

徳島大学大学院 学生員 ○佐々木守
 徳島大学工学部 フェロー 山上拓男
 徳島大学工学部 正会員 蔣 景彩

1. まえがき： これまで、山上らは不飽和強度定数 (c' , ϕ' , ϕ^b) ¹⁾ の逆算法を提案してきた^{2) 3)}。この手法は地山に強制外力を与え、人為的に発生させたすべり面の情報より逆算するものである。ただし、そこで用いた安全率算定式はすべて2次元場のものであった。本報告では、提案法を3次元場に拡張すべく、安全率算定式として3次元簡易 Janbu 法⁴⁾を採用した場合の (c' , ϕ' , ϕ^b) の逆算法を述べる。

2. 3次元簡易 Janbu 法に基づく逆算法： 本研究で提案する逆算法は、2つの単純かつ明快な条件；a) 求めるべき c' , ϕ' , ϕ^b は $c' - \phi' - \phi^b$ 関係を満足する、b) 現状安全率 F_0 が最小安全率になる一に基づいている。以後、これら2つの条件に基づいて逆算法を展開する。

はじめに、対象とする斜面は、強度定数に関して均質等方性であると仮定する。今、与えられた現状すべり面に沿う安全率を F_0 とすると次式を書き下すことができる。

$$F_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \{(\Delta x_{\Delta y} c' + \Delta W_{ij} \tan \phi' - \Delta x_{\Delta y} u_w \tan \phi^b) / \cos \alpha_{xzy} m_0\}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tan \alpha_{xzy} \Delta W_{ij}} \quad (1)$$

($\therefore$ 式中の記号については紙面の都合上、文献^{2) 4)}を参照されたい。)

式(1)は、未知量 (c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$) を軸とする3次元空間において図1に示す曲面を表している。以後、この曲面を現状曲面と呼ぶ。すなわち、求めるべき c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$ はこの曲面上のある1点でなければならない[条件a)]。つづいて、条件b)を生かすため、現状すべり面の上下近傍にいくつかの試行すべり面を生成する(詳細については文献⁵⁾を参照されたい。このとき、任意の試行すべり面に関して、安全率算定式は式(2)で表される。

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \{(\Delta x_{\Delta y} c' + \Delta W_{ij} \tan \phi' - \Delta x_{\Delta y} u_w \tan \phi^b) / \cos \alpha_{xzy} m_t\}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tan \alpha_{xzy} \Delta W_{ij}} \quad (2)$$

この式中のバーの付された記号は試行すべり面で評価された値を意味する。式(1)と(2)を連立させることにより、未知数 (c' , $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$) のうち1つが消去されるのであるが、ここでは c' を消去する場合について説明する。両式を連立させ、 c' を消去し F_t について解くと式(3)となる。

$$F_t = \alpha \tan \phi' + \beta \tan \phi^b + \gamma \quad (3)$$

式中の記号 α , β , γ の詳細は紙面の都合上省略するが、記号中に F_t が含まれていることに注意されたい。式(3)に注目し、 $F_t - \tan \phi' - \tan \phi^b$ の3次元空間を考える。すると、試行すべり面が現状すべり面より上方にある場合、 F_t の変化は図2の曲面 $a_1 b_1 c_1$ で表される。ここで条件b)の要請より、求めるべき $\tan \phi'$, $\tan \phi^b$ は $F_t \geq F_0$ を満たす領域 $C'D'b_1 c_1$ に存在することになる。同様に試行すべり面が現状すべり面

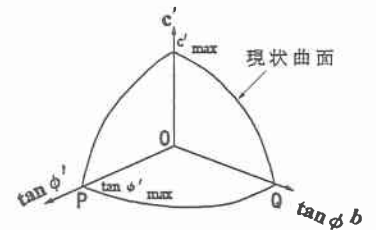


図1 $c' - \tan \phi' - \tan \phi^b$ 関係

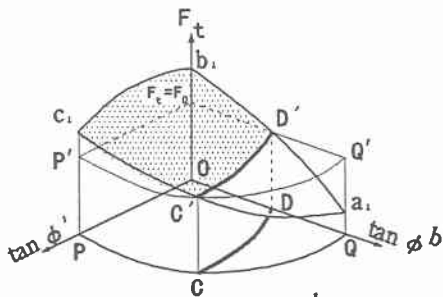


図2 $F_t - \tan \phi' - \tan \phi^b$ 関係

(試行すべり面が現状すべり面より上方の場合)

