Janbu法に基づく地すべり地地山の強度定数逆算について

徳島大学工学部　正　山上拓男
同上　正　○植田康宏

__1. まえがき__　筆者らは，これまで地すべり地地山の強度定数逆算について合理的で平易な新しい逆算法を提案してきた[1]。そして，安全率算定式に円弧すべりを対象とした簡便分割法やBishop法を採用した場合の逆算手順を示した[2)3)]。さらに，本手法を非円形すべり面場に拡張すべくJanbu法に基づく逆算法を展開した[4)5)]。その際，Janbu法は簡便分割法やBishop法と違って任意形状のすべり面を対象としているため，逆算に必要な試行すべり面を決定する上で，非常に困難な問題が伴った。すなわち，与えられた現状すべり面の近傍に非円形のすべり面は無限に考えられ，何らかの制約を課せない限り具体的に試行すべり面を決定することができない。この点について既報の文献では紙数制約上，余り詳しく説明できなかった。そこで，本報告は非円形の試行すべり面の決定方法について詳述するとともに，Janbu法に基づく逆算法の適用例を示すものである。

__2. 試行すべり面の決定方法__　紙面の都合上，Janbu法に基づく逆算手順については文献4)，5)を参照していただくことにし，ここではその記述を割愛する。

本研究では，試行すべり面の決定には，すべり面の両端を固定し，現状すべり面上のいくつかの点を鉛直方向に移動させる方法を用いた。その際，試行すべり面は現状すべり面の近傍に存在し，かつそれとよく似た形状のものでなければならないとの条件を設ける。この条件を満たすように現状すべり面上のいくつかの点を移動させつつ試行すべり面を決定する手順は以下のようである。まず，すべり面は図1に示すように直線のつらなりで構成されるものとする。そして，現状すべり面を表わすこれら各直線の交点（節点）を通るなめらかな曲線を関数近似により定める。このとき，関数近似の仕方には幾つかの方法が考えられるが，試行すべり面の決定と関連して多項式で近似すると好都合である。すなわち，すべり面上の節点をn個とすると，各節点を通る多項式は次式で与えられる：　$y = a_1 x^{n-1} + a_2 x^{n-2} + \cdots + a_{n-1} x + a_n$　―(1)　係数a_i（$i=1 \sim n$）は，式(1)に各節点の（x，y）座標を代入し，得られた連立方程式を解くことにより決定される。次に，両端A，Bを通り式(1)で与えられる曲線と非常によく似た形のなめらかな曲線を次式で求めることができる：

$$y = \left(a_1 - \frac{1}{m}\right) x^{n-1} + \left(a_2 - \frac{1}{m}\right) x^{n-2} + \cdots + \left(a_{n-2} - \frac{1}{m}\right) x^2 + b_1 x + b_2 \quad -(2)$$

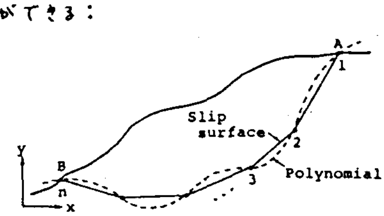

図1　すべり面上の節点を通る曲線の多項式近似

ここに，mは任意の定数（$m \neq 0$），b_1，b_2は式(2)で与えられる曲線が点A，Bを通る条件から決定される定数。式(2)は$m \to \pm\infty$のとき式(1)に一致する。mの値を適切に選べば，図2の模式図に示すようにもとの曲線，つまり現状すべり面の近傍にそれとよく似た形状の曲線が求まる。この曲線は経験的に言って，mが正のときもとの曲線の下側に，負のとき上側に存在する。こうして求められた曲線と，現状すべり面上の各節点のx座標との交点を試行すべり面上の節点とする。そして両端を含むこれらn個の節点間を直線で結んで，一つの試行すべり面とするのである。この場合，mの値をいくつか変化させることによって必要な数の任意の試行すべり面を作り出すことができる。ここで注意すべきは，式(1)や式(2)自体がすべり面の形状を表わす関数ではないという事実である。これら多項式は図2中に模式的に示したように，各節点を通ることは保証されるが，一般に変化に富んだ曲

