

J-5

一点係留されたムーンプール付きバージ型浮体の前進速度が振れ回り運動に与える影響

Effect of forward speed of a barge-type floating structure with moonpool moored at a single point on its Gyration motion

○福永勇太¹, 居駒知樹², 譚雷²
Yuta Fukunaga¹, *Tomoki Ikoma¹, Tan Lei²

Abstract: In this study, the forward speed effect of the steady wave drift force was considered in the simulation of the swinging motion using a simple weighted average, based on the assumption that the forward speed effect can be expressed only in terms of the change in the frequency of the encounter wave. The time series of angular gyration displacements agreed better with the experimental data than when the forward speed effect was not considered. This result suggests that the presence of forward speed during the oscillatory motion causes a difference in the steady wave drift force.

1. 緒言

一点係留浮体は振れ回り運動時に位置や姿勢が時々刻々と大きく変化する。状況によっては、浮体が前進速度を持ち追波や向波状態となり、その際、浮体に作用する流体力特性が異なることは容易に想像がつく。

谷澤ら^[1]の研究では、浮体が規則波中を微速前進すると、入射波に対して向波方向に進むときと追波方向に進むときとで出会い波周波数に差が生じるため、定常波漂流力にも差が生じ、波漂流減衰力と呼ばれる流体力が発生することに言及している。

一点係留された浮体の振れ回り運動に関する数値計算モデルについても既にいくつかの事例^{[2], [3]}があるが、前進速度の影響について組み込んだ事例は著者が知る限りはなく、一点係留環境下における波浪外力の取り扱い、非常に難儀であることがうかがえる。そこで本研究では、一点係留浮体の振れ回り運動シミュレーションに前進速度を簡便にくわえてその影響について実験結果との比較より考察することを目的とした。

2. 水槽実験

水槽実験は日本大学理工学部船橋校舎海洋建築工学水槽で実施した。水槽長さは24m、水槽幅は7m、実験時の水深は1mである。規則波中における一点係留浮体の動揺実験を実施し、本研究で構築した一点係留浮体の振れ回り運動シミュレーションとの比較を行った。Figure.1 に実験の設置状況を示す。一点係留機構については、浮体の6自由度の運動モードのうちヨーを拘束し、その他の運動については自由度を与えるようにスィベルコネクターを用いて浮体とレバーを接合した。レバー長さ L_R は1.0mとした。また、入射波周期につ

いてはできる限り反射波が生じるまでの時間が長くなるように0.62sを採用した。

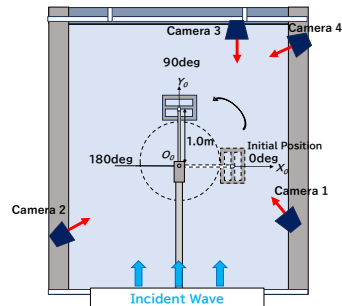


Figure. 1 Plan section of wave exciting force experiment.

3. 振れ回り運動シミュレーション

本研究の数値計算では一般に操縦運動を解く方程式として用いられるオイラーの運動方程式を使用した。この運動方程式は Figure.2 に示すように空間固定座標系 ($O_0 - X_0 Y_0$) および浮体の回転中心を原点として固定した物体固定座標系 ($O - x y$)を用いる。この運動方程式を4次のRunge-Kutta法で解くことにより時々刻々の浮体の振れ回り運動をシミュレーションした。

$$(m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr = F_x \tag{1}$$

$$(m + m_y)\dot{v} - (m + m_x)ur = F_y \tag{2}$$

$$(I_{zz} + i_{zz})\dot{r} = M_z \tag{3}$$

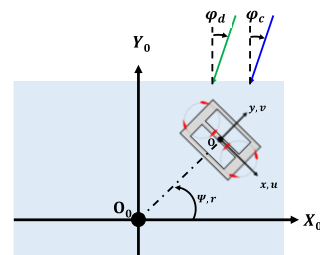


Figure. 2 Coordinate system.

