

山岳トンネルインバートの品質向上への取り組み

五洋建設 土木技術部 正会員 ○持田 真輝, 大久保 結生
五洋建設 小嵐トンネル工事事務所 青木 英一, 市川 諒

1. はじめに

山岳トンネルのインバートは、支保工あるいは覆工と一体となってトンネル断面をリングとして閉合することで、建設中だけでなくトンネルの長期的な安定性等の重要な役割を担っている。当社は、これまでインバート工の養生に対してEPSを用いた養生に取り組んできた¹⁾。インバート工の全サイクルを通して品質向上に取り組むため、インバート工の掘削とコンクリートの型枠、打込みに着目し、品質向上に対する検証を行った。

本稿は、掘削高さの管理手法、透水製型枠用シートおよびコン止めクシによる立ち上がり部分の品質向上について効果を検証し、報告するものである。

2. 実験概要

掘削深さの管理手法について説明する。3次元状に近赤外線($\lambda = 905\text{nm}$)を照射し、センサ周辺の距離から形状やセンサの位置を把握できる3D LiDARを使用した。取得した点群データから掘削前後の形状の差分を算出し、掘削深さデータを取得した。本検証で使用した3D LiDARは、Livox社製のMID-70である。3D LiDARはマグネット付き治具を用いて支保工、バックハウキャビン等高さの異なる複数の場所に設置し、掘削前後で掘削範囲(2.5m×3m)を撮影した(写真-1)。複数の3D LiDARデータを統合するため指標を設け、この指標を基準に点群を合成し、撮影方向によ

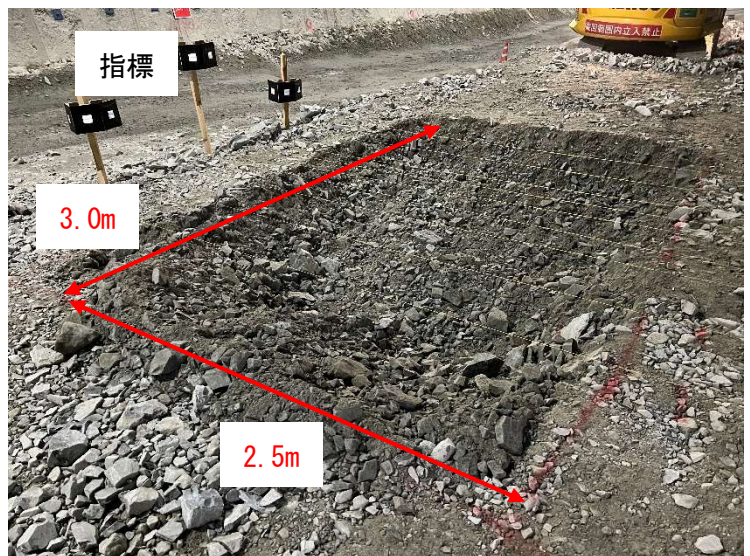


写真-1 撮影実験の実施状況

て死角が生じないようにした。掘削後は掘削範囲内を水系でメッシュ切りし、交点をスケールで計測したものを実測値として取得データと比較し、精度を検証した。掘削深さは500mmとした。

コンクリートの品質向上に対しては、締固め時に気泡が抜けにくい肩部のあばた防止として透水性型枠用シート、コンクリートのインバート中央への流下防止としてコン止めクシを使用して効果の検証を行った。効果は、埋戻し前にインバート肩部表層と形状の目視確認、材齢28日時のシュミットハンマーによる強度確認および透気試験による透気係数測定の3項目で評価した。使用した透水性型枠用シートおよびコン止めクシは、それぞれ(株)前田工織のアバノンおよび丸井産業社製のコン止めクシ(プラスチック製 H=300)である。図-1および写真-2に示すように木製型枠に透水性型枠用シートとコン止めクシを取り付けた。

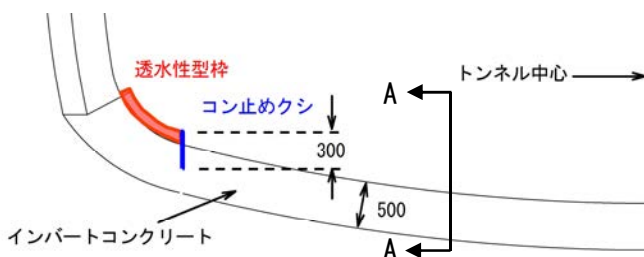


図-1 型枠断面図(A-Aは写真-2の撮影方向)



写真-2 型枠設置状況

キーワード 山岳トンネル, インバート, 3D LiDAR, 掘削管理, 品質管理,

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8 五洋建設株式会社 土木本部 土木技術部 TEL03-3817-7531

