コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，2013

報告　名古屋高速大規模舗装修繕工事における床版内部事前調査

志水　公敏[*1]・森　久芳[*2]・瀬良　良子[*3]

要旨：供用から30年余りが経過した名古屋高速3号大高線は，近年の交通量増加に伴って構造物の劣化損傷が顕在化し，2012年11月に全面通行止規制による集中工事方式にて大規模補修を実施した。特にコンクリート床版は，舗装はつり後に床版劣化部を把握し補修，その後舗装新設までを限られた工事期間内に実施する，従来の流れに課題があった。本工事では，時間・人員配分計画等に資する情報を得ることを目的に，事前調査としてレーダー技術を応用した新技術「自走式探査車による橋梁床版内部診断技術」にて床版内部調査を試行した。本報告は調査および検証の結果，今後の維持管理における活用について考察したものである。

キーワード：コンクリート床版，劣化，維持管理，非破壊，レーダー調査，大規模工事，防水層

1. はじめに

名古屋高速道路は，愛知県名古屋市とその周辺の地域にネットワークを形成する，供用延長77.3kmの全9路線からなる都市高速道路である。高速3号大高線は，連続高架橋形式にて名古屋市を南北に縦断する重交通路線で，供用から約30年余りが経過しており，近年交通量の増加に伴い舗装，コンクリート床版の劣化損傷が顕在化していた。そのため，全面通行止規制による集中工事方式による補修工事を2012年11月に実施した。

コンクリート床版上面に発生する劣化損傷は疲労や材料劣化等が要因となるが，路面にポットホール等が発現した時にはその下の床版が砂利化などに進展した事例が多く，顕在化した劣化報告も目にするようになってきた。また，舗装基層打替え時に多大な劣化が確認されることもあり，床版劣化対策は維持管理において着目されている。近年の発生メカニズムや劣化進行についての研究等で，水の浸入が疲労損傷を増大させること(田中ら[1])鈴木ら[2])，凍結防止剤による塩害が材料劣化を進行させ床版内部水平ひび割れまでに至ったことが報告されている(本荘ら[3])。

舗装と床版上部損傷についてまとめると**表−1**に示す関係があり，舗装下に潜む床版の劣化損傷や状態の把握に非破壊技術の活用が有効と考えられる。非破壊技術については，近年は赤外線や打音検査マシンなどの開発が進んでいるが，今回は事前調査として，一般交通の供用下にて計測が可能であること，路面の連続画像を同時に取得できること，調査実績が250kmを超えること(実用開始2010年11月～2012年4月現在）から，自走式探査車による橋梁床版内部診断技術を採用し，補修計画や今後の維持管理等に資する情報を得られるか試行した。

表−1　舗装と床版上部損傷の関係

		床版上部	
		健全	不健全
舗装	健全	健全	床版に劣化があり補修を要する場合がある ※非破壊技術の活用
舗装	不健全	床版の健全を確認し舗装のみ補修を要する ※非破壊技術の活用	舗装と床版双方に補修が必要 ※非破壊技術の活用

2. 名古屋高速3号大高線および工事の概要

2.1 名古屋高速3号大高線の概要

(1) 路線概要

高速3号大高線は，延長12.1kmの4車線の高架構造形式路線である。名古屋高速道路で最も交通量が多く，高速都心環状線と伊勢湾岸自動車道を南北に結び，市中心部と愛知県北・西部，知多・三河方面の広域的な交通を担っている。**表－２**に構造諸元等を記す。

表—2　高速3号大高線構造物諸元等

供用年次	S54.7（供用から約33年が経過）
交通量	約3.8万台/日（南行き）
構造形式	単純コンクリート床版鋼鈑桁橋
主な床版形式	コンクリート床版（全体の9割）
床版の設計基準	S48道路橋示方書
橋長及び幅員	橋長約30m，幅員8.5m
床版厚，舗装厚	190～220mm,75mm(設計)
床版防水層の有無	未施工　※今回初めて基層まで打替え，全面防水層を施工

