

ムーンプール付きバージ型浮体の動揺応答特性に関する研究

秋田大学 学生会員 ○塚田敬二郎
秋田大学 正会員 平川 知明

1. はじめに

現在、世界的に洋上風力発電が注目を集めている。そこで、水深 50m 以上の海域にも適用可能な浮体式洋上風力発電の実用化が期待される¹⁾。日本近海で離岸距離 30km かつ水深 200m までの海域を対象にすると、水深 50m~100m と水深 100m~200m の浮体式の設置可能面積は同程度である。しかし、世界的に商用化が進んでいるスパーク型浮体は 100m 程度の水深が必要であるため、水深 50m~100m の範囲で着床式に対してコスト競争力のある浮体式の開発が課題となっている。そこで、水深 50m~100m の海域に設置可能で、構造上低コスト化も見込まれるバージ型が優れている。バージ型浮体の設計において、浮体の動揺に関する固有周期は、設置海域の平均的な波の周期から必ず必要があり、バージ型浮体では、ムーンプール（以下、MP とする。）の形状を変化させることで固有周期を調整できる²⁾。しかし、MP の形状と浮体動揺応答特性の関係を、波の非線形効果を完全に取り込んだ 3次元解析によって調べた研究は行われていない。本研究では、3次元完全非線形境界要素解析を使って MP の大きさの違いが浮体動揺応答特性に及ぼす影響について明らかにする。

2. 問題の定式化と数値解析手法

非粘性非圧縮渦なし流れを考え速度ポテンシャル ϕ を導入することで、流速は $\mathbf{u} = \nabla\phi$ と表すことができる。また、流体領域全体において、 ϕ はラプラス方程式を満たす。

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \tag{1}$$

境界要素法では、上式とグリーン定理を合わせて得られる境界積分方程式（BIE）を解くことで、各時刻における境界上での ϕ とその法線方向の微分 ϕ_n を計算する：

$$\alpha(\mathbf{a})\phi(\mathbf{a}) = \iint_{\Gamma} \{G(\mathbf{x}, \mathbf{a})\nabla\phi - \phi\nabla G(\mathbf{x}, \mathbf{a})\} \cdot \mathbf{n}dS. \tag{2}$$

ここで、 \mathbf{n} は境界面の単位法線ベクトル、 $\alpha(\mathbf{a})$ は立体角、 \mathbf{x}, \mathbf{a} は位置ベクトルである。スカラー関数 G は $G = 1/|\mathbf{x} - \mathbf{a}|$ である。

本研究での BEM によるシミュレーションは以下の手順を繰り返すことである。

1. $\mathbf{x} \in \Gamma^{(D)}(t)$ 上の $\phi(\mathbf{x})$ と $\mathbf{x} \in \Gamma^{(N)}(t)$ 上の $\phi_n(\mathbf{x})$ を与え BIE を作り、 $\mathbf{x} \in \Gamma^{(N)}(t)$ 上の $\phi(\mathbf{x})$ と $\mathbf{x} \in \Gamma^{(D)}(t)$ 上の $\phi_n(\mathbf{x})$ について BIE(2) を解く。（ただし、 $\Gamma^{(D)}$ と $\Gamma^{(N)}$ はそれぞれ水面と構造物境界面を表す。）
2. 各節点の流速 $\mathbf{u} = \nabla\phi(\mathbf{x})$ を計算する。
3. 流速と力学的境界条件を時間積分することで、次の時刻の位置 $\mathbf{x}(t + \delta t)$ と速度ポテンシャル $\phi(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Gamma^{(D)}(t + \delta t)$ を計算する。

3. 計算条件

本研究では、MP の大きさを一辺が 0m, 15m, 30m となる 3 つのバージ型浮体を対象として、図 1 に示す³⁾。

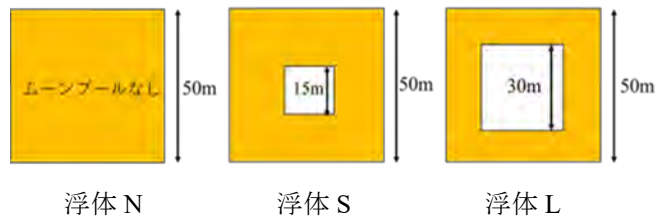


図 1 ムーンプールの寸法

また、振幅 $a = 0.8$ [s] で固定し、周期 $T = 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0$ [m] の 11 回造波させた。

4. 結果と考察

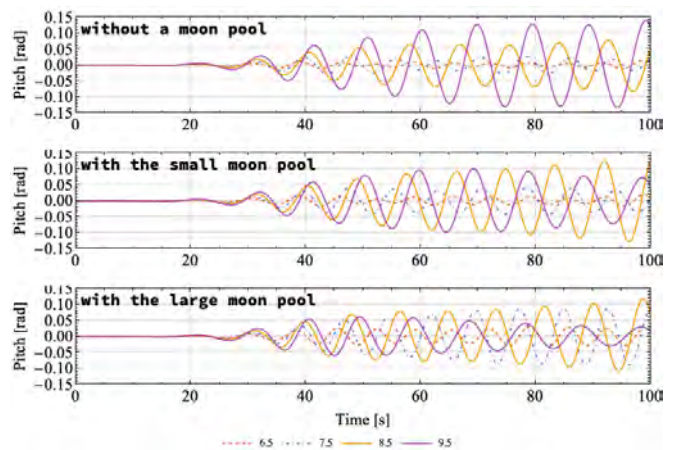


図 2 ピッチ角の時間変化

動揺としてピッチ角とヒープ方向変位で調べる。図 2 は MP が無い浮体 N, 15m の MP がある浮体 S, 30m の MP

がある浮体 L のそれぞれのピッチ角の時間変化を示している。入射波周期が $T=9.5s$ の場合は MP によってピッチが抑えられている。しかし、比較的周期が短い場合にはピッチは逆に大きくなった。この傾向は、15m の MP がある浮体 S より 30m の MP がある浮体 L において大きく見られた。このことは、図 3 に示したピッチ角のスペクトルからも確認できる。

