

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2022
～コンクリート構造物の健康寿命の延ばし、脱炭素社会を目指す～

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

十河 茂幸(そごう しげゆき) 略歴

1974年～ 大林組 技術研究所 所属

2011年～ 広島工業大学 工学部 教授

2017年～ 近未来コンクリート研究会 代表
(コンクリートメンテナンス協会 顧問)

はじめに

**脱炭素に向けて、活動が活発になりました。
社会活動には、インフラの老朽化対策も必要です。**

**この両者を満足させる解は、予防保全です。
予防保全は、事後保全より安価にできます。**

**予防保全は、早期に劣化を知ることが必要です。
多くのインフラの予防保全は、どうすればよいか？**

話の内容

- **脱炭素社会の必要性**
- **インフラ老朽化対策の実際**
- **RC構造物の予防保全の要領**
- **小規模RC橋梁の点検事例**
- **インフラの健康寿命を延ばすには・・・**

1. 脱炭素社会の必要性

- 地球温暖化について
- 気温の上昇について
- 二酸化炭素の排出量
- 脱炭素でできること

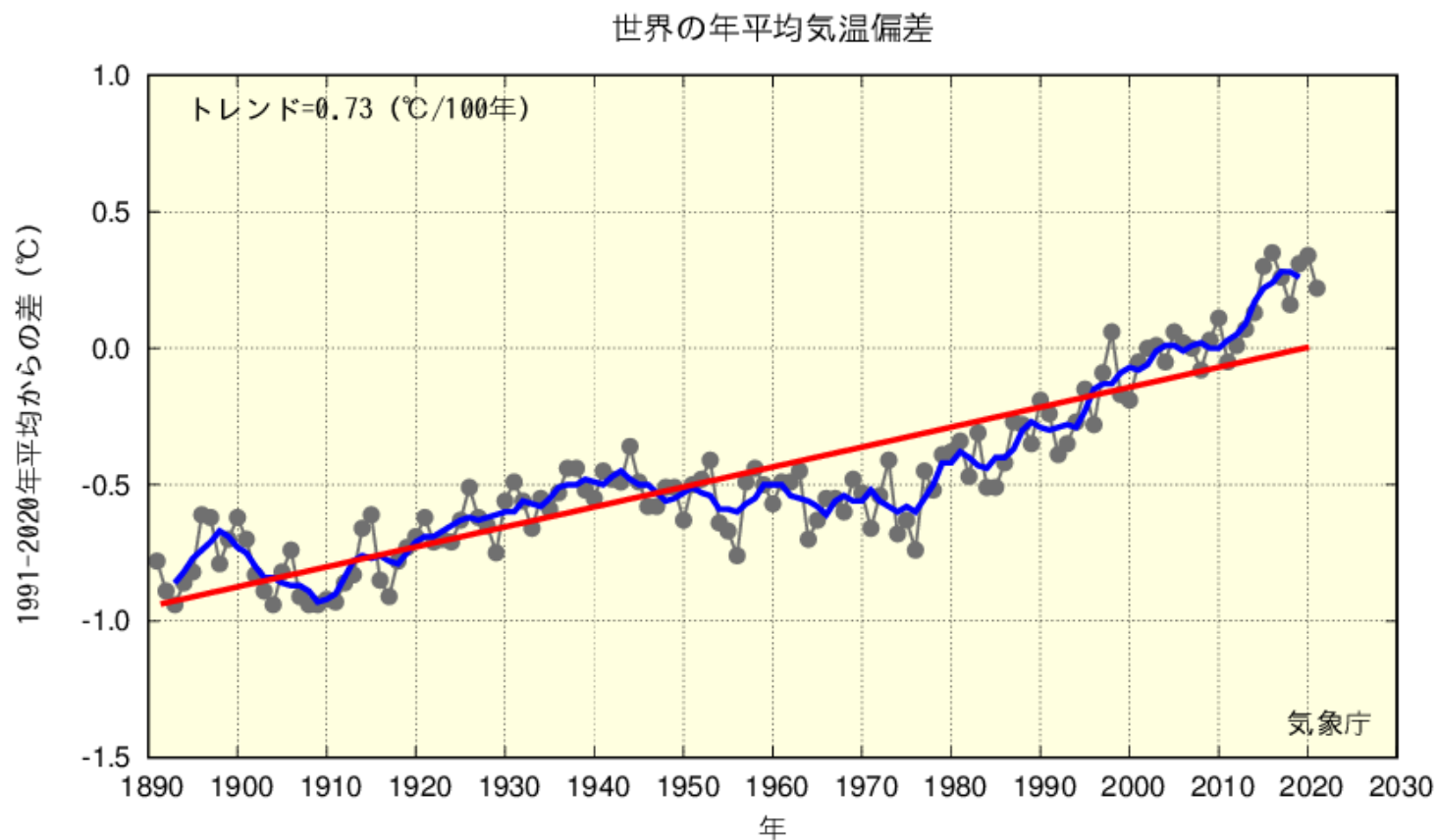
地球温暖化の影響

①海面上昇 ②気象災害の頻発 ③健康被害 ④生態系の破壊



ICCCA写真提供

気温の上昇データ

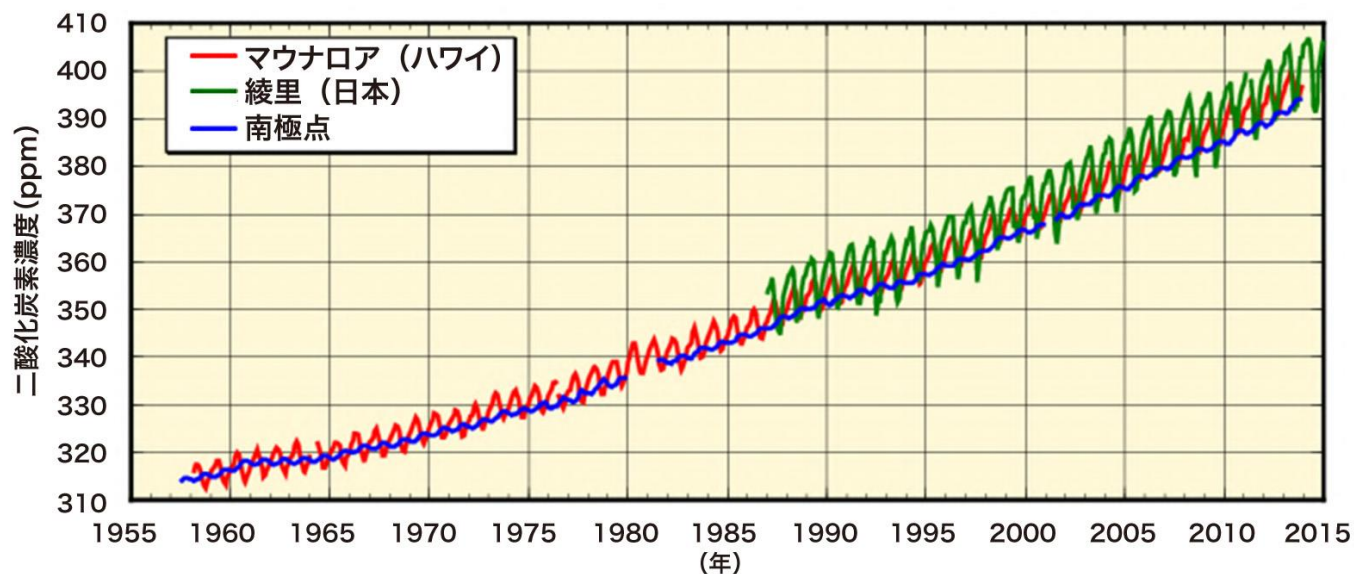


日本の平均気温は100年あたり1.14°C上昇

ICCCAデータ提供

大気中の二酸化炭素濃度が上昇

大気中の二酸化炭素濃度の経年変化



出典) 気候変動監視レポート2014

脱炭素に向けて、できること。

□ 省エネ

エネルギー消費量を減らす。

コンクリートは二酸化炭素の排出量が多い。

□ 再エネ

エネルギーを造る際の二酸化炭素を減らす。

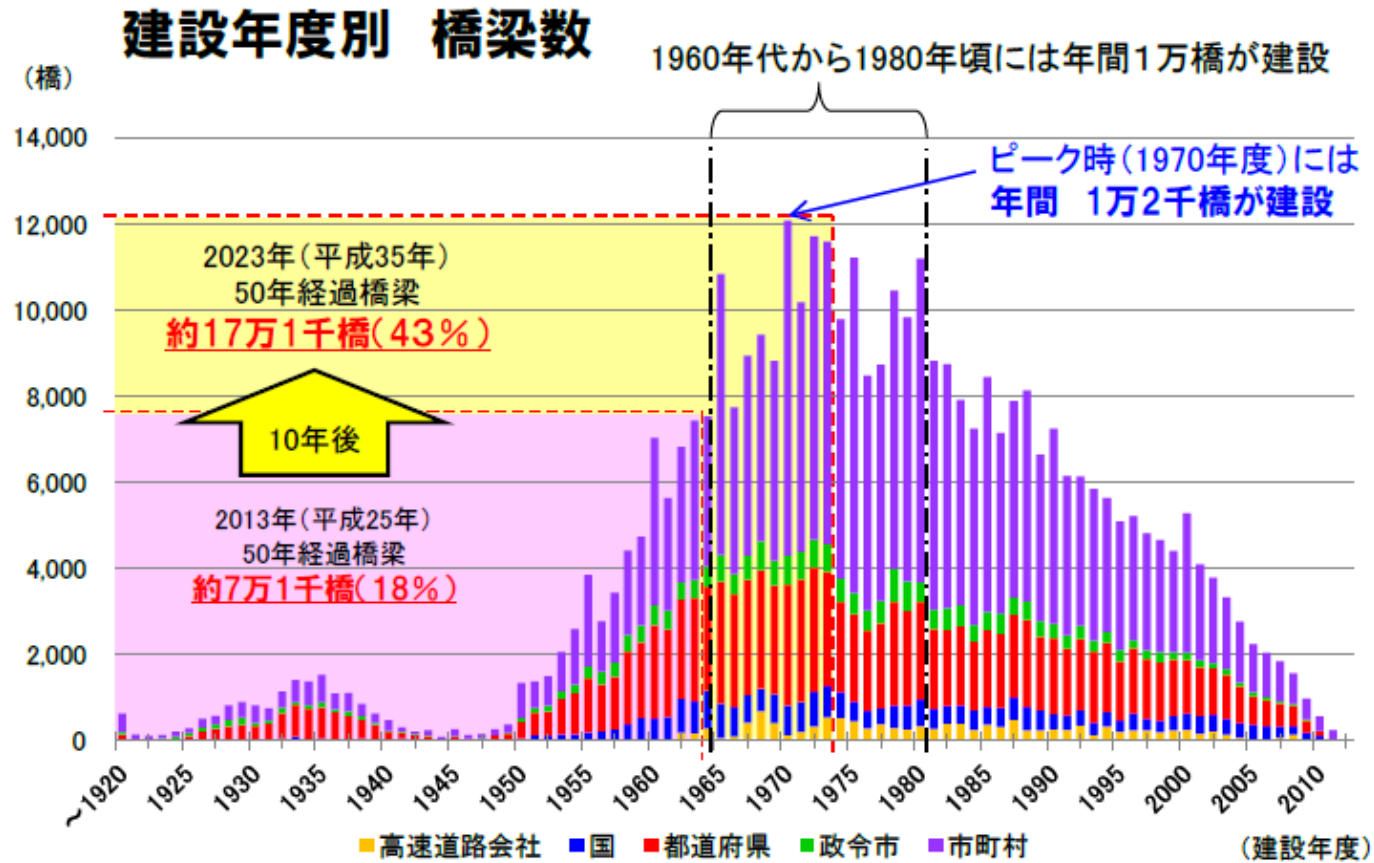
□ インフラの延命化

新規の建設をやめて、長寿命化を目指す。

2. インフラ老朽化対策の実際

- **インフラの高齢化の実態**
- **維持管理の必要性**
- **橋梁の維持管理の実状**
- **点検結果と補修対応の実状**
- **コンクリート診断士の資格者**

インフラ高齢化の実態



令和5年に橋梁の43%が50歳

橋梁の劣化は現実のものとなっている。

ピッツバーグ橋梁崩落現場



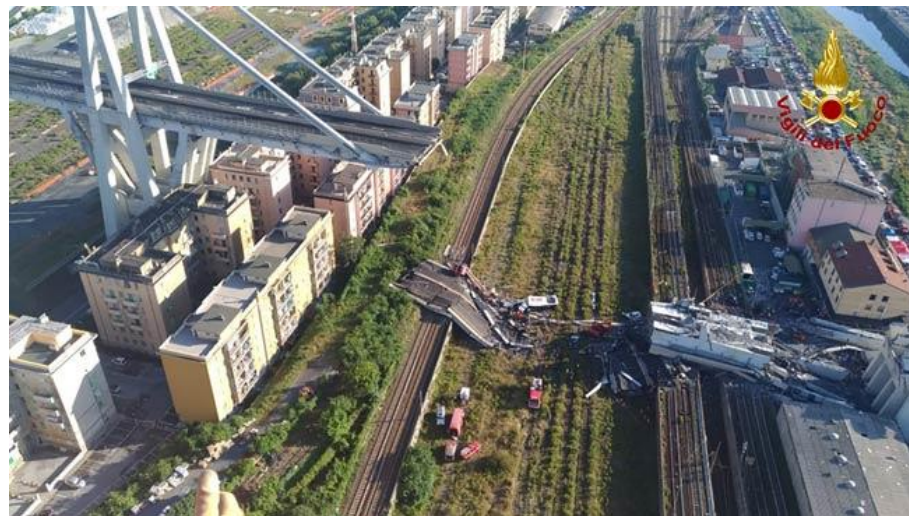
金曜日早朝、ファー・ホロー橋が崩落し、港湾局運行のバス4台と車両数両がホットドッグ・ダムドッグ公園に滑り落ちた。写真:ブルームバーグ通信経由で配信されたゲッティ映像ジャスティン・メリマンによる撮影

