

# III-262 不連続性岩盤におけるロックボルトの 評価に関する一考察

神戸大学大学院 学生員 永井哲夫  
(株)大林組 正会員 土原久哉  
神戸大学工学部 正会員 櫻井春輔

## 1. はじめに

岩盤の挙動が、それを構成する岩石そのものの力学特性よりも種々の地質学的な分離面(不連続面)の特性により支配される場合、ここではその岩盤を”不連続性岩盤”と呼ぶことにする。この不連続性岩盤にトンネルなどの地下構造物を構築する際、その安定性確保のためロックボルトがよく用いられる。これは、不連続性岩盤の補強に、ロックボルトが非常に有効であることを経験的に技術者がよく知っていることによるのだろう。しかし、この効果をどのように評価して設計に反映させればよいのかという問題に対しては、今のところ明確な解答はないのが現状である。

本研究では、ロックボルトを打設した不連続性岩盤を表すモデルによる模型実験結果の解析をもとに、ロックボルトの効果の評価に関して考察を行う。

## 2. 実験概要および結果

不連続性岩盤内のトンネルを安定化させるために打設されるシステムロックボルトを対象に、ボルトによりトンネル周辺岩盤の力学特性がどのように変化するのかを把握するため、図-1に示すようなモデル化を行った。ここでは、簡単のため不連続面を2次元的に配置している。そして、この供試体モデルを用いて平面ひずみ状態で一軸圧縮試験を行った。ロックボルトを打設した不連続性岩盤は、非常に複雑な不連続体であると考えられるが、ここでは工学的観点からこれを一種の連続体と考え、平均的ないわゆる巨視的な(見かけの)変形および強度特性に焦点を当てる。

実験結果の一部を図-2および図-3に示す。これらの結果から、ロックボルトを打設した不連続性岩盤モデルは、巨視的には連続体のごとく挙動し、弾性領域においては見かけの力学特性の向上としてボルトの効果を考えることができそうである。

## 3. ボルトの効果の評価に関する考察

ロックボルトを打設した不連続性岩盤の力学特性を考える場合、「岩石の力学特性」、「不連続面の特性」および「ロックボルトの特性」、さらには各々の相互作用を考慮しなければならない。今この岩盤を複合材料論的

