

### D 地山における切羽の安定形状

中日本高速道路(株)南アルプス工事事務所 正会員 佐藤 淳  
 中日本高速道路(株)南アルプス工事事務所 細野 泰生  
 清水建設(株)地下空間統括部 正会員 楠本 太

#### 1. はじめに

地山強度比が0.5を下まわる強度不足地山では、切羽から岩塊や岩盤ブロックなどが剥離、剥落し、掘削補助工なしでの直平面形状を保ちながらのトンネル掘削は困難になる場合が多い。このような脆弱地山では、鏡止めボルトなどの掘削補助工を併用して、切羽の自立安定を確保する方法が一般に行われている。しかしながら、未固結状や破碎質地山では困難になる場合が多い。これに対して、切羽鏡面の不安定な部分は取り除き、曲面形状に仕上げた自立安定性が高い曲面切羽による施工が考えられ、地すべり崩積土のトンネル掘削に適用した。その結果、曲面切羽による方法の有効性が示されたので、曲面切羽の最大崩落規模とこれに基づいて定めた曲面切羽形状について報告する。

#### 2. 試験施工概要

曲面切羽に関する試験施工は、中部横断自動車道八之尻トンネル北側坑口の STA.448+07(No.50) ~ STA.447+57(No.100)の50m間で実施した。ここでの地質は、地すべり崩積土である。最大土被り高はh=17m、地山強度比は0.5を下まわる強度不足地山を想定し、早期閉合距離をL<sub>f</sub>=9mとする全断面機械掘削の早期閉合トンネルを設計した。

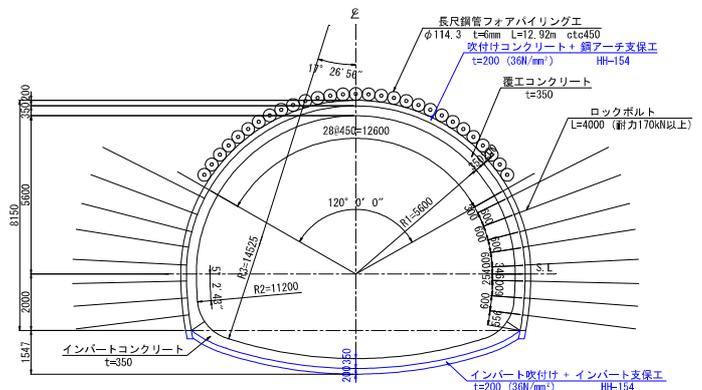


図-1 早期閉合トンネル(D c-2-K)概要

#### 3. トンネル構造と施工法

早期閉合パターンD c-2-Kのトンネル構造諸元は、坑口設計パターンD aを基本とし、表-1に示すとおりである(図-1)。掘削補助工は、鏡吹付けを基本とし、支保施工までの間の掘削素掘り面の自立確保などから、注入式長尺先受け工を採用した。

施工方法は、300kW級軟岩トンネル掘進機による全断面機械掘削の早期閉合である。早期閉合施工単位はL<sub>c</sub>=3m、早期閉合距離はL<sub>f</sub>=9mを基本とし、初期変位速度に応じてL<sub>f</sub>=6mを選択する。1掘進長1mの全断面掘削と3m単位の早期閉合は、交互施工である。

表-1 早期閉合トンネル諸元

1掘進長 (m)	1.00	
変形余裕量 (cm)	0	
支保構造	吹付け厚 (cm)	20
	圧縮強度 (28day)	36N/mm <sup>2</sup>
	鋼アーチ支保工	HH-154 (SS590)
	ロックボルト工	L=4m, 170kN (16本)
早期閉合構造	早期閉合部材	上・下半と同様
	構造半径比 (r3/r1)	2.50
	早期閉合距離 L <sub>f</sub> (m)	6/9
覆工厚 (cm)	35	
掘削補助工	注入式長尺鋼管フォアハイルング, L=12.92m (29本)	

#### 4. 切羽形状測定

切羽形状は、3D-Laser scanner system(TOPCON, GLS-1500)を用いて、切羽画像として測定する(図-2)。測定対象は、鏡吹きされた表面とし、測定精度は4mmである。測定した画像は、剥落の規模や曲面切羽形状を代表する最大剥落深さ、主働崩壊線、掘込み長などとして数値化し、これらを参考にして、曲面切羽形状を設定する。

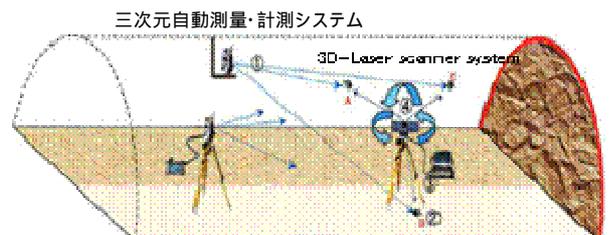


図-2 3D-Laser scanner system 概要

キーワード：強度不足、地すべり崩積土、早期閉合、曲面切羽、3D-scanner

連絡先：東京都港区芝浦1-2-3シーバンスS館, Tel.03-5441-0566, Fax.03-5441-0510

5. 曲面切羽による施工結果

(1) 切羽崩壊

地すべり崩積土に入って最初の長尺先受け工注入開始時に、切羽鏡のアーチ部約 120 度の範囲が、進行方向凸の曲面形状で崩壊した(写真-1, STA.448+08)。これ以降は、切羽鏡の安定確保を目的として、安定形状の曲面切羽を採用した。



