

高速船耐海性能分析

Analysis of Seakeeping Performance of High Speed Craft

王柏文*¹ 陳冠臻¹ 陳紀川¹

摘要

本研究主要為利用計算船舶流體軟體 HydroSTAR，以一艘單體船與兩艘雙體船為計算模型，評估高速船舶之耐海性能。由規則波計算所得各航向反應振幅運算子(RAO)與波譜密度函數結合可以得到船舶在非規則波下的短期響應分析結果，並以航向-航速極座標圖呈現特定海象情況下之耐海性能，提供更直觀的結果以供參考。應用線性頻率域與三維小板法計算船舶運動與垂向加速度量值，計算結果將以參考文獻中船模試驗資料與數值計算結果以及實船量測結果來驗證其準確性，期望未來可提供國內高速船舶航行限制之參考。

關鍵詞: 高速船、直接計算法、耐海性能。

Abstract

This research adopted the commercial code of computational ship fluid dynamics, HydroSTAR, to evaluate seakeeping performances of high speed crafts. One monohull and two catamarans were chosen as test cases for computing their seakeeping performances. The short-term statistical result was obtained by using spectral analysis which combines the given ocean wave spectrum and ship response RAO results of each wave heading direction. Speed Polar Diagram was made to show clearly the seakeeping performance between ship speeds and wave heading angles in a particular sea state. The HydroSTAR, using numerical panel approach in linear frequency domain, was adopted to calculate the ship motion and vertical acceleration, and these results were verified with experimental data, other numerical results and full-scale on-board measurements. The results in this study would become a useful reference in evaluating operational regulations and safety for high speed crafts in the future.

Keywords: High Speed Craft, Direct Calculation, Seakeeping Performance

一.緒論

近年來海上交通運輸工具的航行安全問題頻傳，尤其是運載旅客的高速客船，為了達到航行時的安全性和旅客舒適度等要求，高速客船的耐海性與結構強度已成為造船界著重的研究項目。

目前針對高速船舶研究方法大可分為試驗研究和直接數值計算方法兩種。其中直接計算方法為目前造船界熱烈關注之議題，隨著電腦硬體設備功能的進步，數值計算方法已成熟地運用於現今造船工程領域。在高速客船航行安全的部分，國內外皆有許多利用數值計算方法探討耐海性能與結構分析研究的相關文獻，並有不錯之結論。國內早期之文獻主要有海洋大學方志中教授等^[1]利用數值計算方法與實驗研究探討穿浪型雙體船在波浪中運動性能，其中在數值計算方法上有不錯的預估結果。台灣大學洪振發教授等^[2]則利用數值計算方法探討高速船舶於波浪衝擊下的結構分析，先利用計算流力方法預估波浪負荷，再利用有限元素分析方法探討負荷對船體結構產生的影響，使得整體分析架構完整並與船級規範的設計負荷來比較。除了文獻之外，根據 CR 高速船建造與入級規範(HSC Rules)^[3]，船長大於 90 公尺或船速大於 45 節之高速船，須進行直接計算以驗證主要結構之強度。故對應船舶大型化與高速化的趨勢下，直接計算方法的應用與研發是不可或缺的。

近幾年中國驗船中心增加了不少高速客船入級業務，故期望在高速船耐海特性部分能提升計算分析的能力。本研究主要以數值計算結果來探討高速船的耐海性能，計算結果將以參考文獻中船模試驗資料或數值計算結果以及實船量測結果來驗證其準確性。未來可應用於高速船結構設計以及提供相關規範開發之參考與驗證，並可提供高速客船操作者更完整的航行資訊，以耐海性能計算結果來選擇適當船速，以提高安全性與舒適性。

二.數值方法

2.1 理論介紹

針對船舶耐海性能分析，目前較常使用的數值計算方法主要以勢流理論為基礎。勢流理論假設流體為無黏性的非旋流，將控制方程式簡化成拉普拉斯(Laplace)方程式，再透過小板法(Panel Method)加以離散。以勢流方法計算者，過去著名之文獻為 Dawson^[4]以六十年代 Hess & Smith^[5]所提出以勢流理論為基礎之小板法，是一套導入自由液面條件之數值計算方法，此一方法的使用必須產生描述水線以下船殼表面的小板幾何資料，利用四角形或三角形小板來描述離散後的自由表面及固體邊界。此類小板法現已廣泛運用於勢流計算軟體，主要以無黏性之勢流條件計算船舶之興波阻力，得到的計算結果已與實驗結果比較驗證具高度定性上的參考價值。

針對船舶於波浪中計算的理論研究方法，其中關於船舶運動部分，最早是以 1957 年 Korvin-Kroukovsky 等建立計算縱搖與起伏運動的二維截片理論(Strip theory)^[6]，慢慢演進到更完整的「新截片理論」，1969 年由田才(Tasai)^[7]等與 1970 年 Salvesen 等^[8]分別提出了以勢流理論計算船舶在規則波中的各種運動與造成之波浪負荷。

目前二維線性截片法也已廣泛應用於雙體船波浪中運動與受力分析，但船舶在實際海域中航行為三維運動問題，在目前計算硬體技術日益成熟的情況下，以三維勢流理論分析船舶在波浪中運動與受力問題已備受重視。

2.2 剛體運動計算公式

船體航行於水面上，將船體視為一個六自由度的運動剛體(6-DOF-Motion Rigid Body)，水給船殼的總力與船體本身的慣性力構成動態平衡。此剛體之運動方程式如 2.1 式所示，其中 $\ddot{\xi}_k$ 與 $\dot{\xi}_k$ 分別代表運動的加速度與速度； M_k 為質量矩陣； A_k 為附加質量係數； B_k 為阻尼係數； C_k 為流體回復力係數； F_k^w 為波浪在船殼上的總力； ξ_0 為入射波振幅；引

數 j 代表流體力作用方向，引數 k 則為代表六個自由度之運動。

$$\sum_{k=1}^6 \left\{ (M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\xi}_k + B_{jk} \dot{\xi}_k + C_{jk} \xi_k \right\} = \xi_0 F_j^W \quad (2.1)$$

船體質量矩陣 $[M]$ 則假設船體重心位置位於 $(l_{cg}, 0, z_{cg})$ 上，可表示成式 2.2，其中 M 為船體總重， I_{ij} 為慣性矩。在求出船殼上受到的總力 F_j^W 後，代入方程式即可解得剛體之運動量。

$$[M] = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & M_{zG} & 0 \\ 0 & M & 0 & -M_{zG} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_{zG} & 0 & I_{44} & 0 & -I_{46} \\ M_{zG} & 0 & 0 & 0 & I_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{64} & 0 & I_{66} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

2.3 分析工具

本研究以船舶流體軟體 HydroSTAR 計算船舶運動反應。該軟體為法國驗船協會 (Bureau Veritas) 所開發，以勢流理論為基礎，並利用三維小板法將計算模型進行離散。HydroSTAR 主要以線性理論來求解問題，故假設船舶於小波幅理論和頻率域中求解。由於勢流理論不考慮流體的黏性效應，故軟體利用人工修正方式來考量黏性影響，特別是橫搖 (Rolling) 阻尼，所選用的修正方法為 ITH (Ikeda Himeno) 的半經驗公式^[9]。

