

## 九年橋を対象とした既設鉄筋コンクリート床版の劣化過程の推定

技術委員会 床版小委員会, 保全委員会

酒井 武志, 川東 龍則, 久保 圭吾, 柿沼 努, 春日井 俊博, 中本啓介

### 1. はじめに

社会資本の老朽化対策として、道路橋では適切な維持管理による長寿命化や、メンテナンスコスト削減のための高耐久化が強く望まれている。特に鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)は車両の大型化や交通量の増大および、過去の設計基準により建設され、現状の基準に適合していない床版厚や鉄筋量の影響を受け、劣化事例が多く報告されている。また、近年、塩害、凍害、ASR などの材料劣化に起因する損傷も顕在化してきている。このような背景から、高い耐久性を有するRC床版の実現のために必要な設計、施工および維持管理技術の向上が求められている。これらの技術の向上を図るには、RC床版の劣化メカニズムを把握することが重要である。

そこで、本研究では、直接荷重を受け、非常に厳しい使用環境となるRC床版が、長期間使用することができた理由を探るため、既設RC床版の撤去前、撤去中、撤去後に実施した調査結果をもとに、既設RC床版の劣化過程の推定を行った。対象とした九年橋の床版は、大正11年と昭和8年に建設され、建設当時のRC床版に補修補強等を施すことで、平成25年度に取替えられるまでの80年以上の間、使用環境の変化にも耐え、供用されてきた床版である。

### 2. 九年橋の概要

九年橋は岩手県北上市の一级河川和賀川に架かる歴史的な橋梁で、大正11年に架設された橋長179.2mの単純4主鈹桁8連と、昭和8年に架設された橋長154.8mの単純2主鈹桁9連で構成されており、どちらも供用開始から80年以上経過している。大規模修繕工事前の九年橋の外観を写真-1に、橋梁諸元を表-1に、橋梁一般図を図-1に、橋梁断面図を図-2に示す。

九年橋の歴史と適用基準の変遷および補修補強履



写真-1 九年橋 (大規模修繕工事前)

表-1 九年橋の橋梁諸元 (大規模修繕工事前)

形式	左岸側：単純4主鈹桁8連
	右岸側：単純2主鈹桁9連
橋長	334m (左岸側:179.2m, 右岸側:154.8m)
幅員	6.35m
所在地	岩手県北上市 和賀川

歴を表-2、図-3に示す。建設当時、九年橋は国道4号線として供用されていたが、昭和50年に、別の路線に国道4号線が振り替えられ、岩手県管轄となった。平成9年に岩手県から北上市に移管され、現在に至っている。その間に設計基準の活荷重は、建設当時8t、昭和14年に13t、昭和31年に20t、平成5年に25tと変遷している。

九年橋では昭和46年と昭和56年、昭和58年には2主鈹桁の床版に鋼板接着補強が行われ、昭和58年には2主鈹桁の床版の一部が取替えられた。また、昭和59年と昭和60年には予防保全の観点から4主鈹桁にも鋼板接着補強が行われた。2橋とも平成25年から桁補強および床版取替え工事が行われ、平成27年にその工事を完了している<sup>1)</sup>。建設当時、4主鈹桁の舗装は、硬質タークレー舗装(瀝青系の舗装と考えられる)が施され、2主鈹桁の建設とともに4主鈹桁もコンクリート舗装に変更され、その後、コンクリート舗装

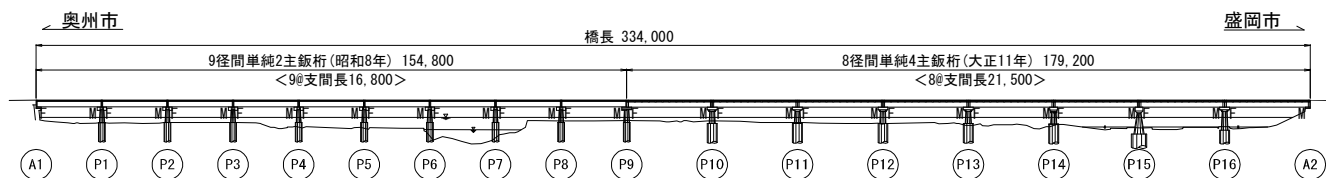
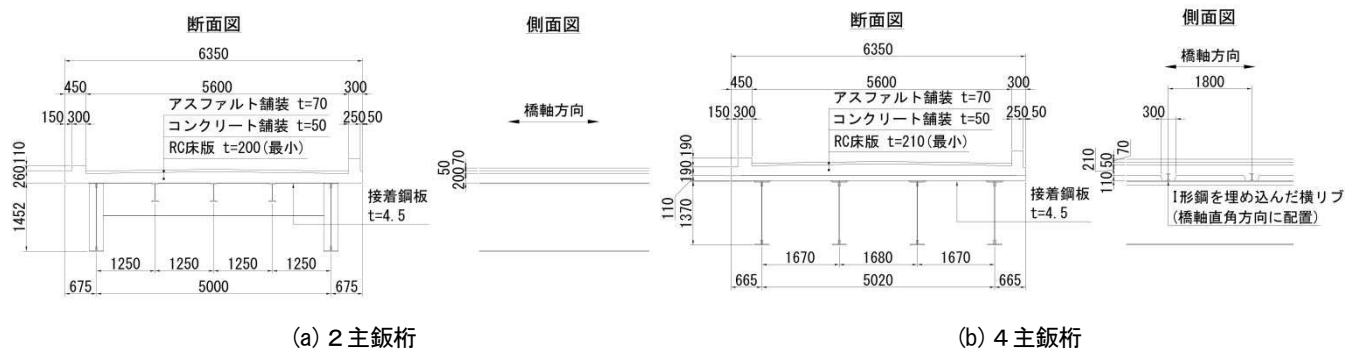


図-1 橋梁一般図 (大規模修繕工事前)



