

防波堤基礎マウンド内に発生する津波浸透流に対する腹付工の効果

一般財団法人 沿岸技術研究センター 正会員 大村 厚夫 佐藤 昌宏
 (株)日本港湾コンサルタント 柴田 大介 上原 甲太郎
 国土交通省 仙台港湾空港技術調査事務所 佐藤 真

1. はじめに

ケーソン式防波堤へ津波が来襲すると、港内外に水位差が生じ、さらに防波堤を越流する過程で基礎マウンド内の浸透流が大きくなり支持力が低下する¹⁾。しかし、この浸透流を考慮した耐津波設計手法は未だ確立されていないのが現状である。本検討では、地盤解析汎用プログラム GeoFem²⁾をケーソン式防波堤に適用し、浸透流による支持力低下の影響を定量的に把握し、さらに港内側腹付工による支持力増加の効果を確認した。

2. 検討内容および検討条件

検討対象施設は、釜石港湾口防波堤とし、腹付工の無い基本断面 (Case1)、腹付形状 (図-1 : b, h, t) を変化させた腹付工断面 (Case2~5) の全 5 ケースの解析を実施した (表-1)。GeoFem 解析におけるモデル化および地盤定数は図-2、表-1 に示す通りである。堤体直下および港外側の基礎マウンドの見掛けの粘着力とせん断抵抗角は、 $c=20\text{kN/m}^2$, $\phi=35^\circ$ 、港内側は浸透流の影響を考慮するため、 $c=5\text{kN/m}^2$, $\phi=40^\circ$ とした³⁾。また、津波水平波力は、「防波堤の耐津波設計ガイドライン¹⁾」に基づき、静水圧差式で評価した。なお、解析では港内側水位を一定にしたまま、港外側水位を 20cm ピッチで上昇させるステップ解析を行い、限界水平荷重を求めた。この限界水平荷重と検討水位時の水平荷重 (津波波力) の比を「支持力の耐力作用比」と定義して基礎マウンドの支持力安定性を評価し、浸透流の有無による限界水平荷重の相関性を検討した。

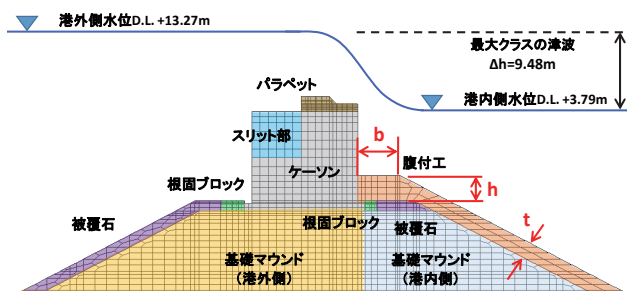


図-1 メッシュ図

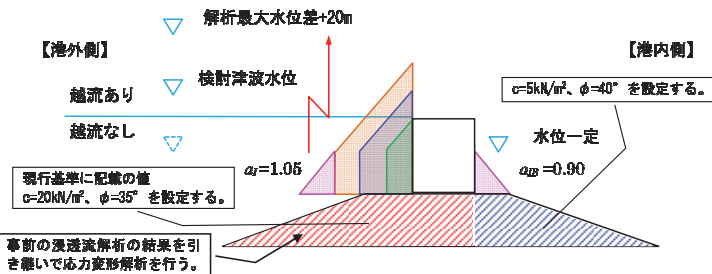


図-2 モデル化イメージ

表-1 GeoFem 地盤定数

No.	地層区分	構成則	有効単位 体積重量 γ または γ' (t/m^3)	粘着力 c (tf/m^2)	せん断 抵抗角 ϕ (度)	変形係数 E (tf/m^2)	ポアソン比 ν	透水係数 k (m/s)
1	パラベット	線形弾性体	2.30 (1.27)	—	—	$1.02\text{E}+07$	0.17	$1.0\text{E}-09$
2	ケーソン	線形弾性体	2.10 (1.07)	—	—	$1.02\text{E}+07$	0.17	$1.0\text{E}-09$
3	ケーソンスリット	線形弾性体	0.54 (0.31)	—	—	$1.02\text{E}+07$	0.17	$1.0\text{E}-09$
4	根固ブロック (有孔型)	線形弾性体	1.17	—	—	$3.06\text{E}+03$	0.17	0.016
5	被覆石 (港外側)	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	2.04	35	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2
6	被覆石 (港内側)*	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	0.51	40	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2
7	マウンド (港内側)*	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	0.51	40	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2
8	マウンド (港外側)	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	2.04	35	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2
9	マウンド (ケーソン直下)	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	2.04	35	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2
10	腹付工 (石材)	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	0.51	40	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2
11	腹付ブロック	線形弾性体	1.17	—	—	$1.02\text{E}+07$	0.17	$1.0\text{E}-09$
12	間詰め石	Mohr-Coulomb 弾塑性	1.02	2.04	35	$3.06\text{E}+03$	0.33	0.2

キーワード 津波, 防波堤, 浸透流, 基礎マウンド, 支持力, GeoFem

連絡先 〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2 (一財) 沿岸技術研究センター TEL 03-6257-3702