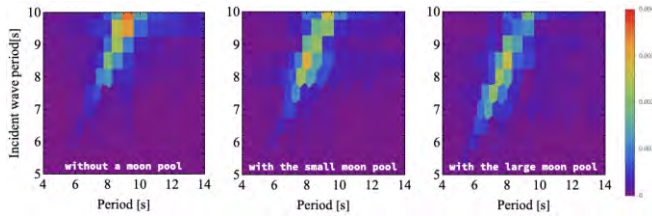


図 3 ピッチ角のスペクトル [rad]

30m の MP がある浮体 L で、入射波の周期 $T=8.5$ で比較的大きな応答があり、逆に入射波の周期 $T=9.5$ で小さい応答になった原因として、MP 内部でスロッシングと思われる現象が発生し、浮体の運動に影響したと考えられる。

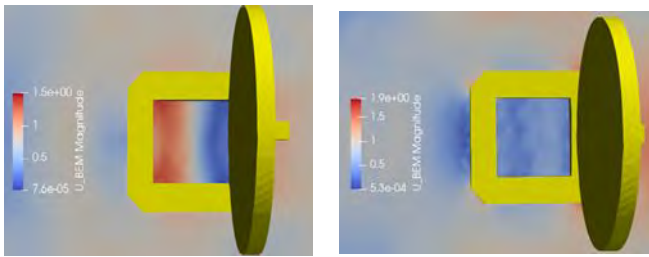


図 4 ムーンプール内の水の流速

(左：入射波の周期 $T=8.5$ 右：入射波の周期 $T=9.5$)

図 4 は MP 内の水の流速を示している。入射波の周期 $T=8.5$ では、MP 内でも場所によって、水の流速の変化があるが、入射波の周期 $T=9.5$ では、MP 内では水の流速の変化がないことが確認できる。

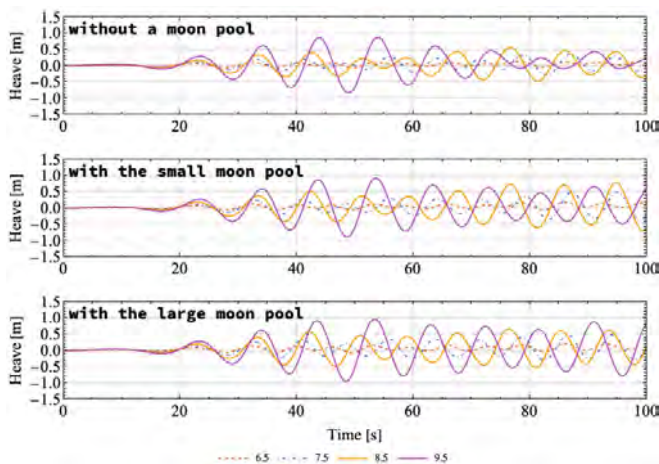


図 5 ヒープ方向変位 [m]

図 5 は、浮体 N、浮体 S、浮体 L のヒープ方向変位の時

間変位を示している。ピッチ角に比べると、ヒープはほとんど変わらない結果となったが、どの入射波に対しても、MP のある浮体 S と浮体 L で若干大きくなっている。また、すべての浮体で入射波の周期が大きくなるにつれて、ヒープも大きくなる。このことは、図 6 に示したヒープ方向変位のスペクトルからも確認できる。

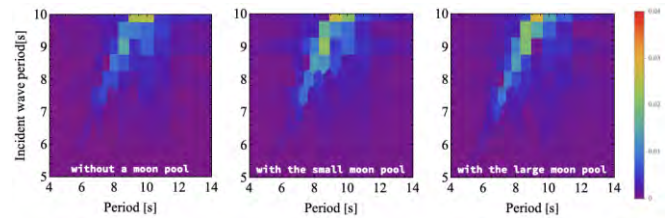


図 6 ヒープ方向変位のスペクトル [m]

5. まとめ

3次元完全非線形境界要素解析で MP の大きさの違いが浮体動揺応答特性に及ぼす影響について調べた。本研究では、特定の入射波に対するピッチの動揺を MP を設置することで抑えられることが確認できた。そしてこの傾向は MP の面積が大きい浮体においてより顕著であることが分かった。しかし、ピッチ角における比較的周期が短い場合やヒープ方向変位においては、MP によって応答が大きくなってしまった。その原因として、MP 内部のスロッシング現象の影響が考えられる。

今後、本研究の浮体の大きさに加えて、浮体の大きさの種類を増やして同様の傾向がみられるのか検証する必要がある。

参考文献

- 1) 宇都宮智昭, 佐藤郁, 白石崇, 乾悦郎, 石田茂資: 浮体式洋上風力発電の実用化に向けて一五島市梶島における実証事業, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, I_1-I_6, 2014
- 2) 守津颯哉, 居駒知樹, 相田康洋: ムーンプールの形状の変化が浮体の運動応答に与える影響についての研究 2020
- 3) NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) 日立造船株式会社: 日本初のバージ型浮体式洋上風力発電システム実証機 2018