

トンネル切羽周辺における応力集中の定量的検討

応用地質(株) 正会員 竹林 亜夫
 (株)地層科学研究所 正会員○福田 毅
 前田建設工業(株) 非会員 梨本 裕
 (株)地層科学研究所 正会員 里 優

1. 背景および目的

一般に地山は安定した三軸応力状態にある。これを初期応力と呼ぶが、安定した地山にトンネルを構築した場合、初期応力状態から坑壁部等に応力が集中する二次応力状態へと遷移する。また、切羽付近では支保が施される前一時的に一軸応力状態となり、不安定な状態となる場合がある。その時、延性的な地山では坑壁部等に破壊を生じトンネル周辺地山に塑性域が形成されることとなる。一方、硬質な岩盤では岩片の剥離など急激な破壊をとまなう山はねが発生することがある。

そこで、本研究ではトンネル周りの二次応力再配分について、側圧係数およびトンネルの断面形状の違いに着目して、トンネル周辺および切羽に発生する応力について定量的に評価することを目的とする。また、弾性解析結果から破壊に対する危険性についても触れる。

2. 解析条件

解析モデルを図1に示す。解析に用いる物性値については、実際に山はねの事例が報告¹⁾されている神岡鉱山の地下実験施設の岩盤物性値を参考にし、表1に示す。また、岩盤の一軸圧縮強度は140MPaである。解析モデルでは土被りを50mとしているが、初期応力としては地下1000mに相当する鉛直応力(27MPa)を想定している。解析ケースについては、側圧係数 k の変化(case1 : $k=0.5$, case2 : $k=1.0$, case3 : $k=2.0$)およびトンネル断面形状の違い(円形, 馬蹄形)に伴うトンネル周辺地山の応力状態について検討を行う。

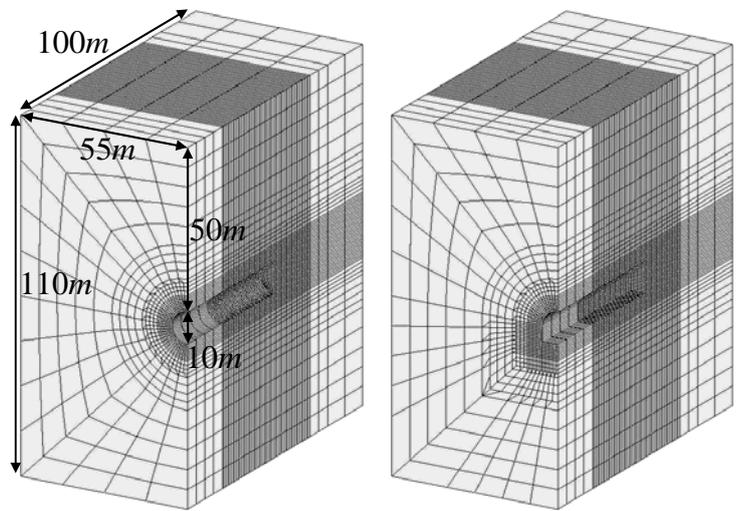


図1 解析モデル図(左:円形断面, 右:馬蹄形断面)

表1 材料物性値¹⁾

弾性係数 E(MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
5.4×10^4	0.16	27.0

3. 解析結果

切羽を考慮した三次元弾性解析を検討するためには、まず二次元における円孔周りの弾性解について押さえておく必要がある。そこで、表2に二次元円孔周りにおける弾性理論解²⁾を示す。表から側圧係数によって最大応力は大きく変化して、最小で初期応力の2倍、最大で5倍もの応力が円孔周りに発生している。

表2 二次元円孔周り弾性理論解

	最大応力 σ (MPa)	σ/P_0 (P_0 :初期応力)
case1 - $k=0.5$	67.5(側壁部)	2.5
case2 - $k=1.0$	54.0(等方)	2.0
case3 - $k=2.0$	135.0(天端部)	5.0

