

## 橋梁点検の結果に応じた 補修工法の選定について

廿日市市出張研修 2024年1月15日

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

江良 和徳

<https://www.j-cma.jp/>

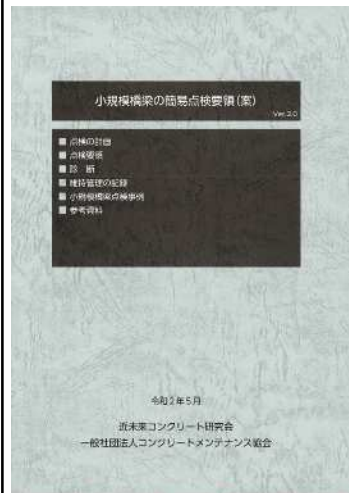
## 対象橋梁

- ・橋梁名：可愛ヶ丘1号線路線橋
- ・所在地：上平良・堂垣内
- ・橋長：5.3m（幅員6.8m）
- ・上部工形式：床版橋 中実床版
- ・下部工形式：直接基礎
- ・橋種：RC橋
- ・架設年：1975年
- ・定期点検調書による健全度：Ⅱ



2

## 小規模橋梁の簡易点検要領（案）Ver2.0



### 【骨子】

- 調査項目を絞る：  
環境条件から劣化因子を絞る
- 構造物を傷めない：  
微破壊で健全性を調査
- 簡易な装置で劣化調査  
特殊な機械を使わない調査
- 調査結果を継続的に記録  
劣化は進行性

3

## 簡易橋梁点検

### 【環境条件】

- ・凍結防止剤を散布する ⇒ 塩害による劣化を想定
- ・竣工後45年以上経過 ⇒ 中性化による劣化を想定

### 【実施項目1：基本情報および変状の把握】

- ・外観調査…寸法、形状、目視観察（ひび割れ）、打音検査（浮き剥離）
- ・強度調査…リバウンドハンマ
- ・かぶり厚さ…電磁波レーダ

### 【実施項目2：想定される劣化に対する調査】

- ・塩化物イオン量測定…簡易塩分測定
- ・中性化深さ測定…ドリル法

4

## 塩害の劣化メカニズム

### 【原因】

- ・ 種々の原因で塩化物イオンがコンクリート中に浸入
- ・ 侵入した塩化物イオンはコンクリート表面から内部へ浸透



### 【劣化の進行】

- ・ 塩化物イオンが鉄筋位置に到達
- ・ 鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量（腐食発生限界）を超えると、鉄筋の不動態皮膜が破壊される
- ・ そこに水、酸素が供給されることにより鉄筋が腐食



### 【着目点】

- ・ 点検、調査において、塩化物イオン量を測定することが重要（腐食発生限界を超えているか否か）  
⇒概ね1.2~2.5kg/m<sup>3</sup>を超えると鉄筋が腐食する  
簡易点検では『ドリル粉末+クロキット』にて測定

5

## 塩害の劣化事例

必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物（部材）の性能低下が生じる



6

## 中性化の劣化メカニズム

### 【原因】

- ・ 大気中の二酸化炭素がコンクリート中に浸入
- ・ 二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応
- ・ 細孔溶液中のpHが低下（pH=11以下）



### 【劣化進行】

- ・ 中性化領域がコンクリート表面から内部に向かって進行
- ・ 中性化領域が鉄筋付近まで到達すると不動態皮膜が破壊
- ・ そこに水、酸素が供給されることにより鉄筋が腐食



### 【着目点】

- ・ 点検、調査において、中性化深さを測定することが重要（中性化が鉄筋付近まで進行しているか否か）  
⇒概ね中性化残りが10mm未満になると鉄筋が腐食する  
簡易点検では『ドリル粉末+フェノールフタレイン』にて測定

