

J-4

ムーンプールを有するバージ型浮体の運動応答に与える越波やスロッシングの影響について The Effects of Wave Overtopping and Sloshing on the Motion Responses of a Barge-Type Floating Structure with a Moonpool.

○鈴木健斗¹, 居駒知樹², 譚雷²
*Kento Suzuki¹, Tomoki Ikoma², Lei Tan²

The effects of sloshing and wave overtopping on the barge-type floating structure with a moonpool on the first-order motion responses and the applicability of linear theory calculations were investigated. When there was no wave overtopping, the first-order motion responses could be estimated approximately by the linear potential theory. When wave overtopping occurred, the first-order motion responses tended to decrease with increasing wave height. The effect of sloshing on the first-order motion responses was negligible.

1. 緒言

浮体式洋上風車の浮体基盤としてムーンプールを有するバージ型浮体が提案されている。この浮体は形状が単純なため、セミサブ型やスパー型と比較して製造コストの低減が期待できる。さらに、適切なムーンプールの存在により運動応答の低減も可能である。その一方で、内部水塊挙動によって浮体運動等に良くない状況をもたらす可能性もある。特に内部水塊の共振(以下スロッシング)が発生する周期帯や、浮体上を波が越波するような条件下では内部水塊挙動の非線形性が増大し、浮体運動等に強い非線形影響を与える可能性がある。洋上風力発電基盤浮体としての利用コンセプトがある今日、このような内部水塊挙動の影響を明らかにすることは重要であると言える。しかし、内部水塊が浮体運動等に与える影響について考察した研究はIkomaら^[1]や藤島ら^[2]のものを除くとほとんど行われておらず、その詳細が研究されているとは言い難い。

よって本研究では、スロッシングや浮体上への越波がムーンプールを有するバージ型浮体の1次の運動応答に与える影響を調査すること、またこのような強非線形な状況を線形ポテンシャル理論によってどの程度再現できるか明らかにすることを研究目的とし、1/100縮尺模型を用いた規則波中の動揺実験と線形ポテンシャル理論による数値計算を行った。

2. 水槽実験

実験は日本大学理工学部船橋校舎の海洋建築工学水槽で実施した。水槽長さは24 m, 幅は7.0 m, 実験時の水深は1.0 mである。浮体模型の長さ, 幅は450 mm, ムーンプールの長さ, 幅は272 mm, 浮体高さは153 mm, 実験時の喫水は123 mmである。浮体模型のKGは40 mm, GM_x および GM_y は210 mm, 質量は15.8 kgである。Fig. 1に実験時の模型の側面配置を示す。係留に

はステンレスワイヤーを使用し、滑車を介して線形ばねと繋いだ。係留に用いた線形ばねのばね定数は23 N/mであり、初期張力は3.45 Nとした。また、係留角度は45°とした。入射波は規則波とし、波高は2.0 cmおよび6.0 cmであり、波高6.0 cmのケースで浮体上への越波が発生する。入射波角度は0°, 波周期は0.62秒から1.5秒の範囲とした。運動はモーションキャプチャーシステムで計測する。また、ムーンプールの中央に容量式波高計を設置し、内部水塊挙動も計測した。

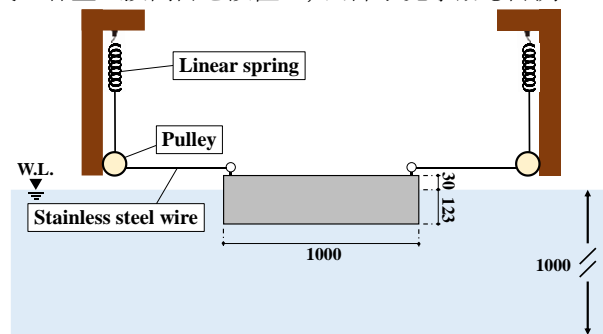


Figure 1. Side view of experimental setup.

3. 数値計算

本研究では増田ら^[3]のハイブリッド型境界要素法を用いて流れ場の速度ポテンシャルを計算した。本手法は外部領域を固有関数展開法, 浮体近傍の内部領域を境界要素法で離散化し, 両者の接続面となる仮想境界上で解を接続させるハイブリッド方式である。1次の運動応答は周波数領域の1次運動方程式を厳密に解くことによって求める。

4. 水損実験および数値計算結果

Figure2. から4. に Surge, Heave, Pitch の1次の運動応答の線形理論による数値計算結果と実験結果の比較を示す。なお, 図の横軸は入射波無次元円周波数に対して, 縦軸は1次の運動応答の無次元値で示す。こ

1: 日大理工・院(前)・海建, 2: 日大理工・教員・海建

ここで、 ω : 入射波円周波数、 g : 重力加速度、 a : 入射波振幅、 B : 浮体幅とする。また、無次元円周波数 0.9 から 1.2 のケースでは、浮体が入射波とほぼ同じ位相と振幅で運動したため浮体上への越波は発生していない。

