

二軸応力条件下でのロックボルト作用効果の研究 - 計測用ロックボルトモデルの開発 -

東京都立大学大学院 学生員 藤原 多聞
東京都立大学大学院 正会員 土門 剛・西村和夫

1.研究の位置付けと目的

本研究では、二軸応力条件下の地山において、トンネル周辺に働く応力分布とロックボルトの作用効果を把握するための実験モデルを考案し、得られた実験データから簡便な力学モデルを構築することを目的としている。しかし、二軸応力条件下では地山内応力の分布状態を把握することが非常に困難であることに加え、ロックボルトには軸力だけでなく曲げモーメントも発生することが考えられる。そこで、本研究の最初のステップとして、これらの現象を正確に捉えるための計測用ロックボルトモデルの開発に取り組んだ。

2.実験概要

2.1 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地山模型として用いる。この材料は、粘着力を有し、締め固め圧により物性値が変化する特徴がある。また、水を含んでおらず、載荷実験時に脱水による地山材料物性の変化を考慮する必要がない。

2.2 計測用ロックボルトモデルの開発

(1)作成方法

ロックボルト全長を地山と定着させるため、全面接着式ロックボルトを想定したモデル化を考える。3mm×3mmの正方形断面を持つ亚克力棒（図-1）に対し、ひずみゲージを一組の相対した側面の所定の箇所へ貼付する。ボルト長は、3cm、5cm、10cmの3種類とした。また、地山内で用いるため、磨耗などによる劣化を防ぐ目的から表面を樹脂系接着剤でコーティングした。

(2)計測用ロックボルトモデル物性値に関する試験

作成したモデルに対して「引張試験」、「曲げ試験」、「引抜試験」を行った。このうち、引抜試験では図-2の装置を用いて得られた最大引抜荷重から、「地山 - ボルト」間に発生するせん断応力を計算し、摩擦角と付着力を求めることができる。また、ボルト表面に一列に配置したひずみゲージにより、ロックボルトモデルの軸力分布を算出し、発生する個々の値についても検証することが可能である。

3.実験結果と考察

3.1 引張試験結果について

図-3に示した引張試験結果は、5cmのロックボルトモデルにおける、両側面に作用する軸応力を平均した結果の一例を示したものである。グラフは線形性を有していることがわかる。また、複数回の実験により再現性も確認できた。この結果から、ロックボルトモデルやひずみ貼付状態などの妥当性が検証された。



図-1 計測用ロックボルトモデル

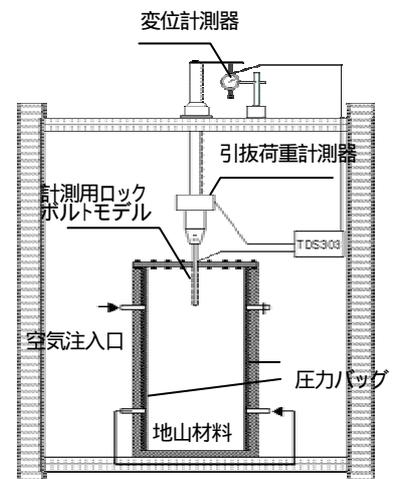


図-2 引抜試験装置

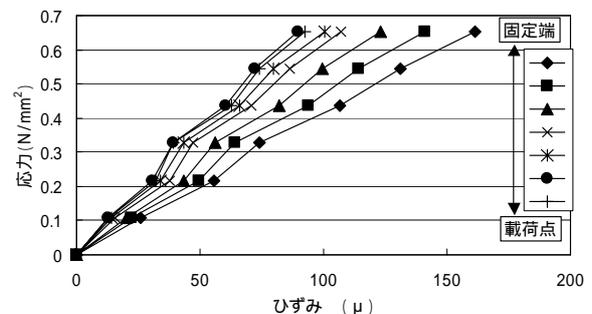


図-3 引張試験結果

キーワード ロックボルト, 二軸応力, 模型実験, 粘着力, 引抜試験

連絡先 〒192-0367 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL 0426-77-1111

3.2 曲げ試験結果について

ロックボルトモデルの一端を固定し、片持ち梁の状態で、自由端に鉛直荷重を載荷した。図-4 縦軸の正の部分が引張側で、負の部分が圧縮側である。圧縮、引張側の荷重の大きさが等しいことから、中立軸の位置が断面の中心にあることが示される。

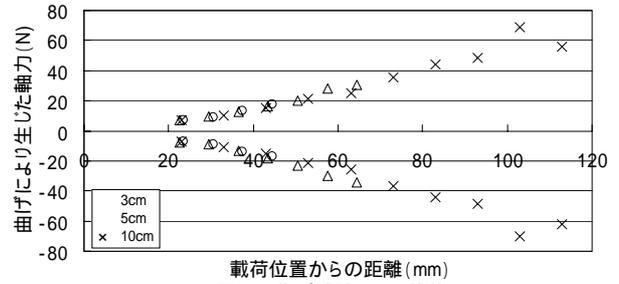


図-4 曲げ試験 (20gf 載荷)

