

第Ⅲ部門

トンネルリングカット工法の作用効果

大阪工業大学大学院
大阪工業大学
大阪工業大学

学生員 ○林 久資
正会員 長谷川 昌弘
正会員 吉岡 尚也

1. 研究目的

近年のトンネルの掘削技術は日々進歩を重ねている.特に NATM の補助工法が多く開発されてからは,シールドトンネルの適用範囲の軟弱地山でも NATM に補助工法を併用することで掘削・構築が可能となった.

しかし,アンブレラ工法をはじめとする補助工法は資材を多用するため,環境・経済的に見ると問題点も多くある.そこで,切羽面の地山を利用して切羽近傍の地山の安定性を確保するために,従来利用されていたリングカット工法の利点に再注目し,その効果を解明するための数値解析を行った.

2. 解析概要

トンネルは,浅い土被りでかつ未固結な地山に掘削されるものとする.そこでリングカット工法の効果を検討するために,ITASCA 社 FLAC3D(Fast Lagrangian Analysis of Continua in Three Dimensions)による弾塑性解析を行なった.また,他の掘削工法との比較を行なうために,鏡吹付け工法,ショートベンチカット工法についても解析した.

2-1. 解析工法と解析領域

解析および比較を行なうためのモデルは,切羽の崩壊対策に使われる①鏡吹付け工法と②対策を行なわないショートベンチカット工法と③リングカット工法である.解析地山領域は,各工法ともトンネル半断面とし,土かぶり 30m,幅 70m,トンネル下部分 45m,奥行き 100m である.また,トンネルより下方にある解析領域の決定には,土かぶりとトンネル下要素の関係を数パターン解析して土かぶりの 1.5 倍程度の要素を決定した.トンネル形状は日本道路公団によって提案された D_{IIa} タイプを採用した.

2-2. 力学モデル

トンネルが掘削される地山については弾完全塑性体的な挙動を呈するものとし,降伏の判定にはモール・クーロンの降伏基準を用いた.次にロックボルトについては,ケーブル要素でモデル化した.吹付けコンクリートは,シェル要素でモデル化した.

2-3. 入力定数

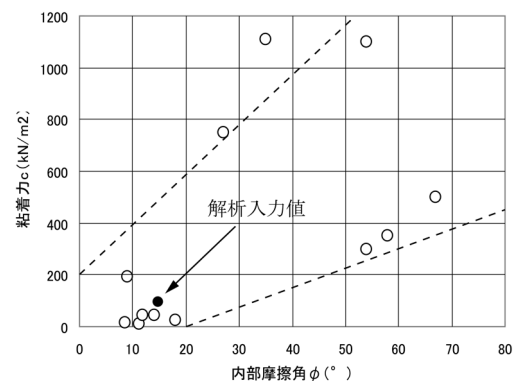
解析に必要な入力定数を表-1 に示す.地山物性値の弾性係数 E は,都市部でのシールドトンネルと NATM の適用事例¹⁾に示された一軸圧縮強度 $q_u=400\text{kN/m}^2$ を採用し, $E=105q_u$ より算出した.

粘着力 c ,内部摩擦角 ϕ は文献²⁾³⁾⁴⁾を参照し,その範囲内の下限側の値を採用した.

ロックボルトは,ねじり棒鋼(TD24)を打設するものとし,吉岡ら⁵⁾が解析時に設定した値を用いた.吹付けコンクリートの弾性係数については,土屋⁶⁾の提案した式を用いた.

表-1 入力定数の値

地山	弾性係数	$4.2 \times 10^4 \text{kN/m}^2$
	ポアソン比	0.3
	粘着力	100kN/m^2
	内部摩擦角	15°
吹付け コン クリ ート	弾性係数	$3.4 \times 10^6 \text{kN/m}^2$
	ポアソン比	0.2
	吹付け厚	0.2m(側壁) 0.05m(切羽)
ロック ボルト	ねじり 棒鋼	断面積 $4.52 \times 10^{-4} \text{m}^2$ 弾性係数 $2.1 \times 10^8 \text{kN/m}^2$ 引張り強度 179.3kN
	定着材	せん断剛性 $1.1 \times 10^4 \text{kN/m/m}$
		粘着強さ 230kN/m
		摩擦角 30°
		穿孔径 $1.32 \times 10^{-1} \text{m}$

図-1 大阪・神戸層群における c と ϕ の関係

3. 解析手順

解析は解析領域を考慮し、6 ステップで 50m まで掘削を行った。ステップ 1 では地山の自重解析を行う。ステップ 2 より 10m ずつ掘削を行い、吹付けコンクリート(厚さ 200mm)とロックボルト(1 断面 18 本打設)で支保した。鏡吹付け工法の場合は、それに加え切羽面に吹付け厚 50mm の吹付けコンクリートを施工した。ただし、これらの支保工、補助工は掘削と同時に施工されるものとした。

