

## PS-27 浮航型水陸両用車に作用する荷重および運動性能評価

海洋開発系 \*湯川 和浩, 大坪 和久, 長谷川 賢太, 荒木 元輝, 齊藤 昌勝, 渡邊 充史, 石田 圭  
陸上装備研究所 齊藤 翔太, 後藤 和久

### 1. はじめに

防衛装備庁陸上装備研究所（以下、陸装研）では、陸上や水際、水上といった水陸両用車が行動する環境下において、各種車両の操縦性や航走性能の予測等を可能にする「車両用多種環境シミュレータ」の研究を行っている。このシミュレータでは、浮航型水陸両用車の海上航行を評価するための数学モデルとして、我が国において一般船舶に対して検討が進められてきた操縦運動予測モデルの適用が検討されているが、一般船舶とは異なる非流線形の車体に加えて、海上を航行する場合の運動特性や車体に作用する流体力、環境外力の特性など明らかにすべき点が多く残されている。

本所では、シミュレータに資するデータの取得と海上を航行する車体の運動性能の評価を目的として、令和元年度より陸装研との研究協力協定に基づき、浮航型水陸両用車の模型を用いた各種試験を実施した。本論文ではそれらの概要について述べる。

### 2. 車体諸元および座標系

対象とする車体模型の諸元を表-1に示す。本模型は後方2基のウォータージェットによる推力と操舵により水上を航行する。

表-1 車体模型の諸元

Length $L$	1.18 m
Breadth $B$	0.47 m
Draft $d$	0.25 m
Speed $U$	1.00 m/s

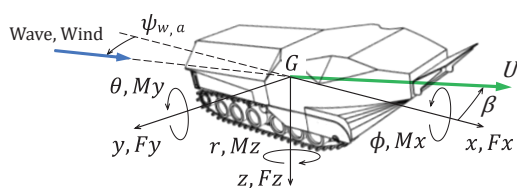


図-1 座標系

図-1に座標系を示す。車体重心  $G$  を原点とする物体固定座標系  $G-xyz$  を定義する。波、風、流れは車体後方から反時計回りに入射角を取り、後方から入射する場合を  $0 \text{ deg}$  とする。

### 3. 浮航型水陸両用車に作用する荷重

#### 3.1 流体力および波浪荷重

平水中での斜航/旋回試験により、車体に作用する流体力を計測した。荷重の定義は図-1に示す。計測時は模型の運動を全て拘束した。また、流体力に及ぼす姿勢の影響も考慮するためにロール角も試験条件に含めた。図-2に計測結果の一例を示す。横軸は斜航角、縦軸は重心周りの無次元係数 ( $\rho$  は流体密度)、各プロットは無次元旋回角速度 ( $r' = rL/U$ ) と

姿勢の違いを表す。無次元旋回角速度が大きくなるとロール角の違いによる影響が大きく現れる。図中の実線は満載時の VLCC (Very Large Crude Carrier) に作用する流体力係数<sup>1)</sup>を表す。回頭モーメント係数は本車体に近い傾向を示す。

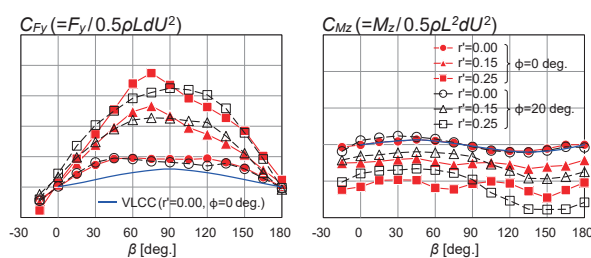


図-2 流体力係数の計測結果

また、本所で開発された船用 CFD ソルバー NAGISA<sup>2)</sup>により車体に作用する波強制力の推定を試みた。図-3に結果の一例を示す。横軸は出会い波周期、縦軸は無次元係数 ( $g$  は重力加速度、 $H_w$  は入射波高)、各プロットは CFD 解析の結果と向波中における拘束曳航試験の結果を表す。矩形に近い車体に対しても、本所の CFD ソルバーにより波強制力の傾向を比較的精度良く推定することができる。

