

3 次元波動場における上部斜面堤の動揺に関する数値シミュレーション

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 山本 勘太
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 中村 友昭, 趙 容桓
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美
 東洋建設株式会社鳴尾研究所 正会員 小竹 康夫

1. はじめに：防波堤ケーソンの据付工では、波浪条件によっては浮遊している新設函が大きく動揺し、据付作業に支障をきたす。波浪によるケーソンの動揺現象については、例えば石見ら¹⁾や米山²⁾がポテンシャル理論に基づく3次元特異点分布法を用いた数値計算を実施している。しかし、形状が複雑な上部斜面堤に対する検討は十分ではない。本研究では、既設函の近くまで曳航してきた状態の一般的な断面の上部斜面堤を対象に動揺特性の検討を行った中村ら³⁾の3次元水理実験を対象に、中村・水谷⁴⁾の3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデルによる再現計算を行い、上部斜面堤の動揺現象に対するモデルの適用性を検討する。

2. 計算条件：中村ら³⁾の水理実験（縮尺 1/40）をモデル化した図-1 に示す計算領域を用いて解析を行った。水理実験と対応するように、透過性マウンド（空隙率 0.4, 中央粒径 0.89 cm）と、既設函をモデル化した直方体の不透過構造物（底面からの高さ 41.75 cm）を設定した。そして、静水深を 38.7 cm とし、既設函からの係留を行う前の段階を想定して図-1 の位置に上部斜面堤を設定した。上部斜面堤は、実験模型をモデル化したアクリル（密度 1,200 kg/m³）と鉄板（密度 7,850 kg/m³）

から構成された幅 30.60 cm, 高さ 36.75 cm の浮体である。堤体内に注水されたバラスト水については、その初期水位の z 座標を -11.4 cm とした。ただし、計算負荷の軽減のために、水と同じ密度の剛体構造物を水の代わりに充填した。格子幅は、堤体が移動しうる範囲に対して x 軸, y 軸, z 軸方向にそれぞれ 0.5 cm, 1.0 cm, 0.5 cm（ただし、マウンド天端から堤体底面よりも少し上側までは 0.2 cm）とした。そして、上部斜面堤、マウンドおよび既設函が存在しない状態での W10 における波高が 1.5 cm となるような周期 $T=0.79, 1.58$ s の2種類の規則波を作用させた。

3. 計算結果及び考察：周期 $T=1.58$ s のケースにおける上部斜面堤の動揺の様子を図-2 に示す。同図より、上部斜面堤が沖側に若干傾いており、3次元波動場での堤体の動揺を計算できていることが確認できる。

周期が異なる2つのケースに対して、堤体前面 (W2) と背面 (W10) での水位変動の時系列を図-3 に示す。さらに、堤体岸側の既設函側の上端を点 P2 (図-1 参照) としたとき、P2 における初期位置からの変位3成分と堤体の各軸回りの回転角3成分（右ねじの向きを正）の時系列を図-4 と図-5 に示す。ただし、 $t/T=0$ は W2 での水位がゼロアップクロスする時刻である。また、P2 は水理実験において動揺量を計測するために設置した動画撮影時の追尾点と一致していることから、図-

