

## トンネル切羽に出現した空洞に対する施工事例

国土交通省 九州地方整備局 延岡河川国道事務所 建設監督官 佐土原 一也  
 (株)大林組 九州支店 大平山トンネル西工事事務所 正会員 ○原口 雄人  
 (株)大林組 九州支店 大平山トンネル西工事事務所 正会員 久下 敦

### 1. 工事概要

本トンネルが計画された国道 218 号高千穂日之影道路は、熊本と延岡を結ぶ広域交通ネットワークを形成し、被災時の緊急輸送ルートとなるとともに産業振興を支援する効果をもたらす路線である。本工事はその一部に計画された大平山トンネル(L=2,306m)の起点側(L=1,177m)を新設するものである。工事概要を表-1に示す。

表-1 工事概要

工事名称	宮崎218号大平山トンネル西新設工事	
施工場所	宮崎県西臼杵郡日之影町七折地先	
発注者	国土交通省九州地方整備局 延岡河川国道事務所	
工期	平成26年3月12日～平成29年3月31日	
工事内容	施工延長	L=1,177m (トンネル延長 L=2,306m)
	内径	R1=7.75m、R2=5.05m (標準部)
	内空断面積	93m <sup>2</sup> (標準部)～141m <sup>2</sup> (坑口拡幅部)
	地質	秩父累帯 石灰岩・粘板岩
	支保種別	C I、C II、D I、D III
施工方法	C：補助ベンチ付全断面工法 D：上半先進ショートベンチカット工法	

### 2. 工事の特徴・技術的課題

本トンネルの地質は、秩父累帯の石灰岩及び粘板岩であり、とくに石灰岩は全体に亀裂が発達した岩盤であった。この石灰岩は雨水等の浸食により空洞が生じやすく、トンネル掘削中の切羽に空洞が出現することが懸念された。

切羽に空洞が出現した場合、その規模、出現位置、性状(風化状況、土砂堆積状況)によってはトンネルの安定性、作業時の安全性、工程確保等に大きく影響を及ぼすことがある。そのため出現した空洞に応じて、適切な対策工を速やかに行うことが重要である。

### 3. 対策工

#### (1) 事前対策

着工前に空洞の出現が予測されたため、事前対策として前方の地質状況や空洞の有無を探りながら施工することとした。弾性波探査や電気探査では掘削作業の一時中止が伴うため、工程遅延やコスト面を考慮しドリルジャンボによる穿孔探査を採用した。その探査は、トンネル全線で切羽前方とトンネル外周について行った。切羽前方については、ノンコア削孔切羽前方探査システム「トンネルナビ」を40m毎に実施し、トンネル外周についてはロックボルト(CII:L=4m)施工時に、削孔速度、スライム状況、湧水状況を確認した。

空洞が出現した場合を想定し、吹付けコンクリートによる空洞充填を基本とした対策工を立案した(図-1)。また、空洞充填が不十分な場合は、支保の補強を追加することとした。

	パターンA	パターンB	パターンC
空洞位置	天端・側壁	天端・側壁	路盤下
施工図			
施工方法	吹付けコンクリートで充填することを基本とする。ただし、ロックボルトが打設できない箇所では支保の補強を行い、エアモルタルで充填する。	トンネル外周から1mにキーストプレート等で型枠を取付け、吹付けコンクリートで吹き付ける。ロックボルト孔を水抜孔としておく。トンネル外周から4mまで空洞をエアモルタルで充填する。	ずりで埋戻しを行うことを基本とする。ずりによる埋戻しが困難な場合は、下半盤から2mまでをコンクリート、モルタル等で充填を行う。

図-1 空洞充填対策工

キーワード 山岳トンネル、石灰岩、空洞

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ (株)大林組 TEL 03-5769-1319

(2) トンネル外周の空洞 (天端・側壁)

No. 42+13.0 (坑口から 685m 地点) から約 20m 間の天端から左肩にかけて、空洞 (深さ 3m 程度) が出現した (写真-1)。この区間の岩質は石灰岩であり、空洞周辺は風化して茶褐色となっていた。



写真-1 空洞状況

出現した空洞はトンネル外周から 3m 以内であったことから、掘削後、1 次吹付の段階で、吹付けコンクリートで空洞の充填を行った (写真-2)。全周のロックボルト (L=4m、21 本/間) がすべて打設できたことから、空洞は吹付けコンクリートにより充填できたと考える。その後、天端沈下および内空変位の増大や吹付けコンクリートおよび支保の変状はとくに見られなかった。



