

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
 同上 正員 久武 勝保
 大阪大学大学院 学員 ○仲久保 忠伴

1 はじめに

新オーストリア式トンネル工法(NATM)は、近年広く使用されるようになったが、経験をもととして発展してきたため、ロックボルトや吹付コンクリートの効果に対する理論的裏付けはあまり行われていない。本研究は粘弾性地山内にNATMによりトンネルを建設する場合について、ロックボルトと吹付コンクリートの効果を三次元的に解析し、また本解析結果と現場実測結果との比較により、本解析手法の妥当性を検討したものである。

2 解析手法の概略

fig-1に示すように切端から距離 L だけ離れてロックボルトと吹付コンクリートを同時に施工し、半径 a なるトンネルを速度 V で掘削する場合を想定する。この場合、ロックボルト両端 X 、 Y 点はトンネル掘削に伴い変位を生じるが、この両端の相対変位によりロックボルトは軸力を受け、伸び ΔL を生じる。この軸力の反力が地山の X 、 Y 点に作用し、 X 、 Y 点は素掘状態で生じる変位 $(\Delta u_x, \Delta u_y)$ とそれを逆方向及び同方向に $\Delta \bar{u}_x, \Delta \bar{u}_y$ の変位を生じる。一方吹付コンクリートには地圧が作用し、吹付コンクリートは Δu_c だけ変位するが、その地圧の反力により X 、 Y 点は素掘状態で生じる変位と逆方向に、それぞれ $\Delta u_a, \Delta u_r$ の変位を生じる。このロックボルトと吹付コンクリートの作用によりトンネル内面変位が減少する。ここぞトンネル内面変位と X 、 Y 点の相対変位に注目すれば次の境界条件式が得られる。

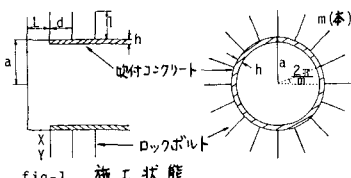


fig-1 施工状態

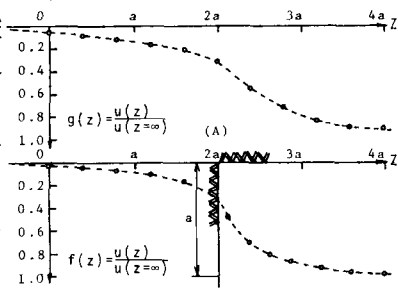


fig-2 切端通過に伴う X 点(B)、 Y 点(A)のトンネル半径方向変位特性(ただし $L=0.6a$)

$$\left. \begin{aligned} \Delta u_c &= \Delta u_x - \Delta \bar{u}_x - \Delta u_a \\ \Delta L &= (\Delta u_x - \Delta u_y) - (\Delta \bar{u}_x + \Delta \bar{u}_y) - (\Delta u_a - \Delta u_r) \end{aligned} \right\} (1)$$

fig-2は素掘トンネルの通過に伴う X 点、 Y 点の変位を、境界要素法による三次元弾性解析により求めたものであるが、この結果を用いれば粘弾性地山内にトンネルを速度 V で掘削する場合の経時変位 $\Delta u_x, \Delta u_y$ は、せん断変形に対するクリープ関数 $\phi(t) = \alpha + \beta \ln(1+t)$ を用いて履歴積分により求めることができる^{1),2)}。この場合、定数 α と β はfig-3に示す関係があるので、ここでは、 $\alpha = \beta$ とした。またロックボルトの軸力の反力及び吹付コンクリートに作用する地圧の反力による変位 $\Delta \bar{u}_x, \Delta \bar{u}_y, \Delta u_a, \Delta u_r$ も、複素応力関数を用い同じく履歴積分により求めることができる。この場合、ロックボルトと吹付コンクリートは弾塑性体とし、また吹付コンクリートの弾性定数と圧縮強度は経時的に変化すると考える^{3),4)}(fig-4)。

