

III-419

ヤンプ法に基づく非均質な地すべり地山の強度定数逆解析(第2報)

徳島大学大学院

学生員 ○西田 憲司

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

1. はじめに

地すべり対策工の設計上必要となる地山の強度定数 c , ϕ は、逆解析法によって推定されることが多い。こうした背景のもと、筆者らは、任意形状のすべり面場で、しかも非均質斜面にも適用可能な逆解析法を開発した¹⁻³⁾。そこでは、強度定数逆問題が非線形計画法の支援のもとに、制約条件付き非線形最適化問題として定式化されている。このような非線形計画法を活用した方法においては、目的関数をより単純な形で表すことができるなら、効率がさらに良くなるものと期待できる。このような観点から、ここではより効率の良い逆解析法の構築を試みた結果について報告する。

2. 逆問題の定式化

図-1において、実曲線 AOB は与えられたすべり面(現状すべり面)を表している。また、逆解析すべき真の強度定数を c_0 , ϕ_0 で表すことにする。いま、この斜面は強度定数 c_0 , ϕ_0 が付与されたならば、当然曲線 AOB に沿って最小安全率を持つことになる。換言すると、 c_0 , ϕ_0 以外の任意の c , ϕ のもとでは、この斜面は AOB 以外の別のすべり面、例えば図中の破線 AO'B に沿って最小安全率を有するはずである。ここで、これら両曲線 AOB と AO'B のずれを表す指標として、以下に説明する変数 ξ を導入する。

いま、図に示す通り、すべり土塊を適当な数の鉛直線で分割し、現状すべり面両端 A, B を結ぶ直線と現状すべり面の各分割線上の縦距を h_i とする。そして計算の便宜上、試行すべり面が常に、現状すべり面と各分割線上で h_i だけずれた位置にあるとする。こうした条件のもとで、強度定数 c , ϕ の探索を行えば、 ξ は c , ϕ の関数とみなせる。無論、 c , ϕ が c_0 , ϕ_0 に一致するとき、 ξ の値は零となる。

また、現状すべり面 AOB に沿う安全率(現状安全率)を F_0 とすれば、求めるべき強度定数 c_0 , ϕ_0 は $F = F_0$ 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であり、原理的にいかなる理論式でも適用可能である。

以上のことを総合すると、目下の逆問題が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：

$$\text{minimize } U(c, \phi) = \xi^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

subject to

等式制約条件式

$$F_0 = \frac{1}{E_b - E_a + \sum \{ (\rho + t) \Delta x \tan \alpha + \Delta Q \}} \times \sum \frac{ \{ c + (\rho + t - u) \tan \phi \} \Delta x (1 + \tan^2 \alpha) }{1 + \tan \alpha \tan \phi / F_0} \quad \dots \textcircled{2}$$

不等式制約条件式

$$\left. \begin{aligned} c_{min} &\leq c \leq c_{max} \\ \phi_{min} &\leq \phi \leq \phi_{max} \end{aligned} \right\} \quad \dots \textcircled{3}$$

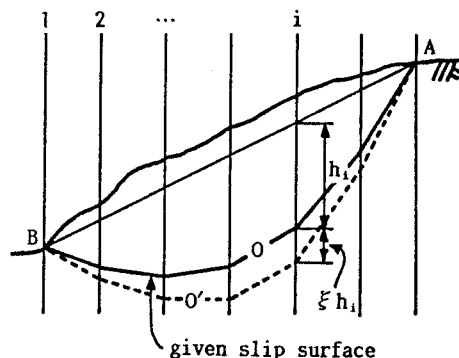


図-1 逆問題の定式化

ここに、 $U(c, \phi)$ は目的関数であり、任意の c , ϕ に応じた ξ の値を定めるには、仮定された c , ϕ のもとに、 ξ の値を変化させつつ、安全率が最小となる ξ の値を探さねばならない。この探索には、黄金分割法を用いることにした。言うまでもなく、目的関数の理論上の最小値は零である。またここでは、式②に示す

ように安全率算定式としてヤンプ法を採用した。そして、式③の最小値を零とし、最大値には適当な数値を入力データで与えることにした。なお、上述の最適化問題を解くにあたってはSUMT法を用いた。

