

Janbu厳密法による安全率算定式の問題点について

徳島大学工学部 正 山上 拓 男  
 徳島大学工学部 正 〇植 田 康 宏

1. まえがき： 現在、筆者らは非円形すべり面理論に基づく臨界すべり面探索法の確立を目的とした研究を行なっている。そして、これまでに Janbu法と動的計画法<sup>1)</sup>、Janbu法とシンプレックス法<sup>2)</sup>、および Morgenstern・Price 法とシンプレックス法<sup>3)</sup>を結びつけた探索手法を提案してきた。ところが、スライス間の不静定力を考慮したいわゆる Janbu厳密法を用いた手法では、探索途中に仮定されたすべり面の形状によっては安全率が収束しない場合や、安全率が当然大きく評価されなければならないすべり面に対して逆に過小に評価され、正しく探索が実行されない事態に陥る<sup>4)</sup>ことなどが経験された。また、Janbu法による安全率はすべり土塊全体のモーメントのつりあいを満足していないという欠点も有している。Janbu法に付随したこのような問題点は、スライス側面の不静定力を評価する際、その作用点（すなわち推力線の位置）を土被り高さの下1/3の点に固定し、しかもそれをすべり土塊全体にわたって一定であると仮定することに起因している。本報告は、これら問題点の解消策を検討し、Janbu厳密法を用いたより精度の高い臨界すべり面探索法を確立せんとするものである。

2. Janbu厳密法に伴う問題点： Janbu法による安全率は次に示す3つの式を用いて計算される。

(i)安全率算定式；

$$F_s = \frac{1}{\sum (p+t) \Delta x \tan \alpha} \sum \frac{(c + (p+t-u) \tan \phi) \Delta x (1 + \tan^2 \alpha)}{1 + \tan \alpha \tan \phi / F_s} \quad (1)$$

ここに、 $p = \Delta W / \Delta x + \Delta q$ 、 $t = \Delta T / \Delta x$  (1)'

(ii)スライスの水平方向のつりあい式；

$$\Delta E = -(p+t) \Delta x \tan \alpha + \frac{1}{F_s} \left\{ \frac{c + (p+t-u) \tan \phi}{1 + \tan \alpha \tan \phi / F_s} \right\} \Delta x (1 + \tan^2 \alpha) \quad (2)$$

(iii)スライス底面の中心に関するモーメントのつりあい式；

$$T = E \tan \alpha_t + h_t \frac{dE}{dx} \quad (3)$$

(用いた記号は図1参照。) 紙面の都合上、これらの式を用いた計算手順は省略する。

さて、Janbu法ではスライス側面に働く不静定力は式(2)、(3)で評価される。ところが、式(3)を用いた分割線*i*上での不静定力*T<sub>i</sub>*の計算には、注目するスライスおよび  $dE/dx$  の評価法によって4種類の方法が考えられる。すなわち図2を参考にして、スライス①に注目するかスライス①-1に注目するか、そしてそれぞれについて  $dE/dx$  の値として注目しているスライスの値を用いるかもしくはスライス①と①-1の平均値を用いる<sup>5)</sup>かである。これを式で表すと次のようになる。

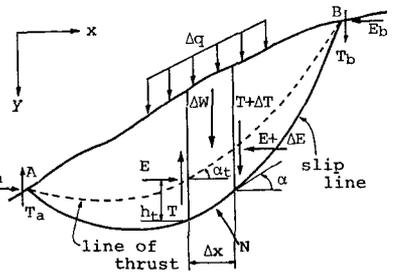


図1 Janbu法による安全率算定式

・  $dE/dx$  を注目しているスライスで評価する場合

1) スライス①に注目して

$$T_i = E_i \tan \alpha_{t_i} + h_{t_i} \left( \frac{dE}{dx} \right)_i, \quad \left( \frac{dE}{dx} \right)_i = \frac{\Delta E_i}{\Delta x_i} \quad (4)$$

2) スライス①-1に注目して

$$T_i = E_i \tan \alpha_{t_{i-1}} + h_{t_i} \left( \frac{dE}{dx} \right)_{i-1}, \quad \left( \frac{dE}{dx} \right)_{i-1} = \frac{\Delta E_{i-1}}{\Delta x_{i-1}} \quad (5)$$

・  $dE/dx$  にスライス①と①-1の平均値を用いる場合

3) スライス①に注目して

$$T_i = E_i \tan \alpha_{t_i} + h_{t_i} \left( \frac{dE}{dx} \right)_{i-1, i} \quad (6)$$

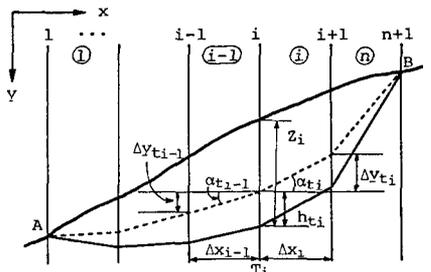


図2  $T_i$  の評価

4) スライス①に注目して

$$T_i = E_i \tan \alpha_{t,i-1} + h_{t,i} \left( \frac{dE}{dx} \right)_{i-1,i} \quad (7) \quad \text{ここに、} \quad \left( \frac{dE}{dx} \right)_{i-1,i} = \frac{\Delta E_{i-1} + \Delta E_i}{\Delta x_{i-1} + \Delta x_i} \quad (8)$$

