

(85) 岩盤節理系の三次元幾何学モデル作成手法

東電設計(株) 正会員 三室 俊昭
同 上 正会員 道家 太郎
清水建設(株) 正会員 ○黒田 英高
同 上 正会員 百田 博宣

1. はじめに

近年、岩盤の不連続性を考慮した解析が注目されている。このような解析を実施する場合には割れ目系を実態に近い形で単純化した合理的なモデルを作成することが重要である。岩盤中に存在する不連続面のうち、破碎帯のように数が少なく規模の大きなものは決定論的な取扱いが可能であろう。これに対して、節理は桁違いに数が多く、大きさや方向も様々である。したがって、節理系に関しては統計的または確率論的な手法を用いて、節理調査結果を反映した節理系モデルを作成することが要求される。

このような観点から、著者らは節理系の幾何学性状を支配する要素として、①方向性、②トレース長、③密度、④組合わせ、⑤開口幅、をとりあげ、これらに関する定量的な評価方法と二次元断面における節理系モデルの作成手法を提案してきた^{1)~5)}。しかし、節理系は本来三次元空間中に分布したものであり、不連続性を考慮した解析に利用できる信頼性のあるモデルを得るには、二次元断面での取扱いには限界があるのも実状である。そこで、本報では既提案の二次元モデル化手法を拡張し、三次元空間における節理系の幾何学モデルの作成手法について述べるものである。

2. 節理系の三次元幾何学モデルの作成手法

(1) 基本的な考え方

三次元空間で節理系の幾何学モデルを作成する研究は幾つか行われているが、節理調査結果を反映した手法は数少ないようである。ここでは、著者らが既に提案している二次元モデル化手法に基づいた三次元での節理系幾何学モデルの作成手法を提案する。モデル作成の基本的考え方は次のようである。

いま、岩盤を地表面と平行な平面で分割する。各平面上で見られる節理個数、方向性、トレース長、開口幅などの各節理要素の分布性状は、深さ方向にある範囲まではほぼ同等であるとみなされるであろう。そこで、地表面で節理調査を行った場合を想定すると、その結果を用いて各平面上で既提案の二次元モデル化手法により節理トレースの分布を決定できる。ここで、節理形状を円盤と仮定して、各節理トレースから節理の半径と中心位置を求めれば、節理調査結果を反映した節理系の三次元幾何学モデルが作成できる。

(2) 節理調査結果の評価

a) 方向性(図-1 参照) 節理系の方向性は、従来の菊地らの極座標による解析方法^{2),3)}を用いて卓越方向の算出と属群のグルーピングを行い、集中率 r_i を求める。さらに、属群内での分布を把握するため、属群内の3領域で集中率 r_{ij} ($j=1\sim3$) を計算する。一方、属群外の節理の割合は棄却率 γ_i で評価する。

b) 節理トレース長と開口幅 両者とも卓越方向毎に度数分布と累積度数分布を作成し、分布性状を把握する。さらに両者は相関を持つと考え、卓越方向毎に次式の回帰曲線を求める。

$$\frac{t}{t_0} = a \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^b \quad (1)$$

t, l : 開口幅, トレース長 t_0, l_0 : t, l の平均値
 a, b : 定数 (最小二乗法で算定)

c) 組み合わせ(連結タイプ) 節理の連結タイプは図-2のように分類されるが、既調査結果によると I, T+H と X の3タイプが支配的である。従って、この3タイプの構成比で組み合わせを評価する。

(3) 節理系の生成フロー

対象となる節理系の作成領域は、図-3の表示領域であるが、節理生成過程では図中のモデル領域を考え、モデル領域中に m 個のモデル平面を設定する。このモデル領域は二次元モデル化手法と同様⁵⁾、表示領

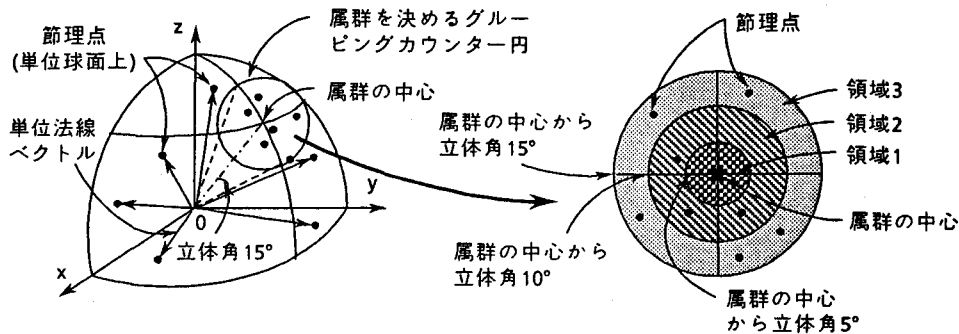


図-1 節理系の卓越方向解析の概念

域中に節理トレース中心がない節理に対処するため、設けたものである。各モデル平面で生成する*i*属群の節理数 N_i は次式で算定する⁴⁾。

$$N_i = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n \left(\frac{N_s}{A_s \sin \theta_s} \right) \times A \sin \phi \quad (2)$$