2.4 研究方法

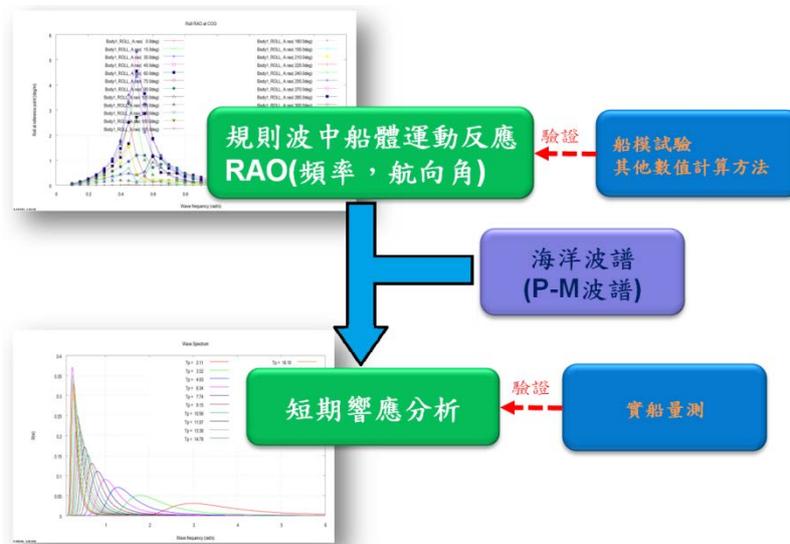


圖 1 研究方法流程圖

研究方法的流程如圖 1 所示，利用計算船舶流體軟體 HydroSTAR 評估高速船舶耐海性能，先計算出船舶在規則波下單位波幅所引起的船舶運動反應，接著配合頻譜分析推估該船舶於非規則波情況下之短期響應結果。計算結果將以參考文獻中船模試驗資料與數值計算結果以及實船量測結果來驗證其準確性。

船舶耐海性能主要會先以「反應振幅運算子」(Response Amplitude Operator, RAO)來做評估。RAO 之定義為：假設船體為一線性系統，給定航行條件為輸入，船體因而有運動反應為輸出。舉例來說，起伏 (Heave) 運動 RAO 則代表，單位波高下的船體重心位置起伏運動量，單位(米/米)，如圖 2 所示，其代表的意義主要可用於判定該船在各浪向情

況下的共振區與反應量值。由於配合頻譜分析推估至非規波海況時，共振區的量值通常將有較顯著之影響，故 RAO 分析的計算結果是決定預估方法準確性的一項重要依據。RAO 應用至船舶運動主要有三：Heave RAO，單位波高下的船體重心位置上下運動量，單位(米/米)；Pitch RAO，單位波高下的船體縱向傾角運動量，單位(度/米)。Roll RAO，單位波高下的船體橫向傾角運動量，單位(度/米)。

$$\text{Heave RAO} = \frac{\text{Heave 波峰值至波谷值}}{H} \quad (2.3)$$

$$\text{Pitch RAO} = \frac{\text{Pitch 波峰值至波谷值}}{H} \quad (2.4)$$

$$\text{Roll RAO} = \frac{\text{Roll 波峰值至波谷值}}{H} \quad (2.5)$$

其中 H 為波高。

船舶航行於實際海域時所遭遇的波浪通常為非規則波，非規則波可看成由許多不同的規則波所疊加而成。當非規則波離散成不同頻率的規則波後，得到各頻率波之能量分佈，就稱為波譜或能量譜，所以波譜可以描述非規則波海況特性，不同波譜模型會影響評估反應結果，故分析時須適當選擇波譜描述的海域。依照波譜分佈，對規則波的計算結果(RAO)進行線性調整並疊加，產生非規則波之反應結果，這樣的過程稱為短期響應分析，也就是評估船舶在海上短時間的反應，一般大約為 3 小時。

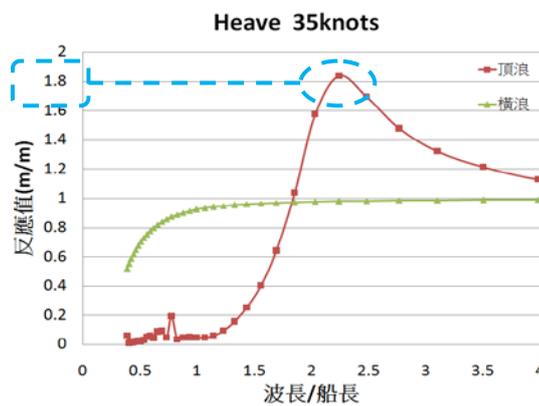


圖 2 RAO 範例-起伏運動反應

三.計算結果與討論

本研究以三艘高速船舶為計算模型，利用 HydroSTAR 軟體計算船舶耐海性能與垂向加速度量值。三艘計算模型分別為：1.單體高速船 2.穿浪型雙體高速船 3.大型雙體高速客船。

3.1 單體高速船

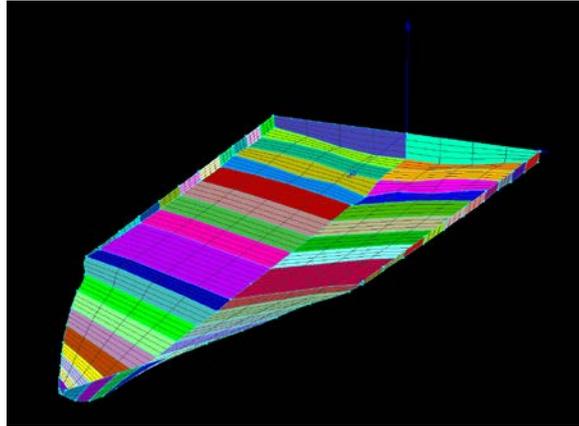


圖 3 單體高速船水面下計算模型

此艘單體高速客船之船長約 28.5m，設計船速 35 節。首先利用網格生成軟體產生計算所需之四角形小板，整體水面以下的計算模型如圖 3。為了全面考量在實際非規則波浪情況下耐海性能，故計算 12 個航向角，八個速度點(0~35 節)。規則波情況之初步計算結果(反應振幅運算子 RAO)將與另一個計算船舶流體軟體 SMP 的數值結果相互驗證。接著配合波譜密度函數進行該船舶在非規則波情況下之短期響應分析，並以航向-航速極座標圖呈現。

3.1.1 計算結果與討論

圖 4 至圖 9 為船速 30 節與 35 節下三項運動反應值。圖 4 為利用 HydroSTAR 計算船速 30 節頂浪情況下起伏運動反應結果，與文獻所使用的 SMP 軟體計算結果相比可發現兩者共振點一致，皆落在波長船長比值為 2，(共振頻率點為 1.04 rad/sec)，從共振點的量值比較與整體趨勢亦可發現，兩者為大致接近。圖 5 為船速 35 節頂浪情況下起伏運動反應比較結果，兩者共振點與量值亦接近一致。

縱搖運動部分如圖 6 與圖 7 所示，HydroSTAR 計算結果在船速 30 節與 35 節下之共振點量值皆稍低於 SMP 之計算結果，但兩者共振點一致且量值差異在可接受之範圍內。橫搖運動部分，圖 8 與圖 9 顯示在船速 30 節與 35 節下兩者計算結果之共振點與量值亦接近一致。

船舶實際航行時為遭遇非規則波浪的情況，因此波譜的選擇與統計分析對於船舶在波浪中性能的評估非常重要。這部分主要假設船體對波浪的反應為線性，利用波譜的統計特性，對船舶做短期響應分析。本研究採用 Pierson - Moskowitz 非規則波譜函數探討船舶於該海域下的運動特性。船速則設定為 0 節、5 節、10 節、15 節、20 節、25 節、30 節、35 節等 8 種。

