

報告

北九州高速4号線富野高架橋のRC床版補修後の再劣化事例

宇野 勝彦*, 太田 雅大*, 野田 幹雄**

*福岡北九州高速道路公社 北九州事務所保全課保全係 (〒802-0072 北九州市小倉北区東篠崎 3-1-1)

**福岡北九州高速道路公社 北九州事務所保全課課長補佐 (〒802-0072 北九州市小倉北区東篠崎 3-1-1)

福岡北九州高速道路公社が管理する北九州4号線の富野高架橋は、昭和47年に完成し46年が経過している。平成18年度(33年経過時点)にRC床版補修(上面:ウォータージェットによる断面修復+床版防水工、下面:断面修復+剥落防止対策工)を実施している。この補修から12年が経過し、補修箇所の再劣化が発生している。施工方法等の調査から原因究明を行うとともに、現状の損傷状況の調査及び課題共有を目的として報告する。

キーワード: RC床版, 再劣化, 塩害, 断面修復

1. はじめに

北九州高速道路は、福岡県北九州市の市内中心部に位置する緊急輸送道路に指定された重要路線(図-1)であり、現在5路線49.5kmが供用されている。北九州高速1~3号、5号線は、昭和55年の1次供用から随時供用され現在に至っている。一方、北九州高速4号線は、平成3年3月に旧日本道路公団より管理を移管された路線である。昭和33年から昭和54年にかけて供用され、大部分が供用40年経過を占め、今年供用60年を迎える区間を含め、延長31.8kmのうち6.4kmが高架橋となっている。

2. 橋梁概要

富野高架橋(25径間、橋長約500m、交通量約8,500台/日、海岸線隣接距離約1km、平成29年度年間凍結防止剤散布 $210\text{g}/\text{m}^2$)は、北九州高速4号線の春日料金所から約10kmに位置し、閑静な住宅地に沿った高架橋であり、路下のほとんどは公社管理の駐車場である(写真-1)。本橋は、18連の合成Hビーム桁橋、非合成4径間鋼桁橋および、非合成3径間連続鋼桁橋各1連で構成されており、昭和48年の供用開始から45年が経過している。

また、舗装のポットホール等の発生により利用者及び周辺住民から苦情通報が相次ぎRC床版の補修を繰り返した経緯があり、平成14年度には『北九州高速4号線大規模補修検討委員会』での調査結果で、当該橋梁はA判定(損傷が著しく、補修する必要がある)が下された。RC床版の補修として、上面はウォータージェットによる断面修復工と床版防水工、下面は断面修復工と剥落防止対策工を実施し、平成18年度に補修工事が完了した。

その後の平成22年度の定期点検では、コンクリート床版下面においてのたたき検査で数カ所不良音が確認されている程度であった。

直近の平成29年度の定期点検では、コンクリート床版パネルの剥落防止シートの膨れが確認された。損傷の程度と原因の究明のため、現地にて詳細調査を行った結果をまとめ、今後の活用を図る。

今回の調査箇所は、北九州高速4号線上り線富野高架橋(IV1-P10~P11)を対象としている。



図-1 北九州高速道路網図



写真-1 富野高架橋 (P10~P11)