(2) 舗装とコンクリート床版の損傷状況および対応

本工事区間では，16年前に表層のみ打替えた舗装リフレッシュ工事が実施され，今回の工事が供用33年目にあたる。近年は交通量の増加によるひび割れ，わだち掘れなどの損傷のほか，同一箇所に繰り返し現れるポットホールが日常点検等により確認され，都度，局所的な補

*1 名古屋高速道路公社　技術部　部長　正会員
*2 名古屋高速道路公社　保全施設部保全課　主査
*3 ジオ・サーチ（株）　企画開発部　課長

修にて対応してきた。床版については，定期点検でコンクリート床版下面に遊離石灰痕，浮き・剥離が確認された区間があり，補修や防護ネット等にて落下防止を施している。また前年度に北行き路線にて実施した本件と同様の集中工事にて，床版上部に浮き，砂利化の著しい劣化および滞水が多数確認されたこともあり，同時期に施工された南行きの本工事区間における床版劣化が懸念されていた。

2.2 工事の概要

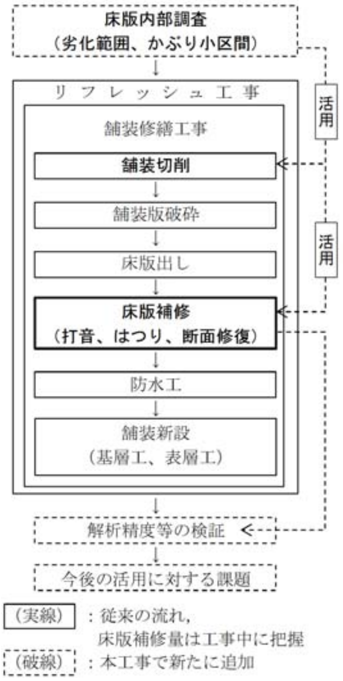
舗装修繕工事は 6 日間という短い工事期間を考慮し 3 工区に分割した。既設舗装の基層切削後にたたき調査を行い，確認した浮き剥離等をすべてはつり除去し床版補修を実施，その後防水層を施工し舗設した。集中工事の概要を**表－３**に記す。

表－3　工事の概要

通行止区間	高速 3 号大高線（南行）12.1km 鶴舞南 JCT～名古屋南 JCT （このうち約 5.8km が舗装修繕工事区間）
工事期間	2012 年 11 月 3 日～11 月 8 日の 6 日間
工事内容	舗装修繕工事，伸縮装置補修工事，高欄補修工事，電気施設補修工事等
舗装修繕工事の内容	既設舗装切削工，舗装版破砕工，舗装工（床版劣化部はつり工，床版補修工，橋面防水工，排水性舗装工，排水桝改良工，排水桝導水改良工），区間線工

2.3 床版内部調査（事前調査）から工事までの流れ

床版内部調査から工事までの流れを**図－１**に示す。床版内部調査を工事の事前調査として実施し，工事の立会いおよび床版補修結果等により，床版内部調査の解析精度と事前調査の効果，適正等について検証した。



図－1　舗装修繕工事の流れ（床版補修関連）

3. 床版内部調査

3.1 調査技術

(1) 調査機材

床版内部調査は，高解像度多配列電磁波レーダーを搭載した自走式探査車にて実施した。

自走式探査車は，最大調査速度 60km/h で様々な装置を搭載し，長さ 6.6m，幅 2.4m（下部アンテナを含む最大幅）のトラック型の車両で，検査測定車として車検を取得している。自走式探査車の搭載装置と仕様を**表－４**に，外観等を**図－２**に示す。