此艘高速客船於海上試俾時，有利用儀器量測船舶在實海上之耐海性能。試俾當日海況紀錄為接近海象三級(有義波高: 1.21m, 波浪周期 7s)，量測內容為航行船速 35 節，五個航向角(0 至 180 度)狀況下之船舶客艙(Cabin)位置的垂向加速度量值與縱搖運動量。針對此量測資料，本研究亦利用 HydroSTAR 計算船舶在海象二級、三級與四級情況下重心位置(大致接近客艙的量測位置)與船艙位置之垂向加速度量值，計算結果與量測資料比較如圖 10 所示。由圖 10 可看出，船舶客艙的縱搖量測值與海象三級計算結果之趨勢大致吻合;船舶垂向加速度反應部分，三組海象等級的垂向加速度計算結果除了在隨浪情況下(180 度)有偏高的現象之外，各浪向情況之量測值則落在海象三級的計算結果上下。經由與實際量測資料比較，可提高數值計算結果的可信度，以提供一合理預估船舶耐海性能之方法。

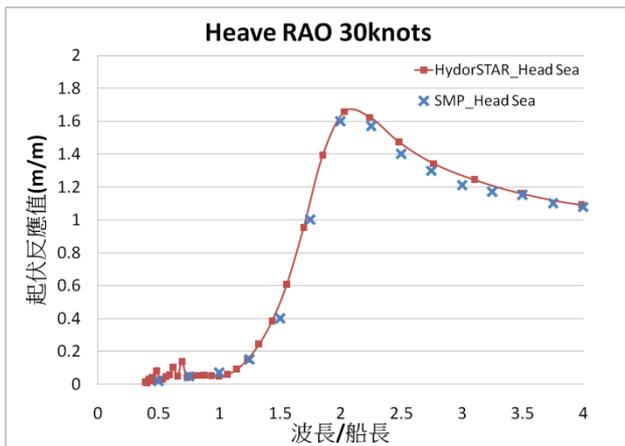


圖 4 船速 30 節頂浪情況下起伏運動反應比較

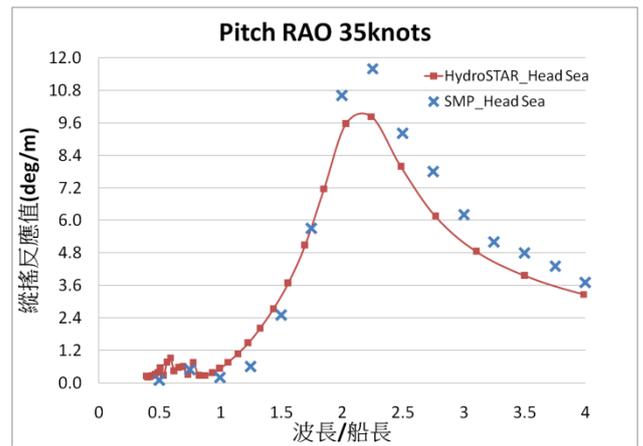


圖 7 船速 35 節頂浪情況下縱搖運動反應比較

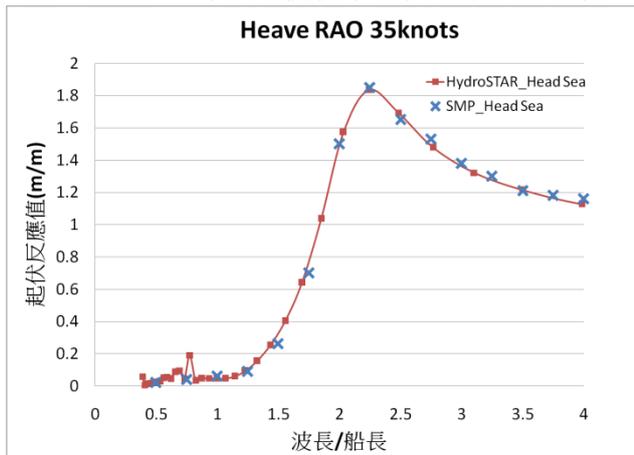


圖 5 船速 35 節頂浪情況下起伏運動反應比較

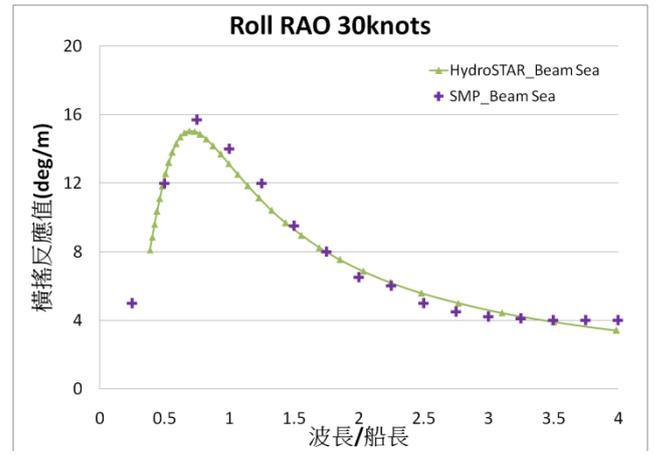


圖 8 船速 30 節橫浪情況下橫搖運動反應比較

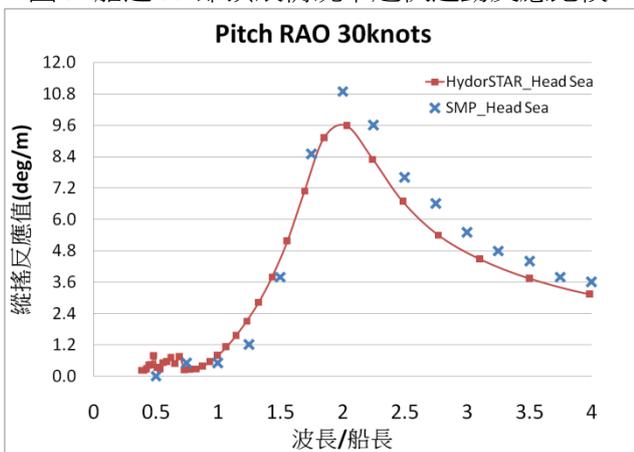


圖 6 船速 30 節頂浪情況下縱搖運動反應比較

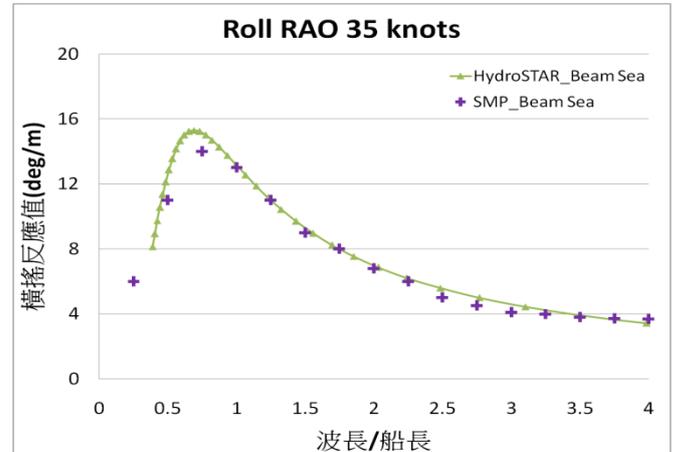


圖 9 船速 35 節橫浪情況下橫搖運動反應比較

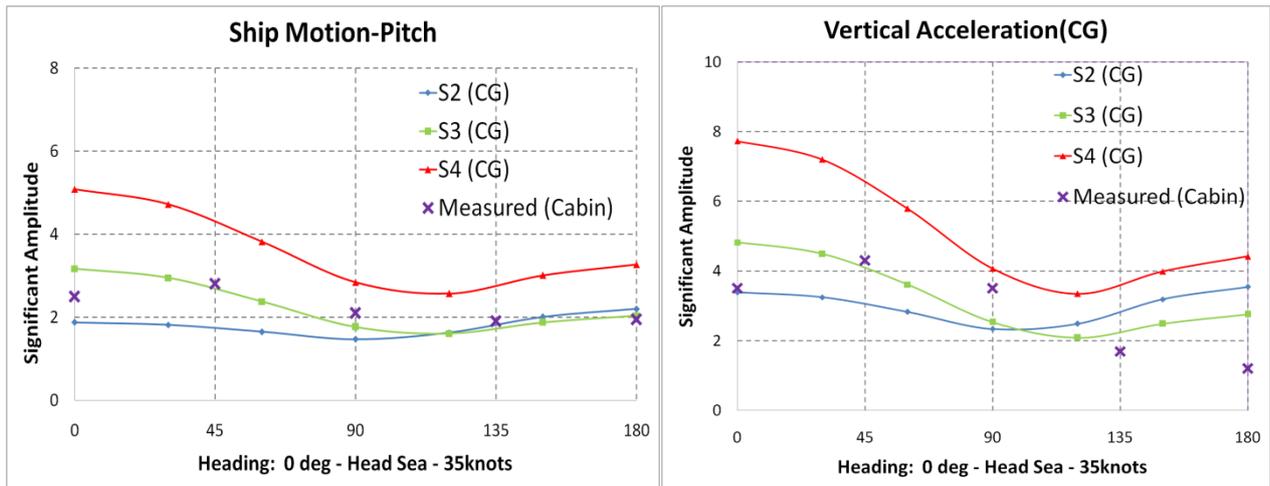
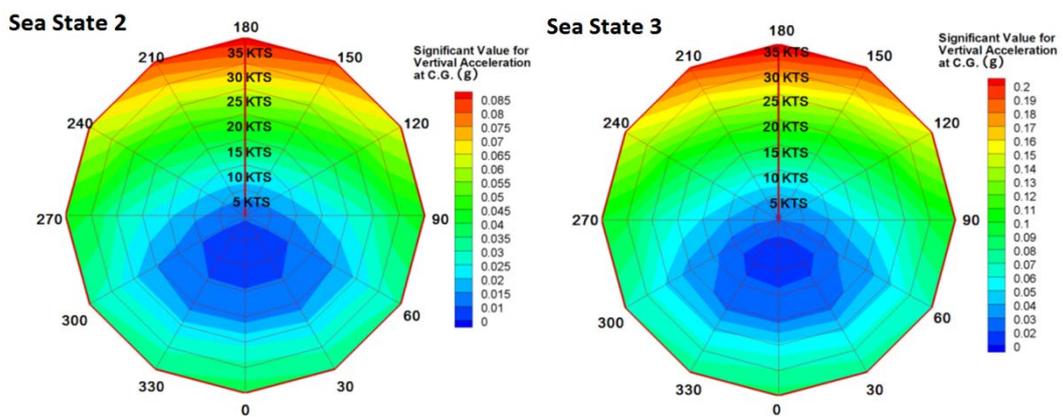


圖 10 船舶重心位置之垂向加速度計算值與量測值比較

利用 HydroSTAR 計算各海象等級下船舶重心的垂向加速度結果，推估至短期響應分析後以「航向-航速極座標圖」呈現如圖 11。此種座標圖可更直觀地呈現船舶在隨船速變化下各航向角所產生的垂向加速度值。圓心代表船速 0 節，同心圓線分別為 5 節至 35 節。頂浪的航向角為 180 度，隨浪為 0 度，不同曲線代表不同的等值運動性能振幅量。由圖 11 可看出主要為頂浪情況(180 度)下垂向加速度反應最為明顯，隨著船速增高，加速度反應更為顯著。

表 1 為比較船舶重心位置與船艏 FP 位置兩處在各船速下垂向加速度反應計算值比較，其以一個重力加速度的量值(9.81m/s)為單位。由結果可看出在 FP 位置的垂向加速度反應值是高於重心位置的，FP 位置垂向加速度量值約為重心位置處加速度量值的一倍多至兩倍。根據 CR 高速船建造與入級規範(HSC Rules)C3.3.5^[10]之規定，FP 位置之設計垂向加速度應設為為船舶重心位置加速度的兩倍，故此部分的計算結果支持規範之規定。