7

## 中性化の劣化事例

必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物（部材）の性能低下が生じる



壁高欄のコンクリートはく落



張出し床版下面の鉄筋露出

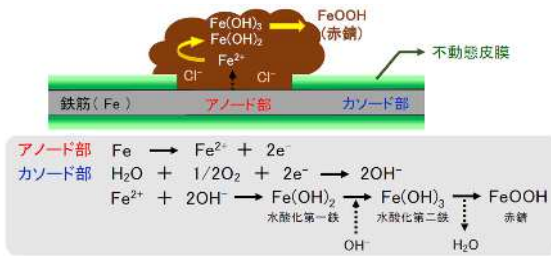
- ・ 道路橋壁高欄
- ・ 自動車の排気ガスによるCO<sub>2</sub>供給
- ・ はく離箇所以外の鉄筋も腐食

- ・ RC上部工の張出し床版下面
- ・ もともと鉄筋かぶり不足

・ かぶりが小さいと早期に中性化領域が鉄筋位置へ到達

8

## 不動態皮膜と鉄筋腐食



不動態皮膜 : 高アルカリ環境下の鋼材表面に酸素が吸着した緻密な酸化物層

不動態皮膜 : 腐食発生限界を超える塩化物イオンの存在 (塩害) の破壊  
鋼材周囲のpH低下 (中性化)

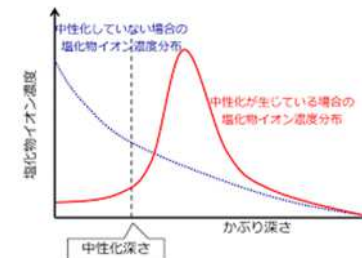
アノード反応 : 電子2個を鉄筋中に残し、鉄がイオンとなって溶出

カソード反応 : アノード反応によって生じる電子を消費

9

## 塩害と中性化の複合劣化

- 塩害による劣化と中性化による劣化は同時に進行することがある。  
⇒ 塩害と中性化の複合劣化
- 塩害単独の時の塩化物イオン濃度分布に対し、塩害と中性化が複合した場合にはその濃度分布に変化が生じる。
- 中性化した範囲よりも奥側に塩化物イオン量が濃縮された高濃度領域が生じる。  
⇒ 中性化による塩分濃縮



塩害単独の場合よりも早く鉄筋位置の塩化物イオン量が高くなる

↓  
構造物の劣化速度が速まる

10

## 簡易橋梁点検

### 外観調査 (寸法、形状、 打音検査、目視観察)

橋梁の外観調査は、構造物の寸法および形状を測定し、目視で損傷を調査する。

- 橋梁の寸法
- 形状の把握
- ひび割れ調査

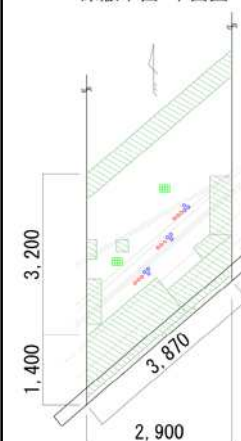
また、浮きや空洞に対しては打音検査で内部の損傷状況を把握する。

- 打音検査 (浮き・空洞の調査)

