

建設省土壌研究所 河野 広隆
 同 今田 徹
 同 木村 美知秋

1. はじめに

ロックボルトは地山をトンネルに形成する主要な材料とし、地山の強度を發揮せしめトンネルの安定を保つたのであり、トンネル支保として理論的にも経済的にも優れたものである。今後、吹付コンクリートと共にその使用が増加するものと考えられるが、そのためにはロックボルトの支保効果を明らかにして、より合理的な設計を行なえるようにする必要があるのである。以下にロックボルトの支保効果に関する2つの模型実験について報告する。

2. 実験概要

まずロックボルトの作用効果を基本的に把握するために写真1に示すような15cm×15cm×30cmのモルタル柱にロックボルトに似た番線と配置した供試体で軸圧縮試験を行なった。モルタルは70-1値一定でW/L=70, 50, 40%の3段階、番線は付着の影響をみるためにφ2mmの単線のものとφ1.2mm線と3本撚ったものの2種類とし、各要素につきボルト間隔が、30, 15mmで3供試体を作成した。実験は長軸方向に載荷を行ない、側面中央に貼付した歪ゲージにて表面の縦・横歪を、また供試体上下端面の変位量を測定した。

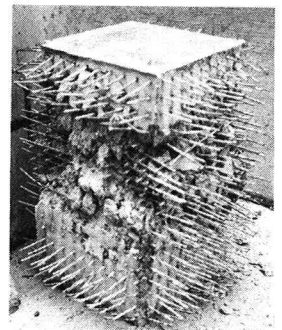


写真1 角柱供試体

次に図1に示すようなトンネル模型にてロックボルトの支保効果を測定した。地山材は砂(最大粒径2.5mm)とL.W.2物性値を表1.1に示す。ロックボルトは上記の実験結果をふまえて、φ0.9mm番線と3本撚ったものとした。供試体中のボルトの配置パターンを表2に示す。実験は各パターンにつき2供試体ずつ、平面歪状態に保つよう上下の変形を拘束し、水平四方向から載荷を行ない、内空変位量、載荷板及び心上下拘束板の移動量を測定し、破壊状況を観察した。

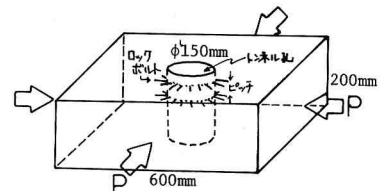


図1. トンネル模型

3. 実験結果

角柱供試体の載荷実験から得られた荷重の変形量曲線を図2に示す。ボルト数が少ない場合、最大荷重についてはボルトの存在が欠点となつていふ面があるが、残留強度、靱性は増加がみられる。この効果は特に地山強度が小さい場合に著しい。ボルト数が多い場合には最大荷重にもかなり増加がみられ、残留強度、靱性は著しく増大してゐる。また、ボルトの形状による差も明らかで、同じボルト間隔では撚り線ボルトの方が残留強度は大きく、特に15mm間隔のものでは、高い残留強度がかなりの変形まで持続してゐる。地山材の強度差に関係なくほぼ80~100ton程度の耐力を有するようになってゐる。この際W/L=50%と40%のものでは変形量が4~5%に達したとき突然ボルトが破断するという現象がみられた。これに対し15mm間隔単線ボルトのものでは破断したモルタルとボルトが滑り耐力的には最大荷重からの低下が大きいものの、変形能は著しく10数%の変形時にも補強なしの地山の強度を保つてゐるものも数多くあった。モルタル表面に貼付した歪ゲージで表面の縦・横歪を求めたが、ボルトで囲まれた部分の

	γ_s g/cm ³	q_w kg/cm ²	E_{∞} kg/cm ²	C kg/cm ²	ϕ
平均値	2.06	5.20	5.2×10^3	2.2	35
標準偏差	0.03	0.93	0.95	0.4	2.8

表1. 地山材物性

	ボルト長 mm	ピッチ mm	1層当り 本数	d mm
1	0	∞	0	
2	50	40	12	39
3	50	20	24	20
4	50	12	40	12
5	100	40	12	39



表2. ロックボルト配置パターン

応力状態が複雑なためかばらつきが大きかった。(しかし)ボルトがある場合の特異な点として、表面歪から換算した体積歪が圧縮から膨張へと転じた後、荷重増がかなりあるという点がおきかえる。

