

宮小枝 尚 正 眞 澤田 知之
北海道大学 正 眞 能町 純 雄
Purdue 大学 W. F. Chen

1 まえがき

斜面の安定における研究は静的安定解析における安定係数の評価を始め多くの実験的、解析的研究が発表されており、Stripload や Surcharge 下の解析も行なわれている。一方、地震時等における地盤の急激な動きは大きな慣性力を伴いこの影響を受けて斜面の安定は著しく減少されるものと考えられる。本論はこの地震時等の慣性力が作用する際の斜面を取り上げ *limit analysis* 法による *upper bound technique* により、上部斜面角 (α) 及び Surcharge (P) を考慮した斜面の局部破壊における限界加速度係数 (K_a) を評価しようとするものである。破壊形式は、すべり面を平面すべり面と対数螺旋すべり面を仮定し、土は完全塑性体として考える Coulomb の降伏条件による *flow rule* によって変形するもの¹⁾とし斜面先崩壊を想定している。本報告は、Generalized Reduced Gradient 法²⁾による最適化された 2, 3 の結果を得たので報告するものである。

2 平面すべり面破壊機構

図-1 に示す様に領域 A12 は、高さ H を持つ斜面先 A を通り、剛体として速度 V ですべり面 A2 に沿ってすべる。この時の破壊すべり面は、 θ , L を媒介変数として示され各々土の質量、慣性力、載荷重及び土の粘着力による外力と内力による仕事率 (rate of work) と内部エネルギー消散を考えたのつり合いを取ることにより、限界加速度係数 (K_a) は次の様に示される。

$$K_a = \frac{\frac{C \cdot \cos \phi \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin(\beta - \theta) \cdot \cos(\theta - \phi)} - p \tan(\theta - \phi) - \frac{\delta H \sin(\beta - \alpha)}{2 \sin \beta} \tan(\theta - \phi)}{\frac{1}{2} \delta H \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} + P \cdot X} \quad (1)$$

ここで

$$L = \frac{H \cdot \sin(\beta - \theta)}{\sin \beta \sin(\theta - \alpha)} \quad (2) \quad C: \text{土の粘着力 (kg/cm)} \quad \delta: \text{土の単位重量 (g/cm)} \quad P: \text{載荷重 (kg/d)} \quad \alpha: \text{上部斜面角} \quad \phi: \text{土の内部摩擦角} \quad \beta: \text{下部斜面角}$$

ϕ : 土の内部摩擦角

β : 下部斜面角

V : 土のすべり部分の任意点における速度 $\times L$

X : 載荷重による慣性力増加率

よって (1) (2) より (3) を満足する θ の時の最小の限界加速度係数 (K_a) の上限値を求め得る。

$$\frac{\partial K_a}{\partial \theta} = 0 \quad (3)$$

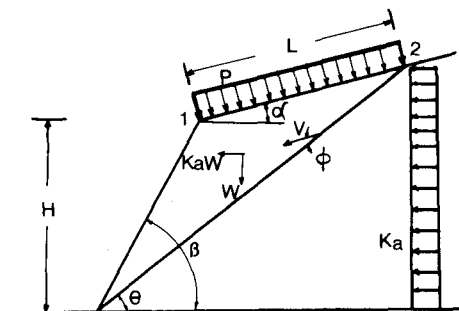


Fig.-1

Translational Local Slope Failure Mechanism

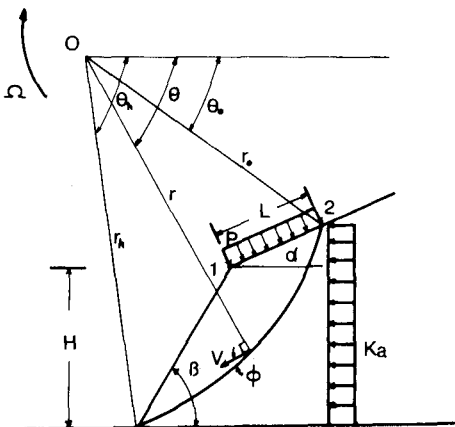


Fig.-2

Rotational Local Slope Failure Mechanism

3 対数螺旋すべり面前縁模様

次に図-2は回転中心Oに対して回転速度 Ω であり、 H 、 θ_0 及び θ_h を示されるすべり面である。ここで幾何学的関係より H/ρ_0 、 L/ρ_0 は (4) (5) で示される。

$$H/\rho_0 = \frac{\sin\beta}{\sin(\beta-\alpha)} \{ \sin(\theta_h+\alpha) \cdot \exp[(\theta_h-\theta_0)\tan\phi] - \sin(\theta_0+\alpha) \} \quad (4)$$

$$L/\rho_0 = \frac{\sin(\theta_h-\theta_0)}{\sin(\theta_h+\alpha)} - \frac{\sin(\theta_h+\beta)}{\sin(\theta_h+\alpha)\sin(\beta-\alpha)} \{ \exp[(\theta_h-\theta_0)\tan\phi] \cdot \sin(\theta_h+\alpha) - \sin(\theta_0+\alpha) \} \quad (5)$$

又、前述と同様にすべり面に沿った内部エネルギー($\dot{W}_i$)と各々の領域における土の質量、慣性力及び載荷重の外力による仕事率($\dot{Y}_1 \sim \dot{Y}_6, \dot{W}_p$)を取りつり合いを取ると次の様に示される。

$$\dot{W}_i = (\dot{Y}_1 - \dot{Y}_2 - \dot{Y}_3) + (\dot{Y}_4 - \dot{Y}_5 - \dot{Y}_6) + \dot{W}_p \quad (6)$$

