

報告

都市内高速道路における低品質 RC 床版の補修事例報告

青野守*, 二村大輔**, 外園賢二***

*福岡北九州高速道路公社, 福岡事務所保全課 (〒812-0055 福岡市東区東浜 2-7-53)

**福岡北九州高速道路公社, 企画部技術管理課 (〒812-0055 福岡市東区東浜 2-7-53)

***福岡北九州高速道路公社, 企画部保全管理課 (〒812-0055 福岡市東区東浜 2-7-53)

都市内高速道路の鋼橋 RC 床版において、低品質コンクリートに起因したと推定される損傷が確認されたため、供用から 13 年後に床版上下面に対して大規模補修を実施した。しかし、補修から 4 年後には床版上面の部分的な再劣化を、7 年後には床版下面の著しい損傷進行を確認したため、補修方針を再検証し緊急補修工事を実施した。本稿では、緊急工事で採用した補修工法 (IPH 工法)、補修効果の検証方法とその結果について報告する。

キーワード: 床版補修, 低品質コンクリート, 再劣化, IPH 工法

1. はじめに

1.1 背景

福岡高速道路 (以下、福岡高速) は、福岡都市圏における放射環状道路網の枢要を担う自動車専用道路であり、全路線が第 1 次緊急輸送道路ネットワークに指定されている。路線図を図-1 に示す。1 次供用は昭和 55 年 10 月で、現在までの供用延長は 56.8 km, 1 日当りの利用交通は約 19 万台 (令和元年度) である。都市内高速道路であることから大部分が橋梁構造であり、供用延長の約 7 割を鋼橋が占めている。

本稿で報告する RC 床版は、9 次供用路線 (福岡高速 2 号線 月隈～太宰府 IC 平成 11 年 3 月供用) に位置している。この路線は、国道 3 号上空に架橋されており、1 日当りの交通量は、高速と街路を合わせて 11 万台超 (福岡高速 6.4 万台, 国道 3 号 5.4 万台) とり、非常に交通量が多い区間である。架橋状況を図-2 に示す。

同区間は、建設当時、都市間高速道路と主要市街地を結ぶ街路が渋滞多発箇所となっていたことから、都市内高速道路の早期完成が社会的に強く要望されていた。そのため、工期短縮、急速施工、昼夜間出来る工種は 24 時間体制で実施するなど、超短工期で施工を完了させた経緯がある。

そのような背景から、供用からの経過年数が 20 年程度であるものの、複数の RC 床版に低品質コンクリートに起因したと推定される特異な損傷が確認されている。

本稿は、道路管理者として看過できない損傷が発生した RC 床版に対して実施した緊急補修工事の記録で、採用した補修工法、補修効果の検証方法と現段階での評価結果について報告するものである。

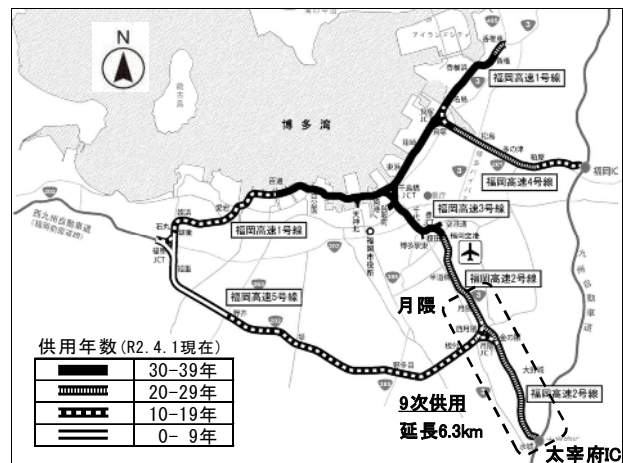


図-1 福岡高速道路 路線図

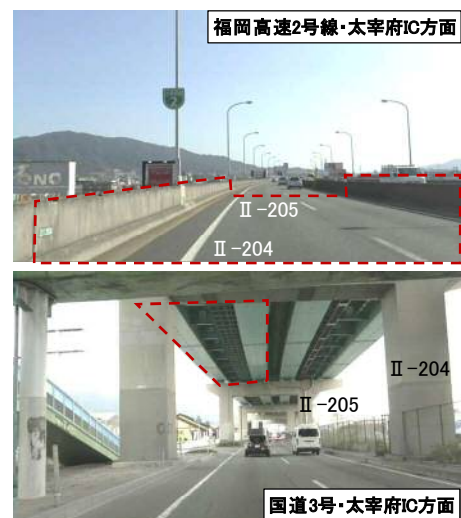


図-2 架橋状況 (上段: 高速, 下段: 街路)

