

III-259 ロックボルトの引抜き抵抗が地山安定効果に与える影響

東京都立大学 正会員 今田 徹
 東京都立大学 学生員 杉山 博一

1. はじめに

一般に、NATMにおけるロックボルトの役割は、地山とロックボルトが一体となり地山の強度を最大限に利用する支保工と考えられており、その作用効果は現在のところ定量的には解明されていないが、定性的には縫いつけ効果、梁形成効果、内圧効果、アーチ形成などがあると言われている。ロックボルト打設の基本的な考え方は、掘削に伴ってトンネル周辺に生じるゆるみないし塑性領域を、ロックボルトと地山との間の変位差に伴う拘束によってトンネルの安定化を図るものである。しかしこれらの効果もロックボルトの引抜き抵抗が所定の強度を持たなければ期待できないものである。このためロックボルトの引抜き試験などは行われてはいるが、実際に引抜き抵抗が低い場合の様な影響が出るかについてはあまりよく分からない。そこで今回の実験ではこの点をふまえて実験によりこのような場合のロックボルト、トンネル構造、周辺地山の挙動を求めることにした。

2. 実験方法

実験においてはロックボルトをトンネル掘削直後に打設することを模擬するのは難しい。そこで本実験ではトンネル掘削以前からロックボルトが地山内に存在する状態から始め、無応力の状態で地山模型を作成し、地山の変位は荷重を載荷して与えるという方法によって行った。実験には図-1に示す内径60cm、深さ12.5cmの鋼製容器にアクリル製の蓋をした実験槽を用いる。この実験槽内に直径10cmのトンネル模型をおき、ゴムチューブ内の空気圧をあげ載荷してトンネルに変位を与えロックボルトの軸力と壁面変位を測定する。肌落ち防止工は厚さ0.5mmのアルミ板で、短冊状にして互いに重ね合わせ、リングとしての支保効果を持たないようにしてある。ロックボルトには径1.5mmの針金を用いた。またロックボルト間隔Pは2.5cm×2.5cmと1.5cm×1.5cmの正方形配列である。ロックボルト軸力の測定は短冊の1枚にロードセルを取り付けて行った。変位はトンネル壁面の内側に針金を当てるようにして実験槽外に導きポテンシオメータに接続して計測した。実験に用いた地山材料は径2mmのガラスビーズ玉である。ビーズ玉の内部摩擦角は30°である。実験の手順は次の通りである。まず、実験槽中央にトンネル模型を置き、模型内、外の順にガラスビーズ玉を詰める。このときは掘削されていない状態が模擬されている。トンネル内空部のビーズ玉を抜きトンネル掘削した後、載荷圧、軸力、変位を0にする。次に0.1kgf/cm²ごとに2.0kgf/cm²まで載荷し、ロックボルト軸力及び内空変位を測定する。実験はロックボルトの設置間隔P=25mmおよび15mmの2種類についてロックボルト長さLを変えて行った。この実験結果をさきに行われたロックボルト材料にボールチェーンを用いた実験結果¹⁾と比較する。なおロックボルトの地山に対する引抜き抵抗は、ビーズ玉とボールチェーンの場合は摩擦角で30°、ビーズ玉と針金の場合は摩擦角で7.1°である。