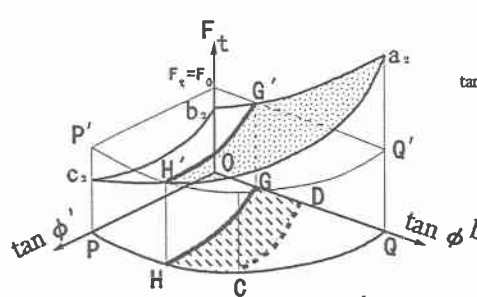


図3 $F_t - \tan \phi' - \tan \phi^b$ 関係

(試行すべり面が現状すべり面より下方の場合)

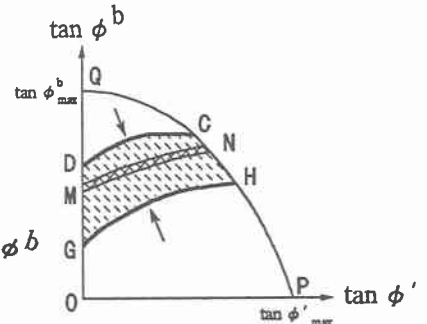


図4 解の存在範囲の制限

より下方にある場合は、図3に示す $H'G'a_2$ にその存在範囲を制限できる。そこで、これら上下2つの試行すべり面を併せ考えると、 $\tan \phi' - \tan \phi^b$ 平面において図4に示すように、解の存在領域が OPQ から $CDGH$ に絞り込まれたことになる。さらに、この作業を現状すべり面の上下にいくつかの試行すべり面を仮定して行えば、解の存在領域は図中の微小領域 MN にまで大幅に狭められる。そして、最終的には1本の曲線に限定することができる。

3. 2つの現状すべり面を用いた逆算法： 以上の手法に従えば、解の存在領域は1本の曲線で表現される。しかしこのままでは逆算すべき変数が3つであるのに対し、逆解析が満たすべき条件は2つであるため、唯一の解を決定することはできない。そこで、解を特定するための条件を増やす方策として、山上ら³⁾と同様、もう1つの現状すべり面を作り出すことを考える。与えられた2つの現状すべり面から図5に示す2つの現状曲面が定まる。このとき、正解値は各現状曲面上に存在するわけであるから、その交線 HG 上に解は限定される。この交線を $\tan \phi' - \tan \phi^b$ 平面に射影した曲線が HG' である。さらに、2つの現状すべり面に対して、**2.**で述べた手法を用い逆算を行えば、 $\tan \phi' - \tan \phi^b$ 平面上に、解の存在範囲を表す2本の曲線が得られる。これらと HG' を併せ考慮することにより、求めるべき強度定数が決定できる。そして、それらを(1)式に代入することにより、消去した c' が定まる。当然ながら、本逆算法は $\tan \phi' - c'$ 平面においても同様に展開できる。

4. 適用例： 本手法の適用性を検討すべく、図6(a), (b)に示す尾根状斜面を想定した。この斜面に対し、2つの臨界すべり面を作り出すために以下の場合を考える：Case1：外力作用なし、Case2：斜面天端に集中荷重が作用する場合(図6参照)。これらに対して、山上らの3次元臨界すべり面探索法⁶⁾を用い、臨界すべり面を探索した。1例として、図7に Case1 に対する臨界すべり面と最小安全率を示す。そこで、これら2つの臨界すべり面を現状すべり面とみなし、逆算を行った。得られた結果を図8に示す。逆算値は $\phi' = 10.380^\circ$ 、 $\phi^b = 8.880^\circ$ 、 $c' = 1.064 \text{ tf/m}^2$ であり、正解値 $\phi' = 10.000^\circ$ 、 $\phi^b = 6.000^\circ$ 、 $c' = 1.300 \text{ tf/m}^2$ に近い値となった。紙面の都合上、この例題に関する詳細については、当日発表するものとし、ここでは省略する。

