

構造物と流体の相互作用を考慮した動的挙動の一考察～防波堤ケーソンを例に～  
Investigating Dynamic Behavior Considering the Interaction between Structures and Fluids:  
Case Study of Breakwater Caissons

○高本昌幸・米山望

○Masayuki TAKAMOTO, Nozomu YONEYAMA

Focusing on a problem of water-soil-structure coupled analysis methods, this study aims to develop a fluid analysis under conditions where structures and ground deform. As a progress report, this paper deals with a case study that a breakwater caisson can move. The three-dimensional fluid-rigid body coupled analysis methods Yoneyama et al. was applied to a simulation of a case study of designed breakwater caisson. As a result, compared with the analysis and Goda's wave pressure formula, this analysis method can be applied to structures that can move due to the wave. Therefore, the paper presents to use this analysis method when it is difficult to evaluate fluid forces. (108 words)

## 1. はじめに

港湾施設は、現行基準<sup>例えば[1]</sup>等に従い、想定される現地条件から、安全側の評価となるように設計する。これら構造物の設計に際し、必要に応じて、数値流体シミュレーションや地盤の数値解析を実施している。しかし、例えば、有効応力モデルによる地盤の変形解析では、水位変動を考慮できる解析プログラムが少なく、設計実務では、水位が変動しない条件下で解析を実施している。同様に、数値流体シミュレーションでは、地盤や構造物の変状を考慮せず解析を行うことが多い。

流体—構造物・地盤の連成解析に関する検討例は多い。例えば、音田ら<sup>[2]</sup>は、3次元流体解析モデルと、土の弾塑性変形を考慮したGIMP法を連成させた数値シミュレーションを用いて、豪雨時の河川堤防の破壊プロセスの再現を行っている。しかし、この検討は、地盤の変形を考慮しているが、剛な構造物の移動を考慮できていない。

本研究では、これら流体—構造物・地盤の連成解析の課題点に着目し、構造物・地盤の変形が進行する条件下で、数値流体シミュレーションを実施することを目的とする。その途中段階として、防波堤ケーソンに着目し、防波堤ケーソンが動くことが解析結果に与える影響を評価した。

## 2. 解析条件

### 2. 1. 解析手法の概要

本研究は、米山ら<sup>[3]</sup>が開発した流体・剛体連成

解析手法を応用して、断面二次元で解析を実施した。流体挙動の基礎方程式に連続式および運動方程式を用い、水面挙動はVOF法、境界形状の取り扱いにFAVOR法を用いる。防波堤ケーソンは、剛体として取り扱い、自重、浮力、摩擦力、流体から作用する力を考慮して、並進、回転運動の計算を行った。なお、本研究では、揚圧力は考慮せず、静摩擦係数、動摩擦係数共に0.4と仮定して計算を行った。

### 2. 2. 検討条件

防波堤ケーソンは、設計事例集<sup>[4]</sup>の例を参考に仮想断面を設定した。想定した断面を図1に示す。作用耐力比が1.0以下、1.0以上となる波浪条件を設定した。解析ケース一覧を表1に示す。本検討断面では、防波堤の滑動が最も厳しい結果であった。

なお、捨石及び地盤のみをモデル化した解析ケースを用いて、防波堤ケーソン設置位置で所定の波高が再現できることを確認した入力条件を設定した。

表1 解析ケース一覧

解析ケース	防波堤ケーソン堤前波高H(m)	周期T(s)	防波堤ケーソン作用耐力比
1-A	5.458	10.0	0.897
1-B	6.322	10.0	1.061

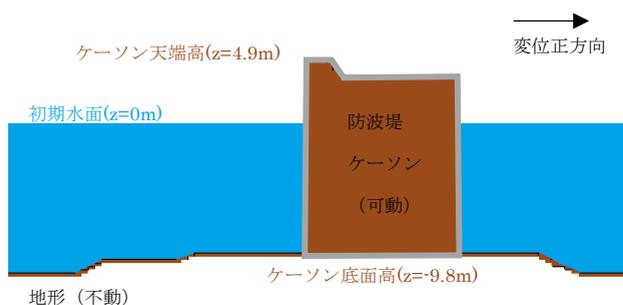


図 1 解析モデル(防波堤ケーソン付近拡大)

