# すべり面に沿う間隙水圧分布の逆解析

徳島大学工学部　正　員　山上 拓男
(株)阪神コンサルタンツ　正　員　植田 康宏
徳島大学大学院　学生員　○西田 憲司

## 1．はじめに

地すべり地に代表される破壊斜面のすべり面に沿う間隙水圧を知ることは、一般に極めて困難とされている。本研究は、こうしたすべり面に沿う破壊時間隙水圧分布の一逆解析法を提案するものである。これまで筆者らは、間隙水圧を既知とした場合の強度定数c，$\phi$の逆解析法を提案してきた。特に、非均質地山を対象とした逆解析法においては、強度定数逆問題が非線形計画法の支援のもとに、等式・不等式制約条件付き非線形最適値問題として定式化されている[1)2)]。ここでは、これら最適値問題としての取り扱いを拡張応用することによって、すべり面に沿う間隙水圧の逆解析法が構築可能となることを示す。

## 2．逆解析法の基本概念

逆解析法によってすべり面に沿う間隙水圧を決定しようとする場合、逆解析法が与える現状すべり面に沿う間隙水圧が、理屈の上で矛盾のないものであるためには、少なくとも次の条件を満たさねばならない：

（a）現状すべり面に沿う安全率が、現状の安全率$F_o$であること。

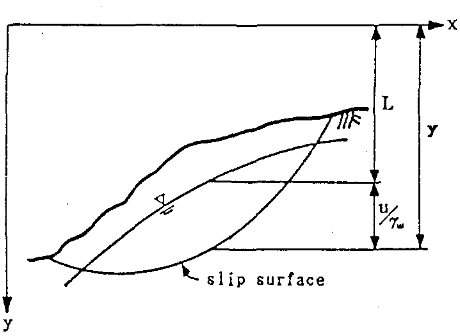
（b）現状すべり面が、その近辺の試行すべり面群の中で、最小の安全率を有していること。

したがって、後に述べる探索過程等と関連して、現状すべり面およびその近辺の試行すべり面に沿う安全率を求める必要がある。言い換えると、現状すべり面だけでなくその近辺の試行すべり面に沿う間隙水圧をも逆解析しなければならない。こうなると、逆解析すべき未知数が極端に多くなってしまい、すべり面に沿う間隙水圧の逆解析法を構築することが事実上不可能となる。

しかし、図－1に示すように地下水面の位置をL、すべり面の位置をyとし、すべり面に沿う任意の間隙水圧uを、地下水面とすべり面の鉛直距離（y－L）に水の単位重量$\gamma_w$を乗じたものに等しい：

$$u=(y-L)\cdot\gamma_w \qquad \cdots\cdots(1)$$

と評価すれば、この難点を解消することができる。すなわち、本研究で提案する手法は、すべり面に沿う間隙水圧分布自体を逆解析するのではなく、それに等価な水圧面（地下水面）を逆解析析せんとするものである。




図－1　間隙水圧の評価

さて、図－2の模式図において、実曲線ＡＯＢが与えられたすべり面（現状すべり面）を表す。この曲線は必ずしも破壊面である必要はなく、その斜面の臨界すべり面でありさえすればよい。いま、すべり面に沿う任意の間隙水圧分布、およびこれに等価な水圧面（地下水面）の位置をそれぞれu，Lで、また逆解析すべき真のそれらを$u_o$，$L_o$で表す。こうすると、等価地下水面の位置が$L_o$のとき、この斜面は曲線ＡＯＢに沿って最小の安全率（これを$F_o$とする）を持つことになる。換言すれば、$L_o$以外の任意の位置Lに地下水面があるときは、この斜面はＡＯＢ以外の別の曲線、例えば図中の破線ＡＯ′Ｂに沿って最小の安全率を有するはずである。ただし、議論ないし計算の便宜上すべり面の両端Ａ，Ｂは固定して考える。ここで両曲線ＡＯＢとＡＯ′Ｂのずれを表す指標として、すべり土塊を適当な数の鉛直線で分割したときの各分割線上の縦距$\Delta y_i$に注目する。このとき、$\Delta y_i$の大きさはLの関数とみなし得る。無論Lが$L_o$に一致するとき$\Delta y_i$は零となる。