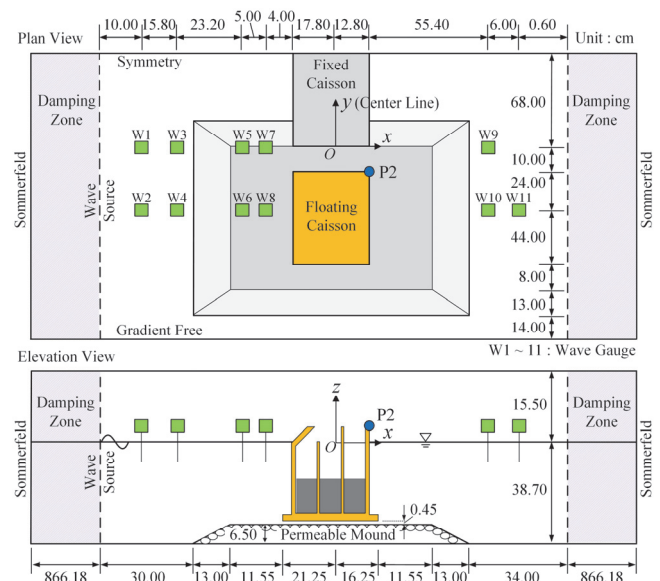


図-1 計算領域の概略図

$t = 10.800$ s

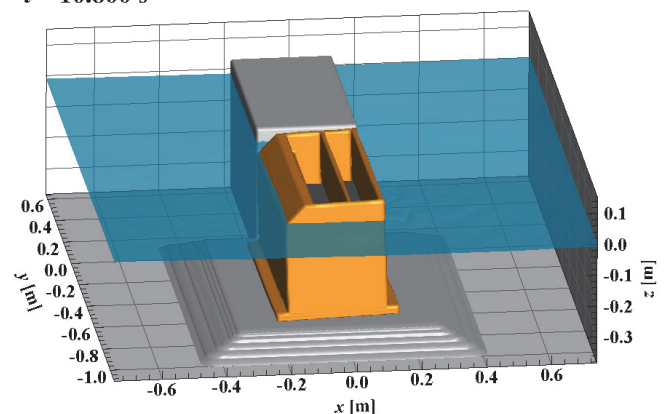
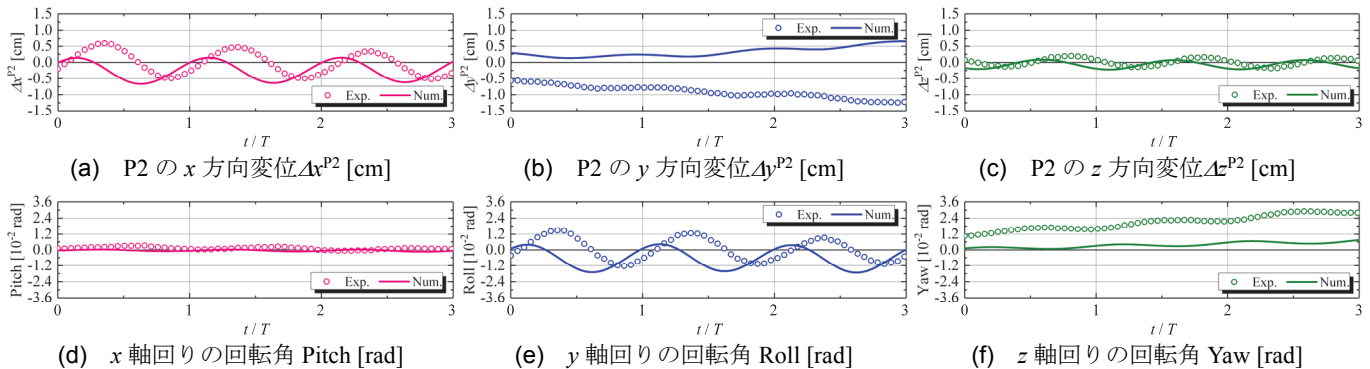
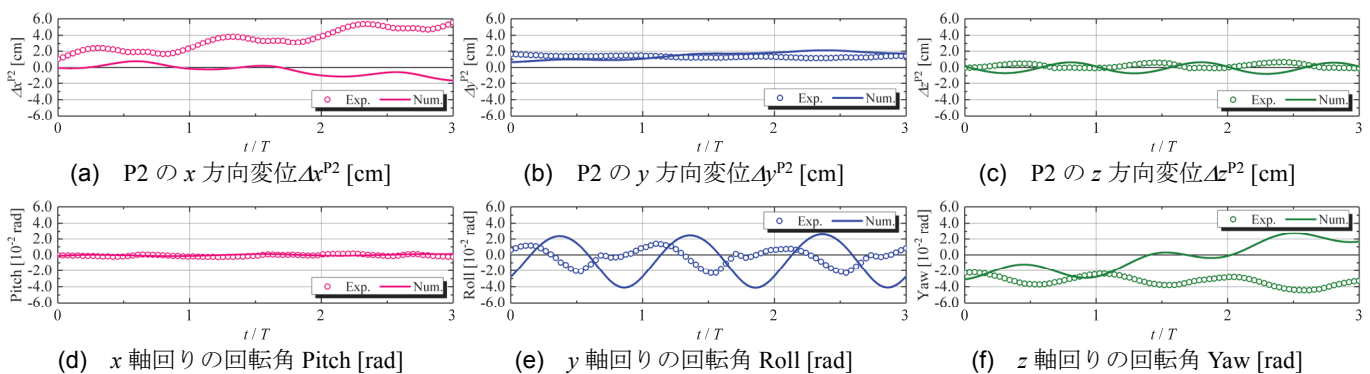


図-2 上部斜面堤の動揺状況 ($T=1.58$ s)



図-3 W2, W10 での水位変動 [cm]

図-4 P2の変位および堤体の回転角の時間変化 ($T = 0.79$ s)図-5 P2の変位および堤体の回転角の時間変化 ($T = 1.58$ s)

4(a)から図-4(c)および図-5(a)から図-5(c)には動画解析の追尾結果を実験値として示した。計算値については、各時刻の重心の並進速度と角速度から P2 の速度を求め、その速度に時間刻み幅 Δt を乗じることで算出した。

まず、水位変動に着目する。図-3(a), (b)の各ケースにおいて、W2, W10 とともに水位変動の大きさは計算値と実験値で良く対応している。位相については、図-3(a)では W10 で波峰の位相が実験値よりも若干遅れているものの、波谷の位相は実験値と合っている。以上より、数値計算モデルの波動場の再現性は良好といえる。

次に、堤体の動揺 6 成分に着目する。動揺の全振幅については、図-4 では、全ての成分について良好に再現できている。図-5 では、Roll を若干過大評価しているものの、その他の成分は概ね良く合っている。一方、位相については、両ケースともに計算値と実験値に差が認められる。ただし、図-4 では $t/T = 0.2$ だけ計算値の位相を遅らせ、図-5 では $t/T = 0.3$ だけ計算値の位相を進めると、各動揺成分間の位相は実験値と対応している。実験では造波開始前に模型を完全に静止させることが困難であり、波到達時までに模型が漂流した結果、W2 と模型との距離が変わったため、上述のような位相差が生じたと考えられる。以上より、本計算モデルで上部斜面堤の動揺の全振幅や各動揺成分間の位相については再現できることが判明した。

4. おわりに: 本研究では、3 次元波動場での上部斜面堤の動揺を対象とした水理実験の再現計算を実施した。その結果、波動場を良好に再現できること、堤体の動揺についても全振幅や各動揺成分間の位相は水理実験と対応する結果が得られることが確認された。今後は、実施工を想定し既設函からの係留を行う場合に対する適用性を検討する所存である。

参考文献: [1] 石見ら (1996), 港湾技研資料, No. 850, 29 p. [2] 米山 (2003), 海洋開発論文集, 第 19 巻, pp. 659-664. [3] 中村ら (2016), 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 72, No. 2, pp. I_223-I_228. [4] 中村・水谷 (2014), 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. I_516-I_521.