### 3. 解析結果及び考察

初期状態位置での防波堤ケーソン堤前の水位時刻歴を図 2 に、防波堤ケーソン重心位置の変位時刻歴の比較を図 3 に示す。防波堤ケーソンが可動状態であっても、作用耐力比が 1.0 以下である波浪条件 (ケース 1-A) では、防波堤は動かない結果が確認された。しかし、防波堤ケーソンに作用する波力合力が大きくなると、防波堤ケーソンが水平方向にわずかに移動することが確認された (ケース 1-B)。

防波堤ケーソンが動き出す前に作用する最大波力の時刻での波圧分布と、現行基準の波力評価で用いられている合田式とを比較した結果を図 4 に示す。図 4 より、本解析は、実際に起きている現象を良好に再現していると考えられる。波力評価が困難になるような複雑な断面に対して、本解析手法を用いることは有用であると考えられる。

### 4. まとめ

本報告のまとめを以下に示す。

- 流体・剛体連成解析手法を応用して、防波堤ケーソンが可動状態の解析が行えることを確認した。また、本解析手法と合田式とを比較した結果、実際の現象を良好に再現していると考えられる。
- 従来の設計手法で、波力評価が困難になる場合、本解析手法を用いることが有用であると考えられる。

今後の検討課題を以下に示す。

- 本解析手法は、滑動が卓越することを仮定しているため、回転運動が卓越する場合の解析を追加で実施し、その適用性を検討する。
- 本解析手法は、揚圧力を考慮した計算を実施できていない。揚圧力を考慮した場合の適用性を検討する。

- 地盤より地震動を入力し、本解析手法が地震時の流体の挙動を再現できるか評価する。
- 本解析手法に、地盤モデルを組み込み、地盤の変形が流体解析に与える影響を評価し、その適用性を検討する。

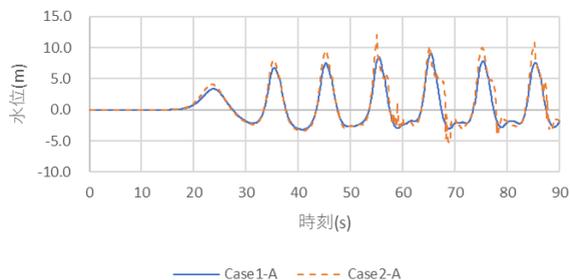


図 2 初期位置における防波堤堤前の水位時刻歴

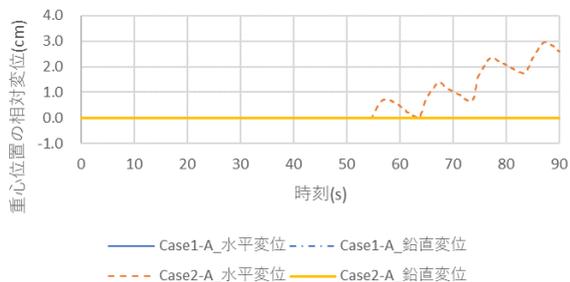


図 3 防波堤ケーソン重心位置の変位時刻歴

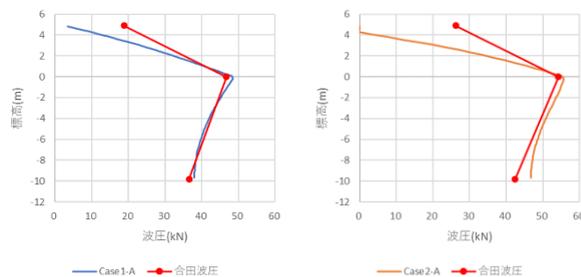


図 4 防波堤ケーソンに作用する波圧分布 (左: Case1-A 右: Case2-A)

### 参考文献

- [1] 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018.
- [2] 音田慎一郎，木本康太，肥後陽介：浸透による堤防裏法尻の破壊に関する数値シミュレーション，土木学会論文集 B1, Vol.77, No.2, pp.I\_649-I\_654, 2021.
- [3] 米山望・永島弘士：複雑な移動・回転を考慮した津波漂流物の三次元数値解析手法の開発，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.65, No.1, I\_266-I\_270, 2009.
- [4] 沿岸技術研究センター：港湾構造物設計事例集 (平成 30 年改訂版)，2018.