主催：一般社団法人 コンクリートメンテナンス協会
コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2024
～持続的な未来を築くための、実践的なアプローチ～

# 予防保全を目的とした コンクリート構造物の点検要領


**十河 茂幸**

近未来コンクリート研究会 代表
一般社団法人コンクリートメンテナンス協会 顧問
工学博士 コンクリート診断士


## 業 務 経 歴

建設業 37年間（1974～2011年）

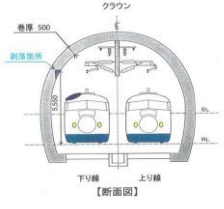
広島工業大学工学部教授（2011～2017年）

2017年～ 現 職

近未来コンクリート研究会 代表
(一社) コンクリートメンテナンス協会 顧問

## 我が国のインフラの大きな事故例

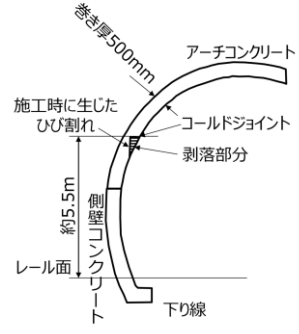
- 1999年 鉄道トンネル二次覆工コンクリートの崩落
- 2012年 道路トンネルの天井版の崩落事故



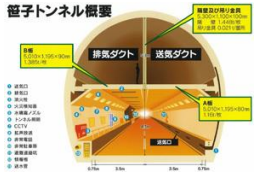
福岡トンネル事故事例

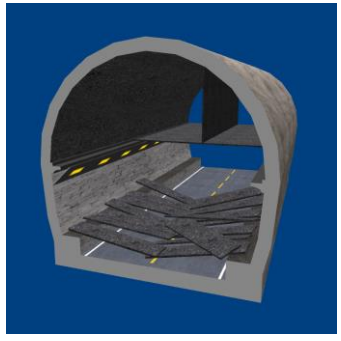
## 1999年 新幹線にコンクリート片が剥落

1999年福岡トンネルにおいて
走行中の新幹線の上に
約200kgのコンクリートが落下



## 2012年　笹子トンネルで天井版の崩落





## 橋梁の崩落事例

海外の事例

資料）ミネソタ州道路局

## 近年の橋梁の事故例

ピッツバーグ橋梁崩落現場

最近の起きたアメリカの崩落事故
（1970年代に建設、2022年1月28日）

イタリア　モランディ橋
ジェノバの橋梁崩落事故
（1967年建設、2018年8月29日）

これをみて、バイデン大統領は、
インフラ対策の予算をとることを決断した。

## 本日の話の内容

- □ 橋梁の維持管理は、予防保全で！
- □ 小規模橋梁の予防保全の進め方
- □ 予防保全を目的とした点検要領
- □ 広島県下における橋梁の点検事例

## 1．橋梁の維持管理は、予防保全で！

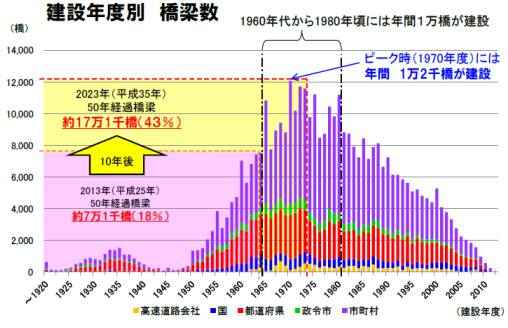
- □ インフラの高齢化の実状
- □ 維持管理の必要性
- □ 点検結果と補修対応の実状
- □ 予防保全が必要な理由
- □ コンクリート診断士の資格者

## 道路橋の数と管理者の実態

- 道路橋　約73万橋（2m以上）
- そのうち市町村の管理が66％
- 2m以下と調査対象外も相当数
- 点検後の対応遅れも存在

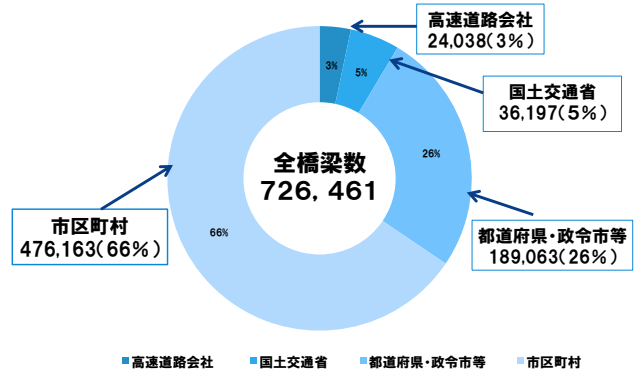
⇒ 小規模な鉄筋コンクリート橋の点検が急務

## インフラ高齢化の実態




**令和5年に橋梁の43％が50歳**

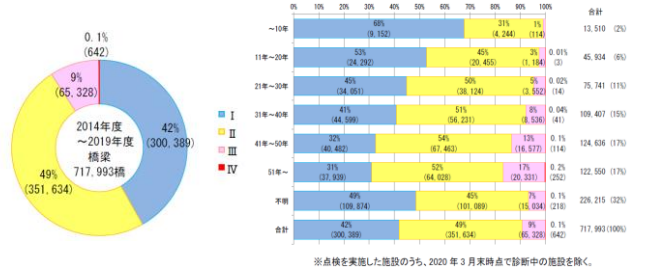
## 維持管理者別の橋梁数の内訳



## 劣化グレードの定め方

| 区 分 | | 状 態 |
|---|---|---|
| 劣化グレードⅠ | 健全 | 構造物の機能に支障が生じない段階 |
| 劣化グレードⅡ | 予防保全段階 | 構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態 |
| 劣化グレードⅢ | 早期措置段階 | 構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずるべき状態 |
| 劣化グレードⅣ | 緊急措置段階 | 構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずるべき状態 |

