

軸力分布からみたロックボルトの作用機構

鹿島建設 正会員 鹿毛 量
 東京都立大学 正会員 今田 徹
 東京都立大学 正会員 西村 和夫

1. はじめに

本研究は未だ明確にされているとは言い難いロックボルトの作用機構を明らかにすべく、ロックボルトの軸力分布を計測することを含む円形トンネルの安定効果の模型実験を行った。さらにこの実験において使用したロックボルトモデルの引抜試験を行い、この結果から得られるパラメーターを用いてトンネルの安定効果実験の結果について考察を行った。

2. ロックボルトを配した円形トンネルモデルの安定効果実験

(1) 実験条件：実験は単純化のため、円形断面、平面歪、等圧、等質地山状態で行った。ロックボルトモデルには一辺が3mmの亚克力角棒を用いた。これらのうち数本には図-1に示すようにこの角棒を半割にしたものの内側に任意の間隔で歪みゲージを接着し、再びもとの状態に接着し直し、別途引張試験により歪を軸力に換算した。また、ロックボルトの効果の影響のみを得るため、覆工モデルはそれ自身がリングとしてトンネルの安定に関与しないように工夫した。厚さ0.5mmのアルミの板からロックボルト一本あたりの受けもち幅 b をもつ高さ12.5cmの短冊を作成し、これに正方配置となるようにロックボルトを配し、直径10cmとなる曲率をつけ、これらを紐でつないでトンネルモデル（図-2）を作成した。地山材料には表-1に示す諸物性を持つガラスビーズを用いた。

(2) 実験方法：図-3に示すような矩型実験槽の中央にトンネルモデルを据え付け、地山材料をトンネルの内・外側にバランスよく詰め蓋をする。このあと実験槽の底面の栓を抜き、トンネル内部の地山材料を抜き去る。実験槽の内壁に張り付けた載荷用の「プレッシャーバック」にサーボコントローラーで圧力を制御しながら $0.0(\text{Kgf}/\text{cm}^2) \sim 2.0(\text{Kgf}/\text{cm}^2)$ まで徐々に圧力を加えていく。このときのトンネルの壁面に生じる壁面変位とロックボルトに生じる軸力分布を随時計測する。実験ケースを表-2に示す。

3. 引抜試験

図-4に示すような箱型実験槽の中心にボルトモデルを吊るし、地山材料を詰める。蓋をした後、空気圧により拘束圧 $2.0(\text{Kgf}/\text{cm}^2)$ を載荷し、ボルトモデルをリニアモーターで定速度変位で引抜く。このときロックボルト全長にわたり一様なせん断応力が作用すると仮定すると、ロックボルト頭部に生じる軸力 N と拘束圧 σ_θ との間には一般的に次の関係が成り立つ。

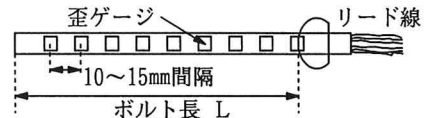


図-1 ロックボルトモデル概略図



図-2 円形トンネルモデル概略図

表-1 地山材料の諸物性

内部摩擦角 $\phi = 25.1^\circ$	弾性定数 $E = 440 (\text{Kgf}/\text{cm}^2)$
粘着力 $C = 0.0 (\text{Kgf}/\text{cm}^2)$	平均粒径 $d = 2 (\text{mm})$

表-2 実験ケース一覧表

ボルト長 ピッチ b	120 mm	60 mm	60 mm の棒の表面に地山 材料を付着させたもの
15 mm	○	○	—
25 mm	○	○	○
40 mm	○	○	○

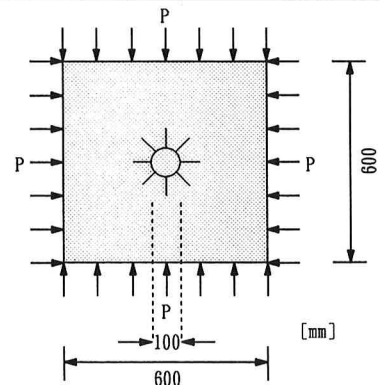


図-3 実験装置概略図

$$N = S \times L \times \sigma_s \times \tan \delta + S \times L \times C \dots\dots\dots(1)$$

