

防波堤の支持力安定性に関する信頼性評価

中央大学大学院 学生会員 井上 修一
中央大学理工学部 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

性能設計の導入に伴って目標性能の設定や保有性能の評価手法として信頼性設計の有用性が再認識されている。本研究は防波堤の支持力安定性を例にとり信頼性評価および考察を行い信頼性設計法確立のための基礎となることを目的とする。

現在の技術基準によれば、防波堤マウンドのような偏心かつ傾斜している基礎の支持力に関しては円弧滑り解析の一つである Bishop 法が現象をよく表現しこれを用いて評価することが基本とされている。したがって、本研究でもこれをもとに性能関数を定義し支持力破壊の生起確率 (P_f) の算定を試みた。なお、研究に際して港湾技研(国総研)からデータを提供していただいた。

2. 性能関数の性質と P_f の算定法

仮定された円弧滑り面について Bishop の安全率は式(1)によって計算される。この式は収束計算であるが、これによって支持力解析を行うためにはさらに解析断面内で最小安全率 (F_s) を探索する。技術基準では波圧時に F_s が 1.0 以上であれば安全であると判断されるため、これをもとにして性能関数を定義すると式(2)のようになる。

$$F = \frac{\sum \{c' b + \tan f (W' + q)\} / ma}{\sum (W' + q) \sin a + \frac{1}{r} \sum H a} \quad \dots(1)$$

$$ma = \left(1 + \frac{\tan f \tan a}{F}\right) \cos a$$

ここに、

c' : 有効応力に基づく

見かけの粘着力 (kN/m^2)

b : 分割細片の幅 (m)

f : 有効応力に基づく

見かけのせん断抵抗角 (rad)

W' : 分割細片の重量 (kN/m)

q : 分割細片に作用するサーチャージ (kN/m^2)

a : 分割細片の底面となす角 (rad)

H : 水平荷重 (kN/m)

a : 水平荷重のアーム長 (m)

r : 滑り円弧の半径 (m)

$$Z = F_s - 1.0 \quad \dots(2)$$

ところで P_f の算定法として現在有力なものに FORM や 1 次ガウス近似法といったものがあるが、上述のような性質をもつ解析方法を性能関数に取り込んだ場合には性能関数が陽な型で表現できないために、これらの方法をそのまま用いることは困難である。これに対して既存の研究・文献等によれば滑り面を固定するなどの工夫をして P_f を求めるという方法がとられてきた。しかしながらその結果として P_f と中央安全率の関係が不可解な傾向を示す例が生じており多少の問題を抱えているといえる。このような観点から本研究ではモンテカルロシミュレーション(MC 法)による P_f の算定を試みた。MC 法は計算時間が非常に長くなるという欠点を有してはいるものの式(2)を計算するときに常に最小安全率円を追跡することが可能であり得られた結果の傾向としては図-1のように常識的なものとなった。よってこのような問題に対しては MC 法の方が、利点が大いと考え本研究ではこれを用いて P_f の算定方法を検討することとした。

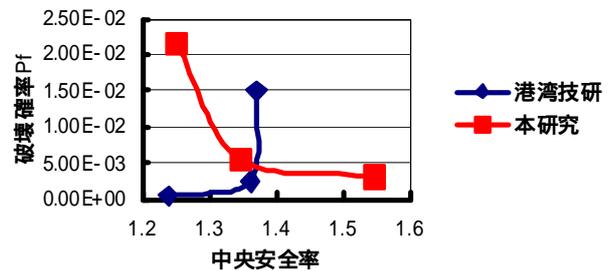


図1 破壊確率と中央安全率の関係

3. 現行設計に合わせた場合の解析結果および考察

ここでは現行設計への直接的なキャリブレーションが可能であるかを判断するために設計パラメータの平均値を現行設計で用いられている値とし MC 法によって P_f を算出した。結果のみを述べると P_f は被災例と比べても 2order 以上高い値となり現実的ではない。このような問題の原因を特定すべく感度解析を行うと確率変数としてばらつかせるパラメータのうち P_f (すなわち F_s) に与える影響度が大きいのは c および H であった。

仕方書ではマウンド砕石の強度定数は $\phi = 35^\circ$, $c = 19.6 kN/m^3$ とされているが、これは砕石のもつ拘束圧依存性を反映させようという経緯で決められたもので大型三軸

キーワード 防波堤, 信頼性設計, 破壊確率, Bishop 法, 設計用値, 現行設計へのキャリブレーション

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科設計工学研究室 03-3817-1816

試験の結果(図-2)等によると平均値は40°程度となる。よって $\phi=40^\circ$ 前後の値を設定することで P_f が小さくできることが期待できる。

