

例	応用地質調査事務所	正会員	近藤 達敏
	同 上	同上	土屋 浩
	同 上	同上	○ 岡部 幸彦

1 緒 言

NATMにおける吹付コンクリートは、掘削の進行に伴って周辺地山と共に変形する。吹付コンクリートのひずみが掘削の進行と共に増加する間、吹付コンクリートの弾性係数もまた経過日数（材令）と共に大きくなると考えられる。もし、トンネルのFEM解析に吹付コンクリートの弾性係数の変化をそのまま取入れるとすると、活荷重ステップ数をきわめて多くしなければならず、費用の点から実際的な方法とはいえない。

小論は、トンネルのFEM解析における吹付コンクリート弾性係数の現実的な取扱方法の1つとして、吹付コンクリートの最終ひずみと最終応力との関係を考慮した「等価弾性係数」を提案するものである。

2 仮定条件と等価弾性係数

トンネル掘削時の壁面変位は主として切羽距離の関数になつてゐるが、切羽の進行速度が一定である場合には、壁面変位はまた経過日数の関数でもある。また、吹付コンクリートが受けるひずみは、壁面の変化に比例するから、吹付コンクリートのひずみもまた経過日数の関数となる。

吹付コンクリートのひずみ ϵ と経過日数 t との関係が(1)式の単調増加型指数関数で近似できるものとする。また、吹付コンクリートの弾性係数 E と経過日数 t との関係も(2)式の単調増加型指数関数で近似できるものとする。但し、 ϵ_{∞} 、 E_{∞} はそれぞれひずみと弾性係数の最終値、 t_1 、 t_2 はそれぞれひずみと弾性係数の収束日数（最終値の63%に達するに要する日数）である。

$$\epsilon = \epsilon_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_1}} \right) \quad (1)$$

$$E = E_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_2}} \right) \quad (2)$$

任意の時点（ $t = t$ ）におけるひずみ増分 $d\epsilon$ と応力増分 $d\sigma$ の間にはフックの法則が成立し(3)式が成立する。

$$d\sigma = E \cdot d\epsilon \quad (3)$$

(1)式および(2)式を考慮して(3)式を積分する。

$$\begin{aligned} \sigma &= \int_0^{\epsilon} E \cdot d\epsilon \\ &= \int_0^t E_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_2}} \right) \cdot \frac{\epsilon_{\infty}}{t_1} e^{-\frac{t}{t_1}} \cdot dt \\ &= E_{\infty} \cdot \epsilon_{\infty} \left\{ \left(1 - e^{-\frac{t}{t_1}} \right) - \frac{t_2}{t_1 + t_2} \left(1 - e^{-\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) t} \right) \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

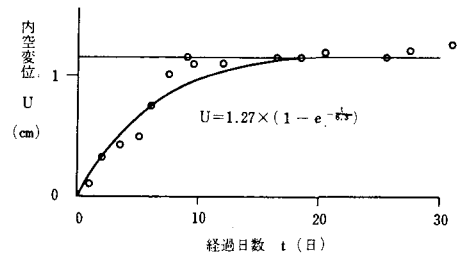


図-1 内空変位と経過日数
(○トンネル)

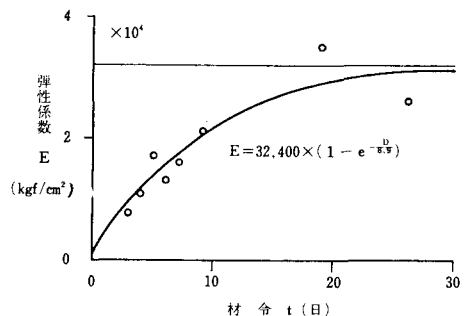


図-2 吹付コンクリート弾性係数と材令
(○トンネル)

$t = \infty$ とすると応力の最終値 σ_{∞} が得られる。

$$\sigma_{\infty} = \left\{ E_{\infty} \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2} \right\} \cdot \varepsilon_{\infty} \quad (6)$$

そこで、(6)式のカッコの中を特に吹付コンクリートの等価弾性係数 E_c^* と定義すると、これはひずみの最終値 ε_{∞} と応力の最終値 σ_{∞} との間の比例定数となる。

$$E_c^* \equiv \frac{t_1}{t_1 + t_2} \cdot E_{\infty} \quad (7)$$

$$\sigma_{\infty} = E_c^* \cdot \varepsilon_{\infty} \quad (8)$$

即ち、吹付コンクリートの弾性係数として(7)式の等価弾性係数 E_c^* を用いて F E M 解析を行なえば、最終状態における吹付コンクリートの剛性を適切に評価し、また吹付コンクリート応力を正しく算出することができる。

3 計算結果と実測結果の対比

〇トンネルにおける計算例を以下に示す。内空変位 U と経過日数 t との関係 (図-1) から、 $t_1 = 6.3$ 日 が得られ、吹付コンクリート弾性係数 E と経過日数 (材令) t との関係 (図-2) から、 $t_2 = 8.9$ 日 が得られた。従つて、等価弾性係数 E_c^* は

$$E_c^* = \frac{6.3}{6.3 + 8.9} \times 32400 \text{ Kg f/cm}^2 = 13400 \text{ Kg f/cm}^2 \quad (9)$$

となつた。この値を用いて F E M 解析を実施したところ吹付コンクリート応力は天端付近で 22 Kg f/cm^2 、側壁付近で 35 Kg f/cm^2 と計算された (図-3)。

〇トンネルで実施したカーボメータおよびデフォーメータによる断面力測定¹⁾の結果も図-3に示した。それによると、吹付コンクリートのひずみ (図-4) の最終値は 0.21% 、吹付コンクリートの応力 (図-5) の最終値は 23 Kg f/cm^2 となり、計算値と実測値は比較的よい精度で一致している。

参考文献

- 1) 北川・大貫・近藤・土屋 : N A T M トンネルにおけるカーボメータ、デフォーメータによる吹付コンクリート断面力測定について、オ 14 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 1982 年 2 月

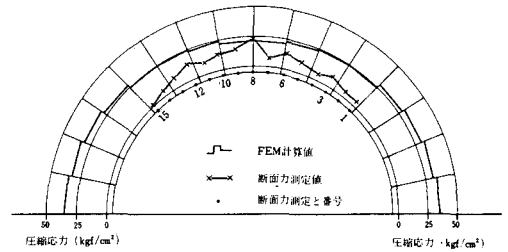


図-3 吹付コンクリート応力の計算値と実測値

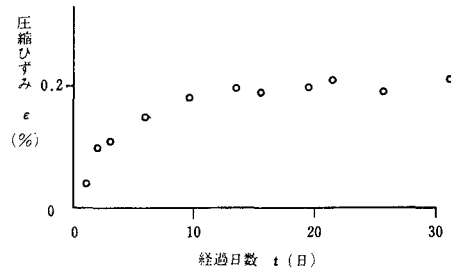


図-4 吹付コンクリートの圧縮ひずみ (〇トンネル)

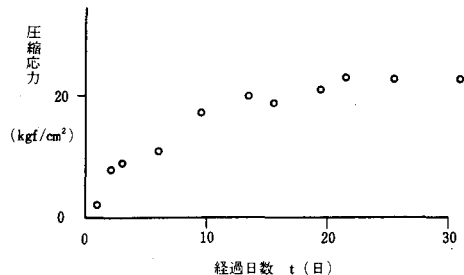


図-5 吹付コンクリートの圧縮応力 (〇トンネル)