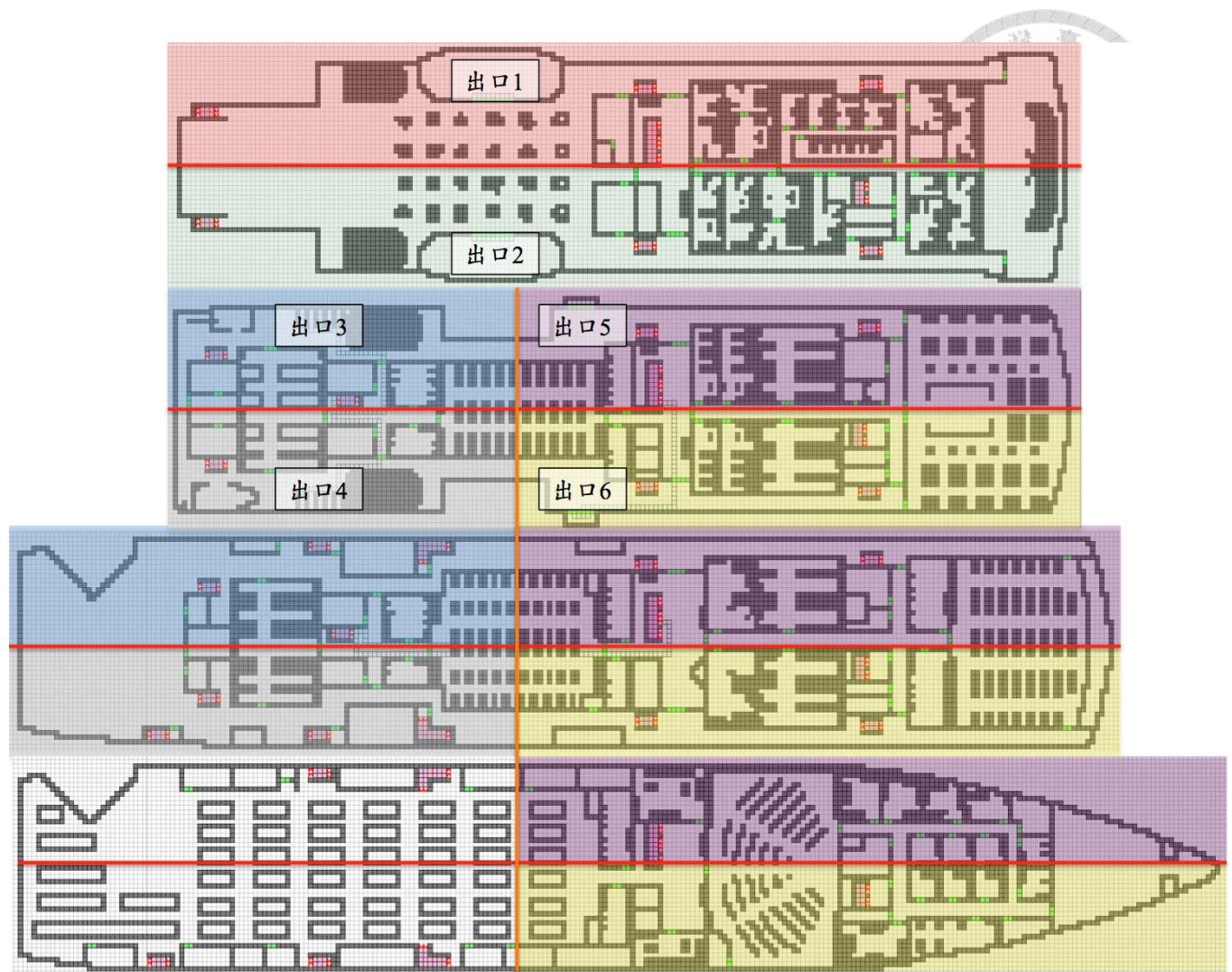


圖 3.24 不同顏色的區域分配至個逃生出口之分布圖（防止交錯行為）

表 3.23 防止交錯行為方式分配的結果

艙間編號	乘客人數	出口編號	順位	艙間編號	乘客人數	出口編號	順位
1	2	1	4	26	22	4	1
2	1	1	4	27	21	3	1
3	1	1	3	28	21	4	1
4	1	2	3	29	31	5	1
5	1	2	3	30	30	5	1
6	1	1	4	31	30	6	2
7	1	1	4	32	31	6	2
8	1	1	4	33	24	5	1
9	1	1	4	34	2	5	1
10	6	1	4	35	24	6	2
11	1	2	3	36	2	6	2
12	2	1	4	37	30	5	1
13	2	1	4	38	30	3	1
14	2	2	3	39	30	6	2
15	2	2	3	40	30	4	2
16	2	2	3	41	21	3	1
17	24	5	2	42	21	4	1
18	6	5	2	43	2	5	1
19	6	5	2	44	4	5	1
20	24	6	1	45	2	5	1
21	6	6	1	46	2	5	1
22	6	6	1	47	2	5	1
23	22	5	2	48	2	6	1
24	23	3	2	49	2	6	1
25	23	6	1	50	2	6	1

表 3.24 分派至 1 各出口的人數及剩餘位子

出口	限制人數	乘客人數	剩餘位子	出口使用率
1	120	18	102	15.00 %
2	120	9	111	7.50 %
3	150	95	55	63.33 %
4	150	94	56	62.67 %
5	300	187	113	62.33 %
6	300	182	118	60.67 %

## Chapter 4 結果分析



本章以 AENEAS 逃生模擬軟體進行模擬以及分析，其人員參數皆依照 IMO 所制定的「新建造與現成客船疏散分析指導方針」為基準，並且假設最大載客量 550 名乘客及船員 35 名，每人員皆在各自的床位或座位，亦即是不使用娛樂設施的假設夜間情況模擬逃生疏散情形，選用夜間假設的原因是較能夠掌握各個乘客的位置，若選用白天假設則必須考慮乘客使用娛樂設施及隨機分布位置的情況。除了人數低於 25 人之客艙與工作艙間之外，將載客量較大的座艙分割成 2 或 4 個區域，以此劃分成 50 個區域含有不同的人數。以表 3.21 和表 3.23 的分配結果進行模擬。此章節將逃生模擬分為兩大類，船體運動分為靜水及船體週期性橫搖或縱搖運動的情況，人員分布分為整體艙間和局部艙間之逃生模擬，並以前一章節所述之兩種出口分配方法—限制出口人數及防止交錯行為方式分配艙間至出口，艙間 A、B、C 之所在位置如圖 4.6~圖 4.8。共組合成八個模擬案例，如表 4.1，觀察逃生模擬結果並做進一步的分析。

表 4.1 八個模擬案例

船體運動	人員分布	
靜水狀況	整體艙間	1. 整體艙間
	局部艙間	2. 艙間 A
		3. 艙間 B
		4. 艙間 C
船體週期性運動	整體艙間	5. 整體艙間
	局部艙間	6. 艙間 A
		7. 艙間 B
		8. 艙間 C



## 4.1 靜水狀況之下的模擬

### 4.1.1 整體艙間之逃生模擬

#### 1. 以限制出口人數方式分配各房間至出口

假設靜水狀況之下，以 AENEAS 進行 500 次不同人口特性參數分布逃生疏散模擬，結果如圖 4.1，平均行進時間為 947 s 及最大值 1108 s 如表 4.2，皆符合法規容忍值 1920 s，並且無明顯堵塞現象，綠色的長條為 95% 信賴水準。圖 4.2 為逃生時間內，多少人員逃出的趨勢圖，在逃生時間的一開始和即將結束時最少人員脫逃，可能是花費較多時間在前往出口的路途中。圖 4.2 中有兩個轉折點，第一個轉折點為第一組人員抵達出口，計算逃出人數的方式以抵達出口為準，而在開始逃生時所有人員皆在前往出口的路途中，故剛始的 400 s 左右比較少人員抵達出口；第二個轉折點發生原因為最後一組逃出人員因行進速度較緩慢，在大部分人員逃出之後才陸續抵達出口。由圖可見 500 次模擬結果之中的平均值、95% 信賴水準、最小值、最大值趨勢大致上相同，只在約 400 人逃出後稍有變化，逃生時間為最小值時，在 400 人開始左右可能人員擁擠的現象較少，因此能順利地脫逃，最後逃出的人員在較短的時間內脫身。而逃生時間為最大值時，在 400 人開始左右可能有輕微擁塞的情況，因此最後一群逃出的人員花費較多時間。

