

節能裝置船艏預旋定子之疲勞負荷預估方法

王柏文¹ 廖柏凱¹ 吳凱洋¹ 辛敬業²

摘要

因應近年來節能減碳的議題，節能裝置不斷地被應用於船舶設計。船艏預旋定子(Pre-Swirl Stator, PSS)是一種安裝於螺槳的前方的節能裝置，其改變入流以提升螺槳推進效能。然而，此種定子類型裝置之結構疲勞問題，亦是另一個需關注之議題，以避免其斷裂而造成推進系統的損害。本研究目標為建立一預估船艏預旋定子疲勞負荷之方法，並假設預旋定子之疲勞強度主要由船舶運動影響。以一艘裝有預旋定子的散裝船作為目標，利用邊界元素方法(Boundary Element Method, BEM)以入流速度場預估預旋定子所承受之負荷。首先，利用黏性流方法計算靜水情況下裸船艏定子所在位置處的跡流速度，接著使用耐海性能計算方法配合等效設計波概念以預估預旋定子所在位置處因船舶運動所產生的垂向速度長期響應值。假設船艏跡流與船舶運動對預旋定子之影響各自獨立，將預旋定子所在位置處之跡流流場速度與波浪引起船舶運動之垂向速度相加，作為邊界元素方法之輸入用以預估預旋定子負荷值。邊界元素方法計算預旋定子在兩種情況下之負荷，分為單純跡流情況與波浪情況，各自預估之結果與使用黏性流方法直接計算定子之負荷比較，趨勢一致，並討論本方法的假設有一定的合理性與實用性。

Evaluation of Fatigue Loads on a Pre-Swirl Stator Type of Energy Saving Device

Wang Po-Wen¹ Liao Po-Kai¹ Yann Quéméner¹ Hsin Ching-Yeh²

ABSTRACT

Recently, energy efficiency became a general concern in ship design and a popular strategy consists in improving the flow into the propeller through the utilization of Energy Saving Device (ESD) such as the Pre-Swirl Stator (PSS). However, reported PSS fatigue cracking raised a new concern regarding the propulsion system integrity. This study aimed to establish a methodology to evaluate the fatigue loads exerted on a Pre-Swirl Stator (PSS) assuming that the fatigue strength of the fins was mostly affected by the ship motions. A bulk carrier fitted with a 5-fin PSS was chosen and the loads acting on its fins were derived from the inflow velocity field by employing the Boundary Element Method (BEM). Firstly, the wake velocity field around the PSS was obtained from Computational Fluid Dynamic (CFD) calculations in calm water. The long term value of ship motions induced velocity at the PSS was then evaluated through seakeeping analysis applying the potential flow theory, and the Equivalent Design Wave (EDW) approach. Afterwards, this study summed linearly the wake and the ship motion induced components of the flow field velocity at the PSS, assuming thus that their effects were independent. Finally, this study conducted CFD simulations in calm water and in regular linear wave including ship motions. The BEM load predictions compared well to those produced by CFD analyses. Based on the CFD results, this study discussed also on the validity of the assumptions and idealizations made to establish this BEM based simplified approach.

¹ 財團法人中國驗船中心 驗船師

² 國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系 副教授

一、緒論

近年來因應國際上減少二氧化碳排放量等相關規定，船舶節能的議題持續地備受重視。國際各家船廠不斷地開發節能裝置並有效地應用於船舶航程。節能裝置通常佈置於船艙或螺槳附近來改善流場以增加船舶的推進效率，其種類如整流導罩(Wake Equalizing Duct)、螺槳鰭狀導流帽(Propeller Boss Cap Fins)、船艙預旋定子(Pre-Swirl Stator, PSS)等。

船艙預旋定子是一種提升螺槳推進效能的節能裝置，安裝於螺槳的前方。螺槳做動時，會帶動後方的流體產生旋轉運動，而此旋轉動能中有一部分在推進方面是沒有作用的，故對船舶來說即是耗散的能量。安裝預旋定子則為產生與螺槳旋轉方向相反的旋轉流，此旋轉流可降低螺槳後方水流的旋轉動能以達成節能目的。

此種翼板類型的節能裝置，安裝於船體上時如同懸臂樑，在惡劣海況下船舶大幅度的縱搖與起伏運動可能會對定子產生很大的負荷。另一個需考量的則是，流體經過船體至船艙產生之渦流亦可能對定子產生振動的影響。這些外在負荷容易使得定子結構有疲勞損害的問題，嚴重時甚至會斷裂而碰撞後方螺槳葉片，導致更大的損失。

隨著國際上船舶產業對節能議題之重視，節能裝置發展與探討的相關研究亦相對增加。船艙預旋定子的部分，主要著重於設計階段時整體定子數目、位置以及入流攻角的佈置考量，並利用試驗或數值計算方法觀察其對流場之影響。國外應用數值計算方法之相關文獻如 Claus D. Simonsen^[1]使用計算流體力學軟體 Star-CCM+ 以一自推方法預估貨櫃船的推進馬力，考慮船殼、螺槳與舵之相互影響，並利用船模試驗結果驗證計算方法。驗證後之結果亦延伸探討加裝預旋定子可節省 1.8% 船舶推進馬力，整體顯示計算流體力學方法可有效地應用於評估節能裝置效能。