3. 現地詳細調査

3.1 概要

定期点検にて、コンクリート床版において、近接目視によるたたき点検を行った結果、床版パネル全体に至るほどの剥落防止シートの浮きが確認された。

そこで、図-2に示すように、比較のための健全部①、浮きが確認された②・③において現状把握を目的として、現地にて詳細調査を実施した。

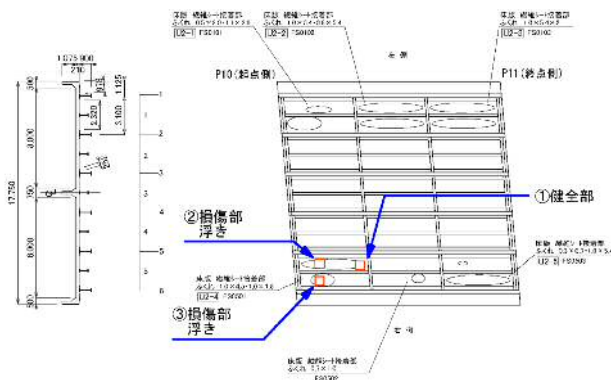


図-2 富野高架橋(P10~P11)調査箇所

3.2 各種試験の実施方法

(1) 鉄筋健全度(腐食, かぶり, 配置等)調査

鉄筋の健全度確認およびシート膨れの原因究明を目的とする。シート膨れ箇所鉄筋を一部ハツリ出し、鉄筋の腐食(かぶり厚さ、鉄筋配置等)を確認する(図-3)。

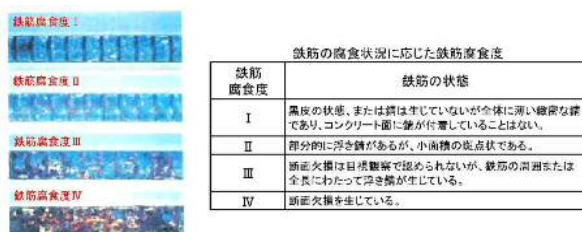


図-3 鉄筋腐食度

(2) 中性化深さ試験

コンクリート表面からの中性化深さの確認を目的とする。ドリルによりコンクリート粉を採取し行う。測定方法は、フェノールフタレイン 1%アルコール溶液を噴霧したろ紙にドリルにより採取したコンクリート粉をあて、赤色に呈色しない部分を中性化領域と判定する。

(3) 塩化物含有量試験(簡易測定)

コンクリート表面から鉄筋近傍までの塩分量の確認を目的とする。塩分量は、コンクリートドリルにより躯体を削孔した粉体を採取しクロキットにより簡易測定を行う(表-1)。粉体は、表面から 20mm ごとに 100mm の深さまで採取する。

表-1 塩化物イオン量と塩害による鋼材の腐食可能性の評価例

全塩化物イオン量	塩害による鉄筋腐食の可能性
2.5kg/m ³ 以上	腐食を生じうる
1.2kg/m ³ 以上 2.5kg/m ³ 未満	将来的には塩害による腐食が生じる可能性が高い
0.3kg/m ³ を超え 1.2kg/m ³ 未満	何らかの原因でコンクリート中の塩化物イオン濃度が高いが、腐食が生じる可能性は低い。
0.3kg/m ³ 以下	現時点では、塩害による腐食が生じる恐れはない

(注) JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」を標準とする。

3.3 調査結果

各々の試験結果一覧を表-2に示す。また表-3に、深度方向の塩分量に着目した表を示す。

表-2 試験結果一覧(富野高架橋P10~P11)

調査項目	調査位置	規定値	測定値	判定
鉄筋かぶり	② ③ 床版下面	設計かぶり厚 30.5mm	22mm	NG
主鉄筋配置	② ③ 床版下面	設計主鉄筋ピッチ 120mm	120mm	OK
鉄筋健全度	③ 床版下面	設計主鉄筋 D19 19.2mm	16.51mm (錆・減肉)	NG
中性化深さ 試験結果	① 床版下面 (健全部)	残30mm以上	最大 29.7mm (残-7.7mm)	NG
	② 床版下面 (はく離部)	残30mm以上	最大 35.8mm (残-13.8mm)	NG
塩化物含有 試験結果	① 床版下面 (健全部)	発錆限界 2.0 kg/m ³	最大 2.3kg/m ³ (20mm)	NG
	② 床版下面 (はく離部)		最大 2.3kg/m ³ (40mm)	NG
	③ 鉄筋付近③		最大 7.4kg/m ³ (深さ60mm)	NG

表-3 塩化物含有量試験結果

調査箇所	Cl ⁻ イオン 濃度	0~20mm					単位容積 質量 (kg/m ³)	鋼材の腐食 の可能性評価
		0~20mm	20~40mm	40~60mm	60~80mm	80~100mm		
①健全部	wt%	0.0262	0.0225	0.0244	0.0152	0.014	2,200	将来的には塩害による腐食が生じる可能性が高い
	kg/m ³	2,305	1.98	2,147	1,338	1,232		
②はく離部	wt%	0.0152	0.0262	0.0164	0.0116	0.0128	2,200	将来的には塩害による腐食が生じる可能性が高い
	kg/m ³	1,338	2,306	1,443	1,021	1,126		
③鉄筋付近	wt%			0.0843			2,200	腐食を生じうる
	kg/m ³			7,418				

注1) wt%=管タテ換算表×20g/5g

損傷部②は写真-2に示すように、はく離周辺部に断面修復跡が無いため、鉄筋の腐食及び膨張によりコンクリートが割裂し、はく離が発生したと考えられる。そこで、鉄筋爆裂の原因として推察されるのは、中性化および塩害である。中性化は鉄筋位置まで到達している(最大35mm 中性化残り-5mm)。また塩分量は、はく離部および健全部で最大 2.3kg/m³あり、鉄筋付近では 最大 7.4kg/m³が確認された。その際、ハツリ断面に貝殻が確認されたことから建設時に、塩分を除去しない海砂を使用した可能性が高いと推察される。また、鉄筋 D19(外径 21mm)が 16.4mm まで減肉(22%)している。

