

III-175 岩盤の時間依存性を考慮したトンネルロックボルトの支保効果について(その2)

徳島大学工学部 正 員 藤井 清司
(株) 鴻池組 正 員 O片山 裕
徳島大学大学院 学生員 安田 亨

まえがき 最近、我国で従来のトンネル工法に代わりNATMが注目され、実際に設計施工がなされ、また同時にその理論的解明の研究が数多く行われている。本報告はトンネル掘削により生じる岩盤の時間依存性挙動と、それにより与えられる影響を受けると思われるNATMの支保であるロックボルトの効果を明らかにするため、トンネル模型実験とそれに対するシミュレート解析および現実の地山を想定したものを解析している。解析は線形粘弾性理論を適用した有限要素法による。その解析手法の妥当性、有効性の確認を模型実験とその解析結果の比較より行い、その確認の上で現実の地山を想定し、種々の条件下でトンネルを掘削した場合の解析を行っている。

実験および解析概要 実験には、セメントモルタル(重量配合比、水:普通ポルトランドセメント:細骨材=1:2:6)製の14日間空中湿潤養生をした寸法 $100 \times 100 \times 10$ cmの二次元板中央に高さ10 cm、巾20 cmの長方形の上に半径10 cmの半円がのった馬蹄形断面を有するトンネル模型試験体を用いる。実験種類はボルト本数18, 22, 30本(各ケースともトンネルアーチ部に厚さ当たり2本で円周方向に等間隔に配置)の3ケースとする。なおロックボルトモデルは、 $\phi 6 \times 84$ mmのねじ切りボルトを用い、全面接着型ロックボルトを想定して締め付け力を与えず、試験体作製時よりその内部に埋め込んでおく。また、トンネル模型実験と並行して、試験体の粘弾性定数を決定するため、試験体と同一材料を用いた標準円柱圧縮試体($\phi 10 \times 20$ cm)を用いて、各ケースについて単軸クリープ試験を行う。実験は試験体養生後、トンネル土被り圧に相当する荷重として、上下方向 70 kg/cm^2 、側圧係数 $K=0.25$ として水平方向 17.5 kg/cm^2 の二方向載荷をトンネルの存在しない無孔板状態で14日間行う。これは現実の地山ではクリープ変形は終了していると考えられるので、その状態に試験体をより近づけるために行う。そして15日目にはトンネル部分を掘削し、さらに14日間載荷を続ける。合計28日間上記荷重を保ち、試験体内に埋め込んだ二方向モールドゲージにより地山内ひずみ変化を、ロックボルトに接着したゲージでそのひずみ変化を、またトンネル掘削直後よりダイヤルゲージでトンネル内空変位を測定する。また、単軸クリープ試験は28日間常時一定軸荷重 70 kg/cm^2 の下で、軸ひずみを測定し、これより遅延スベクトルを求め、試験体の粘弾性定数を決定する。解析はトンネル模型実験と現実の地山を想定したものの2種類について行う。まず解析手法の妥当性、有効性の確認に用いた模型実験の解析(2次元平面応力解析)は、各実験に即応したシミュレートを行うため、それら各試験体作製の材料より求めた粘弾性定数を別々に用い、その他の条件は同一とする。次に現実の地山を想定した解析(2次元平面ひずみ解析)は、岩盤を均質等方性と仮定し、単位体積重量が 2.6 g/cm^3 の地下300 mに、上半断面が半径5 mの半円、下部断面が5 mの側壁と10 mの底盤をもつ馬蹄形断面のトンネルを掘削する場合を考える。解析種類はロックボルトの有無、打設パターン、側圧係数、掘削方法によりトンネル周辺の粘弾性挙動、ロックボルト効果に違いが生じると考えられるので、次のようなものを考える。ただし、定数は側圧係数により変化すると考えられるが、今回は常に同一材料とする。ボルト打設種類はボルトなし、パターンⅠ、Ⅱの3種類で、Ⅰはトンネル頂部からスプリングラインまでトンネル円周方向に11.25°ピッチで約1 mおきに、ⅡはⅠに加えて側壁部全体にも1 mおきに打設し、トンネル軸方向は両者とも1 mピッチとする。またロックボルトは全長3 mとし、打設時期はトンネル掘削直後とする。掘削方法は上部から3段階に分けて順次掘削していき、逐次掘削と全断面掘削の2種類、側圧係数は $K=0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0$ の5種類で、それぞれに対応したものの合計30種類について解析を行う。なお模型実験と現実の地山を想定したものの両解析とも、粘弾性モデルとして5要素マックスウェルモデルを仮定し、またロックボルトは構要素として表現して、モーメントに抵抗せず軸力にのみ抵抗するものとする。

結果および考察 F_{ig-1} は模型実験とその

の解析でのトンネル周辺地山内の放射方向経度ひずみ変化を表した図である。実験でトンネル部分の開削までに地山周辺のクリープを完了させる目的のため、無孔板状態で二方向載荷を行うが、14日目ではほぼひずみは一定値に収束しており、また解析結果も同様であり、目的は達成したと思われる。また実験値と解析値は一部を除いて良好な一致を示している。これから本報告で用いた解析手法の妥当性、有効性が得られ、すなわち適当な粘弾性定数を決定し、それを解析定数として用いれば、本解析手法により地山の粘

