

平成29年度 橋梁技術発表会

大正時代の鉄筋コンクリート床版が  
どうして長期使用に耐えられたのか！

～90年以上の使用に耐えた九年橋の  
撤去床版から劣化過程を探る～

技術委員会 床版小委員会、保全委員会

[ 春日井俊博／中本啓介／酒井 武志／川東 龍則／久保 圭吾／柿沼 努 ]



1

## 発表内容

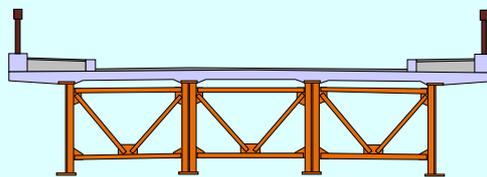
1. 研究の背景
2. 九年橋の概要と歴史
3. 点検・調査方法
4. 床版撤去前後の点検・調査結果
5. 撤去床版試験体の材料試験結果
6. 構造・施工の影響の調査
7. まとめ

2

## 1. 研究の背景

### 鉄筋コンクリート床版の劣化事例

土砂化や押し抜きせん断破壊など多くの報告がある



3

## 1. 研究の背景

### 鉄筋コンクリート床版の劣化要因

- ・ 疲労劣化  
車両の大型化, 交通量の増大, 過積載, 走行位置  
薄い床版厚, 少ない配力鉄筋量, 床版支持条件
- ・ 材料劣化 (近年, 顕在化してきている)  
塩害, 凍害, A S R, 中性化



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, 維持管理の技術向上が求められている

4

## 2. 九年橋の概要と歴史



写真 九年橋(大規模修繕工事前、2012年6月撮影)

2015年に拡幅と鋼桁の補強・連続化の大規模修繕工事が行われた

5

### 九年橋（くねんばし）の名前の由来

二代目と考えられる木橋



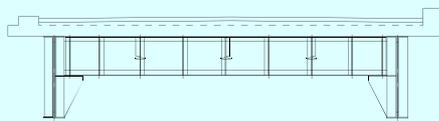
九年橋の名前は、明治九年に明治天皇のご巡幸にあたり初代の木橋がかけられたことに由来する。  
周辺の地名にもなっている。  
(北上市九年橋1丁目～3丁目)

6

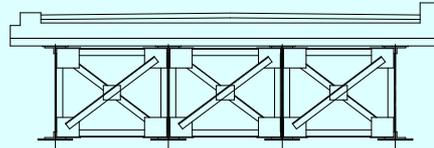
## 研究の目的

九年橋: 大正11年, 昭和8年に建設され, その当時のRC床版を補修補強等により80~90年使用

本研究では, 九年橋の床版を対象とし, 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, 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, RC床版の劣化要因を推定した.