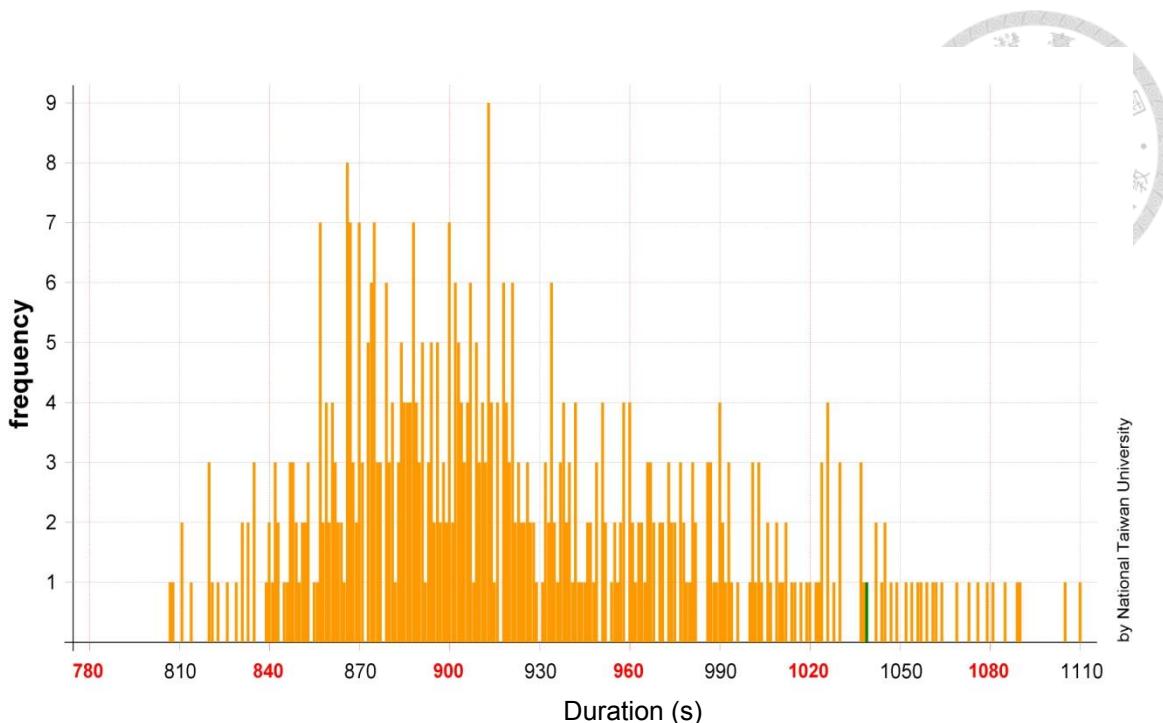


圖 4.1 靜水狀況發生次數-逃生時間分布圖

表 4.2 靜水狀況逃生時間模擬結果

靜水狀況逃生時間	逃生時間 (s)
平均值(mean)	947
標準差(stddev)	55
95%信賴水準(significant)	1044
最小值(min)	816
最大值(max)	1108

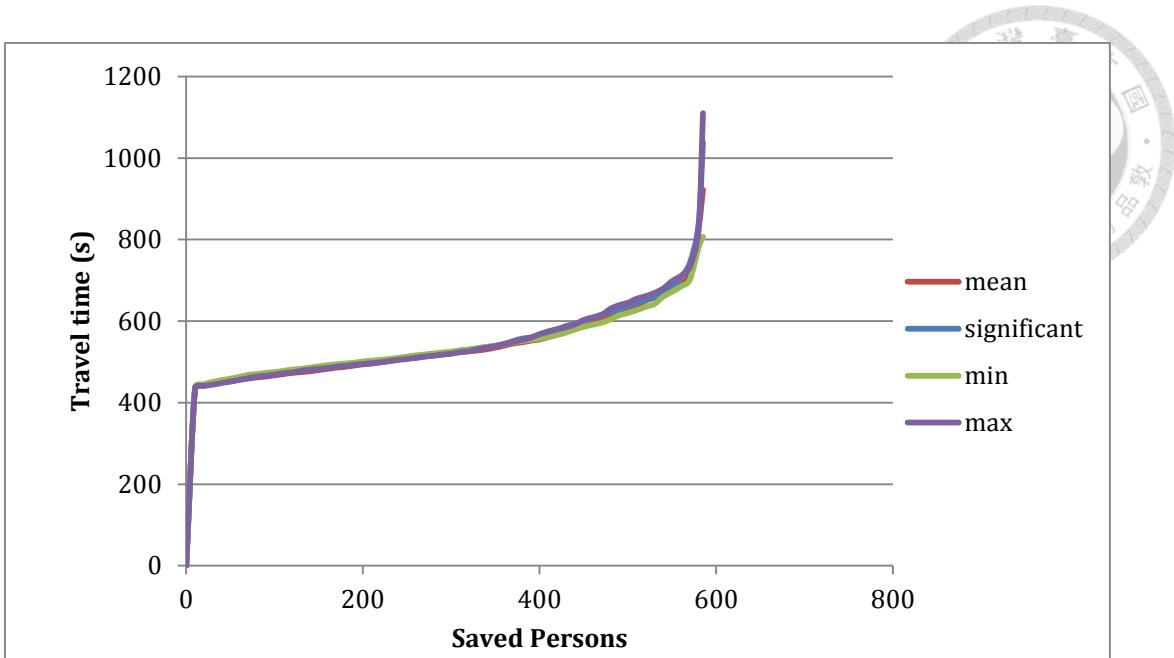


圖 4.2 靜水狀況在時間內逃出人數

## 2. 以防止交錯行為方式分配各房間至出口

依表 3.24 以防止交錯行為方式重新分配房間至各出口，以 AENEAS 軟體進行 500 次的逃生模擬的結果如圖 4.3，平均時間為 811 s，最長時間為 888 s，如表 4.3，其中也包含和貪婪演算法分配方式的模擬結果比較，平均逃生時間減少了 14.36%，最大逃生時間減少了 19.86%。圖 4.4 為防止交錯行為方式在時間內的逃出人數，大致上四種狀況如圖 4.2 般上升的趨勢相近，不過在約 600 s 左右最大逃生時間的狀況之中，和平均逃生時間的狀況差距較小，可見在此種分配方式下，人員逃生的情形比較穩定及一致。圖 4.5 為比較兩種分配方式平均模擬結果，由圖中可見，防止交錯行為花費較少逃生時間的原因為大約在 500 s 至 600 s 左右，比限制出口人數分配方式逃出的人員還要多，可能因為分配出口的方式有效達到分流的效果，不會在逃生過程中因為人潮擁擠花費多餘的時間。

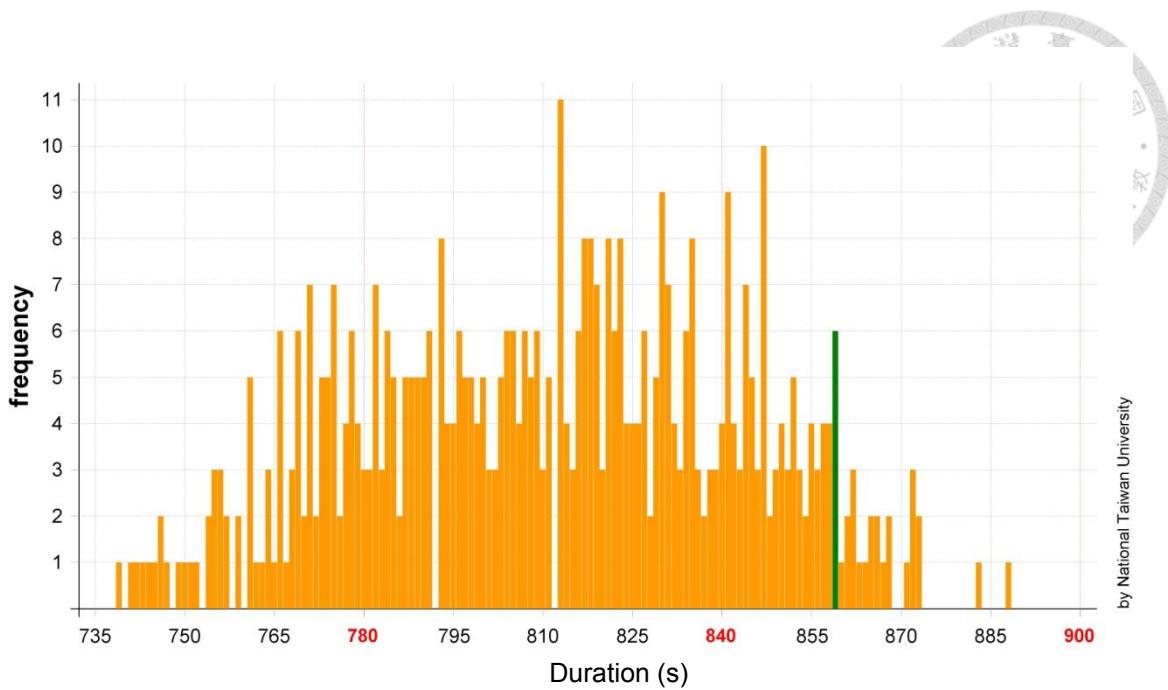


圖 4.3 依防止交錯行為方式分派方式發生次數—逃生時間分布圖

表 4.3 依防止交錯行為方式分派方式之模擬結果與比較

逃生時間	逃生時間 (s)	和限制出口人數分配方式比較
平均值(mean)	811	-14.36%
標準差(stddev)	31	-43.64%
95%信賴水準(significant)	859	-17.72%
最小值(min)	739	-9.44%
最大值(max)	888	-19.86%

