

第3部門—その他

斜面安定

神戸大学自然科学研究科 学生員 ○蔡 鍾吉
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 田中 泰雄
 神戸大学建設工学科 正会員 澁谷 啓

1. はじめに

現行の土構造物に関する設計は主に安全率法によって行われているが、この方法は長い間経験に強く依存して使用されてきたので、建てられる構造物によってその基準値が異なる。また、構造物に加えられる外力、土の強度データ、計算式の誤差などの様々な不確定要因を合理的に考慮するより、経験的に決められてきたのが事実である。これらの問題点を補完するための設計法として、確率理論に基づく信頼性設計がある。本論文では、信頼性解析を軟弱地盤上の盛土施工（単純盛土、押さえ盛土）に適用し、実務設計に参考となる数値例を示すとともに、破壊確率、安全率および工事費を考慮した最適な盛土施工条件を検討している。

2. 解析対象構造物および信頼性設計法

信頼性解析のため、目的関数として Ordinary Fellenius 法を用い、原点から目的関数(破壊関数)までの最短距離を求める手法として FOSM (First Order Second Moment)法を適用した。また安定解析においては、盛土内に全面的に鉛直の引張り亀裂が発達したものと仮定した¹⁾。一般に FOSM による解析結果は、破壊確率(P_F)、信頼性指数(β)、新たな破壊点(NFP)など有用な情報を提供する。また、各設計案の評価のため、式(1)に示すような評価関数を用いて検討した。

$$C_T = C_C + P_F C_F \quad \text{式(1)}$$

ここで、 C_C は初期建設費（その案を実際に作るための費用）、 C_F は破壊損失費(破壊した場合に必要な費用で、再建費や周辺の原因復元旧費、補償費など)、 P_F は破壊確率、 C_T は期待総費用である。解析対象構造物の形式は、図 1 と 2 に示すような単純盛土および押さえ盛土とした。粘性土地盤の非排水せん断強度は深度方向に一定 (I Type)と増加(III Type)する 2 種類を用い、各変数の変動係数(VAR)は 10%で一定と仮定した。

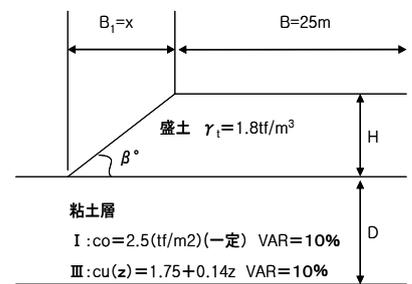


Fig.1 単純盛土の場合の設計条件

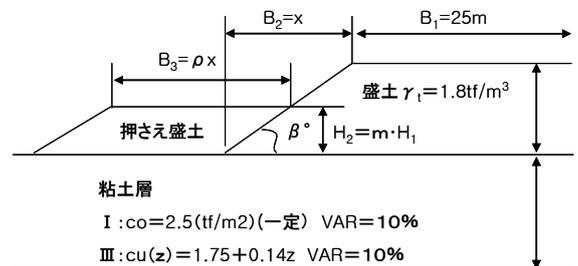


Fig.2 押さえ盛土を施工する場合の設計条件

3. 最適設計例

(1) 単純盛土の場合

飽和粘性土地盤上に 4 斜線の道路用盛土を急速に建設する場合を考える。ここでは、盛土の天端幅と高さはすでに上位計画で決定されており、盛土斜面の勾配を決定する設計問題とする。Table1 に盛土の長さ方向 1m に対する費用を表し、式 2 に計算に用いた費用関数を表す。

$$C_C = (B + 2B_1)c_a + H(B + B_1)c_b, \quad C_F = C_C' + C_R \quad \text{式(2)}$$

ここで C_C は再建設費であり、崩壊後同じ斜面を造る場合には 1 となる。 c_a と c_b はそれぞれ用地費と土工費である。なお試算に用いた盛土の寸法 B , B_1 , H は Fig.1 に示している。

設計代替案として、斜面勾配を 15° ~30° に変化させる単純盛土にした。Fig.1 は非排水せん断強度の平均値や統計的性質および斜面形状を示している。また、代表的な数値解析結果を、Tab.2, 3 に示した。両ケースにおける最小期待費

Tab.1 計算に用いた費用

H(m)	c_R (千円/m)	その他
4	2000	$c_a=6$ (千円/m ²) $c_b=2.5$ (千円/m ³) $C_C'=C_C$ (千円/m)
6	3000	
8	4000	
10	5000	

用を基準とした場合、最適の斜面勾配は 17.5° となった。

Table4 は破壊時の NFP を示している。斜面の勾配が大きくなるほど NFP は Fig.3 に示す平均値に近づくことが確認できる。なお、斜面勾配が 25° 以上の場合、NFP は平均から標準偏差を引いた範囲内(AVE-σ)となった。この場合、斜面はかなり危険な状態と考えられる。一方、斜面勾配が 17.5° の場合は、ほぼ AVE-2σ の値を示す。以上の結果から設計代替案の決定問題に当たっての基準は、単に最低工事費と破壊確率だけではなく、破壊時の非排水せん断強度値も慎重に考慮する必要があると考えられる。

