

FWD の逆解析に基づいたトンネル内コンクリート舗装の健全度評価

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 金沢支店 道路技術部 正会員 高田 莉里

石川工業高等専門学校 環境都市工学科 正会員 西澤 辰男

中日本高速道路株式会社 金沢支社高速道路事業部 保全課 広田 健吾

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 金沢支店 道路技術部 正会員 高井 健志

1. 目的

北陸自動車道は1972年に小松IC～金沢西IC間が開通し、その後順次延伸している。この北陸自動車道で、トンネルの大規模修繕工事の事前準備の一環として、2021年度からトンネル内のコンクリート舗装の健全度評価を FWD 測定により実施している。FWD 測定結果では NEXCO 調査要領に基づき、表-1 の「FWD 調査による想定される構造的変状と補修案」に基づき、変状の評価をしている。FWD 測定は全目地部を対象に実施しており、11 チューブで 2,962 測点の調査を行った。

2. トンネル内コンクリート舗装の現状と問題点

この FWD 調査結果から、コンクリート舗装の版下空洞および目地部のダウエルバーの機能低下箇所が多数発生した。そこで、損傷の発生プロセスを理解した上で、今後の補修方法を検討する必要があると判断した。

コンクリート舗装の損傷発生プロセスは図-1 に示す通り、繰り返しの輪荷重と水の浸透によりダウエルバーは破断し空洞が拡がり、その後目地部に段差が生じてくる。

3. コンクリート舗装の目地劣化モデルによる評価

NEXCO 要領の評価手法では、FWD 調査結果から D0 たわみ量と荷重伝達率 Eff を求め、変状評価区分により路盤支持力の回復と荷重伝達機能の回復の必要箇所を決めている。コンクリート舗装は耐久性が高いといえるが、一度損傷が発生すると、大規模な補修が求められるため、損傷が軽微な状態に対応を図る必要がある。コンクリート舗装の損傷を考慮した上で最適な補修工法を選択するため、具体的にどのような損傷なのかを詳細に求め、最適な補修工法を選択する手法を検討する。そこで図-2 に示すコンクリート舗装の具体的な目地劣化モデルを想定し、目地ごとの損傷区分 (Stage) を 3DFEM 順解析に基づいた FWD の逆解析により評価した。

表-1 FWD 調査による想定される構造的変状と補修案

変状評価区分	判定方法	補修検討の対象部位	補修案
変状区分A	FWD 調査結果で、D0 たわみ量が大きく、荷重伝達率 Eff が小さい	路盤支持力の回復および、荷重伝達・分散機能の回復	アンダーシーリング工法・パーステッチ工法・打換工法
変状区分B	FWD 調査結果で、荷重伝達率 Eff が小さい	荷重伝達機能の回復	パーステッチ工法
変状区分C	FWD 調査結果で、D0 たわみ量が大きく	路盤支持力の回復	アンダーシーリング工法
変状区分D	目視調査結果で、目地部に角欠けがある	変状進行の抑制	部分打換工
変状区分E	目視調査結果で、コンクリート版にひび割れがある	変状進行の抑制	ひび割れ補修
変状なし	構造的な変状なし		

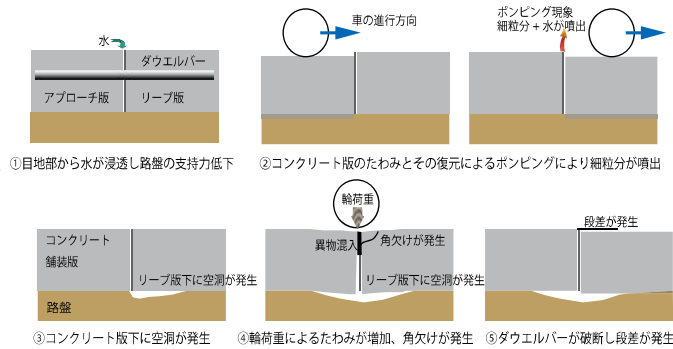


図-1 コンクリート舗装の損傷発生プロセス

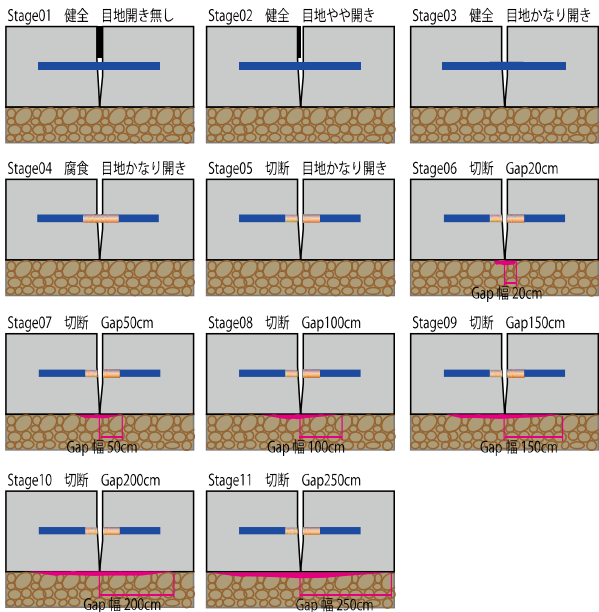


図-2 コンクリート舗装の目地劣化モデル (Stage 区分)

