

本荘 清司<sup>\*1</sup>, 横山 和昭<sup>\*2</sup>, 藤原 規雄<sup>\*3</sup>, 葛目 和宏<sup>\*4</sup>, 牧 博則<sup>\*5</sup>

## Field Investigation of Deteriorated RC Slabs on Steel Girder by Chloride Attack of Deicing Salt

Kiyoshi HONJO<sup>\*1</sup>, Kazuaki YOKOYAMA<sup>\*2</sup>, Norio FUJIWARA<sup>\*3</sup>,  
Kazuhiro KUZUME<sup>\*4</sup>, Hironori MAKI<sup>\*5</sup>

**要旨：**寒冷地や積雪地帯を通る高速道路では、冬期に散布される凍結防止剤の影響による塩害が顕在化している橋梁がある。中国地方山間部の高速道路では、鋼橋 RC 床版で塩害によるものと考えられる劣化が顕在化しているものがあるが、これらの対策の検討にあたっては、劣化のメカニズムを明確にするとともに、劣化の程度や影響範囲を確定する必要がある。そこで、RC 床版の劣化が顕著な橋梁を対象に詳細な調査を行い、その劣化メカニズムを推定するとともに、補修のための調査手法についての検討を行った。

**キーワード：**RC 床版, 塩害, 凍結防止剤, 劣化, 調査

### 1. はじめに

鋼橋 RC 床版の劣化機構には疲労もあるが、寒冷地や積雪地帯の橋梁では凍結防止剤（一般に塩化ナトリウム）の影響による塩害が発生している事例も多い。

冬期に多量の凍結防止剤が散布される中国地方山間部の高速道路では、鋼橋 RC 床版において鉄筋腐食をともなった浮き・剥離が発生しており、劣化の著しい橋梁では床版打替えを行った事例もある。これらはいずれも交通量が比較的少ない路線の橋梁であり、疲労よりも塩害が主な劣化機構になっているのではないかと考えられている<sup>1),2)</sup>。

一方、同じ路線でも浮き・剥離の発生傾向が異なっている橋梁があり、塩害以外の劣化要因が関与している可能性も考えられた。

効果的な補修を実施するためには劣化機構や劣化のメカニズムを明らかにする必要がある。

このような背景から、RC 床版の劣化が顕著で、かつ浮き・剥離の発生パターンが異なる 6 橋で実橋調査を実施し、RC 床版の劣化機構と劣化メカニズムを明らかにするとともに、補修のための調査手法について検討した。

### 2. 詳細調査の概要

#### 2.1 対象橋梁

調査を実施した 6 橋は 1977 年から 1982 年にかけて建設されたもので、現在、建設から 25～30 年が経過している。

各橋の床版諸元は表-1 に示すとおりで、1982 年建設の F 橋には昭和 55 年制定の道路橋示方書が適用されているが、それ以外は昭和 48 年制定のものが適用されている。