出所:ウェブ版/KAKD2 CBS PittsburghJ、2022年1月28日のエントリーより引用

最近の起きたアメリカの崩落事故

これを見て、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。

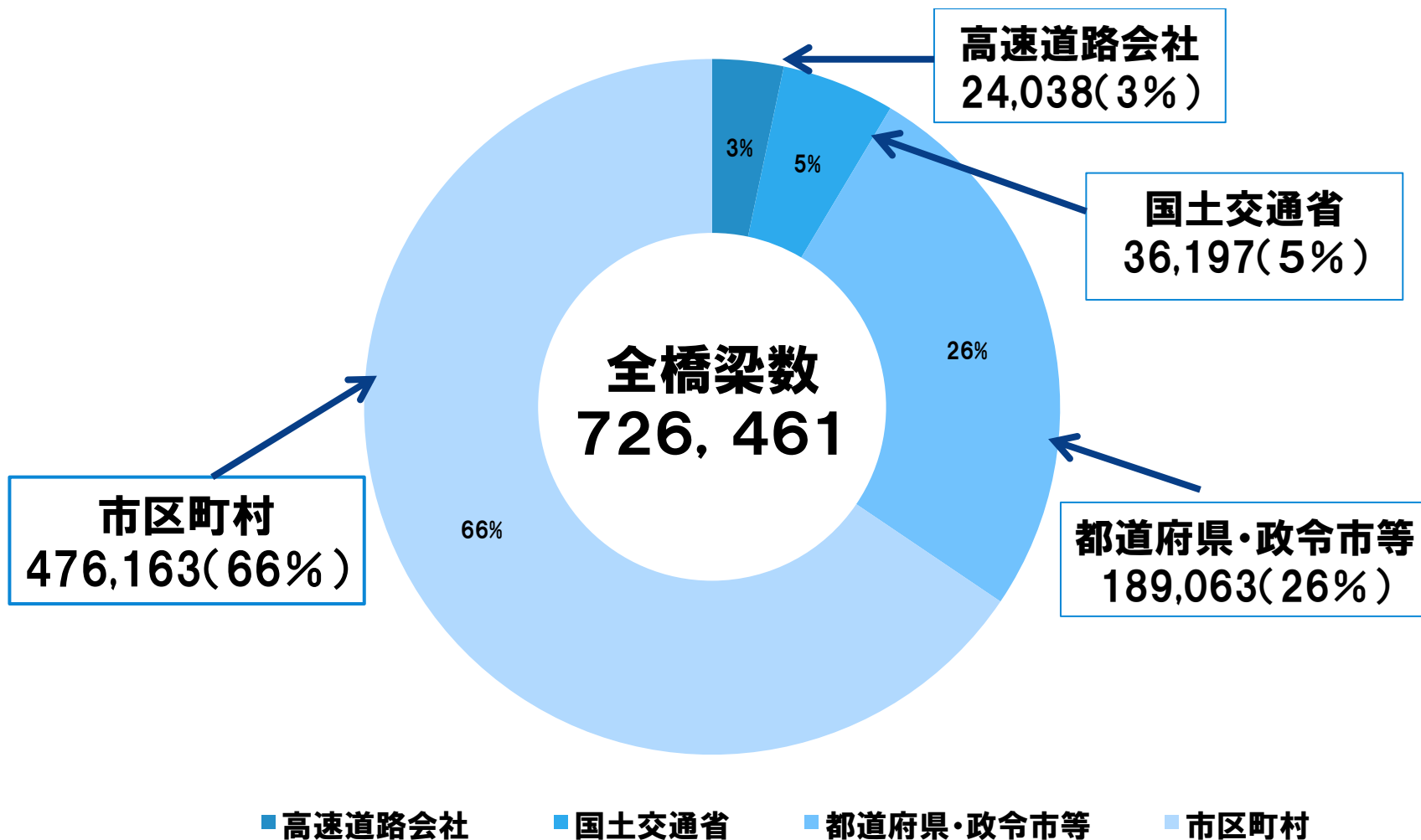
イタリア ジェノバの橋梁崩落事故



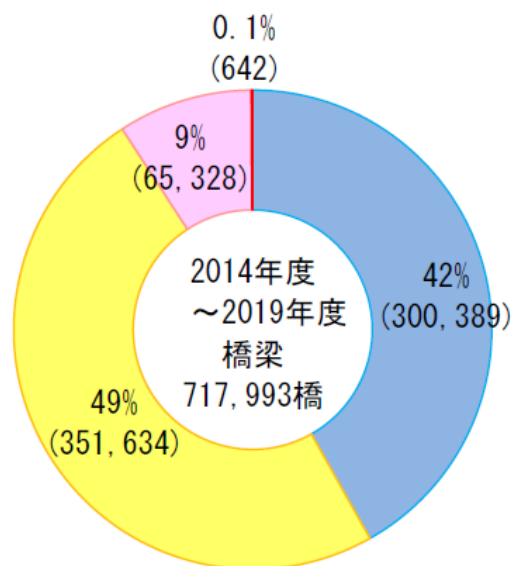
道路橋の数と管理者の実態

- **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**

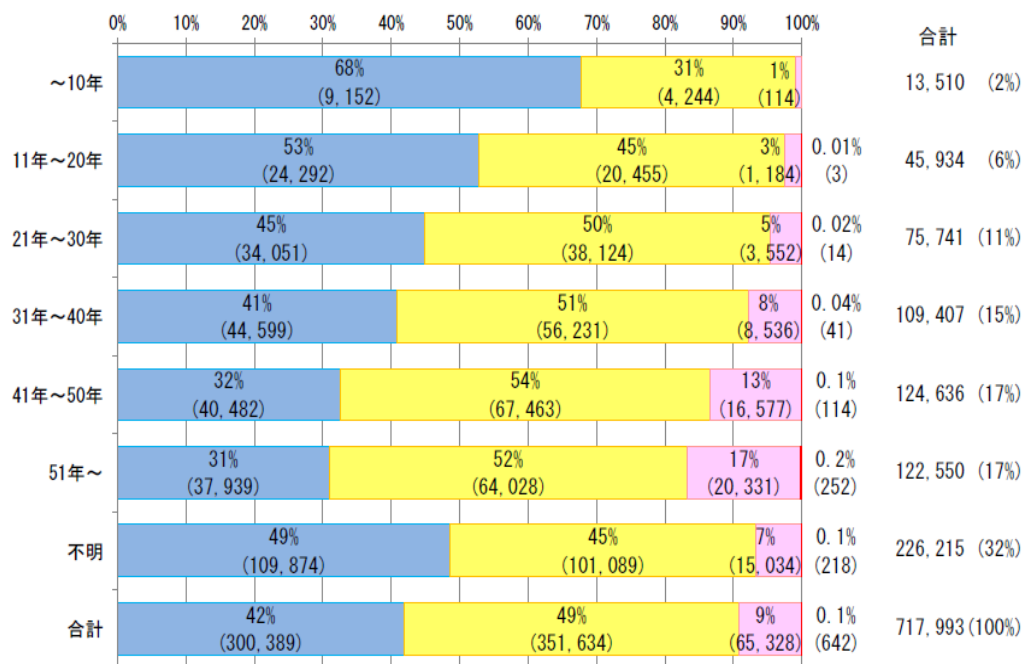
維持管理者別の橋梁数の内訳



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)



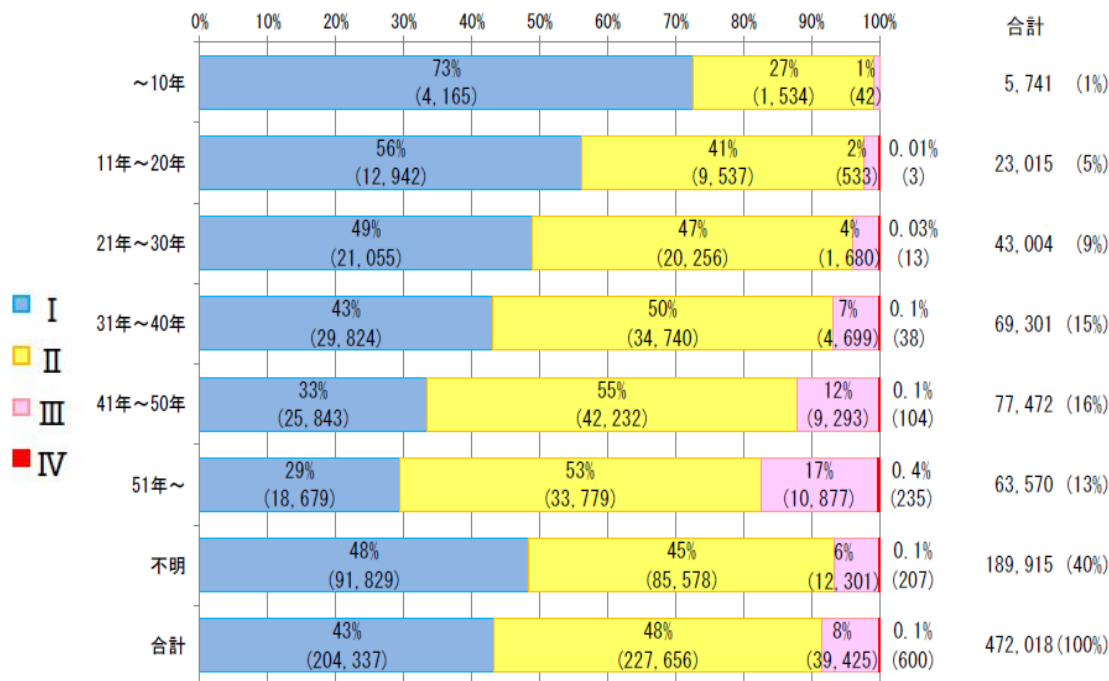
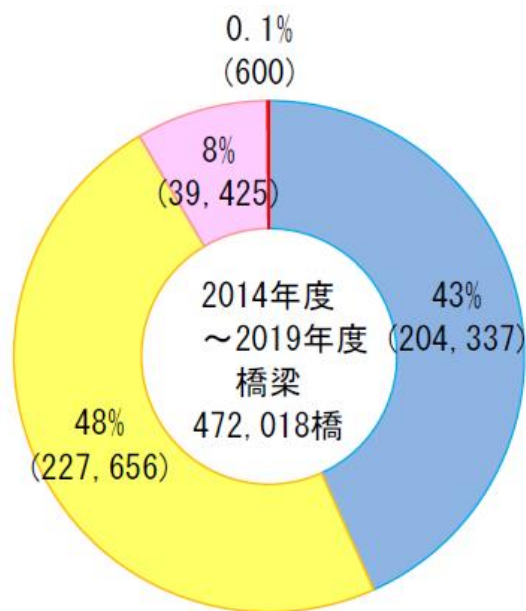
■ I
■ II
■ III
■ IV



※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。

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

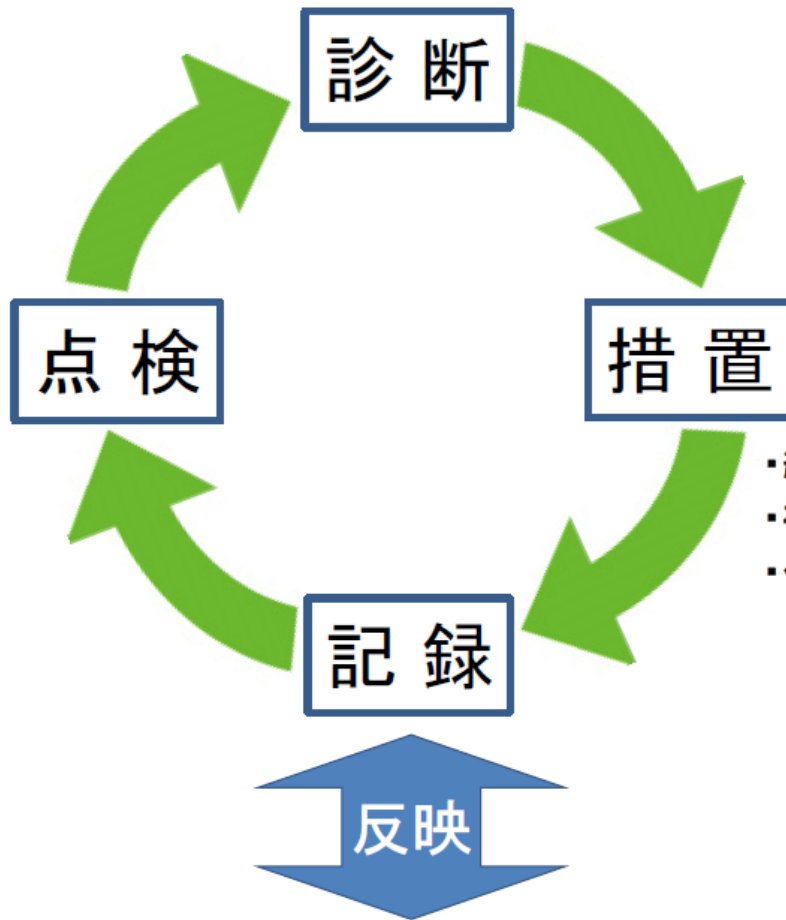
補修対応の実態 (1巡目点検の措置の実施状況)

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)

維持管理計画

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
- 2022年4月現在 14,336名が登録

□	内訳	全国
	官公庁等	1,233名 (7.9%)
	コンサル	3,963名 (27.7%)
	建設会社	5,564名 (38.8%)

⇒ 診断士だけでは対応不能

つまり、・・・

社会資本の整備では、

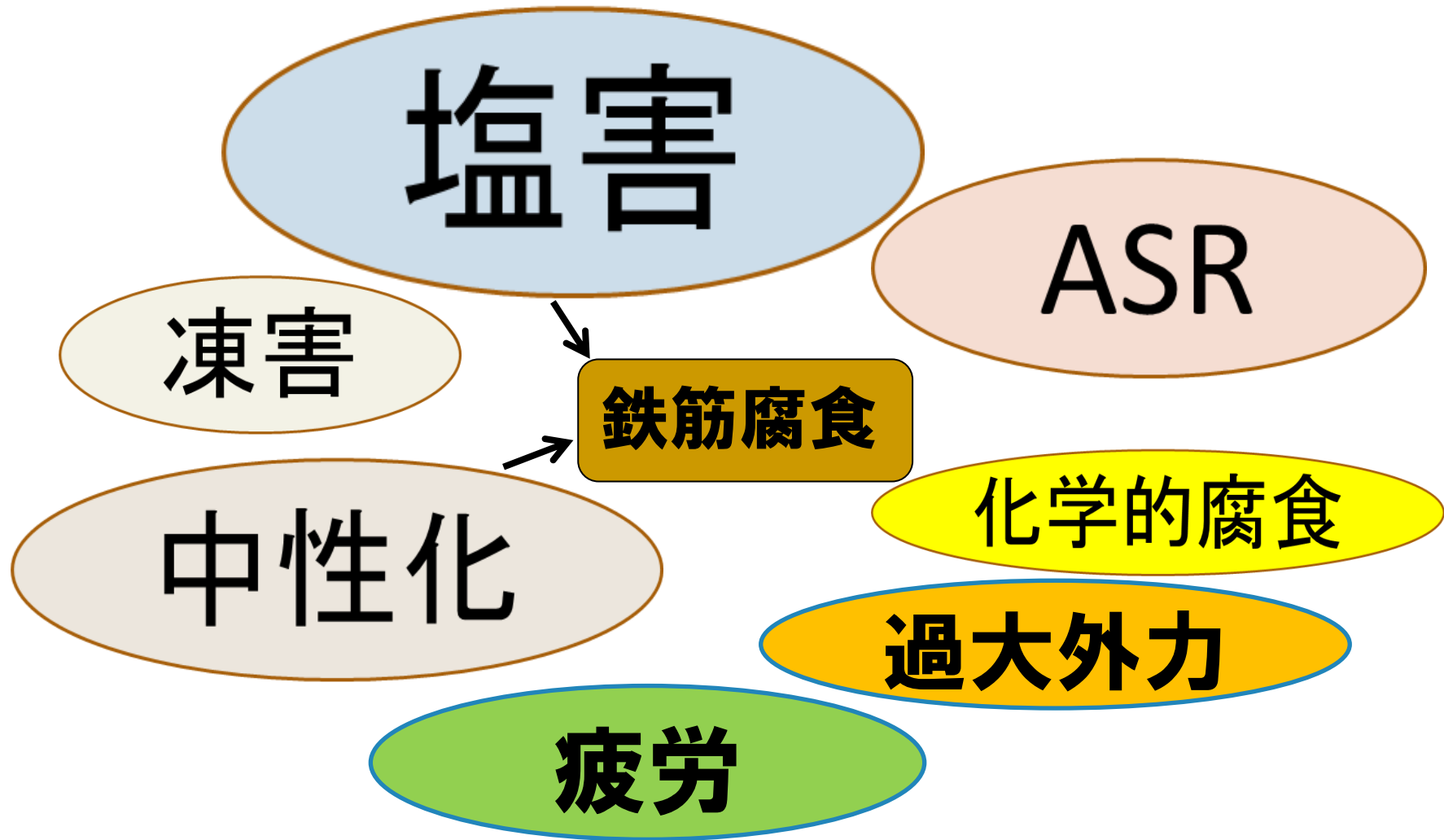
- ①多くの橋梁を費用をかけないで点検し、
- ②点検頻度を延ばす橋梁を選別し、
- ③早期に補修を要する橋梁に対応する。
- ④これにより、安全・安心の整備を行う。

