土木学会技術功労賞 受賞記念講演会

# コンクリート構造物の塩害対策

平成26年10月29日

中日本ハイウエイ・エンジニアリング名古屋(株)

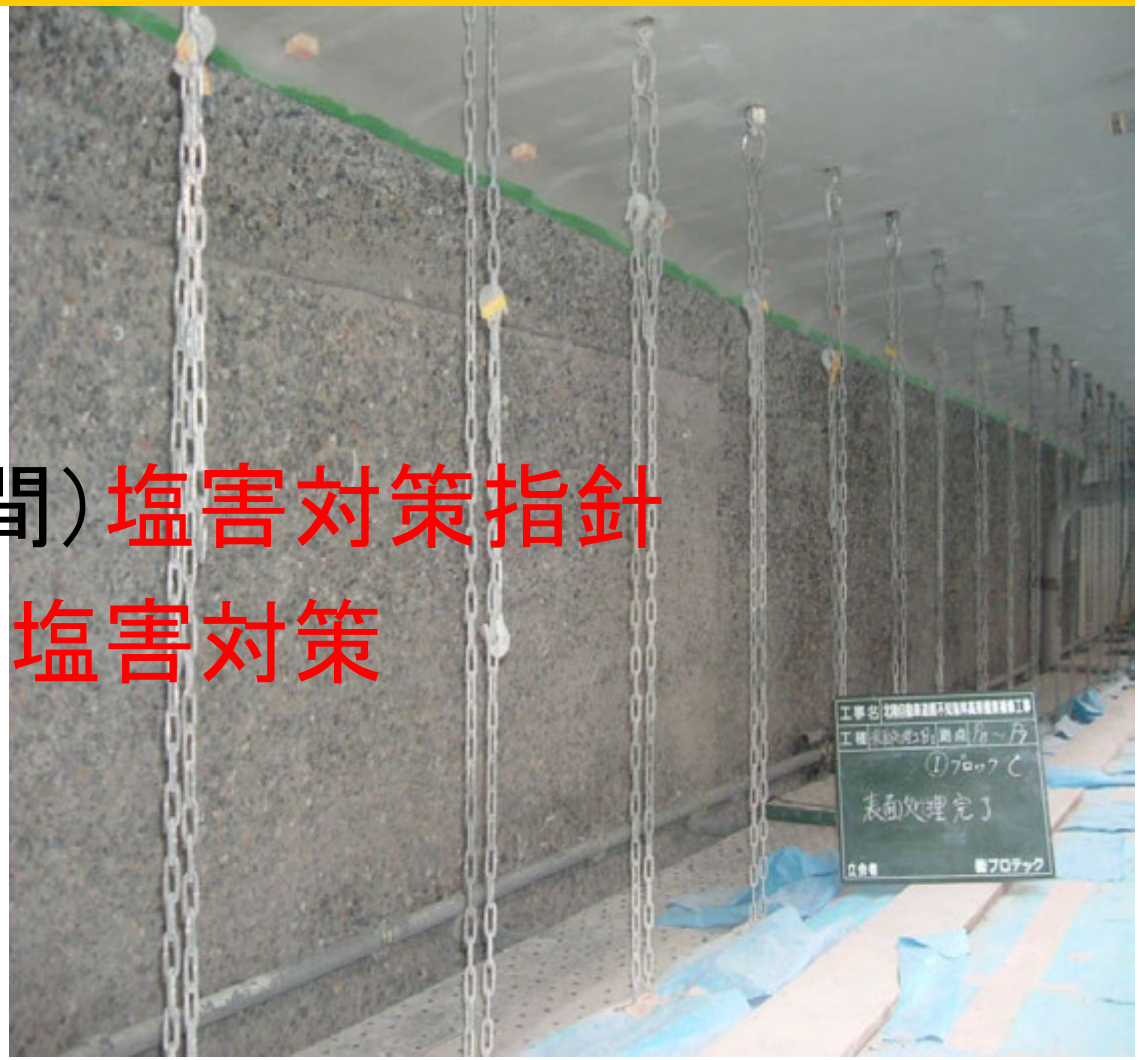
金沢支店　　青山　實伸

# 構　　成

1. 塩害とのかかわり
2. 塩害の基礎知識
3. 実構造物の塩害劣化と塩分浸透状況
4. 塩害の調査・診断・対策
5. 塩害劣化事象の解明
6. 防錆剤を活用した塩害対策とその適用事例
7. RC連結ジョイント

# 1. 塩害とのかかわり

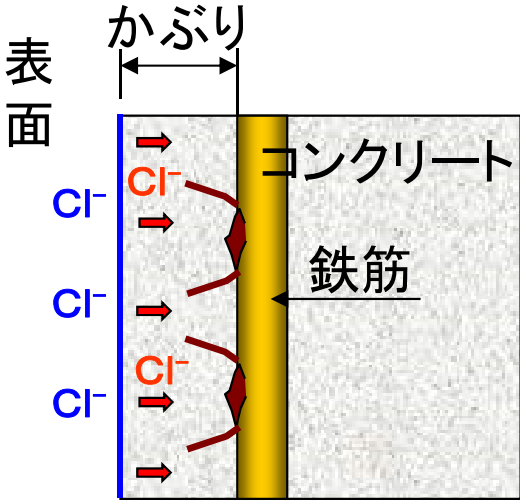
- ○ 塩害とは
- ○ 塩害とのかかわり
- ○ 北陸道（上越～朝日間）塩害対策指針
- ○ 親不知海岸高架橋の塩害対策



# コンクリート構造物の塩害とは

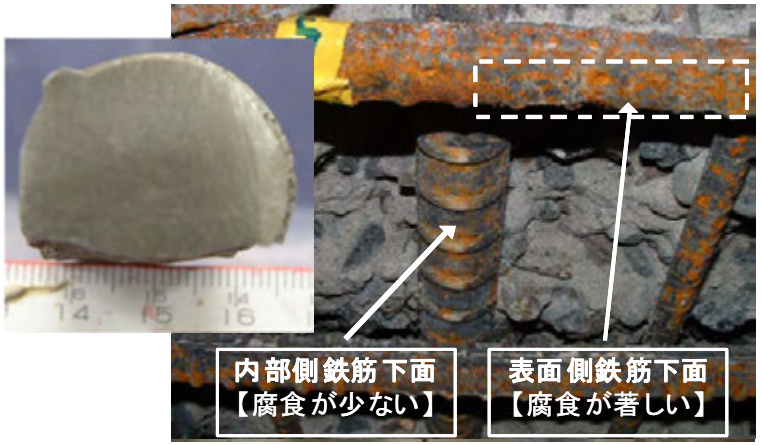
- コンクリート表面に付着した塩分は次第に内部に浸透して，鋼材（鉄筋，PC鋼材）位置である塩化物イオン濃度（塩分）になると、鋼材は腐食を生じ，
- 腐食によって生じた錆は元の体積の約2.5倍になり、その膨張圧によって、コンクリートにひび割れが入り鉄筋との付着力低下、かぶりコンクリートの浮き・はく離、鉄筋断面の減少を招き
- 構造物の耐荷力や安全性が低下する現象

