

Ⅲ-A243

簡易Janbu法による不飽和強度定数の逆算法

徳島大学工学部 正会員 蔭 景彩
同 上 正会員 山上 拓男

1. まえがき 前報¹⁾で、地すべり地や破壊斜面の飽和土を対象とした強度定数逆解析法(山上・植田法²⁻³⁾)を発展させ、不飽和強度定数(c' , ϕ' , ϕ^b)⁴⁾の逆算法を提案し、安全率算定式に円形すべり面場のBishop法を採用した場合の逆算手順を示した。本研究では、提案法を非円形すべり面場に拡張すべく、安全率算定式にJanbu法を用いた場合の逆算手順について述べると共に、仮想斜面に適用した結果を報告する。

2. 山上・植田法の適用 本研究で提案する不飽和強度定数の逆算法は、従来の山上・植田法と同様、極めて単純明快な二つの条件—①求めるべき強度定数は $c' - \tan \phi' - \tan \phi^b$ 関係を満足し、かつ②現状すべり面の安全率が最小安全率でなければならない—に基づいている。前報¹⁾では、この二つの条件に基づき、(c' , ϕ' , ϕ^b)のうちのいずれか一つが与えられた場合、他の二つの強度定数は山上・植田法で逆算できることを明らかにし、次いでこの事実を応用することによって三つの不飽和強度定数が一挙に逆解析できる方法を考案した。以下、この逆算法が非円形すべり面理論の場合でも成り立つことを確認すると共に、安全率算定式として簡易Janbu法を用いた場合の(c' , ϕ' , ϕ^b)の逆算手順を示す。

式(1)は、Fredlundの不飽和土強度式⁴⁾を従来の簡易Janbu法³⁾に導入した安全率算定式である。式中、 u_a と u_w はそれぞれ間隙空気圧と間隙水圧を表し、両者の差($u_a - u_w$)はサクションであるが、比較的浅いすべり面を想定する場合、 $u_a = 0$ としてよい。今、現状すべり面が図1の太線AOBのように与えられ、それに沿った安全率を F_0 (通常1.0)とすれば、式(1)の安全率算定式を式(2)のように書き改めることができる。これにより、いわゆる $c' - \tan \phi' - \tan \phi^b$ 関係が定まる(図2の模式図参照)。図2中e, f, g点の座標は強度定数の可能な存在範囲を表し、それぞれ他の二つの強度定数を0として、式(2)から求められる。式(2)において $\tan \phi'$ を一定とくと、 $c' - \tan \phi^b$ 関係は直線であることに注意されたい。

$$F = \frac{\sum \{ (c' - u_w \tan \phi^b) \Delta x + W \tan \phi' \} (1 + \tan^2 \alpha) / (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)}{\sum W \tan \alpha} \quad (1)$$

$$F_0 = \frac{\sum \{ (c' - u_w \tan \phi^b) \Delta x + W \tan \phi' \} (1 + \tan^2 \alpha) / (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F_0)}{\sum W \tan \alpha} \quad (2)$$

まず、(c' , ϕ' , ϕ^b)のうちのいずれか一つが与えられた場合、残り二つの強度定数を山上・植田法で逆算する方法を説明する。便宜上、 $\phi' (= \phi^o)$ が与えられたとしよう。このとき、 $\tan \phi' = \tan \phi^o$ を式(2)に代入し、整理すれば c' と $\tan \phi^b$ の関係が得られる。図2における直線PQがこの関係を示している。すなわち、逆算によって求めるべき c' と $\tan \phi^b$ はこの直線上のどこかの点でなければならない(条件①)。続いて、先の条件②を生かすため、現状すべり面以外の任意の仮定すべり面について、図2におけるPQ上の $c' - \tan \phi^b$ 関係を満たすように、 c' と $\tan \phi^b$ を変化させた時、安全率がどのように変化するかを調べる。ただし、ここでは、任意のすべり面は図1に示すように決定されるが、その詳細は文献3)を参照されたい。任意の試行すべり面に関して、式(1)の安全率算定式は次式のようになる。

$$F = \frac{\sum \{ (c' - u_w \tan \phi^b) \Delta x + W \tan \phi' \} (1 + \tan^2 \alpha) / (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)}{\sum W \tan \alpha} \quad (3)$$

