

限界せん断ひずみを用いた切羽安定性評価

福島工業高等専門学校 正会員 ○林 久資
 大阪工業大学 正会員 青木 一男

1. 目的

我が国では、第三紀の泥岩や凝灰岩地山にトンネルを掘削すると、切羽が崩壊したり、断面の再構築が必要となるような押し出し性地山に遭遇することが稀ではない。押し出し性地山に遭遇した場合、十分な切羽の安定対策および内空断面の確保を行うことが重要である。押し出し性地山において、切羽の安定対策を行う場合には、長尺鏡ボルトを鏡面に打設したり、核残しを併用することが一般的である。しかしながら、現時点では押し出し性地山における切羽安定性評価は難しく、長尺鏡ボルトの適切な適用範囲や、併用本数の把握、地山条件に応じた核残しの適用範囲を選定できているか否かは不明確である。

しかしながら、林ら¹⁾は、切羽の安定性評価に限界せん断ひずみを用いることを提案し、図-1のように地山の軸圧縮強さに対する限界せん断ひずみを3段階にレベル分けし、限界せん断ひずみレベルⅢの領域が切羽前方に生じると、切羽崩壊の可能性が高いことを示唆している。

そこで、本研究では限界せん断ひずみによる切羽安定性評価手法を用いることで、切羽安定対策としての長尺鏡ボルトや、核残しが地山条件に応じて適切に選定できるかどうかを検討する。検討には、FLAC3Dによる三次元数値解析を行うこととする。

2. 解析概要

Aydanら²⁾は地山強度比が1.6~2.0以下になると押し出し性の現象が顕著にあらわれること、また、2.0以上では押し出し性の現象がみられないことを指摘している。さらに、谷本ら³⁾は、地山強度比が1.0以下になると0.8%を超える断面変形率が生じ、施工面で難渋することを指摘していることから、本研究では押し出し性の現象が顕著に現れると想定できる、地山強度比が0.5~1.0の場合を想定した。

地山の力学モデルは、弾完全塑性体的な挙動を呈するものとし、降伏判定にはモールクーロンの降伏基準を用いた。入力定数は、表-1のように設定を行った¹⁾。トンネルの断面は2車線道路トンネル。掘削工法は、ベンチ長10mのベンチカット工法を基本とし、切羽安定対策を行っていないもの、切羽安定対策を行っているものとして、ベンチカット工法に長尺鏡ボルトを併用したものや、ベンチカット工法に核残しを併用したもの、ベンチカット工法に核残しと長尺鏡ボルトをどちらも併用したものをモデル化した。ちなみに、長尺鏡ボルトの打設本数であるが、切羽の安定性に応じて打設本数を変動させることとした。

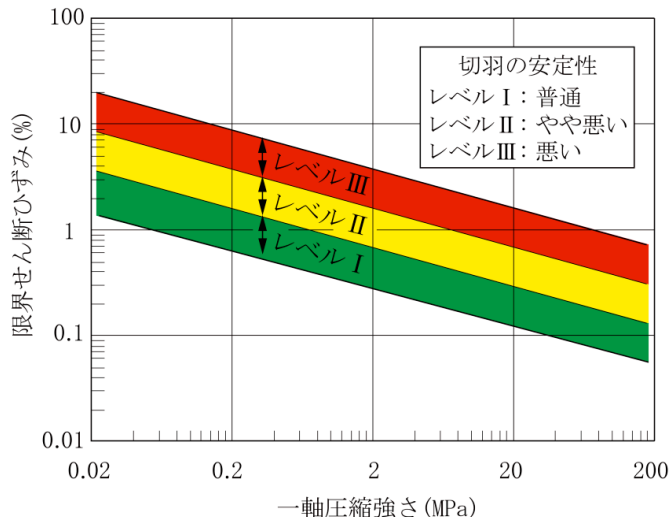


図-1 限界せん断ひずみによる切羽安定性評価

表-1 地山の入力定数

| 地山強度比 | 1.0 | 0.75 | 0.5 |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 単位体積重量(kN/m ³) | 20 | | |
| 変形係数(kN/m ²) | 4×10 ⁵ | 3×10 ⁵ | 2×10 ⁵ |
| ポアソン比 | 0.41 | 0.43 | 0.45 |
| 内部摩擦角(°) | 24 | 22 | 20 |
| 粘着力(kN/m ²) | 100~200 | | |

キーワード NATM, 補助工法, 核残し, 数値解析, 切羽安定対策

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾30 福島工業高等専門学校 TEL0246-46-0821

トンネル支保工規模の選定には、まず Salencon の理論解により、トンネルを無支保で掘削した場合の断面変形率を予測し、Hoek らが提案するガイドラインに対応させた¹⁾。支保工や長尺鏡ボルトの入力定数については、文献を参考にして決定した¹⁾。また、支保工、補助工法の力学モデルであるが、吹付けコンクリートがシェル要素、ロックボルト、長尺鏡ボルトがケーブル要素、鋼製支保工がビーム要素とした。