写真-2 空洞充填状況

(3) トンネル側壁部および路盤下の空洞

No. 14+10.0 付近 (坑口から 122m 地点) では、側壁部にトンネル壁面から 5m 以上の深さの空洞が出現した。また、この空洞は下方に広がっていたため、トンネル掘削を一時休止し、空洞の範囲を把握するため、ドリルジャンボによる穿孔探査 (ロッド長 L=6m : 写真-3) を実施した。



写真-3 穿孔探査状況

探査の結果、路盤下の空洞は想定した大規模なものではなく、大きな割れ目のような空洞が確認された。そこで、空洞をモルタルで充填した後にずりで埋戻しを行い、側壁部の空洞はエアモルタルで充填した。路盤下の空洞箇所は、覆工コンクリート打設完了時点で、支保の変状、路盤の陥没は発生していないが、供用時の安全対策として床版コンクリートを施工した。

4. まとめ

本トンネルで出現した空洞の規模、形状は様々であった。そのため、図-1 に示した事前検討案を基本として、出現した空洞状況に応じた対応案を発注者と個別に協議し、施工を行った。

ドリルジャンボによる穿孔探査では、削孔水が茶色く変色し、かつ正規化削孔速度比の波形のばらつきにより 7 箇所で空洞出現を予測できた。No. 42+13 に出現した空洞の手前から実施したトンネルナビの結果を図-2 に示す。空洞の手前から削孔水が茶色く濁り始め、空洞箇所で正規化削孔速度比が急激に上昇し、かつ削孔水が戻らなくなったことから、空洞の存在を事前に予測することができた。切羽で空洞が出現する兆候としては、切羽での風化した石灰岩の分布範囲や茶褐色の粘土が多くなると切羽周辺で空洞が確認されることが多かった。

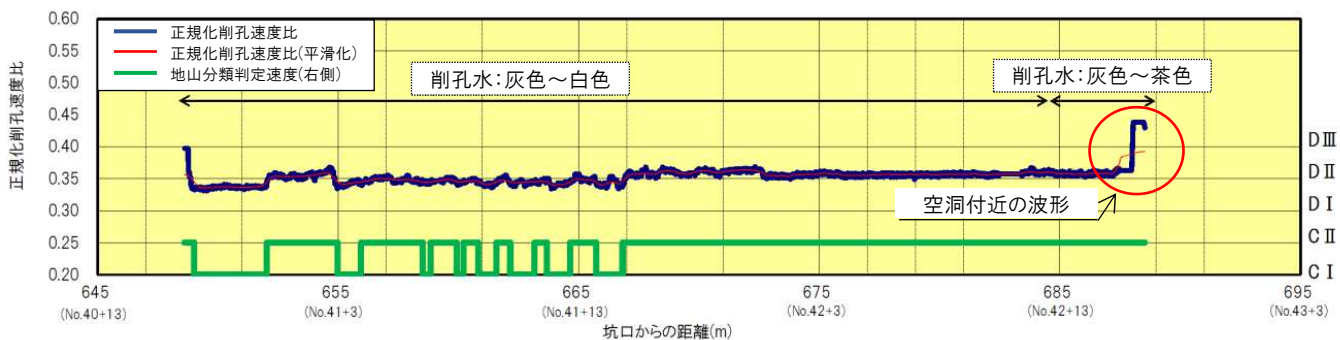


図-2 空洞付近の切羽前方探査結果 (No.42+13~No.43+13)

以上より、切羽前方探査時の削孔状況や正規化削孔速度比と掘削時の切羽観察を合わせることで切羽前方の空洞の存在が予測できたと考える。ただし、トンネル断面に対して空洞規模が小さい場合、1 本の切羽前方探査だけでは空洞を見落とす恐れがあるため、複数本の探査を行うことが望ましいと言える。

今回切羽に出現した空洞は、小規模で安定したものが多く、その内部に地下水がなかったため、吹付けコンクリートによる空洞充填が有効であった。地下水や湧水のある場合においても、事前に水抜きボーリングによる湧水対策と併用すれば有効な手段といえる。今後、本報文が同様な工事の参考になれば幸いである。