

コンクリート構造物の予防保全と長寿命化



広島工業大学大学院
工学系研究科 建設工学専攻
竹田 宣典

寿命の長いコンクリート構造物



写真-1 明治41年竣工の小樽港北防波堤

小樽港北防波堤
(明治41年建設)

無筋コンクリート **120歳**

肥前長崎鼻灯台
(昭和35年建設)

鉄筋コンクリート **60歳**



コンクリート構造物の設計耐用年数



羽田空港D滑走路

100年



本州四国連絡橋

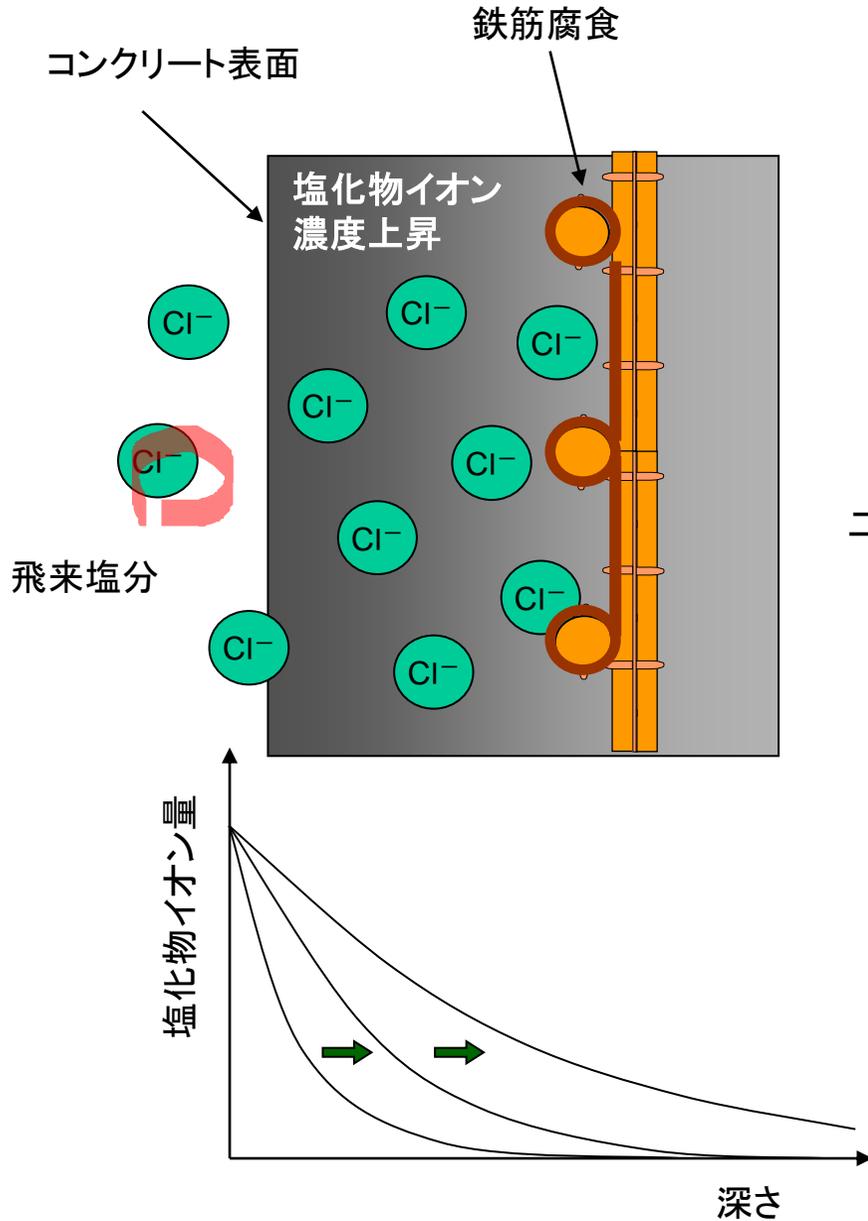
150年



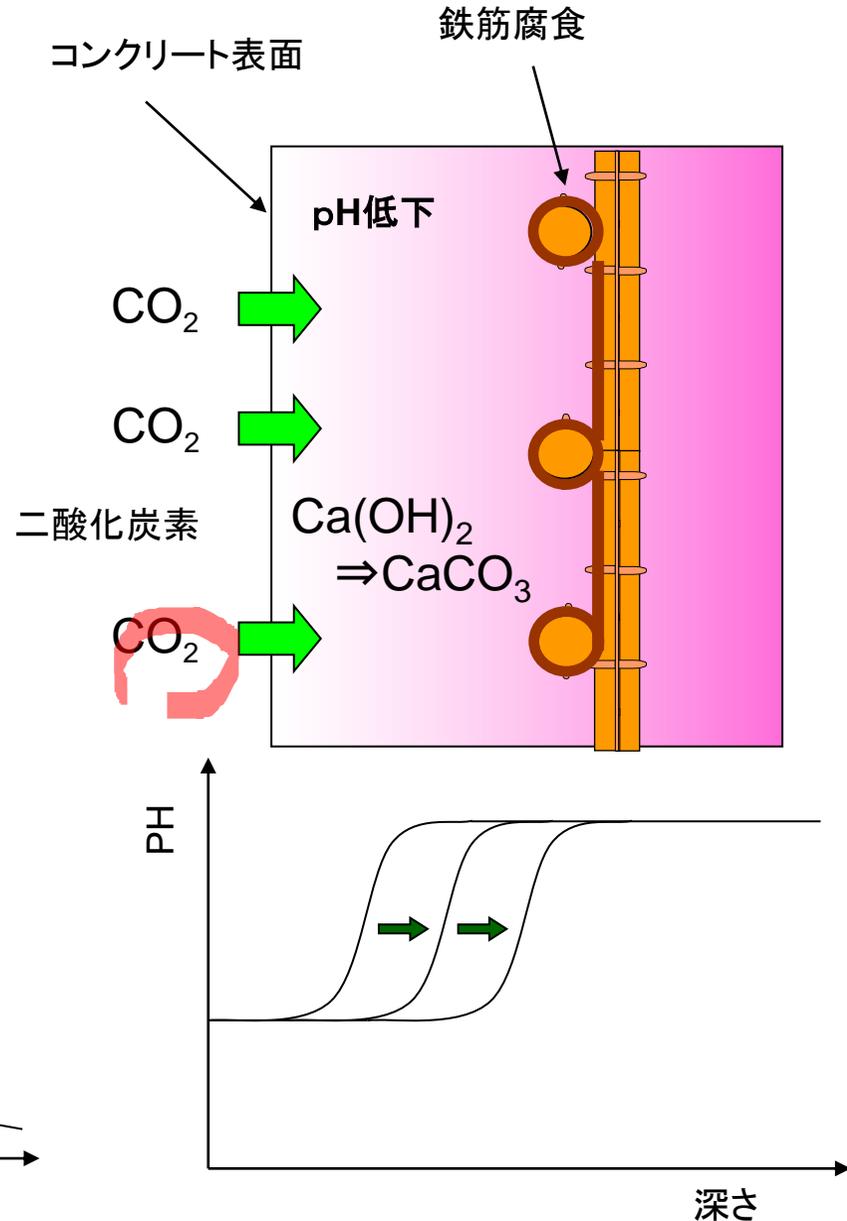
ドバイモノレール

100年

劣化因子侵入と劣化現象

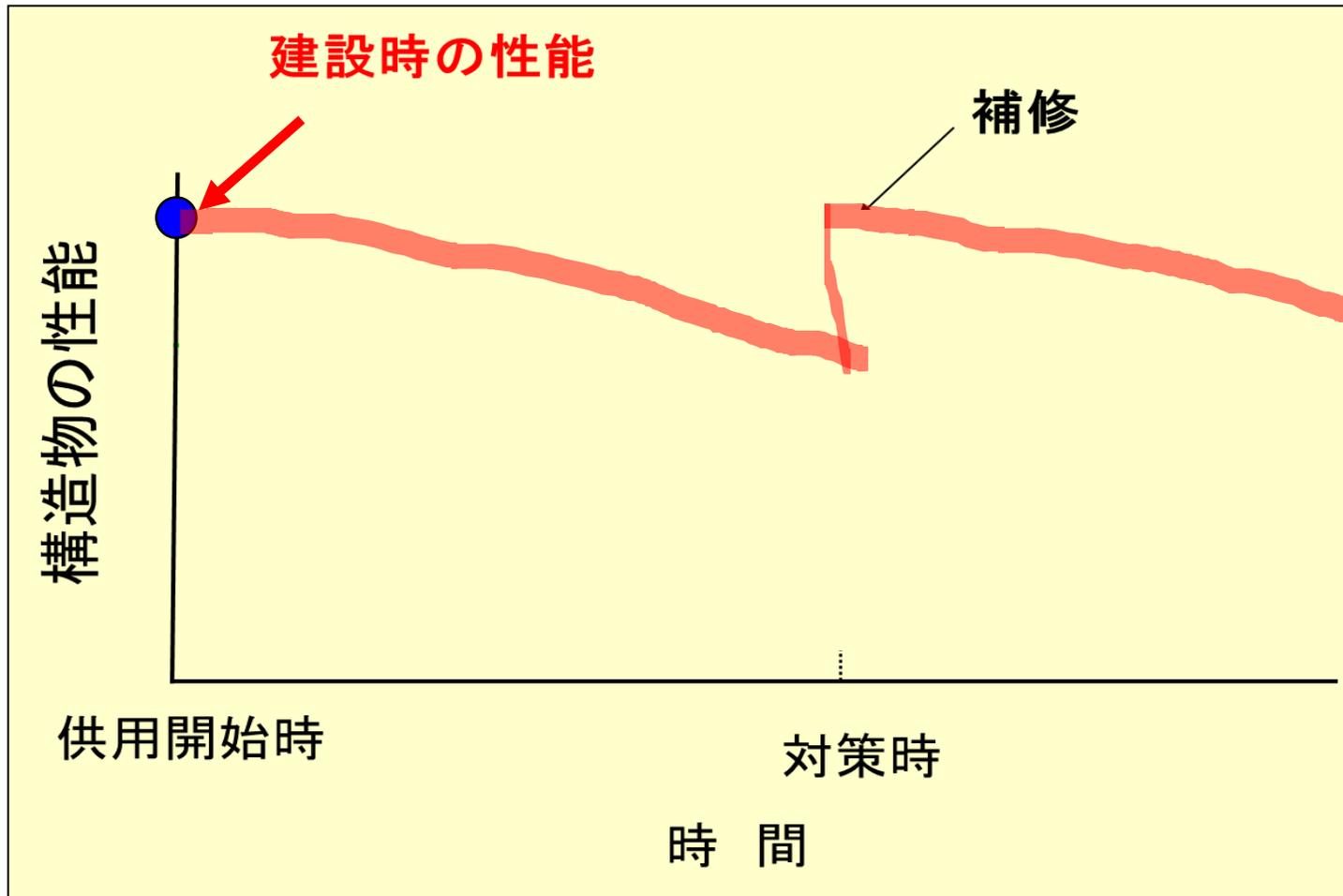


(a) 塩害



(b) 中性化

構造物の性能の時間的変化



維持管理シナリオのパターン

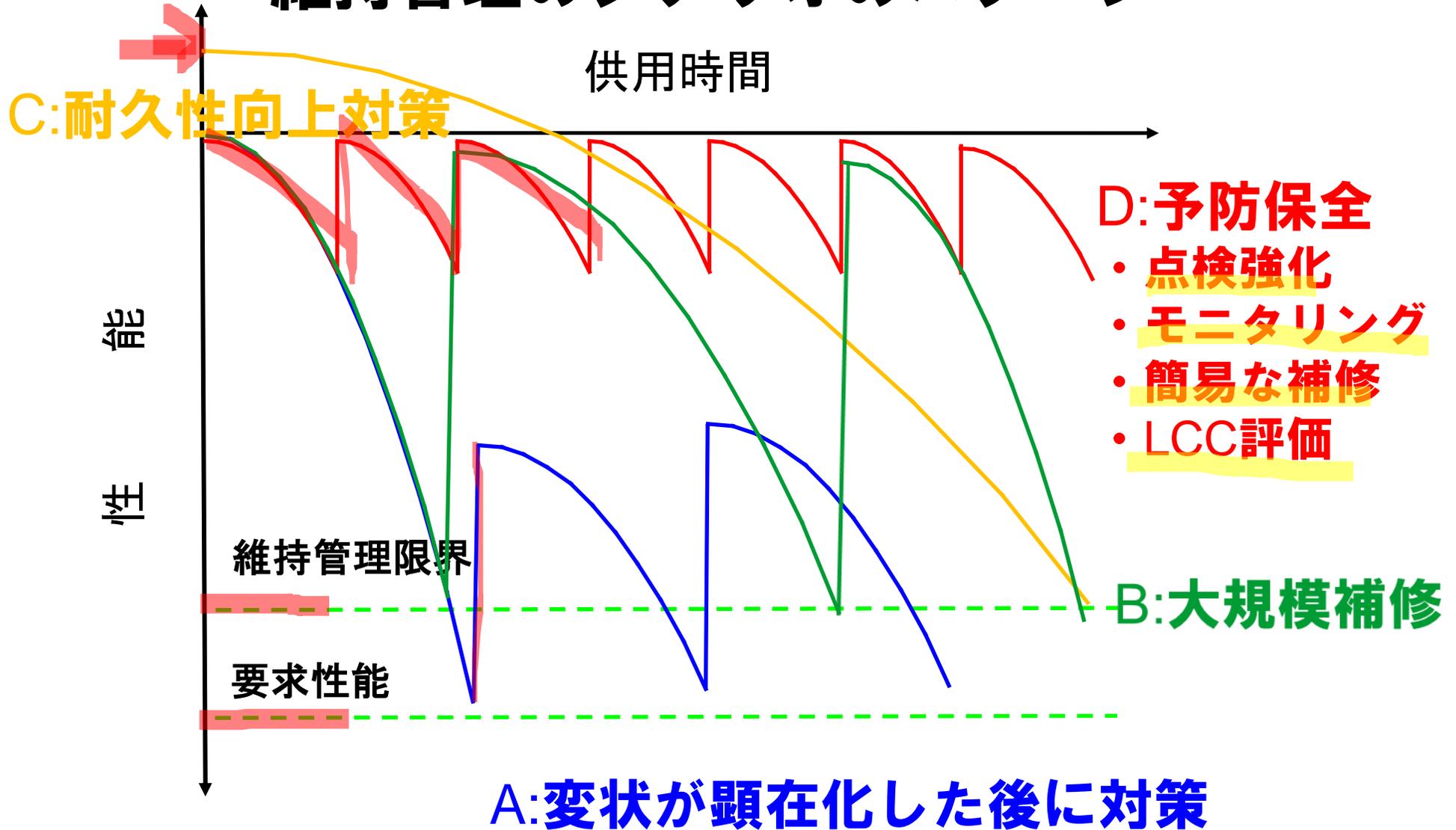
A:劣化が顕在化した後に対策

B:大規模補修で性能回復

C:建設時に耐久性向上対策

D:予防保全

維持管理のシナリオのパターン



● 予防保全の定義

① 土木学会

構造物の異常を検知するごとに修復し、計画的に機能低下防止を図る維持管理。

② 建築分野

使用中での故障を未然に防止し、そのシステム、機器、装置などを使用可能状態に維持するために計画的に行う保全

③ 日本機械学会

システムの円滑な運転状態を維持し、かつ、その信頼性をたかめるため、計画的に点検検査、調整、部品交換などを行って、故障の発生を未然に防止しようとする目的で行う活動

④ コンクリート工学会

