

(29) 節理性岩盤中の節理群の定量的な評価に基づくモデル化手法

東電設計(株) 正会員 菊地 宏吉
同 上 小林 隆志
清水建設(株) 正会員 ○黒田 英高
早稲田大学 水戸 義忠

1. はじめに

近年、岩盤の不連続面を考慮した解析(例えばDEM解析)が注目され始め、岩盤中の不連続面を把握することが重要となってきた。岩盤中の不連続面には微細な割れ目から断層のような大規模なものまであるが、ダム等の土木構造物の基礎となる硬質塊状岩盤の挙動に影響を与える割れ目は岩盤中に多数存在する節理群であろう。岩盤中の節理分布は一般に規則性を有するとされているが、その規則性は必ずしも完全なものではない。したがって、節理群を解析に取り入れる場合には実態に近い単純規則化したモデルを合理的に作成する必要がある。このような観点から、著者らは節理の性質を支配する要素として、節理の①方向性、②長さ、③密度、④組み合わせ、⑤開口幅、⑥充填物、⑦粗度について検討してきた¹⁾²⁾³⁾⁵⁾。そして、二次元的な節理群の幾何学的構造を決定するための節理要素に関する調査方法と定量的な評価方法について検討し、これに基づいた二次元断面上での節理群モデルの作成方法を提示した⁴⁾。今回は、この節理群モデルの作成方法をさらに検討し改良を試みたので、その考え方について述べるとともに、実際の現場への適用例を示した。

2. 二次元断面における節理群モデルの作成手法

二次元断面における節理群モデルの作成手法を図-1に示す。図中で*をつけた箇所が今回の改良点である。図-1のフローに沿ってモデル化の手法について述べる。フロー中に付した数字は以下の各項目に対応している。

(1) 節理群の卓越方向解析

従来の菊地らの極座標による解析方法¹⁾²⁾を用いて節理群の卓越方向を算出し、属群にグルーピングする。

(2) モデル平面の設定、表示面の切り出しと節理の位置の決定

節理の位置はその中点の位置を平面上に一様乱数によって決定する。旧方法では、節理中点の発生領域を

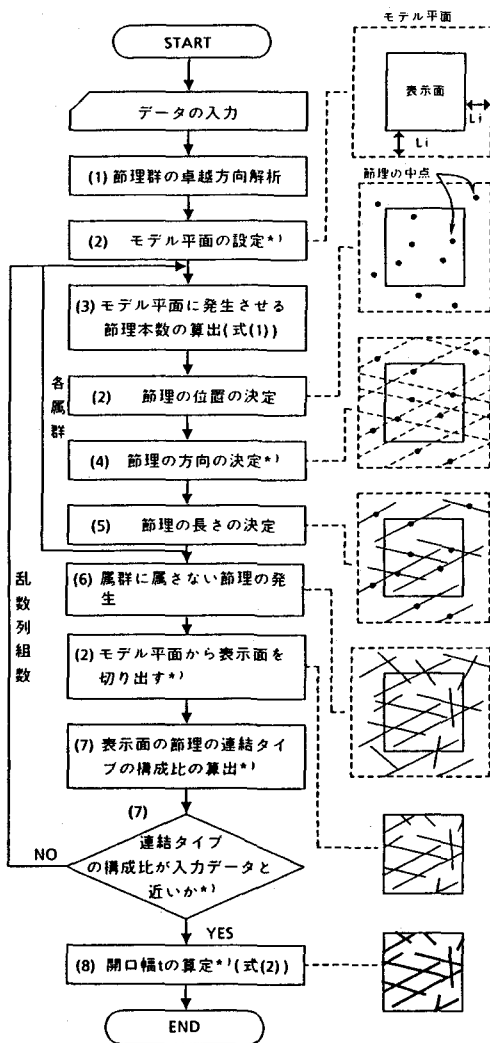


図-1 二次元断面における節理群モデルの作成手法

表示面のみとしていたが、節理中点が表示面内になくても節理線が表示面上に現れる場合がある(図-2の節理a)。そこで、今回はこのような節理をカバーするために表示面よりも L_i だけ大きくとったモデル平面上で節理を発生させ、その後、表示面を切り出すこととした。ここで、モデル平面の大きさ L_i は図-2に示すように節理長の分布より、全節理のP%までの節理長が入るような大きさとして決定する。

