

盛土の耐震安全性評価に関する一考察

金沢大学工学部 学生員○稲木美恵 正会員 北浦 勝, 池本敏和

1. まえがき

従来から盛土などの土構造物は地震に弱く、地震時において多大な被害を被ってきた。しかし、一部の土構造物を除いては、盛土や堤防などの土構造物は耐震設計を行なうことはほとんどない。その理由としては、1)他の土木構造物に比べ震災後の復旧が容易であり、また人命に対する危険性が小さいこと、2)静的安全率を適正に選べば結果的に地震時の外力にも耐え得ると考えられてきたことなどが挙げられる。しかし現在にあつては、河川の下流部に人口が集中し、堤防破壊による人命の危険が高まってきたこと、道路についても地震後の避難や救助活動など、道路としての機能が高まってきたことなどにより土構造物の耐震安全性が問題となってきた。そこで本研究では点推定法(PEM)を用いて強度、荷重のばらつきと不確定性を考慮した盛土の耐震安全性を解析し、これを考察する。

2. PEMについて(式の誘導)

盛土の破壊を円弧すべりと仮定する(図-1)。安全率 F_s は

$$F_s = \frac{\text{抵抗}(R)}{\text{荷重}(L)} = \left(\frac{\sum cl + \sum W(r) \cos \alpha \tan \phi}{\sum W(r) \sin \alpha + K_h \sum W(r) \cos \alpha} \right)$$

と表される。ここで抵抗(R)と荷重(L)の分布をNormal分布とすると、破壊確率 P_F は次式で表される。

$$P_F = \phi \left(\frac{\bar{R} - \bar{L}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}} \right)$$

ここで、 $\bar{R}$ 、 $\bar{L}$ と σ_R 、 σ_L はそれぞれ抵抗と荷重の平均値と標準偏差を表す。すなわち、PEMは、変数の確率密度関数を正確に規定することが困難であると思われるとき、平均値や標準偏差などのパラメータでその変数の確率統計的性質を代表させて構造物の安全性を評価しようとするものである。

もう少し具体的に記すと以下のようなものである。安全率 F_s は次の形で表される。

$$E(F_s^n) = \sum_{i=1}^k [p_i \times F_{si}^n]$$

このとき、 $E(F_s^n)$: F_s の第 n 次のモーメントの期待値、 F_{si} : F_s の i 番目の値、 p_i : F_{si} の重みの評価値、 k : ポイントの数もそれぞれ表す。次に、PEMの2点推定法を考える。盛土の破壊に関与する変数として、ここでは、粘着力 c 、まさつ角 ϕ 、単位体積重量 γ を考える。各々の分布はNormal分布であり、各々の平均値と標準偏差は既知であるとする。2点推定法においては、 c 、 ϕ 、 γ をそれぞれ変化させたときの8個の F_s の評価が必要である。すなわち

$$E(F_s^n) = \frac{1}{2^n} [F_s^{n+++} + F_s^{n++-} + \dots + F_s^{n---}]$$

このとき、 F_s^{n+++} 、 F_s^{n++-} などの表示は、パラメータの変動によって示される全ての場合の安全率を表している。従つて

$$F_s^{n+++} = F_s [\bar{c}(1 \pm V_c), \bar{\phi}(1 \pm V_\phi), \bar{\gamma}(1 \pm V_\gamma)]$$

となる。ここで、 $\bar{c}$ 、 $\bar{\phi}$ 、 $\bar{\gamma}$ と V_c 、 V_ϕ 、 V_γ はそれぞれ c 、 ϕ 、 γ の平均値と変動係数を表している。

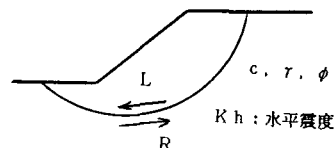


図-1 盛土の破壊

これらの各々によって得られた値から P_F を計算できる。また、どのパラメータが P_F に影響を及ぼすのか、あるいは、平均値や標準偏差自体がもつ確率分布がどのように P_F に影響を及ぼすかが考察できる。

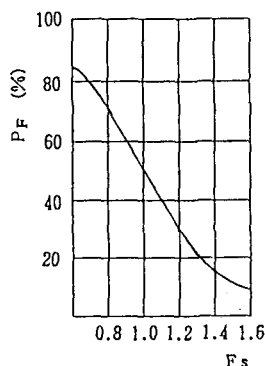
3. 盛土の P_F の計算

まず最初に P_F と F_s との関係を求める。そこで地盤、盛土部とも砂の場合と、粘土の場合とに分けて計算した。その結果を図-2(a), (b)に示す。なお、各々の土質定数は表-1に示す如くである。両図を比較して見ると砂より粘土の場合の方が $F_s > 1.0$ のとき、同じ安全率の値でも破壊確率が大きくなる。このことから言えるように、安全率法は安全性の大小

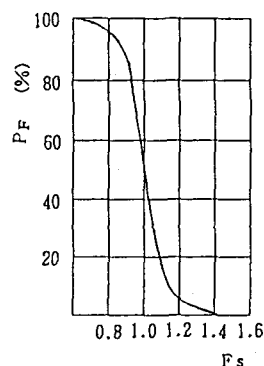
表-1 盛土、地盤の土質定数

	砂	粘土
盛土高	3.0	3.0
斜面幅	4.0	4.0
r	1.7	1.6
c	0.0	1.7
$\tan \phi$	0.52	0.0
水平震度	0.2	0.2

を表すことができないのに対して、PEMなどによる信頼性解析は安全性が量的に表され、比較が可能となる点に特徴がある。次に、パラメータの違いによる影響を考えてみる。計算例のうち、一例をあげると表-2(a), (b)のようになる。 V_c , V_r , V_ϕ は各々 c , r , $\tan \phi$ の変動係数を表す。砂、粘土ともに言えることだが、 r の変動が P_F に及ぼす影響は小さい。特に粘土は小さい。これに対して、 c , $\tan \phi$ の及ぼす影響は大きい。 c , $\tan \phi$ の及ぼす影響が大きい



(a) 粘土の場合



(b) 砂の場合

図-2 P_F と F_s の関係

表-2 パラメータの違いによる影響

		$P_F : (\%)$	
(a)		(b)	
$F_s = 1.30$ (砂地盤, 盛土) $V_r = 0.05 = \text{const}$		$F_s = 1.43$ (粘土地盤, 盛土) $V_r = 0.05 = \text{const}$	
V_ϕ	P_F	V_c	P_F
0.05	0.17	0.2	1.15
0.10	2.41	0.3	5.83
0.15	6.80	0.4	11.60
$V_\phi = 0.10 = \text{const}$		$V_c = 0.30 = \text{const}$	
V_r	P_F	V_r	P_F
0.03	1.86	0.03	5.74
0.05	2.41	0.05	5.83
0.07	3.21	0.07	5.97

表-3 不確実性が P_F に及ぼす影響

(a)			(b)		
	P_F	$P_F \text{ (PEM)}$		P_F	$P_F \text{ (PEM)}$
平均	0.031	0.074	平均	0.113	0.142
標準偏差	0.054	0.091	標準偏差	0.146	0.149

一般の土木構造物は P_F が小さくなるように設計されているので、ばらつきや不確実性の構造物に与える影響は重大であると思われる。このことから見ても、ばらつきや不確実性による影響は無視できないと思われる。また、本研究と従来の研究の比較対照や、地震動のばらつきや不確実性を考慮した効果についての影響は講演時に譲る。

参考文献: 1) 松尾稔・黒田勝彦: 不飽和土の土質諸係数と破壊確率に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第208号, pp. 65~75, 1972