3. 検討結果

GeoFem 解析の結果については、荷重変位図（津波水平荷重－ケーソン天端水平変位の関係）を整理することで限界水平荷重（図中赤丸）を求めた。なお、水平変位の着目点はケーソン港内側天端位置とした。図-3 に Case3（腹付工 1/3H）の例を示す。図より、港内外の水位差が大きくなるにつれて、ケーソン天端変位が大きくなり、浸透力を考慮しない場合は水平荷重 4,201kN/m、浸透力を考慮する場合は 3,676kN/m で支持力破壊に至る結果となり、水位差が大きくなるにつれて、浸透流の有無による水平変位の差も大きくなっていることが分かる。次に、図-4 に浸透力の有無による限界水平荷重の比較結果を示す。図より、腹付工の形状にかかわらず浸透力の有無による限界水平荷重の間には良い相関性が見られ、腹付工の形状によらず概ね同程度の支持力低下率であった。なお、腹付工設置の効果は、Case3>Case4>Case5>Case2 の順で限界水平荷重が大きく、腹付工を設置することで支持力向上に繋がることが分かった。また、Case2・Case5 と比較して、Case3・Case4 の限界水平荷重が大きく、マウンド法肩部のみでなく、法面にも石材を設置することが支持力向上に効果的であることが分かる。表-2 に検討結果の一覧を示す。本検討の結果では、支持力の耐力作用比は 1.0 以上となっており、限界水平荷重は検討津波時の水平荷重よりも大きかった。また、浸透力による支持力低下率は 11～13%であった。なお、既往検討では、港外側のパラペット高さが 7.8m と大きな断面に対して同様の検討を行っており、その際の支持力低下率は 6～10%となっている³⁾。

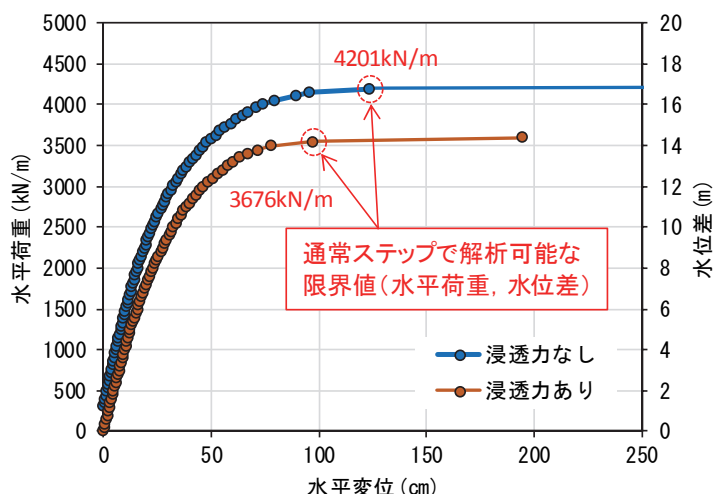


図-3 荷重変位図 (Case3)

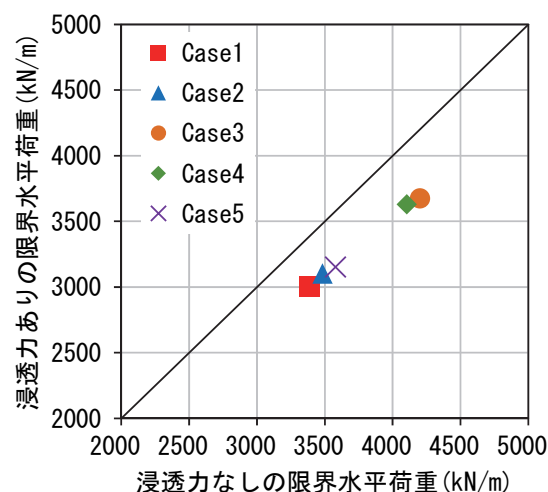


図-4 浸透力の有無による限界水平荷重の比較

表-2 検討結果一覧

検討ケース			水位条件 (最大クラスの津波)			① 津波外力 (kN/m)	Geo-Fem解析による浸透流の影響評価			支持力 耐力 作用比 ③/①	Case1の耐力作用比 を1.00とした比率
			港外側 D.L.(m)	港内側 D.L.(m)	水位差 (m)		限界水平荷重		支持力低下率 ③/②		
ケース名	腹付形状		13.27	3.79	9.48	2,549	②浸透力なし (kN/m)	③浸透力あり (kN/m)	0.89	1.18	1.00
Case1	無対策断面	b=0m, h=0m, t=0m					3,389	3,007			
Case2	腹付高1/4H	b=5m, h=5.25m, t=0m					3,485	3,103			
Case3	腹付高1/3H	b=8.5m, h=7m, t=3.13m					4,201	3,676			
Case4	腹付高1/4H天端拡幅	b=12m, h=5.25m, t=3.13m					4,105	3,628			
Case5	腹付高1/4(方塊ブロック)	b=13m, h=4.5m, t=0m					3,580	3,151			

4. まとめ

本検討では、防波堤を津波が越流する過程で、港内外の水位差によって基礎マウンド内に生じる浸透流による支持力低下の影響を定量的に把握し、さらに港内側腹付工による支持力増加の効果を確認した。検討の結果、浸透力による支持力低下率は 11～13%であった。また、腹付工設置の効果は、Case3>Case4>Case5>Case2 の順となり、法面被覆材厚(t)の拡幅に対する感度が高いことが分かった。

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（一部改訂），pp.16-26，2015。
- 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告，Vol.23，No.1，pp.83-101,1984。
- 佐藤昌宏・大村厚夫・柴田大介・上原甲太郎・及川隆・青木伸之：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検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.72，2016