【コンクリート中の鉄筋】

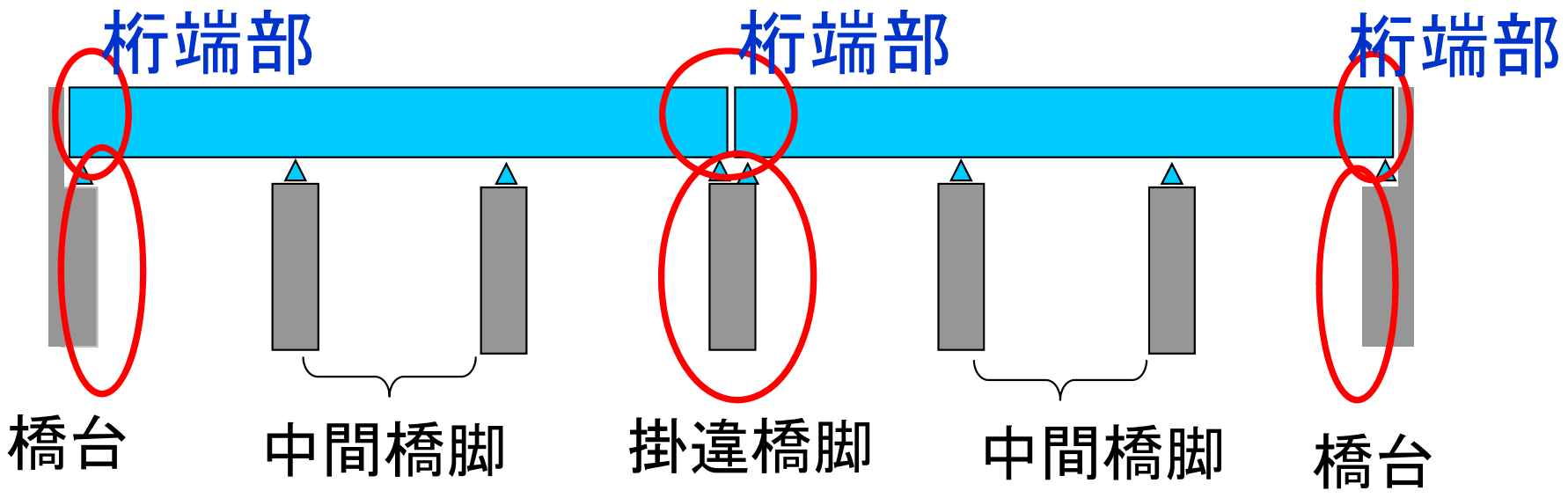


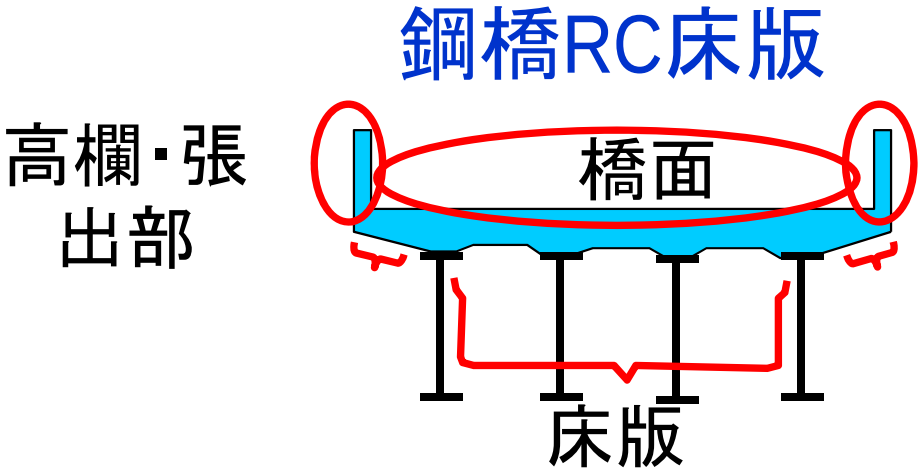

【浮き・はく離の発生】

【鉄筋断面の減少】



# 【参考】橋梁での劣化し易い部位




赤枠：劣化が早い
（水+塩分）

路面水や雨水による乾湿繰り返しの影響を受ける部位

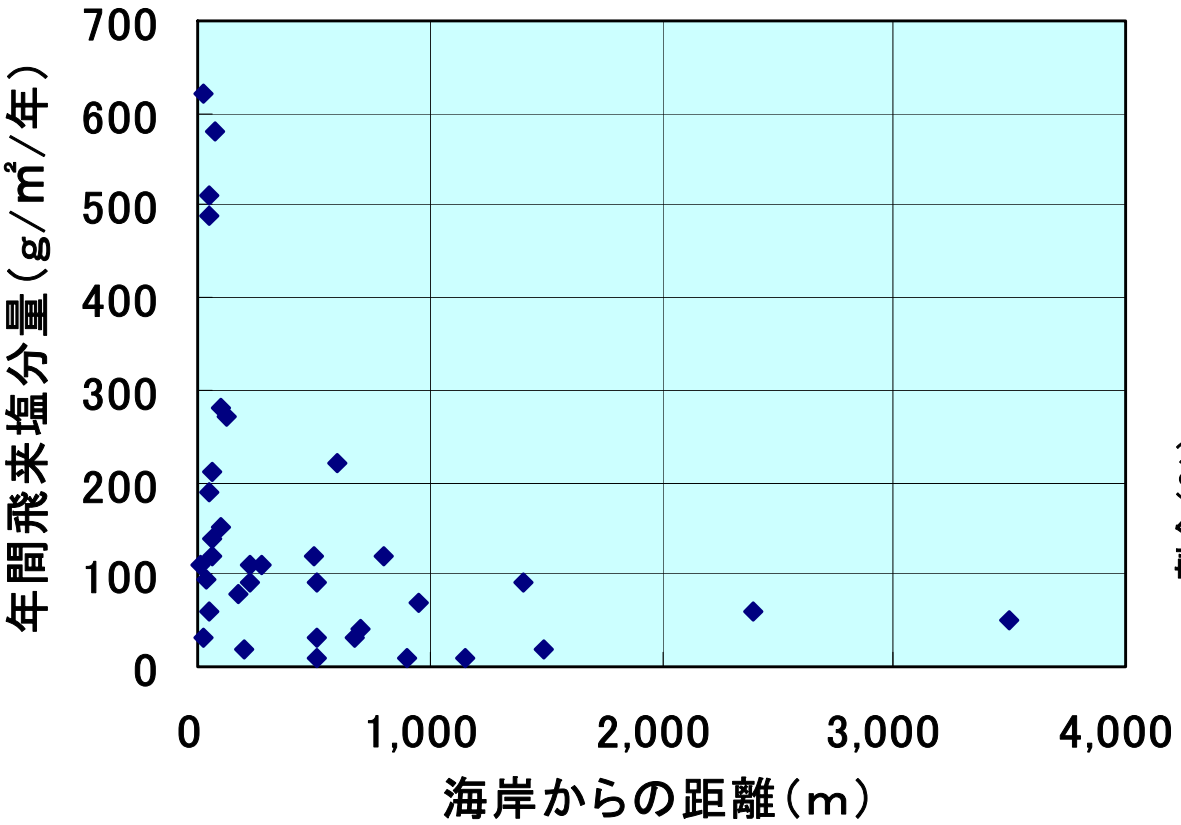
劣化進行は、環境、コンクリート強度・かぶり厚によって異なる

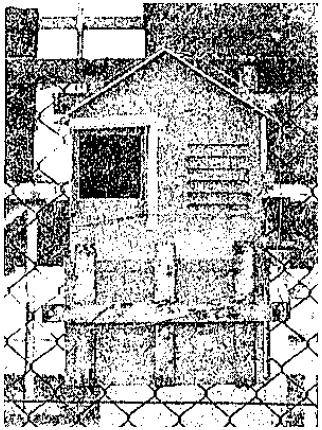
# 塩害とのかかわり

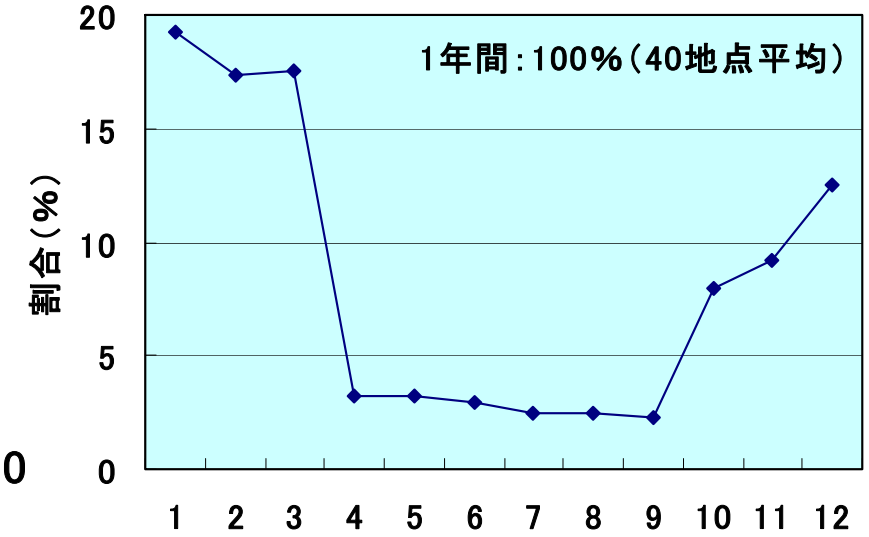
| 年 | 所 属 等 | 調査･研究等 | 成果等 |
|---|---|---|---|
| 1981～84 | 日本道路公団新潟建設局 | 北陸道(上越～朝日間)の海岸部の橋梁の塩害対策、飛来塩分･塩分浸透量 | 「北陸道(上越～朝日間)塩害対策指針」作成 |
| 1985～88 | 同上　魚津工事事務所 | 親不知海岸高架橋を担当、各種塩害対策に係わる | 塗装，エポ筋，防食パネル |
| 1998～2008 | (株)クエストエンジニア<br>【金沢大学大学院(2002～2003)】<br>【2002 試験研究室を設置】 | 海岸橋の塩害対策の評価、各種塩害調査 | 塗装等の有効性を確認<br>塩分浸透性を把握 |
| | | 防錆剤混入モルタルによる塩害対策の研究<br>凍結防止剤による塩害対策 | 海岸橋上部工の塩害予防保全対策への適用<br>NEXCO設計要領への反映 |
| 2008～ | 中日本ハイウエイ･エンジニアリング名古屋(株) | RC連結ジョイント<br>RC部材の中性化対策 | 中小コンクリート橋のジョイントレス化 |

