

(5) 花崗岩岩盤における節理分布のモデル化についての試み

電力中央研究所 〇楠 建一郎
" 菊地 宏吉
早稲田大学 泉谷 泰志

1. まえがき

節理性の岩盤の力学特性及び透水性状を把握するためには、その岩盤中の節理分布性状を明確に把握することが極めて重要である。特に地下発電所及び地下タンクなどの大規模地下空洞周辺の掘削に伴う岩盤の挙動には節理の分布状況が大きく関与していると考えられる。

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完全なものではなく、従って岩盤の力学特性の検討に用いる岩盤節理モデルは、実態に近い単純規則化した近似モデルを用いることになる。筆者らは、この近似モデルの作成を目的として、種々の検討を行っているが、本報告は「燃料地下タンク予定個所における検討結果である。

2. 節理の分布性状を支配する諸要素

節理の分布性状を支配する要素として①節理の方向性、②節理の連続性、③節理の密度、④節理の開口度、⑤節理の挟在物質の状況の5つがあげられる。したがって節理の分布性状を解析することは、これらの要素を解析することに外ならない。しかしながら、今回は節理を含んだ岩盤モデルの作成が主な目的であるため解析の対象とした要素は、①、②及び③等の3要素である。

3. 節理の計測方法

調査地域は瀬戸内海のI島であり、全島黒雲母花崗岩を主とする広島花崗岩よりなっている。節理の調査はI島のうち地下タンク予定地点である 1.2×0.5 kmの範囲で行った。

節理の計測においては、サンプリングの無作為性等を考慮し、グリッドシステムにより計測点を選定し、その計測点において単位格子枠方式を用いて計測を行った。単位格子枠の寸法は実際の節理の状態を考慮し、連続性のある節理の計測についての格子は一边を10mとし、その間隔を埋める比較的短い節理の計測についての格子は一边を1.5mとした。以下にその具体的な方法を記す。

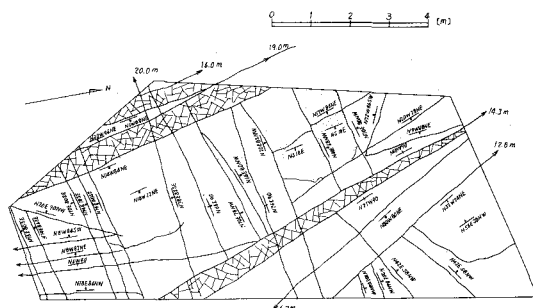


図-1 10m格子枠によるスケッチ例

1) 10m格子枠による方法

この方法の主な目的は連続性のある節理の分布性状を把握することである。計測個所は調査地域内の海岸、石切場等の露岩状態の良好な場所を選定した。計測にあたってはまず選定された個所において一边が10m程度の枠を設定した。節理のサンプリングは10m格子の枠内に存在する長さ3m以上の節理について行った（以後これをPと呼ぶ）。計測内容は個々の節理の走向、傾斜及び全長の測定等である。同時にその位置の詳細なスケッチを行った。（図-1参照）

2) 1.5m格子枠による方法

この方法の主な目的は上記の連続性のある節理の間を埋めて分布する短い節理の分布性状を把握することである。計測点は調査地全域に50m間隔のグリッドを設

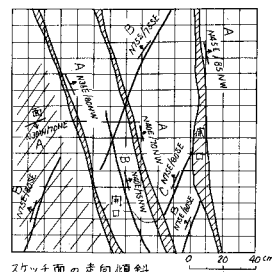


図-2 1.5m格子枠によるスケッチ例

定し、このグリッドの交点に最も近い自然露頭を選定した。一計測点においては、節理の分布を三次元的にとらえるために、原則として水平1方向、垂直2方向の3測定面を設定した。測定面は1.5 m平方の格子枠とした。節理のサンプリングは、この1.5 m平方の格子枠内に存在する全節理について行った。計測内容は個々の節理の走向、傾斜及び枠内における長さについてである。計測にあたっては節理をその長さによってA（両端が枠外にあるもの）、B（一端が枠内にあるもの）、C（両端が共に枠内にあるもの）の3つに分類した。（図-2参照）

