

PSⅢ-14 非線形計画法に基づく破壊斜面の強度定数逆解析について

— Bishop 法の応用 —

徳島大学 工学部 正 〇山上 拓男
阪神コンサルタンツ 正 植田 康宏

1. まえがき： 崩壊斜面の復旧対策や地すべり対策工と関連して強度定数 C 、 ϕ を逆解析すべき要請は少なくない。しかし既往の方法は、その適用が均質場に限定されるか、もしくは解がユニークに定まらないといった難点をはらんでいる。筆者らはこれら2つの欠点をカバーすべく、新たに非線形計画法に立脚した逆解析法を提案した¹⁾²⁾。そして安全率算定式として簡便分割法を採用し、均質斜面に適用した結果は十分満足できるものであった。次いで同じく簡便分割法のもとに、2層ないし3層の異なる土質よりなる斜面に対して本手法を適用したところ、場合によれば課せられた条件を満たす複数の解の存在し得ることが明らかになった³⁾。このような解の多面性つまりユニークに解が定まらない原因の可能性の1つは、簡便分割法という大変シンプルな安全率算定式を用いたことに求められた。本報告はこの推測の可否を明確にすべく、その後行ったBishop法に基づく検討結果を述べるものである。

2. 問題の定式化： すべり面を円弧と仮定した場合、Bishop法に基づく非均質斜面の強度定数逆解析問題は、図-1を参照して、次のような制約条件付き非線形最適化問題として定式化できる：（用いた記号の詳細は文献1)ないし2)参照）

$$\text{minimize } U(C, \phi) = \Delta S^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

subject to

等式制約条件

$$F_0 = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \frac{c \cos \alpha + (W - c \cos \alpha) \tan \phi}{\cos \alpha (1 + 1/F_0 \tan \alpha \cdot \tan \phi)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{不等式制約条件 } 0 \leq C \leq C_{\max} ; \quad 0 \leq \tan \phi \leq \tan \phi_{\max} \quad \dots\dots\dots (3)$$

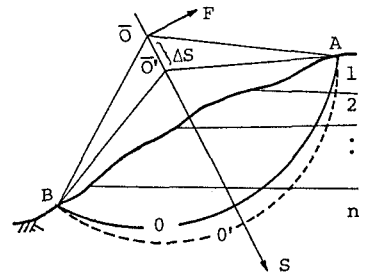


図-1 円形すべり面場の逆解析

ここに、式(2)がBishop法の安全率算定式（簡便式）であって、左辺 F_0 は与えられたすべり面（必ずしも破壊面に限定する必要はなく、臨界すべり面でありさえすればよい）に沿う現状安全率を表す。さて、式(3)にみられる粘着力と内部摩擦角のとり得る範囲の最大値 $C_{\max}$ 、 $\phi_{\max}$ がかなり重要な役割を果たしていることは前報³⁾に記した通りである。均質斜面であればこれらの値は理論上固有な値として特定されるのであるが、非均質斜面においては理論的に決定することができない。そこで本研究においても、先と同様、これらの値は経験に照らして適当な数値を単純に入力データで与えるという便法を採用した。

3. 適用例： 非均質斜面への適用例として、図-2、3に示す2層、3層斜面を取り上げた。これらの斜面自体は簡便分割法に基づく逆解析³⁾で対象としたものとまったく同じである。まず、図-2の2層斜面について、別途になされた安定解析より、この斜面は表-1に示す物性値のとき図中の円弧に沿って最小安全率 $F_0=1.235$ を有することが知られた。そこで、各層の強度定数は未知であるが、図のすべり面位置と F_0 の値が与えられたとして C 、 ϕ を逆解析した。初期値は2層とも同じ（ $C_1=C_2=5.0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi_1=\phi_2=45^\circ$ ）とし、表-3、4に示すように式(3)の最大値 $C_{\max}$ 、 $\phi_{\max}$ を大きくとった場合（Case1）と比較的小さく設定した場合（Case2）の2通りについて解析した。表-3、4に各ケースの最終逆解析値、反復回数およびCPUtime（徳島大学情報処理センターFACOM M-760/10）を示す。また図-4はCase2の探索過程を示したものである。ここに、式(1)～(3)の非線形計画問題を解くのにSUMT法を用いている。その際、無制約最適化手法としてはNelder・MeadのSimplex法を採用した。図-4より目的関数最小化のプロセスに伴って試行解が正解に向って逐次漸近している様子がうかがえる。この場合、Case2ではほぼ正解に近い値が求め

られている。一方、表-5、6には図-3の3層斜面に関する適用結果をまとめた。また図-5は表-5、6の逆算値を用いて再度安定解析を行った結果を示す。図-5より、精度上好ましからぬ逆解析値（今の場合Case 1）であるか否かは再安定解析によって十分チェックし得るという大変興味深い結論を得た。なお、図-2に関する再安定解析も同様な傾向を示している。

