

正弦波地動を受ける斜面のすべり移動量に対する一考察

澤 田 知 之*・能 町 純 雄**

A Note on Displacement of Slope Accepted Seismic Sine - Wave

Tomoyuki SAWADA and Sumio G. NŌMACHI

要 旨

斜面がその耐震限界を越えてすべり移動を始める時、その崩壊過程における移動変位の計算の目安として、調和関数である正弦波の地動が斜面の耐震限界加速度を越えて入力された時の地動1波分のすべり量を計算する式を誘導し、その計算例を示して有用性を検討するものである。

Abstract

The slope displacement of the failure section depends on the effect of an seismic sine-wave acting on the slope. Comparing between this analysis result and Newmark's one, there is good tendency with each other.

1. ま え が き

前回報告したように¹⁾地震力が斜面の耐震限界を越える時に生ずるすべり移動量が計算できるが、本稿はその Newmark 法²⁾より計算し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限界地震加速度をこの正弦波の地動加速度が越える分で生じる1波分の変位量を計算する式を誘導し、解析計算プログラムの妥当性も検討しようとするものである。

2. 正弦波地動を受ける斜面変位の計算式

今、地動を正弦波とすると図-1に示す、すべりモデル斜面の角加速度 $\ddot{\theta}$ は次の(1)のように表わされる。なお図中の M, l, W は各々(2), (3)及び(4)式で示される。

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

ここで

K_c : 斜面の限界地震加速度係数

K_t^* : 斜面に与えら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(9.8m/sec²)

r_0 : 回転中心 O とすべり端との距離(m)(図-2参照)

* 助教授 土木工学科

** 教授 日本大学生産工学部 土木工学科

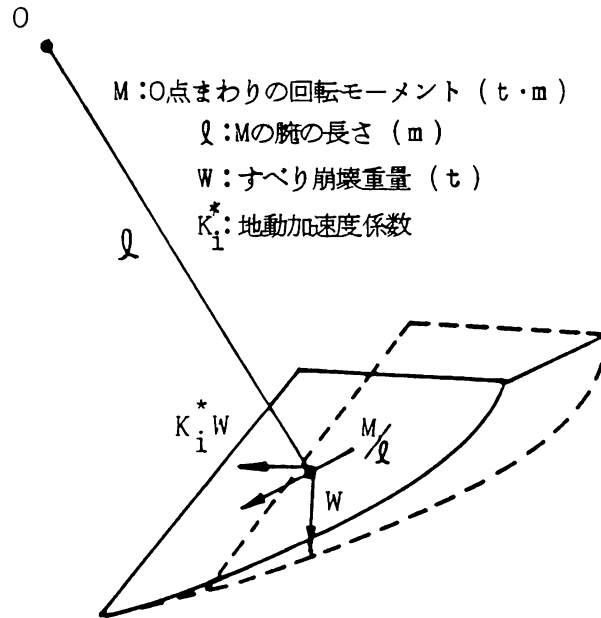


図-1 すべりモデル

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

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

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

L : 崩壊長 (m) (図-2 参照)

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

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

ここで

$$f_4 = \frac{1}{3(1+9 \tan^2 \phi)} \{ (3 \tan \phi \sin \theta_h - \cos \theta_h) \cdot \text{Exp}[3(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] - 3 \tan \phi \cos \theta_0 - \sin \theta_0 \}$$

$$f_5 = \frac{L}{6r_0} (2 \cos \theta_0 - \frac{L}{r_0}) \sin \theta_0$$

$$f_6 = \frac{1}{6} \{ \sin(\theta_h - \theta_0) - \frac{L}{r_0} \sin \theta_h \} \cdot \text{Exp}[(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] \cdot \{ \cos \theta_0 - \frac{L}{r_0} + \cos \theta_h \cdot \text{Exp}[(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] \}$$

$$W_3 = \frac{\gamma r_0^2}{2} \left\{ \frac{\text{Exp}[2(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] - 1}{2 \tan \phi} - \frac{L}{r_0} \sin \theta_0 - \sin(\theta_h - \theta_0) - \frac{L}{r_0} \sin \theta_h \cdot \text{Exp}[(\theta_h - \theta_0) \tan \phi] \right\} \quad (4)$$

次に,

$$\frac{K_c}{K_i^*} = \mu \quad \text{とおく} \quad (5)$$

斜面のすべりが始まるときを $t = t_0$ とすると $\ddot{\theta} = 0$ より

$$\sin \omega t_0 = \frac{K_c}{K_i^*} = \mu \quad (6)$$

$$\therefore \omega t_0 = \sin^{-1} \mu = \tau_0 \quad (7)$$

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。

$$\dot{\theta} = \frac{1}{\omega} [K_i^* (\cos \tau_0 - \cos \tau) + K_c (\tau_0 - \tau)] \quad (8)$$