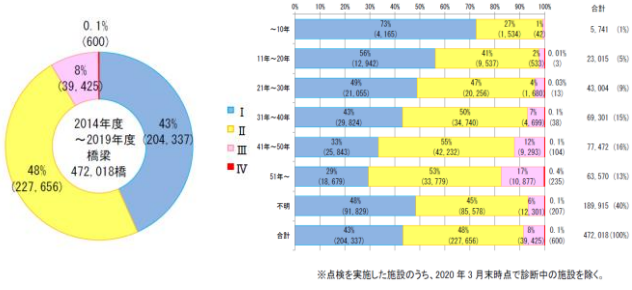
## 全道路管理者の点検結果 （令和2年メンテナンス年報より）




※点検を実施した施設のうち、2020 年 3 月末時点で診断中の施設を除く。

○ 2019 年度末時点における判定区分の割合は、橋梁：Ⅰ 42%、Ⅱ 49%、Ⅲ 9%、Ⅳ 0.1%、トンネル：Ⅰ 2%、Ⅱ 58%、Ⅲ 39%、Ⅳ 0.4%、道路附属物等：Ⅰ 32%、Ⅱ 53%、Ⅲ 15%、Ⅳ 0.1%です。

## 市区町村管理者の点検結果 （令和2年メンテナンス年報より）




※点検を実施した施設のうち、2020 年 3 月末時点で診断中の施設を除く。

○ 2019 年度末時点における判定区分の割合は、橋梁：Ⅰ 43%、Ⅱ 48%、Ⅲ 8%、Ⅳ 0.1%、トンネル：Ⅰ 3%、Ⅱ 58%、Ⅲ 37%、Ⅳ 2%、道路附属物等：Ⅰ 19%、Ⅱ 59%、Ⅲ 22%、Ⅳ 0.3%です。

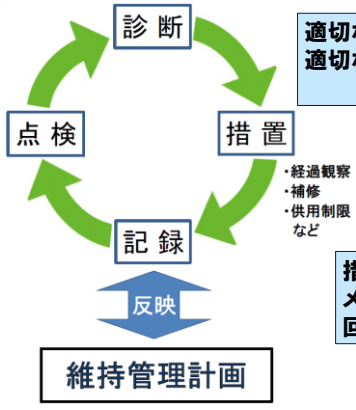
## 補修対応の実態 （1巡目点検の措置の実施状況）

**点検済みの劣化度ⅢおよびⅣの橋梁における補修の実施例**
**（国土交通省編：メンテナンス年報2020年度より）**

| 管理者 | 修繕が必要 A | 修繕に着手 B | 修繕が完了 D | 着手率 (B/A) | 完了率 (D/A) |
|---|---|---|---|---|---|
| 国土交通省 | 3,427 | 2,359 | 1,071 | 69% | 31% |
| 高速道路会社 | 2,538 | 1,202 | 705 | 47% | 28% |
| 都道府県・政令市等 | 20,535 | 9,052 | 5,057 | 44% | 25% |
| 市町村 | 42,338 | 12,324 | 7,812 | 29% | 18% |
| 合計 | 68,836 | 24,937 | 14,645 | 36% | 21% |

**Ⅰ：健全　Ⅱ：予防保全段階　Ⅲ：早期措置段階　Ⅳ：緊急措置段階**
**このうち、グレードⅢおよびⅣと判定された橋梁が対象**

## メンテナンスサイクル




適切な診断ができなければ、
適切な措置は提案できない。
（人材の課題）

・経過観察
・補修
・供用制限
など

措置が終わらないと、
メンテナンスサイクルは
回らない。（予算の課題）

## コンクリート診断士は微増

- 2001年コンクリート診断士制度を設立
- 2024年4月現在　14,857名が登録
- 内訳　全国
  - 官公庁等　1,142名（7.7%）
  - コンサル　4,212名（28.4%）
  - 建設会社　5,709名（38.4%）

⇒ 診断士だけでは対応不能

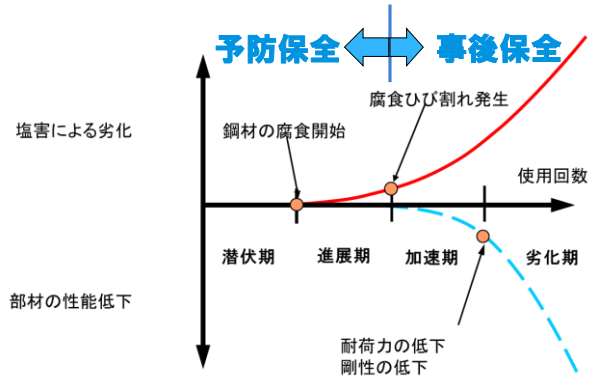
## 2. 小規模橋梁の予防保全の進め方

- □ 劣化要因ごとに異なる症状
- □ 進行するまで見えない鉄筋腐食
- □ 鉄筋の腐食前に劣化を推定

⇒ 健全に見えるが、腐食が進行
それを予測するのが、予防保全

## コンクリートの老朽化の主要因

## 塩害による劣化進行過程の概念




## 塩害における劣化過程と外観上の劣化状態

| 劣化過程 | 定　義 | 外観上の劣化の状態 |
|---|---|---|
| 潜伏期 | 鋼材表面における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間 | 外観上の変状はない |
| 進展期 | 鋼材の腐食発生開始から腐食ひび割れ発生までの期間 | 腐食開始限界塩化物イオン濃度以上<br>腐食はしているが外観上に変状はない |
| 加速期 | 腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間 | （前期）腐食ひび割れ，錆汁発生<br>（後期）腐食ひび割れ多数<br>錆汁，部分的なはく離，剥落 |
| 劣化期 | 腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間 | 腐食ひび割れ多数（ひび割れ幅大）<br>錆汁，はく離，剥落<br>変位，たわみ大きい |

2007年制定土木学会コンクリート標準示方書[維持管理編]を参考に作成

## 劣化要因と潜伏期・進展期の外観

| 劣化要因 | 潜伏期 | 進展期 |
|---|---|---|
| 塩化物イオン | 外観上の変状なし<br>腐食発生限界$Cl^-$イオン量以内 | 外観上の変状なし<br>塩化物イオンによる腐食開始 |
| 中性化 | 外観上の変状なし<br>発錆限界以上の中性化残り | 外観上の変状なし<br>中性化による腐食開始 |
| ASR | 外観上の変状なし<br>膨張によるひび割れなし | 膨張ひび割れの発生<br>変色、アルカリシリカゲルの滲出 |
| 凍結融解作用 | 外観上の変状なし<br>凍結融解の繰り返しを受ける | スケーリング、ひび割れの発生<br>ポップアウトの発生など |
| 化学的腐食 | 外観上の変状なし<br>表面の変質が認められない期間 | 表面が荒れた状態<br>ひび割れの発生 |

