

Ⅲ-404

スライス境界にバネを用いた斜面安定解析

愛知県豊田土木事務所 正会員 近 藤 観 慈
三重大学生物資源学部 正会員 林 拙 郎

1. まえがき

従来より、M&P法(1965)やSpencer法(1973)のスライス間内力(以下、内力という)の作用角 θ_i の仮定式($\tan \theta_i = f(x) \cdot \tan \theta$: 混乱を避けるため記号を $f(x)$ とした、 $f(x)$ 、 θ はパラメータ)における $f(x)$ の合理的な決定法が望まれていた。本報告では、スライス間と底面すべり面にバネ・スライダーを考え、内力の作用角を決定するために応力-ひずみ関係を導入して安全率、内力等の決定方法を提案する。

2. 解析モデルの概要

内力の作用角を求めるための解析モデルとして、図-1に示すような鉛直のスライス境界に垂直方向の弾性バネ(バネH)とせん断方向の弾塑性バネ(バネV)、及びすべり面に垂直方向の弾性バネ(バネN)とせん断方向の剛塑性のスライダーを考え、以下の仮定を設定する。①スライスは剛体とする。②スライスの変位の方向はすべり面に平行でスライス境界に平行を基本とする(自由度2)。③スライス境界が塑性状態に達したときのスライスの変位の方向として境界面に対してダイレイタンシー角を与える。すべり面も同様とする。

内力(Z_i)の作用角(θ_i)は、変位より得られる仮想作用角(θ_{Di})を用いて式(1)で定め(図-2)、力とモーメントの釣合を同時に満足するように、静定化係数(k)と θ_i を求める。なお、添字 i はスライス番号である。

$$\tan \{(\pi/2 - \theta_i)/2\} = k \cdot \tan \{(\pi/2 - \theta_{Di})/2\} \quad \text{---(1)}$$

3. 力とモーメントの釣合

安全率(F_s)を土質強度の低減率として定義し、動員される土質強度を次式で与える： $\tan \phi_{mi}' = \tan \phi_i' / F_s$, $c_{mi}' = c_i' / F_s$

本解析法では、各スライスにおいて、すべり面に平行な方向と垂直な方向の力の釣合から、すべり面反力の垂直成分(N_i')を消去した釣合式(式(2))とモーメントの釣合式(式(3))を用いる。結果的に斜面全体において、力とモーメントの釣合が満足される。なお、間隙水圧と上載荷重の因子はここでは省略する。

$$f_{Fi}(Z_i, Z_{i-1}, \theta_i, S_i, W_i, \phi_{mi}', c_{mi}', \alpha_i) = 0 \quad \text{---(2)}$$

$$f_{Mi}(\theta_i, Z_i, Z_{i-1}, N_i', S_i, W_i, L_i, L_{i-1}, \alpha_i) = 0 \quad \text{---(3)}$$

S_i :すべり面に動員される抵抗力, α_i :すべり面の傾斜角, L_i :内力の作用位置, W_i :スライス重量, Z_{Hi} :内力の水平成分, Z_{Vi} :内力の鉛直成分, 添字の i と $i-1$ はスライス i の両側の境界辺の番号

4. 内力の仮想作用角(θ_{Di})

式(2)と式(3)に用いる θ_i を決定するために必要な θ_{Di} の計算手順は、以下のとおりである。① Z_{Hi}' をバネHに作用させ、 N_i' をバネNに与え、応力-ひずみ関係からスライスの水平方向と鉛直方向の変位量を求める。②末端スライスの下側を固定点とし、各スライスの変位量を累積して、隣接スライスの相対鉛直変位

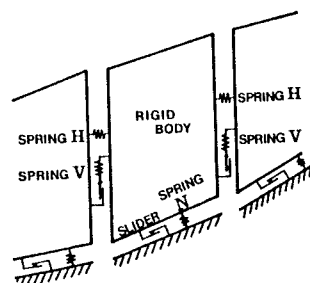


図-1 解析モデル

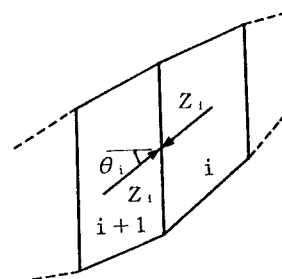


図-2 スライス間内力の方向

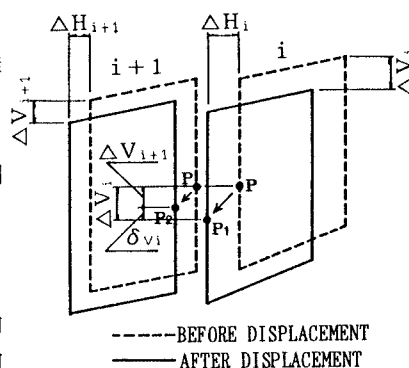


図-3 スライスの変位

量(δv_i)を求める(図-3)。(3) δv_i とバネVとの関係より、変位によるせん断力($Z v_i$: 仮想せん断力)を求める。(4) 内力の仮想作用角(θ_{Di})を次式より求める: $\tan \theta_{Di} = Z v_i / Z_{Hi}$