# 北陸道（上越～朝日間）塩害対策指針

【塩害の原因である飛来塩分調査
（上越～小松間）】



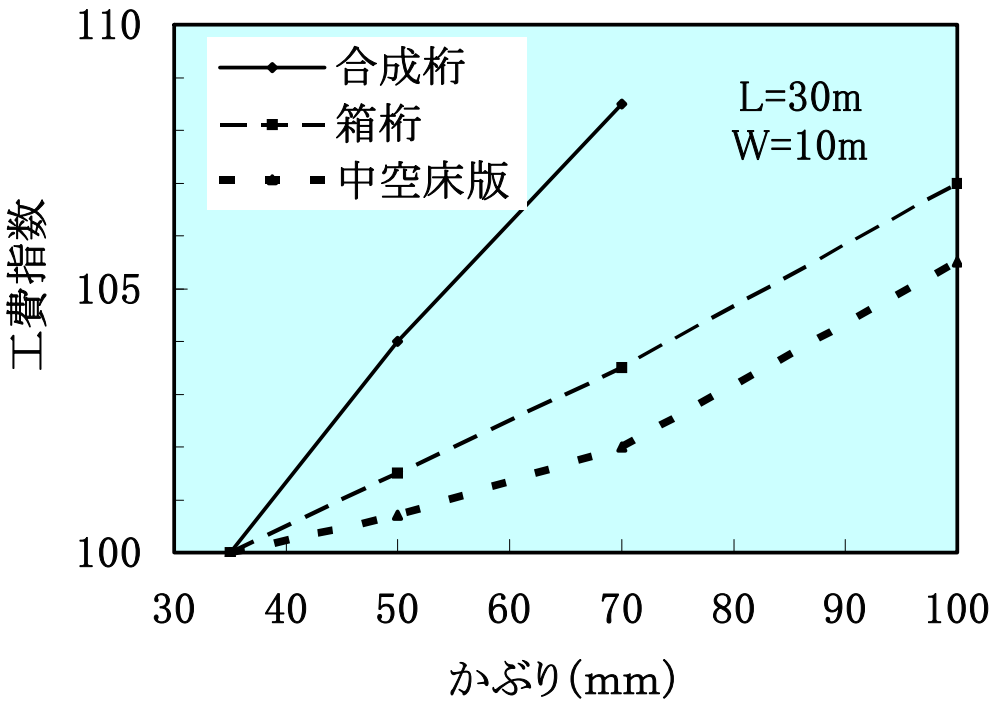



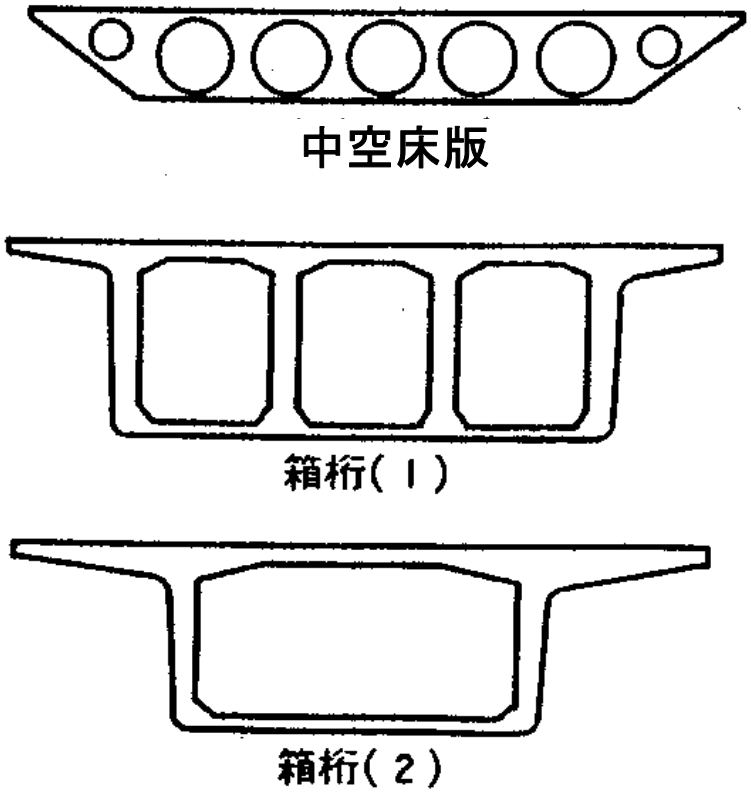



飛来塩分量は，海岸付近で多く、1 km程度まで影響

冬期間の飛来塩分量は，約 7 割を占める

# コンクリート橋の塩害対策と構造型式




塩害対策：経済的な鉄筋かぶり厚の増による対策を適用

表面積の大きい多数桁はかぶり増に伴う工費増が大

維持管理段階に塗装を行っても，コスト削減を図れる表面積の小さい中空床版や単一箱桁型式を適用

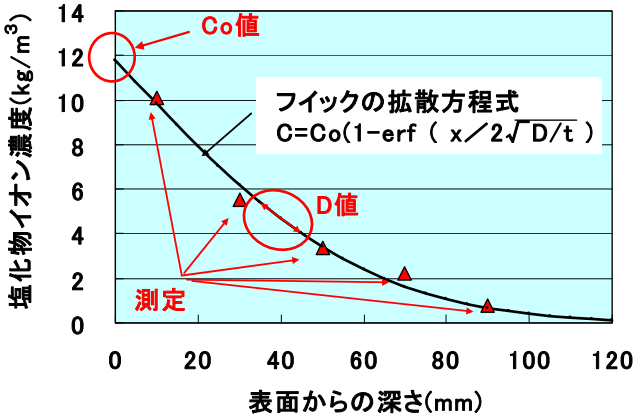
# 既設構造物の塩害環境と塩分浸透状況の関係

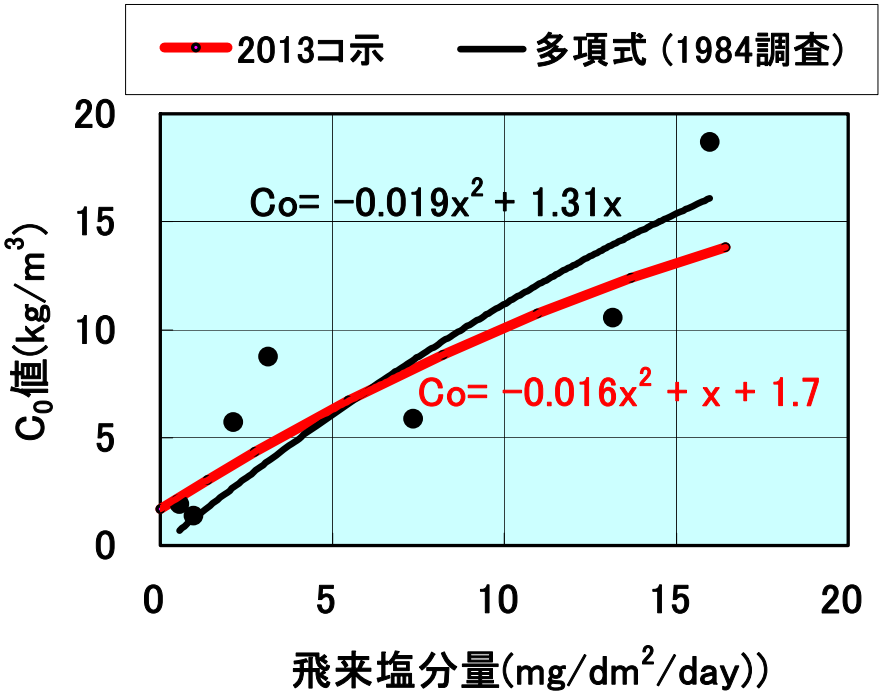
## 【コンクリート中への塩分浸透の分布状況】

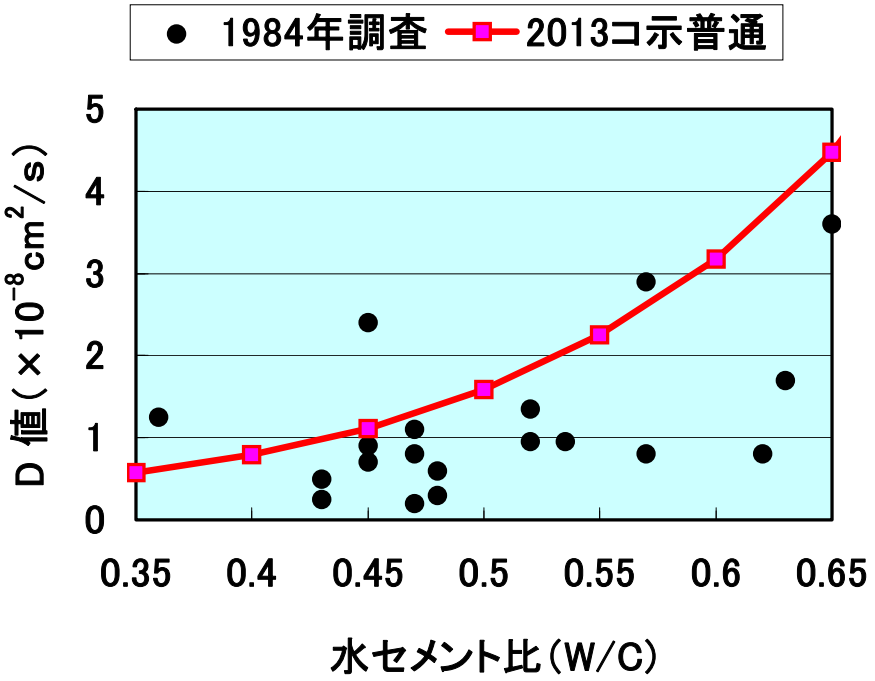
・フィックの拡散方程式　$C = Co\,(1-erf(X/\sqrt{D \cdot T}\ ))$