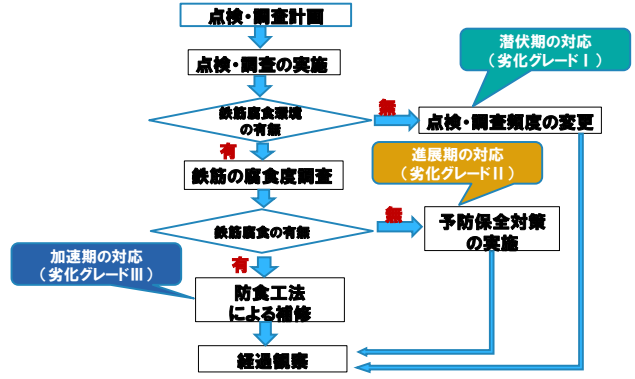
## 予防保全による点検と対応

- 一見健全に見えるコンクリートだが・・
  内部の鉄筋は腐食を開始している。
- 早めの予見が補修を簡単にする。
  鉄筋の減肉は補強が必要となる
- 予防保全の対応（安価な補修）
  ⇒ 劣化因子の浸透防止策
  ⇒ 減肉前に防食対策

## 3. 予防保全を目的とした点検要領

- ☐ 外観目視と打音検査で、安全性の確保
- ☐ 配筋・かぶり厚さの調査で、施工の確認
- ☐ **中性化深さ測定**から腐食の可能性を予測
- ☐ **塩化物イオン量**から腐食の可能性を調査
- ☐ 腐食環境なら、腐食度を調査
- ☐ 腐食状況から補修・補強方法の提案

## 予防保全型維持管理のフロー




## 小規模鉄筋コンクリート橋梁の点検要領（案）

小規模橋梁の点検要領は、鉄筋コンクリートの劣化を対象としています。

**改訂版**（Ver.3）は事例を加え使いやすくしています。

誰でもできる点検を目指して、早期の点検で安価な措置を。

**改善しながら参考図書にしています。**

## 調査項目

| | 調査項目 | 実施項目 |
|---|---|---|
| 1 | 形状寸法 | ・橋梁の寸法・形状の記録<br>・調査状況の写真 |
| 2 | 表面観察 | ・外観調査（ひび割れ、変色、浮き、剥離など）→スケッチ、写真<br>・内部不具合調査（空洞、豆板など）→スケッチ、写真<br>・打音検査（テストハンマー） |
| 3 | 鉄筋位置<br>かぶり厚さ | ・電磁波レーダーによる鉄筋の配置<br>・かぶり厚さの測定 |
| 4 | 圧縮強度 | ・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定<br>（JIS A 1155、JSCE-G-504） |
| 5 | 中性化深さ | ①ドリル法による粉末で中性化深さ測定（NDIS 3419）<br>②ろ紙に噴霧したフェノールフタレイン溶液が赤紫色に呈色<br>③ドリルを止めてその時の深さをノギスで測定 |
| 6 | 塩化物イオン量 | ・乾式ドリル粉の採取<br>→実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定 |

## 外観調査の状況

測量

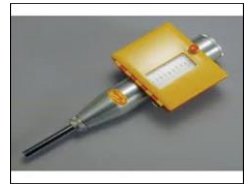
ひび割れ調査

打音検査 →

## 設計基準強度の確認

◆反発度の測定で強度推定

リバウンドハンマー
（シュミットテストハンマーNR型）
JIS A 1155は9点
現場では、12点の反発度測定
偏差の大きい3点を除外



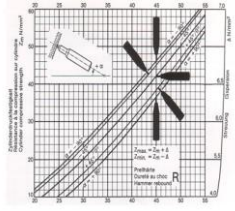
◆ 設計記録がない場合が多く、設計基準強度を推定

## リバウンドハンマーによる測定状況

測定の全景

測定の状況

方向による補正方法 →

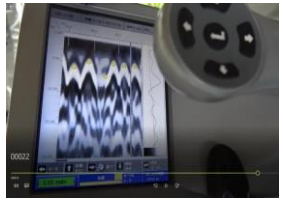


## 電磁波レーダーによる配筋状態の調査

電磁波レーダー法

**配筋状態の記録**
300㎜ ×150㎜

## かぶり厚さ調査と外観調査



かぶり厚さ　50mm

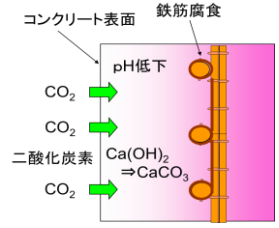
かぶり厚さの小さい箇所で鉄筋腐食による剥落

## 中性化深さの測定方法

ドリルによりコンクリートの粉末を採取
ドリル径はΦ10㎜程度、かぶり厚さまで測定
フェノールフタレイン溶液で判断

$Ca(OH)_2 + CO_2 \Rightarrow CaCO_3 + H_2O$
↓ pH12以上　　↓ pH8.5位

炭酸化して中性に近づく現象



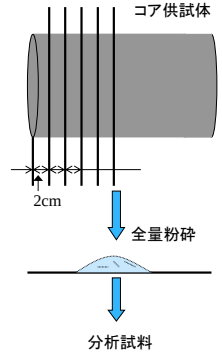

## 中性化深さの測定状況

試料の採取

中性化の判定

中性化深さ測定

## 塩化物含有量の試験方法（JIS法）




全塩分量分析（固定化塩分を含む）
　コンクリート中に含まれる全塩分
可溶性塩分量分析
　50℃の温水に可溶性の塩分

分析方法
・全塩分…硝酸溶液で溶解，加熱煮沸
・可溶性塩分…50℃温水で，30分浸透

① 塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法
② クロム酸銀－吸光光度法
③ 硝酸銀滴定法

## 塩化物イオン量の調査

ドリルで試料を採取後、５gの試料で測定
簡易測定キット「クロキット」を使用

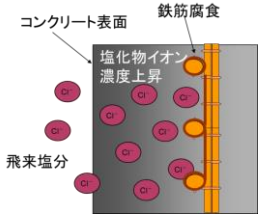
簡易塩化物イオン濃度測定器具

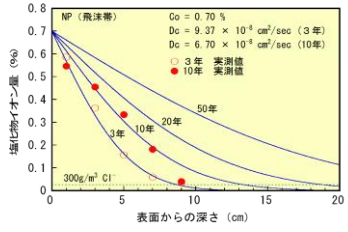
## 塩化物イオン量測定のための粉末採取

ドリルによる削孔
粉体採取状況

塩化物イオン量用
の粉体採取

## 塩化物イオンの浸透の概念




**注：内在塩分の可能性も考慮**

$$C = C_0\left\{1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}}\right)\right\}$$

