津波の長周期性による浸透流を考慮した防波堤の安定性解析

九州大学大学院　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　笠間　清伸　　九州大学大学院　正会員　春日井　康夫

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．津波が防波堤の安定性に与える影響としては，津波の長周期性から港内側と港外側に直接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も考えられる．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による影響を考慮した防波堤の安全性を解析し，地盤工学的な観点から津波作用時の防波堤の安全性を評価する．

2. 解析概要

安全率F_sの計算には，せん断強度低減法[1)]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，防波堤に破壊が生じた時点の強度低減係数Rを安全率F_sとする．

$$\tan\phi'_R = \frac{\tan\phi'}{R} \quad (1) \qquad c'_R = \frac{c'}{R} \quad (2)$$

ここで，ϕ'_R：強度低減後の有効内部摩擦角，c'：強度低減後の有効粘着力である．

2.1 防波堤の安全率の算定

岩手県釜石湾口防波堤南堤深部 4 区を参考にモデルを作成し，解析を行った．解析モデルとスケールを図-1 に示す．防波堤の材料定数を表-1 に示す．なお，ケーソンと捨石マウンドの材料定数は同じとした．捨石マウンド中には空隙を設け，空隙率は 0.4 とした．

防波堤に作用する水位差 5m～14m のときの防波堤の安全率を算定した．浸透力は，図-2 のように解析領域を分割し，分割した領域ごとに別途行った浸透流解析より得られた浸透力を入力することで再現した．ケーソンに作用する波圧は水位差による静水圧を入力した．

DDA とせん断強度低減法を用いて防波堤の安全率を算定するために，3 つの破壊モードを検討した．

1) 捨石マウンドを構成するブロックの最大変位
　捨石マウンドを構成する全ブロックの変位を調べ，変位が 0.1m を超えたとき防波堤が破壊したと判断した．
2) 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変位が変動し始めた強度低減係数Rにおいて，パイピングが発生したと判断した．

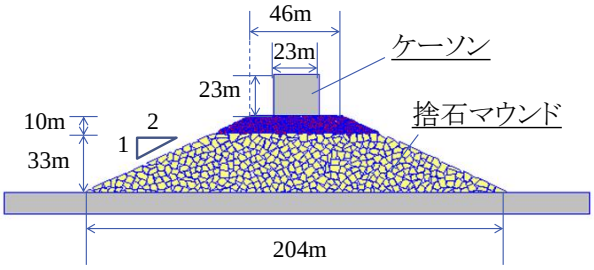

図-1 解析モデル

表-1 防波堤の材料定数

有効単位体積重量	10(kN/m^3)
有効粘着力	0(kN/m^3)
有効内部摩擦角	35(°)
ヤング率	5.0×104(MPa)
ポアソン比	0.20

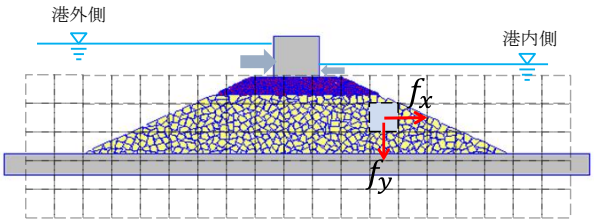

図-2 浸透力の入力方法

キーワード　安全率　数値解析　防波堤　浸透流
連絡先　〒819-0935　福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1110 防災地盤工学研究室　TEL092-642-2111

3) ケーソンの滑動量

既往の研究[2)]を参考にし，ケーソンの滑動量が 0.1m 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

捨石マウンドを構成するブロックの最大変位と強度低減係数Rの関係を図-3 に示す．強度低減係数Rが増加すると，ブロックの最大変位は二次関数的に増加した．強度低減係数Rが同じ条件では，水位差が大きいほど，変位は大きかった．

天端ブロックの鉛直変位と強度低減係数Rの関係を図-4 に示す．強度低減係数Rが小さい間は鉛直変位は安定した値をとり，ある点に達すると変位は急激に増加した．水位差が大きくなるにつれ，変位が急増する強度低減係数Rは小さくなった．水位差 13m 以上のとき，安全率F_sは 1.0 となり，パイピングが発生する危険があった．

ケーソンの滑動量と強度低減係数Rの関係を図-5 に示す．強度低減係数Rが増加すると，ケーソンの滑動量は二次関数的に増加した．水位差による変化は，強度低減係数Rが小さいときは大きな変化は見られないが，強度低減係数Rが 1.0 を超えると大きな差がみられた．