4. 解析結果と考察

図-2 は、リングカット工法・吹付け工法・ショートベンチカット工法によって掘削したときのトンネル天端沈下量を切羽面からの距離との関係で示したものである。鏡吹付け工法では、切羽面での変位が減少しているが、最終の沈下量はほぼ同じになった。図-3 は、図-2 と同条件で解析した時の地表面沈下を示したものである。地表面沈下については、各工法とも収束時の沈下量には大きな差異は見られなかった。これら 2 つの図より、リングカット工法・鏡吹付け工法・ショートベンチカット工法とも掘削に伴う最終変形量は、ほぼ同じになることがわかった。

一方、切羽近傍の押し出し変位に着目したものが図-4,5,6 である。切羽面の安定対策が施されていないショートベンチカット工法は、切羽での押し出し量が多い。リングカット工法の押し出し変位は核部分で 80mm を超えているが、核部分の極く表面のみに限定されていることから、鏡吹付け工法とほぼ同程度に切羽の安定性が確保されていると考えられる。

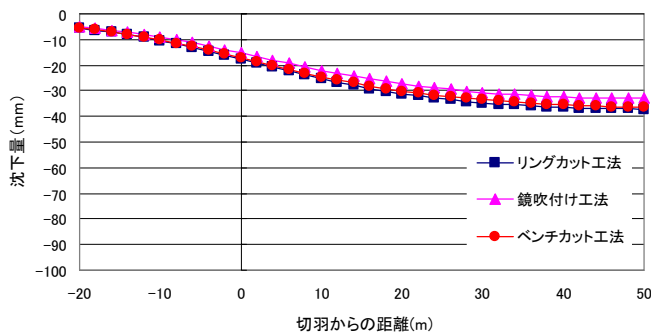


図-2 天端沈下量

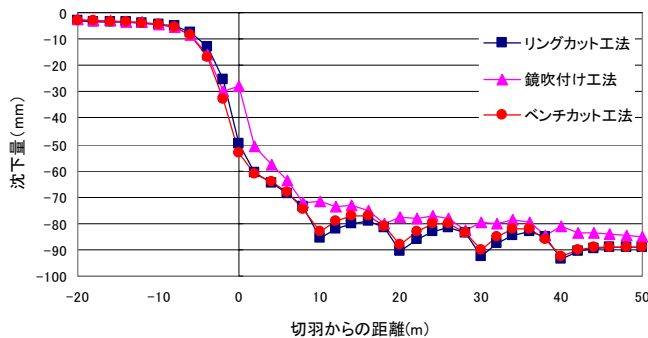


図-3 地表面沈下量

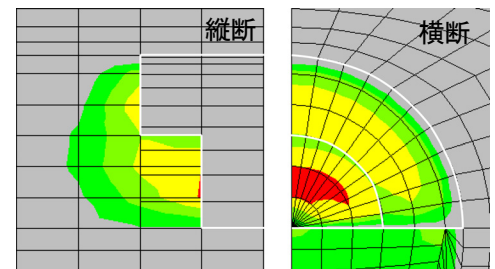


図-4 押し出し変位
(リングカット工法)

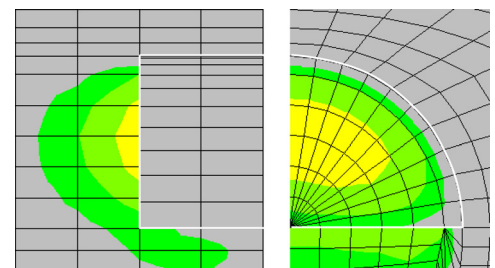


図-5 押し出し変位
(鏡吹付け工法)

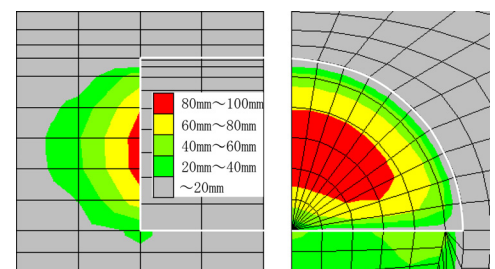


図-6 押し出し変位
(ショートベンチカット工法)

5. まとめ

リングカット工法の効果は、切羽周辺地山の挙動に着目すると、切羽面の崩壊を防ぐ効果が十分にあることが明らかになった。切羽面に核を残して地山の安定を確保できるリングカット工法は、経済的かつ環境にやさしいトンネル施工であると考えられる。

参考文献 1)ジオフロンテ研究会：アンブレラ工法選定上の要点,1996 年 2)谷本喜一：神戸層群地域における地すべりについて、土質力学研究発表会,1991 年 3)谷本喜一：神戸三田線(谷上東工区)における地質調査,建設工学研究所報告第 36 号,1994 年 4)池尻勝俊：神戸層群の調査と対策 5)吉岡尚也他：鏡止めボルトによるトンネル切羽面の補強効果,土木学会論文集 No.638 III-49,1999 年 6)土屋敬：トンネル設計のための支保と地山物性に関する研究,土木学会論文集,No.364 III-4,1985 年