

III- 438

三次元臨界すべり面探索について

—非均質場への適用—

徳島大学工学部 正 山上 拓男
徳島大学大学院 学 蔣 景彩

1. まえがき

筆者らはこれまで動的計画法（以下、DP法と呼ぶ）を援用した三次元臨界すべり面の探索法を研究してきた¹⁾。そして、均質場の場合、本手法がたいへん効率よく臨界すべり面を探索できることがわかった。本文では、この手法を非均質場へ拡張し、その適用性を検討した結果を報告する。特にここでは、三次元形状を有する部分浸水斜面に本手法を適用し、非均質場においても三次元臨界すべり面が効率よく探索できることを示す。なお、先と同様、任意形状の三次元すべり面に対する安全率の算定には鶴飼らにより提案されている三次元簡易Janbu法²⁾を採用した。

2. DPに基づく臨界すべり面探索の基本概念

本方法の基本概念を説明するために図1に示す二次元場の模式図を採用しよう。図1において合計 $m+1$ 個の鉛直線はSTAGEと呼ばれる。また、各STAGE上のいくつかの・点はSTATEと呼ばれる。いま、任意の相隣二つのSTAGE i と $i+1$ 上の任意STATE j 及び k を結ぶ経路 jk に沿って滑動力 T_i と抵抗力 R_i が対応するものと仮定する。この時、両端のSTAGEつまりSTAGE 1とSTAGE $m+1$ の間を、各STAGE上で一つのSTATEを通る1本の曲線（仮定すべり面）で結んでやればこの曲線に沿って次式つまり安全率を定義することができる：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{\sum_{i=1}^m T_i} \quad (1)$$

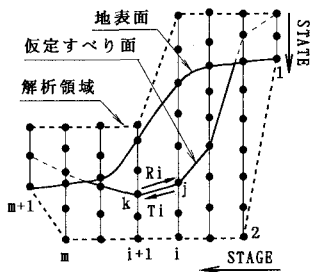


図1 DPによるすべり面探索の説明

この F_s は曲線の選び方に応じていろいろな値をとるであろう。そこで、次のような問題を考える： F_s が最小となる曲線（つまり臨界すべり面）と、そのときの F_s の値（最小安全率）を求めよ。実は、この問題を解く数学的手法がDPであるが、紙面の都合上DP法の内容と二次元斜面への応用については文献3)、4)を参照されたい。

3. 三次元臨界すべり面探索法

三次元簡易Janbu法による安全率算定式を式(2)に示す(図2参照)。

$$F_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta W_{ij} \tan \alpha_{xzi j}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{c \Delta X_{ij} \Delta Y_{ij} + \Delta W_{ij} \tan \phi}{\cos \alpha_{xzi j} (1/J + \sin \alpha_{xzi j} \tan \phi / F_s)} \quad (2)$$

ここに、 $J = \sqrt{(1 + \tan^2 \alpha_{xzi j} + \tan^2 \alpha_{yzi j})}$ 。

式(2)を次のように書き改めることができる：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{\sum_{i=1}^m T_i} \quad (3)$$

ここに

$$R_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{c \Delta X_{ij} \Delta Y_{ij} + \Delta W_{ij} \tan \phi}{\cos \alpha_{xzi j} (1/J + \sin \alpha_{xzi j} \tan \phi / F_s)}$$

$$T_i = \sum_{j=1}^n B_{ij} = \sum_{j=1}^n \Delta W_{ij} \tan \alpha_{xzi j}$$

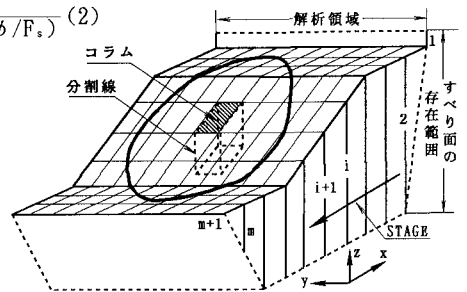


図2 解析領域、格子分割とSTAGE

すなわち、三次元安全率算定式、式(2)も前述の式(1)と同じ形をしているのである。よって、DPの応用が可能となる。ただし、二次元におけるSTAGEが鉛直な直線であり、STATEがそのSTAGE上にある点であるのに対して(図1参照)、三次元場においてはSTAGEが鉛直な平面となり、STATEがそのSTAGE平面にある曲線(折線)となる(図2, 3参照)。ただし、一つのSTAGE平面にあるすべての可能な曲線(折線)をSTATEとして考えれば、その数は天文学的となり、実行不可能である。そこで、本研究ではSTATEとしての曲線を作り出す方策として整数乱数を利