除了定子之效能，另一重點則是定子所承受的水動力負荷與分析其結構強度。法國船級協會 Stéphane Paboeuf^[2]應用數值計算方法評估加裝於

現成船上的預旋定子結構強度，先以耐海計算方法與計算流體力學方法得到定子承受之負荷，接著將負荷映射至對應之結構模型上進行疲勞分析，建立一套完整之計算流程。另一文獻為 Lee et al^[3] 建立一方法分析貨櫃船船艙預旋定子之非線性水動力負荷，以耐海計算軟體 DNV.WASIM 預估船艙處定子位置垂向速度之長期響應值，配合等效設計波概念決定定子於長期航行時可能遭遇最嚴苛之波高條件，輸入至計算流體力學軟體 Star-CCM+ 計算船舶在規則波頂浪情況下船艙處定子之水動力負荷。

本研究考量船舶在波浪中引起的運動對定子結構可能產生疲勞損害之影響，故對其建立一預估船艙預旋定子因船舶運動所承受之水動力負荷之方法。此計算方法之目標為評估疲勞強度，以評估疲勞的條件為假設，船舶之疲勞強度為考慮長期環境中容易遭遇之海況，通常為較小的波高與船舶運動，故此條件受非線性效應的影響則相對較小，可較符合本方法中所使用之線性理論。

二、計算流程與方法

本研究欲建立一套預估船艙預旋定子因運動所承受之疲勞負荷之方法。此方法之負荷結果可用於評估定子結構產生疲勞損害的風險，提供定子結構設計一有效之參考依據。

構成裸船在波浪中之艙流場共有三者，流體經過船殼產生之跡流速度、波浪引起船舶運動的相對速度以及波浪本身的速度。本研究先假設忽略波浪本身的速度對預旋定子的影響，只考慮跡流與船舶運動影響下定子所承受之水動力負荷。

本研究以一艘散裝船與其艙部裝置的預旋定子作為目標，主要尺寸如表 1 所示，為方便文章敘述，將五葉定子各自編號，右舷最下方定子為 1 號，左舷最下方定子為 5 號，模型與編號如圖 1。計算流程如圖 2，先利用計算流體力學方法 (Computational Fluid Dynamic, CFD) 計算在靜水情況下裸船艙處定子位置上的跡流速度，接著使用耐海性能計算方法配合等效設計波概念以預估預旋定子所在位置處因船舶運動所產生的垂向速度長

期響應值。本研究假設船艉跡流與船舶運動對預旋定子之影響各自獨立，將定子所在位置處之跡流流場速度與波浪引起運動之垂向速度相加，最後輸入至邊界元素方法(Boundary Element Method ,BEM)以預估定子在波浪中因船舶運動所承受的負荷值。

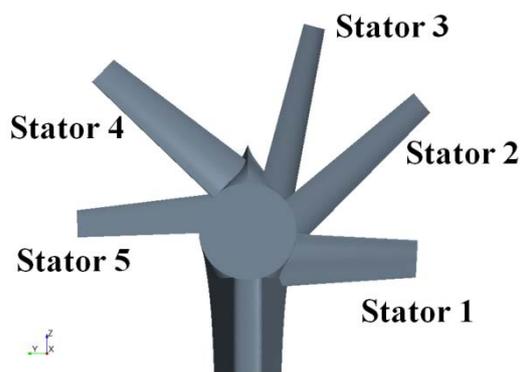


圖 1 船艉預旋定子模型與編號

表 1 船舶主要尺寸

| L _{BP} [m] | Breadth [m] | Draft [m] | Speed [knots] |
|------------------------|----------------|--------------|------------------|
| 223 | 36.5 | 13.97 | 14 |



圖 2 預估船艉預旋定子負荷之流程圖

2.1 CFD 方法計算靜水中船殼艉部流場

預估定子負荷之前，須先求得進入定子平面前經過船殼影響所產生的跡流流場速度，故本研究先使用 CFD 方法計算裸船艉處跡流速度(不包含預旋定子幾何)。本研究所使用之 CFD 軟體為 Star-CCM+^[4]，此軟體是藉由有限體積法將雷諾平均化那維爾-史托克方程式(簡稱 RANS)以離散方式表示，以求解三維且不可壓縮之黏性流場。紊流模型為選用標準 k-ε 紊流模型。

計算網格部分，選擇卡氏座標體積網格

(Trimmer mesh)並針對自由液面與船體艉部區域適當局部加密，總網格數約 235 萬，整體網格佈置如圖 3。計算條件為靜水情況，船身固定，計算船速為 10.5 節(75%設計船速)。自由液面的計算方法，則是採用流體體積法(Volume of Fluid Method)。

計算結果達穩定時，針對艉部定子所在位置處沿船長方向切三組平面，分別對應於定子的前緣、中間與尾端，平面所在位置如圖 4 所示，接著取出平面上三軸方向的流場速度(V_x , V_y , V_z)作為 BEM 方法計算定子負荷的入流條件。

