

波浪による浸透流を考慮したケーソン式防波堤の不連続変形法解析

九州大学工学部 学生会員 ○川上 司 九州大学大学院 正会員 陳 光斉
九州大学大学院 正会員 春日井 康夫 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1.目的

我が国において、津波に対する防波堤の安定性に関する検討は、津波外力が防波堤におよぼす影響に着目したものが数多く行われてきた。津波が防波堤に作用する際、港内側と港外側に生じる水位差によりケーソン直下の捨石マウンド内に浸透流が生じ、捨石マウンドの安定性が減少することが考えられる。本文では不連続変形法(DDA)とせん断強度低減法を用いて、ケーソン直下の捨石マウンドに発生する浸透流を考慮して防波堤を解析し、地盤工学的な観点から防波堤の安全性を数値解析的に評価した。

2.解析概要

安全率 F_S の計算には、せん断強度低減法を用いた。強度低減係数 R を定め、式(1)と式(2)に示すように摩擦角と粘着力を低減させる。低減させた強度定数を入力定数として、DDA解析を行い、地盤の破壊が発生する強度低減係数 R を安全率 F_S とする。

$$\tan\phi_R = \frac{\tan\phi}{R} \quad (1) \quad c_R = \frac{c}{R} \quad (2)$$

ここで、 ϕ_R :強度低減後の粒子間摩擦角、 c_R :強度低減後の粘着力である。

2.1 斜面の崩壊形状の評価

DDA とせん断強度低減法を用いて得られる崩壊形状の精度を評価するために、図-1のような単純な斜面を用いて解析を行った。地盤の強度定数を、図中に示す。

2.2 防波堤の安全率の算定

岩手県釜石南堤深部4区をモデルとして解析を行った。解析に用いたモデルを図-2に示す。捨石マウンドの強度定数および防波堤のスケールを、図中に示す。なお、ケーソンと捨石マウンドは、同じ材料定数を用いた。

波浪による水位差5m,8m,11mおよび14mの時の防波堤の安全率の算定を行った。浸透力は、解析領域を図-3に示すように分割し、別途行った浸透流解析で得られた浸透力を入力することで再現した。

DDA とせん断強度低減法を用いて防波堤の安全率を決定するために、以下の3つの破壊モードを検討した。

- 1) 捨石マウンドの天端ブロックの鉛直上向きの変位
天端ブロックの鉛直上向きの変位が0.3m以上発生した時、パイピングが発生し防波堤が破壊したと判断した。
- 2) ケーソンの沈下量
既往の研究¹⁾を参考にし、防波堤の機能に支障が生じ始める沈下量0.3mを破壊基準とした。

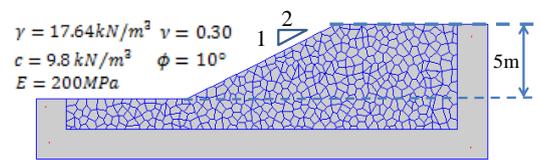


図-1 検討斜面モデル

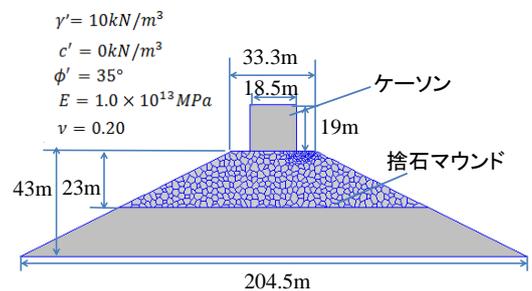


図-2 釜石南堤モデル

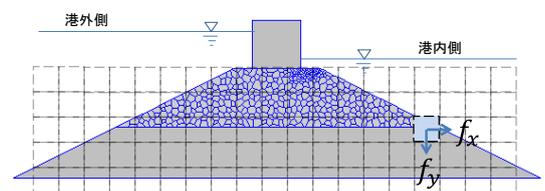


図-3 浸透力のモデル化

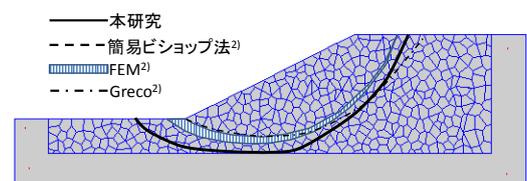


図-4 検討斜面におけるすべり面

3) 捨石マウンドを構成するブロックの最大変位

全ブロックの中で最大となる変位, 0.3m 以上となったとき防波堤が破壊したと判断した。

3.解析結果

3.1 斜面のすべり面

強度低減係数 $R = 15$ の時のすべり面を, 図-4 に示す. 図中に示す既往の研究²⁾と比較すると, 法尻付近のすべり面位置が異なり, 他の結果に比べて深いすべり面を示したが, その他の部分ではすべり面位置はほぼ一致した。

3.2 防波堤の解析結果

図-5 に天端ブロックの鉛直変位と強度低減係数の関係を示す. 今回解析を行った範囲では, 水位差 14m 以外は鉛直変位がほとんど発生せず, パイピングが発生しないことが分かった。

