III-77　地すべり地強度定数c，φの新しい逆算法（第2報）
—Bishop法に基づく場合—

徳島大学工学部　正　山上拓男
徳島大学工学部　正　○植田康宏

1．まえがき　地すべり地地山の強度定数を決定することはその後の防止工の規模や工費と係って大変重要な問題である。ところが，自然斜面においては強度定数を実験的に決定することはほとんど不可能といわねばならない。このような実情から，地すべり対策工に伴うc，φの決定には，いわゆる逆算法が多くとられている。しかし現行の逆算法には，理論，実際両面で大きい問題点が含まれており，必ずしも満足すべき状態にはない。筆者らはこういった問題点を解消し，より安全かつ経済的な地すべり防止工の設計に役すべく，合理的で平易な新しい逆算法を提案した[1]。そして，提案した手法を仮想の問題に適用した結果は非常に満足いくものであり，本手法の妥当性が確かめられた。ただし，前報は安全率算定式として，簡便分割法を用いたものであった。そこで，本報告では安全率算定式として，より精度の高いBishop法を採用した逆算法について報告する。

2．Bishop法に基づく逆算法　提案した逆算法は，極めて単純明快な次の2つの条件，—求めるべきc，φは a)．現状安全率をF_0としたとき，安全率算定式で$F=F_0$として定まるc～tanφ関係を満足し，かつ b)．F_0が最小安全率となるようなものでなければならない—に基づいて展開されたものである。本報告も，この2つの条件に基づき安全率算定式としてBishop法を採用した場合の逆算法の手順について説明する。簡単のため，ここで対象とするすべり面の形状は単一の円弧としておく。ただし，この制約は絶対的なものではない。

Bishop法による安全率算定式は

$$F=\frac{1}{\Sigma W\sin\alpha}\Sigma\left\{\frac{cl\cos\alpha+(W-ul\cos\alpha)\cdot\tan\phi}{\cos\alpha+\frac{1}{F}\sin\alpha\cdot\tan\phi}\right\} \quad —(1)$$

で与えられる。

用いた記号は常識的なものであり，その説明は割愛する。さらに，逆算が対象とする地山は強度定数に関して均質，等方性であると仮定する。今，現状すべり面が与えられ，それに沿った現状安全率をF_0とすると式(2)を書き下すことができる。

$$F_0=\frac{1}{\Sigma W\sin\alpha}\Sigma\left\{\frac{cl\cos\alpha+(W-ul\cos\alpha)\cdot\tan\phi}{\cos\alpha+\frac{1}{F_0}\sin\alpha\cdot\tan\phi}\right\} \quad —(2)$$

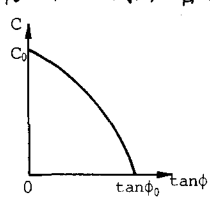


図1　c～tanφ図

これより，c～tanφ図が図1のように定まる。すなわち，逆算によって求めるべきc，φはこの曲線上のどこかの点でなければならない。Bishop法によるc～tanφ図は簡便法のそれと異なり，直線関係とはならない。ここでは，c～tanφ関係を定めるのに以下に示す方法によった。まず，式(2)において$\tan\phi=0$とおき，$C_0=F_0\Sigma W\sin\alpha/\Sigma l$　—(3)　よりC_0を求める。また，$c=0$とおくと，

$$\tan\phi_0=\frac{F_0\cdot\Sigma W\sin\alpha}{\Sigma\{(W-ul\cos\alpha)/(\cos\alpha+\frac{1}{F_0}\sin\alpha\cdot\tan\phi_0)\}} \quad —(4)$$

となる。この場合，両辺に$\tan\phi_0$が含まれるため，くり返し計算により$\tan\phi_0$を求めなければならない。次に，tanφを$0\leqq\tan\phi\leqq\tan\phi_0$なる存在範囲内で適当に細分割し，各tanφの値に対して式(2)よりcを求め，図1に示すc～tanφ関係を決定する。

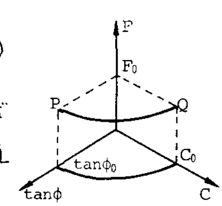


図2　(F,c,tanφ)空間

図2はc，tanφと安全率Fの3次元空間である。曲線PQはF_0のもとでcとtanφのとりうる範囲を示している。いまF_0を与えるすべり面が，少なくともこの近辺の試行円の中で，最小の安全率を与えるものでなければならないという事実（条件b)）を生かすため，現状すべり面以外の任意の試行円について，図2の線分PQに沿ってc，tanφを変化させたとき，つまり条件a)を満すよう変化させたとき，Fがどのように変化するかを調べる。ただし，ここでは図3において円弧$\widehat{AOB}$を現状すべり面とするとき，任意の試行円は両端A，Bを通るすべり面群のなかから選ぶことにする。さて，図3で任意の試行円に対して，Bishop法による安全率が

次のようにに表されたものとしよう： $F=\frac{1}{\Sigma \underline{W}\sin\underline{\alpha}}\Sigma\left\{\frac{c\,\underline{l}\cos\underline{\alpha}+(\underline{W}-\underline{u}\,\underline{l}\cos\underline{\alpha})\tan\phi}{\cos\underline{\alpha}+\frac{1}{F}\sin\underline{\alpha}\tan\phi}\right\}$ —(5)

