

III-55 岩盤斜面における初期応力について

名古屋大学 正員 川本 脩 万
道路公団 正員 高橋 由行

I. まえがき： 岩盤斜面の問題には、自重作用のみを受ける自由斜面や、アーチゲムケなどの推力を受ける斜面などの安全問題が考えられる。前者に対しては岩盤材料の強度低下により、後者に対しては荷重増加による安全性の定義が行われるだろう。ここでは自由斜面と考える。断層や卓越した割れ目と有する岩盤では、それに沿ったすべり破壊強度が問題になり、しばしば岩盤でも類似挙動性と考えられる場合でも、岩盤のせん断強度が関係してくる。最近の2, 3の研究では、斜面の上端端近傍だけでなく、斜面下部の深い位置まで引張応力が発生することが確かめられている。その場合には引張強度が問題になってくる。これらの岩盤の強度は地山の地質学的要素に依存するとこのように、地山内部の応力状態や岩盤の風化変質度にも大きく影響を受ける。自由斜面の場合の応力状態は、局所的な地質的攪乱がなければ、自重による初期応力によるものと考えればよい。

ここでは、まず平方要素の斜面に対する Finite Element Method による計算プログラムを完成し、斜面の傾斜角と応力状態との関係と求めるとともに、通常に要素の弾性性質を定量化することにより、斜面表面からの風化変質度による強度 変形特性を考慮して、初期応力状態の定量化する様子と示す。

II. Finite Element Method (FEM) の斜面への適用： FEM は、2次元あるいは3次元構造物の応力および変形を求めるために、一般の構造物の解析に用いる行列法と一般化したものであって、大容量の電子計算機の発達と相まって発展させられたものである。最近、数値実験的手法としてこの FEM が斜面の問題にも適用されてきた。

Lian-Finn は斜面の静的および動的応力とこの方法によって解析している。彼は水平な地表下の応力分布 ($\sigma_y = \gamma y$, $\sigma_x = 2\gamma y$, $\tau_{xy} = 0$) と、斜面が自由表面になる下の水平面における初期応力分布の逆符号のものとの2つの応力状態を重ね合せている。ここでは側圧係数と仮定している、斜面の自重による応力状態と直接求められている。

FEM は、無限の自由度をもった弾性体と有限の自由度しかもたない要素に分割し、有限個の節点のみで結合された要素の集合体と考える。このとき、要素の stiffness を確立すること、および、個々の要素の集合体として理想化された構造物を解くこと、よりなっている。要素の弾性特性は節点に作用している力と、それによる変位との関係によって表わされ、この関係は要素の stiffness matrix によって表現されることは衆知のとおりである。

図-1のように斜面を三角形要素に分割し、各要素の stiffness matrix を k^e とすると、各要素の3つの節点で、それぞれ x, y 方向の2自由度の変形があるから、これを r^e とし、また各節点における内力を F^e とすると、

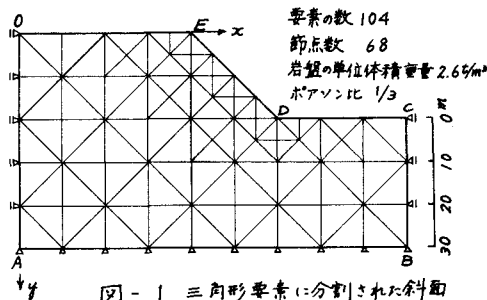


図-1 三角形要素に分割された斜面

$$F^e = k^e \cdot r^e \quad (1)$$

がえられる。ここに k^e は 6×6 要素の行列で表わされる。いま要素 $A_1, A_2, \dots, A_n$ が斜面を構成したとき、全体の釣合方程式は論式、

$$R = K \cdot r \quad (2)$$

で表わされる。ここに R, r はそれぞれ荷重ベクトルおよび変位ベクトルである。また

$$K = \sum k^e \quad (3)$$

（これから、外力 R が与えられるが、境界における変位が与えられる。要素全体の stiffness matrix

が与えられる。容易に各節点変位 r が与えられ、さらに各要素の応力 σ 、応力変換行列 C を用いて求める。すなわち、 $\sigma = C \cdot r \quad (4)$ 。

いま、斜面の高さを 20 m、岩盤の単位体積重量を 2.6 t/m^3 、ポアソン比を $1/3$ とし、斜面の傾斜角を $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の場合を考慮し、境界 OA, BC においては水平方向の変位が、境界 AB においては鉛直および水平方向変位が拘束されたと仮定した。斜面の応力解析のプログラムは、東京大学大型計算機センターの HITAC 5020E に対して行われ、節点数 100、要素数 155 程度までの計算が可能であったが、ここでは平均、節点数 71、要素数 109 が用いられた。プログラムは主に以下の 3 つの部分から成り立っている。すなわち、a) stiffness matrix および load matrix の作成、b) 連立方程式 $R = K \cdot r$ をとくこと、c) 節点変位から応力を計算すること、である。この計算では斜面の変形状態と同時に求めることができて、ここでは応力状態のみを検討した。

Ⅲ 解析結果：1例として斜面の傾斜角が $\theta = 45^\circ$ の場合の主応力状態を図-2 に示す。 θ の値が変わると、とくにのり先や近傍の引張応力状態が変化するため、いずれの場合も、斜面上部およびのり先部分に引張応力を生じ、後者の部分には斜面の内部のかなり深いところまで引張応力を生じているが、このことはとくに注目しなければならぬことであり、今後さらに検討すべき問題である。傾斜角とこれらの引張応力の大きさおよび生ずる範囲が検討され、のり先部分の谷への掘削が考慮される。Schreiblauer³⁾ のセラテン模型による斜面応力の実験的解析においても、急斜面の下部 1/3 のところに最大せん断応力を生じ、また小さい方の主応力が引張りになるような応力状態が生ずるという結果がえられている。

傾斜角が応力状態に及ぼす効果や、斜面表面からの変位に応じた弾性係数の低下、ポアソン比の増加を考慮した斜面モデルに対する計算結果を現在整理中であるが、講演会当日報告する。

1) R.W. Clough: Proc. 2nd ASCE Conf. on Electronic Computation, Pittsburgh, 1960.

2) W.D. Liam Finn: Proc. 1st Congress of the International Society of Rock Mech. Vol. II (1966) 147.

3) J. Schreiblauer: Rock Mechanics and Engineering Geology, 2-1 (1963), 72.

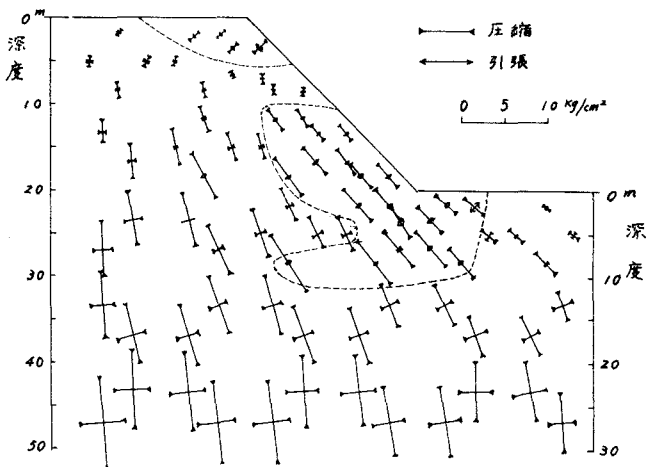


図-2 $\theta = 45^\circ$ の場合の主応力