

III- 355

ロックボルト効果に関する数値実験（その2）

－異方性岩盤におけるロックボルトとき裂交差数－

（株）大林組 丹生屋 純夫 鈴木 健一郎
九山 誠 藤原 紀夫

1. はじめに

ロックボルトの打設が、大規模地下空洞などの岩盤空洞の周辺に与える効果を評価する足掛かりとして、ボルトとき裂との交差数で評価することを目的に等方性岩盤を想定したモデルによって数値実験を行った。¹⁾ その際、ロックボルトの打設方向に関係なくき裂の寸法が交差数に大きな影響を与えることが確認された。しかし、日本列島を構成する岩石地盤は激しい地殻変動の影響を受け続け、その結果として大小様々な割れ目が多く、異方性が顕著であり力学的にも複雑なものが多くなっている。²⁾ そこで本研究では等方性岩盤モデルで行ったものと同様な数値実験を異方性岩盤を想定したモデルにより行った。以下、その概要を述べる。

2. 岩盤モデルおよび実験概要

き裂発生条件や岩盤モデル作成条件は、表—1、表—2のように前回（その1）と同じである。今回の実験では異方性を想定したモデルということで、図—1中に示した座標系において、Y断面にはほぼ平行になるようなき裂をき裂密度（0階のクラックテンソル） $F_0=1.5$ で発生させている。き裂の分布

表—1 き裂発生条件

	傾斜方向	傾斜	密度 F_0	中心分布	き裂形状
き裂セット	0 ± 15	90 ± 15	1.5	一様	円盤

は均質であると考えられるので、ロックボルト設定位置による交差き裂数の影響については無視できる。き裂密度 $F_0=1.5$ のモデルは1 seriesにつき30個作成される（表—2）

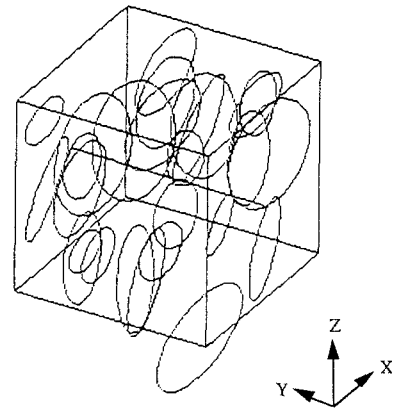
表—2 岩盤モデル作成条件

	平均き裂径	モデル数	き裂密度の種類	データ数
J series	2 m	30	$1.5 \times n (n=1, 2, \dots, 30)$	$\sum_{n=1}^{30} \binom{30}{n}$
M series	5 m	30		
P series	10 m	30		

が、これらを任意に重ね合わせることで、 F_0 の異なる岩盤モデルが得られる。例えば、この30モデルから無作為に2モデル取り出し重ね合わせることで、き裂密度 $F_0=3.0$ のモデルが出来る。そして、30モデルから2モデル取り出す組み合わせは435通りあるので、 $F_0=3.0$ のモデルによる計測結果が435個得られることになる。同様に、 $F_0=4.5$ のときは3個取り出す組み合わせを考えればよく、以降組み合わせるデータ数を1つつ増やしていく。最大き裂密度は30個のモデルを全て重ねたときで、 $1.5 \times 30 = 45$ となる。

3. 実験結果および考察

モデルの中心を通り、X、Y、Z断面それぞれに平行な3断面上に30度ピッチでボルトを打設した場合の交差き裂数を調べ、図—2にき裂密度 $F_0=45$ の場合の単位長さ当たりのボルトに交わるき裂数と方向の関係を示した。原点からの距離が単位長さ当たりの交差き裂数に相当し、完全な等方性に近くなる程その各端点を結んだ軌跡は完全な球形を示すことになる。しかし、3図ともY断面における軌跡が極端に小さくなり、この



図—1 岩盤モデル一例

断面に設定したボルトにはき裂がほとんど交差していないことを示している。次に、モデルの中心を通り、X、Y、Z軸それぞれに平行にボルトを打設した場合の交差き裂数を調べ、図—3にき裂密度 F_0 と交差き裂数の最大と最小の関係を示した。理論的にはロックボルトに交わるき裂数 m とクラックテンソル F との関係は、文献3)のクラックテンソルと捜査線に交わるき裂数との関係式を、 m について整理し直すことにより次のような式で表される。

$$m_i^{(L)} = \frac{h \langle \underline{n} \cdot \underline{q}_i \rangle}{3r_0} F_{ii} \quad \begin{array}{l} h : \text{ボルト総延長} \\ r_0 : \text{平均き裂径} \end{array} \quad \langle \underline{n} \cdot \underline{q}_i \rangle : \text{き裂法線ベクトルと走査線ベクトルとの内積絶対値の平均}$$