アンダーラインの付された記号は現状すべり面以外の試行円で評価された値を意味する。Bishop法では簡便法のように，図1のC～tanφ関係を用いて式(5)をCもしくは，tanφに関して簡単な一次式で表すことはできない。そこで，C, tanφによるFの変化をみるため，図1で示したC～tanφ関係を満足する多数の（C, tanφ）の値を式(5)に代入し，対応するFの値を求める方法をとった。その結果は図4の模式図に示すようになることが判明している。ところが，前述した逆算法の満すべき条件b)より常に次式が成立していなければならない。

$F \geqq F_0$ —(6) これより求めるべきC, tanφは図4において矢印で示した範囲内に存在していなければならず，その存在範囲が大幅に制限されることになる。そして，現状すべり面の半径をr_0とすると，r_0より大きい半径と逆に小さい半径の試行円をそれぞれ適当な数選び出し，それらおのおのについてF～C，F～tanφ図を描いてやれば，図5に模式的に示したように正しいCないしtanφの存在範囲が極端にせばめられ，精度上ほとんど問題のない範囲内でC, tanφを決定することが可能となる。以上の方法をより効率的かつ組織だてて遂行するには，簡便法同様，各試行円の半径rと，各試行円に対するCもしくはtanφのとりうる範囲のうち最大値もしくは最小値をプロットした図を利用すれば，C, φが容易に決定できる。

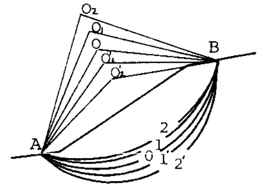


図3 現状すべり面と試行円

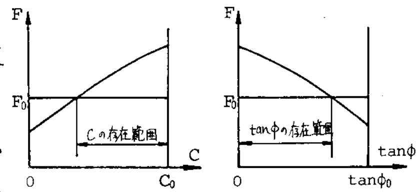


図4 (a) Cに基づく場合　(b) tanφに基づく場合

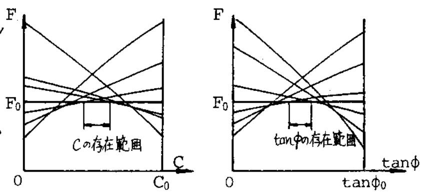
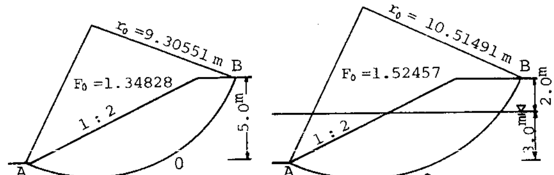


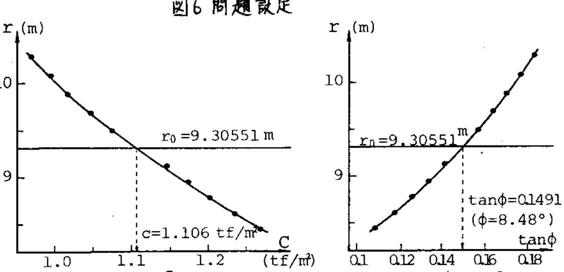
図5 (a) Cに基づく場合　(b) tanφに基づく場合

3. 解析例　本手法の適用性を吟味すべく，図6(a),(b)に示す2つの仮想の問題を採用した。それぞれCase1, Case2とする。Case1は$\gamma=1.8$ tf/m³の材料で構成される均質な斜面，Case2は部分水中斜面で浸透流のない場合である。γは1.8 tf/m³である。両者とも強度定数を$C=1.0$ tf/m², $\phi=10°$とするとBishop法により，円弧$\widehat{AOB}$で最小安全率$F_0=1.34828$, $F_0=1.52457$を得ることが判明した。Case2では浸透力がないので水中重量＋浸透力法[2)]による解析が容易に行える。そこでこの状態から，目下の関心事である逆算法の問題を設定することができる。すなわち，"図6(a),(b)の斜面は円弧$\widehat{AOB}$に沿ってそれぞれ最小安全率$F_0=1.34828$，$F_0=1.52457$を有する。このとき，C, φを逆算せよ"である。以上の問題設定に引き続き，現状すべり面の上下両側に5個ずつの試行円を選び，これらの試行円からr～C図，r～tanφ図を描くと，それぞれ図7，図8のようになる。これより求めるべき強度定数はCase1で$C=1.106$ tf/m², $\phi=8.48°$，Case2で$C=0.946$ tf/m², $\phi=11.10°$となり，実際上，問題のない精度で逆算されているといえる。



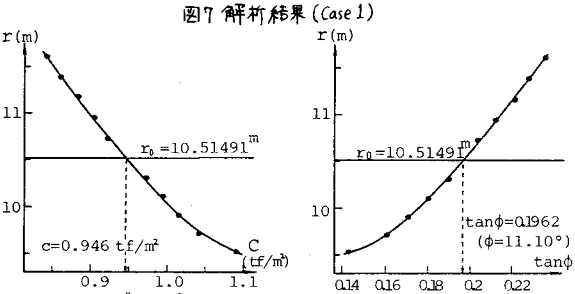
(a) Case 1　(b) Case 2

図6 問題設定



(a) Cに基づく場合　(b) tanφに基づく場合

図7 解析結果 (Case 1)



(a) Cに基づく場合　(b) tanφに基づく場合

図8 解析結果 (Case2)

［参考文献］1) 山上，植田：地すべり地強度定数C, φの新しい逆算法，才19回土質工学会. 2) 山上，植田，土と基礎，Vol.30，No.12，pp19~25，1982.