⇒ よって、予防保全を目的とした点検が必要

3. RC構造物の予防保全の要領

- 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**
- ⇒ 健全に見える腐食時期を予見**

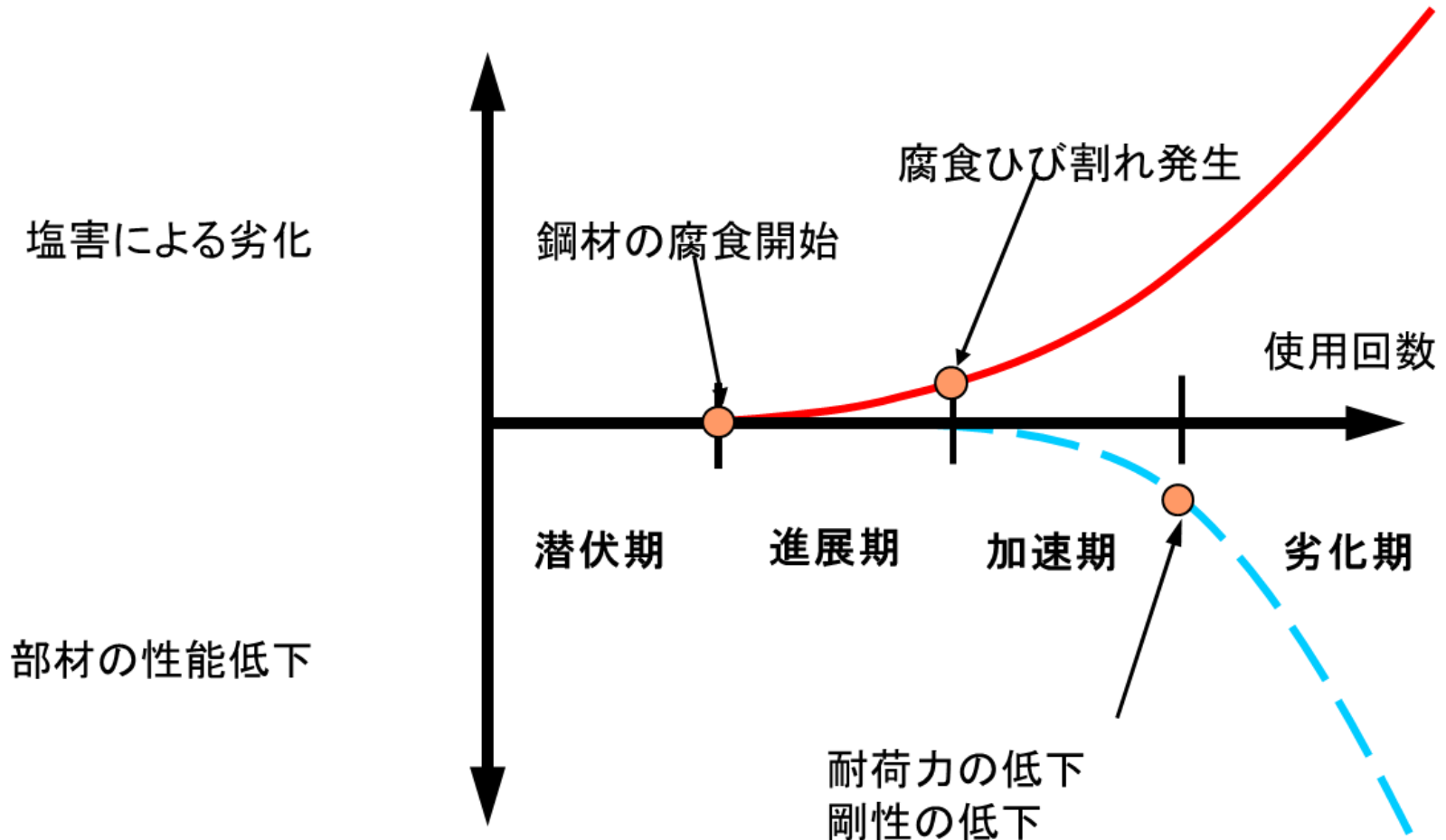
コンクリートの老朽化の主要因



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 腐食発生限界Cl ⁻ イオン量以内	外観上の変状なし 塩化物イオンによる腐食開始
中性化	外観上の変状なし 発錆限界以上の中性化残り	外観上の変状なし 中性化による腐食開始
ASR	外観上の変状なし 膨張によるひび割れなし	膨張ひび割れの発生 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 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 ポップアウトの発生など
化学的腐食	外観上の変状なし 表面の変質が認められない期間	表面が荒れた状態 ひび割れの発生

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 (後期) 腐食ひび割れ多数 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) 錆汁, はく離, 剥落 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

予防保全のポイント

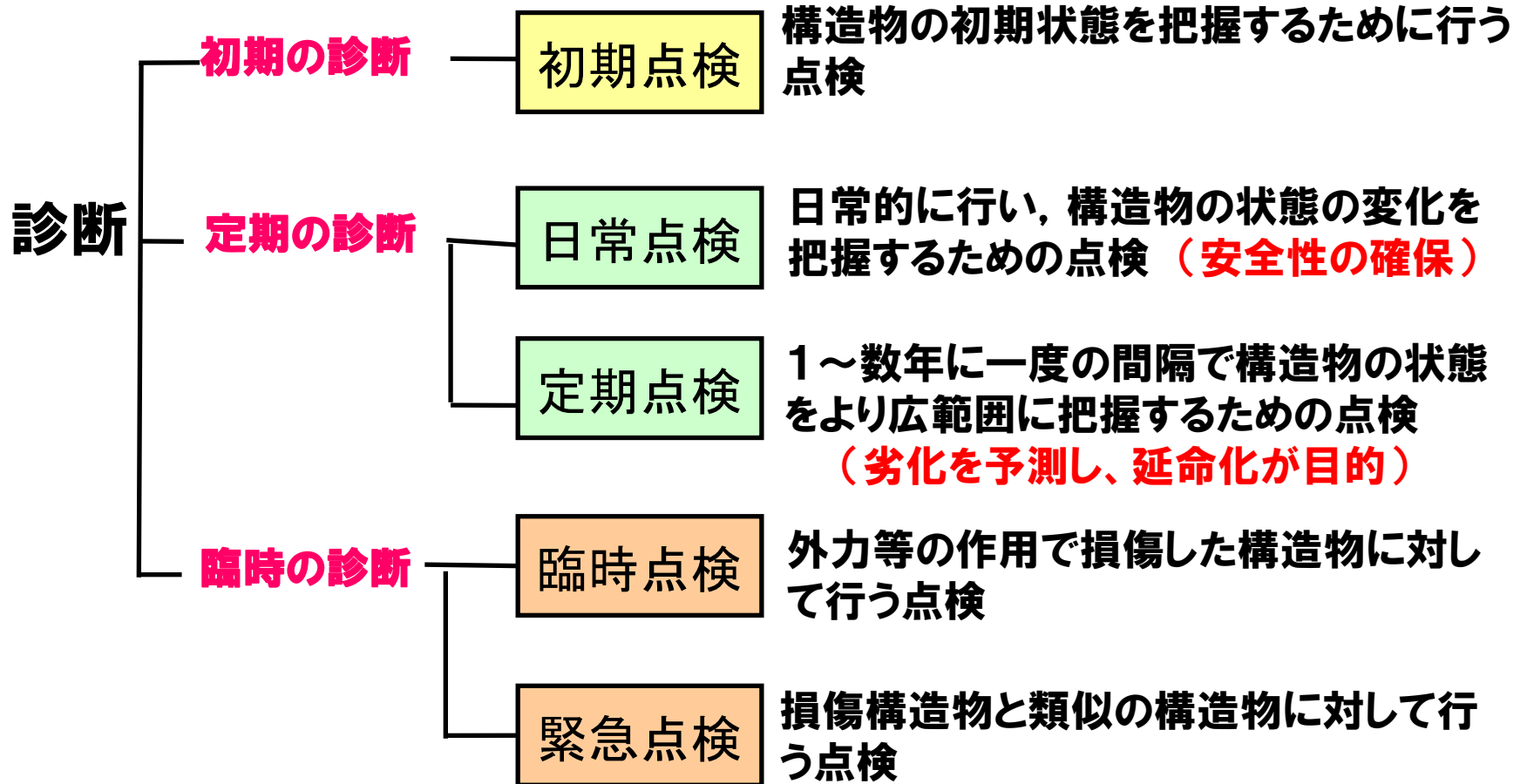
- 一見健全に見えるコンクリートだが・・・
- 内部の鉄筋は腐食を開始している。
- 早めの予見が補修を簡単にする。
- 腐食鉄筋の減肉は補強を検討
- 予防保全の対応
 - ⇒ 劣化因子の浸透防止策
 - ⇒ 減肉前に防食対策

劣化指標と劣化予測の方法

劣化原因	劣化指標	主な劣化予測方法
中性化	<ul style="list-style-type: none"> • 中性化深さ • 鋼材腐食の程度 • 鋼材腐食によるひび割れ 	<ul style="list-style-type: none"> • \sqrt{t} 則による中性化深さの予測 • 鋼材腐食量 • 鋼材の腐食反応速度
塩害	<ul style="list-style-type: none"> • 塩化物イオン濃度 • 鋼材腐食の程度 • 鋼材腐食によるひび割れ 	<ul style="list-style-type: none"> • 塩化物イオン量の浸透深さ • 拡散方程式による塩化物イオンの浸透予測 • 鋼材の腐食量、腐食反応速度
凍害	<ul style="list-style-type: none"> • 凍害深さ • 鋼材腐食の程度 	<ul style="list-style-type: none"> • 断面の減少, 鋼材腐食
化学的腐食	<ul style="list-style-type: none"> • 劣化因子の浸透深さ • 中性化深さ • 鋼材腐食によるひび割れ 	<ul style="list-style-type: none"> • 変状, 鋼材腐食 • 促進試験による方法
アルカリシリカ反応	<ul style="list-style-type: none"> • ASRによるひび割れ • 膨脹量 	<ul style="list-style-type: none"> • ひび割れの進展 • コアの促進養生試験による膨脹量

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

□ 点検の種類



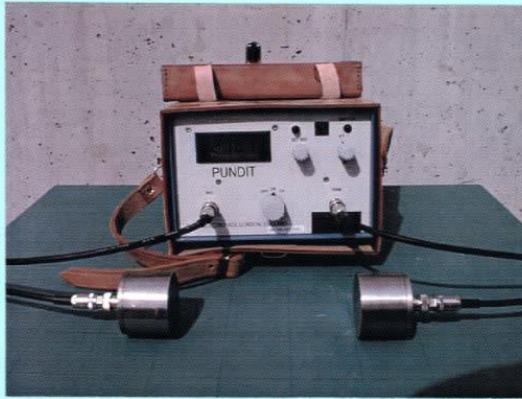
コンクリート構造物の主な調査技術

		調査方法	実施方法など	
1	外観調査	肉眼, 双眼鏡による観察	<ul style="list-style-type: none"> ・主として初期、日常、定期点検時の標準調査時に行うが、詳細調査時にも実施することが多い。 	
		デジタルカメラ, VTRによる撮影		
2	たたき調査	ハンマーによる打撃音の判定		
3	非破壊試験	反発度法 (リバウンドハンマー)		<ul style="list-style-type: none"> ・各種の非破壊試験装置を用いて、破壊することなく、内部の状態を調査する方法。 ・詳細調査時に適用する機会が多いが、リバウンドハンマーによる圧縮強度推定やかぶりの非破壊検査は、構造物の完成時の検査にも用いられる。
		弾性波法 (打音法, 超音波法など)		
		電磁波レーダー法		
		赤外線サーモグラフィ法		
		X線法		
		電気化学的方法 (自然電位法, 分極抵抗法)		
4	局部的破壊試験	小径コア法	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物の一部を破壊して試料を採取する方法。主に詳細調査時に用いられる。 	
		ドリル粉採取法		
5	はつり試験	鉄筋腐食程度測定	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物を破壊して内部を調査する方法。主に詳細調査時に用いられる。 	
		中性化深さ測定		
		内部欠陥の確認		
6	コア試験, 分析	圧縮強度, 弾性係数の測定	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物から試験用の試料を採取し、試験室で試験・分析を行う方法。主に詳細調査時に用いられる。 	
		塩化物イオン含有量の測定		
		各種化学分析		

■超音波法

➔ 圧縮強度, 内部欠陥

超音波速度
測定装置
(PUNDIT)



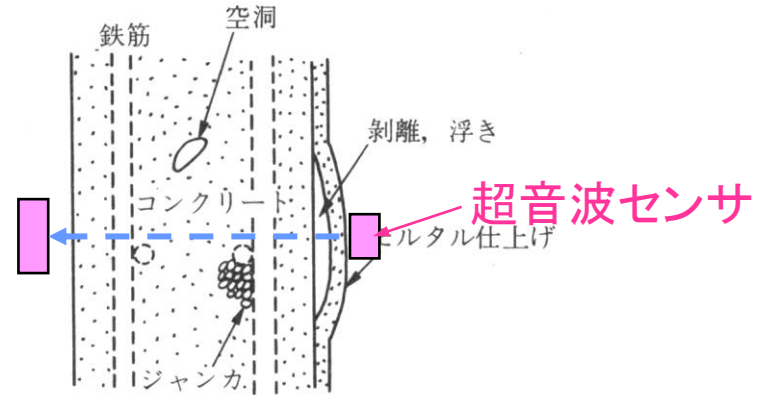
測定状況



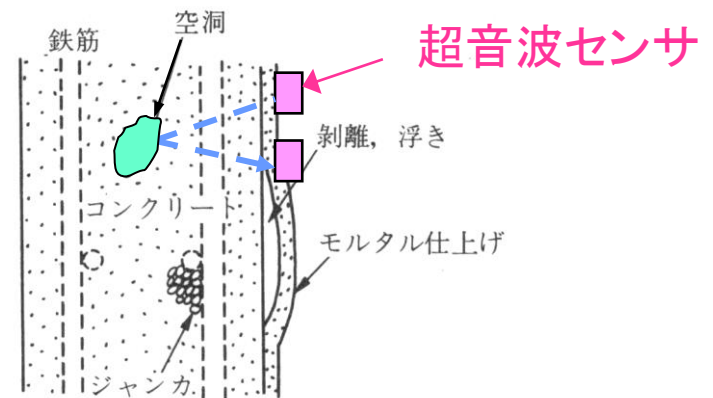
$$V(\text{km/sec}) = L / T_s$$

L : 距離
T_s : 超音波伝播時間(sec)

方法.....コンクリート中を伝播する超音波(P波, 縦波)の伝わる時間(V_p)から, コンクリートの圧縮強度や内部欠陥の有無を調べる.