1 : 日大理工・院 (後)・海建 2 : 日大理工・教員・海建

ここで、 m は浮体の質量、 m_x, m_y は x, y 方向の付加質量、 I_{zz} は z 軸周りの慣性モーメント、 i_{zz} は z 軸周りの付加慣性モーメント、 u, v, r はそれぞれ x, y 方向の速度、 z 軸周りの角速度である。また上付きの \cdot は一階時間微分である。右辺の外力項 F_x, F_y, M_z はそれぞれ、 x, y 方向の外力、 z 軸周りのモーメントであり各外力を足し合わせたものである。

本研究では、増田ら^[4]が開発したハイブリッド型境界要素法により 1 次の速度ポテンシャルを計算し、Diffraction 問題のみを考慮した固定浮体の定常波漂流力を遠場法にて入射角度ごとに算定した。そして、重み付き平均による面内挿により出会い波周波数を考慮した。定式化の詳細については紙面の都合上割愛する。

4. 実験結果および考察

本研究で構築した振れ回り運動シミュレーションと規則波中動揺実験結果との比較を実施した。シミュレーション時間は 180.0 s、時間刻みは 0.01 s とした。

また、定常波漂流力について、Figure.3, Figure.4 に示すようにあらかじめ入射角度 15.0° 刻みで遠場法を用いて算定し、データベースを作成した。このデータベースより重み付き平均を用いて振れ回り運動中における時々刻々の定常波漂流力を内挿した。

Figure.5 に時系列の回頭角 ψ の実験値と振れ回り運動シミュレーションによる計算値の比較を示す。なお、赤線には出会い波周波数を考慮せず、入射波周波数により重み付き平均を行った場合の計算結果を示している。出会い波周波数を考慮していない場合、回頭角速度が実験値よりも速いことが確認できる。一方の出会い波周波数を考慮した場合 90.0 s 以降、回頭角が若干大きくなるが、実験値の傾向を概ねとらえていることが確認できる。これは、追波状態になり見かけ上の入射波周期が長くなり定常波漂流力が減少したことが推察される。その結果、実験においても回頭角速度が遅くなったことが考えられる。本研究では、波漂流力の前進速度影響が出会い波周波数の変化のみで表せるという仮定のもと重み付き平均を用いてその変化を考慮した。結果的には実験値との定性的な一致を示せた。

5. 結言

本研究にて得られた知見を以下に示す。

- 1) 重み付き平均を用いて前進速度影響を簡便に振れ回り運動シミュレーション内に考慮した結果、考慮しない場合よりも実験値と時系列における回頭角変位が一致した。

- 2) 本研究の数値計算モデルは波漂流減衰力と粘性抗力の波浪中変化分との取り分けができていない。実際に、前進速度影響を理解するためには、外力としての取り分けを行い専用の実験等で定量的にその成分を明らかにする必要があり課題となる。

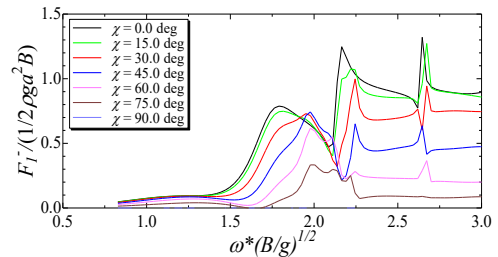


Figure. 3 Data base of mean drift force (Surge).

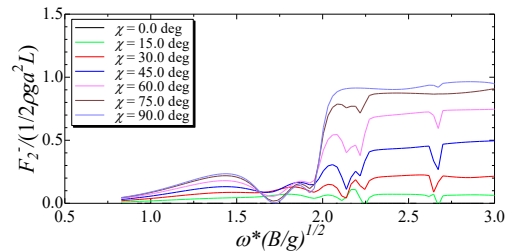


Figure. 4 Data base of mean drift force (Sway).

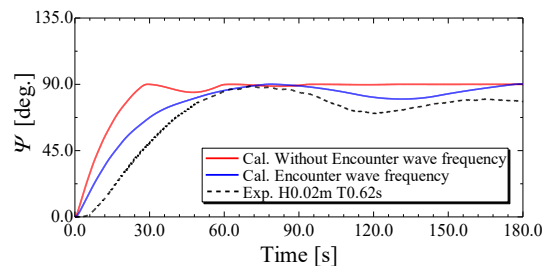


Figure. 5 Time history of ψ .

6. 参考文献

- [1] 谷澤克治, 内藤林: 非線形数値シミュレーションによる波漂流減衰力の一考察, 関西造船協会誌, 228 巻, p269-274, 1997.
- [2] 小保方準, 中嶋俊夫: 一点係留システムの基本計画手法について (その 2) -係留力の計算-, 日本造船学会春季講演会, pp.252-260, 1988.
- [3] 渡邊充史, 湯川和浩: 一点係留された船体の振れ回り運動に関する数値計算モデルの構築と挙動評価, 日本船舶海洋工学論文集, 32 巻, p.47-64, 2020.
- [4] 増田光一・居駒知樹・永井孝志: コラム・フーティング型緊張係留浮体におけるスプリングング応答に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 466 号, pp.175-184.