スライス変位に対応するひずみは、土塊の形状を基準とする。すなわち、バネH、バネVに対しては、スライス境界を挟んだ二つのスライスの中間間の水平方向の長さを基準とし、バネNはスライスの重心における鉛直長さのすべり面に垂直方向の長さとする。バネV、バネHの応力-ひずみ関係は、軸方向及びせん断方向のバネ定数(e, g)とひずみの積で表す。バネNの場合、一様な軸力が作用していないことを考慮してバネ定数(e)とひずみの積の二倍で表す。

表-1 提案法と他の方法の安全率の比較

Method Case	Other Methods							Proposed Method	
	1	2	3	4	5	6	7 min med	Fs	k
I	—	—	—	1.36	1.291	1.291	1.26 1.43	1.281	0.85
II	1.43	1.54	1.63	1.63	1.554	1.554	1.41 1.57	1.539	0.81
III	1.51	1.65	1.77	1.76	1.596	1.596	1.41 1.63	1.585	0.54
IV	1.19	1.28	1.36	1.34	1.269	1.269	1.17 1.32	1.264	0.27
V	1.40	1.53	1.60	1.59	1.520	1.520	1.37 1.57	1.500	0.42

さて、 θ_{Di} は式を整理すると、バネ定数の比(e/g)の関数となる。ポアソン比を ν とし、平面ひずみの一軸状態を想定すると e/g の値が式(4)のようになり、結果的に θ_{Di} は弾性係数に依存しない。

$$e/g = (1 - 2 \cdot \nu) / \{2 \cdot (1 - \nu)\} \quad (4)$$

5. 内力の作用角(θ_i)の算出法

この計算では、Spencerの収束方法を基本とし、力とモーメントの釣合を同時に満足させながら θ_{Di} を用いて式(1)の k を求め、内力の作用角を決定する。 θ_{Di} を求めるための内力等の初期値は作用角を一定とする条件から定める。 θ_i の初期値から目的とする θ_i までは、変化量を小さくして収束計算を行う。また、スライス境界の応力状態を収束計算の各段階で調べ、バネVに関するスライダーが降伏状態のとき、 θ_i に降伏曲線上に対応する値を採用し、非降伏状態のときはそのままの値を用いる。

6. 計算例

表-1に、望月ら¹⁾の用いた断面に対する提案法($\nu = 0.3$)の安全率を示す。なお、Case Iでは最上部スライス境界に引張力が発生するため、このスライスを切り離して計算した。提案法では、より合理的なスライス境界のせん断力と垂直力を決定できたものと考えられる。その安全率は、当然榎らが示す物理的に意味のある F_{Smin} と F_{Smed} の間にある。 ν の値の変化(0.1~0.4)に対する安全率の変化は今回の例では0.1%以下であった。また、内力の作用角の変化量はスライス方向に対して ν が大きくなると小さくなる傾向を示した。

文献3)の方法を用いた最適化結果を図-4に示す。また、この断面の内力の作用角、作用位置、スライス境界のせん断方向の安全率(F_{sb})を図-5に示す。なお、 F_{sb} は次式で表される: $F_{sb} = S_i \cdot F_s / Z v_i$

<参考文献> 1)望月秋利,三笠正人,勝田守文1986:2つの斜面安定解析法の提案,土木学会論文集第370号, pp.261-270, 2)Enoki,M., Yagi,N. and Yatabe,R.1990:Generalized Slice Method for Slope Stability Analysis,S&F,Vol.30,No.2,pp.1-18, 3)Arai,K. and Tagyo,K.1985:Determination of noncircular slip surface giving the minimum factor of safety in slope stability analysis,S&F,Vol.25,No.1,pp.43-51, 4)中村浩之 1979:Morgenstern and Price法による地すべり斜面の安定解析法,土木研究所資料第1510号

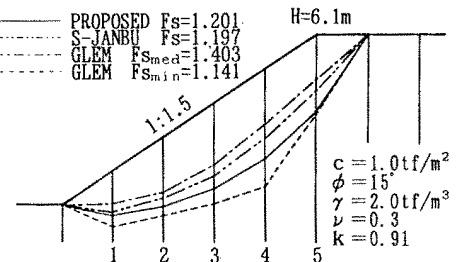


図-4 最小安全率とすべり面形状

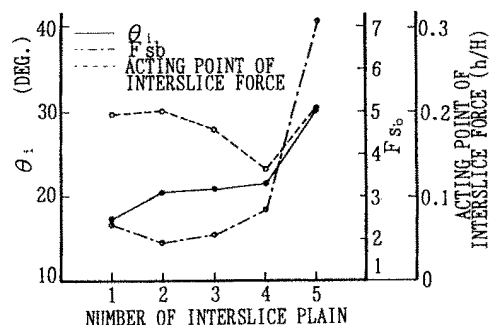


図-5 スライス間内力の状況