(a) 透過法



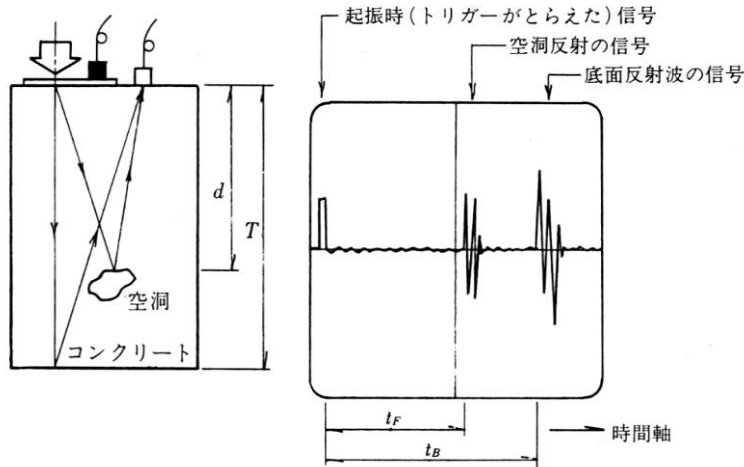
(b) 反射法

■ 衝撃弾性波法



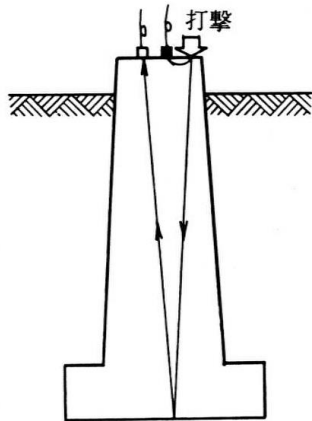
内部空洞, ひび割れ

衝撃

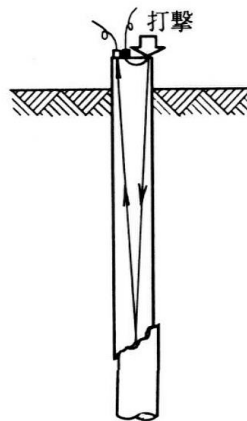


コンクリート表面に、ハンマー等で衝撃を与え、空洞や鉄筋等で反射されて戻ってきた弾性波を受振子で感知するまでの時間を計測し、空洞位置を推定する。

衝撃弾性波法の適用例 (地中構造物)



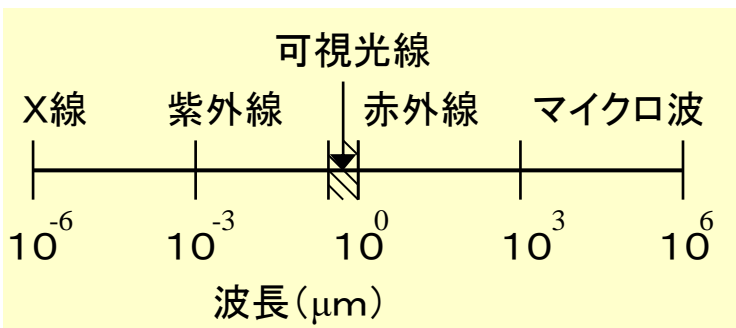
根入れ深さの測定



杭破損部の調査

出典: 魚本健人他, コンクリート構造物の非破壊試験, コンクリート構造物の耐久性シリーズ5, 森北出版

■電磁波レーダー法



コンクリート表面からレーダー波を入力させ、その反射波をとらえて、コンクリート内部状態を推定する。

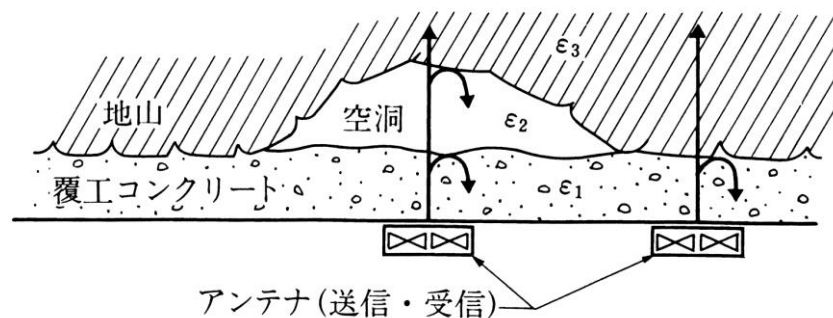
- ・波長長い...測定深さ大, 分解能低下
- ・波長短い...測定深さ小, 分解能良好(減衰大)

適用例...①トンネル覆工と地山部の空隙の推定
②鉄筋位置, 深さ



RCLレコーダー測定状況

トンネル覆工(電磁波法)



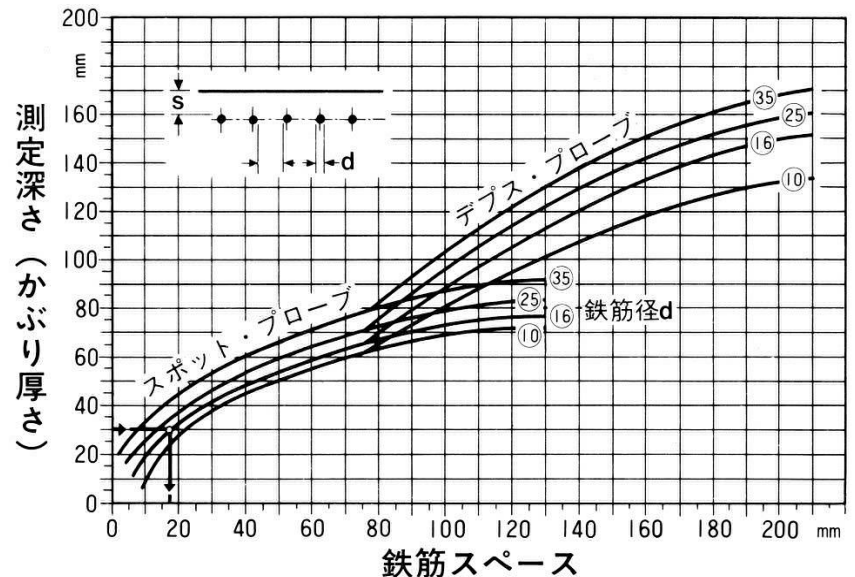
出典: 棚野博之, コンクリートの非破壊検査技術, 内部欠陥, コンクリート工学 Vol.33, No.3, 1995

■ 電磁誘導法

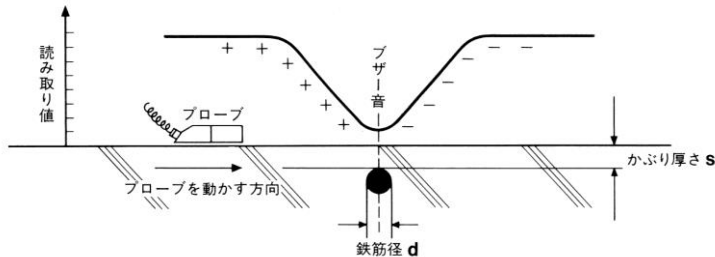


コンクリート表面に接触させるプローブに、交流を流し、磁界を作り、プローブを移動させることによる、磁界の変化により、鉄筋位置、径、かぶりを推定する。

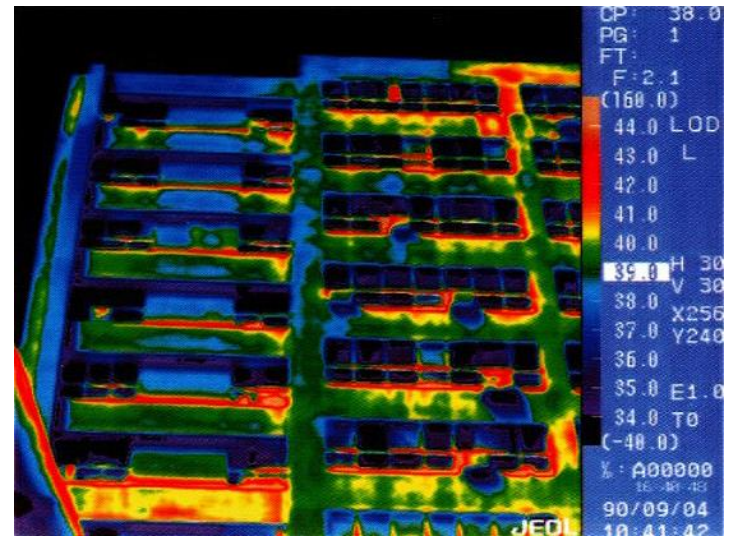
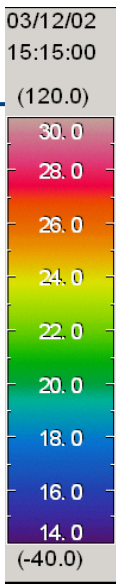
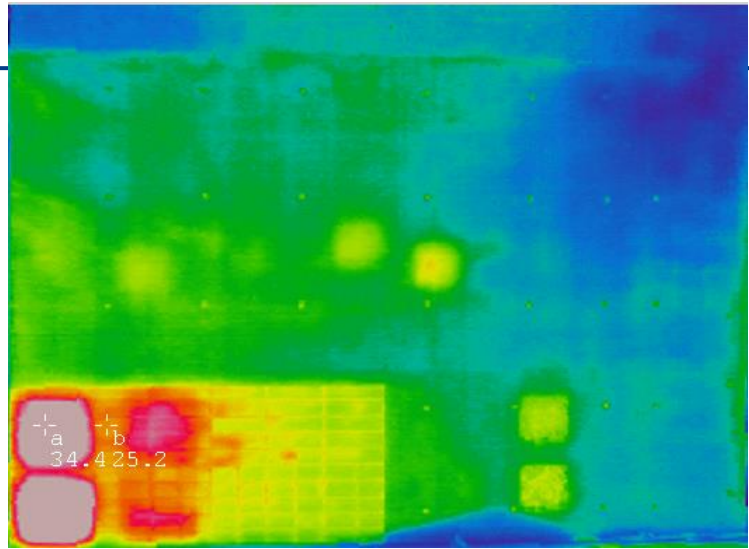
測定可能最小鉄筋スペース



例：鉄筋径 d が 16mm で、かぶり厚さ s が 30mm の場合、測定可能な最小鉄筋スペースは 17mm です。

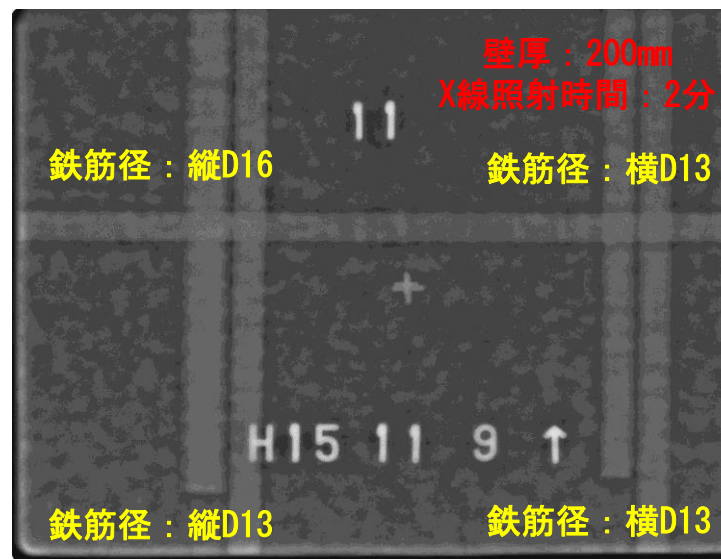
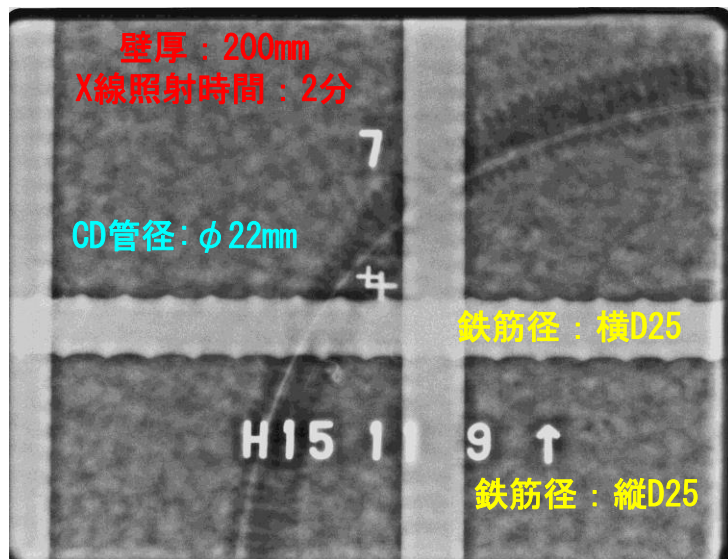
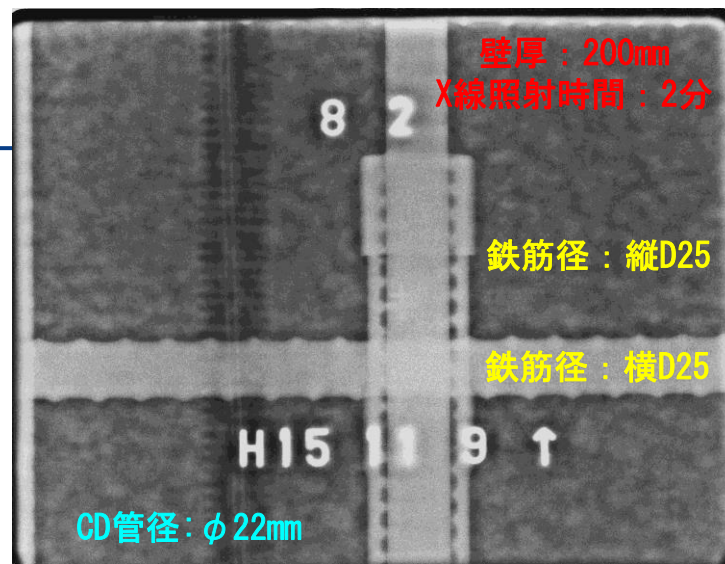


