

(株) 竹中土木 正員○西原 潔

竹中技術研究所 正員 辰巳 安良 鈴木 善雄

1. まえがき

土構造物の挙動の確定論的な予測精度は、地盤・土質材料の力学定数のばらつきに大きく左右される。しかし、これらの構造物に対する現行の設計法は、このばらつきの影響を安全率という余裕で考慮しているにすぎず、本質的には確定論的な考え方で設計している。今後は、地盤・土質材料の力学定数のばらつきを積極的に取り込んだ設計が必要と思われる。一方、耐用年数内での外力のばらつきの考慮も不可欠である。

このため、筆者らは有限要素法に線形一次近似理論を適用し、各種の確率変数を含んだ解析を行うプログラム（確率有限要素法）を開発してきた¹⁾。本報告では、確率有限要素法による護岸の解析とその結果について述べる。

2. 護岸構造物の解析条件

図-1に示す護岸モデルについて確率有限要素法による解析を行った。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。なお自重については、残留水位以下は浮力を考慮した。各不確定要因の確率分布については、 E 、 γ 、 ϕ 、 C は正規分布と仮定し、 k_h は参考文献2)の方法により求まる建設地区の応答スペクトルの50年非超過確率の分布を用いた。各定数の期待値を表-1に示す。なお、ポアソン比 ν については確定量と仮定した。

解析ケースは、表-2に示すG-1～G-6の6ケースである。G-1は、不確定要因毎に実データより推定した変動係数を全て代入したケースであり、これを基準とした。G-2～G-5のケースは、 E 、 γ 、 ϕ 、 C 、 k_h の変動係数を順次0とし、他はそのままとし、どの不確定要因の影響が大きいかを検討するためのものである。G-6は、変動係数を全て0とし他のケースと比較するためのものである。

なお、全ケースにおいて、 E 、 γ 、 ϕ 、 C 、 k_h は互いに無相関とし、また材料タイプ間も相互に無相関とした。

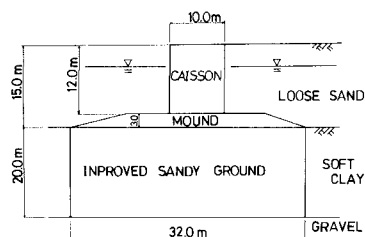


図-1 護岸モデル

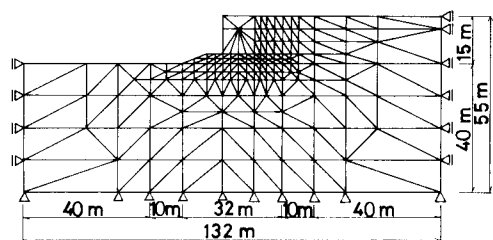


図-2 護岸の解析モデル

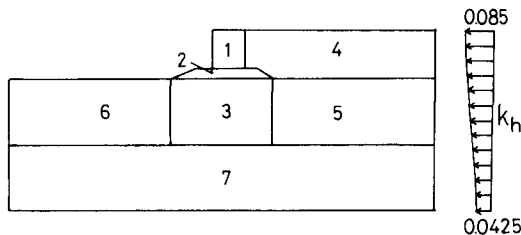


図-3 各材料タイプの領域と水平震度係数分布

表-1 各定数の期待値

Type	E (tf/m^2)	γ (tf/m^3)	ϕ (degree)	C (tf/m^2)	ν	k_h
1 ケーソン	2100000	2.1	0.0	200.0	0.17	0.085
2 マウンド	5000	1.8	40.0	0.0	0.25	0.085
3 改良地盤	20000	1.6	30.0	5.0	0.40	0.085
4 埋土	3000	1.8	30.0	1.0	0.40	0.085
5 埋土側粘土層	9000	1.6	0.0	5.0	0.48	0.085
6 海側粘土層	3000	1.6	0.0	3.0	0.48	0.085
7 砂礫層	40000	1.9	35.0	0.0	0.40	0.085

表-2 各解析ケースの変動係数

CASE	E	γ	ϕ	C	k_h
G-1	0.3	0.05	0.2	0.3	1.1
G-2	0.0	0.05	0.2	0.3	1.1
G-3	0.3	0.0	0.2	0.3	1.1
G-4	0.3	0.05	0.0	0.0	1.1
G-5	0.3	0.05	0.2	0.3	0.0
G-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3. 解析結果と考察