Dc：拡散係数
Co：表面塩化物イオン量

## 鉄筋位置の塩化物イオン量の推定は困難

- 塩化物イオン量は、計算通りにはならない。
- 表面塩分量は、海洋構造物では一定でも、凍結防止剤を頒布する場合は、撒いているときは多いが、凍結防止剤を不要とする時期には減少する。
- さらに、表面からの雨水などで、固定化されていない塩化物イオンは、水分の移流により拡散する。
- また、中性化すると固定化されているフリーデル氏塩が溶け出して、拡散する。

## 塩分濃縮の現象

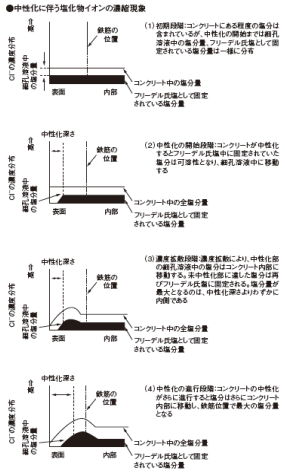
① 塩化物イオンが、フリーデル氏塩として固定化される。

② 中性化すると固定化されていた塩分が可溶性となり、細孔溶液中に移動する。

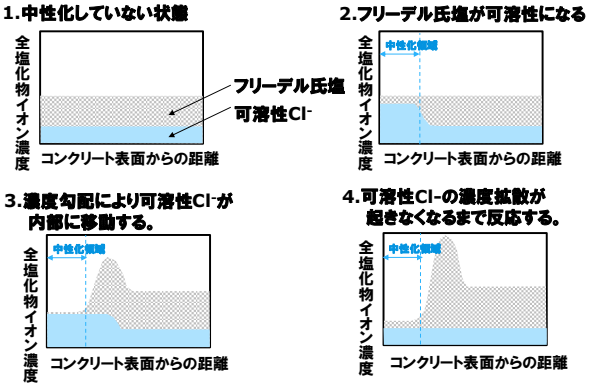
③ 未中性化域で、フリーデル氏塩は再度固定化される。

④中性化が進むと、塩分は内部に移動する。

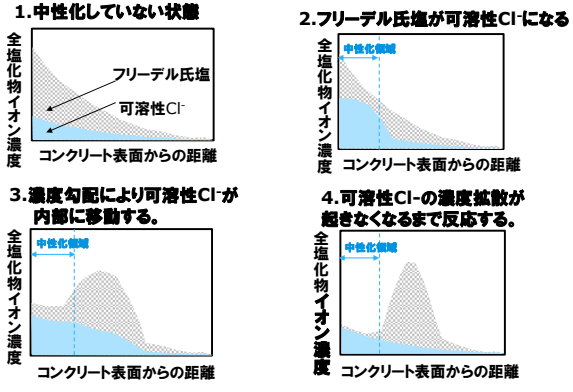
この現象が塩分濃縮という。



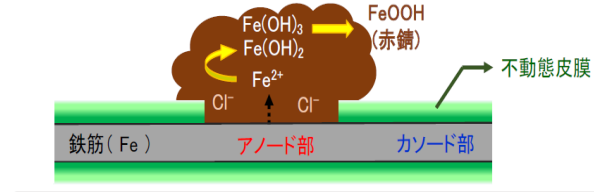

## 内在塩分が中性化により塩分濃縮する場合




## 表面塩分が中性化により塩分濃縮する場合




## 鉄筋の腐食には酸素と水が必要




アノード部 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

カソード部 $H_2O + 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

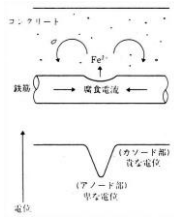
$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow FeOOH$

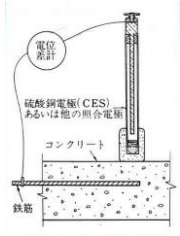
水酸化第一鉄　水酸化第二鉄　赤錆

$OH^-$　$H_2O$

## 鉄筋腐食の調査は自然電位法か斫り

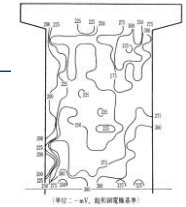
・自然電位
金属がその存在している環境で維持している電位のこと。鋼材が腐食すると表面に腐食電池（アノード部とカソード部）が形成され，自然電位も変化する。

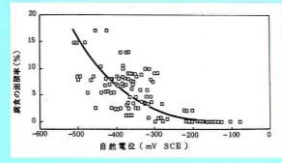



## 自然電位の評価方法

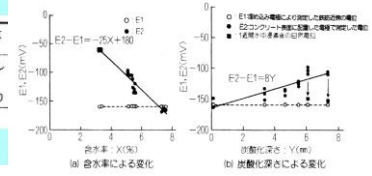
測定例






自然電位と鉄筋腐食の関係

影響要因
①含水率，②炭酸化深さ，③塩化物イオン量




| 測定電位の範囲 | コンクリート中の鋼材腐食の可能性 |
|---|---|
| $-200\ \mathrm{mV} < E$ | 90 % 以上の確率で腐食なし |
| $-350\ \mathrm{mV} < E \leq -200\ \mathrm{mV}$ | 不確定 |
| $E \leq -350\ \mathrm{mV}$ | 90 % 以上の確率で腐食あり |

