

## I-2. ボアホールカメラを使用した石灰岩溶食空洞の確認と解析

田村ボーリング(株) ○石指 翔平

### 1. はじめに

石灰岩が分布する地域では、石灰岩中に溶食空洞が発達し、建設工事において悪影響を与える場合がある。本稿業務対象箇所においても、計画構造物支持地盤となる基盤岩の一部が石灰岩で構成されており、溶食空洞の分布が問題となった。本稿では、ボアホールカメラにより溶食空洞の状況確認をおこない、三次元解析により空洞の分布形態を推定した事例を紹介する。

### 2. 対象構造物および地質概要

対象構造物は橋梁橋脚であり、石灰岩の分布範囲に位置する既存ボーリング(2橋脚で各箇所1孔ずつ)にて溶食空洞が確認されていた。地質構成は基盤岩を石灰岩とし、これを被覆して24m 程度の支持地盤として適さない堆積層が分布していた。このような状況から、本調査では追加で合計8孔のボーリング調査を実施した。図-1に石灰岩の分布範囲と調査位置を示す。本稿では2橋脚の内の1橋脚(5P4・BV-27~30)を対象として述べる。5P4は調査実施時点でφ1500mm の杭8本が基盤岩を支持層とする支持杭で計画されていたが、杭の配置計画は確定ではなかったため、ボーリングの配置は杭位置では無く橋脚フーチングの四隅とした。図-2に当該箇所の地質縦断面を示す。ボーリング4孔の結果による確認空洞の深度を表-1に示す。4孔の内2孔で溶食空洞が確認され、2孔は石灰岩と周辺に分布する泥岩との境界部となり溶食空洞は確認されなかった。溶食空洞部のコア写真を写真-1に示す。

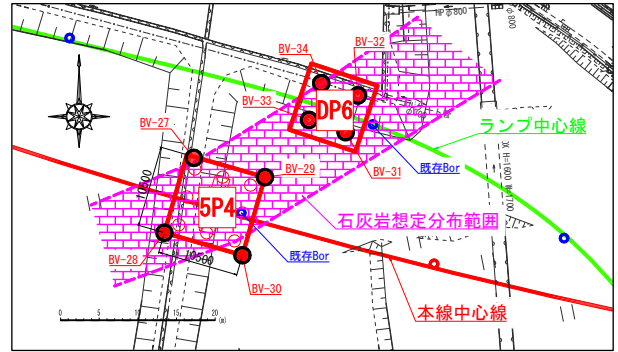


図-1 調査位置図

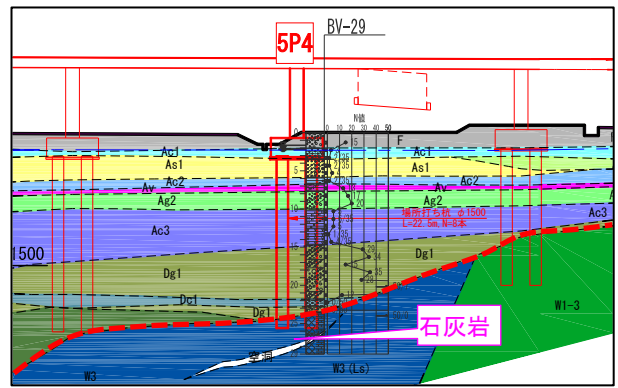


図-2 地質縦断面図

### 3. ボアホールカメラ計測

使用した弊社所有ボアホールカメラ仕様は以下。

#### 【レアックス製 井戸調査用カメラ i-Do300F-II】



■プローブ		■コントローラー	
外径	φ60mm	外径及び重量	W:270mm,D:320mm,H:170mm,4.0kg
適用口径	φ66mm~φ400mm	カメラ制御	フォーカス調整、側方カメラ回転(360°)カメラ切り替え(前方/側方)
動作環境	温度0℃~60℃、耐圧300m(3Mpa)	カメラ解像度	NTSC 水平768本、鉛直494本(有効画素数38万画素、総画素数41万画素)
カメラ解像度	NTSC 水平768本、鉛直494本(有効画素数38万画素、総画素数41万画素)	画像表示	内蔵5インチカラーLCDモニター(解像度 水平960本、鉛直234本)