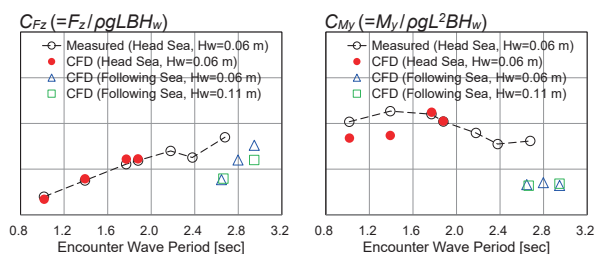


図-3 波強制力係数の推定結果

#### 3.2 風荷重

2種類の喫水を対象に風荷重を計測した。図-4(左)に計測結果の一例を示す。横軸は風向、縦軸は重心周りの無次元係数 ( $A_T, A_L$  は正面/側面投影面積、 $U_A$  は風速)、各プロットは荷重成分と喫水の違いを表す。喫水が浅くなると係数は若干大きくなる。また、実線は満載時の VLCC に作用する風荷重係数<sup>1)</sup>を示す。一般船型の中でも乾舷が小さく、幅の広い VLCC の係数と比較すると、 $C_{Mz}$  は傾向が異なるものの、両者は同程度の値となる。図-4(右)に車体周りの風場を可視化 (中心線上の 2次元 PIV 解析) した例を示す。トレーサーにはヘリウムを封入した直径  $300 \mu\text{m}$  のソーブバブルを用いた。前方の波切板後方に渦や上部艙装品の後方で低速域が生じている様子が分かるが、風荷重との関係は更なる検討を要する。

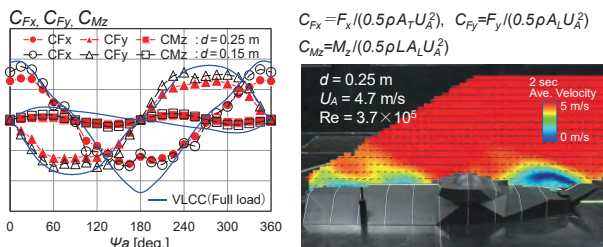


図-4 風荷重係数(左)と車体周りの風場を可視化した(右)結果

4. 浮航型水陸両用車の運動性能評価

平水中および追波中における自由航走試験を実施した。模型のデッキ上には位置情報を取得するための計測用マーカーを前方と後方に各1個設置した。模型内にはバッテリーや駆動機構、小型ジャイロを搭載し、無線伝送ユニットにより計測室からインペラ回転数と操舵の制御を行うと共に、ジャイロの出力を計測室へ転送し、波高やマーカーの位置情報と同期を取って収録した。姿勢はジャイロの出力、方位角は模型前後のマーカー位置から算出した。また、試験前に傾斜試験やブランコ試験を実施し、模型の重心高さや慣動半径などを求めた。表-2に計測結果を示す。計測機器や駆動機構を模型内部に搭載したため想定重量より若干重く、喫水が深い状態で試験を行った。

表-2 自由航走試験の調整値

Draft $d$	0.30 m
Metacentric height $GM_T$	0.013 m
Radius of gyration $\kappa_{xx}$	0.43B

平水中での旋回試験と Zig-zag 試験の結果を図-5に示す。ウォータージェット推進のため直接比較はできないが、IMOの操縦性基準<sup>3)</sup>を参考にすると対象の車体模型は旋回性能に優れる一方、操縦時の保針性能はやや劣ることが分かる。

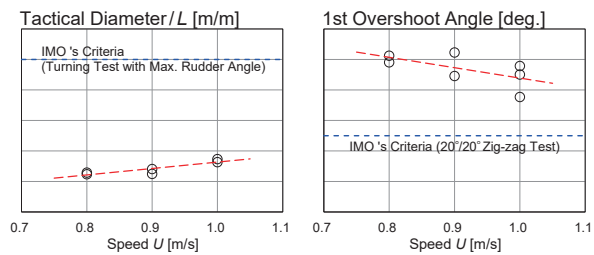


図-5 旋回試験(左)と Zig-zag 試験(右)の結果

表-3 自由航走試験の条件

Wave angle $\psi_w$	0, 10, 20, 30, 40, 50 deg.
Wave height $H_w$	0.14, 0.17, 0.21 m
Wave period $T_w$	1.25, 1.50, 1.75 sec