(a) 2主鈑桁

(b) 4主鈑桁

図-2 橋梁断面図 (大規模修繕工事前)

表-2 九年橋の歴史と適用基準の変遷および補修補強履歴

	九年橋		設計基準と設計荷重の変遷	我が国の自動車保有台数
	管理者	4主鈑桁		
大正8年(1919)	国			7,000台
大正11年(1922)		完成		
大正15年(1926)				4万台
昭和8年(1933)		舗装取替 (硬質タークレー →コンクリート舗装)	完成	
昭和14年(1939)				11万台
昭和31年(1956)				
昭和39年(1964)		歩道部拡幅 (20t主桁補強不要)	主桁と縦桁の補強	600万台
昭和40年(1965)			歩道部拡幅	
昭和46年(1971)			ひび割れ補修 鋼板接着補強	1,900万台
昭和50年(1975)		岩手県		
昭和56年(1981)			鋼板接着補強	3,900万台
昭和58年(1983)	鋼板接着補強 (20t対応) 水切り取付け 塗替え塗装		鋼板接着補強 床版部分打替え 水切り取付け 塗替え塗装	4,300万台
昭和60年(1985)				
平成5年(1993)				「道路橋示方書」 県道, A活荷重: 25t
平成9年(1997)	北上市			7,200万台
平成27年(2015)		大規模修繕 桁補強と連続化・床版取替(拡幅)		8,100万台
平成28年(2016)			橋側歩道橋完成	

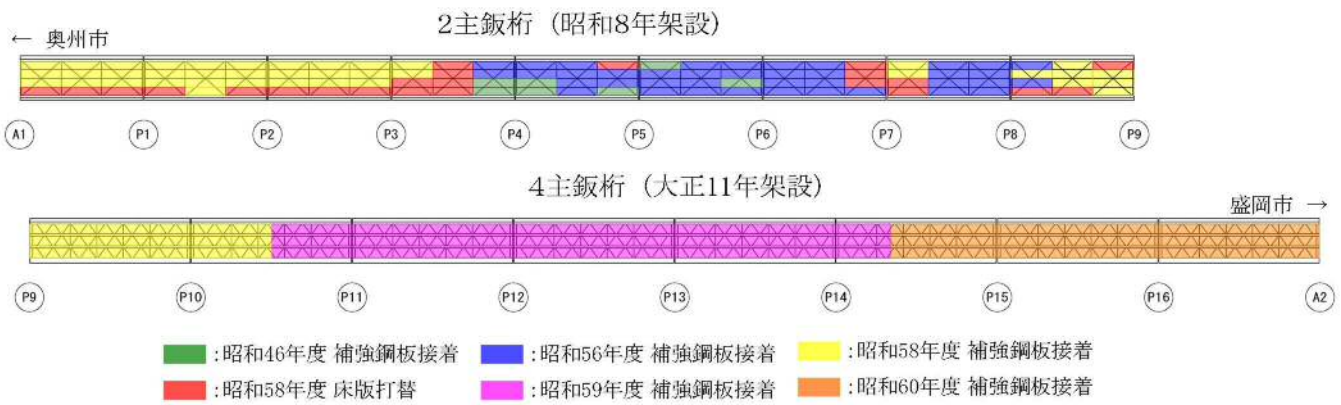


図-3 九年橋の床版の補修・補強箇所<sup>2)</sup>

表-3 既設RC床版の劣化要因と調査項目および調査方法

劣化要因		九年橋に該当	調査項目	調査方法
材料	構造	○	作用応力度	現行基準(A活荷重)による照査
	コンクリート	○	強度	材料試験、ASR促進試験
	骨材	○	変状の有無	外観観察
	鉄筋	○	錆の有無	外観観察
施工		○	ジャンカの有無, 均一性	新設時の施工状況の調査
荷重		○	荷重条件の履歴	適用基準の変遷の調査
環境条件	凍結融解	○	強度, 静弾性係数	材料試験
	飛来塩分	—	—	海岸線までの距離: 約55km
	凍結防止剤による塩分	○	塩化物イオンの分布	材料試験
維持管理の状況		○	補修・補強の履歴	補修・補強の履歴の調査

の上からアスファルト舗装でオーバーレイされた(時期不明)と考えられる。

### 3. 点検・調査方針

既設RC床版の劣化要因と調査項目および調査方法を表-3に示す。既設RC床版の劣化要因は主に、構造、材料、施工、荷重、環境条件、維持管理の状況に分けられる。九年橋の既設RC床版の劣化メカニズムを把握するため、以下の調査を行った。

#### ① 点検・調査

- ・床版撤去前の実橋調査(アスファルト舗装と床版下面の目視点検および打音検査)
- ・床版撤去中の調査(アスファルト舗装撤去後のコンクリート舗装の上面観察)
- ・床版撤去後の撤去床版試験体の調査(外観観察, および床版下面からの打音検査)