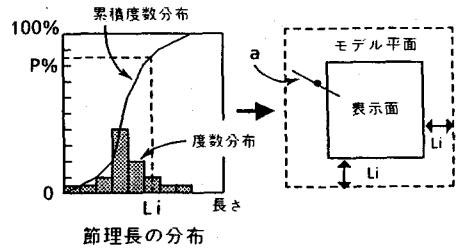


図-2 モデル平面の大きさの決定

(3) モデル平面に発生させる節理本数の算出

モデル平面に現れる節理本数は節理面とモデル平面とのなす角度によって異なるため、節理直角方向の断面の単位面積当たりの節理本数が調査結果にあうように式(1)で算定する¹⁾。

$$N = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n \left(\frac{N_s}{A_s \sin \theta_s} \right) \times A \sin \phi \quad (1)$$

N : モデル平面に現れる属群毎の節理本数 N_s : 観察面(格子枠)毎の属群に属する節理本数
 A : モデル平面の面積(m^2) A_s : 観察面(格子枠)の面積(m^2) n : 観察面(格子枠)の数
 ϕ : モデル平面と節理面とのなす角度(rad)
 θ_s : 節理面と観察面(格子枠)とのなす角度(rad)

(4) 属群中の節理の方向の決定

旧方法では属群中の節理はすべて属群中心の走向、傾斜を持つとして発生させていたが¹⁾、属群のグルーピングカウンターの範囲が立体角で 15° であるため、属群の中でも方向の分布を考える必要がある。そこで、今回は属群中を属群中心から立体角 5° 、 10° 、 15° の3つの領域に分割し、それぞれの領域に属する節理の本数をカウントし、その本数の節理を各々の領域の範囲でそれぞれ一様乱数によって発生させることにより、属群中での節理の方向性の分布を考慮することとした(図-3)。

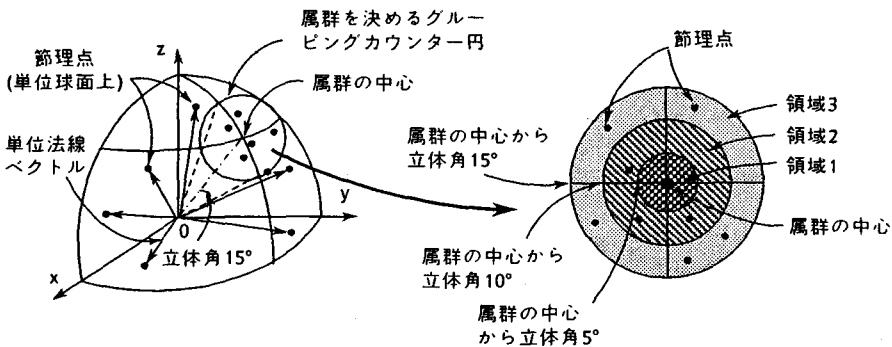


図-3 属群内にある節理の方向の分布の決定

(5) 属群中の節理の長さの決定

入力節理データについて各属群中の節理の長さの頻度分布を求め、この分布に従う一様乱数によって節理長を発生させる¹⁾。

(6) 属群に属さない節理の発生

位置はモデル平面内、方向は全方向について一様乱数によって決定する。長さは属群中の節理の場合と同様に入力節理データの中の属群に属さない節理の頻度分布に従う一様乱数によって発生させる。発生させる本数は入力節理データの棄却率((属群に属さない節理の本数/総節理数) $\times 100$)に基づいて決定する¹⁾。

