

III-391 トンネル内空変位の遅延スペクトル解析に基づく施工管理について

豊田高専 正 伊東 孝  
 中部電力(株) 正 土山茂希  
 豊田高専 正 赤木知之

1. まえがき

等方等質粘弾性地山の深部に円形トンネルを掘削する場合、切羽の進行を考慮したトンネル内空変位は、式(1)のように表せることが筆者らによって示されている<sup>1)</sup>。この式は、切羽の進行に伴う初期応力の解放による経時的な弾性変位と粘性変位の和として表されており、本式を応用すれば、NATM施工管理におけるトンネル最終変位の予測をより精度良く実施できるものと考えられる。しかし、実際の岩盤のクリープ特性を把握することは容易ではなく、その関数形すら明確になっていない。また、試験片について実験的に求めたクリープ特性値と実際の岩盤のクリープ特性は大きく異なることも事実であり、クリープ特性を表すパラメータが事前に定まらない場合は、式(1)を直接適用することは困難である。

そこで、本研究では内空変位式(1)の遅延スペクトルを様々なパラメータの組合せに対して求め、分類し、実際の計測値から求まる遅延スペクトルをそれらと比較しながらトンネルの施工管理に利用する可能性を探ろうとするものである。

2. 切羽の進行を考慮した粘弾性地山の内空変位<sup>1)</sup>と遅延スペクトル<sup>2)</sup>

$$U(t) = C_0 \{ p_0 + p_1 (1 - e^{-t/\tau}) \} + C_1 [ p_0 (1 - e^{-t/\tau_c}) + p_1 \{ 1 - \frac{1}{\tau_c - \tau} (T_0 e^{-t/\tau_c} - \tau e^{-t/\tau}) \} ] \quad (1)$$

ここに、 $(p_0 + p_1)$ は初期応力であり、 $p_0 = 0.3(p_0 + p_1)$ 、 $p_1 = 0.7(p_0 + p_1)$ 、 $f = 0.25 \times (\text{トンネル直径}) / (\text{切羽進行速度})$ 、 $C_0, C_1, \tau_c$ は地山の粘弾性定数である。変位 $u$ は $Ux$ (トンネル半径)/2である。

式(1)の近似遅延スペクトル $\Phi(t) = t(du/dt)$ は次式となる。

$$\Phi(t) = t \{ ( \frac{C_0 p_1}{\tau} - \frac{C_1 p_1}{\tau_c - \tau} ) e^{-t/\tau} + ( \frac{C_1 p_0}{\tau_c} + \frac{C_1 p_1}{\tau_c - \tau} ) e^{-t/\tau_c} \} \quad (2)$$

式(2)は近似式であるため、変形を遅延させるメカニズムのパラメータ $\tau$ および $\tau_c$ が大きく異なる値の場合のみ $t = \tau$ および $t = \tau_c$ の2点で極値を示す。

3. 遅延スペクトルのパターン分類

地山の定数値が確定しない場合、予測値をパラメトリックに求めておき、計測値をそれらと対比しながら管理する手法が考えられる。まず、種々のパラメータに対し直接、式(1)を計算する方法が考えられるが、普通、パラメータの値が少々変化しても、内空変位の時間依存挙動はさほど変化しないのに対し、遅延スペクトルでは、わずかなパラメータの違いがそのパターンまで変えてしまう。図-1、図-2に粘弾性パラメータの組合せを種々変えた場合の遅延スペクトルを示す。なお、この計算では、初期応力を $p_0 + p_1 = 20 \text{kgf/cm}^2$ 、トンネル直径を12m、切羽進行速度を $v = 1 \text{m/day}$ とした。

管理基準とすべき遅延スペクトルのパターンは、実際の適用例を蓄積、分類することによってのみ可能となろうが、いま仮に $C_1/C_0 = 1$ 、すなわち弾性変位と同程度の粘性変位まで許容するものとするれば、遅延スペクトルをパラメータ $\tau_c$ の大きさによって図-1、図-2のように2種類のパターンに分け、それぞれの図における斜線を施した部分に実際の計測値から求められるスペクトルが収まっていることを確認して