弾性挙動は十分にシミュレートし得ることがわかる。 F_{ig-2} は現実の地山を想定した場合の解析結果で、トンネル掘削後のトンネル周辺の岩盤の応力状態をゆるみ指標で表した図である。ここでゆるみ指標とは各要素の最大および最小主応力で得られるモールの応力円の半径 R と円の中から地山岩盤材のモール・クーロンの破壊現準線へおろした垂線長さ h との比 $F = R/h$ で表す。また岩盤は引張に対する抵抗が小さいと考えられるので、最小主応力が引張強度となれば引張破壊とする。この図は側圧係数 $K=0.25$ でボルト打設パターンⅡの場合の全断面掘削と逐次掘削の最終段階掘削直後のものである。ここでは一例として $K=0.25$ の場合について述べる。まず全断面掘削のボルト打設種類による違いを比較すると、頂部、アーチ部ではボルトなしと比べ、ボルトが打設されているパターンⅠ、Ⅱでそれぞれ引張領域、ゆるみ指標が減じられ、側壁部

では図示したパターンⅡでは引張領域が生じていないが、他の打設種類では生じている。底盤部はボルトによる影響がほとんどないため、各打設種類でほとんど同じ状態である。また経日による変化をみると、ボルト打設部分は生じていない部分より安全側への移行が大きく現れている。次に全断面掘削と逐次掘削とを比較すると、前者より後者の方が引張領域、ゆるみ指標が大きくなり、応力状態のみから考えれば前者が有利となる。

あとがき 本報告で用いた解析手法の妥当性、有効性は実験結果とその解析結果より得られた。その確認の上で行った現実の地山を想定した解析結果から、全ての側圧係数に対して、NATMの主支保であるロックボルトは引張領域、せん断領域を減じ、また経日によってより大きな効果となって現れ、トンネル安定の促進となる。全断面掘削と逐次掘削では、応力状態から考えれば前者が良好となるが、トンネル内空変位から考えれば変形量が小さく、収束が早い後者の掘削方法が有利となる。また地山の側圧係数、岩盤の力学性状により、トンネル掘削後の応力状態、トンネル内空変位は極端に異なるので、それらの正確な把握が必要となる。さらにそのためロックボルトを有効に用いるためには、それらに合ったロックボルト打設位置、間隔、長さを考慮する必要がある。

参考文献 藤井他；岩盤の時間依存性を考慮したトンネルロックボルトの支保効果について、土木学会第36回講演要録集Ⅲ-225, 1981

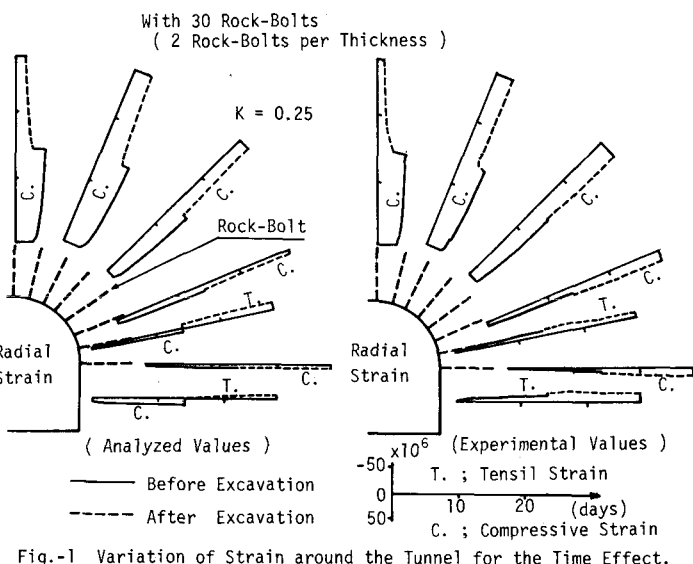


Fig.-1 Variation of Strain around the Tunnel for the Time Effect.

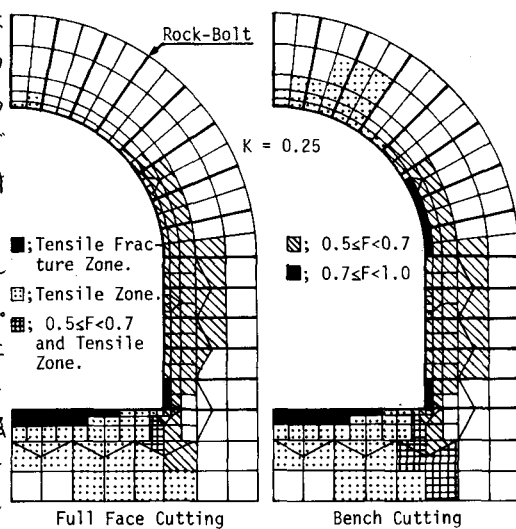


Fig.-2 Relaxed Zone due to the Excavation.