3. 実験結果

(1) 3D LiDARによる掘削前後の差分算出

図-2に掘削深さの差分算出コンター図、写真-3に掘削状況を示す。

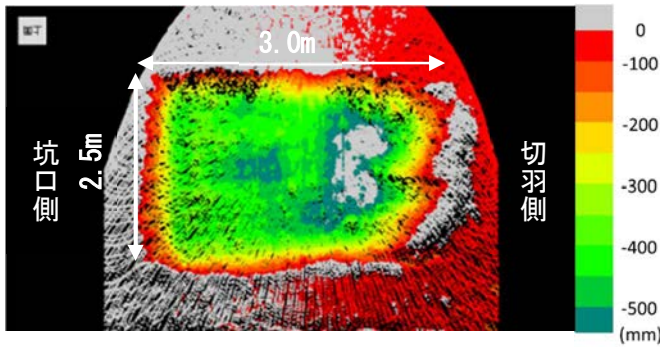


図-2 差分算出コンター(平面)

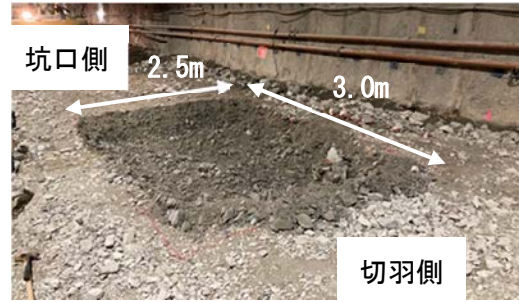


写真-3 500mm掘削状況

表-1に示すように実測値と測定データを比較すると最大で23mm, 平均12mm程度の差であり, 測定データにおける精度は実測値と大きく異ならず, 掘削管理に必要な精度であることが確認できた。

表-1 各メッシュ範囲の実測との差

		3.0m										
		-9	-14	-5	-12	-4	-7	-15	-12	3		
		8	-15	-13	-13	-16	17	-18	-14	-20		
坑口側		17	-19	-20	-4	9	18	18	-10	-19	切羽側	2.5m
		9	-4	-4	-5	-3	6	-2	-9	-5		
		-15	-10	-22	-18	-7	-6	-10	-3	-19		
		9	-16	8	-19	1	-10	-19	20	-15		
		19	-11	-13	8	9	-13	-7	-16	23		
		単位:mm										

(2) コンクリート打設における品質向上効果の検証

写真-4, 写真-5に脱型後のインバート肩部の表面状況, 断面の状態を示す。東北地方整備局の表層目視評価(トンネル覆工コンクリート用)²⁾で評価すると, あばたがほとんど見られず, 4の最も高い評価「5mm以下の気泡もほぼ無し」に該当していた。コン止めクシを使用した部分では, バイブレータによる締固めを十分に行った状態で, インバート型枠下の断面形状も平滑に仕上がっていることがわかる。



写真-4 脱型後の肩部表面状況



写真-5 脱型後の断面形状

表-2, 表-3に材齢28日時のシュミットハンマーによる強度試験の結果と透気試験の結果を示す。強度試験は坑口側, 中央部, 切羽側の3箇所で, 透気試験は中央部で3箇所測定を行った。強度試験では, 配合強度以上の強度, 透気試験では, 良または優の結果が得られた。このことから, 本施工方法は密実で品質の良いインバートコンクリートの構築に有効であると考えられる。

表-2 強度試験結果

表-3 透気試験の結果

測点	シュミットハンマー			測点	透気試験		
	平均 (N/mm ²)	最大値 (N/mm ²)	最小値 (N/mm ²)		KT (10 ⁻⁶ m ³)	評価	含水率 (%)
1	28.5	33	25	a	0.083	良	4.0
2	31.4	34	26	b	0.061	良	
3	31.9	35	26	c	0.003	優	
平均	30.6	34.0	25.7	平均	0.049	良	-

※コンクリート配合強度:24.0N/mm²

4. まとめ

掘削深さを3D LiDARによる掘削前後の差分算出で管理する手法は, 掘削管理に必要な精度を確保していることが確認できた。また, コンクリート打設における品質向上効果の検証では, コン止めクシとアバノンの効果を十分に確認できた。本検証で得られた課題を踏まえ, 実用化に向けて開発を進め, さらなるインバート工の効率化および品質向上を目指していく。

参考文献

- 1) 五洋建設: キュアロード: <https://www.penta-ocean.co.jp/news/2018/180522.html>
- 2) 国土交通省 東北地方整備局: コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(トンネル覆工コンクリート編), pp. 71, 2016.