

(株) 鴻池組 正員 篠田 孝二
徳島大学工学部 正員 藤井 清司

本文がき 初期地山圧が作用している粘弾性地山内に逐次開削の順序が異なる幾つかの工法で鳥蹄形トンネルを施工する際、その過程においてロックボルトを使用する場合、また使用しない場合について、トンネル周辺地山内応力状態どのように変化するかを知るために有限要素法による粘弾性解析を行い、あわせて $\epsilon(t)/\sigma_0$ (cm²/kg) $\times 10^{-6}$ $J(t) = [5.0125 + 2.6555\{1 - \exp(-t/0.4552)\} + 6.1870\{1 - \exp(-t/17.4204)\}] \times 10^{-6}$ $\epsilon(t) = \sigma_0 J(t)$

解析概要 解析モデルの地山材料としては、岩石と力学的特性の似ているセメントモルタルを考へる。セメントモルタルの応力-ひずみ関係は粘弾性Maxwellモデルを用いて形状変化と体積変化に関する緩和関数で表わす。Fig.1は3要素Voigtモデル表示の一軸クリープ関数の実験値と実験式の比較であり、よく一致している。本解析に必要な三軸状態の緩和関数は、フリーテスト時のポアソン比 $\nu(t)$ を用いて三軸クリープ関数を求め

た後、VoigtモデルとMaxwellモデルの等価性より求め、モデルの諸定数をTable1に示す。

次に、トンネルの逐次開削の有限要素法解析での取り扱い、開削を開始予定面上での地山の解放とみなして、ある開削段階で形成する自由面上の節点ごとの応力を周辺要素の平均値として求め、その符号を考えたものを解放応力とする。そして開削に必要な等価節点外力は開削面上の節点間での解放応力の線形変化を考慮して求める。

解析手順は、上述の節点外力による残存している地山の応力状態を弾性計算し、開削前の応力状態に重ね合わせて開削直後の応力状態とする。以後粘弾性変形による応力変化を増分解析法で計算していく。ここでは増分時間間隔を1日として15段階(15ステージ)の解析であり、10ステージで初期地山応力状態を弾性計算した後直ちに最初の開削を弾性計算して応力再配分し、10ステージでトンネルが完全に開削されるものとする。

地山材料は単位体積重量 2.0 t/m^3 をもち、水平な地表から135mの深さに中心をもつアーチ半径5m、側壁5m、底盤10mの鳥蹄形トンネルの逐次開削であり、Fig.2に示す種々の開削順序で平面ひずみ問題として解析をする。要素分割は深さ235m、幅200mの範囲の地山を558要素、287節点としてある。

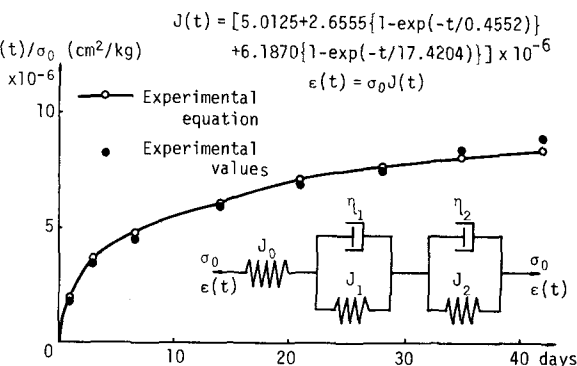


Fig.1 Creep compliance.

Table 1 Viscoelastic parameters of relaxation function.

Parameter of Shear modulus	Average value	Parameter of Bulk modulus	Average value
G_0	$3.020 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$	K_0	$3.929 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
G_1	$2.976 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$	K_1	$3.872 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
G_2	$2.376 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$	K_2	$3.091 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
T_{g1}	0.2953 day	T_{k1}	0.2953 day
T_{g2}	9.7087 day	T_{k2}	9.7087 day

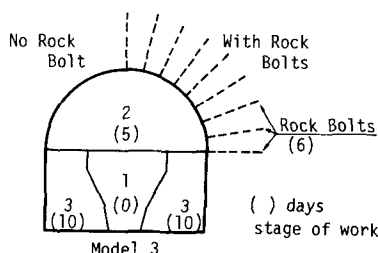
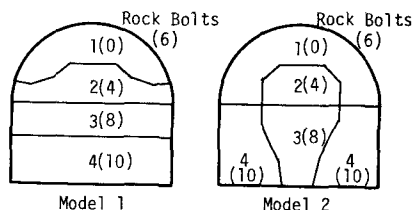


Fig.2 Excavation methods of the models.