よって、すべり始めて、次に速度が零 ($\dot{\theta} = 0$) となる点は(8)式から次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \cos \tau_0 - \cos \tau + \mu (\tau_0 - \tau) &= 0 \\ \cos \tau + \mu \tau &= \cos \tau_0 + \mu \tau_0 \\ \therefore -\mu \tau + (\sqrt{1 - \mu^2} + \mu \sin^{-1} \mu) &= \cos \tau \end{aligned} \quad (9)$$

すべり角変位 θ は(8)式を積分することにより次のように示される。

$$\theta = \frac{1}{\omega^2} [(K_i^* \cos \tau_0 + K_c \tau_0) \cdot \omega t - K_i^* \sin \tau - K_c \frac{\omega^2 t^2}{2}] + C_1 \quad (10)$$

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 を定め整理すると次のように示される。

$$\frac{\theta}{K_i^*} = \frac{1}{\omega^2} [(\cos \tau_0 + \mu \tau_0)(\tau - \tau_0) - (\sin \tau - \sin \tau_0) - \frac{\mu}{2}(\tau^2 - \tau_0^2)] \quad (11)$$

故に $\omega = 2\pi n$ 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。

$$\theta_1 = \frac{K_i^* \mu}{4\pi^2 n^2} \left[1 - \frac{\sin \tau_1}{\mu} + (\tau_1 - \tau_0) \cdot \left\{ \cos \tau_0 - \frac{(\tau_1 - \tau_0)}{2} \right\} \right] \quad (12)$$

よって同様に θ_2, θ_3 を求め得る。

3. 数 値 計 算 列

今、計算例として地震加速係数 $K_i^* = 0.5$ および $n = 1$ H_z 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を以下に示す。

