

吹付けコンクリートを施した曲面切羽の安定性に関する模型実験

首都大学東京大学院 学会員 ○前田 洸樹
首都大学東京大学院 正会員 西村 和夫
首都大学東京大学院 正会員 土門 剛

1. 研究背景と目的

近年，NATM によるトンネル施工において施工の合理化を図ることを目的として大型機械による全断面掘削や未固結地山での早期閉合の需要が拡大している．しかし，全断面掘削トンネルでは一時的に無支保となる面積が大きくなりその安定性が問題となる．さらに，強度の低い未固結地山では切羽安定性の確保が難しい．切羽安定を得るには一般的に補助工法の適用を考えるが，切羽形状を曲面にすれば，切羽面をアーチ効果により安定させることができると考えられる．それにより，規模を抑えた補助工で切羽安定を確保でき，施工コストの縮減が期待できる．

このような観点から本研究では，未固結粒状体地山での全断面掘削を対象として，補助工法の一つである吹付けコンクリートを施した場合の曲面切羽の安定性を，模型実験により解明することを目的とした．

2. 研究手法

2.1 実験装置および各モデルの概要

(1) 地山材料

長さ 40mm，直径 2.5mm および 5.0mm のステンレス棒を重量混合比 3：2 で混合して使用した．この地山は粘着力 0kN/m^2 で内部摩擦角は約 27° である．

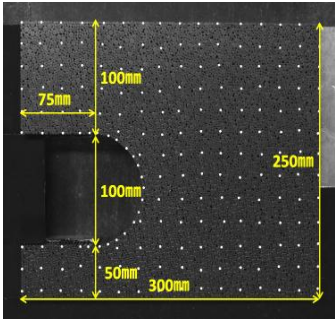


写真 2-1 地山材料配置

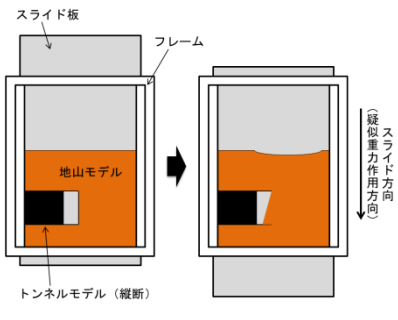


図 2-1 底面摩擦装置の概念図

(2) 実験装置

底面摩擦装置を用い，ステンレス棒を底面摩擦装置上のスライド板の上に並べ粒状体地山に見立てた（写真 2-1）．また，磁性ステンレス棒を用いてスライド板との摩擦を磁力により増加させた．実験は，図 2-1 に示すように，スライド板をスライドさせることで地山に疑似重力を与え，地山の挙動を調べた．

(3) トンネルおよび吹付けコンクリートモデル

トンネル模型は直径 $D=100\text{mm}$ とし，図 2-2 に示すように 3 種類の切羽形状を設定した．また，吹付けコンクリートモデルは，市販のケント紙，両面テープ，セロハンテープ，マスキングテープを用いて計 4 モデル作成した．吹付けモデルは，剛性と粘着力それぞれの強弱を定量化して，表 2-1 のように分類した．

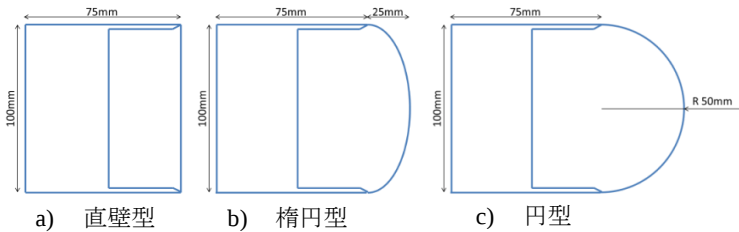


図 2-2 切羽形状

表 2-1 吹付モデルの剛性と粘着力の関係

		粘着力	
		強	弱
剛性	強	ケント紙＋両面	ケント紙
	弱	セロハン	マスキング

2.2 実験方法

3 種類の切羽形状において，まず無支保時の地山挙動を，次に有支保の地山挙動として吹付けコンクリートを施した場合の地山挙動を，動画計測ソフト Move-Tr とひずみ解析ソフト Strain を用いて解析した．

キーワード： 切羽，曲面切羽，吹付け，トンネル，底面摩擦

連絡先：首都大学東京 住所〒192-0364 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-2785

