

大阪大学工学部 正員 久武勝保
 防衛施設庁 正員 ○谷井淳志
 大阪大学大学院 学生員 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、近年我が国で注目を集めている工法であり、NATMを採用したトンネルが多数建設されている。しかし、NATMは、経験を主として発展してきた工法であるため、その支保効果については理論的に十分解明されていない。そこで、本研究は、弾性あるいは粘弾性地山内にNATMにより、トンネルを建設する場合について、その支保効果と掘削過程を考慮した三次元解析により明らかにしようとするのである。

② 解析手法の概略

NATMでは、切羽のすぐ後方で吹付コンクリートとロックボルトが施工され、その後切羽が前進する。この手順を十分表現するために、本研究では、掘削過程を考慮した三次元FEM解析を行った。すなわち、1掘削長とトンネル半径 a の $1/2$ として掘削を行い、その後ロックボルトと吹付コンクリートを施工する。この場合、1掘削長に起因する地山の応力変化が定常となるまで、上記の掘削を繰り返す、定常状態時の応力と変位について考察を加える。本研究で用いた解析モデルを図-1に示す。ここで、地山は等方初期応力状態 P_0 、トンネル形状は円形、吹付コンクリートとロックボルトは弾性体（吹付コンクリートの弾性定数とポアソン比は E_g と ν_g 、吹付厚 h 、ロックボルトの弾性定数は 190000 tf/m^2 、長さ 3 m 、1断面あたりの本数 m 、断面積 0.0005067 m^2 ）としている。また、粘弾性解析では地山のクリープ関数は次式のごとく対数関数²⁾を与え、対応原理を用いて解析する²⁾。

$$\epsilon(t) = \{1 + \ln(1+t)\} / E_g \quad (t: \text{日}, E_g: \text{地山の弾性定数})$$

③ 解析結果とその考察

図-2は、弾性地山内に素掘りトンネルを掘削する際、掘削過程を考慮した場合と、考慮せず瞬時的にトンネルを掘削した場合とについて、トンネル縦断面内の半径方向変位特性を比較したものである。ここで、 u はトンネル内面半径方向変位、 u_0 は切羽後方で平面歪が成立する位置での u である。本図より、掘削過程を考慮する場合と考慮しない場合とではトンネル内面半径方向変位特性は異なり、これは、1掘削長に影響されることがわかる。

図-3は、弾性地山において、支保条件を変えた場合のトンネル内面半径方向変位の経時変化を表わす。当然のことながら、NATMとして吹付コンクリートとロックボルトを併用した場合において変位拘束効果が最も大となる。しかし、吹付コンクリートのみを施工した場合でも同程度の変位拘束効果が得られており、吹付コンクリートの変位拘束効果はロックボルトよりとかなり大であることがわかる。従って、ロックボルトの主たる作用効果は、トンネル周辺地山の相対変位を拘束することにより、地山を一体化させることにあると考えられる。

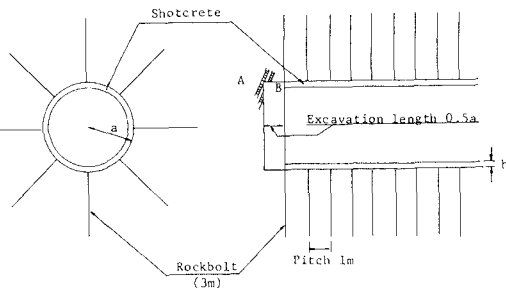


図-1 解析モデル

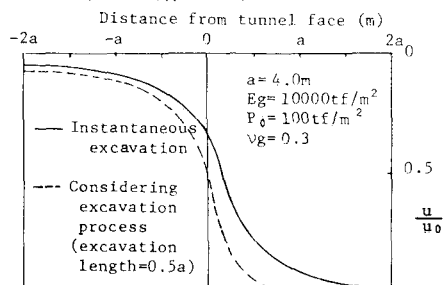


図-2 変位の特性曲線の比較

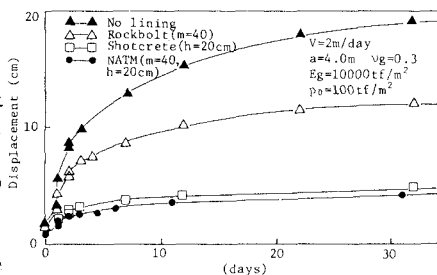


図-3 トンネル内面の経時変位

次に、図-4は、図-3のNATMとして施工した場合の結果について、図中に示す X と X' の経時相対変位($U_{IX}-U_{IX'}$)を示したものである。省略しているが、他の支保条件の場合には、($U_{IX}-U_{IX'}$)はいずれも経時的に増加するが、NATMの場合にはのみは減少している。これは、本解析で用いた地山条件下では、図-3で示したように、吹付コンクリートがトンネル内面変位 U_{IX} を十分拘束するために生じたものと考えられ、このため、ロックボルトの軸力は経時的に減少することになる。すなわち、吹付コンクリートがトンネル内面変位を十分に拘束するような地山条件下では、ロックボルトの軸力は経時的に減少する場合があり、この場合にはロックボルトを再度締めつける必要が生じることが解析的に明らかとなった。