断面図 2主鋼桁



断面図 4主鋼桁

7

## 九年橋の状況 (大規模修繕工事前)



写真 路面



写真 舗装のひび割れ



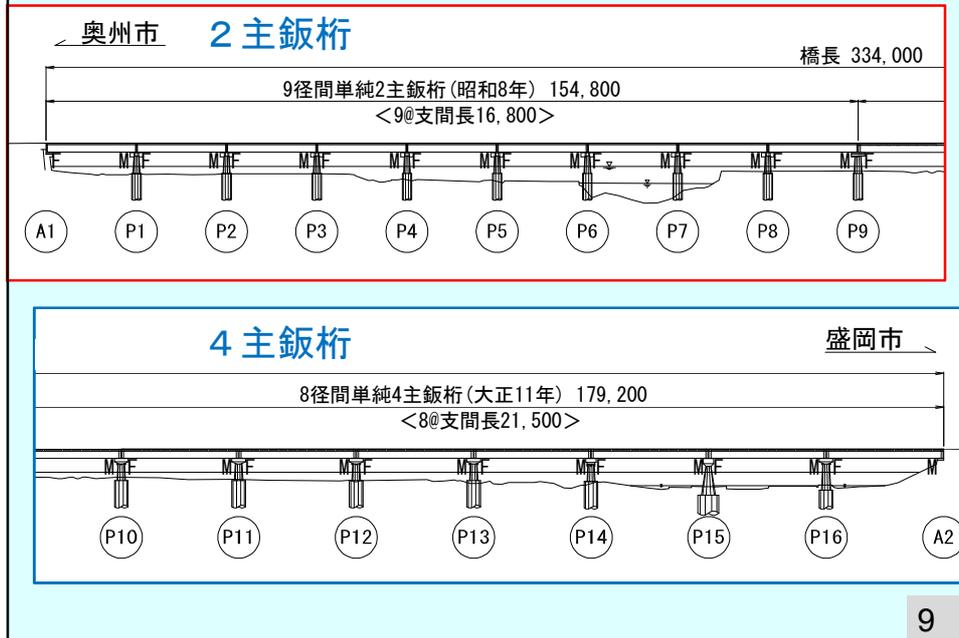
写真 2主鋼桁部



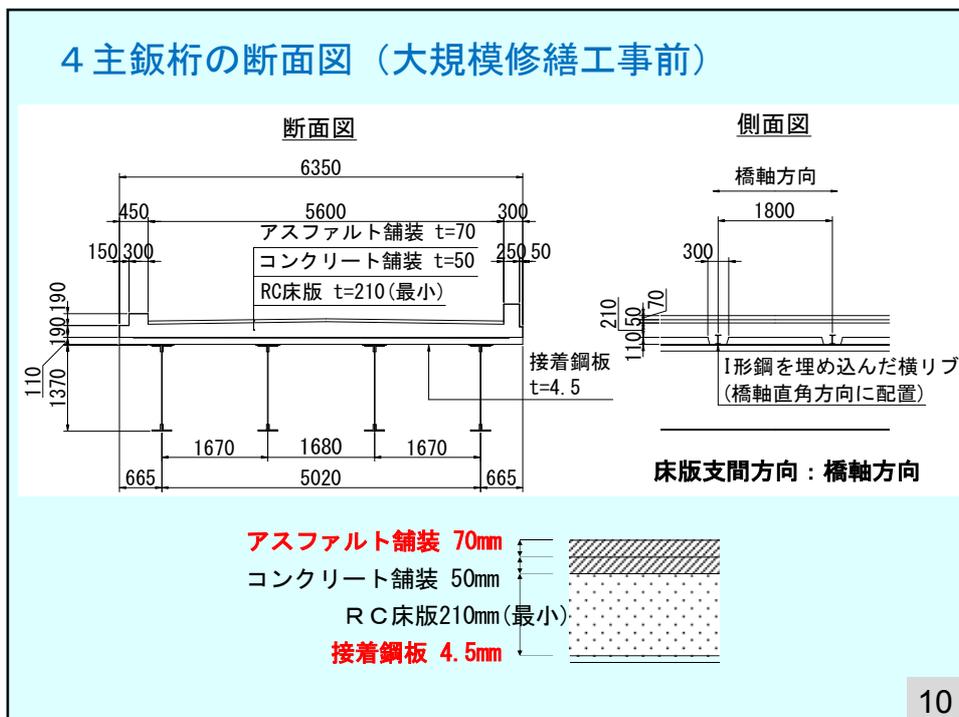
写真 4主鋼桁部

8

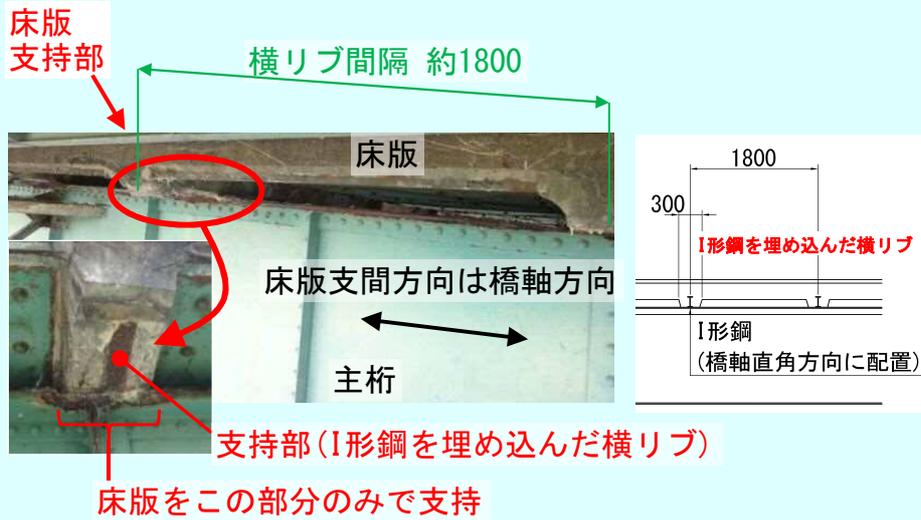
## 側面図（大規模修繕工事前）



## 4主鋼桁の断面図（大規模修繕工事前）

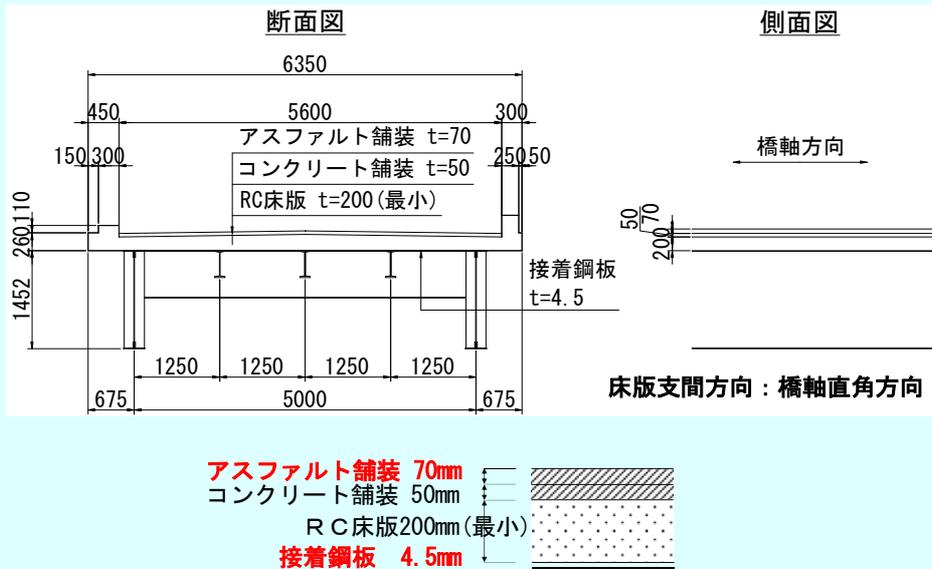


## 4 主鈹桁の床版支持構造



11

## 2 主鈹桁の断面図 (大規模修繕工事前)



12

表 九年橋の補修補強履歴と適用基準の変遷

	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主飯桁	2主飯桁		
大正8年 (1919)	国			「道路構造令」 国道 車両荷重：2100貫[7.875t] 転圧機：12米t[10.886t]	7,000台
大正11年 (1922)		完成			
大正15年 (1926)				「道路構造に関する細則」 国道(二等橋) 自動車荷重：8t 転圧機：11t	4万台
昭和8年 (1933)		舗装取替 硬質タークレー舗装 →コンクリート舗装	完成		
昭和14年 (1939)				「鋼道路橋設計示方書案」 国道，一等橋：13t	11万台
昭和31年 (1956)				「鋼道路橋設計示方書」 国道，一等橋：20t	
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	800万台
				1,900万台	

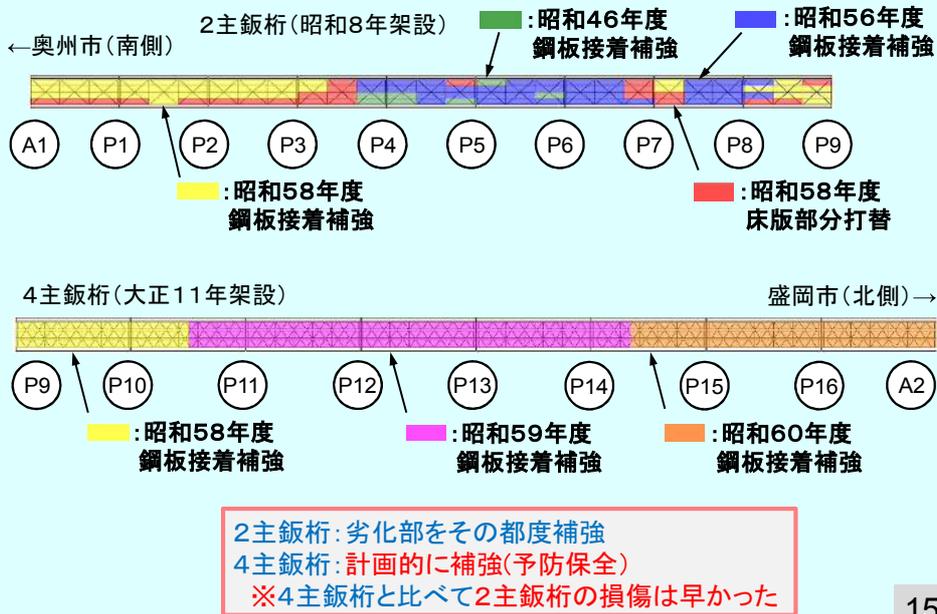
13

表 九年橋の補修補強履歴と適用基準の変遷

	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主飯桁	2主飯桁		
