

各種斜面安定解析法の妥当性に関する研究

鳥取大学工学部 (正) 榎 明潔
鳥取大学大学院 (学) 〇森 麻樹

1. はじめに

従来、斜面の安定解析法には、数多くの方法が提案されている。一般に、それぞれの解析法によって安全率の値は異なり、どの解析結果が正しいか判断できない。数多くの解析法が存在する理由としては、各解析法における各スライスに働く側面力の仮定の違いによるものであり、どの各解析法の仮定にも任意性があるからである。この研究では下記に示す観点から各解析法の検討を行った。この研究において使用した解析法は、従来よく知られているFellenius法¹⁾、Bishop簡易法¹⁾、Janbu簡易法¹⁾、Spencer法¹⁾と、榎²⁾らの提案しているGLEMである。

2. 正しい安定解析法

正しい安定解析法が満たすべき条件として以下の条件を考えることができる。

①無限斜面の安全率を正しく(理論解通りに)求めることができる。なお、円形すべり面に対する解析法の場合も、半径を無限大、中心位置を無限遠とすることで無限斜面の安全率を求め、この基準を適用することができる。

②理論解の既知な他の塑性問題(土圧・支持力・斜面問題)で正しく(理論解通りに)求めることができる。なお、この研究においては支持力問題で正しく(理論解通りに)求めることができる。

③すべり線法の解(理論解)の近似解を与える。塑性応力場の近似解を求めているのだから、塑性応力場を理論的に求めるすべり線法の解が理論解であり、この解に対する近似度で方法の良否を判定できる。もっとも、すべり線法の解が既知な問題は、土圧・支持力問題で境界条件の単純な場合に限られている。

④各解析法のスライス間面における破壊条件式($V = H \tan \phi + c$)を逸脱するようなVとHの組み合わせが生じない。

⑤静定(未知数の数と式の数が等しい)で数学的に妥当な計算法を用いている。Fellenius法の従来の説明のように式が過剰となったり、あるいは不足しないこと。また、従来の各解析法では安全率以外の未知数を求めておらず、計算過程で間違いが起きているかもしれない。そこで、各解析法を静定化し、すべての未知数を求める方法(正攻法)と比較することによって、各解析法が数学的に妥当かどうか判定する。

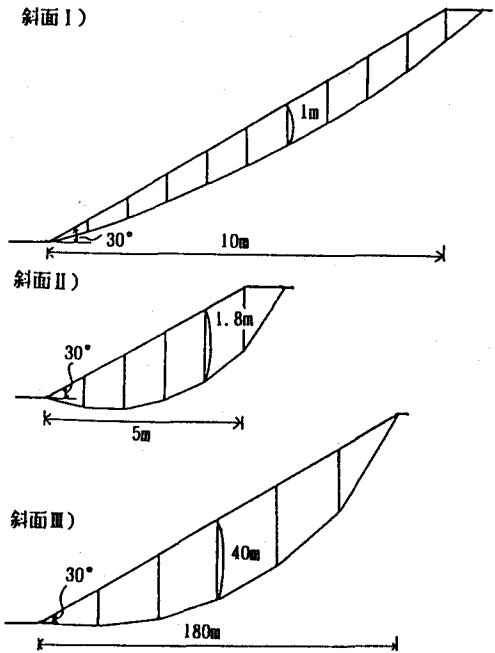


図1 対象とした斜面問題

表-1 各種斜面安定解析法による解析結果の比較

斜面	解析法	安全率					
		Felle.	Spn.	Bishop	Janbu	GLEM	無限
斜面I)	<0.1	1.061	1.074	1.074	1.074	1.074	1.000
斜面II)	>0.3	1.331	1.528	1.529	1.529	1.504	1.000
斜面III)	$=0.2$	1.138	1.267	1.269	1.269	1.248	1.000