ロックボルト支保工の締め付け力は1ヶ所につき750kg/cmとし、トンネルアーチを10等分する放射方向に1ヶ本挿入する。解析上、ロックボルトの挿入はトンネル上部半断面が開削された後、瞬時に1ヶ本全部を挿入して、ロックボルトの締め付け力は挿入後一定に管理されているものとする。

解析結果と考察 Fig.3はモデル3のトンネル周辺の変位要素の最大主応力 PS_1 、最小主応力 PS_2 の

経日変化を示し、ロックボルトのある場合は挿入以後も破線とする。このモデル3ではモデル1、2と異なり、頂部中央では引張応力が生じていない。これは底設導坑のため開削により大きな影響を受ける導坑頂部に引張が生じ、この部分は後になつて取り除かれ、手取の時点では地山の応力緩和が大きく進んでいて頂部中央に影響をおよぼさないためである。

Fig.4はトンネルの右半断面のトンネル頂部中央から底面中央までの壁面を直線表示し、各要素の重心位置関係も縮小して縦軸にとり、横軸に最大主応力をもつて結んだ図である。図中の各線は三つの数字の組み合わせ（・現時間段階のステージ数・逐次開削の掘削部分の番号（Fig.2に対応）・1か2の中、2であればその線は開削あるいはロックボルトの挿入直後であり太線とし、1はそれ以外の場合で細線で区別する。）によってどんな状態かも表わす。モデル1は最初の開削によってスプリングライン（S.L.）よりやや上方に最大圧縮力を生じており、これはモデル2の方が顕著である。ロックボルトの締め付け力効果はいずれも認められるが、特にモデル1、2ではその効果として確かに引張領域を小さくし、アーチ部ではロックボルト挿入によってS.L.から上方へ方向角17°へ移動する。S.L.より下方では急激にロックボルトの挿入の影響が小さくなっている。このことはモデル3にも共通している。*参考文献 藤田・藤井“ロックボルトを設置したトンネル周辺地山の時価収容挙動について”，551 中国土木学会年報。

Fig.3 Variation in principal stress with the sequence of excavation in Model 3.

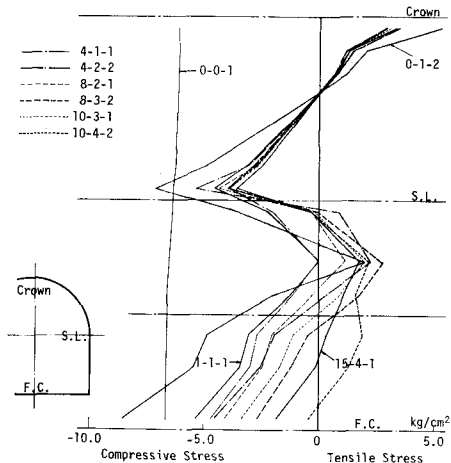
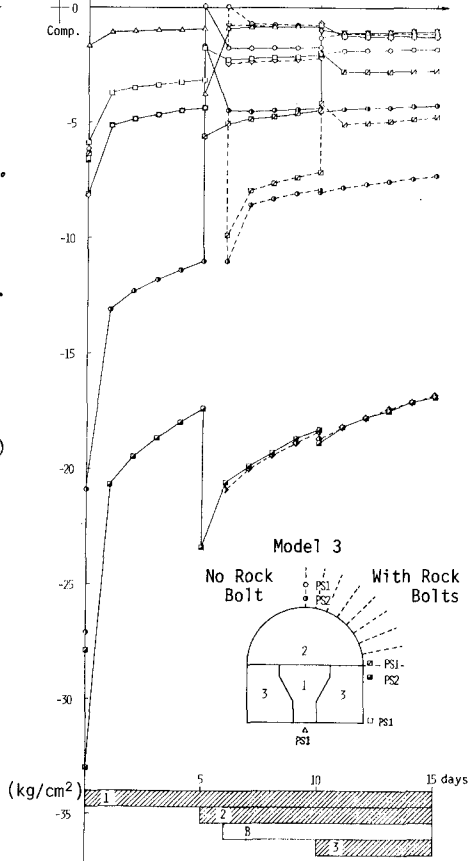


Fig.4 (a) Model-1 No Rock Bolt.

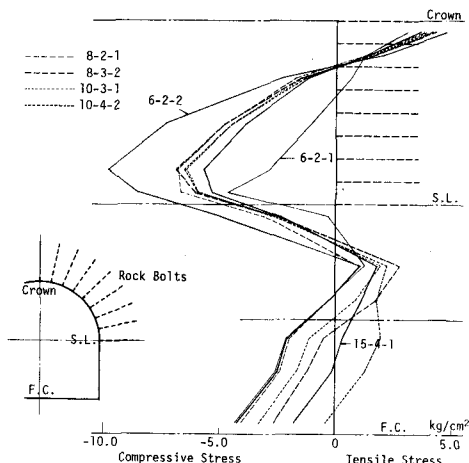


Fig.4 (b) Model-1 With Rock Bolts.