曲面切羽施工の適用性について

大成建設（株）　正会員　○池田　哲也，　柴山　周平，　廣末　龍文，　小原　伸高

１．目的

トンネル掘削における切羽は，トンネル工事において最も注意が必要なエリアと言える．そこで，切羽の安定性を確保することは，施工上の安全性，また，トンネル構造の安定性の確保から重要である．近年，曲面形状が提案されその切羽の安定性の優位性が報告されている[1)]．本稿では，三次元解析を用い曲面切羽と地山条件，切羽形状の影響を評価したのでここに報告する．

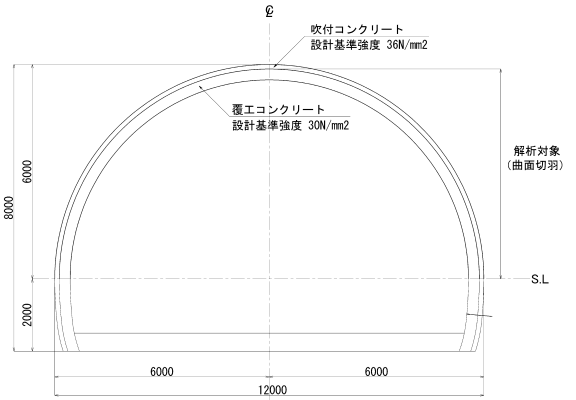

図１　トンネル断面

２．解析条件

トンネルは高速道路断面の上半を**図 1** のように仮定し，上半のみ曲面切羽とした．切羽形状は**図 2** に示す．地山条件は，CⅡ，ＤⅠ相当地山を仮定し，**表 1** に示す 3 ケースとした．ＤⅠ地山では地山強度比の異なるケースを実施するため土被りを 100m と 200m の 2 種類を検討した．解析モデルを**図 3**，支保工の物性を**表 2**，**表 3** に示す．

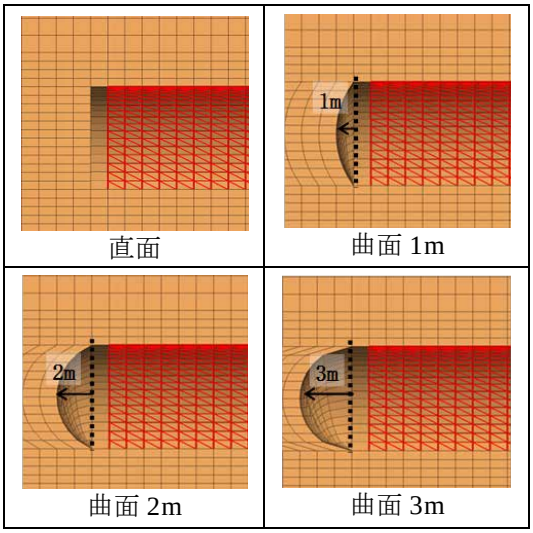

図２　切羽形状

３．解析結果とその評価

図 4 に天端の鉛直変位の比較，**図 5** に上半中央部内空水平変位の比較，**図 6** に吹付けコンクリートの発生応力の比較を示す．グラフ中の（）内の数値は，各ケースでの直面切羽の結果との比率を表す．

全変位量に着目すると，ケース①，②において曲面形状による影響はほとんど見られないが，ケース③では曲面の掘込み長が大きいほど，鉛直変位，水平変位ともに増加している．一方，計測変位量については，全ケースにおいて曲面の掘込み長が大きくなるほど，最掘込み部から相対的に支保工の設置位置が離れるため，鉛直変位，水平変位ともに減少する傾向にある．曲面形状による計測変位量の減少率は，ケース①では最大 30%，ケース②では最大 35%である．またケース③では最大 28%であり，ケース②と比較すると，曲面形状による効果が低くなる．ケース③より，地山が強度比が小さい場合，切羽面を曲面形状にすることによって，先行変位の増加を引き起こす可能性があることがわかる．

