

ファイバースコープによる石灰岩空洞の探査方法と空洞対処方法について

ハザマ土木事業本部 正会員 ○河邊 信之 長沢 教夫 正会員 山本 浩之
ハザマ名古屋支店 馬場 裕 山下 政文 若宮 西

1. はじめに

石灰岩層は、雨水、表流水等により溶食を受け、地山内に空洞が形成され、規模の大きいものは数 km 範囲に及ぶことが知られている。トンネル掘削時にこのような空洞が出現した場合、その空洞の大きさ、出現位置、性状（風化状況、土砂等の堆積状況）によってはトンネルの安定性に大きく影響を及ぼすことがある。したがって、トンネル掘削時には事前にその大きさ、位置、性状等を的確に把握することが重要である。本報は、古生代石炭紀～中生代ジュラ紀の秩父層群南帯に属する石灰岩層における高速道路二車線トンネル工事で適用した簡易的な空洞探査方法、および出現した空洞に対する対処方法について述べる。

2. 現状のトンネル掘削時の空洞探査方法

トンネル掘削時に切羽前方の地質調査を行う代表的な方法としては、水平調査ボーリングが挙げられる。調査ボーリングの種類としては①コアボーリング、②ボーリングマシンによるノンコアボーリング、③ホイールジャンボによる探りボーリングがある。このうち①、②はある程度詳細な地質情報が得られるものの、石灰岩層出現位置全線にわたって適用することは工程、コストが多大になる。③はトンネル穿孔機械であるホイールジャンボを転用するため工程、コスト面で優れているものの、得られる地質情報が少なく、例えば空洞内に“ボラ”などと呼ばれる土砂等が堆積し充填している場合、空洞状況を正確に判別することは難しい。また、ボーリング情報を補完する技術として削孔したボーリング孔内を観察するボアホールカメラがあり、ボーリング孔壁面の地質状況（風化状況、亀裂の開口、走向傾斜等）を詳細に把握することが可能であるが、作業が煩雑であり、コストが高い等の欠点を有している。

3. 簡易的な空洞探査方法の概要

今回、通常パイプ等の管内部観察に使用するファイバースコープを利用して、切羽面の水平ボーリング孔内の壁面観察を行った。なお、水平ボーリング孔は、最も安価であり、施工性も良好なホイールジャンボにより削孔した。図-1 にファイバースコープ概要を示す。探査方法は切羽面で水平ボーリング（1回当たり 30m、φ 75mm）を実施し、削孔時ののみ下がり速度、スライム観察、湧水発生状況を確認した後、先端に照明付きのカメラを搭載しているファイバースコープ（ヘッド部 φ 33mm、ケーブル長 30m）をボーリング孔内に挿入し、壁面観察を試みた。

4. 空洞探査実績

空洞出現位置におけるファイバースコープによるボーリング孔内状況を写真-1 に示す。写真-1 は探りボーリング削孔時に、茶褐色の大量湧水が発生した地点の状況である。この地点は、フィード圧を一定にしたのみ下がり速度等からは速度の変化は確認できたものの、地質脆弱部であるか土砂等が充填している空洞であるかは判断できなかった。しかし、ファイバースコープ壁面観察を実施したところ、茶褐色の大量湧水は空洞内部に堆積した土砂が大量の宙水ともに突発的に発生したものであり、空洞は小規模で壁面は安定していることが把握できた。



図-1 ファイバースコープ概要



写真-1 空洞箇所における孔内観察写真

キーワード 空洞探査、石灰岩、ファイバースコープ、探りボーリング、前方探査

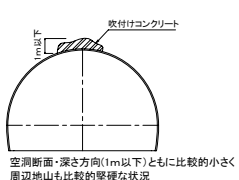
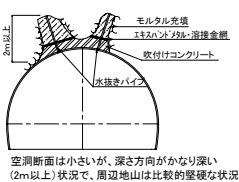
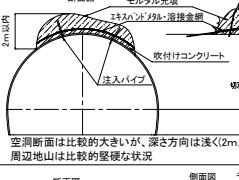
連絡先 〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5 ハザマ土木事業本部技術第二部 TEL 03-3588-5770