いま１つ、現状安全率$F_o$に注目したとき、求めるべき等価地下水面の位置$L_o$は$F=F_o$なる関係を満た

さなければならない。ここに、Fは用いるべき安全率算定式を意味する。F＝F(u)であるから、F＝F(L)となることは言うまでもない。

以上の記述を総合すると、目下の逆問題を次のような等式・不等式制約条件付き非線形最適値問題として定式化できる：

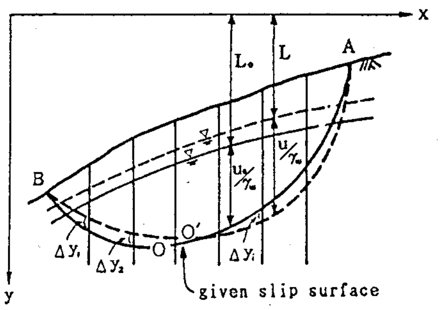
minimize　$U(L)=\Sigma\Delta y_i^2$　　　　　　　　　　　····(2)

subject to

　等式制約条件　　$F=F_0$　　　　　　　　　　　　　····(3)

　不等式制約条件　$L_{min}\leqq L\leqq L_{max}$　　　　　　　····(4)

ここに、目的関数U(L)は理論上$L=L_0$のとき最小値零をとることは明らかである。また、Lは鉛直下向きを正としているため、$L_{min}$は等価最高地下水位を、$L_{max}$は等価最低地下水位を表すことに注意されたい。これら等価最高・最低地下水位は理論的に決定できないので、問題に応じて適宜入力データで適当な数値を与えることにした。




図－2　逆解析の基本概念

## 3．円形すべり面場への適用

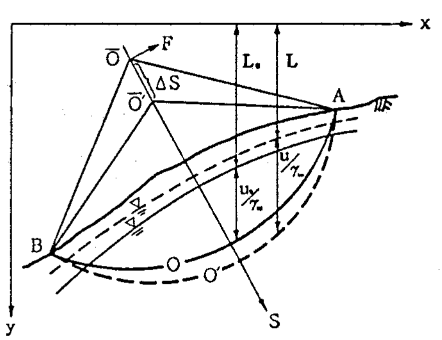
ここでは上述した基本概念を具体的に実行すべく、差し当たりすべり面形状を円形に限定した場合について述べる。まずすべり面が円形で与えられる場合は、式(2)の目的関数が一層簡潔に表示し得ることを述べなければならない。この様相を図－3に示した。図中の円弧AOBがこの場合の与えられた現状すべり面を、また$\overline{O}$がその中心を表している。$L_0$以外の等価地下水面位置Lのもとでは、この斜面は例えば$\overline{O}'$を中心とする破線AO′Bに沿って最小の安全率を有する。すべり面の両端を固定して考えると、すべり円弧の中心は常に直線ABの垂直2等分線$\overline{O}$S上に位置することになる。そこで、両円弧AOBとAO′Bの中心のずれΔSに注目すると、式(2)に代わって次の目的関数の定義が可能となる：

minimize　$U(L)=\Delta S^2$　　　　　　　　　　　····(5)

任意のLに応じたΔSの値を求めるには、直線$\overline{O}$S上で安全率Fの最小値を有するすべり円弧の中心を探索しなければならない。これには、黄金分割法を用いている。

一方、安全率算定式に簡便分割法を採用するものとすれば、式(1)を用いて式(3)の等式制約条件は次式で表される：

$$F=\frac{\Sigma cl+\Sigma\{W\cos\alpha-(y-L)\gamma_w l\}\tan\phi}{\Sigma W\sin\alpha}=F_0\quad\cdots(6)$$




図－3　円形すべり面場への適用

なお、安全率算定式にBishop法など他の理論を採用する場合は、等式制約条件である式(6)を書き改めるだけであって、本筋においては何ら変わることがない事実は本手法の１つの特徴と言えるだろう。

具体的適用例を通して、本手法の基本的特性を検討した結果は、別の機会に述べる[3)4)]。その適用例では、制約条件付き最適化手法にＳＵＭＴ法を採用し、計算途上の無制約最適化にはSimplex法を用いている。

## 4．おわりに

すべり面に沿う間隙水圧に等価な地下水面の位置の逆解析法を、制約条件付き非線形最適値問題として定式化した。この手法は、先にのべた２つの条件(ａ)，(ｂ)を満たす意味で完全といえる。

【参考文献】

1）山上・植田：Proc. 8th ARC., pp.513～, Kyoto, 1987.　2）山上・植田：斜面崩壊および地すべりの予知と対策に関するシンポジウム論文集, pp.199～, 松山市, 土質工学会四国支部, 昭和63年10月. 3）山上・植田・西田：第24回土質工学研究発表会(平成元年６月)発表予定.　4）山上・植田・西田：第43回年次学術講演会(平成元年10月)発表予定.