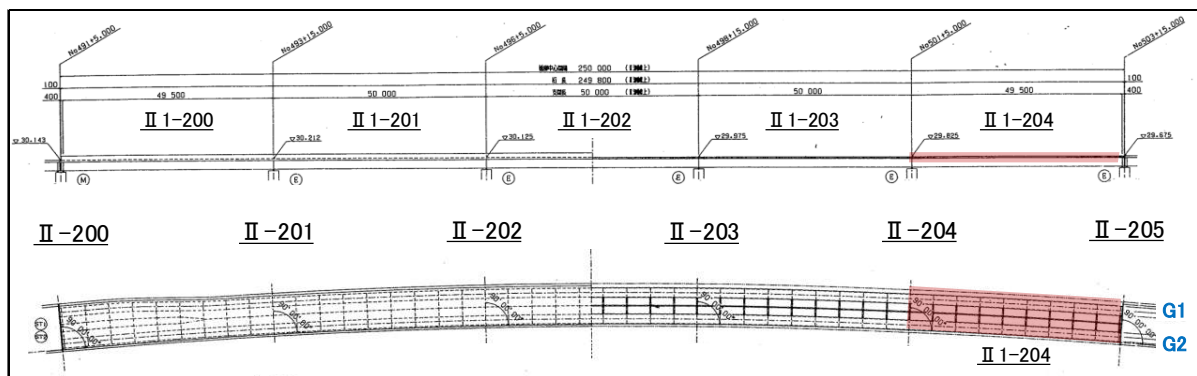


図-3 一般図

表-1 橋梁諸元

橋 梁 名	II 1-200 ~ 204
橋 梁 形 式	5 径間連続非合成鋼箱桁
橋 長	250.0 m (5 @ 50.0 m)
適 用 基 準	平成 6 年道示
床 版	RC 床版 220 mm ($\sigma_{ck}=27 \text{ N/mm}^2$)
舗 装 仕 様	密粒+密粒+塗膜防水 (H11 建設時)
舗装厚 80 mm	排水性+SMA+塗膜防水 (H23)
交 通 量	約 6.4 万台/日 (H27 センサ)
大型車混入率	約 13 % (H27 センサ)

表-2 物性調査の結果と評価

調査内容	結果	評価	調査年	
圧 縮 強 度	18.9 N/mm ²	設計基準強度の 80% を下回る低品質コンクリート	H22	
静 弾 性 係 数	15.7 kN/mm ²	標準値の範囲内	H22	
中 性 化 残 り	10.5 mm	将来的に腐食が生じる可能性がある	H22	
塩化物イオン量	上側鉄筋付近	0.36 kg/m ³	腐食が生じる可能性は低い	R1
	下側鉄筋付近	0.18 kg/m ³	現時点では腐食が生じるおそれはない	R1

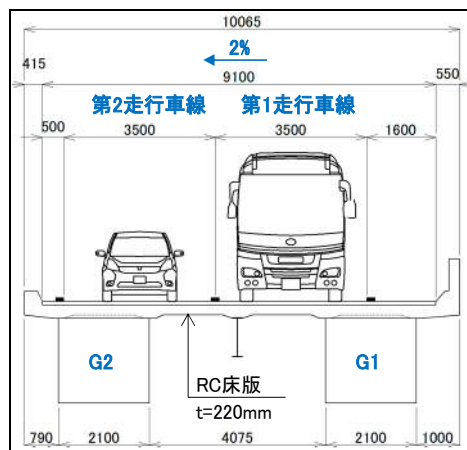


図-4 断面図 (II 1-204 径間)