劣化をあらかじめ予測し、必要な時期に必要な対策を計画的に実施していくやり方

各分野の「予防保全」の定義や用語の使い方の共通点

① 予防保全の目的:

システム, 機器, 装置の故障の発生を未然に防止することであり, 対象が構造物の場合は, 構造物の機能低下を未然に防止することに相当すると考えられる。

② 予防保全の活動:

- ・点検, 検査, 診断, 調整, 補修など, 機能を回復するための処置が含まれる。
- ・寿命の推定や劣化の予測を行うことがある。
- ・予防保全の活動は計画的に実施される。



予防保全する？



1-2年？

しない



1~5年？

しない



10-20年？

する



1000年,
永遠？

しない

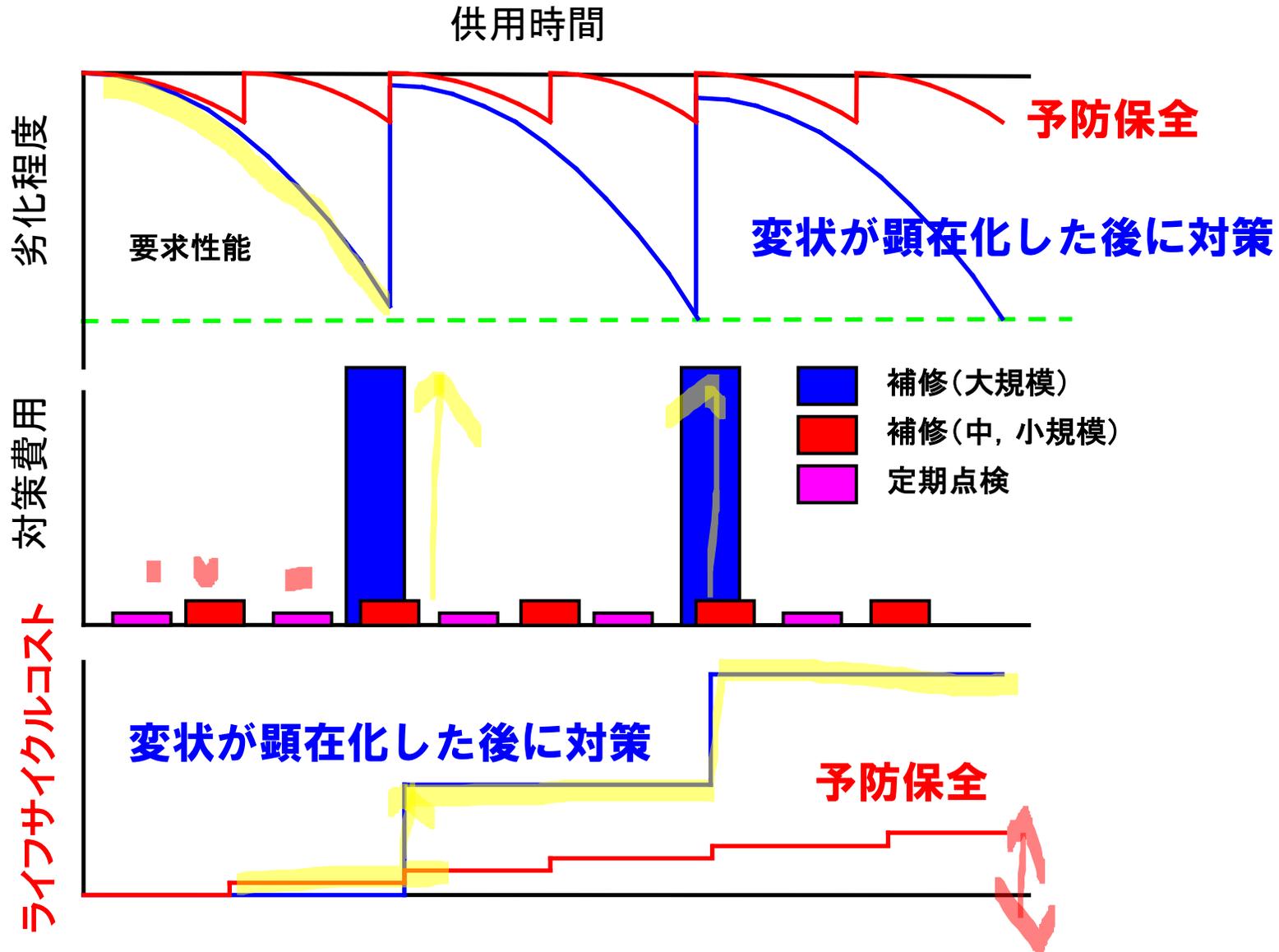
● 予防保全の効果

① 事故の未然防止 ⇒ 安全に

② 構造物の長寿命化 ⇒ 長持ちさせ、有効に

③ ライフサイクルコストの低減 ⇒ 効率的に

予防保全によるライフサイクルコストの低減





長寿命構造物を造るためには どうしたら良いのか



予防保全対策による長寿命化

(鉄筋)
防食
鉄筋

腐食防止

- ・亜鉛めっき鉄筋
- ・樹脂塗装鉄筋
- ・ステンレス鉄筋
- ・CFCC など

(コンクリート)
表面
保護

腐食因子
侵入抑制

- ・表面被覆
- ・表面含浸
- ・UFC
- ・高韌性セメント系材料
- ・耐酸コンクリート など

コンク
リート

長寿命化

コンクリート・鋼材・樹脂（表面保護） のコラボレーション

耐力向上

1890鉄筋コンクリート
1952プレストレスト
コンクリート

長寿命化

(基準類制定)

