

閉鎖水域のスロッシングに伴う円形浮体式構造物の運動応答

Sloshing-Induced Motions Response of Circular Floating Structures in Closed Water Areas

坂本彩乃¹, ○周嘉祥¹, 寺田拓海², 惠藤浩朗³Ayano Sakamoto¹, *Jiaxiang Zhou¹, Takumi Terada², Hiroaki Eto³

Abstract: This study uses the DualSPHysics with SPH method to simulate sloshing-induced motion of circular floating structures under seismic excitation in closed water environments. It analyzes various structure sizes and mooring systems, finding that larger structures are more stable due to greater buoyancy and restoring forces. Mooring systems effectively limit displacement and maintain position post-seismic activity. Compared to open water, stability differs significantly due to wave and boundary effects in closed environments.

1. はじめに

現在、浮体式構造物は風力発電や海洋観測に加え、新たな産業や住居などへの活用が提案されている。市原ミライポート計画では水の免震効果を期待して、閉鎖された水域に浮体式データセンターを設置する検討がなされている。しかし閉鎖水域では地震によるスロッシング現象により、浮体の運動応答の増幅が懸念される。そこで寺田¹⁾らは閉鎖水域に配置された浮体式構造物について、地震動によるスロッシングが運動応答に与える影響に関して検討を行った。しかし閉鎖の無い海域と閉鎖水域の双方の運動応答の比較や、係留索による係留効果については、より詳細な検討が望まれる。

そこで本研究では、円形浮体式構造物の地震動に起因するスロッシング現象に伴う浮体の運動応答特性の把握を目的として研究を行った。

2. 研究手法

本研究では、スロッシングに伴う水面動揺や飛沫などの複雑な流体の挙動を取り扱うことから、粒子法の一つである SPH 法²⁾をもとにしたオープンソース流体解析コードである DualSPHysics ver.5.2³⁾を用いて解析を行った。

3. 解析条件

本研究では、Figure 1 に示す解析モデルを対象に 2003 年十勝沖地震動 (HKD129 苫小牧)⁴⁾を入力し、数値解析を行い浮体の運動応答を確認した。その際、浮体規模、水域の閉鎖性の変化による運動応答特性を確認するため、浮体の直径を 10, 20m と変化させ、それぞれを Model 1, 2 とし、水域は波の反射が生じない開放水域と、Figure 1a に示す閉鎖水域の 2 ケースの解析を行った。また、係留索による動揺抑制効果を確認するため、Figure 1 に示すように係留索を四方に設置し、係留索長さは Model 1, 2 にそれぞれ 8.0, 3.8m とし数値解析を行った。

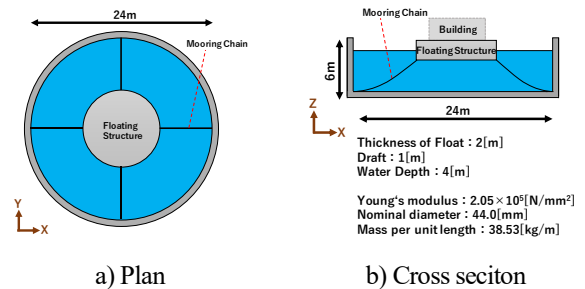


Figure 1 Closed water areas and floating structure

4. 計算条件

粒子間距離 0.1m, 総粒子数 180 万, 液相密度 1000kg/m³, 時間刻み 10⁻⁴~10⁻⁵s, 解析時間は 400s と設定し浮体中心の運動応答を計測した。Figure 1 に JISF2106⁵⁾に示される長鎖第一種の諸元に基づいて決定した用いる係留索の諸元を示す。本解析では動揺抑制効果の確認に留まるため、係留索の破断については今回の解析では考慮していない。

5. 結果及び考察

Figure 2a に示す閉鎖水域の Model 1 の解析結果より、閉鎖水域 surge, sway, roll, pitch の影響が大きく、roll, pitch は最大で約±7.5 度の振幅を示し surge および sway は双方ともに約±1.0m の揺れを観測した。heave の運動応答に着目すると 0.2m 程度の変位が生じたのみであり、また開放された水域と閉鎖水域の運動応答を比較すると開放された水域ではほとんど運動応答が生じていないことから、長周期地震動である十勝沖地震動では閉鎖水域にスロッシング現象が生じ、水平方向の運動が誘発されたと考えられる。また Figure 2a, 2b の比較から係留の効果に伴い運動応答がしっかりと抑制され、特に Surge や Yaw の結果で確認された残留する運動応答の抑制に対し係留索が効果を発揮していることも明らかとなった。

また浮体の直径が異なる Model 1, 2 の結果である Figure 2a, 2b と 2c, 2d と比較すると Model 2 は浮体が大型とな

1: 日大理工・学部・海建 2: 日大理工・院 (前) 海建 3: 日大理工・教員・海建

るため運動応答が抑えられる結果を示したが、運動応答の傾向は Model 1 と同様に得られることも確認された。また開放された水域に設置された浮体は移動するが振動はほとんどせず、閉鎖水域の運動応答では Model や係留状態に限らず、長周期地震動の影響を受けて 300s 程度の振動が生じることが確認された。

6. おわりに

本研究により得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 浮体に対する水の免振性が確認された。
- ・ 開放された水域に設置された浮体は移動するが振動せず、閉鎖水域ではスロッシング現象に伴い振動が生じることが確認された。

- ・ 浮体の規模については、浮体が大きくなるほど運動応答が抑制され安定性が高まる結果を得た。

参考文献

[1] 寺田拓海, 木下龍太郎, 惠藤浩明: 浮体式構造物が設置された閉鎖水域のスロッシング解析, 日本建築学会講演会論文集, No.10011, pp.21-22, 2023

[2] Gingold, R.A. and Monaghan, J.J.: Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars, Mon. Not. R. Astron. Soc., Vol. 181, pp. 375-389, 1977.

