

トンネル路面下空洞の 発生メカニズム解明と対策検討

大塚 弘貴¹・佐藤 元紀²・宮川鉄平³・遠藤 将光⁴

¹正会員 応用地質株式会社 メンテナンス事業部高知営業所 (〒780-0901 高知県高知市上町 2-5-1)

E-mail: ootuka-hiroki@oyonet.oyo.co.jp

²正会員 応用地質株式会社 メンテナンス事業部 (〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5)

E-mail: sato-motoki@oyonet.oyo.co.jp

³応用地質株式会社 メンテナンス事業部徳島営業所 (〒770-0021 徳島県徳島市佐古一番町10-2)

E-mail: miyagawa-teppey@oyonet.oyo.co.jp

⁴応用地質株式会社 メンテナンス事業部 (〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5)

E-mail: endou-masamitsu@oyonet.oyo.co.jp

Aトンネルの対象路線における路面下空洞調査実施者より, トンネルの路面(コンクリート舗装)下に空洞が発生している可能性があるとの情報提供があった. これに基づき路面下空洞を把握するためにコア抜き調査を行った. その結果, 坑口付近から坑内に向かって延長約200m, 幅50cm以上, 厚さ60cm程度の空洞が確認された. さらに, この空洞の発生メカニズムを解明するために, トレーサー試験での中央排水管内の排水状況確認, 中央排水管内に自走式カメラを走行させての中央排水管内の状況確認を実施した. 調査の結果, 中央排水管内の破損部分などから土砂が流出した形跡が確認され, これが空洞発生の原因と推察した. 空洞対策方法として中央排水管の再設置, 地山の緩み部分の置き換え, 空洞部分の単粒度碎石充填を検討した.

Key Words : under-road cavity, under-road cavity examining, countermeasure for cavity

1. はじめに

Aトンネルの対象路線における路面下空洞調査実施者より, トンネルの路面(コンクリート舗装)下に空洞が発生している疑いがあるとの情報提供があった. 対象路線の管内ではトンネル路面下に空洞が発生した事例はないが, 確認のためコア抜きを実施したところ, 路面中央部付近にトンネル縦断方向に連続する空洞が確認された. そこで, 前例のないトンネル路面下での空洞発生メカニズムの解明調査および空洞修繕設計を実施することとした. 表-1に対象トンネルの諸元を示す.

表-1 Aトンネル諸元

延長	553m
工法	矢板工法
完成年度	1972年
道路規格	第3種2級
設計速度	50km/h
幅員構成 (mm)	500-3000-3000-300-2000
交通量	13,000台/日
トンネル等級	B等級
地質	秩父帯南帯(泥岩)

2. トンネル路面下の空洞状況

提供された情報によると空洞はトンネル横断方向の中央部に縦断(延長)方向に連続して分布していることから, 路面下に配置されている中央排水管が何らかの空洞発生要因であると推察し, 中央排水管周辺を重点的に調査した. 調査は, 路面からのコア抜きおよびコア抜き箇所からのカメラ観察を行った. コア抜き箇所の選定方針として, ①インバートが施工されていない区間, ②地下水が豊富な地質境界付近, ③路面化空洞調査で確認した箇所の横断方向で行った. また, コア抜き箇所でも簡易貫入試験を行い, 空洞直下の地山部分の緩み厚を把握した.

調査の結果, 中央排水管に沿って延長約 200m, 幅 50 cm以上, 厚さ 60 cm程度の空洞が確認された(写真-1).

また, 空洞直下の地山は粘土混じり砂礫状で, 緩みは最大で1m程度あり, 換算N値0~5程度であった. 空洞は起点側坑口19.3m地点から214.9mに分布しており, 常時地下水は認められないが, 降雨後には地下水が下

流側の坑口方向に流れることがわかった。また中央排水管は有孔管であり、吸出し防止材は巻かれていなかった。ジョイントには 1cm 程度の開口部が認められた(写真-2)。しかし、空洞域下流側には空洞を形成したであろう地山の流出経路を確認することができず、空洞発生メカニズムを正確に把握しなければトンネルを長期的に安定させる修繕設計はできないと考えた。

3. トンネル路面下空洞の発生メカニズムの把握

路面下空洞の発生メカニズムを把握するため、トレーサー試験および自走式カメラを追加実施し地山の流出経路を検討することとした。トレーサー試験では空洞が確認されたコア抜き孔より食紅を添加した水を注水し、坑外の側溝に流れ出る紅色の水を確認した(写真-3)。しかし、中央排水管にどの程度のトレーサー水が流入したかは不明であった。