解析領域は、土かぶり 100m とし、インバートより下部の領域を 60m、横断方向と奥行き方向の領域を 100m とした。解析手順は、まず地山の自重解析を行い ($k_0=1.0$)、その後上半部分を 10m まで 1m ずつ掘削した。支保部材としての吹付けコンクリートや鋼製支保工は、切羽面より 1m 手前まで施工されるものとした。ロックボルトは、核残しを併用しない場合には切羽より 1m 手前まで、併用する場合には切羽面より 2m 手前まで施工されるものとした。上半部分が 10m 先進すると、その後は下半部分と併進させた。

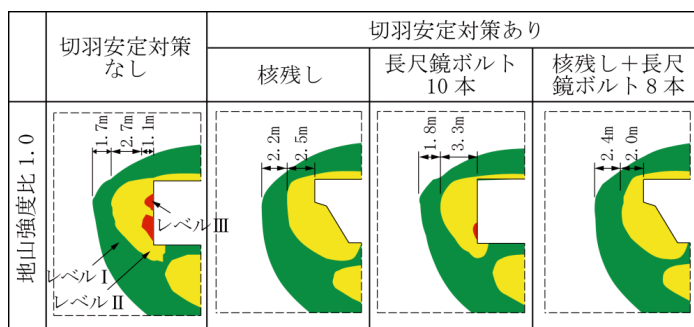
3. 解析結果および考察

まず、図-3 に示した地山強度比 1.0 の場合の、レベル I から III の限界せん断ひずみに着目する。ちなみに、ここでは粘着力が中間値 (150kN/m^2) の場合に着目する。切羽安定対策を行っていない場合は、限界せん断ひずみレベル III の領域が切羽前方にまで広がっている。限界せん断ひずみレベル III の領域は、切羽が崩壊の可能性が高いとされている¹⁾ことから、このような地山条件下では何らかの切羽安定対策が必要であると考えられる。一方、核残しを併用すると、切羽前方にはレベル III の領域は見られない。また、長尺鏡ボルトを 10 本併用した場合でもレベル III の領域はわずかな領域に限定されている。つまり、切羽安定対策を施さない場合には、切羽崩壊の可能性があるが、長尺鏡ボルトを 10 本程度や、核残しを併用することで切羽の安定性を保つことができる。さらに、核残しは新たな資材を用いずに切羽の安定性を向上させるものであるため、核残しを併用した場合、10 本程度の長尺鏡ボルトを節約しつつ切羽の安定性を保つことが出来るのではないかと考える。

次に、地山強度比が 0.75 の場合に着目する。ここでも粘着力が中間値の場合を示す。ここでは、切羽安定対策を施していないものや、核残しのみを併用したもの、長尺鏡ボルトを 18 本併用したものでは切羽崩壊の可能性が示唆されていることがわかる。一方、核残しと長尺鏡ボルト 18 本をどちらも併用すると、レベル III の領域は切羽前方わずかな領域に限定されていることがわかる。つまり、長尺鏡ボルトだけでは切羽の安定性を保つことが出来なかったが、核残しも併用することで、切羽の崩壊が防げることがわかった。

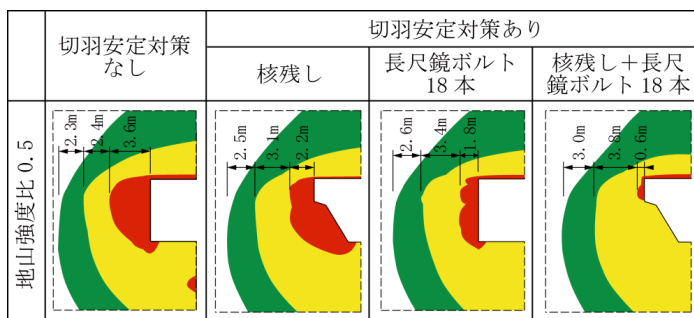
これらより、限界せん断ひずみを用いることで有益に切羽の安定性を評価できること。核残しを併用することで地山条件によっては長尺鏡ボルト本数を削減できる可能性があること。核残しと長尺鏡ボルトを両方併用することで、長尺鏡ボルトだけの場合よりも、切羽の安定性が向上することがわかった。

参考文献 1) 林久資, 青木一男, 吉岡尚也: 核残しを併用したときの押しし性地山におけるトンネル周辺挙動, 土木学会論文集 F1 特集号, Vol.66, No.1, pp.17-27, 2010. 2) ÖmerAydan, 赤木知之, 伊東孝, 川本眺万: スクィーピング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について, 土木学会論文集, No.448/III-19, pp.73-82, 1992. 3) 谷本親伯, 津坂仁和, 御手洗良夫, 青木俊彦: トンネル施工における許容変形量に関する研究, トンネル工学論文集, 第 16 巻, pp.81-92, 2006.



注: 限界せん断ひずみレベル I=0.3 ~ 0.7%, II=0.7 ~ 1.5%, III=1.5% ~

図-3 地山強度比 1.0 のときの切羽の安定性



注: 限界せん断ひずみレベル I=0.3 ~ 0.7%, II=0.7 ~ 1.5%, III=2.0% ~

図-4 地山強度比 0.75 のときの切羽の安定性