

PS-1 重合格子法を用いた船舶操縦性能の推定

流体性能評価系 * 荒木 元輝、大橋 訓英、平田 信行

1. はじめに

世界の船舶海難事故のうち、最も事故隻数が多いのが衝突事故であり、船舶の操縦性能を正しく推定することは安全上重要な設計要素の一つである。また一方で数値流体力学 (CFD) や計算機技術の発展により、設計現場においても推進性能分野では CFD が一般的に実用化されている。そこで今後は推進性能だけでなく操縦性能においても CFD を用いて推定、設計されるようになると思われる。

しかしながら船舶の操縦性能を推定する場合、裸殻船体だけでなく、舵をはじめとするフィン等の付加物によってその操縦性能は大きく変化すると考えられ、その複雑形状を格子においても再現する必要がある。構造格子や六面体格子を用いた単一格子の場合、その格子のトポロジーは非常に煩雑になり、格子生成に多大な労力を強いられることになる。また四面体格子などの非構造格子で格子を生成すると構造格子や六面体格子に比べ精度が落ちやすい。そこで注目される格子生成法が重合格子法である。

重合格子法は六面体格子を用いて生成した簡単な形状の格子を複数組み合わせることで、実際の船の複雑形状を再現しようというものである。この手法を適用することにより格子生成が比較的容易になり、また四面体格子を用いるより精度の高い CFD 計算が可能になり得る。また付加物の有無、付加物形状の変形・変更が単一格子に比べ格段に容易になる。

本論では、海上技術安全研究所で開発を進めている重合格子システム UP_GRID⁽¹⁾を用いて、重合格子による舵付き船体格子を生成し、RANS ソルバーSURF⁽²⁾を用いて舵角試験、PMM 試験シミュレーションを行った。

2. シミュレーション手法

使用した CFD プログラムは、重合格子システム UP_GRID、RANS ソルバーSURF である。UP_GRID、SURF の詳細については参考文献 (1)、(2) に譲る。

3. 計算条件及び計算格子

3. 1 計算条件

今回は、タンカー船型である KVLCC2 (Fig.1 参照) を計算対象とした。船の主要目を Table1 に示す。舵角試験時の模型船縮率は 1/46.4、PMM 試験時の模型船縮率は 1/58.0 である。また舵は実験ではホン舵であったが、CFD シミュレーション上では形状を簡易化しホンと舵を一体化させた一枚舵とした。舵角試験計算で

は自由表面影響は小さいとして、二重模型流れを仮定し、PMM 計算では level-set 関数を用いた界面捕獲法により自由表面を考慮に入れた。またプロペラ影響に関しては簡易プロペラ理論に基づく体積力プロペラモデルで表現した。舵角試験と PMM の計算条件をそれぞれ Table 2, 3 に示す。PMM の非定常強制運動は移動格子法を用いることで表現している。Table 2 の S. P. は ship point、M. P. は model point を表す。



Fig. 1 KVLCC2

Table 1 Principal particulars of KVLCC2.

	Full scale
Length: L_{pp} [m]	320.0
Breadth: B [m]	58.0
Draft: d [m]	20.8
Block coefficient: C_B	0.810
Rudder lateral area: A_R/L_{pp}^2	1.33×10^{-3}
Rudder aspect ratio: Λ_R	1.888
Propeller diameter: D_p/L_{pp}	0.0308

Table 2 Condition for rudder angle tests

	Full scale	Model scale	
		S. P.	M. P.
L_{pp} [m]	320.0	6.89	
Ship speed: U [m/s]	7.97	1.05	
Propeller rps: nxL_{pp}/U	47.1	43.7	59.7
Reynolds number: Re	2.03×10^9	4.60×10^6	
Rudder angle: δ [deg.]	0.0 and 10.0		

Table 3 Condition for PMM tests

	Model scale	
	Pure sway	Pure yaw
L_{pp} [m]	5.52	
Approach speed: U [m/s]	1.17	
Propeller rps: nxL_{pp}/U	58.3	
Reynolds number: Re	7.07×10^6	
Froude number: Fr	0.142	
Rudder angle: δ [deg.]	0.0	
Yaw rate: rxL_{pp}/U	0.0	0.30
Sway velocity: v/U	0.089	0.0

3. 2 計算格子

船体、舵格子に加え、船体・舵格子の間を取り持つ矩形格子の 3 つの格子を重合格子システム UP_GRID⁽¹⁾を用いて重合させた。なお格子の優先順位は高い方から舵、矩形、船体格子の順になっている。Fig. 2 に船尾における重合状態の例を示す。また Table 4、5 に舵角試験、PMM の計算格子の概要を示した。なお壁面近傍の最小格子間隔はどの場合においても $y^+ < 1$ にコントロールされている。