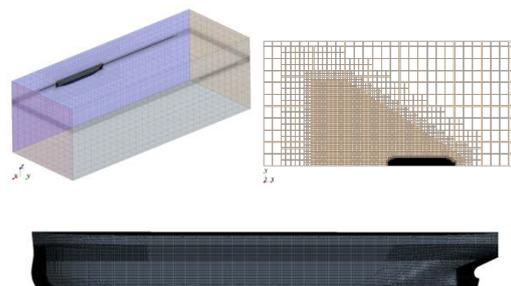


圖 3 CFD 計算網格佈置

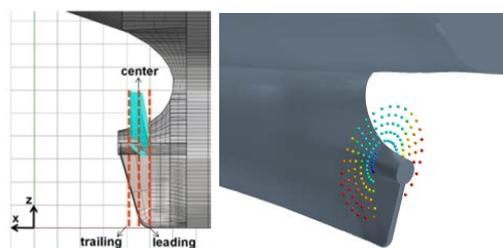


圖 4 輸出跡流流場速度之平面所在位置

2.2 船舶運動預估與等效設計波概念

2.2.1 船艉垂向速度

本研究以 HydroSTAR 耐海性能計算軟體預估船舶的運動反應，並可計算在 PSS 位置處因運動所產生的速度值。計算條件為滿載狀況，船速為 10.5 節 (75%設計船速)。由於本研究主要考量船舶在波浪中運動對定子結構產生疲勞損害之影響，故參考適用於大型散裝貨船的協調共同結構規範^[5](Harmonised Common Structural Rules, CSR-H)中所建議，針對船舶結構疲勞強度分析，考慮之負荷發生機率等級為 10^{-2} ，船速則建議採用 75%的設計船速。

預旋定子的剖面是採用翼型的設計概念，配合不同的入流攻角產生流體旋轉的效果，對於作用於定子上的升阻力來說，入流的速度則是須考量的重要因素。針對船艙位置的船舶運動速度，垂向速度最大值主要由縱搖與起伏運動所造成，而橫向速度最大值則主要由橫移與平擺所造成，圖 5 為計算預旋定子所在位置處各浪向下的橫向與垂向速度反應值，利用頻譜分析並考慮發生機率 10^{-2} 等級之兩者的長期響應值如表 2，橫向速度為 1.21m/s，垂向速度為 2.64m/s，垂向速度為高於橫向速度，由此可判斷垂向速度應對船艙定子負荷有較大的影響。另外，本研究主要先關注對定子結構可能產生最大疲勞損害之情況，故計算時將針對右舷的編號 1 定子進行分析，該定子之水平橫向設計對應於垂向速度而言，具有較大的受力面積，應為承受較大負荷之定子，1 號定子如圖 1 所標示。

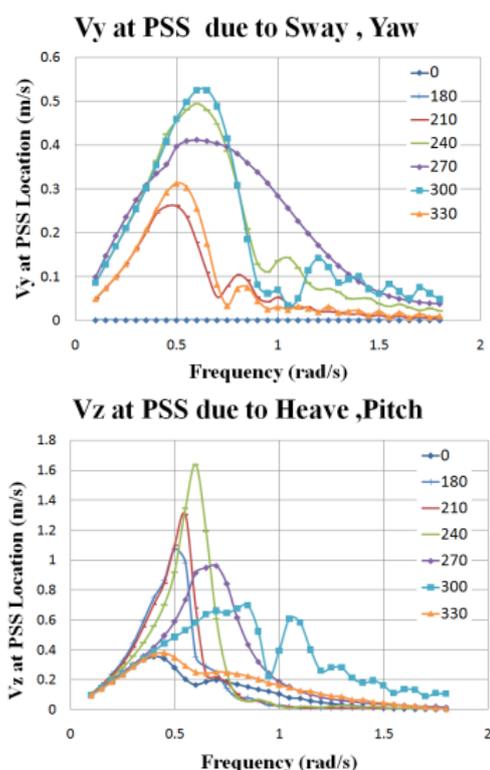


圖 5 各浪向中 PSS 所在位置處
橫向與垂向速度反應值
(180 度為頂浪)

表 2 定子位置處橫向與垂向速度長期響應值

| Probability level | V_y | V_z |
|-------------------|----------|----------|
| 10^{-2} | 1.21 m/s | 2.64 m/s |

2.2.2 等效設計波決定波高

等效設計波(Equivalent Design Wave, EDW)概念為決定一規則波之方法，此規則波可使船體響應值與長期響應值一致。由於船舶在海上實際承受不同週期與方向的波況非常多，故在規範與設計上為方便應用，常使用此較簡化的概念找到能使船體結構產生長期分佈應力的設計波況。

決定等效設計波的方法為計算船舶於某一發生機率等級下的長期響應值，並選擇代表性之規則波的響應振幅運算子最大值(RAO_{max})，由此確定最大值對應的波浪參數(波浪週期、頻率)，其中長期響應值與該規則波之響應最大值的比值即為等效設計波波高，如式(1)。

