

III-71

三次元臨界すべり面探索に関する一試み

仁田ソイロック(株) 正 瀧 雅信
 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

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、鶴飼らにより提案された三次元簡易Janbu法を採用した。

2. 三次元簡易Janbu法¹⁾: 三次元簡易Janbu法による安全率算定式は、もともと二元非線形連立方程式の形をとり、未知数は安全率Fとηである。このηは、問題の静定化のために持ち込まれた変数であるが、本文ではη=0として得られる近似式(1)を用いた。この式は、図-1のようにすべり土塊を柱体(以下コラム

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{(c - u_{1j} \tan \phi) \Delta x_{1j} \Delta y_{1j} + \Delta W_{1j} \tan \phi}{\cos \alpha_{xz1j} m \alpha_{1j}} \right] / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta W_{1j} \tan \alpha_{xz1j} \quad \dots (1)$$

$$m \alpha_{1j} = \frac{1}{J_{1j}} + \sin \alpha_{xz1j} \frac{\tan \phi}{F} \quad \dots (2)$$

$$J_{1j} = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_{xz1j} + \tan^2 \alpha_{yz1j}} \quad \dots (3)$$

と呼ぶ)に分割して各コラムに作用する力を評価し、すべり土塊全体での水平方向(主すべり方向)の力のつり合いから導かれたものである。式中の記号は一般的なものであるから説明は省略する。ただし、 α_{xz1j} 、 α_{yz1j} はそれぞれコラム底面のx方向およびy方向での水平面に対する傾きである。

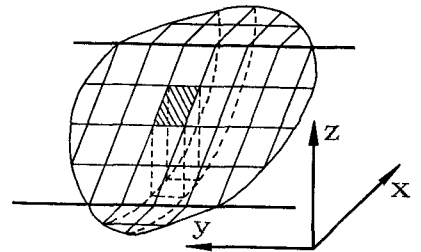


図-1 すべり土塊とコラム分割

3. 乱数発生に基づくすべり面の生成と臨界すべり面の探索: 図-2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なく、地表面より上方の大気中であってもよい。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ておく。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

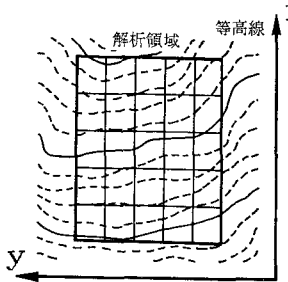


図-2 解析領域と格子分割

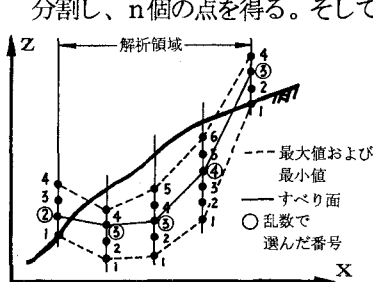


図-3 すべり面の生成例1

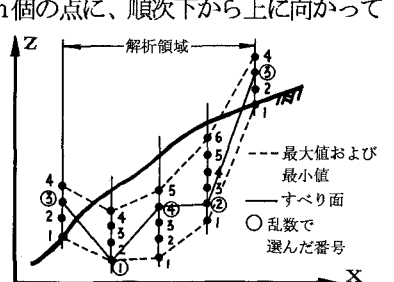


図-4 すべり面の生成例2

1~nの番号をつける。ここで、各節点ごとに1~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-3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-4に示すような凹凸の激しいすべり面も生成される。しかし臨界すべり面を探索するという目的からすれば、そのようなすべり面の安全率を計算する必要はなく除外すべきものである。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

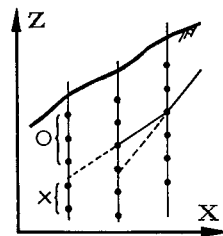


図-5 すべり面生成の条件

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-5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。本文では、乱数を利用した三次元臨界すべり面探索の第一歩として、次のような方法をとった。それは、上述の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し、できるだけ多くのすべり面を発生させ、各すべり面の安全率を計算し、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臨界すべり面とみなすものである。

4. 適用例： 本文では、合同式(漸化式)により乱数を発生させているが、乱数の初期値を二つ設定し、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-6と図-7にそれぞれ適用例1、適用例2としてそれらの結果を示した。適用例1は、IBMパーソナルシステム/55モデル5530ZSX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。また適用例2は、同コンピュータを約20時間使用し、183個のすべり面が生成された中で、最小の安全率 $F=1.55773$ を持つものを示したものである。すべり面の生成に適用例1では1個当たり平均約6分、適用例2では1個当たり平均約7分とかなり大きい時間を費やしているが、これは前節で述べた条件を満足する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。本適用例では、乱数の初期値を変えたことにより、同じ斜面に対して多少異なる結果を得ている。このように、乱数の発生法やコンピュータの専用時間を変更すると、それぞれ異なる結果が得られる場合があると予想される。したがって、真の臨界すべり面を探索するには、これら解析上の条件をいくつか設定し計算することが必要であろう。

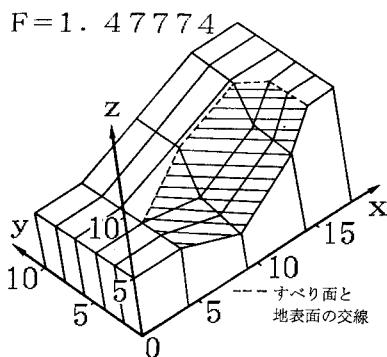


図-6 適用例1

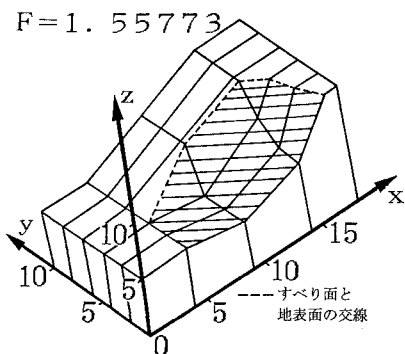


図-7 適用例2

5. 結言： 乱数発生に基づく三次元臨界すべり面探索法を提案し、その適用例を示した。しかし、まだ完成された方法ではなく、さらに改良していかなければならない。

【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年 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 3) 山上・鈴木・小嶋・瀧: 第43回土木学会中国四国支部研究発表会(投稿中), 1991年