～ 赤外線サーモグラフィ法 ～



CP: 38.0
PG: 1
FT:
F: 2.1
(160.0)
44.0 LOD
43.0 L
42.0
41.0
40.0
39.0 H 30
38.0 V 30
37.0 X256
36.0 Y240
35.0 E1.0
34.0 T0
(-40.0)
%: A00000
16-01-03
90/09/04
10:41:42
JED

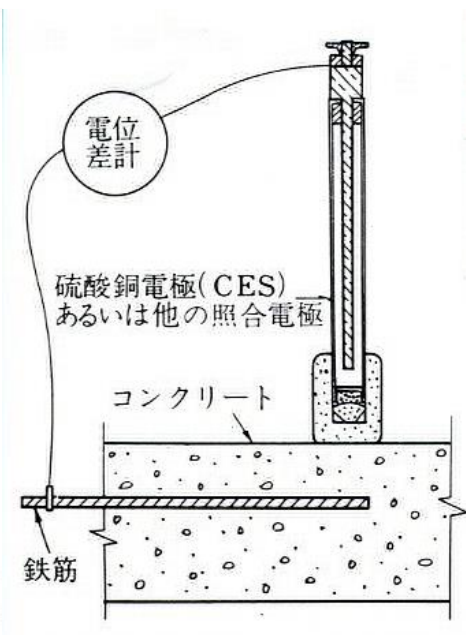
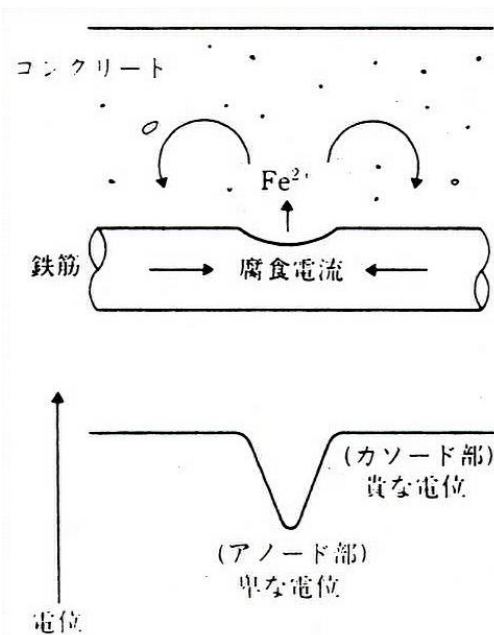
~ 放射線透過法 ~



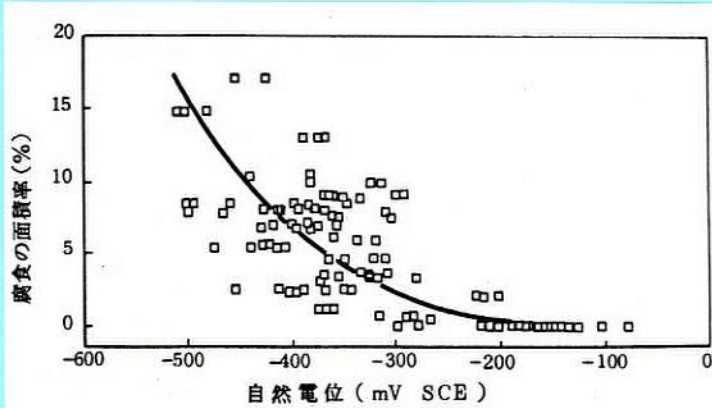
自然電位法 → 鉄筋腐食

・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。

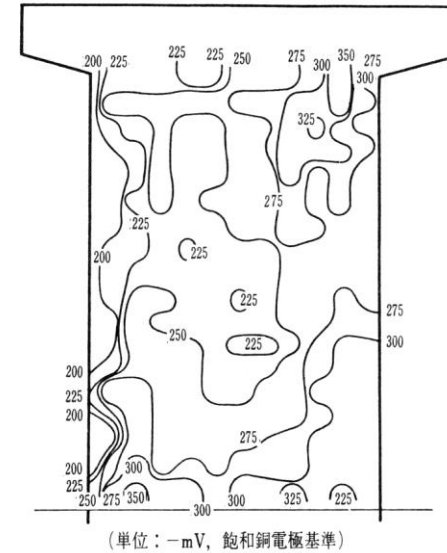


自然電位の評価方法



自然電位と鉄筋腐食の関係

測定例



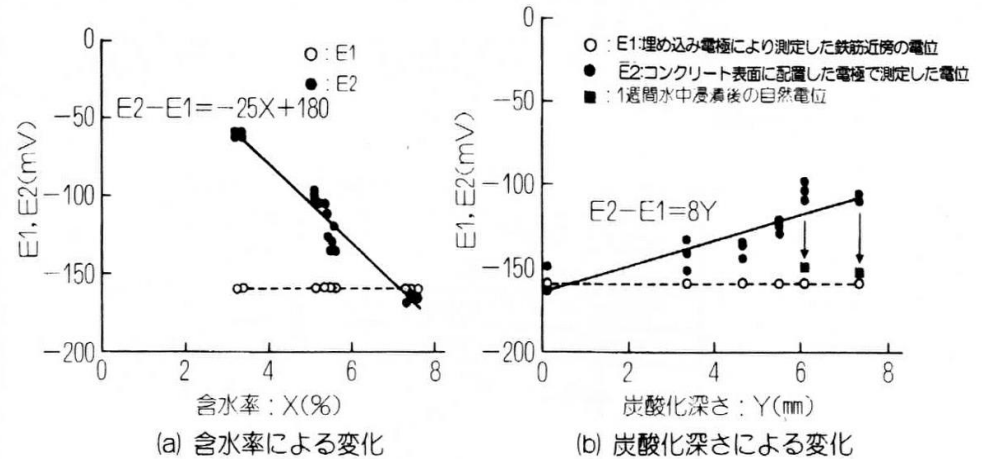
影響要因

- 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
$-200 \text{ mV} < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350 \text{ mV} < E \leq -200 \text{ mV}$	不確定
$E \leq -350 \text{ mV}$	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)



■アルカリシリカ反応に関する試験

解放膨張量, 残存膨張量試験

構造物から採取したコアによる
アルカリ骨材反応の評価方法

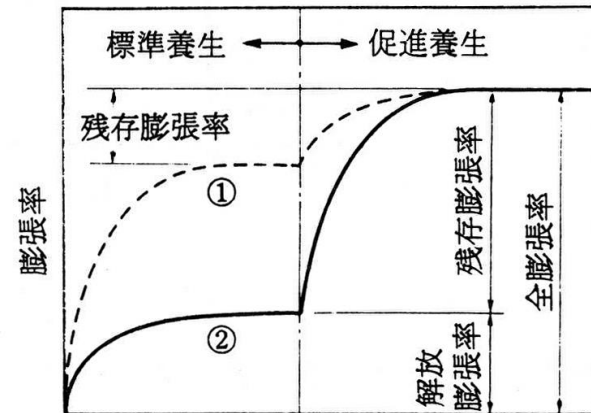
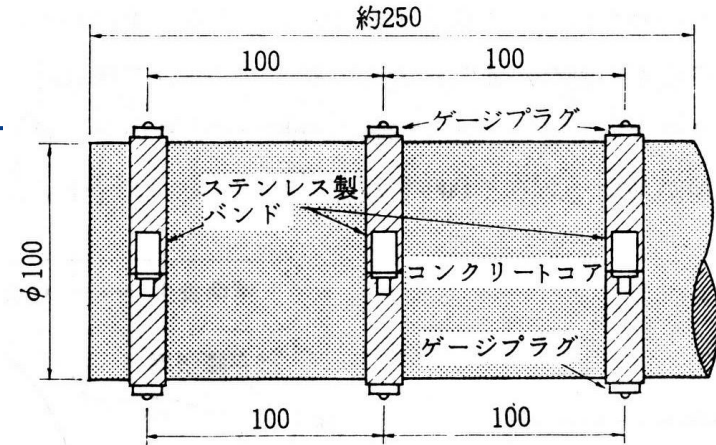
JCI基準(案)

コア直径100mm,長さ280mm

- ①基準測定 (30以内)
- ② $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 95%RH以上で保存
(標準養生) → 解放膨張率測定
- ③ $40 \pm 2^\circ\text{C}$, 95%RH以上で保存
(促進養生) → 残存膨張率測定



膨張率:0.1%以上であれば有害な
膨張が生じ, 耐久性の低下を招く可
能性がある。

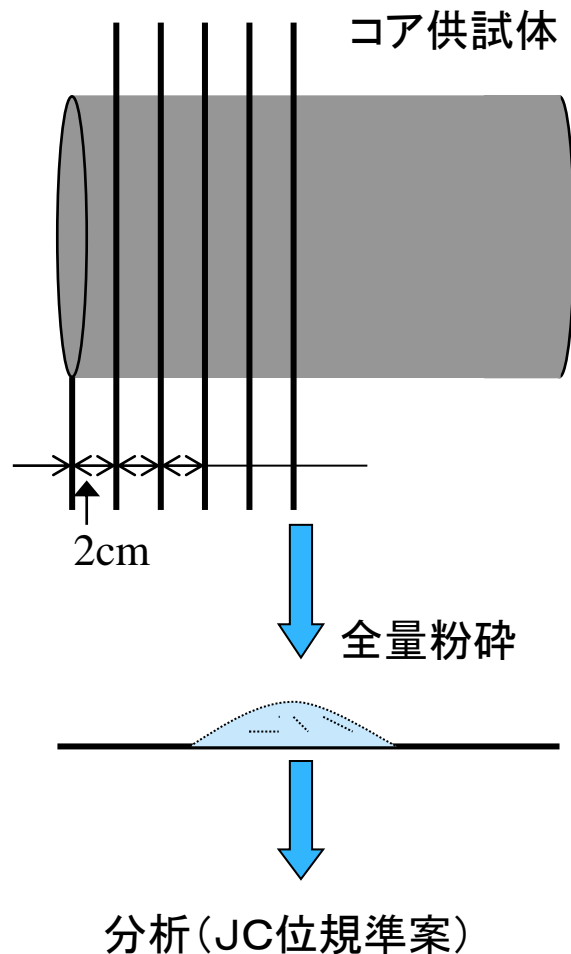


- ①損傷の著しい構造物から採取したコア
- ②損傷が顕在化していない構造物から採取したコア

損傷程度による膨張率の相違

出典:コンクリート工学協会:耐久性診断研究委員会
報告書, 1989

■塩化物含有量の試験方法



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°C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°C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 クロム酸銀一吸光光度法
- ③ 硝酸銀滴定法

様々な点検方法の中で、費用対効果で選定

- 点検は簡易にして、補修に費用をかけるべき。
- 費用対効果で点検方法を選定



- 劣化状態は、打音検査と近接目視で可能(緊急性)
- 将来予測は、塩化物イオン量と中性化の把握



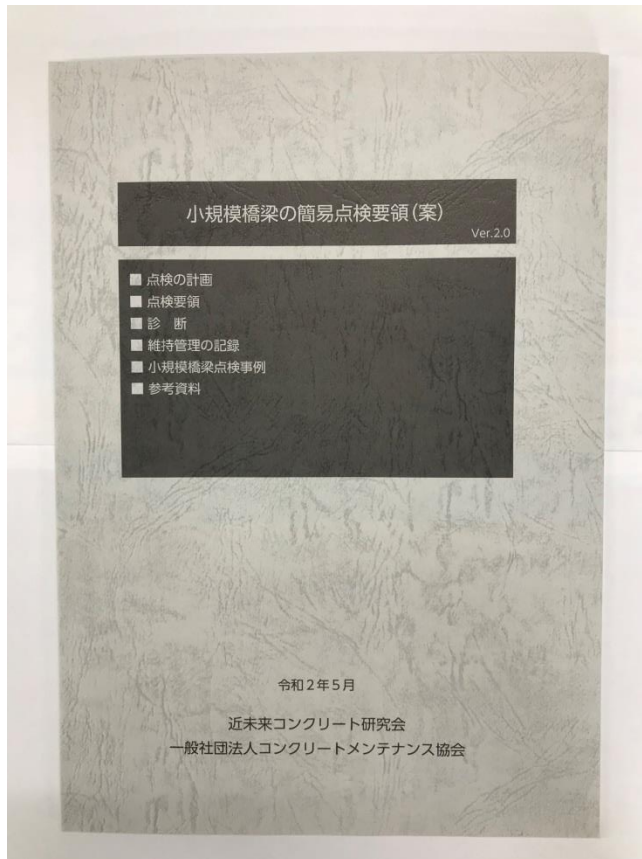
- 塩化物イオン量は鉄筋の位置の量の予測
- 中性化は中性化深さから進行性の予測

4. 小規模RC橋梁の点検要領事例

- 外観目視と打音検査では予防保全は困難
- 鉄筋腐食の可能性のある劣化因子を調査
- **中性化深さ測定**から腐食の可能性を予想
- **塩化物イオン量**から腐食の可能性を調査
- その他、基本的な設計・施工状況の調査

⇒ **対策の時機を予見する！**

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.2)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。

参考にして頂ければ幸いです。 十河茂幸

小規模橋梁の点検要領の骨子

- **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（速度は劣化原因による）**

小規模橋梁点検要領の流れ

1. 対象とする構造物
2. 劣化因子の特定(塩害・中性化)
3. 設計・施工記録調査(調査項目)
4. 調査計画の立案
5. 調査項目の選定
6. 調査の実施時期
7. 調査成果の整理・分析
8. 記録の保管

小規模橋梁の点検事例（呉市の協力）

- 呉市豊町（大崎下島）
 - ⇒ 海岸近くは塩害劣化の恐れ
 - ⇒ 河川上流は中性化劣化の可能性
- 河川に沿った小規模橋梁
 - ⇒ 橋長の短い無名の橋梁
 - ⇒ 過去に調査の形跡なし