いずれの橋梁も建設時には床版防水工がなかったが、A 橋～E 橋は建設から 15～20 年後に施工されている。F 橋は現時点で未施工である。

\*1 西日本高速道路(株) 中国支社 保全サービス事業部 改良グループ グループリーダー

\*2 西日本高速道路(株) 中国支社 保全サービス事業部 改良グループ サブリーダー

\*3 (株)国際建設技術研究所 技術部 次長

\*4 (株)国際建設技術研究所 代表取締役社長

\*5 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 技術管理部 次長

表-1 調査対象橋梁の床版諸元

橋名	A橋	B橋	C橋	D橋	E橋	F橋
構造形式	鋼連続非合成鉄桁 (3径間)	鋼連続非合成鉄桁 (2径間+3径間)	鋼連続非合成鉄桁 (2@3径間)	鋼連続非合成鉄桁 (上り3径間 下り4径間)	鋼連続非合成鉄桁 (3径間)	鋼連続非合成鉄桁 (4径間)
橋長	99.9m	200m	243 m	125.5m (上り) 146.6m (下り)	143.15m	165m
有効幅員	8.5m	9.5m	8.5m	9.5m (上り) 8.5m (下り)	10.9m	9.85m
床版打設	1979.年10月	1977年9月	1978年5月	1977年10月(上り) 1978年6月(下り)	1977年11月	1982年6月
床版支間	2.6m	2.8m	2.9m	2.8m (上り) 2.6-3.0m (下り)	2.8m	2.3m
床版厚	20cm	21cm	21cm	21cm (上り) 22cm (下り)	21cm	22cm
適用道示	S48 年	S48 年	S48 年	S48 年	S48 年	S55 年
防水工	シート系 ('94.11)	シート系 ('98.2)	シート系 ('93.1)	シート系 ('93.12,上り) (下りは不明)	シート系 ('93.12)	未施工
備考	・浮き・剥離の発生は中央ラインがとくに顕著. ・下面に顕著な漏水は見られない.	・下面全体に広範囲の浮き・剥離が発生しているが中央ラインが顕著. ・下面は乾燥. ・舗装に多数の補修跡有り.	・起点側 3 径間に多数の浮き・剥離.とくに走行車線のハチで顕著. ・概ね乾燥,一部著しい漏水跡や遊離石灰ひび割れ	・床版取替工事の際に上下面および全鉄筋を調査 ・上下面ともに多数の広範囲の浮き・剥離.上り線がとくに顕著.	・起点側径間に多数の浮き・剥離.とくに中央ラインや路肩付近で顕著. ・一部の浮き・剥離には現在も漏水有り.	・舗装に多数のポットホール補修. ・G2-G3 間のほぼ全長に漏水ひび割れ. ・横断方向に進展する浮き・剥離

## 2.2 調査結果概要

### (1) 外観状況

いずれの橋梁も床版下面には、鉄筋腐食をともなった浮き・剥離が多数見られ、一部では最下縁の主鉄筋の位置とその上の配力筋の位置の二層で浮き・剥離が生じていた(写真-1 参照)。



写真-1 二層化した浮き・剥離

浮き・剥離の発生パターンは2つに大別され、一つは桁間で発生して橋軸方向に進展するタイプ(以下、タイプ1と称する)、もう一つは横断方向には長く進展するが、橋軸方向の進展は数十センチ程度でとどまるタイプ(以下、タイプ2と称する)である(写真-2~写真-3 参照)。

タイプ1の発生位置は橋梁によって異なっていたが、車両通行の影響が大きい桁間で顕在化する傾向があり、舗装の打ち継ぎや融雪処理溝

(溝切り)があるとともにさらに発生が顕著であった。これらの直上では、舗装に浮きやひび割れ、ポットホール補修跡が多く見られた(図-1 参照)。タイプ2は、連続径間の中間支点部の前後にある床版の打ち継ぎ部で多く発生していた。ともに、発生箇所やその周辺に漏水または過去に漏水があった形跡が見られた。