ここで、 $\dot{W}_i, \dot{Y}_1 \sim \dot{Y}_6, \dot{W}_p$ は θ_0, θ_h の関数で示され次の如く表わされる。

$$K_a = \frac{C \cdot f_c - \gamma \cdot f_0 (f_1 - f_2 - f_3) - P F_p}{\gamma f_0 (f_4 - f_5 - f_6) + X P F_q} \quad (7)$$

$$f_c(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{2 \tan\phi} \{ e^{2(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} - 1 \}$$

$$f_1(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{3(1+q \tan\phi)} \{ e^{3(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} \cdot (3 \tan\phi \cos\theta_h + \sin\theta_h) - 3 \tan\phi \cos\theta_0 - \sin\theta_0 \}$$

$$f_2(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{\tan\phi} (2 \cos\theta_0 - \frac{1}{\tan\phi} \cos\alpha) \sin(\theta_0+\alpha)$$

$$f_3(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{6} e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} \cdot \{ \sin(\theta_h-\theta_0) - \frac{1}{\tan\phi} \sin(\theta_h+\alpha) \} \{ \cos\theta_0 - \frac{1}{\tan\phi} \cos\alpha + \cos\theta_h e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} \}$$

$$f_4(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{3(1+q \tan\phi)} \{ (3 \tan\phi \sin\theta_h - \cos\theta_h) e^{3(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} - 3 \tan\phi \sin\theta_0 + \cos\theta_0 \}$$

$$f_5(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{6} \{ 2 \frac{1}{\tan\phi} \sin\theta_0 + (\frac{1}{\tan\phi})^2 \sin\alpha \} \sin(\theta_0+\alpha)$$

$$f_6(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{6} e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} \cdot \{ \sin(\theta_h-\theta_0) - \frac{1}{\tan\phi} \sin(\theta_h+\alpha) \} \{ e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\phi} \cdot \sin\theta_h + \sin\theta_0 + \frac{1}{\tan\phi} \sin\alpha \}$$

$$F_p(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{6} \cos\alpha (\cos\theta_0 - \frac{1}{\tan\phi} \cos\alpha)$$

$$F_q(\theta_0, \theta_h) = \frac{1}{6} (\sin\theta_0 + \frac{1}{\tan\phi} \sin\alpha)$$

よって (8) を解くことにより θ_0, θ_h の最適値を得 (7) により、

最小の限界加速度係数 K_a の上限を知り得る。

$$\frac{\partial K_a}{\partial \theta_0} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial K_a}{\partial \theta_h} = 0 \quad (8)$$

4 数値計算例及び考察

図-3は各々平面と対数螺旋すべり面に対する K_a の比を縦軸に、上部斜面角 α を横軸に取って下部斜面角 β の違いによってグラフに取ったものですべて 1.0 より小さく対数螺旋すべり面前縁が支配していることを示す。又 α が大きくなると比が小さくなりすべりが起きやすい方向に進むことを示す。

表-1 は載荷重 P 及び XK を考慮した場合の平面すべりと対数螺旋すべりの場合の α による K_a の変化を求めたものである。又 $\alpha = 0$ 、

$XK=0$ とした時の K_a を用いて分割法(Janbu法)による limit equilibrium

法により、安全係数 (factor of Safety) を求めると ($\beta=60^\circ, 75^\circ$) は 1.2~1.0 に近

い値を示し妥当と考えられる。数%の相違は円弧すべり面として仮定し解法

故と考えられる。(表-2) *参考文献

- 1) W.F.Chen "Limit Analysis and Soil Plasticity". Scientific Publishing Co., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1975
- 2) W.F.Chen "On the Limit Analysis of Stability of Slopes" Soils and Foundations, JSSME Vol.9 No.4 1969 p.23~32
- 3) W.F.Chen "Plasticity in Soil Mechanics and Landslides" ASCE Vol.106 No.EM3 June 1980 p.443~464
- 4) Kusakabe, Kikuta, Iwasaki "Bearing Capacity of Slope under Strip Load on the Top Surface" JSSME Vol.21 No.4 Dec. 1981
- 5) R.A. Siegel "STABLE User Manual" Joint Highway Research Project, JHRP-75-9, Purdue University 1975.

Fig.-3

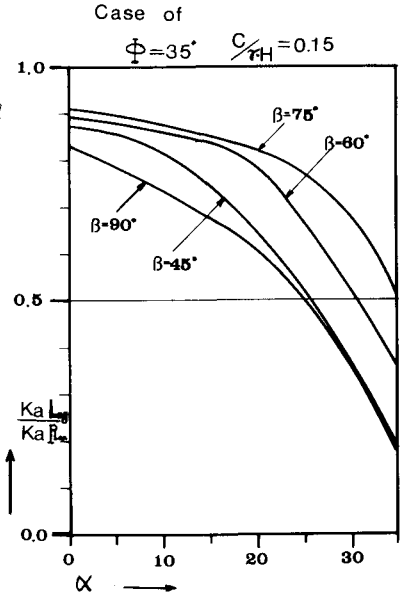


Table - 1

上部斜面角 α	P=0.0 xk=0.0		P=0.06 kg/cm ² xk=0.5	
	Plane	Log.	Plane	Log.
0	0.560	0.516	0.552	0.506
5	0.560	0.508	0.552	0.499
10	0.560	0.499	0.551	0.490
15	0.560	0.487	0.550	0.477
20	0.560	0.482	0.549	0.461
25	0.560	0.444	0.548	0.436
30	0.560	0.336	0.546	0.335
35	0.564	0.255	0.546	0.255
40	0.614	0.177	0.577	0.176

Table - 2

β	60°	75°
ka	0.516	0.333
F.S	0.933	1.005

$\phi=40^\circ$
 $P=0.0$
 $XK=0.0$
 $\alpha=0.0$