4. 解析方法

4.1 節理の方向性の解析

節理の方向性についての解析手法は、筆者らがすでに開発した『電子計算機を利用した極座標による解析方法』を用いた。まず方向性についての規則性の評価方法としては下式のように節理属群保有率、節理属群分布率及び節理属群集中度率を定義して、各節理属群ごとに値を求め、これによる評価を考えた。

$$\text{節理属群保有率} : \alpha = \left\{ \sum_{i=1}^n (N_i) / N \right\} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (1) \quad N_i : i \text{ 節理属群に属する節理の個数}$$

$$\text{節理属群分布率} : \beta_i = \left\{ N_i / \sum_{i=1}^n (N_i) \right\} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (2) \quad N : \text{節理総数}$$

$$\text{節理属群集中度率} : r_i = \{ N_i / N \} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (3)$$

節理属群保有率とは、節理総個数における各節理属群に属する節理個数の総和の占める割合を示すものであり、節理属群保有率が大きいほど節理系の規則性の強いことを示している。この節理属群保有率は節理分布を単純規則化した近似モデルとして取扱う場合の信頼度を示すものといえる。

節理属群分布率とは、各節理属群に属する節理個数の総和に対する一つの節理属群に属する節理個数の割合であり、節理属群分布率が大きいほど、規則性を有する節理群においてその節理属群の卓越性が高いことを示している。この場合、節理属群保有率 α が大きい場合には、この節理属群分布率がその岩盤の節理母集団における各節理属群の分布比率と見なし得るものとなる。

節理属群集中度率とは、節理総個数に対する一つの節理属群に属する節理個数の割合であり、節理属群集中度率が大きいほど、節理母集団におけるその節理属群の絶対的な卓越度が高いことを示している。

この解析手法における考え方及び計算法の特徴はつぎの3点である。

- a) 球面座標において、節理を表現するため、また節理分布性状を定量的に把握するための統計処理を行うために、空間の極座標（ $R = \text{一定}$ ）及び空間内の2点間の距離を示す式を用いる。
- b) 節理属群を抽出するのに必要な属群の中心点を求めるためにベクトル手法を適用する。
- c) 節理面のアンジュレーションの程度に基づいて各節理属群の範囲を決定する。（図-3参照）

4.2 節理の連続性の検討

節理の連続性についての評価は、方向性を考慮した検討を行った。すなわちP、A、B及びCグループ各々について方向性の解析を行って、グループ別の節理属群を把握し、そのグループ別節理属群各々について連続性の検討を行った。この場合Pグループについては連続性を明確に把握するため、10 m 格子枠外においても、連続性を可能な限り追跡し測定を行った。

4.3 節理の密度の検討

節理密度の解析については、方向性ならびに連続性を考慮に入れた検討を行った。すなわち上記の検討によって得られたデータをもとに、単位（面積）長当りのグループ別節理密度及びグループ別・属群別の節理密度を算出し

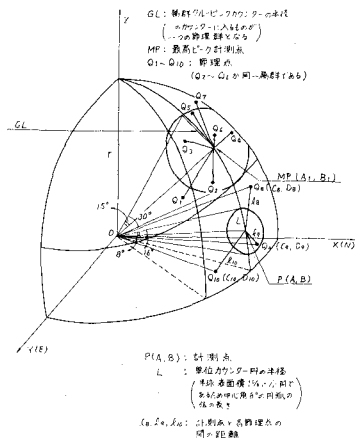


図-3 球面座標による節理分布密度の測定と節理属群の抽出

た。

5. 解析結果

節理の卓越方向、長さ及び密度についての解析は、P、A、B及びCの各々のグループについて行った。その結果は表-1、2に示す通りである。

10 m 格子枠による測定結果では、P-1、P-2およびP-3の3つの節理属群の発達が認められる。このうち、P-1およびP-2の卓越が著しく、調査地域の節理系を代表している。特にP-2については破碎帯の卓越方向と一致しているうえ、比較的連続性を有するので、破碎帯の生成と密接な関係を有するものと考えられる。また節理の分布間隔はP-3が最も大きいが、これは測定枠における節理密度の低いことを意味し、属群分布率が3つの属群のうち、最も低いことと矛盾しない。