1987PCM

1983表面被覆

2005表面含浸

2007高韌性セメント系

複合材料(合成繊維)

コン
クリート

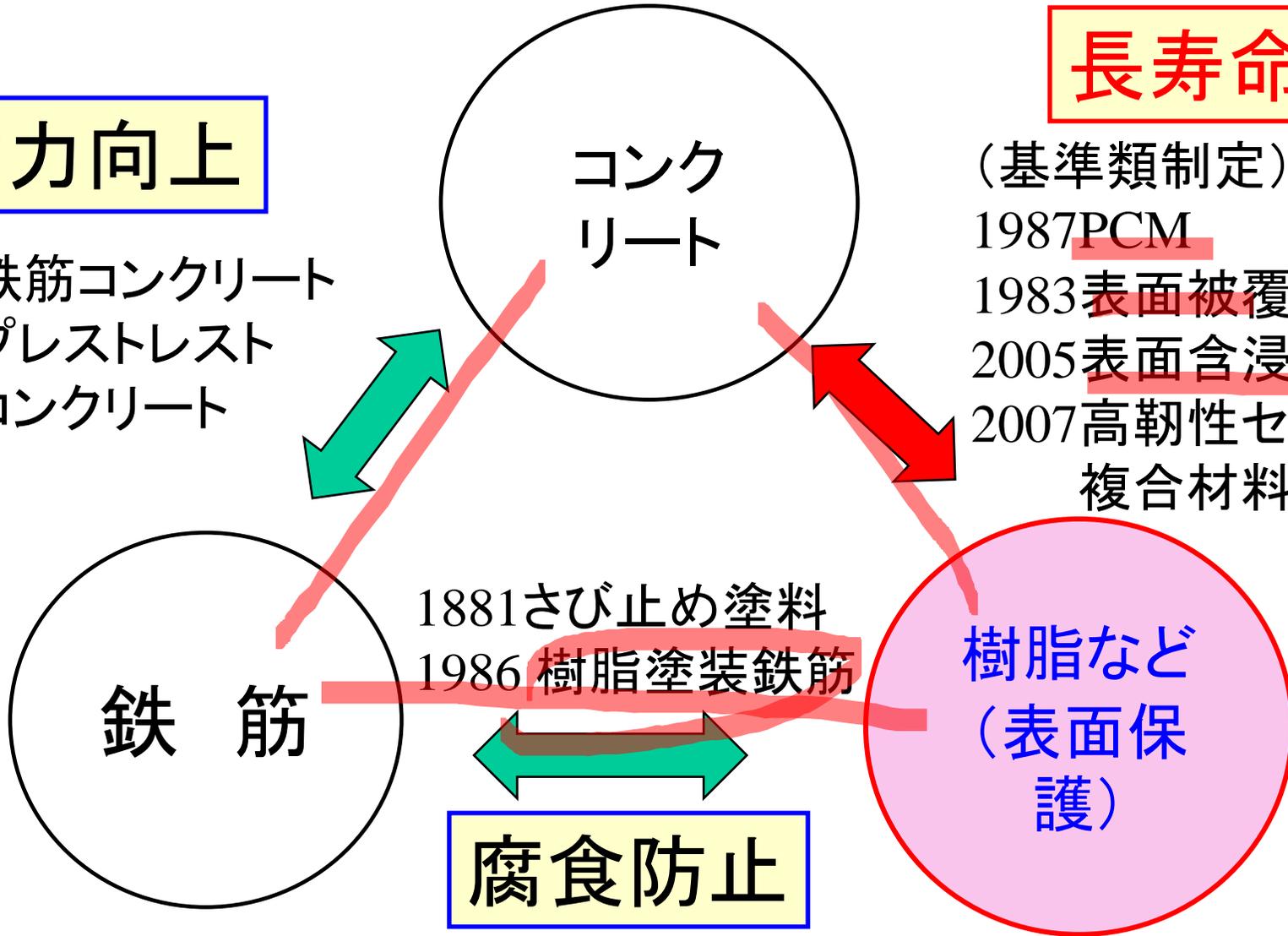
鉄
筋

1881さび止め塗料

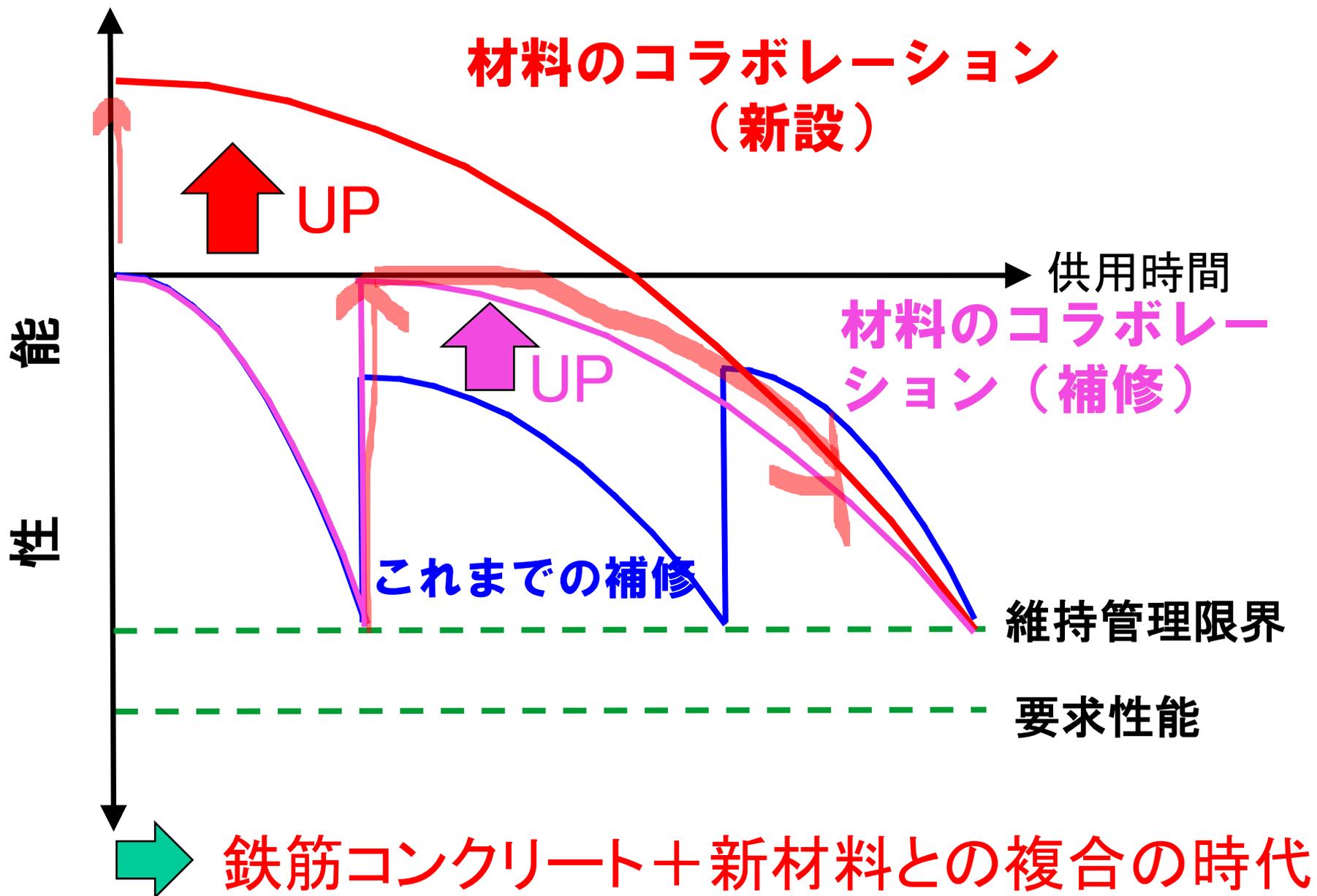
1986樹脂塗装鉄筋

樹脂など
(表面保
護)

腐食防止



メンテナンス計画のシナリオ（例）



●長寿命化のための予防保全技術の例

①環境外力の評価技術

- ・飛来塩分量測定(塩害)
- ・飛来塩分シミュレーション解析
- ・水掛かりの定量的評価

②構造物の状態評価技術

- ・センサを用いたモニタリング技術
- ・レーザ, カメラ, ビデオを用いた観察
- ・ドローンの活用

③構造物の耐久性向上技術, 補修技術

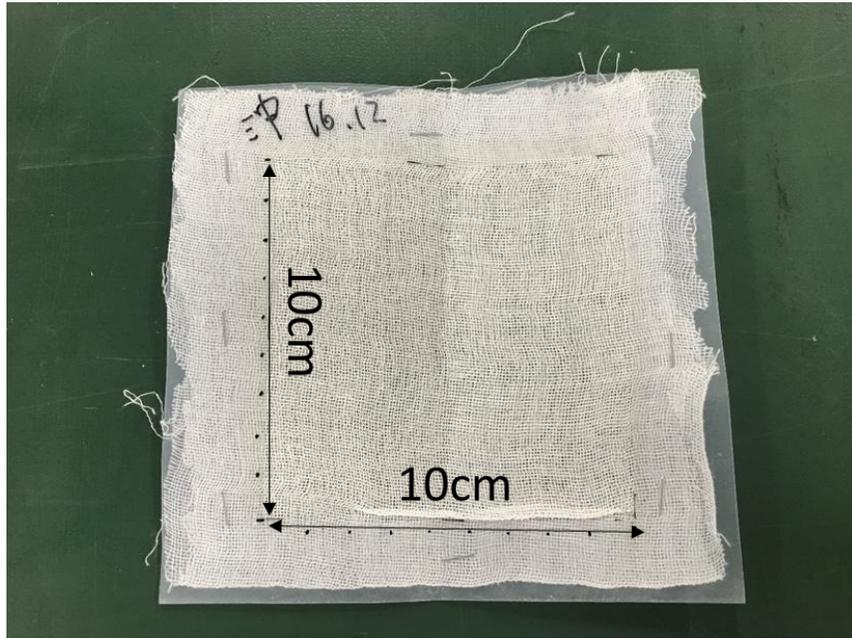
- ・表面含浸工法
- ・表面被覆工法
- ・電気化学的補修工法
- ・鉄筋防食工法