・Co：表面$Cl^-$濃度（$kg/m^3$），D：拡散係数（$cm^2/s$），T ：経過時間

※　$C_0$＝環境条件の程度、D＝塩分浸透のしやすさの程度




飛来塩分量と$C_0$値の関係を黒線で推定（現示方書とほぼ同じ）

既設構造物のW/CとD値の関係（現示方書D値は概ね包括する線）

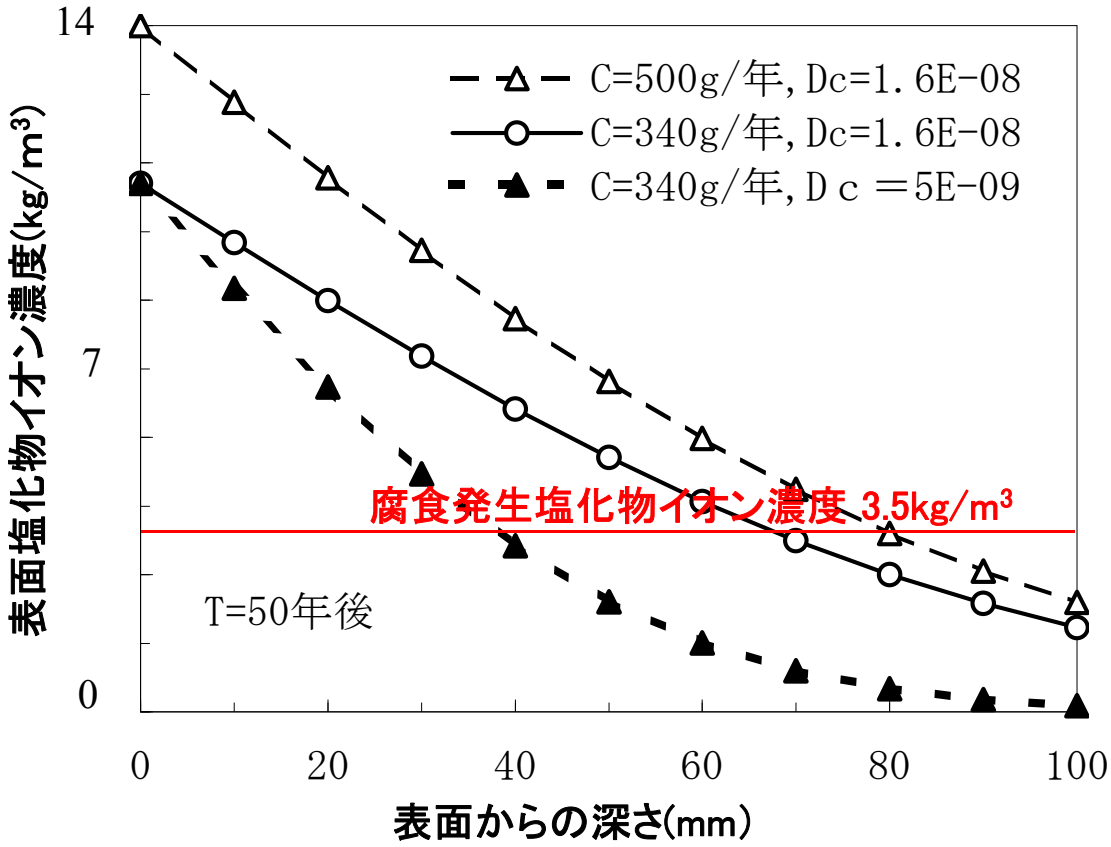
# 塩分浸透予測による鋼材かぶり厚の検討

【橋梁計画地点の飛来塩分量の測定値 ⇒　塩分浸透予測
設計かぶり厚を検討】

鉄筋腐食調査から
腐食が発生する塩分濃度
当時は3.5kg/m$^3$ と推定

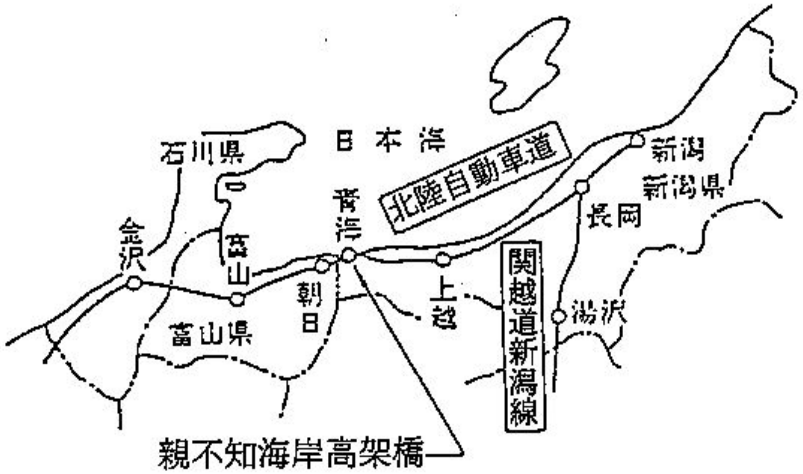
50年間鋼材を腐食させない

【塩分浸透予測例】

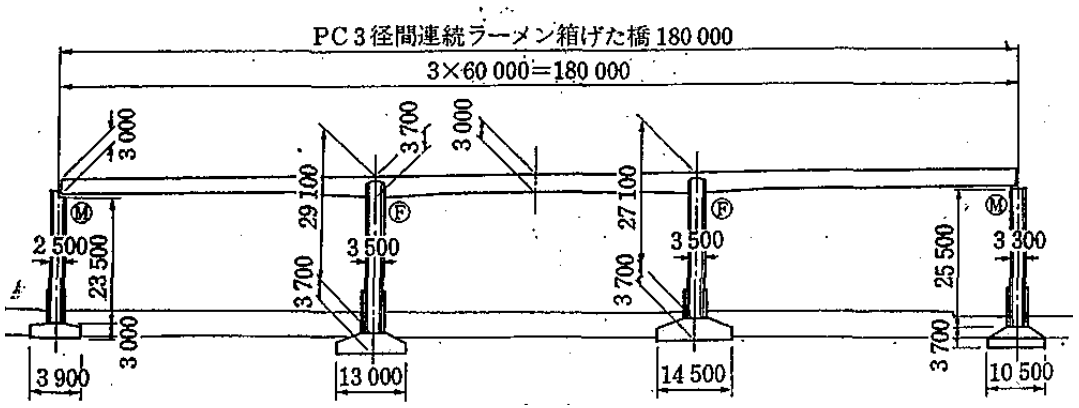



現コンクリート標準示方書の耐久性能照査の手法

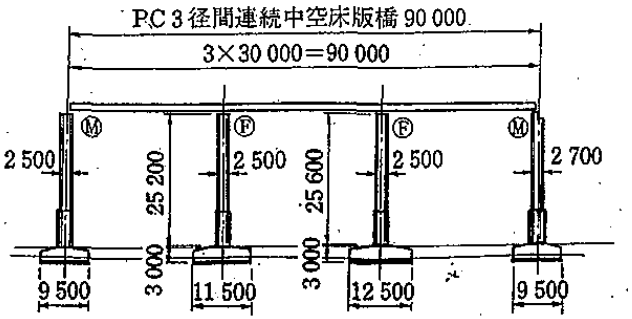
# 親不知海岸橋(海岸橋)の塩害対策



# 主な塩害対策




【海上部：60mスパンのPC箱桁】




【砂浜部：30mスパンのPC中空床版】

- 設計上の対応：かぶり増厚（上部工70mm，橋脚100mm）
  橋脚基部に橋脚耐磨耗層（鋼板+ゴム）の設置
- 施工上の対応：最小セメント量300kg/m$^3$，コンクリートの水セメント比（橋脚0.55,上部工 0.46，0.41）
- 試験施工（維持管理段階の塩害対策を想定）
  コンクリート塗装，エポキシ樹脂塗装鉄筋，防食パネル