針對船艙定子之疲勞負荷，本研究以定子位置處的垂向速度為主要影響因素，以此預估長期航行下定子因運動而承受負荷的情況。利用計算所得的定子位置處在各規則波下的垂向速度反應值，經由頻譜分析並考慮發生機率 10^{-2} 等級，得到長期響應值為 2.64 m/s。規則波的部分，本研究先只考慮船舶於頂浪的情況，其垂向速度響應振幅運算子的最大值为 1.063，對應的頻率為 0.5 rad/s，故決定之等效設計波振幅為 2.481m(波高為 4.96 m)，計算結果如表 3。

$$A_{EDW} = \frac{\text{Long Term } V_{PSS,Z}}{RAO_{Max,Vz}} \quad \text{Eq.(1)}$$

表 3 等效設計波決定波高

| Heading (deg) | Long-term V_z (m/s) | RAO Max V_z (m/s/m) | Freq (rad/s) | A_{EDW} (m) |
|---------------|-----------------------|-----------------------|--------------|---------------|
| 180 | 2.64 | 1.063 | 0.5 | 2.48 |

2.3 BEM 方法計算定子之水動力負荷

本研究為引用辛^{[6][7]}發展之邊界元素方法(BEM)以計算定子負荷值，此方法為勢流理論，針對定子幾何建立三維小板，在小板上方佈置源流與偶流以求解定子表面之速度勢，進而得到負荷值。

BEM 方法計算水動力負荷分為兩部分，第一個部分單純只考慮跡流場作為 BEM 的入流條件，

計算時將一併建立與定子相接的艙部幾何，圖 6 為定子計算小板。

第二部分則假設船艙跡流與船舶運動對預旋定子之影響各自獨立，將定子所在位置處之跡流流場速度與波浪引起運動之垂向速度相加，最後輸入至 BEM 方法以預估定子在波浪中所承受的負荷值。

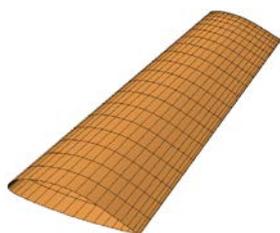


圖 6 預旋定子小板模型

2.4. CFD 方法計算定子之水動力負荷

針對 BEM 兩部分計算之結果，我們將原本之裸船模型加入預旋定子幾何，使用 CFD 方法直接計算定子之水動力負荷來做比較。計算網格部分，由於定子幾何為不對稱之設計，故須全船計算，總網格數為 562 萬。考慮預旋定子幾何較為複雜，具有翼端邊緣與不同攻角佈置等特徵，故此部分的網格則獨立選用較適合曲面的多角型體積網格 (Polyhedral mesh)，計算網格如圖 7 所示，此種網格將有助於在定子周圍生成較完整的邊界層網格，以提升準確性。

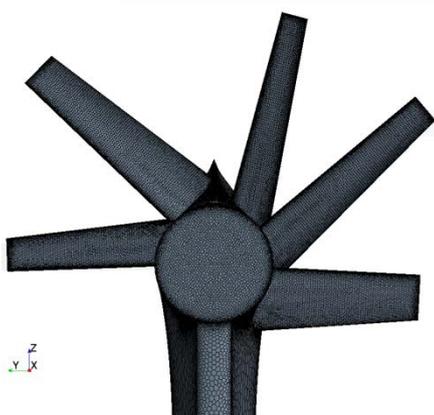


圖 7 預旋定子之計算網格佈置

CFD 計算分為靜水情況與規則波頂浪情況，各

自與 BEM 兩部分的結果進行比較。靜水情況與前述計算船殼艙部流場之設定相同，計算船速為 10.5 節(75%設計船速)。

規則波部分，利用先前使用等效設計波方法決定之波高，頂浪情況之規則波波高為 4.96 公尺，波浪頻率為 0.5 rad/s。計算時，船身開放容許自由起伏(Heave)與縱搖(Pitch)兩運動模式，計算所得之運動反應將與 HydroSTAR 計算結果比較。此部分以 CFD 方法直接計算規則波浪情況，將加入兩項考量，波浪本身速度之影響以及船舶運動和船艙跡流之間的相互影響，利用直接計算之結果與 BEM 結果比較，以探討 BEM 方法預估定子負荷之可行性。

三、計算結果

3.1 BEM 計算結果

圖 8 至圖 10 為比較兩種情況下定子在三個方向上的水動力負荷，虛線為單純跡流情況；實線為跡流速度加上運動之相對垂向速度，考慮定子在波浪中因船舶運動所承受之負荷，該情況計算在一個週期內的受力情形，針對船艙定子的入流，因運動產生之相對垂向速度則取自長期響應值 2.64 m/s。計算之負荷皆以無因次化係數表達，如式(2)表示， ρ 為海水密度 1025 kg/m³， V_s 為船速 10.5 節， R 為定子長度。

$$C_f = \frac{\text{Force}}{0.5\rho V_s^2 R^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

