

Ⅲ－B106

粘着力を有する地山におけるロックボルトの作用効果に関する研究

国際協力事業団 正会員 ○岩井 伸夫
 東京都立大学 正会員 土門 剛
 東京都立大学 正会員 今田 徹

1.はじめに

本研究は、ロックボルトの軸力分布に着目して円形トンネルの模型実験を行い、未だ明確にされているとは言い難い軟岩におけるロックボルトの作用機構を明らかにしようとするものである。また模型実験に先立ち、ロックボルトモデルの引抜き試験を行い、この試験結果から得られるロックボルト-地山間の基礎的挙動の考察を行った上で、模型実験におけるロックボルトのトンネルモデルの安定化に関する考察をした。

2.ロックボルトを配したトンネルの模型実験概要

(1)実験モデル概要：実験は単純化のためトンネルモデルを円形断面にして、平面ひずみ、等圧、等質地山の条件で行った。地山材料は硫酸バリウム、酸化亜鉛、ワセリンを 70:21:9 の重量比で混合したものを用いた。ロックボルトモデルは一边が 3mm のアクリル角棒を用いた。実験の中で配置するロックボルトのうち、4 本を軸力計測用ボルトとした。

(2)各モデルの作成方法：軸力計測用ロックボルトは、3mm 角のアクリル角棒を半割したものの内側に、図-1に示すように等間隔でひずみゲージを接着し、半割されたもの同士を接着することで他のロックボルトと同一の断面形状とした。この軸力計測用ロックボルトは別途引張り試験を行い、ひずみを軸力に換算している。また、ロックボルトを地山に固定するベアリングプレートにはトンネル径と等しい曲率で曲げられた厚さ 1mm のアルミ板を用い、これにロックボルトをねじで固定する。このベアリングプレートはそれ自身がリング効果を発揮しないように幅 21mm、高さ 125mm の短冊状に加工してある。

(3)トンネルモデル作成方法：図-2に示すような直径 60cm、深さ 12.5cm の円形実験槽の中心に直径 10cm のトンネルを作成した。トンネル型枠をあらかじめ実験槽中心に設置して地山材料を詰め込み、2kgf/cm² のジャッキ圧で数層に分けて締め固めて均一な地山モデルを作成した。トンネルは地山モデル完成後、型枠を引抜いて作成した。

ロックボルトはトンネルモデル作成後に地山に挿入すると地山との付着が十分でなく、トンネル壁面の地山を壊してしまうため、各層の締め固め時にあらかじめ設置した。ここで、地山モデル物性は表-1のとおりである。

(4)実験方法：油圧サーボで圧力を制御しながらプレッシャーバックによる水圧によって速度 0.1kgf/cm²/min で 0 ～ 3kgf/cm² まで載荷し、この間トンネル内空変位、ロックボルト軸力を随時計測する。無支保の実験を case0 とし、ロックボルトを配したケースを表-2に示す。

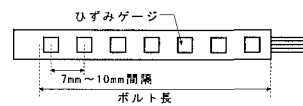


図-1 軸力計測用ロックボルトモデル

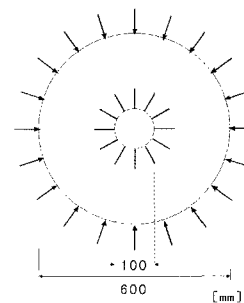


図-2 実験概略図

表-1 地山の物性

密度 $\gamma=1.5$ (g/cm ³)	弾性係数 $E=70$ (kgf/cm ²)
内部摩擦角 $\phi=30.1^\circ$	粘着力 $C=0.45$ (kgf/cm ²)

表-2 実験ケース

トンネル軸方向ピッチ ボルト長	2.5cm	4cm
3cm	case1	case2
5cm	case3	case4
10cm	case5	case6

キーワード：ロックボルト、模型実験、引抜き試験

〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大学大学院工学研究科 TEL：0426-77-1111 (代)

