

自然斜面の安定解析法

愛媛大学工学部 榎明潔・八木則男・矢田部龍一

〃 〇伊藤秀行

1. まえがき

従来の各種の斜面安定解析法は、あくまで盛土のような人工斜面を対象としており、そのまま自然斜面の解析に使用できるものではない。自然斜面は人工斜面にない特徴を持っている。例えば、自然斜面には一般に基岩が存在し層厚は概して薄い。また、表層には植生の存在がある。さらに、従来の斜面安定解析法にはテンションクラックの発生の影響も十分に考慮されていない。そこで本研究では、基岩や植生の存在やテンションクラックの発生の影響を安定解析法に取り入れた解析法を検討したのでここに報告する。

2. テンションクラックの導入及び根系による補強効果と基岩の存在の影響の導入

従来の斜面安定解析においてもテンションクラックの導入はなされているが、それらの方法ではテンションクラックの深さがすべり面形状とは無関係に決定されるので解析上合理的でない。そこで本研究では、スライス底面の σ , τ を求め、式(1)に基づいて引っ張りの有無を検討することによってテンションクラックの導入を行なう。

$$\sigma_{cr} = \sigma_t(1 + \sin \phi) + c \cos \phi \quad \text{--- (1)}$$

ここで、 $\sigma_t (< 0)$ は土の引っ張り強度であり、 σ_{cr} は図-1のモール円に示した値となる。図中の斜線は応力状態の存在する範囲であって、 $\sigma \geq \sigma_{cr}$ ではせん断破壊が、 $\sigma < \sigma_{cr}$ では引っ張り破壊が生じる。いま、 $F_s = 1$ の場合、すべり面のある部分の応力状態はせん断破壊線上にあること、そしてこの部分を含む微小要素の応力状態はモール円で表示できると仮定して引っ張り強度 σ_t がない場合

のテンションクラックの深さ Z_c をFellenius法で求めてみる。 $F_s = 1$ となるすべり面は得られており、その面上の間隙水圧を $u = 0$ とすると、スライス底面の垂直応力 σ は式(2)で得られる。

$$\sigma = W / \ell \cdot \cos \alpha = W / b \cos^2 \alpha = \gamma Z_c \cos^2 \alpha \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 α , ℓ , b はそれぞれ図-2に示すようにスライス底面の傾斜角、長さ、幅である。また、 b を最小幅とすると、 $W/b = \gamma Z$ になる。式(1)において $\sigma_t = 0$ より $\sigma = c \cos \phi$ となり、これを式(2)に代入すると

$$Z_c = c \cos \phi / \gamma \cos^2 \alpha \quad \text{--- (3)}$$

となり、テンションクラックの深さはすべり面の形状(スライス底面のすべり面の傾斜角度 α)によって異なることになる。このようなテンションクラックの評価の導入による一般的な場合のある特定のすべり面に対する安全率は先ず、そのすべり面に対する安全率 F_{s1} を仮定し、 $c_1 = c / F_{s1}$, $\tan \phi_1 = \tan \phi / F_{s1}$ となる c_1 , ϕ_1 を求める。次に、通常の方法で各スライスのせん断抵抗 S とせん断力 τ を c_1 , ϕ_1 を用いて求め、全スライスについて合計して求める。ここで、せん断抵抗 S を求める時にスライス底面での σ を求め、これが次式を満たす時にはこの部分はせん断破壊ではなく引っ張り破壊するとして $S = 0$ とする。

$$\sigma = W / b \cos^2 \alpha < c_1 \cos \phi_1 \quad \text{--- (4)}$$

こうして求めた安全率 F_{s2} がはじめ仮定した F_{s1} に等しくなるまで繰り返す。次に根系を含むことによって

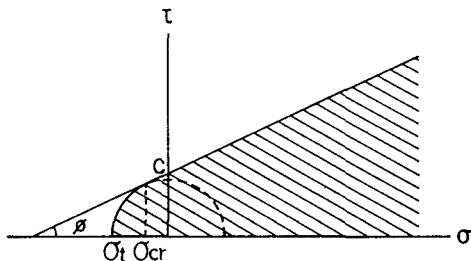


図-1 応力状態の存在範囲の模式図

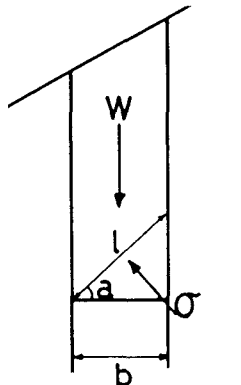


図-2 分割帯片に作用する力

土の引っ張り強度 σ_t が増加したとすると式(3)は

$$Z_c = 1 / \gamma \cos^2 \alpha \cdot \{ c \cos \phi + \sigma_t (1 + \sin \phi) \} \quad \text{--- (4)}$$