① 環境評価技術

塩害の環境評価

飛来塩分量測定(ドライガーゼ法)

JIS Z 2382



ドライガーゼプレート



捕集枠

分析方法

- ① 化学分析
- ② 蛍光X線分析



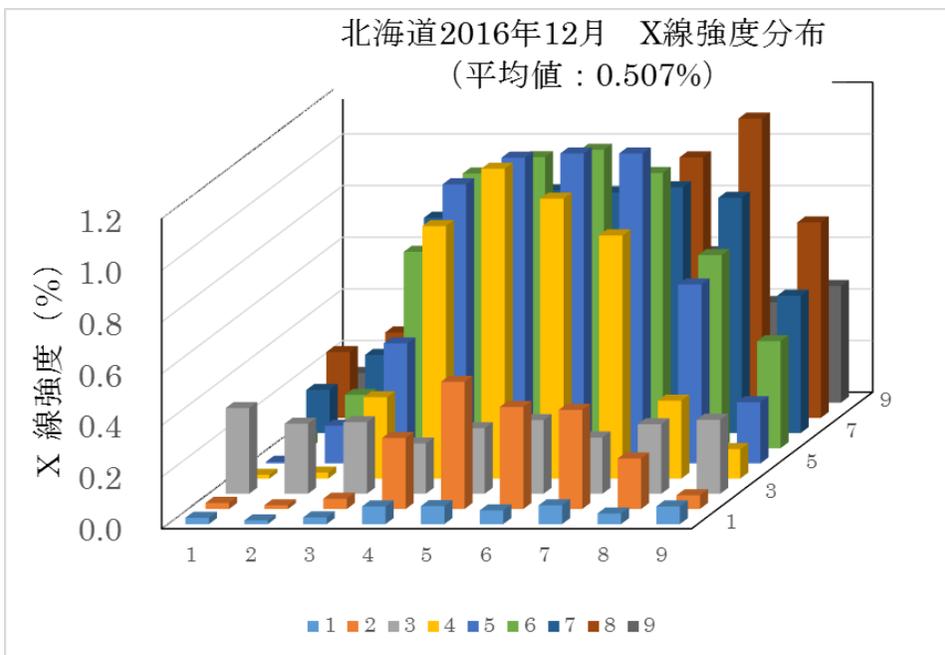
ハンドヘルド蛍光X線分析計

⇒X線強度(%)

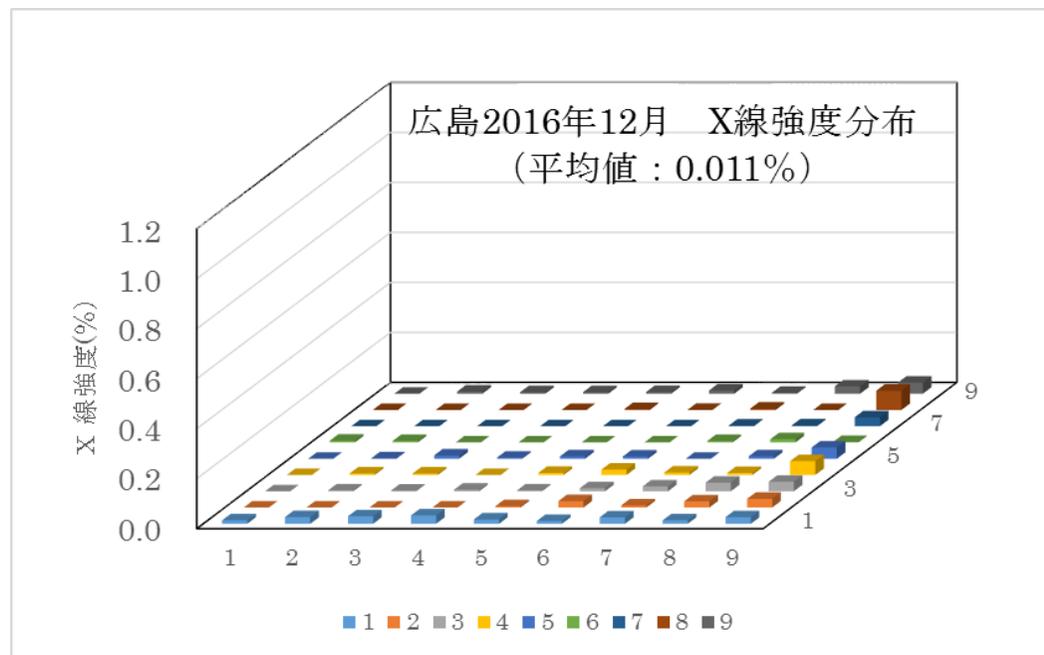


ガーゼと測定位置

蛍光X線分析による分析結果



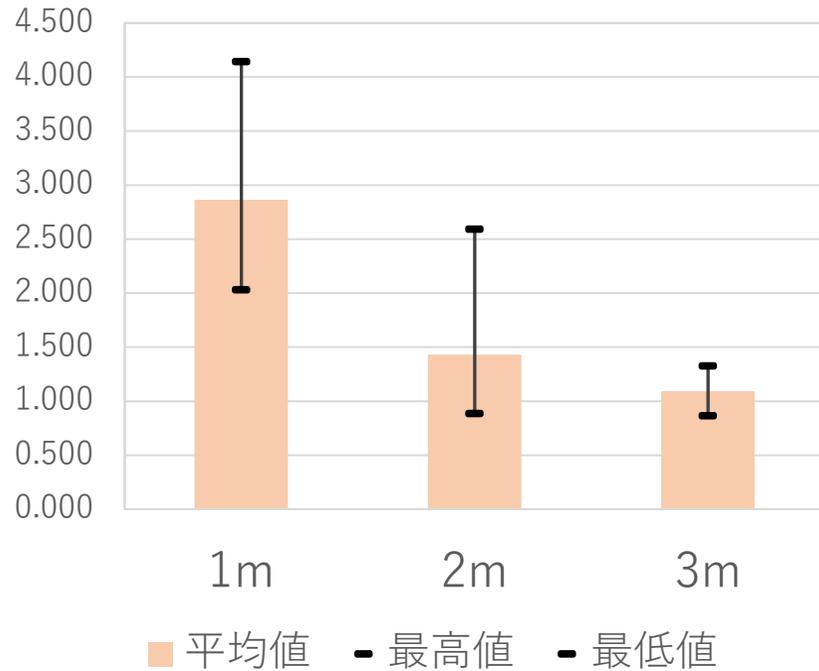
北海道におけるガーゼ内の塩分の分布



広島におけるガーゼ内の塩分の分布

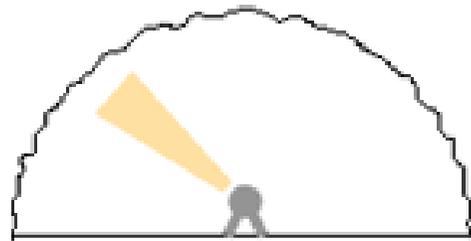
ポータブル蛍光X線装置による コンクリート表面の付着塩分量の測定

護岸ブロック

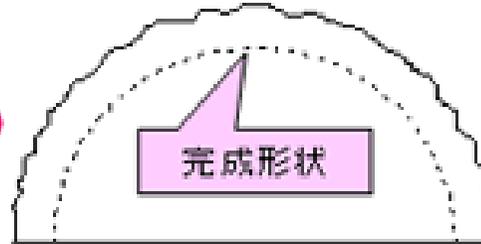


② 構造物の状態評価技術 (調査・診断技術)

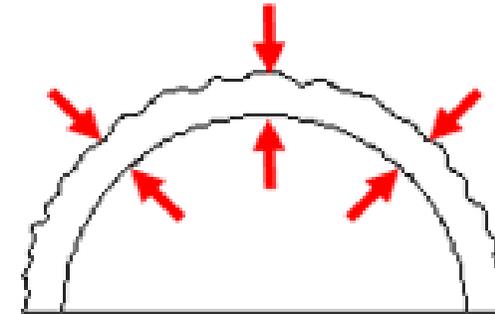
3Dレーザースキャナー



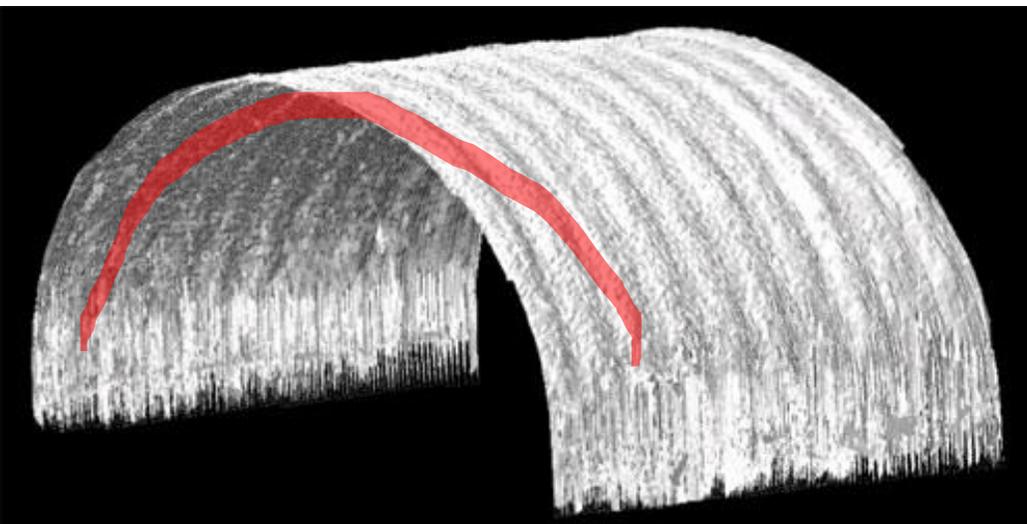
支保工形状計測



設計断面とリンク



巻き厚を算定



トンネル形状の表現

●測定方法

- ・測定対象物に触れることなく、レーザーによって、構造物などの3次元座標(点群)データを瞬時に取得
- ・測定時間は360°回転して5~15分程度
- ・計測精度は20mで2~20mm程度