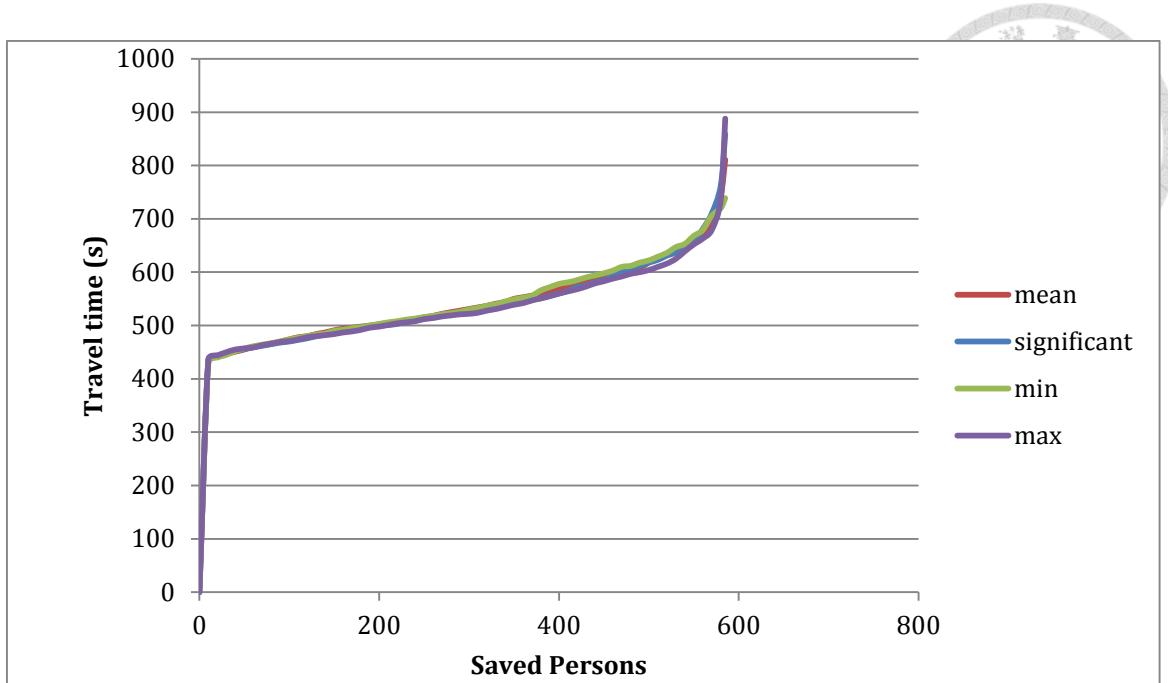


圖 4.4 防止交錯行為方式在時間內的逃出人數

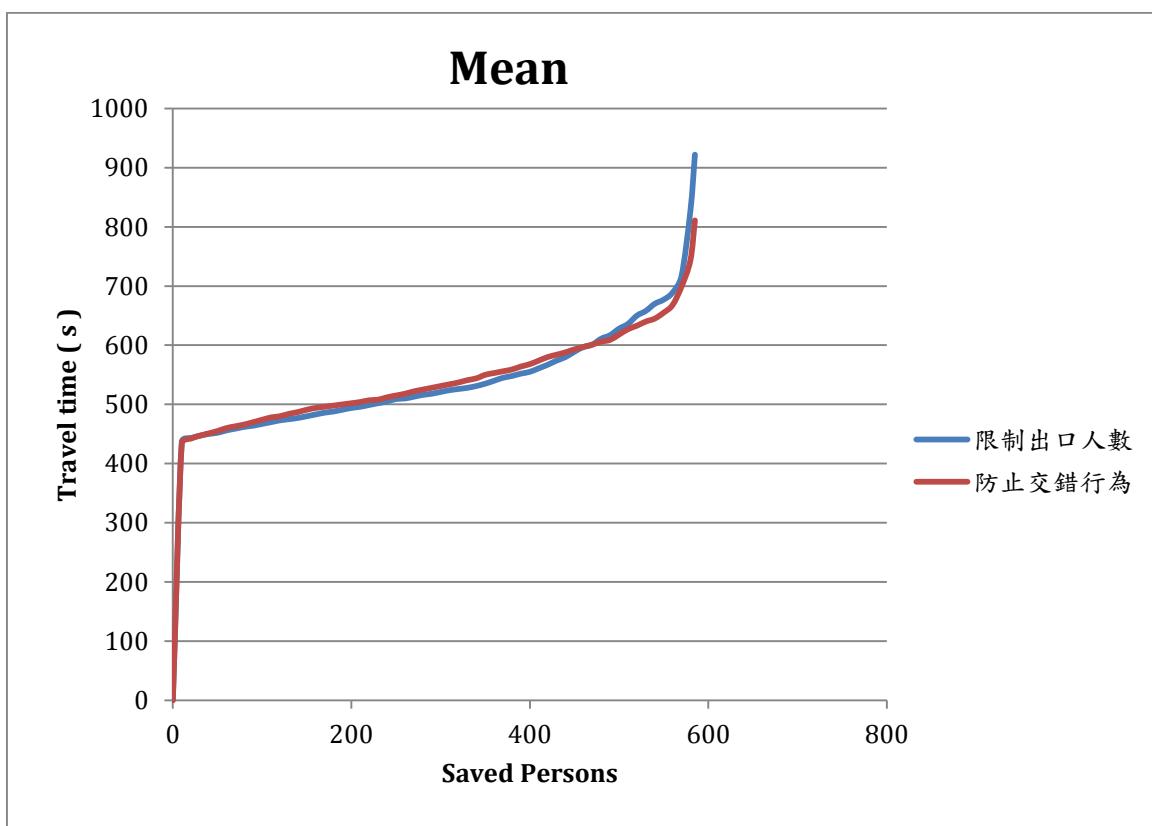


圖 4.5 比較靜水情況兩種分配方式平均模擬結果

#### 4.1.2 局部艙間之逃生模擬

同樣在靜水情況之下，模擬局部艙間之逃生模擬，局部艙間的逃生模擬分為三個區域，如下：

A. 位於上層船橋甲板，艙間區域 23-26

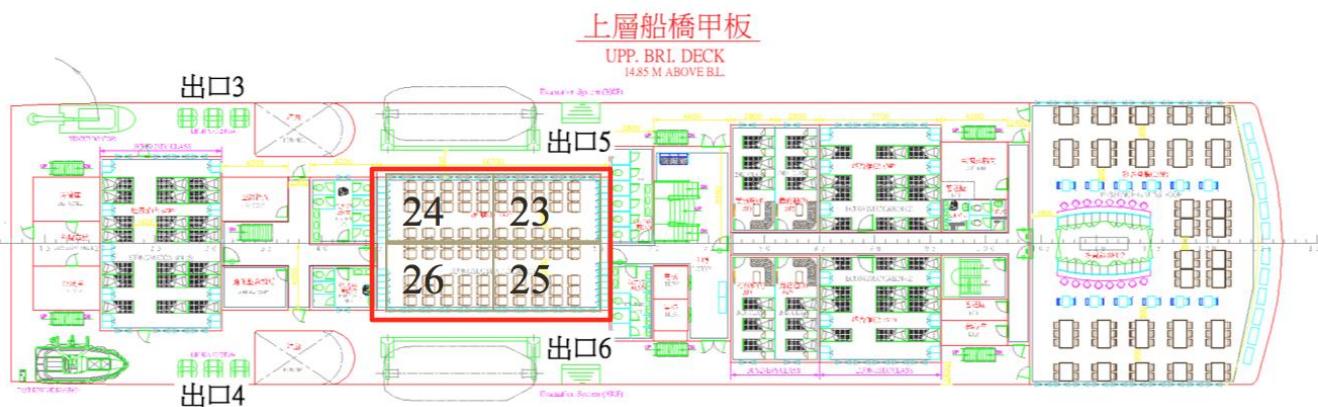


圖 4.6 艙間 A 所在位置

表 4.4 艙間 A 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果

艙間區域編號	23	24	25	26	平均逃生時間(S)
人數	22	23	23	22	
防止交錯行為方式分配出口	5	3	6	4	714
限制出口人數方式分配出口	6	4	6	4	700

B. 位於主甲板，艙間區域 29-32

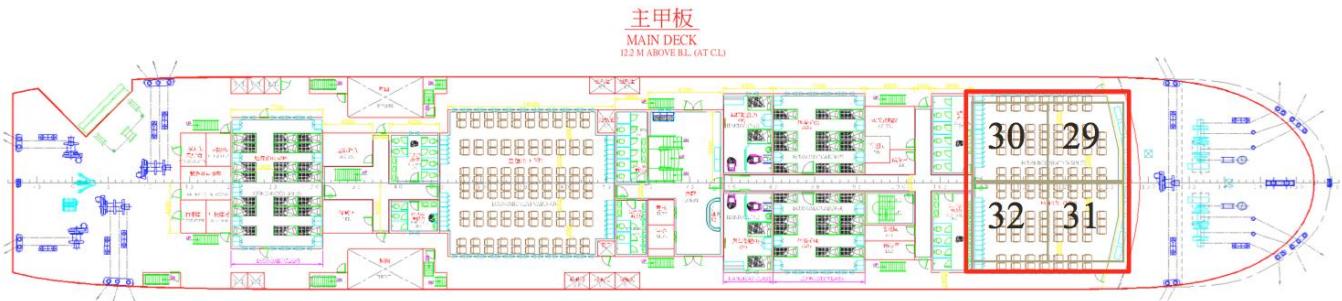


圖 4.7 艙間 B 所在位置

表 4.5 艙間 B 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果

艙間區域編號	29	30	31	32	平均逃生時間(S)
人數	31	30	30	31	
防止交錯行為方式分配出口	5	5	6	6	784
限制出口人數方式分配出口	5	5	5	5	774



C. 位於主甲板，艙間區域 37-40



圖 4.8 艙間 C 所在位置

表 4.6 艙間 C 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果

艙間區域編號	37	38	39	40	平均逃生時間(S)
人數	30	30	30	30	
防止交錯行為方式分配出口	5	3	6	4	722
限制出口人數方式分配出口	5	4	5	4	720

表 4.7 比較三個不同艙間的模擬結果

平均逃生時間(S)	防止交錯行為分配出口	限制出口人數分配出口	比較
艙間 A	714	700	-1.96%
艙間 B	784	774	-1.27%
艙間 C	722	720	-0.28%

