

切土事例の信頼性解析

名古屋大学工学部 正 員 鈴木 壽
 名古屋大学工学部 学生員 永田 誠樹
 名古屋大学工学部 正 員 松尾 穂

1. はじめに これまでに、C-φ系土質材料からなる盛土斜面の信頼性設計手法を確立してきた。文献1)では、クーロンの破壊基準に従った破壊確率 P_f の定式化から、これを用いた信頼性設計結果と現行設計法(道路公団の設計基準)との比較を行なった。さらに、文献2)では、実際の土質調査からは非常に少量かつ少数個のデータしか得られないことから、統計的推測誤差の問題を取り上げ、サンプル個数をパラメータとした予測破壊確率 $\hat{P}_f$ の定式化を行ない、最適調査規模にも言及した。しかし、これらの問題はいずれも平坦地に盛土が建設されるという場合であつた。本報告では、上記の理論を自然斜面の切土問題にまで適用できるように拡張する。そして、最後に、切土による実際に地すべりが生じた事例を挙げて、この解析法から当初の設計案を再検討する。

2. 安全率と破壊確率の定式化 図-1は切土問題への適用を考慮した一般的な地山の断面形状を示している。 α は地山の勾配、 β は基盤の勾配、また H_0 は切土する前の地山の表面から基盤までの水平距離を示している。詳細な誘導を省略するが、最小安全率 G_{min} は結果的には盛土の場合と同様な次式となる。

$$G_{min} = \frac{2H(\phi^* + \phi_0^*) \sin \alpha \sin \alpha^*}{f(\alpha^*, \theta^*)} \frac{C}{H_0 + f(\alpha^*, \theta^*)} \tan \phi \quad \dots (1)$$

また、破壊確率 P_f も同様に次式で求められる。

$$P_f = \int_{-0.1}^{0.1} \frac{1}{(0.1) - (-0.1)} \left(\int_{-\infty}^{1-G} \frac{1}{\sqrt{2\pi} G} \exp\left(-\frac{G^2}{2\sigma_G^2}\right) dG \right) dG \quad \dots (2)$$

ここに、 $\bar{G}$ は式(1)で、 $C = \bar{C}$ 、 $\tan \phi = \bar{\tan \phi}$ とした中央安全率であり、 G は確率変数である G の共分散を表わしている。

3. 損失関数 地盤の状態 θ とそのもとでの設計代替案を a とした場合の最適決定基準は、一般に次式で書ける。

$$L(\theta, a_{opt}) = \min_a L(\theta, a) = \min_a [C_e \{1 - P_f(\theta, a)\} + C_f P_f(\theta, a)] \quad \dots (3)$$

上式の $L(\theta, a)$ は損失関数、 C_e 、 C_f はそれぞれ初期建設費、破壊損失費、また a_{opt} は最適設計案を意味している。 $\min_a L(\theta, a)$ とは、損失関数 $L(\theta, a)$ を最小化することであり、 θ と a とき a 代替案が a_{opt} として選ばれるのである。なお、 $P_f(\theta, a)$ は地盤状態 θ と a と

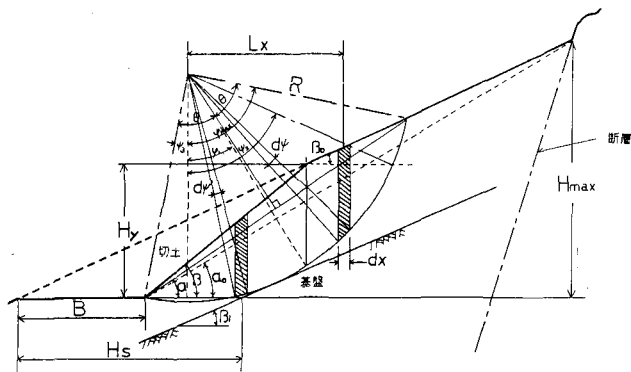


図-1 不飽和土地山の幾何学的形状と諸元

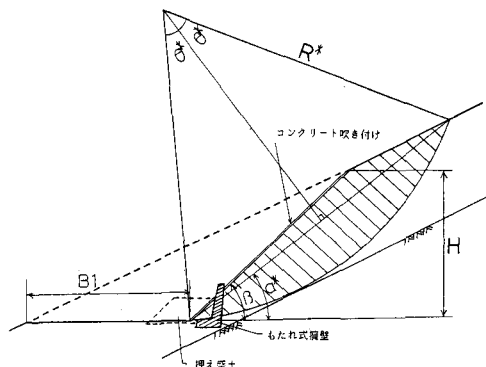


図-2 切土の損失関数における諸元

いう代替案を設定した場合の破壊確率を示している。

4. 切土の事例解析 図-3は道路公団が中央自動車道を建設した諏訪地区における設計断面を示している。図に示すように、現場は切土前α地山の平均勾配β₀が25°であり、その表面下数mにわたり崩積土が堆積している。その下層は比較的硬い岩盤上に風化凝灰岩が存在している。この岩盤の平均勾配は約2°である。高速道路が建設された標高から31.2m上方の地表面から下方に断層が存在しており、本解析では、すべり円弧がこの断層より上方に広がらないとし、かつ、すべり円弧は基盤に接するものとする。同図中の表の下部に土質係数を示している。次に、この現場の施工経緯を簡単に説明する。図-3の表にも示すように、当初実施された切土は4つの小段を有する高さ26m(切土勾配41.1°)にも及ぶものであったが、施工直後すべり兆候が現れたので、図中の点線で示すような幅9.0m、高さ3.2mの押え盛土が対策工法として実施された。損失関数は式(3)を用いるが、図-2を参照して具体的なC_c、C_fを書けば次式となる。