表－4　自走式探査車の搭載装置と仕様

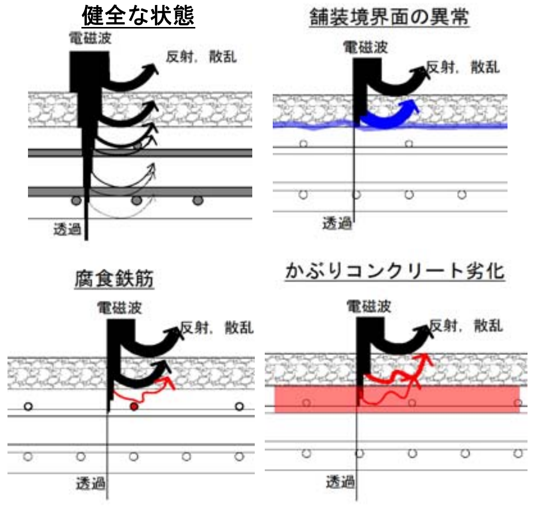
最大調査速度：60km/h
路面映像撮影装置
・ラインスキャンカメラ：幅 5m×進行方向 1cm ピッチ
電磁波レーダー装置
・周波数帯域：300MHz～2.5GHz
・調査深度：0.5m(調査対象状態による)
・データ取得間隔：3cm～(調査対象，目標精度で設定)
・調査幅：200cm(調査対象，目標精度で設定)
走行位置確認装置
・D-GPS 装置搭載：精度±1m
・周辺映像撮影装置：前方，左右映像(30 フレーム/秒)
※雨天時走査不可，路面映像は昼間の明るい時間帯のみ撮影可

図－2　自走式探査車の外観等

(2) 解析原理

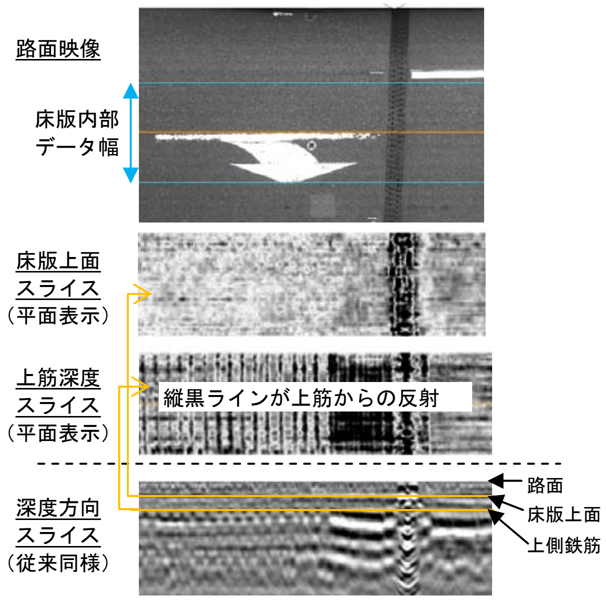
電磁波が伝播する時には，物質内の電気的性質が異なる境界層で『反射』，『透過』，『散乱』の３つの現象が発生する。この原理を用いて物質内の特異箇所を検知する鉄筋探査のような｢非破壊探査｣，また層が幾重にも存在する場合には境界ごとの反射時間差を用いた｢厚さ計測｣

が従来技術として活用されている。本調査に用いた橋梁床版内部診断技術は，原理は上記と同様だが，機器等の開発で，取得するデータが高解像度で３次元となった新しい技術である。**図－３**に示す床版を構成する各層で，配筋や劣化損傷部からの反射波の状況と，**図－４**に示す，任意深度の平面スライスデータと同時取得する路面の連続画像を用い，３ 次元で床版内部状況を可視化し解析する。



・物質固有の比誘電率により伝播時間が異なる
・健全な状態では各層内の比誘電率が一様
・コンクリート劣化等により比誘電率が変化し，反射強度･時間も変化する

図－３　橋梁床版を例とした電磁波の伝播



図－４　橋梁床版内部診断技術の説明（健全部）

(3) 橋梁床版内部診断技術の解析項目

橋梁床版内部診断技術の解析項目を，床版内部異常の検知内容と実橋での確認事例を用いて**表－５**に示す。

表－５　橋梁床版内部診断技術の解析項目

部位	検知内容	床版内部異常の確認事例
舗装面	（路面映像にて）ポットホール，舗装補修跡	ポットホール周辺の床版劣化範囲
舗装と床版の境界	滞水，舗装厚	滞水，層間はく離
床版かぶりコンクリート	鉄筋かぶり厚，かぶりコンクリートの異常，床版補修跡	浅部鉄筋，砂利化，鉄筋腐食に起因したうき・はく離