依表 4.7 可以看出局部艙間逃生模擬的結果以限制出口人數方式分配出口，平均逃生時間較短，因此在分析局部艙間的模擬情形較適用於以限制出口人數方式分配出口，在 Myung-II Roh (2013) [24]一文中，也有相似的理論，提到人員的個體行為只要考慮本身欲行走的最短路徑，而考慮人員的群體行為的話，必須要將互動半徑列入考量，畢竟如果所有人都前往對自身最有利出口，或是行走最短路徑，此時若人員有交錯行為或是發生堵塞，總逃生時間不一定會是最短。



下述比較兩種不同的分配方法：

- 限制出口人數分配方式

1. 此方法針對出口有人數限制解決分配問題，因此出口人數上限是一項重要的條件限制。
2. 對應到實際的情況，是假想各個出口有人員控管的情形，或者是特殊情形如人員大量地聚集在娛樂設施設置的空間等等。
3. 能在短時間內經由改變不同的出口人數計算得到符合限制條件最佳的分配方式。
4. 當考慮的艙間數量越多，也就是乘客越多，會有窮舉不盡的出口限制人數的組合，選用此方法不一定有效率。
5. 因為輸入的路徑勢能是以各個艙間單獨到各出口，並且考慮的是單一人員的最短路徑及最短逃生時間。此方式沒有考量到社會行為，偏向個體或同一空間的群體行為。

- 防止交錯行為分配方式

1. 針對人員交錯行為進行改善，並且還是保有出口人數限制的條件，改善的方式為減緩前後、左右及上下樓梯人員的交錯行為。
2. 考慮整體艙間的情形和人員的社會行為，人群在逃生過程中前往同一方向是人類的心理直覺反應。
3. 快速地達到系統性的分流，因鄰近區域的艙間前往至同一出口，再加上分配出口的方式配合出口設計的幾何對稱性，逃生路徑便能避免人員的交錯行為，減少逃生時間。
4. 本研究之參考船夜間人員分布情形依此方法分派人員至出口不會大於各出口本身預設的限制人數，若有超過的情形可能要再搭配其他的限制條件找尋更好的分配方式。



## 4.2 週期性橫搖與縱搖運動狀況的模擬

### 4.2.1 週期性運動參數設定

應用 AENEAS 內建船舶週期性橫搖與縱搖運動模擬不同參數設定情況下的逃生模擬，橫搖振幅(Max Roll Angle,  $\phi_{max}$ )、縱搖振幅(Max Pitch Angle,  $\varphi_{max}$ )、橫搖週期(Roll Period)、縱搖週期(Pitch Period)參數設定如表 4.8，橫搖運動週期採用船體之自然週期，縱搖週期是假設在頂浪中的縱搖反應運動週期。由於 AENEAS 模擬軟體使用時間步的方式計算週期性運動對於行走速度的影響，而時間步的最小單位為 1 s，故，參數輸入必須為整數，故取到整數位並四捨五入。假設一般船舶的情況下，船體運動週期其式如下，

### 4.2.2 船體運動週期

橫搖運動自然週期[25]

$$\phi_R(t) = \phi_{max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)$$

$$T_R \approx \frac{cB}{\sqrt{GM}}$$

$$c = 0.8 \text{ for round-bilge}$$

$$\Rightarrow T_R = 16.44 \text{ s}$$

$$\text{四捨五入} \quad T_R = 6 \text{ s}$$

在頂浪中的縱搖反應運動週期[26]，波長依經驗約是 1.5 倍船長，因此套用深水波公式

$$\varphi_P(t) = \varphi_{max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_P}\right)$$

$$T_P = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$$

$$\lambda \approx 1.5L_{pp}$$

$$\Rightarrow T_P = 9.73 \text{ s}$$

$$\text{四捨五入} \quad T_P = 10 \text{ s}$$

表 4.8 客船週期性運動參數設定

	橫搖(Roll) $\phi_{max}$	縱搖(Pitch) $\varphi_{max}$
振幅(Max angle)	5°、10°、15°	2°、4°、6°
週期(Period)	16 s	10 s

#### 4.2.3 整體艙間之逃生模擬

##### 1. 以限制出口人數方式分配各房間至出口

以不同的船體運動參數如表 4.8，各進行 500 次模擬，並使用表 3.21 的艙間至出口分派結果，其平均行進時間結果如表 4.9，比起靜水狀況雖然需要長一些的逃生時間，不過並沒有發生明顯的堵塞情形，並在此範圍的規則運動之下，平均行進時間仍符合法規容忍值。圖 4.9 為不同橫搖振幅之下，縱搖振幅對平均行進時間的影響，此顯示出在當縱搖振幅大於 2°以上時，對於行進時間的影響較小。圖 4.10 為不同縱搖振幅之下，橫搖振幅對平均行進時間的影響，可以看出當橫搖振幅大於 5°以上時，橫搖運動對行進時間影響較顯著，有持續增加的趨勢。由圖 4.9 及圖 4.10 看出，只有橫搖或縱搖的船體週期性運動對於行進時間的影響比橫搖加上縱搖的週期性運動還要大，有可能是因為圖 3.16 至圖 3.19 中可以看出橫傾角只會使行進速度減少並且減少幅度較縱搖激烈，因此橫搖運動對行走速度的影響比較大而在上下樓梯時縱傾角不一定使行進速度減少，因此當橫搖和縱搖對速度之影響在疊加之下，可能使速度減少幅度下降。而當只有橫搖運動時對行進時間影響最大，推測可能原因為逃生出口配置在船體的兩側，因此當人員欲前往出口時必定經過往左舷或是右舷的路線，而船體橫搖運動即直接造成行進時間增加。

由表 4.9 及表 4.10 中發現，船體週期性運動之中，花費最多逃生時間的為  $\phi_{max} = 15^\circ$ ,  $\varphi_{max} = 0^\circ$  的情況，只有橫搖並無縱搖運動。模擬結果如圖 4.11，比起靜水情形的結果如表 4.11，平均逃生時間花費大約多 12%。