(7) 連結タイプの構成比の考慮

個々の節理の方向、長さ等の他に、節理群が岩盤の挙動に大きな影響を与える要素として節理の連続性がある。旧方法では節理の方向、長さについては上述のように実際の節理データの分布に従うように決定しているが、節理の連続性が考慮されていなかった。ここでは、節理の連続性を評価する指標として節理の連結タイプを考え、モデルの連結タイプの構成比を入力節理群のものと近くすることにより節理の連続性をモデルに取り入れる。節理の連結タイプは図-4に示すような6種類を考える。これらのタイプの構成比を調べてみると、I、T+H(TタイプとHタイプの合計)、Xの3タイプが支配的であるため⁹⁾、モデル化に際してはこの3タイプの構成比を考慮する。本手法では節理の発生に一樣乱数を用いているので例えばn組の乱数列に対してn個のモデルが発生されることになる。n個のモデルのうち連結タイプの構成比が入力節理群のものと最も近いものを節理モデルとして採用する。

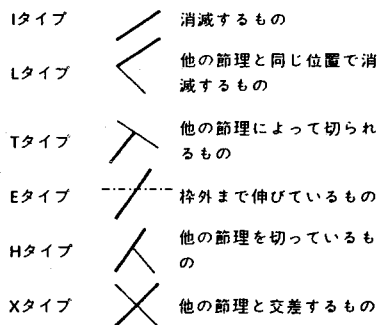


図-4 節理の連結タイプの分類

(8) 開口幅の算定

開口幅については節理長と同様に頻度分布に従って発生させる方法が考えられるが、①開口幅 l と節理長 l_0 の間には相関があると考えられること、② l の測定精度は l_0 に比べて低いことから次式を用いて評価し、モデル図では節理線の幅として表す。開口幅 l と節理長 l_0 との関係は著者らによって既に提案されている¹⁾が、ここでは無次元化して示す(図-5)。

$$\frac{l}{l_0} = a \left(\frac{l}{l_0} \right)^b \quad (2) \quad \begin{array}{l} l_0: \text{開口幅の測定値の平均値} \quad l: \text{開口幅の測定値} \\ l_0: \text{節理長の測定値の平均値} \quad l: \text{節理長の測定値} \\ a, b: \text{定数} \end{array}$$

3. 適用例

節理調査結果に上記2.に述べた手法を用いて節理群のモデル化を行った例として、A地点の花コウ岩地域における露頭観察面の節理スケッチと本手法による節理群のモデル図の比較を図-6に示す。ただし、ここでは属群中の節理の方向はすべて卓越方向とし、モデル発生は1回だけ行った結果を示しており、開口幅は図化していない。節理長、節理間隔の分布は、観察面とモデル図とでよく一致している。連結タイプの構成比の違いは、モデル発生回数を増やして採用モデルを選択することにより改良されると予想される。

4. おわりに

岩盤の節理群の調査とその評価に基づいた二次元断面における節理群モデルの作成手法について述べ、その適用例を示した。これによって、二次元断面での節理群の幾何学的性状を模擬した節理群モデルを決定できた。これは今後、不連続面を考慮した解析を行う上での1つの有効な手段となろう。今後は三次元領域での節理群モデル作成について検討していく予定である。

