

NATMにおける吹付コンクリートの作用効果

大阪大学工学部 正員 久武 勝保
同 大学院 学生員 O谷 井 淳 志
同 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、我が国においても、最近特に注目されてきた工法であり、NATMを採用したトンネルが各所で建設されている。しかし、NATMは、経験をもととして生まれた工法であるため、その工法の理論的説明は十分なされていない¹⁾。本研究は、弾性あるいは粘弾性地山内に、NATMによってトンネルを建設する場合について、吹付コンクリートの作用効果を掘削過程と考慮した3次元解析により、明らかにするものである。

2. 解析手法

NATMでは、切羽のすぐ後方で吹付コンクリートが施工され、その後切羽が前進する。したがって、従来の2次元解析では、切羽周辺の地山の挙動を十分表現できないため、本研究では、有限要素法を用い、掘削過程と考慮した3次元解析を行った。この場合、1掘削長はトンネル半径 a の $1/2$ とし、掘削終了後直ちに吹付コンクリートを施工する。また、1掘削に起因する地山の応力変化が一定となるまで掘削を繰り返し、定常状態時の応力、変位について以下考察を加える。

3. 解析結果と考察

解析モデルは図1に示すものを用い、地山は等方初期応力状態(P_0)、トンネル形状は円形、吹付コンクリートは弾性体(弾性定数 E_c 、ポアソン比 ν_c 、吹付層 h)としている。図2は、弾性地山(弾性定数 E_g 、ポアソン比 ν_g)内に、素掘りトンネルを掘削する際、掘削過程と考慮した場合と、掘削過程と考慮せず、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、掘削過程と考慮した場合と、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ることがわかる。特に、切羽での u/u_0 の値と、変位の収束する切羽からの距離は大きく違い、これらは、掘削長に影響されることがわかる。すなわち、掘削過程と考慮しない従来の解析手法は、掘削長が大きい場合にのみ適用可能である。図3は弾性地山内に吹付コ

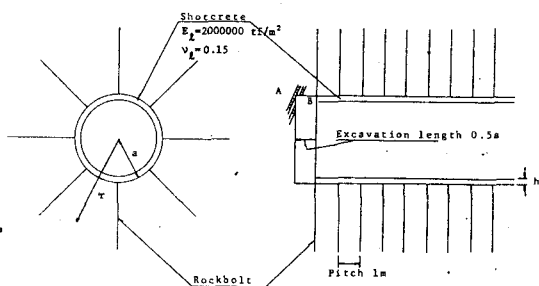


図-1 解析モデル

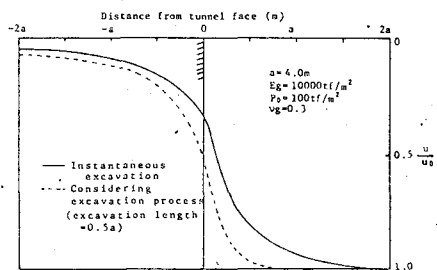


図-2 内面変位特性曲線

ンクリートのみを施工してトンネルを掘削する際、吹付厚の違によるトンネル内面半径方向変位を示したものである。これを見ると、吹付厚が10cmでも、変位は素掘り時の55%に減少し、吹付コンクリートの変位拘束効果は大なることがわかる。また、変位特性と h によ、て変化するので、切羽の進行を考慮した2次元解析において、このことを無視することはできない。図4は、粘弾性地山内に、支保条件を変えてトンネルを掘削する場合について、経時内面変位を示す。ただし、地山のクリープ関数は $\phi_e(t) = [1 + \ln(1+t)]/E_g$ ($t=0$)で与え

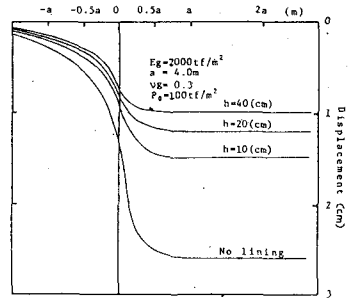


図-3 吹付厚によるトンネル内面変位の違

は1断面当りのロックボルト本数、 V は掘進速度である。当然のことながら、NATMとしてロックボルトと吹付コンクリートを併用した場合において、最も変位拘束効果が大きくなるが、吹付コンクリートのみを施工する場合でも同程度の変位拘束効果が得られている。図5は、弾性地山内にトンネルを掘削する場合について、トンネル縦断面内の $t=4.5m$ における応力状態である。ただし、 σ_θ , σ_r はそれぞれトンネル円周方向及び半径方向応力である。素掘り時には、掘削によ、て切羽前方 $1.5a$ 付近から応力が乱れ、切羽後方 $1.5a$ に至、て安定な応力状態になるが、吹付コンクリートを施工すれば、切羽前方及び後方での応力の乱れは小さくなる。したが、て、地山のMohrの応力円は小さくなり、地山はより降伏しにくい状態となる。図6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に、弾性解析により

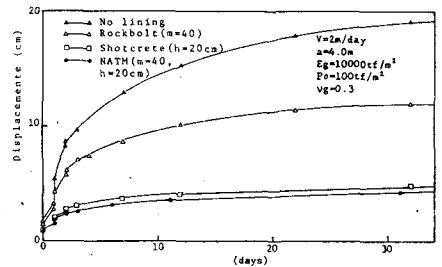


図-4 トンネル内面経時変位

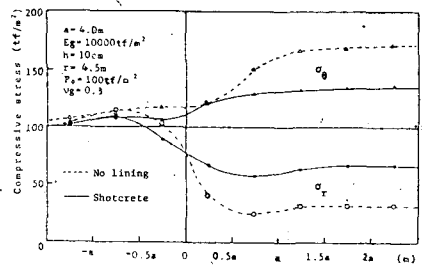


図-5 トンネル縦断面内応力状態

作成したものである。ここで U^*/U_0 は吹付コンクリートを施工した時の切羽後方平面歪が成立する位置でのトンネル内面半径方向変位と素掘り時のそれとの比である。本図を現場の設計に適用する場合には、 E_s/E_g , h/a を決定することによ、て、 U^*/U_0 が算出されるので、この値に、2次元解析から求められる理論解 U_0 を乗ずることによ、て、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。

<参考文献>

- 1) Ito, T. and Hisatake, M. : Analytical Study of NATM ,
Proc. 10th Int. Conf. soil Mech. Found. Engg.,
Vol.1, Session2, pp.311~314, 1981

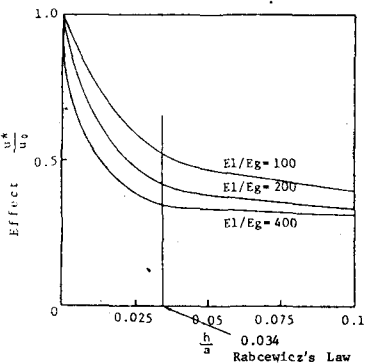


図-6 吹付コンクリートの内面変位拘束効果