

2次元および3次元有限要素法によるトンネル脚部沈下モデルの提案

(株)熊谷組 正 平野 正幸 (元山大学生) (株)高松建設 非 古谷 直之 (元山大学生)  
 (株)熊谷組 正 松尾 勉 (株)熊谷組 正 御手洗 良夫  
 山口大学 正 中川 浩二

1. はじめに

近年、軟弱地山中のトンネル掘削において切羽面の安定やゆるみ防止のため、トンネルアーチ部に対して各種の長尺先受け工法が開発され、数多くの現場で用いられるようになってきている。そのような地山ではトンネル掘削において、切羽周辺の地山がゆるむことによって、支保工に大きな荷重が作用し、支保工脚部の地耐力不足で脚部の沈下量が大きくなることがあるが、それに対する対策工の開発はアーチ部の対策工に比べると遅れているようである。そこで、本研究では脚部沈下のメカニズムとその対策について検討を行うため、有限要素法を利用して脚部沈下のモデル化を行い、そのモデルを用いて脚部補強工の効果について考察を行った。

2. 対象トンネルの地質及び脚部沈下の実態

本研究で検討するトンネルは、日本鉄道建設公団による発注のもと、施工された新幹線トンネルである。そのトンネルは、土被りが10～20m程度でN値が50以上の新鮮岩盤の区間と土被りが10m程度で、地山のN値は10～20の軟弱な地盤条件の2つの区間からなる。前者の区間では天端沈下、地表面沈下、脚部沈下はあまり生じておらず、トンネル掘削にはさほど危険な地山ではない。後者の区間では先行変位を抑制する補助工法としてAGF工法が施工されているにも拘わらず、天端、地表面、脚部の沈下は抑制されていない。本研究ではこの脚部沈下が大きく起きている区間について、FEMを用いてモデル化を検討する。

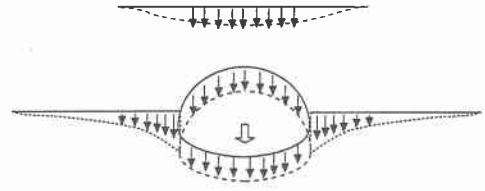
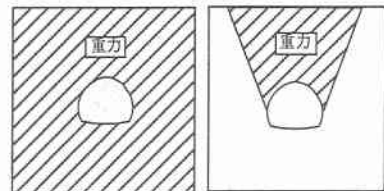


図-1 脚部沈下の変型モード



(a)モデル1 (b)モデル2

図-2 各モデルの概念図

3. 2次元有限要素法による脚部沈下現象のモデル化

本研究では、実際の脚部沈下を生じたトンネル施工を参考にモデル化を行った。実施工の計測データより、1) 天端沈下と脚部沈下が同程度の沈下量を示す、2) 収束時の地表面沈下量と天端の沈下量が同程度である、

- 1) のことから図-1のような剛体変位を起こす変型モードを示すものと考えられる
- 2) のことからトンネル掘削に伴うゆるみ領域はトンネル地表面まで達しているものと考えて次の2つのモデルで解析を行った。

① 領域全体に重力を考慮した掘削解析 (図-2 (a))

② トンネル上部斜め方向のみ、重力を与えてた解析 (図-2 (b))

①の掘削解析では切羽進行の影響を擬似的に考慮するため、応力解放率による掘削解析を行った。応力解放率とは、切羽の仮支保効果を考慮するもので、切羽の進行とともに増加する。応力解放率が0%の時は未掘削を表し、100%の時は切羽が対象断面に影響を与えないほど遠くへ離れたことを意味する。逐次掘削の実現は、トンネル壁面に  $P = P_0 \cdot (1 - \alpha / 100)$  ( $P_0$ : 初期