針對疲勞強度的問題，大幅度的負荷變化是需要關注的重點。由計算結果的比較中可判斷單純跡流情況中，五片定子之負荷皆為一定值；在波浪中定子之負荷變化範圍則較大，故可視船舶運動對定子結構來說有較顯著的影響。比較波浪中三個方向的水動力負荷峰值，最大值出現於 1 號定子的垂向方向負荷值(S1 Wave : $C_{fz} \approx -140$ ，受力向下)。負荷變化範圍為 1 號定子的垂向負荷差值為最大。

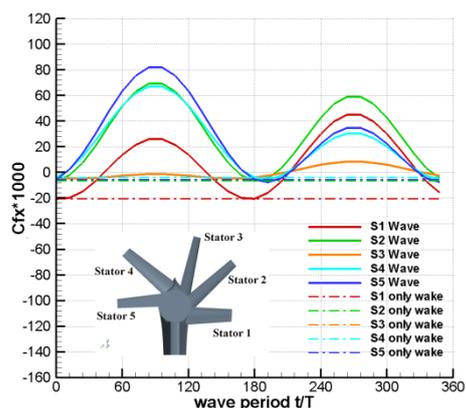


圖 8 靜水與波浪中軸向負荷比較

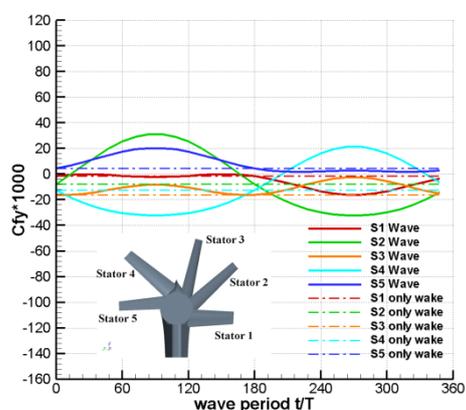


圖 9 靜水與波浪中側向負荷比較

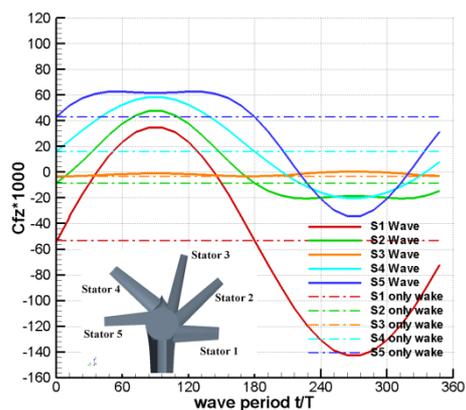


圖 10 靜水與波浪中垂向負荷比較

3.2 導流板對流場之影響

本研究亦探討該艘散裝船於預旋定子前方加裝導流板所產生之效應。利用 CFD 方法計算船舶於靜水中之艏部流場，關注 1 號定子周圍流場，在該定子前方入流面佈置三排量測點觀察軸向速度與垂向速度，量測點位置如圖 11 所示。由計算結

果表 4 可發現，較靠近艏軸管附近的量測點，在有導流板的影響下，其軸向與垂向速度值皆變高。圖 12 與圖 13 為沿 1 號定子徑向切取三個平面觀察其速度向量場，三平面分別為 r1、r2、r3。觀察無導流板的計算結果，在 r1 與 r2 平面中可發現 1 號定子後方產生劇烈之流場分離現象；而觀察有導流板的計算結果可發現，r1 平面定子後方流場分離區域相對變小，而在 r2 平面的流場分離現象已不明顯，由此可說明前方導流板明顯地改變定子的入流方向並縮減發生流場分離現象的範圍。

考慮導流板之影響，本研究將裸船模型加入導流板，以相同的計算流程取得艏處跡流速度，並預估定子所承受之負荷，圖 14 為 BEM 預估定子波浪中因船舶運動所產生之垂向負荷值，與先前無導流板效應之計算結果(圖 14 中虛線結果)比較可發現，經導流板改變流場後，左右舷以水平橫向設置的 1 號與 5 號預旋定子垂向負荷峰值與負荷變化範圍皆明顯變大，其中在五片定子中又以 1 號定子的負荷峰值為最大($C_{fz} \approx -240$ ，受力向下)。由此可說明，若要較周全地分析水動力負荷值對定子結構之影響，須將導流板之效應納入考量。

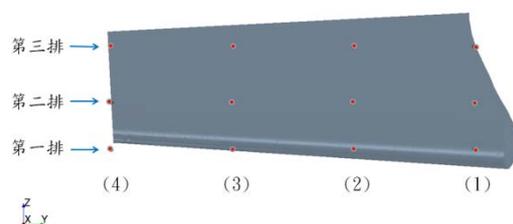


圖 11 定子前方量測點位置

表 4 導流板影響之軸向與垂向速度變化

| 軸向速度比較(V_x) 導流板(有/無) | 第一排 | | 第二排 | | 第三排 | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 有 | 無 | 有 | 無 | 有 | 無 |
| (1) $y=-0.5$ (靠近根部) | 2.52 | 1.10 | 2.58 | 0.84 | 2.38 | 0.51 |
| (2) $y=-0.93$ | 3.73 | 3.13 | 3.59 | 2.65 | 3.60 | 1.83 |
| (3) $y=-1.36$ | 4.33 | 4.12 | 4.27 | 4.02 | 4.14 | 3.73 |
| (4) $y=-1.80$ | 4.60 | 4.58 | 4.58 | 4.54 | 4.38 | 4.43 |