図-6 にブロックの最大変位と強度低減係数の関係を示す. 強度低減係数 R が増加するとブロックの変位は単調増加した. さらに, 水位差が増加すると発生するブロックの最大変位は増加した. 水位差 14m の条件で, 強度低減係数 R が 0.3 以下の時に大きな変位を示した. これは, 図-5 に示すパイピングの影響を受けたためだと考えられる。

図-7 に強度低減係数 R とケーソンの沈下量の関係を示す. 強度低減係数 R が大きくなると沈下量が増加した. さらに, 水位差が大きくなると沈下量が大きくなり, どの水位差においても, 強度低減係数 R が大きくなると, 沈下量は急激に増加した。

以上の解析によって求めた 3 つの破壊モードにおける安全率と, 別途行った簡易ビショップ法により計算した安全率を図-8 に示す. 水位差が大きくなるにつれて安全率は低下した. DDA により簡易ビショップ法では考慮できないパイピング破壊を考慮でき, 水位差が 14m の時に著しく小さな安全率を示した. 簡易ビショップ法による安全率が一番小さい値を示した. DDA によって求めた結果は 5m で簡易ビショップ法と同程度の安全率であり, それ以上の水位差では最大で 15%程大きい値を示した。

4.まとめ

- 1) 不連続変形法とせん断強度低減法を斜面のすべり面の決定に用い, すべり面の形状は十分な精度で解析できた.
- 2) パイピングによる破壊は水位差 14m のときのみ発生し, その時の安全率は 0.26 であった.
- 3) 不連続変形法による解析結果は, 簡易ビショップ法と同じような挙動を示したが, 水位差が 8m 以上の時は安全側の結果を与えた. 水位差 14m においては, 簡易ビショップ法では考慮できないパイピング破壊を考慮することができた.

<参考文献>

1) 興野俊也・赤石沢総光・阿部光信・長船徹:性能設計活用による防波堤の設計合理化について, 海岸工学論文集, Vol.47, pp.816-820, 2000,
 2) 蔡飛・鶴飼敬三・黄文峰:斜面安定性の評価—極限平衡法と弾塑性 FEM の比較, 地すべり, Vol.39, No.4, pp.9-16, 2003

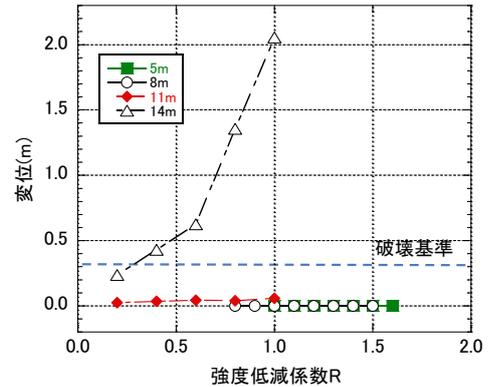


図-5 天端ブロックの鉛直変位

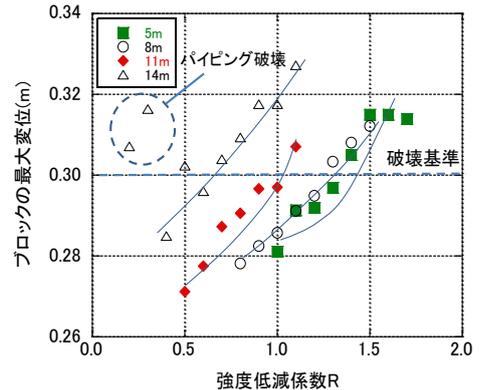


図-6 ブロックの最大変位

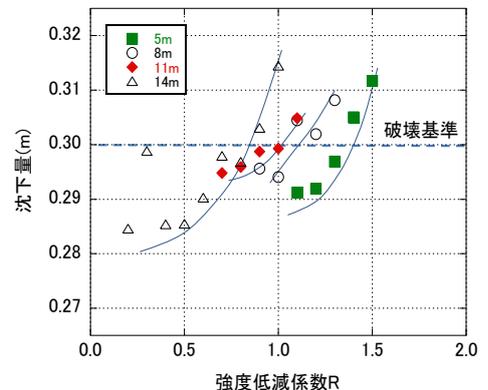


図-7 ケーソンの沈下量

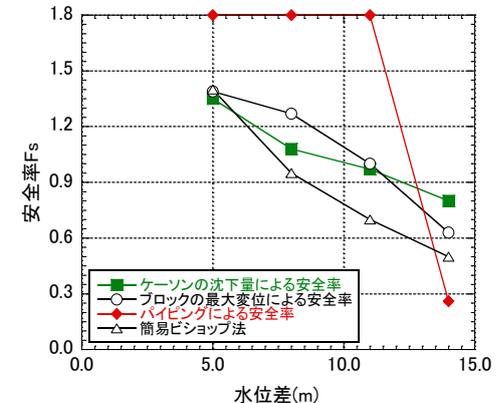


図-8 水位差と安全率の関係