

三次元臨界すべり面探索に関する一試み

徳島大学工学部	正	山上 拓男
徳島大学工学部	正	鈴木 壽
徳島大学工学部	正	小嶋 啓介
仁田ソイロック(株)	正	〇瀧 雅信

1. まえがき

近年、与えられたすべり面に対し三次元安全率を算定する方法がいくつか提案されている。しかし、これらを用いた三次元臨界すべり面の有効な探索方法はまだ開発されていない。理由は、三次元問題では未知数の数が膨大になるが、現在のところ、このような大次元問題の最小値を求める適当なアルゴリズムが存在しないためと思われる。言い換えると、任意形状の三次元すべり面の自動発生が極めて困難だということである。そこで本文では、三次元任意形状のすべり面生成に乱数を発生しつつ臨界すべり面を探索する試みについて報告する。なお、安全率算定式には、鵜飼らにより提案された三次元簡易ヤンプ法を採用した。

2. 三次元簡易ヤンプ法

三次元簡易ヤンプ法による安全率算定式を式(1)に示し、その誘導過程を簡単に述べておく。まず、図-1

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{(c - u_{ij} \tan \phi) \Delta x_{ij} \Delta y_{ij} + \Delta W_{ij} \tan \phi}{\cos \alpha_{xzij} m \alpha_{ij}} \right] / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta W_{ij} \tan \alpha_{xzij} \quad \cdots (1)$$

$$m \alpha_{ij} = \frac{1}{J_{ij}} + \sin \alpha_{xzij} \frac{\tan \phi}{F} \quad \cdots (2)$$

$$J_{ij} = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_{xzij} + \tan^2 \alpha_{yzij}} \quad \cdots (3)$$

のようにすべり土塊を柱体(以下コラムと呼ぶ)に分割し、任意のコラムijに作用する力を図-2に示す。図中の記号はそれぞれ、 ΔW_{ij} :コラムijの自重、 ΔN_{ij} 、 ΔT_{ij} :コラムijの底面に働く垂直力とせん断力、 ΔQ_{ij} :コラムijの側面に働く内力の合力、 α_{xzij} 、 α_{yzij} :コラムij底面のx方向およびy方向での水平面に対する傾き、 Δx_{ij} 、 Δy_{ij} :x方向およびy方向でのコラムijの分割幅である。ここで、鵜飼らは問題の静定化のため、図-3に示すように未知数 η を導入し、『 ΔQ_{ij} はxz面内では水平方向の成分 ΔQ_1 を有し、yz面内では水平面と $\tan^{-1}(\eta \tan \alpha_{yzij})$ の角度をなす成分 ΔQ_2 を有する』という仮定を設け、 ΔN_{ij} と ΔT_{ij} を導いている。次に、すべり土塊全体に対する水平方向(主すべり方向)および鉛直方向の力のつり合いより二つの安全率算定式が得られ、その二式を連立させて安全率Fおよび η を求めるのである。さらに、斜面勾配が緩やかな場合(45°以下)、 $\eta=0$ としても実用上十分であると報告されていることから、本文では、水平方向の力のつり合いより得られた式の近似式である式(1)を用いた。

3. 乱数発生に基づくすべり面生成法

図-4のように、解析の対象となる斜面を格子状に分割する。すると、各節点でのすべり面の標高(z座標)が一組定まれば、一つのすべり面が設定できる。本文では、各節点のすべり面のz座標決定に乱数を利用しており、以下にその手順について述べる。まず、全節点についてすべり面が存在しうるz座標の最大値と最小値を指定しておく。この時、その最大値は必ずしも地表面より下方に設定する必要は

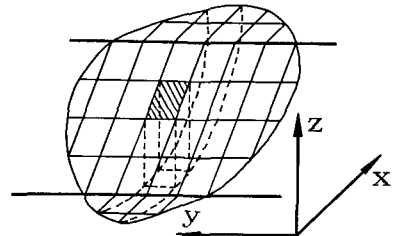


図-1 すべり土塊とコラム分割

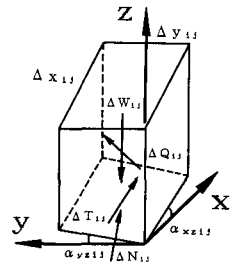


図-2 コラムijに働く力

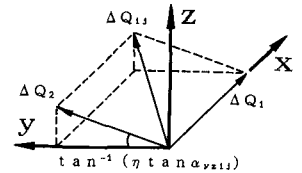


図-3 ΔQ_{ij} の仮定

なく、地表面より上方の大気中にあってもよい。また、その最小値は解析領域の周辺上では地表面と一致させる。次に、その最大値と最小値間を適当な間隔で $n-1$ 分割し、 n 個の点を得る。そして n 個の点に、順次下から上に向かって $1 \sim n$ の番号をつける。