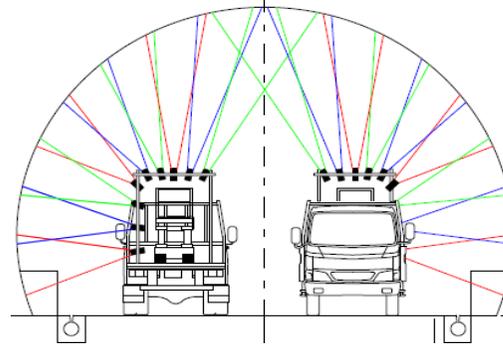
●実施例

- ・トンネル2次覆工の内空変位
- ・構造物の出来形計測

●適応範囲

内空変位, ひび割れ, はく離・はく落

デジタルビデオ



●測定方法

- ・複数台の3CCDデジタルビデオカメラを用いて構造物を撮影し、コンクリート表面の状態を画像化
- ・目視点検と同様な効果
- ・デジタル処理を行うことにより、ひび割れ、漏水等の変状を検出

●実施例

- ・トンネル内空モニタリング
- ・床版下面モニタリング

●適応範囲

内空変位, ひび割れ, 漏水, はく離・はく落

デジタルカメラを用いたひび割れ計測

コンクリート擁壁

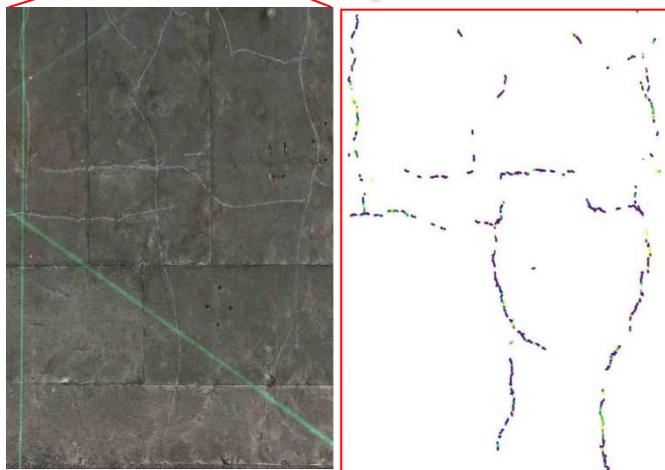
- ・長さ：15.3m、高さ3.4～5.0m
- ・測定面積：64m²

撮影距離 19m

使用カメラ

- ・一眼デジタルカメラ
- ・有効画素数：~~2400万画素~~
- ・望遠レンズ：80-400mm

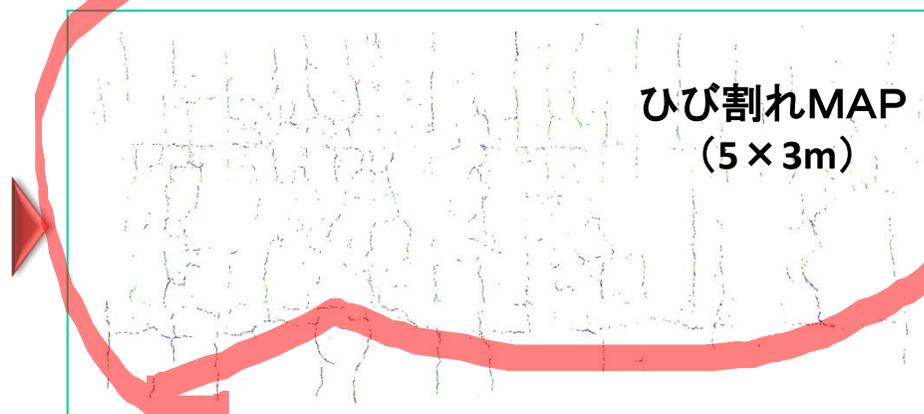




(12区画, 1区画:概ね1.4 × 0.9m)

①デジタルカメラ(5,000万画素)と望遠レンズを用いて 床版表面を12分割して撮影

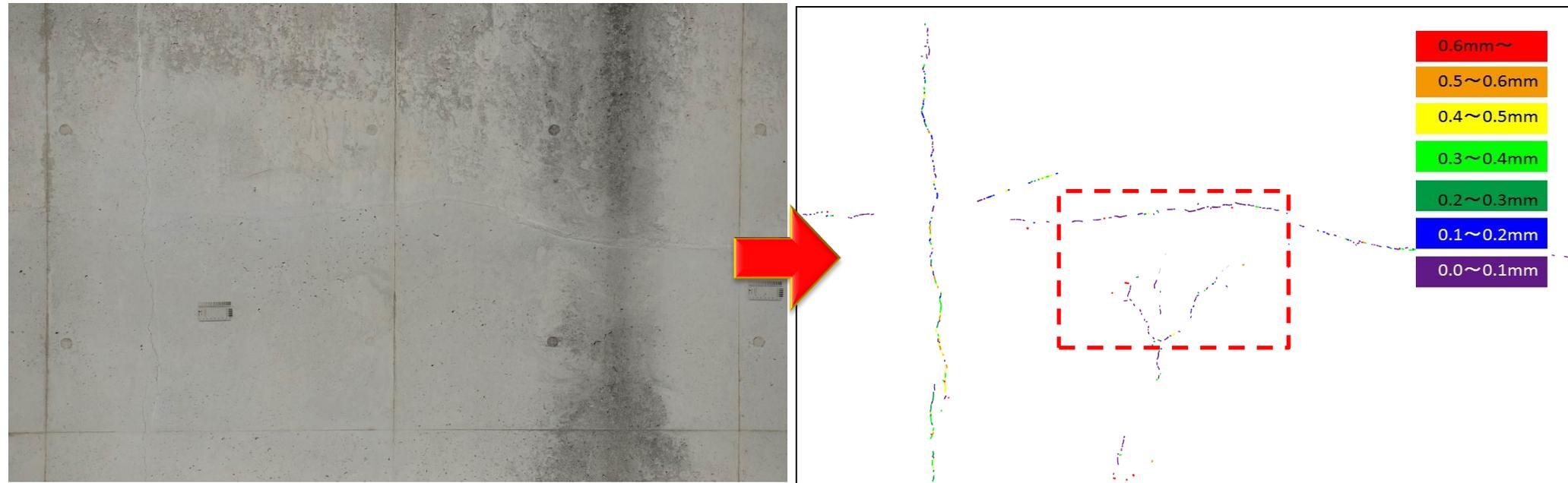
②画像処理により,幅0.1mmまでのひび割れを抽出(室内作業)



③ひび割れ抽出図を合成し,ひび割れMAPを作成(室内作業)

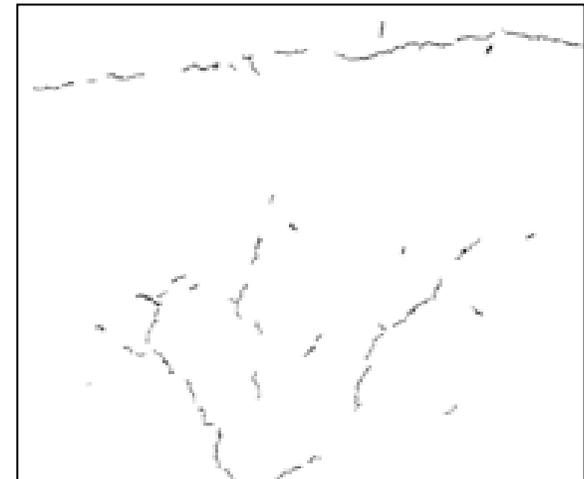
近接することなく, ひび割れの測定が可能 (高所作業車不要)

ひび割れの抽出結果



0.1mmまで識別可能

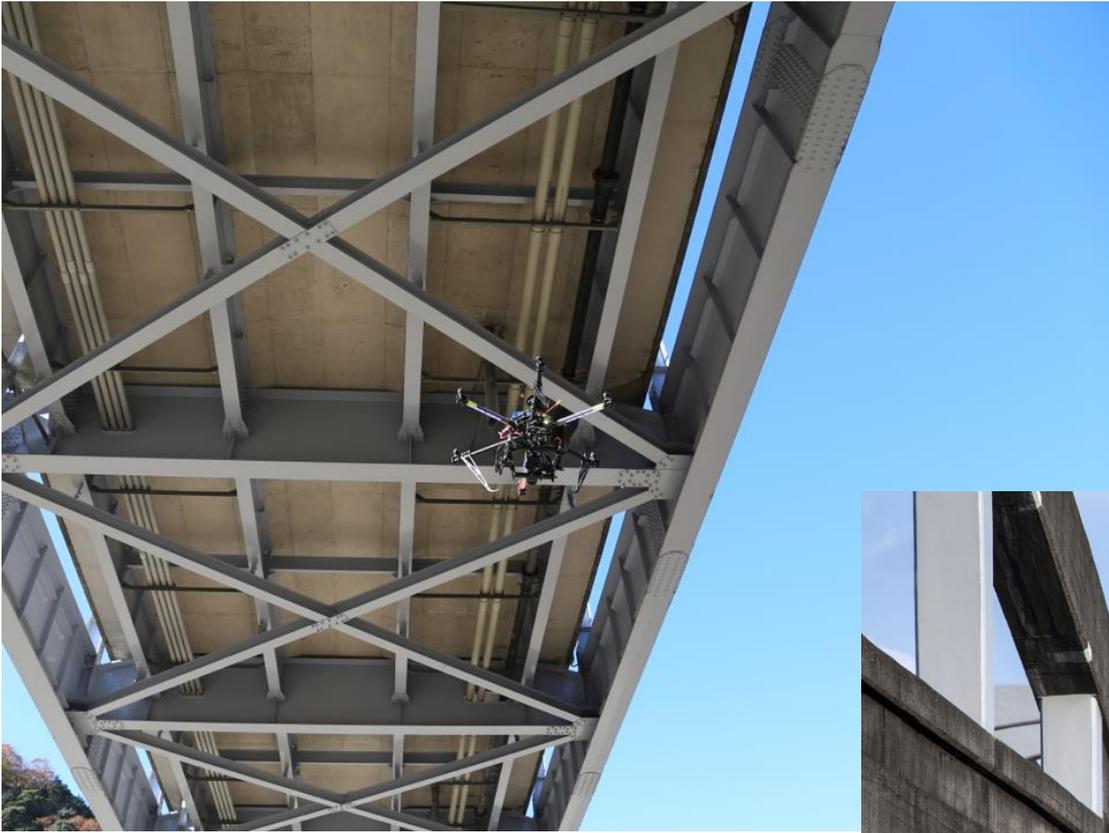
- 元画像とひび割れ抽出画像の比較
- ひび割れ位置の確認
- ひび割れデータベースの作製