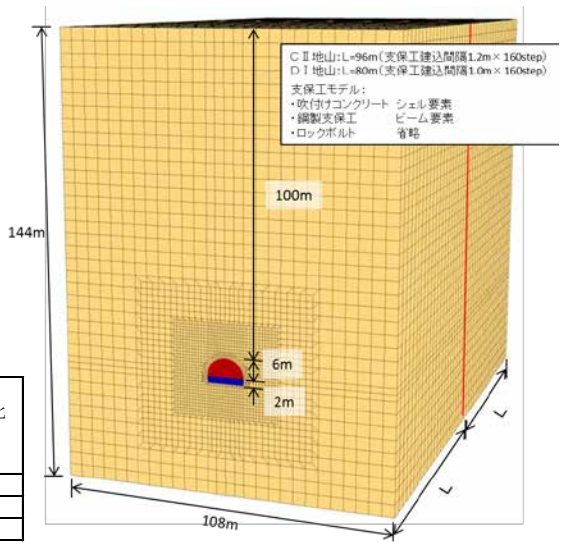

図３　解析モデル

表１　地山条件

ケース	地山区分	土被り H m	変形係数 D N/mm²	ポアソン比 ν	粘着力 c N/mm²	内部摩擦角 ϕ deg	引張強度 S_t N/mm²	単位重量 γ_t kN/m³	換算一軸強度* q_u N/mm²	地山強度比
①	CII	100	1,000	0.30	1.0	40	0.20	23.0	4.29	1.86
②	DI	100	500	0.35	0.4	35	0.08	22.0	1.54	0.70
③	DI	200	500	0.35	0.4	35	0.08	22.0	1.54	0.35

*換算一軸強度は以下の式より算出し加筆した。

$q_u=2c*\cos\phi/(1-\sin\phi)$

キーワード　三次元解析，曲面切羽，切羽安定

連絡先　〒163-0606　東京都新宿区西新宿 1-25-1　ＴＥＬ03-5381-5296

表２　鋼製支保工物性

寸法 (mm)	断面積 (cm^2)	単位重量 (kN/m)	断面二次モーメント (cm^4)	断面係数 (cm^3)	材料規格
H-125×125×6.5×9	30	0.35	839	134	SS400

表３　吹付けコンクリート物性

地山区分	吹付け厚 (mm)	弾性係数 (N/mm^2)	設計基準強度 (N/mm^2)
CⅡ	70	6.0×10^3	36
DⅠ	100	6.0×10^3	36

吹付けコンクリートの発生応力については，計測変位量と同様に，切羽面を曲面形状にすることによって発生応力が減少し，支保への負担が低減することが確認できる．曲面形状による計測変位量の減少率は，ケース②では最大 45%，ケース③では最大 37%であり，計測変位量と同様に地山強度比が小さい場合，曲面形状による効果が低くなる傾向を示している．

図 7 にＤⅠ地山におけるせん断ひずみコンター図を示す．ケース③では，曲面の掘込み長を大きくするほど，天端付近のせん断ひずみが 1%以上の領域が拡大している．この結果から，地山強度比が小さい場合，曲面の掘込み長が大きいほど緩み領域が広がることが確認できた．

４．おわりに

解析結果より，曲面切羽とすることで，計測変位量および支保工応力を軽減でき，曲面の掘込み長が大きいほどその効果が顕著となる．しかし，地山強度比が小さい場合は，曲面切羽とすると，掘込み長が大きいほど，全変位量は増大し，緩み領域の拡大を引き起こす可能性があることを確認した．今後，切羽の安定性の定量評価および補助工法との影響について検討していく予定である．