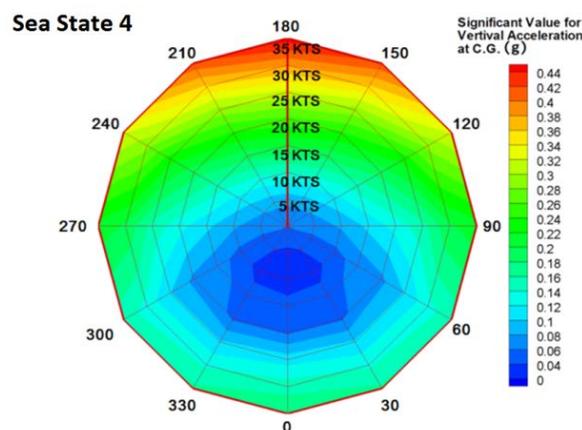


圖 11 航向航速極座標圖-海象二、三與四級下船舶重心的垂向加速度反應
 表 1 船舶重心位置(CG)與船艏垂標(FP)位置各船速之垂向加速度計算值

Speed (knots)	Sea State 2 V. Acce. (g)		Sea State 3 V. Acce. (g)		Sea State 4 V. Acce. (g)	
	CG 位置	FP 位置	CG 位置	FP 位置	CG 位置	FP 位置
10	0.26	0.65	0.28	0.65	0.45	1.04
15	0.38	0.77	0.41	0.79	0.65	1.27
20	0.42	0.82	0.52	0.91	0.80	1.46
25	0.47	0.91	0.60	1.06	0.97	1.70
30	0.55	0.96	0.72	1.19	1.15	1.91
35	0.58	1.01	0.82	1.33	1.31	2.13

3.2 穿浪型雙體高速船

此部分計算參考國立海洋大學方志中教授等人發表於中國造船暨輪機工程研討會論文"穿浪型雙體船波浪中運動性能之研究"之研究結果，並加以比較。此艘穿浪型雙體船模型為船舶暨海洋產業中心所設計的船型，船長約 40.5m，船模試驗在瑞典 SSPA 水槽進行，規則波浪實驗資料共有三組：(1)頂浪情況，船速 30 節；(2)隨浪情況，船速 20 節；(3)斜浪 120 度，船速 20 節。

本研究利用 HydroSTAR 軟體進行此艘穿浪型雙體船耐海性能分析，計算模型如圖 12 所示，利用網格生成軟體產生四角形小板，計算 12 個航向角，六個速度點(5~30 節)。在規則波情況之初步計算結果(反應振幅運算子 RAO)將以現有的實驗資料做驗證，以評估 HydroSTAR 軟體在高速船耐海性能分析之可行性。

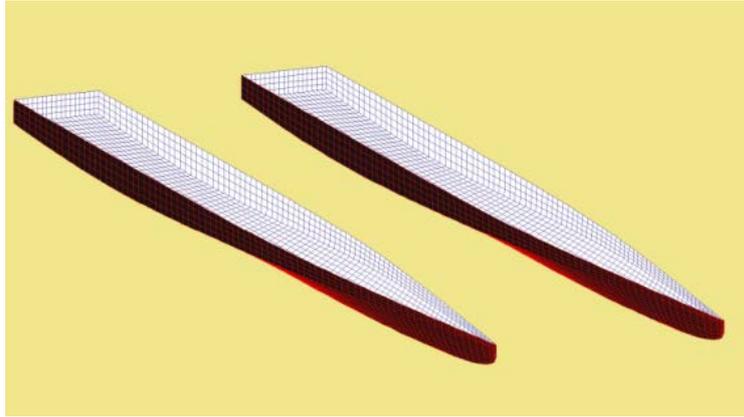


圖 12 船舶水面以下計算網格

3.2.1 計算結果與討論

3.2.1.1 規則波中運動反應分析

圖 13 為六種船速下頂浪情況起伏與縱搖反應值，由圖中可看出共振頻率點與量值隨速度的變化趨勢。配合實驗資料取出船速 30 節計算結果相互比較，圖 14 為頂浪情況下起伏與縱搖運動反應比較，三組數據分別為 HydroSTAR 計算值與船舶暨海洋產業中心使用的三維震盪型源流方法(3D Pulsating Source, 3DP)以及 SSPA 水槽實驗結果，由圖中起伏反應比較可看出三者結果之趨勢大致一致，惟在共振區部分，兩組計算值的共振頻率皆稍偏向高頻；縱搖運動反應比較，除在共振區之外，計算值與實驗值相當接近，觀察共振區部分，兩組數值計算的運動反應量值皆有高估情形，此現象推測為數值計算部分無法考量水面以上的舢艙體進行計算所導致，此亦顯示舢艙體對於此種雙體船在縱搖運動時可能會有強烈的影響。

