九州大学工学部	学生会員〇	中村	嵩之	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	陳	光斉	九州大学大学院	正会員	笠間	清伸

## 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大きく分けて3つあり,越流による捨石マウンドの洗掘,防波堤の背面と前 面の水位差と津波波力によるケーソンへの水平力,捨石マウンド内に発生する浸透流による支持力低下が挙 げられる.

本文では被災要因のうち水位差と津波波力によるケーソンへの水平力ならびに捨石マウンド内に発生す る浸透流に着目し、岩手県釜石湾港防波堤をモデルとした室内水理模型実験<sup>1)</sup>の数値解析を行い、浸透流作 用時におけるマウンド内の水の流れ並びにその安定性について明らかにした。

## <u>2. 解析概要</u>

解析モデルを図-1に示す.解析に用いた捨石マウンドと ケーソンの物性値を表-1に示す.

津波作用時を想定した防波堤の浸透流解析ならびに安定 解析は以下の手順で行った.

①有限要素法を用いた定常浸透流解析を,図-2に示すメッシュを用いて行った.津波が作用している状態は,港外側の捨石マウンドの境界条件を津波作用高に応じて増加させることで模擬した.②浸透流解析で得られた捨石マウンド内の水圧分布を考慮して,Bishop法による円弧すべり解析および極限平衡法による非円弧すべり解析を実施し,安全率を計算した.津波作用時に捨石マウンドに発生する浸透力は,浸透解析で得られた各接点における水圧をもとに,各安定解析で使用する各スライスに作用する水圧を外力として与えることで考慮した.③さらに,港内側と港外側の水位差に起因した静水圧差をスライスに作用させることで、津波によりケーソンに作用する水平力を考慮し、②と同様に安定解析を行い,安全率を計算した.

津波の作用条件として 0m~16m を想定し,得られた安全 率をもとに,浸透力ならびに水平力に起因した防波堤の安 定性低減量を評価した.



**図−1** 解析モデル

材料	捨石マウンド	ケーソン	
透水係数	$1.0 \times 10^{-2} \text{m/sec}$	$1.0 \times 10^{-10} \text{m/sec}$	
飽和単位体積重量	18.2kN/m <sup>3</sup>	20.3kN/m <sup>3</sup>	
粘着力	0kN/m <sup>2</sup>	20000kN/m <sup>2</sup>	
内部摩擦角	35°	0°	

## 表-1 捨石マウンドとケーソンの材料定数



図-2 浸透流解析におけるメッシュ

## 3. 解析結果

定常浸透流解析により得られた捨石マウンド内の等ポテンシャル線を図-3 に示す.等ポテンシャル線はケーソンの直下では鉛直方向に分布することから水平流が卓越していることが分かった.また,港外側と港内側の境界に近づくと等ポテンシャル線の間隔が大きくなるため流速が遅くなった.

図-4 は水位差 15m における捨石マウンド内の流速を示す.ケーソン直下付近の捨石マウンド内へ流入, 捨石マウンドから流出する流速が 17.3m<sup>3</sup>/h で特に大きいことがわかった.この捨石マウンド直下の流速は捨 石マウンド最下端と比べ2倍以上の流速を有している.

**図-5** は安定解析により得られた安全率と津波による 水位差の関係である. 図中には浸透力を考慮した場合と 浸透力と水平力両方考慮した場合を示す、以下浸透力を のみを考慮した非円弧安定解析を a, 浸透力と水平力を 考慮した非円弧安定解析を b, 浸透力をのみを考慮した 円弧安定解析を c, 浸透力と水平力を考慮した円弧安定 解析をdとする.水位差0mのときaとbの安全率は1.437, cとdの安全率は2.014となっておりcとdのほうが大き な値となっている. a では水位差が大きくなるにしたが って直線的に安全率が低下していき水位差 16m のとき の安全率が 1.443 となっている. b では水位差 0m から 2mになるとき安全率が 0.357 低下し, 2mから 8mまで は1.62前後であまり変化せず8mから12mで安全率が急 激に低下し安全率が1を下回り16mのときで0.705とな る. c でも水位差が大きくなるにしたがって安全率が直 線的に低下し水位差 16m のときで安全率は 1.05 となっ ている. d でも水位差が大きくなるにしたがって安全率 が直線的に低下し水位差 8m 付近から c との安全率の差 が大きくなり16mにおいてdの安全率はcよりも20%ほ ど低い 0.863 となって 1 を下回る. a と c では安全率が水 位差 16m でも 1 を下回らず, b では水位差 11m ほどで安 全率が1を下回り, d では水位差 13m ほどで安全率が1 を下回った.

図-6 は水平力と浸透力を両方考慮した場合の水位差 によるすべり面の形状を示す.水位差が16mのときのす べり面の長さは86.7m,2mのときは129.8mとなり水位差 16mのときのほうが水位差2mのときよりも40m(30% ほど)すべり面が短くなっている.またすべり面は捨石 マウンドの港外側の境界において水位差が16mのとき は水位差2mのときと比べ18m浅くなっている. 4.まとめ

1) 水位差 15m のとき、ケーソンの直下の捨石マウン

ド付近の流速が特に大きく,捨石マウンド最下端付近と 比べ2倍以上の流速を有していた.

2)安定解析において浸透力と水平力を考慮した場合, 円弧すべりでは水位差 13m, 非円弧すべりでは水位差 11mのとき安全率が1を下回った.



3) 浸透力と水平力を考慮した場合,水位差 16mのときは水位差 2mのときと比べすべり面は 30%ほど短くなり, 18m すべり面が浅くなった.

〈参考文献〉

1) 笠間清伸, 善功企, 春日井康夫: 浸透流に着目したケーソン式混成防波堤の安定性に関する水理模型実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学),
Vol.69, No.2, p.I-966-I-670, 2013.