以上で求めた変位を式(1)に代入し、履歴積分を差分により近似すれば未知量であるロックボルトの軸力及び吹付コンクリートの地圧が経時的に求められる¹⁾。

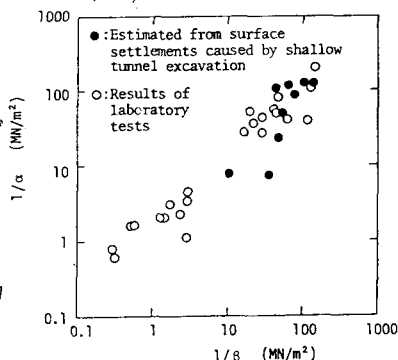


fig-3 クリープ関数係数 α と β の関係

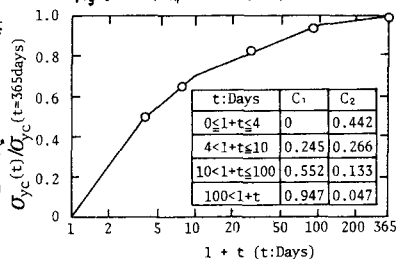


fig-4 吹付コンクリートの経時圧縮強度

3 考察

TABLE-1~TABLE-3に示す施工条件のもとで、

ロックボルト及び吹付コンクリートの効果について考

察を加える。fig-5は $V=2.0\text{ m/day}$ 、 8.0 m/day の場

合についてトンネル内面半径方向変位を示したも

のである。掘進速度が大になると、同一時刻での素掘

トンネルの変位は大となり、またこれは初期の時間

において著しい。次に、吹付コンクリートとロ

ックボルトを施工した場合では、吹付コンクリ

ートの圧縮強度は施工直後小さいので、 V が大

になるとトンネル内面変位が多く生じ、これは

降伏しやすくなる。したがって、吹付コンクリ

ートが降伏しない適当な掘進速度を事前に決定

しておく必要がある。fig-6は、吹付コンクリ

ートのみ施工、ロックボルトと吹付コンクリ

ートの両方を施工した場合について、両者の変位

と比較したものである。吹付コンクリートのみ施工した場合では、15日間ほ

ど吹付コンクリートが降伏し、その後効果が非常に減少しているが、一方

ロックボルトと吹付コンクリートを施工した場合では、ロックボルトを併用

しない場合に比べ、60日余り降伏が遅くなり、その間の効果の差は著しい。

吹付コンクリートの弾性定数と圧縮強度は施工直後は小さく時間と共に増

大するが、ロックボルトは施工直後から効果を発揮する。したがって、ロック

ボルトの併用により、吹付コンクリートの負担する地圧が小さくなり、こ

の降伏が遅くなるので、その間、吹付コンクリートの強度が増大し、変位

拘束効果が上が、たものと考えられる。

4) 現場計測結果と解析結果の比較

本解析手法の妥当性を検証するために、TABLE-4に示す駒止トンネル及び鍋立山トンネルの現場の力学定数、材料定数、施工条件を用いて解析を行ない、これと実測結果を比較した。なお現場で使用されたロックボルトは全面接着型であるが、本解析ではこれを締付け型とし、また駒止トンネルの実際の断面は馬蹄形であるが、これを円形として取扱った。ただし、1断面あたりのロックボルト数は一致させている。両トンネルのトンネル

内面半径方向変位の経時変化をfig-7,8に示す。現場計測値と解析結果は比較的よく一致しており、したがって本解析手法は妥当であると思われる。

参考文献 1) Ito T. and M. Hisatake: Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engg. 1981. 2) 伊藤、久武: 第14回土質工学研究発表会, 1979. 3) 森口: 二次元弾性論, 岩波現代応用数学, 1957. 4) A.E. Green, W. Zerna: Theoretical Elasticity, Oxford Univ. Press, 1968. 5) 坂: 鉄筋コンクリート教程, 産業図書, 1952. 6) 日本トンネル技術協会土木工学社: NATMの設計と施工実例1, 1980.

TABLE-1 吹付コンクリート

TABLE-2 ロックボルト

TABLE-3 地山、施工条件

TABLE-4 駒止、鍋立山トンネルのパラメータ

fig-7 Nabetateyama tunnel

fig-8 Komadome tunnel

fig-5 トンネル内面半径方向変位の解析結果

fig-6 トンネル内面半径方向変位の解析結果

fig-7 Nabetateyama tunnel

fig-8 Komadome tunnel

fig-7 トンネル内面半径方向変位の

fig-8 トンネル内面半径方向変位の

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較

実測結果と解析結果の比較