図3はトンネル模型での荷重Pと内空変位量との関係を示したものである。No.2を除くとボルト間隔と変位抑制との関係はよく表われている。また内面がかなり剝離した後の内空はボルトが密に程よく内形に支えられており、剝離が生じた後、地圧に対し応力集中等が少なく有利であることがうかがえる。トンネル内空に亀裂が生じるのはいざずいの場合にも変位量が2~3mm程度のときであり、ボルトが密に程若干亀裂型までの変位量が増すようである。内空に剝離が生じるのは変位量が10~15mmのときで、このときボルトが密である程剝離までの変位量は大きくなる傾向にある。剝離の状態をみると、ボルトのないものでは内空が大きく三角形に剪断されて落ちるがボルトのあるものでは剝離前に砂粒子が多少落ち、その後ボルトに囲まれた部分が小さな三角形あるいは3角状にはなつて落ちる。載荷後内空を観察すると、ボルトなしではゆるんだ地山を落とす後は、グリブ等で端面の摩擦の影響を軽減してはいるものの図4に示すようにトンネル内空面は構型になつており、ボルトで補強したそのでは図5に示すように比較的良好な円筒を保つ。またボルトの内空への押し出し量は内空表面の押し出し量よりかなり少なく、ボルト間の地山が内空へ押し出して剝離しているものと考えられる。つまり内空の破壊は拘束の少ない面で生じやすく、角柱供試体の実験同様、わずかに拘束力が剝離を遅らせているようである。

以上の2つの実験から得られた結果より次のようなことが考えられる。トンネル地山の物性はDよりボルトの有無により、その発揮仕方が異なり、Dよりボルトを含んだマニッシュは地山特性を把握するのが合理的であると思われる。トンネル模型から内空の亀裂等の変位量とところが大まかである。このためにDよりボルトを含んだ地山の大きき残留強度、変形能等が検討されるべきであろう。

今回の模型実験の結果は前記筆者が先行したF.E.R. 報告と傾向的にはよく合っており、今後、今回の実験結果をもとにさらに詳しい解析・実験を行つて行く予定である。

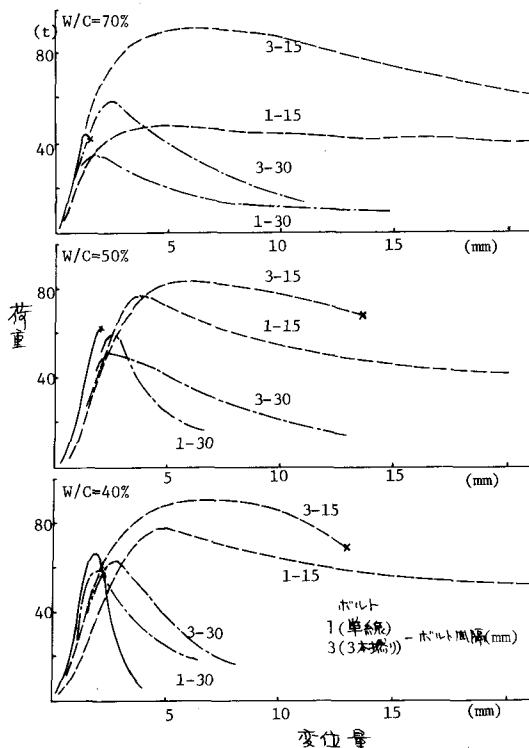


図2. 角柱供試体の変位量、荷重の関係

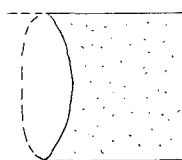


図4. 剝離後の内空、ボルトなし

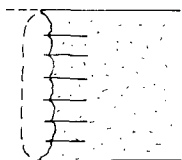


図5. 剝離後の内空、ボルトあり

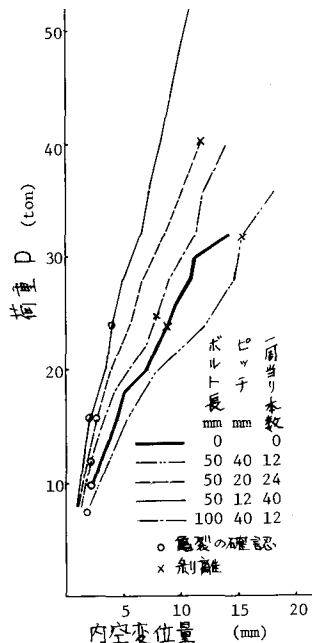


図3. トンネル模型の荷重内空変位量の関係