

竹中技術研究所 正員 辰巳 安良 鈴木 善雄
(株) 竹中土木 正員 ○西原 潔

1. まえがき

著者らは、有限要素法に線形一次近似理論を適用し、各種の不確定要因を与えることにより、各要素の破壊確率が求まる確率有限要素法のプログラムを開発し¹⁾、さらに直線および円弧すべりの破壊確率が求まるように開発を進めた²⁾。本報告では、一例として現実の護岸の安定問題に本プログラムを応用して解析を行い、地盤改良の工法の種類および品質管理の程度による破壊確率の差を考察することにより、現実の土構造物の不確定性を考慮した信頼性設計および施工管理に本手法が有用であることを確認した。

2. 対象護岸と解析条件

図-1に示す現実の護岸モデルについて確率有限要素法により安定解析を行った。なお、改良地盤の中は3.2mと5.2mの2種類を考えた。図-2に解析モデルの形状、寸法、境界条件及び要素分割を示す。図-3に各材料タイプの領域および水平震度係数の期待値と分布を示す。不確定要因としては、材料タイプ1~7のヤング率 E 、単位体積重量 γ 、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 C および水平震度係数 k_h を考え、その他は確定量とした。荷重条件としては、自重および地震時水平力を与えた。また、残留水位以下は浮力を考慮した。

今回は、地盤改良の工法の種類、品質管理の程度および改良巾をパラメータとして解析ケースを設定した。ここで工法は代表的な砂質系の改良(工法A)とセメント系の改良(工法B)の2種類を想定した。

表-1に各材料タイプの各定数の期待値を示す。表-2には全ケースに共通の各定数の変動係数を示す。

表-3には各解析ケースの位置づけと改良地盤(材料タイプ3)の各定数の変動係数を示す。なお、ケースA-3だけは比較検討のため改良巾を大きくした。また、各材料定数の変動係数は、不確定要因ごとく実データより推定したものである。さらに、水平震度係数 k_h の変動係数は、建設地点の地震応答スペクトルの30年非超過確率の分布³⁾より求めた。

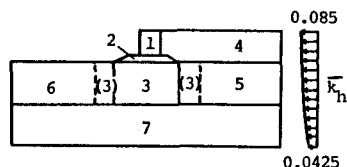


図-3 各材料タイプの領域および水平震度係数の期待値と分布

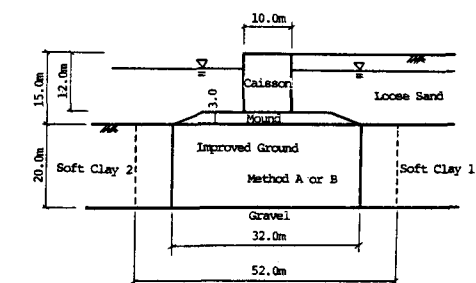


図-1 対象護岸モデル

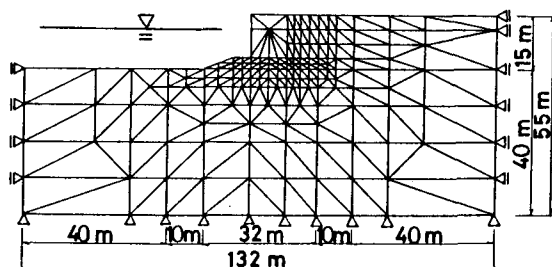


図-2 解析モデル

表-1 材料定数の期待値

Type		E (tf/m^2)	γ (tf/m^3)	ϕ (degree)	C (tf/m^2)	v
1 Caisson		2100000	2.1	0.0	200.0	0.17
2 Mound		5000	1.8	40.0	0.0	0.25
3 Improved Ground	Method A	20000	1.6	35.0	0.0	0.4
	Method B	170000	1.6	0.0	30.0	0.3
4 Loose Sand		3000	1.6	0.0	3.0	0.48
5 Soft Clay 1		9000	1.6	0.0	5.0	0.48
6 Soft Clay 2		3000	1.6	0.0	3.0	0.48
7 Gravel		40000	1.9	35.0	0.0	0.4

表-2 改良地盤(Type 3)以外の変動係数

E	γ	ϕ	C	k_h
0.3	0.05	0.2	0.3	1.1

表-3 解析ケースと改良地盤(Type 3)の変動係数

CASE	Method	Improved Area	Quality Control	Coefficient of Variation			
				E	γ	ϕ	C
A-1	A	small	ordinary	0.3	0.05	0.2	—
A-2	A	small	better	0.15	0.05	0.1	—
A-3	A	large	ordinary	0.3	0.05	0.2	—
B-1	B	small	ordinary	0.3	0.05	—	0.3
B-2	B	small	better	0.15	0.05	—	0.15