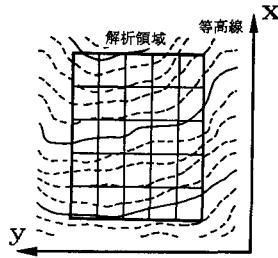


図-4 解析領域と格子分割

ここで、各節点ごとに $1 \sim n$ の整数乱数を発生させて一つの番号を選び出す。こうして、設定したすべり面の存在範囲の中から、一つのすべり面が無作為に抽出されることになる（この様子を二次元化して図-5に示した）。なお、本文では合同式により乱数を発生させている。ところで、この方法によれば、当然図-6に示すような凹凸の激しいすべり面も生成され得る。しかし、そのようなすべり面は計算の対象とすべきではない。そこで、乱数により各節点のすべり面の z 座標を決めていく過程で、逐次すべり面の凹凸をチェックし、すべり面の勾配が滑らかに変化するようにある条件を設けた。その条件を示したのが図-7である。つまり、任意の節点でのすべり面の z 座標は、その節点の手前二つの節点の延長線上か、もしくはそれよりも上方になければならないとするものである。乱数によるすべり面設定作業をコンピュータ上で時間の許す限り継続すれば、かなりの数のすべり面を生成することができると期待される。本文では、乱数を利用した三次元臨界すべり面探索の初歩的な段階として、それらすべり面群の中から最小の安全率を持つすべり面を取り出すこととし、その適用例を次節に示す。

4. 適用例と結言

1:2の勾配を持つ単純斜面 ($\gamma=1.8 \text{ tf/m}^3$, $c=1.0 \text{ tf/m}^2$, $\phi=10.0^\circ$) に対して本手法を適用した。x-z面に関し対称な斜面であるため、中央より左片側のみを解析し、図-8にその結果を示した。これは、IBMパーソナルシステム/55 モデル5530 ZSXを約20時間使用し、203個のすべり面が生成された中で、最小の安全率 $F=1.47774$ を持つものを示したものである。すべり面の生成に1個当たり平均約6分費やしているが、これは、前節で述べた条件を満たすすべり面だけを採用しているためである。この斜面の二次元解析によれば、安全率約1.2の臨界すべり面が探索されている。一般に、三次元安全率は二次元安全率より大きくなるので、本手法は十分とはいえないが、三次元臨界すべり面探索法としての可能性を秘めていると思われる。しかし、紙面の都合上述べられない二、三の問題点もあり、今後さらに改良していかねばならない。

【参考文献】1) 鶴飼恵三・細堀健司：簡易Bishop法、簡易Janbu法およびSpencer法の三次元への拡張、土木学会論文集，第394号/Ⅲ-9，pp. 21~26，1988 2) 宮武修・脇本和昌：数学ライブラリー47 乱数とモンテカルロ法，森北出版（株），1978年

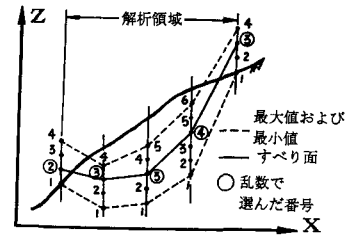


図-5 すべり面の生成例1

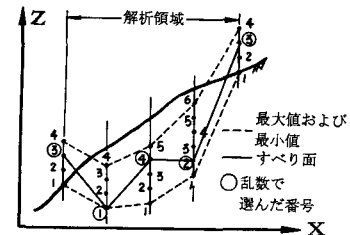


図-6 すべり面の生成例2

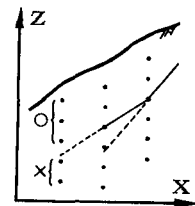


図-7 すべり面生成の条件

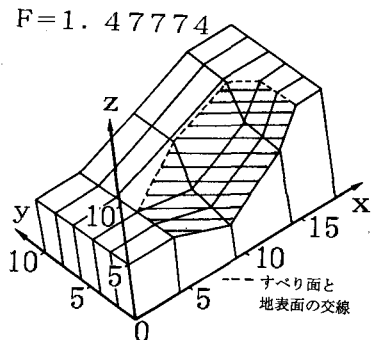


図-8 適用例