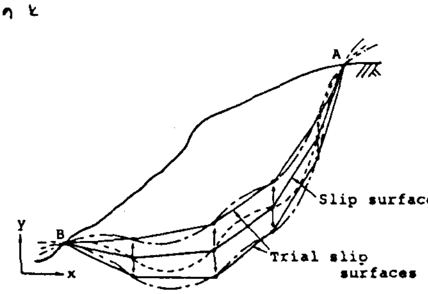

図2　試行すべり面の決定

線となって，決してすべり面形を表示するのに採用することはできない。これらは単に試行すべり面を決定する際に，補助的な役割を果たすにすぎない点を理解すべきである。

ここで，上記したmの値の決定方法を略述すれば以下のようである。まず，式(2)から明らかなように，mの値の絶対値が大きくなればなる程，この曲線は式(1)で与えられる元の曲線に接近してくる。そこで我々が現状すべり面の上下に設けるべき試行すべり面の数を定めたとき，一番外側の試行すべり面，すなわち現状すべり面から最も離れた位置に存在する試行すべり面に対応するmの値から決定することにする。換言すると，必要な数のmのうち，絶対値最小のものから決定することにする。このため，まず初めにあるmの値を仮定する。そしてこのmのもとに式(2)に基づいて，上記した手法で試行すべり面上の節点を求める。次にこの求まった節点と，対応する現状すべり面上の節点とのy座標値の差を計算する。こうして求められたy座標値の差と，試行すべり面が現状すべり面の近傍に存在するようにあらかじめ定められたy座標値の差の許容値とを両端以外のすべての節点で比較する。そしてy座標値の差が1つでも許容値より大きければ，mの値を10倍し，それを新たなmとして以上の手順を繰り返す。この過程を継続して，y座標値の差がすべての節点で許容値内におさまれば，そのときのmの値をまず採用し，これを一番外側の試行すべり面に対応するmであるとみなす。あとはこのmの値の絶対値を順次2倍ずつ大きくしてゆき，必要な数だけのmの値を定める。こうして得られたmに応じた試行すべり面を求める仕組をとっている。無論，mの値の大きさ等しく，逆符号のものを採用すれば，現状すべり面の上下に試行すべり面を定めることができる。

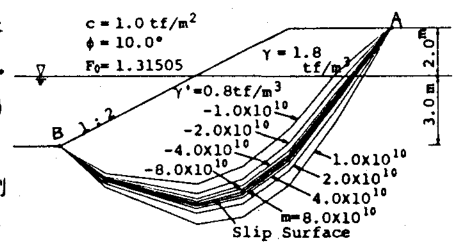

図3 問題設定

3．適用例および結言　ここでは，図3に示す部分水没斜面を例題として採用した。この場合，浸透流がないので容易に水中重量＋浸透力法が適用できる。有効応力の立場での強度定数を$c = 1.0$ tf/m², $\phi = 10.0°$ また単位重量を$\gamma = 1.8$ tf/m³, $\gamma' = 0.8$ tf/m³ としたとき，筆者らによって別途開発された動的計画法を応用したJanbu法による斜面安定解析[6]によると，すべり面$\overline{AB}$で最小安全率$F_0 = 1.31505$を有することが判明した。今，この値を現状安全率F_0として，c，ϕの逆算を試みる。まず，現状すべり面の上下両側に5個ずつの試行すべり面を選んだ。この時，式(2)のmの値は$\pm1.0\times10^{10}$, $\pm2.0\times10^{10}$, $\pm4.0\times10^{10}$, $\pm8.0\times10^{10}$, $\pm1.6\times10^{11}$であった。図3にそのうち8個の試行すべり面を示した。図4に$c-\tan\phi$関係を示す。逆算結果を図5に示す。逆算された値は$c = 1.125$ tf/m², $\phi = 7.80°$である。正解と逆算値の関係は図4にみられる通りである。CPU time は FACOM M-360で5.40秒であった。演算時間，精度ともにほぼ満足すべき結果とみている。

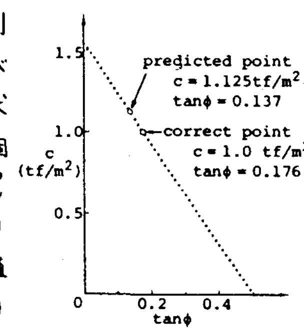

図4 C−tanφ関係

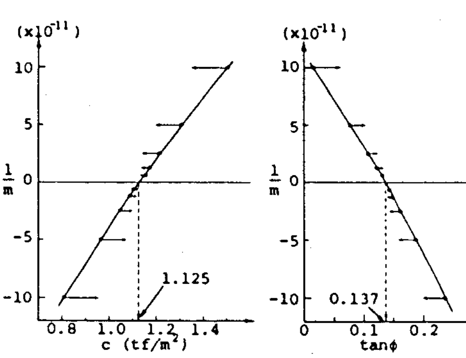

図5 逆算結果

［参考文献］ 1) 山上，植田：地すべり地強度定数の新しい逆算法(Ⅰ)—基本概念—，地すべり，Vol.21, No.2, pp.16-21, 1984. 2) 山上，植田：地すべり地強度定数c, φの新しい逆算法(Ⅱ)—簡便(分割)法に基づく逆算法—，地すべり，Vol.21, No.3, pp.24-31, 1984. 3) 山上，植田：地すべり地強度定数c, φの新しい逆算法(Ⅲ)—Bishop法に基づく逆算法，地すべり，Vol.21, No.4, 1985. 4) 山上，植田：Janbu法に基づく地すべり地強度定数c, φの逆算法，第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.299-304, 1984. 5) 山上，植田：地すべり地強度定数c, φの新しい逆算法(第3報)—Janbu法に基づく場合—，第20回土質工学会，1985. 6) 山上，植田，小山：Janbu法に基づく臨界すべり面の決定について—動的計画法の応用—，昭和60年度中四国土木学会，1985.