11

## 簡易橋梁点検

床版下面 平面図



損傷凡例	
記号	損傷種類
	断面修復 (浮き剥離部分)
	強度確認位置
	中性化測定位置
	塩化物イオン量測定位置



12

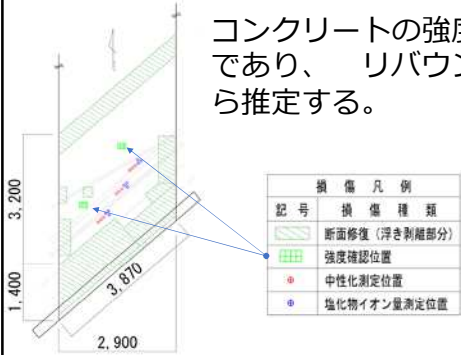
## 簡易橋梁点検

### 強度調査 (リバウンドハンマ)

橋梁の健全性を把握するために、コンクリートの強度を測定する。

コンクリートの強度は非破壊試験が原則であり、リバウンドハンマの反発度から推定する。

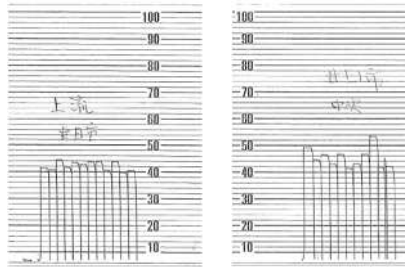
床版下面 平面図



## 簡易橋梁点検

確認位置	箇所数	観測点数	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )
上流側	1	9	31.4
中央部	1	9	36.3

※測定箇所外観検査調査図に記載



上流側	平均	換算表より	推定圧縮強度 = 31.4 N/mm <sup>2</sup>
42 44 40	42.2	40 42 42	
44 44 40		46 43 46	
計 390			

中央部	平均	換算表より	推定圧縮強度 = 36.3 N/mm <sup>2</sup>
50 46 54	45.9	44 42 42	
46 43 46		46 43 46	
計 413			

R	測定位置				
	+90°	+45°	0°	-45°	-90°
20	5.6	3.0	7.5	10.8	11.8
21	2.0	4.2	8.7	11.8	13.0
22	3.3	5.7	10.0	13.1	14.2
23	4.7	7.0	11.3	14.3	15.4
24	5.0	8.2	12.6	15.6	16.7
25	7.4	9.6	13.8	16.8	17.9
26	8.7	11.0	15.1	18.1	19.1
27	10.1	12.5	16.4	19.3	20.3
28	11.5	13.6	17.7	20.6	21.6
29	12.8	14.9	18.9	21.8	22.8
30	14.2	16.2	20.2	23.0	24.0
31	15.6	17.6	21.5	24.3	25.3
32	17.1	18.9	22.8	25.5	26.5
33	18.4	20.2	24.0	26.8	27.7
34	19.8	21.6	25.3	28.0	28.9
35	21.3	22.9	26.6	29.3	30.2
36	22.7	24.3	27.9	30.5	31.4
37	24.1	25.6	29.1	31.8	32.6
38	25.5	27.0	30.4	33.0	33.8
39	27.0	28.3	31.7	34.3	35.1
40	28.3	29.6	33.0	35.5	36.3
41	29.7	31.0	34.2	36.7	37.5
42	31.1	32.4	35.5	38.0	38.7
43	32.4	33.6	36.8	39.2	39.9
44	33.7	35.0	38.0	40.5	41.2
45	35.0	36.2	39.3	41.7	42.4
46	36.4	37.7	40.6	43.0	43.6
47	37.8	39.0	41.7	44.2	44.9
48	39.0	40.2	43.1	45.5	46.1
49	40.4	41.7	44.4	46.7	47.3
50	41.7	43.0	45.7	48.0	48.5

## 簡易橋梁点検

### かぶり厚さの測定 (電磁波レーダ)

かぶり厚さの測定は、非破壊で行う。

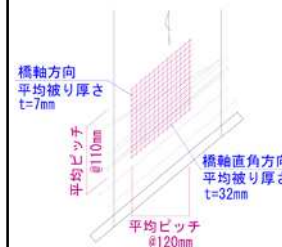
測定は電磁誘導法または電磁波レーダ法で行うことを原則とする。

- 鉄筋を腐食から保護するかぶり厚さを測定



## 簡易橋梁点検

確認位置	配筋かぶり厚さ		配筋間隔	
	橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸方向	橋軸直角方向
上流側	7mm	32mm	120mm	110mm



