

# 海岸防波堤の津波に対する安定性評価に関する検討

環境防災研究室 高木大地  
指導教官 大塚 悟

## 1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災では、津波によって多くのケーソン式防波堤が被害を受けた。防波堤の被害の特徴として、港内外の水位差で押されたケーソンの滑動だけでなく、越流した波が港内側のマウンドを洗掘したことが挙げられる。また、津波発生により防波堤の港内外で水位差が生じることで、マウンド内に浸透力が作用し、ボーリングなどマウンドの支持力低下につながる懸念されている。

しかし、津波来襲時の鉛直・水平荷重に対する支持力評価や浸透力の影響、ケーソンの地盤支持抵抗については明らかになっておらず、ケーソンの補強工法や安定性評価法も確立されていない。既往研究では、防波堤の模型実験について、剛塑性有限要素法を用いた数値シミュレーションを実施し、地盤支持抵抗メカニズムを合理的に評価し、妥当性を明らかにした。

既往研究では設計基準に基づいた材料定数で解析を実施したため、本研究では模型実験の再現を目指し材料定数を再検討した。加えてここで得られた材料定数を用いて実規模防波堤モデルの再現解析も実施した。

## 2. 防波堤の支持力の解析

本研究では模型実験の再現解析を行った。本節では再現解析の概要と結果について記述する。

### 2-1. 解析概要

本研究では、解析手法として剛塑性有限要素法を使用した。剛塑性有限要素法の特徴として、すべり面の仮定が不要であることや、上界定理が存在することから合理的に破壊形態を表現することが可能である。また、地盤特性がせん断抵抗角と粘着力のみで表現でき、利便性と厳密性に優れた解析方法である。そのため、円弧すべり法と比べて土構造物の安定性や変形挙動が合理的に解析可能となっている。この剛塑性有限要素解析によって支持力および地盤のひずみ速度分布を求めた。

### 2-2. 水位差についての模型実験の再現解析

水位一定モデルをケース A-1、水位差モデルをケース A-2 とする。また、ケース A-2 では水位差によって発生する荷重がケーソンに作用するが、実際の地盤では水位差によって浸透力が発生する。そこで、浸透力を考慮したケース A-3 を設定する。また、解析メッシュモデルを図-1 に示す。

使用した材料定数を表-1 に示す。本研究ではマウンド、基礎地盤の粘着力、内部摩擦角を実地盤想定した値に変更した。マウンド部分は見かけの粘着力を考慮し、 $c=1.0\text{kN/m}^2$ 、内部摩擦角  $\phi=47^\circ$  を設定した。

解析結果として、図-2 にケース A-1～A-3 のひずみ速度コンター図を示す。図-2 より、ケーソン下部両端からマウンド斜面下部にかけて大きなひずみが発生した。

また、ケーソン背後のマウンドが荷重の進行方向に押し出されていることが確認でき、模型実験と同様の破壊形態が確認できた。このひずみ速度分布図はほかのケースでも同様の結果となった。これは既往研究で得られた変形形態と同様である。また数値解析から得られた支持力を表-2 に示す。表-2 より、どのケースも実験結果と同等の支持力が得られ、特に水位差があるモデルについては浸透力の考慮に関わらず同等の支持力が得られた。

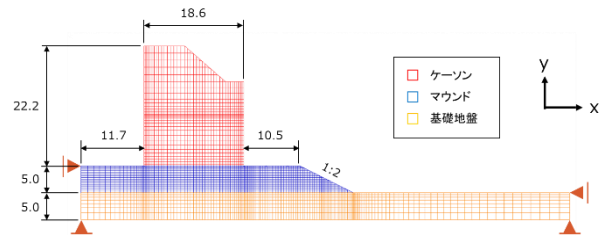


図-1 解析モデル

表-1 材料定数

	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	単位体積 重量 ( $\text{kN/m}^3$ )
上部コンクリート	500000	0	22.5
ケーソン	500000	0	20.5(9.8)
マウンド	1.0	47	19.7(9.9)
基礎地盤	20	47	19.6(9.8)

