

III-A 220 スライス境界にバネを用いた斜面安定解析法の実働土圧・支持力への適用

愛知県豊田土木事務所 正会員 近藤親慈  
 三重大学生物資源学部 正会員 林 拙郎

1. はじめに 筆者らは、既にスライス境界と底面にバネを用いたモデルによる斜面安定解析法<sup>1)</sup>（以下、SS法という）を提案し、その適用例の一部を報告している<sup>1)2)3)</sup>。ここでは、本法の概要を示し、内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ の実働土圧係数 $K_\phi$ と $\phi=35^\circ$ の自重に関する支持力係数 $N_r$ とを、SS法を用いて解析して、代表的な地盤問題における本法の適用結果を示す。

2. SS法の概要 SS法は、極限平衡法（分割法）の枠内で、安全率やスライス間内力（以下、内力という）を合理的に決定しようとするものである。解析モデルに、図-1に示すように鉛直に分割されたスライスを剛体と仮定し、スライス境界（以下、境界という）に、垂直な線形弾性バネ（バネH）と、平行な弾完全塑性バネ（バネV）を置き、また、スライス底面（以下、底面という）に、垂直な線形弾性バネ（バネN）と、平行な剛完全塑性のスライダを設けたものを用い、スライスの変位に次の仮定を設ける。すなわち、スライスの変位は底面と境界に平行な方向を基本とし、境界が塑性状態に達したときのスライスの変位方向にはダイレイタンシー角を与え、底面も同様とする。こうして求められたスライスの変位から、内力の仮想作用角 $\delta_{Di}$ を求め、次いで力学的つり合い条件（力のつり合いとモーメントのつり合い）から内力の作用角 $\delta_i$ を求めて解析を行う。具体的な解析手順を、文献1）、2）に示した。

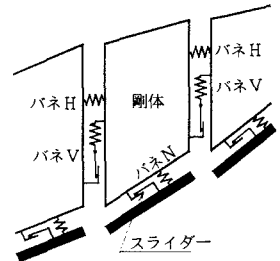


図-1 解析モデル

2.1 内力の仮定式 求められた $\delta_{Di}$ を式(1)  $[\tan\{(\pi/2 - \delta_{Di})/2\} = k \cdot \tan\{(\pi/2 - \delta_i)/2\}]$ の内力の仮定式に与え、力学的つり合い条件が満足されるように $k$ を決定する<sup>1)2)</sup>。解析の結果、 $k=1$ のときには、本モデルによる変位から求められる境界のせん断力と斜面全体の力学的つり合いより求められるせん断力とが一致し、斜面全体の力学的つり合いが確保される。また、 $k \neq 1$ のときには、 $\delta_i$ を式(1)の関係にしたがって変化させることによって、斜面全体の力学的つり合いが確保されるが、境界では変位によるせん断力と力学的つり合い条件によるせん断力が一致しない。このとき、式(1)の役割は、各境界に同じ重み( $k$ )で $\delta_{Di}$ を変化させることである。また、内力の仮定式を、式(1)のように、 $\delta_i'$ と $\delta_{Di}$ とのそれぞれ余角の二分の一によって表現すると、支持力問題のような内力の作用角に正負が混在する場合においても、一つの変数 $k$ を変化させることによって収束解が得られる。

2.2 スライス境界の安全率 $F_{sb}$  分割法を用いた地盤問題の解析には、力学的な静定化のために、各スライス境界の安全率 $F_{sb}$ が必要になる。SS法では、土塊の応力-ひずみ関係から $\delta_i'$ を求めるが、このことは、 $F_{sb}$ を求めることと同義である。つまり、 $F_{sb}$ は、次の式(2)  $[F_{sb} = (Z_i' \cdot \cos \delta_i' \cdot \tan \phi + c \cdot h) / (Z_i' \cdot \sin \delta_i')]$ のように $\delta_i'$ によって表現される。ここに、 $c$ は粘着力、 $Z_i'$ は内力、 $h$ は境界の高さ、である。なお、SS法では、境界におけるせん断力（分母）がせん断抵抗力（分子）を上回ると、バネVのスライダの作用によって境界は塑性状態になる。

2.3 底面反力の作用位置 底面反力（以下、反力という）の作用位置は、内力の作用角や作用位置と同様に、不静定量である。このため、従来の斜面安定解析法では、一般に、底面の midpoint と仮定している。一方、SS法では、反力が一般に連続的な変化を示すことに着目して、両端部以外のスライスについては、スライスを挟む両側の反力の大きさから決定される。また、両端部の反力の作用位置は土塊の重心からの垂線と

底面との交点としている．ところが，支持力問題では端部に上載荷重が作用するため，SS法の適用にあたっては，以下のように定める．すなわち，反力は，上載荷重と土塊の自重によって発生するものと仮定し，この両者の合力の位置を反力の作用位置とする．