隨浪規則波部分，配合實驗資料取出船速 20 節計算結果相互比較，圖 15 為起伏與縱搖運動反應兩者比較之結果。起伏運動部分，由圖中可看出整體數值計算結果與實驗值相當接近且趨勢一致。在縱搖運動反應的部分，由比較結果可看出在低頻段數值計算可正確預估，觀察 HydroSTAR 計算部分在共振區的量值稍低於實驗值且共振現象不明顯，針對此部分誤差，推測為目前數值計算方法解析船舶在隨浪情況的運動反應時，常出現數值有不穩定性的問題。故針對隨浪情況下的船舶運動反應，仍需船模試驗資料輔助驗證。

斜浪 120 度規則波計算的部分，取出船速 20 節計算結果與參考資料比較，起伏與縱搖反應計算結果如圖 16 所示，此結果中參考資料增加一組利用三維前進震盪型源流方法(3D Translating-Pulsating, 3DT)計算的結果，該計算方法有將船速影響加以考慮，然而 3DP 方法則無考量船速影響。由圖中可看出，三組的數值計算結果在共振區皆有量值低估且共振頻率偏高的情形，其中 HydroSTAR 與 3DT 方法所得之計算結果相當接近。縱搖反應部分，三組數值計算結果除了在共振區有高估情形外，其餘計算結果與實驗值大致相近。

由於本研究利用小板法(Panel Method)求解船舶運動問題，考量基於線性化的假設條件，其未能將水面以上舢艙體產生的效應加以考慮，僅針對水面以下幾何進行計算。故綜觀以上縱搖反應的計算結果在共振區有高估之情形，應配合實驗資料將共振區計算量值向下修正。藉由以上計算結果驗證，本研究確定 HydroSTAR 在高速度域之可用性。然而部分計算之反應結果大於船模試驗結果，未來將可視為安全餘裕。

3.2.1.2 非規則波中運動反應分析

同樣考慮船舶實際航行時為遭遇非規則波浪情況，採用 Pierson - Moskowitz 波譜函數探討船舶在非規則波下的運動特性，對船舶進行短期響應分析。船速則設定為 5 節、10 節、15 節、20 節、25 節、30 節等 6 種。

圖 17 為 HydroSTAR 計算該船之起伏、縱搖與橫搖反應結果推估至短期響應分析後以「航向-航速極座標圖」呈現。考慮船舶在海象五級(有義波高：3.05m，波浪周期 9s)時，在起伏運動反應部分，其隨船速增加則運動反應漸趨劇烈且艏波情況下的運動量值是大於艉波情況的。縱搖運動部分，由圖中可看出在頂浪與隨浪情況下有較大的運動反應值，且反應值亦隨船速升高而有增大的情況。觀察艉浪情況在高速時有明顯的縱搖反應，此部分推測為在水面下船舶艉部水線附近面積較大所導致。橫搖運動部分，由圖中可看出主要為橫浪情況(90 度)下運動反應最為明顯，而船速對於運動反應的影響則不顯著。

本研究亦利用 HydroSTAR 計算船體在規則波浪中運動垂向加速度，圖 18 為比較船重心位置與船艏 FP 位置兩處在船速 30 節與頂浪情況下垂向加速度反應值，由結果可看出在 FP 位置的垂向加速度反應值是高於重心位置的，FP 位置垂向加速度量值約為重心位置處加速度量值的兩倍，此計算結果亦與 CR 高速船建造與入級規範(HSC Rules)C3.3.5^[10]之規定相同。將計算結果以航向-航速極座標圖呈現，比較結果如圖 19 所示，其以一個重力加速度的量值(9.81m/s)為單位。由兩者極座標圖結果可看出主要在高速航行時頂浪情況下有較高的垂向加速度反應值。藉由航向-航速極座標圖分析結果可較直觀地呈現船舶在該海象情況時航行的耐海性能，可提供操船者或船東做為參考，了解航行船速可能造成的運動反應與加速度反應值，以提升操船安全性。

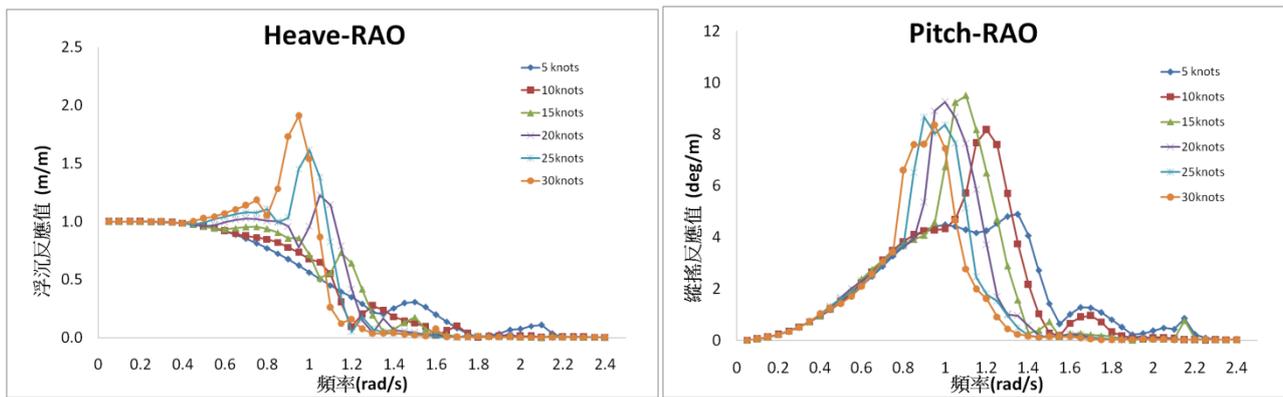


圖 13 計算六個速度點下起伏與縱搖反應值(頂浪)

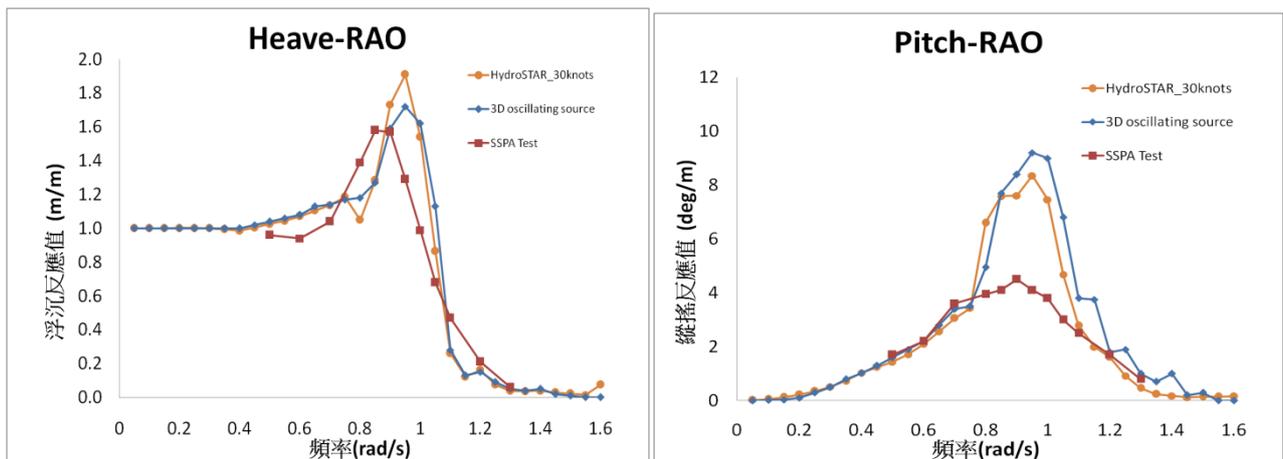


圖 14 起伏與縱搖反應計算值與實驗值比較(船速 30 節，頂浪)