自走式カメラは、写真-4のとおりトンネル部直近の明

かり部のアスファルト舗装を開削して中央排水管の一部を切り取り、自走式カメラを挿入し管内の状況を撮影した。その結果、中央排水管には2.0m毎に開口を伴うジョイントおよび0.4m毎に千鳥配置の有孔部が全周に設置され、地下水が管から排水される状態であった。さらに起点から14.0m地点のジョイントは大きく変形し破損していることも確認された(写真-5)



写真-1 トンネル路面下の空洞状況

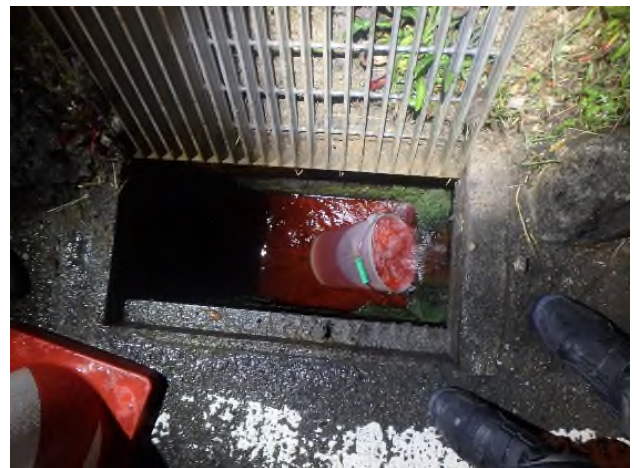


写真-3 坑外の側溝に排水されたトレーサー水

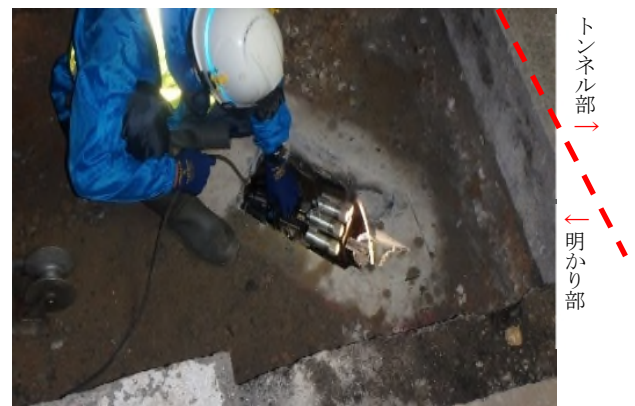


写真-4 自走式カメラ観察状況



写真-2 中央排水管のジョイント開口部



写真-5 中央排水管内部の破損部

4. トンネル路面下の空洞発生メカニズム

調査の結果、以下のことが確認された。

- ①空洞範囲は中央排水管に沿って延長約 200m、幅 50 cm以上、厚さ 60 cm程度である。
- ②空洞直下に 24 cm～117 cmの土砂の緩みがある（区間によって緩み厚は異なる）。この土砂の緩みは、侵食された土砂の堆積や中央排水管から供給された水により地盤が土砂化したものと考えられる。
- ③中央排水管のジョイントに開口及び破損がある。
- ④中央排水管到有孔部が配置されており、管から排水される状態である。

以上のことから空洞のメカニズムとして次のことが推察される（図-1）。

状態Ⅰ：地下水位が上昇した際に、中央排水管を流れる排水が中央排水管ジョイント部および中央排水管の有孔部より流出し、中央排水管周辺の埋戻し材を侵食する。

状態Ⅱ：地下水位が上下した際に、状態Ⅰで発生した空洞に中央排水管のジョイント部や有孔部より流出した排水や周辺の地下水が流入し、空洞が広がる。

状態Ⅲ：侵食された埋戻し材は、①排水管内の水量が低下する際にジョイント部や有孔部から管内に流入する、もしくは②上流側の空洞内で侵食された土砂は、空洞内を通じて下流側へ移動して堆積し徐々に中央排水管から流出する。

状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの繰り返しにより、空洞が発生および拡大したものと推察した。