いま、すべり面の一端Aから出発して順次 $T_i$ を評価していくとき、式(4)もしくは(6)を用いた場合スライス①のモーメントのつりあいを考慮しなくても全ての $T_i$ が求まる。また、式(5)もしくは(7)を用いるとスライス②のモーメントのつりあいを考えなくとも全ての $T_i$ が定まる。したがって求まった安全率には、どちらか一端のスライスのモーメントのつりあいを満足している保証がないのである。これが、Janbu法では土塊全体のモーメントのつりあいを満足していない、と言われる所以である。山口<sup>6)</sup>は論理的に矛盾のない方法で安全率を求めるべく、次の手法を提案している：新しい未知パラメータ $\lambda$ を導入して推力線位置を $h_t = \lambda \cdot z$ で表す。そして、 $\lambda$ の値を適当に変化させて式(4)or(6)を用いて計算される安全率 $F_{sr}$ と式(5)or(7)で計算される安全率 $F_{sl}$ が等しくなる $\lambda$ の値を求め、そのときの安全率を目下のすべり面に対する安全率とする手法である。ここではこの方策を持ち込んだJanbu法とシンプレックス法を結びつけた。そして一適用例として図3に示す問題を採用した。物性値は図中に示す。点線は初期すべり面である。まず、式(4)と(5)を用いて解析を行った。ところが、初期すべり面に対して安全率を求めようとしたとき、 $F_{sr}$ は計算されたが、 $F_{sl}$ の計算においてはいかなる $\lambda$ に対しても収束値が得られず、安全率を決定することができなかった。この収束に関する問題点はすべり面の勾配と斜面形状に密接に係わったものであるが、ここでは紙面の都合上説明は割愛する。次に、式(6)と(7)を用いた結果は図4に示すように初期すべり面に対して $F_{sr}=F_{sl}$ となる $\lambda$ を求めることができず、以後の探索は実行されなかった。このように山口の方法は、Janbu法に対して指摘されているモーメントのつりあいに関する問題点は解消するが、すべり面形状によっては安全率が収束しない場合があり、安定した解法とは言い難い。

そこで、筆者らは $\lambda$ を1/3に固定したままで、Janbu法の問題点を解消すべく $T_i$ の評価に次式を用いた。

$$T_i = E_i \tan \alpha_{t,i-1} + h_{t,i} \left( \frac{dE}{dx} \right)_{i-1,i} \quad \text{ここに} \quad \tan \alpha_{t,i-1} = \frac{\Delta y_{t,i-1} + \Delta y_{t,i}}{\Delta x_{i-1} + \Delta x_i} \quad (9)$$

すなわち、 $dE/dx$ だけでなく $\tan \alpha_t$ もスライス分割線の両端のスライスの平均値を用いる手法である。式(9)で評価される $T_i$ は、スライス幅が一定の場合、それぞれ式(4)と(5)or式(6)と(7)で計算される $T_i$ の平均値に等しくなる。そして式(9)を用いたJanbu法による探索法を図3の例題に適用したところ、実線で示した臨界すべり面が得られた。また、図にはMorgenstern-Price法とシンプレックス法による探索結果<sup>3)</sup>も併せ示した。両者は安全率、すべり面形状ともよく一致している。

**3. 結言：** 本報告では、Janbu厳密法にまつわる問題点を挙げその解消策を検討した。すなわち、Janbu法では $T_i$ の評価法と関連して式(9)も含めると5種類の安全率を求めることができる。そして、緩やかな勾配のすべり面に対してはどの方法を用いても結果はほぼ一致する。しかし、急な勾配をもつすべり面に対しては、各手法によって安全率は大きく異なり、解が収束しないことすら起こり得る。本報告で示した適用例より、 $T_i$ の評価に式(9)を用いれば精度の高い安定した解が得られることが判明した。

[参考文献] 1) 山上、植田：地すべり、Vol. 22, No. 4, pp. 8-、1986. 2) 山上、植田：昭和61年度中四国土木学会、pp. 241-、1986. 3) 山上、植田：

第22回土質工学会（投稿中）、1987. 4) 山上、植田：第41回土木学会、III部門、pp. 621-、1986. 5) Janbu, N.: Embankment-dam Engineering, John Wiley & Sons, pp. 47-、1973. 6) 山口：昭和59年度科学研究費研究成果報告書、昭和60年.

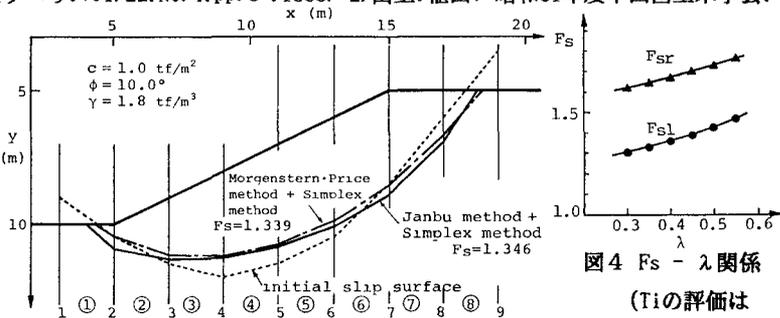


図3 解析例

図4  $F_s - \lambda$ 関係  
( $T_i$ の評価は式(6)と(7))