図-4は、護岸モデルの主要部分について各要素の破壊確率の大きさをランク分けしたものを示す。ケースG-1, G-2, G-3は、ほぼ同一のパターンとなるため、(a)にG-1, (b)にG-4, (c)にG-5の3ケースを示す。図-5(a)に改良地盤部(実線), マウンド部(破線)における代表的な要素の破壊確率が、順次1つの不確定要因の変動係数を0とすることにより、どのように変化するか示している。また参考のために、すべての変動係数を0とした従来の有限要素法(G-6)についても同図に示す。なお、図-5(b)にA~Eの各要素の位置を示す。

これらの図より、この護岸モデルについて以下のことが考察できる。

- 1) G-1, G-2, G-3がほぼ同一のパターンになることから、Eと r の変動が破壊確率に及ぼす影響は、他の不確定要因 k_h , Cと ϕ に比して非常に小さいことがわかる。これは、 k_h の変動係数が他のものに比べて大きいこと、Cと ϕ が破壊の判定に直接関係するものであることによると考えられる。
- 2) G-1に対するG-4およびG-5の各々の破壊確率の変化を比べてみると、一部分の要素を除いてG-5の方が大きく、概して k_h の変動が破壊確率に及ぼす影響は、Cと ϕ よりも大きいといえる。
- 3) 図-5(a)より、要素によって破壊確率に大きく影響を及ぼす不確定要因は異なることがわかる。改良地盤部では、 k_h の変動の影響が顕著にあらわれているが、マウンド部では、Cと ϕ の変動の影響が k_h のそれよりも大きい要素もある。
- 4) G-6は確定論的な従来の有限要素法による解析であり、破壊確率は0%か100%のいずれかとなる。したがって、破壊現象も確定的に生じることになり、実データのばらつきが大きい場合の破壊現象の予測には適さないと考えられる。

4. あとがき

今回の解析で、護岸の耐用年間での信頼性を予測する場合、どの不確定要因が大きく影響を及ぼすかを知ることができた。今後本手法は、精度のよい信頼性設計を行うための有力な手段となるであろう。

- 参考文献: 1) 辰巳安良他; 確率有限要素法による — ; 第19回土質工学研究発表会
2) 辰巳安良 ; 応答スペクトルに関する — ; 第16回日本地震工学シンポジウム
3) 松尾 稔 ; 地盤工学 — 信頼性設計の理念と実際 — ; 技報堂出版

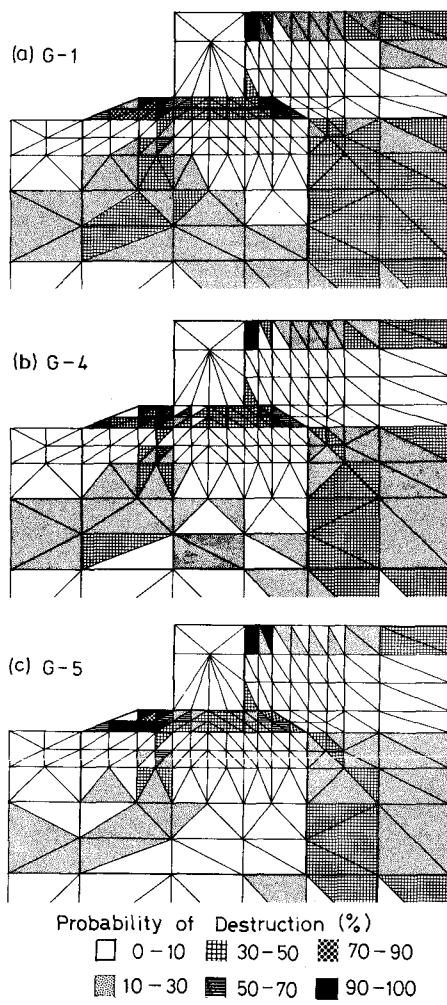


図-4 各ケースのせん断破壊確率

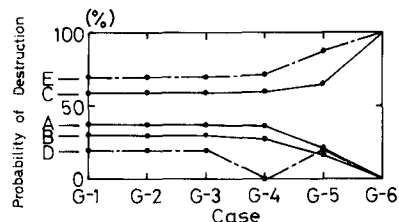


図-5(a) 代表的要素のせん断破壊確率

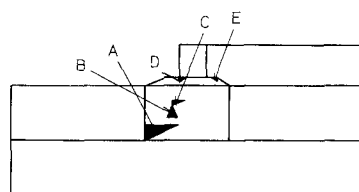


図-5(b) 各要素の位置