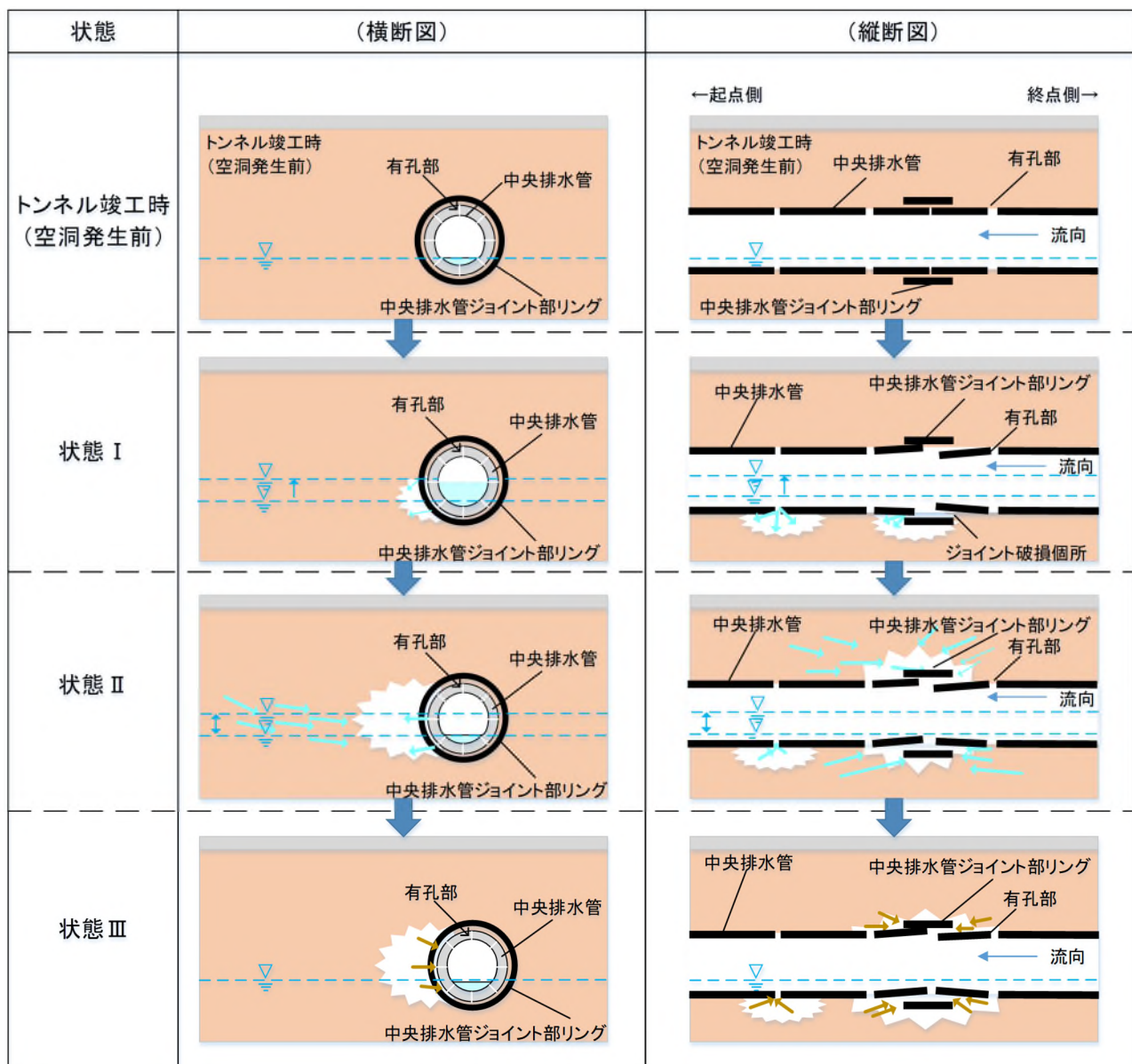


図-1 空洞発生メカニズム

5. トンネル路面下空洞の対策検討

空洞対策方法は、以下のとおりとした（図-2）。

- ①空洞直下の土砂化した地山があるため、コンクリート舗装を開削し、緩い土砂を全て除去し改良土に置き換える。
- ②破損している中央排水管は、撤去し高密度ポリエチレン管を再設置する。
- ③空洞部分は、単粒碎石により埋め戻す。

また、Aトンネルは交通量が多く昼間の工事は困難である。幸いにしてAトンネルに併設した位置に2車線道路トンネルがあり、夜間のみ併設トンネルに車両を迂回させ、夜間全面通行止めによる修繕計画が可能となった。

なお、昼間は通行を可能とするため、トンネルコンクリート舗装の目地間隔6mを1ブロックとし分割施工を行うものとした。

6. おわりに

今回のように長期的に風化し易い地山（秩父帯南帯の泥岩）に加え、中央排水管の破損や開口部を伴うジョイント等に地下水の供給が重なった場合には、このような空洞が発生・拡大する可能性がある。さらに空洞が拡大すると路面の陥没が生じる可能性も考えられる。今後は、同年代に施工されたトンネルや長期的な安定性に問題のある地山に建設されたトンネルでは、トンネル路面下空洞の存在を考慮したメンテナンスを提案する。

