

III-367 トンネル掘削に伴う地表沈下の三次元解析

国鉄 鉄道技術研究所 正会員 ○杉山 友康
 " " 正会員 朝倉 俊弘

1. まえがき

近年、都市近郊において土被りの浅いトンネルが建設される事が多くなり、周辺構造物に及ぼすと思われる地表沈下量を的確に予測することの重要性がさらに高くなっている。これらを予測する方法として、有限要素法による数値解析がさかんに行われるようになってきているが、これらのほとんどが二次元的な問題として扱っている場合が多く、実際のトンネル掘削に伴う地山挙動を把握しようとする場合は、三次元的な取扱いが必要となる。

本発表は、地山の三次元的な沈下特性を検討するために土被りの浅いトンネルを対象としたFEMによる三次元弾性素掘解析を行い、さらに二次元弾性素掘解析との比較を行って、解析結果の差について検討を加えたものである。また、支保を考慮した二次元弾塑性解析により支保、インバート、掘削工法の違いによる沈下抑制効果について検討した。

2. 解析の概要

解析は、図-1に示すモデルのように三次元解析では地山を六面体またはくさび形五面体要素とし、二次元解析(NATMFEM¹⁾)では地山を三角形または四角形平面歪要素、ロックボルト、吹付けコンクリート、インバートコンクリートはロッド要素で表現した。トンネル断面は複線電化の標準断面、二次覆工厚30cmを考慮して掘削断面を定めた。掘削断面の直径は、 $D \approx 10\text{m}$ である。入力した物性値は未固結な洪積砂層を想定し、 $\gamma = 1.6\text{t/m}^3$ 、 $\nu = 0.35$ として変形係数を $E = 5, 10, 20, 30\text{MPa}$ (二次元解析では $E = 20\text{MPa}$ のみ)と変化させ、それぞれ土被り10m, 30mについて解析した。なお、三次元解析ではプログラムの性格上、応力解放法でなく直接載荷法によった。

3. 比較検討項目と解析ケース

地表沈下の特性を検討するために、次に示す項目に着目し、解析ケースを設定し計22ケースとした。

- (1) 三次元弾性解析による沈下特性
- (2) 二次元弾性解と三次元弾性解の沈下特性の違い
- (3) 二次元弾塑性解析による支保、インバート、掘削工法の違いによる効果

4. 解析結果

解析で得た縦断方向の沈下曲線を図-2~4に示す。

(1) 三次元弾性解析

三次元弾性解析では、地表沈下量は変形係数に反比例して減少し、土被りが大きくなると増大する傾向を

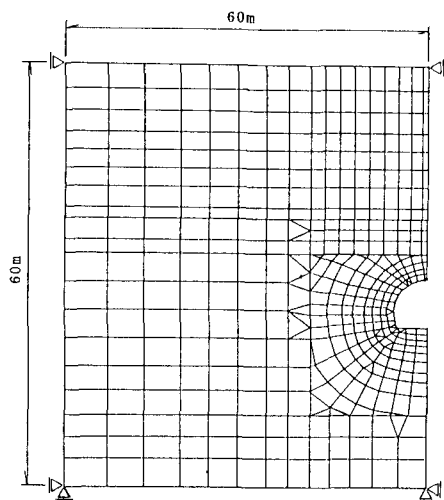
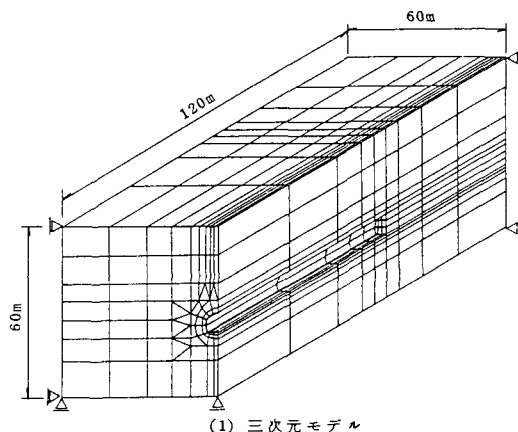


図-1 要素分割図

示す。図-2 は過去のNATMで施工された土被りの浅い鉄道トンネルでの土被りと地表沈下量の関係を示したものであるが、これから沈下の影響が顕著に現れるのは土被り10m付近を境にそれよりも浅いトンネルであって、それよりも深くなると沈下量は小さくなっており、解析結果とは一致していない。