以上の状況から、損傷部②のコンクリート床版の剥落防止シート膨れ(はく離)の原因は海砂による内在塩分が高いことによって発生した鉄筋爆裂によるものと推察される。

次に損傷部③のハツリ調査の結果、鉄筋全体に錆あり、せん断鉄筋 D13 に減肉が見られた。また大規模補修工事の際に、床版下面を断面修復した箇所と考えられる断面修復材が主筋裏まで施工されておらず、鉄筋上面が既設コンクリートに接しており、積層錆による膨張圧により断面修復材と既設コンクリートが剥がれ、剥落防止シートが浮いていたと考えられる(写真 - 3)。表 - 2 に示すように塩化物量も多いことから、打継目付近で、酸素や水、塩化物イオンの浸透が不均一となり、鉄筋位置の塩化物イオン濃度に差が出ることによって、局所的に鉄筋腐食が進行するマクロセル腐食の可能性が非常に高い。

図 - 4 に損傷部②と損傷部③における損傷イメージを示す。



写真 - 2 損傷部②(近景)

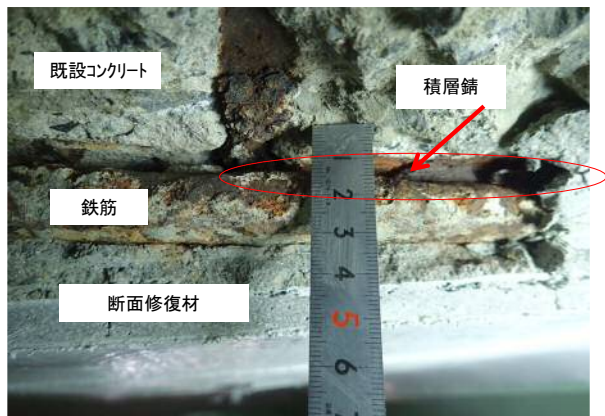


写真 - 3 損傷部③(近景)

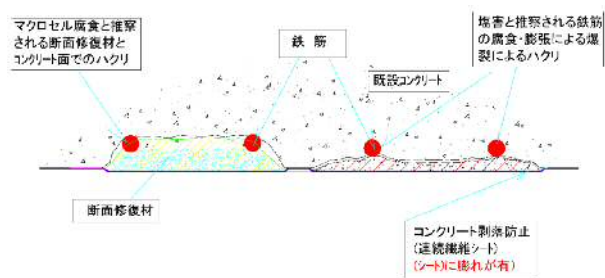


図 - 4 損傷イメージ図

3.4 塩分量の大規模補修工事での取扱い

北九州高速 4 号線大規模補修検討委員会において、今後 50 年間に鉄筋位置(鉄筋かぶり厚)で塩化物イオン濃度の腐食発生限界値が 2.4kg/m^3 (2002 年版 新北九州空港海上橋橋脚部維持管理指針(案))以上と予測された場合に塩害対策が必要と判定している。この 50 年間の予測は、床版防水工及び伸縮装置の非排水化の実施(橋面からの塩分の進入がない)を前提で行っていた。

過年度の調査結果(表 - 4)より、塩化物イオンが深い位置にも分布しており、海砂の使用による内在塩分と思われる傾向があるものの、鉄筋位置での塩化物イオン含有量は 2.4kg/m^3 以下であり、鉄筋の発錆は見られず、中性化対策で表面被覆を実施することにより、飛来塩分の進入防止ならびに内在している塩分の濃縮現象の停止(塩化物イオン含有量の平準化)が計られると予想されていた。よって、劣化グレードも現状と同様の「状態 I - 1(潜伏期)」にとどまると推定された。

「状態 I - 1(潜伏期)」の場合、外観上変状が見られないことから、内部鉄筋についても「コンクリート標準示方書[維持管理編]土木学会」の解説に示される腐食グレード I (黒皮の状態、または錆は生じているが全体的に薄い緻密な錆び)、もしくは腐食グレード II (部分的に浮き錆びがあるが、小面積の斑点状)のレベルと推定したことから、塩分対策は不要とした結論付けとなっていた。