昭和50年 (1975)	岩手県				2,800万台
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)					4,600万台
平成5年 (1993)				「道路橋示方書」 県道，A活荷重：25t	6,400万台
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・床版取替(拡幅)			8,100万台
平成28年 (2016)		側道橋完成			

14

## 九年橋RC床版の補修補強履歴



15

## 3. 点検・調査方法

表 九年橋の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
構造		●	作用応力度	現行基準による照査
材料	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	新設当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	補修補強履歴の調査

16

## ① 床版撤去前後の点検・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
- ・ 床版下面の打音検査



### ● 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
- ・ 切断面の観察



### ● 撤去床版試験体の調査

- ・ 外観観察
- ・ 床版下面からの打音検査



17

## ② 撤去床版試験体の材料試験

圧縮強度試験，静弾性係数試験，配合推定，  
EPMA（電子線マイクロアナライザー）による面分析，  
ASR促進養生試験



## ③ 構造・施工等の影響の調査

復元設計等による活荷重や構造の影響，鋼板接着補強の効果

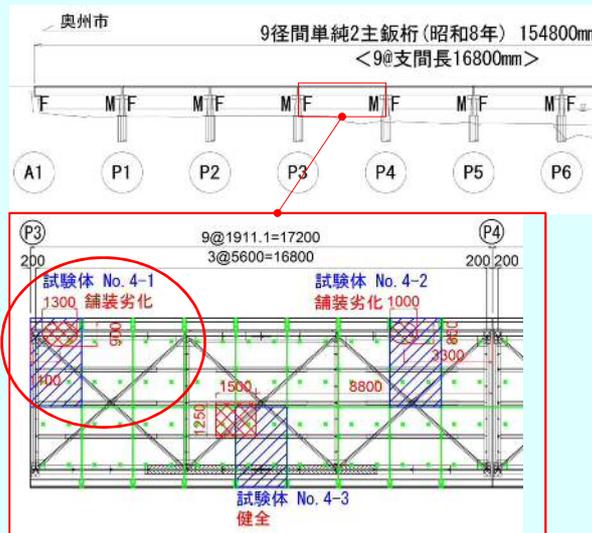
18

## 4. 床版撤去前後の点検・調査結果

床版撤去前後の調査結果(2主鈹桁の劣化と判定した一例)