3. 解析結果と考察

ここでは、直線および円弧すべり破壊確率のケースによる差に着目した結果の整理を行い、実際の設計および施工の観点から考察する。

図-4はマウンド内の各直線すべり面の破壊確率を、5ケースについて同時に比較して示したものである。本図より、ケースによる差は小さく、改良地盤の諸条件がマウンド内のすべり破壊確率に及ぼす影響は小さいといえる。なお、すべり面が水平に近づくほど破壊確率が小さいことがわかる。また、全ケースとも最大破壊確率は6~7%程度である。

図-5(a)~(e)は各ケースについて固定点Fを通る円弧すべり面の破壊確率を円の中心に等高線として示したものである。また図中に破壊確率が最大となる円弧およびその破壊確率Prの数値を示した。本図より、A-1とB-1を比較するとA-1の等高線は密であり、最大破壊確率はB-1の3.22%に比べて20.41%と大きく、また、破壊確率が最大となる円弧は大きく異っている。次に、A-1とA-2およびA-3を比較すると等高線の変化は小さく、最大破壊確率の変化も小さい。一方、B-1とB-2を比較すると、B-2はB-1に比してさらに等高線が疎になっており、最大破壊確率も極端に小さくなっている。

図-6は上に示した直線および円弧すべりの最大破壊確率のケースによる差を示したものである。本図を考察し、上述の結果を総合して整理すると以下となる。

- i) マウンド内の直線すべりの破壊確率は、改良地盤の工法の種類、品質管理の程度および改良巾にほとんど影響されない。
- ii) 工法Aにおいては、マウンド内の局所的な直線すべりよりも大規模な円弧すべり破壊確率が大きく、工法Bにおいてはその反対となる。
- iii) 品質管理の強化により改良地盤のばらつきを小さくすることが円弧すべり破壊確率を小さくする効果は、工法Aに比して工法Bの方が大きい。
- iv) 工法Aにおいて、改良巾を大きくすることは、品質管理の強化に比して円弧すべり破壊確率に及ぼす効果が大きい。
- v) 円弧すべり破壊確率については、工法Aに比して工法Bは非常に小さく、工法Bのより経済的な設計が期待できる。

4. あとがき

一例として、確率有限要素法を現実の護岸の信頼性の評価に応用することにより、設計および施工上の有用な示唆を得ることができた。著者らは、今後、この結果にコストも含めた総合的な評価を目指したいと考えている。

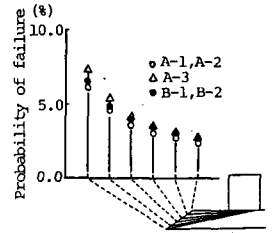


図-4 直線すべり破壊確率

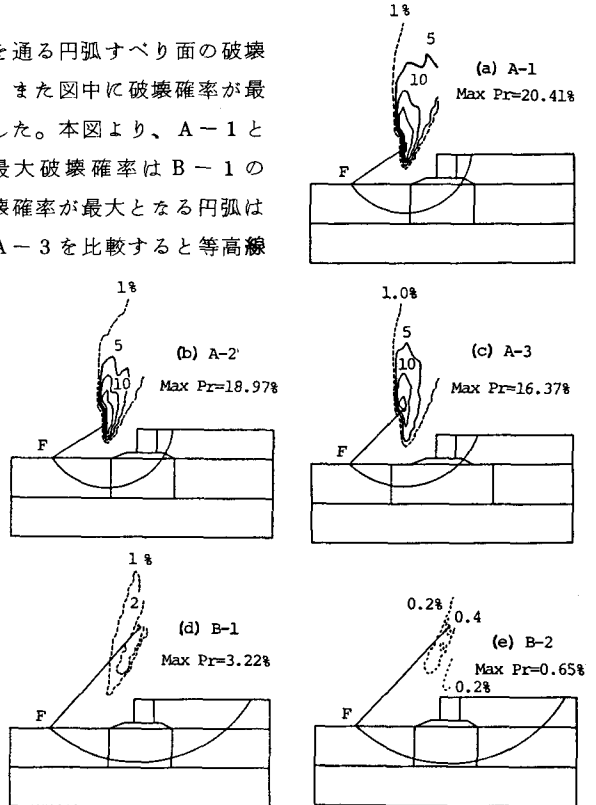


図-5 円弧すべり破壊確率の等高線

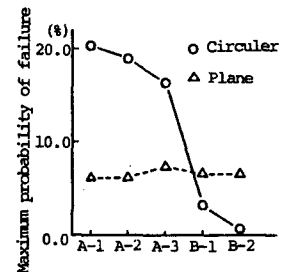


図-6 最大すべり破壊確率のケースによる差

- 参考文献 1) 辰巳安良他：確率有限要素法による防波堤の信頼性解析，第19回土質工学研究発表会，1984年6月
 2) 辰巳安良他：確率有限要素法による護岸の信頼性解析（その2），第20回土質工学研究発表会，1985年6月
 3) 辰巳安良：地震応答スペクトルに関する確率論的考察，土木学会論文集，第356号，1-3，1985年4月