

## 数値解析に基づく津波越流に対する被覆ブロックの安定性評価

九州大学工学部 学生会員 ○竹下修平      東京工業大学 正会員 笠間清伸  
 九州大学大学院 正会員      中川康之      沿岸技術研究センター フェロー 善功企  
 九州大学大学院 正会員      古川全太郎      九州大学大学院 正会員 八尋裕一

### 1. 背景および目的

平成23年東北地方太平洋沖地震による津波により、東北地方各地の防波堤が被災し、甚大な被害が生じた。津波による防波堤の被災要因は3つに大別され、防波堤の前面と背面との水位差と津波波力によるケーソンへの水平力、越流と捨石マウンド内の浸透力による捨石マウンドの洗掘と抜け出し、捨石マウンド内の浸透力による捨石マウンドの支持力低下が挙げられる。捨石マウンドの洗掘・抜け出しを防ぐ対策として被覆ブロックの設置がある。我々の研究グループでは既存の式では考慮されていない、浸透流を考慮した安定重量の算出式(1)を提案した<sup>1)</sup>。本文では数値波動水路を用いた数値計算により、式(1)に用いられる防波堤を越流してマウンドに突入する流速  $u$  を求め、被覆ブロックの安定性を検討した。

$$W_s = \frac{k_a^3 \gamma_s C_D^3 u^6}{8k_v^2 g^3 \left[ \left\{ f_r (\cos\theta - \frac{1+e}{G_s - 1} i) - \sin\theta \right\} (G_s - 1) \right]^3} \quad (1)$$

ここで、 $k_v$ : 体積係数、 $k_a$ : 面積係数、 $\gamma_s$ : 単位体積重量[kN/m<sup>3</sup>]、 $C_D$ : 抗力係数、 $f_r$ : 摩擦係数、 $\theta$ : マウンド角度[rad]、 $G_s$ : 比重、 $e$ : 間隙比、 $i$ : 動水勾配  $u$ : マウンド突入流速[m/s<sup>2</sup>]である。

### 2. 水理模型実験

本検討では、岩手県釜石湾口防波堤南堤の1/100をモデルとして、防波堤を越流する津波を模擬した水理模型実験を数値解析の再現対象とした。図-1に実験装置の概略と計測器の配置図を示す。

実験では水中ポンプにより防波堤の津波による越流・浸透流を再現し、津波の高さは港外側に設置した越流堰の高さを変えることで調整した。波高計によりケーソン前後の水位及び流速計により港内側での越流する流速を測定した。

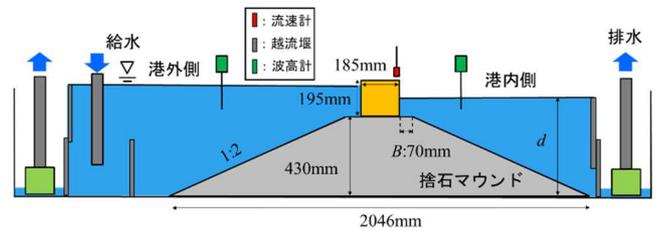


図-1 実験装置の概略と計測器の配置



図-2 解析領域図

表-1 解析条件

項目	設定条件
時間刻み幅	自動
解析終了時間 (s)	100
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1030
動粘性係数 (m <sup>2</sup> /s)	1.0 <sup>-6</sup>
重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	9.8
格子間隔 Δx (m)	0.5、1
格子間隔 Δz (m)	0.5
マウンド条件	空隙率:0.55、 $C_D=1.0$ 、 $C_M=1.2$
流速・圧力の境界条件	スリップ
VOF 関数 F の境界条件	フリー
気泡の上昇速度 (m/s)	0.2

### 3. 数値計算

数値計算は数値波動水路(CADMAS-SURF/2D)<sup>2)</sup>を使用し、現地スケールで行った。解析領域図の一例を図-2に、解析条件を表-1に示す。解析領域左端の流入境界から一様流速を与え、右端の流出境界に流入量以上の流量が流出するように一様流速を与えることで防波堤を定常的に越流する状況を再現した。また、港内側の越流堰により港内側水位を変化させた。

表-2 解析ケース

ケース番号	港内側水位 $d(m)$	港内側マウンド天端幅 $B(m)$
ケース 1	54.3	7
ケース 2	44.3	7
ケース 3	54.3	23
ケース 4	44.3	23

4. 数値計算結果

港外側での越流水深及び港内側越流流速の計算と実測値の比較を図-3に示す。計算では50sまで安定していないが、50秒以降は実験値と同様な値を示すようになり、実験を再現できていることがわかる。

