

車載式電磁波レーダによるトンネルコンクリート舗装版の空洞把握と要注意箇所の特徴抽出

西日本高速道路エンジニアリング中国 (株)

正会員 ○高砂 圭司

ジオ・サーチ (株)

正会員 森田 英明

西日本高速道路 (株) 中国支社

非会員 藤ヶ谷 孝明

大阪大学大学院 工学研究科

正会員 小濱 健吾

1. はじめに

コンクリート舗装版下の空洞の進行は段差や沈下、2方向以上のひび割れの発生を引き起こす。空洞の発生原因は複数あるが、本研究で対象とする高速道路トンネルでは、主に車両の通行によるコンクリート版の振動によってセメント安定処理路盤上部が砕かれることに起因するものが確認された。さらに砕かれた部分への水の浸入により、図-1(a)から図-1(b)の細粒分が抜け土砂化した空洞へと進行していた。一方で交通量が多く交通規制による渋滞が頻繁に起きる区間だと規制時間に制約が発生し、補修工事内容によっては実施が難しくなる。したがって、空洞を早期に把握し、空洞注入等の予防保全対策を実施することで、打換え等の大規模な補修工事を避け効率的な維持管理へと繋げることもできる。しかし、ひび割れ、段差や沈下等の発生後に空洞を把握しては遅い場合がある。一方で、FWD調査によって空洞を把握するとしても、FWD調査は部分的な調査であるために調査箇所以外の空洞を見落とす可能性があり、さらに交通規制が必須となる。

高速道路のコンクリート舗装版の FWD 調査による評価に空洞と荷重伝達率があるなか、今回は空洞に着目し、早期の把握も含め FWD 調査以外の方法を検討した。本研究は、交通規制をせずとも網羅的に調査が可能な車載式電磁波レーダ調査により空洞箇所を予測し[1]、実際のコア採取との比較を通じて電磁波レーダが空洞調査法として有用であることを検証した。また、空洞発生箇所と現地の状況を照らし合わせ、空洞が進行しやすい要注意箇所の事例を記載する。

2. 電磁波レーダのコンクリート舗装版への適用

西日本高速道路株式会社の中国支社が管理するトンネルコンクリート舗装においても、車載式電磁波レーダによる空洞調査法が有用であることを検証するため



(a) 健全な路盤

(b) 土砂化した路盤

図-1 空洞の進行による空洞注入の可否

表-1 空洞発生の予測箇所とコア採取結果の比較

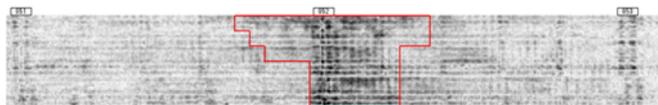
| 場所 | 電磁波レーダ判断 | | コア採取結果 | | 備考 |
|-----------|---------------------|--------|--------------------------|--|---------------|
| | 空洞疑い箇所の舗装表面からの深さ・部位 | 空洞 | セメント安定処理路盤及び粒状路盤材の表面の土砂化 | | |
| (A) TN・走行 | -250mm付近、路盤上部 | 約18mm | 有り (セメント路盤) | | |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約6mm | 有り (セメント路盤) | | 湧水有り |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約15mm | 有り (セメント路盤) | | |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約0.6mm | 有り (セメント路盤) | | |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約0.8mm | 有り (セメント路盤) | | |
| (A) TN・追越 | -270mm付近、路盤内部 | 約2mm | 有り (セメント路盤) | | |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約20mm | 有り (セメント路盤) | | |
| (B) TN・走行 | -250mm付近、路盤上部 | 約20mm | 有り (セメント路盤) | | |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約23mm | 有り (セメント路盤) | | |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約10mm | 有り (セメント路盤) | | 湧水有り |
| (C) TN・走行 | -250mm付近、路盤上部 | 約40mm | 有り (セメント路盤) | | 湧水有り |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約25mm | 有り (セメント路盤) | | 湧水有り |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約27mm | 有り (セメント路盤) | | 湧水有り |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約14mm | 有り (セメント路盤) | | 湧水有り |
| (D) TN・走行 | -250mm付近、路盤上部 | 約15mm | 有り (粒状路盤) | | 湧水有り |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約40mm | 有り (粒状路盤) | | 湧水有り |
| | -250mm付近、路盤上部 | 約5mm | 有り (粒状路盤) | | |
| | -220mm付近、コンクリート下部 | 0mm | 無し (粒状路盤) | | コンクリートにジャンカ有り |
| (D) TN・追越 | -220mm付近、コンクリート下部 | 0mm | 無し (粒状路盤) | | コンクリートにジャンカ有り |

に、表-1に示す4つのトンネルにおいて事前調査を実施し、空洞発生の疑いがある箇所を検出した。使用した測定車は、舗装表面から-50cm程度の深さまでの空洞を検出することができ、今回は路盤と路床の境界付近までに発生している空洞を検出している。同表には、コア抜き（乾式）調査により実際に空洞が発生していたか否かを確認した結果も併記している。

