

薄肉ライニングの吹付け厚さと内圧効果の関係について

佐賀大学 正員 ○ 石橋 孝治
〃 藤井 智靖

1. はじめに

ロックボルト・吹付けコンクリートトンネル工法(NATM)は、地山と支保システムとを1つの系として捉え地山の安定化を図る工法である。この支保システムはロックボルト、吹付けコンクリート、支保工などによって構成されるが、地山との相互作用に関連するためこれらに与える剛性や施工時期の決定には充分な検討と配慮が必要となる。本研究では支保システムの構成要素の中から吹付けコンクリートのみを取り出し、この単独の作用効果に着目してみた。吹付けコンクリートは地山に密着した防護工であり、トンネルの大変形や地山の緩み、崩壊の広がりを阻止する拘束効果をもたらすことを目的として施工される。現在、この拘束効果を内圧に換算して吹付けコンクリート厚さの設計を行う方法も提案されている。そこで、ここでは有限要素法によるトンネルの弾性解析を行い、吹付けコンクリートの内圧効果について初步的な検討を行ってみた。

2. 解析の対象と解析モデル

トンネルの掘削に伴う周辺地山の力学的挙動は、弾性、塑性、粘性などの挙動が複合して現れたものであることは周知の通りであるが、ここでは、概念的に吹付けコンクリートの内圧効果を評価することを目指しているため、弾性地山内に円形断面のトンネルを掘削する最も単純な場合を対象とした。図-1に解析モデルを示す。直径1.9mの円形断面のトンネルを地下200mの深所に掘削するものとし、重力の影響は考慮しない。使用した要素モデルはアイソバラメトリック8点要素である。側圧係数k($=\sigma_h/\sigma_v$)が1.0である初期応力状態の場合について、10cm、15cm、20cmの3種類の等吹付け厚さの吹付けコンクリートが施工された場合と無覆工の場合についてそれぞれ計算を行った。吹付けコンクリートは図-1に示した解析モデルに新たに要素を追加するかたちで表現した。表-1に計算に用いた地山および吹付けコンクリートの力学的性質を示す。

3. 計算結果および考察

吹付けコンクリートの効果は素掘り面(無覆工時のトンネル壁面)を基準にとって評価し、変位の抑制量、地山内の応力の変化量について検討を行った。

図-2は吹付けコンクリートを施工した場合と無覆工の場合の素掘り面の変位モードを示したものである。解析の条件から同心円状の変位モードを示すのは当然のことであるが、吹付けコンクリートの施工により素掘り面の変位が著しく小さく抑えられることが顕著に示されている。この図を基にして、素掘り面の半径方向の変位 U_r が吹付けコンクリートの施工によりどの程度抑制されたのかを示したもののが図-3である。吹付け厚さの増加に伴って変位の抑制率は当然のことながら増加してゆくが、ある吹