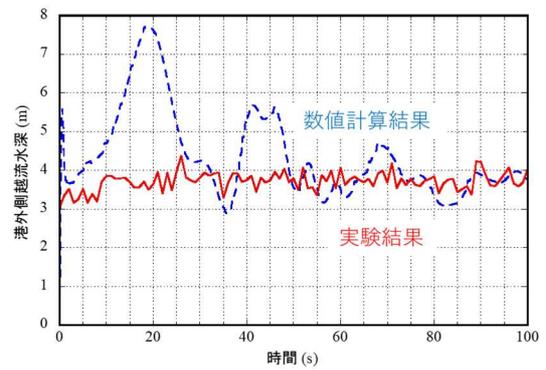
表-2に計算対象の水位条件を示す。マウンドに突入する流速を調べるため、港外側水位を一定に保ち、港内側水位  $d$  を変化させた。また、港内側マウンドの天端幅  $B$  を変化させることで越流水の突入位置が港内側マウンドの天端部あるいは斜面部に打ち込む際の影響を確認した。

図-4にケース1における流速の数値計算結果例を示す。図よりケーソンを越流した水塊がマウンド斜面部に突入していることがわかる。また、越流水が港内側水面への突入時では10m/s以上であった流速がマウンドへの突入時では減少していることがわかる。これは港内側水中部での越流水の拡散により減速したためである。

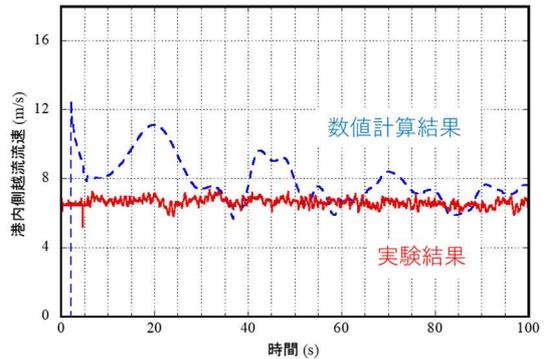
図-5にケース1での数値計算結果のマウンド突入流速  $u$  から、式(1)を用いて算出した被覆ブロックの安定重量の算出結果を示す。ブロックごとに形状係数  $k_a$ 、 $k_v$ 、 $e$  を変化させた。中央に空隙と脚を有するブロックCの安定重量が最も小さく、一つ当たり46.9kN/個で対策が可能である。

5. まとめ

本論文では、津波越流時における防波堤港内側マウンドへの越流水の突入流速を数値解析により求めることで、我々のグループ提案する浸透流を考慮した式から安定重量を示した。



(a) 港外側越流水深



(b) 港内側越流流速

図-3 数値計算と実験値の比較

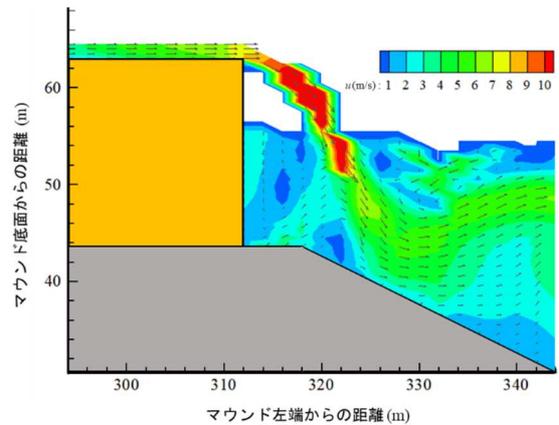


図-4 ケース1における流速の計算結果例

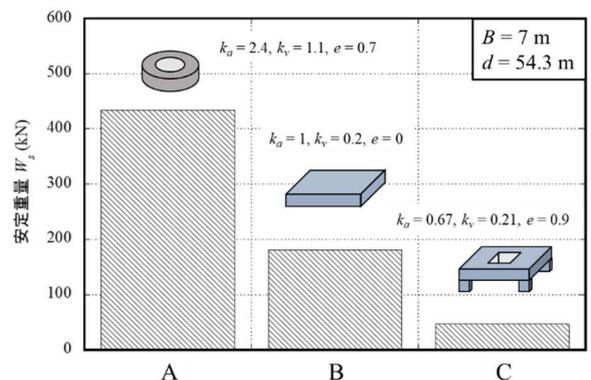


図-5 ケース1における各被覆ブロックの安定重量の比較

(参考文献)

- 井上翔太・笠間清伸・平澤充成・善功企・古川全太郎・八尋裕一：越流・浸透流を考慮した捨石マウンドの安定重量に関する水理模型実験、土木学会論集 B3 (海洋開発) Vol.71 No.2p.I\_1059-I\_1064, 2015.
- (財)沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF 実務計算事例集、2010.