

環境シンポジウム

コンクリート内部環境の モニタリング

物質・材料研究機構
構造材料拠点
西村俊弥

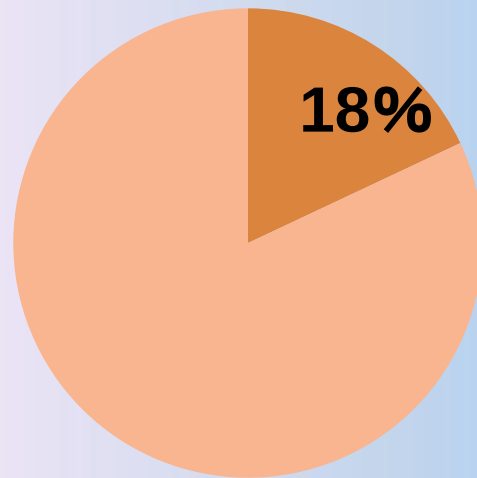
背景



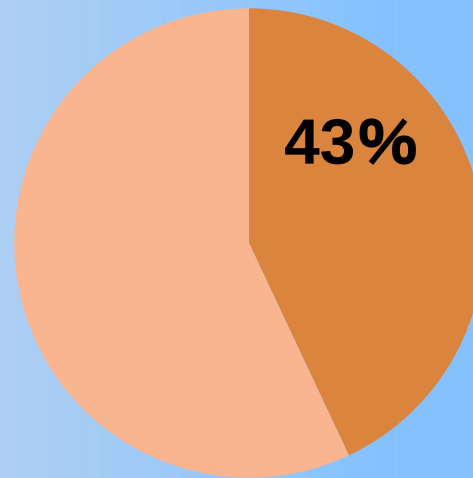
環境による
インフラの
劣化が深刻

老朽化橋梁の割合推移

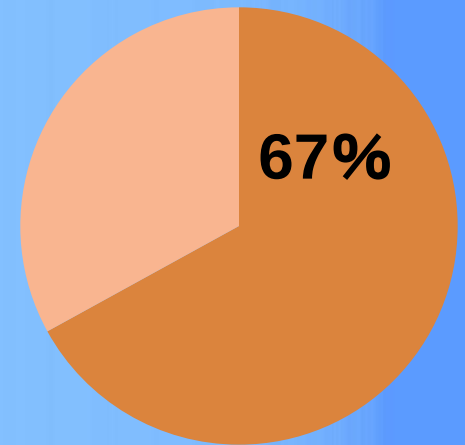
50年以上経過した橋梁



2013年



2023年



2033年

鉄筋の腐食によるコンクリートの劣化



コンクリート構造体では、
鉄筋が腐食する。



鉄さびの体積膨張でコンク
リート構造体が破壊する。

特に日本は、腐食性環境にある
1) 海からの塩分(塩害)
2) 酸性雨(中性化)