実橋調査結果  
=劣化

試験体No.4-1  
(2主鈹桁)



19

実橋調査結果=劣化

試験体No.4-1(2主鈹桁)

床版上面のアスファルト舗装路面



アスファルト舗装のひび割れ

床版下面 接着鋼板の広範囲な腐食



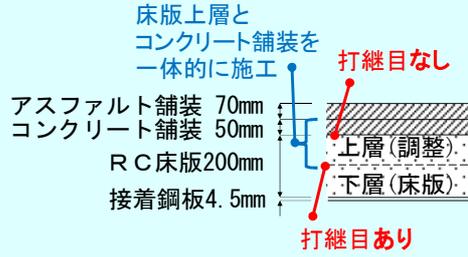
20

実橋調査結果 = 劣化  
試験体No.4-1(2主鈑桁)

地覆部近傍の上面



地覆部近傍の断面



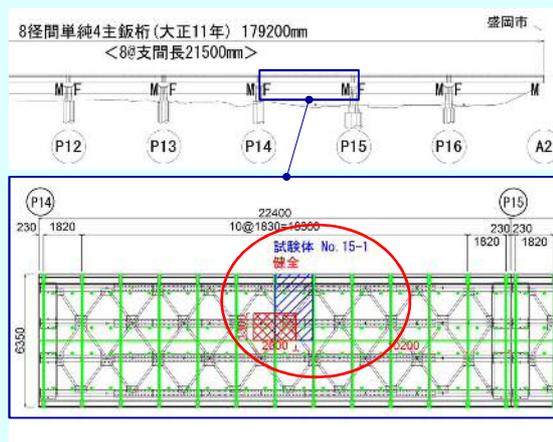
縦桁上近傍の断面



試験体No.5-2(2主鈑桁)

境界や打継目が  
弱点となって損傷

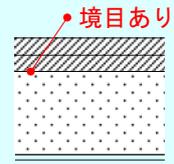
床版撤去前後の調査結果(4主鈑桁の健全と判定した一例)



実橋調査結果 = 健全  
試験体No.15-1

実橋調査結果 = **健全**  
試験体No.15-1

アスファルト舗装 70mm  
コンクリート舗装 50mm  
RC床版210mm  
接着鋼板4.5mm



橋軸方向



橋軸  
直角  
方向

横リブ近傍断面



床版下面

橋軸方向

コンクリート舗装50mm

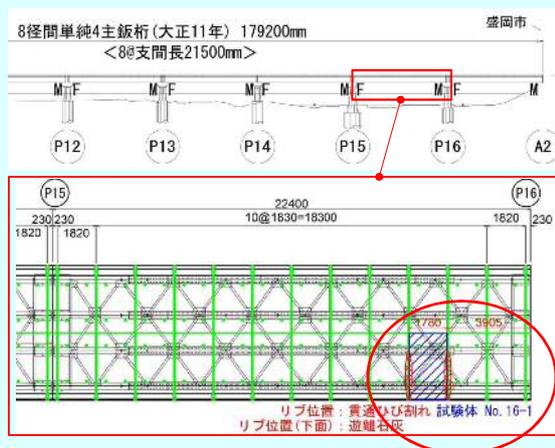


橋軸  
方向

幅員中央付近断面

23

床版撤去前後の調査結果(4主鈹桁の劣化と判定した一例)

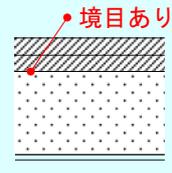


実橋調査結果 = **劣化**  
試験体No.16-1

24

実橋調査結果 = 劣化  
試験体No.16-1

アスファルト舗装 70mm  
コンクリート舗装 50mm  
RC床版210mm  
接着鋼板4.5mm



境界や打継目が  
弱点となって損傷



橋軸方向

アスファルト舗装のひび割れ



橋軸直角  
方向

舗装と地覆の境界(水みち)



橋軸直角  
方向

遊離石灰の発生



橋軸直角  
方向

舗装と床版の剥離

25

## 床版撤去中の調査結果

### 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

#### 床版上面のコンクリート舗装 (4主鉄桁)

・コンクリート  
舗装の目地付近  
で舗装の劣化

コンクリート舗装の目地



コンクリート舗装の目地から雨水が浸入し、  
床版とコンクリート舗装の界面に滞水していた。

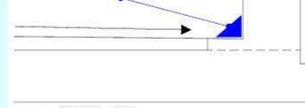
26

## 床版撤去中の調査結果

### コンクリート舗装の路肩部の土砂化（2橋共通）

- ・滞水に起因する凍結融解
- ・両側の路肩部に滞水しやすい構造

滞水:凍結融解 → 土砂化



- ・縦断勾配なし
- ・横断方向の掃み勾配:1.5%程度
- ・排水柵なし



### 排水計画が横断勾配(1.5%程度)のみ

縦断勾配がない, 排水柵がない, 防水層等がない  
→凍害受けやすい状況. 排水柵2~3個必要.