図-5は吹付コンクリートの内面変位拘束効果を定量的に算定するための弾性解析により作成したものである。ここで、縦軸は吹付コンクリートのみを施工した場合の切羽後平面歪が成立する位置でのトンネル内面半径方向変位 U^* と素掘り時のそれ U_0 との比である。本図を現場の設計に適用する場合には、 E_I/E_g , h/a , を決定することにより、 U^*/U_0 が算出されるので、この値に、素掘りトンネルの2次元解析から求められる変位 U_0 を乗することにより、吹付コンクリートを施工する場合のトンネル内面半径方向変位が求められることになる。

最後に、本解析手法と切羽の進行を考慮した2次元解析手法³⁴⁾との比較と弾性解析について行、た。図-6は、その一例であるが、 $E_I/E_g = 25$ の時のトンネル縦断面内半径方向変位の比較を示したものである。このような比較を行うことにより、以下の諸点が明らかとなった。

(1)、 E_I/E_g の値によらず、ライニングの変位は常に3次元解析による値 U_0^3 が2次元解析による値 U_0^2 (X にかかわらず)より小さくなる。ここに、 X は切羽と吹付位置との間の距離である。すなわち、実際には、吹付コンクリートが切羽前方の変位を拘束するが、2次元解析では吹付コンクリートの施工位置までの U は素掘り時の U と同様であり、その結果、2次元解析においてライニングの拘束する変位量は、3次元解析のそれより小さく算定される。

(2)、(1)のことから、ライニングに作用する地圧および応力について2次元解析を行、た場合の方が小さく算定される。

(3)、 $XL = 0$ の場合の2次元解析の結果は、 E_I/E_g が小になるほど3次元解析の結果に一致して行く。

(参考文献) 1) 伊藤・久武:「粘弾性地山内の任意形状トンネル覆工に作用する地圧」土木学会論文報告集, 307号, pp. 51~57, 1981.

2) 伊藤・久武:「新設トンネルがそれに平行な既設トンネルの覆工応力に与える影響」土木学会論文報告集, 308号, pp. 77~84, 1981.

3) 伊藤・久武・仲久保:「NATMの解析的研究とその現場への適用」第36回土木学会年鑑, Ⅲ-224, 1981.

4) Ito, T. and M. Hisatake: Analytical Study of NATM, Proc. 10th ICSMFE, Vol. 1, pp. 311~314, Stockholm, 1981.

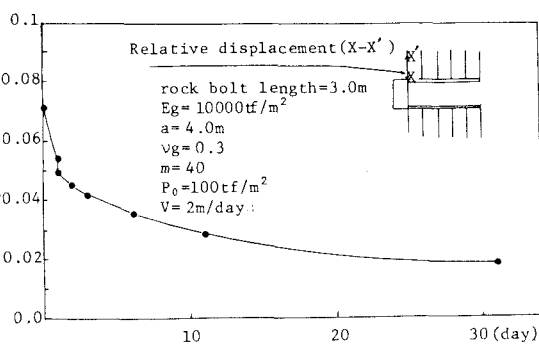


図-4. 経時相対変位 ($U_{IX}-U_{IX'}$)

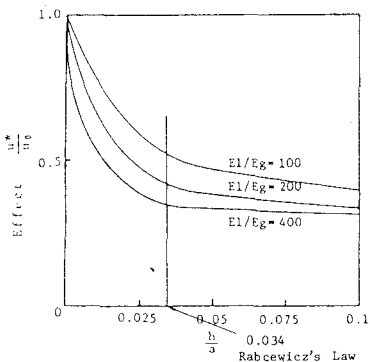


図-5. 吹付コンクリートの内面変位拘束効果

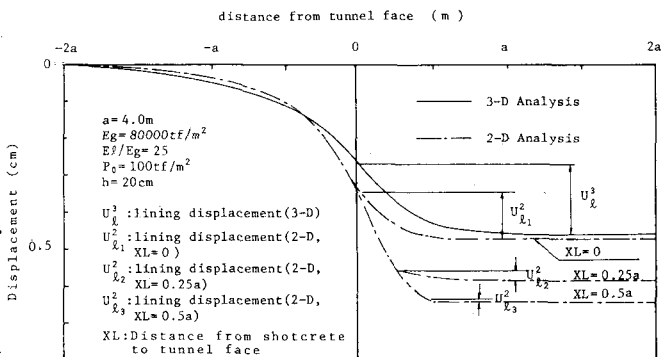


図-6. 2次元解析結果と3次元解析結果との比較