腐食性大

モニタリングの必要性



コンクリート構造体は、個々異なる。
1) 素材、2) 製造法、3) 環境



(1) 個別の構造体の鉄筋の腐食
を調べる必要

(2) 環境: コンクリート内部
鉄筋近傍の腐食因子(塩分、pH)を把握することが重要



コンクリート内部の環境および鉄筋腐食の
モニタリングが重要

目的

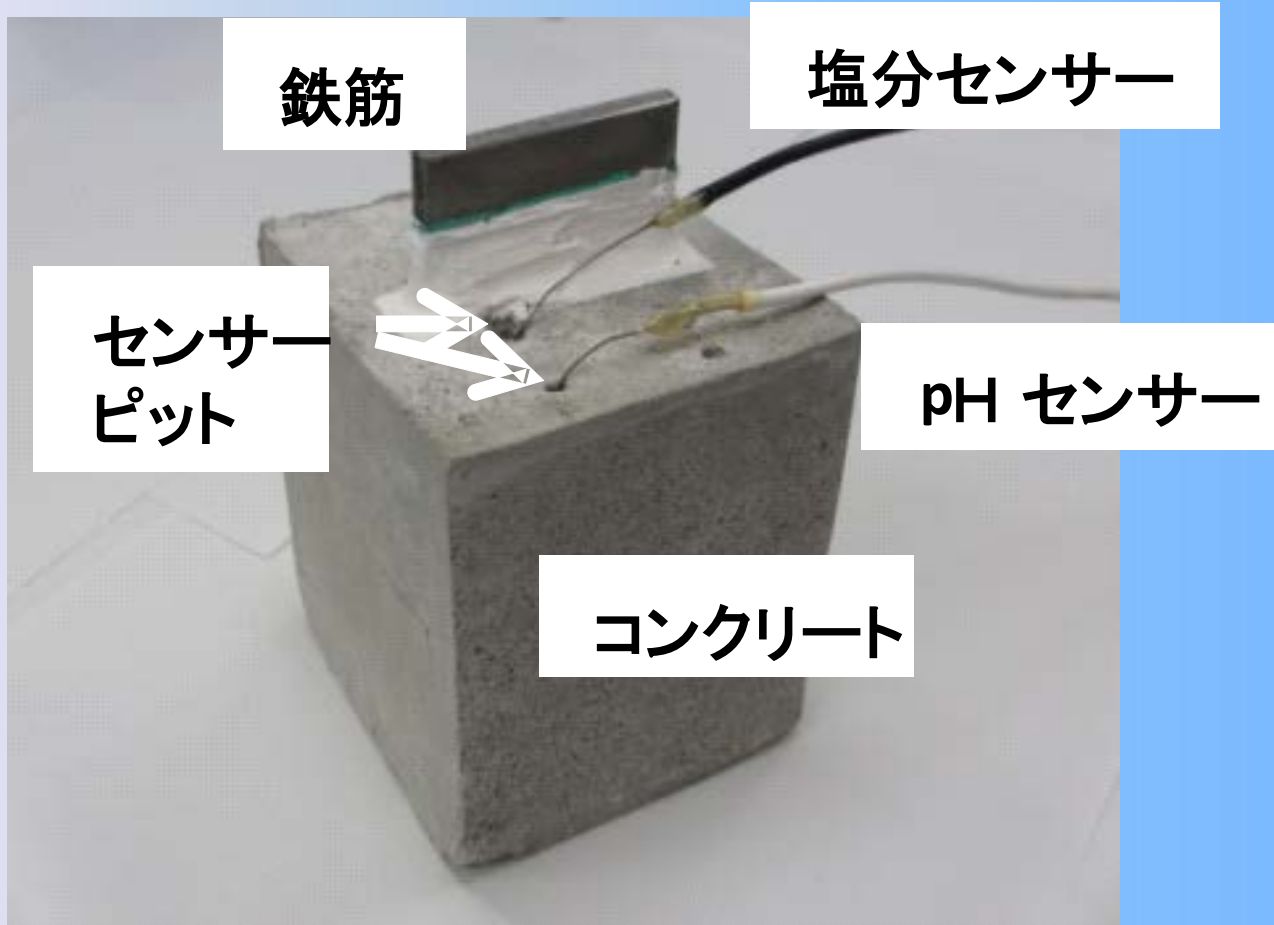
同時モニタリングを実施

1. 鉄筋の腐食：電気化学インピーダンス法(EIS)
2. 塩分の変化：Clセンサー
3. pHの変化：pHセンサー



コンクリート内部の環境因子（Cl, pH）の変化と鉄筋の腐食との関係を明確化

実際の測定状況



手法

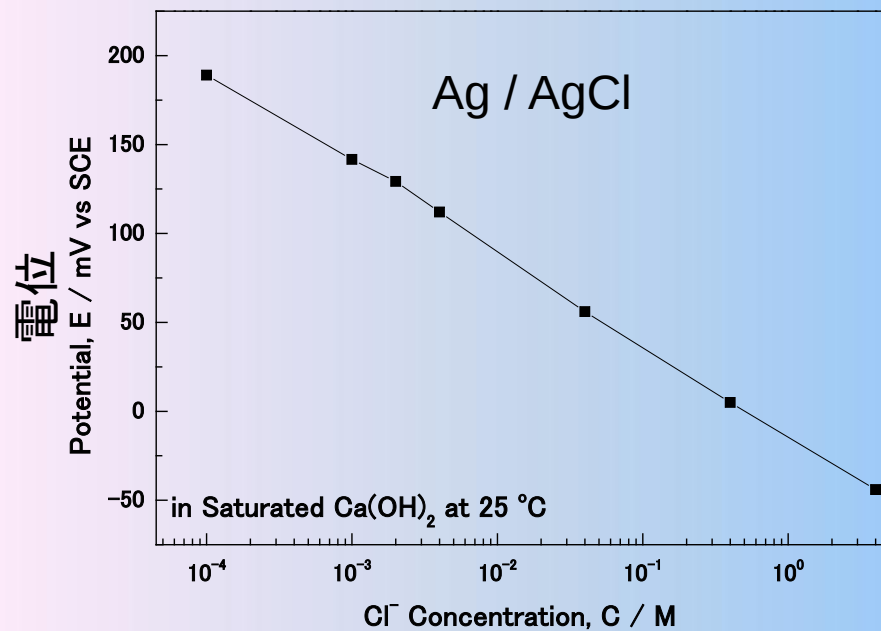
1. コンクリートブロック ポートランドセメント
(水 : セメント比 = 0.6), 水: 0.3 mass% NaCl

2. 塩分センサー Ag/AgCl マイクロ電極
- 0.3mm Ag wire – 500 mV 20 min 0.1 M HCl

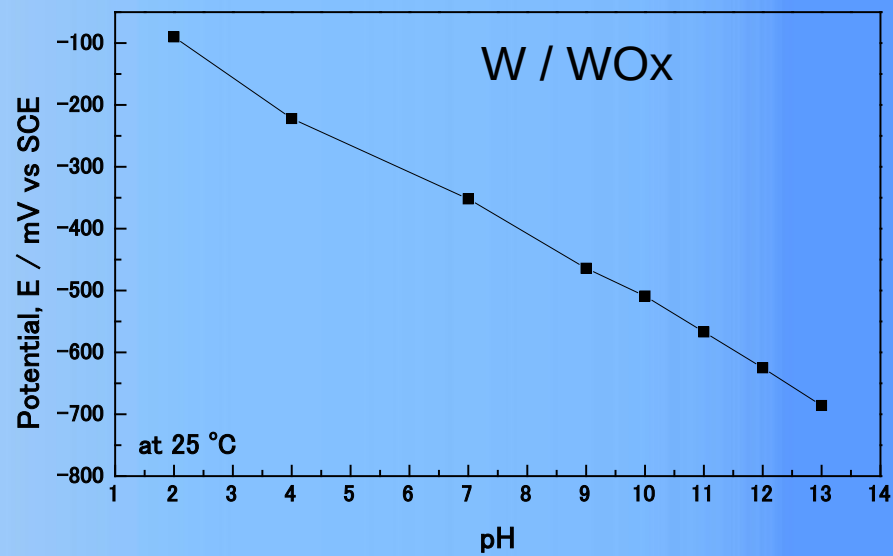
3. pH センサー W/WO_x マイクロ電極
- 0.3mm W wire - 18 h 10% HNO₃