写真-2 タイプ1の浮き・剥離



写真-3 タイプ2の浮き・剥離

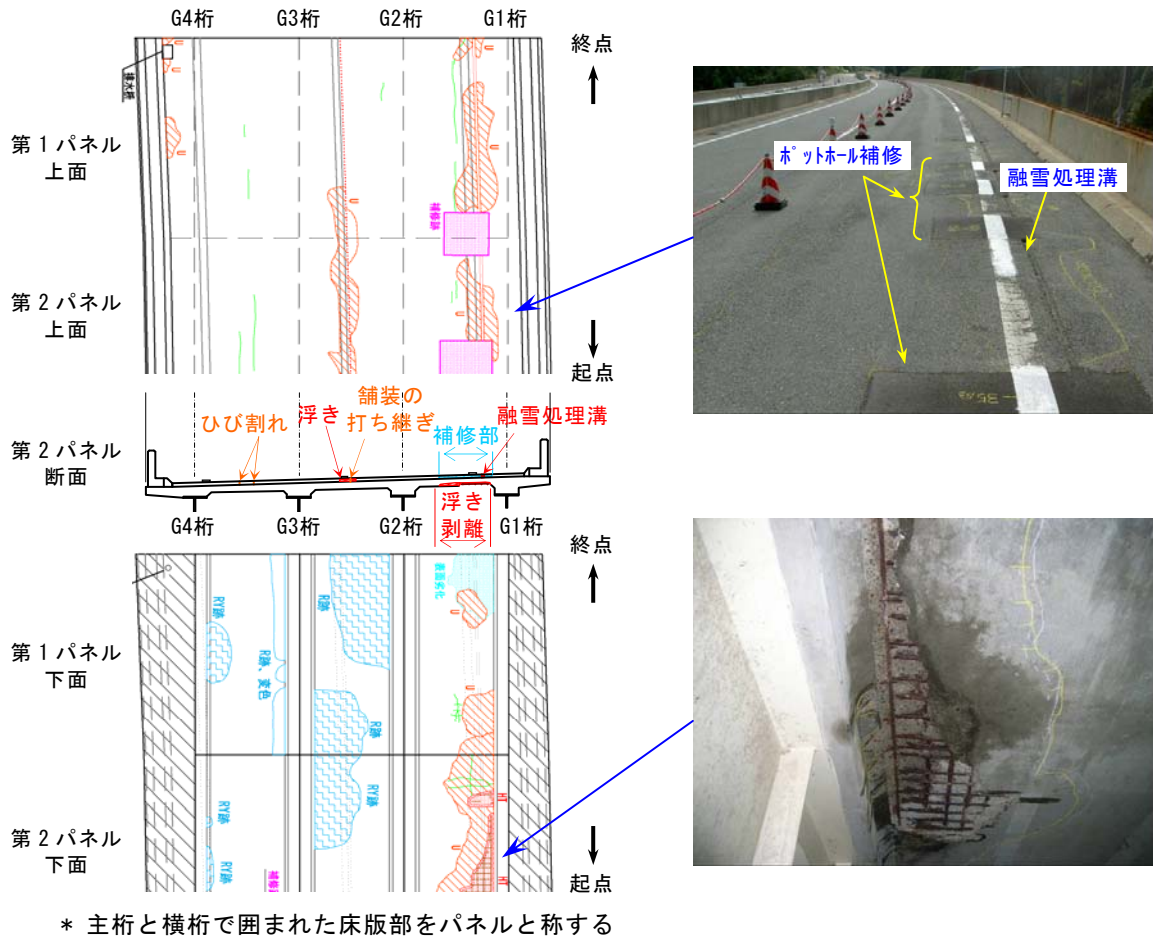


図-1 床版上下面の変状の関係

## (2) 鉄筋の腐食状況

いずれの橋梁においても、浮き・剥離の生じている箇所では露出している鉄筋は著しく腐食しており、一部では断面が欠損しているものもあった。

一方、このような著しく腐食した鉄筋が露出しているすぐ近傍であっても、浮いていない箇所の鉄筋は健全もしくはごく軽微な赤錆程度であり、鉄筋腐食は局部的に発生・進行していると考えられる（写真-4～写真-5 参照）。

床版防水工が施工されていない F 橋では、G2 桁と G3 桁の桁間に伸展する橋軸方向のひび割れから現在も漏水があるが、このような状況においても浮き・剥離が発生していない箇所においては、ひび割れ直上のごく限られた範囲を除いて顕著な腐食は見られなかった。



写真-4 剥離部周辺の腐食状況（A 橋）



写真-5 剥離部周辺の腐食状況 (B橋)

### (3) コンクリートの状況

D橋を除く5橋から採取したコアの物理試験結果を表-2に示す。なお、下面に外観変状のないパネルを健全パネル、浮き・剥離や漏水のあるパネルを劣化パネルとしている。

圧縮強度は、一部が建設時の設計基準強度(24N/mm<sup>2</sup>)を下回っていたが、著しく低強度のものではなく、また健全パネルと劣化パネルに明確な差は見られなかった。

静弾性係数も一部に小さなものがあったが、いずれも単位体積重量も十分にあり、採取箇所の中性化深さも他と変わらないことから品質が著しく低いコンクリートではないと考えられる。

劣化パネルの中性化深さは、乾燥した箇所では20~30mmあったが、健全パネルも同等であった。また、現在も漏水している劣化パネルでは、健全パネルよりも小さな値であった。

採取コアをスライスして分析した含有塩分量と深さ方向の分布状況の代表例を表-3に示す。健全パネルの含有塩分量は全域で微量であり、上面だけに変状があるパネルは上面側で発錆限界(1.2kg/m<sup>3</sup>)を超える塩分量、上下面ともに変状があるパネルは全域で発錆限界を超える塩分量あった。なお、ここには示していないが、劣化部のすぐ近傍であっても外観変状のない箇所では採取した試料は、健全パネルと同様に全域でごく少ない含有塩分量であった。

