

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 上 正員 〇久 武 勝 保

1 はじめに

新設トンネルによって既設トンネルに生ずる覆工応力を求めるには、地山と覆工といった材料の不均質性を考慮するだけでなく、既設トンネルの掘削と覆工の建設、それに続く新トンネルの掘削という施工過程を考慮する必要がある。本研究は以上の点を考慮して、既設トンネルの覆工応力を明らかにしようとするものである。

2 数値解析手法

材料の非線形性、不均質性、及び複雑な境界条件を取り扱える有限要素法と、無限遠での境界条件を満足する積分方程式法を融合した融合解析法²⁾により覆工応力を求める(図-1 参照)。

3 解析手順

まず、トンネル掘削前の地山の初期応力を計算した後、トンネル境界上の節点力を解放して既設トンネルを掘削する。ついで、掘削に起因する応力を初期応力に加える。そして、既設トンネル内に覆工を建設した後、境界上の節点力を解放して新トンネルを掘削する。すなわち、既設覆工には新トンネルの掘削のみに起因する応力が生じる。

4 模型実験

本解析の解析手順が実際の施工過程を満足しているかを検証するために、実験を行った。図-2に模型地盤の要素図を示す。覆工の弾性定数 E_1 、ポアソン比 ν_1 及び地盤の E 、 ν はそれぞれ 3750MN/m^2 、 0.38 、 75MN/m^2 、 0.49 である。実験結果及び解析結果を図-3に示す。実験は有限領域内で行われたため、解析は有限要素法で行った。3回行った実験結果と解析結果は比較的良好に対応しており、解析手順が妥当であることが確認できる。

5 考察

無限地山での覆工応力を融合解析法により求めて考察する。図-4に初期応力及びトンネルの幾何学的関係を示す。なお、地山と覆工は弾性体とした。

(1) トンネル中心間距離の影響

図-4は覆工内縁の内周方向応力 σ_v に及ぼすトンネル中心間距離の影響を示す。 L/D_2 の減少とともに σ_v は増加する。側壁で圧縮、アーチく及びインバートで引張応力が生じる。側壁での圧縮応力は新トンネル側で卓越する。覆工応力は初期応力で無次元化できることから、トンネルの幾何学的関係や材料定数が同じでも、初期応力の大きい地山ほど覆工応力は大きくなる。

(2) 材料定数の影響

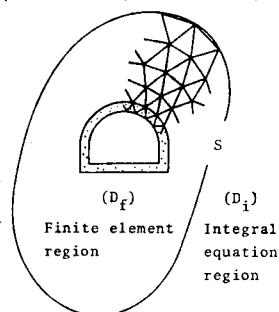


図-1 積分方程式領域 D_i と有限要素領域 D_f

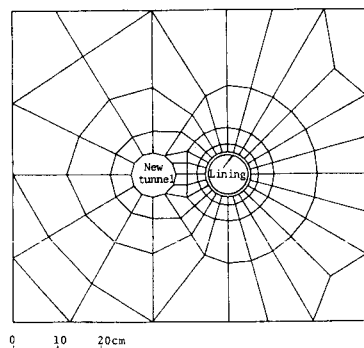


図-2 模型地盤の要素図

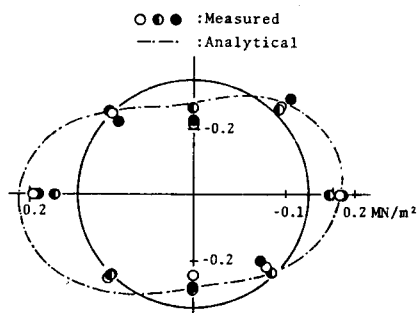


図-3 模型実験結果と解析結果

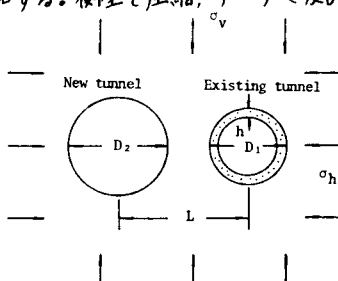


図-4 初期応力とトンネルの関係

覆工と地山の弾性定数の比 E_t/E の値に及ぼす影響を図-6に示す。 E_t/E の大ほど σ_θ は大となるが、応力分布の形は E_t/E によってあまり変化しない。

(3) 初期応力の影響

図7はトンネルを最大主応力方向(A)と最小主応力方向(B)に配置した場合の σ_θ の分布を表す。最大圧縮応力は両者であまり差はない。しかし最大引張応力は(B)に比べて(A)で相当大きい。覆工は一般にコンクリート製であるから、引張応力の卓越する(A)の場合は不都合である。ところで、地山の初期応力は地中深くなれば等方的な応力状態に近づくことが知られている。このことより、かぶりの大きい山岳トンネルではトンネル中に間隔しを一定とすれば、新トンネルの位置によって覆工応力はあまり変化しないものと思われる。しかし、トンネルを水平及び鉛直に配置すれば、既設覆工の引張応力はそれぞれアーチ(及びインバート)、側壁で生じる。一般に覆工の施工状態が側壁に比べてアーチで劣ることを考えると、鉛直に配置する方が有利となる。さらに、先進導坑が存在する場合、これの上部に新トンネルを建設し、ずりを導坑内に落下させれば、ずり積作業が容易になる利点もある。

