

土かぶりの浅い砂質地山トンネルの解析手法について

徳島大学工学部 正会員 小嶋 啓介
○徳島大学大学院 学生員 森野 克也
大旺建設建設㈱ 榎本 義孝
前田建設工業㈱ 稲村 聡

1. まえがき

近年のトンネル工事においては、地盤条件の必ずしも良好でない地山に掘削される機会が増加している。特に、土かぶりが浅い場合や地下水位の高い場合の施工は困難で、切羽の安定性を計るとともに、地表面沈下を抑え、近接構造物への影響を最小とすることが重要である。しかし、掘削時に生じる地盤の不連続的な挙動が解析を非常に難しくしているため、いまだ十分な挙動予測はなされていない。本報告では、砂質地山に土かぶりの浅いトンネルが掘削される問題を対象とし、不連続の変位挙動と圧密を考慮できる解析手法を検討し、アルミ棒積層体を用いたトンネル掘削のモデル実験に適用した結果を示す。

2. 解析手法

砂質地山を対象とする場合、地盤内に生じるすべり面などの不連続的な挙動を、解析でいかに表現するかが重要な問題となるが、ここでは有限要素法の枠内で扱え、材料物性を直接導入できる Goodmanらのジョイント要素を導入した有限要素法を用いる。ジョイント要素を、地盤内の潜在的なすべり面に、あらかじめ配置しておくことにより、不連続的な変形挙動を表現することが可能であると考えられるが、すべり面は弾性変形から破壊に至る過程で形成されるため、潜在的なすべり面を明らかにしておく必要がある。ここでは等方均一地盤に、円形トンネルが掘削される場合のすべり面で近似する。その場合、潜在的なすべり面は、極座標 (r, θ) で次式のように表される無数の対数渦巻で表される。

$$r = R \exp\left\{\frac{(1 - \sin \phi')}{\cos \phi'} \theta\right\} \quad (1)$$

ここに、 R ; トンネル半径、 ϕ' ; 地盤の内部摩擦角を示す。なお、多次元圧密問題の有限要素定式化に際し、初期応力の計算を除いて、土要素以外では間隙水圧を考慮しないものとした。また、以下の議論ではすべて2次元平面ひずみ条件を仮定している。

3. 数値解析結果

アルミ棒積層体を用いたトンネル掘削の模型実験結果と比較することにより、本解析の有効性を検討する。モデル実験でのトンネル掘削は、アルミ棒積層体中に埋設したトンネル模型の直径を縮小させることによりシミュレートしている。実験の解析に際しては、初期応力状態は重力場であり、土かぶり圧と静止土圧係数で表されると仮定し、ト

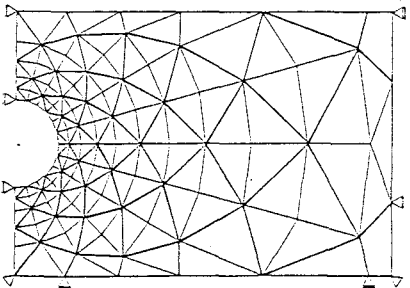


図-1 有限要素分割図

表-1 解析に用いた物性定数

		Aluminium
Unit Weight	γ (gf/cm ³)	2.18
Young's Modulus	E (gf/cm ²)	500+100 σ'_m
Poisson's Ratio	ν	1/3
Cohesive Strength	c (gf/cm ²)	0
Internal Friction Angle ϕ (°)		30
Coefficient of Earth pressure at Rest	K_0	0.5

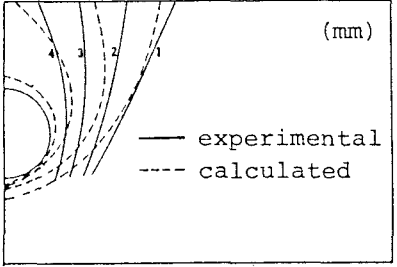


図-2 等変位線の比較 (1D)