4. 腐食モニタリング 電気化学インピーダンス法 (E I S)
0.3mHz – 20kHz, 3極式

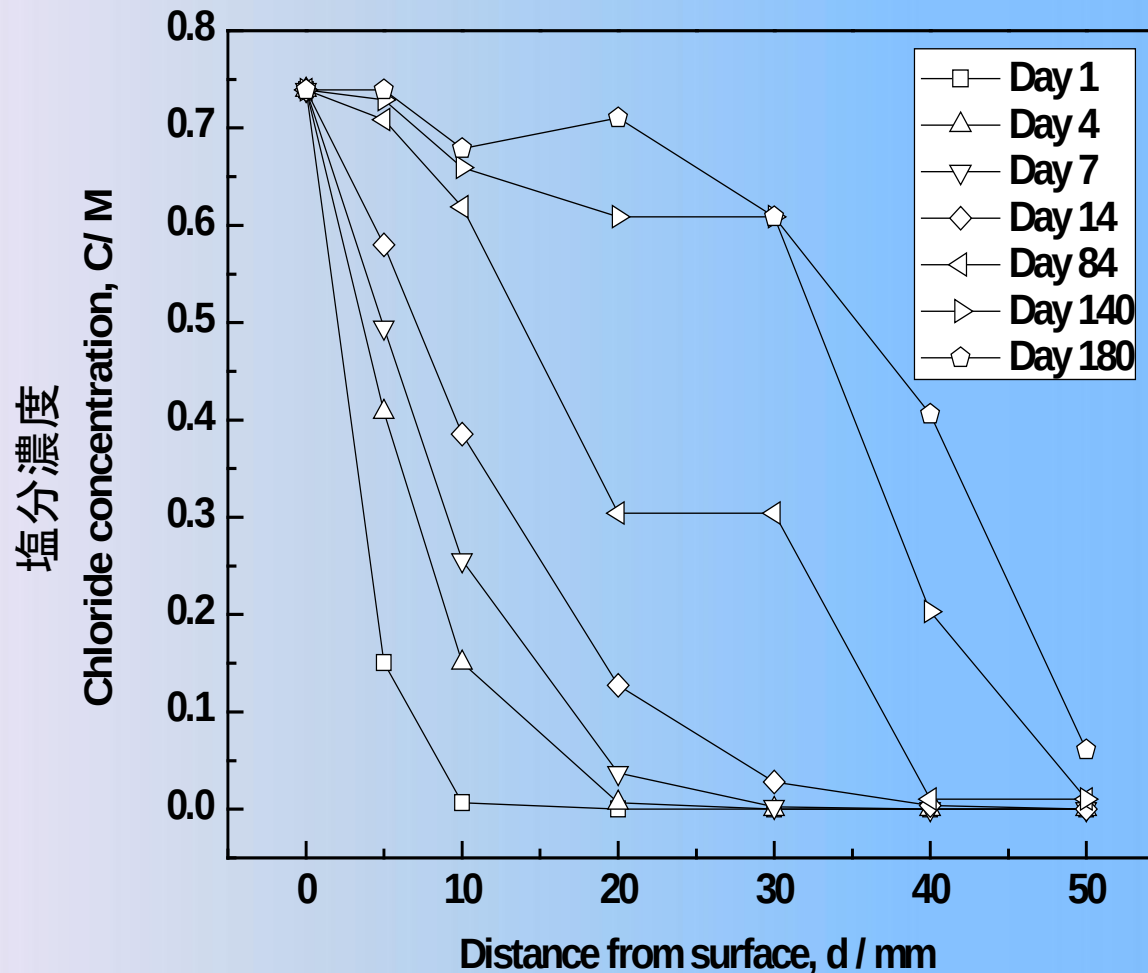
キャリブレーション



塩分濃度

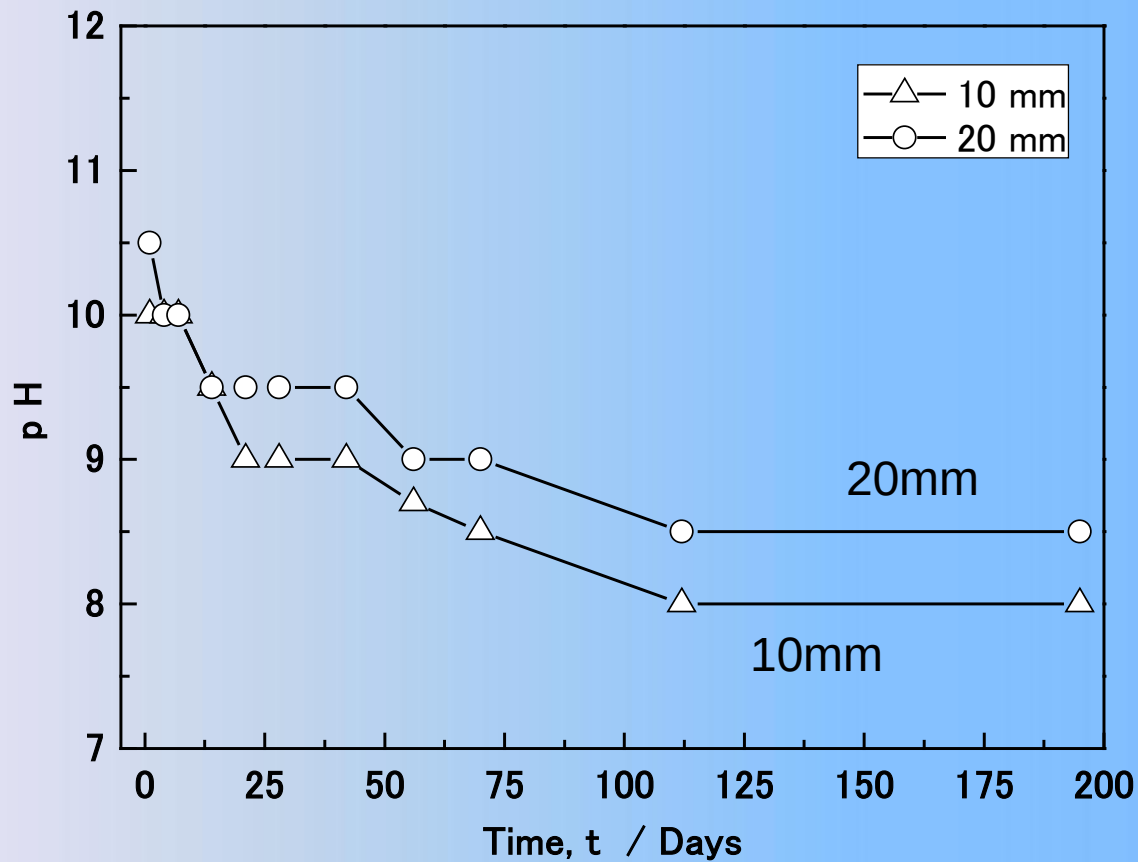


コンクリート内部の塩分濃度変化

