

地山条件の違いによる曲面切羽の安定性に関する数値解析

首都大学東京大学院 学生会員 ○富樫真美

同上 正会員 土門 剛

同上 正会員 西村和夫

1. 研究背景・目的

山岳トンネル施工では、切羽の自立性を保つため補助工法が多く採用されている。しかし、補助工法はコストがかかるだけではなく、切羽での作業が輻輳し工期が長くなることもある。

そこで補強工法軽減の対策として、様々な検討が行われている。その対策の一つとして、近年、従来の直立させる切羽（以下、直面切羽）ではなく、切羽前方へ曲面状に掘り込むことで地山のアーチ作用を発揮させる切羽（以下、曲面切羽）が実施工で一部試みられている。しかし、実施工あるいは数値解析では曲面切羽の安定性が限定的な条件では認められてはいるものの、今後曲面切羽の採用を広げるには、どのような条件で曲面切羽が有効であるかを明らかにしなければならない。

この現状をふまえて、本研究では地山条件や切羽形状の違いがトンネルの安定性に及ぼす影響を数値解析によって検討した。

2. 解析方法

本研究では三次元有限差分法による数値解析を実施した。解析コードは FLAC3D-Ver5.0 を使用した。地山は Mohr-Coulomb の破壊基準を降伏条件とする弾完全塑性体とした。

解析で用いたモデルを図-1 に、解析物性値を表-1 に示す。地山等級は CII, DII, E の 3 種類、切羽形状は表-2 に示す直面切羽と曲面切羽(曲率半径 $r_1=6.5\text{m}$, $r_2=8.0\text{m}$, $r_3=10.0\text{m}$) の 4 種類、土被りは 3D, 10D, 15D (D: トンネル掘削径=12m) の 3 種類として、それぞれを組み合わせ合計 36 ケース実施する。土被りは図-1 の解析モデルに想定土被り分の上載荷重を加えて再現し、初期応力は鉛直方向に対して水平方向を 0.5 倍とする。

支保部材は鋼製支保工と吹付けコンクリートを合成 1 次支保としてシェル要素でモデル化した。掘削は 1m ごとに逐次掘削し、掘削後合成部材と鏡面吹付コンクリートを施し解析計算を行った。

3. 解析結果

3.1 同一地山条件における切羽形状の安定性

本節では地山等級 DII 及び土被り 15D におけるケース 1, 2, 3 を比較した結果のみを示す。

切羽前後の天端沈下量を図-2 に示す。天端沈下量は、切羽天端部で直面切羽では 0.157m であるのに対し、 $r_2=8.0\text{m}$ の曲面切羽では 0.142m となった。

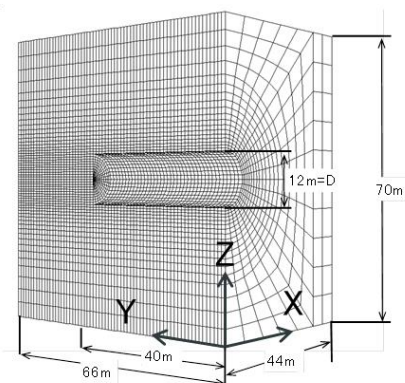


図-1 解析モデル

表-1 解析物性値

	地山等級			支保・補強工	
	CII	DII	E	合成1次支保	鏡面吹付
弾性係数 (MPa)	1000	150	50	8100	4000
単位体積重量 (kN/m³)	23	21	20	25	25
ポアソン比	0.3	0.35	0.4	0.2	0.3
粘着力 (kPa)	1000	200	100		
内部摩擦角 (°)	40	30	30		

表-2 解析ケース

ケース名	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
曲率半径 r (m)	直面	$r_1=6.5$	$r_2=8.0$	$r_3=10.0$
モデル				

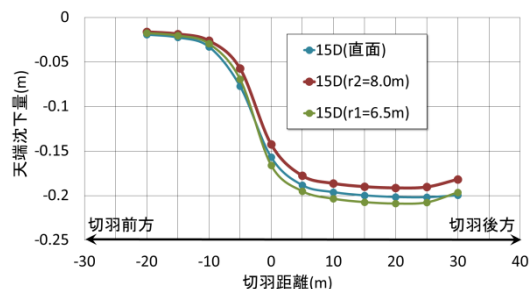


図-2 天端沈下量

キーワード トンネル, 曲面切羽, 三次元有限差分法

連絡先 〒132-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 042-677-1111 (代表)

また、切羽押し出し量を図-3に示す。切羽押し出し量は直面切羽では最大0.286mであるのに対し、曲面切羽は $r_2=8.0\text{m}$ 及び $r_1=6.5\text{m}$ ではそれぞれ0.104m及び0.078mとなった。これは切羽の前方を曲面にすることによりアーチ効果が発揮され地山が安定し、変位量が抑制されたものと考えられる。