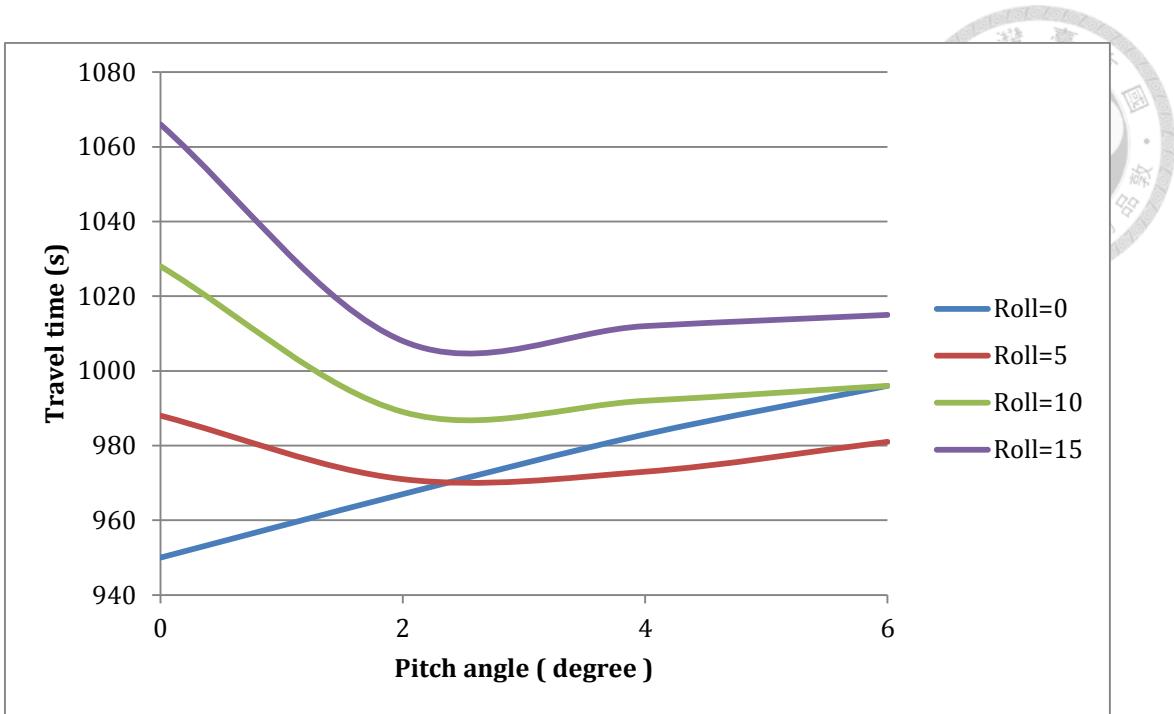


圖 4.9 不同橫搖振幅之下，縱搖振幅對平均行進時間的影響

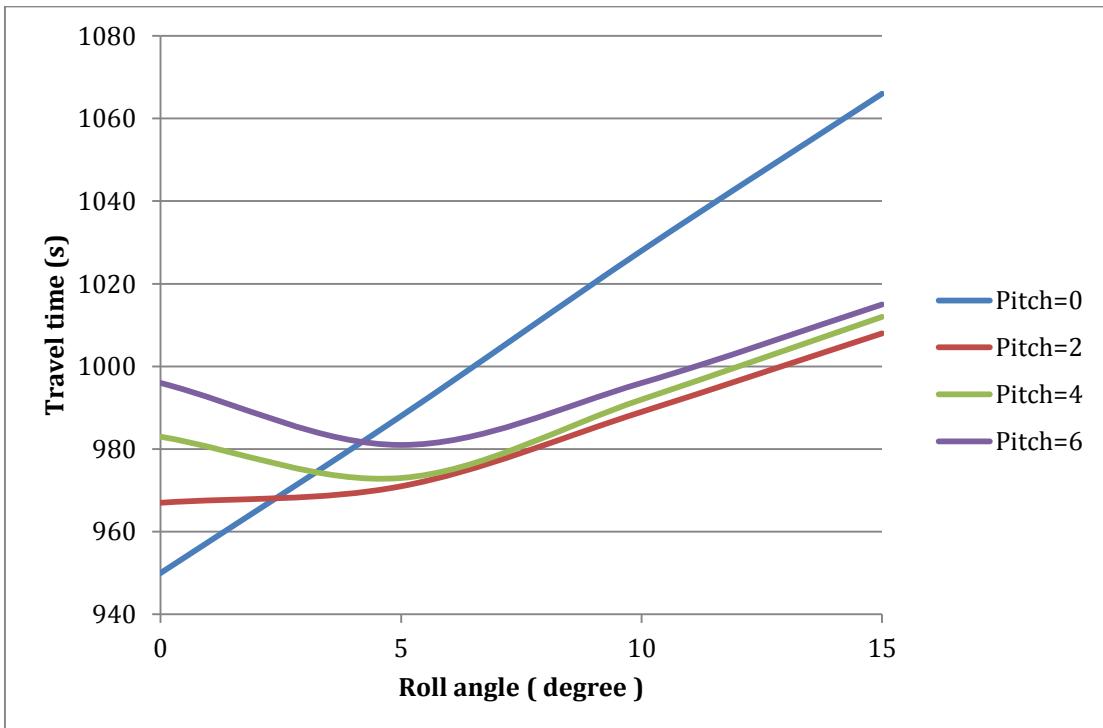


圖 4.10 不同縱搖振幅之下，橫搖振幅對平均行進時間的影響

表 4.9 週期性橫搖與縱搖運動平均行進時間模擬結果

平均行進時間 (s)		橫搖振幅 $\phi_{\max}$			
		0°	5°	10°	15°
縱搖振幅 $\varphi_{\max}$	0°	947	988	1028	<b>1066</b>
	2°	967	971	989	1008
	4°	983	973	992	1012
	6°	996	981	996	1015

表 4.10 週期性橫搖與縱搖運動最大行進時間模擬結果

最大行進時間 (s)		橫搖振幅 $\phi_{\max}$			
		0°	5°	10°	15°
縱搖振幅 $\varphi_{\max}$	0°	1110	1156	1210	1261
	2°	1114	1135	1140	1156
	4°	1145	1133	1136	1173
	6°	1169	1123	1168	1164

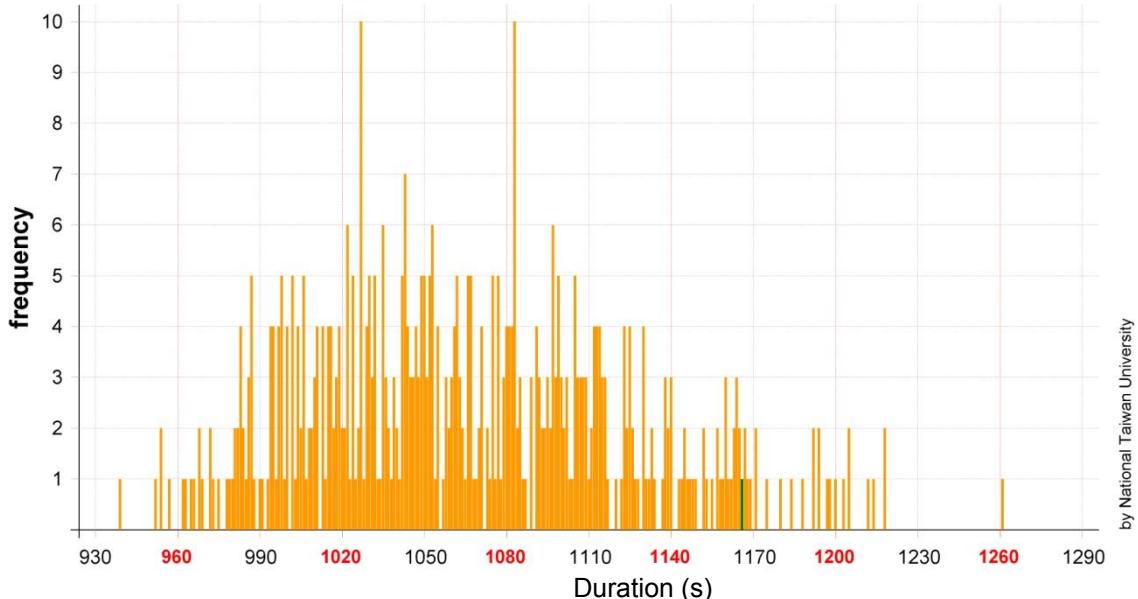


圖 4.11  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$  發生次數-逃生時間分布圖

表 4.11  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0$  逃生時間模擬結果

$\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ 逃生時間	逃生時間 (s)	和靜水情況比較
平均值(mean)	1066	12.57%
標準差(stddev)	58	5.45%
95%信賴水準(significant)	1166	11.69%
最小值(min)	939	15.07%
最大值(max)	1261	13.81%

2. 以防止交錯行為方式分配各房間至出口

同樣的以表 4.7 的參數設定進行模擬船體週期性運動下的逃生情形，改變為使用防止交錯行為方式分配艙間至出口，如表 3.23，圖 4.12 為不同橫搖振幅之下，縱搖振幅對平均行進時間的影響，趨勢大致上和圖 4.9 一致，在當縱搖振幅大於  $2^\circ$  以上時，對於行進時間的影響較小；圖 4.13 為不同縱搖振幅之下，橫搖振幅對平均行進時間的影響，趨勢大致上和圖 4.10 一致，可以看出當橫搖振幅大於  $5^\circ$  以上時，橫搖運動對行進時間影響較顯著，有持續增加的趨勢。由此可見，經由兩種不同的分配出口方式在船體週期性運動的狀況下對行走速度及對逃生時間影響的趨勢是相似的。

而在此種方式的模擬情況也是在  $\phi_{\max} = 15^\circ$ ,  $\varphi_{\max} = 0^\circ$  時需要最長的逃生時間，其模擬結果如圖 4.14，表 4.14 是與船舶運動狀況下限制出口人數分配方式及和靜水情況以防止交錯行為分配方式做比較，平均逃生時間比限制出口人數分配方式減少了 19.51%，而和靜水情況比較起來平均逃生時間多了 5.8%。

圖 4.15 為比較運動 ( $\phi_{\max} = 15^\circ$ ,  $\varphi_{\max} = 0^\circ$ ) 情況兩種分配方式平均模擬結果，趨勢和圖 4.5 接近，大約在 300 s 至 500 s 時，防止交錯行為的分配方式能使更多人順利逃生，可能是因為分配出口的方式有效達到分流的效果，不會在逃生過程中因為人潮擁擠花費多餘的時間。圖 4.16 為比較靜水及運動 ( $\phi_{\max} = 15^\circ$ ,  $\varphi_{\max} = 0^\circ$ ) 情況兩種分配方式平均模擬結果，加入 4.1.1 節的模擬結果和本小節的模擬結果做比較，可以看出在運動的情況下對人員逃生的影響約在 110 s 左右開始有比較明顯的變化，110 s 之後運動狀況之下每多逃出一個人，需要花費的逃生時間越來越多。

