

GeoFem による有限要素法解析の結果については、「津波波力～ケーソン天端水平変位の関係（荷重変位図）」（図－4）に整理して限界水平荷重を求めた。

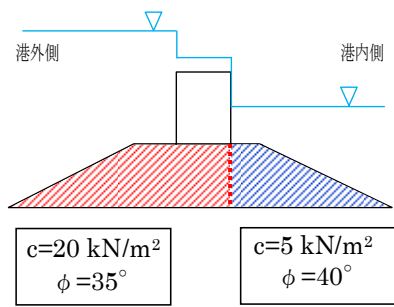


図-3 FEM 解析時のマウンド定数

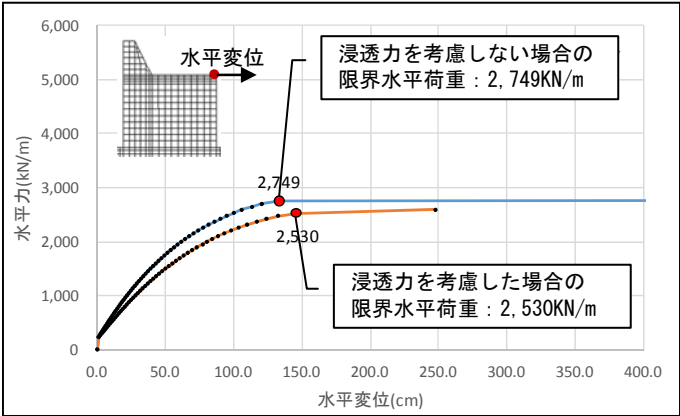


図-4 荷重変位図（基本断面 Case1 の例）

3. 検討結果

今回の検討結果（表-1）では、「支持力の耐力作用比」の浸透力による低下率は 6～10%であり、腹付工設置の効果は、Case2>Case4>Case3>Case5 の順位となった。さらに、簡易ビショップ法で求めた耐力作用比と GeoFem で求めた耐力作用比（浸透力を考慮した場合）の間に、図-5 のような相関性が見られた。

表-1 検討結果一覧表

腹付形状		検討水位条件			外力		GeoFem				簡易Bishop法	
		港外側	港内側	水位差	①津波波力 (kN/m)	②限界 水平荷重 (浸透力なし) (KN/m)	③限界 水平荷重 (浸透力あり) (KN/m)	耐力作用比 (浸透力なし) =②/①	耐力作用比 (浸透力あり) =③/①	耐力作用比 低減率 =③/②	腹付工効果 ③-Case1③ (KN/m)	耐力作用比 C=20KN/m2 φ=35°
Case1 基本断面	h=0.0m	水位1	D.L.+ 8.4m		6.9m	1,618		1.70 > 1.00	1.56 > 1.00		-	1.62 > 1.00
	b=0.0m	水位2	D.L.+13.1m	D.L.+1.5m	11.6m	2,860	2,749	0.96 < 1.00	0.88 < 1.00	92.0%	(100%)	0.89 < 1.00
	t=0.0m	水位3	D.L.+16.5m		15.0m	3,790		0.73 < 1.00	0.67 < 1.00			0.55 < 1.00
Case2 腹付高 1/3 (法部増厚)	h=4.6m	水位1	D.L.+ 8.4m		6.9m	1,618		2.07 > 1.00	1.94 > 1.00			1.78 > 1.00
	b=6.0m	水位2	D.L.+13.1m	D.L.+1.5m	11.6m	2,860	3,351	1.17 > 1.00	1.10 > 1.00	93.5%	+602 (124%)	1.00 ≥ 1.00
	t=1.65m	水位3	D.L.+16.5m		15.0m	3,790		0.88 < 1.00	0.83 < 1.00			0.65 < 1.00
Case3 腹付高 1/4	h=3.1m	水位1	D.L.+ 8.4m		6.9m	1,618		1.90 > 1.00	1.77 > 1.00			1.65 > 1.00
	b=5.3m	水位2	D.L.+13.1m	D.L.+1.5m	11.6m	2,860	3,077	1.08 > 1.00	1.00 ≥ 1.00	92.9%	+329 (113%)	0.91 < 1.00
	t=0.0m	水位3	D.L.+16.5m		15.0m	3,790		0.81 < 1.00	0.75 < 1.00			0.57 < 1.00
Case4 腹付高 1/4 (法部増厚)	h=3.1m	水位1	D.L.+ 8.4m		6.9m	1,618		2.04 > 1.00	1.90 > 1.00			1.77 > 1.00
	b=9.0m	水位2	D.L.+13.1m	D.L.+1.5m	11.6m	2,860	3,296	1.15 > 1.00	1.08 > 1.00	93.4%	+549 (122%)	0.995 < 1.00
	t=1.65m	水位3	D.L.+16.5m		15.0m	3,790		0.87 < 1.00	0.81 < 1.00			0.64 < 1.00
Case5 腹付なし (マウンド拡張)	h=0.0m	水位1	D.L.+ 8.4m		6.9m	1,618		1.77 > 1.00	1.60 > 1.00			1.73 > 1.00
	b=0.0m	水位2	D.L.+13.1m	D.L.+1.5m	11.6m	2,860	2,859	1.00 ≥ 1.00	0.90 < 1.00	90.4%	+55 (102%)	0.96 < 1.00
	t=1.65m	水位3	D.L.+16.5m		15.0m	3,790		0.75 < 1.00	0.68 < 1.00			0.61 < 1.00

4. まとめ

今回の検討ケースにおいて、①浸透力考慮による耐力作用比の低下は 1 割程度と見込まれ、②捨石材による腹付工は、直立壁の高さの 1/3～1/4 の規模で限界水平荷重を 2 割程度増加させる効果があると定量的に確認できた。また、「簡易ビショップ法による耐力作用比」と「GeoFem による耐力作用比」の間には良好な相関性があり、津波越流時のような浸透力の影響が大きいケースでは、簡易ビショップ法による耐力作用比が 1.10 程度未満となった場合には、FEM 等の方法を用いた詳細検討を実施すべきであることが示唆された。

参考文献

1) 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。
2) 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。
3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻），pp. 572-576，2007。
4) 水産庁漁港漁場整備部整備課長通知：平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方＜参考資料 5＞津波に対する防波堤・岸壁の設計方法，pp. 61-68，2014。

図-5 簡易ビショップ法と GeoFem による耐力作用比の相関性