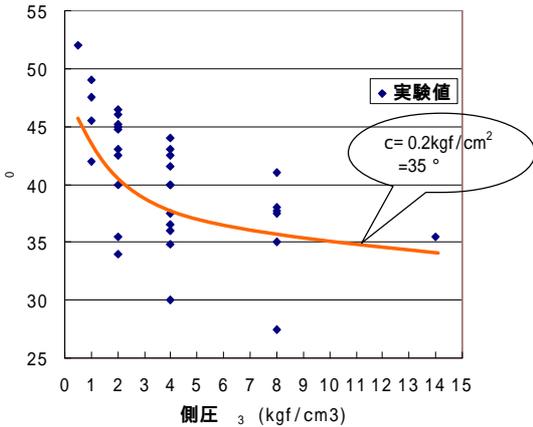


図-2 三軸試験の結果

一方, H が P_f を高めていることについては $v=(b \times q)$ との関係が強いように思われる。 H, v ともに波力を1要素としているので波圧, 揚圧力の影響で $H-v$ には負相関があるはずでありこれらを互いに独立として扱って求めた P_f は説得力に欠ける部分が多い。また相関ということを考えるなら v の拘束圧依存性も注目する必要がある。

4. パラメータの見直し, 相関を考慮した P_f

前節をふまえて新たに P_f を求めるための秋田県外港地区防波堤 M 区間を対象(図-3)に解析条件を表-1, 2, 3のように設定した。としようものの各パラメータの関係は明らかにはできていないので相関係数は仮の値として与えたものでありまた P_f に与える影響が小さいと判断されるパラメータは互いに独立とした。相関のある確率変数の抽出にはコレスキ-分解を用いた。図の示すとおり P_f は v の相関が強いほど減少し $v-H$ の相関が強いほど増加する結果となった。しかしながら, 全体的にはやはり P_f は高くなっており原因としては Bishop 法の精度, 静的解析であること, 全体系の破壊の順序が考慮されていない, といった点が挙げられる。

について, 実験では F_s が 1付近で支持力破壊が生じることは多いものの実際の防波堤は $F_s < 1$ となるような荷重を受けても破壊していない例も多く, これには荷重傾斜率 H/v などが関係していると思われるが Bishop 法自体の是非を問うのは, 地盤工学的専門性が高いため考慮するに至っていない。についても 同様に信頼性解析以前の問題であるが, 実験と実際の防波堤が受ける荷重の載荷時間は異なるため実際の防波堤は一瞬設計波が作用しても滑り面が卓越しなく, P_f はさらに低いのではないかと考える。について, 実際の防波堤は波力が大きいときには支持力破壊より先に滑動, 転倒が起きることも考えられるため支

持力安定性に限定した本研究の P_f は過大となっていることも考えられる。よって今後さらに P_f の値については, 各パラメータの相関係数を説得力あるものに設定していくほか, 上記 v, H についても検討していきたい。

参考文献

防波堤の支持安定性の確率論的評価 長谷部ら JCOSSAR2000 論文集

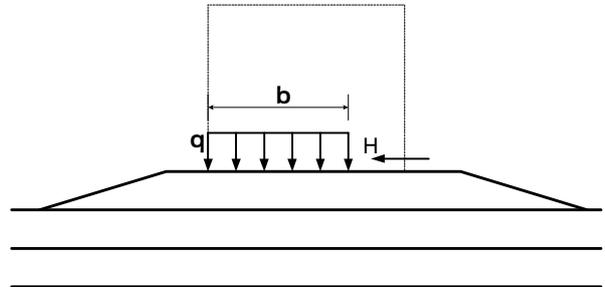


図-3 解析対象 秋田港外港地区防波堤 M 区間

表-1 解析に用いる設計パラメータ

No.	Soil Layer	μ (kN/m^3)	μ_c (kN/m^2)	μ ($^\circ$)	Height or Thickness (m)
	Mound	19.6	19.6	42	3.5
	Sand1	19.6	-	48	3.5
	Sand2	19.6	-	45	14.5
b(m)	μ_q (kN/m^2)	μ_H (kN/m)			
14.78	338.49	2594.75			

表-2 確率変数の変動係数

	c	q	H
0.03	0.10	0.10	0.06

表-3 各 CASE の相関係数

		v_i		
		0.0	-0.3	-0.6
v/H	0.0	case1	case2	case3
	-0.3	case4	case5	case6
	-0.6	case7	case8	case9

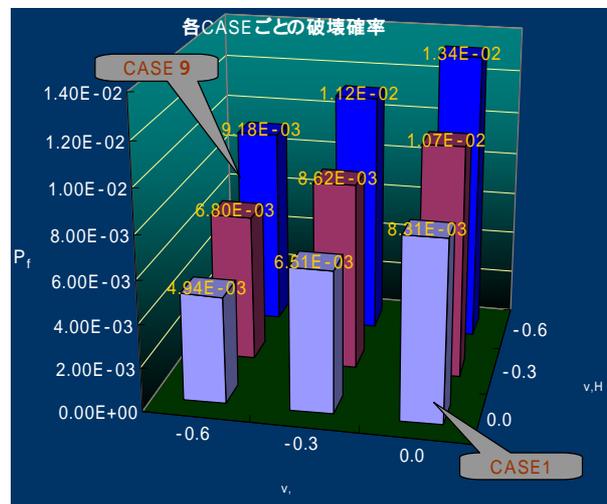


図-4 各 CASE の P_f (試行回数 1.0×10^5 回)