4. むすび： 非線形計画法とBishop法を結びつけた逆解析法を検討した。その結果、簡便分割法とは違って、この場合ほぼユニークな、かつ正解に近い C 、 ϕ を逆解析し得ることが判明した。

【参考文献】：1) 山上・植田：第41回土木学会，第III部門，pp.623～624，昭和61年 2) T.Yamagami and Y.Ueta：Proc. 8th ARC., pp. 513～516, 1987

3) 山上・植田：非均質土よりなる破壊斜面の……，第23回土質工学研究発表会，昭和63年度（発表予定）

表-3 2層問題
の探索結果(C_{max} 、 ϕ_{max} の大なる場合)

Case 1	I		II	
	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$
最大値	6.0	50.2	6.0	50.2
逆算値	1.107	26.0	1.135	14.2
正解	2.0	20.0	1.0	15.0
CPU time = 20.44 sec 反復回数 = 311 回				

表-4 2層問題
の探索結果(C_{max} 、 ϕ_{max} の比較的小なる場合)

Case 2	I		II	
	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$
最大値	3.5	35.0	2.5	31.0
逆算値	1.924	20.4	1.135	14.2
正解	2.0	20.0	1.0	15.0
CPU time = 17.03 sec 反復回数 = 276 回				

表5 3層問題の探索結果(C_{max} 、 ϕ_{max} の大なる場合)

Case 1	I		II		III	
	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$
最大値	6.0	50.2	6.0	50.2	6.0	50.2
逆算値	5.443	44.2	1.730	14.2	0.741	17.9
正解	3.0	20.0	0.5	25.0	1.0	15.0
CPU time = 34.85 sec 反復回数 = 519 回						

表6 3層問題の探索結果(C_{max} 、 ϕ_{max} の比較的小なる場合)

Case 2	I		II		III	
	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$
最大値	4.5	35.0	2.0	38.7	2.5	31.0
逆算値	3.803	20.1	1.094	19.7	0.937	15.6
正解	3.0	20.0	0.5	25.0	1.0	15.0
CPU time = 56.77 sec 反復回数 = 916 回						

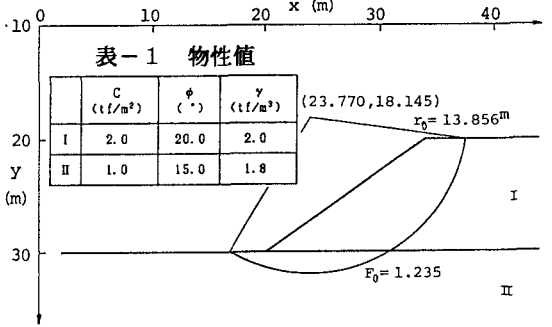


図-2 適用例（2層斜面）

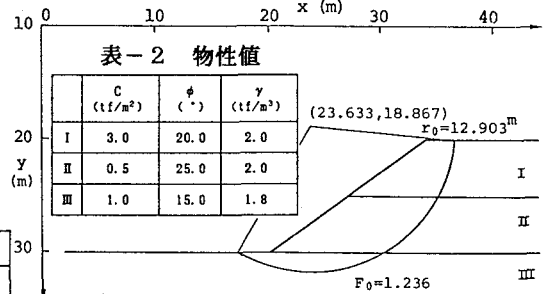


図-3 適用例（3層斜面）

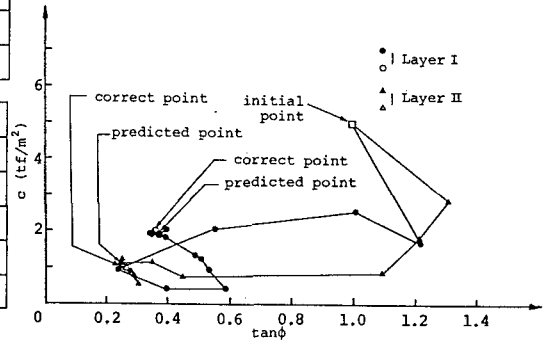


図-4 最適化経路（2層問題、Case2）

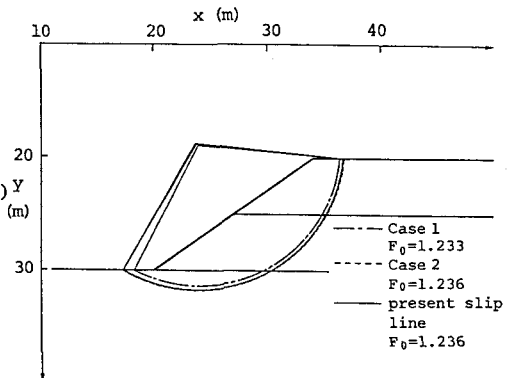


図-5 再安定解析結果（3層問題）