#### ② 撤去床版試験体の材料試験

#### ③ 既設RC床版の復元設計と現行基準による照査

### 4. 点検・調査結果

既設RC床版の近接目視点検を行い、床版の健全性を判定した。また、点検結果の妥当性を撤去床版試験体の調査で確認した。

#### 4.1 床版撤去前後の調査結果

床版撤去前後の調査結果の一例を表-4, 表-5に示す。主な損傷状況はアスファルト舗装のひび割れと、塗膜の劣化と漏水が原因と考えられる接着鋼板の腐食であった。


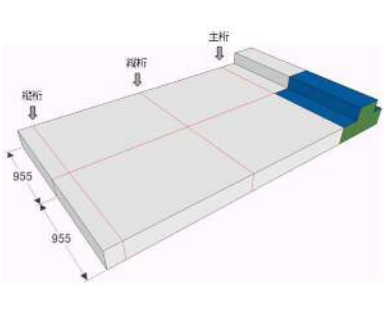
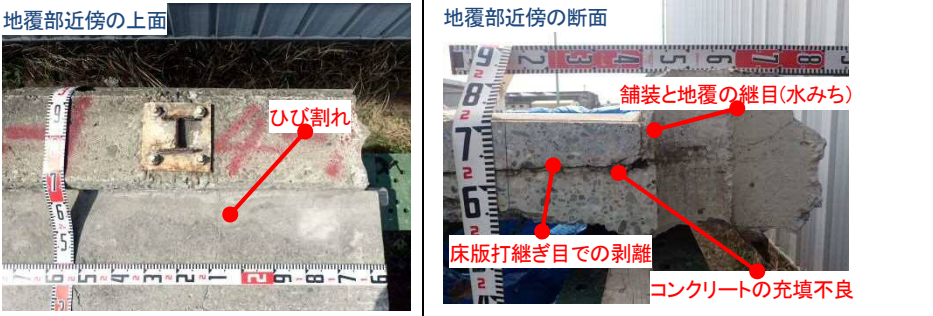
4主桁の撤去床版試験体の外観観察の結果、床版上面からのひび割れ進展と水の浸入、アスファルト舗装下にあったコンクリート舗装と地覆の境界部からの



表-4 床版撤去前の調査結果 (4主鈑桁の健全と判定した一例)

4主鈑桁の実橋調査	
<p>実橋調査結果=健全 (試験体 No.15-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>床版上面の舗装路面健全</li> <li>床版下面接着鋼板の腐食なし</li> </ul>	

表-5 床版撤去前後の調査結果 (2主鈑桁の劣化と判定した一例)

2主鈑桁の実橋調査	
<p>実橋調査結果=劣化 試験体 No.4-1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>床版上面の舗装路面アスファルト舗装のひび割れ</li> <li>床版下面接着鋼板の腐食は広範囲</li> </ul>	
2主鈑桁の撤去床版試験体の外観観察	
	

水の浸入および、床版とコンクリート舗装の剥離、が認められた。舗装は硬質タークレー舗装からコンクリート舗装に変更されているため、床版とコンクリート舗装に明確な境目がある構造となっていた(図-4)。また、打音検査の結果、接着鋼板に部分的な剥離が認められた。

2主鈑桁の撤去床版試験体の外観観察の結果、床版上面からのひび割れ進展と水の浸入、アスファルト舗装下にあったコンクリート舗装と地覆の境界部および、床版打継目からの水の浸入による損傷が認められた。

2主鈑桁の撤去床版試験体の外観観察の結果、4主鈑桁と同様に床版上面からのひび割れ進展と水の浸入、

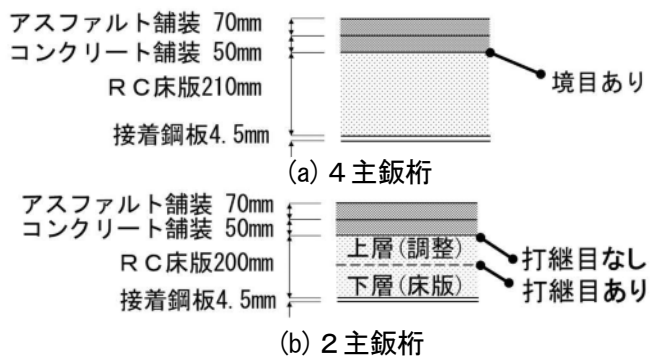


図-4 床版の断面構成

コンクリート舗装と地覆の境界部からの水の浸入が認められた。一部の試験体では、昭和58年度に実施された床版取替え部と、建設当時からの床版との境界にひび割れが認められた。切断面の観察から、2主鈑桁

表-6 4主鈹桁(試験体 No. 14-2)のコンクリート舗装路面の劣化

床版上面のコンクリート舗装路面	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート舗装の目地付近で舗装の劣化</li> </ul>	

表-7 路肩部のコンクリート舗装の土砂化(4主鈹桁の例)

路肩部のコンクリート舗装の土砂化	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・滞水に起因する凍結融解</li> <li>・両側の路肩部に滞水しやすい構造</li> </ul>	

の床版コンクリートは、4主鈹桁とは異なり、床版と調整コンクリートが分割施工されており、その打継目で剥離が認められた。コンクリート舗装は、調整コンクリートと一体構造となっており、調整コンクリートが固まる前に上から施工されたと推測された(図-4)。打音検査の結果、接着鋼板の広範な剥離が認められた。

2主鈹桁のRC床版は鋼板接着補強や部分取替えなどの補修が行われているのに対して、4主鈹桁のRC床版は活荷重の増加に対する鋼板接着補強が行われているのみで床版の損傷は舗装コンクリートのひび割れなどの限定的なものであった。なお、撤去床版試験体の切断面等の外観観察結果は、実橋において舗装や接着鋼板で直接床版が見えない状況下での目視点検により推定した健全性判定結果とおおむね一致した。

#### 4. 2 床版撤去中の外観観察

床版撤去中の調査では、近接での外観観察によりアスファルト舗装撤去後のコンクリート舗装の損傷状況と、床版下面の漏水や遊離石灰の確認を行った。4主

鈹桁のアスファルト舗装撤去後のコンクリート舗装の損傷状況を表-6に示す。

4主鈹桁は幅員中央部橋軸方向にコンクリート舗装の目地が設けられており、その目地付近でコンクリート舗装の劣化が認められた。この劣化により、コンクリート舗装に雨水が浸入し、床版とコンクリート舗装の界面に滞水していたと考えられる。