3. 適用例と結論

別途になされたヤンプ厳密法による安定解析より、図-2に示した斜面は表-1の物性値のとき、図中のすべり面に沿って最小安全率 $F_0=1.584$ を有することがわかっている。そこで、各層の強度定数は未知であるが、すべり面の位置及び F_0 の値が与えられたとして c 、 ϕ を逆解析した。以下に、式③の最大値を表-2(Case1)、表-3(Case2)に見られる2通りのもとで解析した結果を示す。表-2、3には各ケースの初期値、逆解析値、反復回数及びCPU time(徳島大学情報処理センターFACOM M-760/10)も併せ示している。各ケースで初期値の設定が異なっているが、本手法においては、初期値は最適解にほとんど影響を及ぼさないことが確かめられている。表より、Case2ではほぼ正解に近い逆解析値が得られているが、Case1においては第I層の値にずれがみられる。そこで、これら逆解析結果の意義を知るために、逆解析された c 、 ϕ のもとで再度安定解析を行った。その結果の臨界すべり面と対応する最小安全率の値を正解のそれらと共に図-3に示した。この図より、Case2の逆解析値に基づく安定解析結果は正解によるそれとほぼ一致しているのに対し、Case1ではすべり面の位置にずれが認められる。よって本手法においては、精度の高い解を得る上で、最大値の設定が重要であること、さらに得られた逆解析値に基づいて再度安定解析をすることによって、逆解析値の精度を間接的にせよ評価できること、などが知られる。したがって、解が精度上問題有りと判断されたならば、たとえば c_{max} 、 ϕ_{max} の値を修正しつつ逆解析を繰り返すことで、いくらでも精度の高い解を入手できると推察される。

4. おわりに

強度定数 c 、 ϕ の最適化手法に基づく簡便な一逆解析法を提案をし、単純化された適用例ではあるが十分満足できる結果が得られた。

【参考文献】 1) Yamagami, T. and Y. Ueta: Proc. 8th ARC., pp.513~516, 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.199~208, 昭和63年. 3) 山上・植田・西田: 第25回土質工学研究発表会, 平成2年(投稿中).

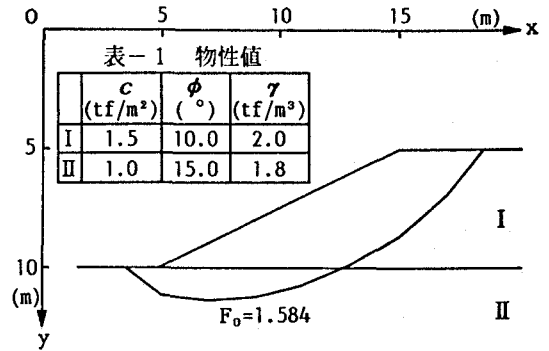


図-2 ヤンプ厳密法に基づく適用例

表-2 逆解析結果 (Case1)

	第I層		第II層	
	c (tf/m ²)	ϕ (°)	c (tf/m ²)	ϕ (°)
最大値	3.0	30.0	3.0	30.0
初期値	1.2	15.0	1.2	15.0
逆算値	1.083	15.912	0.948	15.702
正 解	1.5	10.0	1.0	15.0
CPU time = 8.28 sec. 反復回数 = 103 回				

表-3 逆解析結果 (Case2)

	第I層		第II層	
	c (tf/m ²)	ϕ (°)	c (tf/m ²)	ϕ (°)
最大値	3.0	20.0	2.0	30.0
初期値	1.2	12.0	1.2	12.0
逆算値	1.477	10.443	0.979	15.174
正 解	1.5	10.0	1.0	15.0
CPU time = 8.38 sec. 反復回数 = 92 回				

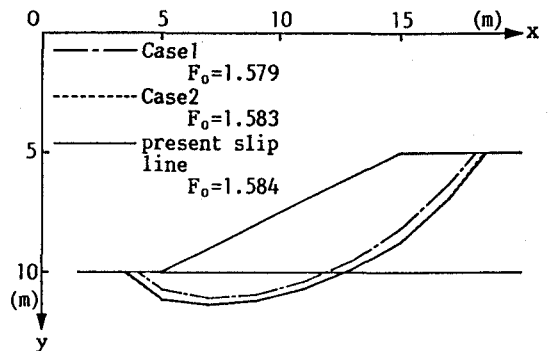


図-3 再安定解析結果