n : 観察面数 N_s : 観察面(格子枠)毎の属群に属する節理本数
 θ_s : 節理面(卓越方向中心)と観察面とのなす角度
 A_s : 観察面の面積 A : モデル平面の面積
 ϕ : モデル平面と節理面(卓越方向中心)とのなす角度

N_i と r_{ij} より、属群中の各領域で生成する節理数 N_{ij} と属群外で生成する節理数 N_o が求まる。

このような前処理後、図-4に示す生成フローで節理系の三次元幾何学モデルを作成する。

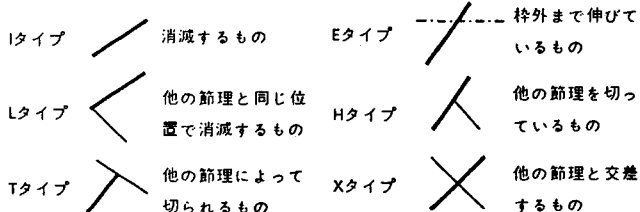


図-2 節理の連結タイプの分類

a) モデル平面1

図-4の1)~6)は、二次元モデル化手法で実施でき、二次元断面上で節理トレースが決定できる。次に、半径*r*の円盤節理の場合、平行平面で得られる平均節理トレース長 l_{mean} が式(3)で与えられると仮定する。式(3)からの類推により、節理トレース長 l に対する平均半径 r_{mean} は式(4)で得られる。

$$r = (2/\pi) \cdot l_{mean} \quad (3), \quad r_{mean} = (2/\pi) \cdot l \quad (4)$$

ここでは、節理トレース長を式(4)に代入して平均節理半径を決定し、モデル平面上の節理のトレース端点位置と方向性から節理中心位置を求める(中心位置はモデル平面の上下に二通り考えられるが、ここでは1/2の確率で割り振る)。