図-5 定期点検 (1 回目) 床版下面の漏水

1.2 対象橋梁の諸元

対象橋梁の一般図, 断面図を図-3, 4, 橋梁諸元を表-1 に示す。本工事を実施した床版は, 5 径間連続橋のうち, 端部に位置する 1 径間 (II 1-204) である。

2. 維持管理の履歴

2.1 供用開始から大規模補修まで (供用 0~13 年目)

供用から 8 年後に 1 回目の定期点検を行い, 図-5 のような床版下面に漏水をともなう損傷を確認した。

供用から 11 年後の床版上面の状態を図-6 に示す。舗装ひび割れと床版上面のひび割れの位置が一致しており, 輪荷重位置でコンクリートの浮きが確認された。

本床版で実施したコンクリートの物性調査の結果と評価を表-2 に示す。

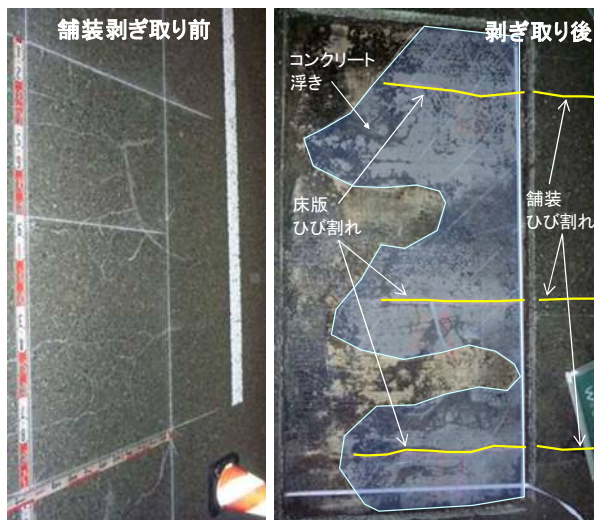


図-6 舗装ひび割れと床版上面の状態



図-7 超速硬性コンクリート補修材による部分補修



図-8 炭素繊維シート格子貼り補修

供用から12年後に床版上面の補修として、コンクリートを手バツリ後、超速硬性コンクリート補修材による部分補修を図-7のように実施した。その後、舗装改良工事で床版全面に床版防水層（アスファルト塗膜防水）を施工した。なお、当該区間は交通量が多く、高速上の作業は常時の車線減少を伴う交通規制ができないため、夜間の時間帯に限定した交通規制で施工を実施している。

また、低品質なRC床版であることを踏まえ、供用から13年後に床版下面に対して、ひび割れ抑制を目的に、炭素繊維シート格子貼り補修を図-8のように実施した。

2.2 補修完了から再劣化発見まで（供用14～20年目）

床版下面補修から2年後に実施した2回目の定期点検では異常が確認されなかったものの、補修から4年が経過した頃より舗装上面に微粉末の噴出が確認された。そのため、舗装を剥ぎ取り床版面を確認した結果、補修跡を中心に、上側鉄筋位置まで砂利化するなど再劣化が顕在化していた。なお、補修材は割れて粉々に砕けていた。床版上面の補修跡の再劣化の状態を図-9に示す。

補修から7年後の3回目の定期点検でII-1-204径間の床版下面に著しい損傷進行を確認した。損傷図を図-10、損傷状態を図-11に示す。

外観に変状が出ていたパネルは、約4割（全18パネルのうち7パネル）あり、炭素繊維シート面には、接着性の低下が目視で判断できる規模のコンクリートの浮き、剥離を、格子窓部では、漏水跡（雨天時水染みあり）とひび割れに沿った遊離石灰などの損傷を確認した。

この損傷状態は、これまでの経緯より床版上面の再劣化が下面損傷の進行を誘発した可能性があり、速やかに床版抜け落ちのリスク低減措置を講ずる必要があった。



図-9 補修後の再劣化・補修材の割れ
(中段写真は図-7と同位置で8年経過後)