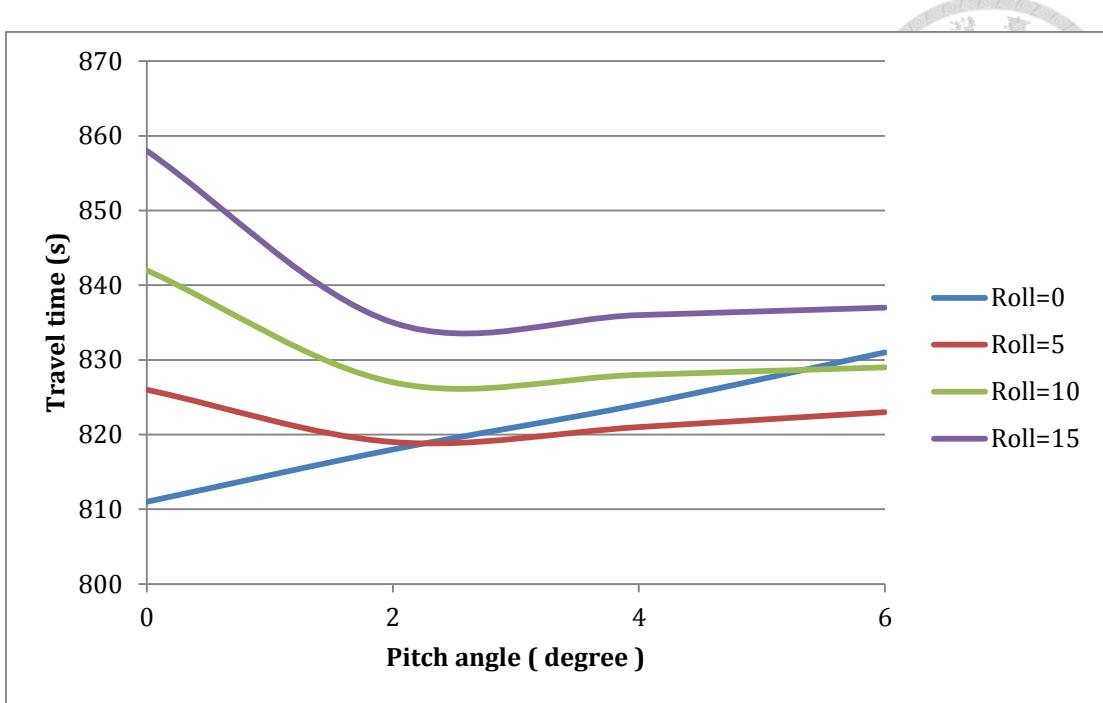


圖 4.12 不同橫搖振幅之下，縱搖振幅對平均行進時間的影響

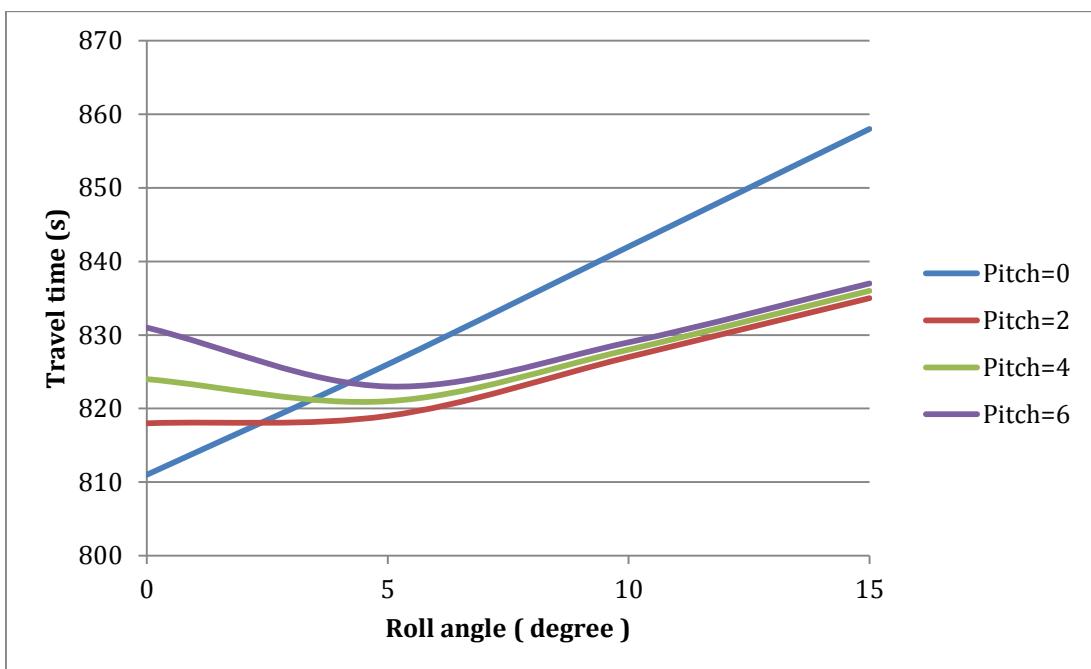


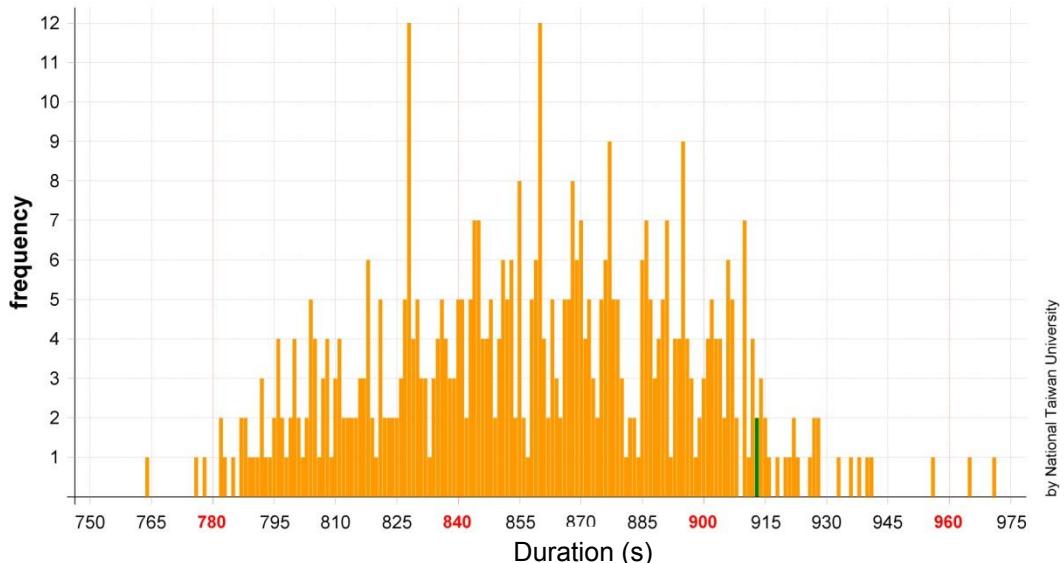
圖 4.13 不同縱搖振幅之下，橫搖振幅對平均行進時間的影響

表 4.12 週期性橫搖與縱搖運動平均行進時間模擬結果

平均行進時間 (s)		橫搖振幅 $\phi_{\max}$			
		0°	5°	10°	15°
縱搖振幅 $\varphi_{\max}$	0°	811	826	842	<b>858</b>
	2°	818	819	827	835
	4°	824	821	828	836
	6°	831	823	829	837

表 4.13 週期性橫搖與縱搖運動最大行進時間模擬結果

最大行進時間 (s)		橫搖振幅 $\phi_{\max}$			
		0°	5°	10°	15°
縱搖振幅 $\varphi_{\max}$	0°	888	916	936	971
	2°	910	908	924	933
	4°	917	907	922	925
	6°	926	917	913	932

圖 4.14  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$  發生次數-逃生時間分布圖表 4.14  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0$  逃生時間模擬結果與比較

$\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ 逃生時間	逃生時間 (s)	和限制出口人數分配方式比較	和靜水情況比較
平均值(mean)	858	-19.51%	5.80%
標準差(stddev)	37	-36.21%	19.35%
95%信賴水準(significant)	913	-21.70%	6.29%
最小值(min)	764	-18.64%	3.38%
最大值(max)	971	-23.00%	9.35%

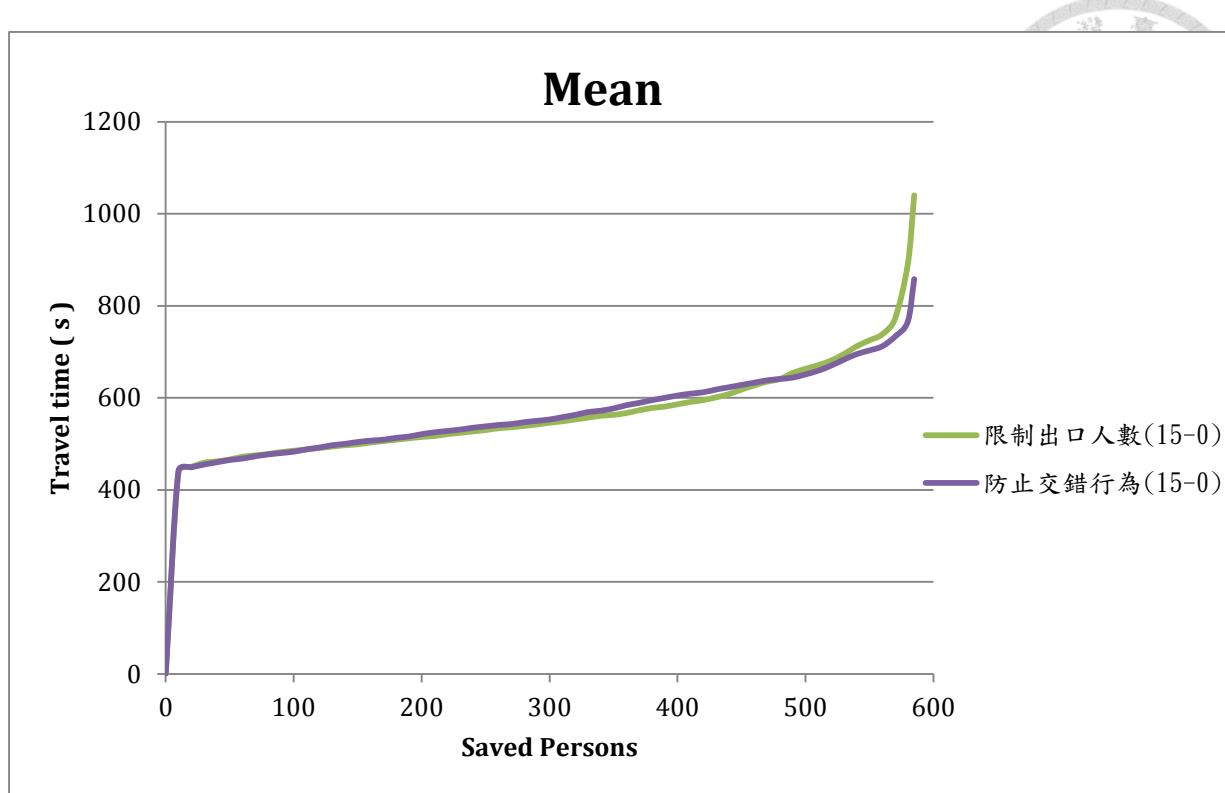


圖 4.15 比較運動 ( $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ ) 情況兩種分配方式平均模擬結果

