防波堤港内側マウンド腹付工の厚さ効果に関する浸透流を考慮した有限要素解析

九州大学大学院	学生会員 〇	井上 翔太	九州大学大学院	正会員	笠間 清伸
九州大学大学院	正会員	平澤 充成	九州大学大学院	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で発生した津波により数多 くの防波堤が被災したことを契機に、防波堤の"粘り強い"構造 化に関する研究が精力的に行われている.種々の対策のなかで も、港内側捨石マウンドに腹付工や被覆材を施すことは、マウ ンドの越流による洗掘防止や支持力向上、ケーソンの滑動の抑 制等の複合的な効果が期待でき、有効な対策の一つである.

防波堤の耐津波設計ガイドライン¹によると、対策の検討に ついては、水理模型実験や数値解析を最大限活用することによ り、具体的な方法を決定することになっており、防波堤一般に 広く活用することのできる対策手法は確立されていないのが 現状である.本文では、その確立に資することを目的として、 浸透流を考慮した有限要素解析を行い、腹付厚さの違いによる 対策効果の変化を明らかにした.

2.解析条件

重量である.

解析には(財)沿岸技術研究センターにより公開されている, 捨石マウンド内の浸透流を考慮できる"地盤解析汎用プログラ ム GeoFEM"²⁾を用いた.今回の解析では,海底地盤の複雑な浸 透流を無視し,捨石マウンド内の浸透流のみを考慮できる断面 として,釜石港湾口防波堤の標準断面を選定した.予備解析で は水位差0~10m,本解析では10mと設定した.図-1に解析モ デルを示す.入力する津波は静水圧差による算定式に基づいて 港内外の水位差より算出される値とした.また,表-1に示す 解析モデルの物性値は一般的な値として,Geofemを用いた先 行研究を参考にした³.ここに,E:弾性係数,v:ポアソン比, $\gamma:$ 単位体積重量, $\gamma:$ 水中単位体積重量,c:粘着力, $\phi:$ 内部 摩擦角, $K_0:$ 静止土圧係数,k:透水係数, $\gamma_c:$ 海水の単位体積



図-1 解析モデル

		ケーソン	マウンド	腹付工	
構成則		《白亚公司出办什/十	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	
		称邢约甲旧土中	弾性体	弾性体	
Ε	MN/m ²	100000	30	30	
v		0.17	0.33	0.33	
γ	kN/m ³	24.5	18.6	18.6	
Ŷ	kN/m ³	14.69	8.8	8.8	
С	kN/m ²	0	20	20	
ϕ	o		35	35	
K_0			0.5	0.5	
k	m/s	1.0×10^{-9}	0.1	0.1	
Kv	kN/m ³	10.1	10.1	10.1	

表-1 解析モデルの物性値

3.浸透流解析の結果

図-2,3に捨石マウンド内に発生する鉛直方向及び水平方向 の単位体積あたりの浸透力の一例として、水位差が1m,10m のときのものをそれぞれ示す。両図より、水位差の上昇に伴い、 浸透力が上昇していることがわかる。鉛直方向よりも、水平方 向の浸透力が卓越しており、水位差に起因する大きな水平方向 の流速がマウンド内に発生していることがわかる。次項では、 このような浸透流解析の結果を導入して支持力解析を行う。





水位差を10mに固定し、腹付厚さを2mずつ増加させた際 の港内側ケーソン天端 (ケーソン上端の左) 変位と回転角を図 -4 に示す.水平変位は高い相関係数をもって腹付厚と線形の 関係があるといえる. 鉛直変位は水位差に起因する圧力よりも むしろケーソンの自重に依存し、回転角はその影響を受けるた め、一定の関係性を見出すことはできなかったものの、腹付厚 の増加に伴い、それらが低減されることが確認された.

図-5,6に解析結果の一例として腹付6,8mのときの降伏 関数とせん断応力の分布示す. 降伏関数Fの値は地盤要素をF <0において弾性、F=0において塑性で降伏していると判定す るものである.腹付厚を大きくすると、マウンド全体の強度が 増すため、ケーソン直下に生じる塑性域は小さくなることが確 認されたが、6mにおいては8mのときよりも塑性域が小さく なっている. したがって、今回の形状では腹付工を約6mの厚 さで施すことで最も効果的にマウンドの塑性化を抑制するこ とができるといえる. 図-6 からは、港内側マウンド内におい て広く正のせん断応力が発生していることがわかる.腹付厚が 増加すると、せん断応力を分担する断面が大きくなるため、そ の大きさは減少することが確認された.

5.結論

本文では、浸透流を考慮した防波堤の有限要素解析を行い、 一定の水位差が発生した条件下での腹付厚の増加に伴うケー ソンの変位とマウンドの塑性化の抑制効果を明らかにした. 謝辞:本研究は科学研究費補助金基盤研究(B):研究課題25289149「浚渫土防 災ブロックを活用した新形式津波防波堤の開発研究」(研究代表者:笠間清伸) の成果の一部である.また、本研究は、一般財団法人港湾空港総合技術センタ ーの研究開発助成を受けた. 記して、関係者各位には深甚の謝意を表したい.



[〈]参考文献〉

- 国土交通省港湾局,防波堤の耐津波設計ガイドライン, 2013. 1)
- 小林正樹: 有限要素法による地盤の安定解析, 港湾空港技術研究所報 2) 告, Vol.23, No.1, pp.83-101, 1984. 佐藤昌宏ら:防波堤捨石マウンド内の津波浸透流に対する腹付工の効果
- 3) 検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 72 (2016) No. 2 p. I 533-I 538
- Takahashi, H. et. al.: Bearing capacity of breakwater mound under 4) tsunami induced seepage flow, Proceedings of the Sixth Japan - Taiwan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls, 2014.