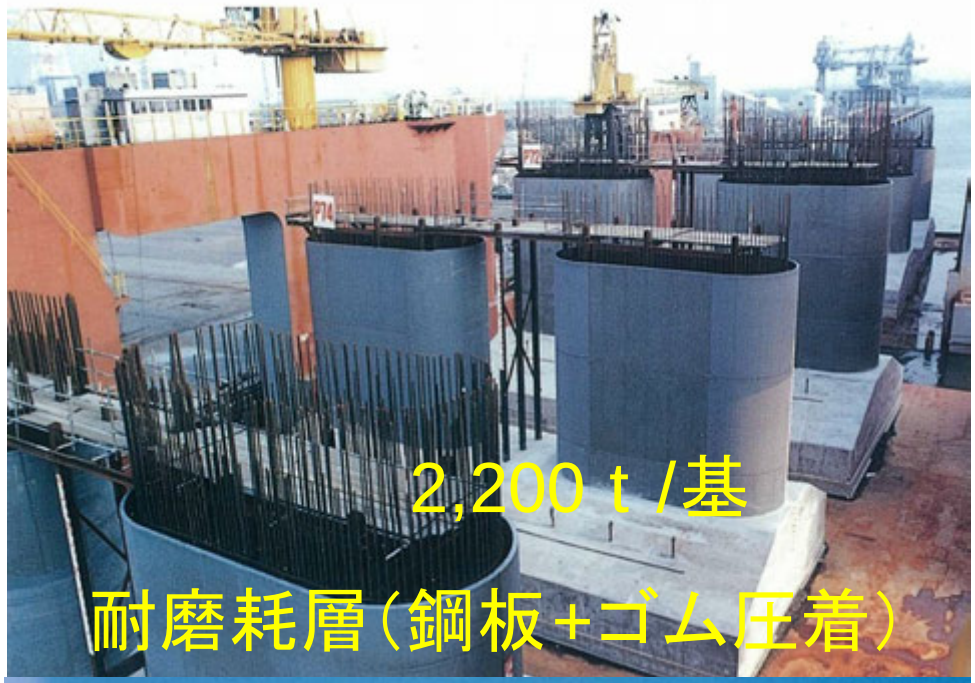
# 建設の状況

着手前

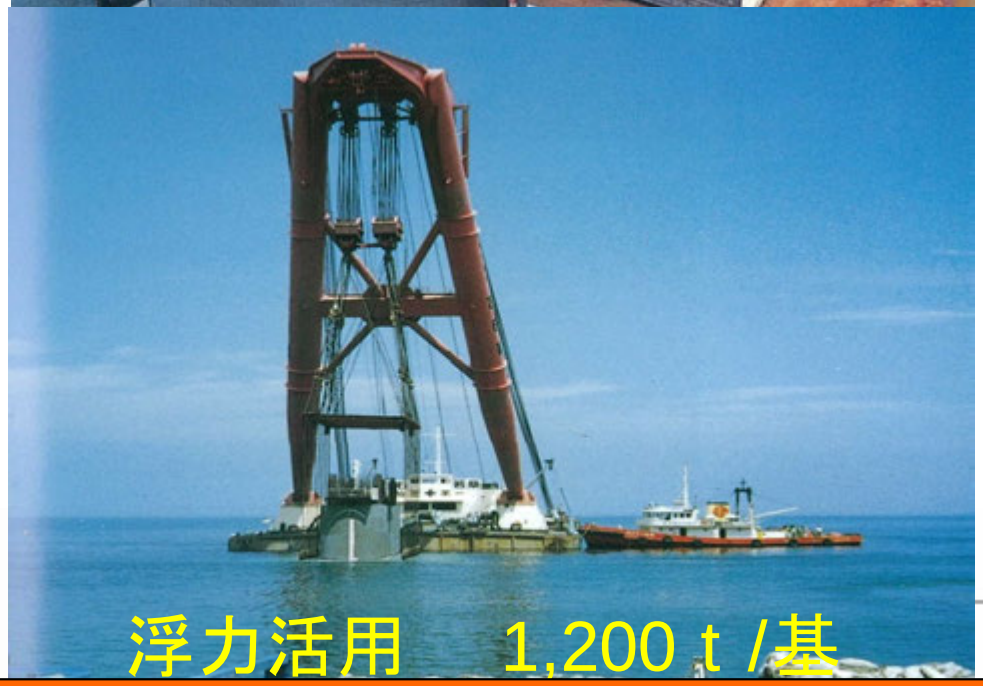
【親不知IC付近】

完成状況

# 富山側 海上部橋脚は海上から施工




基礎の掘削



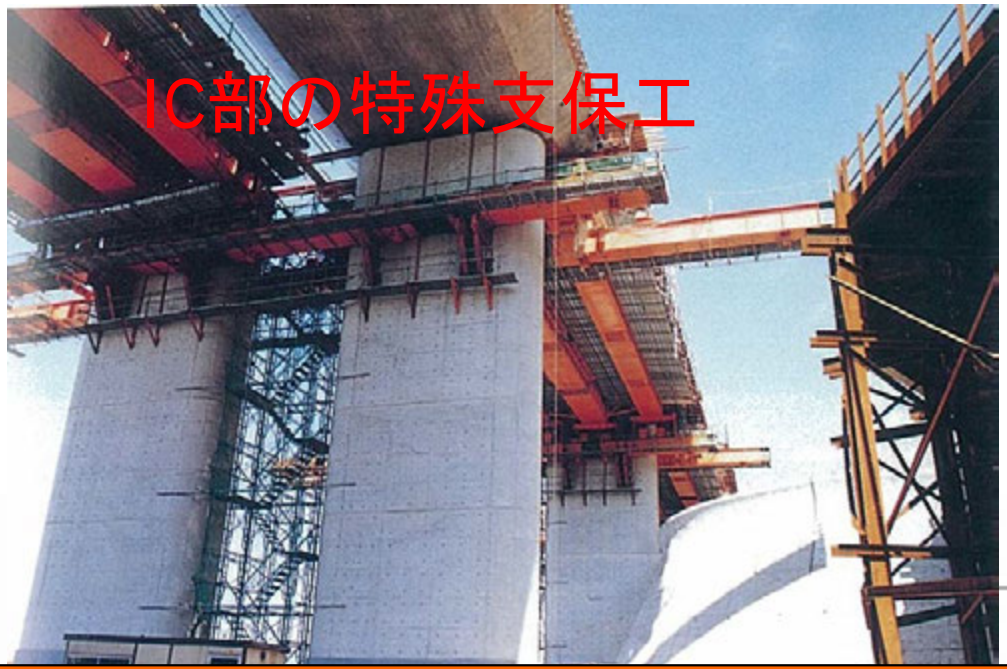
# 新潟側 海上部橋脚の締切り工 施工

# 上部工の施工

## 張出し架設

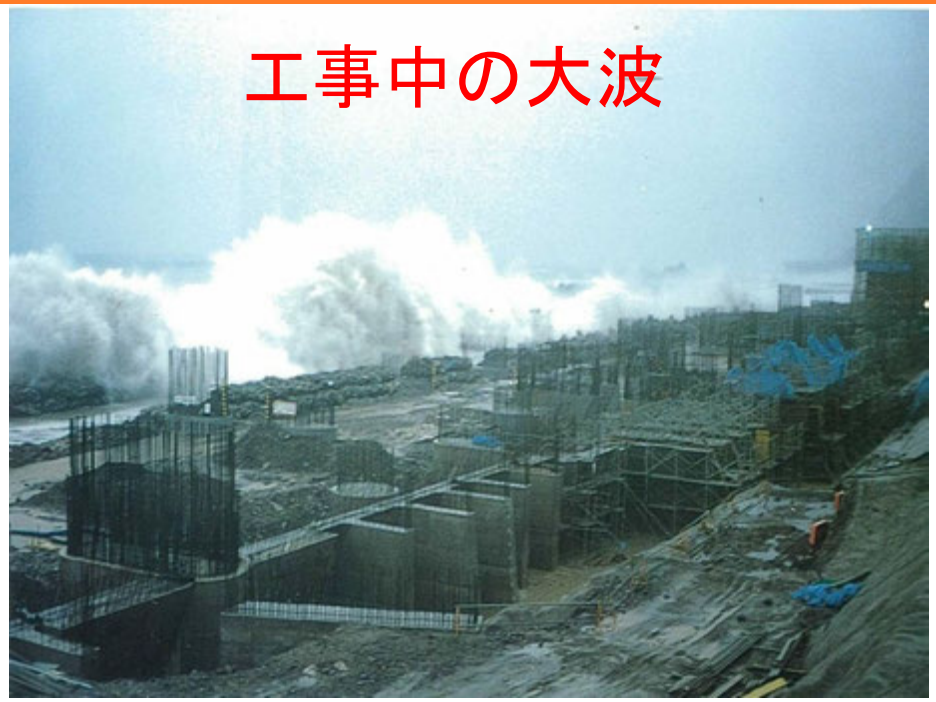