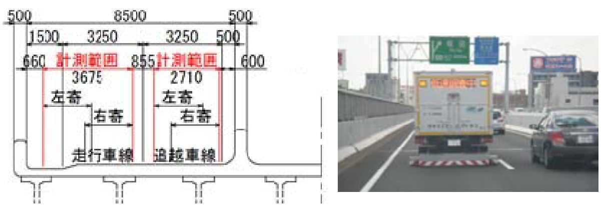
3.2 調査実施内容

(1) 調査実施内容

・日時：2012 年 7 月 31 日(火)　8：00～16：30
・区間：高速 3 号大高線　南行　呼続 IC～大高 IC
・数量：上記区間 5.8km×4 走査＝23.2km

(2) 調査方法

自走式探査車で走行および追越車線を，一般の自動車の交通流にのって 60km/h にて走査し（交通規制不要），路面映像および床版内部データ等を取得した。走査は，車線全面のデータを取得するため，**図－５**に示すように各車線で左および右寄りの 2 回行った。



図－５　計測範囲（横断）と走査状況（走行車線右寄り）

3.3 評価方法

(1) 解析内容

取得した自走式探査車のデータ解析は，補修の要否として床版上部劣化範囲の特定と，舗装切削の留意箇所として浅部鉄筋範囲の特定を行った。

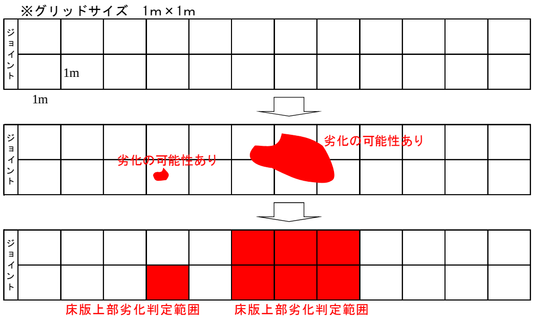
(2) 床版上部劣化判定の流れ

床版上部劣化判定は，概略解析と詳細解析の 2 段階に分けて行った。

(3) グリッドによる判定範囲の特定

判定範囲は**図－６**の概念図に示すようにグリッドで特定するものとし，概略解析では 2m×4m，詳細解析では 1m×1m と，解析段階によりグリッドの大きさを変えた。詳細解析を例にして範囲を特定する場合，自走式探査車の走査幅（2.0m）を縦横断方向に 1.0m×1.0m のグリッドで分割し，そのグリッド内に劣化判定信号があれば大小関わらず判定範囲はそのグリッドとする。また，判定信号が 2 つのグリッドに跨る場合には，双方のグ

リッドを判定範囲とした。



図－6　判定範囲特定の概念図（詳細解析の例）

3.4 評価結果

(1) 概略解析結果

2m×4m のグリッドにて異常信号箇所を抽出した概略解析の結果，3 工区全体の 5,704 グリッド中 3 割程度の 1,663 グリッドで床版劣化の可能性がある信号を含んでいるという結果を得た。このうち，劣化判定グリッドは，工区別では 2 工区が最多で，車線別では 1 工区の走行車線が最多，3 工区の走行車線が最小であった。なお，グリッドの抽出は異常信号の大小にかかわらず行っているため，例えば広がり 50cm 程度の異常信号のために $8m^2$ の 1 グリッドを特定した場合は，グリッド内のうち 3% が補修を要する範囲で，グリッド全体が実際の要補修面積とはならない。**表－6** に概略解析結果の内訳を示す。

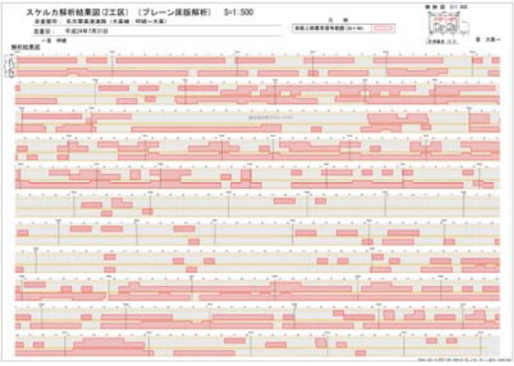
表－6　概略解析結果

工区	延長等※	車線		異常信号グリッド数		
1工区	L=1.67km 48 スパン 436 グリッド	走行	左寄	192	38.5%	31.0%
			右寄	144		
		追越	左寄	65	23.4%	
			右寄	139		
2工区	L=1.92km 59 スパン 512 グリッド	走行	左寄	157	30.7%	33.4%
			右寄	157		
		追越	左寄	94	36.1%	
			右寄	276		
3工区	L=1.82km 60 スパン 478 グリッド	走行	左寄	59	9.3%	21.7%
			右寄	30		
		追越	左寄	66	34.0%	
			右寄	259		
合計	L=5.41km，167 スパン 1,426×4 走査=5,704 グリッド				29.2%	