アスファルト舗装撤去後の路肩部のコンクリート舗装の損傷状況を表-7に示す。路肩部のコンクリート舗装は滞水に起因する凍結融解による土砂化が確認された。この原因は九年橋の排水計画にあると考えられる。九年橋は縦断方向に勾配はなく、1.5%程度の拌み勾配が横断方向に設けられている。現在の設計では九年橋の桁長から考えると排水柵が2~3箇所程度必要となるが、4主鈹桁および2主鈹桁とも現在の新設橋梁のような排水柵はなく、路面の雨水は伸縮継手部にある地覆の隙間から落下させる構造となっており、両側の路肩部に滞水しやすい構造であった。また、現行基準では雨水が床版内に浸透しないよう防水層等の



表-8 圧縮強度試験, 静弾性係数試験, 配合推定結果

試験体名		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	配合推定				
				単位 容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	材料単位量(kg/m <sup>3</sup> )			水セメント 比(%)
		3体の平均値	3体の平均値		セメント	水	骨材	
4主 鉄桁	舗装コンクリート	54.5	13.3	2414	372	173	1869	47
	床版コンクリート	26.1	18.4	2298	338	165	1795	49
2主 鉄桁	舗装コンクリート	71.7	36.4	2417	397	141	1878	36
	調整コンクリート	50.3	27.6	2351	304	163	1884	54
	床版コンクリート	41.5	23.1	2388	246	153	1989	62

表-9 EPMAによる面分析の結果

着目成分	調査項目	4主鉄桁	2主鉄桁
CaO	・骨材の形状 ・セメント量 ・空隙の有無	・舗装コンクリートは床版コンクリートと比べてセメント量が多い。骨材の形状から舗装コンクリートは碎石, 床版コンクリートは砂利と判断される。 ・2主鉄桁に比べ, コンクリートの充填状況にばらつきがある。	・舗装コンクリートは調整コンクリートおよび床版コンクリートと比べてセメント量が多い, 骨材の形状から舗装コンクリートは碎石, 調整コンクリートと床版コンクリートは砂利と判断される。 ・舗装コンクリートと床版コンクリートは充填状況が均一である, 調整コンクリートは床版コンクリートに比べて充填がやや不足している。
SiO <sub>2</sub>	・骨材の種類 ・骨材の形状 ・空隙の有無	・舗装コンクリートの骨材と床版コンクリートの骨材は異なる。 ・舗装コンクリートおよび床版コンクリートの骨材は2主鉄桁のそれぞれと同じ種類であると判断される。	・舗装コンクリートの骨材と調整コンクリートおよび床版コンクリートの骨材は異なる。 ・舗装コンクリートおよび床版コンクリートの骨材は4主鉄桁のそれぞれと同じ種類であると判断される。
SO <sub>3</sub>	・炭酸化の 表面からの深さ	・炭酸化が舗装コンクリート表面で確認されたが, 長い供用期間を考慮すると, きわめて小さいものと判断される。	・炭酸化が舗装コンクリート表面および調整コンクリートと床版コンクリートの境界付近で確認されたが, 長い供用期間を考慮すると, きわめて小さいものと判断される。
Cl	・塩分の浸入深さ	・舗装コンクリート表面に塩化物の浸入が確認されたが, 浸入した塩化物は2主鉄桁より少ない。	・舗装コンクリート表面に塩化物の浸入が確認されたが, 鉄筋が全く腐食していなかったことから, 塩化物を原因とする床版の劣化はないと判断される。

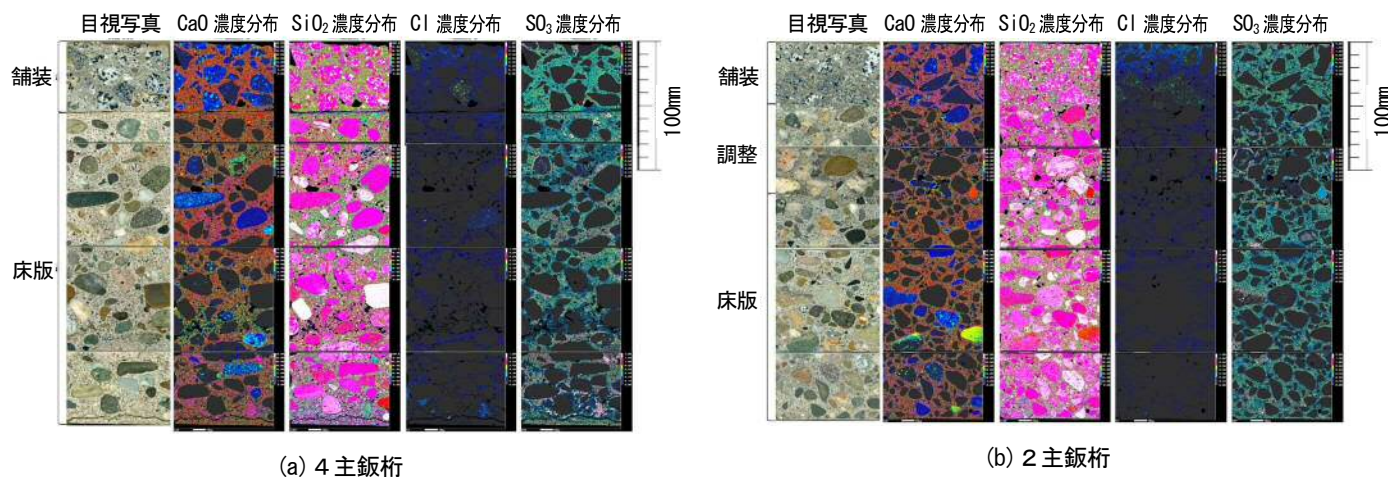


図-5 EPMA 面分析の結果

措置が必要となるが, 当時の設計にそのような配慮はない。しかし, 健全な部分ではコンクリート舗装上に施されたアスファルト舗装がある程度防水層の役割を果たすとともに, コンクリート舗装も防水機能を有することで, 床版を保護していたと考えられる。