ここで、 ϕ^o は ϕ' の既知値であり、下付バーの付された記号は試行すべり面で評価されたことを意味する。この式で、現状すべり面の上下各一本の試行すべり面(例えば図1におけるAO'BとAO''B)に注目し、強度定数 c' と $\tan \phi^b$ を図2の直線PQに沿って変化させた時、Fの分布は図3に示す模式図のようになることが判っている。ところが、前述した逆算法の満すべ

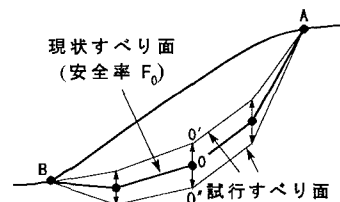


図1 現状すべり面と試行すべり面

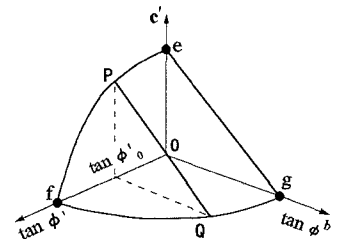
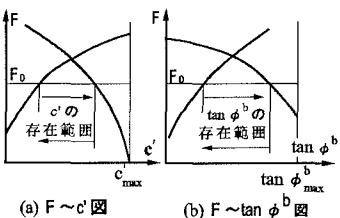
図2 $c' - \tan \phi' - \tan \phi^b$ 関係

図3 強度定数の存在範囲の制限

キーワード：地すべり 極限平衡法 不飽和土 強度定数 逆解析 臨界すべり面 非円形すべり面

連絡 先：〒770-8506 徳島市南常三島町2-1 徳島大学工学部建設工学科 TEL&FAX: 0886-56-7345

き条件②より常に $F \geq F_0$ が成立していなければならない。これより求めるべき c' と $\tan \phi^b$ は図3の矢印で示した範囲内に存在していなければならない。その存在範囲が大幅に制限されることになる。そして、現状すべり面の上下にそれぞれ適当な数の試行すべり面を選び出し、それらのおののについて $F \sim c'$, $F \sim \tan \phi^b$ 図を描けば、正しい c' ないし $\tan \phi^b$ の存在範囲が極端に狭められ、精度上殆ど問題のない値の c' と $\tan \phi^b$ を逆算することが可能となる。以上のように、山上・植田法によれば、 c' ないし ϕ^b が既知の場合も、他の二つの強度定数を逆算できることが判明している。

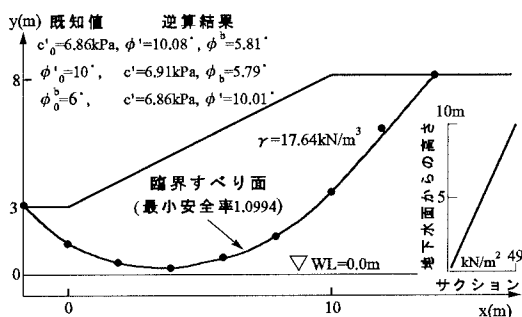


図4 仮想問題設定及び逆算結果

上述した逆解析法の適用事例を示すべく、図4の仮想斜面を採用した。図中の臨界すべり面と最小安全率は、強度定数を $c' = 6.86 \text{ kPa}$, $\phi' = 10^\circ$, $\phi^b = 6^\circ$ 、また、サクシオンを図4に示す直線分布とした時、動的計画法と簡易Janbu法を結びつけた探索法⁵⁾により得られたものである。今、この臨界すべり面を現状すべり面とみなして、その上下に各3個試行すべり面を選び、強度定数の逆算を試みた。その結果を図4に示す。図4に見られるように、いずれの場合も殆ど正解そのものが逆算されたと言えよう。なお、逆算値を用い式(1)による再安定解析を行ったところ、探索された臨界すべり面と最小安全率は、当然とは言え、図4に示すものと一致した。