キーワード コンクリート舗装、開削調査、孔内画像撮影、FWD、3DFEM

連絡先 〒920-0025 石川県金沢市駅西本町 3-7-1

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 金沢支店 TEL076-264-7872

4. 逆解析による劣化 Stage への分級

目地部全数を対象に舗装構造解析用 3DFEM パッケージ Pave3D により、目地劣化モデルに分級した。本研究では、測定した結果の内、損傷程度が著しい 1TN 内データを分級した結果を表-2 に示す。Stage7 や 8 のダウエルが切断され、やや空洞が発生している目地が多い。また NEXCO 調査要領に基づく評価と比較したグラフを図-3 に示す。ここでは、判定された Stage ごとに色分けしてプロットしている。

表-2 目地劣化モデルの分級結果一覧表

	Stage 01	Stage 02	Stage 03	Stage 04	Stage 05	Stage 06	Stage 07	Stage 08	Stage 09	Stage 10	Stage 11
箇所数	142	42	10	0	13	1	12	44	3	0	0

図 3 より、目地劣化モデルの Stage の数字が大きくなるほど、損傷程度も大きくなる。グラフの左上は健全度が高く、右下にいくほど、ダウエルバーの破断（切断）やコンクリート版下の空洞が拡大している。

5. 現地空洞確認による 3DFEM 解析結果の検証

今回検証箇所は図-3、図-4 に示す箇所でコア採取を行い、写真-1 の孔内画像撮影した。平面展開した画像により空洞(Gap)の有無および空洞深さを計測し、Stage の判定の検証を行った。

5-1 空洞確認箇所の選定

空洞確認する箇所は、次の条件の箇所を選定した。
(1)Stage2 で D0 たわみ量が 400 μ m 以上で伝達率が 70%以上、
(2)Stage5 で D0 たわみ量が 400 μ m 未満で伝達率が 70%未満、
(3)Stage8 で D0 たわみ量が 1,500 μ m 程度、
(4)Stage9 で D0 たわみ量が 1,500 μ m 程度

5-2 空洞調査結果

4 測点の中で最も損傷程度が悪い Stage9 の箇所の孔内画像撮影した画像を図-5、図-6 に示す。図-5 は目地からの離れ 50cm の位置で h=5mm の空洞(Gap)が確認できた。図-6 は目地からの離れ 100cm の位置で h=3mm の空洞(Gap)が確認できた。

6. 今後の展開

アンダーシーリング工施工時においては、Stage ごとの Gap 幅を参考に注入箇所を決め、補修を行う必要がある。また、Gap は数 mm 程度の隙間であるため、アンダーシーリングの妥当性を検討する必要がある。そこで、Stage ごとのバーステッチ工の試験施工を行い、D0 たわみ量および荷重伝達率 Eff がどこまで回復するかを確認した上で、打換工等も含めて補修方法を検討していく。

7. さいごに

今回の検証では、検証箇所数が少なかったため、今後も継続して調査を行っていきたい。トンネル内のコンクリート舗装の角欠け・段差等は、事故に繋がる可能性があるため、我々は損傷が発生する恐れがある箇所を抽出することを目的として、常に技術開発も視野に入れ、調査を行うことが重要である。

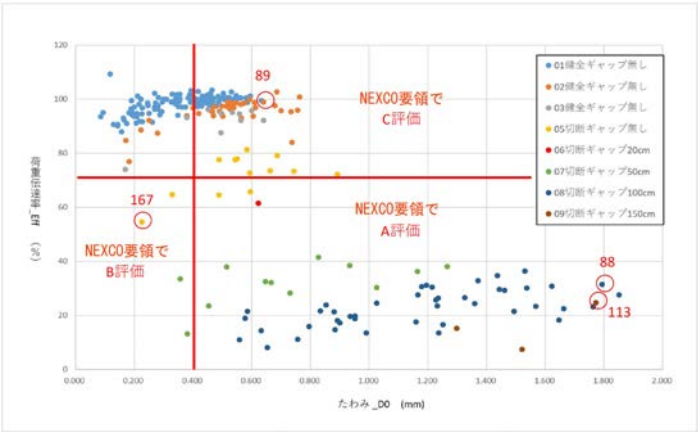


図-3 目地劣化モデル (Stage 区分) と D0 たわみ・Eff

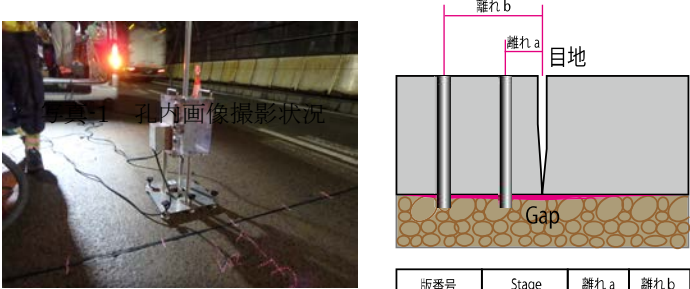


図-4 空洞調査箇所

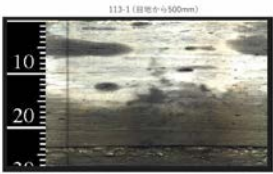


図-5 Stage9 の離れ 50cm Gap h=5mm

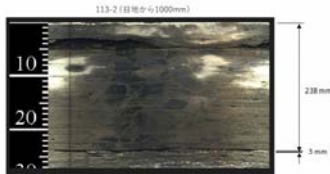


図-6 Stage9 の離れ 100cm Gap h=3mm