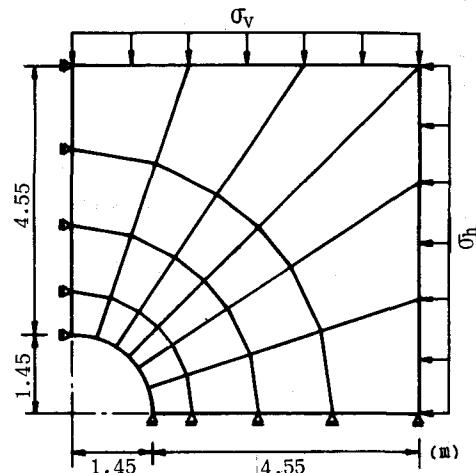


図-1 解析モデル図

表-1 計算に用いた諸定数

	弾性係数 (kg/cm ²)	ボアソン比	単位重量 (t/m ³)
地山	7,300	0.35	2.50
吹付けコンクリート	94,000	0.27	2.34

付け厚さ以上になると変位の抑制率は頭打ちになることを窺い知ることができる。ここで取り扱った吹付けコンクリートは1種類だけであり、異なる変形特性を有する吹付けコンクリートをこのトンネルに施工した場合には、吹付け厚さが同一であってもその変位抑制率は異なることは言うまでもないことがある。図-3には吹付け厚さと換算内圧(P_{ie})の関係も併せて示している。換算内圧は素掘りトンネルの壁面の変位を、吹付けコンクリートが抑制した変位と等しいだけ抑制するに必要なトンネル壁面に作用させる半径方向の圧力である。解析の対象としたこのトンネルの場合、1mmの変位を抑制するには 3.3 kg/cm^2 の内圧が必要とした。同図によれば、変位の抑制率が高くするには高い内圧が必要となるという当然の結果を与えている。一方、この反作用としてこれらの内圧と大きさが等しく方向が反対の圧力が吹付けコンクリートに作用することになる。したがって、許容する変位量と必要とする内圧を考慮して適切な強度と変形能を併せ持つ吹付けコンクリート構造を設計することが重要となってくる。図-4は内圧効果が地山内応力に及ぼす影響を示したものである。縦軸にはモールの応力円の半径をとっている。吹付けコンクリートの施工によってモールの応力円は著しく縮小し、地山の持つ支持力で地山が安定化するよう応力状態が改善されることが明瞭に示されている。

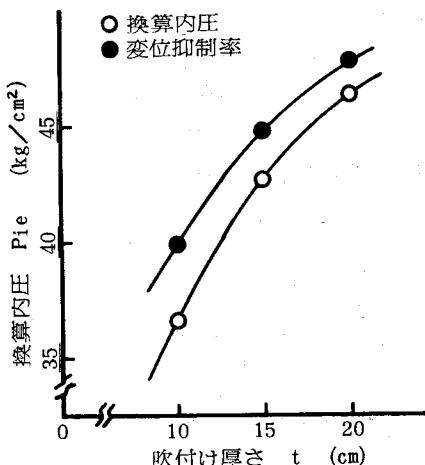


図-3 吹付け厚さと変位抑制率および換算内圧の関係
4. むすび

現実の地山においては、地山の諸定数と吹付けコンクリートの定数の関係、吹付けコンクリートの強度発現特性、地山の塑性的、粘性的挙動、吹付けコンクリートの施工時期、側圧係数などに関連して吹付けコンクリートの内圧効果は変化する。したがって、ここで取り扱ったように簡単には評価することはできない。しかしながら、本解析により概念的ではあるがその作用効果が確認できたものと思われる。なお、本解析は荒牧、黒木両氏の開発によるFEMPSを使用して計算した。付記してここに謝意を表します。

变形後の位置:

- t=0 (無覆工)
- - - t=10 cm
- · - t=15 cm
- · - - t=20 cm

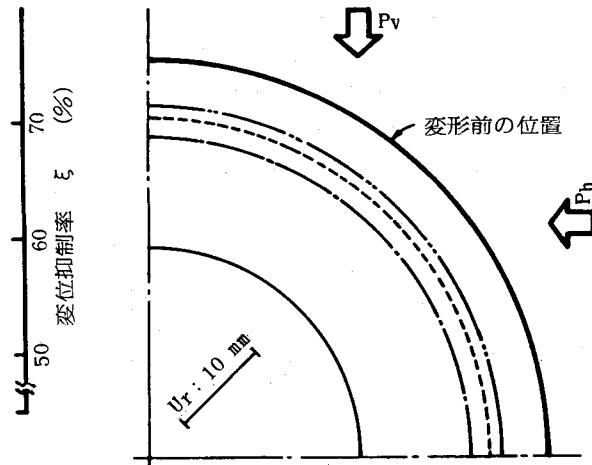


図-2 トンネル壁面の変位モード

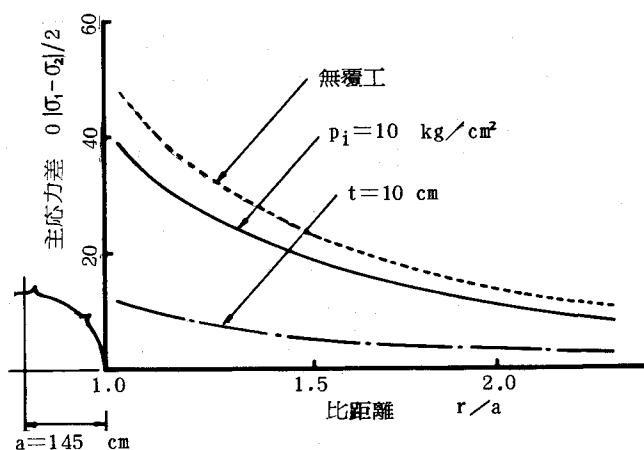


図-4 地山内の応力の分布図