

切羽前方の地山条件が異なる領域がトンネル施工に及ぼす影響について

福島工業高等専門学校 学生会員 ○高木 将人
福島工業高等専門学校 正会員 林 久資

1. 目的

一般的に、トンネルが掘削される地山は掘削箇所によって岩盤の力学的特性が変化する。トンネルを掘削している過程で押し出し性地山のような地山が現れると、急激な地山条件の変化により切羽が崩壊したり、縫い返しが必要な場合がある。このように切羽前方に工事が難渋する地山が存在する場合、切羽がそのような領域に到達するまでに各種対策工を実施すれば、安全に施工を実施することができると考えられる。しかしながら、現在においては対策をする時期を決める指標は見当たらない。また切羽前方の地山条件が異なる領域の位置や規模を詳細に予測することは難しい。対策が早ければ切羽の崩壊等は免れるが経済性が悪く、対策が遅ければ切羽の崩壊や、縫い返し等により工事が難渋する恐れがある。

本研究では、切羽前方地山に工事が難渋するような押し出し性地山が存在する場合、切羽が到達するまでにトンネル周辺地山にどのような影響が発生するかを調べる。この結果を応用することにより、実施工時にトンネル周辺地山に何らかの影響が生じた場合に切羽前方の領域を予測できたり、各種変位抑制対策の施工時期や施工規模を決定するのに参考になるのではないかと考える。

2. 研究内容

本研究では、施工上切羽の安定性や内空断面の確保が問題となる押し出し性地山に着目し、切羽前方領域の地山条件を変化させた場合のトンネルに及ぼす影響を三次元数値解析で再現する。解析コードは、有限差分法三次元数値解析ソフトの FLAC3D を利用する。地山の力学モデルは弾完全塑性体として扱い、降伏判定にはモールクーロンの破壊基準を用いる。解析領域は、モデルの奥行きを 150m、高さを 100m、横断方向を 50m とし、トンネルは高さ方向の中間に半断面のものを施工する。また、解析領域の境界条件は上面を自由端にし、側面をローラー支点とし、底部を上下方向固定としている。

トンネル断面は、高速道路トンネルでの施工を想定し 2 車線高速道路断面とする。解析領域の土かぶり高は、100m を越えると押し出し性の現象が顕著に現れている施工事例が多いことから 100m とする。掘削方法は、上半を 1m ごとに掘削し上半が 10m 掘削できた段階で下半も上半に合わせ 1m ごとに併進している。インバートは下半とインバートの長さの差が 10m に達したときに 10m 掘削するものとする。また、支保部材の鋼製支保工は H-150(SS400)、吹付けコンクリートの吹付け厚さは 20cm とする。

3. 解析結果

図-1 はトンネル上半部分の押し出し変位を示したコンター図である。押し出し変位とは、トンネル縦断方向の変位のみを取得したものであり、切羽より坑口側をプラスとしている。図-1 (a) は比較のために地山条件が全領域一定の場合の解析結果を、図-1 (b) (c) (d) では地山強度比が前方で 1.0、後方で 1.5 となる地山で上半切羽が到達した際の押し出し変位を表している。また、地山強度比とは一軸圧縮強さと単位体積重量、土かぶり高さで表される値である。

表-1 地山の入力定数

地山強度比 Cf	土かぶり H(m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	ポアソン比	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)
1.0	100	20	2000	0.41	24	150
1.5	100	20	3000	0.41	30	250