以上の 3 つの破壊モードより求めた安全率F_sと水位差の関係を図-6 に示す．比較のため，同図中に別途簡易ビショップ法により求めた安全率を示す．いずれの破壊モードにおいても，水位差が大きくなると安全率は小さくなった．捨石マウンドの破壊基準による安全率と簡易ビショップ法による安全率はともに水位差 10m 以上で 1.0 以下となっており，信頼性のある危険領域を得られた．ケーソンの滑動量基準と天端ブロックの鉛直変位基準による安全率は近い値を示し，簡易ビショップ法より大きな値となった．

4. 結論

1) 捨石マウンドを構成するブロックの最大変位を破壊基準とすることで，不連続変形法とせん断強度低減法により簡易ビショップ法に近い危険領域を求めることができた．

2) パイピングは水位差 13m 以上という大きな水位差の場合のみ発生する危険性があった．パイピング基準と，ケーソンの滑動量基準による安全率は似たような値となり，簡易ビショップ法による結果と比較すると大きな値となった．

参考文献

1)蔡飛・鵜飼恵三・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,pp9-16,2003 2)興野俊也・赤石沢総光・阿部光信・長舩徹：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, Vol47, pp816-820, 2000

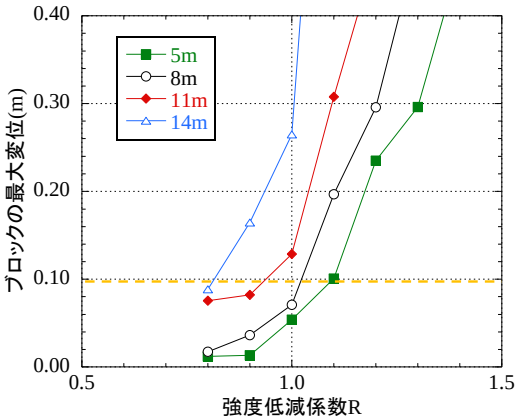

図-3 捨石マウンドブロックの最大変位

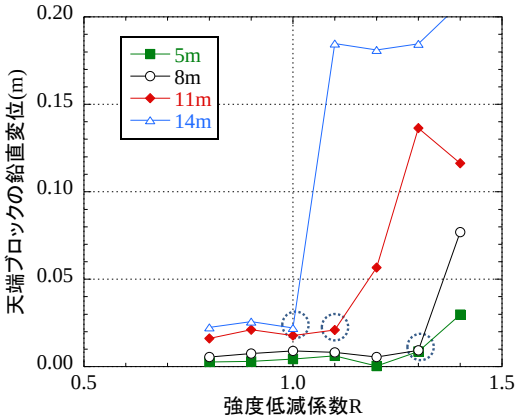

図-4 天端ブロックの鉛直変位

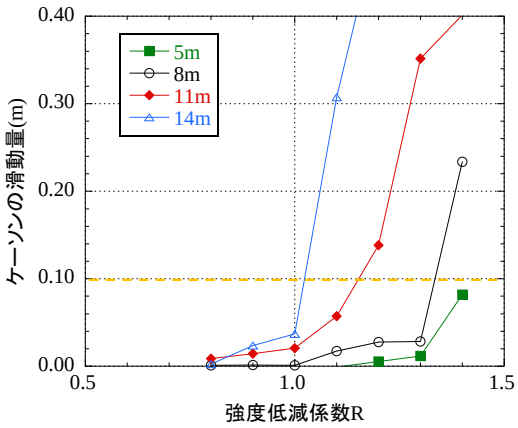

図-5 ケーソンの滑動量

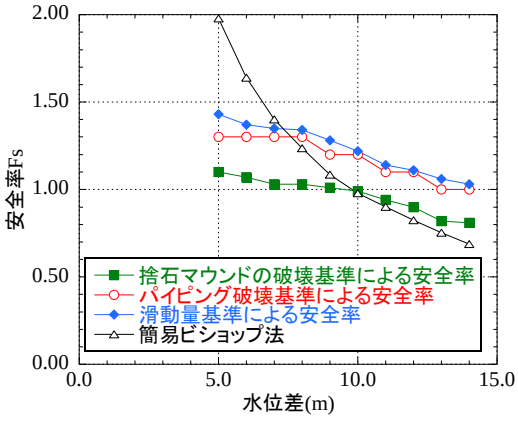

図-6 防波堤の安全率