## 大型移動支保工

## IC部の特殊支保工

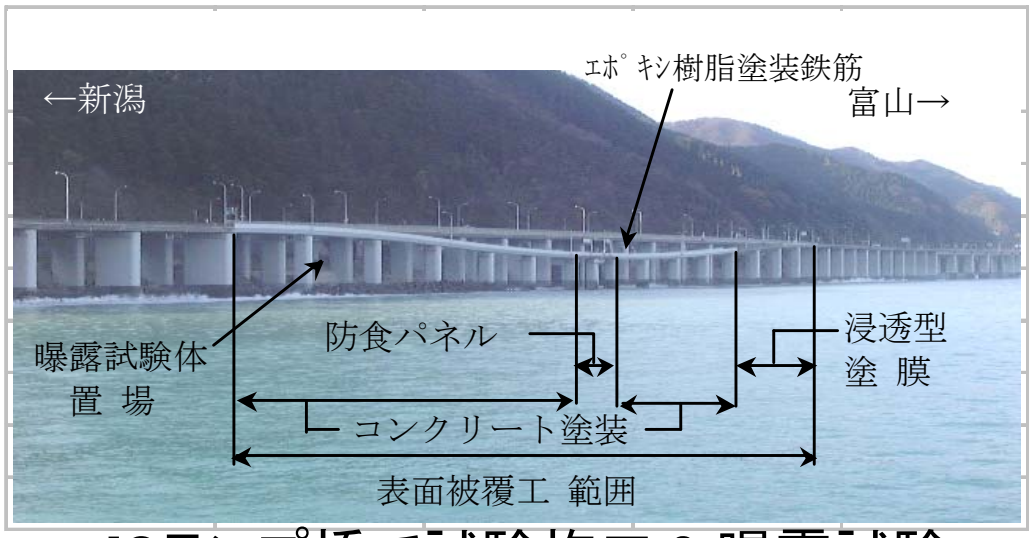


## 設置式支保工

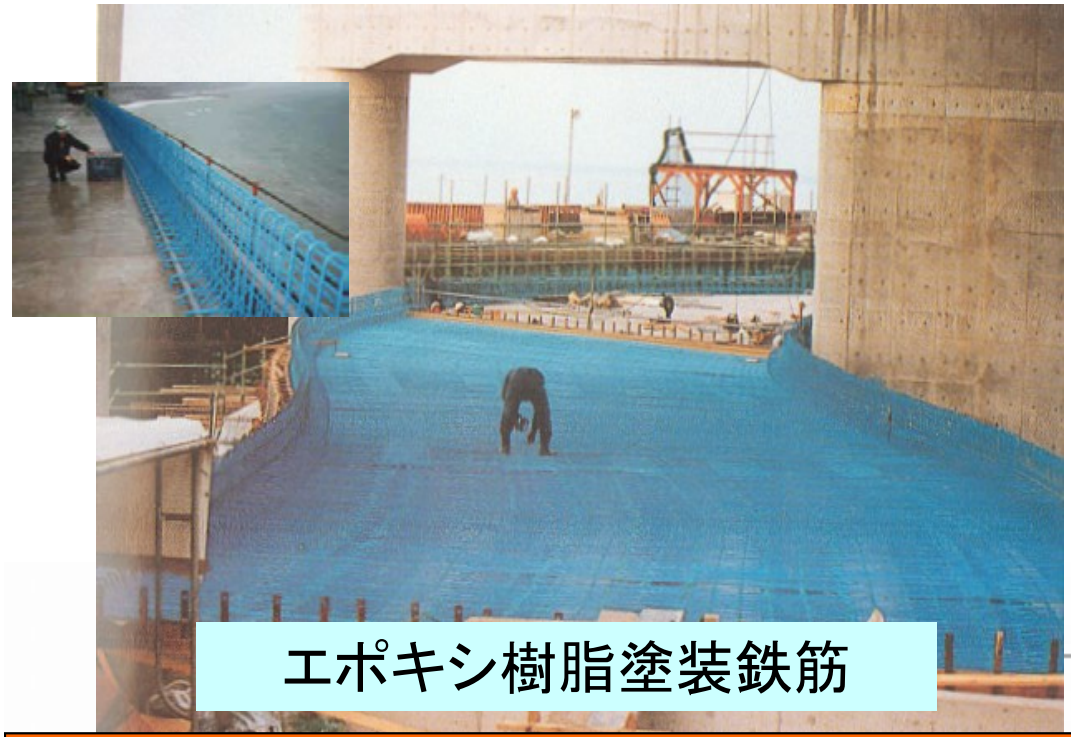
# 波浪の状況



# 各種塩害対策の試験施工と評価

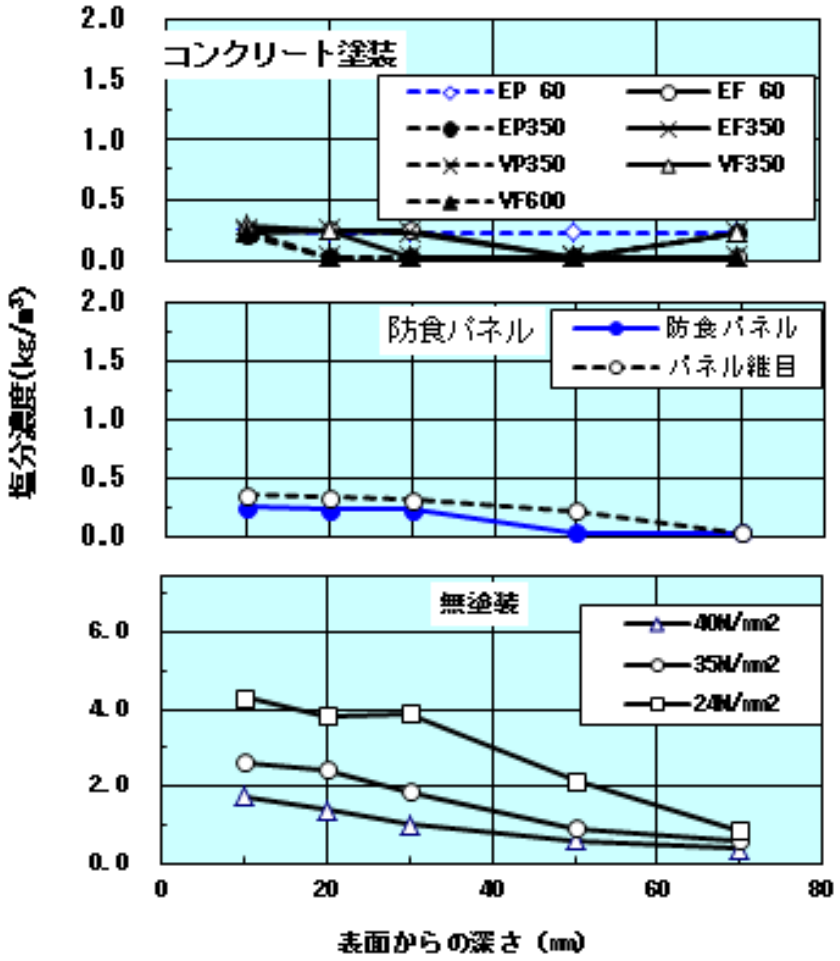



ICランプ橋で試験施工＆曝露試験



# 曝露試験の評価結果

## 表面被覆の効果（20年経過）




## エポキシ樹脂塗装鉄筋（15年経過）

塗装、防食パネルは20年間塩分浸透を抑制している