溶食空洞の撮影は、φ66mm ボーリング調査で空洞に深の状態を確認して検尺した後、φ116mm ケーシングを空洞上端まで挿入・拡孔してから実施した。送水・揚水により孔内洗浄をおこなってから計測を実施したが、濁りにより空洞内の状況は確認できなかったため、凝集剤を投入して1晩置く等して、翌日に測定をおこなったところ計測ができた。また、プローブはケーブルで降下させるため、ケーシング先端よりも深部までプローブ上端を降下させると、プローブの遺留事故を発生させる可能性があったため、計測はケーシング先端よりプローブ長60cm までの約50cm の範囲で実施した。

表-1 ボーリングによる空洞分布調査結果

対象構造物	孔名	空洞位置 GL-m	特記
5P4橋脚	BV-27	無し	泥岩と石灰岩の地質境界
	BV-28	23.20~24.65	空洞下端に若干の堆積物 削孔水完全逸水
	BV-29	25.25~26.40	削孔水完全逸水
	BV-30	無し	泥岩が主体で石灰岩が脈状に混在する状態

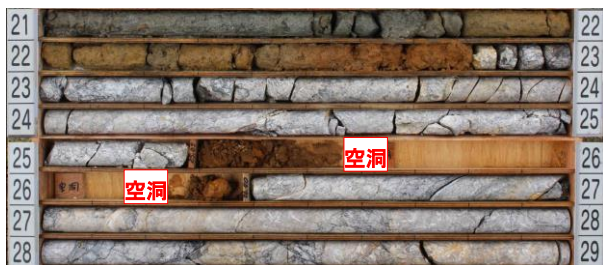


写真-1 溶食空洞部コア写真(BV-29)

#### 4. ボアホールカメラ計測結果

撮影写真と空洞の概念図を図-3に示す。計測の結果、溶食空洞は地下水に満たされた充填物の無い拡がりのある空洞であることが確認され、岩盤内で地下水に満たされているにもかかわらず、ボーリング掘削中の削孔水が逸水する(地下水が流動する)状況から、溶食空洞はつながりをもって連続していることが予測された。