3.3 引抜試験結果について

地山内に各長さのロックボルトモデルを埋め込み、図-2 に示された圧力バッグに空気圧を供給する。拘束圧は、50, 100, 150, 200kPa とする。その後、ロックボルトモデルを引抜くことで、地山との付着特性を調べた。

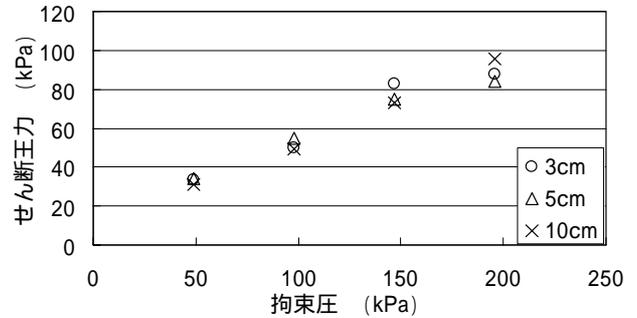


図-5 拘束圧とせん断応力の関係

(1) 拘束圧とせん断応力の関係 (図-5)

図-5 のように拘束圧 とせん断応力 が線形性を有することから、「地山 - ボルト」間の付着特性は、 $\tau = c + \sigma \tan \phi$ (c : 粘着力、 ϕ : 摩擦角) の関係であらわせることがわかる。

(2) ロックボルトに作用する軸力分布 (図-6)

ボルトの各点で働く軸力は、ボルト周面に作用するせん断応力を先端部から各点まで積分して求められるため、地表面に近づくにつれ軸力は増加する。図-6 より各ボルト長の軸力分布の傾きがほぼ等しく線形であることから、いずれのボルトもほぼ均一で同じ大きさのせん断応力が作用していることがわかる。

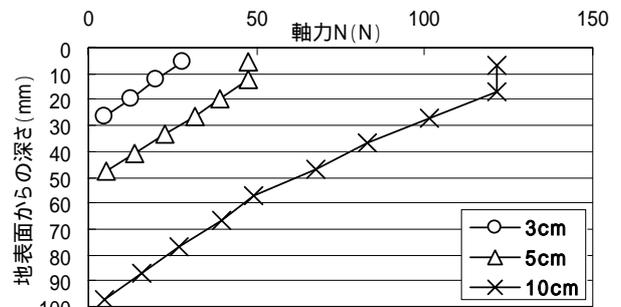


図-6 ロックボルトに作用する軸力分布

4.まとめ

ロックボルトモデルの弾性係数および地山材料との相互作用に関する強度特性を表-1 にまとめた。使用するモデルの物性値に僅かながら違いが生じている原因には、コーティング剤の塗布で形成されるボルト表面の凹凸が、ボルトモデルによって若干異なることにより地山 - ボルト間のせん断応力に影響を及ぼしたと考えられる。しかし、地山との付着力が発揮されることで、全面接着式ロックボルトをモデル化することができた。

表-1 ロックボルトモデルの物性値

挿入長さL (cm)	弾性係数E (kN/mm ²)	摩擦角 (°)	付着力c (kPa)
3	4.187	21.76	14.537
5	4.445	19.81	19.600
10	4.139	24.29	8.192

5.今後の展望

現在、これまでに述べたロックボルトモデルを用いた二軸応力条件下のトンネル載荷実験を実施している。ロックボルトモデルの配置の一例 (は計測用ロックボルトモデル) と、実験装置を図-7 に示す。実験槽の内側 4 辺の側壁にある圧力バッグ内に水を供給することにより、地山モデルに載荷圧を与えることができる。二軸応力条件を再現するには、実験槽の縦方向と横方向の圧力バッグから異なる大きさの載荷圧を加えることで可能となる。現在、圧力バッグからの漏水などの不具合により実験装置は改良中である。改良後、直ちに実験を再開し、二軸応力条件下のロックボルト作用効果を明らかにしていきたい。

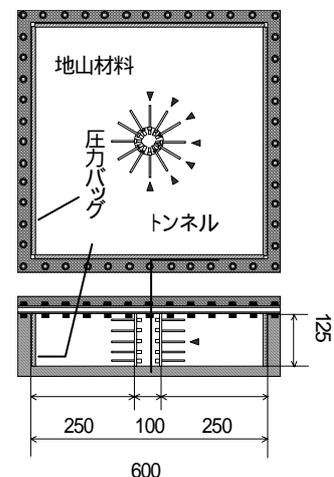


図-7 実験概略図 (単位:mm)