

PSⅢ-2 不連続性岩盤斜面におけるすべり岩体の解析

佐藤工業(株) 正員○寺田 武彦
(株)ホクコク地水 正員 大森 晃治
金沢大学工学部 正員 太田 秀樹

1. はじめに 不連続面が分布する岩盤斜面では、切土によってしばしば不連続面をすべり面とした斜面崩壊が発生する。その場合、形成されるすべり岩体の大きさやすべりの方向は、不連続面の分布形態と地表面の形（切土する方向と形）によって、決定づけられたものとなる。そこで本研究では、地表面及び不連続面を数量化し、直方体要素を用いてすべり岩体の形状を表現し、その安定性を評価する方法について述べる。

2. 直方体要素を用いた解析手法 本研究では、解析範囲を微小な直方体要素に分割し（図-1）、地表面及び不連続面の位置情報（インデックス）を対応する直方体要素に割り付けることにより、すべり岩体を識別する方法を考案した。

（1）地表面の処理 地形図の等高線を標高（Z）一定のX，Y座標の点列と考え、その点列を解析範囲内の直方体要素に対応させることにより、地表面は三次元的な曲面として表現することができる（図-2）。ここで、解析範囲内の直方体要素を、地表面より上 {インデックス：-1}，地表面と一致 {インデックス：0}，地表面より下 {インデックス：1} の3種類に区分する。

（2）不連続面の処理 解析範囲中の不連続面は、平面で表されるものとする。不連続面は傾斜方位（ α ），傾斜角（ ϕ ）及び測定位置（ X_0 ， Y_0 ， Z_0 ）を用いて、（1）式に示す平面の方程式として記述できる。

$$aX + bY + cZ = d \quad (1)$$

ただし、 $a = \tan \phi \sin \alpha$

$$b = \tan \phi \cos \alpha$$

$$c = 1$$

$$d = (\tan \phi \sin \alpha) X_0 + (\tan \phi \cos \alpha) Y_0 + Z_0$$

とおいた。また、地表面の場合と同様に、解析範囲内の直方体要素を、すべり岩体と考えられる範囲 {インデックス：1}，不連続面と一致 {インデックス：0}，基盤と考えられる範囲 {インデックス：-1} の3種類に区分する（図-3）。

（3）すべり岩体の処理 すべり岩体の識別は、図-2及び図-3に示すX，Y座標の同一地点（A）よりZ軸方向に地表面と不連続面を識別するために付けたインデックスを比較することで行う（図-4）。岩体内部は直方体要素のインデックスがすべて1の共通部分となり、岩体表面はインデックス1つのみが0で、残りすべてが1の部分として表現される。以上の処理を解析範囲内のすべての地点で行うことにより、岩体の形状は決定される。

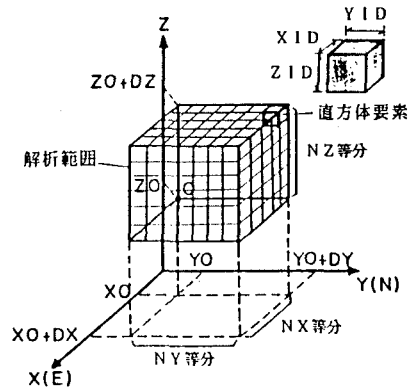


図-1 解析範囲と直方体要素

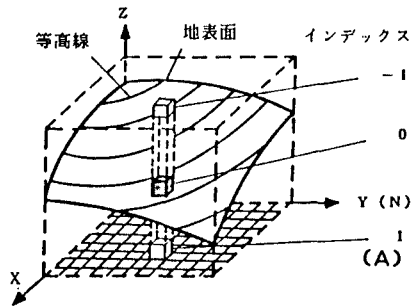


図-2 地表面の処理

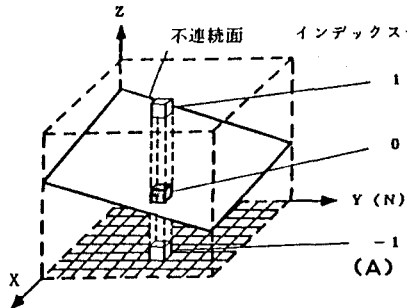


図-3 不連続面の処理

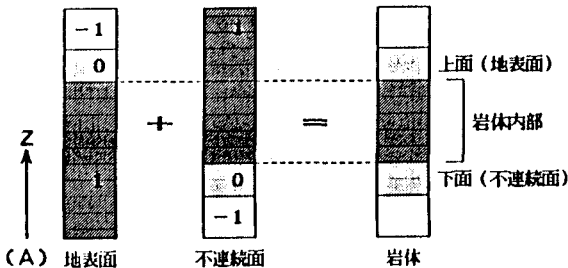


図-4 岩体の識別原理

また、すべり岩体の重量及び表面積は岩体を形成する直方体要素の個数により表現できる。

3. 解析事例 能登半島の軟岩から構成される地山において（図-5）、道路建設のために、斜面東側を切土したところ、斜面が崩壊した。実際にすべった岩体は不連続面A, B, Cにより形成されており、同岩体に本解析法を適用してみた。

