

III-77 地震時斜面のすべり崩壊における変位量の一算定法

苫小牧工業高等専門学校 正員 澤田知之
 日本大学 生産工学部 正員 能町純雄

1. まえがき

著者等は、斜面が地震等の慣性力を受ける時の耐震限界やそれを越える地動が斜面に入力された際に生ずるすべり移動量を理論・模型実験において求め発表を行ってきたが、¹⁾²⁾本報告ではその Newmark法より求められた値を検証する意味で、地動が調和関数である正弦波の重ね合わせとする見地から斜面の耐震限界地震加速度をこの正弦波とする地震動加速度が越える分で生じる1波分のすべり変位量を算定する式を誘導し、従来の理論解析値との比較を行ってその有用性を検討しようとするものである。

2. 正弦波を受ける斜面のすべり変位計算式

今、斜面に入力される地動を正弦波とすると、図-1に示す解析モデル斜面のすべり角加速度 θ は次の(1)式で表わされる。

$$\ddot{\theta} = (K_i^* \sin \omega t - K_c) \cdot C_0 \quad (1)$$

- ここで、 K_c : 斜面の限界地震加速度係数
- K_i^* : 斜面に入力される地震の加速度係数
- $C_0 = g \cdot \{ \gamma r_0^3 (f_1 - f_2 - f_3) \} / (W \cdot l^2)$
- ω : 円振動数 (1/sec)
- g : 重力加速度 (9.8 m/sec²)
- r_0 : 回転中心Oとすべり端との距離 (m)

$$M = \frac{W_3}{g} \cdot \ddot{\theta} l^2 \quad (2)$$

$$l = \sqrt{[\gamma r_0^3 (f_1 - f_2 - f_3)]^2 + [\gamma r_0^3 (f_4 - f_5 - f_6)]^2} / W_3 \quad (3)$$

ここで、上記式中、 $f_1 \sim f_3$ 及び W_3 は以下のように表わされる。又、 L は崩壊長 (m) である。(図-2 参照)

$$f_1 = \frac{1}{3(1+9 \tan^2 \phi)} \{ (3 \tan \phi \sin \theta_h - \cos \theta_h) \cdot \text{Exp}[3(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] - 3 \tan \phi \sin \theta_0 + \cos \theta_0 \}$$

$$f_2 = \frac{L}{6r_0} \cdot 2 \sin \theta_0 \cos \theta_0$$

$$f_3 = \frac{1}{6} \{ \sin(\theta_h - \theta_0) - \frac{L}{r_0} \sin \theta_h \} \cdot \text{Exp}[(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] \cdot \{ \sin \theta_0 + \sin \theta_h \cdot \text{Exp}[(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] \}$$

$$W_3 = \frac{\gamma r_0^3}{2} \left\{ \frac{\text{Exp}[2(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] - 1}{2 \tan \phi} - \frac{L}{r_0} \sin \theta_0 - \sin(\theta_h - \theta_0) - \frac{L}{r_0} \sin \theta_h \cdot \text{Exp}[(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] \right\}$$

また、 $f_4 \sim f_6$ も $f_1 \sim f_3$ と同様に θ_0 、 θ_h の関数として示される。

次に $\frac{K_c}{K_i^*} = \mu$ とおき、斜面のすべりが始まる時を $t = t_0$ とすると $\ddot{\theta} = 0$ より

$$\sin \omega t_0 = \frac{K_c}{K_i^*} = \mu \quad \therefore \omega t_0 = \sin^{-1} \mu = \tau_0 \quad (4)$$

故に、(1) 式を積分することにより斜面のすべり角速度は $\tau = \tau_0$ で速度が0であることから次のように示される。

$$\dot{\theta} = \frac{1}{\omega} [K_i^* (\cos \tau_0 - \cos \tau) + K_c (\tau_0 - \tau)] \quad (5)$$