(2) 三次元解析と二次元解析

三次元解析での地表沈下量は、二次元解析よりも25%程小さな値となった。トンネル断面が無限延長に存在するとして解析される二次元モデルに対し、三次元モデルでは切羽面が構造体として存在しその支保効果が現われるためと思われる。クリープ函数を用いて三次元的効果を持たせた二次元解析は、その入力値で縦断方向の沈下曲線を決めているが、三次元解析では土被りによりその形状は変わる。つまり、土被りが浅いと沈下影響範囲は、トンネル周辺に集中するが深くなると広がる傾向を示し、切羽での沈下率も土被りが増大すると大きくなる。

(3) 支保、インバート、掘削工法の違いによる効果

図-4 より支保の効果は、素掘の場合より約30%あるが、インバート施工前に沈下が収束するため解析上はインバート施工の効果は現れない。また、全断面工法の沈下量がベンチカット工法よりも小さいのは、解析上早期に断面閉合がされるためと思われる。

5. おわりに

三次元弾性解析により、土被りの浅いトンネル掘削に伴う解析上得られる三次元的な沈下特性について二次元解析と比較検討したが、実地盤での挙動と整合性をとることは難しい。今後、解析を積み重ね実測値、実験値と比較する等して三次元的地山挙動の解析の適用性について検討を重ねて行きたいと考えている。最後に本解析を進めるにあたり、鉄道技研土屋主幹研究員、ダイヤコンサルタント菱谷氏に御指導、御協力をいただいた。厚く謝意を表し結びとする。

(参考文献)

1) 土屋 敬：NATM設計プログラムの開発，土木学会論文報告集 No.346/Ⅲ-1, 1984.117-123

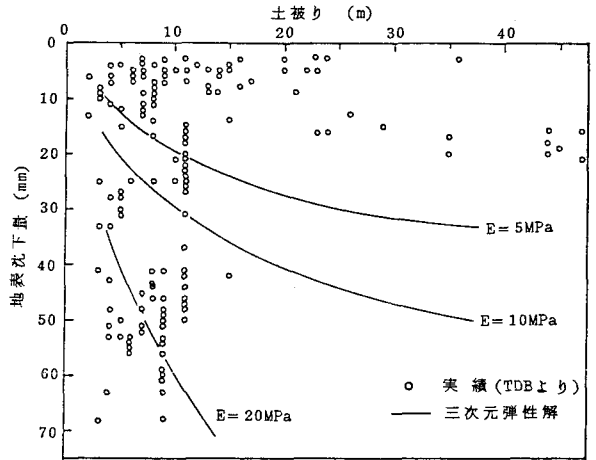


図-2 土被りと地表沈下量の関係

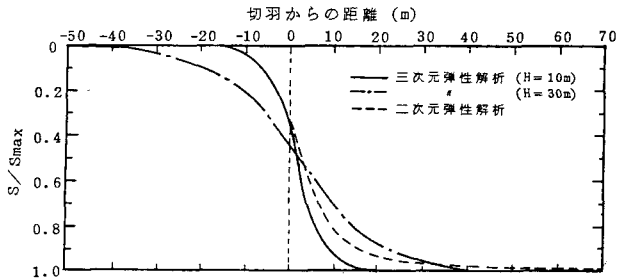
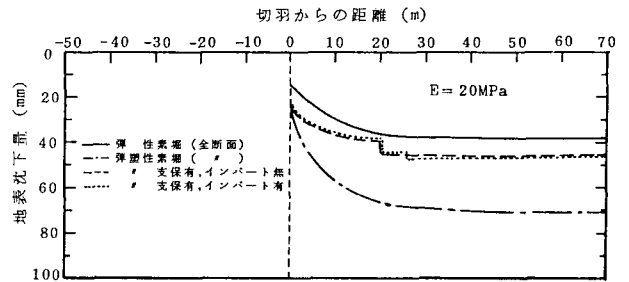
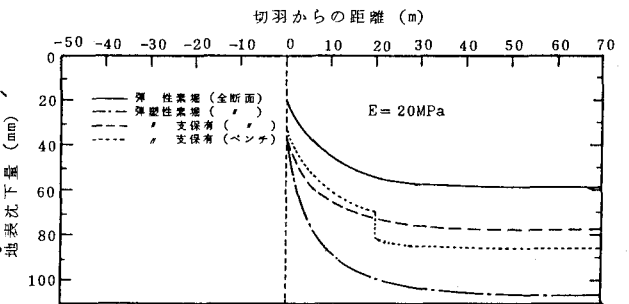


図-3 弾性解析による縦断沈下曲線



(1) 土被り10m



(2) 土被り30m

図-4 二次元弾塑性解析による縦断沈下曲線