電磁波レーダにより空洞が発生していると予測した19箇所のうち、空洞の発生箇所は17箇所（89.5%）であった。また、空洞の大きさは0.6mm～40mmと様々であり、小さい空洞から大きい空洞まで検出できていることが確認できる。よって今回対象としたトンネルでも空洞検出に関しては、電磁波レーダが有用と考えた。

キーワード：空洞，車載式電磁波レーダ，トンネルコンクリート舗装版

連絡先：〒733-0037 広島市西区西観音町2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国



平面図:舗装表面から-280 mmの走行側路盤上部付近

図-2 A トンネルの電磁波レーダーの解析結果

3. 空洞発生箇所と現地の状況の比較

(1) 電磁波レーダーの特性

電磁波レーダーは反射波の強度や極性、解析画像の色の違い等を考慮して空洞を検出ことができ、空洞の検出と同時に滞水の有無も検出できる。図-2に、A トンネルのある部分における電磁波レーダーの解析結果を例示している。反射波の極性と同図に示すように、黒染み信号が映りこんでいる場合に、空洞があり滞水もしていると判定される。以下、表-1に示すA トンネルとC トンネルを取り上げ要注意箇所の事例を記載する。

(2) A トンネルにおける空洞発生箇所と現地の状況

A トンネルにおいて湧水が確認された箇所は沢筋にあたり、亀裂の多い岩体で、設計時の地質調査において湧水が予想されていた箇所であった。さらに、施工時のトンネル支保工を見ても、地質的にやや悪い区間であったことが確認できた。一方で、A トンネル全体の電磁波レーダーの解析結果では、図-2に示すような黒染み信号が不規則に散見されるのみであった。したがって、トンネル全体として俯瞰した場合に広範囲な水ミチは形成されていないと判断でき、広範囲な空洞も発生している可能性は低いと考えられる。以上より、設計や施工時に予想された要注意箇所が実際の要注意箇所と合致しており、また、電磁波レーダーの解析結果を併用し水ミチの形成の有無を確認することで、水に対しての原因調査や対策工等の適切な処置に役立つと考える。

(3) C トンネルにおける空洞発生箇所と現地の状況

表-1に示すように、C トンネルは全てにおいて空洞箇所に湧水が確認された。当該箇所は断層と隣接していることから、地質的に脆弱であることが想定されていた。また、C トンネル全体の電磁波レーダーの解析結果では、A トンネルと同様に黒染み信号が散見されるのみであり、トンネル全体として俯瞰した場合には広範囲な水ミチは形成されていないと判断できた。しかし、C トンネルの解析結果では、黒染み信号のうち3箇所が一定間隔で並んでいた。建設図面を確認したところ、このトンネルではインバート上流部に図-3に示すよう

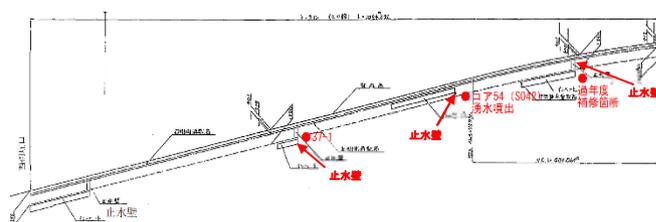


図-3 インバート設置位置と湧水箇所

な止水壁が設置され、さらに湧水が確認された空洞箇所と止水壁の位置が一致していることが判明した。また、当該箇所の舗装表面からの湧水噴出も確認できた。舗装内部の滞水には、中央排水施設への集水が期待される。しかし当該箇所は、中央排水施設の集水が何らかの原因で機能しなかったうえに、止水壁の設置によって路盤内に滞水しやすい構造が形成されていたと考える。以上より、インバート上流側端部の止水壁の設置位置が滞水の原因となり得る箇所であり、空洞が発生した場合に空洞の進行が予想され、要注意箇所であるといえる。

5. おわりに

本研究では、トンネルコンクリート舗装版を対象として、空洞検出に関しては、早期把握もあり、部分的な調査のFWD調査ではなく、交通規制を実施することなく網羅的な調査が可能な電磁波レーダー調査が有用であることを検証した。具体的には、電磁波レーダーによる事前予測とコア採取による結果を比較し、電磁波レーダーを用いて大小様々な空洞を検出できることを確認した。次に、検出した空洞発生箇所と現地の状況を照らし合わせ、設計、施工時において湧水が予想されていた箇所、地質的に悪い区間であった箇所を要注意箇所として考慮すべきであり、また、インバート上流側端部に止水壁があった場合の設置位置も要注意箇所である事例を記載した。さらに、電磁波レーダーによる解析結果を用いて水ミチの有無を確認することにより、空洞発生箇所に対する適切な処置に役立つと考える。本研究では、2つのトンネルを対象として、空洞発生箇所と湧水の状況、水ミチの有無を確認し要注意箇所の特徴としてまとめた。今後、より多くの事例を蓄積して要注意箇所を網羅し、空洞の早期把握へと繋げることが重要となる。

参考文献

[1] 日東 義仁, 森下由也: コンクリート舗装の健全度評価手法に関する検証について, 土木学会第70回年次学術講演会, V-321, 2015.