

粘弾性解析におけるトンネルの支保効果の評価

佐賀大学大学院 学生会員 ○堀田隆児
佐賀大学 正会員 石橋孝治

1. はじめに

一般に、トンネル掘削後の内空変位は応力開放に伴う瞬時の変位に続いて、時間の経過や切羽の進行に伴い漸増し、支保工の建て込み後に収斂する。本研究では内空変位の経時的変化を Zener モデル（3 要素 Maxwell モデル）で表現すると共に、支保工の機能を内圧効果として評価して支保工建て込み後の経時的変化を捕捉するプログラムを開発した。今回は、吹付けコンクリートのみを取り扱い、吹付け厚さ・建て込み時期に対する内空変位の応答を数値シミュレーションした。

2. Zener モデル（3 要素 Maxwell モデル）

本研究で用いたレオロジーモデルを図-1 に示す。このモデルの、応力とひずみの関係を表す線形微分方程式（Zener 方程式）は (1) 式で与えられる。

$$\sigma + \frac{\eta}{\gamma_2} \frac{d\sigma}{dt} = \gamma_1 \left\{ \varepsilon + \eta \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} \right) \frac{d\varepsilon}{dt} \right\} \quad \cdots (1)$$

ここで、 γ_1 ・ γ_2 ：スプリングの弾性率、 η ：ダッシュポットの粘性率である。このモデルは、瞬時弾性率が二つのスプリングの和で与えられ、入力物性値の設定が比較的容易である。

3 支保工

吹付けコンクリートは打設直後から、即座に p_{imax} の内圧効果を発揮するわけではない。そこで、図-2²⁾に示した吹付けコンクリートの強度発現特性を参考にして、材齢 28 日で p_{imax} が発揮されるものとし、吹付け後の時間経過に応じて逐次増分させて与える方法を採用した。吹付けコンクリートの内圧換算は、(2) 式²⁾を用いた。

$$p_{i \max} = \frac{\sigma_c}{2} \left[1 - \frac{a^2}{(a + t_c)^2} \right] \quad \cdots (2)$$

ここに、 $p_{i \max}$ ：最大支持力、 σ_c ：吹付けコンクリートの圧縮強度、 t_c ：吹付け厚、 a ：(トンネル半径) - t_c である。

3. 解析方法

本解析では図-3 に示す土被り 7 m、鉛直方向 14.4 m 片側水平方向 7.5 m の解析領域で馬蹄形トンネルを全断面工法で掘削するケースを対象とし数値解析を行った。吹付けコンクリートの施工時期としては掘削直後、3 時間後、12 時間後、吹付け厚さとしては 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm

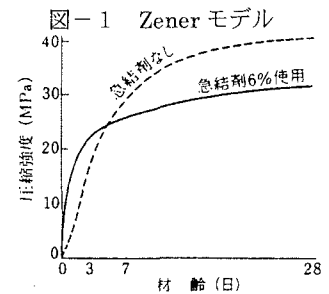
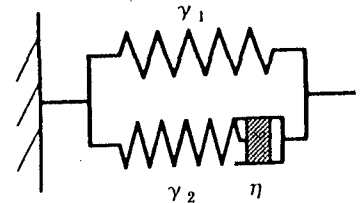


図-2 吹付けコンクリートの強度発現性

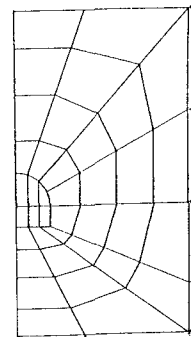


図-3 解析領域

	η (poise)	γ_1 (tf/m ²)	γ_2 (tf/m ²)	σ_c (tf/m ²)
Case1	3600	300	700	30
Case2	36000	300	700	30
Case3	3600	300	700	40
Case4	36000	300	700	40