しかし, 床版の土砂化は滞水部の一部のみ



As舗装, Con舗装が防水層の役割を果たしていた

27

## この調査からわかったこと

### 主な損傷状況(現地での点検結果)

- ・アスファルト舗装のひび割れ
- ・接着鋼板の腐食(塗膜劣化と漏水が原因)

現地での点検結果  
舗装や接着鋼板で直接床版が見えない状況で床版の健全性を推定

概ね一致

撤去床版の調査結果  
切断面等の外観観察から健全性を判定

直接床版が見えなくても,  
舗装や接着鋼板の点検は床版の健全性判定に有効

28

## 5. 撤去床版の材料試験結果

その1: 健全部から採取した供試体を使用

表 圧縮強度試験, 静弾性係数試験, 配合推定結果

試験体部位	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性 係数 (N/mm <sup>2</sup> )	配合推定				
			単位容 積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	材料単位置 (kg/m <sup>3</sup> )			水セメ ント比 (%)
				セメント	水	骨材	
4主 舗装コンクリート	54.5	13.3	2414	372	173	1869	47
鋺桁 床版コンクリート	26.1	18.4	2298	338	165	1795	49
2主 舗装コンクリート	71.7	36.4	2417	397	141	1878	36
鋺桁 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

建設当時のコンクリートの

設計圧縮強度 135kgf/cm<sup>2</sup> (13.2N/mm<sup>2</sup>)

試験の最小値で

設計値の2倍



高強度のコンクリートで耐荷性, 耐凍害性が向上

29

## EPMA面分析の結果

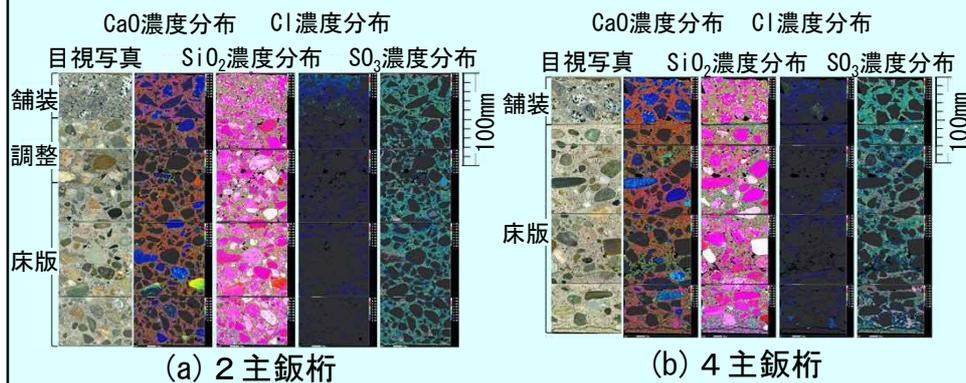
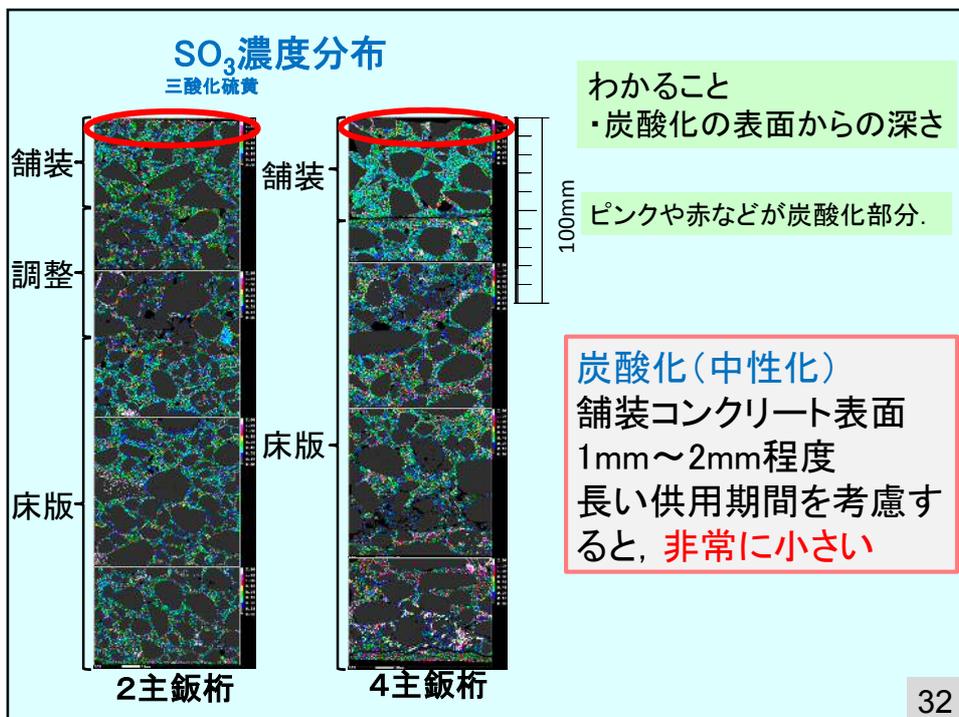
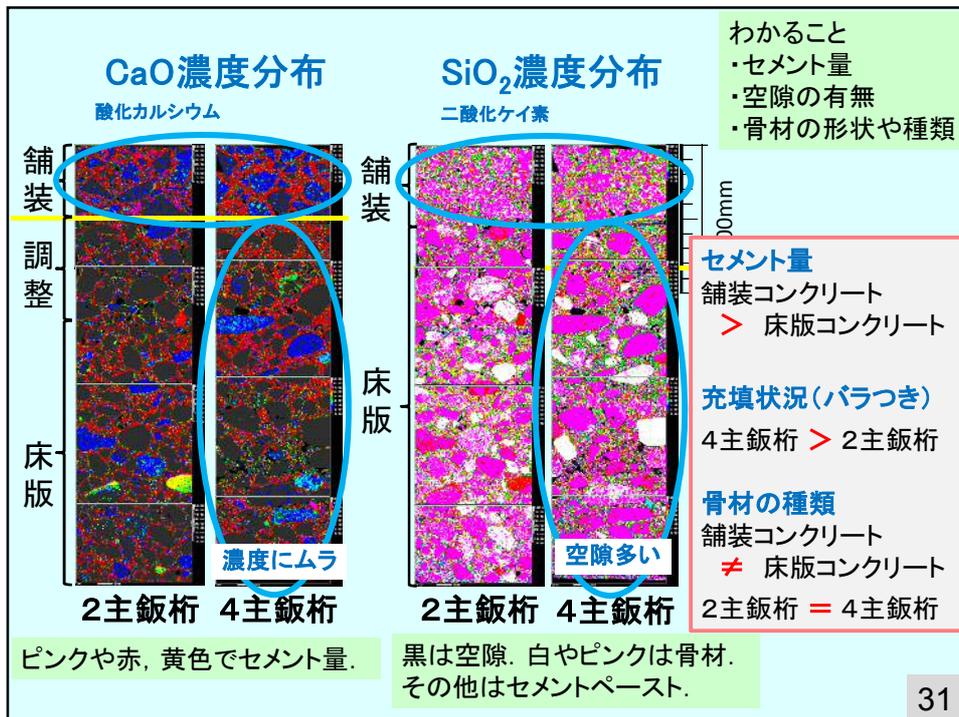