| 垂向速度比較(V_z) 導流板(有/無) | 第一排 | | 第二排 | | 第三排 | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 有 | 無 | 有 | 無 | 有 | 無 |
| (1) $y=-0.5$ (靠近根部) | -0.41 | -0.20 | -0.55 | -0.25 | -0.52 | -0.47 |
| (2) $y=-0.93$ | 0.87 | 0.41 | 0.78 | 0.29 | 0.76 | 0.12 |
| (3) $y=-1.36$ | 1.13 | 0.99 | 1.10 | 0.95 | 1.06 | 0.84 |
| (4) $y=-1.80$ | 1.10 | 1.19 | 1.07 | 1.20 | 0.95 | 1.22 |

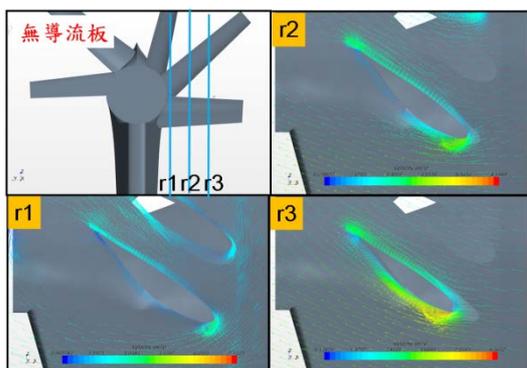


圖 12 無導流板之 1 號定子周圍速度向量場

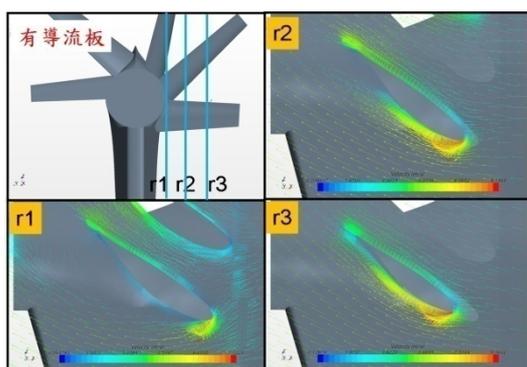


圖 13 有導流板之 1 號定子周圍速度向量場

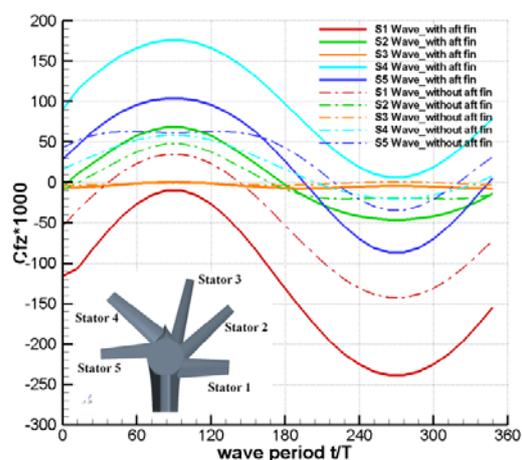


圖 14 有導流板效應之波浪中垂向負荷

3.3 BEM 與 CFD 計算定子靜水中負荷比較

圖 15 至圖 17 為 BEM 與 CFD 方法計算定子在靜水中之負荷比較，單純考慮跡流速度對定子之影響，橫軸為定子之編號，縱軸為負荷值，圖中計算結果分為未考量導流板效應與有考量導流板效應之計算值。

比較兩組 BEM 之計算結果(紅色區塊與綠色區塊)可發現，因導流板改變流場之影響，各定子之兩

組結果有明顯的差異，觀察圖 15 與圖 17 中 1 號定子在有導流板效應之軸向與垂向負荷量值皆較高，此主要因為前方導流板改變定子之入流方向與速度，根據表 4 中 1 號定子前方量測點的速度值比較，導流板將此區域之軸向與垂向速度值提高，故定子之負荷則相對變大。觀察兩組 CFD 計算結果(藍色區塊與紫色區塊)，同樣因速度提高而使得負荷變大，其中在垂向負荷方面，因導流板改善定子後方之流場分離現象亦使得向下的升力增加亦進而提高負荷量值。

針對有考慮導流板效應之 BEM 與 CFD 計算結果(BEM:綠色區塊, CFD:紫色區塊), 各定子在三個方向上之負荷值, 兩種方法之計算結果比較趨勢為大致接近。關注 1 號定子之計算結果, 除了在軸向負荷比較上兩者差值稍大之外, 兩種方法之側向與垂向負荷值則非常接近。觀察圖 13 有導流板之 r1 平面 CFD 計算之速度向量場, 1 號定子後方仍存在少許流場分離現象, 但因 BEM 方法是基於勢流理論以求解問題, 無法考量因黏性而引起之流場分離現象所產生的影響, 故推測此為兩種方法於軸向負荷上差值較大之原因。