#### 4. 3 材料試験結果 (健全部)

4主鉄桁と2主鉄桁の健全部よりコンクリートコアを採取し材料試験を行った。圧縮強度試験, 静弾性係数試験, 配合推定の結果を表-8に, 電子線マイクロアナライザー(EPMA)による面分析の結果を表-9, 図-5にそれぞれ示す。

圧縮強度試験の結果から、表-8 に示すように九年橋の床版コンクリートの圧縮強度は、4主鉄桁で26.1N/mm<sup>2</sup>、2主鉄桁で41.5N/mm<sup>2</sup>、舗装コンクリートの圧縮強度は、4主鉄桁で54.5N/mm<sup>2</sup>、2主鉄桁で

71.7N/mm<sup>2</sup>であり、文献調査<sup>3)</sup>より、当時の床版の設計に使用されていたコンクリートの圧縮強度は135kgf/cm<sup>2</sup>(13.2N/mm<sup>2</sup>)と考えられることから、九年橋では非常に高強度であることがわかった。

EPMAの面分析の結果から、SO<sub>3</sub>濃度から判断される炭酸化はコンクリート舗装上面から2mm程度に限られていた。さらに、塩化物の浸入はコンクリート舗装上面から10~20mm程度に認められたが、床版の鉄筋の腐食はなく、鉄筋位置での中性化および塩化物を原因とする床版の劣化はなかった。道路管理者である北上市に確認したところ、北上市では約10年前まで融雪剤の散布は行なっておらず、それ以降に散布を始めた融雪剤には非塩化物系(尿素が主成分)のものを使用しているとの情報を得ており、この情報と一致する結果となった。

これらの材料試験の結果から、舗装コンクリートと床版コンクリートは配合、使用骨材が異なり、床版コンクリートと調整コンクリートは同じものと推定された。また、4主鉄桁と2主鉄桁で使用材料に明確な違いは認められなかった。

#### 4.4 材料試験結果(劣化部)

4主鉄桁と2主鉄桁の劣化部と判断した試験体から採取したコアでASRの影響を調べる試験を行った。圧縮強度と静弾性係数の比と圧縮強度との関係を図-6に示す。図中の近似曲線は小林らの研究<sup>4)</sup>によるものと、コンクリート標準示方書<sup>5)</sup>に示された圧縮強度と静弾性係数の関係から求めたものの2種類を示している。2主鉄桁では試験体3個で静弾性係数の低下があり、ASRまたは疲労による影響が現れているものと考えられる。4主鉄桁では2主鉄桁に比べて静弾性係数の低下はわずかであった。

ASR促進養生試験(以下、カナダ法という)により残存膨張性の有無を調べた。カナダ法は温度80℃、1規定のNaOH溶液に浸漬し、1週間ごとに膨張率の経時変化を4週間まで計測するものである。長さ変化を

測定する基長は10cmとした。カナダ法の結果を図-7に示す。膨張率は、2主鉄桁が0.15%、4主鉄桁が0.01%であった。北陸地方におけるASRの判定基準<sup>6)</sup>では3週で膨張率0.1%未満を残存膨張性なしとしていることから、4主鉄桁は残存膨張性なし、2主鉄桁は残存膨張性ありの判定となった。カナダ法は自然界では考えられない過酷な条件下の試験であり、2主鉄桁の膨張も3週目で止まっていることから、構造物へ与える影響は小さいと考えられる。電子顕微鏡による断面観察結果では、2主鉄桁、4主鉄桁のいずれもASRによる反応生成物であるアルカリシリカゲルが確認できたことから、九年橋で使用された骨材はASRの影響を受けるものを含んでいたと考えられるが、撤去床版の調査範囲では、ASRによる明らかな劣化は確認できなかった。

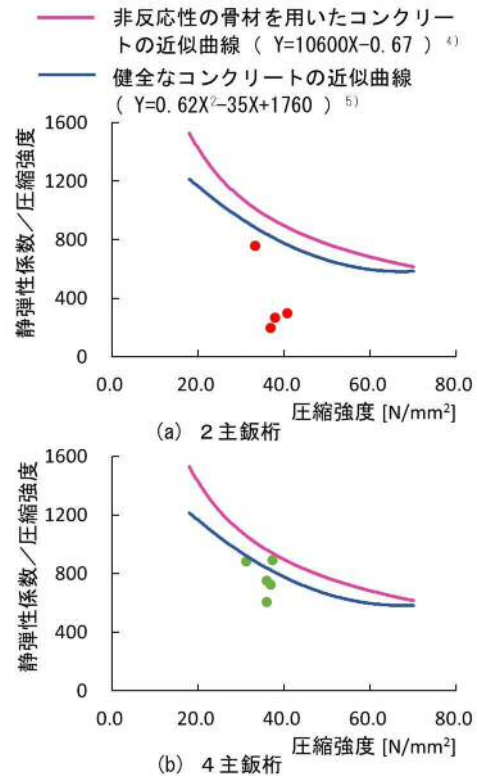


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

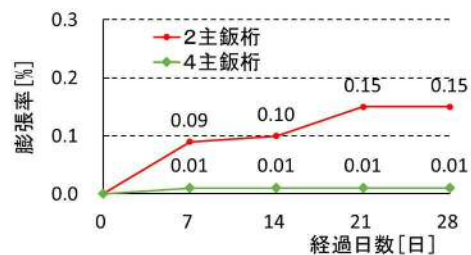


図-7 カナダ法の試験結果

## 5. 構造・施工等の影響

4主鈹桁の床版は約 1800mm ピッチで橋軸直角方向に配置された I 形鋼を埋め込んだ横リブで支持されており、床版支間方向は橋軸方向である(写真-2)。

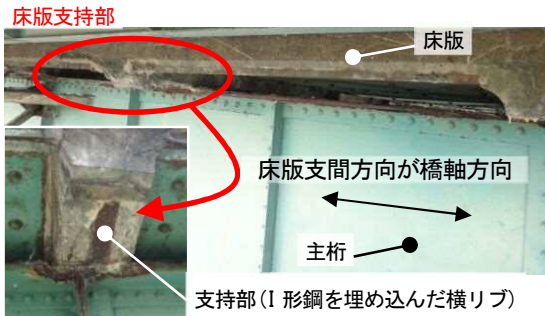


写真-2 4主鈹桁の床版支持状況

2主鈹桁の床版は主桁と縦桁で支持されており、床版支間方向は橋軸直角方向である。車道の路面は一部で欠損したコンクリート舗装を埋めるとともに、走行性を確保するために全長にわたってコンクリート舗装の上にアスファルト舗装が敷設されていた。