となる。これより、 $\sigma_t < 0$ であるから Z_c は減少する。つまり、引っ張り破壊領域が減少するためにテンションクラックの発生が制御され斜面の崩壊を阻止する効果を与える。また、根系の存在はその領域の土の粘着力を増加させていると考えられるので¹⁾根系による見かけの粘着力を c_r として土の粘着力 c に c_r を加えて根系の引っ張り強度を考慮することも可能である。基岩の導入については安定解析においてそのすべり面が基岩の内部を通る場合に基岩部分に非常に大きな強度を与えている。

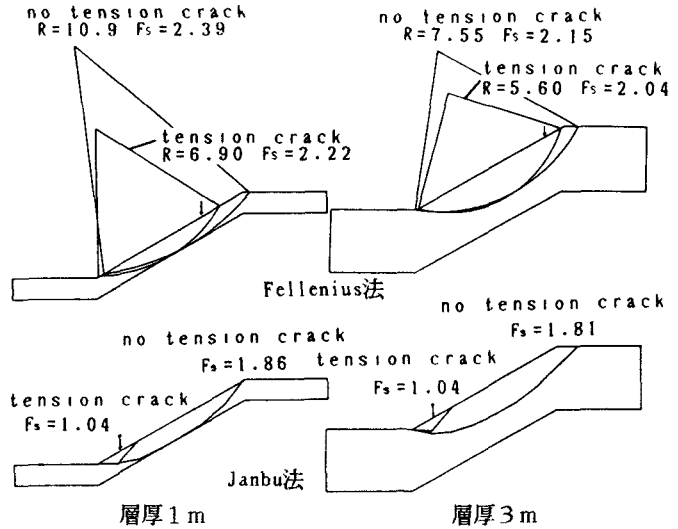


図-3 解析結果の比較

3. 従来の解析法との比較

図-3は $c = 0.5 \text{ tf/m}^2$, $\phi = 37^\circ$, $\gamma = 1.8 \text{ gf/cm}^3$, 斜面角度 30° , 層厚1m, 3mの斜面での従来の方法と提案した方法での最小安全率とその時のすべり面の比較を示す。いずれの場合にもテンションクラックの導入により安全率の低下が見られ、その崩壊形態はテンションクラックを考慮しないものよりも小さくなっている。図-4は図-3の斜面で層厚1mの場合にテンションクラックの導入に加え、式(4)による σ_t が生じた時の最小安全率とそのすべり面である。図より σ_t を増加させるとテンションクラックがない場合に近づくことがわかる。つまり σ_t の効果はテンションクラックの導入効果と相反するものとなる。また 表-1 は同じ斜面で根系の影響を見かけの粘着力の増加 c_r として計算した安全率である。根系は上層20cmにのみ与えている。これより c_r の導入によって安全率が上昇することがわかる。

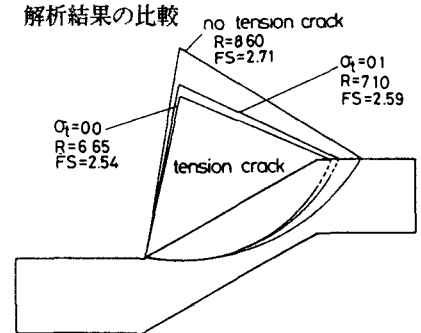


図-4 解析結果の比較(σ_t を考慮)

表-1 c_r を考慮した場合の安全率

	C r tf/m ²	F s	
		NOTC	TC
F	0.5	2.47	2.40
	1.0	2.56	2.46
J	0.5	1.90	1.10
	1.0	1.93	1.16

4. あとがき

自然斜面の安定解析法の確立を目的として従来の方法にテンションクラックや植生の存在の影響を導入して比較してきたが、今までの研究からテンションクラックの導入により安全率は低下して従来の結果とはかなりの相違が生じること、根系の補強効果の導入は、根系を含むことによる土の引っ張り強度 σ_t 、または、根系の引っ張り抵抗力による見かけの粘着力の増加 c_r として安定解析への導入が可能となることが明らかになった。

参考文献: 1)岡山孝; 自然斜面の安定解析法に関する研究、愛媛大学修士論文, pp. 16~21, 1987.