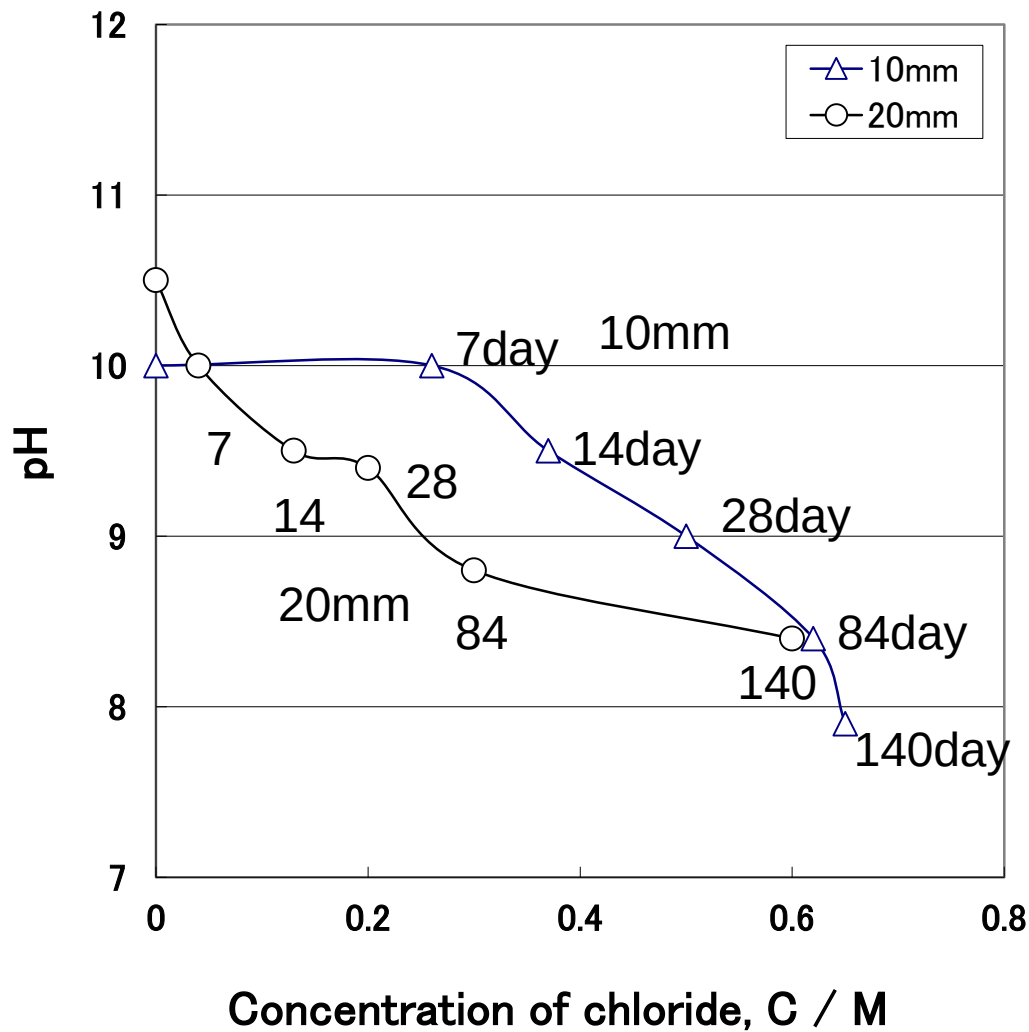


表面からの距離

コンクリート内部のpH変化



塩分とpHの同時変化図



塩分濃度

拡散方程式から塩分の拡散 定数 D_c を求める

拡散方程式

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

C : Cl ion conc. at x (M)