#### 5.2.3 鉄筋、PC鋼材、シース及び定着具のかぶり

- コンクリートと鉄筋、PC鋼材又は鋼製シースとの付着の確保、鋼材の腐食の防護及び火災に対して鋼材を保護するために、必要なかぶりを確保しなければならない。
- 鉄筋、PC鋼材、鋼製シース及び定着具のかぶりを、図-5.2.3の値以上とする場合には、(1)を満足するとみなす。ただし、鉄筋、PC鋼材及び鋼製シースにおいては、それぞれの直径以上のかぶりを確保する。

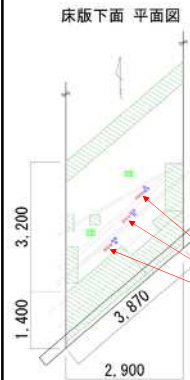
部材の種類	図-5.2.3 最小かぶり (mm)	
	鋼材	その他 (ファイバービーム及びコーベル)
鉄筋、地盤、鋼材、土留保材	35	35
最小かぶり	35 (支保が10cmを超える非鉄鋼材)	25 (工場で製作されるプレレストコンクリート部材)

## 簡易橋梁点検

### 中性化深さの測定（ドリル法）

中性化深さは状況に応じてドリル法、ドリル孔を利用したファイバースコープによる方法、小径コアによる方法を選択して測定する。

- ・ドリル法により中性化深さを測定



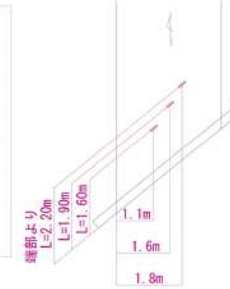
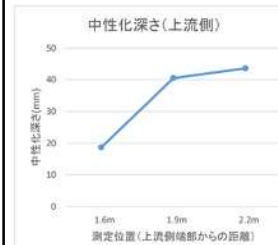
記号	損傷種類
	断面修復（浮き剥離部分）
	強度確認位置
	中性化測定位置
	塩化物イオン量測定位置



17

## 簡易橋梁点検

測定位置	上流側端部からの距離		
	1.6m	1.9m	2.2m
上流側	19.1mm	50.4mm	44.8mm
	18.7mm	32.2mm	46.1mm
平均	18.6mm	40.5mm	43.6mm



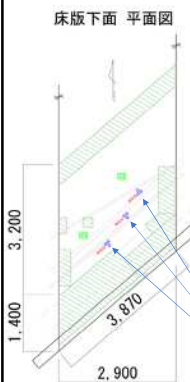
18

## 簡易橋梁点検

### 塩化物イオン量の測定（簡易塩分測定）

塩化物イオン量の測定は、かぶり部分の平均としてとらえ、塩害の可能性を確認する。ドリル粉末、あるいは小径コアのモルタル部分の粉末を採取し、簡易塩化物イオン測定装置を用いて測定する。

- ・簡易塩化物イオン測定(クロキット)