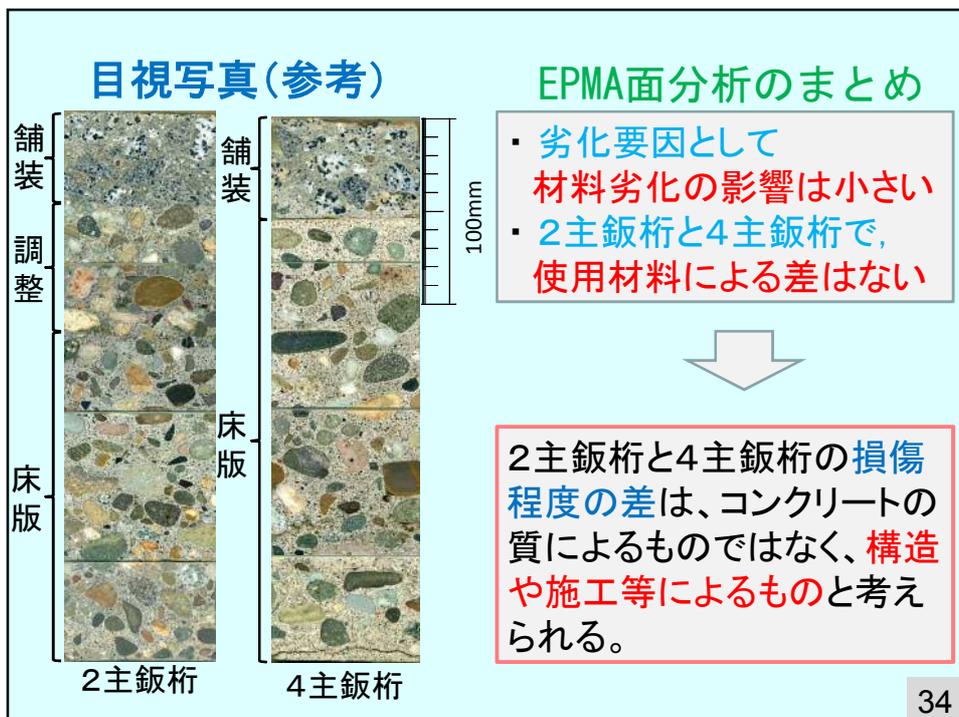
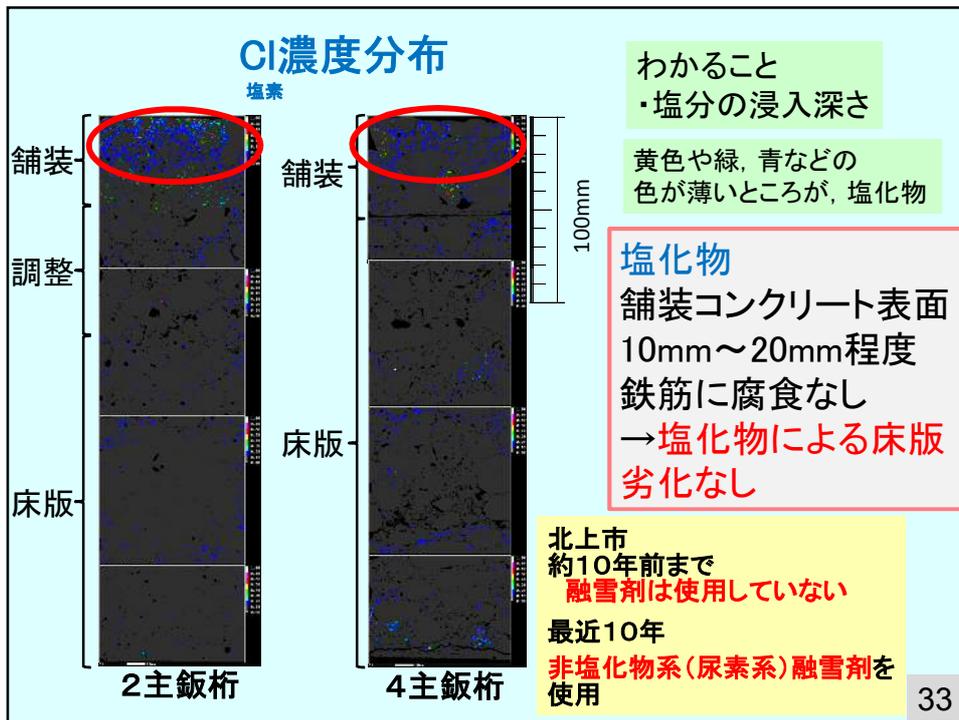
図 EPMAの面分析の結果