※鋼床版，SFRC による上面増厚区間を除く
※延長等欄に示したグリッド数は 1 走査あたりの数。例えば 1 工区の 1 車線あたりのグリッド数は 436×2 走査=872 グリッドとなる。

また，2 工区と 3 工区の追越車線（右寄）の解析において，右側路肩部側のデータ縁部に狭小で長く連続した異常信号があり，この信号についても抽出の対象とした。従って当該ラインでの判定グリッドが多くを占め，追越車線の判定が走行車線より多くなった。

図－7 に 2 工区の概略解析結果図を例として示す。



図－7　概略解析結果図（2 工区・2m×4m グリッド）

(2) 詳細解析スパンの選定

概略解析結果を用いて，床版内部の劣化程度について **表－7** に示す 5 段階の相対的な評価を行い，詳細解析スパンを選定した。このとき，前項に記述した路肩側の連続した狭小な異常信号については，広がりも小さく詳細解析にて精査の必要性が低いと考え，C ランクの中で更に 2 段階を設定した（C+，C-）。

また，詳細解析スパンは**表－8** に示すとおり劣化程度 A～C+の 29 スパンを対象とし，概略解析にて抽出した異常信号の精査とともに 1m×1m のグリッドにて劣化判定範囲を特定した。

表－7　スパン評価内容（概略解析）

スパン評価	劣化程度	異常信号範囲の割合※
A	極大	走行･追越車線の何れかが 75%以上
B	大	走行･追越車線の双方が 50%以上
C+	中	走行･追越車線の何れかが 50%以上かつ路肩部連続信号が少ない※
C-	中	走行･追越車線の何れかが 50%以上かつ路肩部連続信号が主※
D	小	走行･追越車線の双方が 0%
その他		上記 A~D のどれにも属さない（SFC，鋼床版含む）

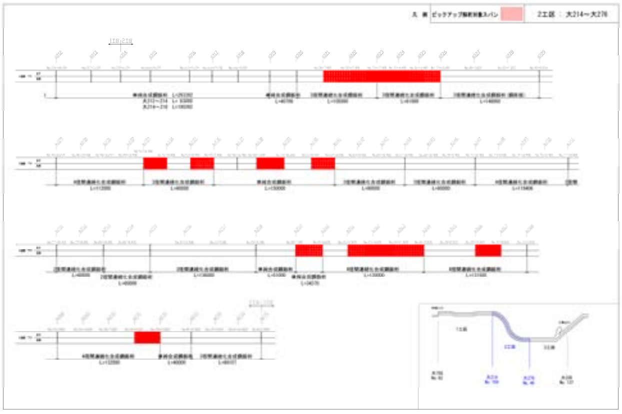
※路肩部連続信号とは，前項にて説明した路肩側データ縁部の異常信号のことをいう

表－8　詳細解析スパンの選定

評価	スパン数					詳細解析
	1 工区	2 工区	3 工区	合計	累計	
A	6	5	1	12	12	○
B	5	8	0	13	25	○
C+	2	2	0	4	29	○
C-	10	15	1	37	66	-
D	4	5	16	10	76	-
その他	21	31	1	94	170	-

図－8 に，一例として 2 工区の詳細解析スパン位置図

を示す。（赤が対象範囲）



図－8　詳細解析スパン位置図（2 工区・C+以上）

4. 検証結果

4.1 解析結果適合率

(1) 検証方法

解析精度は，概略および詳細解析の判定グリッドと補修箇所の照合による適合率にて求めた。なお，算定の対象は詳細解析対象スパンが最多の 2 工区とした。

(2) 適合率の算出

グリッド単位で概略および詳細解析判定と補修箇所を照合し，適合率を算出した。双方の解析とも**表－９**に示すように 75%以上の解析精度があった。

表－9　解析結果適合率一覧表（2 工区）

2 工区		概略解析(2m×4m) 総数：1,620		詳細解析(1m×1m) 総数：3,078	
		健全 判定	劣化 判定	健全 判定	劣化 判定
現地 確認	健全	○**905**	×309	○**2,184**	×605
	劣化	×84	○**322**	×64	○**225**
解析精度 （適合率）		(905+332)/1,620 =**75.7%**		(2,184+225)/3,078 =**78.3%**	

