

I-20 斜面安定解析における地震時加速度係数の評価について

室 蘭 工 業 大 学 学 生 員 相 田 俊 次
 苫小牧工業高等専門学校 正 員 澤 田 知 之
 室 蘭 工 業 大 学 正 員 松 岡 健 一
 北 海 道 大 学 正 員 能 町 純 雄

1. まえがき

現在広く用いられている斜面の安定解析は、常時、地震時を問わず、概してすべりに対するモーメント、あるいは力の均合により安全率を考えるという点で共通している。しかし、本研究においては、極限解析の上限界法を用い、土塊の運動による仕事率とすべり面の粘着抵抗が等しいとして、限界水平加速度係数を求めようとするものである。この限界加速度係数は多変数の関数として表され、これを制約条件付き最適化問題として扱った。

今回は、斜面の形（斜面角、上部斜面角）、土の性質、および上載荷重が限界加速度に与える影響について報告する。

本報告において、崩壊形式は対数に旋すべり面を仮定した。また、土は均質、等方性の完全塑性体であり、クーロンの破壊規準に従うものとする。

2. 解析概要

2.1 斜面先破壊の場合

図-1に示す斜面において、すべり土塊（ABC）の自重、および慣性力による、回転中心Oに関する仕事率をそれぞれ $\dot{W}$ 、 $\dot{W}'$ とする。

$\dot{W}$ 、 $\dot{W}'$ は、OBCOの、点Oに関する仕事率から ΔOAB 、 ΔOAC によるものを差し引くことにより得られ、次のような形で表される。

