

地震と津波の重畳作用下における構造物に作用する流体力解析 Analysis of Fluid Forces Acting on Structures under Superposition of Earthquake and Tsunami

○高本昌幸・米山 望

○Masayuki TAKAMOTO, Nozomu YONEYAMA

There is few research about the overlapping phenomenon of earthquakes and tsunamis. This study aims to verify that the three-dimensional fluid-rigid body coupled analysis methods developed by Yoneyama et al. can analyze the superposition of the earthquake and tsunami to a breakwater. As a result, the breakwater, that is stable against tsunami action, may slide when aftershocks and tsunamis act on each other. When designing structures, it is necessary to evaluate and apply aftershocks while the tsunami is acting. In the future, we plan to install ground models in this method and to examine the effect of ground deformation on fluid analysis and its applicability.

1. はじめに

港湾構造物の耐震性能照査を行う際、有限要素法(FEM)による二次元有効応力解析を用いて地震応答解析をすることが一般的である。地震応答解析では、入力地震動による作用が支配的であるため、流体領域の変形は時間的に微小と仮定することが多い。しかし、津波の襲来時の水位変動が生じている最中に、余震動が発生する可能性が考えられる。津波または地震のいずれかを起因とした構造物の被災メカニズムやその解析手法は多数検討されているが、これらが重畳して作用する場合の検討例は少ない。岡田^[1]は、地震と津波の重畳現象に着目し、重力式防波堤を対象に、模型実験と粒子法による再現解析を試みている。その結果、粒子法を用いた解析は、越流が無い場合において、構造物の挙動が異なっており、現時点では解析手法の確立に課題が残っている。

そこで、本研究は、重力式防波堤を例に、米山ら^[2]が開発した流体・剛体連成解析手法が、地震と津波の重畳現象発生時の構造物の挙動を解析することが可能か検証することを目的とする。

2. 解析条件

2. 1. 解析手法の概要

本研究は、米山ら^[2]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、構造物に作用する流体力解析を行った。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、外力項において、地震動による慣性力を考慮する。

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、構造物に作用する流体力、構造物の自重、構造物と捨石マウンド間に生じる摩擦力、地震動による慣性力を考慮した合力により、構造物が並進、回転運動する。本研究では、捨石及び地盤はケーソンの運動の影響を受けないと仮定する。また、捨石部はポーラスモデル^[3]でモデル化する。静摩擦係数、動摩擦係数共に0.6と仮定した。

2. 2. 検討条件

防波堤ケーソンは、設計事例集^[4]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。津波を模擬した長周期波を入力し、余震動は、最大加速度50galの正弦波加振とした。なお、過渡期の極端な応答を避けるため、加振開始時に振幅を逐次増大し、加振終了時に振幅を逐次減少させる。防波堤ケーソン前面の水位時刻歴を図2に、入力地震動を図3に示す。

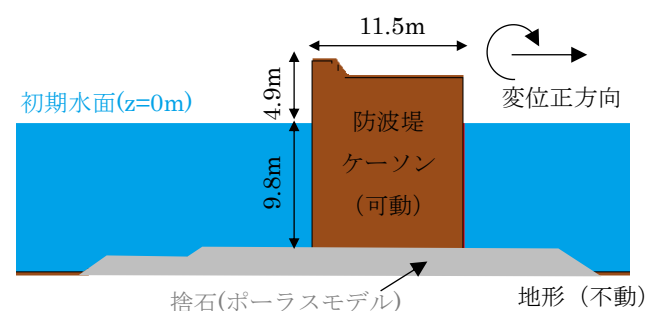


図1 解析モデル(防波堤ケーソン付近拡大)

