

トンネルの FEM 解析における解析領域の影響

首都大学東京 学生会員 ○朝位 充
 正会員 土門 剛
 正会員 西村和夫

1. 研究の目的

近年,都市部では既設構造物の直下あるいは近傍を山岳トンネル工法で掘削する事例が増加している.その場合,周辺構造物への影響を評価する必要がある,数値解析によって地表面沈下や周辺地盤の変位の状況などを事前に調査する.最近では三次元有限要素法もかなり一般化してきたが,地盤構造物の構築に伴う地盤の変形や応力解析には,依然として,二次元解析が主流である.

しかし,半無限領域である地盤に対して有限要素法を適用する場合,領域のとり方によって求められる変位が異なってしまうという問題があるものの,領域のとり方について未だに定まった考え方がないのが現状である.例えば,トンネル下部の地盤深さ(下方領域)を深くしていき,トンネル周辺の地表面沈下量を求めると,現場でリバウンド(隆起)が起こることは稀であるのに対し,解析上では地表沈下は減少し,逆に隆起してしまうという現象がよく見られる.

本研究では,解析領域の設定方法と結果に及ぼす影響に着目し,領域の設定が沈下量に対しどのような影響を与えているのかを検討し,妥当な領域設定を考察する.

2. 解析手法

解析プログラムは PLAXIS を使用し,弾性解析を行った.物性値は表 - 1 に,解析モデルは図 - 1 に示す.下方領域を H_d ,側方領域を H_s とし,原点はトンネル直下の底面部にとる.

今回の解析では,下方領域 H_d を変化させていき,それぞれの下方領域に対して,側方領域 H_s を $5D - 60D$ (D はトンネル径)で変化させ,地表面沈下量,地中の鉛直応力について検討した.本稿では下方領域 H_d を $6D$ で固定し,側方領域を $5D - 60D$ で変化させたもののみ示す.

3. 解析結果

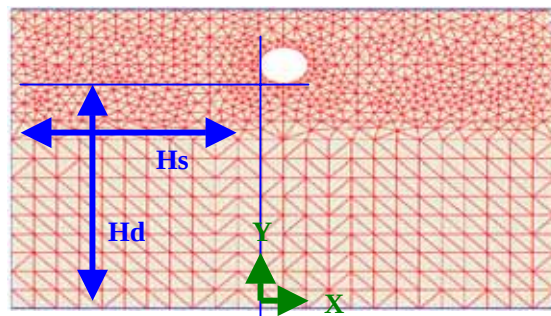
3.1 地表面沈下量

H_d を固定して, H_s を変化させた場合の地表面沈下量を図 - 2 に示す.沈下量は $\gamma D^2/4E$ を除して無次元化している. H_s を大きくしていくと沈下量が減少し,リバウンド量が大きくなっているのがわかる. H_s が $10D$ 以上の場合,最大沈下量,リバウンド量ともに解析値にほとんど差は見られない.

次に,それぞれの形状を見るために沈下量を正規化したものを図 - 3 に示す.これによると, $H_s 5D$ と $H_s 10D - 60D$ を比較するとリバウンドピーク値から巾 $50m$ までの形状が異なっている.また, $H_s 5D$ では図-3 の正規化沈下 0 の外側の沈下勾配が $H_s 10D$ 以上のものよりも小さいので,沈下勾配を過小評価してしまう可能性がある.