4主鈹桁の床版は平均 230mm 厚(210~250mm)の R C 床版の上に 50mm 厚のコンクリート舗装を敷設しており、2主鈹桁の床版は平均 220mm 厚(200~240mm)の R C 床版の上に 50mm 厚のコンクリート舗装を敷設している(図-4)。

### 5. 1 設計的な検討

建設当時の基準による復元設計と現行基準(A活荷重)での照査を行ない、4主鈹桁と2主鈹桁との設計条件の相違による影響を確認した。さらに、建設当時の施工方法とその後の補修補強の影響について考察し、R C 床版の劣化に及ぼす構造的要因を探った。床版の検討条件を表-10 に示す。

復元設計の活荷重は2橋とも車両 8t、転圧機 11t とした。復元設計では、コンクリート圧縮強度は、表-10 に示す設計値  $\sigma_{28}=135\text{kgf/cm}^2$  を使用した。現行基準(A活荷重)での照査では、コンクリート強度は試験値(4主鈹桁:  $26\text{N/mm}^2$ , 2主鈹桁  $42\text{N/mm}^2$ )を使用した。コンクリート舗装による床版の増厚効果を確認するた

表-10 床版の検討条件

	4主鈹桁(8連) 大正 11 年(1922 年)	2主鈹桁(9連) 昭和 8 年(1933 年)
適用基準 (建設当時, 想定)	道路構造令(大正 8 年)	道路構造に関する細則(大正 15 年)
種別	国道	国道(二等橋)
活荷重(建設当時)	車 両 : 7.875t(2100 貫) 転圧機 : 10.886t(12 米 t)	自動車 : 8t 転圧機 : 11t
◎活荷重(現行基準)	25t(A活荷重)	25t(A活荷重)
床版支間長, 方向	1874mm, 橋軸方向	1250mm, 橋軸直角方向
◎不等沈下の影響	なし	あり(中縦桁 3 本)
◎アスファルト舗装厚	70mm	70mm
コンクリート舗装厚	50mm (調整コンと別施工)	50mm (調整コンと一体施工)
R C 床版厚	平均 230mm(210~250mm) +ハンチ 110mm	平均 220mm(200~240mm) (床版上下で別施工)ハンチなし
◎接着鋼板板厚	4.5mm	4.5mm
コンクリート強度 $\sigma_{28}$	設計値 : 135 kgf/cm <sup>2</sup> ◎試験値 : 26 N/mm <sup>2</sup>	設計値 : 135 kgf/cm <sup>2</sup> ◎試験値 : 42 N/mm <sup>2</sup>
コンクリートの許容応力度 $\sigma_{ca}(=\sigma_{28}/3)$	設計値 : 45 kgf/cm <sup>2</sup> ◎試験値 : 8.7 N/mm <sup>2</sup>	設計値 : 45 kgf/cm <sup>2</sup> ◎試験値 : 14 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋の許容応力度	1200kgf/cm <sup>2</sup> (◎120N/mm <sup>2</sup> )	1200kgf/cm <sup>2</sup> (◎120N/mm <sup>2</sup> )
主鉄筋	上側 : なし 下側 : $\phi 10 \times 2$ 本@126mm	上側 : $\phi 12@209$ mm 下側 : $\phi 12@101$ mm
配力鉄筋	上側 : なし 下側 : $\phi 8@138$ mm	上側 : $\phi 10@313$ mm 下側 : $\phi 10@314$ mm
かぶり	30mm(鉄筋中心 40mm)	10mm(鉄筋中心 15mm)

◎は現行基準(A活荷重)での照査時に使用



め、検討する床版厚として「RC床版のみ」のほかに、「RC床版+コンクリート舗装」を追加し、中間支間部について検討した。なお、2主鉄桁では不等沈下の影響による付加曲げモーメントを考慮した。

建設当時の設計方法に従い復元設計を行った結果を表-11に示す。4主鉄桁、2主鉄桁ともすべての照査を満足し、当時の設計方法により配筋された鉄筋量の妥当性が確認できた。

現行基準(A活荷重)の照査の結果を表-12、表-13に示す。鉄筋の応力度は、4主鉄桁では床版厚210mmで主鉄筋が182N/mm<sup>2</sup>、配力鉄筋が314N/mm<sup>2</sup>であったが、コンクリート舗装を床版厚に含めた場合の床版厚260mmでは、主鉄筋は139N/mm<sup>2</sup>、配力鉄筋は223N/mm<sup>2</sup>となった。2主鉄桁では床版厚200mmで不等沈下の影響を考慮しない場合の主鉄筋の応力は80N/mm<sup>2</sup>で許容応力度を十分満足するが、配力鉄筋の応力が230N/mm<sup>2</sup>と許容応力度を大きく超える結果となった。このことから、当時の設計では配力鉄筋にあまり配慮されない設計がなされていたと考えられる。さらに、不等沈下の影響を考慮した場合の鉄筋応力度は、主鉄筋で244N/mm<sup>2</sup>となり、コンクリート舗装を床版厚に含めた場合においても、主鉄筋で194N/mm<sup>2</sup>と非常に大きく、4主鉄桁に比べて、輪荷重の繰り返し载荷の影響による劣化が早く進展したものと考えられる。