記号	損傷種類
	断面修復（浮き剥離部分）
	強度確認位置
	中性化測定位置
	塩化物イオン量測定位置

19

## 簡易橋梁点検

- ・簡易塩化物イオン測定（商品名：クロキット）



ドリル粉末採取状況



#### ■ 換算方法及び測定範囲

カンタの測定結果（読み値）から【溶液、標準材料】換算表による塩化物イオン濃度を用いて次式により算出する。

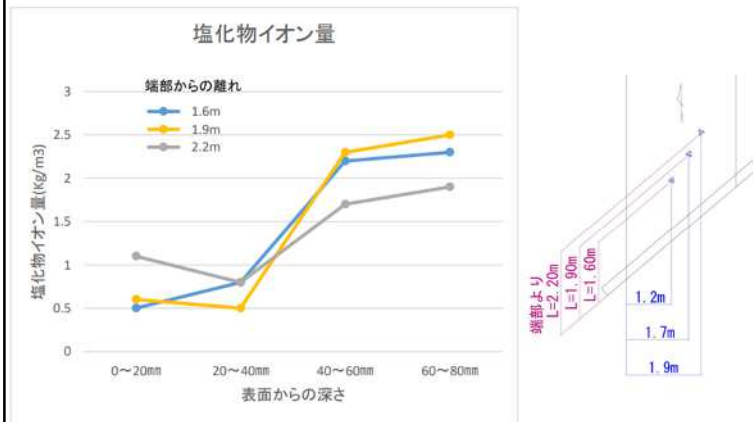
換算方法	換算表から求めた塩化イオン濃度 (%)	20g (精数水質) 5g (試料重量) × 3本の平均値 (%)	硬化コンクリート中の塩化イオン濃度 (%) × 2,300kg/m <sup>3</sup> (硬化コンクリートの単位体積重量)
コンクリート1m <sup>2</sup> 中の塩化物イオン量 (kg/m <sup>2</sup> )	$\frac{\text{換算表から求めた塩化イオン濃度 (\%)} \times 2,300\text{kg/m}^3}{100}$		

#### 測定範囲

標準測定方法 (試料5g、精数水20g) により、硬化コンクリート中の以下の範囲における塩化物イオン量が測定可能です。  
カンタの標準器具を用いた場合 ▶ 約0.4 ~ 6 kg/m<sup>3</sup>

20

## 簡易橋梁点検



21

## 簡易橋梁点検

### 点検結果のまとめ

- ・外観：床版下面の端部に多くの浮きはく離が見受けられる。  
橋面から雨水が回り込んでいる端部については、内部の鉄筋はひどく腐食している状態で露出している。
- ・圧縮強度：31~36N/mm<sup>2</sup>
- ・鉄筋かぶり：7mm（表面側鉄筋）
- ・中性化深さ：19~44mm
- ・内在塩化物イオン量：2.5kg/m<sup>3</sup>（最大値）



22

## 簡易橋梁点検

### 考 察

- ・劣化の原因は、中性化と塩害の複合劣化
  - ・劣化グレードは、加速期前期～後期
- ☆加速期前期における対策工への要求性能として、「鉄筋腐食の進行抑制」を十分に考慮する必要がある。
- ただし、さらなる劣化因子(塩化物イオン、水分、酸素など)の侵入は許容すべきではないため、「劣化因子の侵入抑制」も要求性能として必要である。

23

## 補修工法の選定

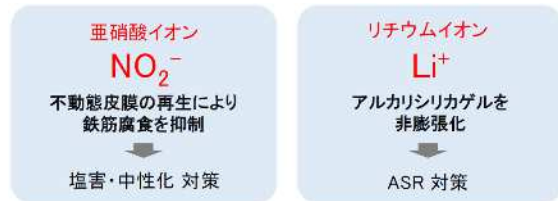
### 補修工法（案）

- ・亜硝酸リチウム併用型断面修復工法  
工法名：リハビリ断面修復工法  
(NETIS:CG-220003-A)
- ・亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法  
工法名：リハビリシリンダー工法  
(広島県革新技術活用制度：区分3 活用促進技術)
- ・亜硝酸リチウム併用型表面含侵工法  
工法名：プロコンガードシステムS  
(NETIS:CG-190024-A)

24

## 亜硝酸リチウムの効果

- ・ 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果
- ・ リチウムイオンによるASR膨張抑制効果



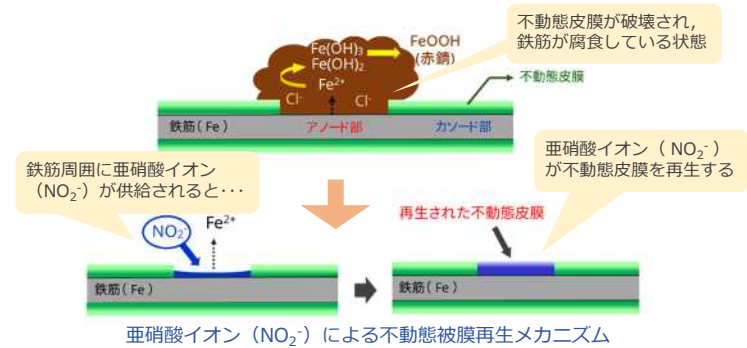
- ・ 亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有する水溶液
- ・ 原材料は「天然ガス」と「ロシア輝石」
- ・ 濃度は40%（限界濃度）

