

山岳トンネル坑口部の応力・変形に関する2次元有限要素解析

鳥取大学	学生会員	○渡上	正洋
鳥取大学	フェロー会員	西村	強
大成建設(株)	正会員	文村	賢一
鳥取大学	正会員	河野	勝宜

1. 緒言

トンネル坑口部では、トンネル軸線と斜面の関係に注意し、トンネルの安定性、ひいては斜面の安定性に留意する必要がある¹⁾。本研究では、地山の形状を三角形と台形の2形状に簡略化して、2次元弾性有限要素解析により自重による地盤内応力を求めた。その結果、地山応力の特徴として、 σ_1/σ_y (ここに σ_1 :最大主応力(圧縮正)、 σ_y :鉛直応力)は斜面表面に近づくほど大きくなり、そして、斜面法尻部に近づくほど大きくなること示された。単位体積重量 γ 、斜面表面からの深さ h として、 $\sigma_y/\gamma h$ を求めると、これも σ_1/σ_y と同様の傾向を示していた。このような初期応力状態において、斜面法尻部にトンネル坑口を設置した際の周辺地山の応力変化について、2次元有限要素解析例を示している。この解析では、斜面表面部では、 $\sigma_y/\gamma h=1.0$ とならないことから、 σ_y を鉛直応力としたトンネル横断断面内の変形解析を行っている。平面ひずみ状態としてポアソン比の影響を例示するとともに、トンネル軸方向に平面応力状態とする例も示している。

2. 三角形および台形を仮定した地山応力の2次元弾性有限要素解析

水平面内に x 軸と y 軸をとり、トンネル軸方向を x 軸、鉛直方向を z 軸とする座標系を考え、三角形地盤(Case Tri)と三角形地盤の山頂部から100m排土した台形地盤(Case Tra)の2形状の解析モデルを図-1に示す。傾斜角度 $\alpha=30^\circ 40^\circ 50^\circ 60^\circ$ と変化させ、対称性を利用した半断面の弾性解析を行った。解析対象とする地盤の物性値をヤング率(E)=2000MPa、ポアソン比(ν)=0.25、密度(ρ)=2400kg/m³と仮定した。

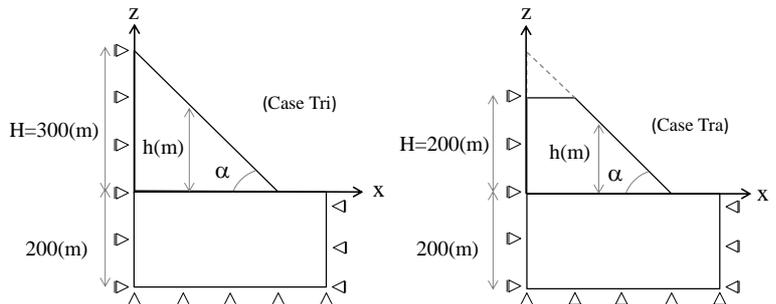


図-1 三角形および台形を仮定した地山解析モデル

トンネル軸(x 軸)に沿う三角形断面において、傾斜角度 50° を想定した地山解析モデルの、掘削を行う前の σ_y の分布と、素掘りトンネルとして掘削高さ $D=7.5m$ として1.0D掘削を行い、法尻部に坑口を設置した際の σ_y の分布を表した斜面法尻部の拡大図を図-2に示す。ここでは、圧縮を正として、最小値0.0MPaから最大値8.3MPaまでの範囲のコンター図を示す。図に示す通り、坑口掘削後は、トンネル切羽付近において σ_y の値が増加している。

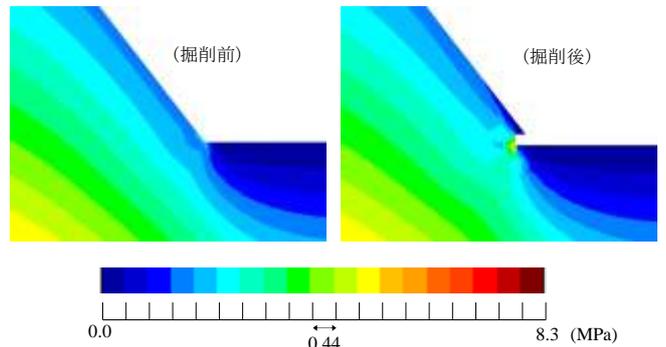


図-2 鉛直応力 σ_y の分布の坑口部拡大図

上記に示す様な初期応力状態において、図-3に σ_1 と γH の比をとった $\sigma_1/\gamma H$ の分布を示す。 α が小さくなるほど地山内部に近づくにつれ $\sigma_1/\gamma H=1.0$ に近づき $\sigma_1=\gamma H$ は成立するが、山裾部においては、 γH は σ_1 を上回る。図-4に σ_1 と σ_y の比をとった σ_1/σ_y の分布を表したグラフを示し、図-5に σ_y と γh の比をとった $\sigma_y/\gamma h$ の分布を表し