表-2 採取コアの物理試験結果

	健全パネル	劣化パネル
単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	平均 2317 2272~2291	平均 2346 2329~2408
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均 27.5 22.3~34.4	平均 30.2 21.6~40.6
静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	平均 22.5 20.7~26.3	平均 19.9 17.7~28.5

表-3 劣化状態と含有塩分の分布

状態	試料採取箇所の状況	含有塩分の分布
健全		
上面側だけ劣化		
上下面とも劣化		

### (4) 調査結果のまとめ

今回の調査では、RC床版の劣化は鉄筋腐食やそれに起因する浮き・剥離によるものであること、これらは局所的に発生しており、その周辺には漏水や漏水跡が見られること、浮き・剥離や漏水の発生箇所には多量の含有塩分がある

こと、中性化深さや圧縮強度と劣化には明確な相関が見られないことが確認された。

### 3. 劣化メカニズムの推定

今回調査を実施した橋梁の RC 床版は、漏水のあった箇所だけで劣化が顕在化しており、また劣化部だけで多量の塩分が検出されることから、外来塩分（凍結防止剤）による塩害であると考えられる。その基本的なメカニズムは図-2のとおりであるが、橋面水の浸透経路の違いで変状の発生パターンが異なると考えられる。

タイプ1は上面から浸透した橋面水が、桁間に発生している曲げひび割れなどを介して拡散し、広範囲の鉄筋を腐食させたものと考えられる（図-3 参照）。交通量の多い走行車線の下でよく発生するが、橋面防水工や舗装の打ち継ぎや溝切りの有無などによって発生する位置が変わることもある。

なお、床版上面における橋面水の浸透経路についてはまだ十分に検証できていないが、切り出し床版の断面観察などからは、乾燥収縮などで生じた貫通ひび割れが主な浸透経路ではないかと考えられる（写真-6）。

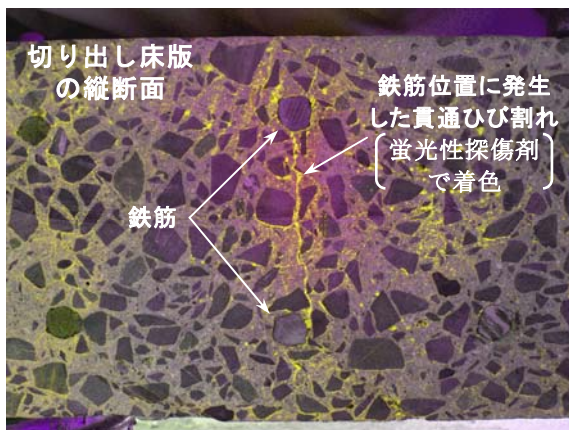


写真-6 切り出し床版縦断面のひび割れ

タイプ2の浮き・剥離は、コールドジョイントや幅の大きな貫通ひび割れを通じて橋面水が浸透するもので、幅員方向には全幅にわたって進展するが（図-4 参照）、橋面防水工や舗装の状態によって進展状況に差が出ることもある。