1.5 m 格子枠の測定面による解析結果ではAグループについてはA-1～A-4の4節理属群が、BグループについてはB-1～B-3の3節理属群が、CグループについてはC-1～C-4の4節理属群が認められる。これらの節理属群のうちA-1、B-1、C-1の方向性はほぼ等しく、さらにP-1の方向にほぼ一致している。同様にA-3、B-2、C-3の3つの節理属群はP-2にほぼ一致している。P-3と同じ方向性をもつ節理属群としてはA-2、B-3が認められるがCグループにはこれに相当する節理は認められない。これはCグループの節理は短い節理であるのに対して、P-3に属する節理は平均長が大きいことからわかるように長い節理が多いためであると考えられる。

以上の結果から、連続性のあるPグループの節理の間を埋める短い節理(A、B、C)の方向性は、Pグループの節理とほぼ同じような傾向を示していることが理解できる。また1.5 m 格子枠方式による測定結果には、水平に近い分布を示す節理(A-4、C-2)の存在が認められるが、10 m 格子枠には認められない。これはこの節理群が一般に連続性に乏しいことを意味するものであり、この点は現地においても確認されている。

節理密度については、1.5 m 格子枠一面について平均すると、Aグループ3個、Bグループ4個、Cグループ1個の節理があらわれるという結果を得た。

6. 岩盤節理分布モデルの作成

5章で述べた解析結果をもとに、岩盤節理分布モデルを作成した。モデルの作成にあたって、まずPグループの節理の解析結果については10 m 格子面に、またA、BおよびCグループの節理の解析結果については、1.5 m 格子面に別々に描いたが、最終的にはこれらを組合せて10 m 格子面に図化した。

節理モデルの図化にあたっては便宜的に幾つかの条件を設定した。

- 基点として格子枠の中心点をとる。
- 第2列目以降の節理の作図は千鳥に配置する。
- 1.5 m 格子面に描く節理個数は節理密度にあわせる。

図-4は10 m 格子枠方式による解析結果を用いて作成したPの節理分布モデルであり、図-5は1.5 m 格子枠

表-1 10 m 格子枠の測定面による解析結果

	N	走向 / 傾斜	集中度 (%)	節理属群 分布率 (%)	平均節理長さ (m)	平均節理間隔 (m)
P-1	165	85	16.5	42	5.36	0.95
P-2	60	75	16.8	42	7.68	0.84
P-3	136	35	6.0	15	7.36	1.15
測定網所: 13 節理総数: 228 節理属群保有率: 34.3%						

表-2 1.5 m 格子枠の測定面による解析結果

A	N	走向 / 傾斜	集中度 (%)	節理属群 分布率 (%)	平均節理長さ (m)
A-1	171	75	9.0	28.3	1.36
A-2	296	80	9.5	29.9	1.38
A-3	70	65	8.7	27.4	1.32
A-4	158	5	4.6	14.4	1.31
節理総数 368 節理属群保有率: 31.8% 節理全長平均 5.20					
B	N	走向 / 傾斜	集中度 (%)	節理属群 分布率 (%)	平均節理長さ (m)
B-1	171	85	12.0	44.4	0.86
B-2	75	65	8.4	31.1	0.83
B-3	131	85	6.6	24.4	0.76
節理総数 561 節理属群保有率: 27.0%					
C	N	走向 / 傾斜	集中度 (%)	節理属群 分布率 (%)	平均節理長さ (m)
C-1	161	85	17.2	41.5	0.67
C-2	158	5	11.5	27.7	0.80
C-3	85	75	8.3	20.0	0.68
C-4	265	40	4.5	10.8	0.58
節理総数 157 節理属群保有率: 41.4%					
測定面数 117 節理総数 1026					

方式による解析結果を用いて作成したA, B, Cの節理分布モデルである。

本報告では立体的な節理分布を表現するために、一辺が10mの立方体とした岩盤節理モデルを作成したが、実際の地下空洞の寸法と方向にあわせた岩盤節理モデルの作成も容易である。

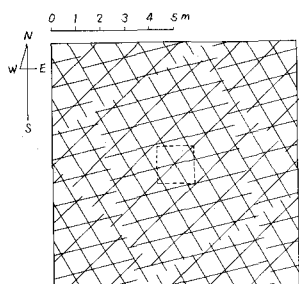


図-4.1 10m格子面における岩盤節理分布(水平面)