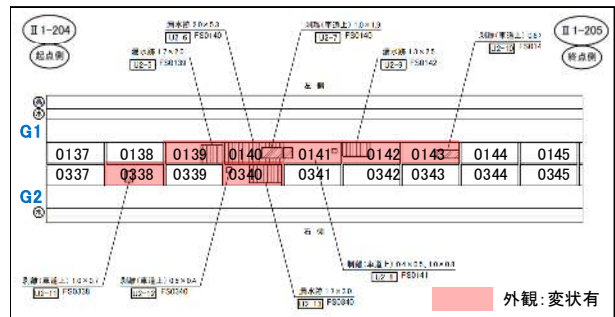


図-10 定期点検（3回目）損傷図



図-11 炭素繊維シートの剥離・格子窓に遊離石灰

2.3 損傷プロセスの推定

初期の損傷は、急速施工に伴う養生不足や後述する加水影響に伴う乾燥収縮などの影響で、床版に貫通ひび割れを含む初期ひび割れが発生していた可能性が高い。そのため、同ひび割れが供用下で舗装のひび割れや床版防水機能の低下を誘発し、早い段階で雨水等が床版内部に浸透する状態となった結果、輪荷重走行に伴うポンピング作用を受け、上面鉄筋とコンクリートとの付着切れが発生し、上面損傷の進行が加速したものと推定される。

また、上面部分補修箇所は、前述の施工条件より施工量と早期交通開放を優先した結果、早く固まるが既設コンクリートと馴染まない材料の選択や、手ツリによりマイクロクラックが発生した可能性など、打継界面での付着性能が低下しやすい状況であったと推定される。なお、同路線は凍結防止剤散布路線のため塩害の可能性もあるが、対象径間では塩化物イオン量は軽微（表-2）であったため、低品質コンクリートに着眼して整理した。

2.4 低品質コンクリートとなった要因の推定

低品質コンクリートとなった要因の推定を、現状判明している事実から検証していく。まず、供用影響による床版への微細ひび割れ発生による強度低下の可能性について検証を行った。同路線の RC 床版特異損傷箇所におけるコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-12 に示す。結果、すべての静弾性係数がコンクリート強度別の標準分布の上限値近傍に位置しており、圧縮強度試験に用いたコアに ASR のような微細ひび割れが内在していた可能性は低いと判断される。次に、建設時の配合設計と品質管理記録より、設計基準強度を満足していることから配合設計の問題ではないことがわかる。さらに、表-2 の結果より、供用年数に対して中性化速度が速いことから、水セメント比が高い疑いがある。

これらの事実を総合的に判断すると、低品質コンクリートとなった要因は、施工時影響によるものと推定され、ポンプ施工時において、コンクリートの流動性を確保するために加水されたことにより、配合設計よりも水セメント比が高くなった結果、圧縮強度が低下している可能性が高いと推定される。

3. 緊急補修工事の補修方針

3.1 工事着手前の調査

当該床版において、床版上面の再劣化は全てのパネル上で発生していたが、床版下面の外観に変状が見られたのは一部のパネルだけだった。そこで、下面からの補修範囲を確定させるため、床版内部の面的調査と床版内部の深さ方向の調査を行った。

