

(株) 熊谷組

正会員 北原 正一

(株) 熊谷組 技術研究所

同上 上野 正高

(株) 熊谷組 技術研究所

同上 ○御手洗 良夫

1. はじめに

トンネルの問題はこれまでに数多くの研究が行われていたが、近年、特に岩盤力学の進歩あるいは電子計算機の発達により有限要素法(FEM)等の解析手法により、複雑な計算も容易に出来るようになって来た事から、トンネル工学は一層の発展を見、これまで経験的にのみわかっていた現象がより明確に理論的解析を行なう事が可能となって来た。しかしながら、こうした解析手法、理論が進歩したのにもかかわらず、解析結果と実際の挙動とはおおよそに違ふことが起まる。これは今に数多く残っている地山の未知の部分の明確に解析に難い点のためである。この中の一つに従来よりわかっていて保護ゾーン(地山アーチ)の形成あるいは地山の劣化状態があげられるが、これについては実際の挙動を予測している例は数少ない。

本研究はトンネル壁面の内空変位、ボリリング孔による弾性波測定、あるいは岩石試験結果をもとにトンネル掘削による周辺地山の状態を把握し、FEM解析によるシミュレーションを行ないトンネル周辺地山の挙動について考察するものである。

2. 地山劣化と支保(ロックボルト)

トンネル掘削前は三軸状態にあった地山は、トンネル掘削により二軸状態に近くなり、支保を施す事により初期の三軸状態に近いものとなる。内空変位においてトンネル半径の10%以上の変形をおこすような強影響性を呈する地山では、掘削により非常に大きな変形が起り、地山内ひずみは弾性領域以上のものが発生するが、弾性領域を超えた後に地山の状態を応力-ひずみ曲線のどの位置で保持するかという事が重要でこれによりトンネル荷重の大きさは大きくかわってくる。Fig 2-1に岩石の三軸圧縮試験結果を示すが、残留強度と側圧の相関は明瞭であり、側圧が大きくなるにつれ残留強度も大きくなる。地山を出来るだけ側圧の大きい三軸状態に保つ事が弾性を越えたひずみの発生した後も、地山の残留強度が大きいまま保持され、地山材料劣化の進行防止あるいはそれによる変形、トンネル荷重の減少につながる。こうした効果を発揮する支保としてロックボルトが大きな役割を果している。ロックボルトは施工経験から①吊り下げ効果 ②地盤改良効果等、いろいろな作用効果があるといわれているが、地山強度、地山地質等の諸条件によりこれらの作用効果はいろいろ組み合わせられて発揮されている。ロックボルトの研究はいろいろなされているが、今に確固たる設計法が確立されておらず、ロックボルトはロックボルトと地山の摩擦抵抗や内圧効果あるいは地盤改良の効果といったモデル化がなされている。

今回の研究では、ロックボルトは地盤改良的な効果を発揮する事を基本的な考え方とする。すなわち Fig 2-2に示すように、ロックボルト施工前はもともと(1)の直線で、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 C_1 の物性であったものが(2)の直線のように内部摩擦角は変化せず粘着力のみが C_1 から C_2 に増加するものとする。モールの応力円を描いてみわかるように