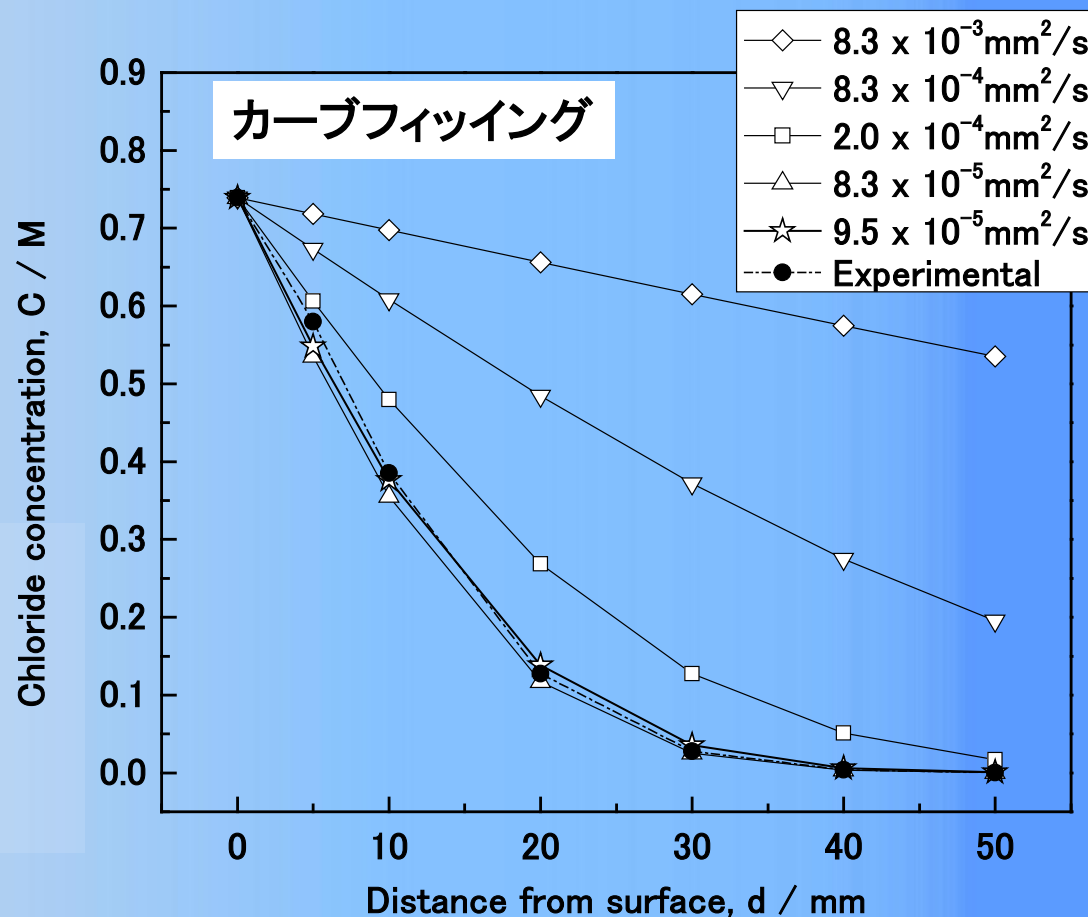
C_0 : Cl ion conc. at surface (M)

X : distance from surface (mm)

t : time (sec)

D_c : diffusion coefficient (mm^2/sec)