（電位は飽和硫酸銅電極基準）

自然電位による腐食評価（ASTM基準）

出典：土木学会，鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向，コンクリート技術シリーズ26

## 4. 小規模橋梁の点検事例

広島県土木協会の協力で以下を毎年実施

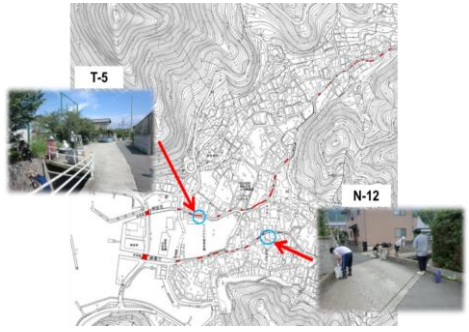
（1）呉市豊町（大崎下島）
（2）東広島市
（3）安芸高田市
（4）尾道市
（5）大竹市
（6）廿日市市

＊ 専門家でなくてもできる方法

## （1）呉市豊町の事例

## 島には、多数の橋梁が存在する

**対象の橋梁（豊町　T-5、N-12）**




## 調査項目 （かぶり厚さは推定）

| | 調査項目 | 実施項目 |
|---|---|---|
| 1 | 形状寸法 | ・橋梁の寸法・形状の記録<br>・調査状況の写真 |
| 2 | 表面観察 | ・外観調査（ひび割れ、変色、浮き、剥離など）→スケッチ、写真<br>・内部不具合調査（空洞、豆板など）→スケッチ、写真<br>・打音検査（テストハンマー） |
| 3 | 圧縮強度 | ・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定<br>（JIS A 1155,JSCE-G-504） |
| 4 | 中性化深さ | ①ドリル法による粉末測定（NDIS 3419）<br>②小径コア側面における変色域を測定（JIS A 1152）<br>③削孔した孔の側面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、内視鏡で変色域を測定 |
| 5 | 塩化物イオン量 | ・乾式ドリル粉の採取<br>→実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定 |

## 外観調査の状況

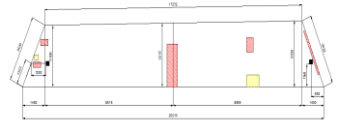
測量

ひび割れ調査

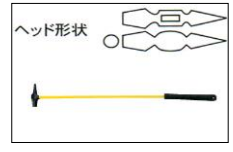
打音検査 →

## 外観調査結果

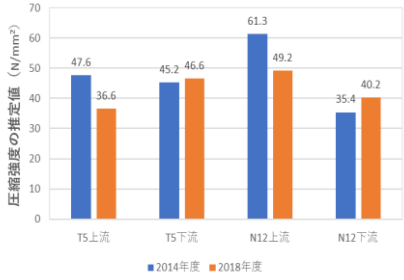
◆橋梁寸法測定　メジャーからCAD図面
⇒　劣化箇所の記入



◆打音調査
ハンマーを使用

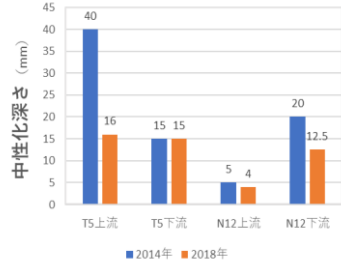


## 圧縮強度の推定値




⇒ 2014年と2018年を比較しても大差なし
設計基準強度（推定）に十分な余裕の強度

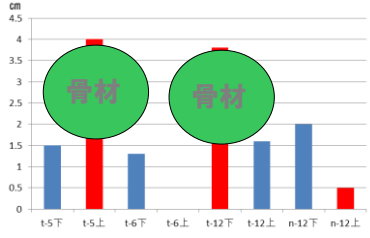
## 中性化深さ測定結果




中性化深さは、最大20mm
かぶり厚さを50mm
中性化残り10mmとし、
建設年不明のため、
中性化速度係数を5.0と推定
$40=5\sqrt{t}$
$t=64$（年）
$20=5\sqrt{t_0}$
$t_0=16$（年）
今後50年は中性化しない
と判定

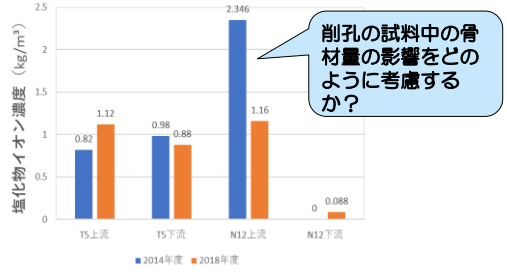
＊ 2014年と2018年の比較
ドリル径を6mmから8mmで正確性向上
⇒ 鉄筋の腐食までの中性化深さに余裕

## 中性化深さの評価




- ✓ 同じ橋梁で中性化深さに大きな幅。 ⇒ 骨材の影響
- ✓ 中性化深さは1.3～2.0cmの範囲と判断。
- ✓ かぶり厚さから考え、補修の必要な時期は、20年後以降。
- ✓ 中性化深さは河口からの距離との相関なし。

## 塩化物イオン量の測定結果とその評価




＊ 塩化物イオン量の測定結果の2014年と2018年の比較
粉末のとり方で誤差の可能性大⇒小？
塩化物イオン量が腐食限界濃度に達していない。
⇒ 4年経過では不明だが、内在塩分と判断できる。

## 健全度の判定

- 外観調査結果の判断 ⇒ 致命的な損傷は無し
  初期欠陥は補修が必要
- 中性化深さの判断 ⇒ 中性化による影響が小
- 塩化物イオンの判断 ⇒ 塩化物イオン量は現状小