拡大

ドローンの活用



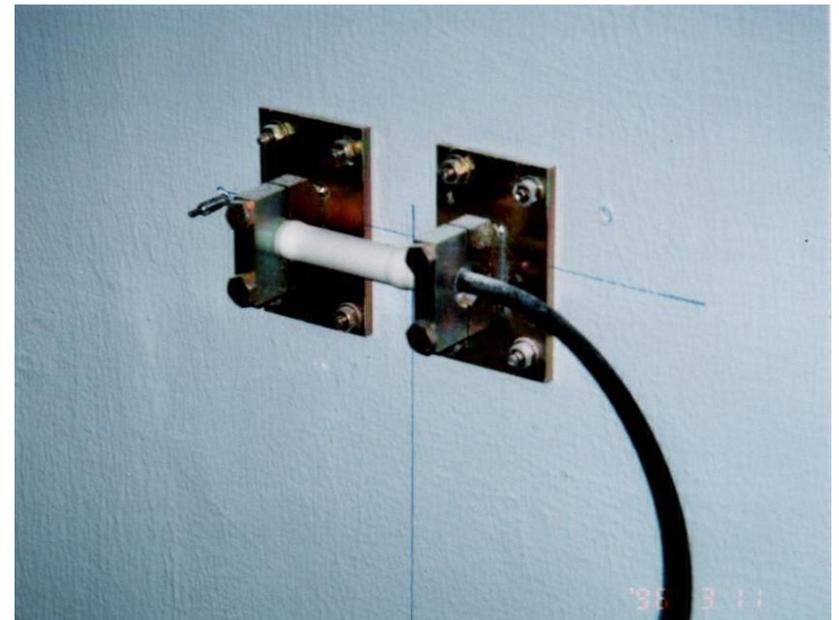
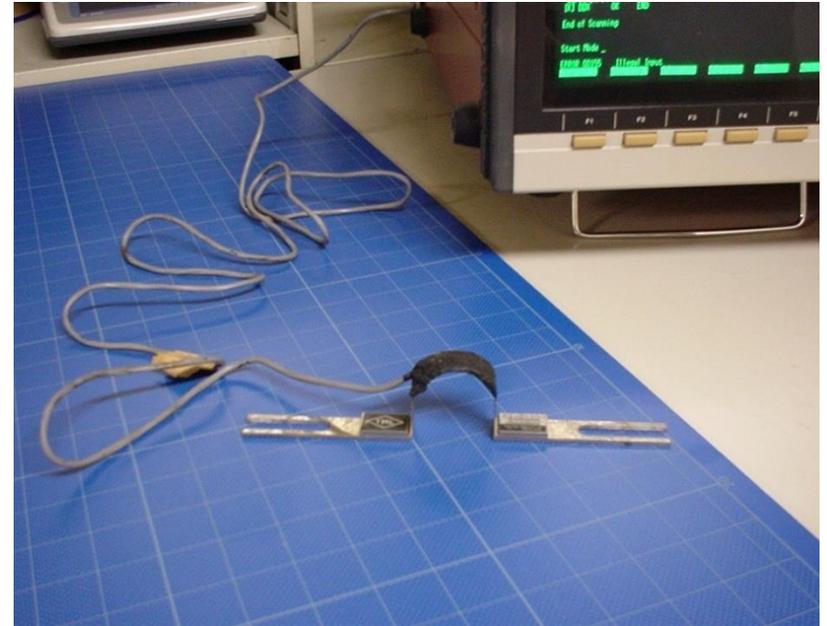


コンクリート構造物のモニタリング技術

計測項目	モニタリング技術（センサ以外も含む）
コンクリート表面のひび割れ、浮き、剥離など	<ul style="list-style-type: none"> ・目視観察による変状マップ ・高精度デジタルカメラ ・赤外線サーモグラフィ ・レーザ光線による画像計測 ・CCDデジタルビデオカメラによる画像計測
ひずみ、ひび割れ、変位	<ul style="list-style-type: none"> ・光ファイバー計測 ・振動式ワイヤひずみゲージ
コンクリート中の温度	<ul style="list-style-type: none"> ・光ファイバー計測 ・振動式ワイヤひずみゲージ
コンクリートの塩化物イオン量（表面、内部）	<ul style="list-style-type: none"> ・塩化物イオンモニタリングセンサ（内部） ・ポータブル蛍光X線（表面） ・近赤外線法（表面）
コンクリート内部の破壊、劣化	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易AEセンサー ・打音検査システム（FFT解析など波形分析） ・ICタグ付きセンサー
鋼材の応力	<ul style="list-style-type: none"> ・EM（磁歪）センサー
鋼材の腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋腐食ミニセンサー（自然電位、分極抵抗） ・アノードラダー、エキスパンションリング
構造物の挙動、変位	<ul style="list-style-type: none"> ・3Dレーザスキャナー ・ラインゲージ変位計測 ・常時微振動
振動	<ul style="list-style-type: none"> ・FBG加速度計 ・サーボ型加速度計 ・レーザトッブラー加速度計