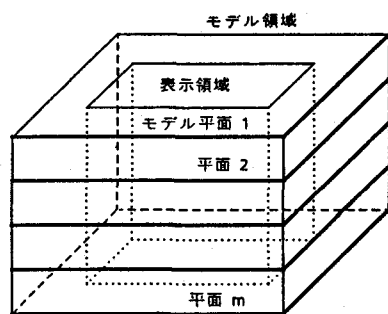
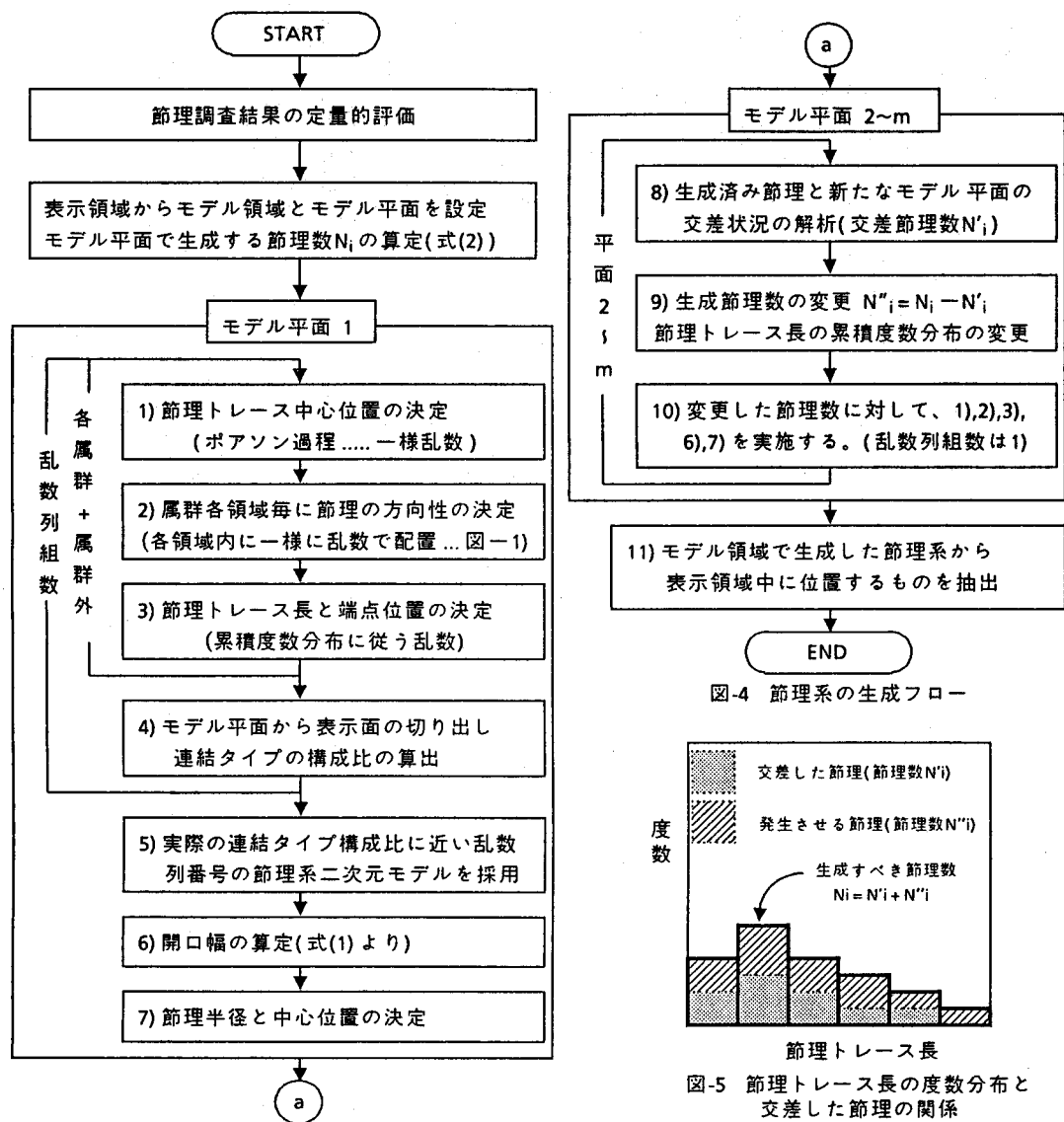


図-3 モデル領域とモデル平面の定義

b) モデル平面2~*m*各領域 モデル平面2~*m*で節理トレースを生成する場合、生成済の節理系とモデル平面との交差状況を解析しておく必要がある。いま、生成済の節理系のうちこれから節理トレースを生成しようとしているモデル平面と交差している*i*属群節理数を N'_i 、属群各領域節理数を N'_{ij} 、属群外の節理数を N^* とすれば、このモデル平面で生成すべき節理数 N''_i 、 N''_{ij} 、 N''^* は次のようになる。

$$N''_i = N_i - N'_i \quad N''_{ij} = N_{ij} - N'_{ij} \quad N''^* = N^* - N^* \quad (5)$$

これに伴って節理トレース長の度数分布も変化する。図-5に N_i 、 N'_i 、 N''_i の関係を示す。 N''_i 個の節理トレース長の決定に際しては、図-5の斜線部分の分布が対象となる。



以上のように、節理の生成数とトレース長の度数分布の変更を行った後、モデル平面2~mの節理系の作成はモデル平面1と同様に実施できる。

3. 解析例

1地点の花崗岩地域での節理調査結果に本モデル化手法を適用した例を表-1および図-7に示す。作成した三次元モデルは $10 \times 10 \times 10\text{m}$ の立方体である。このモデルの地表下-5mにおける水平断面①と中央の東西断面②を切り出して節理トレースの分布性状を調べてみた(図-6)。水平断面①と入力節理群を比較すると、卓越方向、集中率についてはよく一致しているが、総節理本数、トレース長については水平断面①の方が大きくなっている。東西断面②と二次元のモデル化手法で作成した東西面の比較でも、同様の傾向がみられる。この原因はモデル平面2~mを作成する際に、上述のような生成節理数の調節を行っても、さらに新しく生成した節理系が作成済みのモデル平面に交差する場合が生じるためであると考えられる。