EPMA [ Electron Probe Micro Analyzer ]: 電子線マイクロアナライザー  
電子線を照射して構成元素を分析する

濃度分布などを見て分析

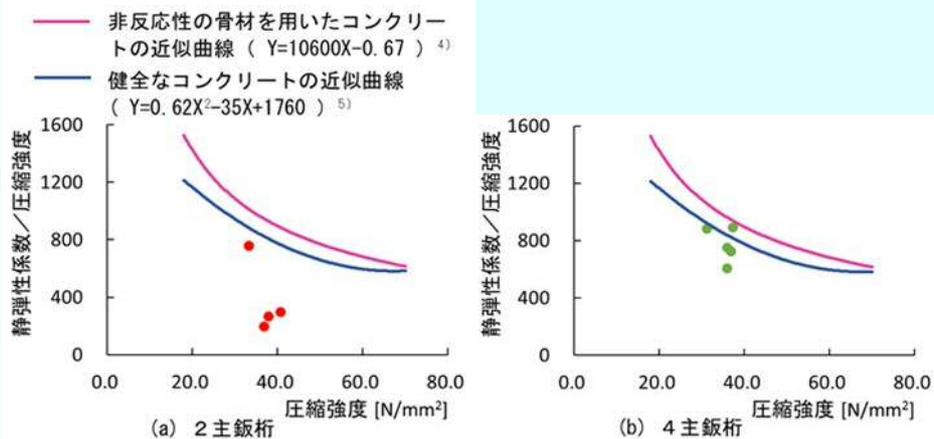
30





## 5. 撤去床版の材料試験結果

その2: 損傷を含む試験体から採取した供試体を使用



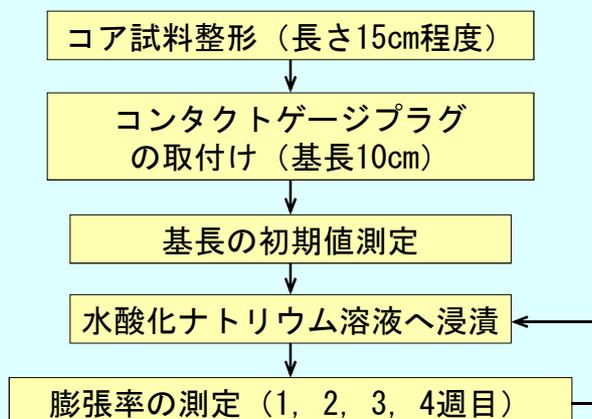
静弾性係数の低下からASRまたは疲労の影響が考えられる

35

### ASR促進養生試験（カナダ法）

温度80℃, 1規定のNaOH溶液（1000mlの水に40gの水酸化ナトリウム）に浸漬し, 膨張率の経時変化を測定するもの

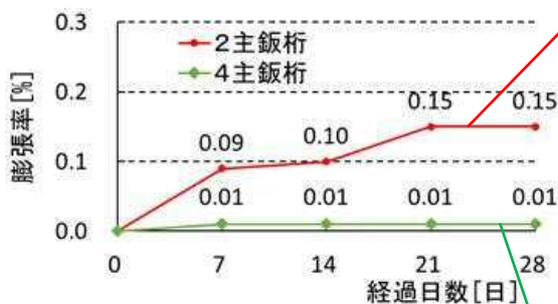
カナダ法のフロー



膨張率の測定

36

## ASR促進養生試験(カナダ法)の試験結果



2主筋桁: 残存膨張性あり

↑ 残存膨張性あり  
0.1%  
↓ 残存膨張性なし  
※北陸地方の評価基準

4主筋桁: 残存膨張性なし

カナダ法は過酷な条件であるため、九年橋の床版ではASRの影響は比較的小さかったと考えられる

37

## 6. 構造・施工等の影響の調査

- ① 建設当時の基準による復元設計
- ② 現行基準(A活荷重)での照査

4主筋桁と2主筋桁との設計条件の違いによる影響, 補修補強の影響を確認



建設当時の施工方法について考察



RC床版の劣化に及ぼす構造的要因を確認

38

	4主鉄桁(8連) 大正11年(1922年)	2主鉄桁(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)
RC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: $\phi 12$ @209mm 下側: $\phi 12$ @101mm
配力鉄筋	上側: なし 下側: $\phi 8$ @138mm	上側: $\phi 10$ @313mm 下側: $\phi 10$ @314mm
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		