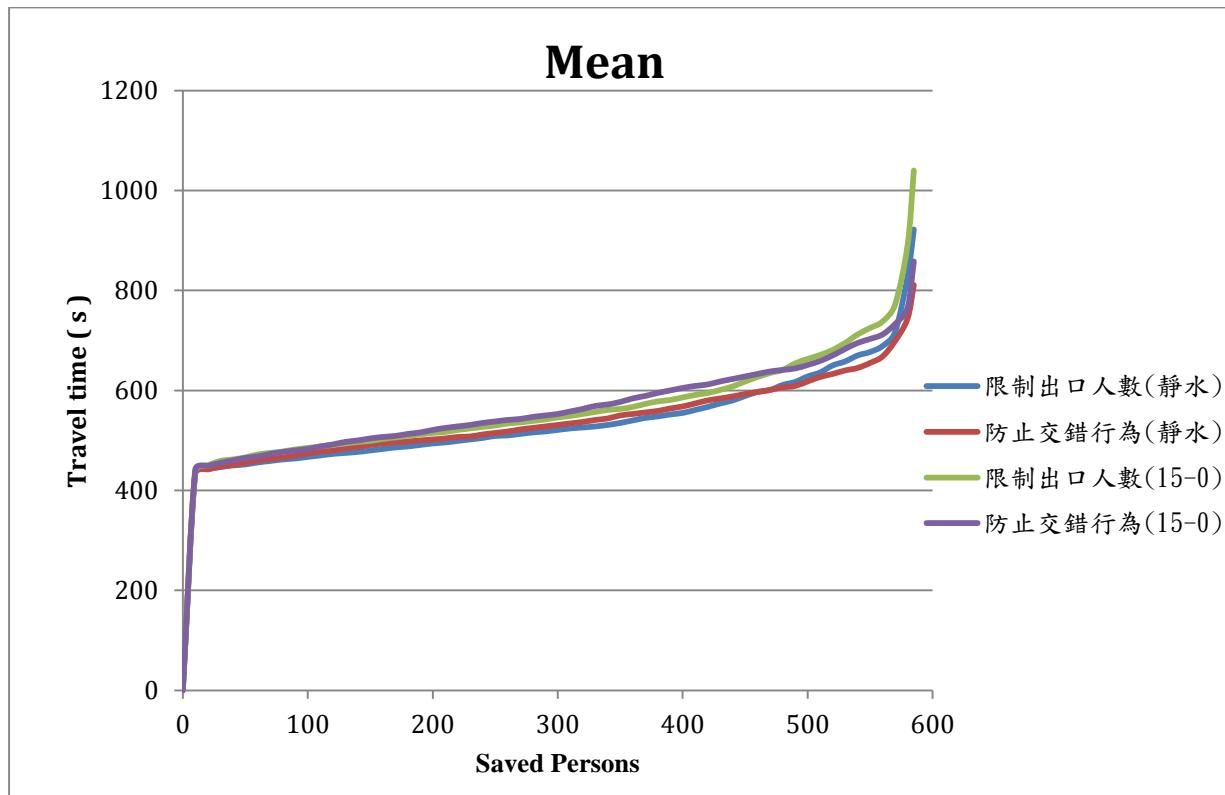


圖 4.16 比較靜水及運動 ( $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$ ) 情況兩種分配方式平均模擬結果

圖 4.17 比較  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$  與  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 2^\circ$  平均值的逃生情形，因為當只有橫搖週期性運動時反而比橫搖加上縱搖週期性運動性需要多一些的逃生時間，不太合理，然後觀察逃生情現發現在過程中  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$  逃出人數相同時都是花了稍多一些的時間，但是在 757 s 時，兩種情況的逃生人數幾乎相同，而仔細觀察模擬軟體所顯示的逃生過程，最後有約五個人是不斷的游移不定，花了較多的時間前往出口。因此推斷軟體在設定初始條件時，有少數幾個人的人員參數移動的特性影響逃生時間比船體週期性運動對於逃生時間的影響還要大。

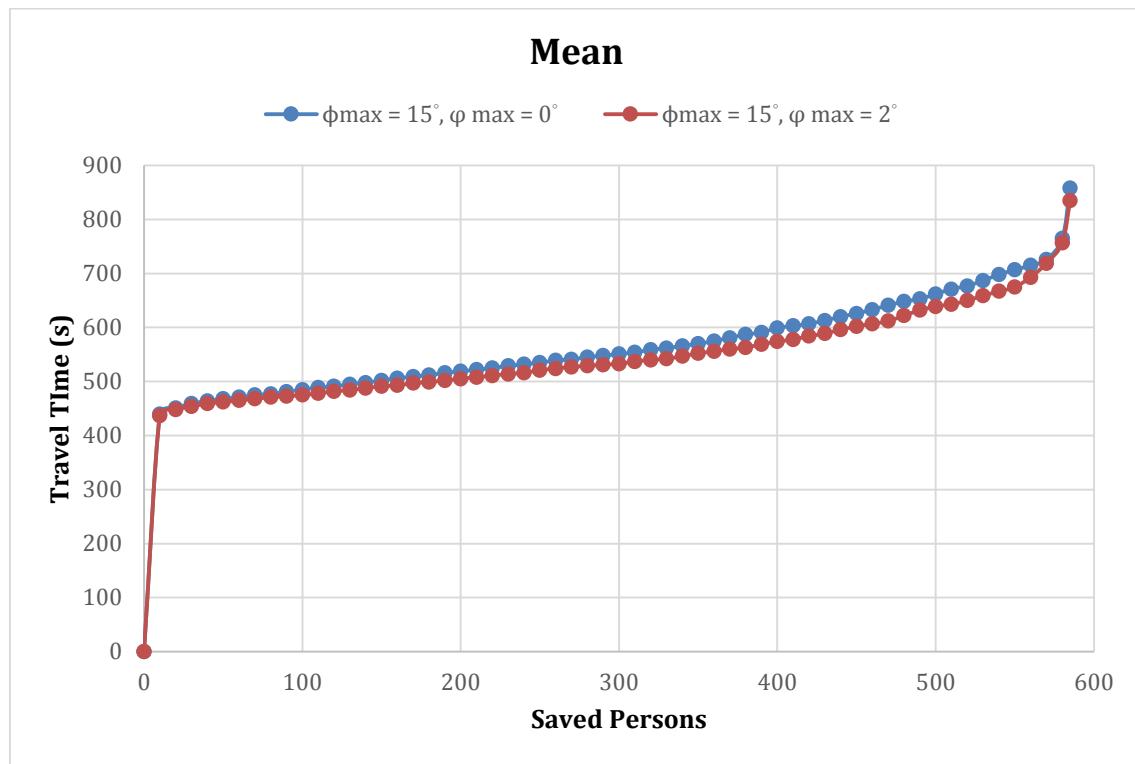


圖 4.17 比較  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 0^\circ$  與  $\phi_{\max} = 15^\circ, \varphi_{\max} = 2^\circ$  逃生時間平均值

#### 4.2.4 局部艙間之逃生模擬

考慮在船舶運動狀況之下，模擬局部艙間之逃生模擬，此部分以前一小節船體運動情況需要最長逃生時間的  $\phi_{\max} = 15^\circ$ ， $\varphi_{\max} = 0^\circ$  做為假設。局部艙間的逃生模擬分為同前一小節，如下：

A. 位於上層船橋甲板，艙間區域 23-26

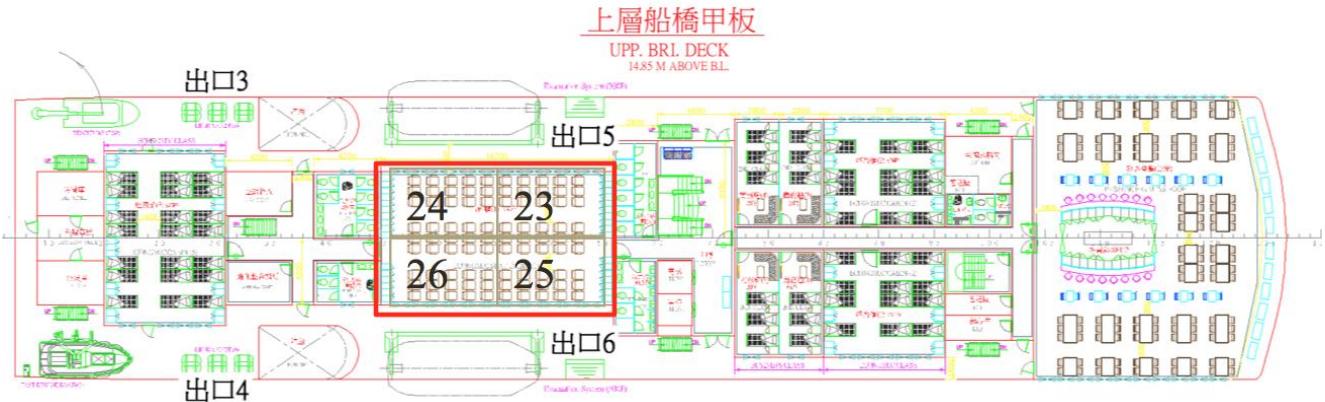


圖 4.18 艙間 A 所在位置

表 4.15 艙間 A 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果

艙間區域編號	23	24	25	26	平均逃生時間(S)
人數	22	23	23	22	
防止交錯行為方式分配出口	5	3	6	4	801
限制出口人數方式分配出口	6	4	6	4	771