5. 空洞対処方法

空洞がトンネルに出現した場合の対処方法としては、その位置、規模、状況等により大きく異なる。空洞周辺が変質化することにより、切羽全体が自立せず崩落・崩壊に至る場合については、通常の地山脆弱部におけるトンネル掘削と同様に、その現象に応じた補助工法の採用となる。一方、空洞自体は安定するものの、空洞の存在によりトンネル全体の安定性が損なわれる場合については、トンネルのグランドアーチを形成する目的でアーチ周辺空洞を充填することが基本となる。表－1に事前に定めた空洞規模に応じた対処方法を示す。

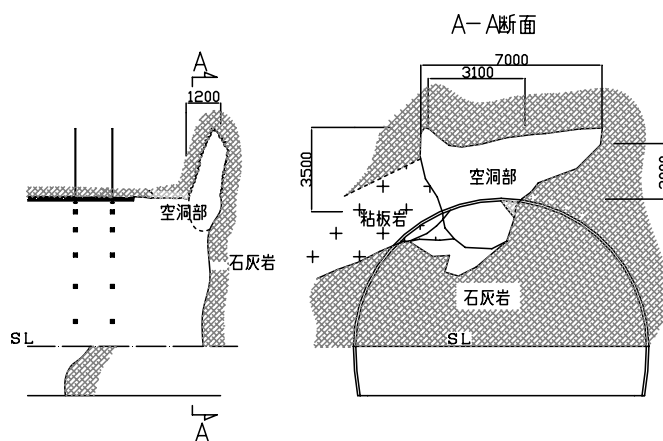
実際にトンネル掘削時に発生した空洞状況の一例を写真－2、図－2に示す。この空洞はトンネル天端に出現し、形状は奥行き1.2mのレンズ状で、空洞幅約3.1m（空洞深部においては約7m）、高さ約2.0～3.5m、空洞体積約16.7m³であった。通常この程度の空洞が出現し、規模や性状が不明な場合、切羽の安定性において大きな問題となる。しかし、今回事前にファイバースコープにより壁面は自立し、切羽全体にわたって崩落が発生する恐れが少ないと判断できたため、発破掘削後、表－1を参考に事前に定めた空洞対処方法（空洞周辺補強ボルト、表層吹付けコンクリート、空洞モルタル充填、水抜きパイプ）を実施し、短期間で無事通過することができた。

表－1 空洞のタイプ別対処方法

	空洞状況と対策工図	対 策 工
TYPE1	 空洞断面・深さ方向(1m以下)とも比較的小さく 周辺地山も比較的堅硬な状況	①吹付けコンクリートにて充填
TYPE2	 空洞断面は小さいが、深さ方向がかなり深い (2m以上)状況で、周辺地山は比較的堅硬な状況	①エキスパンドメタル等の鋼材を利用した外型枠の設置 ②水抜きパイプの設置(2インチ管等)、モルタル打設管の設置 ③吹付けコンクリートによる表面吹付け ④空洞プラグとして深さ方向2mモルタル充填
TYPE3	 空洞断面は比較的大きいが、深さ方向は浅く(2m以内)、 周辺地山は比較的堅硬な状況	①エキスパンドメタル等の鋼材を利用した外型枠の設置 ②吹付けコンクリートによる表面吹付け ③モルタルで空洞充填
TYPE4	 空洞断面・深さ方向(2m以上)とも深く、 周辺地山も脆弱で崩壊性のおそれがある状況	①鋼製支保工を利用してエキスパンドメタル鋼矢板等の鋼材で 外型枠の設置 ②水抜きパイプの設置(2インチ管等)、モルタル打設管の設置 ③吹付けコンクリートによる表面吹付け ④空洞プラグとして深さ方向2mモルタル充填



写真－2 空洞発生状況写真



図－2 空洞状況模式図

6. まとめ

直接ボーリング孔内の壁面状況を簡易に観察できるファイバースコープを利用し、石灰岩層の空洞状況等を事前に把握することで、空洞が出現した場合の早期対応が可能となった。トンネル掘削時の切羽前方探手法は調査方法によっては施工性、コストに大きな影響を与えることから、簡易かつ的確に把握できる手法の選定が望ましい。したがって、今回用いたファイバースコープによるボーリング孔内観察方法は、簡易であり直接地質状況を事前に確認できることから、切羽前方探査の有効な手法の一つと考えられ、今後もその適用性拡大に向けて取り組む所存である。