表 - 1 物性値

トンネル径 D	土被り	変形係数 E
10(m)	1(D)	2.86E+04(KN/m ²)
ポアソン比	側圧係数	単位体積重量
0.3	0.429	16.7(KN/m ²)

図 - 1 メッシュ図 ($H_d = 6D$ 、 $H_s = 5D$)

キーワード：有限要素法 / 解析領域 / 弾性解析 / リバウンド

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL：0426-77-2785 FAX：0426-77-2772

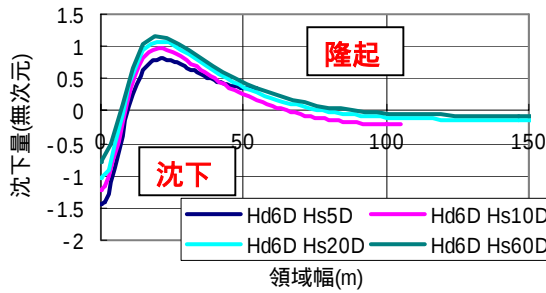


図 - 2 側方領域と沈下量の関係

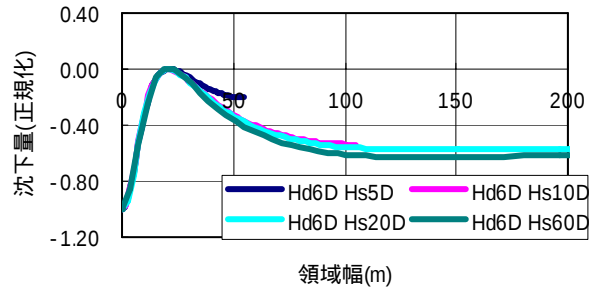


図 - 3 側方領域と沈下形状の関係

3.2 地盤内鉛直応力

トンネル掘削による地中の応力除荷によって、地盤内応力分布はどうなるのかを調べるためにインバート部(トンネル底)からの深さ 10m - 50m を調べた。図 - 4 にはインバートから 50m における鉛直応力分布を示す。縦軸はトンネル直下の応力値で正規化した値を示している。

Hd を 6D で固定した場合、Hs が 10D - 60D の応力分布がほぼ一致した形状を示しているのに対し、Hs が 5D だけが異なった形状を示している。なお、その他の深さでも同様の傾向となった。

弾性体の地盤内任意点の応力は、ブーシネスクの理論解を用いて近似的に表すことができる。ブーシネスク解を利用して、トンネル掘削という地中の応力除荷を、トンネル底部を仮想地表面とし、その上に負の力が作用するとして理論解を求めた。Hs10D - 60D の応力はブーシネスク解とほぼ同じ形状を示しており、実務上は全く問題ない程度の一致を示しているのに対し、Hs5D の応力はブーシネスク理論式とは異なった形状を示している。このことは側方領域が狭い場合、地盤内応力に及ぼす側方の境界条件の影響が大きくなることがわかる。

また、地表面沈下量に比べて応力は領域のとり方に影響しないことがわかった。

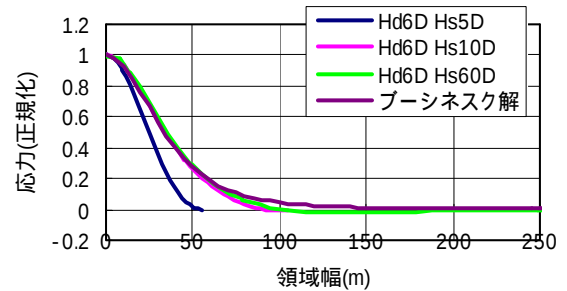


図 - 4 側方領域と応力の関係

4. 結論

トンネル掘削によって発生する除荷の鉛直応力は理論上地中で無限に分散していくが、解析において小さい側方領域を設定することで応力が分散する範囲が狭められトンネル周辺に鉛直応力が集中する。これが結果を左右している原因と考えられる。

今回の検討より、Hd を 6D で固定し、Hs を 5D - 60D で変化させた場合では、地表面沈下量、鉛直応力ともに Hs10D 以上の領域ではいずれも同じような形状を示した。

以上より、ある下方領域に対して、適当な側方領域を設定する必要があるということがわかった。

5. まとめ

側方領域を設定する際の関係を地盤内の応力分布、地表面沈下量という視点から求めることができた。しかし、地盤は完全に均一な弾性体ではない。今後は、土の変形係数の除荷、載荷における非線形性を考慮した構成則の設定した解析について取り組んでいく。