## B. 位於主甲板，艙間區域 29-32

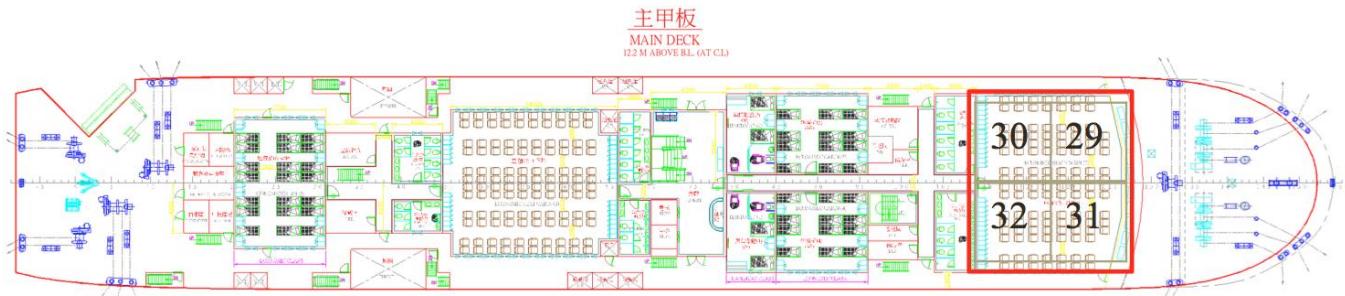


圖 4.19 艙間 B 所在位置

表 4.16 艙間 B 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果

艙間區域編號	29	30	31	32	平均逃生時間(S)
人數	31	30	30	31	
防止交錯行為方式分配出口	5	5	6	6	861
限制出口人數方式分配出口	5	5	5	5	819

C. 位於主甲板，艙間區域 37-40



圖 4.20 艙間 C 所在位置

表 4.17 艙間 C 兩種不同分配出口方式的逃生模擬結果

艙間區域編號	37	38	39	40	平均逃生時間(S)
人數	30	30	30	30	
防止交錯行為方式分配出口	5	3	6	4	850
限制出口人數方式分配出口	5	4	5	4	800

表 4.18 船體運動狀況下比較三個不同艙間的模擬結果

平均逃生時間(S)	防止交錯行為方式			限制出口人數方式			運動結果比較
	靜水	運動	比較	靜水	運動	比較	
艙間 A	714	801	12.18%	700	771	10.14%	-3.75%
艙間 B	784	861	9.82%	774	819	5.81%	-4.88%
艙間 C	722	850	17.73%	720	800	11.11%	-5.88%

在船體周期性運動狀況下，進行局部艙間模擬的結果與比較如表 4.17，不管是用限制出口人數方式或是防止交錯行為方式分配出口，都比靜水狀況下需要更長的逃生時間，而結果也顯示出在船體運動狀況下進行局部艙間模擬的時候，限制出口人數分配出口的方式能夠降低平均逃生時間。



## Chapter 5 結論與未來展望

### 5.1 結論

本研究應用 AENEAS 逃生分析軟體，依照國際法規之內容，在夜晚並且滿載的設定條件下，模擬滾裝式客船「新台華輪」在船體週期性運動之下的逃生疏散情形。研究方法中使用貪婪演算法首先以限制出口人數方式分派艙間至適合出口，接著考慮人員的群體互動行為，運用防止交錯行為的方式分配艙間至出口進行模擬，再以分析軟體 AENEAS 模擬靜水及週期性運動情況的逃生情形。週期性運動對人員行走速度有影響因為需要較長的逃生時間，結果顯示此船設計符合國際法規需求，橫搖運動對行進時間的影響比縱搖運動還多，且需要最多逃生時間的情況為橫搖  $15^\circ$ ，縱搖  $0^\circ$ 。

本研究採取限制最佳型貪婪演算法，其起點為未限制下的全域最佳解，在施加一定限制條件後，逐次搜尋額外成本最低的次佳解，直到解答符合限制條件。而發展出兩種不同的分配出口方式，限制出口人數方式針對出口有人數限制解決分配問題，而對應到實際的情況，是假想各個出口有人員控管的情形，或者是特殊情形如人員大量地聚集在娛樂設施設置的空間等等，能在短時間內經由改變不同的出口人數計算得到較佳的分配方式，並且找到的最佳解，不過此方式沒有考量到社會行為的衝突，偏向個體或同一空間的群體行為。防止交錯行為方式是針對交錯行為進行改善，並且還是保有出口人數限制的條件。採取的方式為減緩前後、左右及上下樓梯人員的交錯行為，考慮到整體艙間的情形和人員的社會行為，快速地達到系統性的分流，而本研究之參考船夜間人員分布情形依此方法分派人員至出口不會大於各出口本身預設的限制人數，若有超過的情形可能要再搭配其他的限制條件找尋更好的分配方式。



## 5.2 未來展望

新台華輪是一艘已經設計完成的船隻，應當符合逃生規範標準。雖然在靜水及船體週期性橫搖與縱搖運動狀況下的逃生疏散分析模擬結果其行進時間皆符合法規需求，但是以貪婪演算法分配艙間至各出口之方法尚未考慮之處為左右出口分配不對稱及各出口使用量不平衡，由於六個出口總共能容納的人數(1140 人)大於最大載客量，使得分配出口方式左右不對稱也能讓乘客順利逃生，故未來模擬目標為盡可能降低行進時間。重新分配艙間之對應出口，使之平衡分派至左右出口之人數，以此方式做人員分流處理將有機會減少行進時間，並能降低總逃生時間。後續研究進行的方向將會考慮是在船舶破損的狀況之下，船艙因進水而造成船體傾斜。由於船身的傾斜程度隨時間變化越趨不利於乘客逃生，以此為逃生時間限制或許比疏散分析指南更為嚴苛，將能更貼近船難發生的情況。

## 參考資料



1. IMO, "International Convention for the Safety of Life at Sea," (2004).
2. Wikipedia, "MS Estonia," [http://en.wikipedia.org/wiki/MS\\_Estonia](http://en.wikipedia.org/wiki/MS_Estonia) (2014).
3. Wikipedia, "MS al-Salam Boccaccio 98," [http://en.wikipedia.org/wiki/MS\\_al-Salam\\_Boccaccio\\_98](http://en.wikipedia.org/wiki/MS_al-Salam_Boccaccio_98) (2014).
4. Wikipedia, "世越號沉沒事故,"  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%96%E8%B6%8A%E5%8F%B7> (2014).
5. "世越號客輪沉沒事故確認 187 人遇難 115 人失蹤,"  
[http://big5.china.com.cn/v/news/2014-04/27/content\\_32219304.htm](http://big5.china.com.cn/v/news/2014-04/27/content_32219304.htm).
6. "捨身救人 南韓「世越號」三船員獲追封烈士," <http://tinyurl.com/lkr7dn3>.
7. Dongkon Lee, Jin-Hyung Park, and Hongtae Kim, "A study on experiment of human behavior for evacuation simulation," Ocean Engineering 31 (2003).
8. 劉謙, 朱經武, and 林昭輝, "客船撤離分析指南應用之研究—以育英二號訓練船為例," 航運季刊第二十卷第二期, 1-20 (2011).
9. Rolf Skjønng Erik Vanem, "Designing for Safety in Passenger Ships Utilizing Advanced Evacuation Analyses - A Risk Based Approach," (2005).
10. Sol Ha, Nam-Kug Ku, Myung-II Roh, and Kyu-Yeul Lee, "Cell-based Evacuation Simulation Considering Human Behavior in a Passenger Ship," (2012).
11. Kurt Mehlhorn and Peter Sanders, "Dijkstra's Algorithm, " in *Algorithms and Data Structures: The Basic Toolbox* (2008), pp. 196-199.
12. 陳致仁 and 陳政宏, "大型客船乘客疏散特性之模擬研究," 中國造船暨輪機工程學刊 (2013).
13. 林忠孝, "高速客船人員安全疏散分析," 中國造船暨輪機工程學刊 (2013).
14. Victor Adamchik, "Graph Theory," (2005).
15. Bin Xiong and Zhongyi Zheng, "Seven Bridge's Problem, " in *Graph Theory* (2010), pp. 51-54.
16. Thomas H Cormen, "Breadth First Search, " in *Introduction To Algorithms* (2003), pp. 531-539.
17. Thomas H Cormen, "Depth First Search, " in *Introduction To Algorithms* (2003), pp. 540-548.

18. IMO, "Guidelines for a simplified evaluation analysis of high-speed passenger craft," in *MSC/Circ.1166* (2005).
19. IMO, "Guidelines For Evacuation Analysis For New And Existing Passenger Ships," in *MSC.1/Circ.1238* (2007).
20. "主垂直防火區及水平防火區,"  
[http://www.legislation.gov.hk/blis\\_ind.nsf/6033a8cc1f220686482564840019d2f2/99f0bcd435ff9d264825656a000eded1?OpenDocument](http://www.legislation.gov.hk/blis_ind.nsf/6033a8cc1f220686482564840019d2f2/99f0bcd435ff9d264825656a000eded1?OpenDocument) (1997).
21. TraffGo HT GmbH, "AENEAS User Manual," (2013).
22. TraffGo HT GmbH, "The Effect of Ship Motion on Pedestrian Motion," (2005).
23. Thomas H Cormen, "Greedy Algorithm," in *Introduction To Algorithms* (2003), pp. 370-399.
24. Sol Ha Myung-Il Roh, "Advanced ship evacuation analysis using a cell-based simulation model," (2013).
25. A. B. Biran, "Ship Hydrostatics and Stability," pp. 135 (2003).
26. 汪群從 and 丁錫鏞, "船用流體力學," (1980).