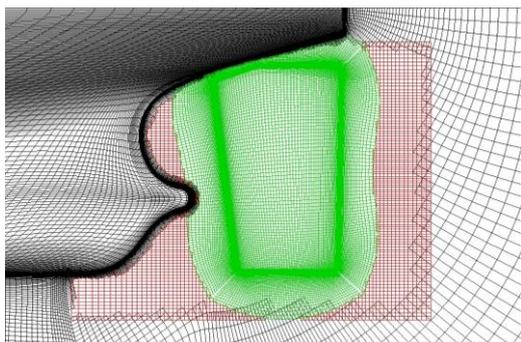


Fig. 2 Overset grids arrangement around stern

Table 4 Grids information for rudder angle test

	$i_m \times j_m \times k_m$		Type
	Full scale	Model scale	
Hull	131x141x133	131x141x103	0-0
Rudder	99x121x97	99x121x67	0-0
Rect.	101x123x105		Cart.

Table 5 Grids information for PMM test

	$i_m \times j_m \times k_m$	Type
	Model scale	
Hull	121x201x105	0-0
Rudder	99x121x61	0-0
Rect.	121x105x101	Cart.

4. 計算結果

以上の計算条件、計算格子において舵角試験、PMM 試験の CFD シミュレーションを行った。Fig. 3 に舵角試験計算における実船スケールと模型スケール (ship point、model point) の A.P. 位置における主流方向速度分布を示す。プロペラ後流については Model scale の Ship point の方が Model point より Full scale のプロペラ後流に近い。またプロペラ後流の作用しない舵上部の船後伴流は Model scale のものが Full scale のものより遅く、尺度・荷重度の違いが明確に表れている。詳細は文献(3)を参照されたい。

次に PMM (Puresway) の CFD 計算結果と SIMMAN2008 の実験データとの船体に掛る流体力の比較を Fig. 4 に示す。計算結果は実験データと良い一致を示しており、非定常運動においても十分な精度が確認された。

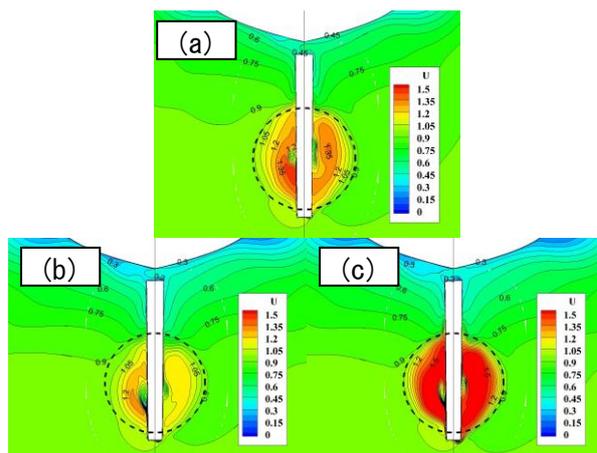


Fig. 3 Streamwise flow velocity at A.P.: (a) full scale; (b) model scale with ship point; (c) model scale with model point.

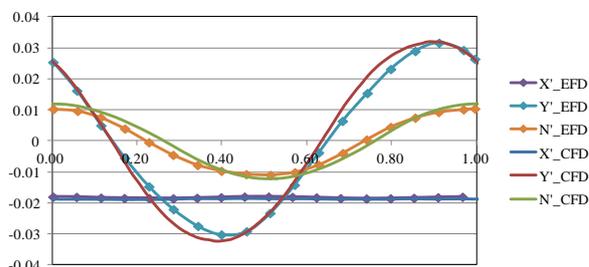


Fig. 4 Comparison between CFD and experimental hydrodynamic forces during pure sway motion.

5. 結論

重合格子法を用いて舵角試験における尺度・荷重度影響の評価と PMM 試験のシミュレーションを行った。舵角試験においては、Full scale および Model scale (Ship point、Model point) でのシミュレーションを行い、尺度、荷重度影響が明確に表れた。また PMM においては、自由表面付き非定常強制運動シミュレーションを行い、過去の実験結果とも良い一致を示し、重合格子を用いた操縦性能推定の有効性を示した。

参考文献

- (1) 児玉良明 他, “付加物付き船体まわりの流れ計算のための重合格子システム UP_GRID の開発”, 第 26 回数値流体力学シンポジウム講演会論文集, 2012, D08-1.
- (2) Hino, T., “A 3D Unstructured Grid Method for Incompressible Viscous Flow”, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.182, 1997, pp.9-5.
- (3) 荒木元輝 他, “重合格子法を用いた舵角試験時舵力の尺度影響に関する一考察”, 平成 26 年度日本船舶海洋工学会春季講演会論文集, 2014.