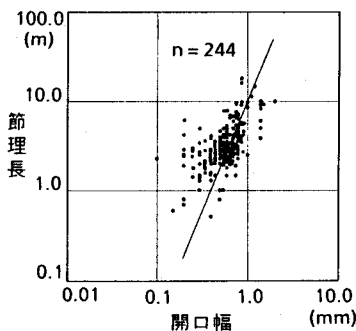


図-5 開口幅と節理長との関係

モデル図

露頭スケッチ図

節理群モデル図と露頭スケッチ図との比較

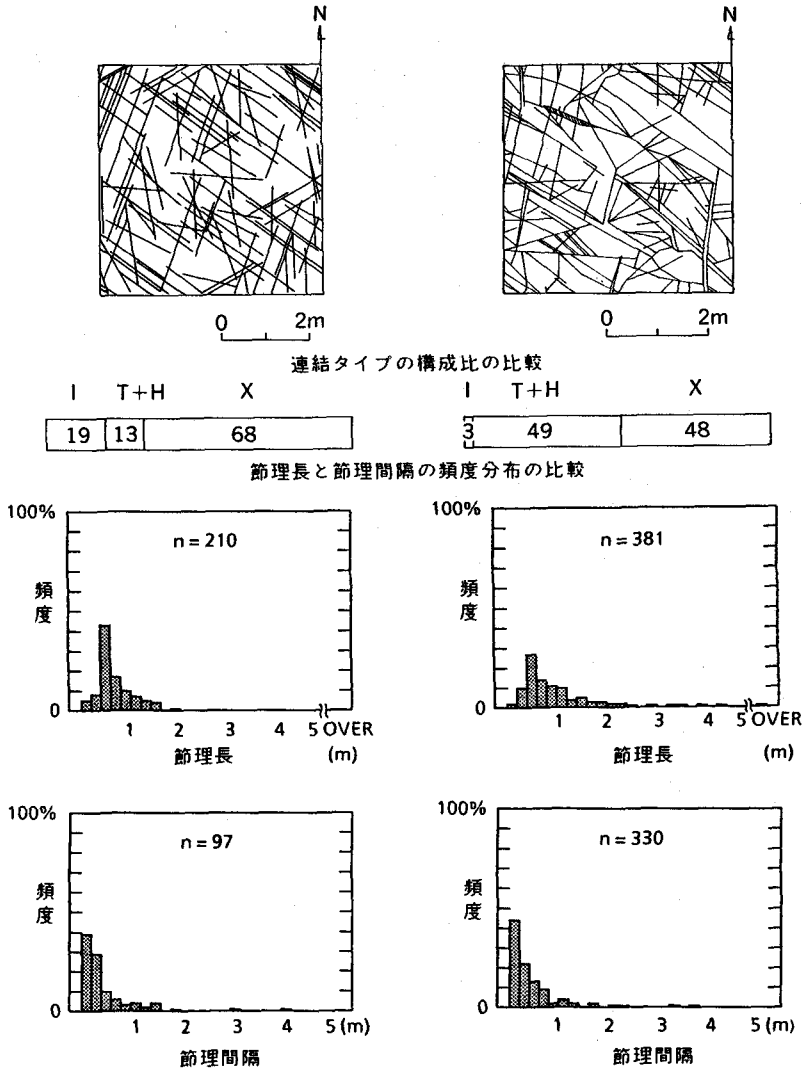


図-6 A地点花コウ岩地域における本手法の適用例

参考文献

- 1) 三室俊昭 他、第6回岩の力学国内シンポジウム(1984) pp.127 ~ 132
- 2) 菊地宏吉 他、電力土木No.154(1978) pp.50 ~ 59
- 3) 楠建一郎 他、第13回岩盤力学シンポジウム(1981) pp.21 ~ 25
- 4) Priest S. D. et al., Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 13 (1976) pp.135 ~ 148
- 5) 三室俊昭 他、第17回岩盤力学シンポジウム(1985) pp.6 ~ 10

(29) MODELING METHOD OF JOINTED ROCK MASS BASED ON
QUANTITATIVE ESTIMATION OF JOINT DISTRIBUTION

by **K. Kikuchi**

(Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.)

T. Kobayashi

(Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.)

H. Kuroda

(Shimizu Construction Co., Ltd.)

Y. Mito

(Waseda University)

Recently analysis of jointed rock mass has become an important subject to understand the discontinuities of rock mass in detail.

In this paper, we propose an effective modeling method of jointed rock mass based on the quantitative estimation of joint distribution, with considerations of strikes, dips, lengths, distributinal density, combinations and widths of joints.

The modeling methods proposed are as follows.

- ① Determine the joint orientations by Kikuchi's method, which categorizes the joint orientations into several groups of the nearly same orientations ;
- ② Determine the modeled joint lengths based on the distribution of the actual joint lengths ;
- ③ Define the number of joints appearing on the model surface, considering the joint orientations ;
- ④ Consider the joint connection types as the index of joint combinations.
- ⑤ Decide the joint widths using the correlation of joint lengths.

We applied this modeling method to the sampling data of granite area in A point and discussed the result.