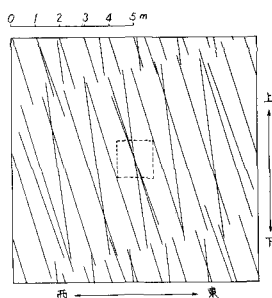


図-4.2 (東西面)

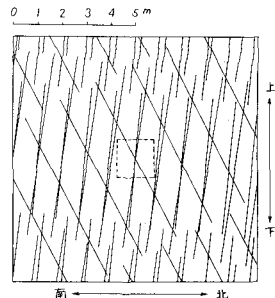


図-4.3 (南北面)

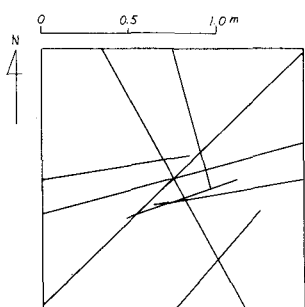


図-5.1 1.5m格子面における岩盤節理分布(水平面)

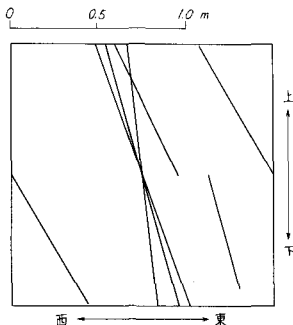


図-5.2 (東西面)

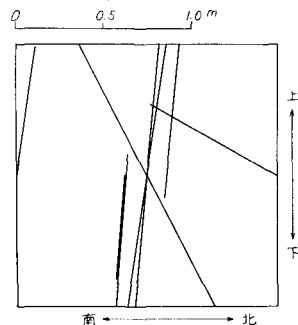


図-5.3 (南北面)

7. むすび

以上、岩盤中の節理分布性状の量的評価に対する筆者らの考え方、データのサンプリングの方法、解析方法及びそれらの結果を用いた節理分布のモデル化について述べたが、この手法の適用によって、近似的な単純規則モデルとしての節理分布性状の把握は容易に、また迅速に行えるものと考えられる。

節理の分布性状をあらわす要素としては2章で述べた5つの要素が考えられるが、今後は④の節理の開口度、⑤の節理の挟在物質の状況についての検討を加えて研究を進めていく方針である。

参考文献

- 1) 菊地宏吉, 斉藤和雄, 井上大栄:「岩盤中の節理分布性状の定量的評価とその解析」
金折裕司 第10回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要 昭和51年2月
- 2) 菊地宏吉, 斉藤和雄, 楠建一郎:「土木構造物基礎岩盤中の節理分布性状の定量的評価に関する研究」
電力土木 46 54 昭和53年3月
- 3) 楠建一郎, 菊地宏吉, 斉藤和雄:「花コウ岩岩盤における節理分布のモデル化についての試み」
電力中央研究所 電力土木研究会, 昭和54年11月

A TRIAL IN THE MODELING OF
JOINTS DISTRIBUTION IN GRANITE ROCK MASS

by Kenichiro KUSUNOKI*
Kokichi KIKUCHI*
Yasushi IZUMIYA**

This paper reports on the analysis of the properties of joints distribution and modeling of joints distribution in the foundation rock, using the method of quantitative evaluation of joints distribution developed by the authors. The results are described in this report which can be summarized as follows.

1) Measuring method of distributed joint properties

In the measurement of joints, with random sampling in mind, measuring points were selected on a grid system, and the measurement was made for a unit area of 10m x 10m or 1.5m x 1.5m at each of the measuring points.

2) Analyzing method of distributed joint properties

The authors analyzed the data using the "Analyzing method based on polar coordinates by the use of electric computer" developed by the authors. The program used in this case allowed the simultaneous statistical processing of the strikes, dips, lengths and intervals of individual joints, after they were digitalized into the computer.

3) Results of the analysis and modeling of joints distribution

In the surveyed area, there were four typical joint systems, viz. three continuous joints systems of (1) 165/85 (strike/dip), (2) 70/70 and (3) 135/85, and one almost horizontal and relatively short joint system of (4) 158/5.

A joint model is an approximate model made by combining and summarizing the data of joints distribution elements obtained by an analysis on such items as directions, continuity and density. The method proposed in this paper is summarized to facilitate the modeling of joints.

* Central Research Institute of Electric Power Industry

** Waseda University