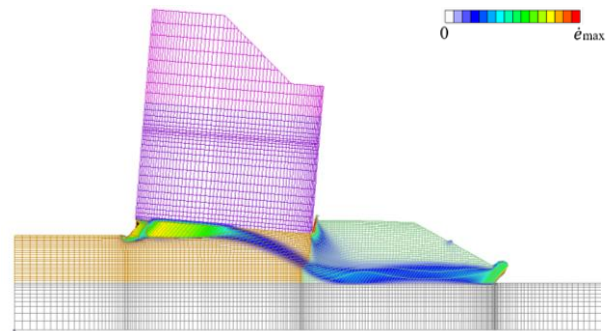


図 2-1 ケース A-1

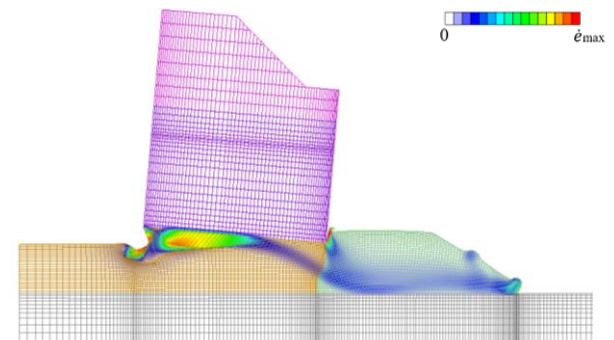


図 2-2 ケース A-2

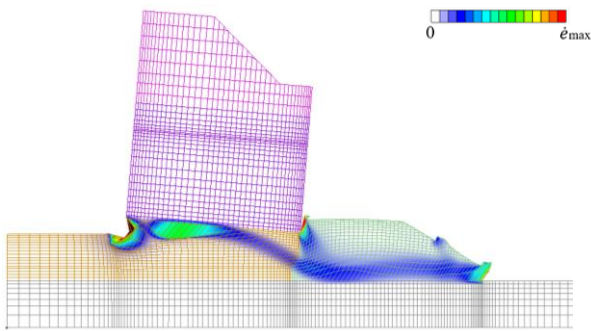


図 2-3 ケース A-3

図-2 等価ひずみ速度コンター図

表-2 支持力結果

	解析結果 (kN)	実験結果 (kN)
A-1 : 水位一定	3765	3740
A-2 : 水位差あり	3240	3144~ 3363
A-3 : 水位差+浸透力あり	3295	3144~ 3363

### 3. 実規模防波堤モデルの解析

解析手法は模型実験の再現と同様に剛塑性有限要素法を使用した。

実規模防波堤では模型実験の再現解析の材料定数を用いた。参考のために参考文献に記されている材料定数を用いた解析も実施した。

表-3に解析ケースを示す。解析ケースはCase1-1に対して、水深を浅くしたケース(Case1-2)、基礎マウンドを薄くしたケース(Case1-3)、ケーソン幅を広くしたケース(Case1-4)を設定した。また、図-3に解析メッシュを代表してCase1-1を示す。

解析結果として、図-4にCase1-1~1-4のひずみ速度コンター図を示す。図-4より、ケーソン下部両端からマウンド斜面下部にかけて大きなひずみが発生した。また、ケーソン背後のマウンドが荷重の進行方向に押し出されていることが確認でき、模型実験と同様の破壊形態が確認できた。ひずみ速度分布図はいずれのケースでも同様の結果となった。数値解析より得られた水平力を表-4に示す。結果を支持力ではなく水平力で比較しているのは、参考文献に示されている値が水平力であり比較を行いやすくするためである。水平力結果より、実地盤想定した材料定数を用いた結果が設計基準の材料定数を用いた結果と比較して大きい値となったがケース毎の傾向は同様のものとなった。これより実地盤想定した材料定数は実規模防波堤モデルでも適応できたと考えられる。