キーワード 有限要素法, トンネル坑口部, 主応力, 平面ひずみ, 平面応力

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学大学院 TEL0857-31-5297

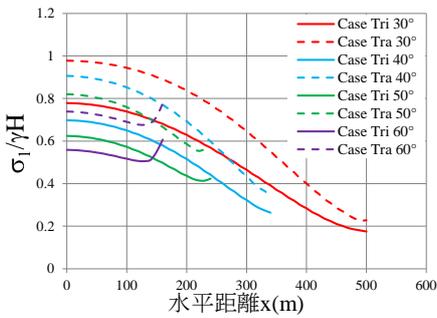


図-3 $\sigma_1/\gamma H$ の分布

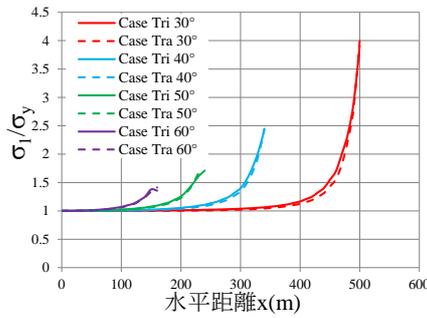


図-4 σ_1/σ_y の分布

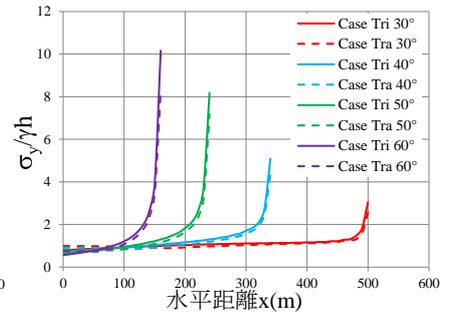


図-5 $\sigma_y/\gamma h$ の分布

たグラフを示す。図-4 より、山頂直下部では $\sigma_1=\sigma_y$ となるが、坑口部付近では σ_1 は σ_y を上回る。図-5 においても同様の傾向を示しており、坑口部においては、 σ_y は γh を上回る結果となった。

3. σ_y を鉛直応力としたトンネル横断断面内の変形解析

トンネル軸に直交する鉛直断面内における変形解析を行った。解析モデルを図-6 に示す。物性値としては、上記に述べたものと同様の値を使っている。また比較の対象として、坑口部での応力集中を再現する為、自重のみの状態での鉛直方向の変位分布を図-7 に示し、 $\Delta p=\sigma_y-\gamma h$ を上載圧として与えた状態での鉛直方向の変位分布を図-8 に示す。ここでは、鉛直上向きの変位を正とする。また、ポアソン比(ν)の影響を考慮し、 ν の値を、 $\nu=0.01, 0.25, 0.49$ と変化させ弾性解析を行った。坑口部より十分に離れた地山の内部であれば、平面ひずみの仮定が合理的であると考えられるが、坑口部においては、解析断面の軸方向の変位拘束を与えない平面応力として解析を行う事が適切な場合もある。よって、今回は平面ひずみ、平面応力の状態での比較を行った。

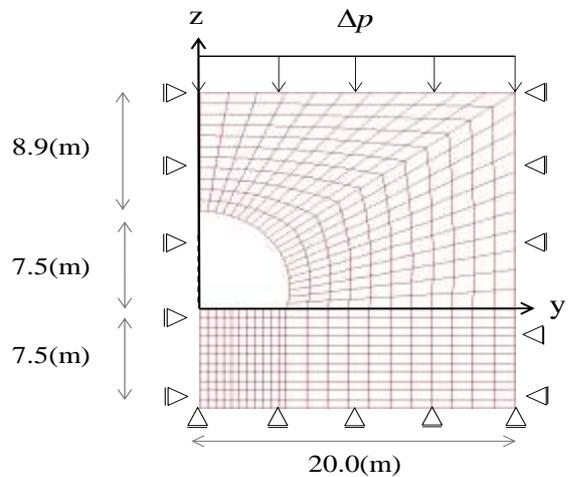


図-6 トンネル軸に直交する断面内の解析モデル

図-7 及び図-8 より、 ν の値が大きい状況下では平面応力状態としての解析結果の方が、天端及び地表面において大きな変形が発生している。このことから、坑口部においては2次元トンネル変形解析を行うに際し、トンネル軸方向の拘束条件について配慮する必要がある。

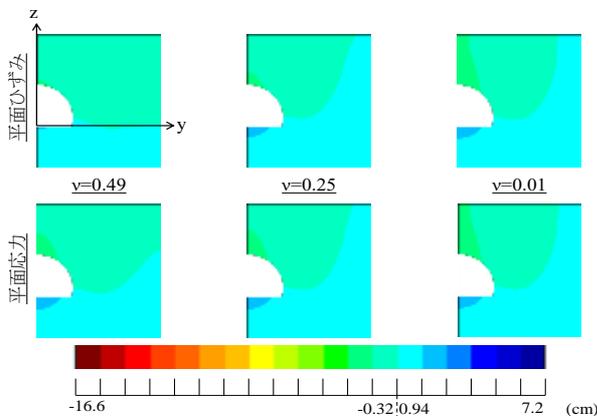


図-7 鉛直方向変位(上載圧なし)

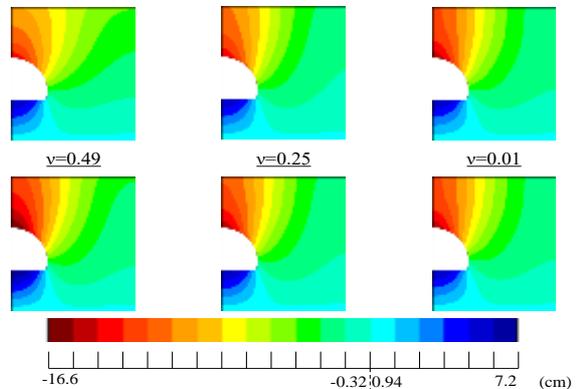


図-8 鉛直方向変位(上載圧あり)

参考文献：

1) 土木学会：トンネル標準施工書 山岳工法・同解説，2016，p.121.