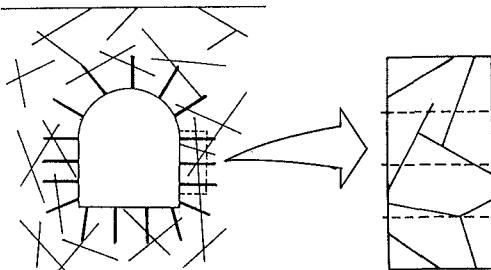


図-1 実験モデル化

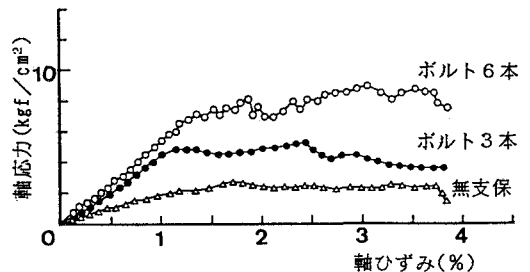


図-2 ボルトによる力学特性の向上

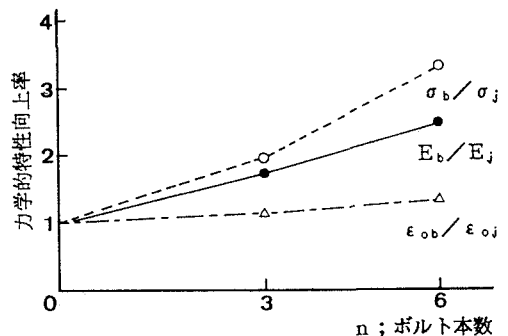


図-3 ボルト本数と力学特性向上率

観点から捉えると、次のように2通りの考え方ができる。

①不連続性岩盤をマトリックスとし、ボルトを分散材とする2相複合材料

②岩石部をマトリックスとし、不連続面を分散材とする複合材料に、さらにボルトが分散材として入っている3相複合材料

そこでこれらの考え方にに基づき、この複合材料の見かけの弾性係数に着目して、実験結果と理論値の比較を行い考察を加える。

### 3. 1 2相複合材料とした場合

本研究で対象としているモデルにおいては、圧縮荷重の作用方向とボルトの打設方向が直角であることから、2相複合材料として捉えた場合、ボルト支保モデルの見かけの弾性係数の理論値は、無支保モデルのそれで無次元化して次式のように表せる。

$$\alpha_t = E_{jb}/E_j = 1 / \{V_j + (E_j/E_b) V_b\} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\alpha_t$  は見かけの弾性係数向上率、 $E_{jb}$ 、 $E_j$  は複合材料および不連続性岩盤の見かけの弾性係数、 $E_b$  はボルトの弾性係数、 $V_j$ 、 $V_b$  は不連続性岩盤およびボルトの体積占有率 ( $V_j + V_b = 1$ ) を示す。この式より得られる見かけの弾性係数向上率の理論値と前述の実験により得られた結果を比較すると表-1のようになる。理論値ではボルトによる見かけの弾性係数の向上はほとんど見られないが、実験ではわずかな本数のボルトにより見かけの弾性係数は大きく向上している。

### 3. 2 3相複合材料とした場合

(1) 式では、岩石部と不連続面から成る複合材料（不連続性岩盤）の見かけの弾性係数  $E_j$  を一定として与えたが、次に岩石部をマトリックス、不連続面を分散材とする複合材料に、ボルトは岩石部と不連続面の境界の付着を増加させる役割をすると考えると、不連続性岩盤の見かけの弾性係数は一定値ではなく、ロックボルトの関数として表すことができる。これを式で表現すると次のようになる。

$$\frac{1}{E_j} = f(n) \left( \frac{1}{E_i V_i + E' V'} \right) + (1 - f(n)) \left( -\frac{V_i}{E_i} + \frac{V'}{E'} \right) \quad \dots (2)$$

ここで、 $f(n)$  は不連続面境界の付着の度合を表す関数でボルトの本数やせん断強度により決まるもの、 $E_i$ 、 $E'$  は岩石部および不連続面部の弾性係数、 $V_i$ 、 $V'$  は岩石部および不連続面部の体積占有率 ( $V_i + V' = 1$ ) を示す。いま先の実験結果と上式を用いて、無支保の不連続性岩盤モデルの  $f(n)$  を0として、ボルト支保によりこの  $f(n)$  がどのように変化するかを求めると表-2のようになる。この結果から、不連続面境界の付着度はボルトの本数に比例して大きくなることが分かる。(2) 式のような形でボルトを評価すると、

ロックボルトを打設した不連続性岩盤モデルの弾性領域での挙動をうまく把握することができそうである。

### 4. まとめ

本研究の結果、ロックボルトによって補強された不連続性岩盤は、3相複合材料として捉えることにより、その力学特性を評価できることが分かった。

表-1 見かけの弾性係数向上率の理論値と実験値

| 支 保       | ボルト支保 (3 本) |       |       | ボルト支保 (6 本) |       |
|-----------|-------------|-------|-------|-------------|-------|
| テストNo.    | No.1        | No.2  | No.3  | No.1        | No.2  |
| (1) 実験値   | 1.745       | 1.505 | 1.782 | 2.328       | 2.271 |
| (2) 理論値   | 1.001       | 1.001 | 1.001 | 1.002       | 1.002 |
| (2) / (1) | 0.574       | 0.665 | 0.562 | 0.430       | 0.441 |

表-2 ボルト支保による付着度  $f(n)$  の変化

| テスト No.   | No.1  | No.2  | No.3  |
|-----------|-------|-------|-------|
| ボルト支保(3本) | 0.437 | 0.342 | 0.450 |
| ボルト支保(6本) | 0.583 | 0.571 | —     |