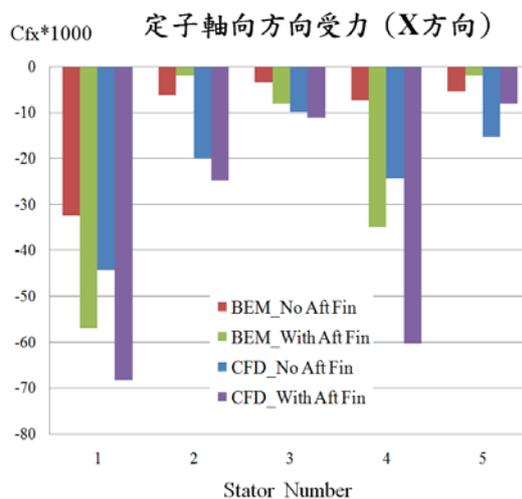


圖 15 定子在靜水中之軸向負荷比較

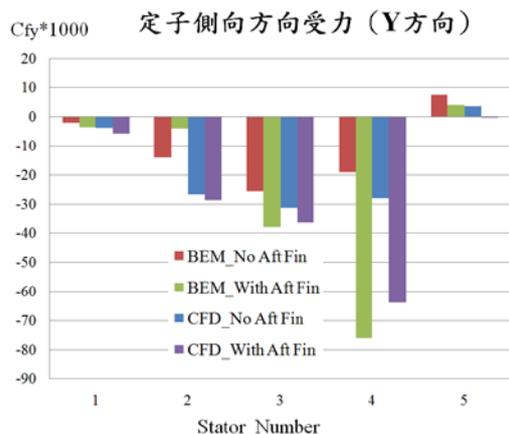


圖 16 定子在靜水中之側向負荷比較

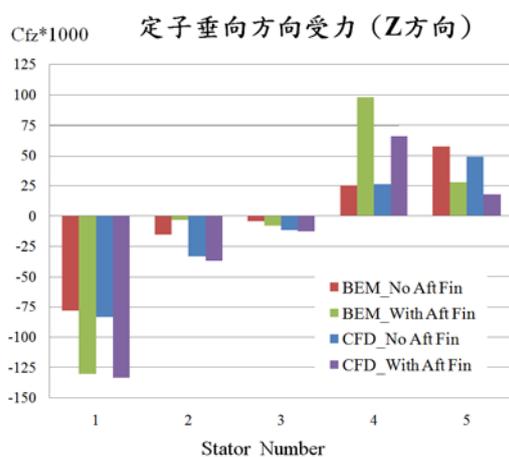


圖 17 定子在靜水中之垂向負荷比較

3.4 BEM 與 CFD 計算定子波浪中負荷比較

利用 CFD 計算定子在規則波頂浪情況下所承受之水動力負荷，與 BEM 計算在波浪中定子之負荷值比較。此部分僅針對 1 號定子垂向負荷進行探討，計算為無考慮導流板效應之結果，BEM 計算結果如圖 10 中紅色實線(S1 Wave: 1 號定子在波浪中之垂向負荷)。

圖 18 為 CFD 計算規則波之水面波形圖，設定入流之波高為 4.96 公尺，計算達穩定時於船舶位置處實際量測的波高為 4.85 公尺，有些許波高消散之情況。圖 19 與圖 20 為 CFD 方法計算該艘船舶之起伏與縱搖運動反應結果，與 HydroSTAR 計算結果比較如表 5，CFD 預估之起伏反應稍低於 HydroSTAR 之結果；縱搖運動反應則兩者預估結果相近。

圖 21 為比較 BEM 與 CFD 計算 1 號定子在波浪中之垂向負荷值，觀察負荷結果中波峰與波谷的差值，BEM 波峰谷差值為高於 CFD 結果。探討兩種方法在影響艇流場假設上的差別，本研究在 BEM 計算中尚未考量波浪本身速度對流場之影響，以及船舶運動和船艙跡流之間的相互影響，另再加上 CFD 計算部份有些許波高消散造成對運動反應之低估，故推測以上因素可能為造成兩部份數值結果有差異的原因。總觀兩種方法預估波浪中定子之負荷，較保守之 BEM 計算結果可作為結構強度上安全餘裕的參考依據。因本研究未來將利用該套方法計算之水動力負荷，映射至結構模型以進行定子疲勞強度分析，若考量多種的浪向情況，使用 CFD 方法直接計算波浪中運動反應與負荷將相當耗時，相較之下，依據本方法之流程，使用 CFD 計算靜水中跡流場配合 BEM 方法為較有效率且可合理預估負荷之選擇。