健全度の判定　劣化グレード Ⅱ（⇒Ⅰに近い）
コメント：塩化物イオン量が多い個所は再調査
現状は予防保全の段階と判断
橋梁の防水措置を施すと延命化可能

## （2）東広島市福富町の事例

- 東広島市　堀田橋3号線　1号橋　建設年:1980年
- 事前調査で劣化グレードⅡの判定
- ボックスカルバート

広島県土木協会の
協力を得て実施

調査日:2019年10月21日

## 調査項目

| | 調査項目 | 実施項目 |
|---|---|---|
| 1 | 形状寸法 | ・橋梁の寸法・形状の記録<br>・調査状況の写真 |
| 2 | 表面観察 | ・外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真<br>・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真<br>・打音検査(テストハンマー) |
| 3 | 鉄筋位置<br>かぶり厚さ | ・電磁波レーダーによる鉄筋の配置<br>・かぶり厚さの測定 |
| 4 | 圧縮強度 | ・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定<br>(JIS A 1155、JSCE-G-504) |
| 5 | 中性化深さ | ①ドリル法による粉末で中性化深さ測定(NDIS 3419)<br>②ろ紙に噴霧したフェノールフタレイン溶液が赤紫色に呈色<br>③ドリルを止めてその時の深さをノギスで測定 |
| 6 | 塩化物イオン量 | ・乾式ドリル粉の採取<br>→実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定 |

## 中性化深測定とその評価

| 測定箇所 | | 中性化深さ(mm) |
|---|---|---|
| 上流側 | A1橋台側 | 5.98 |
| | 中間部 | 4.35 |
| | A2橋台側 | 2.59 |
| 中央部 | A1橋台側 | 15.24 |
| | 中間部 | 3.57 |
| | A2橋台側 | 1.81 |
| 下流側 | A1橋台側 | 24.56 |
| | 中間部 | 22.52 |
| | A2橋台側 | 29.31 |

建設後39年経過
$t=39$
中性化速度係数の算定
$25=A\sqrt{39}$
$A=4.0$
中性化残り10㎜として
40㎜まで中性化する年数
$40=4\sqrt{t}$
$t=100$(年)
⇒建設後100年中性化せず

＊建設後の年数から将来予測値から判定
現状の判断では、残り60年間は中性化しない

## 塩化物イオン量の評価

| 試料名 | | 単位容積質量 (kg/m³) | 塩化物イオン Cl⁻ (mass%) | 塩化物イオン Cl⁻ (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|
| 上流側 | 深さ 0～20mm | 2,300 | 0.060 | 1.4 |
| | 深さ 20～40mm | | 0.052 | 1.2 |
| 下流側 | 深さ 0～20mm | | 0.072 | 1.7 |
| | 深さ 20～40mm | | 0.007 | 検出限界未満 (0.2) |

塩化物イオン量の濃度は鉄筋位置で腐食限界に未達

## 点検結果の判定

- 強度からの判断
  - ⇒ 十分な強度を確保、配筋も設計を満たす。
- 外観目視からの判断
  - ⇒ 剥落箇所の鉄筋の防食が必要
- 中性化深さからの判断
  - ⇒ 中性化による鉄筋腐食は今後60年は未達
- 塩化物イオン量からの判断
  - ⇒ 現時点では、腐食限界に未達

（対策）⇒ 剥落部を補修、塩化物イオン量の増加を防止

## 点検結果に見えない維持管理のポイント

＊維持管理に際して重要なことは、
延命化を目的にしていることを重視

## （３）安芸高田市の点検事例

**工業団地橋**
建設年 1975年
幅員 12.6m
橋長 7.0m

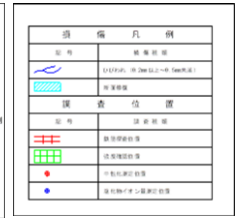
**小原橋**
建設年 1965年
幅員 4.6m
橋長 4.5m

**砂田線1号橋**
建設年 2004年
幅員 9.6m
橋長 8.7m

## 調査項目

| | 調査項目 | 実施項目 |
|---|---|---|
| 1 | 形状寸法 | ・橋梁の寸法・形状の記録<br>・調査状況の写真 |
| 2 | 表面観察 | ・外観調査（ひび割れ、変色、浮き、剥離など）→スケッチ、写真<br>・内部不具合調査（空洞、豆板など）→スケッチ、写真<br>・打音検査（テストハンマー） |
| 3 | 鉄筋位置<br>かぶり厚さ | ・電磁波レーダーによる鉄筋の配置<br>・かぶり厚さの測定 |
| 4 | 圧縮強度 | ・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定<br>（JIS A 1155、JSCE-G-504） |
| 5 | 中性化深さ | ①ドリル法による粉末で中性化深さ測定（NDIS 3419）<br>②ろ紙に噴霧したフェノールフタレイン溶液が赤紫色に呈色<br>③ドリルを止めてその時の深さをノギスで測定 |
| 6 | 塩化物イオン量 | ・乾式ドリル粉の採取<br>→実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定 |

## 工業団地橋の調査位置・外観調査結果



## 推定圧縮強度

- 工業団地橋
  - 上流側　38.1　N/mm²
  - 下流側　38.5　N/mm²
- 砂田線1号橋
  - 上流側　34.8　N/mm²
  - 下流側　35.8　N/mm²
- 小原橋
  - 上流側　38.1　N/mm²
  - 下流側　33.4　N/mm²

**圧縮強度は、いずれの橋梁においても、設計値を満足していると判断できる。**

## 外観調査結果（かぶり厚さ測定を含む）

- **工業団地橋**
  - かぶり厚さ
    - 上流側　60mm
    - 下流側　60mm
- **砂田線1号橋**
  - かぶり厚さ
    - 側壁右　40mm
    - 側壁左　70mm
- **小原橋**
  - かぶり厚さ
    - 上流側　20mm
    - 下流側　20mm

## 中性化深測定とその評価

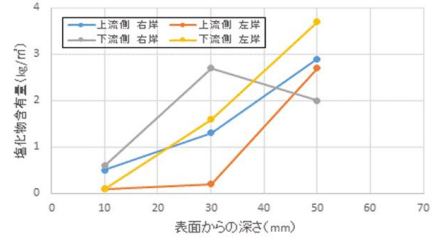
| 橋梁名 | 測定位置 | 測定値 | 平均値 |
|---|---|---|---|
| 工業団地橋 | 上流側 | ①3.1 ㎜　②1.5 ㎜　③0.9 ㎜ | 8.5 ㎜ |
| | 下流側 | ①22.3 ㎜　②0.8 ㎜　③1.4 ㎜ | 8.2 ㎜ |
| 砂田線１号橋 | 側壁Ａ１ | ①34.0 ㎜　②18.0 ㎜　③20.0 ㎜ | 24.0 ㎜ |
| | 側壁Ａ２ | ①14.0 ㎜　②11.0 ㎜　③11.0 ㎜ | 12.0 ㎜ |
| 小原橋 | 上流側 | ①3.5 ㎜　②8.1 ㎜　③3.1 ㎜」 | 4.9 ㎜ |
| | 下流側 | ①1.7 ㎜　②23.4 ㎜　③3.7 ㎜ | 9.6 ㎜ |