(1) 床版内部の面的調査（非破壊検査）

床版上面の再劣化部の補修完了後、AE（Acoustic Emission）センシング（以下、AE 計測）を活用して、

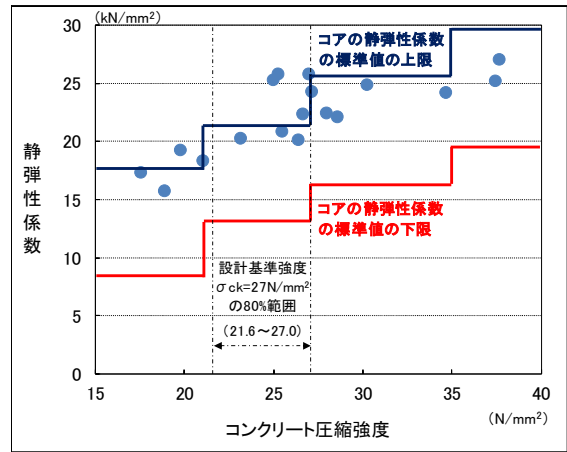


図-12 コンクリート圧縮強度と静弾性係数の関係

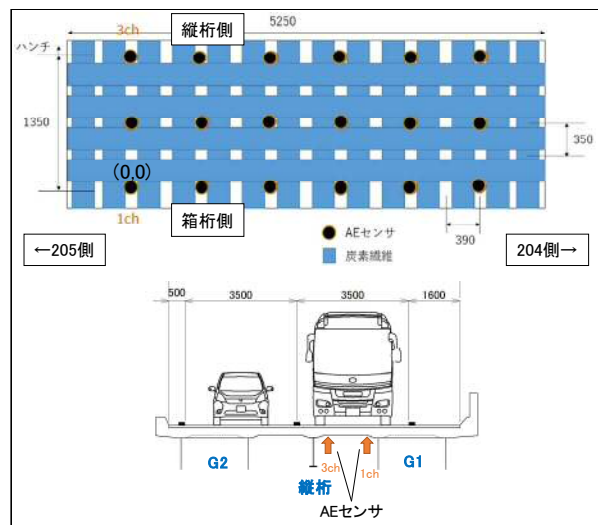
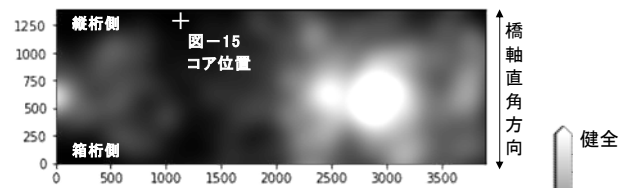


図-13 AE 計測のセンサ位置

パネル FS0137・外観の変状「無」



パネル FS0139・外観の変状「有」

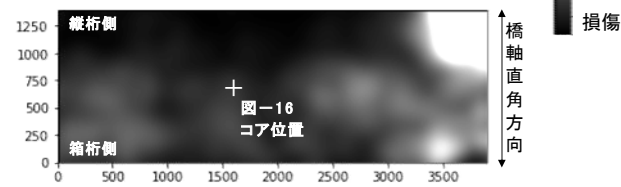


図-14 補修前の AE 計測の結果

外観の変状の有・無の 2 パネルに対して、内部の状態を調査した。AE 計測のセンサ位置を図-13、計測の結果を図-14 に示す。図-14 では健全な領域ほど白く、健全性が低い領域ほど黒く表示しており、外観の変状の有無によらず、内部に損傷の疑いがある可能性が示唆された。

(2) 床版内部の深さ方向の調査（微破壊検査）

AE 計測を行ったパネルに対して、深さ方向の損傷位置を把握するため、床版下面から上面鉄筋付近まで小径コア（φ25）削孔後、棒形スキャナ（SS-3）による検査を行った。調査結果のコア採取事例を図-15に示す。

コア抜きの際に下側鉄筋付近でコア割れが発生したが、内部に水平クラック等のひび割れは確認されなかった。そのため、AE 計測で確認された内部損傷の疑いは、下側鉄筋付近に発生しているものと推定した。

なお、採取したコアには、図-16のような大きな気泡（φ5 mm 程度）が複数、目視でも確認できた。

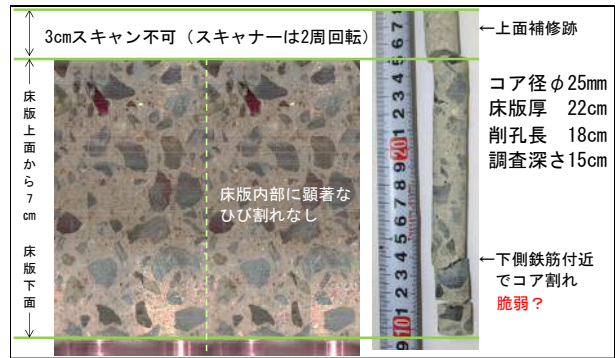


図-15 小径コアの採取事例（パネル FS0137）

3.2 損傷要因を踏まえた手当て

採用する工法は、最新知見に基づき、再劣化事象の要因と現場の状況を踏まえて選択した。

(1) 床版上面の補修

劣化要因は上面からなので、下面の補修に先立ち床版上面の補修を完了させる必要がある。採用する工法は、既設コンクリートと同等の弾性係数を有し、付着特性に優れた補修材を使用し、かつマイクロクラックの補修による付着力の改善が可能な PD 工法を採用した²⁾。