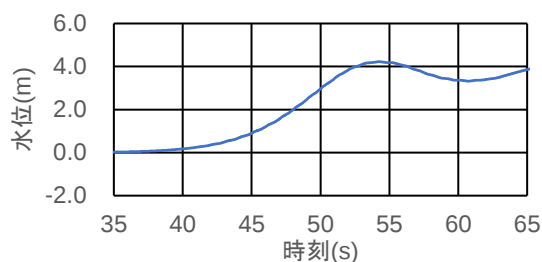


図 2 防波堤ケーソン前面の水位時刻歴

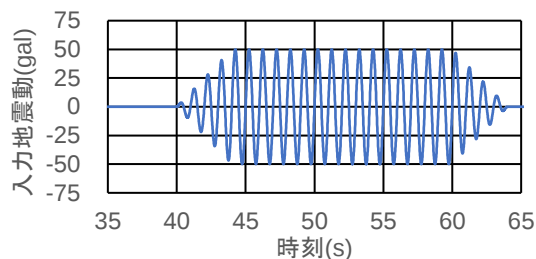


図 3 入力地震動時刻歴

3. 解析結果及び考察

防波堤ケーソン水平方向に作用する合力の時刻歴を図 4 に示す。時刻 55 秒付近で、流体力と慣性力の和が、摩擦抵抗力を上回る時間が確認された。防波堤ケーソン重心位置の変位時刻歴の比較を図 5 に示す。防波堤ケーソンの滑動に伴い、微小な相対水平変位が発生した。余震動や津波が繰り返し作用することを考慮すると、防波堤ケーソンの変位が進展する可能性も考えられる。

また、既往の設計式で算出される水平力の一覧を表 1 に示す。本報告では、津波単体が作用する場合の津波力、余震動の慣性力、動水圧と津波波力の和の場合と、自重・浮力・揚圧力の鉛直合力に摩擦係数(=0.6)を乗じた摩擦抵抗力を比較した。なお、津波波力算定時の水位(=3.774m)は、防波堤ケーソン前面の水位が最大の時刻を含む 50 秒～70 秒の平均値とした。設計値による静的計算は、津波単体作用では防波堤ケーソンが構造的に安定である一方、余震動と津波の重畳を考慮すると、防波堤ケーソンが滑動することを示唆している。そのため、余震動を適切に評価し、余震動と津波を複合的に作用させる必要がある。

4. まとめ

本報告では、流体・剛体連成解析手法を応用して、防波堤ケーソンの流体力解析を実施した。設計上、津波単体が作用する場合は構造的に安定である構造物が、余震動と津波が重畳作用時に滑動する結果が確認された。そのため、津波作用時の

表 1 水平合力の設計値一覧(kN)

津波波力	528.151
慣性力+動水圧+津波波力	708.674
摩擦抵抗力	566.877

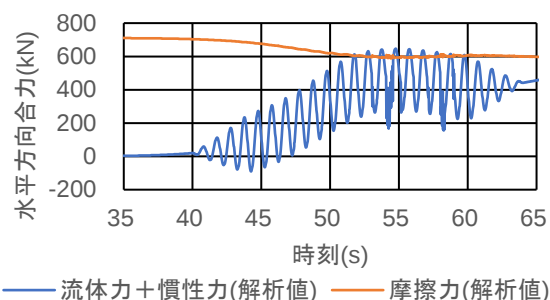


図 4 防波堤ケーソンに作用する水平力時刻歴

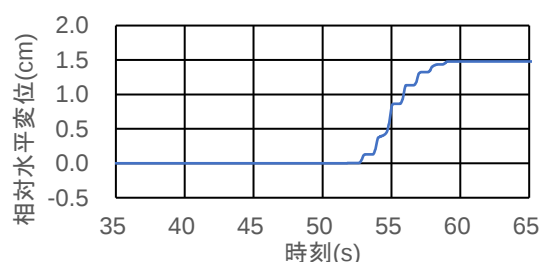


図 5 防波堤ケーソン重心位置の変位時刻歴

余震動を適切に評価し、複合的に作用させる必要がある。

一般的な地震応答解析では、地盤を弾性体や弾塑性体でモデル化しており、地震時の作用では、地盤の変形が構造物の変形に大きく影響することが予想される。また、流体―地盤間の相互作用の影響により、地盤が変形する可能性も考えられる。今後、本解析手法に地盤モデルを考慮し、地盤の変形が流体解析に与える影響とその適用性を検討する予定である。

参考文献

- [1] 岡田克寛：地震と津波の重畳時における防波堤の安定性検討手法の構築，中央大学博士課程学位論文，2018。
- [2] 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。
- [3] 榊山勉・鹿島遼一：ポラスボディモデルによる透過性防波堤周辺の波動解析手法の開発，電力中央研究所報告，1992。
- [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。