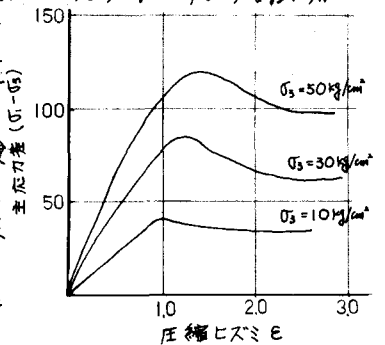


Fig. 2-1

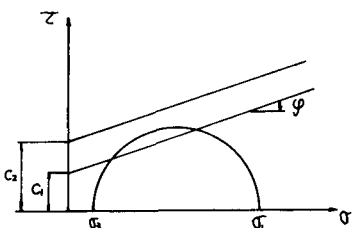


Fig. 2-2

強度的にアップし、Fig 2-1に示すように地山の拘束力の変位による残留強度の増大という事がロックボルト施工の最大の目的とする。

3. ボーリング孔を利用した弾性波探査

Aトンネルは強膨張性の地山であり、収付けコンクリートとロックボルトによって支保しているが、掘削後のトンネル周辺地山の状態を把握するために、Fig 3-1に示すようなボーリング孔を利用して弾性波探査を行なった。測定は長さ15mのボーリング孔をさし、1mごとに測定点を取り、行なった。弾性波探査はいくつかの断面で行なったが、Fig 3-2に代表的結果を示す。これらの結果によるとトンネル壁面より約2mの所で0.8km/s以下の低速帯、約4mの所で1.5 km/s以上の比較的速度の高いゾーンとなっている。その外側はトンネル壁面からの距離によって大小はあるが、大体1.0km/s～2.0km/sの範囲に入っており、母岩は約1.3～1.8km/sを示していた。この結果壁面より2mまでは掘削による影響や応力が大きく事により材料の劣化が著しく、その外側2m間は比較的締った領域の認められておりいわゆる地山アーチと呼ばれるものが形成されているのではないかと考えられる。

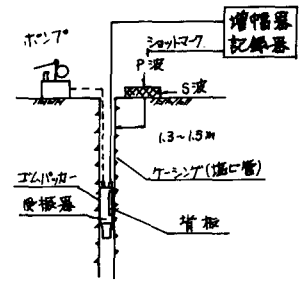


Fig 3-1

4. FEMによる解析

2. で述べたロックボルトのモデル化、弾性波測定の結果をもとにFEMによるトンネル周辺挙動の解析を行なった。ロックボルト施工箇所の地山強度がアップする事をFEM解析では弾性係数の増加という形で表現する。

地山の材料劣化の状態は母岩の弾性係数Eにある係数(劣化係数)を掛けたもので表現し、計算はFig 4-1に示すように四分の一円で行ない、これよりで計算を行なった膨張性を呈するトンネルの解析条件で行なった。Fig 4-2に α の値をいろいろ変化させてロックボルト長を3mと5mとしたときのトンネル壁面の変形を示すが、この値と計算結果とを比較して適切な α の値を決めた。この結果ロックボルト施工箇所の劣化係数 α は0.8位を取るのが妥当であった。

この劣化係数 α の値を用いて今回のAトンネルにおけるシミュレーションを行なった。トンネル壁面から2mまでは弾性波速度が低い事から非常に劣化しているものと $\alpha = 0.1$ を採用した。計算の結果トンネル壁面の変位は72.9cmとなり、計算結果65～80cmとほぼ一致していた。

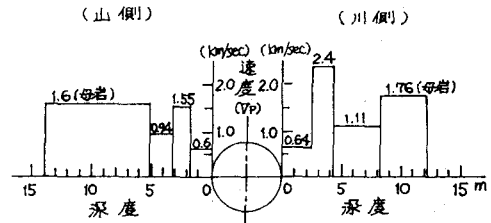


Fig 3-2

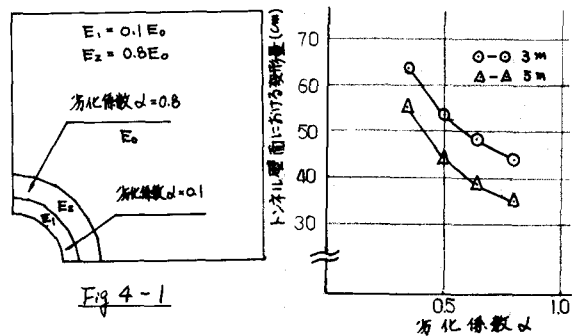


Fig 4-1

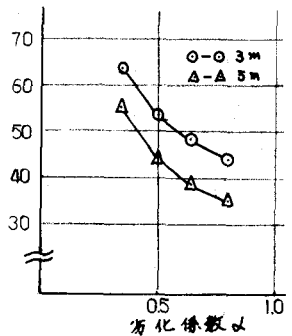


Fig 4-2

5. あとがき

ボーリング孔を利用した弾性波探査結果をもとに、FEMを用いてロックボルト施工した場合の地山の劣化状態を解析し、計算結果とある程度の一致を見た。劣化の状態を劣化係数 α という形で表現したが、今後地山の拘性、ロックボルトの長さや密度と劣化係数 α の関係を現場計測結果によって明確にしていく。