3. 簡易Janbu法による逆算法 前節で、不飽和強度定数 (c' , ϕ' , ϕ^b) のうちいずれか一つが既知の場合、山上・植田法を適用すれば他の二つの強度定数は唯一に逆算できることが分かった。この事実に加え、求めるべき強度定数は、それらを用いて探索された臨界すべり面の位置が現状すべり面のそれと一致するものでなければならない、という当然の条件を考慮することによって、実は三つの不飽和強度定数を一挙に逆解析することが可能となる。以下にこの方法の手順を示す。まず、 $\tan \phi'$ の存在範囲を適当に細分割する。次に各 $\tan \phi'$ の値を、仮に、求めるべき真の値とみなして、2. で述べた方法によって、対応する c' と $\tan \phi^b$ を逆算する。ただし、もし逆算された c' ないし $\tan \phi^b$ がそれぞれの可能な存在範囲を越えた場合、これらの値は明らかに正解でないから直ちに棄却する。次いで、求められた各 (c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$) を用い、式(1)の安全率算定式による臨界すべり面の探索を行う。こうして、探索された臨界すべり面のうち、現状すべり面に一致するすべり面を与えた (c' , ϕ' , ϕ^b) を求めるべき強度定数とすればよい。当然のことながら、以上の逆算法は c' ないし $\tan \phi^b$ に基づいても展開できる。

前報¹⁾と同じように、計算の効率を高めるため、以下の最適化手法を構築した。まず、 $\tan \phi'$ の存在範囲から適当に一つの $\tan \phi'$ を選び出し、この $\tan \phi'$ に対して逆算された強度定数を c' と $\tan \phi^b$ とする。次に、これら (c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$) を用い、臨界すべり面の探索を行う。この際、両端を固定して探索すると好都合である。図5に示すように、上記の (c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$) に対応する臨界すべり面を $AO'B$ とし、現状すべり面を AOB とすると、これら二つのすべり面のズレの大きさは、同図に定義される DIF で表現できる。無論、DIF の値は強度定数 (c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$) により変化する。すなわち、DIF を $\tan \phi'$ の関数とみなすことができる。DIF の最小値 (実はゼロ) が正解と対応するが、本研究では、この最小値を最適値問題を解く手法の一つであるゴールデンセクション法を用いて求めることにしている。

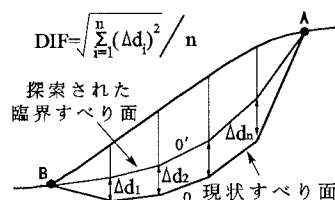


図5 試最値問題の構築

4. 適用例 図4の仮想問題を用いて本逆解析法の適用性を検討した。 c' に基づく場合の逆算値は $c' = 6.77 \text{ kN/m}^2$, $\phi' = 10.13^\circ$, $\phi^b = 5.98^\circ$, ϕ' に基づく場合の逆算値は $c' = 6.47 \text{ kN/m}^2$, $\phi' = 10.26^\circ$, $\phi^b = 6.62^\circ$, さらに、 ϕ^b に基づく場合の逆算値は $c' = 7.06 \text{ kN/m}^2$, $\phi' = 9.87^\circ$, $\phi^b = 5.56^\circ$ となった。正解の $c' = 6.86 \text{ kN/m}^2$, $\phi' = 10^\circ$, $\phi^b = 6^\circ$ と比較して、いずれも十分満足できる結果となった。紙面都合上、この例題に関する逆算の詳細及び他の適用例について、当日発表するとし、ここで省略する。

- 参考文献** 1) 蔣, 山上(1998): 第33回地盤工学研究発表会(投稿中)。 2) 山上, 植田(1984): 地すべり, Vol.21, No.2.
3) 山上, 植田(1984): 第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集。 4) Fredlund D. G. (1979): Canadian Geotechnical Journal, Vol.16, pp.121-139. 5) Yamagami T. & Ueta Y. (1986): 地すべり, Vol.22, No.4.