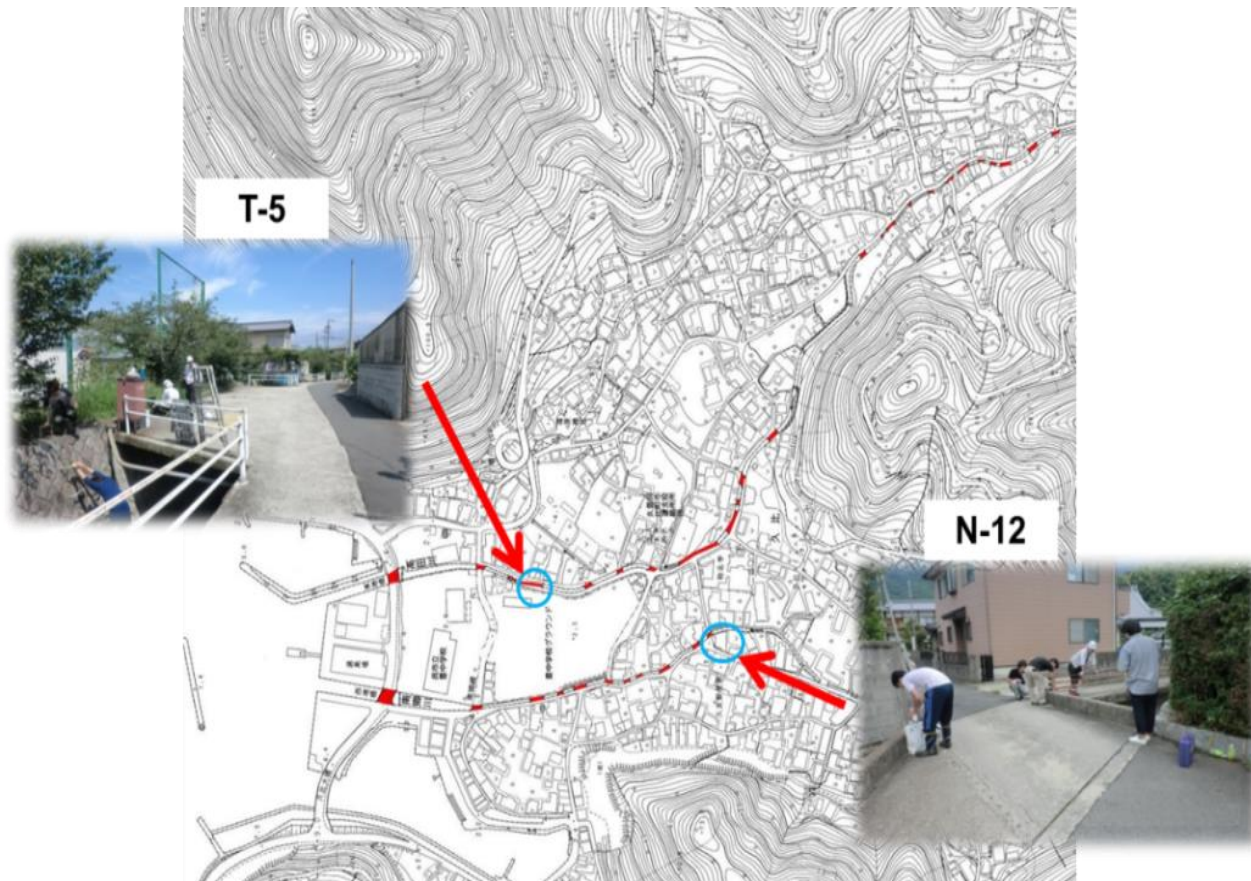
*** 専門家でなくともできる方法**

調査対象の町(豊町)



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

	調査項目	実施項目
1	形状寸法	・橋梁の寸法・形状の記録 ・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 ・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真 ・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 (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) ②小径コア側面における変色域を測定 (JIS A 1152) 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 →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



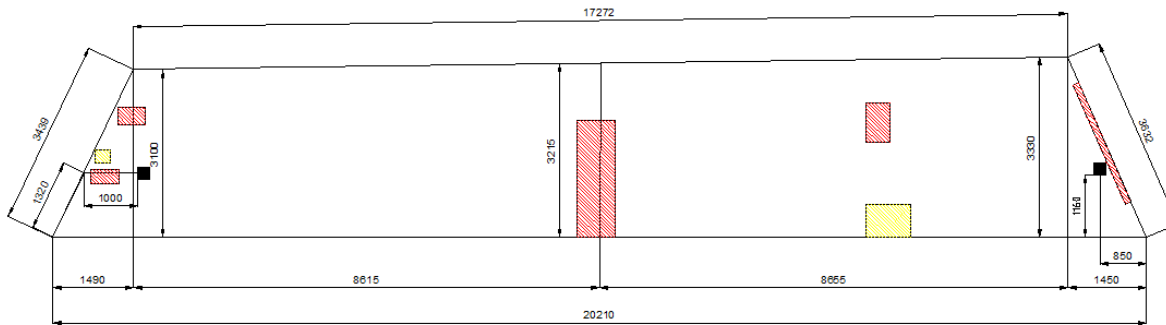
ひび割れ調査

打音検査

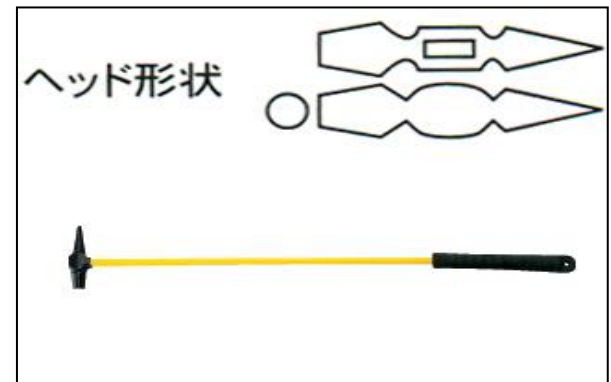


外観調査

- ◆ 橋梁寸法測定 メジャーからCAD図面
⇒ 劣化箇所の記入

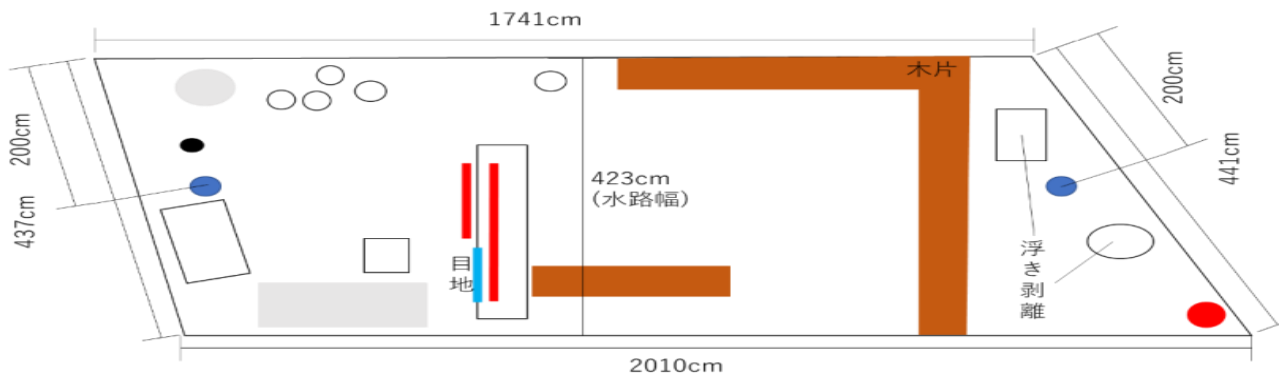


- ◆ 打音調査
ハンマーを使用



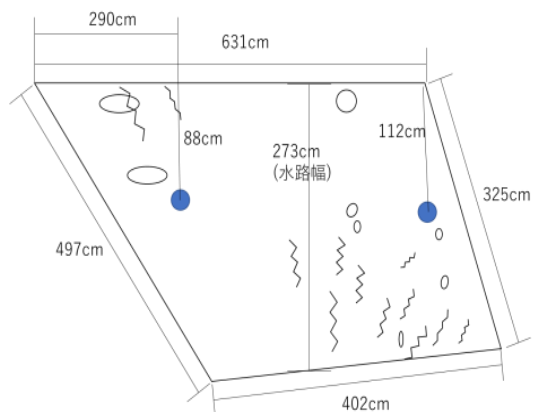
外観目視と打音検査結果

T-5



赤色：鉄筋腐食
灰色：未充填
青丸：中性化班測定位置
黒丸：コア採取位置

N-12



○：浮き・剥離
青丸：中性化測定位置

設計基準強度の確認

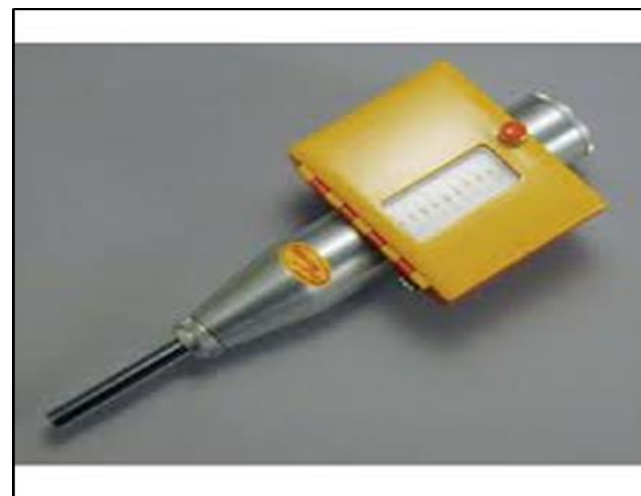
◆ 反発強度測定

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



◆ 設計記録がなく、一般的な設計基準強度と推定

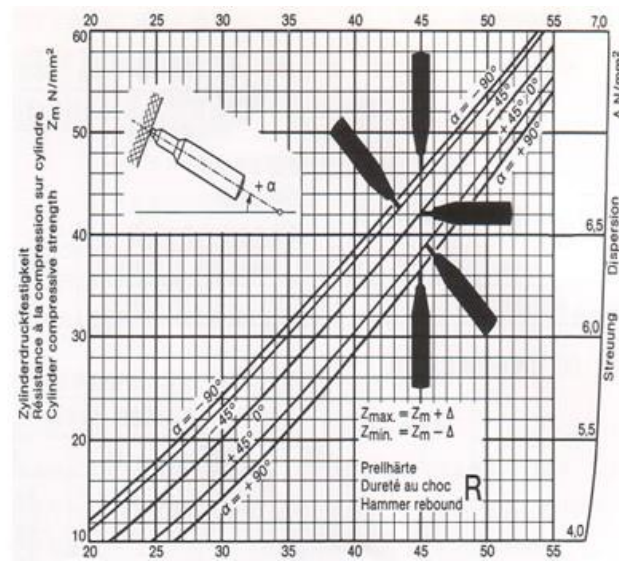
リバウンドハンマーによる測定状況



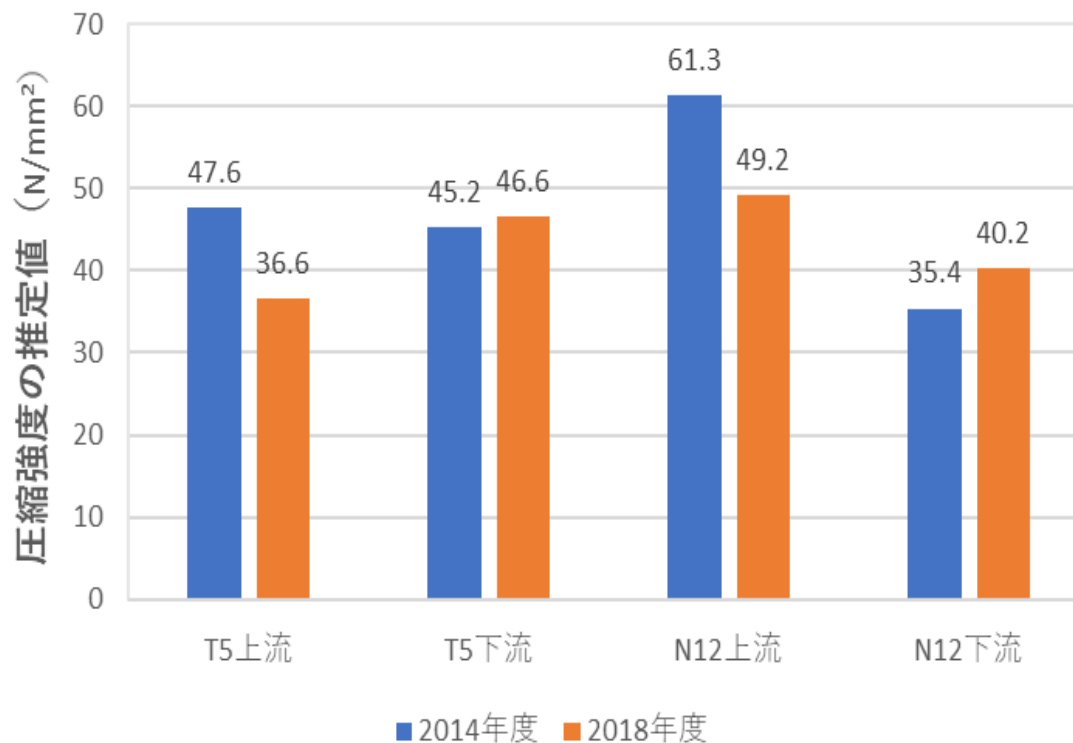
測定の全景

測定の状況

方向による補正方法



圧縮強度の推定値

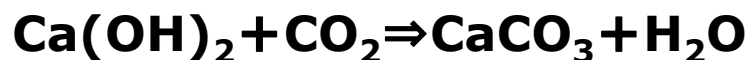


⇒ 2014年と2018年を比較しても大差なし
設計基準強度(推定)に十分な余裕の強度

中性化深さの測定と将来予測

◆ 中性化深さ

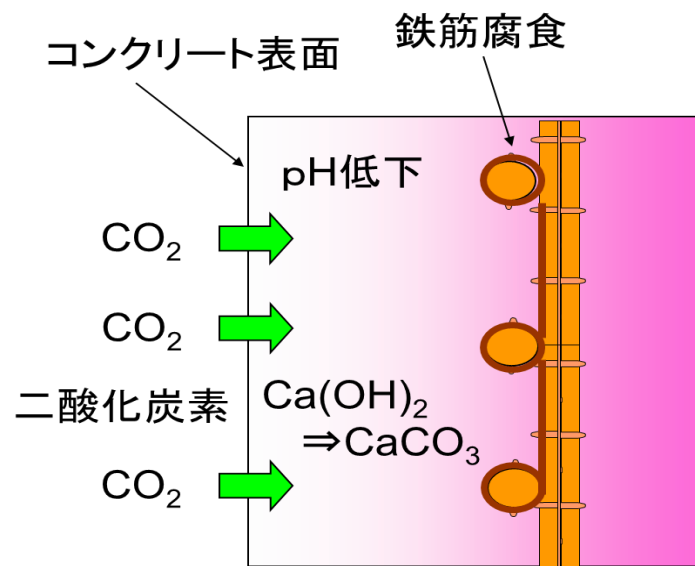
ドリル法でコンクリート粉末の採取
ドリル径はΦ6mm、最大で5cmまで
フェノールフタレイン溶液で判断



