

閉鎖水域のスロッシングに伴う浮体式構造物の運動応答

Motion response of floating structures due to sloshing in closed water areas

○寺田拓海¹, 紀藤菜桜¹, 葛西拓海¹, 木下龍太郎², 恵藤浩朗³

* Takumi Terada¹, Nao Kito¹, Takumi Kasai¹, Ryutaro Kinoshita², Hiroaki Eto³

Abstract: In the Ichihara Future Port Project, the installation of a floating structure at an existing port dock is being considered. In order to realize this plan, there are concerns about seismic motion and consequent damage to the wharf and floating structure. In this study, sloshing analysis by long-period and short-period seismic motion was conducted for a closed water area where a floating structure is installed, and the motion response characteristics were confirmed.

1. はじめに

三井造船千葉工場の再利用計画の一環として市原ミライポートプロジェクト^[1]が進められており、工場に配置された既存のドックに浮力による免震性に期待した浮体式構造物を設置し、データセンターとして運用することが検討されている。そして浮体式構造物によるデータセンターの実現に向けて、ドックのような閉鎖水域の地震時の液面動揺と、それに伴う浮体の運動応答による岸壁や浮体の損傷が懸念される。そのため寺田^[2]は、特に係留システムを考慮せず、フリーフロートの状態で閉鎖水域に設置された浮体モデルに対して El Centro 地震動および十勝沖地震動の2つの地震動を入力して、スロッシング解析を行い、これらの地震動による浮体の運動応答に関する検討を行った。しかし粒子径の設定や入力加速度の処理に対して課題が残されたことから、本研究では粒子径を更に細かくして解析精度を高め、地震動に伴う加速度応答を直接入力して閉鎖水域のスロッシング解析を行い、従来の解析と比較してより高い精度で閉鎖水域の液面動揺および浮体の運動応答特性の把握に努めた。

2. 研究手法

閉鎖水域の地震時における液面動揺や飛沫を取り扱うスロッシング解析には、自由表面の表現に優れる粒子法が有効であり、有限体積法や有限要素法では困難な再現性が得られる。そこで粒子法の中でも圧縮性流体を扱い、比較的高速に数値計算が可能な SPH 法^[3]によるオープンソース流体解析コードである DualSPHysics を用いて自由表面の再現性を浮体の挙動解析に応用し、閉鎖水域の液面動揺や水域内に設置された浮体の運動応答解析を行う。

3. 解析条件

本研究では閉鎖水域における大型浮体の地震時の挙動を検証するために、市原ミライポート^[1]をモデル化し、短

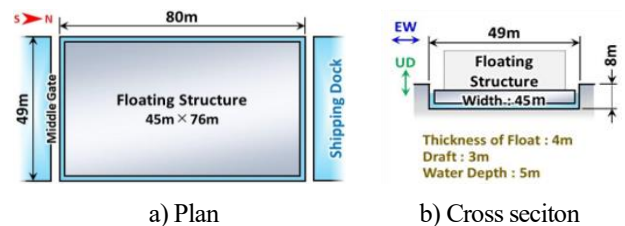


Figure 1 Closed water areas and floating structure

周期地震動である El Centro 地震動 (1940) と、長周期地震動である十勝沖地震動 (2003) によるスロッシング解析を行った。Figure 1 に示す解析モデルは閉鎖水域と浮体を対象とし、係留システムは考慮していない。粒子間距離は 0.20m、総粒子数 300 万粒子、液相密度 1g/cm^3 、時間刻み $10^{-4}\sim 10^{-5}\text{s}$ とし、解析時間は El Centro 地震動は 200s、十勝沖地震動は 400s として解析を行った。また計測点については浮体の加速度応答や運動応答は浮体の中心、水面変動量は水域の4つの隅角部と設定した。

4. 解析結果及び考察

Figure 2 に El Centro 地震動による解析結果を示す。Figure 2 a), b)より応答加速度と地動加速度との比は 1/20 程度の値を示し、水による免震性を確認した。また Figure 2c)より水面は地震動に対してすぐに反応し揺れ始め、地震動が収まるのと同時に水面も安定することが確認され、最大水面変動量は上下方向に約 40cm 程度であった。次に Figure 2d)より浮体の最大変位は NS 方向に 13cm、EW 方向に 7cm、UD 方向にはほとんど動かないことが確認され、浮体は地震直後の大きな加速度の影響を受け、最終的に水平方向に少し流される結果を示すことが確認された。

Figure 3 に十勝沖地震動による解析結果を示す。Figure 3 a), b)より応答加速度と地動加速度との比は 1/10 程度であり El Centro 地震動の結果と同様に水による免震性が確認された。また Figure 3 c)より水面は地震動に対してすぐに反応し揺れ始め、十勝沖地震では El Centro と異なり

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

地震動が収まった後も長周期地震動の影響を受け、300s以上も水面が揺れ続ける結果が得られ、最大水面変動量は40cmを示したが、長周期地震動では100s以上も大きく揺れ続けることが確認された。次に Figure 3 d)より浮体の最大変位はNS方向10cm, EW方向7cm, UD方向にはほとんど動かないことが確認されたが、El Centro地震動の結果とは異なり、水平方向に大きく動揺はするものの長周期地震動ではあまり流されることはなく、浮体は動揺後初期位置付近で静止する結果が得られた。