(2) 押え盛土の場合

粘性土の非排水せん断強度の変動特性を考慮する押え盛土の最適な幅と高さを決定するため、前掲 Fig.2 に示すような斜面を仮定した。押え盛土の斜面勾配は本体盛土と同じとする。費用評価関数は式(3)を用いる。Fig.2 の関係から、押え盛土に対する C_C は次の式となる。

$$C_C = [(B_1 + 2B_2)c_a + H_1(B_1 + B_2)c_b] + 2B_3(c_a + c_b H_2) \quad \text{式 (3)}$$

押え盛土の規模決定に関しては、押え盛土の幅(ρx)と高さ(mH₁)の 2 つを決定する必要がある。ここで、係数 m=0.5 の場合が力学的にも経済的にも有利であるという報告^{2),3)}を参考にし、m=0.5 に固定した上で、ρ を変化させた場合のみについて解析を行った。Tab.4 はⅢType に対する信頼性解析結果を示している。最低期待工事費を基準とした場合、最適 ρ 値は I 型とⅢ型についてそれぞれ 0.8 および 0.6 である。Fig.3 に示すように、ρ と P_F の関係は一般に ρ が大きくなるほど安全性は高まるが、その関係は線形ではなく指数的關係であることがわかった。また、NFP の傾向は単純盛土の結果とほぼ同様な傾向を示した。

4. まとめ

現在、信頼性設計の主流となっている FOSM 法を飽和粘性土地盤の盛土および斜面の工学問題に適用することを試みた。飽和粘性土地盤上の盛土の内、単純盛土、押え盛土を設計代替案として考えて詳細な最適設計例を取り上げた。その結果、信頼性解析法による意思決定問題において地盤情報のバラツキ、盛土の形状に加え各種の情報(β, P_F, NFP)を取り入れて設計代替案を決められることがわかった。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質工学ハンドブック, pp.223-343, 1982.
- 2) Matsuo, M. and Kuroda, K. : Economical Evaluation of Embankment Design, Soils and Foundations, Vol, 15, No.2, pp.31-46, 1975.
- 3) Matsuo, M. and Suzuki, H. : Use of Charts for Reliability-Based Design of Embankment on Saturated Clay Layer, Soils and Foundations, Vol.23, No.3, pp.13-26, 1983.

Tab.2 数値計算結果(単純盛土Ⅲ型, 千円/m)

	β	P _F	F _S	C _T	C _C	C _F
15°	3.32	0.045	1.351	1607.9	1605.4	5605.4
17.5°	2.55	0.539	1.251	1491.4	1461.9	5461.9
20°	1.93	2.68	1.182	1496.8	1353.4	5353.4
22.5°	1.45	7.353	1.133	1655.4	1268.0	5268.0
25°	1.07	14.231	1.097	1938.9	1199.0	5199.0
27.5°	0.77	22.065	1.063	2276.3	1141.8	5141.8

Tab.3 新たな破壊確率点(単純盛土 I 型とⅢ型)

slope angle	I type		Ⅲ type			
	α _{cuo}	NFP c _{uo}	α _{co}	α _k	NFP c _o	NFP k
15°	1	1.853	0.921	0.389	0.122	1.215
17.5°	1	2.003	0.922	0.388	0.126	1.339
20°	1	2.12	0.922	0.388	0.13	1.439
22.5°	1	2.21	0.922	0.387	0.132	1.516
25°	1	2.283	0.939	0.344	0.135	1.574
27.5°	1	2.343	0.939	0.345	0.136	1.624

Tab.4 数値計算結果(Ⅲ型, 押え盛土の幅変化)

ρ	F _S	β	P _F	C _C	C _F	C _T
0.4	1.16	1.67	4.746	1212.7	5212.7	1460.1
0.5	1.201	2.06	1.970	1252.9	5252.9	1356.4
0.6	1.243	2.43	0.755	1293.1	5293.1	1333.0
0.7	1.288	2.81	0.248	1333.3	5333.3	1346.5
0.8	1.336	3.17	0.076	1373.5	5373.5	1377.6
0.9	1.385	3.52	0.022	1413.6	5413.6	1414.8
1	1.44	3.89	0.005	1453.8	5453.8	1454.1
1.1	1.502	4.26	0.001	1494.0	5494.0	1494.1
1.2	1.575	4.67	0.000	1534.2	5534.2	1534.2

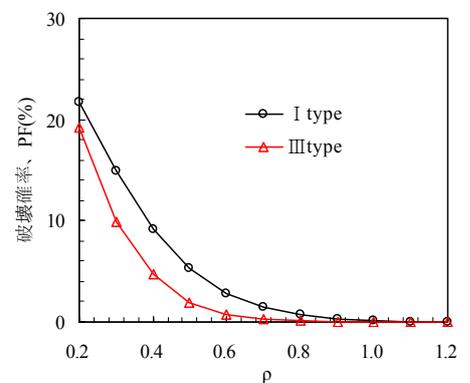


Fig.3 押え盛土幅と破壊確率の関係