**工業団地橋：　建設後45年経過　中性化は問題なし**

**砂田線1号橋：　建設後　16年経過　中性化環境が懸念**

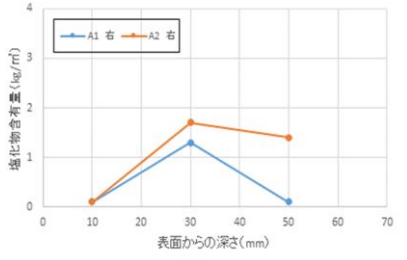
**小原橋：　建設後55年経過　　中性化は問題なし**

## 塩化物イオン量の評価（工業団地橋）



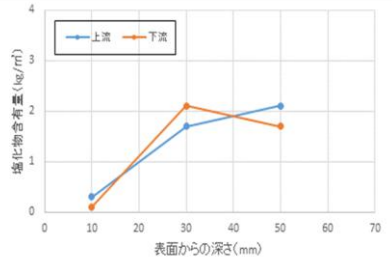

**塩化物イオン量の濃度は内部ほど高い。**
**鉄筋位置で腐食限界濃度に達している。**

## 塩化物イオン量の評価（砂田線1号橋）




**塩化物イオン量の濃度はかぶり30㎜の位置が高い。**
**鉄筋位置で腐食限界濃度に未達と判断できる。**

## 塩化物イオン量の評価（小原橋）




**塩化物イオン量の濃度はかぶり厚さ30㎜以深で高い。**
**鉄筋位置で腐食限界濃度に達していると判断できる。**

## 維持管理で忘れがちな点

## （4）尾道市百島町の点検事例

百島　坂石堂2号橋付近の水門
ボックスカルバート
1980年頃の建設

水門

測定箇所

## かぶり厚さ・配筋・強度の測定結果

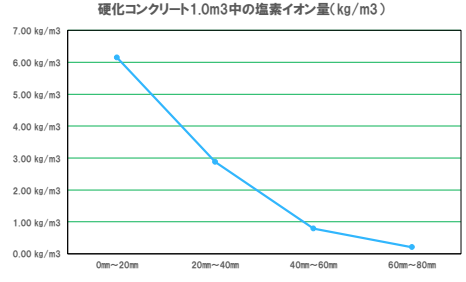
配筋とかぶり厚さ（測定方法：電磁波レーダー法による測定）

| 確認位置 | 配筋かぶり厚さ | | 配筋間隔 | |
|---|---|---|---|---|
| | 縦筋方向 | 横筋方向 | 縦筋方向 | 横筋方向 |
| 水門 | 110㎜ | 100㎜ | 300㎜ | 300㎜ |

強度確認　（測定方法：リバウンドハンマーによる測定）

| 確認位置 | 箇所数 | 観測点数 | 圧縮強度(N/㎟2) | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 水門 | 1 | 12 | 42.3 | 干潮時気中部 |

## 塩化物イオン量の測定結果




クロキットによる測定

## 診断結果

**塩化物イオン量は多いが鉄筋の腐食は？**

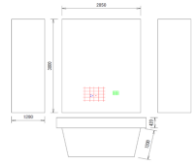
✓かぶり厚さが十分にあると鉄筋腐食は認められない。
✓かぶり厚さが小さくても、飛沫帯の鉄筋腐食はない。
　⇒鉄筋の腐食は水と空気が必要であるため。
✓ちなみに、強度は十分にあり、健全性を確認できる。

**点検頻度と点検項目を割愛できる。**

## （５）尾道市　中川橋の点検事例

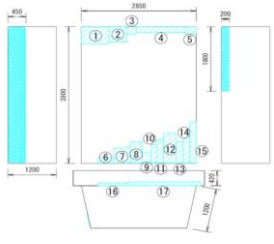
建設年：1979年
構造形式
　上部工：RC床版
　下部工：重力式橋台
橋長：　3．7m
幅員：　3．8m

測定位置



| 調査位置 | |
|---|---|
| 記号 | 調査種別 |
| | 鉄筋探査位置 |
| | 強度確認位置 |
| | 中性化測定位置 |
| | 塩化物イオン量測定位置 |

## 外観調査・配筋状況・かぶり厚さ測定結果



| 損傷凡例 | |
|---|---|
| 記号 | 損傷種別 |
| | ひびわれ（0.2mm以上～1.0mm未満） |
| | 断面修復　（型枠含む） |
| | キャビテーション　（水圧での洗掘） |
| | |
| 1 | 写真撮影箇所 |

| 確認位置 | 配筋間隔 | |
|---|---|---|
| | 橋軸方向 | 橋軸直角方向 |
| 上部工 | 120～130mm | 140～190mm |

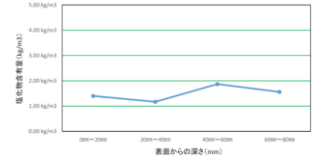
| 確認位置 | 配筋かぶり厚さ | |
|---|---|---|
| | 橋軸方向 | 橋軸直角方向 |
| 上部工 | 10mm | 30mm |