3. 受働土圧係数  $K_p$  の計算 SS法を用いて，粗な擁壁に生ずる  $K_p$  を， $\phi=30^\circ$  の地盤を対象に，壁面摩擦角  $\delta_w 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  のそれぞれについて求める．受働土圧は壁面の下から三分の一の位置に作用させる．また，受働土圧の最適化には，文献4)の方法を用いる．なお，ポアソン比として0.3を用いる．図-2に  $\delta_w=30^\circ$  のときのスライス数  $n$  の変化に対するSS法のすべり面形状の変化をSokolovsky<sup>5)</sup>の解と比較して示す． $n$  が少なくてもSokolovskyに近い形状を示し，多くすると更に近づくが完全には一致していない．また，図-3に  $n$  の変化に対する  $K_p$  と  $k$  の変化を示す． $n$  を多くするにしたがって， $K_p$  が漸近値（6.81）に増加し， $k$  が漸近値（0.96）に減少している．このことから， $k$  が減少すると，式(1)の関係から  $\delta_i'$  が増加し，すべり面でのせん断抵抗力が増すため， $K_p$  が増加することが分かる．図-4，図-5に  $\delta_w$  を  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  としたときの  $K_p$  の値とすべり面形状とをSokolovskyの結果と比較して示す． $K_p$  の値は， $\delta_w=30^\circ$  で Sokolovskyの解（6.55）と若干異なっているが，他は良く一致している．また，すべり面形状も比較的一致している．

4. 支持力係数  $N_r$  の計算 自重と内部摩擦角をもち上載荷重  $p$  と粘着力  $c$  のない均一水平地盤上の浅い基礎の極限支持力  $Q$  の算出には，式(3) [ $Q = B \cdot N_r \cdot \gamma \cdot B / 2$ ] の支持力公式が用いられる．ここに， $\gamma$ :土の単位体積重量， $B$ :基礎幅，である．ここでは，基礎底面が滑なときの  $\phi = 35^\circ$  の  $N_r$  の値を，SS法を用いて求める．Larkin<sup>6)</sup>, Graham<sup>7)</sup> は， $N_r$  に対する基礎面の支持力分布が基礎面中央を凸とする三角形分布であると説明している．ここにおいても，この分布形状を採用する．最適化には  $K_p$  と同様，文献4)の方法を用いる．断面を5分割しSS法を用いて解析した結果を図-6に示す． $N_r$  として18.0 ( $k=0.98$ ) が算出された．この値はGrahamらの示した17.4に比較的近い値である．また，すべり面形状もGrahamら<sup>7)</sup>の解と比較的一致していることが分かる．

参考文献 1)近藤観慈，林拙郎 1995：スライス境界にバネを用いた斜面安定解析，土木学会第50回年次学術講演会，第3部(A)，pp.808～809 2)近藤観慈，林拙郎 1996：スライス境界にバネを用いた斜面安定解析法と適用事例，土木学会中部支部平成7年度研究発表会，pp.389～390 3)近藤観慈，林拙郎 1996：スライス境界にバネを用いた斜面安定解析法の支持力・アンカー工への適用，第31回地盤工学研究発表会，投稿中 4)Arai,K., Tagyo,K. 1985：Determination of noncircular slip surface giving the minimum factor of safety in slope stability analysis, *S & F*, Vol.25, No.1, pp.43～51 5)Sokolovsky (星壁和ら訳) 1958：土のような粒状体の力学，オーム社，pp.229～242 6)Larkin 1968：Theoretical bearing capacity of very shallow footings, *Soil mechanics and foundations division, SM6*, pp.1347～1357 7)Graham, Gordon 1971：Scale and boundary effects in foundation analysis, *Soil mechanics and foundations division, SM11*, pp.1533～1548

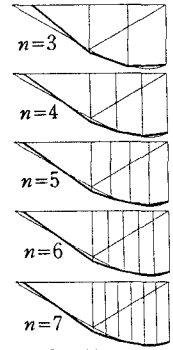


図-2 すべり面の変化

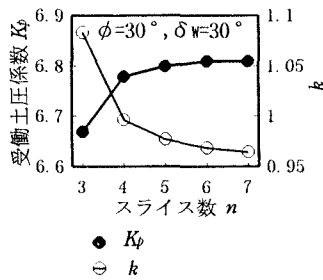


図-3  $K_p$ ,  $k$  の変化 ( $\delta_w=30^\circ$ )

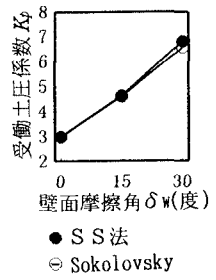


図-4  $K_p$  ( $\phi=30^\circ$ )

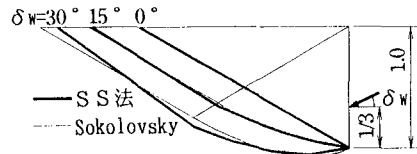


図-5 受働土圧のすべり面形状 ( $\phi=30^\circ$ )

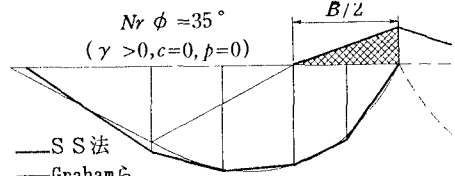


図-6  $N_r$  のすべり面形状 ( $\phi=35^\circ$ )