※グリッド数を表示，たたき調査実施スパンのみを対象とした

4.2 劣化内容

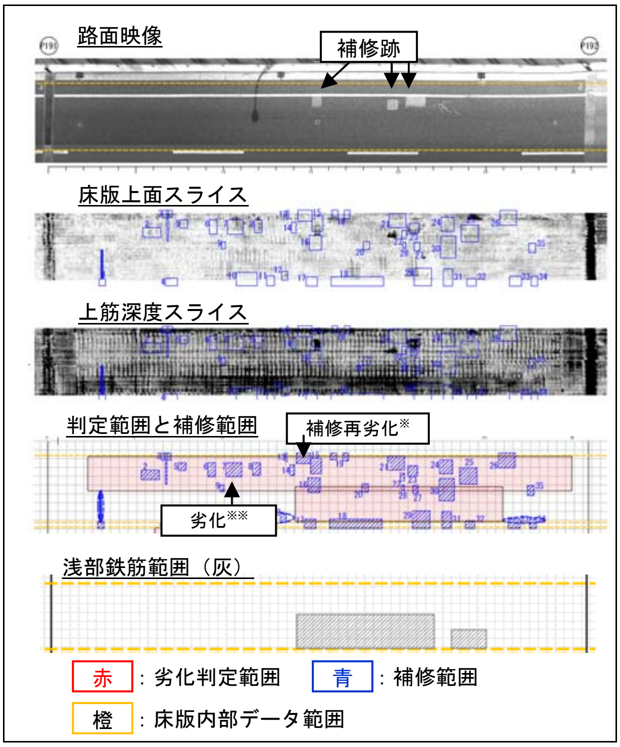
(1) 検証方法

抽出した異常信号と現地で確認した劣化の内容について，目視観察とたたき等で比較照合し，検証した。

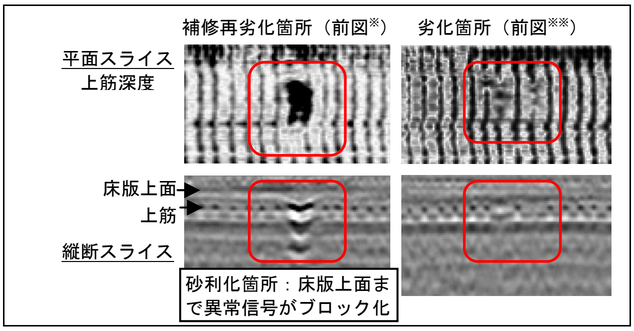
(2) 著しい劣化箇所

P191～P192 スパンの走行車線は，工事前から 3 箇所でポットホールが繰返し発生し，調査では広い範囲にわたる劣化と追越車線側の浅部鉄筋を判定していた。立会いは舗装切削直後とたたき調査・はつり時の 2 回行った。舗装切削直後では滞水，浅部鉄筋，砂利化および補修箇所の再劣化（広い範囲での浮き）を，はつり時では上筋の腐食等を確認，ポットホール発生箇所だけでなくスパン全体に劣化が進行していたことがわかった。**図－９**，**図－１０**に現地状況写真と調査で取得したデータを示す。

