

押し出し性地山における断面の早期閉合がトンネル挙動に及ぼす影響

大阪工業大学大学院 学会員 ○林 久資
 大阪工業大学工学部 正会員 青木 一男
 大阪工業大学工学部 正会員 吉岡 尚也
 大阪工業大学工学部 正会員 長谷川 昌弘

1. はじめに

我が国では、新第三紀層の泥岩や凝灰岩などにトンネルを掘削すると、トンネル断面が徐々に内空に押し出されてくる押し出し性地山の現象が生じることが多々ある。押し出し性地山においてトンネルを施工する場合、トンネル断面の安定性や切羽の安定性を保つことが重要であるとされている。そこで本研究では、トンネル断面の安定対策である断面の早期閉合に着目し、トンネル断面を早期閉合した時にトンネル周辺地山の挙動に及ぼす影響を三次元数値解析(FLAC3D)により検討を行った。

2. 解析概要

トンネルの形状は、図-1 に示すようにベンチ長を 20m または 5m とし、断面の閉合時期の違いを模擬した。

アイダン¹⁾らは、地山強度比 C_f が 1.6~2.0 以下になると押し出し性の現象が発生するとしていることから、ここでは地山強度比 $C_f=1.0$ を想定して解析を行った。また、地山強度比 $C_f=1.0$ のときの支保工規模の選定には、Salencon の理論解²⁾によりトンネルを無支保で掘削したときの変位を予測し、Hoek ら³⁾が提案するガイドラインをもとに決定した。その結果、ロックボルト長さ 4m、吹付けコンクリート厚さ 20cm、H-125 の鋼製支保工により支保を行うこととした。

地山および支保工の入力定数を表-1 に示す。地山の入力定数の決定には、土かぶり厚さと単位体積重量および地山強度比から一軸圧縮強さを決定した。変形係数は、Deer⁴⁾が変形係数 D と一軸圧縮強さ σ_c には $D=200\sigma_c \sim 500\sigma_c$ の関係があることを指摘していることから、一軸圧縮強さを 200 倍した値を用いた。ポアソン比、内部摩擦角は、アイダン¹⁾が示している一軸圧縮強さとの関係より設定した。粘着力 c については、Biniawski⁵⁾が提案している RMR 法のそれぞれの内部摩擦角に対応する粘着力の値を用いた。粘着力に幅を持たせているのは、そのことを考慮したためである。支保工の入力定数についても表-1 のように設定した。

解析領域は、土かぶり厚さ 100m、インバートより下部領域 60m、横断方向の領域 60m、トンネル掘進方向の領域は 100m とした。解析手順は、まず地山の自重解析を行った。次に、上半部分を 10m まで 1m ずつ掘削し、吹付けコンクリート、ロックボルト、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。下半部分は、上半部分が 5m または 20m 掘削された後、上半部分と併進し掘削を行った。地山の力学モデルは、弾完全塑性体、降伏判定にはモール・クーロンの破壊基準を用いた。また、ロックボルトはケーブル要素、吹付けコンクリートはシェル要素、鋼製支保工はビーム要素でモデル化を行った。

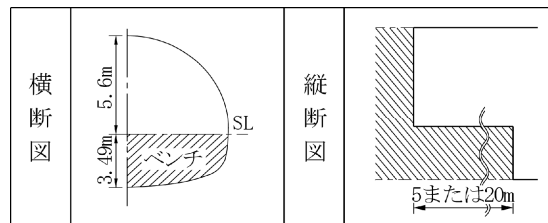


図-1 トンネル形状

表-1 入力定数

地	単位体積重量 (kN/m ³)		20
	変形係数 (kN/m ²)		4.0×10^5
	ポアソン比		0.41
	粘着力 (kN/m ²)		100~200
山	内部摩擦角 (°)		22
ロックボルト	異形棒鋼 (D25)	断面積 (m ²)	5.07×10^{-4}
		ヤング率 (kN/m ²)	2.1×10^8
		引張り強度 (kN)	179.3
	定着材	せん断剛性 (kN/m ²)	1.1×10^4
		粘着強さ (kN/m)	230
		摩擦角 (°)	30
		穿孔径 (m)	1.32×10^{-1}
S	変形係数 (kN/m ²)		3.4×10^6
	ポアソン比		0.2
鋼製支保工	断面積 (m ²)		3.0×10^{-3}
	断面二次モーメント (m ⁴)		0.84×10^{-5}
	弾性係数 (kN/m ²)		2.1×10^8
	ポアソン比		0.3

キーワード NATM, 押し出し性地山, 早期閉合, 数値解析

連絡先 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学大学院 TEL 06-6954-4375

3. 解析結果

まず、断面を早期閉合したときに断面変形率に及ぼす影響を調べるために、図-2 に粘着力が下限値($c=100\text{kN/m}^2$)のときの坑口より20m地点、側壁部分での切羽進行に伴う断面変形率を示した。ここでは、縦軸にトンネル内空変位をトンネル径で除した百分率で示される断面変形率を、横軸に切羽距離を示した。

