

三次元すべり面理論に基づく破壊斜面の強度定数逆算

徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 正会員 ○蔭 景彩

1. まえがき

地すべり対策工の設計上必要となる強度定数(粘着力 c' , 内部摩擦角 ϕ')は一般に逆解析によって決定される。これまでの研究では、 c' , ϕ' の逆解析を二次元問題として扱うことが多かった。しかし、実際の斜面破壊は三次元的な現象であり、より現実的な地山挙動を考慮しようとするれば三次元解析が必要不可欠である。強度定数の三次元逆算法はすでに提案されているが¹⁾, 本研究ではそうした従来の提案法とはまったく異なった観点から1つの三次元逆算手法を展開する。そのためにまず、土の単位体積重量と間隙水圧の分布が与えられた任意の均質斜面において、極限平衡法のある特定の三次元斜面安定解析理論に基づき探索された臨界すべり面の位置がその斜面の強度定数(c' と ϕ')ではなく、それらの比(つまり $c'/\tan\phi' = \lambda_{c\phi}$)にユニークに対応することを明らかにする。次いでこの事実に基づき地山強度定数の合理的な三次元逆解析法を構築し、実際の地すべり地に適用して本提案法の適用性を検証する。

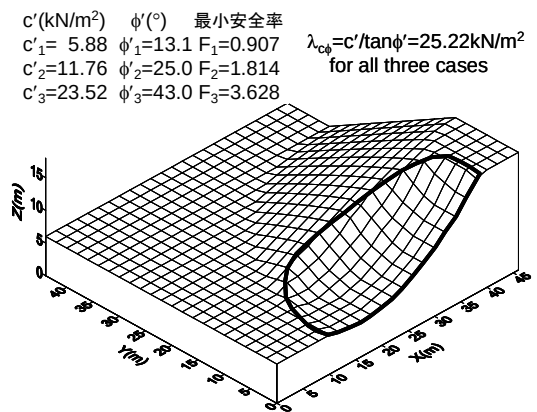
2. 臨界すべり面の位置と強度定数の関係

著者ら²⁾は、土の単位重量および間隙水圧の分布が与えられた任意の均質斜面において、極限平衡法のある特定の安全率算定理論による臨界すべり面の位置はその斜面の強度定数の比： $\lambda_{c\phi} = c'/\tan\phi'$ にのみ依存することを明らかにしてきた。この結論は、安全率および臨界すべり面の定義から導かれたものであり、二次元のみならず三次元の場合においても成立つものである。このことを実証する一例として、三次元安定理論の一つである拡張 Spencer 法³⁾による検討結果を図-1 に示した。図中の尾根状斜面に、 $\lambda_{c\phi}$ が全く同じで c' と $\tan\phi'$ がそれぞれ異なる3組の強度定数を与え、動的計画法を拡張 Spencer 法と結びつけた探索法⁴⁾による三次元臨界すべり面の探索を行った。得られた結果を図-1 に示しているが、三つの臨界すべり面は完全に一致して区別がつかない。求められた最小安全率の値も図中に記しているが、各ケースの最小安全率とその場合の c' または $\tan\phi'$ の比が一定になっていることも明らかである。換言すれば、 $\lambda_{c\phi}$ の値が一定であれば、 c' と $\tan\phi'$ の変化によって最小安全率の値は変わるが、安全率と c' または $\tan\phi'$ との比は不変である。即ち、次の関係が成立つ：

$$c'_1/F_1 = c'_2/F_2 = c'_3/F_3 \quad \text{and} \quad \tan\phi'_1/F_1 = \tan\phi'_2/F_2 = \tan\phi'_3/F_3 \quad (1)$$

図-1 の尾根状斜面に対し、 $\lambda_{c\phi}$ の値がそれぞれ異なる場合についても臨界すべり面の検討を行った。紙面の都合上詳細な結果を示すことができないが、異なる $\lambda_{c\phi}$ の組み合わせのもとで探索された三次元臨界すべり面はまったく異なる位置に出現することが確かめられている。結論

として、土の単位体積重量及び間隙水圧分布が与えられた任意の均質斜面において、ある特定のコラム分割法による三次元臨界すべり面の位置はその斜面の $\lambda_{c\phi}$ にユニークに対応している。なお、二次元の場合²⁾と同様、 $\lambda_{c\phi}$ の値が大きくなるにつれ、対応する臨界すべり面が深くなっていることも確認されている。この事実を活用すれば、実際の破壊すべり面(これは臨界すべり面でもある)の位置から、 $\lambda_{c\phi}$ の値を唯一に推定することができる。そして $\lambda_{c\phi}$ の値が定まると、採用すべきコラム法の理論式より、安全率 F_0 (破壊斜面では $F_0=1.0$)に対応する c' と $\tan\phi'$ の値を個別に求めることができる。

