

切羽に出現した空洞への探査方法及び充填方法について

戸田建設(株)	正会員	○上田	洋
戸田建設(株)	正会員	湯北	記代彦
戸田建設(株)	非会員	小林	由委

1. はじめに

道路トンネル新設工事において、起点側坑口より 200m ほど進行した箇所で切羽面に空洞が出現した。空洞はトンネル断面のほぼ中央に存在し、目視及び検測により 7m ほどは切羽に出現し続けることが予想された（写真-1）。加えて、空洞付近は湧水によって褐色砂質土に風化し、切羽肌落ちによる災害の可能性も考えられた。このような大きな空洞を放置しておくことは切羽周辺地山の緩み領域の拡大を助長することとなるため、早急な空洞探査及び空洞充填を実施する必要があった。

本文では、出現した空洞に対して、正確な形状や体積を把握するために実施した空洞探査と空洞充填対策及び結果について記述する。



写真-1 切羽全景

2. 空洞探査方法の検討と探査結果

写真-1 のような空洞は砂岩質の岩盤を通過するトンネルに出現することは稀有であり、探査方法及び対策方法が確立されていない。まずは、空洞形状・体積の把握及び目視では確認できない空洞内の大規模割れ目や空洞延長の探査を実施した。

1) 空洞探査方法の検討

空洞は目視及び検測によって、前方へ 7m、縦横に 3~4m の空間であることが確認できている。しかし、目視では確認できない空洞の有無も疑われ、空洞分布状況をより正確に把握する必要があった。このような明確な空洞以外に存在の有無が疑われる空洞類の分布状況を探査するためには、細やかな形状の把握と空洞体積を確認できる 3D レーザースキャナが有効であると判断し、採用した。

さらに、3D レーザースキャナの面状測定では把握しきれない、開口割れ目や空洞の有無を調査するため、工業用内視鏡による画像調査も採用した。

2) 空洞探査の結果

3D レーザースキャナと工業用内視鏡による空洞探査の結果を図-1 に示す。3D レーザースキャナによる探査は計 2 回実施した。計測できた空洞体積は合計 5.4m³ であり、切羽上方に向かって推移していることも判明した。また、工業用内視鏡による画像調査の結果から空洞は 3D スキャンの探査範囲外(9m)よりも奥に続いていることが判明した。加えて、空洞付近は風化作用を受け茶褐色に変色しており、砂質土砂及び 30 cm 程度の玉石状の岩塊も確認された(探査場所③)。

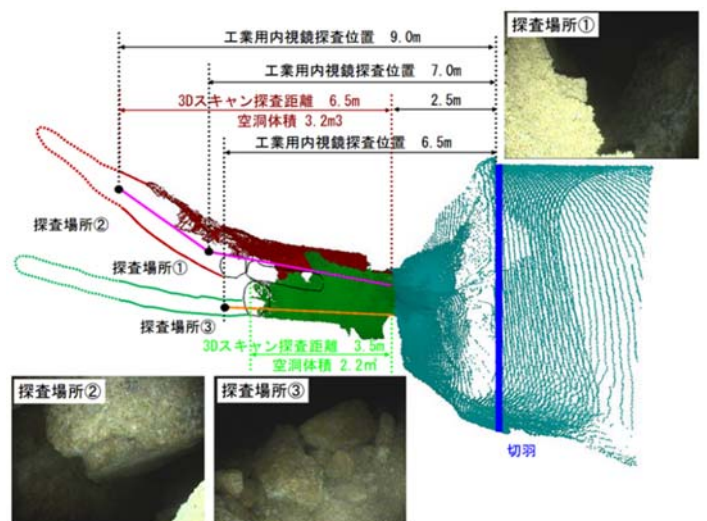


図-1 空洞探査結果(縦断面図)

キーワード トンネル掘削, 空洞探査, 空洞充填

連絡先 〒461-0001 愛知県名古屋市中区泉 1-22-22 戸田建設(株)名古屋支店土木工事部工事室

3. 空洞充填対策の検討

探査結果より、空洞充填の材料および工法の検討を行った。最初に充填材料について、一般的に空洞充填で使用されるモルタル系とウレタン系の2つの注入材について比較検討した(表-1)。比較検討の結果、切羽上方に向かって推移している空洞形状に対する充填性、地山安定性などを考慮して、ウレタン系注入材を採用した。次に工法は、小口径長尺二重鋼管の鏡ボルトを採用した。これは、長尺鋼管の縫付効果によってさらなる地山安定性の向上に期待したためである。鏡ボルトの施工箇所を図-2に示す。鏡ボルトは空洞を囲うように配置し、その間隔についてはシリカレジンによる改良効果が十分に得られるように考慮した。また、注入量については3Dレーザースキャンによって得られた空洞体積5.4m³より算定した。

