

切羽安定化効果に及ぼす切羽形状と補助工法に関する研究

中央コンサルタンツ(株) 正会員 後藤良顕
 東京都立大学大学院 正会員 西村和夫
 東京都立大学大学院 正会員 土門 剛

1. 研究背景及び目的

近年,大型掘削機の開発に伴い,大断面トンネルでも全断面掘削工法が採用されるようになってきている.全断面掘削工法では,従来のような小断面に分割して掘削する工法に比べて掘削断面積が大きいため,切羽安定性の確保が重要になる.その対策の一つとして,切羽に曲率を設けることも実際に試みられている.しかし,切羽に曲率を設けた場合(以下,曲面切羽)には,切羽が崩壊してしまうと,その崩壊範囲は大きくなることが判明している¹⁾.したがって現状では,地山条件が悪い場合には補助工法を採用して切羽安定化対策を講じている.補助工法を採用した場合での曲面切羽による切羽安定化効果が経験的に認められている一方で,切羽安定化メカニズムの明確な見解は今のところ示されていないのも事実である.

そこで本研究では,無支保における各種切羽形状の崩壊挙動の差違と崩壊に至るまでの切羽土圧の変化を模型実験により明らかにする.さらに切羽安定化対策の主要な補助工法である切羽吹付けと切羽ボルトの作用効果の違いについても明らかにする.

2. 実験概要

本研究の地山モデルは,低土被り土砂地山を想定し,トンネル土被りは1D(D:トンネル径)のアルミ棒積層体とした.トンネルは図-1に示されているような縦断方向の切羽形状をモデル化した.それぞれの切羽形状について切羽吹付けと切羽ボルトの有無により12ケースの実験(表-1)を行った.トンネル掘削は,切羽モデルの型枠と地山の間にあらかじめ挟んでおいた10枚のテフロンシート(厚さ0.2mm)を一枚ずつ引抜くことにより模擬した.切羽吹付けモデルは,2種類のケント紙(表-2)と粘着テープを用い,切羽ボルトモデルは, OHP フィルムに粗砂を付着させたものを使用した.

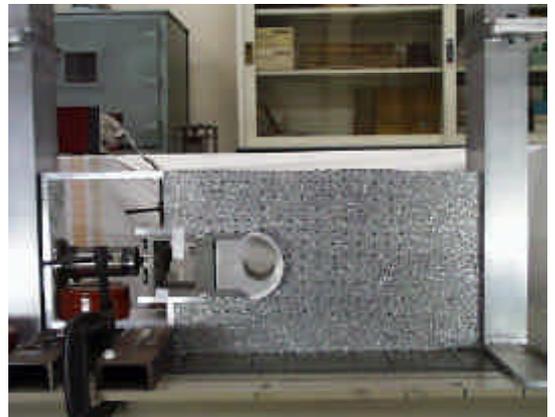


図-1 地山および円型切羽モデル

3. 実験結果及び考察

無補強時の切羽崩壊挙動

図-2に切羽変位量1.8mmにおける無支保の直壁型及び円型切羽それぞれの地山内変位ベクトル図を示す.本図から,直壁型は切羽面全体が左下へ流れ落ちるように変位した後に崩壊に至っている.一方,円型では,切羽の変位が切羽面を形成する半円の中心にほぼ向かっていることがわかる.また変位が顕著な領域は直壁型と比較してかなり広範囲であることもわかる.次に図-3に無支保の場合の切羽変位に対する基準化土圧[切羽土圧/初期土圧]を示す.本図より円,楕円,直壁の順に土圧の収束値が高いことから,切羽崩壊時の影響範囲がこの順に大きくなることが推察される.

表-1 実験ケース

ケース	切羽形状	補助工法モデル	
		切羽吹付け	切羽ボルト
1-1	直壁型	-	-
1-2		-	-
1-3		-	-
1-4		-	-
2-1	楕円型	-	-
2-2		-	-
2-3		-	-
2-4		-	-
3-1	円型	-	-
3-2		-	-
3-3		-	-
3-4		-	-

表-2 切羽吹付けモデル(ケント紙)

呼称	単位面積当り質量 (g/m ²)	厚さ (mm)
厚	232	0.25
薄	174	0.19

キーワード：切羽形状, 切羽吹付け, 切羽ボルト, 作用効果

連絡先：〒135-6009 東京都江東区豊洲三丁目3番3号 TEL 03-3532-2541

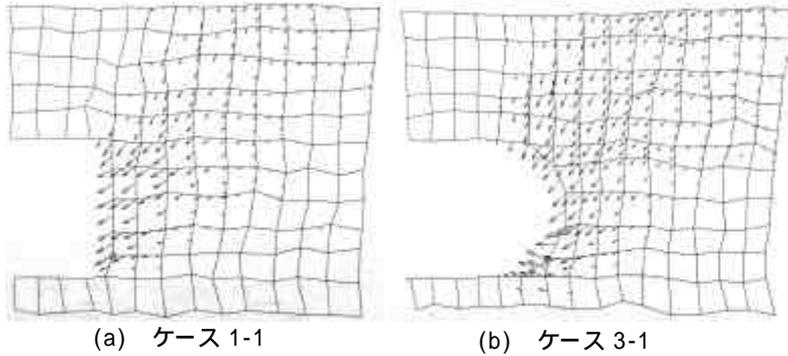


図-2 無支保時の変位ベクトル (切羽変位量 1.8mm)