用することになっている。図3はあるSTAGE平面に乱数発生を利用して選出された二つのSTATEを模式的に示したものである。そこで、図3に示すような曲線をたくさん発生させ(通常100~200個程度)、おのおのをSTATEとして記憶すれば、式(4)に対してDP法が適用可能となる。

4. 非均質場への拡張

前述した基本概念により解法そのものは均質、非均質とは直接関係ないことがわかる。すなわち、本方法は均質場にも非均質場にも原理的に使用できる。ただし、後者の場合、安全率算定の対象となるコラムには地層境界面が含まれているので、式(2)に特に分子、を正確に求めるために、コラムごとにすべり面と地層境界面の関係を明確に処置しなければならない。以下、二層斜面のコラムを例として説明しよう。二層斜面のコラムにおいて、地層境界面とすべり面との間には、三種類の可能な関係が存在する: ①すべり面がすべて地層境界面の上にある, ②すべり面がすべて地層境界面の下にある, ③すべり面と地層境界面が交わっている。これらにおいて、厳密にコラム重量を計算するため、地表面、地層境界面、すべり面に挟まれる各部分の体積をそれぞれ求める必要がある。特に、上記③のようにコラム底面(すべり面)が二層にまたがる時、コラム底面のそれぞれの層に関わる面積を的確に求めなければならない。このように複数の地層から構成される非均質斜面に対しては、かなり複雑な処理を行う必要があるが、この点を除けば、本手法は均質場、非均質場区別することなく、容易に適用できる方法である。

5. 適用例

以上述べた非均質斜面に対する臨界すべり面探索法を、三次元形状を有する部分浸水モデル地盤(谷状斜面)に適用した結果を示す。この斜面の物性値はそれぞれ、 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 0.8 \text{ kN/m}^3$, $c = 10 \text{ kPa}$, $\phi = 10^\circ$ である。斜面の傾きはすべて1:2であり、斜面の曲線部は1/4円で構成されている(対称斜面、図4, 5参照)。なお、斜面先のz座標を0とした時、斜面肩のz座標は5m(斜面の高さ5m)であり、静水面のz座標は3m(静水面の高さ3m)である。

適用結果の要点を摘記すれば、以下のようなものである。STATEの数が100, 200, 300の時、当該斜面に対する安全率はそれぞれ1.64, 1.64, 1.62であった。これらにより、文献1)で述べたようにSTATEの数が100の時の安全率を最小安全率とみてよいであろう。この時、CPU時間は26分(採用機種: NEC PC-9801FA)であった。つまり均質斜面の12分¹⁾よりかなり多くかかっているが、本方法がやはり非均質斜面においても効率よくすべり面を探索できるというよい。次に当該斜面(浸水と未浸水)に対して、探索した臨界すべり面をそれぞれ図4, 5に示す。二つの図によると、浸水後(静水面の高さ3mの時)の谷状斜面における臨界すべり面は浸水前より、すべり面の幅、深さとも大きくなっており、安全率も大きくなっていることがわかる。

今後、本方法を現地臨界すべり面の探索に用いてその有用性を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 山上 拓男, 蔭 景彰(1994): 第29回土質工学研究発表会論文集。2) 鶴飼 恵三, 細堀 建司(1988): 土木論文集, 第394号/Ⅲ-9, pp21-26。3) R. Baker(1980): International Journal for Numerical and Analytical Method in Geomechanics, Vol. 4, pp333-359。4) T. Yamagami, Y. Ueta(1986): Journal of Japan Landslide Society, No. 4, Vol. 22, pp8-16。

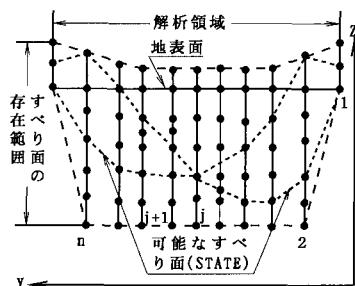


図3 あるSTAGEにおけるSTATE

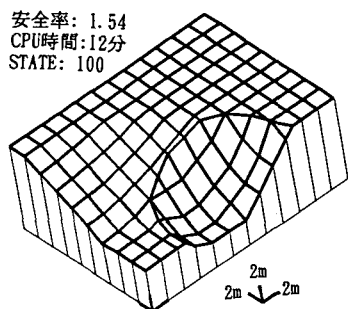


図4 均質谷状斜面の臨界すべり面

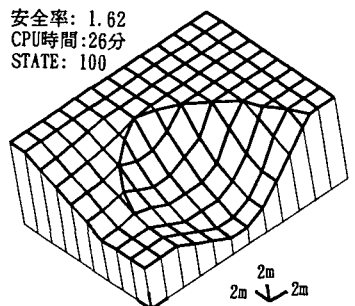


図5 浸水谷状斜面の臨界すべり面