39

## 主な検討条件

### 復元設計

- ・活荷重  
2橋とも車両8t, 転圧機11t(現行基準では25t)
- ・コンクリート圧縮強度  
建設当時の設計値135kgf/cm<sup>2</sup>を使用

### 現行基準(A活荷重)の照査

- ・コンクリート圧縮強度  
材料試験値を使用(4主鉄桁:26N/mm<sup>2</sup>, 2主鉄桁:42N/mm<sup>2</sup>)
- ・床版厚  
「RC床版のみ」, 「RC床版+コンクリート舗装」  
※健全なコンクリート舗装を床版厚に考慮
- ・不等沈下の影響  
2主鉄桁で付加曲げモーメントを考慮

40

### 現行基準の床版厚と九年橋の床版厚の比較

現行基準(H24道示)により必要床版厚を算出し、実際の床版厚との比較を行った。

表 検討する床版厚(現行基準との比較) (mm)

	4主鈑桁	2主鈑桁	備考
元の床版厚(d0)	210	200	
コンクリート舗装厚(dc)	50	50	
d0+dc	260	250	
必要床版厚(H24道示)	260	250	
判定	OK	OK	

九年橋の床版厚はコンクリート舗装と床版が一体化している限りでは、健全性を保つための条件が整っていたといえる。

41

表 建設当時の基準による復元設計の結果

	4主鈑桁	2主鈑桁	
床版厚(最小厚) (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)コンクリートの 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

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された。

42

表 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)

鋼板接着補強効果  
80%低減  
約1/6倍

床版厚の増厚効果  
25%低減

コンクリート舗装が健全な場合、増厚効果が期待できる  
鋼板接着補強により、大きな補強効果が確認された



表 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
		鉄筋 許容応力度	120	120	120
	考慮	鋼板 作用応力度	—	—	17
		鋼板 許容応力度	—	—	140
	考慮	鉄筋 作用応力度	244	194	38
		鉄筋 許容応力度	175	175	175
考慮	鋼板 作用応力度	—	—	42	
	鋼板 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

不等沈下の影響大  
応力度3倍に増加

鋼板接着補強効果  
85%低減  
約1/6倍

床版厚の増厚効果  
20%低減

- ・不等沈下の影響が非常に大きいことが確認された
- ・4主鉄桁と同様に、増厚効果、補強効果が期待できる

## 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・木蛸などを用いた**人力での施工**

試験体名：No. 5-2

オリジナル

打替え部

Con舗装

RC床版

一体施工

打替え

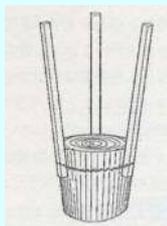
打継ぎ(剥離)

ジャンカ

ジャンカからひび割れ

接着鋼板

縦桁位置



木蛸(きたこ)

写真 2 主鉄桁の撤去床版

この部分の床版の損傷は**施工不良**に起因

45

## 7. まとめ

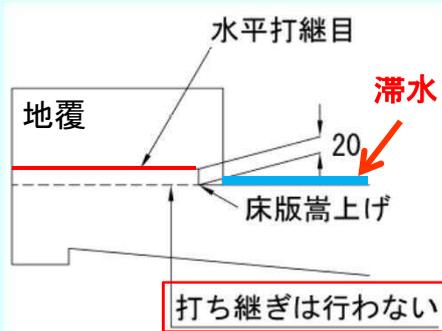
1. 実橋の点検結果と、撤去床版の切断面の劣化判定は、おおむね一致した。舗装および接着鋼板を点検することが有効であることがわかった。
2. 長寿命化の要因は、**コンクリート舗装とアスファルト舗装の防水効果**、**高強度なコンクリートの使用**、**コンクリート舗装による増厚効果**と考えられる。
3. 4主鉄桁と2主鉄桁の劣化の差は、**2主鉄桁の不等沈下の影響**、**4主鉄桁の活荷重増に対する予防保全的な補強**と考えられる。
4. 床版の劣化は、**排水計画**や**防水層**がないこと、さらに、構造や施工から必要となる**目地**、**打継目**、**境界部**が弱点となって凍害など進行したと推定される。
5. 本研究より、**適切な設計**、**施工**、**維持管理**がなされれば、**RC床版でも長期の供用が可能**であることがわかった。

46

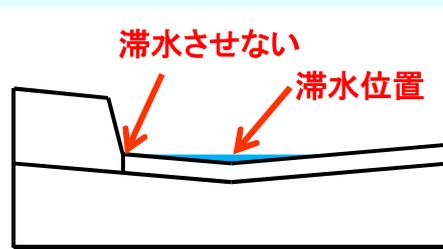
## 今後の課題

九年橋の劣化要因の一つとして排水計画の不備や、弱点となる施工の打継目などへの滞水があげられる。

床版と地覆の打継目を滞水位置より高くした例



床版と地覆の打継目が滞水位置とならないようにした例



47

## ご清聴ありがとうございました



写真 九年橋（大規模修繕工事後、2015年6月撮影）

48