【参考文献】1) D.G.Fredlund : Chapter4, Jhon Wiley & Sons Ltd, pp. 113-144, 1987. 2) 山上ら：第30回土質工学研究発表会, pp. 1781-1782, 1995. 3) 山上ら：第28回土質工学研究発表会, pp. 2151-2152, 1993. 4) 鶴飼・細堀：土木学会論文集, 第394号/Ⅲ-9, pp. 21-26, 1988. 5) 山上・植田：第28回土質工学研究発表会, pp. 2135-2136, 1993. 6) Yamagami T. Jinng J.-C. : Soil And Foundations Vol.37, No.3, 1-16, 1997

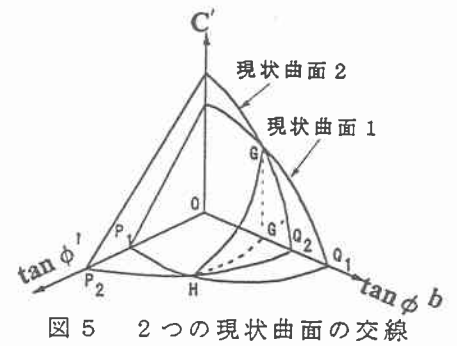


図5 2つの現状曲面の交線

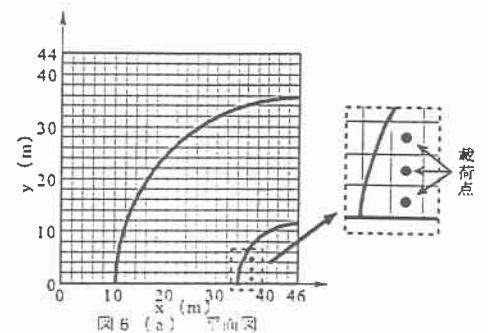


図6 (a) 断面図

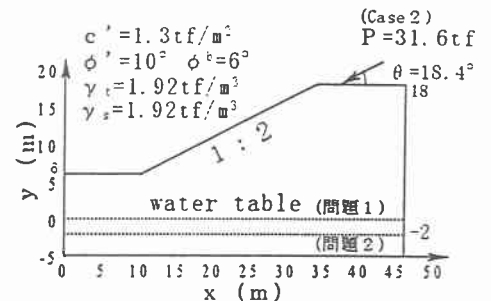


図6 (b) 断面図

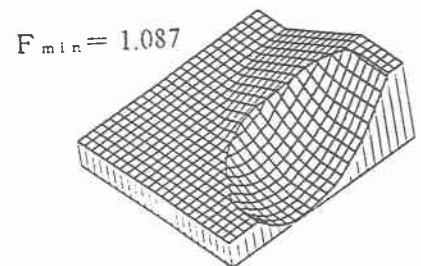


図7 臨界すべり面

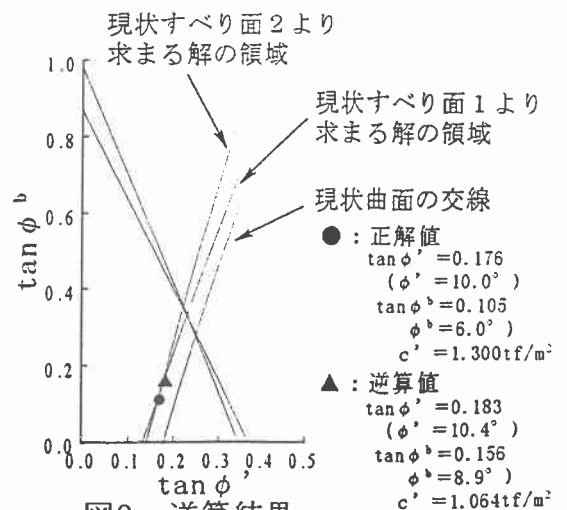


図8 逆算結果