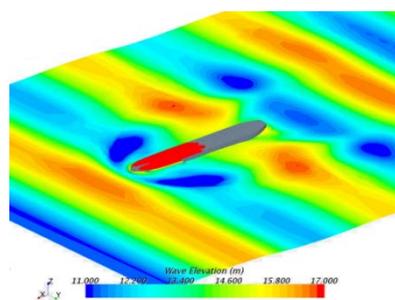


圖 18 CFD 計算規則波之水面波形圖

表 5 船舶運動反應比較

| | Heave(m) | Pitch (deg) |
|--|----------|-------------|
| CFD (Wave H=4.85m at Bow Location) | 4.25 | 4.73 |
| HydroSTAR (Wave H=4.96m) | 4.88 | 4.80 |

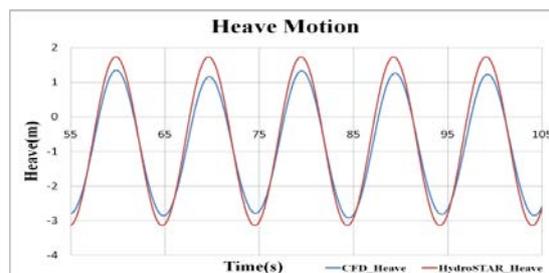


圖 19 起伏運動反應比較

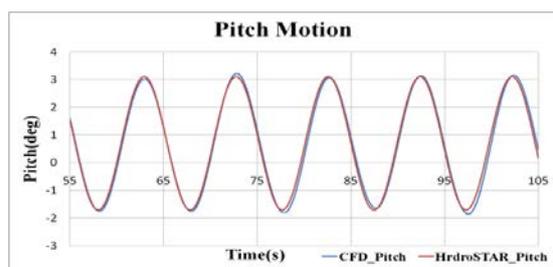


圖 20 縱搖運動反應比較

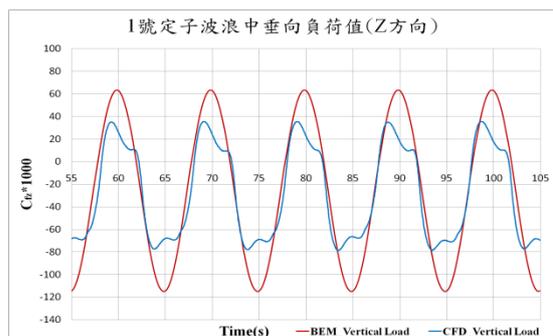


圖 21 BEM 與 CFD 計算
1 號定子在波浪中之垂向負荷值比較

四、結論

本研究的結論如下：

- (1) BEM 方法計算靜水與波浪中負荷之比較，波浪中定子之負荷變化範圍相對較大，可視為船舶運動對定子結構有較顯著的影響。最大負荷變化出現於垂向方向，其中以 1 號定子的負荷變化範圍為最大。
- (2) 探討導流板對流場之影響，BEM 預估定子在波浪中垂向負荷比較，經導流板改變流場後，水平橫向設置的 1 號與 5 號定子負荷變化範圍皆明顯變大，說明將導流板效應納入考量之重要性。
- (3) 考慮導流板效應之 BEM 與 CFD 方法計算定子在靜水中負荷之比較，各定子在三個方向上之負荷比較趨勢為大致接近，1 號定子之側向與垂向負荷，兩者計算結果接近。
- (4) CFD 計算船舶之起伏與縱搖運動反應與 HydroSTAR 結果比較，兩者預估結果相近。BEM 與 CFD 計算 1 號定子在波浪中之垂向負荷值，相對較保守之 BEM 結果可作為結構強度上安全餘裕的參考依據。依據本方法之流程，使用 CFD 計算

靜水中跡流場配合 BEM 方法可應用於考量多種波況時，能較有效率地預估定子負荷。

有關於對定子疲勞負荷的影響因素，本研究方法仍有待於加入波浪本身速度之影響以及泌龍骨引起之渦流產生振動或螺槳產生的振動等效應，以做更進一步的探討。

參考文獻

- [1] Claus D. Simonsen, Casper Nielsen, Christian Klimt-Møllenbach, Christian Råe Holm, Anton Minchev, "CFD based investigation of potential power saving for different rudder types, positions and pre-swirl fins", Final report for DCMT fuel saving project, www.dcmtdk (2012)
- [2] Stéphane Paboef, "ESDs Structural Assessment", RETROFIT & GRIP Midterm conference, Rotterdam, The Netherlands (2013)
- [3] Dong Beom Lee, Hyeon Jin Kim, Beom-Seon Jang, "A study on the short and long-term analysis of nonlinear hydrodynamic force on an Energy Saving Device", Analysis and Design of Marine Structures, London, UK (2015)
- [4] CD-adapco, Star-CCM+ User Guide (2015)
- [5] IACS Technical Background Rule References for Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers, 1 April (2013)
- [6] Ching-Yeh Hsin, "Development and Analysis of Panel Methods for Propellers in Unsteady Flow", PhD thesis, Department of Ocean Engineering, M.I.T.(1990)
- [7] Ching-Yeh Hsin, "Development of a Boundary Element Method to the Computations of Flow Around POD Propulsion Systems", 中國造船暨輪機工程學刊, Vol.22, No.3(2003)

第二十八屆中國造船暨輪機工程研討會暨科技部成果發表會
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系 March 5-6, 2016