$$C_c = (B_1 + H/\tan\beta) C_a + 0.5 B H C_b + (H/\sin\beta) C_{sk} \quad \text{--- (4)}$$

$$C_f = \{ H R^2 \sin\theta^* \sin(\beta - \alpha^*) / \sin\beta + (R^2) (\theta^* - \sin\theta^* \cos\theta^*) \} C_b' + A_n C_n + A_o C_o + (H/\sin\beta) C_{sk} \quad \text{--- (5)}$$

ここに、C_a、C_b、C_{sk}はそれぞれ、用地費、土工費、コンクリート吹き付け費であり、C_b'、C_nはそれぞれ崩壊土補修費、擁壁の単位面積当りの費用である。また、A_oC_oは押え盛土の施工費である。表1は当初実施された切土に対して信頼性設計で再検討を行なった結果である。表αNo.1,2はA_c、A_{tanφ}

当初実施された切土	切土高さ	26 m
	切土勾配	41.1°
押え盛土(対策工法)	高さ	3.2 m
	幅	9.0 m
土質係数	C = 50 kN/m ² φ = 25° γ = 15 kN/m ³	

自己相関関数 $r(r) = \exp(-1.0 k z)$

(自己相関関数の係数)を1.0とし、No.3,4は0.0としている。さらにNo.1,3は、ばらつきが小さい場合、No.2,4はばらつきが大きい場合である。表から、最適切土勾配は、37.7°~38.4°となっており、当初実施された切土勾配41.1°よりわずかにゆるい勾配が最適案として選出された。表-2は対策工法である押え盛土の規模と同様の手法で再検討した結果である。図-3からわかるように、高速道路幅員部が隣接しているため、その幅は、9.0mにせざるを得ないので、最適押え盛土高さH_{opt}を決定する問題

としている。表からH_{opt}=2.0~2.8mとなっており、現在建設されている押え盛土よりやや低い高さとなっている。参考文献) 松尾、鈴木、永田 不飽和土斜面の信頼性設計 第4回土質工学研究発表会講演集 1984
2) 鈴木、永田、松尾 不飽和土斜面の信頼性設計における最適土質調査規模 1984

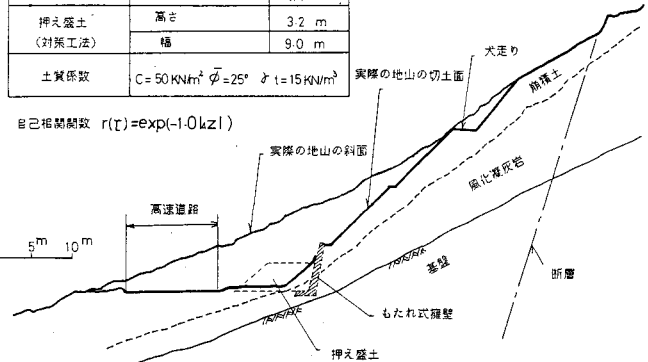


図-3 中央自動車道諏訪地区の設計条件

表-1 信頼性設計による切土の再検討

NO.	V _c	V _{tanφ}	A _c	A _{tanφ}	H _{opt.} (m)	β _{opt.} (°)	G _{opt.}	P _{opt.} (%)	C _{opt.} (千円)
1	0.2	0.05	1.0	1.0	28.0	39.4	1.233	0.88	920.0
2	0.4	0.10	1.0	1.0	29.0	38.7	1.377	2.38	975.9
3	0.2	0.05	0.0	0.0	29.0	38.7	1.377	2.58	978.4
4	0.4	0.10	0.0	0.0	30.5	37.7	1.702	5.87	1074.2

H_{opt}: 最適切土高さ β_{opt}: 最適切土勾配

表-2 信頼性設計による押え盛土の再検討

NO.	V _c	V _{tanφ}	A _c	A _{tanφ}	H' _{opt.} (m)	G _{opt.}	P _{opt.} (%)	C _{opt.} (千円)
1	0.2	0.05	1.0	1.0	2.6	1.111	8.494	1265.5
2	0.4	0.10	1.0	1.0	2.8	1.111	19.47	1719.2
3	0.2	0.05	0.0	0.0	2.8	1.111	20.06	1743.6
4	0.4	0.10	0.0	0.0	2.0	1.110	32.65	2257.8

H'_{opt}: 最適押え盛土高さ