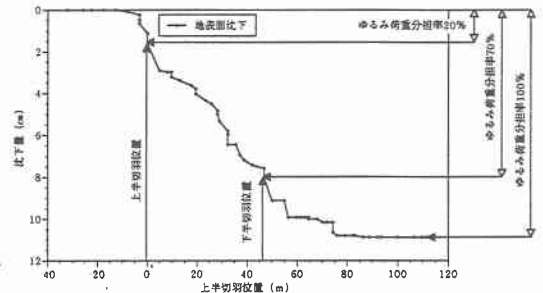


図-3 計測データの地表面沈下によるゆるみ分担率

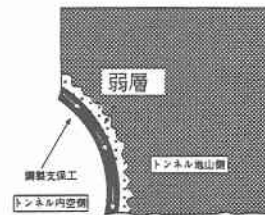


図-4 弱層の概念図

応力、 $\alpha$ ：応力解放率)に作用させ解析することによって行う。②の解析では逐次掘削を考慮するために、実測データから、切羽の進行と変位の関係を求めた。図-3にその一例を示す。この関係から切羽進行にともなう変位の発生率をゆるみ荷重負担率とした。例えば上半掘削時は全ゆるみ荷重の20%を作用させた解析を行うことになる。また、それぞれのモデルに弱層という概念を用いた。弱層の導入理由は、脚部沈下は図-4の支保と地山がうまく接合されないために生じるという仮定を表現するためである。弱層の幅、弾性係数は考察の結果、幅は0.5mで弾性係数は地山の1/10を採用した。解析結果を図-5に示す。グラフはトンネル側壁から水平方向に延ばした測線上の鉛直変位を表している。モデル1の掘削解析では上半掘削後、また上半支保後の脚部の沈下があまり現れていない。また、弱層有無によっての違いもさほど変化がない。しかし、モデル2の解析結果を見ると上半掘削後から脚部の沈下が見えて、各施工過程がよく表れている。また、弱層の有無によって、弱層が導入されているモデルの解析結果は脚部沈下の剛体変位がよく表現できている結果となった。

以上のことからわかるようにモデル2のゆるみ解析は計測データによる特徴を適切に表現できていると思われる。

4. 3次元有限要素法による脚部沈下現象のモデル化

2次元解析で行った脚部沈下モデルを次は3次元でモデル化を行った。3次元解析では、モデル2のゆるみ荷重負担率で逐次掘削を表現したゆるみ解析によってモデル化を行った。また、弱層を導入し、剛体変位を起こすような脚部沈下のモデル化も行った。

図-6に示すように計測データから3次元モデルにかけるゆるみ領域を決め、トンネル掘削部分は初めから掘削した状態で解析する。2次元解析で表現した各施工過程は図の点線部である。

図-7に解析結果を示す。図は、各測点におけるトンネル縦断方向における鉛直方向変位である。トンネル延長40mが上半切羽位置で、80mが下半切羽位置である。図を見るとわかるように上半切羽から天端、脚部、地表面ともに沈下が起きていて、下半切羽でトンネル断面の拡大によって再び沈下が起きていることが適切に表現できている。また、脚部の変位が少し小さいが、天端、脚部、地表面が同じように沈下し、前記で述べた脚部沈下のモデルが表現できている。

5. まとめ

本研究では2, 3次元FEMを用いて土破りが小さく、軟弱地山におけるトンネルの脚部沈下のモデル化を行った。その結果、ゆるみ領域および弱層を用いることである程度の再現は可能であることが示された。

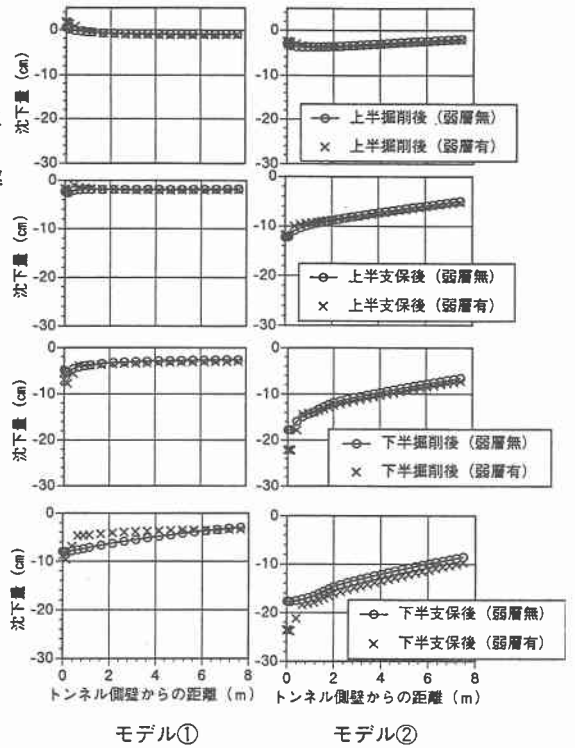


図-5 2次元解析の結果

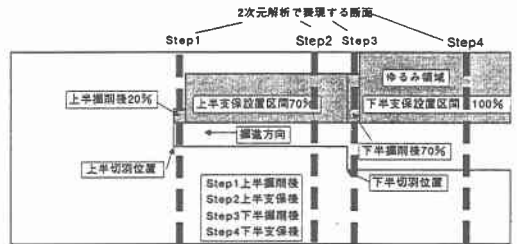


図-6 ゆるみ荷重のかけ方

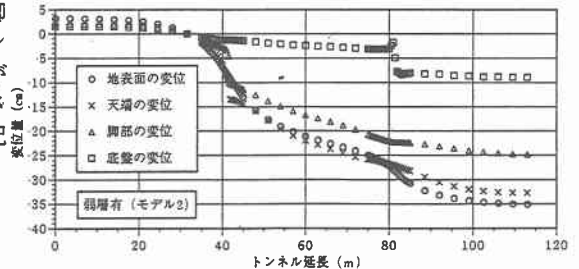


図-7 3次元解析の結果