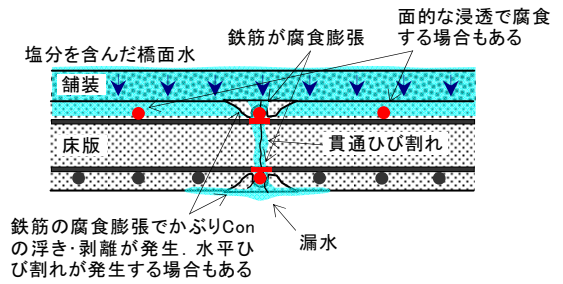


図-2 劣化メカニズムの基本パターン

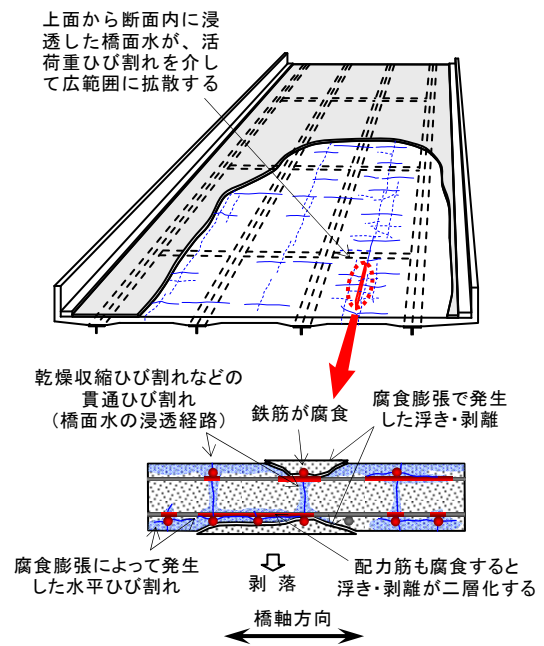


図-3 タイプ1の発生メカニズム

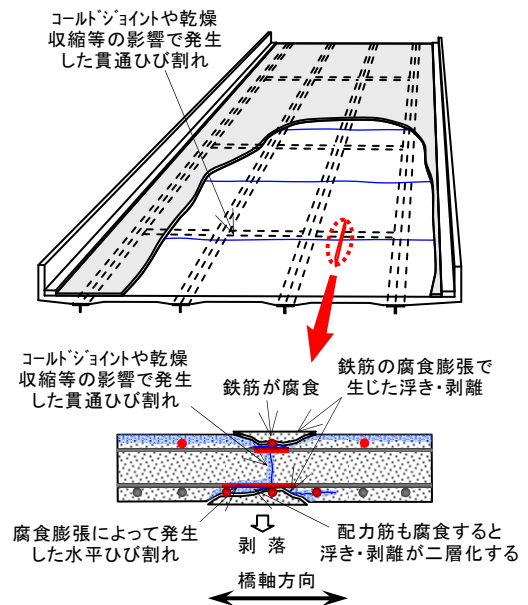


図-4 タイプ2の発生メカニズム

#### 4. まとめと今後の課題

今回の調査および検討結果のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 1) 中国地区山間部の高速道路の鋼橋 RC 床版では、凍結防止剤による塩害が主な劣化機構になっていると考えられる。
- 2) 基本的な劣化メカニズムは、床版上面から多量の塩分を含んだ橋面水がひび割れなどを介して浸透し、鉄筋の不動態皮膜を破壊して腐食させるものと考えられる。
- 3) 橋面水の浸透経路の違いによって浮き・剥離の発生パターンが異なる。また、劣化は、舗装の打ち継ぎや溝切りなど橋面水が浸透しやすい箇所により顕著になる傾向がある。
- 4) 上記の劣化傾向や劣化メカニズムからすると、床版防水工などによって橋面からの水分供給を遮断する対策が劣化抑制に有効と考えられる。
- 5) 下面に浮き・剥離、漏水が生じている箇所は、すでに断面全体に多量の塩分が浸透していると考えられる。劣化部の補修はこれを踏まえて検討する必要がある。
- 6) 劣化を早期発見するためには床版上面の調査手法を確立することが重要である。

舗装が敷設されている床版上面の劣化状況調査は現状の技術では難しく、この調査方法の確立が今後の課題である。

劣化の著しい橋梁で舗装を撤去して床版上面を調査したところ、舗装の浮きと床版上面の浮き・剥離に高い相関性があることが確認された。この知見を基に、打音点検や赤外線法などによって舗装の浮きを把握し、そこから床版上面の劣化状況を推測する手法（写真-7 参照）を検討している。また、床版下面から弾性波によって上面の状態を調査する手法（写真-8 参照）などの検討も進めている。

今後、これらの手法について更に試行を重ねるとともに、新技術の試行なども実施して、床

版上面の有効な調査手法を早期に確立する必要がある。

なお、今回の詳細調査や既存の点検結果、劣化メカニズムの検討結果などを基に、補修に向けての調査結果の活用方法についても検討する必要がある。



写真-7 赤外線法による上面の調査



写真-8 床版下面からの弾性波法による調査

#### 参考文献

- 1) 松富繁, 平野毅志, 渡辺健次, 金子雄一: 塩害を受ける道路橋床版の劣化予測, コンクリート構造物の補修,補強,アップグレードシンポジウム論文報告集, 第3巻, pp.371-376, 2003.10
- 2) 横山和昭, 本荘清司, 葛目和宏, 藤原規雄: 道路橋 RC 床版の鉄筋腐食を伴う劣化機構の解明に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1687-1692, 2008.7