2橋ともコンクリート舗装を含む断面増によって応力度が20%以上低減されており、コンクリート舗装や、床版とコンクリート舗装との境界部が健全な部分では、コンクリート舗装厚50mm分だけ実質的に床版厚が厚くなっていたと考えられる。この厚くなった床版厚は、現行基準で床版支間長より算出した必要床版厚に一致するものであった。

## 5.2 施工の影響

建設当時のコンクリートの施工は、現場で練り混ぜし、突き棒などを用いた人力での施工と考えられるが、断面観察の結果、一部で充填不良が認められた(写真-3)。このジャンカや、調整コンクリートと床版の打継目処理等初期の施工不良を起点としてひび割れが生じていることから、床版の損傷は施工不良に起因す

表-11 復元設計の結果

		4主鉄桁	2主鉄桁
床版厚(最薄部)(mm)		210	200
コンクリート舗装厚(mm)		50	50
1)有効高(mm)	実有効高	180	185
	必要有効高	138	119
2)鉄筋量(cm <sup>2</sup> )	実鉄筋量	12.5	11.2
	必要鉄筋量	9.3	8.0
3)コンクリート 曲げ応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	作用応力度	26	22
	許容応力度	45	45
4)鉄筋応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	作用応力度	687	600
	許容応力度	1200	1200
5)コンクリート せん断応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	作用応力度	1.9	2.2
	許容応力度	4	4
6)鉄筋・コンクリートの 付着応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	作用応力度	3.8	5.9
	許容応力度	6	6

表-12 4主鉄桁の現行基準(A活荷重)による照査結果

応力度(N/mm <sup>2</sup> )	床版厚(mm)	鋼板接着前		鋼板接着後
		210	260	210
作用 応力度	主鉄筋(端支間)	182	139	33
	配力鉄筋(支間部)	314	223	20
	鋼板	—	—	37
許容応力度		120	120	120 (鋼板 140)

表-13 2主鉄桁の現行基準(A活荷重)による照査結果

応力度(N/mm <sup>2</sup> )	床版厚(mm)	鋼板接着前		鋼板接着後		
		200	250	200		
主鉄筋(中間支間)	不等沈下なし	鉄筋	作用応力度	80	63	19
		許容応力度	120	120	120	
	不等沈下考慮	鉄筋	作用応力度	244	194	38
			許容応力度	175	175	175
		鋼板	作用応力度	—	—	42
			許容応力度	—	—	140
配力鉄筋(支間部)	鉄筋	作用応力度	230	155	2	
		許容応力度	120	120	120	
	鋼板	作用応力度	—	—	12	
		許容応力度	—	—	140	

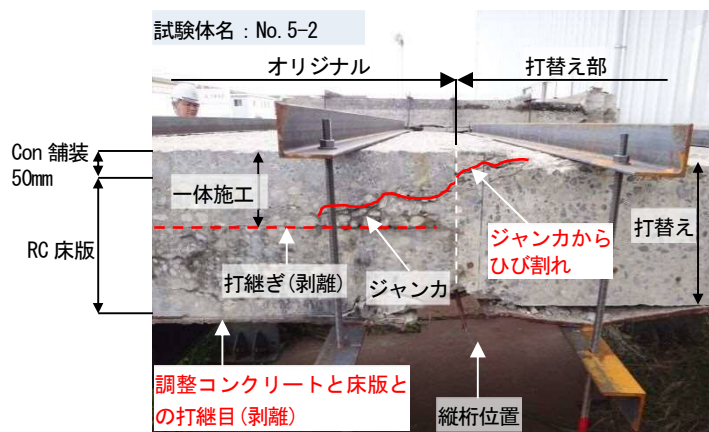


写真-3 2主鉄桁のRC床版

表-14 九年橋の床版の劣化および長寿命化の要因

	共通	4主鉄桁(91年間使用)	2主鉄桁(80年間使用)
劣化促進の要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>排水計画がない</li> <li>防水層がない (床版および舗装と地覆境界部)</li> <li>車両の大型化, 交通量増大</li> <li>既存不適格な構造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工不良(硬練りコンクリート, 締固め不足)</li> <li>コンクリート舗装の目地</li> <li>コンクリート舗装と床版の境界</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版と調整コンクリートの分割施工</li> <li>不等沈下の影響(床版支持条件)</li> <li>床版打替部の打継目</li> </ul>
長寿命化の要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート舗装, アスファルト舗装の防水効果(水の浸入, 凍害, 塩害, 中性化)</li> <li>高強度なコンクリートの使用</li> <li>コンクリート舗装による増厚効果</li> <li>融雪剤(非塩化物系)</li> <li>鋼板接着補強</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>活荷重増加への対応(予防保全, 鋼板接着補強)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>調整コンクリートと舗装コンクリートの一体施工</li> </ul>

るものと考えられる。また、4主鉄桁の方が目視確認できる施工時の空隙が多く見られた。これは、4主鉄桁の建設当時(大正11年)では、コンクリートの製造方法が手練りで、床版のコンクリートは硬練りとするのが標準とされていたのに対し、2主鉄桁の建設当時(昭和8年)は比較的軟練りが標準とされていたことが影響していると考えられる。

### 5.3 補修・補強の影響

補修・補強履歴から、2主鉄桁では昭和46年から鋼板接着や部分的な取替えなどの補修補強が行われており、構造の影響から4主鉄桁に比べて補修が必要な損傷が早く発生したのと考えられる。さらに、それらの補修後に既設部と補修部との境界からの再劣化が確認されている。一方、4主鉄桁は一部補修されているものの、構造の影響は小さく、2主鉄桁に比べて損傷は限定的であり、昭和58年から昭和60年にかけて予防保全と活荷重増加に対応した鋼板接着による補強が全長に渡って行われていることがその後の劣化進展を防止したのと考えられる。