この直線の勾配は、単位き裂密度当たりの交差き裂数を意味しており、交差き裂数が多くなるに従って直線勾配は急になる。ここで、 $h=50\text{m}$ 、 $r_0=2.5$ 、 1.0m 、 $\langle \underline{n} \cdot \underline{q}_1 \rangle = 1.289\text{E-1}$ 、 $\langle \underline{n} \cdot \underline{q}_2 \rangle = 9.787\text{E-1}$ 、 $\langle \underline{n} \cdot \underline{q}_3 \rangle = 1.295\text{E-1}$ 、 $F_{11}=0.754$ 、 $F_{22}=43.485$ 、 $F_{33}=0.761$ としたときの直線を図に実線で示す。以上より異方性岩盤の場合は、地山性状（き裂密度、平均き裂長さ）が同じでボルトの総延長が等しくても打設方向によって交差き裂数に差異が生じることが確認された。

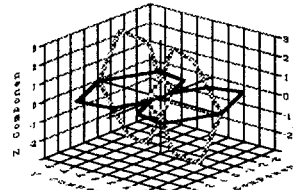
次に、直交3断面別による2本のボルトとの平均交差き裂数と平均き裂径の関係を調べ図-4に示した。右の縦軸が平均延べ交差き裂数、左の縦軸が2本のボルトに同時に交差する平均き裂数の割合を示している。平均き裂径が大きくなると、平均延べき裂数が減少するのに対して同時に交差するき裂数の割合は増加する。また、Y断面に関する平均延べき裂数はX、Z断面と比べると著しく低くなっており、異方性であることが確認できる。しかし、2本同時に交差するき裂数の割合は平均延べ交差き裂数の大小に関わりなく、3断面ともほぼ重なって推移していることは興味深い。一方、一断面上におけるボルト打設方向と延べき裂数、2本同時に交差するき裂数割合の関係を調べた。図-5は平均き裂径5mのZ断面について示したものである。これより、延べき裂数の増減パターンと2本同時に交差するき裂数割合のパターンはほぼ一致していることがわかる。

4. まとめ

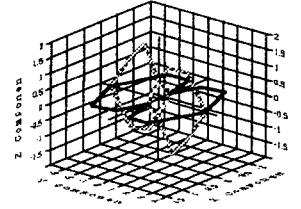
支持リングとなった岩盤の物性を考える場合、岩質部、き裂部、ボルトの特性さらには各々の相互作用を考慮する必要がある。そして今回、岩盤内に存在するき裂の幾何学的分布に対するロックボルトの数量的評価を異方性岩盤モデルにより検討し、複数のボルトに交わるき裂数は、ボルトの打設方向に大きく依存していることが確かめられた。

（参考文献）

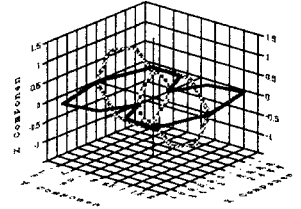
- 1) 丹生屋、鈴木、丸山、藤原：ロックボルト効果に関する数値実験（その1）、第29回土質工学研究発表会、平成6年6月
- 2) 三木：わかりやすい岩石と岩盤の知識、鹿島出版社
- 3) M.Oda：Modern Developments in Rock Structure Characterization, Comprehensive Rock Engineering, VOL.1 pp.185~200



(a) 平均き裂径 2m

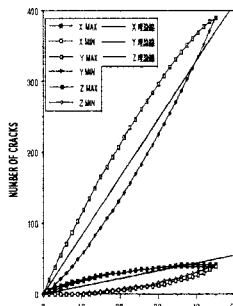


(b) 平均き裂径 5m

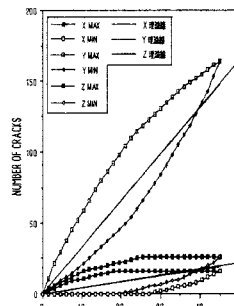


(c) 平均き裂径 10m

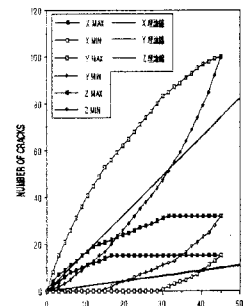
図-2 き裂交差数とボルト打設方向との関係



(a) 平均き裂径 2m



(b) 平均き裂径 5m



(c) 平均き裂径 10m

図-3 き裂密度と交差数の関係

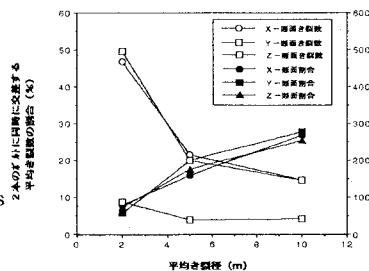


図-4 2本のボルトとの交差き裂数と平均き裂径の関係 ($F_0=45$)

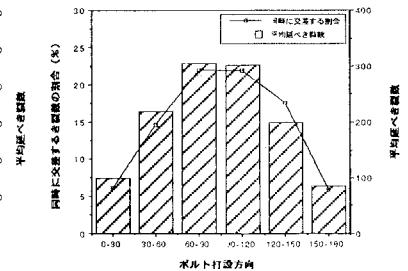


図-5 2本のボルトとの交差き裂数とボルト打設方向の関係