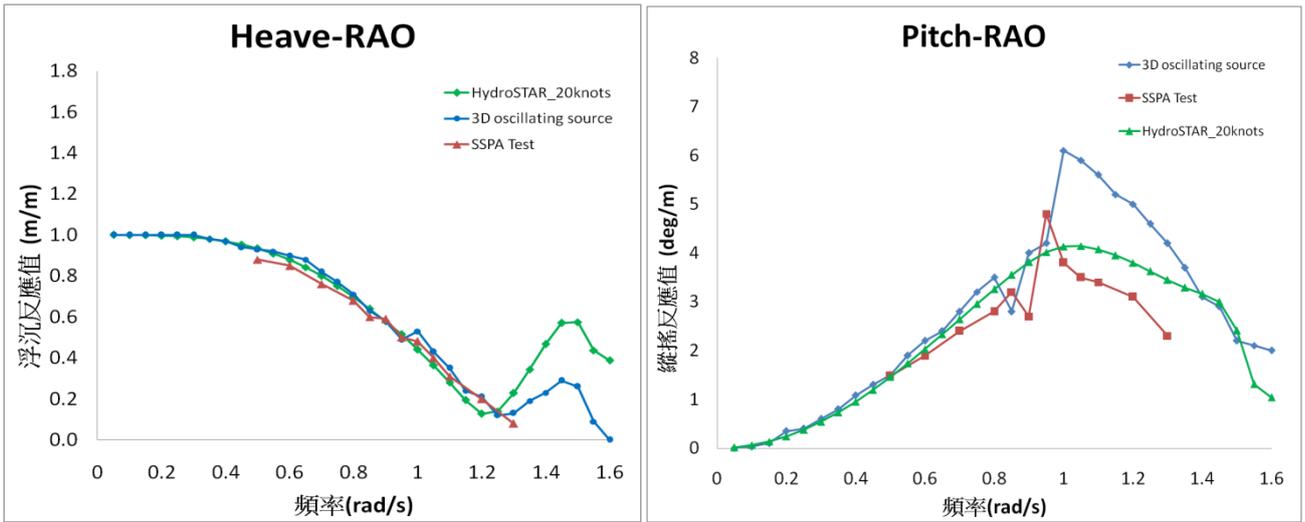


圖 15 起伏與縱搖反應計算值與實驗值比較(船速 20 節，隨浪)

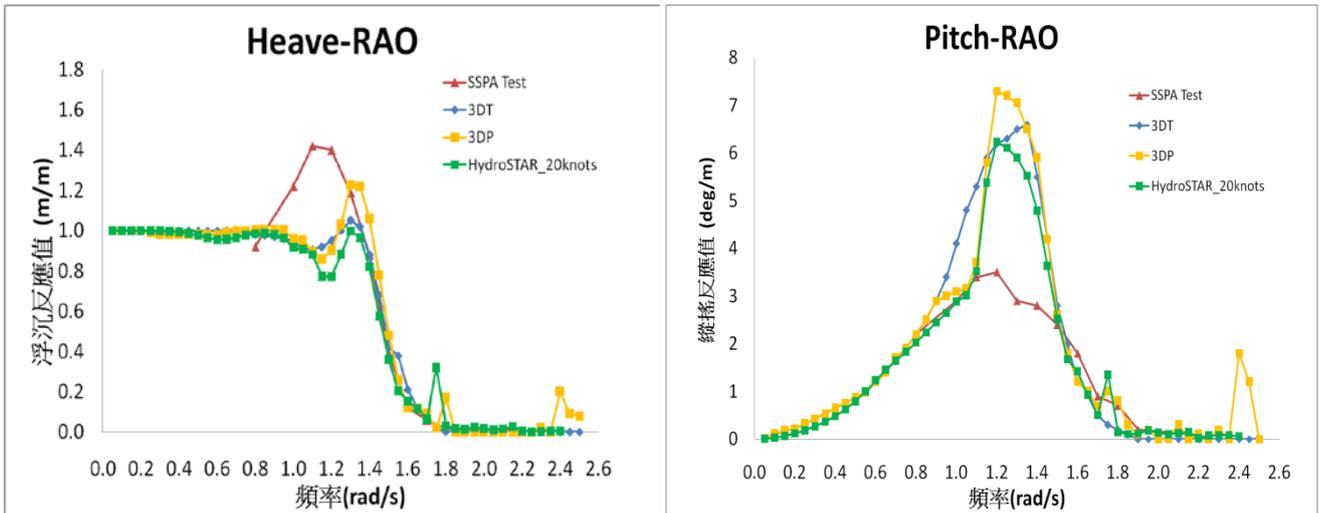
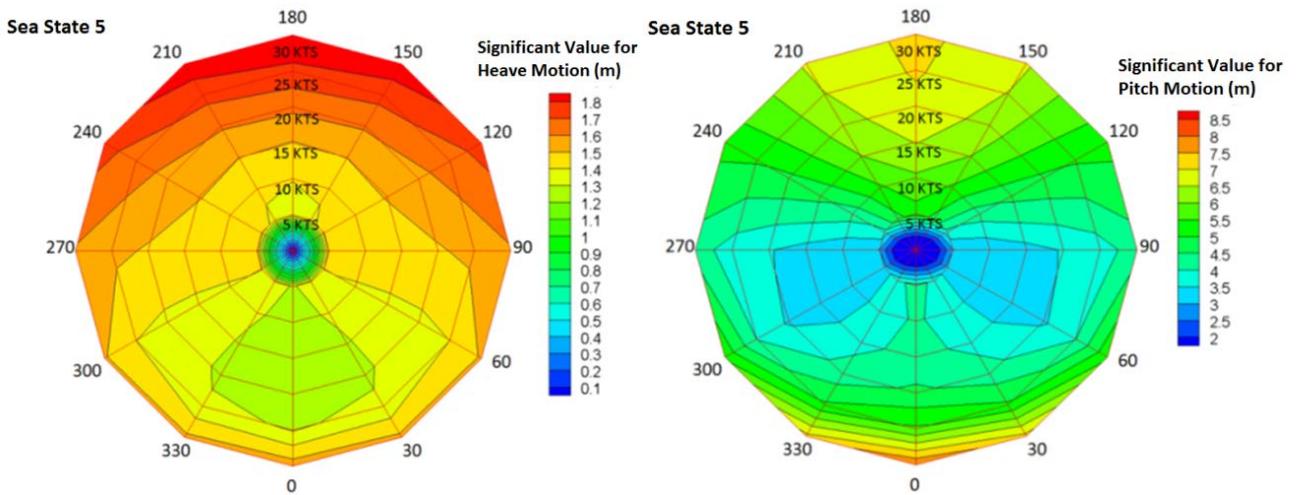


圖 16 起伏與縱搖反應計算值與實驗值比較(船速 20 節，浪向 120 度)