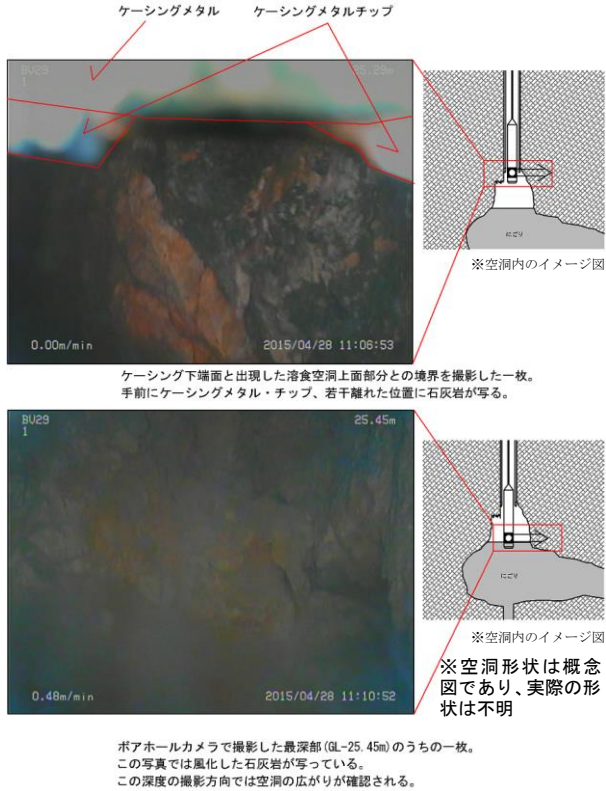


図-3 ボアホールカメラによる画像および空洞概念図

#### 5. 三次元解析による溶食空洞の分布の推定

石灰岩溶食空洞の分布について、その連続性や深度は、形成過程が地下水の流動経路であることを考えると、規則性は見出せず予測は困難である。しかし、今回の調査のような、狭い範囲で密にボーリングを実施した場合、その分布はある程度の精度をもって予測できると考えられる。溶食空洞の分布特徴として、確認できた範囲において空洞は1箇所であり、ボアホールカメラ計測で拡がりをもっていることが確認され、なおかつボーリング削孔水が空洞部において逸水したこと、空洞は閉じた空間では無く連続した一つの空洞ではないかと仮定し、三次元解析により分布を推定した。この結果、以下の分布特徴を確認した。

- ・南から北に向かって傾斜した割れ目状の空洞である
- ・上部ほど幅が広く下部ほど幅が狭くなる傾向がある

三次元解析による空洞分布イメージを図-4に示し、この解析により得られた地質断面図を図-5に示す。

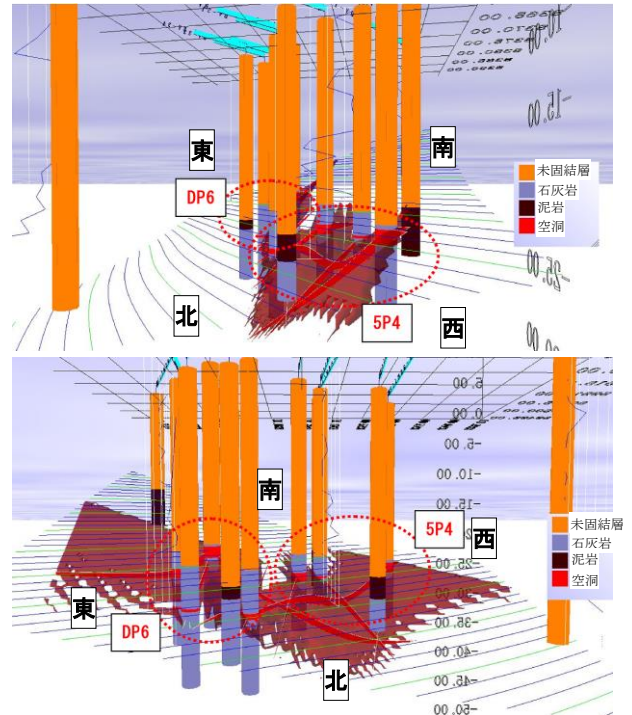


図-4 三次元解析における空洞分布イメージ

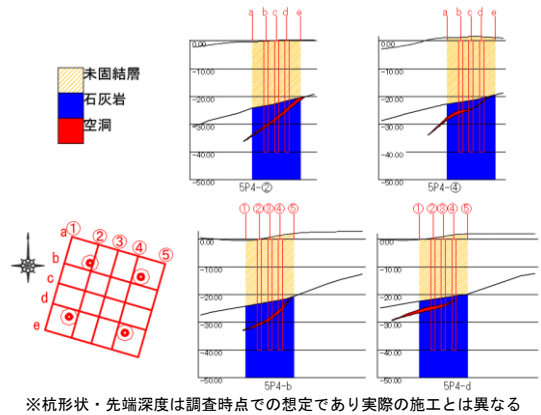


図-5 三次元解析により得られた空洞分布断面図

#### 6. まとめ

確認された溶食空洞は、傾斜した割れ目状の分布を示している可能性が高いことを確認し、設計時の杭先端深さの設定において空洞を避けることのできる断面図を提供できた。また、空洞に充填物が無く連続していることが確認されたことで、杭施工時における掘削泥水の逸水、場所打ちコンクリートの流出等の問題が発生する可能性が高いことを示すことができた。

地下深部の空洞等は通常目視確認することができず、ボーリングコア等から間接的に分布や状態を推定することしかできない。しかし、ボアホールカメラにより目視確認できれば、充填物の存在や奥行き等を直接的に確認することができる。今後も空洞に限らず地下深部の地質状況確認において、ボアホールカメラを活用できる場面があれば積極的に取り入れ、精度の高い地質調査資料の提供に努めたい。