表-1 入力物性値の例

を検討した。解析に用いたFEMプログラムフローを図-4に、入力物性値を表-1に示す。

4. 結果と考察

解析により得られたトンネルの天端沈下の経時変時を図-5・図-6に示す。図から読み取れるように、数値シミュレーションの結果、内圧が内空変位の収斂性に及ぼす影響は、吹付けコンクリート打設後からの吹付けコンクリートの強度発生に伴って支持力が増大し、素掘りの場合と比較して変位速度が小さくなっていく。28日目以降の内圧増分が止まる頃から、素掘りの場合と近似したクリープ特性を示し、最終的な変位量が減少している。

打設時期の違いが内空変位に及ぼす影響は、早い段階で打設した場合の方が内圧効果を発揮できている。

吹付け厚さによる違いは、(2)式で与えられる最大支持力が大きくなり内圧による効果も大きいのだが、吹付け厚さ・吹付けコンクリートの圧縮強度共に、実際用いる値に限界があり、一定以上の支持力を期待する場合には、やはりロックボルト等の他の支保構造との組み合わせが必要となってくる。

5 まとめ

今回の解析では、粘弾性解析プログラムに支保の支持力を内圧換算する方法で支保工を表現した。内圧効果によるトンネルの内空変位の収斂性に及ぼす影響を把握することができ、内圧置換による方法の有効性を確認できた。今回、吹付けコンクリートのみの取り扱いであったので、上述の通り内圧効果の限界性も確認した。レオロジーモデルの材料特性が変化しなければ収斂の速さは変化しない。ロックボルトは地山の材料特性を改善する機能を有するものと考え、今後はロックボルトをも考慮し、総合的な支保工の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 笠井芳夫：コンクリート総覧，技術書院，pp.608-609, 1998
- 2) Hoek & E.T.Brown：Underground Excavations In Rock, Institution of Mining and Metallurgy, pp252-253, 1980

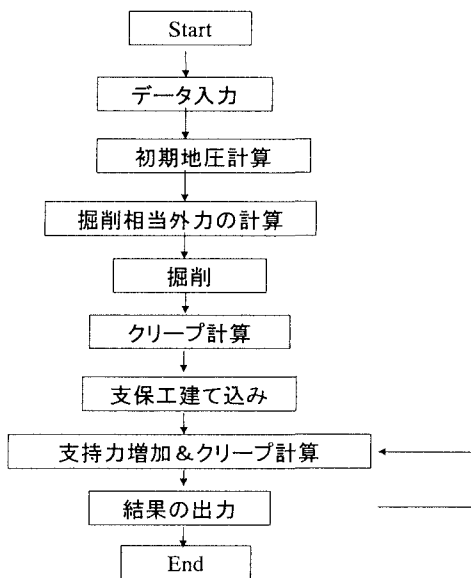


図-4 FEMプログラムフロー

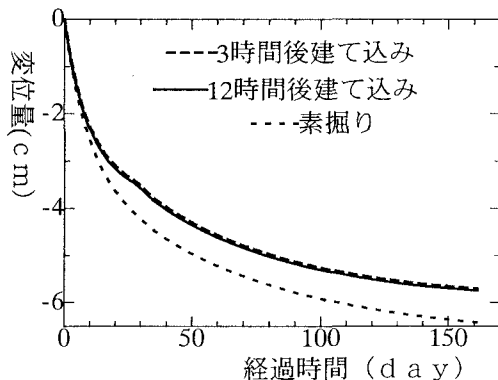


図-5 建て込み時間別の経時的変化

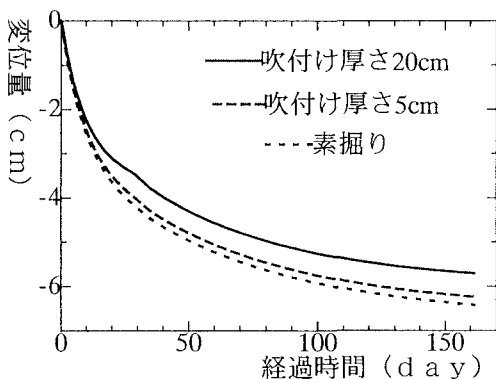


図-6 吹付け厚さ別の経時的変化