式(5)及び(7)より

$$\mu = 0.526 \quad (\text{イ})$$

$$\tau_0 = 0.554 \quad (\text{ロ})$$

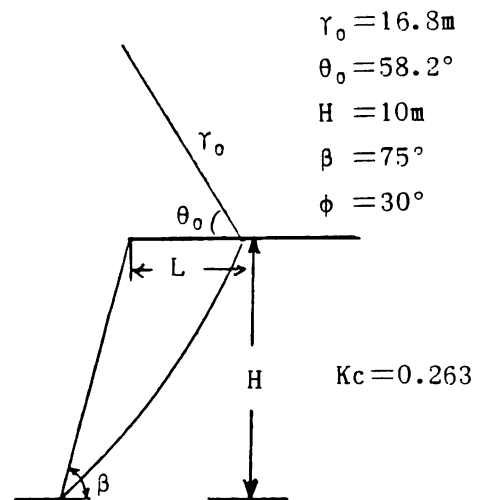


図-2 斜面崩壊モデル

一方、 τ_1 は(9)式と次に示す図-3から次のように求め得る。

$$\tau_1 = 3.745 \quad (\text{ハ})$$

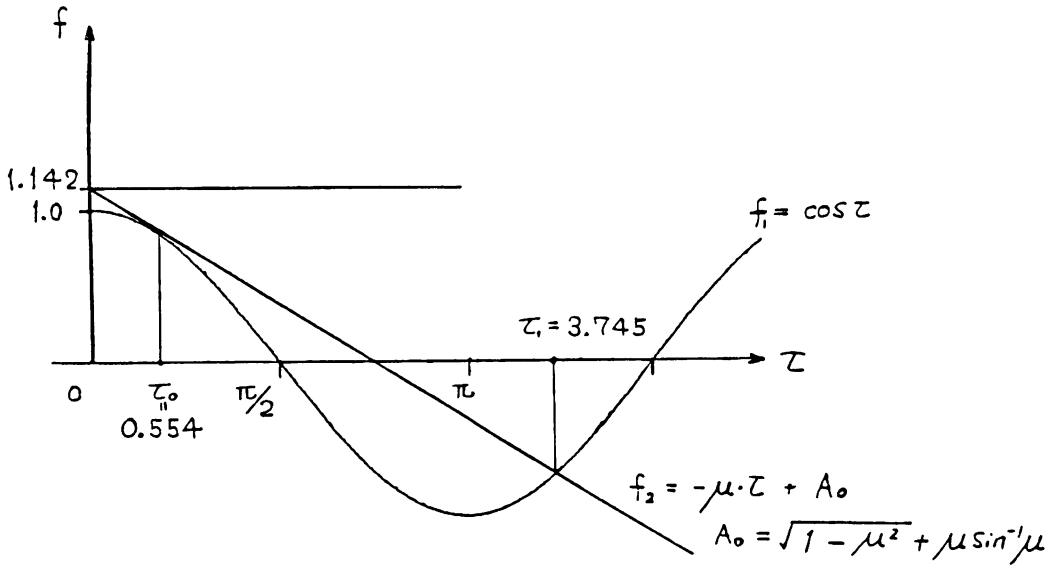
図-3 $t_0 t_1$ の求め方

図-4 に正弦波 1 波の累積変位の周期による変化を示す。累積変位は周期が大きくなるに従って放物線的に増加することが示されている。

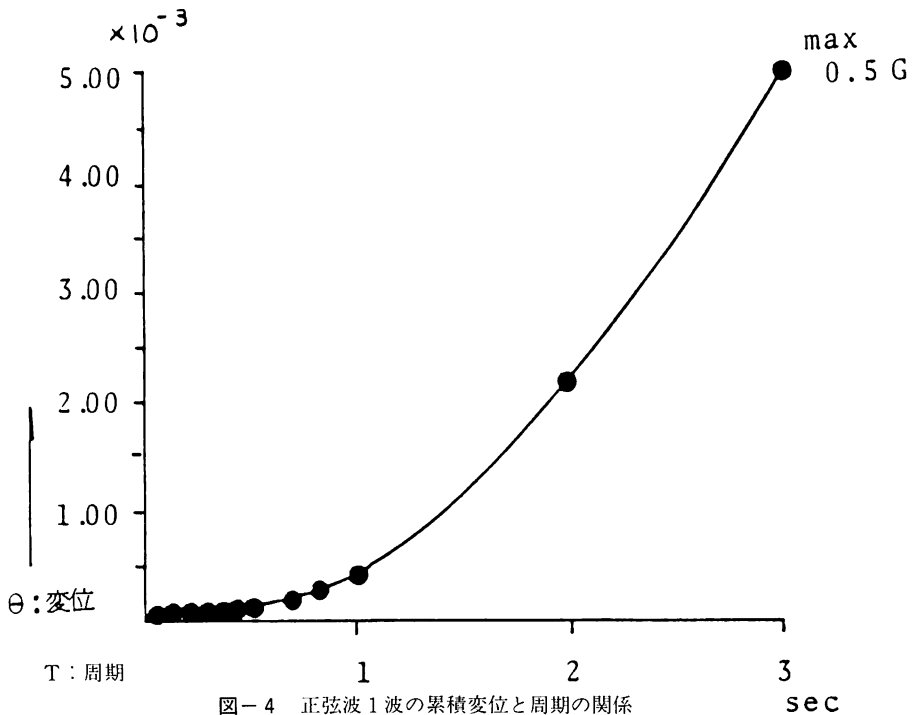


図-4 正弦波 1 波の累積変位と周期の関係

故に上記(1)(2)と(12)式よりすべり角変位 θ_1 は容易に求められる。これとニューマークの力積変位理論からの解法結果を次の表-1に示す。両者はよく一致している。

表-1 正弦波1波のすべり角変位の比較

本 解 析 値	ニューマーク法
$\theta_1 = 2.90 \times 10^{-3}$	$\theta_1 = 2.8977 \times 10^{-3}$

参 考 文 献

- 1) Sawada, T., Nomachi, S. G. and Chen, W. F. : Displacement of Earthquake-Induced Slope in Logarithmic Spiral Local Failure, 苫小牧工業高等専門学校紀要第22号, 1986, pp.107-119.
- 2) Newmark, N. M. : Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotech., Vol. 15, No. 2, pp. 139-160, 1965.
- 3) 澤田・能町・Chen, : 斜面の安定問題における地震時すべり変位について, 土木学会論文集, 1985, pp. 113-118.
- 4) 澤田・能町・木田 : 斜面の地震時すべり崩壊におけるすべり移動量について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第42号, 1986, pp.117-120.
- 5) 澤田・能町・松岡・岸 : 擬静的解析による斜面上基礎の地震時支持力, 構造工学論文集, Vol. 31 A, March, 1985, pp.503-508.
- 6) 澤田・能町・木田 : 斜面上に置かれた基礎の安定問題—簡易支持力—, 技術報告集第26号, 1986, 2月, pp. 1-8.

(昭和61年12月1日受理)