(2) 床版防水

床版防水は、防水性能に優れたコンクリート床版用グーアスファルトを試験的に採用した。

(3) 床版下面の補修

一般的にコンクリートの剥離損傷の補修は、断面修復工法で行うが、過年度に床版下面を炭素繊維シート格子貼り補修していることから、コンクリートをハツリ取らなくても床版内部の空隙に充填が可能で、かつ理論上コンクリートの部材強度の回復や耐力の向上が期待できる IPH 工法（内圧充填接合補強）を採用した³⁾。IPH 工法の注入器具の設置は、全面シート貼りでひび割れ位置を特定できないことから、面打ち 36 箇所/m²（16.6 cm 間隔）を基本とし、格子窓内にひび割れを確認できる場合は、面打ちに追加して、ひび割れ位置でも注入することとした。また、下側鉄筋付近の空隙充填を目標としたことから、穿孔（φ7 mm）は深さ 10 cm を基本とした。

施工状況を図-17、床版内部の空隙をエポキシ樹脂に置換した各パネルの置換重量を図-18に示す。

総置換重量は 225 kg（第 1 走側 106 kg、第 2 走側 119 kg）支点付近は置換重量が少ない。交通量が多い第 2 走側は、外観の変状有パネルが少ないが多く注入された。また、変状有パネルの平均置換重量 16.3 kg、変状無パネル（支点直近 4 パネル除く）の平均置換重量 13.3 kg と差が少ないことから、外観の変状が確認されない場合でも樹脂と置換される相当量の空隙が存在したものと推定される。なお、置換重量は穿孔部を除いた集計としている。

3.3 補修効果の検証方法

採用の実績が少ない工種があることから、実施工での



図-16 コア表面の大きな気泡（パネル FS0139）



図-17 IPH 工法の施工状況

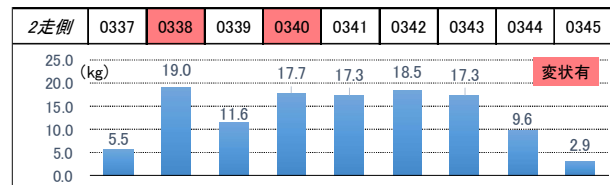
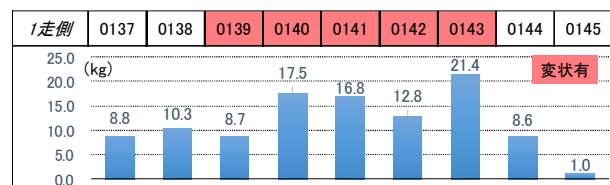


図-18 各パネルの置換重量

有効性、補修効果の検証は必須である。そこで、補修効果を検証するため、以下の 4 点を実施した。

- ①コア抜き：貫通コアで注入状態を確認する
- ②AE 計測：面的な補修効果を確認する
- ③止水効果：雨天時に床版下面の止水状況を確認する
- ④FWD 計測：補修前後の床版たわみを相対比較する

4. 補修効果の検証結果

①コア抜き

コア抜きの結果を図-19に示す。穿孔長10cmに対して8cm付近までの空隙充填を確認した。今回の結果では、ひび割れが繋がっていなかったためか、大きな気泡や穿孔長よりも遠い位置への充填は確認出来なかった。

②AE計測

補修後のAE計測の結果を図-20に示す。図-14の補修前と比較して、全体的に健全領域である白色部が大幅に増加しており、密実性の回復が確認できた。これは、IPH工法により下側鉄筋付近のひび割れが充填されたことで、AE源の密度が増加したものと推定される。なお、パネルFS0139の箱桁側のハンチ部付近に補修が十分でない箇所が残存している可能性が見受けられたが、異常箇所の深さは不明である。

③止水効果

雨天時に床版下面の状況を確認したところ、IPH補修後は、下面への漏水もなくなり、止水効果が確認された。

④FWD計測（参考）

FWD計測の結果を図-21に示す⁴⁾。補修後のたわみ量は補修前より小さくなり、剛度回復の傾向がみられた。ただし、桁たわみを含んだ結果であることから、参考の取り扱いとした。