現行基準(A活荷重)での照査の結果(表-12, 表-13)、鋼板接着補強の効果は非常に大きく、4主鉄桁において、補強前の主鉄筋の応力度 $182\text{N}/\text{mm}^2$ が補強後は $33\text{N}/\text{mm}^2$ と約1/6程度に低減された。また、2主鉄桁において不等沈下の影響を考慮した補強前の主鉄筋の応力度 $244\text{N}/\text{mm}^2$ が補強後は $38\text{N}/\text{mm}^2$ となり、4主鉄桁と同程度の約1/6まで低減され、鉄筋応力度は十分小さい値となることがわかった。

## 6. まとめと今後の課題

床版撤去前の実橋の目視点検によって床版の健全部と劣化部を判断した。アスファルト舗装の劣化状況と床版下面の漏水や接着鋼板の腐食、接着鋼板の剥離から健全部と劣化部を判断したが、撤去床版試験体の切断面の外観観察結果は、実橋の目視点検による劣化判定結果とおおむね一致した。

九年橋のRC床版において、4主鉄桁は、2主鉄桁に比べてコンクリート舗装の目地や、床版とコンクリート舗装の打継目など不利な条件がある中、大正11年から平成25年までの91年間使用されてきたが、損傷は部分的であった。今回の調査結果を整理すると表-14のようになる。

長寿命化の要因で、4主鉄桁、2主鉄桁とも共通していた①高強度なコンクリートの使用、②コンクリート舗装による増厚効果、などが長期にわたり使用に耐えた要因と考えられる。また、4主鉄桁よりも2主鉄桁の劣化が比較的早かったのは、2主鉄桁の劣化促進の要因である①床版上下層分割施工、②不等沈下の影響、③床版打替部の打継目、4主鉄桁に施された④予防保全的に行われた鋼板接着補強による活荷重増加への対応の有無、などが影響したと考えられる。

九年橋の劣化は2橋に共通している排水計画や防水層がないこと、さらに、コンクリート舗装の目地や、コンクリート舗装と床版との打継目等、の施工や構造から必要となる目地、打継目が弱点となって、劣化が進行していき、それに加えて2主鉄桁においては不等沈下の影響が劣化を促進したと推定され、これら

の改善によりさらなる長期使用も可能と考えられる。

本研究より、RC床版であっても適切な設計、施工および維持管理がなされれば、長期の供用も可能であることがわかった。

九年橋の劣化要因の一つとして排水計画の不備があげられるが、今後、床版の施工や補修補強を行なうにあたって、床版上面の滞水対策、構造や施工方法などに配慮することが重要である。たとえば、高強度コンクリートの採用や、床版と地覆の打継目を路面より高い位置として滞水の影響を小さくする構造の採用などが考えられる。また、補強する際の既設と補強部の継ぎ目は弱点となり再劣化しやすいため、設ける位置やその構造、施工方法の決定に注意を要する。

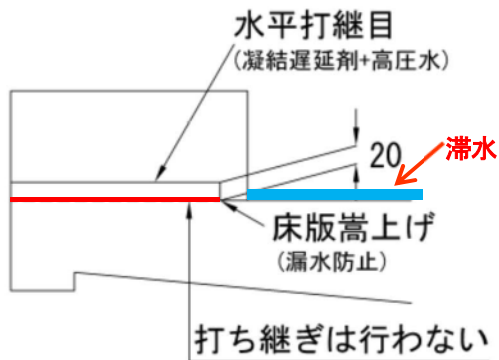


図-8 滞水位置より打継目を高い位置にした例<sup>4)</sup>

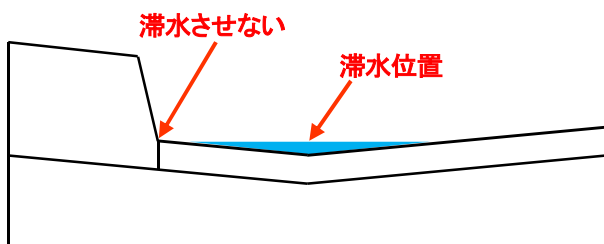


図-9 滞水位置を配慮した例<sup>5)</sup>

床版上面の滞水対策例として、路面の横断勾配により、床版と地覆の界面に水が浸入するケースがあるため、床版打設時に地覆を立ち上げ、防水の弱点となる打継目を滞水位置より高くした事例<sup>7)</sup>がある(図-8)。また、別の方法として、欧州の事例<sup>8)</sup>で、横断勾配で最も低い箇所を床版と地覆の継ぎ目にしない構造があり、このような配慮も有効と考えられる(図-9)。

本研究にあたり研修趣旨をご理解いただき、貴重な情報と試験体をご提供いただきました北上市に深く感謝致します。

[参考文献]

- 1) 柿沼努他：九年橋長寿命化対策工事の設計と施工，橋梁と基礎，第49巻 第12号，pp. 17-22，2015. 12.
- 2) 岩手県土木部：九年橋橋梁補修工事側面図，昭和58年度
- 3) 例えば、永井久雄：鉄筋コンクリート構造の歴史（第4回）—建築における鉄筋コンクリート施工の変せん—，コンクリート・ジャーナル Vol. 7 No. 2，pp. 38-43，1969. 2
- 4) 小林一輔共著：アルカリ骨材反応の診断，p. 15，森北出版(株)
- 5) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書[設計編]，p. 39，丸善出版(株)，平成25年3月
- 6) 野村昌弘，青山實伸，平俊勝，鳥居和之：北陸地方における道路構造物のASRによる損傷事例とその評価手法，コンクリート工学論文集，Vol. 13，No. 3，pp. 105-114，2002
- 7) 国土交通省 東北地方整備局：設計施工マニュアル(案)，pp. 2-54，平成28年3月
- 8) (株)高速道路総合技術研究所ほか：欧州床版防水システム調査報告書，平成21年3月