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



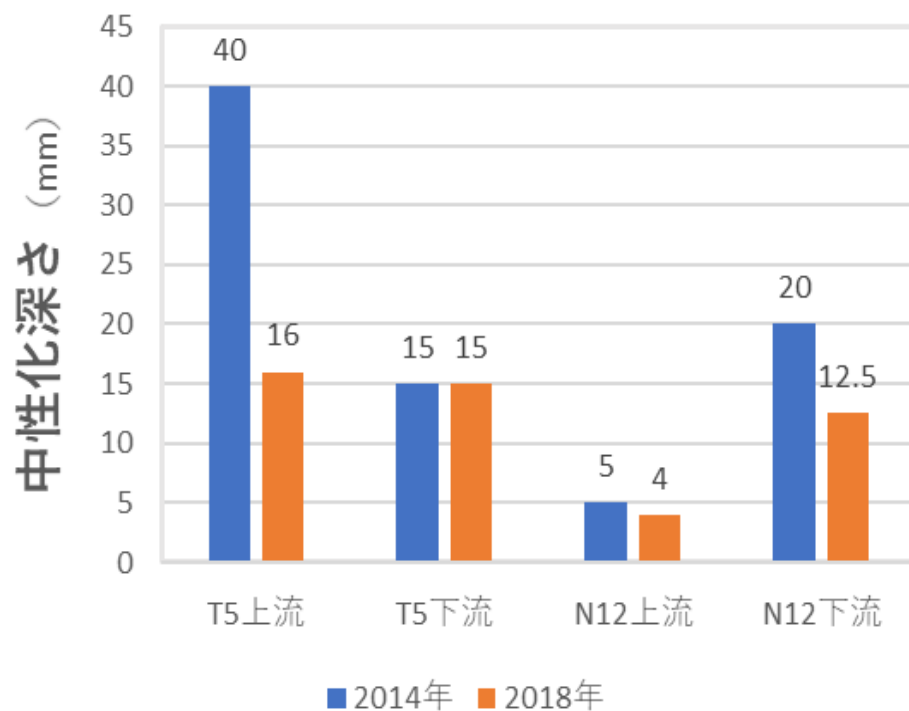
試料の採取

中性化の判定

中性化深さ測定



中性化深さ測定結果



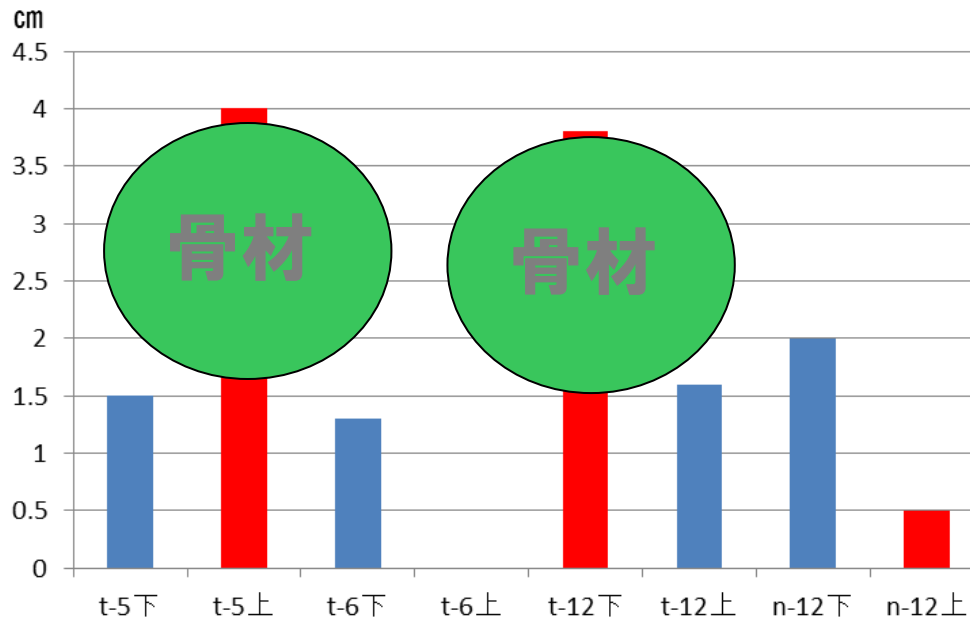
中性化深さは、最大20mm
かぶり厚さを50mm
中性化残り10mmとし、
建設年不明のため、
中性化速度係数を5.0と推定
 $40 = 5\sqrt{t}$
 $t = 64(\text{年})$
 $20 = 5\sqrt{t_0}$
 $t_0 = 16(\text{年})$
今後50年は中性化しないと判定

＊ 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。

中性化測定方法の改善案



ファイバースコープによる確認

コアによる中性化深さ測定



塩化物イオンの浸透深さ調査

◆ 塩化物イオン量測定

ドリルで試料を採取後、

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

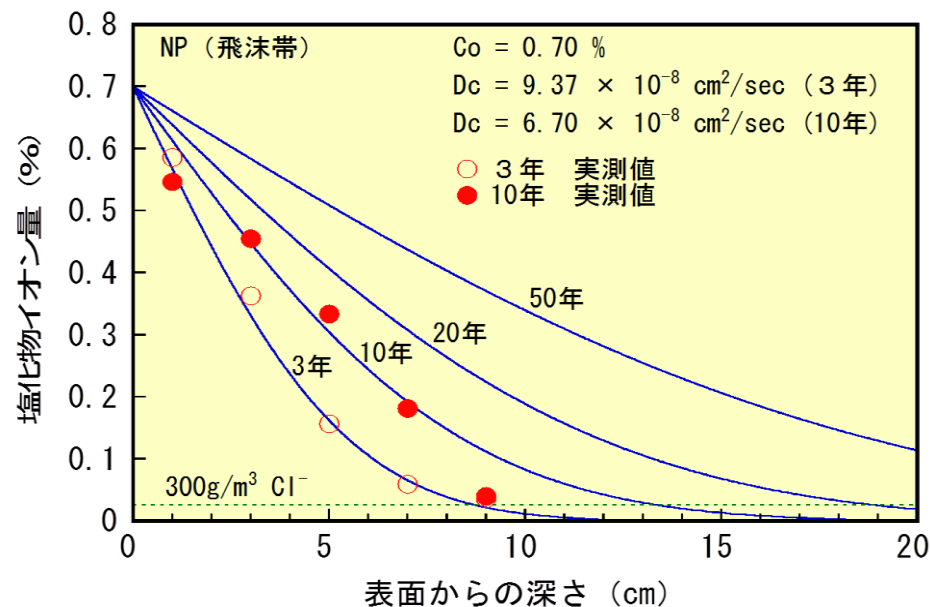
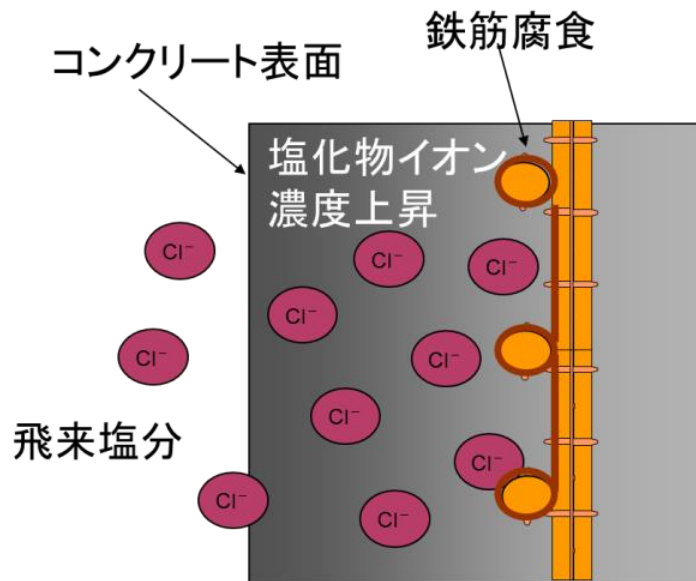


ドリルによる削孔
粉体採取状況

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

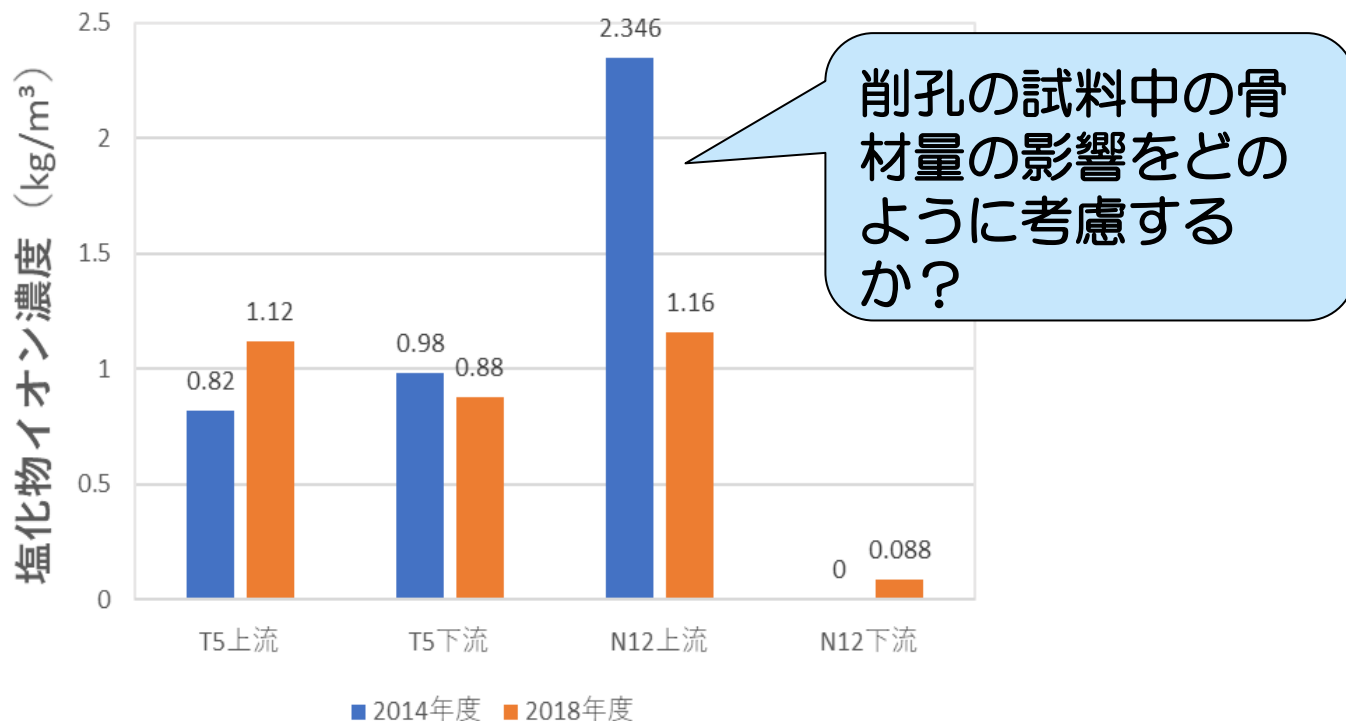


注：内在塩分の可能性も考慮

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

D_c : 拡散係数
 C_o : 表面塩化物イオン量

塩化物イオン量の測定結果とその評価


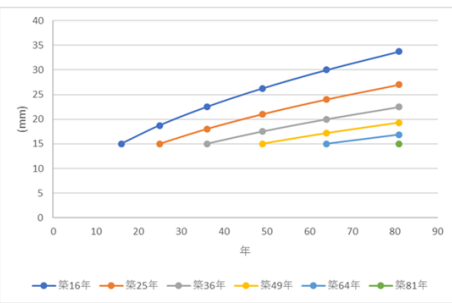
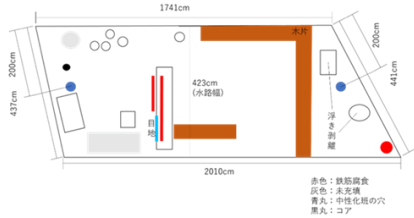


- * 塩化物イオン量の測定結果の2014年と2018年の比較粉末のとり方で誤差の可能性大⇒小？
塩化物イオン量が腐食限界濃度に達していない。
⇒ 4年経過では不明だが、内在塩分と判断できる。

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
一部に再調査が必要
- 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

点検結果の整理

小規模橋梁診断カルテ		T-5		コンクリート橋	
調査年月日	2018年11月5日		調査者		
所在地	呉市豊町久比		占用	高田川	
調査所要時間	50分				
調査内訳	打音検査・反発強度検査・資料採取から塩分測定/中性化観測				
定期調査所要時間	約10分				
調査内訳	目視点検・打音検査				
各損傷項目の評価	ひび割れ	剥離	鉄筋露出	浮き	健全度
	c	b	b		
I		II		III	
圧縮強度(N/mm ²)		塩素イオン(kg/m ³)		中性化深さ(mm)	
上流	下流	上流	下流	上流	下流
36.6	46.6	1.12	0.88	16	15
備考	この橋梁においては鉄筋露出やひび割れなどの表面的な劣化が他の橋梁に比べて多く見られた。そのため、交通に支障はないものの対策の要否を検討する必要がある。				
現場写真 					
					
損傷図(下面) 					

- ◆ 強度は安全
- ◆ 中性化深さの測定不要
- ◆ 塩化物イオンは経過観察
- ◆ 施工不良は補修
- ◆ 防水対策を講じる

⇒ 劣化グレード II
 初期欠陥の補修で
 延命化が可能

小規模橋梁の点検事例（東広島市）

- 東広島市 堀田橋3号線 1号橋（福富町）
- 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



調査項目

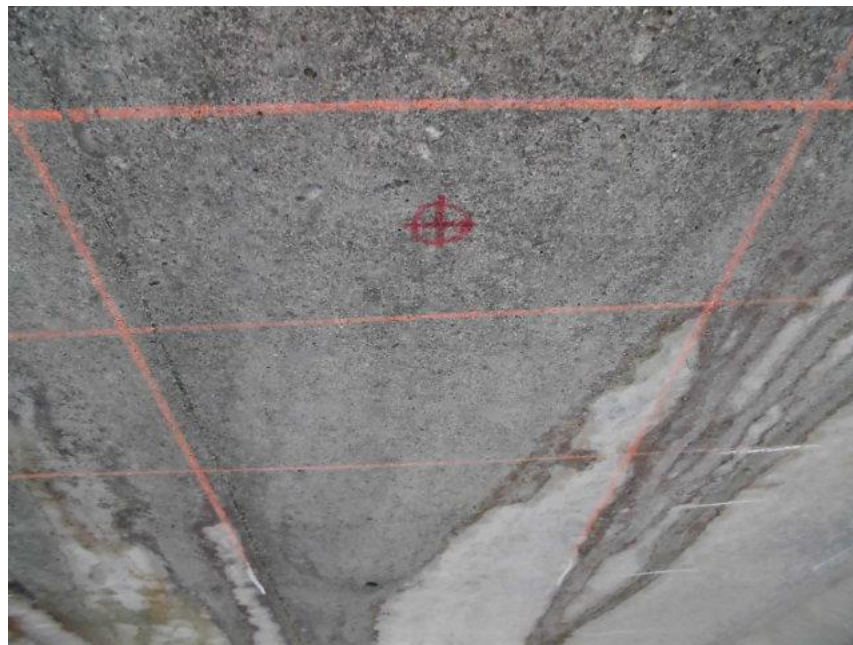
	調査項目	実施項目
1	形状寸法	<ul style="list-style-type: none">・橋梁の寸法・形状の記録・調査状況の写真
2	表面観察	<ul style="list-style-type: none">・外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真・打音検査(テストハンマー)
3	鉄筋位置 かぶり厚さ	<ul style="list-style-type: none">・電磁波レーダーによる鉄筋の配置・かぶり厚さの測定
4	圧縮強度	・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定 (JIS A 1155、JSCE-G-504)
5	中性化深さ	<ul style="list-style-type: none">①ドリル法による粉末で中性化深さ測定 (NDIS 3419)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	<ul style="list-style-type: none">・乾式ドリル粉の採取→実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定