図－9　補修状況と劣化状況



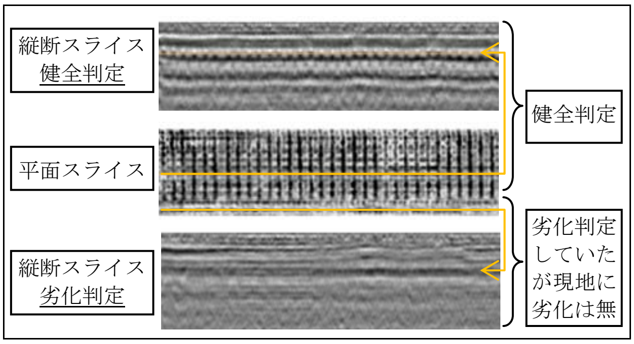
図－10　判定結果と補修範囲の重ね図



図－11　劣化箇所の床版内部データ

(3) 路肩部側の狭小連続異常信号箇所

概略解析で，路肩部側縁部に狭小で長く連続した異常信号を劣化と判定したが，現地で劣化は確認されなかった。



図－12　路肩側狭小範囲の劣化判定データ

4.3 考察

判定結果と現地劣化箇所での照合結果，工事後に施工業者に行った調査結果等についてのヒアリング内容を踏まえ，補修計画の立案に必要な劣化位置および範囲と程度，補修数量について以下に考察する。

・劣化位置および範囲：概略および詳細解析精度がともに 75%以上と高く，事前調査として劣化範囲の特定に効果があった。適合しなかった箇所は劣化と判定し現地で健全だった過大判定が多く，このうち路肩側狭小連続異常信号の判定を除くと概略解析精度は 82.8%となる。今後は，今回のように判定に大きく影響する異常信号については，工事前に部分的な開削で確認し，解析へ反映させることが望ましい。

・劣化程度：異常信号と床版上面に進展した土砂化と浮きについて照合できた。劣化深度は電磁波レーダーでは判別できないが，床版下面点検結果と重ね合わせることで深度方向進展の推測ができる可能性がある。

・補修数量の目安：本調査は，グリッドの大きさを変えて補修要否の特定を 2 段階で行った。短時間で工事全区間の床版状況の概要を把握するという目的で，概略解析は 2m×4m という大きいグリッド，選定したスパンで補修箇所を特定する目的で，詳細解析は 1m×1m のグリッドを用いた。工事後，補修業者から今後の本技術の活用について，全区間を対象にした解析結果を補修実施数量の目安に活用したいという意見と，設計時に調査を実施することで施工時のたたき調査の削減を図っていくことを望む意見があった。今後は解析精度の向上とともに，今回と同程度の費用や時間で，解析を 1 段階の全区間対象として判定グリッドを 2m×2m に縮小する，など運用面を変えていくことで，より実用的な情報を得る改良が図られる。

5. まとめ

大規模舗装修繕工事の事前調査として試行した「自走式探査車による橋梁床版内部診断技術」は，補修計画立案の目安に必要な情報が得られること，短時間で現地計測でき一般交通流への影響もないことから，現場での実用性が高いことが確認できた。次回からの改良点としては，工事前に判定信号の実態を現地で確認し，その内容を反映させた再解析で解析精度向上を図ること，判定グリッドを縮小して補修範囲特定の向上を図ることの二つが挙げられる。

今後の維持管理での活用においては，本技術は舗装下に潜む損傷の早期発見に活用できる可能性が高いが，増大する老朽化ストックに対しては専門性が高いレーダー解析を簡易的に行う手法の確立が課題となる。現地検証情報をデータベース化し解析ライブラリを共有していくことも一方策であり，他に例えば再現性の高い本技術データの利点を活かし，同一区間のデータを時系列で並べ変化箇所を劣化進展と判定する方法も挙げられる。更に, 変化のあった信号箇所での現地検証を重ねることで，劣化の経年変化の新しい知見を得て，補修時期の見極めを可能にすることも期待される。床版内部調査はこれからの維持管理に新しい有用なツールと考えられる。

参考文献

1) 田中良樹，村越潤：橋面アスファルト舗装の変状と RC 床版の疲労，月刊誌土木技術資料，第 53 巻第 2 号，pp.22-27, 2011.2

2) 鈴木寛久，北島正伸：時間的制約が厳しい大都市圏の橋梁床版防水の保全，月間防水ジャーナル，2011 年 6 月号，pp76-78，2011.6

3) 本荘 清司，藤原 規雄，葛目 和宏，牧 博則：凍結防止剤により塩害劣化した鋼橋 RC 床版の詳細調査，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集　第 12 巻，日本材料学会，pp.381-388 2012.11