図-5に対象斜面の解析範囲（メッシュ化された部分）を示し、図-6に鳥かん図を示す。ここで、図-6より、斜面背後には小川が存在し、不連続面A, Bは小川を横切っているため、水みちとなっていることが推察される。

本解析法により、この岩体の重量を計算した結果を図-7に示す。岩体の重量は、解析範囲X, Y, Z各軸の分割数（MESH）を大きくするにつれ、ある一定値に収束しており、すべり岩体重量Wが24300 tonと求まる。また、各面の面積 A_A , A_B , A_C はそれぞれ1712.4 m², 821.1 m², 1295.4 m²と求まった。強度定数としては、不連続面Aに介在する不攪乱粘土を等体積せん断試験して得られた結果（粘着力 $c' = 0$ t/m², 内部摩擦角 $\phi' = 22.5^\circ$ ）を用いた。

水圧については、斜面背後の小川から水の浸透が考えられるため、不連続面A, B, Cの交点をD点とし、D点からの水位 h_w を最大21 m（斜面背後の小川のD点からの高さ）まで変化させ、この岩体の安定解析を行った結果を図-8に示す。この図の横軸はD点からの水位 h_w 及び標高を表し、縦軸は安全率 F_s を表している。なお、安全率 F_s はE. Hoek, J. Bray¹⁾の方法により算出した。水位 h_w が0 mのとき、安全率 F_s は1.98、水位 h_w が21 mのとき、安全率 F_s は0.80である。また、水位変化が16~21 mの範囲は、安全率 F_s は約1.2~0.8の間を変化し、すべり岩体に作用する水圧の影響によって、すべり岩体の安定性は著しく損なわれることがわかる。

斜面崩壊後D点付近に設置された孔内水位計の実測値によると、最大水位は16 m前後であり、斜面崩壊後、D点付近の水位はいくらか低下していることを考慮すると、本解析法による予測は妥当であることがわかる。

4. おわりに すべり岩体の形状を微小な直方体要素の組合せで表現し、岩体の諸量（重量、表面積）を定量的に求めて、安定解析が行えるようになった。

【参考文献】1) E. Hoek and J. Bray: Rock Slope Engineering, Revised second edition. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1977.

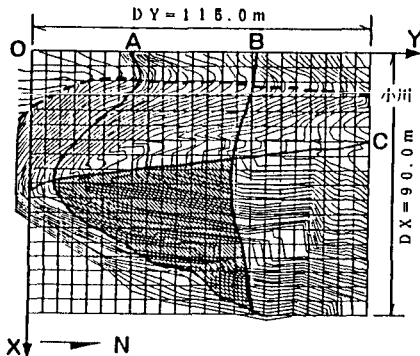


図-5 解析対象斜面

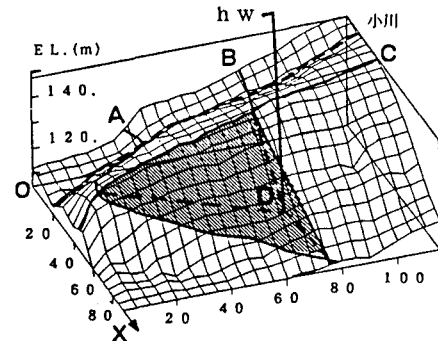


図-6 鳥かん図

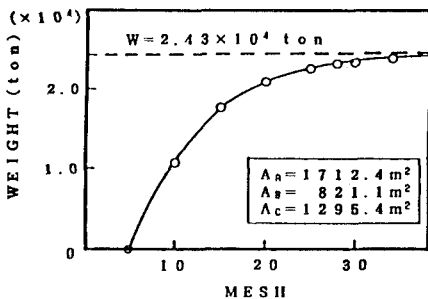


図-7 すべり岩体の重量

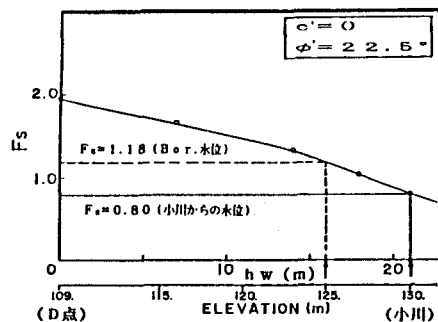


図-8 水位と安全率の関係