ベンチ長が20mの場合では、切羽距離40mに断面が閉合されると急激に断面変形率の増加の割合が減少し、切羽距離50~60m、言い換えれば切羽通過後30~40m地点において断面変形率が収束に至っていることがわかる。また、収束地点での断面変形率は約1.6%であった。一方、ベンチ長が5mの場合に着目すると、切羽距離25m地点で断面が閉合されると、切羽距離40~50m、つまり切羽通過後20~30m切羽が進行すると断面変形率が収束に至り、そのときの断面変形率は約1.1%であった。このように、断面を早期に閉合することで、断面変形率の収束時期が早くなり、その結果として断面変形率が抑制されていることがわかった。

図-3 に、断面変形率と最小主応力の関係をプロットした地山特性曲線を示した。その結果、ベンチ長20m、5mともに断面を閉合すると、最小主応力つまり支保内圧が急激に増大し、断面変形率が一定値に収束している。そのときの支保内圧の値は、ベンチ長20mの場合は約 250kN/m^2 、5mの場合は約 500kN/m^2 となった。つまり、ベンチ長を短くし、断面の閉合時期を早くした結果、支保工に有効に荷重を伝達できたことを示唆していると考えられる。

断面の閉合時期の違いにおける切羽安定性に及ぼす影響を調べるために、図-4 にベンチ長20m、5mの場合の切羽の押しコンターを示した。田中ら⁶⁾によると、切羽の押し出し量が70mmを越えると切羽崩壊の可能性が高くなることから、ここでは70mm以上の押し出し変位を赤く塗りつぶした。まず、ベンチ長20mに着目すると、上半切羽前方1.3m程度まで70mm以上の押し出し変位が広がっていることがわかる。一方、ベンチ長が5mの場合では、ここでも切羽前方1.3m程度まで70mm以上の押し出し変位が広がっており、断面の閉合時期を早くしても上半部分の切羽の安定性には変化が表れないことがわかった。しかし、図-4の結果では、70mm以上の押し出し変位が切羽前方にまで広がっているため、切羽の安定性を保つために長尺鏡ボルトなどの併用が必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、断面の早期閉合がトンネル挙動に及ぼす影響を数値解析的に検討した。その結果、1)断面の閉合時期を早くすると断面変形率が抑制されること、2)上半切羽の押し出し変位はベンチ長を短くしてもそれほど変わらないことが判明した。

参考文献 1)アイダノオメール他：スクィーズイ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。
2) Salencon, J. : Contraction Quasi-Statique D'une Cavite a Symetrie Spherique Ou Cylindrique Dans Un Milieu Elastoplastique, *Annales Des Ponts Et Chaussées*, 4, 231-236, 1969.
3) Evert, H. et al : Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and Tunneling International*, pp. 1-21, 2000. 4) Deer, D. V : Geological considerations, *Rock Mechanics in Engineering Practice*, 1968. 5) Biniawski, Z.T. : Rock mechanics design in mining and tunneling, BALKEMA, pp.97-136, 1984. 6) 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。

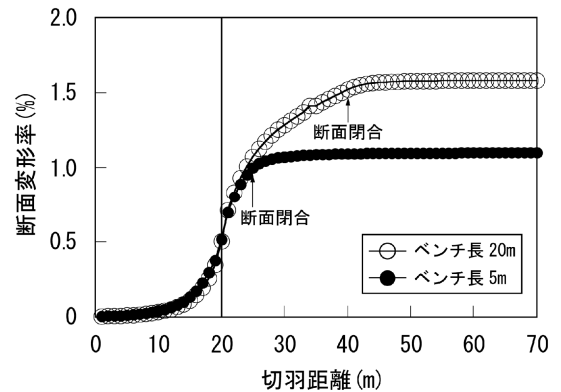


図-2 切羽進行に伴う断面変形率

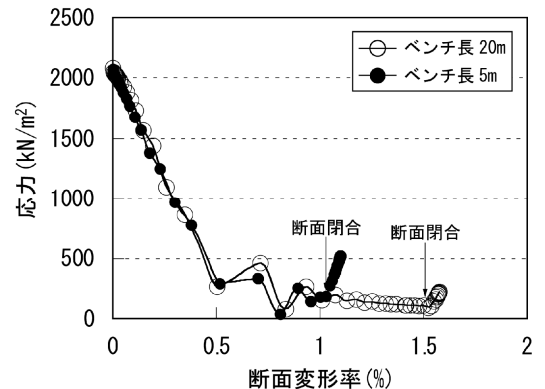


図-3 地山特性曲線

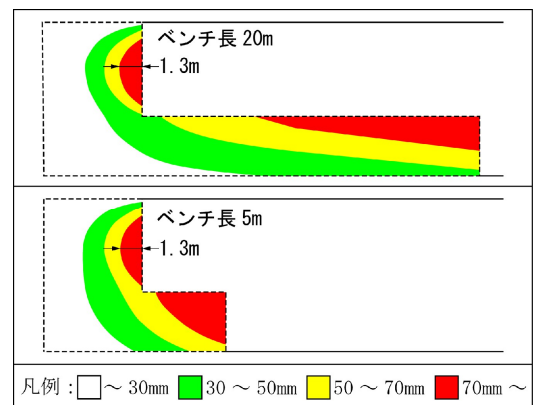


図-4 切羽の押しコンター