

トンネルの曲面切羽挙動に関する解析的研究

首都大学東京大学院都市環境科学研究科

学生会員

○中川 恵一

首都大学東京大学院都市環境科学研究科

郭 欽嶺

首都大学東京大学院都市環境科学研究科

正会員

土門 剛

首都大学東京大学院都市環境科学研究科

正会員

西村 和夫

1. 研究背景および目的

NATM が日本に採用されて以来，補助工法によって NATM は信頼性の高い技術となり，更にシールド工法に比べて経済的に有利であることから，都市部のトンネルでも多く採用されてきている．都市部での洪積地盤や山岳の脆弱地山では，切羽の自立性を保つため，補助工法による切羽の安定対策が多く採用されている．しかし，補助工法は切羽での作業が輻輳し，機械・設備・作業人員の規模も増大し，さらにサイクルの時間も増加して，工期が長くなることから，補助工法の軽減が課題となっている．

既往の数多くの研究により，曲面切羽は直面切羽やベンチ付き切羽などより連続体では安定性が高いとされている．しかし実際の施工では，曲面切羽の不連続的な挙動による安定性の懸念により，採用する例はまだ少なく，曲面切羽の安定性について実施工に応じられる理論的で系統的な研究も必要と考える．

そこで本研究では補助工法の軽減を目的とし，トンネルの安定性に与えるトンネル切羽の形状効果を検討し，曲面切羽の地山の安定効果を考察し最適な曲面の曲率を検討した．曲面切羽において，吹付けコンクリートはシェル構造のように形態抵抗型の構造システムであり，薄肉でも非常に高い剛性を発揮するシェル構造となり，また，地盤も曲面形状により切羽部分がドーム構造となるうえ，吹付けコンクリートと地山の相互作用により強い支持効果を働かせることができると考える．

2. 解析モデル

構成則には弾性モデル，弾完全塑性及びひずみ軟化モデルを用い，破壊基準は Mohr-Coulomb 破壊基準を用いる．**図 1** に解析で用いたメッシュ図を示す．解析はモデルの対称性を考慮し，1/2 の部分について行う．地山及びトンネル寸法は**図 1** に示された大きさとし，荷重は静水圧状態とする．地盤物性値は $E=150\text{MPa}$ ， $\nu=0.35$ ， $\gamma=22\text{kN/m}^3$ ， $c=200\text{kN/m}^2$ ， $\phi=30^\circ$ ．解析ケースのうち本研究では，**表 1** のように直面切羽と曲率半径をそれぞれ 6.0m，6.5m，7.5m，10m としたケースについて示す．

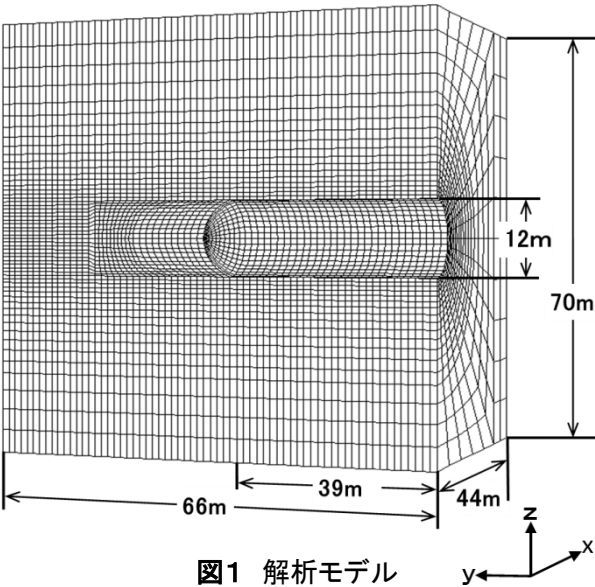


図1 解析モデル

表1 解析ケース

ケース名	ケース0	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
半径R(m)	半球面6.0	直面(∞)	6.5	7.5	10

キーワード 曲面切羽 シェル構造 NATM 数値解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科

3. 曲面切羽への解析

3.1 弾性モデル解析

図2に弾性モデルにおける鏡面中央から上方に向かう軸線に沿った地山要素の Mises 応力を示す。直面切羽(ケース1)では天端部が応力の最大値をとり、最大値と最小値の差が大きく最も不利な状態にある。半球面曲面切羽(ケース0)の場合、鏡面に沿って平滑な分布をしているが鏡面中央点における応力が最も大きく、直面切羽の2倍を超えており、鏡面全体的に高くなって、鏡面の破壊が起き得ることが分かる。したがって、曲面切羽に対しては、地山と仮支保構造物の相互作用によって、切羽地山に内圧を付与し、三軸応力状態に保つのは不可欠であることを示唆している。