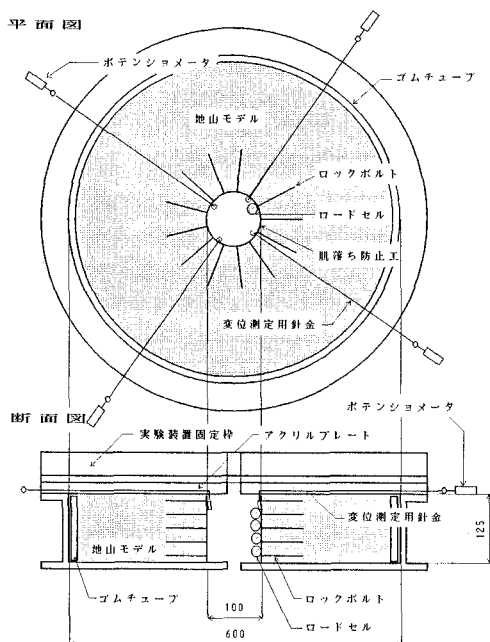


図-1 実験槽

3. 実験結果および考察

図-2、3は針金でボルト間隔 P が25mm×25mmの場合について載荷圧とロックボルト軸力、載荷圧と変位との関係を示したものである。図-4、5はボールチェーンの場合について同様な関係を示したものである。両ロックボルトとも、載荷圧に比例して軸力、変位が増加している。図-6、7は載荷圧が2.0 kgf/cm²のときの軸力および変位を L/P ($P=25$ mm)別に示したものである。引抜き抵抗が小さい針金では軸力の低下が著しく、変位も大きくなる。逆に引抜き抵抗の大きいボールチェーンでは大きな軸力でもってトンネル壁面を支え、変位を抑制している。また針金よりも短い長さでトンネルを支えることができることから明らかに引抜き抵抗の強いロックボルトの方が支保工として適していることが分かる。個別にみるとボールチェーンでは $L/P=2\sim 2.5$ あたりで限界釣り合いとなり大きな軸力を発生するが、 $L/P=2\sim 2.5$ 以上では地山のより堅固なリング支持によりロックボルトは余裕を持ってトンネルを支えるようになるため軸力は減少するが、変位はほとんど変わらない結果となる。逆に限界釣り合いあたりからロックボルトの引抜き抵抗力を最大限に発揮するため軸力が大きくなるが、支えきれなくなると一気に崩壊するものと考えられる。一方針金の方はロックボルト長さが長いほど発生する軸力が大きく、変位を小さく抑えている。針金は引抜き抵抗が小さいので全長にわたって摩擦力でトンネルを支えていると考えられる。このため長さに比例した支保効果を発揮しているものと考えられる。このように引抜き抵抗が違くと長さに対して示す挙動も違ってくることが分かる。

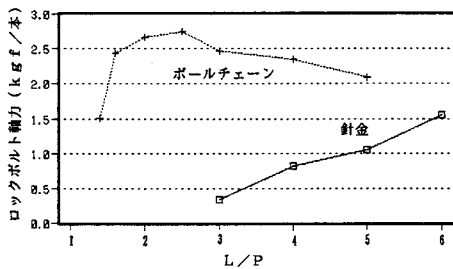


図-6

4. まとめ

引抜き抵抗の低いロックボルト材料を用いると、トンネルを支えるべき所で地山から滑り抜けてしまい変位を抑えることができない。また発生する軸力も小さくなるので、軸力に相当する内圧を地山に与えることができないことから塑性領域の拡大が予想される。今回は両極端の引抜き抵抗を持つ材料で実験を行った。今後はこの2種類の材料の中間の引抜き抵抗を持つ材料を用いて実験し、より現実に近い引抜き抵抗の違いによる影響を調べていくつもりである。

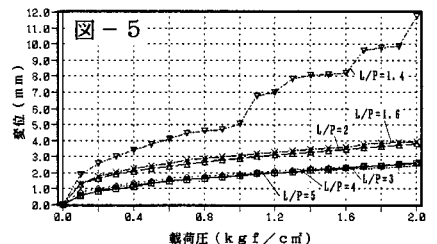
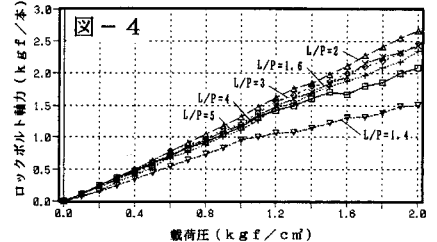
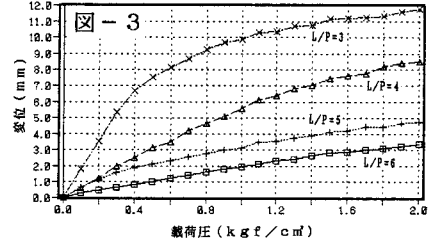
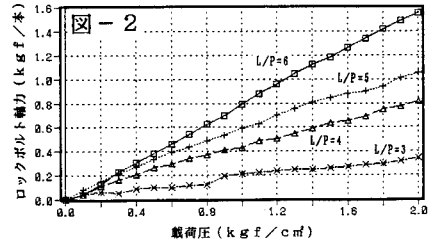
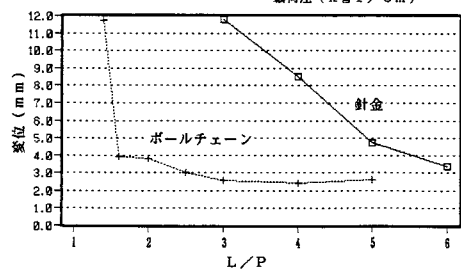


図-7



¹⁾ 粒状体地山におけるロックボルトの作用効果について(4) 第43回土木学会年次学術講演会概要集 III