5. まとめ

都市内高速道路における低品質RC床版の緊急補修工事を行うにあたり、建設時の記録やこれまでの維持管理の履歴を紐解きながら、損傷要因を推定した。

補修前の調査は、床版内部の損傷範囲を特定させることを目的に、面的調査をAE計測、深さ方向の調査を棒形スキャナ(SS-3)で実施した。結果、外観の変状の有無によらず床版全面に内部損傷の疑いがあり、深さ方向は下側鉄筋付近に異常があると推定した。

補修工事は、床版上面の補修にPD工法、床版防水にコンクリート床版用ゲースアスファルト、床版下面の補修にIPH工法を採用した。

補修効果の検証として、コア抜きでは穿孔長10cmに対して8cm付近まで空隙充填を確認した。下側鉄筋付近の空隙が充填されたことで、AE計測において、補修後のAE源の密度が大幅に増加し、床版全体の密実性の回復を確認した。また、IPH施工後は、床版下面への漏水もなくなり、止水効果も確認された。

一方で、今回工事でRC床版の低品質コンクリート自体が改善されたわけではなく、将来、補修後の再々劣化が発生する可能性も否定できない。道路管理者として、床版の使用限界を判断する必要があることから、抜本的な対策(床版取替)までの間、床版変状モニタリングとして、活荷重たわみ計測による状態監視を継続していく。

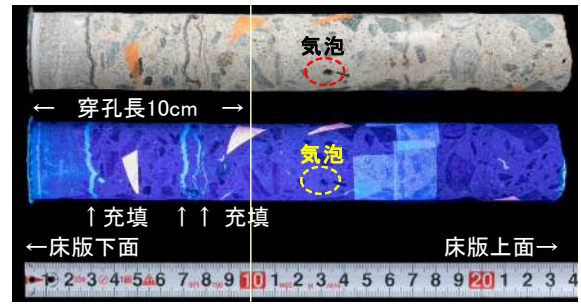
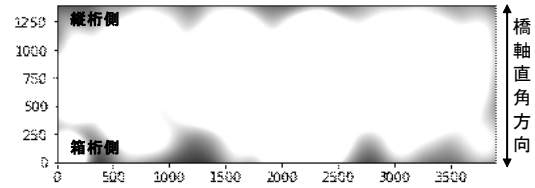


図-19 貫通コアの状態 (パネル FS0338)

パネル FS0137・外観の変状「無」



パネル FS0139・外観の変状「有」

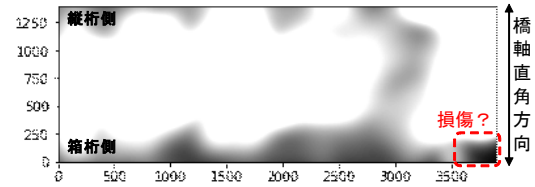


図-20 補修後の AE 計測の結果

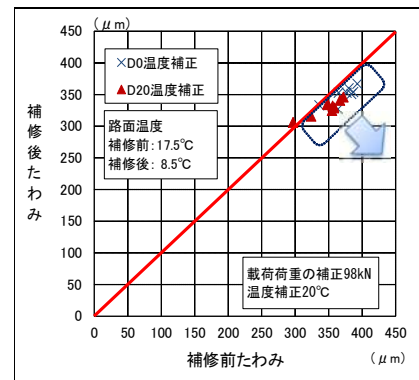


図-21 FWD計測の結果⁴⁾

さらに、当該区間の低品質RC床版に対して、都市内交通流への影響が最小となる床版取替の施工方法の検討も併せて実施する必要がある。

参考文献

- 1)平成27年度全国道路・街路交通情勢調査
- 2)構造物施工管理要領, NEXCO3社, H27.7, 床版上面における断面修復の性能照査項目適合工法
- 3)技術推進ライブラリーNo.20「コンクリート構造物におけるIPH工法(内圧充填接合補強工法)の設計施工法」に関する技術評価報告書, 土木学会, H29.3
- 4)FWD運用マニュアル(案), 道路保全技術センター, H8.3 (2020年7月17日受付)