

京都大学工学部 正 員 丹羽義次
 “ 正 員 小林昭一
 “ 学生員 ○大津政康

1. はじめに

現在、様々の複雑な変形挙動を示す基礎地盤ならびに、そのような地盤に構築される土木構造物をも含めて応力、変形解析が様々な方法により試みられているが、地盤工学における問題の解析においては、線形弾性の仮定のもとでの計算が従来より行なわれてきた。しかし、この方法では、実在の地盤では応力—ひずみ—時間関係は一般に非線形であり、また容易に降伏することも考えられるため実用的設計には不充分であった。凡、 E , M はこれらの条件を線形解析にもとづいた増分形式による逐次計算や反復計算によって比較的容易に取り入れることが可能であり、合理的設計の基礎資料を得る解析方法として広く用いられるようになっている。

本研究は、クリープ量の大きい多孔質な凝灰岩について実験的に得られた非線形粘弾性クリープ関係式をもとに、このような岩盤内に開削されたトンネル周辺ならびにライニング内の応力、変形挙動を凡、 E , M を用いて数値解析を行なったものである。

2. 解析方法

数値解析は、初期応力を受けくいる粘弾性地盤中にトンネルを開削した場合におけるトンネル周辺の岩盤およびライニングに関する応力、変形の時間的変化を求めることを主眼とし、凡、 E , M を用いて2次元平面ひずみ問題として解析した。なお解析例として、地盤は弾性的挙動はもちろん、粘弾性的、塑性的挙動を示すものまで含むものを対象とした。特に、粘弾性挙動の解析に用いた非線形クリープ関数は、クリープ挙動が線形からあよりはずれない場合には、部分的に線形な特性を示すもので近似することが可能であると考えられることにより、実験結果から部分的な線形化を行なって各応力レベルご線形な Kelvin モデルで近似して表現した。

この場合クリープ関数 $J(t)$ は次のようになる。

$$J(t) = \frac{1}{E_1} (1 - \exp(-E_1 t / \eta_1))$$

非線形粘弾性解析に用いたクリープ関数を表-1に示す。粘弾性解析は、このクリープ関数を用いて初期ひずみ法により時間増分形で逐次計算を行なった。

降伏条件としては、*Drucker-Prager* の降伏条件式

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - K$$

を用いた。ここに I_1 , J_2 は応力のオ1不変量、オ2偏差不変量、 α , K は定数で次のように表わされる。

$$\alpha = \sin \phi / \sqrt{9 + 3 \sin^2 \phi}, \quad K = 3 C \cos \phi / \sqrt{9 + 3 \sin^2 \phi} \quad (\text{ここで } \phi: \text{内部摩擦角, } C: \text{粘着度である。})$$

表 - 1

応 力 状 態	20 % $\frac{kg}{cm^2}$	J_1	E_1	62.000 kg/cm^2
			η_1	22.000.000 $kg \cdot min/cm^2$
	30 % $\frac{kg}{cm^2}$	J_2	E_1	29.000 kg/cm^2
			η_1	11.000.000 $kg \cdot min/cm^2$
	40 % $\frac{kg}{cm^2}$	J_3	E_1	26.000 kg/cm^2
			η_1	9.700.000 $kg \cdot min/cm^2$
能	50 % $\frac{kg}{cm^2}$	J_4	この応力レベルに対しては発散型の クリープ関数 $J_4 = J_3 + \frac{t}{14.000.000}$ を与えた。	

3. 解析結果

逐次計算に用いた時間間隔は、クリープひずみの増加率の大きな初期の段階では60分毎、そして2時間経過後は2時間毎、さらに24時間経過後は12時間毎とすることにより、収束した安定な解が得られた。

上述の方法によって円形、馬蹄形トンネル周辺の応力、変形の解析結果より塑性を考慮しない場合の結果の一例を次に示しておく。

図-1は、円形トンネルでライニングが無い場合について表-1の値を用いて非線形粘弾性解析をした結果と、クリープ関数として $\dot{\epsilon}_3$ のみを用いた線形粘弾性解析をした結果と比較したものである。横にはトンネル孔壁からの距離をまた縦軸には応力をとった。線形と違って、非線形粘弾性の場合には応力は、時間と共に減少することが見られる。

図-2は、同じトンネルでライニングを施工した場合について図-1と同様に線形と非線形の解析結果を比較したものである。ライニングがあるため変形拘束を受けるので、両者の場合とも応力は時間経過と共に変化する。地盤内の応力は円周方向は減少し、半径方向は若干増大することがわかる。

ライニングが有れば、当然地盤はほとんど変形を起こさないが、ライニングを施工せずに放置した場合、クリープにより地盤がどのように変形するか調べるためモデル内の3節点 128(孔壁上)、25(半径だけ壁面から) 20(直径だけ壁面から)離れた点を選び、それらの変位の時間的变化を図-3にプロットした。これらよりトンネル壁面から遠ざかるにつれ変形量は小さくなり、また非線形クリープの変形量は、線形のそれより大きく、さらに長時間にわたって継続することがわかる。

その他の解析結果については当日発表する予定である。

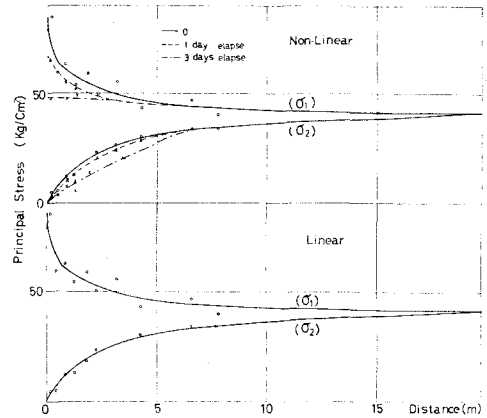


図-1 トンネル周辺応力の距離的变化(ライニングの無い場合)

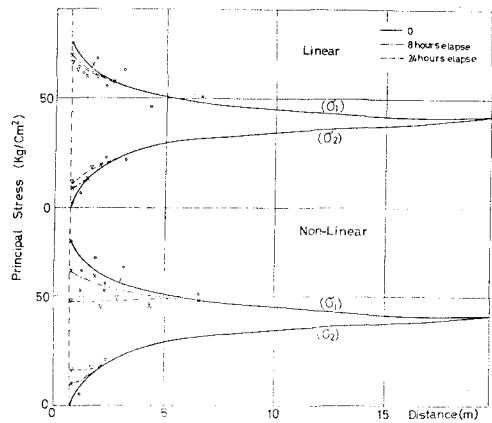


図-2 トンネル周辺応力の距離的变化(ライニングの有る場合)

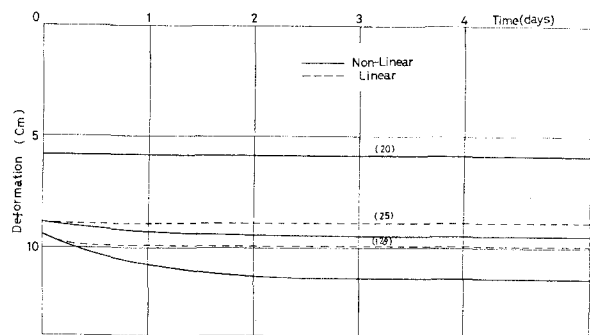


図-3 トンネル周辺の変形の時間的变化