

非円形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
徳島大学工学部	正 員	鈴木 壽
(株)大林組	正 員	西田 憲司
徳島大学大学院	学生員	○古谷 元

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分布を知ることは、一般に極めて困難とされている。こうした背景から筆者らは、すべり面に沿う破壊時間隙水圧分布に等価な水圧面(以後、等価水圧面と呼ぶ)を逆解析する手法を提案した¹⁾。ただし、その適用範囲は円形すべり面場に限られていた。ここでは、Janbu法に基づき、本手法を任意形状の一般すべり面場に適用した場合の検討結果を報告する。

2. 逆解析方法

図-1において、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。いま、図中の曲線 CD のような等価水圧面を適当に仮定し、その等価水圧面のもとでの安全率最小のすべり面を求める。このとき、現状すべり面に沿う間隙水圧 u は、図中の記号を用いて次式で与えられる：

$$u = (y - L) \cdot \gamma_w \quad \dots\dots ①$$

また、現状すべり面近傍の試行すべり面に沿う間隙水圧 u' は図-1に示すように次式で評価できると仮定する：

$$u' = (y' - L) \cdot \gamma_w \quad \dots\dots ②$$

すなわち式②は『現状すべり面に対して仮定された等価水圧面が、他の任意の試行すべり面に対する等価水圧面の役割も果たす』と仮定したことと同等である。無論この仮定はそれ自体正しいものではない。この仮定の地すべり地に対する普遍的当否については実測値を交えた今後の検討に待たねばならないが、筆者らは多くの場で成立するものと考えている。

さて仮定された等価水圧面のもとでの臨界すべり面は、次のように探索されるものとする。まず、図-2に示すとおり、すべり土塊を適当な数の鉛直線で分割する。そして、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。いま任意の変数 ξ を導入して、これに h_i を乗じた値 ξh_i に注目し、各鉛直線上ですべり面を ξh_i だけ上下に移動させつつ試行すべり面を形成する。すなわち、すべり面両端 A, B を固定し、試行すべり面を常に現状すべり面の上方または下方に形成するのである。なお、こうして生成される試行すべり面の形状は現状すべり面のそれに類似していることは自明であろう。変数 ξ は、試行すべり面を現状すべり面の上方に生成しようとするとき負、また下方に作り出すとき正とする。この場合、臨界すべり面を得るためには、 ξ を変化させつつ、安全率が最小となるような ξ の値を探索すればよい。これは ξ を独立変数、安全率を目的関数とする一次元探索問題とみることができる。よって、この探索には黄金分割法を用いることにした。

こうした条件のもとで、仮定された等価水圧面(曲線 CD)が逆解析すべき真のそれならば、この斜面は

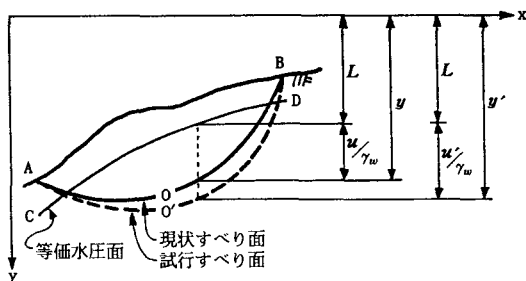


図-1 間隙水圧の評価

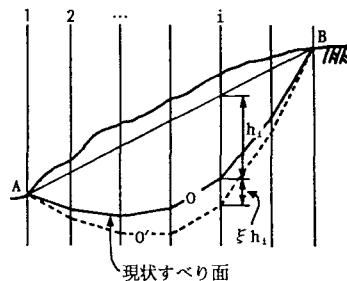


図-2 仮定された等価水圧面のもとでの臨界すべり面探索

AOB に沿って最小安全率を有するため、 ξ の値は零となる。しかし、仮定等価水圧面が真の等価水圧面と一致しないとき、 AOB とは別のすべり線、例えば図中の破線 $AO'B$ が臨界すべり面となるはずであるから、 ξ の値は零とはならない。すなわち、 ξ は等価水圧面の位置 L の関数とみなせる。