3. 実験結果

3.1 無支保モデル

直壁型では、切羽面からの押し出しによって切羽が崩壊した（図 3-1）。一方、円型では切羽面の押し出しに加え、天端部から地山が

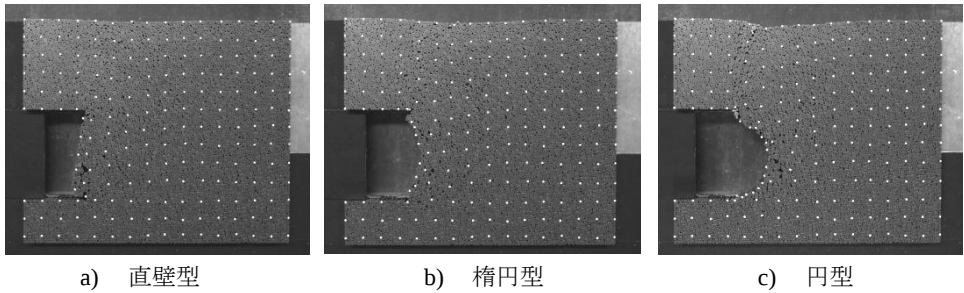


図 3-1 無支保モデルの切羽崩壊の様子（スライド量 15mm）

沈むような動きが見られ、直壁型よりも崩壊範囲が広がった。この理由として、切羽を曲面にすると掘削断面が大きく、かつ無支保面が大きくなるため、無支保では切羽近傍のアーチ形成が期待できないことが考えられる。したがって、曲面切羽では、切羽面を無支保で掘削することは、トンネルの安定性の面で非常に危険であることがわかった。また、楕円型は直壁型と円型の間間的な挙動を示した。

3.2 吹付けコンクリートモデル

(1) 無支保モデルとの比較

同一の吹付けモデル（ケント紙＋両面テープ：剛性および粘着力ともに強）で比較すると、直壁型切羽は崩壊し、楕円型、円型切羽は安定した（図 3-2）。直壁型では、

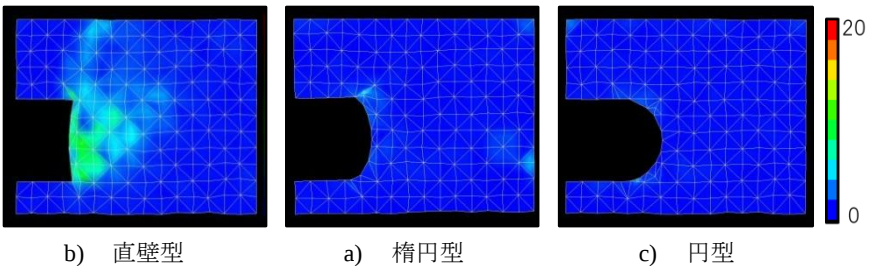


図 3-2 吹付けモデル(ケント紙+両面)の最大せん断ひずみ図(スライド量 15mm)

無支保時に比べ崩壊範囲は狭くなったが、切羽面からの押し出しに耐えられず、切羽は崩壊した。それに対し楕円型、円型では、吹付けモデルのアーチ効果により切羽は安定した。このように、曲面切羽に吹付コンクリートを施すと、切羽安定性を十分に発揮できることがわかった。

(2) 切羽形状と吹付けモデル特性の違いによる切羽挙動比較

切羽形状で比較すると、楕円型ではすべての吹付けモデルで切羽安定が得られた（表 3-1）。このことから、本研究の範囲では、実施工で曲面切羽を採用する際は、楕円型が最もふさわしい切羽形状であると言える。

表 3-1 切羽形状と吹付けモデルの関係

	直壁	楕円	円
ケント紙+両面	×	○	○
ケント紙	×	○	○
セロハン	×	○	○
マスキング	×	○	×

○：切羽安定，×：切羽崩壊

円型吹付けモデルで比較すると、剛性の強いケント紙を使用したモデルでは、粘着力の強弱によらず切羽は安定した（表 3-1）。

したがって、吹付けコンクリートの機能のうち、支保剛性の機能が優位であれば、切羽はアーチ形状を維持できることがわかった。

それに対して、剛性の弱いテープのみを使用したモデルでは、粘着力の強弱によって切羽挙動に違いが出た（図 3-3）。これは、テープの粘着力が吹付けコンクリートの付着特性を発揮したかどうかによるものと考えられる。したがって、吹付けモデルにおける粘着力の強さ、すなわち、吹付けコンクリートにおける付着特性は、曲面切羽の安定性に大きく寄与していると考えられる。

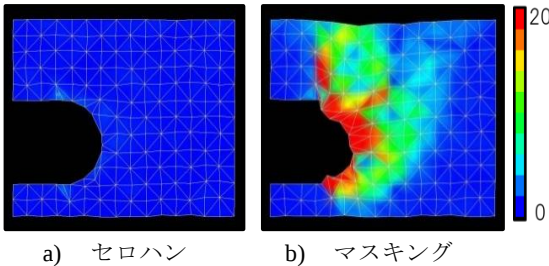


図 3-3 円型吹付けモデルの最大せん断ひずみ図（スライド量 15mm）

4. まとめ

本研究では曲面切羽の安定性に関する定性的な評価を試みた。無支保時の曲面切羽では、地山は崩壊挙動を示したが、吹付けコンクリートを施すことにより曲面切羽は安定することが明らかになった。その際、吹付けモデルの剛性が強ければ曲面切羽は安定し、吹付コンクリートの付着特性は曲面切羽の安定性に大きく寄与していることがわかった。