

二軸応力場におけるロックボルトの作用機構

セメント協会 正会員 ○泉尾 英文
 首都大学東京 正会員 土門 剛
 首都大学東京 正会員 西村 和夫

1. 目的

山岳トンネルの標準工法として NATM は多くの施工実績をあげている。NATM では、ロックボルトと吹付けコンクリートが主要な支保部材として使用され、可縮可屈で柔な支保構造となる。これは、トンネルの変形を許容することにより、トンネル周辺地山の応力再配分を円滑に促進させ、地山が本来持つ強度を最大限に発揮させるという思想に基づくものである。しかし、多くの施工実績があるものの、主要な支保部材であるロックボルトの作用効果は未解明な部分が多く、定性的な評価に留まっているのが現状である。したがって、合理的な設計・施工のためには定量的にその効果を評価することが必要である。

そこで、本研究は、ロックボルトの作用効果を解明し定量的な評価を行った上で、簡便な力学モデルを構築することを目的とする。過去に等方応力場での模型載荷実験から軸対称荷重条件下におけるトンネルの力学モデルを構築したが¹⁾、比較的土被りの浅い地山へ適用範囲を拡張するため、今回二軸応力場における実験を実施した。

2. 実験方法

2.1 トンネルのモデル化

トンネルのモデル化は、地山材料、ロックボルト及びベアリングプレートについて次の通り設定した。

- 1) 地山材料：硫酸バリウム、酸化亜鉛、ワセリンを 70 : 21 : 9 の重量比で混合した材料を用いた。この材料は、締め固め圧によって所定の物性値を得ることができ、低強度の地山をモデル化できる。
- 2) ロックボルト：0.3cm × 0.3cm の太さの亚克力棒を使用した。計測用のロックボルトには、曲げと軸力を分離できるように、亚克力棒の左右側面にひずみゲージを貼り付けた。

- 3) ベアリングプレート：低強度の地山をモデル化しておりトンネル壁面が崩れやすいので、ベアリングプレートには肌落ち防止工の役割も兼ね、図2のように大きめのアルミ製のプレートを使用した。

2.2 実験装置および実験ケース（図1）

- 1) 実験槽：幅 60cm × 60cm 高さ 12.5cm の矩形実験槽を使用した。この実験槽に、地山材料を 200kPa で締め固め、ロックボルトを配置した直径 10cm のトンネルを作製する。
- 2) 載荷装置：サーボコントローラーを使用して、実験槽側面にあるプレッシャーバック内に水を供給し載荷する。載荷は、図中の上下の載荷圧に対し、左右の載荷圧は常に 0.5 倍とした。

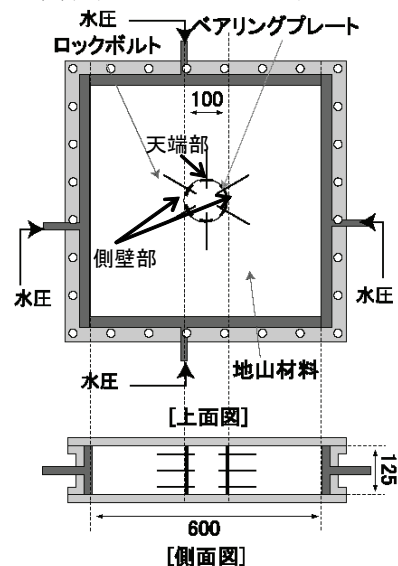


図1 実験槽概要

表1 実験ケース

ケース No.	長さ [cm]	本数 [本]	ピッチ [cm]
036040	3	6	4
036025	3	6	2.5
033040	3	12	4
033025	3	12	2.5
056040	5	6	4
056025	5	6	2.5
053040	5	12	4
053025	5	12	2.5

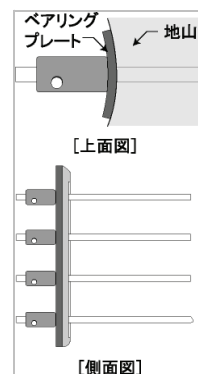


図2 ロックボルト

・ベアリングプレート

キーワード ロックボルト, ベアリングプレート, 二軸応力場, 模型実験

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市基盤環境コース TEL 0426-77-1111 (4578)

