

非軸対称荷重条件下のトンネルにおけるロックボルトの作用機構

- 模型実験手法確立の試み -

東京都立大学大学院 学生会員 泉尾英文

東京都立大学大学院 正会員 土門 剛・西村和夫

1. 研究の目的・着目点

実務上有用となる低強度地山における簡便なトンネルモデルを構築することが本研究の最終目的である。

軸対称条件下のロックボルトの作用効果を考慮した簡便なトンネル力学モデルをすでに提案しており¹⁾、本研究ではそのモデルを非軸対称荷重条件下に拡張するため、まずは非軸対称荷重条件下における基礎的挙動を模型実験により把握することを主目的とした。また、今後さらに重力場におけるモデルへの展開も視野に入れて、実験装置および実験手法の大幅な変更を実施した。そのため、新しい模型実験手法を確立することも本研究の目的と位置づけている。

先に提案した簡便モデルは、ベアリングプレートの影響を考慮することにより、ボルトによる支保内圧効果とせん断応力効果の両効果を包含したものとなっている。さらにそのモデルはトンネルの変形問題も考慮していることから、実設計に供することのできるモデルである。

本研究ではさらに、非軸対称荷重における両効果の有無や軸対称条件下との差を明らかにするため、ロックボルトに発生する軸力分布とベアリングプレートの有無による変化に特に着目して本実験を行う。

2. 実験概要

2.1 実験装置・トンネルモデル

実験装置には、三軸方向に載荷できる地盤挙動模型実験装置（図1）を使用し、載荷フレーム内に地山材料を打設する（500×500×25 mm）。地山材料の中央に、直径100mmの円形トンネルモデルとして、地山・ロックボルト・ベアリングプレートをモデル化することにより作成した。

地山材料は、硫酸バリウムと酸化亜鉛とワセリンを70:21:9の重量比で練り混ぜたものを使用する。この材料はある程度の粘着力を有しており、さらに締め固め圧により所定の強度を得ることができる。また水を使用しないため地山物性が安定しており、本実験に適している。

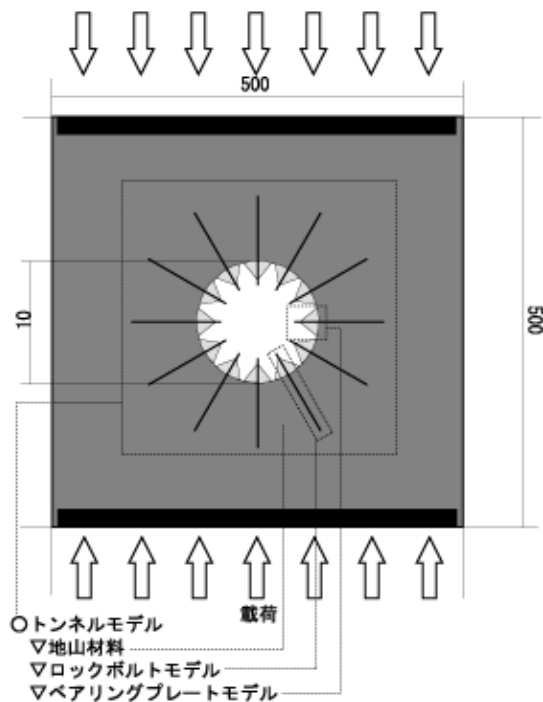


図1 トンネルモデル概要

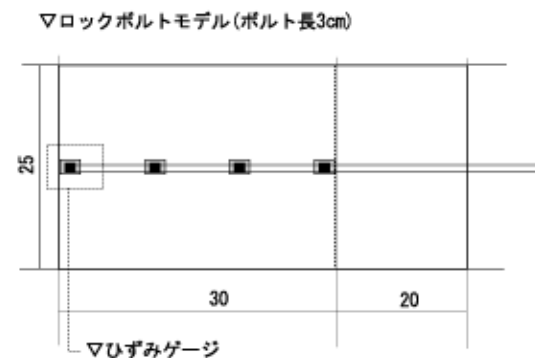


図2 計測用ロックボルトモデル

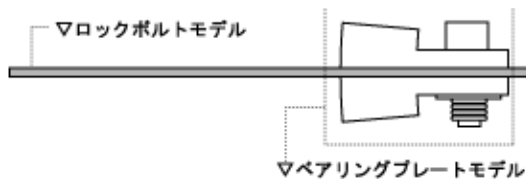


図3 ベアリングプレートモデル

キーワード：ロックボルト、ベアリングプレート、非軸対称荷重、軸力、模型実験

連絡先：住所：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 0426-77-1111 内線 4567