ンネル掘削装置によるトンネル径の縮小は、トンネル壁面の各節点に半径変位量を段階的に与えることによりモデル化した。解析に用いた物性定数は表-1に示すように、アルミ棒積層体に対する2軸圧縮せん断試験等から得られた値を直接を用いた。比較検討は、土かぶりの浅い場合の代表として、土かぶりがトンネル直径に等しいもの(1D)、深い場合として土かぶりがトンネル直径の4倍の場合(4D)に対して行った。図-1は1Dの場合の有限要素分割図の例であるが、太線で示した位置にジョイント要素を配置している。図-2および図-3はトンネル半径を5mm縮小させた段階での等変位線の実験結果との比較である。土かぶりが浅い場合、深い場合とも、トンネル周辺で一部変位集中が見られるものの、等変位線の形状・広がりとはよく一致している。変位集中の原因は、トンネル掘削シミュレーション装置によるトンネル径の縮小を強制変位によりモデル化したため、トンネル周辺のジョイント要素に変位が集中したためと推測される。土かぶりが浅い場合には大きな変位

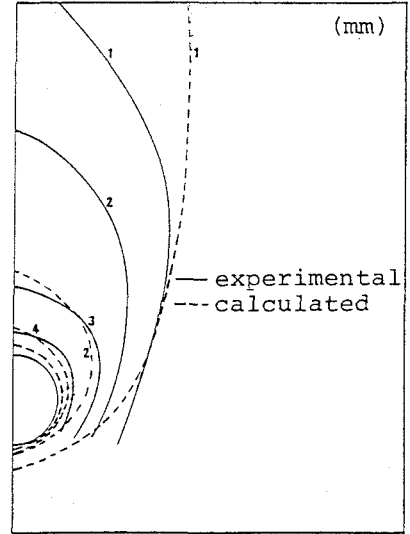
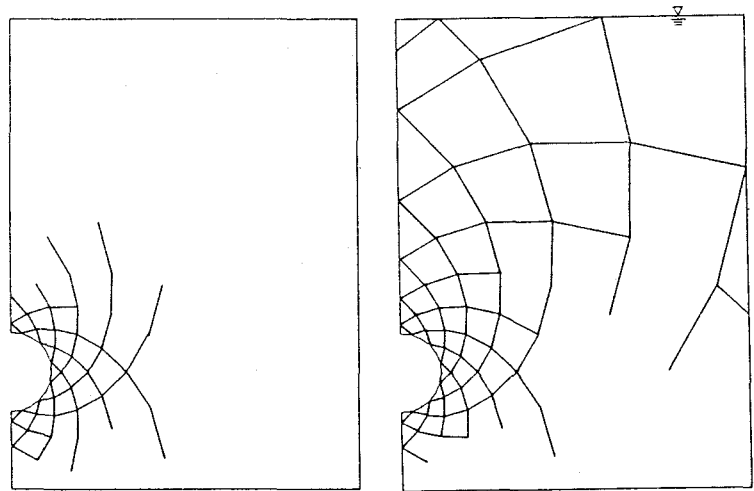


図-3 等変位線の比較(4D)

が地表面まで達するが、深い場合にはトンネル周辺でのみ大きな変位を示し地盤内には広がらない。図-4には4Dの場合で地下水を考慮しない場合と、地下水が地表面に位置している場合の、降伏したジョイント要素を示す。降伏したジョイント要素の分布を比較すると、地下水がない場合には、トンネル周辺付近のみに見られるのに対し、地下水が高い場合には地表面まで連続するような分布が多くみられ、地表面に構造物などがある場合には危険な状態であることが確かめられる。



(A) 水のない場合

(B) 地下水が地表面の場合

図-4 降伏したジョイント要素

4. あとがき

アルミ棒積層体によるトンネル掘削のモデル実験に対する、シミュレーション解析により、未固結地山におけるトンネルを掘削を対象とした、本解析の有効性を確認した。また、地下水位低下工法の効果を検討し、地下水位が高い場合には地盤拘束圧の減少により、トンネルの安定性は低下することが認められた。しかしながら、実際のトンネルの掘削段階ごとの挙動を予測するためには、3次元解析法に拡張する必要があると考えられる。

参考文献 1)八島厚(1985):「不連続性地盤の力学特性とトンネル掘削問題への応用に関する研究」, 京都大学博士論文