- 3) 計測装置：トンネル内空変位をポテンシオメーター、載荷圧を水圧計、ロックボルト軸力をひずみゲージで計測する。
- 4) 実験ケース：表1のようにロックボルト長さ、一断面当りの打設本数、トンネル軸方向の打設ピッチをパラメータとして8ケース実施した。

3. 実験結果

ロックボルトに発生する軸力は、設置箇所により異なった。図3のように側壁部に打設したロックボルトに大きな軸力が発生しているのに対し、図4のように天端部ではほとんど軸力が発生しない。これは、ゆるんで押し出してくる側壁部ではロックボルトが効果を発生するが、ゆるみを伴わない天端部の押し出しには効果を発揮できないことを示している。実際に、トンネル一断面に打設するロックボルトの本数が少ないと、写真1のようなくさび形の破壊が側壁部で必ず起こる。この破壊を防止するには、肌落ち防止工などで壁面を覆う必要がある。

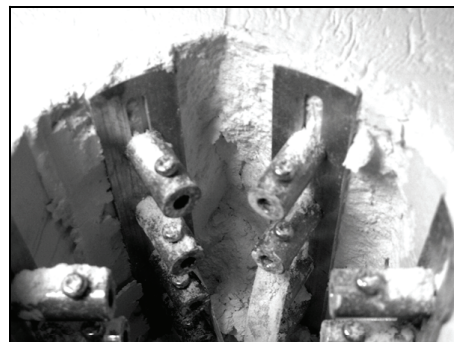


写真1 側壁部の崩壊

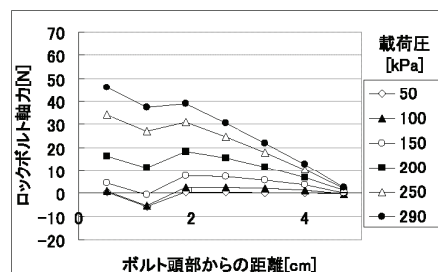


図3 側壁部ロックボルト軸力

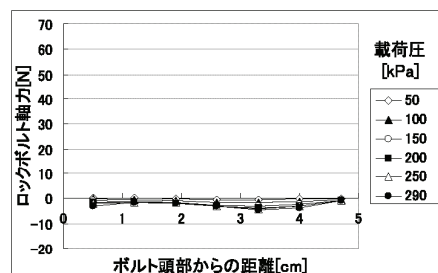


図4 天端部ロックボルト軸力

4. 結論

今回の二軸応力場実験により以下のことがわかった。

- 1) 側壁部は肌落ち防止工などで覆わなければ、くさび形の破壊を防止することはできない。
- 2) トンネル軸方向の打設間隔を密にすることで、トンネル全体で変位を抑制するよう軸力が発現する。その効果を得なければ、大きく変位する天端部の変位量を抑制することはできない。
- 3) 天端部のロックボルトには引張りの軸力が発生せずほとんど機能していない。
- 4) 側壁部のロックボルトに最も軸力が発現し、その分布形状は他の計測位置と異なり、等方応力場載荷実験での軸力分布と似ている。
- 5) 支保のパターンにより変形のモードが異なる
- 6) ロックボルトの長さが短くても、密に打設することで地山支持リングを形成し変位を抑制する効果がある。

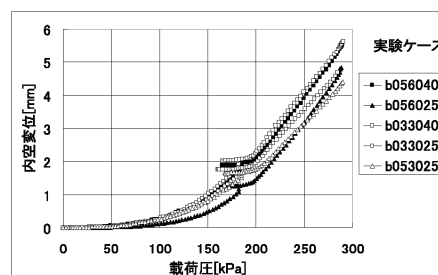


図5 載荷圧-内空変位（天端）

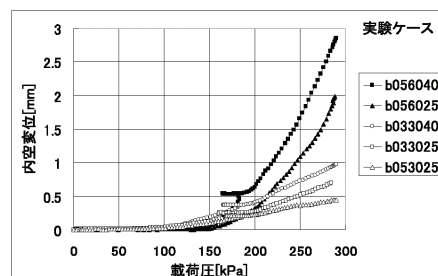


図6 載荷圧-内空変位（側壁）

参考文献

- 1) 土門・今田・西村：ロックボルトによる支保内圧効果を考慮した低強度地山トンネルの簡便モデル，土木学会論文集，No.722／Ⅲ-61，149-167，2002.12