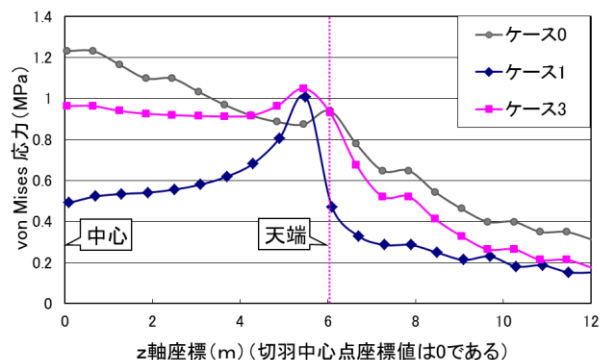


図2 弾性モデルにおける Mises 応力

3.2 弾完全塑性モデル解析

図3に弾完全塑性モデルにおける切羽面の塑性領域分布を示す。

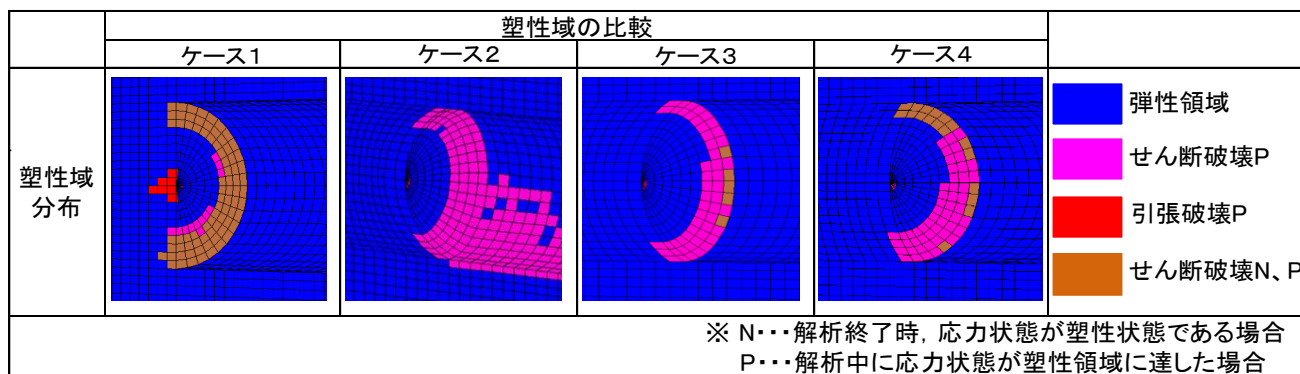


図3 弾完全塑性モデルにおける塑性領域分布図

図3に示すように、ケース1とケース2は大きな塑性領域が生じ、ケース3は比較的小さいことが分かった。各ケースの変位量、最大と最小主応力分布及び最大せん断ひずみ分布からも、半径の大きい曲面切羽の安定性が高いことが分かった。鏡吹付けコンクリートの応力を調べたところ、曲面切羽の場合、鏡吹付けには大きな軸力が発生し、切羽地山の安定の効果が確認できた。

図4における Mises 応力を示す。吹付けコンクリートと塑性化によって曲面切羽、直面切羽の応力分布の大きな違いは小さくなるが、切羽地山の安定性が高いことは変わらない。

3.3 ひずみ軟化モデル解析

軟岩のひずみ軟化特性は地山の挙動に大きく影響する。ひずみ軟化モデルを採用して解析した結果、Mohr-Coulomb モデルと同様曲面切羽は地山の安定に有利であることが分かった。

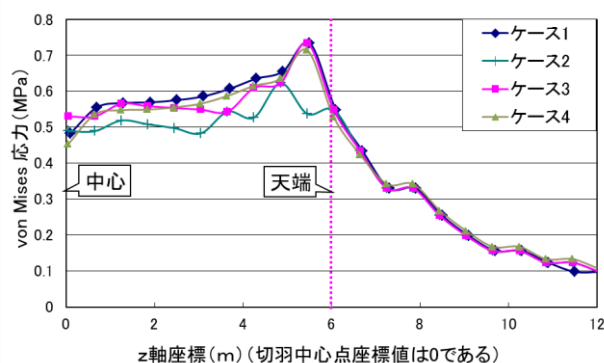


図4 Mohr-Coulomb における Mises 応力分布

4. 結論

本研究は切羽地山と鏡吹付けコンクリートの相互作用を評価することより以下のことが明らかになった。

- ①曲面切羽は鏡吹付けコンクリートのシェル構造効果および切羽地山のドーム構造効果により、切羽の安定性が向上する。
- ②曲面切羽の曲率半径が大きく(半径が小さく)なるにつれ、地山への支持効果が弱くなり、本解析ケースでは総合的に判断するとケース3(R=7.5m)は最も安定性が高いと言える。