表-1 充填材料比較表

項目	充填材料 ※着色側に有利性あり	
	モルタル系注入材	ウレタン系注入材
使用区分	空洞に対して重力方向のみの流動性で充填(落下・流下充填)	加圧充填を基本とすることから空洞方向に制約なし
充填性(浸透性)	マスブロックな空洞には最適だが小さな枝分かれ空洞は困難	発泡による接着力を保持しつつ、空洞から細かな間隙まで浸透して充填
硬化時間	凝結始発時間:セメント注水後2~2.5h 凝結終結時間:始発より40min~1h程度(普通セメント-ストの場合)	45~120秒(効果反応終了時間) ※急激に発泡し、地山の内部応力を高め、岩片間の結合力を高める
材料強度	σ28日:1~2.5MPa	発泡後:3~4MPa
岩塊間の接着力	σ28日×28%以下 ※コンクリート付着強度	発泡後:1~2MPa
周辺地山改良効果	・空洞を埋めることによる改良効果あり ・岩塊同士の接着性は低い	・空洞を埋め、岩盤を接着することによる改良効果あり
経済性	空洞20m ³ で試算:380万	空洞20m ³ で試算:540万
地山安定性	地山の安定性向上に劣る	切羽前方地山全体の安定性が向上
作業の安全性	切羽での肌落ち災害・地山崩落災害の抑止効果がやや低い	切羽での肌落ち災害・地山崩落災害の抑止効果が高い
総合評価	▲	◎

4. 空洞充填の結果と効果

小口径長尺二重鋼管の鏡ボルトを施工した結果、ウレタン系注入材の注入率は設計注入量の約115%となった。この注入率だけでは空洞充填の効果を判断できない。そのため、空洞付近の探り削孔(図-2)を実施し、工業用内視鏡による画像調査によって効果を確認した。画像調査の結果より、切羽空洞がシリカレジンによって充填されていることが確認された(写真-2)。その後、トンネル掘削を再開したが、発破後の切羽自立と空洞充填の効果を確認することができた。

5. まとめ

今回の切羽面に出現した予期せぬ空洞に対して、早急に探査方法及び空洞充填方法を検討・実施することで早期の地山安定を図ることができ、トンネル掘削の早期再開につながった。本工事で実施した探査方法と充填方法のフロー図を図-3に示す。今後の同様な事象に対する一助となれば幸いである。

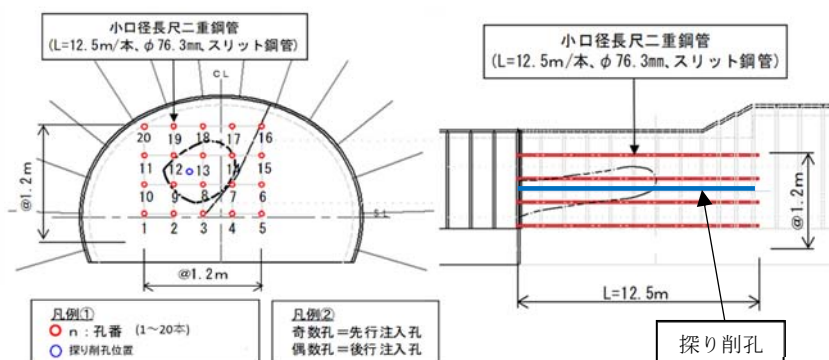


図-2 施工箇所と探り削孔位置



写真-2 空洞位置での画像調査

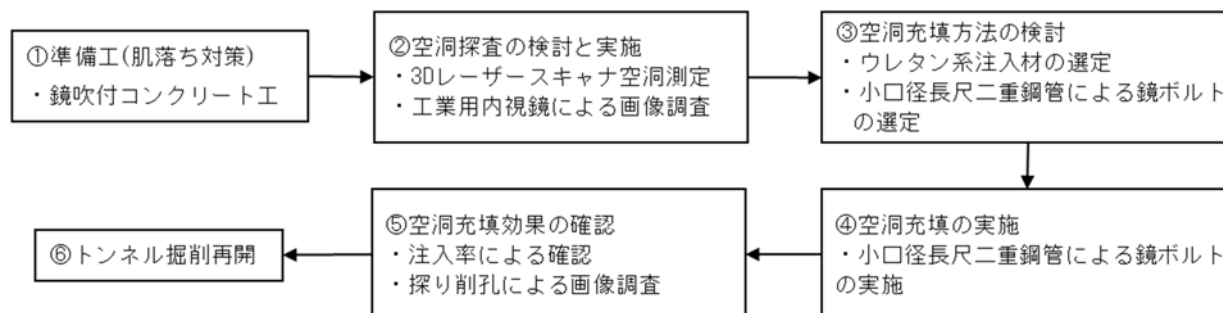


図-3 空洞対策におけるフロー図