キーワード: トンネル, 切羽近傍, 応力集中, 三次元弾性解析, 山はね

連絡先: 〒112-0004 東京都文京区後楽2丁目2番20号井上旭門ビル3F (株)地層科学研究所 TEL03-5842-7677

以上の結果を背景に、三次元解析結果を表3と表4に示す。ここに、本解析結果の数値は単に要素内の応力値を表示している。

まず、表3では円形および馬蹄形断面において、切羽後方と切羽における最大主応力分布を示している。円形断面の切羽後方における最大主応力は前述の弾性理論解に概ね一致しているのに対して、切羽の主応力はそれより大きい応力集中が見られている。一方、馬蹄形断面では形状による影響が大きいため切羽後方では、踏前の隅角部で最大主応力となっているのに対して、切羽部では値は若干小さくなっているがインバートおよび側壁部で最大主応力となっている。表4では、初期応力に対するトンネル周辺地山に発生している応力を相対的に表現した。トンネル壁面・天端部・切羽付近といった箇所における応力集中の度合いが定量的に把握できる。

ここまで弾性解析による結果を示したが、岩盤の一軸圧縮強度が140MPa程度であることを踏まえると破壊の箇所およびその危険度についても評価できる。さらに、解析精度を向上させる等により脆性的な破壊あるいは山はね現象を解明する可能性が示唆されている。

4. まとめ

本研究では、二次応力再配分により生じる応力集中に関して定量的に検討を行った。その結果、山岳トンネルの切羽付近で発生する脆性的な破壊あるいは山はね現象を三次元解析でシミュレーションできる可能性を示唆している。今後は、さらに要素を細分化するなどして解析精度を向上した研究を継続する予定である。

最後に、本研究はジェオフロンテ研究会の三次元解析WGの研究成果であることを明記し研究会およびWGの諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 東後義孝他；神岡鉱山における地下空洞開削のための岩盤調査について，地下空間利用シンポジウム，1989.
- 2) 日本材料学会編，岩の力学～基礎から応用まで～，pp.568-577

表3 最大主応力分布図 (○：最大箇所)

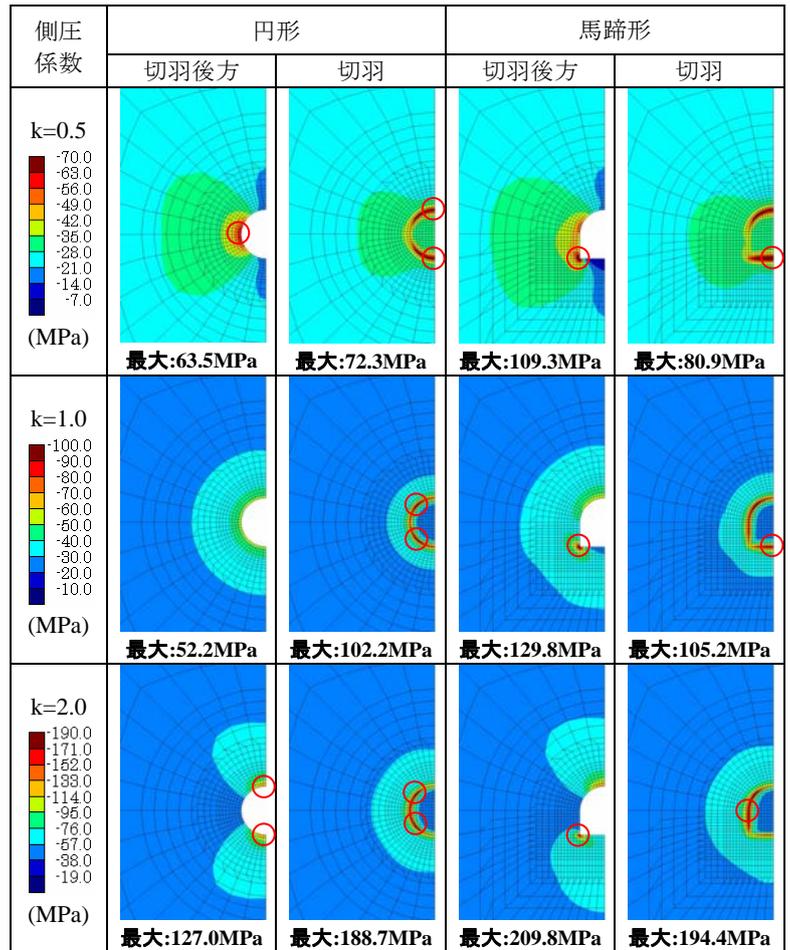


表4 初期応力に対する応力増分率