## 推定強度・中性化深さ・塩化物イオン量

| 確認位置 | 箇所数 | 観測点数 | 圧縮強度(N/mm2) | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 上部工 | 1 | 12 | 46.5 | 常時気中部 |
| テスト | 1 | 12 | 47.2 | 〃 |

| 採取位置 | 硬化コンクリート1m3中の塩素イオン量（kg/m³） | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0mm～20mm | 20mm～40mm | 40mm～60mm | 60mm～80mm |
| 上部工 | 1.40 kg/m³ | 1.17 kg/m³ | 1.87 kg/m³ | 1.56 kg/m³ |

| 測定位置 | 中性化深さ |
|---|---|
| 上部工 | 15.0mm |



## 剥落部の断面修復工事（簡易補修事例）

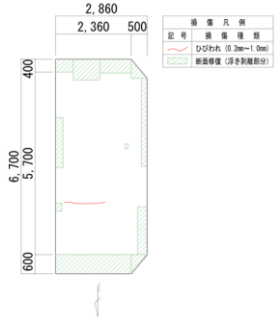
## （６）大竹市の点検事例

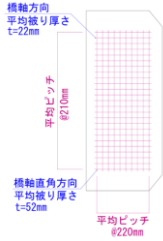
**玖波3号線1号橋　建設年：1968年　海岸地区**
**上部工：RC床版橋　下部工：重力式橋台**
**橋長：3．6m　幅員：6．7m**

調査日：2023年2月28日

## 外観調査・配筋状況・かぶり厚さ測定

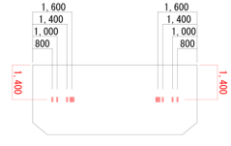
床版下面 平面図



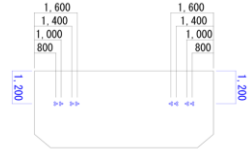




| | 橋軸方向 | 橋軸直角方向 |
|---|---|---|
| 配筋状況 | @210mm | @220mm |
| かぶり厚さ | 22mm | 52mm |

## 中性化深さ・塩化物イオン量の測定位置




中性化深さ測定位置

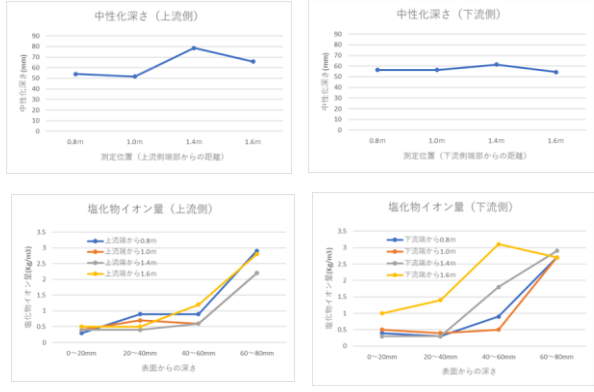



塩化物イオン量測定位置

### 圧縮強度推定値（リバウンドハンマーによる）

| 確認位置 | 箇所数 | 観測点数 | 圧縮強度(N/mm2) |
|---|---|---|---|
| 上流側 | 1 | 9 | 26.1 |
| 下流側 | 1 | 9 | 23.5 |

## 中性化深さ・塩化物イオン量の測定結果




## 点検結果の考察

- 圧縮強度は、設計基準強度を確保している。
- 鉄筋が健全であれば、安全性は担保されている。
- かぶり厚さまで中性化が進んで、腐食環境である。
- 鉄筋の位置の塩化物イオン量は、腐食環境にない。
- 水の移流で、塩化物イオンが拡散している。
- 水の浸入があるため、鉄筋は腐食している。
- 鉄筋の断面欠損は認められないため、補強は不要。

⇩

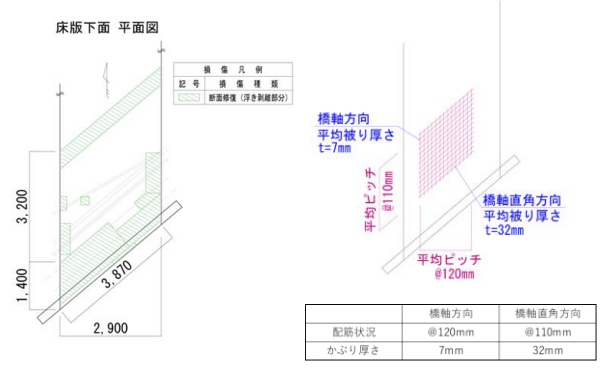
- 鉄筋を防食して、構造物の防水を施すべき。

## （７）廿日市市の点検事例

**可愛ケ丘1号線跨線橋　　建設年:1975年**
**上部工:RC床版　　下部工:重力式橋台**
**橋長：５．３m　　幅員：６．８m**

調査日：2023年2月28日

## 外観調査・配筋状況・かぶり厚さ測定



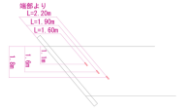

| | 橋軸方向 | 橋軸直角方向 |
|---|---|---|
| 配筋状況 | @120mm | @110mm |
| かぶり厚さ | 7mm | 32mm |

## 強度推定・中性化深さ・塩化物イオン量

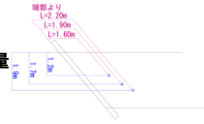
リバウンドハンマーによる
推定圧縮強度

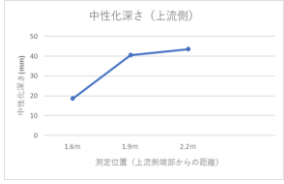
| 確認位置 | 箇所数 | 観測点数 | 圧縮強度(N/mm2) |
|---|---|---|---|
| 上流側 | 1 | 9 | 31.4 |
| 中央部 | 1 | 9 | 36.3 |

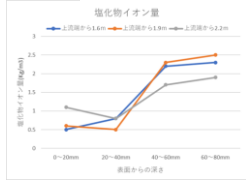
中性化深さ
測定位置



塩化物イオン量
測定位置






## 点検結果の考察

- 圧縮強度は、設計基準強度を確保している。
- 鉄筋が健全であれば、安全性は担保されている。
- かぶり厚さまで中性化が進んで、腐食環境である。
- 鉄筋の位置の塩化物イオン量は、腐食環境にない。
- 水の移流で、塩化物イオンが拡散している。
- 水の浸入があるため、鉄筋は腐食している。
- 鉄筋の断面欠損は認められないため、補強は不要。

⇓

- 鉄筋を防食して、構造物の防水を施すべき。

## 5. 健康寿命を延ばす策（まとめ）

- 早めの点検で将来を予測
  ⇒ 誰でもできる踏み込んだ調査
- 潜伏期では、点検頻度を延ばす。
- 進展期では、表面から防食と防水。
- 加速期になると、断面修復で対応。

⇒ 整備予算を有効活用

## ご清聴の感謝いたします。