表-3に追波中における自由航走試験の条件を示す。一般の小型船舶に対するブローチング試験<sup>4)</sup>で設定されている条件( $\lambda/L=1.25\sim 3.0$ ,  $H_w/\lambda=1/50\sim 1/15$ )を包含するように、波長車長比 $\lambda/L$ が1.0~4.9、波粗度 $H_w/\lambda$ は1/100~1/10の範囲で設定した。また、本試験では針路を外れた場合でも回避操舵は行わないことにした。図-6に結果の一例を示す。放射上の軸は波高と初期針路(相対波向)、色はロール角とピッチ角の最大値を示す。波高が大きく周期が短い場合に大きなロールが発生する。周期が長い場合は方位角が20deg付

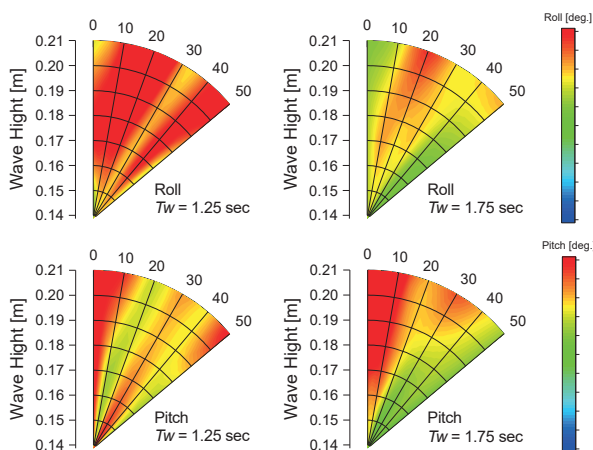


図-6 追波中における自由航走試験の結果

近に局所的ピークが確認できる。ピッチについては追波中における運動であるため、ロールに比べて大きな値が生じる。また、波長車長比と波粗度に対する最大ロールの分布を図-7に示す。波長車長比が1.0や波粗度が1/100付近において局所的な最大ロールの高まりが現れており、一般船舶のブローチング発生条件がそのまま適用できない可能性もある。

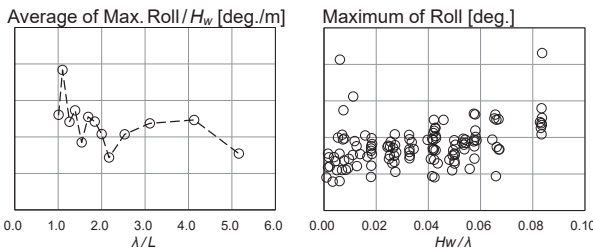


図-7 波長車長比と波粗度に対する最大ロールの分布

5. まとめ

浮航型水陸両用車を対象とした各種模型試験を実施し、操縦運動予測モデルに適用するために航行中における各種外力や係数の導出を行った。また、平水中での自由航走試験から車体模型の旋回性能や保針性能を評価した結果、一般船舶と比較して旋回性能は優れるものの保針性能はやや劣ることが分かった。さらに、波浪中航走時を対象とした試験からロールやピッチが大きくなる条件を検討した結果、一般船舶のブローチング発生条件がそのまま適用できない可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) OCIMF : Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition (MEG3), Witherby Seamanship International, 2008.
- 2) Ohashi K., et al. : Development of a structured overset Navier-Stokes solver with a moving grid and full multigrid method, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 24, pp. 884-901, 2019.
- 3) IMO : Standards for Ship Manoeuvrability, Resolution MSC. 137(76), 2002.
- 4) 不破健 他 : 小型船のブローチングに関する実験的研究, 日本造船学会論文集, 第150号, pp. 223-231, 1981.