配筋状態の調査

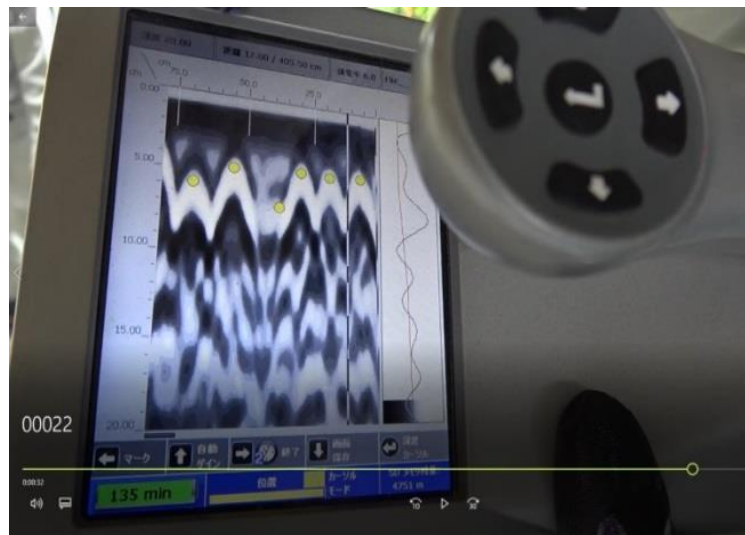


電磁波レーダー法

配筋状態の記録
300mm × 150mm



かぶり厚さ調査と外観調査



かぶり厚さ 50mm



1か所で鉄筋腐食
による剥落

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10mmとして
40mmまで中性化する年数

$$40=4\sqrt{t}$$

$$t=100(\text{年})$$

⇒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/m ³)	塩化物イオン Cl ⁻	
			(mass%)	(kg/m ³)
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



劣化因子の浸透防止
の観点から除去する。

***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**

小規模橋梁の点検事例（安芸高田市）

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	<ul style="list-style-type: none">・橋梁の寸法・形状の記録・調査状況の写真
2	表面観察	<ul style="list-style-type: none">・外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真・打音検査(テストハンマー)
3	鉄筋位置 かぶり厚さ	<ul style="list-style-type: none">・電磁波レーダーによる鉄筋の配置・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 (JIS A 1155、JSCE-G-504)
5	中性化深さ	<ul style="list-style-type: none">①ドリル法による粉末で中性化深さ測定 (NDIS 3419)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	<ul style="list-style-type: none">・乾式ドリル粉の採取→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



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。**

中性化深測定とその評価

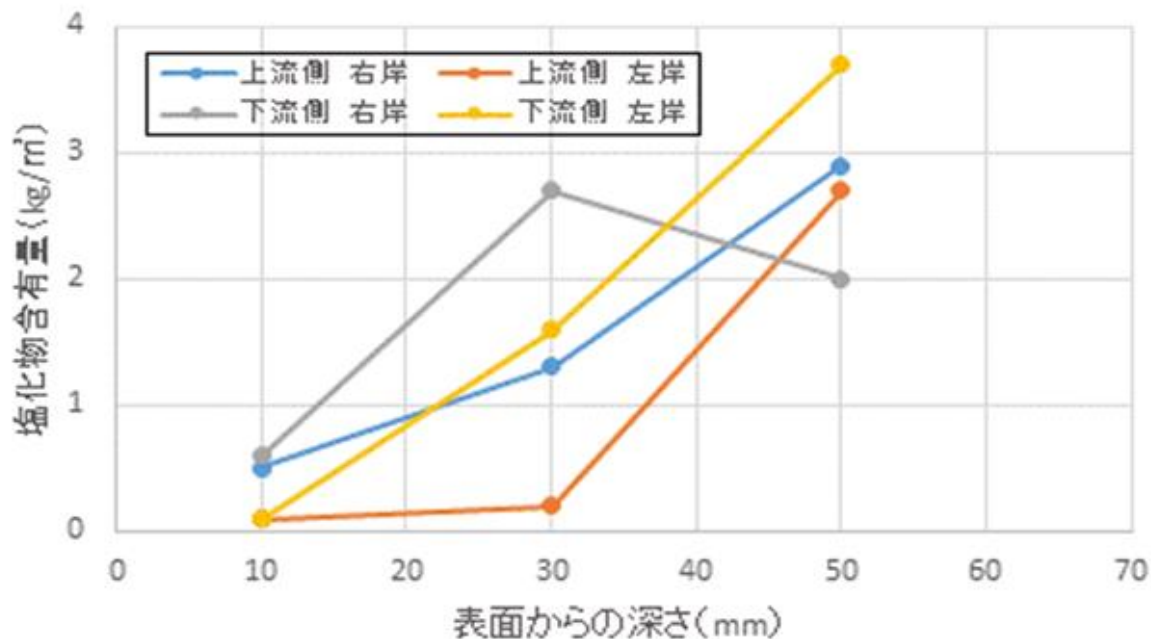
橋梁名	測定位置	測定値	平均値
工業団地橋	上流側	①3.1 mm ②1.5 mm ③0.9 mm	8.5 mm
	下流側	①22.3 mm ②0.8 mm ③1.4 mm	8.2 mm
砂田線 1号橋	側壁 A 1	①34.0 mm ②18.0 mm ③20.0 mm	24.0 mm
	側壁 A 2	①14.0 mm ②11.0 mm ③11.0 mm	12.0 mm
小原橋	上流側	①3.5 mm ②8.1 mm ③3.1 mm」	4.9 mm
	下流側	①1.7 mm ②23.4 mm ③3.7 mm	9.6 mm

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

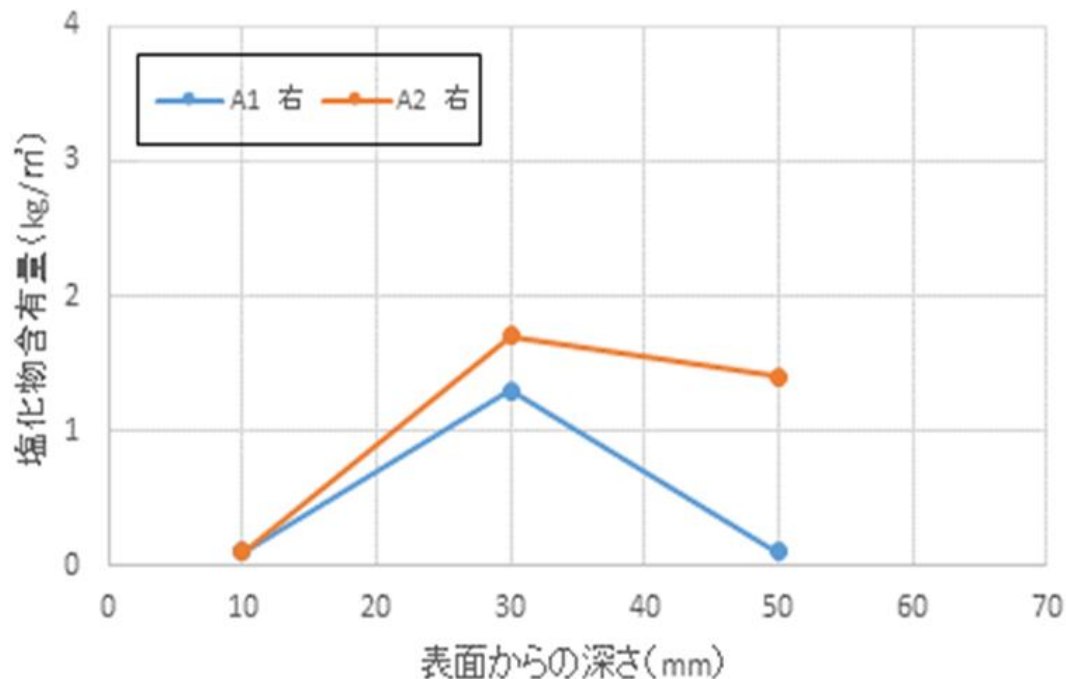
小原橋： 建設後55年経過 中性化は問題なし

塩化物イオン量の評価（工業団地橋）



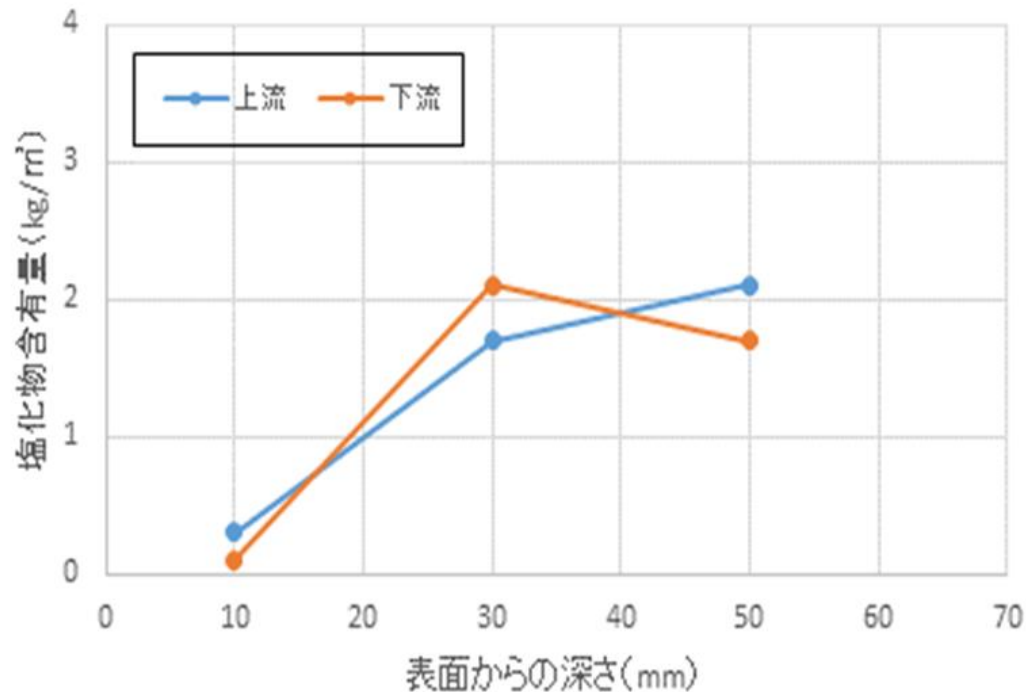
塩化物イオン量の濃度は内部ほど高い。
鉄筋位置で腐食限界濃度に達している。

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30mm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30mm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



小規模橋梁の調査事例（尾道市）

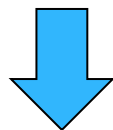
尾道市の橋梁の調査

対象：四軒島橋

坂石堂線2号橋(百島町)

三河橋

中川橋1



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

調査橋梁の外観

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	110mm	100mm	300mm	300mm

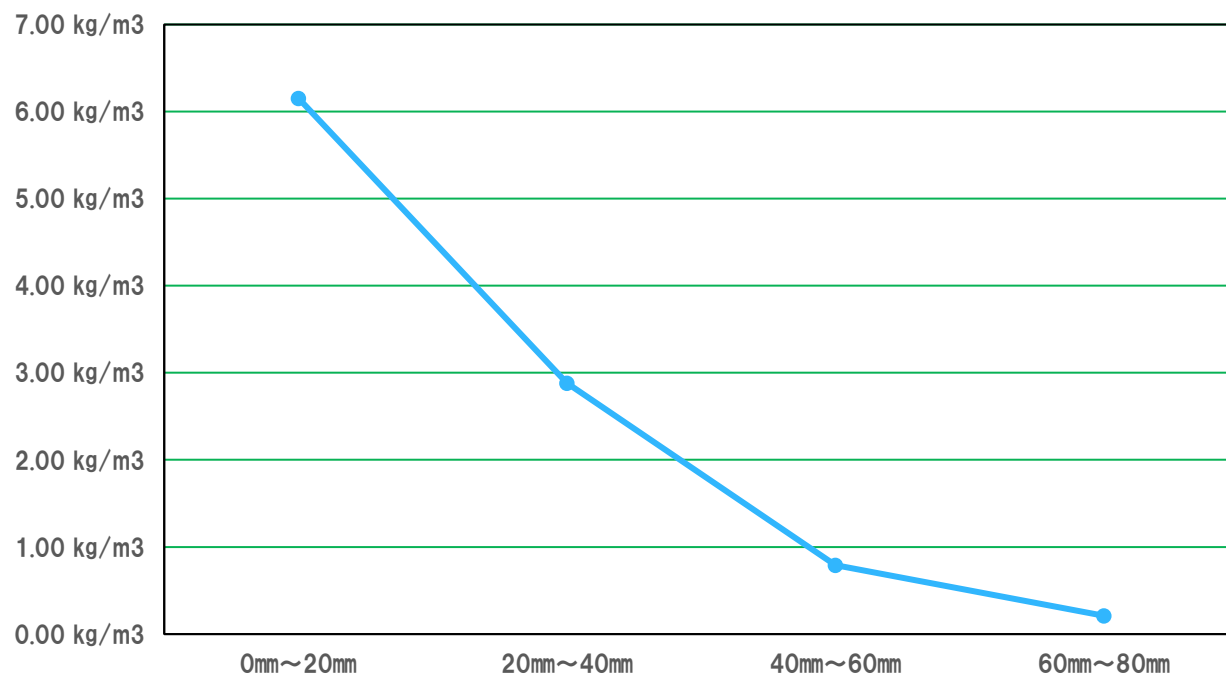
強度確認（測定方法：リバウンドハンマーによる測定）

確認位置	箇所数	観測点数	圧縮強度(N/mm 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

硬化コンクリート1.0m³中の塩素イオン量(kg/m³)

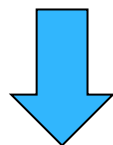


クロキットによる測定



診断結果

塩化物イオン量が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. 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**
- **点検と診断を分けて対応**
 - ⇒ **点検士(調査)と診断士(判断)**
- **早めの措置で経費削減**
 - ⇒ **整備予算を有効活用**

タウシュベツ橋梁(北海道)



凍結融解の繰り返しにより崩壊のおそれ

通称軍艦島(長崎県・端島)



維持管理をしないと崩壊の恐れ



本庄水源地(国指定重要文化財)



1918年完成 重力式コンクリート造堰堤