erf : error function

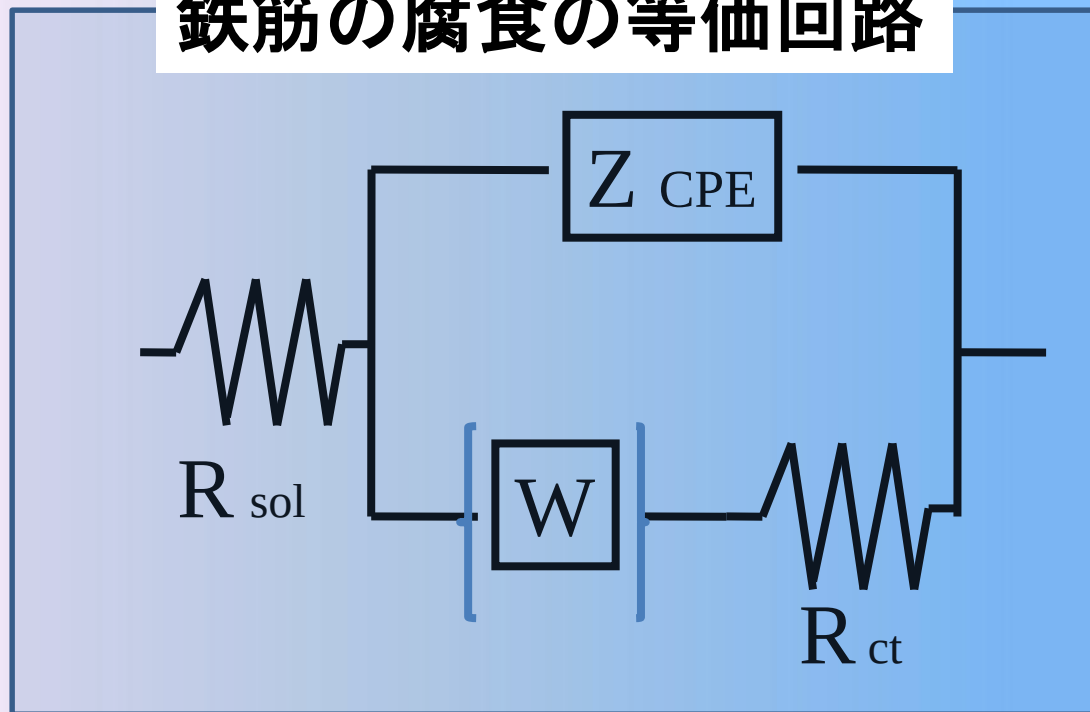


$D_c : 9.5 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{s}$

塩分の内部侵入を推定可能

電気化学インピーダンス法(EIS) による腐食モニタリング

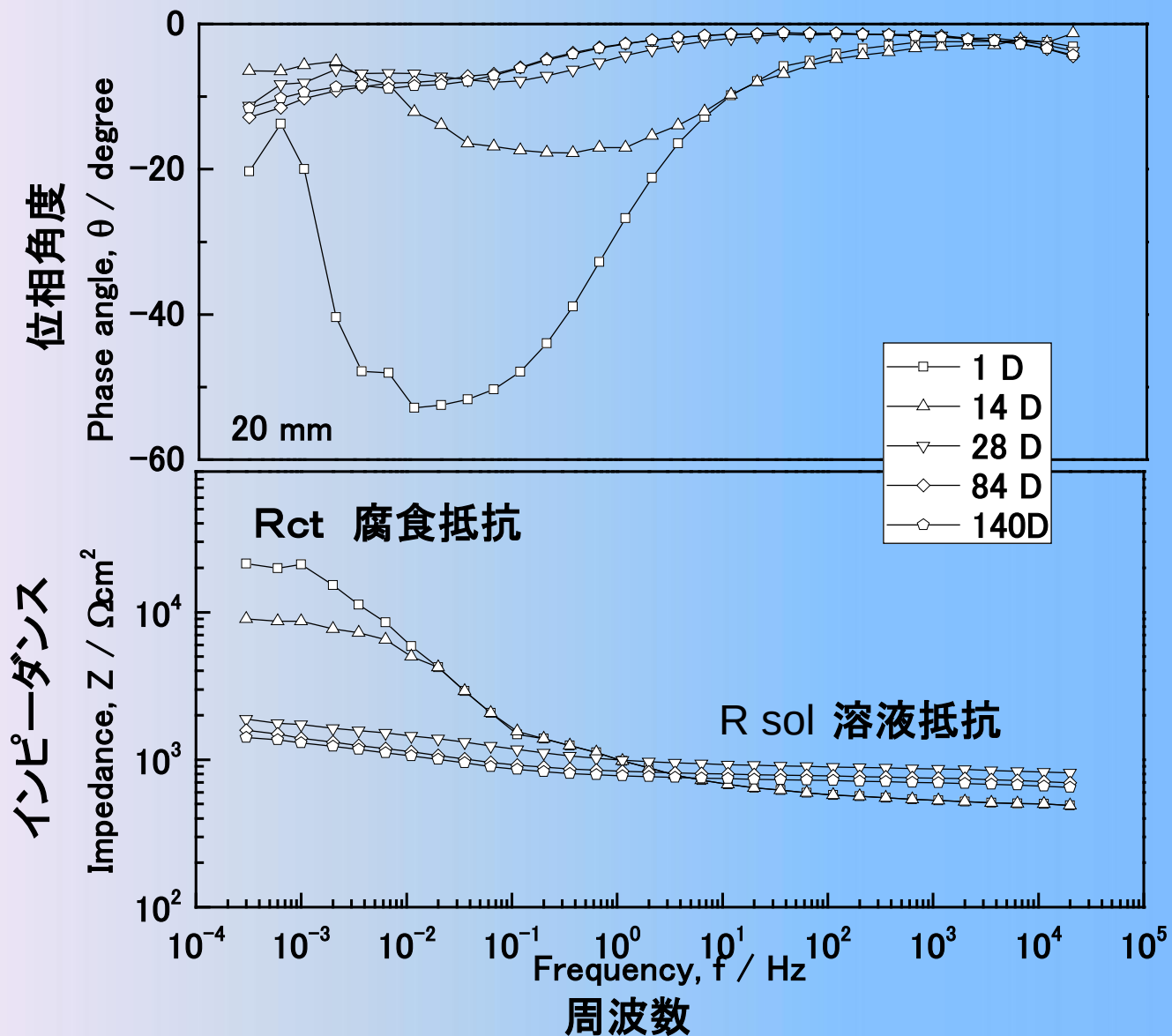
鉄筋の腐食の等価回路



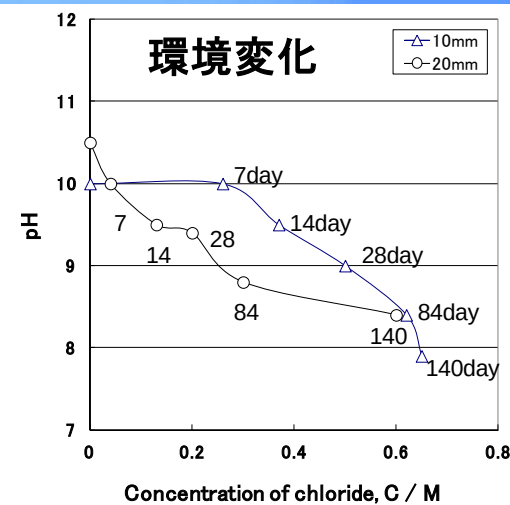
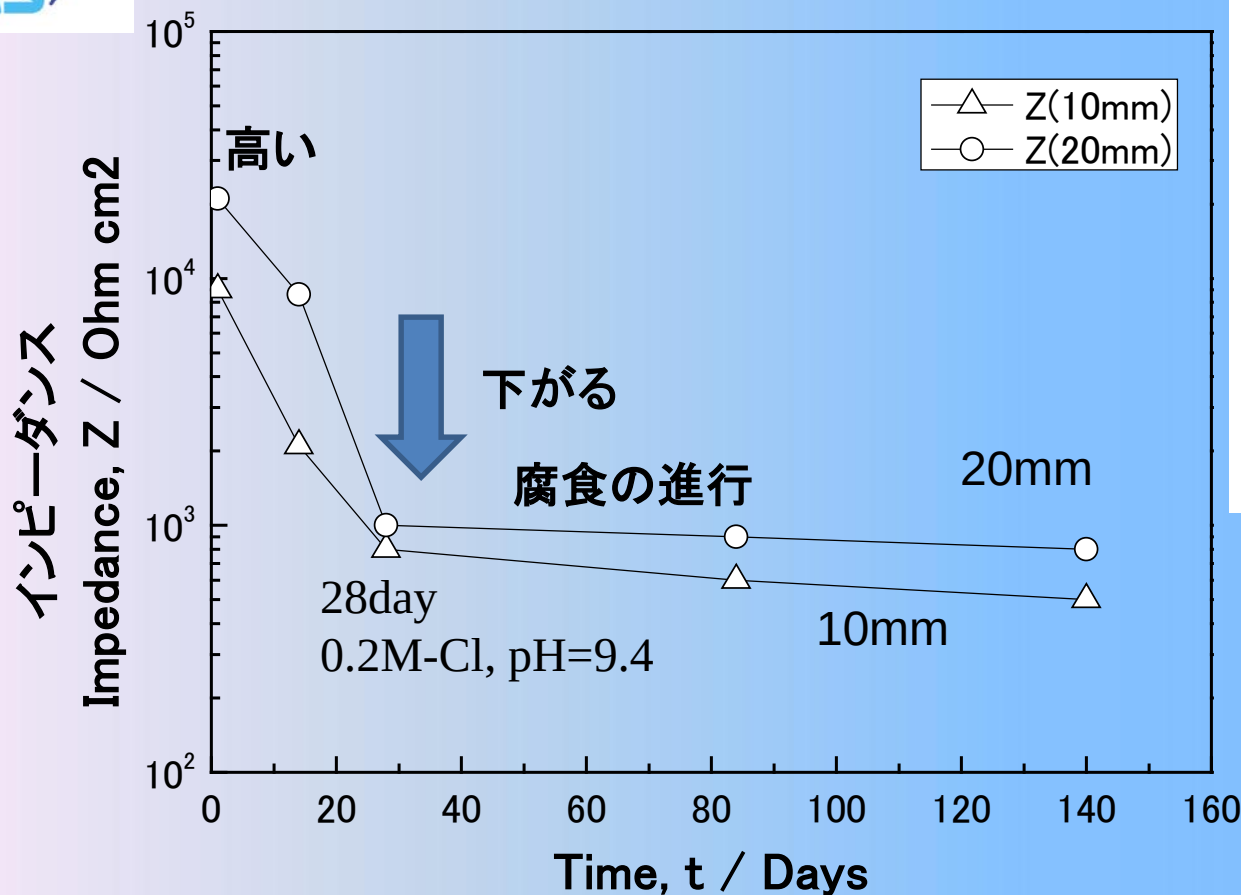
腐食状況を
電気回路と
して解析

R_{sol} : コンクリート内部の溶液抵抗、
 Z_{CPE} : 腐食容量、(W : 拡散抵抗)、
 R_{ct} : 腐食抵抗