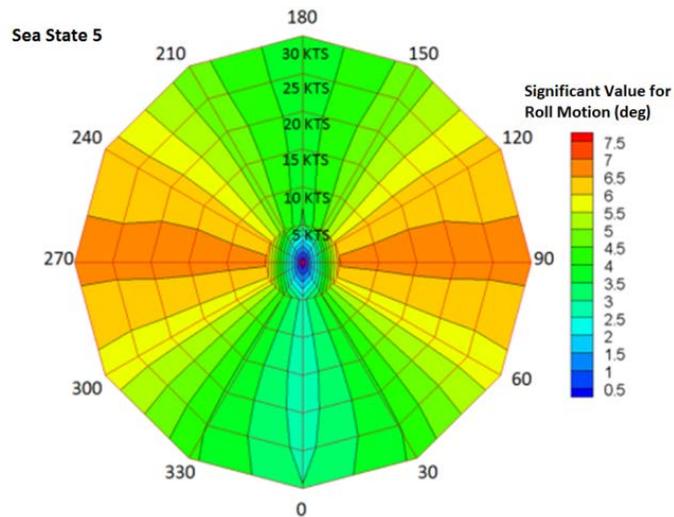


圖 17 起伏、縱搖、橫搖運動航向-航速極座標圖(海象五級)
 垂向加速度_FP 和CG位置比較

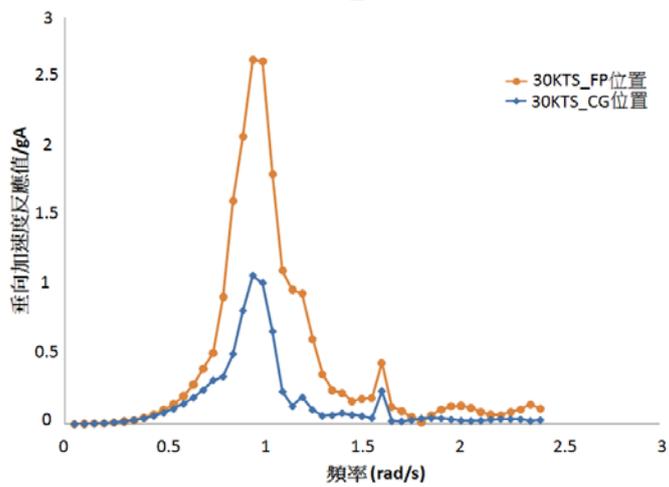


圖 18 垂向加速度反應值比較：船舶 CG 位置與 FP 位置(船速 30 節，頂浪)

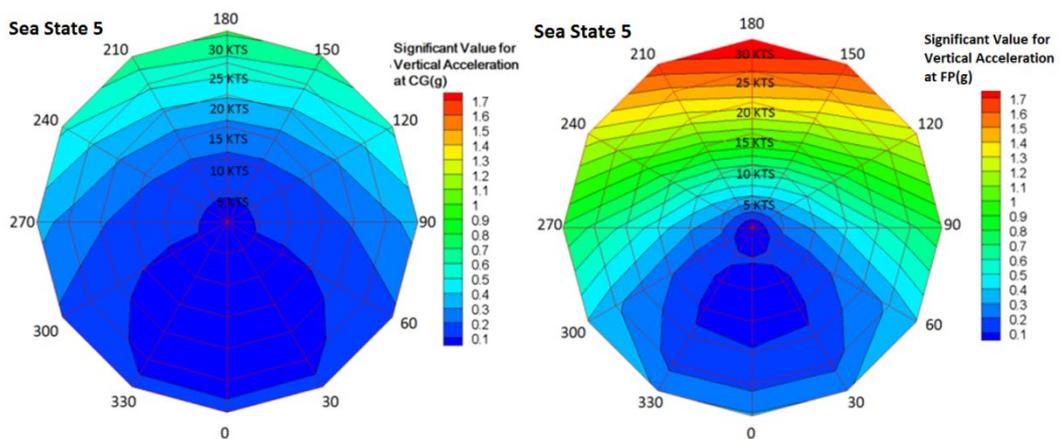


圖 19 船舶 CG 位置 FP 位置垂向加速度航向-航速極座標圖(海象五級)

3.3 大型雙體高速客船

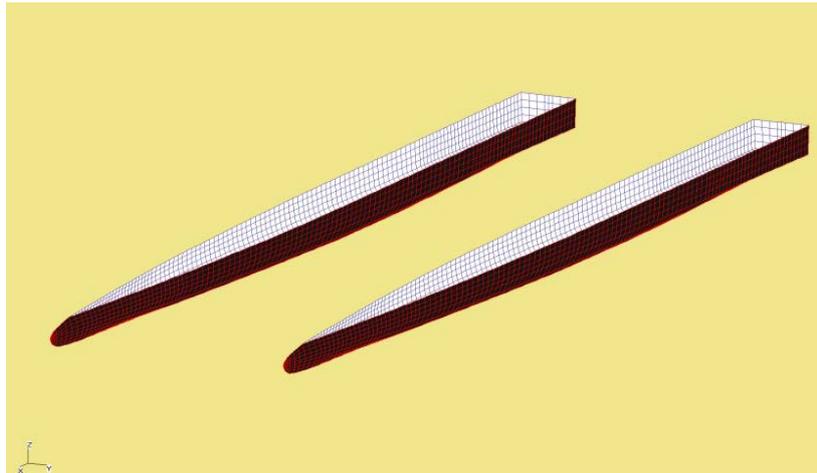


圖 20 大型雙體高速客船之水面以下計算網格

藉由前述兩實例計算驗證，初步評估數值計算軟體 HydroSTAR 可合理預估高速船舶之耐海性能。根據以上方法，本研究亦針對目前於台灣東北海域實際營運的大型雙體高速客船進行初步耐海性能分析，計算對象船長約 105.6m。此大型高速客船於 2007 年開始於台灣海域運行，行駛來往於蘇澳與花蓮兩地，提供載客與運貨之服務。該船之船艏與船艉安裝高度減搖的 T-Foil 與 Trim Tab 的設計，故具備良好的運動性能以提供舒適與平穩的航程。

3.3.1 計算結果與討論

圖 20 為水面以下之計算網格。圖 21 與圖 22 為八種船速下頂浪情況的起伏與縱搖反應值，由圖中可看出共振頻率點與量值隨速度的變化趨勢。由於該艘大型高速客船船型與 3.2 節的雙體船計算模型同樣為穿浪型雙體船，故可以在計算所得的耐海性能結果進行初步的比較。觀察圖 21 與圖 22 中船速 30 節下(紅色線)的共振區運動量值，起伏與縱搖運動反應值約為 1.25m 與 3.6 度；圖 14 則顯示船舶中心設計的雙體船，在同樣的頂浪條件與船速 30 節情況下，利用 HydroSTAR 計算(橘色線)所得之共振區的起伏與縱搖運動反應值為 1.9m 與 8 度。比較兩艘船型尺寸，大型客船之垂標間距長 L_{BP} 為 105.6m，船舶中心之雙體船垂標間距長 L_{BP} 為 40.5m。在起伏與縱搖運動反應值部分，大型客船的計算結果皆較低於船舶中心雙體船的主要因為大型客船船型尺寸較大故耐海性能相對較穩定，此為合理的現象亦初步證明數值計算方法預估的可行性。

圖 23 為 HydroSTAR 計算結果推估至短期響應分析後以「航向-航速極座標圖」呈現在不同海象等級下船舶重心位置的垂向加速度反應值。考慮船舶在海象四級(有義波高：1.88m，波浪周期 8.8s)與海象六級(有義波高：5.18m，波浪周期 12.4s)時，由極座標圖可直接看出在各個航向角由兩組不同條件的海象對船舶產生的垂向加速度反應。此部份之初步評估結果，有待於未來能利用航行之實際量測資料來驗證其準確性並進行詳細的探討。期望利用準確之數值計算方法，預估高速船舶在實海航行的耐海性能，以直觀的方式提供操船者與船東在船舶航行安全上的參考依據。