図-1 臨界すべり面の位置と $\lambda_{c\phi}$ の関係

キーワード 逆解析, 強度定数, 三次元すべり面, 極限平衡法

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部(建設) TEL 088-656-7346

3. 逆解析問題の構築および解法

破壊斜面の強度定数の逆解析は、与えられたすべり面の情報に基づいてなされる。ここでは便宜上、このすべり面を現状すべり面と呼び、またその安全率を現状安全率 F_0 と呼ぶことにする。山上・植田⁵⁾は、現状すべり面は自然が行った実物大のせん断破壊実験の結果であり、これを逆解析に最大限に利用すべきと主張し、理屈の上で矛盾のない (c, ϕ) を求めるためには、少なくとも次の2つの条件を利用しなければならないことを指摘している：条件1—求めるべき強度定数による臨界すべり面は現状すべり面に一致しなければならない；および 条件2—求めるべき強度定数は現状すべり面の安全率が F_0 となるものでなければならない。条件1に基づけば現状すべり面の位置から $\lambda_{c\phi}$ を合理的に定め得ることを説明する。さらにその結果から最終的に求めるべき c'_0 と ϕ'_0 値をユニークに定める方法を述べる。与えられた均質斜面において、臨界すべり面の位置は一つの $\lambda_{c\phi}$ にユニークに対応していることから、この斜面に正解 $\lambda_0 = c'_0 / \tan \phi'_0$ 以外の任意の $\lambda_{c\phi}$ 値が付与されたときの臨界すべり面は、現状すべり面と異なる位置(例えば図-2の $A'O'B'$) に出現するが、 λ_0 のもとでの臨界すべり面は図中の現状すべり面に一致することになる。今、 $\lambda_{c\phi}$ の増大と共に臨界すべり面が深くなる特徴を考慮すると、現状すべり面に対応する $\lambda_{c\phi}$ を容易に定めることができる。即ち、現状すべり面より浅い臨界すべり面を与える $\lambda_{c\phi}$ を初期値として仮定し、この初期値より $\lambda_{c\phi}$ 値を徐々に増やしていくと、探索される臨界すべり面も徐々に深くなり、現状すべり面に限りなく接近してくる(図-2)。そして最終的に現状すべり面にほぼ一致する臨界すべり面が得られるので、このときの $\lambda_{c\phi}$ 値を求めるべき強度定数の比 λ_0 とすれば良い。現状すべり面から $\lambda_{c\phi} (= \lambda_0)$ 値が確定されると、前述した条件2に基づき、 F_0 に対応する一組の値が唯一に決定される。この際、採用すべき安全率算定式から直接 c または $\tan \phi$ の値を計算することも可能であるが、先の式(1)を活用すると、より迅速にそれらを求めることができる²⁾。なお、逆算過程で各 $\lambda_{c\phi}$ 値に対応する臨界すべり面を求める必要がある。そのために単純で便利な臨界すべり面探索法を考案した。紙幅の都合上、その詳細を割愛する。

4. 実際の地すべりへの適用

本手法の適用性を検証すべく、図-3の三次元すべり面を現状すべり面 ($F_0=1.0$) として本提案法による逆算を行った。従来の三次元逆算法と比較するため、 $c=0.1D$ (D はすべり面の最大鉛直深さ(m)) を決定し、Hovland法を用いて $F_0=1.0$ の時の ϕ を計算した。なお、三次元逆解析と比較するため、すべり面が最も深い横断面における二次元逆算も行った。逆算結果を表-1に纏めて示した。著者らは他にも三次元すべり面に本手法を適用しているが、紙面の制約上、これらの適用事例については当日発表する。

参考文献 1) 植田(1994):徳島大学学位論文。

2) 蔣・山上・神田(2005):地すべり, Vol. 42, No. 1.

3) 鶴飼・細掘(1989):土木学会論文集, 第412号/III-12.

5) 山上・植田(1984):地すべり Vol. 21, No. 2.

4) Jiang J.-C. and Yamagami T. (2004): Soils & Foundations, Vol. 44, No. 4.

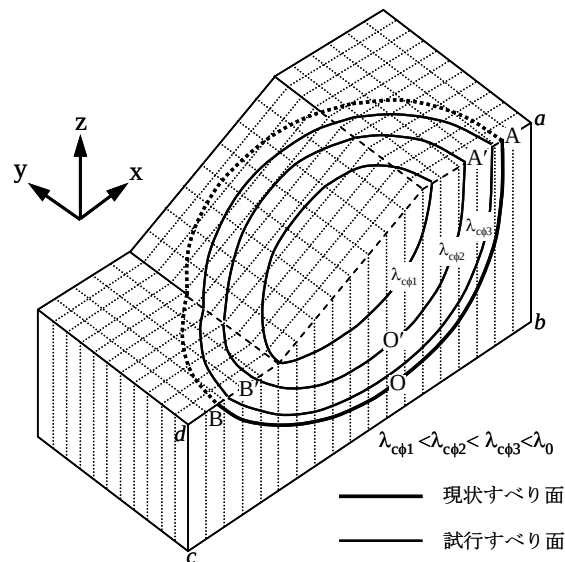


図-2 現状すべり面と臨界すべり面(概念図)

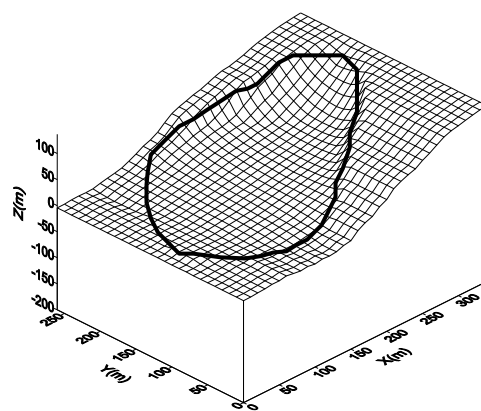


図-3 実際の三次元すべり面

表-1 逆算結果

	$c \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$:\phi \text{ (}^\circ\text{)}$
三次元	4.5	15.7
二次元	6.3	14.8
三次元(0.1D法) Hovland法	2.5	25.5