写真-1 長尺先受け工注入開始時切羽崩壊

(2) 切羽の安定形状

3D-scanner で測定した切羽画像は、図-3 に示す。不安定な岩盤ブロックなどを取り除き、施工目標とする安定形状の曲面切羽形状は、地山性状や作業員の技量などの違いにより、切羽形状は異なる(図-4)。

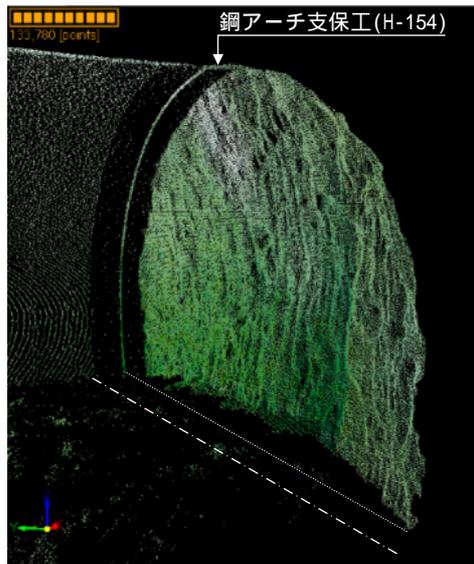


図-3 曲面切羽画像(最大剥落深さ 2.57m)

この切羽画像 22 データから、曲面切羽の最大剥落深さは 4.0m、主崩壊線は 58 度、鏡 SL 掘込み深さの平均は  $L_s=2.9\text{m}$  となり、概ね目標どおりの切羽形状の施工が可能であった。これにより、切羽鏡の自立性は高まり、切羽作業の安全性は向上した。

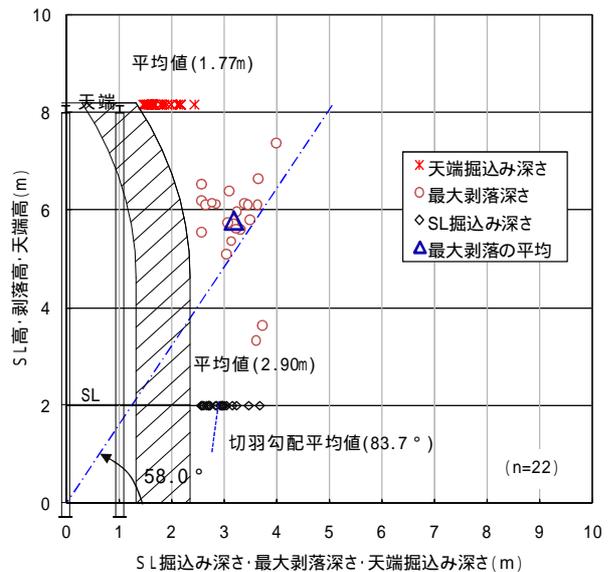


図-4 最大剥落規模と切羽形状

(3) 早期閉合距離の影響

STA.447+57 の曲面切羽を対象とし、切羽形状を 3D-Laser scanner で読み取りながら早期閉合距離を  $L_f=9\text{m}$ 、 $L_f=6\text{m}$  とする早期閉合を連続して実施した。その結果、「主働崩壊線より上側位置での早期閉合は、 $L_f=6\text{m}$  閉合においても、鏡吹付けした自立性の高い曲面切羽の安定性への影響はない」が実証された。 $L_f=2\text{m}$  閉合においても、早期閉合影響は小さいが推察される。

(4) 曲面切羽形状の設定

切羽の 22 画像データを基にして定めた曲面切羽形状は、曲面と直平面で形成し、鏡の前面は直平面とする(図-5)。掘込み長の目標は、1 掘進長の 2 倍の 2.0m に鋼アーチ支保工建込み余裕の 0.3m を加えた  $L_s=2.3\text{m}$  である。曲面の半径中心は、トンネル中心において、主働崩壊線 (58 度) と直平面の交点位置 (直平面高 3.7m) をとおる下半盤に平行する直線上に設ける。この曲面の半径は、 $r_f/r_1=1.8$  となる。

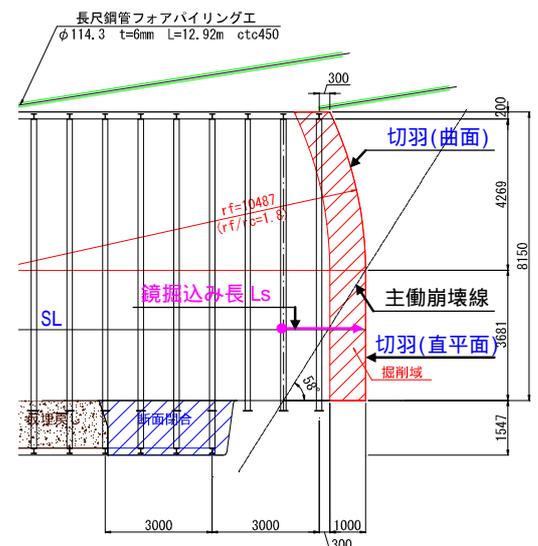


図-5 曲面切羽形状

6. まとめ

地山強度比が 0.5 を下回る早期閉合トンネル D c-2-K のトンネル施工に曲面切羽を採用し、3D-Laser scanner で切羽形状を切羽画像として数値化することにより、切羽剥落の規模や切羽形状を定量的に分析、評価し、D 地山における曲面切羽形状を検討、設定した。今後は、E 地山に適用し、安定性を確認する。