$$\dot{W} = \gamma \Omega r_0^3 f_1(\theta_0, \theta_h) \quad (1)$$

$$\dot{W}' = \gamma \Omega r_0^3 f_2(\theta_0, \theta_h) \quad (2)$$

ここに、 γ は土の単位体積重量であり、 Ω はO点回りのすべり回転角速度である。

また、同様に載荷重 p 、およびその慣性力

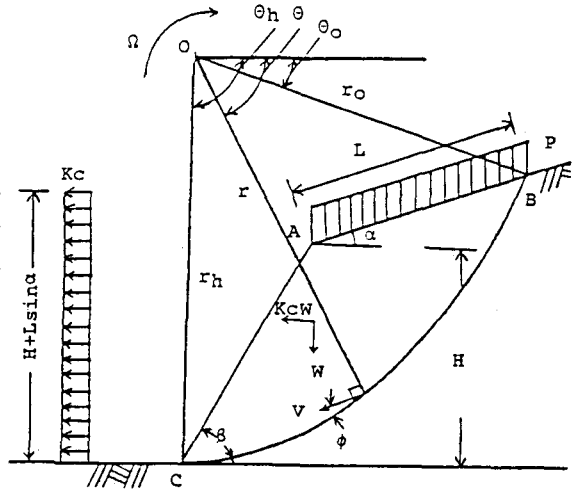


図-1 上部斜面角 α を有する斜面の斜面先破壊

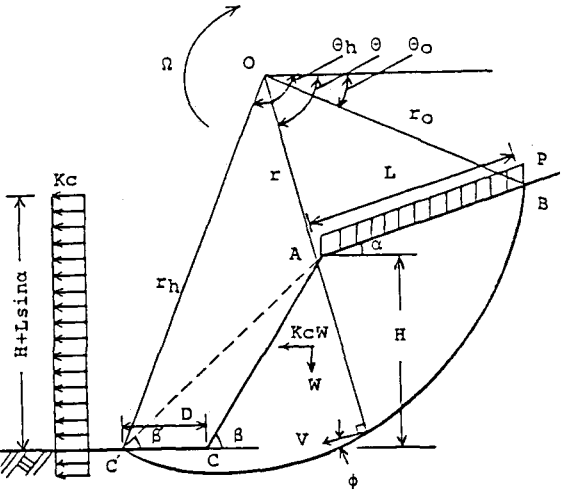


図-2 上部斜面角 α を有する斜面の底部破壊

xKp による仕事率は、それぞれ $\dot{W}_s$ 、 $\dot{W}'_s$ とすると

$$\dot{W}_s = pr_0^3 \Omega f_3(\theta_0, \theta_h) \quad (3)$$

$$\dot{W}'_s = xKp f_4(\theta_0, \theta_h) \quad (4)$$

ここに、 p は等分布上載荷重強度であり、 x は p に対する水平加速度係数 K の低減率である。

一方、すべり面 AB に沿った内部消散エネルギーは次のようになる。

$$\begin{aligned}\dot{E} &= \int_{\theta_0}^{\theta_h} (r d\theta / \cos \phi) \cdot V \cdot \cos \phi \cdot c \\ &= c r_0^2 \Omega f_5 (\theta_0, \theta_h) \quad (5)\end{aligned}$$

以上により、すべり土塊の回転中心回りに生じる、自重、慣性力および載荷重による仕事率 (1)～(4) 式の和) と、すべり抵抗とも言うべき内部消散エネルギー (5) 式) が等しいと置くことにより水平加速度係数 K は (6) 式のように表される。

$$\begin{aligned}K &= F(\theta_0, \theta_h) \\ &= \frac{c f_5 - \gamma r_0 f_1 - p f_3}{\gamma r_0 f_2 + x p f_4} \quad (6)\end{aligned}$$

このように K は θ_0, θ_h の二変数の関数であるから、次の条件を満たすときに最小値をとり得る。

$$\frac{\partial F}{\partial \theta_0} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial F}{\partial \theta_h} = 0 \quad (7)$$

故に限界水平加速度係数 K_c は次式に示すように、最小の上限界値として表される。

$$K_c = \min. F(\theta_0, \theta_h) \quad (8)$$

2.2 底部破壊の場合

上記同様の考え方で、図-2 のすべり破壊モデルに関してもすべり土塊 ($ABC'CA$) の自重、慣性力による O 点回りの仕事率、および載荷重とその慣性力によるものとの総和が、すべり面に沿って生じる粘着抵抗に等しいと置くことにより水平加速度係数 K は次の様に $\theta_0, \theta_h, \beta'$ の三変数の関数として表される。

$$\begin{aligned}K &= G(\theta_0, \theta_h, \beta') \\ &= \frac{c Y_5 - \gamma r_0 Y_1 - p Y_3}{\gamma r_0 Y_2 + x p Y_4} \quad (9)\end{aligned}$$

ここで、 Y_1, Y_2 の項はすべり土塊の自重、慣性力により O 点の回りなされる仕事率であり、 Y_3, Y_4 の項は載荷重とその慣性力による仕事

率である。 Y_5 の項はすべり面に沿った内部消散エネルギーである。

K は (10) の条件を満たすとき最小値をとることができ、最小の上限界値 K_c は (11) によって示される。

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial \theta_0} &= 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial G}{\partial \theta_h} = 0 \\ \text{and} \quad \frac{\partial G}{\partial \beta'} &= 0 \quad (10)\end{aligned}$$

$$K_c = \min. G(\theta_0, \theta_h, \beta') \quad (11)$$

3. 数値計算例 および考察

以上の解析方法により、次に幾つかの数値計算結果を示す。

数値計算においては、非線形最適化問題として取りあげ、SUMT変換を行った後、B.F.G.S 手法により解析を進めている。

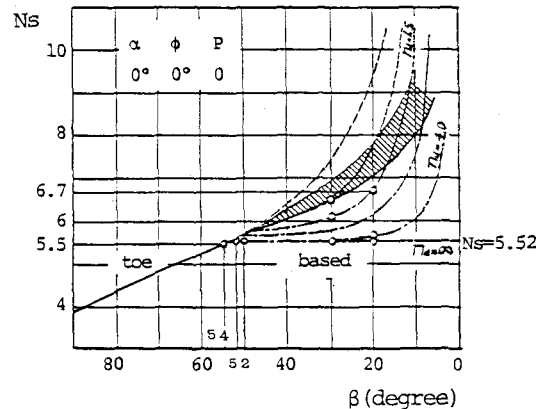


図-3 $K = 0$ の時の Taylor の図との比較 (○印：本解析値)