[3] Crespo, A.J.C, Dominguez, J.M, Rogers, B.D, Gomez-Gesteira, M, Longshaw, S, Canelas, R, Vacondio, R, Barreiro, A, Garcia-Feal, O (2015). "DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)," Computer Physics Communications 187, 204-216.

[4] 防災科学技術研究所: 強震観測網, <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>, 2024.7 参照

[5] 日本産業標準調査会: データベース, <https://www.jisc.go.jp/index.html>, 2024.7 参照

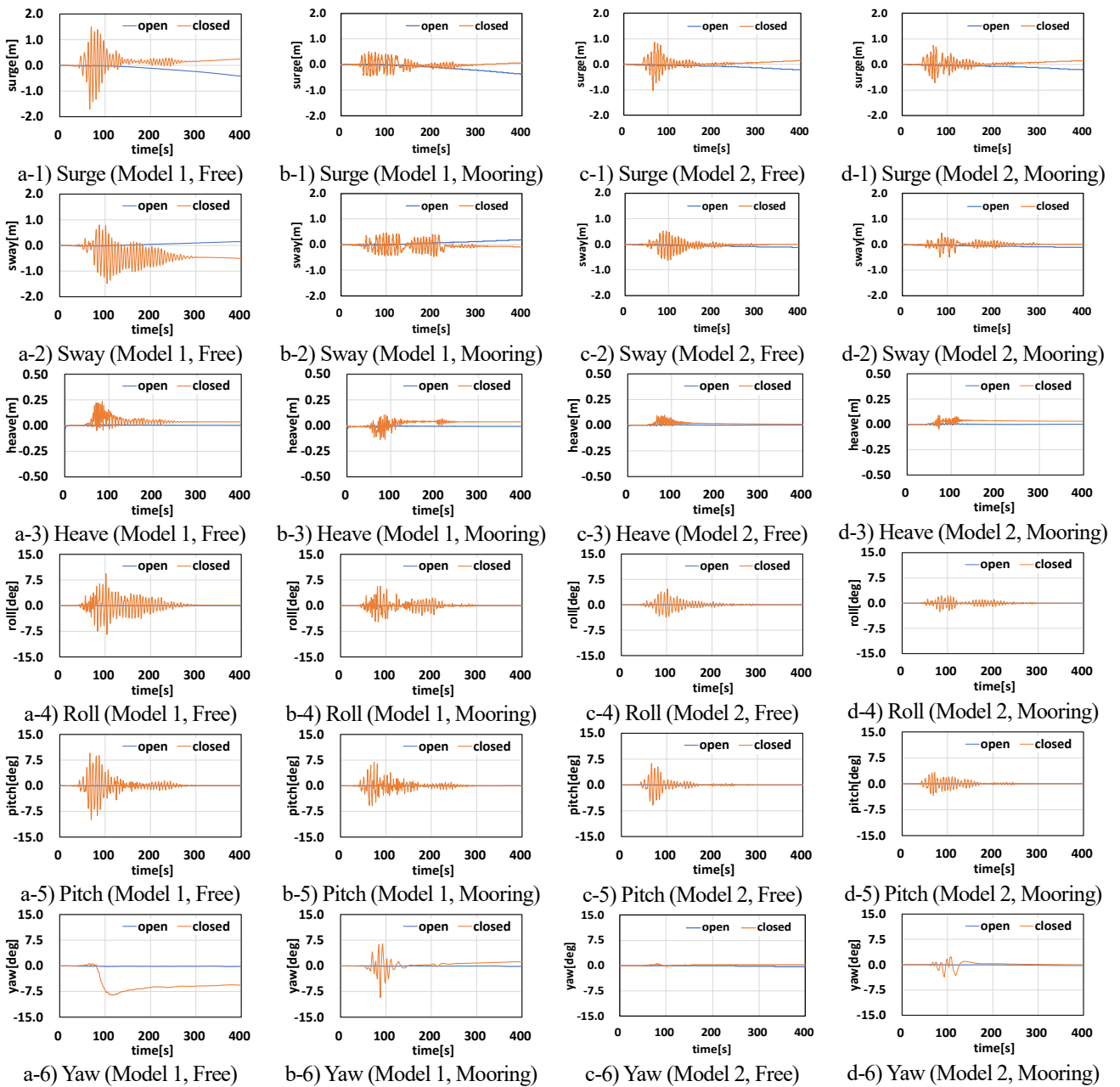


Figure 2 Comparison of motion responses of Model 1 and Model 2 in open and closed water