

III-94

トンネル掘削による地表沈下解析における領域の影響

金沢工業大学 正会員 土屋 敬
 鉄道総合技術研究所 正会員 小野田 滋
 金沢工業大学 正会員 関森 貴紀*
 金沢工業大学 正会員 宮崎 健治**

1. まえがき

トンネルの設計解析において、有限要素法(FEM)を用いた手法は、トンネルの実際の状態及び掘削過程を考慮するには最も効果的である。しかし、この手法にもいくつかの問題点がある。特に、解析領域をいかにとるか、また境界条件はどの様にとるかが、解析上で常に問題となる。既往の研究からも、領域及び境界のとり方が解析結果に大きく影響することが確かめられている。

本研究は、トンネル掘削に伴う地表面沈下に注目し、その形状を正しく算出するための最小解析領域と境界条件を考察しようとするものであるが、これまでのこの種の研究が主として線形解析によっているのに対し、非線形解析によっている点に特長を有する。

2. 既往の研究

既往の研究より、一般に次のようなことが言われている。

1) トンネル直上付近の横断方向の沈下形状は、正規分布曲線に近似する。その形状は、地質条件によって左右される。¹⁾

2) 線形弾性モデルを用いて有限要素解析を行った結果、解析領域としては、側方境界2H(H:トンネル中心から地表面までの距離)程度、下方境界1D(D:トンネル直径)程度を確保するのが適当である。²⁾

3. 解析及び境界条件

解析には、2次元非線形弾塑性FEM(NATMFEM)を用いている。地山物性値は、表-1(土屋の研究による³⁾)に示す通りである。解析断面は、水平方向に100D、深度方向に50D(1D=10.6m)を最大領域とし、幅と深さを段階的に変化をさせて解析を行うこととする。トンネル断面は、新幹線A型直線用断面、(覆工厚50cm)を想定し、初期土被り高は6Dとする。

図-1は、研究に先立ち、境界条件を決定するため、解析領域をトンネル掘削面より(片側)水平幅7D、深さ3D及び水平幅20D、深さ10Dとし、表-2に示す2種類の境界条件について解析した結果である。この図から境界条件Bの場合は、境界条件Aに比べて沈下量が大きく計算される傾向にあり、領域の狭い7D×3Dにおいては、側面境界に近づくに従って、急激な勾配を示して沈下することが分かる。これは、地表面沈下形状が正規分布曲線を描くとする既往の研究事例と比較しても不自然であり、境界条件Aの方がより実際の現象を反映していると考えられる。したがって、境界条件はAが適切であると判断し、以下の解析を進める。

表-1 地山物性値

岩 種	土 砂	軟 岩
単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	1.6	2.0
初期変形係数 D_0 (kgf/cm ²)	200	1000
破壊時変形係数 D_r (kgf/cm ²)	4	20
粘着力 C (kgf/cm ²)	0.2	1.5
内部摩擦角 ϕ (deg)	30	30
ポアソン比 ν_0	0.35	0.30
弾性限界 R_{BL}	1.0	0.3
非線形パラメータ n	2	4
一軸強度 q_u (kgf/cm ²)	0.69	5.2

表-2 境界条件

境界条件	方向	側面	底面
境界条件 A	水平方向	固定	自由
	鉛直方向	自由	固定
境界条件 B	水平方向	固定	固定
	鉛直方向	固定	固定

* 現 長野県土木部 ** 現 (株)宮崎機械センター

4. 必要解析領域の考察

図-2は、深さを3Dに固定し、水平方向の領域を2D、4D、7D、10D、20D、100Dに拡張した6ケースについて解析した結果である。この図より、沈下曲線がほぼ収束する10Dが水平幅として適当であると思われる。しかし、トンネル直上での沈下量は、すでに7Dで収束しており、7Dと10Dとの境界付近における若干の沈下量の相違が、トンネルそのものに大きな影響を与えないと考えられる。要素分割の手間、あるいは計算の経済性といった点を勘案すると、水平方向に7D程度を考慮するのが最適であると判断する。