2つの地震動による解析結果を比較すると、どちらの条件でも岸壁との衝突現象は確認されなかったが、特にEl Centro地震動のような短周期の地震動に対しては、浮体をより安定的に位置保持するため、係留索の設置が望まれることを確認された。また十勝沖地震動の地動加速度はEl Centro地震動より小さいが、水面変動量、浮体の運動応答量は同程度の値で得られ、加振後の安定に時間を要した。これは長周期地震動である十勝沖地震動が水

域モデルの固有周期(NS:13.3s, EW:8.2s)と合い、同調したためと考察される。

5. 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。
- ・ El Centro地震動や十勝沖地震動では浮体が壁面に衝突しないことが確認されたが、特に短周期地震動では係留索による安定的な位置保持の必要性が確認され、長周期地震動においては加振後の安定に時間を要することが確認された。

参考文献

[1] はこぶね株式会社 HP:市原未来ポート, <https://hako-bune.com/>, 2023.7参照
 [2] 寺田拓海, 木下龍太郎, 惠藤浩朗: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, 2023
 [3] 吉藤尚生, 大友広幸:粒子法 FLOSS に対する妥当性確認試験, 第33回数値流体力学シンポジウム, E08-4, 2019
 [4] 防災科学技術研究所:強震観測網, <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>, 2023.7参照

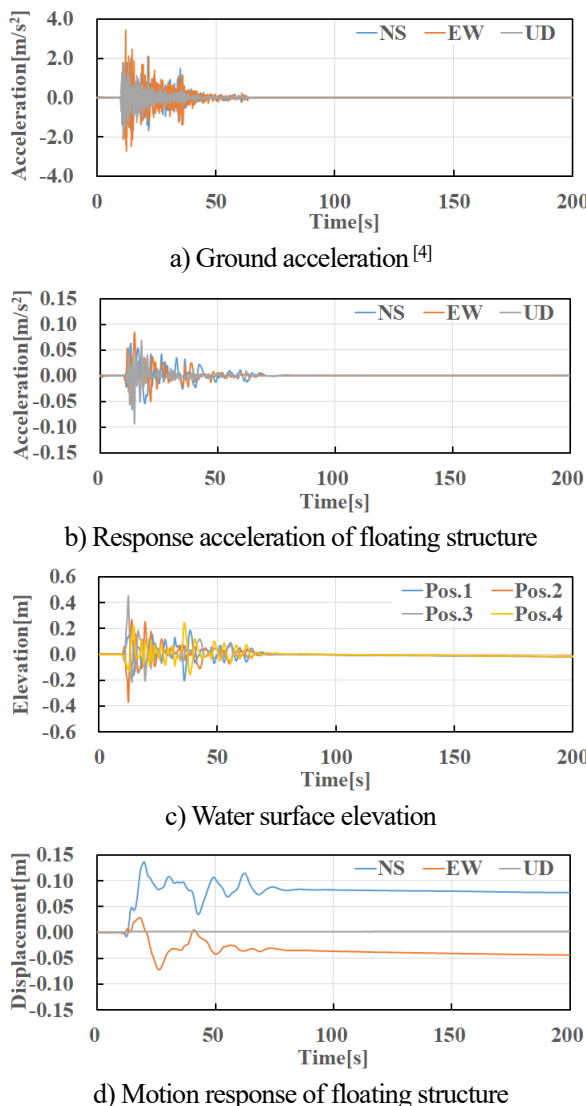


Figure 2 Analysis results by El Centro earthquake

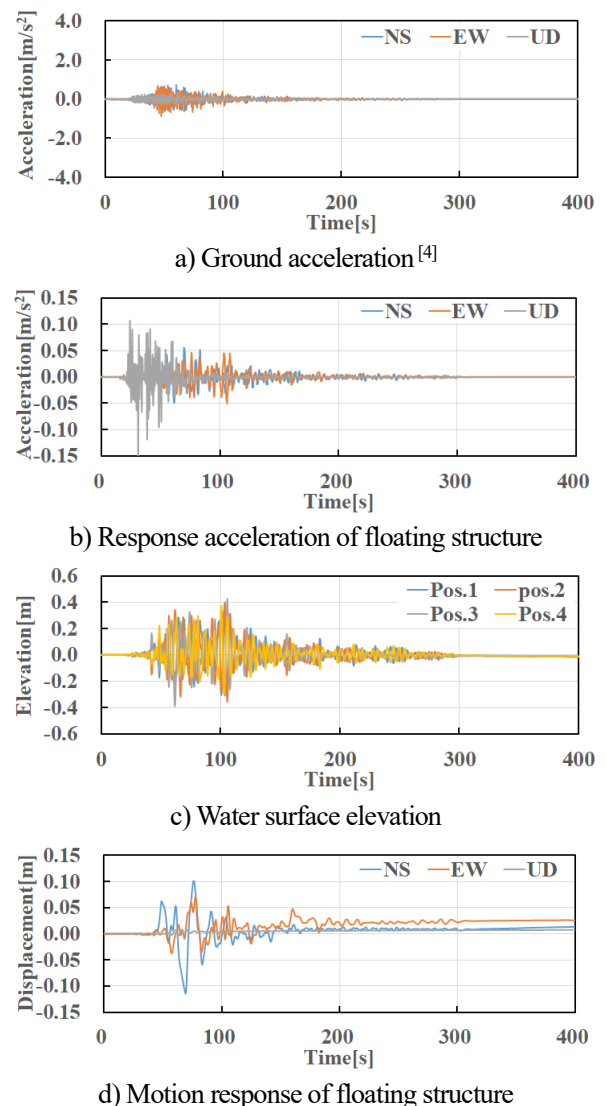


Figure 3 Analysis Results by Tokachi-oki Earthquake