表 - 4 過年度における塩害判定一覧表

構造形式		現状における鉄筋位置の塩化物イオン含有量(kg/m ³)	許容塩化物イオン含有量(kg/m ³)	対策要否 [判定] 必要:○ 不要:×
上部工	RC中空床版橋	2.39	2.4	×
	RC床版橋			
	RCボックスカルバート			
	RC連続ボックスカルバート			
	RCラーメン			
	RCT桁橋			
	鋼鉄桁橋			
PC合成桁橋	RC床版	1.14	×	
	PC床版			
	RC中空床版橋			
PCT桁橋	1.94	2.4	×	
PC箱桁橋				
橋台	1.94	2.4	×	
橋脚				
橋脚(RC連続ボックスカルバート)				

※特異値を除いた代表値

以上の過年度の検討結果より、大規模補修では、床版防水工や剥落防止シートによって劣化因子の遮断(コンクリート中への塩化物イオン、水、酸素の侵入を低減する)は実施したが、劣化因子の除去(すでにコンクリート中に侵入した塩化物イオンの除去)や鉄筋腐食の抑制(すでに腐食が開始している鉄筋の腐食進行を抑制)は実施していないことがわかった。

4. 再劣化原因の推定

これまでの現地調査や文献の調査から再劣化原因を推定した内容をまとめると、下記ようになる。

- 断面研りが鉄筋位置までとなっていたこと
- 補修部分のマクロセル腐食
- 高い内在塩分による鉄筋腐食に起因したはく離

5. 今後の維持管理手法について

5.1 劣化因子の侵入防止

これ以上の進行を防ぐためにも、劣化因子の一つである水分をコンクリート床版内部に浸透させない工法を検討する必要があると考える。

ここで、道路橋床版防水システムガイドラインによると、通常行う舗装の立ち上げ部を端部防水層で設置した場合でも、雨水や凍結防止剤が地覆下面などの打継ぎ目等といった端部から床版内に浸入して、床版下面の鉄筋が腐食し膨張するといった劣化メカニズムが推察される。図-5 に標準的なコンクリート床版上の床版防水構成を示す。

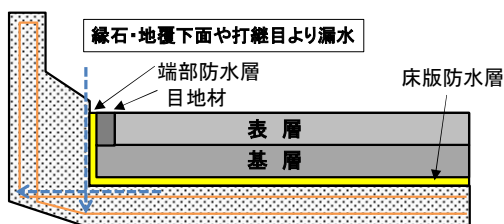


図-5 標準的な床版防水構成

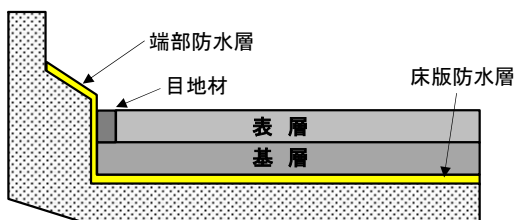


図-6 地覆全面を防水処理した床版防水構成

対応策として、図-6 に示すように、壁高欄の誘発目地から発生するひび割れや、支点上に生じる曲げひび割れを通じて張出し床版下面などへの漏水を防止するこ

とを目的に、床版端部の立ち上げ部においても床版防水層を適切に設置する必要があると考える。

5.2 内在塩分への対策

既設コンクリートの高濃度内在塩分対策工として、以下のように考える。

- ① 鉄筋裏までコンクリートを研り落とし、除去する。
 - ② 部分補修におけるマクロセル腐食防止
 - ・亜硝酸リチウムイオン混入モルタルを使用し断面修復を行う。
 - ・コンクリート表面に含浸系表面保護材を塗布することにより、鉄筋廻りに保護層を形成し腐食を抑制する。
 - ・犠牲陽極による電気防食
- また、減肉の激しい箇所については、鉄筋を追加する必要もある。

6. 課題

- ✓ 高い内在塩分量
- ✓ 冬季の凍結防止剤の散布
- ✓ 補修費用の確保

よって、厳しい予算制約の中で、安価で効果的な工法及び材料について、積極的に検討していくことが必要と考える。

7. 終わりに

今回のような橋梁の再劣化事例に対しての対応は、今後ますます重要性が増すと考えられる。この事例報告が今後の橋梁維持管理技術向上に貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 北九州高速4号線大規模補修検討委員会報告書:松下博通
- 2) 北九州高速4号線富野高架橋のRC床版補修について:赤澤英明,奥野時雄,戸来義公
- 3) 2002年版 新北九州空港海上橋脚部維持管理指針(案)
- 4) 非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル:独立行政法人土木研究所日本構造物診断技術協会
- 5) コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009:日本コンクリート工学会
- 6) 道路橋床版防水システムガイドライン 2016:土木学会

(2018年7月20日受付)