安定しているものとする事ができよう。

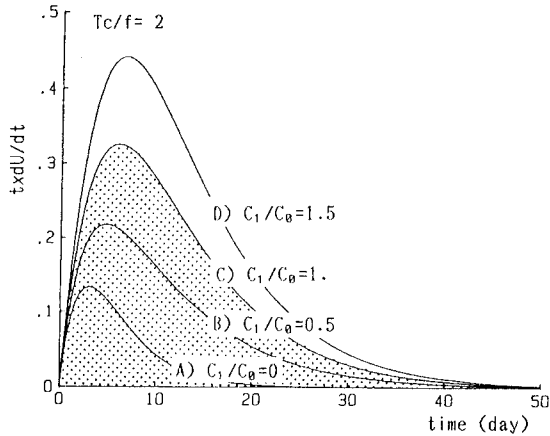


図-1 遅延スペクトル ( $T_c/f=2$ )

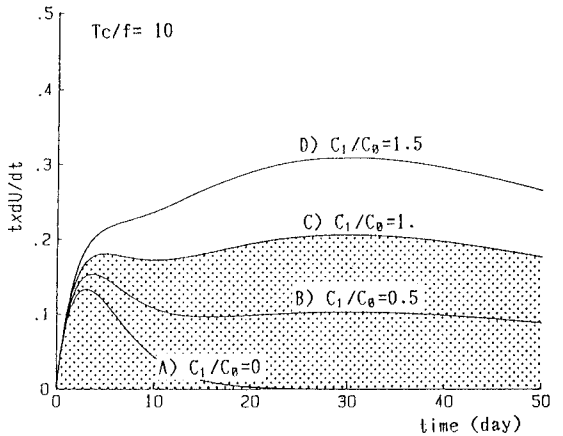


図-2 遅延スペクトル ( $T_c/f=10$ )

#### 4. 具体的な計測管理手順

- (1) 地山のせん断弾性係数を決め、その逆数を $C_0$ とする。
- (2) 土被りより初期応力を求め、 $p_0, p_1$ を決める。  

$$p_0=0.3(p_0+p_1), p_1=0.7(p_0+p_1)$$
- (3) 切羽進行速度( $v$ )より、 $f=0.25d/v$ とする。ここに、 $d$ はトンネル直径である。
- (4) 地山に粘性が無い場合のスペクトル図（図-1、2の曲線A）を求める。この場合のスペクトルは $t=f$ で極値を示し、その高さは $p_1 C_0/e$ である。
- (5) 切羽進行に伴う内空変位の測定値を数値微分し、 $\Phi=t(du/dt)$ の値を遅延スペクトル図にプロットする。
- (6) 管理基準
  - ・粘性が顕著でない普通地山の場合、ほぼ曲線A)に沿ったスペクトルを示すものと予想される。この場合はトンネルは安定しているものとする。
  - ・膨張性地山の場合は、 $T_c$ の大小により図-1あるいは図-2のパターンをとるものと予想されるが、 $T_c$ が比較的小さい図-1のようなパターンをとる場合は、 $t=f$ を過ぎ $p_1 C_0/e$ の2倍を越えても極値とならない場合は要注意とする。
  - ・図-2のパターンの場合、 $t=f$ を過ぎたところで極値をとり、その大きさも $p_1 C_0/e$ の1.5倍程度で、その後、その値を越えることがなければ安定しているものとする。

#### 5. あとがき

粘弾性地山における深い円形トンネルの内空変位に対する遅延スペクトルを求め、その粘性パラメータが異なった場合のパターンの違いから実際のトンネル計測管理を行う手法を考えてみた。今後は、この手法をさらに改良し切羽通過後初期の段階で最終変位を予測する方法について考えてみたい。

#### 参考文献

- 1) 伊東、土山、赤木；コンバージェンスの経時変化とその評価について、第20回岩盤力学に関するシンポジウム、pp.249-253
- 2) 山本三三三；物体の変形学、誠文堂新光社、pp.201