図-4の最大せん断ひずみにおいて、直面切羽では切羽内で大きな値が見られる。一方、曲面切羽では、切羽内全域的に一定かつ直面切羽に比較して小さなひずみの発生にとどまっており、比較的危険性が低いものと考えられる。

これらより、切羽形状を曲面にすることにより変位やせん断ひずみの抑制効果があるといえる。また地山等級DIIの土被り15Dの場合、最も変位抑制効果の高い曲率半径は $r_2=8.0\text{m}$ となった。

3.2 地山条件変更の解析

本節では地山等級はEとDII、土被りは3Dと10D、切羽形状はケース1とケース3を比較した結果のみを示す。

切羽周辺の天端沈下量を図-5に示す。結果に切羽前方の解析領域不足の影響として切羽前方の変位が残っているが、天端沈下量は、土被りが3Dから10Dに増えると地山等級DIIでは直面と曲面の沈下量の差は無くなり、地山等級Eでは直面よりも曲面の方が0.103m変位量が小さくなった。先行変位においては、直面に比べて曲面の方が大きい。切羽後方における変位量は曲面の方が小さくなった。なお、地山等級Eの方が、土被りにおいては10Dの方がこの影響が大きくなった。これより、補助工法等で先行変位を抑えることができれば曲面切羽の安定効果がより高くなると考えられる。また、切羽押し出し量を図-6に示す。切羽押し出し量においても天端沈下量と同様の傾向が見られた。なお、最大せん断ひずみ図は図-4と同様直面切羽で大きな値が局所的に見られた。

これらの解析より、土被りが大きく弾性係数が小さいほど、すなわち地山強度比(一軸圧縮強度/土被り×単位体積重量)が小さいほど曲面切羽は直面切羽に比べ変位やせん断ひずみの抑制効果の観点での安定性が高いことが示された。

4. まとめおよび今後の課題

本研究では地山条件を変化させることで様々な切羽形状の安定性を変位やせん断ひずみの抑制効果の観点から考察した。解析結果より地山条件が曲面切羽の安定性に大きく影響していることが分かった。今後の課題として、直面切羽が優位である地山条件での曲面切羽の安定効果を高める方法として、先行変位を抑えることができる補助工法の検討を行うことも必要であると考えられる。

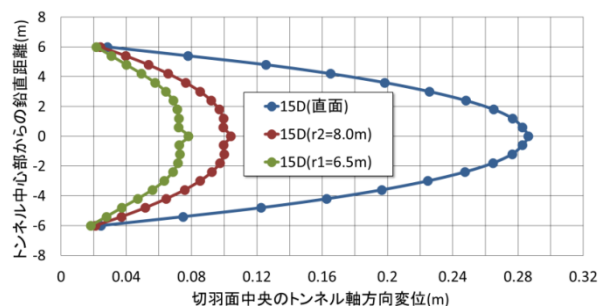


図-3 切羽押し出し量

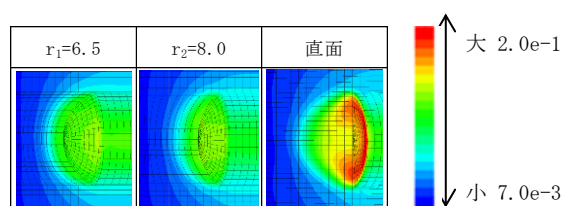


図-4 切羽の最大せん断ひずみ

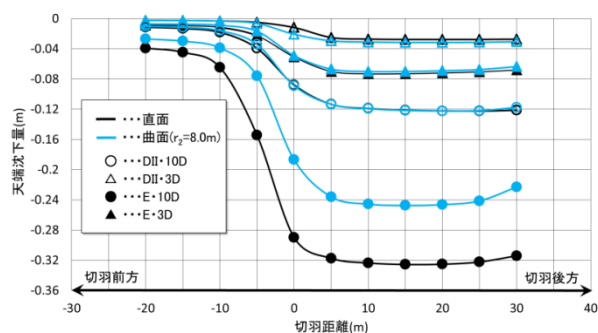


図-5 天端沈下量

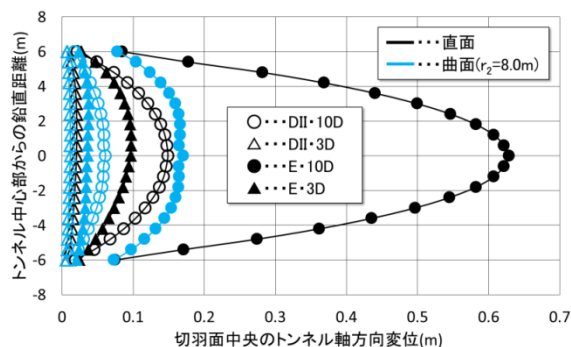


図-6 切羽押し出し量