電気化学インピーダンス法(EIS) による腐食モニタリング結果



腐食抵抗 (R_{ct}) の変化



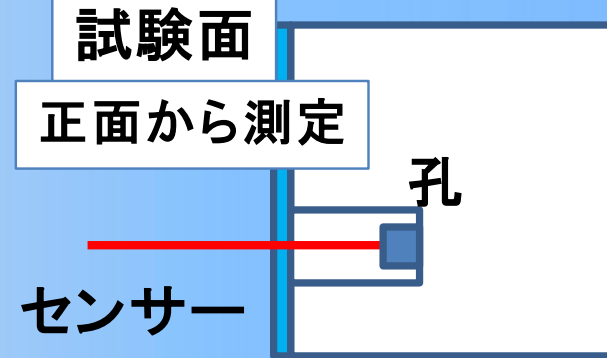
➤ 鉄筋の腐食は、コンクリート内部の腐食因子(Cl, pH)で支配されている。

内部の腐食因子が数居値(0.2M-Cl, pH=9.4)を超えると急激な腐食が開始する。

鉄筋の腐食は、環境の腐食因子をモニタリングすることで把握できる

(現場測定1) 橋梁内部の現場塩分測定

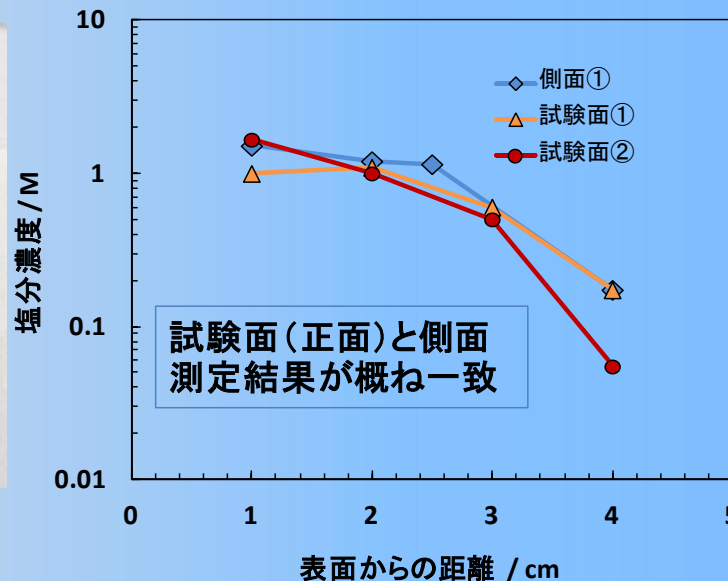
現場の壁面にて短時間で測定可能



ドリルで孔を空ける
孔底部の測定を行う



壁面内部の
塩分測定可能



ドリルで孔を開けながら
内部の塩分量を測定

(現場測定2) 現場連続モニタリング 予防保全(事前の検知)