ただし、S:ロックボルトの有効周長, L:ロックボルト長,

$\tan \delta$:ボルトと地山間の摩擦係数, C:ボルトと地山間の粘着力

本研究に於いては地山材料にガラスビーズを使用したため、 $C=0$ として $\tan \delta$ の値を求めた。

3. 実験結果および考察

表-2に示したケースで実験を行った結果、ロックボルトを配さなかったモデルでは実験槽の底から地山材料を抜いただけでトンネルは崩壊してしまったが、ロックボルトを一定の間隔で配することによりどの実験ケースに於いても、壁面変位量の大小はあったがトンネルは真円を保持した。実験に使用した地山材料が粒状体であるという特別な性質を考えると、トンネル周辺の応力状態の変化による地山の応力の再配分が不安定になりやすいと考えられる。しかしながらロックボルトが地山に挿入され、地山の要素の一部となり、一体化されることによって、ロックボルトは地山の不安定な挙動を安定なものへと促していると言える。そこで筆者らは上述の引抜き試験の結果より式(1)を整理し、両辺を円形トンネルモデルに於けるロックボルト一本あたりの受け持ち面積で除して無次元化した、次式に示すロックボルトと地山との一体化に関するパラメーター

$$R_k = \frac{S \times L \times \tan \delta}{b^2} \dots\dots\dots(2)$$

とトンネルモデルの壁面に生じた壁面変位との関係に着目した。図-5に R_k と壁面変位の関係を示すが、実験の結果から R_k の値が0.35より小さくなるケースでは、壁面変位量が急に大きくなっていることが分かる。逆に R_k の値が0.35より大きくなっても壁面変位量にさほどの変化はみられない結果となった。

また、各 R_k に対して実験で得られた軸力分布の形状を図-6に示す。 R_k が0.35より十分に大きい場合(パターン1, 2)では軸力分布は下に凸の形状をなし、特にパターン1ではボルトの先端部分から約半分の長さの位置までは殆ど軸力の発生はない。これと同じピッチ幅で、ボルト長がパターン1の1/2であるパターン4では、ボルトの全長にわたって軸力の発生がみられるが、壁面変位量はパターン1のケースとほぼ等しい結果となっている。また、 $R_k=0.35$ であるパターン3ではほぼ直線の軸力分布の形状をなしている。全長にわたってロックボルトが有効に効いているようである。しかしながら、 R_k の値0.35より小さくなってしまうと、ボルトの全長にわたって軸力分布の形状に平坦な部分がみられるようになる。地山とロックボルトとの付着が完全に切れ、すべりが生じているものと考えられる。またこれらのケースではいずれも大きな壁面変位を伴う結果となっている。

4. まとめ

ロックボルトを配した円形トンネルモデルの安定効果模型実験を行い、ロックボルトの軸力分布の形状とトンネルの安定性について考察した。さらに、ロックボルトモデルの引抜き試験の結果と関連づけた考察を行い、トンネルが安定するための条件として、 R_k が一定値以上必要であることを示した。

5. 今後の課題

本研究に於いては地山材料として $C=0$ という特殊な条件に付いてのみの検討しか行えなかった。今後はCの存在する材料等での実験を行い、さらに適用範囲の広い考察及び検討をする必要がある。また、実際の現場で行われる引抜き試験と軸力分布計測のデータを用いた検討が必要である。

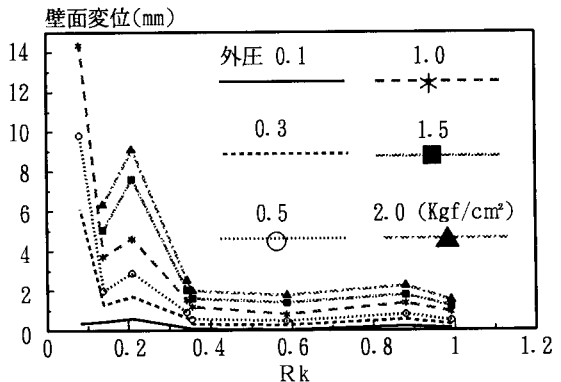


図-5 R_k -壁面変位図

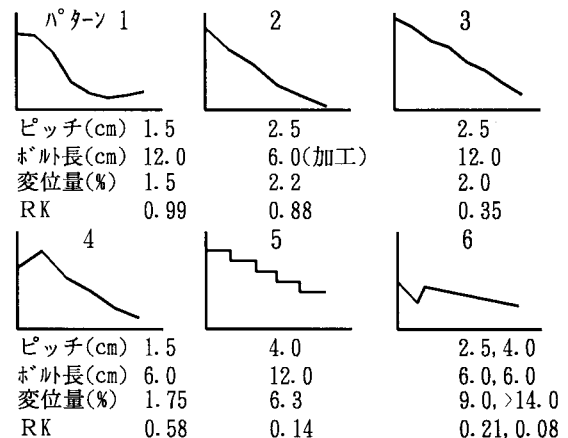


図-6 軸力分布の形状