●モニタリング技術

(1) ひび割れ幅の変化



各種のセンサーを用いたコンクリートのひび割れ幅測定

ひずみゲージ

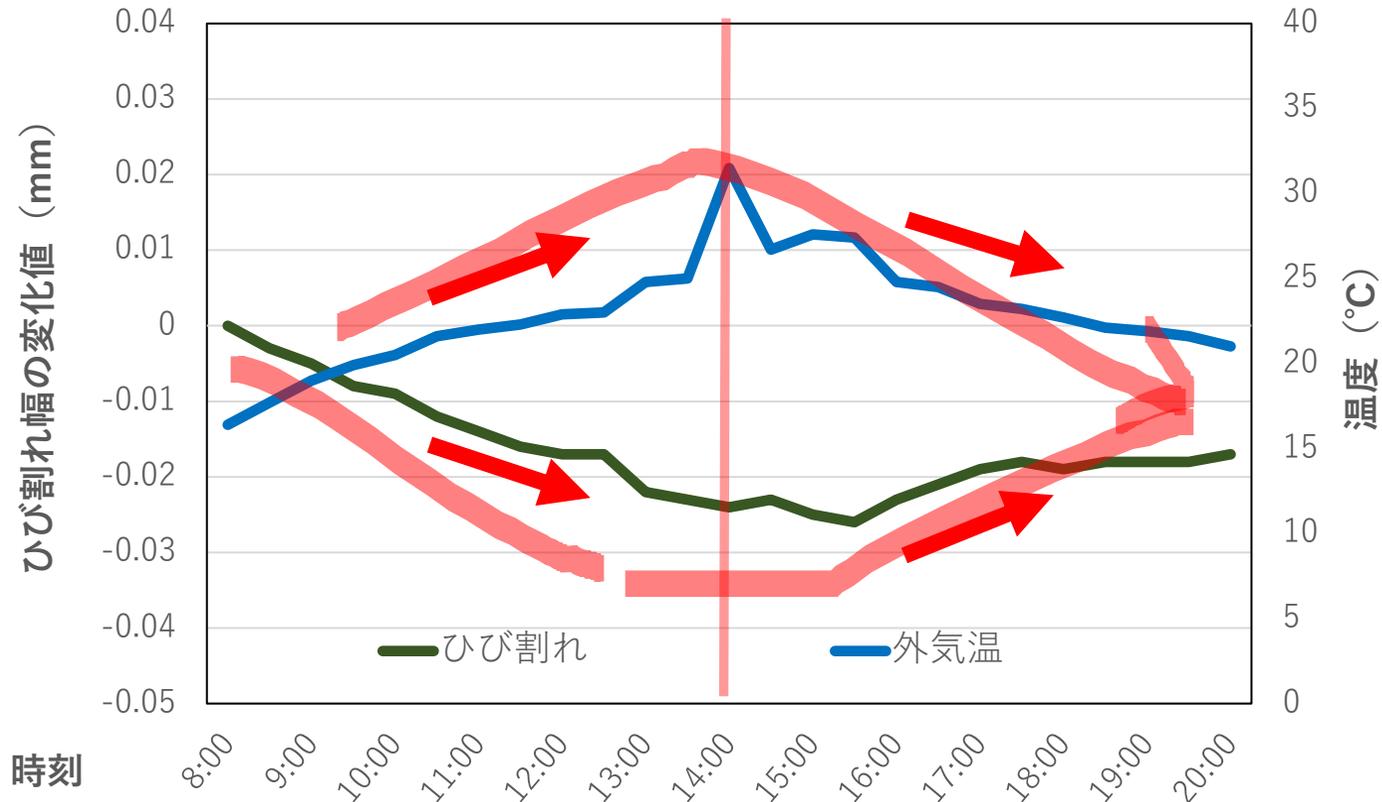


ワイヤーゲージ

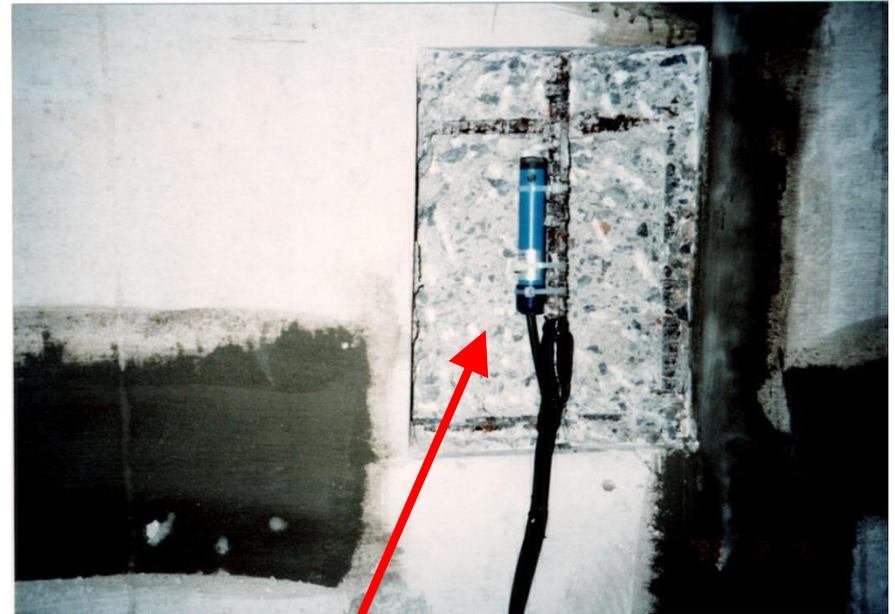
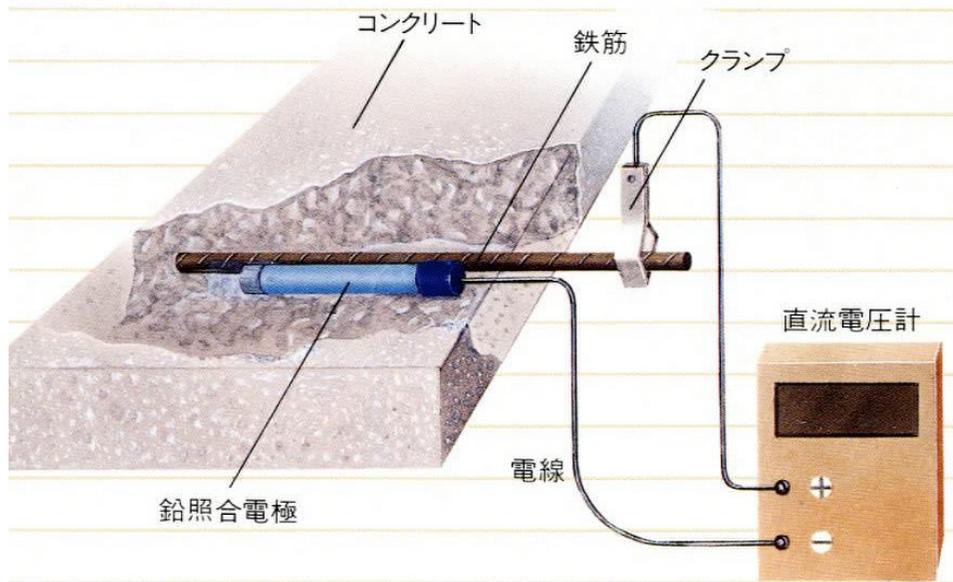


ひび割れ幅の変動

10月10日 8:00~20:00 日較差15°C



(2) 埋込み型自然電位計による鉄筋腐食モニタリング

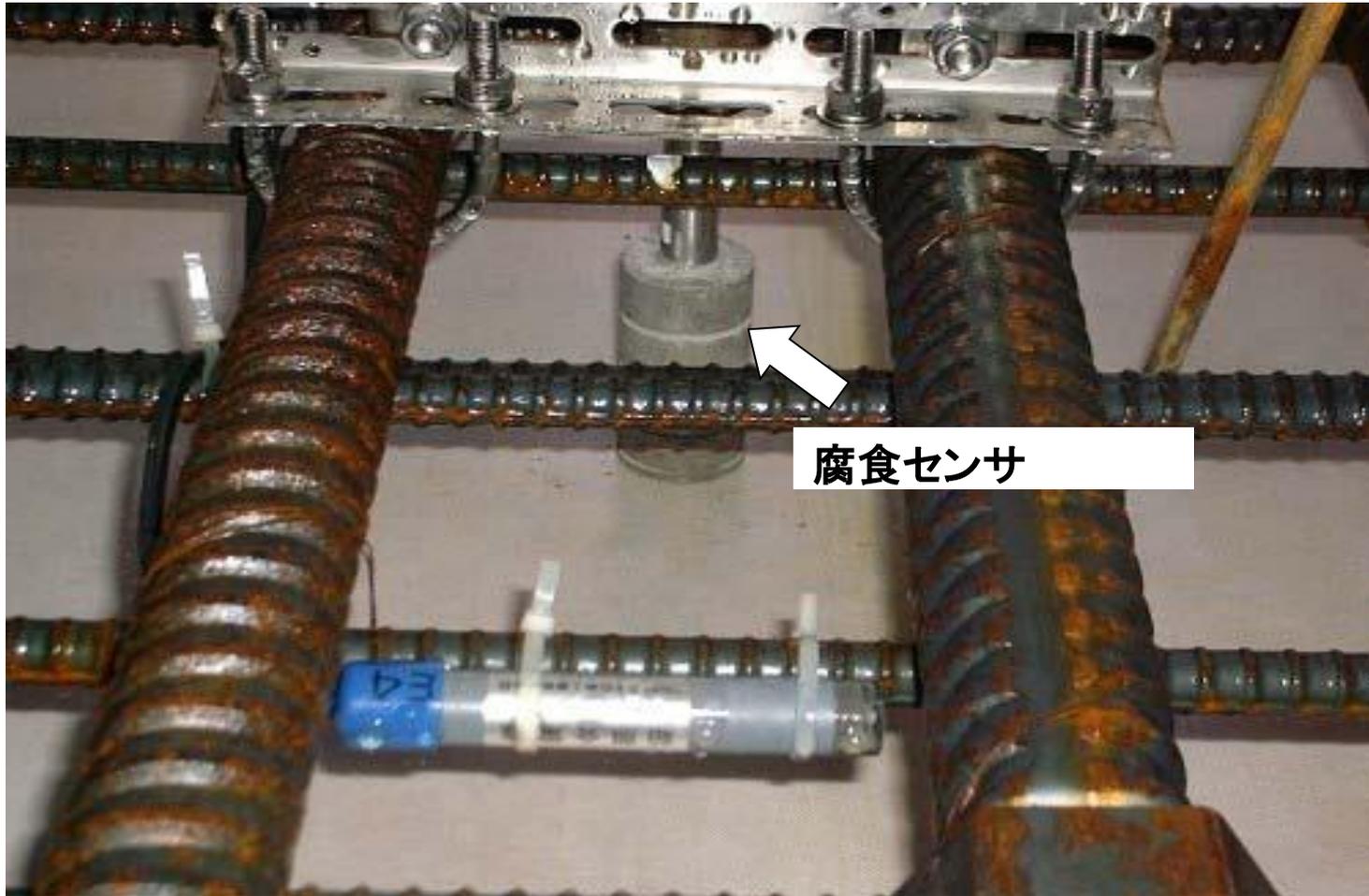


$$E = [-799 + 0.24X(t - 25)]$$

E: 測定値(mV)

t: 測定値の温度(°C)

電極：鉛照合電極



塩化物イオン計測用腐食センサ

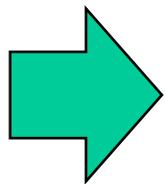
③ 耐久性向上技術
補修技術

表面保護工(塗装)

エポキシ樹脂



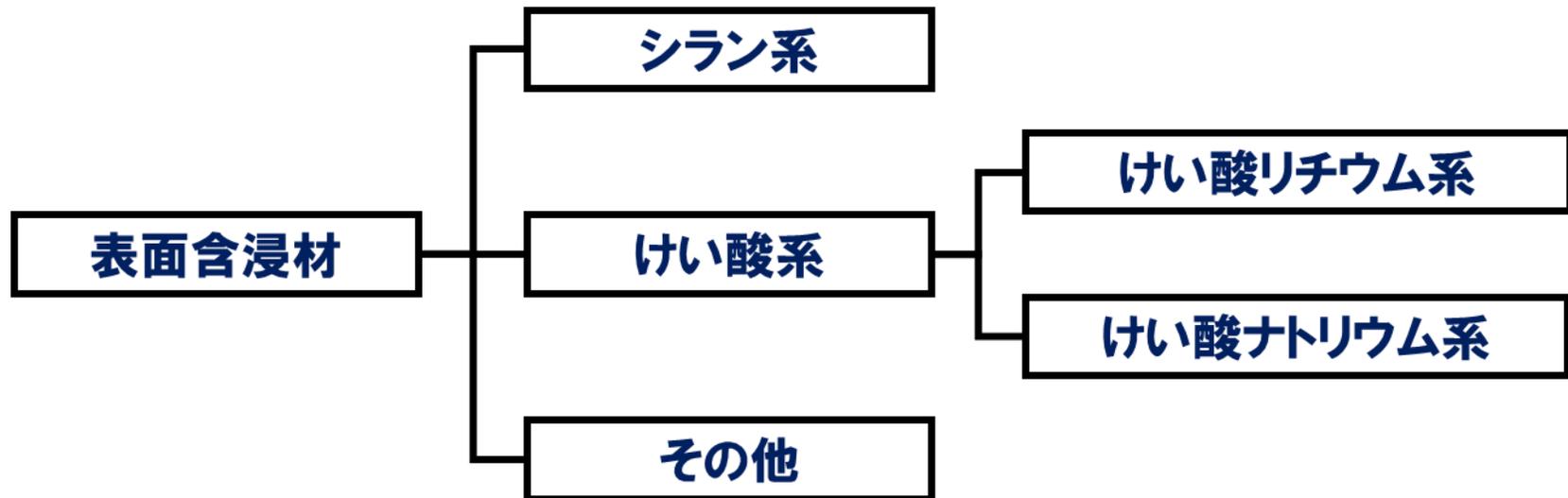
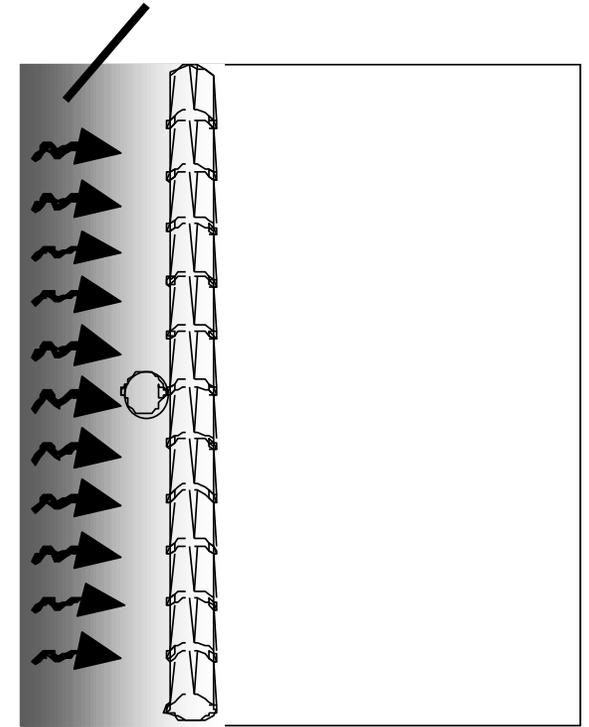
ポリマーセメント