構造体内部の塩分分布

234 day

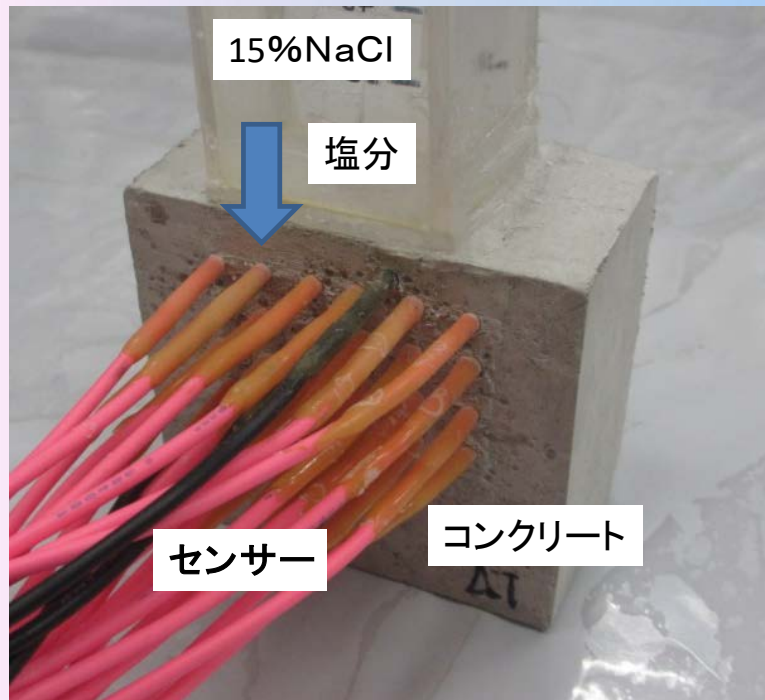
塩水

(単位:M)

1	2	3	4	5	6
0.06918	0.79433	1.20226	1.09648	0.12589	0.03981
0.07244	0.06918	0.11482	0.16596	0.06026	0.06918
0.05754	0.06918	0.01585	0.02512	0.01905	0.00759
0.11482	0.01905	0.01995	0.01380	0.00724	0.00759

連続モニタリング可能

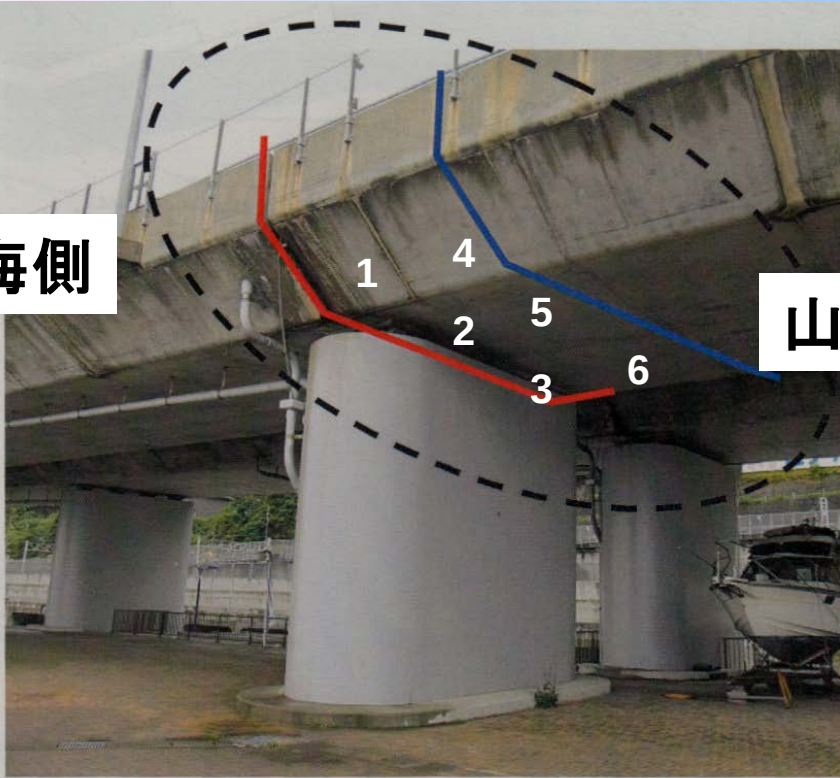
- ・センサーの長期耐久性確認
- ・構造体の塩分分布解析可能



高架橋PC桁上部での実暴露試験

海側

山側



1 - 3 : 桁端部 (凍結防止剤)

4-6 : 桁端部から5m (飛来塩分)

測定内容

(1) コンクリート内部塩分量
その場測定

1) 1~6、

2) 深さ: 1, 2, 3, 4 cm

(2) 塩分長期モニタリング

1) 1、4、

2) 深さ: 2, 3, 4 cm

電気化学センサーの特徴

- ・感度が高い(塩分: 飽和 $\sim 0.001M$)

- ・サイズが小さい($0.3mm\phi$ 線、 $3mm\phi$ 球)

⇒コンクリートの損傷微少