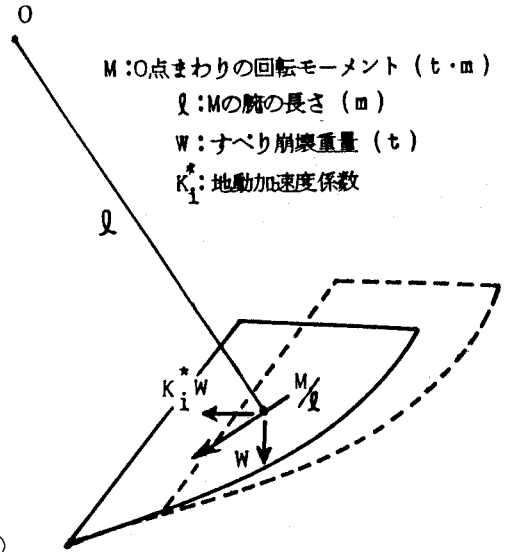


図-1 斜面のすべりモデル

よって、すべり始めて次に速度が零($\dot{\theta}=0$)となる点は(5)式から次のように与えられる。

$$\cos r_0 - \cos r + \mu(r_0 - r) = 0$$

$$\therefore -\mu r + (\sqrt{1-\mu^2} + \mu \sin^{-1} \mu) = \cos r \quad (6)$$

すべり角変位 θ は(5)式をさらに積分することにより次のように示される。

$$\theta = \frac{1}{\omega^2} [(K_r^* \cos r_0 + K_c r_0) \cdot \omega t - K_r^* \sin r - K_c \frac{\omega^2 t^2}{2}] + C_1 \quad (7)$$

初期条件 $t = t_0$ ですべり角変位 $\theta = 0$ を満足するように C_1 を定め、 $\omega = 2\pi n$, n : 振動数, $\mu = \sin \omega t_0 = \sin \tau_0$ の関係を入れて整理すると次のように示すことができる。

$$\theta_1 = \frac{K_r^* \mu}{4\pi^2 n^2} \left[1 - \frac{\sin r_1}{\mu} + (r_1 - r_0) \cdot \left\{ \cos r_0 - \frac{(r_1 - r_0)}{2} \right\} \right] \quad (8)$$

よって、同様に θ_2, θ_3 を求め得る。

3. 数値計算例

今、計算例として、最大地震加速度係数 $K_i = 0.5$ および $n = 1\text{Hz}$ の正弦波が図-2に示すような斜面(崩壊)モデルに与えられた場合の結果を以下に示す。式(4)より

$$\mu = 0.526 \quad (a) \quad \tau_0 = 0.554 \quad (b)$$

一方、 τ_1 は(6)式と図-3から次のように求め得る。

$$\tau_1 = 3.745 \quad (c)$$

故に、上記(a), (b), (c)と(8)式より、すべり角変位 θ_1 が求められる。これをNewmarkの力積変位理論からの解析結果の比較を表-1に示す。両者はよく一致しており、このことより地震時における斜面のすべり移動量はその斜面の限界地震加速度を知ることによって簡便にその目安を計算することが可能となる。尚、その他の結果は当日発表予定である。

表-1 正弦波1波のすべり角変位の比較

本解析法	Newmark法
$\theta_1 = 2.90 \times 10^{-3} \text{rad}$	$\theta_1 = 2.89 \times 10^{-3} \text{rad}$

参考文献

- 1) 澤田・能町・木田: 慣性力を受ける斜面の安定性に関する模型実験, 土木学会第44回年次学術講演会, III-234, 1989.
- 2) 澤田・能町・木田: 地震時を考慮した斜面のすべり変位とすべり速度に関する模型実験, 土木学会第45回年次学術講演会, III-319, 1990

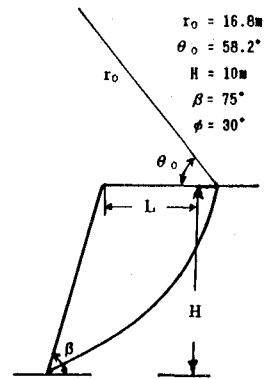


図-2 斜面崩壊モデル

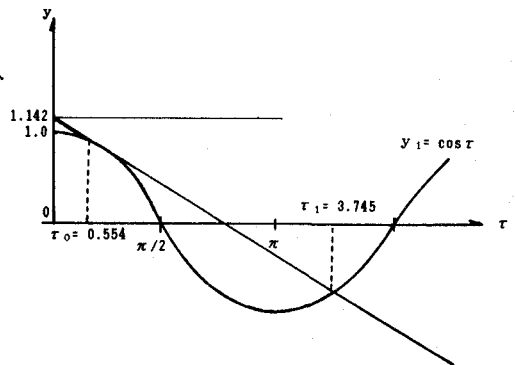


図-3 τ_0, τ_1 の求め方