(4) 最大引張応力

等方初期応力下のコンクリート覆工では、これの最大引張応力 $\sigma_{t,max}$ を制限するように新トンネルの位置を決定する必要がある。図-8, 9はそれぞれ $D_1=D_2$ 、及び $D_1=D_2/2$ での $|\sigma_{t,max}|/\sigma_h \sim E_t/E$ の関係を、 L/D_2 をパラメータとして示している。これより、覆工の許容引張応力を決定すれば、既設覆工に被害を及ぼさない L を決定できる。

参考文献 1)伊藤富雄・久武勝保・長山喜則：既設トンネルの覆工応力に及ぼす新トンネルの影響，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，Ⅱ-34-1～Ⅱ-34-2，1979. 2)伊藤富雄・久武勝保・長山喜則：積分方程式法と有限要素法の融合解析法の地盤工学への適用，土木学会第33回年次学術講演会講演概要集，Ⅵ.3，pp.384～385，1978. 3)鈴木 光・西松裕一・石島洋二：一次地圧の測定値とその粘弾性論的考察(第1報)，日本工業会誌，Ⅵ.83，No.950，pp.793～799，1967.

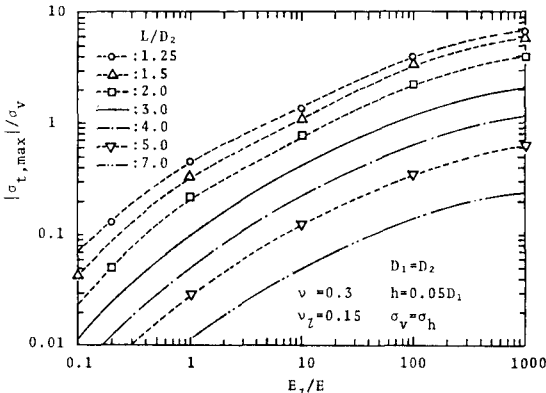


図-8 $D_1=D_2$ の場合の最大引張応力

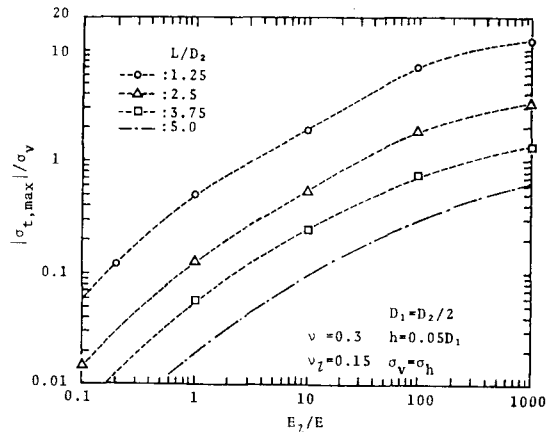


図-9 $D_1=D_2/2$ の場合の最大引張応力

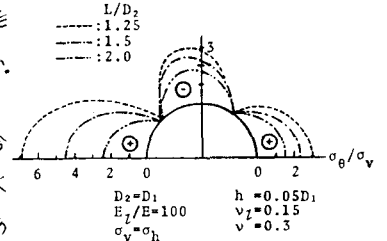


図-5 L/D_2 の σ_θ に及ぼす影響

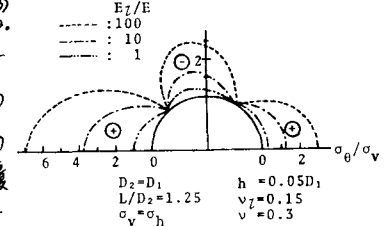


図-6 E_t/E の σ_θ に及ぼす影響

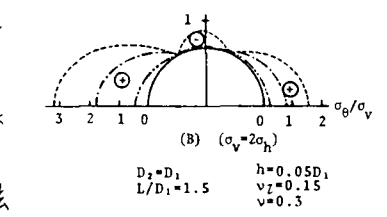
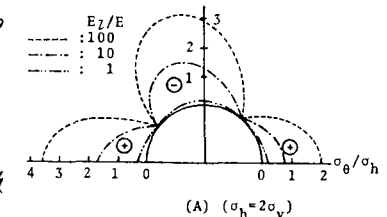


図-7 最大主応力方向(A)，及び最小主応力方向(B)にトンネルを配置した場合の σ_θ の分布