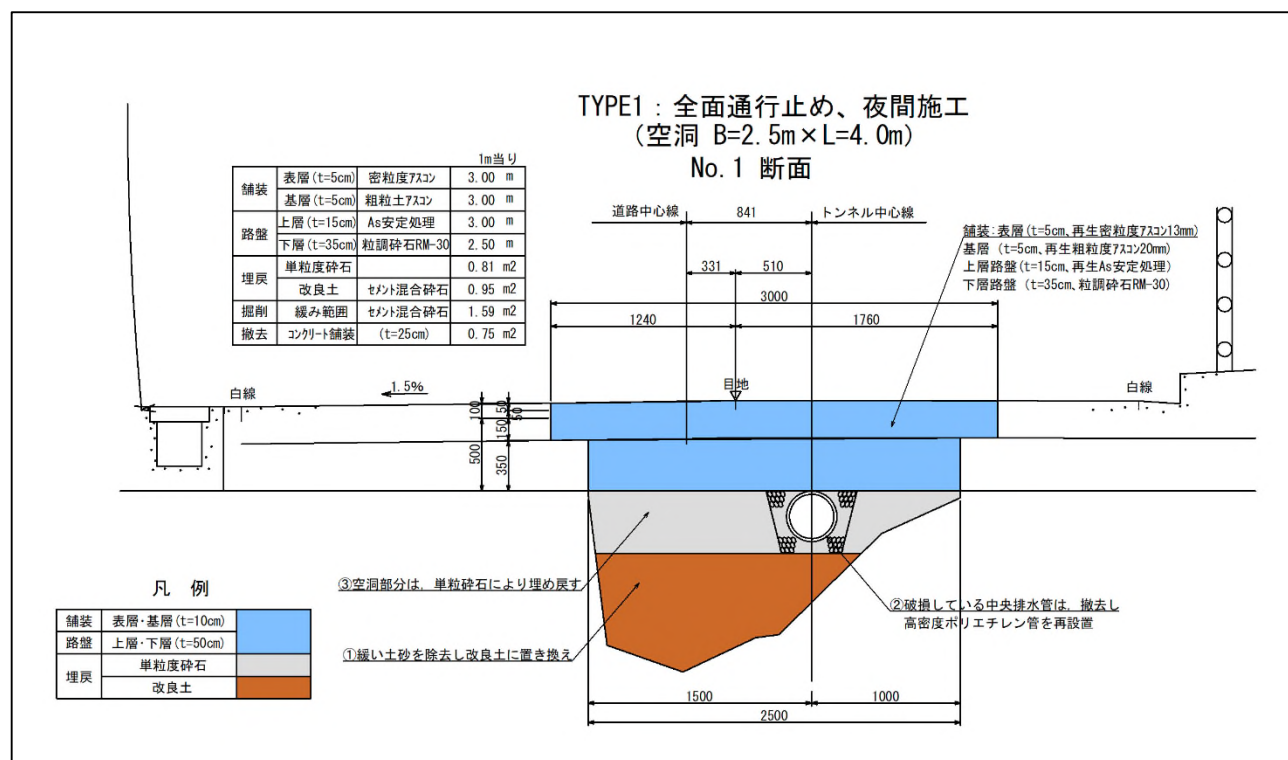


図-2 対策工検討図

(2021. 8. 6 受付)

ELUCIDATION OF THE OCCURRENCE MECHANISM AND COUNTERMEASURE INVESTIGATION OF CAVITY UNDER THE TUNNEL ROAD SURFACE

Hiroki OOTUKA, Motoki SATO, Teppei MIYAGAWA and Masamitsu ENDOU

The surveyor of under-road cavity examining provided information that there may be a cavity under the road surface (concrete pavement) of the tunnel. Based on this, a core drilling survey was conducted to grasp the subsurface cavity. As a result, a cavity with a length of about 200 m, a width of 50 cm or more, and a thickness of about 60 cm was confirmed from portal. Furthermore, in order to elucidate the generation mechanism of this under-road cavity, the drainage condition of the center drain pipe and the condition inside the center drain pipe were confirmed by running a self-propelled camera inside the center drain pipe. As a result of the investigation, evidence of sediment outflow from the damaged part in the center drain was confirmed, and it was inferred that this was the cause of the cavity. As countermeasures for cavities, we examined the re-installation of the center drain pipe, the replacement of loosen zone in the ground, and the filling of single-grain crushed stone in the cavities.