ロックボルトモデル(図2)には、クリアファイルを接着剤によって二枚貼り合わせたものを使用する。計測用ボルトはクリアファイル間にひずみゲージを貼り付ける。今回の実験はトンネル軸方向のピッチを考慮していない。そのため実験槽の高さに合わせたボルトモデルとした。また、ボルト頭部に設置するベアリングプレートモデル(図3)は、直径100mmの曲率をもたせ、ネジでボルトに締め付けることによってロックボルトと一体化させる。このプレートは十分な剛性を持った材料を使用する。

2.2 実験方法

地山材料打設前に、まずテフロンシートを実験槽底面に敷く。これは摩擦低減のために行うもので、シリコングリースにより二重にしたものを細分化し、少しずつ重ね合わせて敷く。次に溝の入ったトンネル型枠を所定の位置・角度に置き、ロックボルトモデルを溝にはめこむ。その後地山材料を敷き詰め、締め固める。締め固め後、トンネル型枠を外し、地山上面を整形する。この際、上面の高さが実験槽より高すぎると摩擦が大きくなり発生し、有効な値が計測できない。逆に低くしてしまうと、面外せん断破壊を生じさせ、平面ひずみ条件が成立しない。したがって、地山材料の上面整形には細心の注意を払った。地山材料打設後、各計測装置を取り付け、上蓋をはめ、載荷・計測を行った。実験は表1の通り無支保トンネルも含めて、ボルト長、打設本数およびベアリングプレートの有無により全9ケース実施する予定である。

表1 実験ケース

実験ケース	ボルト長 (cm)	打設本数	ベアリングプレート
1		無支保	
2	3	6	×
3	3	6	○
4	3	12	×
5	3	12	○
6	5	6	×
7	5	6	○
8	5	12	×
9	5	12	○

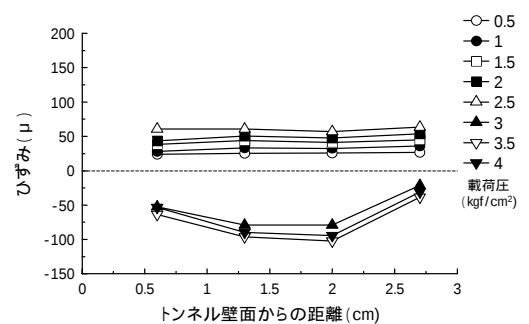


図4 摩擦低減前の実験結果

3. 実験結果（実験ケース2のみ）

地山材料の高さが25mmと低く、底版と上蓋の拘束による摩擦が大きくなり影響したため、実験当初には有効な値を得ることができなかった(図4)。

そこで摩擦を極力低減する目的で、上述の通りテフロンシートの改良と、地山上面の整形を工夫を行った。その結果、載荷に伴うボルト軸力(この場合ひずみ)が有効な値を示すまでに至った(図5)。図のように載荷圧に応じたひずみ値が明確に現れている。しかし地山が薄いため、細心の注意を払い載荷を行っても、大きな破壊が起こり、再現性を得ることが極めて困難な状況である。

4. 今後の課題

今後は実験装置のさらなる改良を図るとともに、ベアリングプレートを有するケースを行って比較したい。さらに、先に提案したモデルを拡張して非線形荷重条件下のトンネルモデルを構築する予定である。

【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 / -61, 149-167, 2002.12

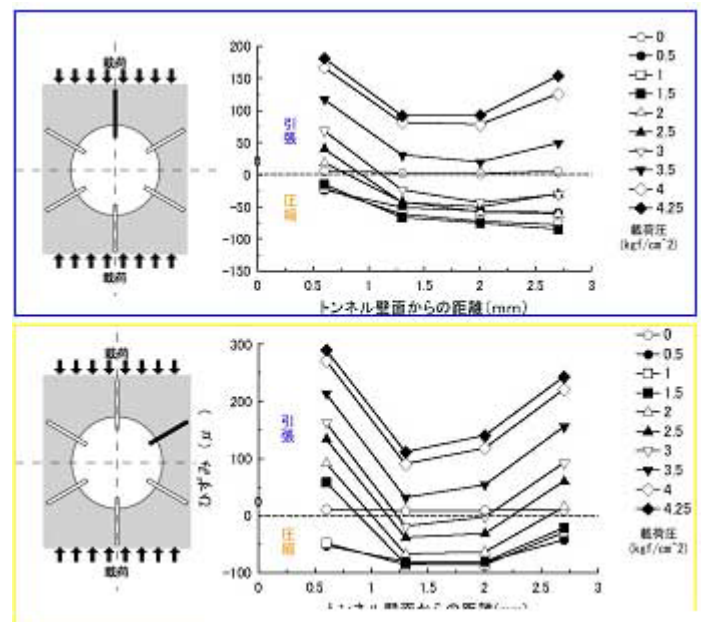


図5 載荷に伴うボルト軸力(ひずみ値)の変化