Lithium Nitrite ;  $\text{LiNO}_2$



25

## 亜硝酸リチウムの効果（亜硝酸イオン）

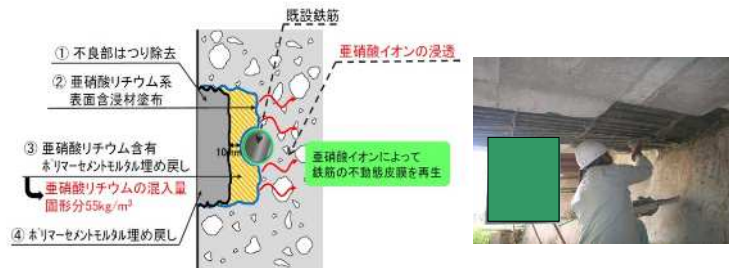


- ・ 亜硝酸イオンの存在により、鉄筋の腐食を抑制することができる
- ・ あとは、鉄筋位置に亜硝酸イオンを供給する手段を考えよう！  
 ⇒ 亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法

26

## 亜硝酸リチウム併用型断面修復工法

【リハビリ断面修復工法】 NETIS : CG-220003-A



- ① はつり深さは鉄筋を半分程度露出させる程度まで
- ② 露出した鉄筋表面をケレンした後、亜硝酸リチウムを塗布する ⇒ 鉄筋防錆
- ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルにて、鉄筋を10mm覆う厚さまで断面を修復する ⇒ 鉄筋防錆  
 このときの亜硝酸リチウム混入量は $137.5\text{kg/m}^3$ （固形分で $55\text{kg/m}^3$ ）
- ④ 残りの表層部分をポリマーセメントモルタルにて埋め戻す

27

## 亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法

【リハビリシリンダー工法】



- ① 自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ② 亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③ 超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

期待できる性能、効果

基本性能 : 『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』  
 付加価値 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

28

## 亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法

【プロコンガードシステムS】 NETIS : CG-190024-A



- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③シラン・シロキサン系含浸材を塗布し、撥水層を形成する ⇒ 劣化因子の遮断

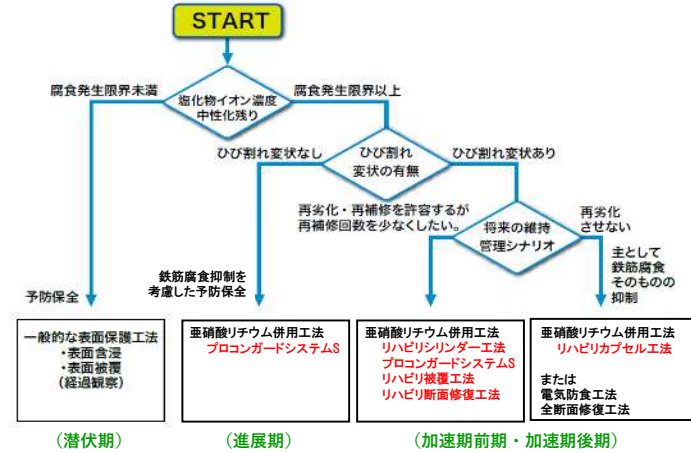
### 期待できる性能、効果

- 基本性能 : 『シラン・シロキサン系含浸材による劣化因子の遮断』  
 付加価値 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

29

## 橋梁点検の結果に応じた補修工法の選定

塩害・中性化補修の場合



30