3. 結果と考察

図1に示すのは、同じ傾斜(30°)ですべり面深さHと斜面投影長Lの比H/Lが約0.1, 0.2, 0.4の3種類の斜面問題である。 $c=0$, $\phi=30^\circ$, $\gamma=2.0\text{tf/m}^3$ (斜面Ⅲのみ $\gamma=1.8\text{tf/m}^3$)である。これをFellenius法、Spencer法、Bishop簡易法、Janbu簡易法の4種類のスライス法とGLEMで解析した結果を表-1に示す。表には各モデル斜面を同じ傾斜の無限斜面と近似したときの安全率も載せた。なお、すべり面およびスライス分割としては、図示したもののみを用い、すべり面を変えての最小化は行っていない。この表から、斜面のH/Lが小さくなるに従って安全

率の値が各解析法において、無限斜面における安全率の値に近くなる。これは各斜面が無限斜面に近くなるにつれて、無限斜面近似における左右の側面力が等しいという近似がどの解析法においてもほぼ成立するため、結果的にスライス間面力の仮定の影響を受けなくなるからである。逆にH/Lが大きくなると解析法による差が大きくなるが、これはスライス間面力に関する仮定の影響が大きくあらわれるからである。また、実際にみられる斜面問題では、斜面Ⅰ)のようにH/Lが0.1以下であることが多いから、実用上、無限斜面近似で安全率を求めても支障無いことになる。むしろ、無限斜面近似で求める方が、不適当なスライス間面力仮定を用いるより合理的であるし、計算も簡単である。

支持力解析による解析結果を図2に(Nq問題: $c=0$, $\gamma=0$, $q=1$, $\phi=30^\circ$)示した。すべり線法における理論解であるPrandtlの解と比べると、GLEM以外の解析法においてはほど遠い支持力を与えている。また、すべり線においてもGLEM以外の解析法におけるすべり線はPrandtlのすべり線と似たすべり線とはならなかった。このような結果になったのは、斜面問題におけるH/Lが大きい場合と同じ理由である。また、このような結果から実務において支持力問題を解析する場合にはGLEMを使用した方がよい。

この研究で紹介した $c=0$ の斜面において、スライス間面の破壊条件式は $V=H\tan\phi$ と書ける。これよりFellenius法とSpencer法の仮定におけるスライス間面の安定条件は $\theta \leq \phi$ (θ はスライス間面力が水平面となす角)となる。図1の斜面において上述した条件に当てはまらないスライスがあり、力学的な問題がある。また、すべりの途中で斜面の傾斜が変化するような斜面では、局部破壊が生じ、連続の式を満足するためには、スライスに対して平行な力Vが発生するはずである。このようなことから、Bishop簡易法とJanbu簡易法における $V=0$ というスライス間面力に対する仮定は力学的な問題がある。

Spencer法とBishop簡易法とJanbu簡易法のいずれにおいても、各解析法の力学的仮定から正攻法で求めた安全率の値は、各解析法において提案者が示している手順による値と若干異なっており、これらには数学的な問題がある。

4. おわりに

以上のような結果から、この研究で紹介した従来の斜面安定解析法には妥当性が見られず、GLEMだけが妥当な解析法であるという結論を得た。

参考文献 1) M. G. Anderson, and K. S. Richard, :Slope Stability, pp. 11~75, 1987. 2) Enoki, M. et al. :Relation of Limit Equilibrium Method to Limit Analysis Method, S&F, Vol. 31, No. 4, pp. 37~47, 1991

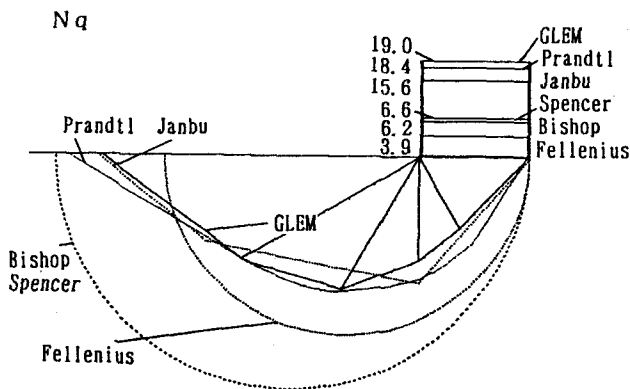


図2 各種の安定解析法の解析結果の比較