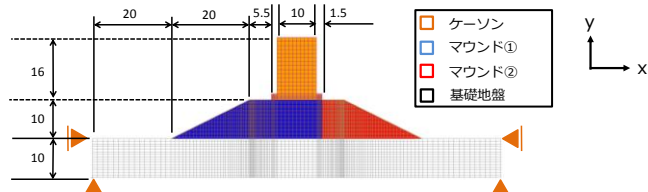


図-3 解析メッシュ

表-3 解析ケース

	水位差 (m)	基礎マウンド (m)	ケーソン幅 (m)
Case1-1	22.8	10	10
Case1-2	20.4	10	10
Case1-3	22.8	3.0	10
Case1-4	22.8	10	20

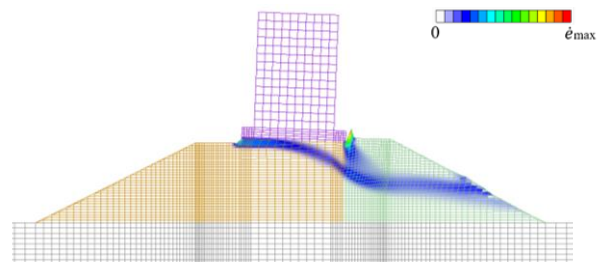


図 4-1 Case1-1

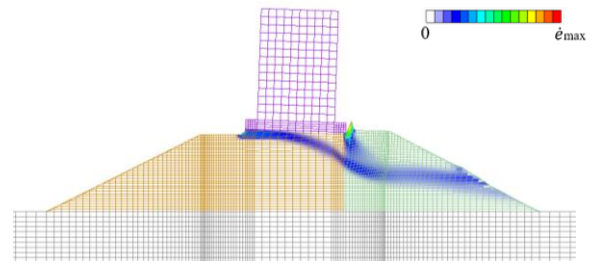


図 4-2 Case1-2

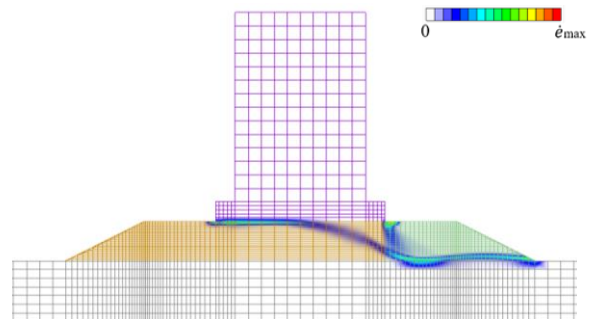


図 4-3 Case1-3

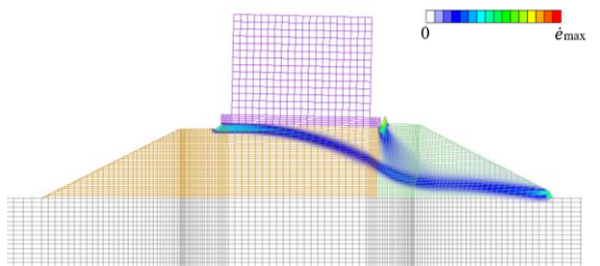


図 4-4 Case1-4

図-4 等価ひずみ速度コンター図

表-4 水平力結果

	実地盤想定 (kN/m <sup>2</sup> )	設計基準 (kN/m <sup>2</sup> )
Case1-1	2049	1494
Case1-2	2032	1482
Case1-3	2245	1724
Case1-4	5232	3754

### 4. まとめ

本研究では模型実験の再現解析について、既往研究で実施されていた解析の材料定数を実地盤想定した値に改良したことで、より模型実験の再現が適切にできたと考えられる。

実規模防波堤の再現では実地盤想定した材料定数を用いることで実規模防波堤の変形形態、水平力の再現性が高まったと考えられる。