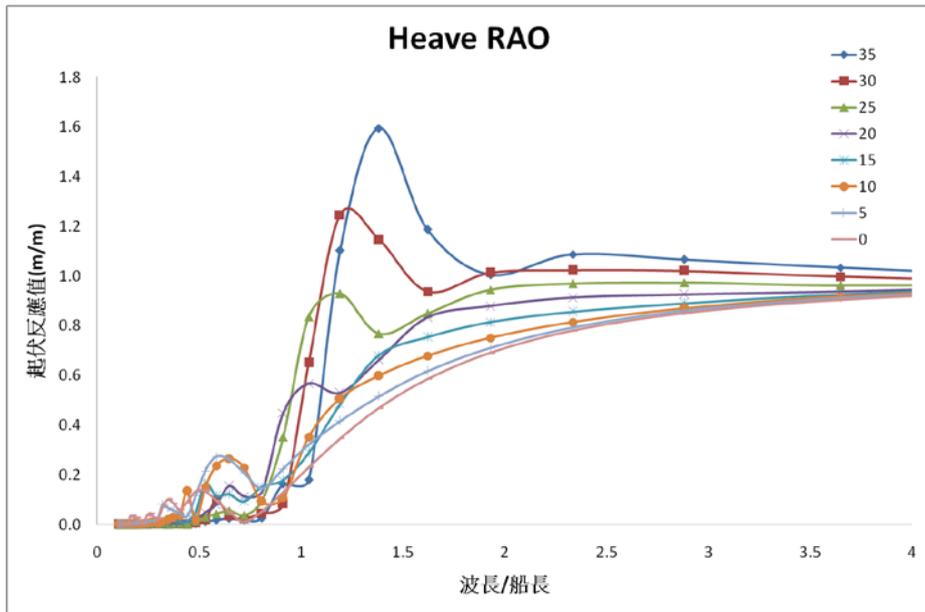


圖 21 計算八個速度點下起伏反應值(頂浪)

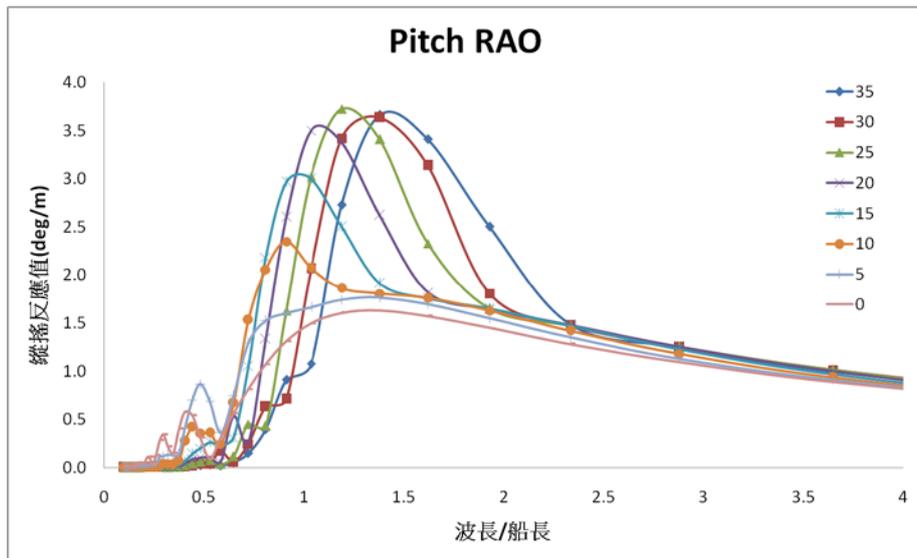


圖 22 計算八個速度點下縱搖反應值(頂浪)

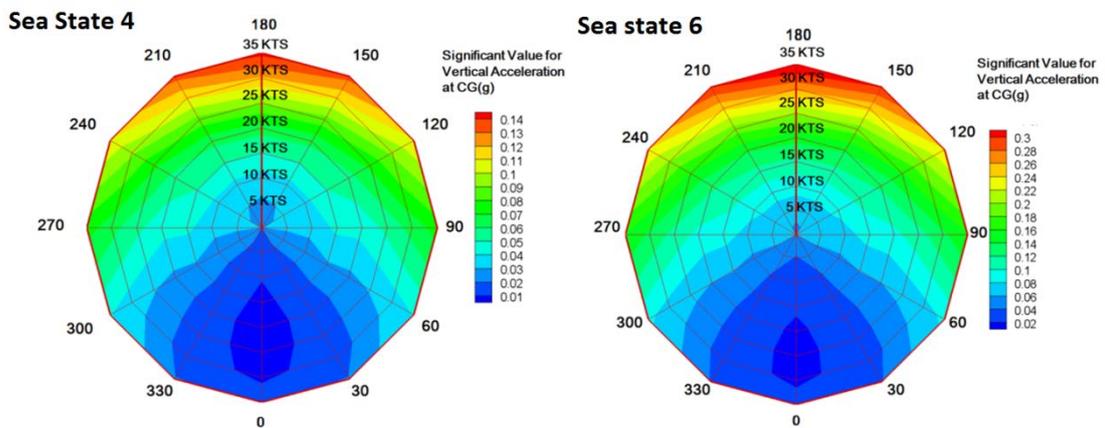


圖 23 航向航速極座標圖-海象四級與六級下船舶重心的垂向加速度反應

四.結論

1. 本文利用合理之數值計算方法評估高速船舶耐海性能，配合頻譜分析推估於非規則波情況下之短期響應結果，並以航向航速極坐標圖呈現特定海象情況下之耐海性能，提供更直觀的結果以供操船參考。
2. 本文以參考文獻之船模試驗資料、其他數值方法之結果以及實船量測結果來驗證計算結果之準確性。經過驗證之數值計算結果未來可成為高速船規範修訂之參考依據。

參考文獻

- [1] 方志中、呂崇湧(1998)。穿浪型雙體船波浪中運動性能之研究。第十一屆中國造船暨輪機工程研討會。
- [2] 洪振發、陳冠吾、呂崇湧、方志中(2001)。穿浪型雙體船的動態結構負荷計算與結構分析的整合以及全船結構分析。第十三屆中國造船暨輪機工程研討會。
- [3] "CR Rules for Construction & Classification of High-Speed Craft", Chapter 3 6/3.6.1 (2008).
- [4] C. W. Dawson, "A Practical Computer Method for Solving Ship-Wave Problems", Proceedings of the 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, pp.30-38, University of California, Berkeley(1977).
- [5] J.L. Hess and A.M.O. Smith, "Calculation of Non-Lifting Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies", Douglas Aircraft Company Report No. ES 40622, Long Beach(1962).
- [6] Korvin-Kroukovsky, B. V. and Jacobs, W. R., "Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves", Trans SNAME, Vol.65, p.250(1957).
- [7] Tasai, F. and Takaki, M., "Theory and Calculation of Ship Responses in Regular Waves", Sym on Deaworthiness of Ships, JSNA(1969).
- [8] Salvensen, N. , Tuck, E.O., Faltinsen, O., "Ship Motions and Sea Loads", Trans SNAME, Vol.78 ,pp.250-287(1970).
- [9] J. M. Orozco, C. V. Raposo, Rio de Janeiro; S. Malenica, "A Practical Procedure for the Roll Motion of FPSO's Including the Non Potential Damping", Offshore Technology Conference 14234, Houston, Texas U. S. A. (2002).
- [10] "CR Rules for Construction & Classification of High-Speed Craft", Chapter 3 3/3.3.5 (2008)