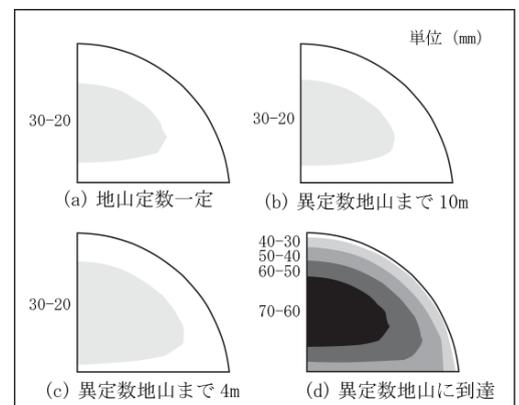


図-1 切羽の押し出し変位

キーワード NATM, 押し出し性地山, 切羽安定性

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 TEL 0246-46-0821

解析の結果を以下に示す。まず、地山の条件がすべて同一の図-1(a)と地山強度比の変化する境界面より10m手前に上半切羽が到達した図-1(b)の場合の切羽押し変位比べると、大きな差異は見られなかった。つまり、異定数地山から10m程度以上切羽が離れていると異定数地山からの影響は微小である。境界面より4m手前に上半切羽が到達した際の変位を表す図-1(c)に着目すると、図-1(a)よりも30~20mmの領域が1.0m程度中心部から外側へ広がっているのがわかる。また、上半切羽が境界面に到達した図-1(c)では、70~60mmの変位が切羽中央から2.5m程度に達している。文献¹⁾によると70mmを超える切羽押し変位が生じると切羽崩壊の可能性が高くなるとあるので、異定数地山に到達した地点では切羽崩壊の可能性が高いことがわかる。これらの結果から切羽手前に押し出し性の現象が顕著に現れる地山が存在する場合、その領域から10m程度手前から切羽には何らかの影響が生じ始めることがわかった。つまり、異定数地山まで10mを切ると切羽安定対策などが必要になってくることが示唆されている。

次に、トンネル側壁部における切羽進行に伴う断面変形率について示す。図-2は縦軸を断面変形率、横軸を地山強度比の変化する境界面から切羽までの距離を示したものである。白丸は地山強度比が一定の場合、黒丸は地山強度比が前方で1.0、後方で1.5の場合である。

まず地山強度比が変化しない場合に着目する。切羽が進行すると切羽が到達する約10m手前より徐々に断面変形率が增大していることがわかる。その後切羽が通過すると断面変形率の増加の割合は更に大きくなるが、切羽が通過して20mを過ぎると一定値に漸近することがわかる。ここでの収束時の断面変形率は0.43%である。

次に、前方に地山強度比1.0の地山が存在する場合、つまり掘削途中に押し出し性の現象が顕著に生じる領域を設定した場合、地山条件が一定の場合と同様に切羽が到達する10m程度手前より徐々に断面変形率が增大していることがわかる。しかし、地山条件が変化する場合のほうが、僅かであるが切羽到達までの断面変形率が大きくなっていることがわかる。その後切羽が到達、通過すると切羽離れ20m程度で断面変形率は一定値に収束する。このときの断面変形率は0.78%程度である。

上述したように、切羽が到達する直前の断面変形率に僅かな差異があるため切羽が到達する直前の切羽進行に伴う断面変形率を拡大し、図-3に示した。その結果、一定条件下にトンネルを掘削した場合より、異定数地山が存在するほうが、異定数地山に切羽が到達する10m程度手前より断面変形率が增大していることがわかった。つまり、切羽の押し出し変位が異定数地山に到達する10m手前から切羽押し出し変位が変化したのと同様に、異定数地山に切羽が到達する10m程度手前より断面変形率が変化していることがわかる。

4. まとめ

本研究では、切羽前方に地山条件の異なる領域を設定し解析を実施した結果、切羽の押し出し変位は地山条件の異なる境界面より10m程度手前から変化していることがわかった。また、断面変形率も地山条件の異なる境界面より10m程度手前から増大し始めることがわかった。

参考文献

- 1) 田中一雄他：切羽変位計測による切羽崩壊予測の一試み，トンネルと地下，Vol.27, No.6, pp.55-60, 1996.

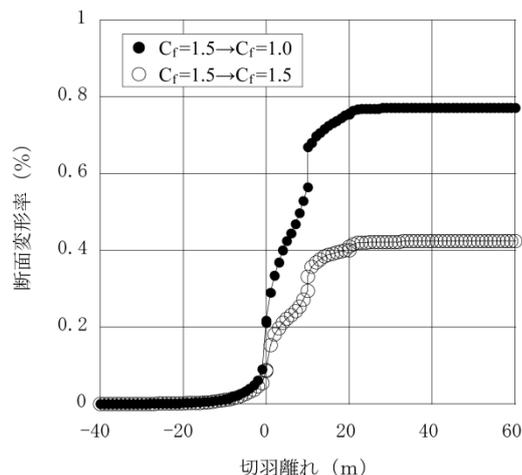


図-2 断面変形率

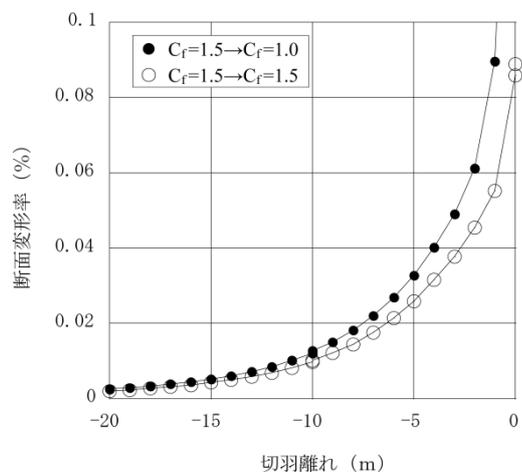


図-3 断面変形率(切羽到達直前)