図-3 は Terzaghi (1948) の安定係数と β の関係図における本解析の妥当性を示すための計算結果である。

本解析法において $K = 0$ つまり静的解析における安全率 1 なる所を算定したもので (○印) よく一致する。

図-4.1～4.3 は L/H と K_c の関係を示している。これにより、本例の場合は底部破壊が支

配的である。また、 L/H が 10 以内で最適値を求めることが、様々な傾向を調べる上で有効であろうと考えられる。

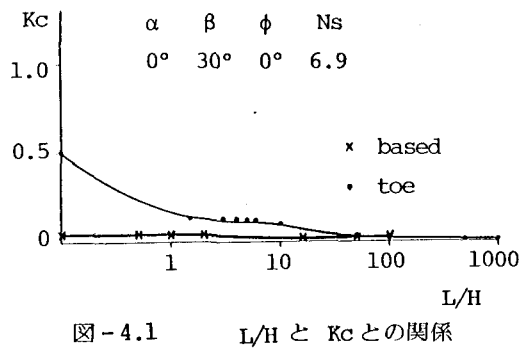


図-4.1 L/H と K_c との関係

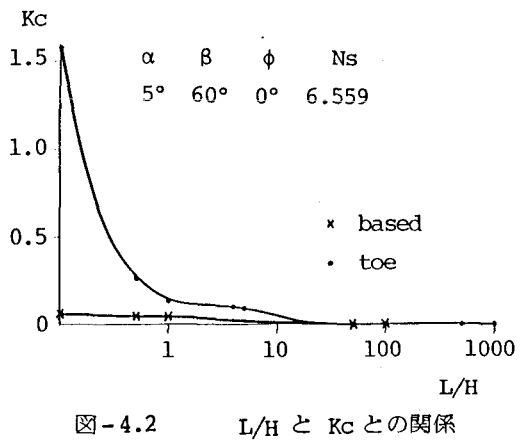


図-4.2 L/H と K_c との関係

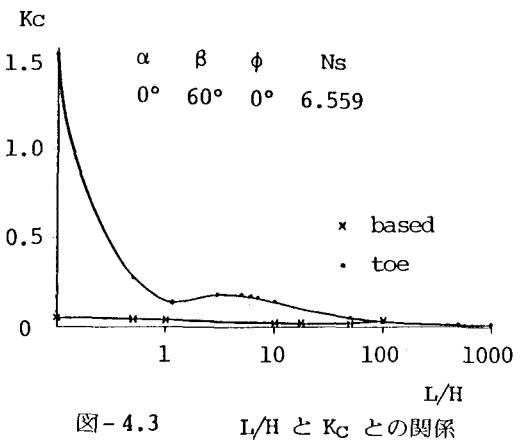


図-4.3 L/H と K_c との関係

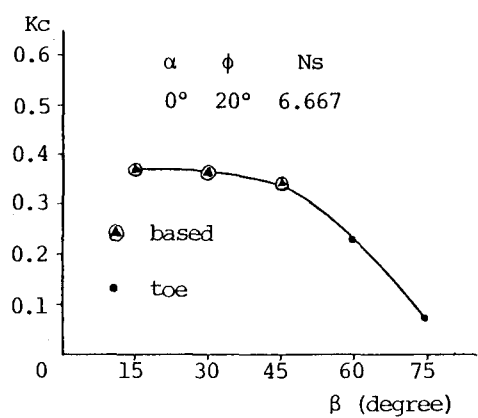


図-5.1 斜面角 (β) の影響

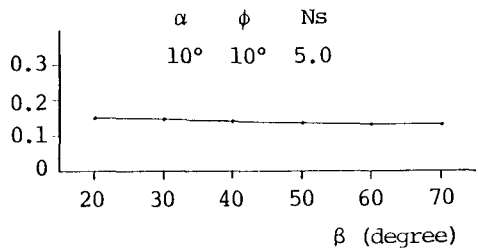


図-5.2 斜面角 (β) の影響

図-5.1, 5.2 は斜面角 β の影響を示したもので、いずれも斜面角が大なる程不安定になることを示しており妥当な結果といえる。また、両者を比べると安定係数 N_s の違いにより斜面角 β の影響がかなり異なるようである。

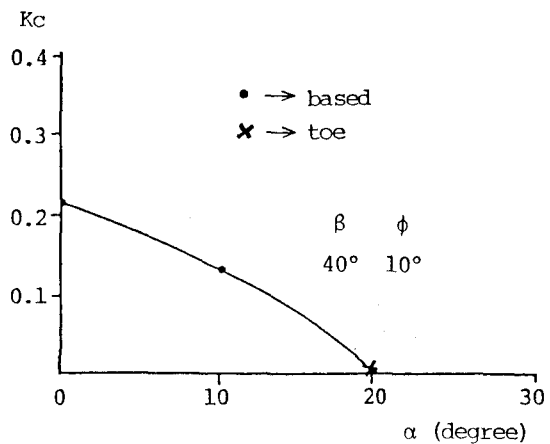


図-6 上部斜面角 (α) の影響

図-6 に上部斜面角 α の影響についてその一例を示す。 α が大なる程不安定になる傾向を示している。

図-7は内部摩擦角 ϕ の影響を表しており ϕ が大なる程斜面は安定となることを示している。

表-1, 表-2 においては、上載荷重、およびその慣性力の影響を示した。 いずれも、載荷重が大なる程、又、その慣性力を考慮する程斜面は不安定となること示している。