Figure2. より、無次元円周波数 1.50 付近で数値計算の結果が過大評価となった。これは、Figure4. より数値計算で求めた Pitch の 1 次の運動応答が同様の周波数帯で過大評価になっていることから、この影響によって Pitch と連成する Surge の運動応答が過大評価となったと考えられる。その他の周波数帯では波高 2.0 cm の結果と数値計算の結果はおおむね一致した。また、波高 6.0 cm の結果は無次元円周波数 1.45 付近で若干増大したが、その他の周波数帯ではおおむね波高 2.0 cm の結果を下回った。Figure3. より、無次元円周波数 1.60 から 1.70 付近で線形理論で求めた Heave の 1 次の運動応答が過大評価となった。これは、線形理論で求めた水面変動量が粘性を考慮していない影響で過大に計算されたためであると考えられる。その他の周波数帯では波高 2.0 cm の結果と数値計算の結果はおおむね一致した。また、波高 6.0 cm の結果は無次元円周波数 1.50 付近で若干増大したが、その他の周波数帯ではおおむね波高 2.0 cm の結果を下回った。Figure4. より、無次元円周波数 1.35 から 1.50 で線形理論で求めた Pitch の 1 次の運動応答が過大評価となった。同様の周波数帯で波高 2.0 cm の結果が無次元値で 2.5 付近まで増大していることから、この周波数帯が Pitch の固有周波数帯であると考えられる。このような周波数帯では、粘性の影響を考慮していない影響で線形理論による計算が過大評価となることが知られており、この影響で数値計算の結果が過大評価となったと考えられる。その他の周波数帯では波高 2.0 cm の結果と数値計算の結果はおおむね一致した。また、波高 6.0 cm の結果は波高 2.0 cm の結果を下回った。また、今回の実験では無次元円周波数 1.2 から 1.5 付近で内部水塊のスロッシングが発生したが、同様の周波数帯で実験で計測した 1 次の運動応答に特異な変化は見られなかった。

以上のことから、浮体の固有周波数帯付近では線形理論による計算が過大評価となるが、その他の周波数帯では線形理論によって 1 次の運動応答をおおむね推定できると考えられる。また、浮体上への越波が発生した場合の 1 次の運動応答は波高の増大に対しておおむね減少傾向であると考えられる。さらに、内部水塊のスロッシングが浮体の 1 次の運動に与える影響は微小であると考えられる。

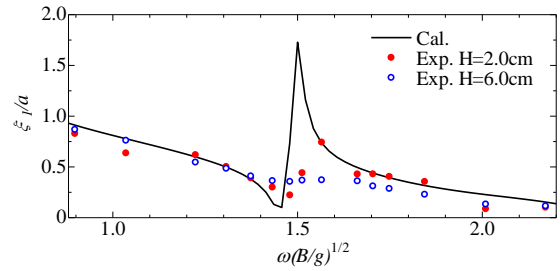


Figure2. RAOs of surge

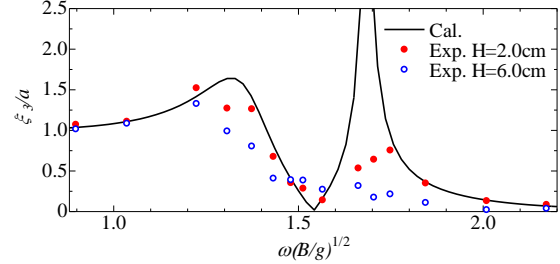


Figure3. RAOs of heave

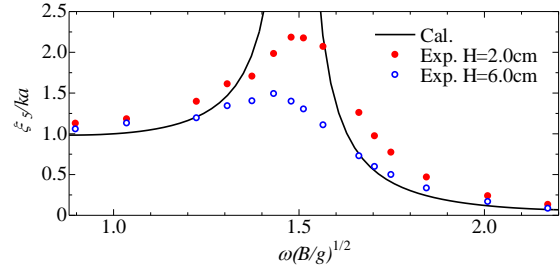


Figure4. RAOs of pitch

5. 結言

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 浮体上への越波が発生しない場合、線形理論による計算で 1 次の運動応答をおおむね推定できる。
- 2) 浮体上への越波が発生する場合 1 次の運動応答は波高の増大に対して減少傾向であり、線形理論による計算でおおむね安全側の予測が可能である。
- 3) スロッシングがムーンプールを有するバージ型浮体の 1 次の運動に与える影響は微小である。

6. 参考文献

- [1] Ikoma, T., Nakamura, M., Satsuya, M., Yasuhiro, A., Koichi, M., Hiroaki, E.: Effects of Four Moon Pools on a Floating System Installed with Twin-Vavwts, IOWTC2019-7598.
- [2] 藤島健英, 居駒知樹, 相田康洋:「ムーンプールを有するポンツーン型浮体の動揺低減効果に関する基礎的研究」, 日本船舶海洋工学会論文集, 36 巻, pp.25-30, 2022.
- [3] 増田光一, 永井孝志, 藤澤康雄:「コーン型浮体に作用する 2 次周波数和波強制力について」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1499-1500, 1993.