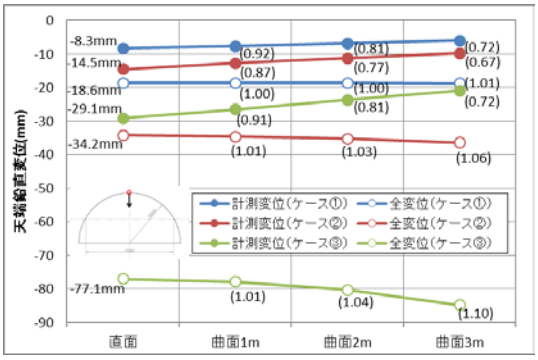

図４　鉛直変位（天端）

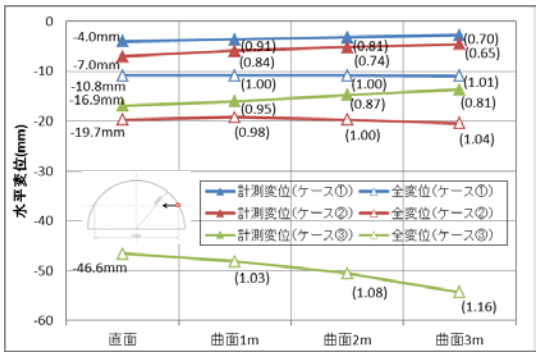

図５　水平変位（アーチ肩部）

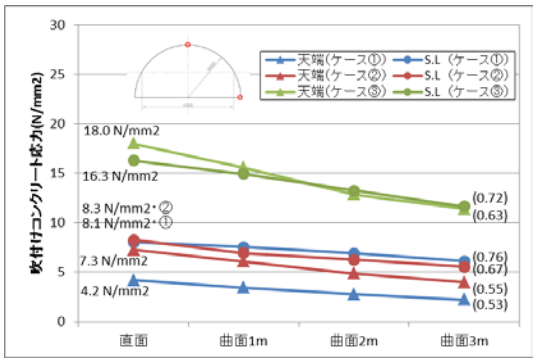

図６　吹付けコンクリート応力

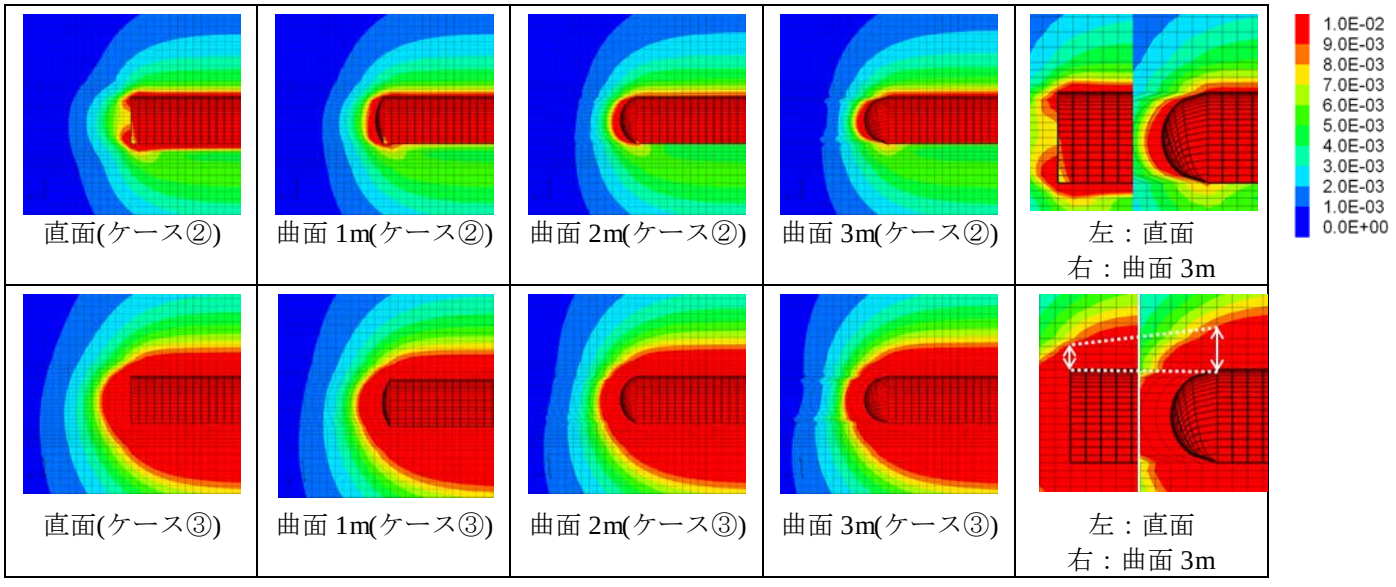

図７　せん断ひずみコンター図

参考文献　1) 山岳トンネルへの球面切羽の適用に関する解析的検討　今田ら　トンネルと地下 2010. 11