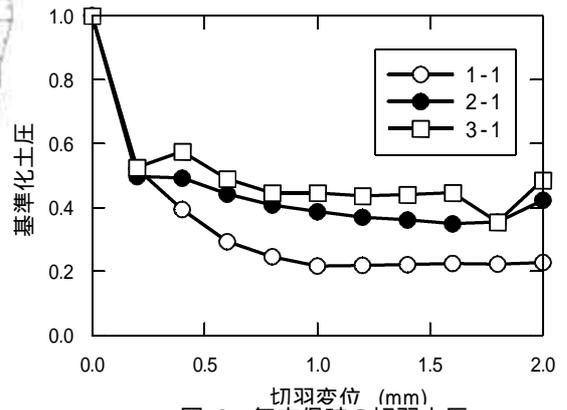


図-3 無支保時の切羽土圧

切羽面に吹付けコンクリートを施工した場合の地山挙動

切羽面に吹付けコンクリートを施した切羽吹付けを採用した場合の最終切羽変位 2.0mm 時の崩壊有無について述べる。円型では、薄いケント紙でも自立し、楕円型は厚いケント紙で自立した。一方、直壁型では厚いケント紙でも自立せずに崩壊した。よって、切羽吹付けの効果により、曲面切羽、特に円型切羽の安定性が最も改善されたといえる。切羽に作用する土圧に対して切羽吹付けの付着力と曲げ強度のみでしか抵抗できない直壁型切羽の場合には、切羽安定化効果はそれほど期待できない。それに対して曲面切羽の場合は、切羽吹付けを施すことにより切羽形状に沿って発揮されたアーチ効果を保持しつづけることができる。したがって、さらに切羽変位を与えても、増加した土圧はトンネル上下方向へ伝達されるため、トンネル内空側への変位が抑制されることになる。

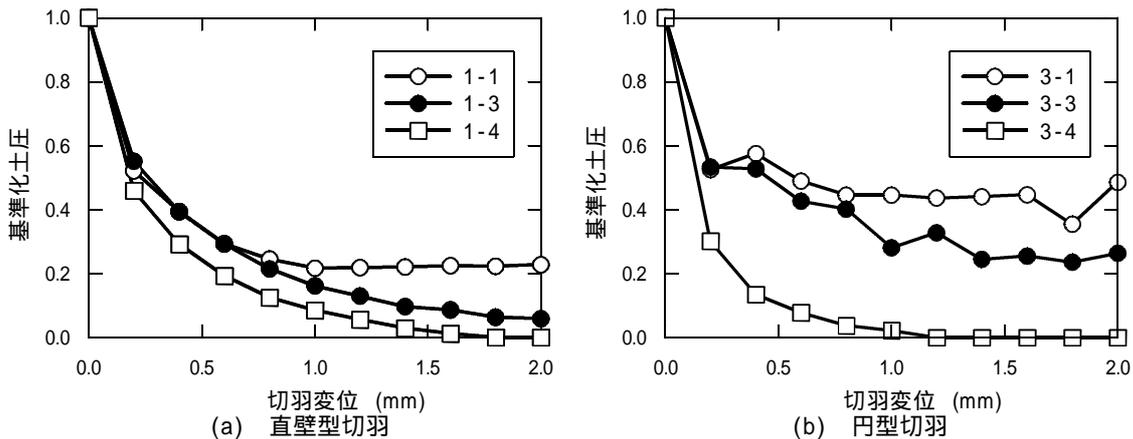


図-4 補助工法モデルを有する時の切羽土圧

切羽面に切羽吹付けと切羽ボルトを併用した時の地山挙動

ここで、直壁型切羽および円型切羽それぞれについて、切羽ボルトのみとしたケース（1-3 および 3-3）と切羽吹付けと切羽ボルトを併用したケース（1-4 および 3-4）の切羽変位に対する基準化土圧を比較することにより、切羽形状と切羽に施した補助工法の関係について考察する。図-4(a)および(b)は、それぞれ直壁型および円型切羽における各種補助工法を採用したときの切羽変位に対する基準化土圧の変化を示している。なお、ここで示す各ケースはいずれも最終変位に至っても崩壊することはなかった。本図(a)より、直壁型で自立するためには、切羽吹付けよりも切羽ボルトの方が大きな割合を占めることがわかる。一方円型では、同図(b)から、切羽ボルトより切羽吹付けの方が自立するために大きな役割を担っていることがわかる。

4.まとめ

本研究では曲面切羽の安定性に対する定性的評価を試みた。無支保における曲面切羽の変形モードは直壁型と異なるため、崩壊時の曲面切羽の崩壊領域は広範囲に及んでしまうことが示された。しかし、切羽吹付けを施すことにより、曲面切羽の切羽安定化効果が改善されることも見出した。また、切羽吹付けと切羽ボルトを併用して用いた場合、直壁型では吹付け作用よりボルト作用の方が大きな割合を占め、円型ではその逆であることなど、補助工法と切羽形状の関係を示すことができた。

1) 西村ら：トンネル切羽の形状と安定性についての一考察，トンネルと地下，Vol.27，No.5，pp.43-50，1996.