以上の結果より、斜面の限界加速度係数の評価に対し極限解析の上限界法は有効な方法であると言えよう。

また、不均質，異方性土からなる斜面の場合や、限界水平加速度を越えたときの斜面の変位問題等については今後の課題である。

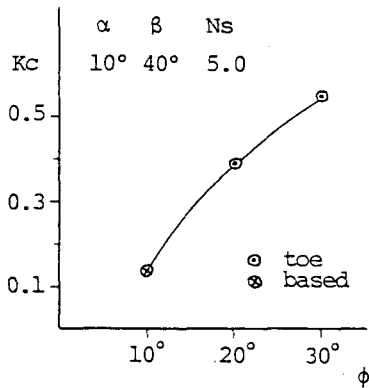


図-7 ϕ による影響

表-1 載荷重P の影響

t/m^2	$P=0.25$	$P=0.5$	$P=1.0$
	$X=1.0$	$X=1.0$	$X=1.0$
based	0.137	0.134	0.129
toe	0.152	0.149	0.143

表-2 載荷重P の慣性力の影響

t/m^2	$P=1.0$	$P=1.0$	$P=1.0$	$P=1.0$	$P=1.0$
	$X=0$	$X=0.25$	$X=0.5$	$X=0.75$	$X=1.0$
based	0.140	0.134	0.132	0.130	0.129
toe	0.150	0.148	0.146	0.144	0.143

参考文献

- 1) Chen,W.F, "Limit Analysis of Stability of Slops",Journal of the Soil Mechanism and Fsundation Division, ASCE,Vol.97, No. SM1, January, 1971, pp.19-26
- 2) 澤田,能町,Chen"Limit Analysis 法による地震時の慣性力を考慮した斜面の安定解析について"
第37回年次学術講演概要集 Ⅲ-135
- 3) 土質工ハンドブック ,1973, pp.195-221
- 4) Chen,澤田 , "Seismic Stability of Slopes in Nonhomogeneous,An-isotropic Soils " Structural Engineering Technical Report CE-STR82-25, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, In 1982