3.引き抜き試験

図-3に示すような箱形実験槽中心にロックボルトモデルを吊してロードセルに固定し、地山材料を詰める。実験槽の蓋をして拘束圧を载荷し、ロックボルトを定速度変位でロックボルトがスリップする状態まで引抜き、この間の引抜き荷重、引抜き変位、ロックボルト軸力を計測する。

4.実験結果及び考察

(1)引き抜き試験：ボルト長や拘束圧が増加すると引抜き耐力も比例的に増加することが確認された。

(2)ロックボルトを配したトンネルモデルの模型実験：図-4に全実験ケースにおける荷重-トンネル内空変位図を示す。無支保(case0)では载荷圧 3kgf/cm^2 までもたずにトンネル内空が大きく変形し、壁面の破壊状況を観察すると楔形の破壊が確認された。一方 図-3 引き抜き試験装置

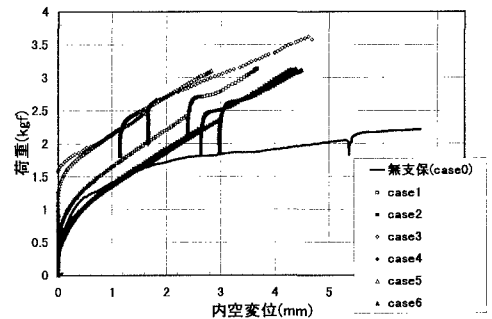
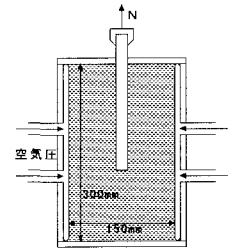


図-4 荷重-変位図

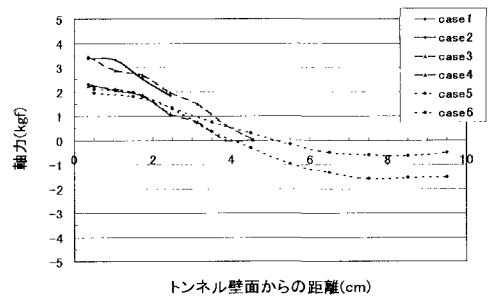


図-5 载荷圧 3kgf/cm^2 時の軸力分布

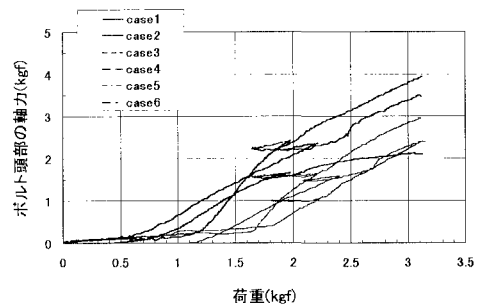


図-6 ボルト頭部の軸力変化図

5.まとめ

ロックボルトを配した円形トンネルモデルの模型実験結果より、無支保と比較してロックボルトの変形抑制効果を確認した。さらに変形抑制効果はロックボルトが一定の長さを有していれば、それ以上長くするよりもトンネル軸方向ピッチ間隔を小さくし、ボルトを密に打設する方が効果が大きいといえる。また軸力分布の推移とその分布形状から、軟岩におけるロックボルトの作用効果はトンネル周辺地山が弾性状態でも発揮されるが、地山が塑性化し内空変位が増加してから大きく発揮されることが分かった。

6.今後の課題

本実験ではボルトの配置パターンも限定されており、さらにボルト長やピッチ間隔を変化させて実験ケースを増やしより総合的にロックボルトの効果を検討していくことが必要である。さらに本研究では、引き抜き試験の結果からロックボルトと地山との間のパネ定数を推定し、FEM 解析を行い実験における軸力分布との比較を試みたが、引き抜き試験におけるロックボルトの挙動をより正確に把握して解析に反映させていくことが必要である。