図-3は、水平方向を7Dで固定し、深さを1D、3D、5D、10D、50Dに拡張した5ケースについて解析した結果である。この図から、50Dとした場合は、トンネル掘削による除荷効果により、地表面が全体に浮き上がるような挙動を示しているが、他の1D~10Dの範囲では沈下量にそれほど変化がみられず、沈下形状も変わらない。したがって、深さ方向の領域は、1Dでも可能であると判断する。

図-4・5は、物性値を土砂として、同様の解析を行った結果である。この図を軟岩の場合と比較すると、沈下量そのものは、軟岩の10倍近い値となるものの、沈下形状にはほとんど変化がみられない。したがって、必要解析領域の判断材料として地表面沈下形状に注目する限りでは、地質条件によって解析領域を変える必要はないと考えられる。

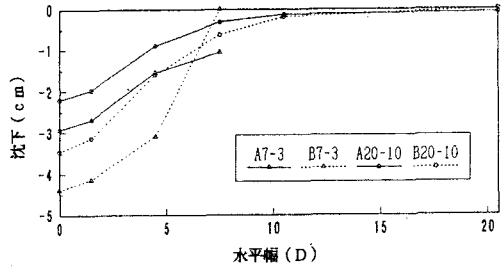


図-1 境界条件A・Bによる沈下形状

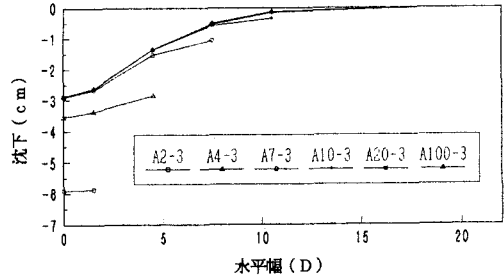


図-2 水平方向の領域の影響（軟岩）

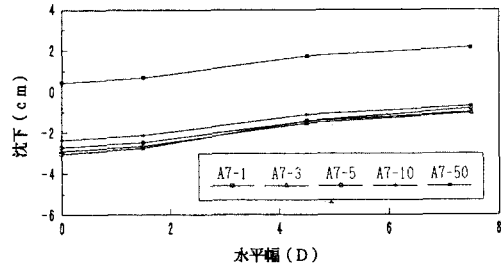


図-3 深さ方向の領域の影響（軟岩）

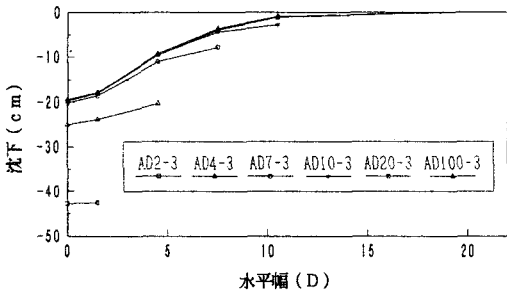


図-4 水平方向の領域の影響（土砂）

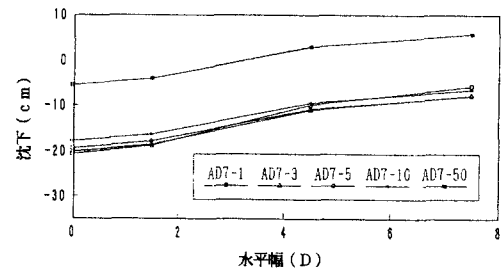


図-5 深さ方向の領域の影響（土砂）

《参考文献》 1) 島田隆夫：土被りの浅い山岳トンネルの地表沈下，土木学会論文報告集，Vol. 296, 1980
 2) 角湯克典・猪熊 明・山村浩介：未固結合水地山トンネルにおける地盤変状予測に関する研究，トンネル工学研究発表会論文報告集，Vol. 1, 1991 3) 土屋 敬：ロックボルト・吹き付けコンクリートトンネル工法的设计に関する研究，1986