いま1つ、現状安全率 F_0 に注目したとき、求めるべき等価水圧面は $F=F_0$ を満たさねばならない。ここに、 F は安全率算定式であっていかなる理論式でも適用可能であるが、本研究ではJanbu法を採用した。

以上のことから、目下の逆問題は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：

$$\text{minimize 目的関数 } U(L)=\xi^2 \quad \dots\dots ③$$

subject to

等式制約条件

$$\frac{1}{E_b - E_a + \sum \{ (p+t) \Delta x \tan \alpha + \Delta Q \}} \cdot \sum \frac{[c + \{ p+t - (y-L) \gamma_w \} \tan \phi] \Delta x (1 + \tan^2 \alpha)}{1 + \tan \alpha \tan \phi / F_0} = F_0 \quad \dots\dots ④$$

$$\text{不等式制約条件 } L_{min} \leq L \leq L_{max} \quad \dots\dots ⑤$$

ここに、 L は鉛直下向きを正としているため、式⑤において L_{min} は予想される等価最高水圧面を、また L_{max} は予想される等価最低水圧面を表すことに注意されたい。これら L_{min} 、 L_{max} は理論的には決定できないため、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。

3. 適用例と結論

別途になされたJanbu簡便法に基づく安定解析より、図-3の斜面は図中のすべり面に沿って最小安全率 $F_0=1.022$ を有することが知られている。そこですべり面の位置、 F_0 の値、および地山の物性値が与えられたとして等価水圧面の逆解析を試みた。以下では、制約条件付き最適化手法としてSUMT法(計算途上の無制約最適化にはSimplex法を適用)を採用し、式⑤の L_{min} 、 L_{max} を図-4(Case 1)、図-5(Case 2)に見られる2通りのもとで解析した結果を示す。なお、初期値は両ケースとも同じである。図-4、5には逆解析された等価水圧面、そしてそれに基づき改めて安定解析を行った結果の臨界すべり面と対応する安全率も併せ示した。

図より明らかなように、Case 2の等価水圧面は正解とほとんど一致しており、再安定解析結果も現状すべり面、現状安全率と一致している。よって本手法においては、 L_{min} 、 L_{max} の役割が大きいこと、得られた等価水圧面のもとに再度安定解析を行うことで、逆解析値の精度を間接的にせよ評価できること、などが指摘できる。したがって、解が精度上問題有りと判断されたならば、例えば L_{min} 、 L_{max} を修正しつつ逆解析を継続することで、いくらでも精度の高い解を入手できると思われる。

4. おわりに

ここでは、すべり面に沿う間隙水圧分布の最適化手法に基づく逆解析法を非円形すべり面場に適用した。そして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。なお、紙面の都合で詳述できなかったが、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も確かめられている。

【参考文献】1) 山上・植田・西田：第34回土質工学シンポジウム発表論文集，pp. 151~158，平成元年11月。

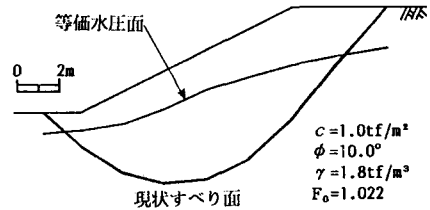


図-3 適用斜面

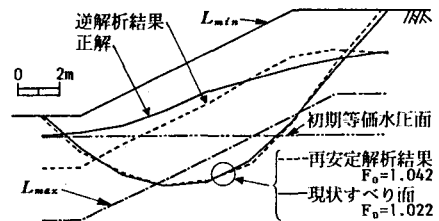


図-4 解析結果(Case 1)

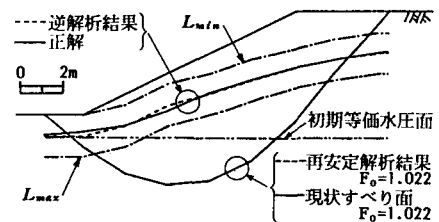


図-5 解析結果(Case 2)