塩化物イオンや二酸化炭素の侵入を抑制し、内部の鉄筋腐食を防ぐ。

表面含浸工法

コンクリート表面に塗布した表面含浸材がコンクリート内部に含浸して、劣化因子の侵入抑制、または新たな性能を付与する効果をもたらす工法であり、一般に、コンクリート表面に塗膜を形成しないものが多い。



表面含浸工法の特徴

[適用される構造物]

- ・様々な構造形式に対応

[損傷状態および損傷原因の特徴]

- ・脆弱なコンクリート部(比較的軽微)
- ・表面の微細なひび割れ
- ・漏水

[補修目的]

- ・**予防保全**
- ・落書き対策(防汚)

[その他]

- ・塗布量0.1～0.4 kg/m²程度
- ・適用後の外観の変化が少ない
- ・再施工する場合、前処理が不要(再度含浸可能)

表面含浸工法の例（塩害、中性化の補修の場合）

基本性能 『**けい酸リチウム系含浸材**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』を付与



- 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劣化因子の侵入を抑制するために、けい酸リチウム系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

鉄筋腐食抑制効果(表層部)を併せ持つ表面含浸工法

防食鉄筋（錆びない技術）

- 樹脂被覆鉄筋

 - エポキシ樹脂塗装鉄筋

 - PVB樹脂塗装鉄筋

- 亜鉛めっき鉄筋 (Zn)
- ステンレス鉄筋 (Cr、Ni、Mo)
- 非腐食性補強材 (CF)
- 耐塩性鉄筋 (W、Ni、Cu)
- 塗布型防錆剤 (NO₂など)

エポキシ樹脂塗装鉄筋

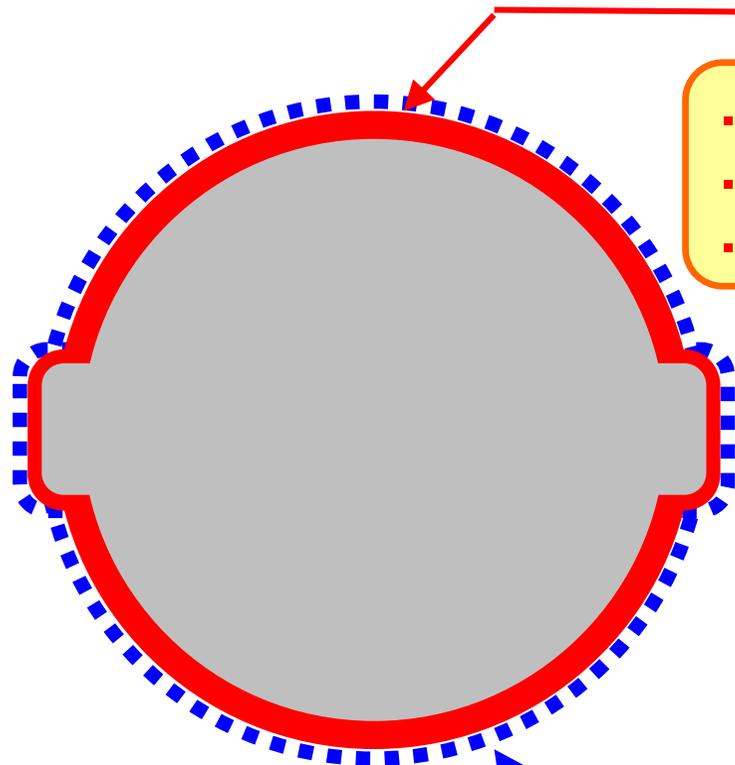


セグメント

橋梁床版
(凍結防止剤
による塩害対策)

PVB樹脂塗装鉄筋

ポリビニルブチラール(PVB)樹脂



- ・防食性の担保
- ・耐アルカリ性
- ・伸び率が高い

柔軟性



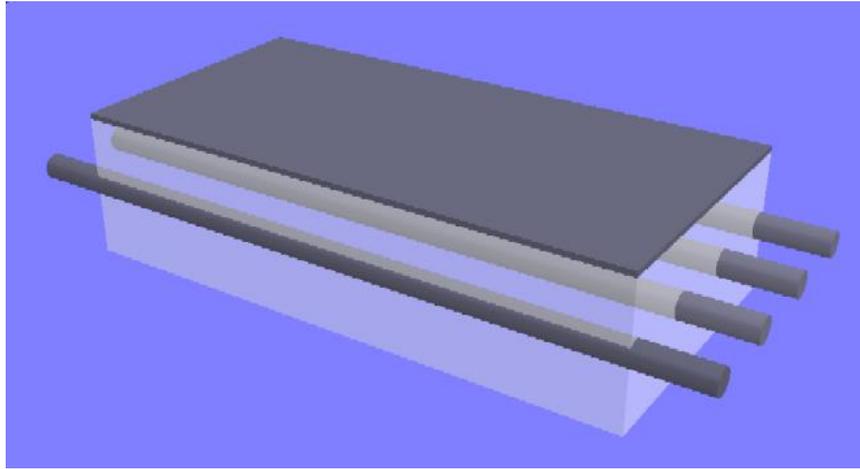
珪砂

- ・コンクリートとの
付着強度向上

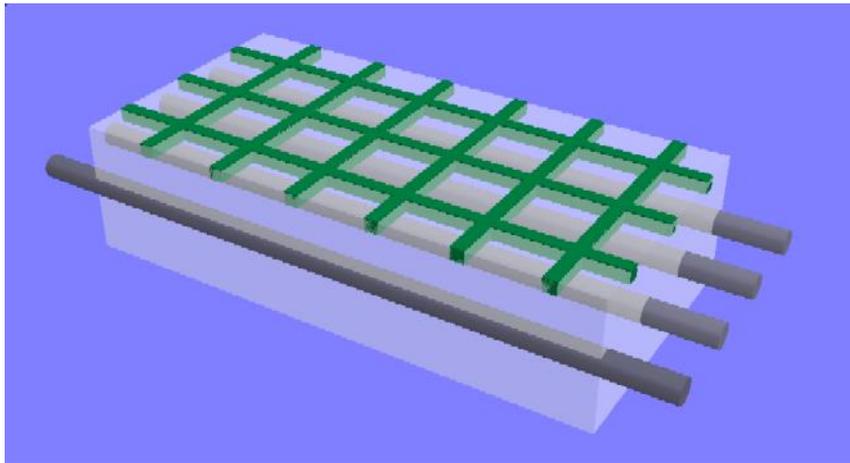
付着性



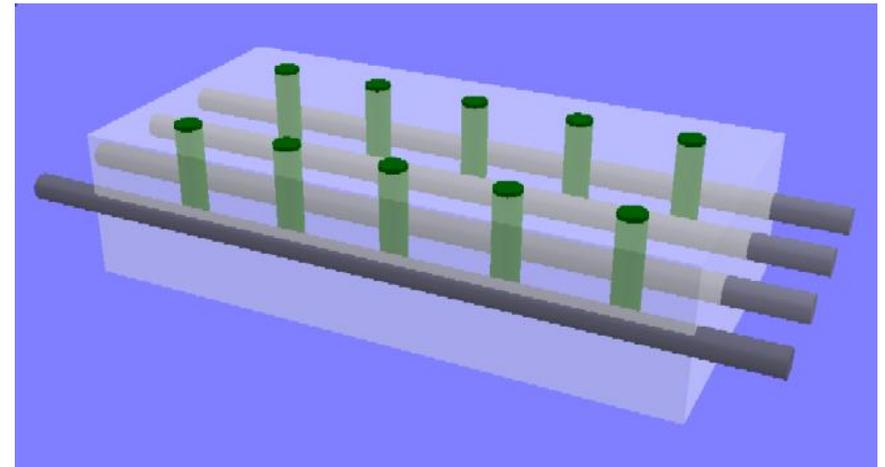
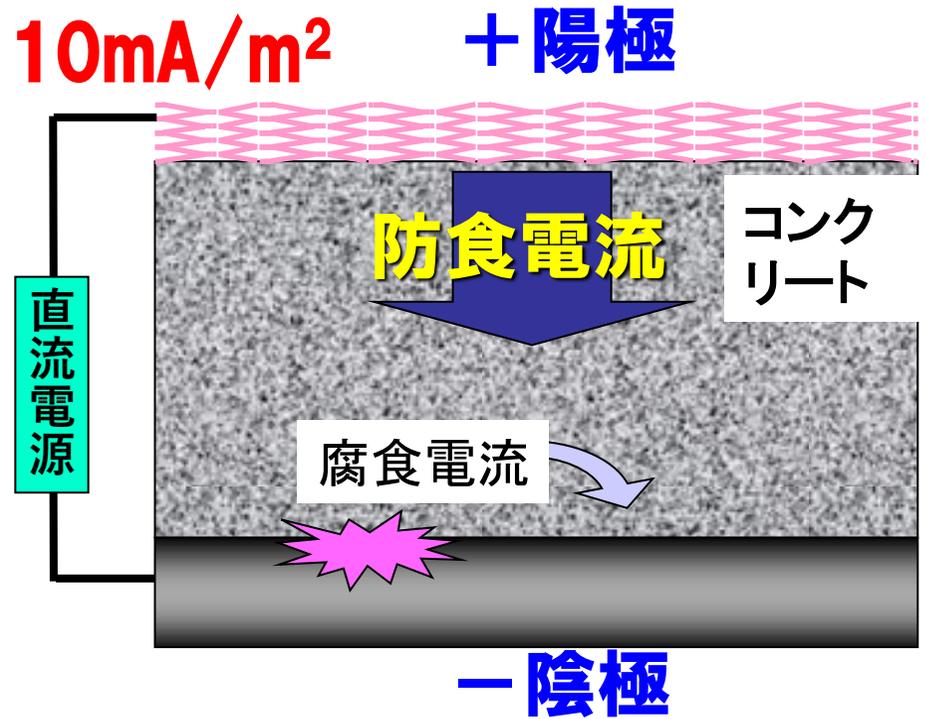
電気防食工法



面状陽極方式



線状陽極方式



点状陽極方式



耐久性向上対策(米:カルフォルニア州)

⇒ **エポキシ塗装鉄筋(一部)、表面被覆、プレキャスト型枠、電気防食**

ご清聴ありがとうございました。