表-1 三次元モデル各断面の節理分布状況と入力節理群、二次元モデルとの比較

	総節理本数	卓越方向 No.	走向 / 傾斜	集中度 (棄却については棄却率) (%)	トレース長の平均値 (m)		総節理本数	卓越方向 No.	走向 / 傾斜	集中度 (棄却については棄却率) (%)	トレース長の平均値 (m)
入力水節理群	398	1	65 / 70	18	3.39	二次元東西面モデル	398	1	65 / 70	25	3.73
		2	166 / 82	19	1.81			2	166 / 82	8	1.71
		3	130 / 90	10	3.41			3	130 / 90	11	3.91
		4	288 / 87	10	2.08			4	288 / 87	13	2.07
		棄却	—	—	1.91			棄却	—	—	2.00
三次元断面モデル①	422	1	65 / 70	19	5.13	三次元東西面モデル②	422	1	65 / 70	26	6.29
		2	166 / 82	18	1.95			2	166 / 82	7	2.99
		3	130 / 90	11	5.44			3	130 / 90	12	8.72
		4	288 / 87	10	2.18			4	288 / 87	11	2.94
		棄却	—	—	2.37			棄却	—	—	3.04

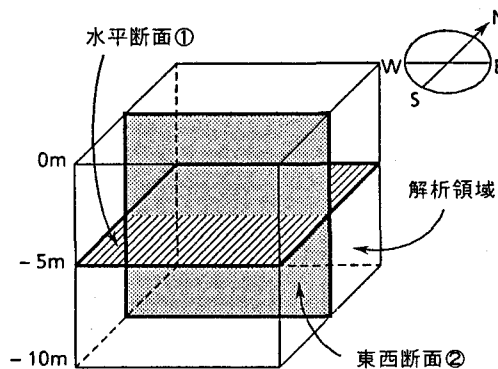


図-6 三次元での解析領域と検討断面

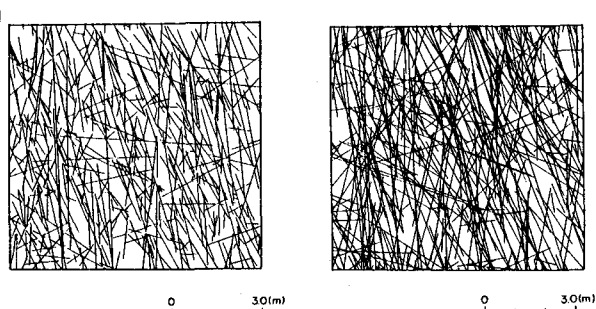
(a) 二次元モデル
(東西面)(b) 三次元モデル
(東西断面②)

図-7 東西面の節理トレースモデル

4. おわりに

本報では、二次元断面における節理系モデルの作成手法を三次元空間に拡張したモデル化手法を紹介した。本手法は露頭等における節理調査結果を用いた節理系モデルの作成に有効と考えられる。その適用範囲は調査データと同様の節理分布性状を持つと考えられる領域内である。

参考文献

- 1) 菊地宏吉 他: 電力土木No.154(1978), pp.50 ~ 59.
- 2) 楠建一郎 他: 第13回岩盤力学シンポジウム(1981), pp.21 ~ 25.
- 3) 三室俊昭 他: 第17回岩盤力学シンポジウム(1985), pp.6 ~ 10.
- 4) 三室俊昭 他: 第6回岩の力学国内シンポジウム(1984), pp.127 ~ 132.
- 5) 菊地宏吉 他: 第18回岩盤力学シンポジウム(1986), pp.141 ~ pp.145.

(85) THREE - DIMENSIONAL MODELING METHOD FOR JOINTED ROCK MASSES

by T. Mimuro

(Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.)

T. Michiie

(Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.)

H. Kuroda

(Shimizu Construction Co., Ltd.)

H. Momota

(Shimizu Construction Co., Ltd.)

The present authors have already proposed a two-dimensional modeling method for jointed rock masses based on the quantitative estimation of the joint distribution. However, actual joints have a three-dimensional distribution in the rock masses. In order to provide more reliable joint information to the discontinuous stress-strain analysis, it is necessary to establish a three-dimensional model for jointed rock masses.

In this paper, we propose a three-dimensional modeling method of jointed rock masses as an extension of the two-dimensional modeling method. It is assumed the shape of joints are to be disc form and the joint distribution on each slice plane is almost same manner in the vertical direction.

The proposed modeling method are summarized as follows;

- ① Estimate the joint distribution and define the modeling region in the three-dimensional space ;
- ② Divide the modeling region into several slice planes in the vertical direction ;
- ③ Produce the joint traces on each slice plane using the two-dimensional modeling method ;
- ④ Estimate the joint radius from the joint trace length and determine the location of the joint disc ;