15年経過したエポキシ樹脂塗装鉄筋は良好な状態

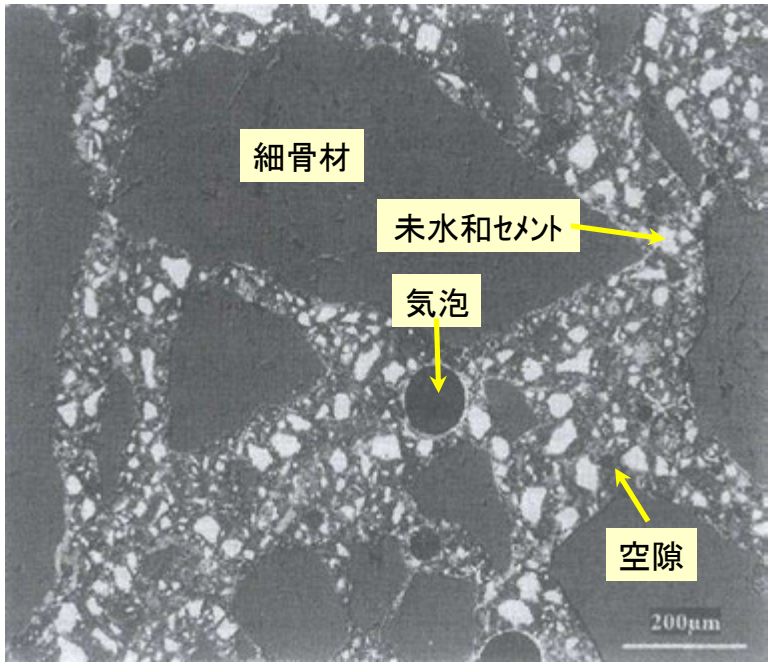
# 2. 塩害の基礎知識

- ○　塩害発生のメカニズム
- ○　発生原因と塩害環境
- ○　塩害による劣化進行過程

# 塩害発生のメカニズム

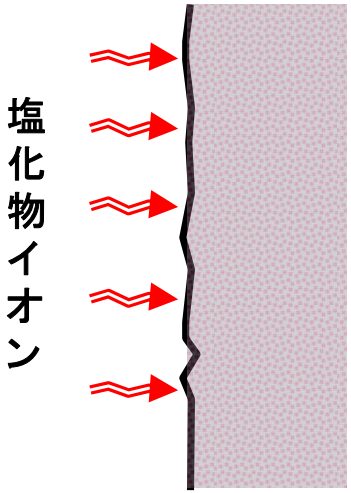
## 外部からコンクリート内部への塩分移動

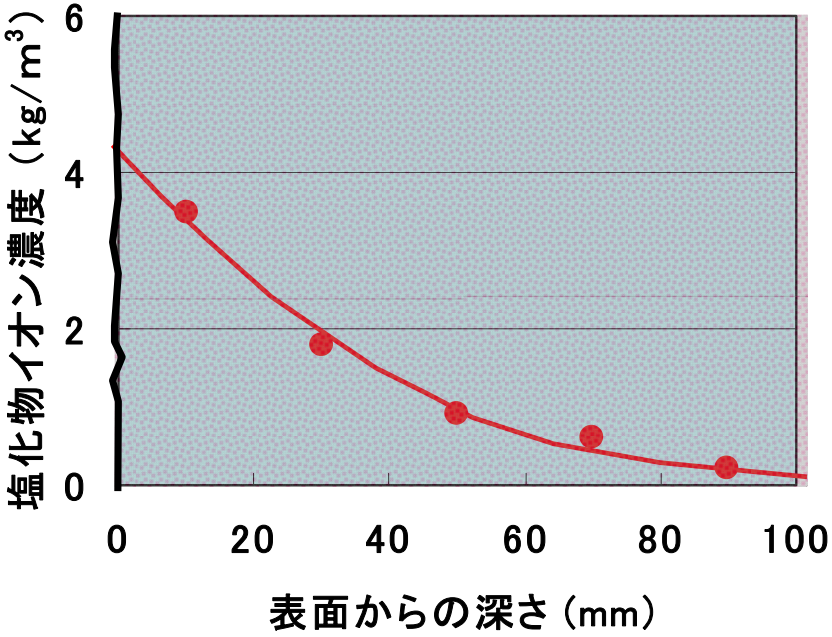
【コンクリートの内部構造】




【コンクリート断面の反射電子像】

【濃度差により塩分の拡散浸透】



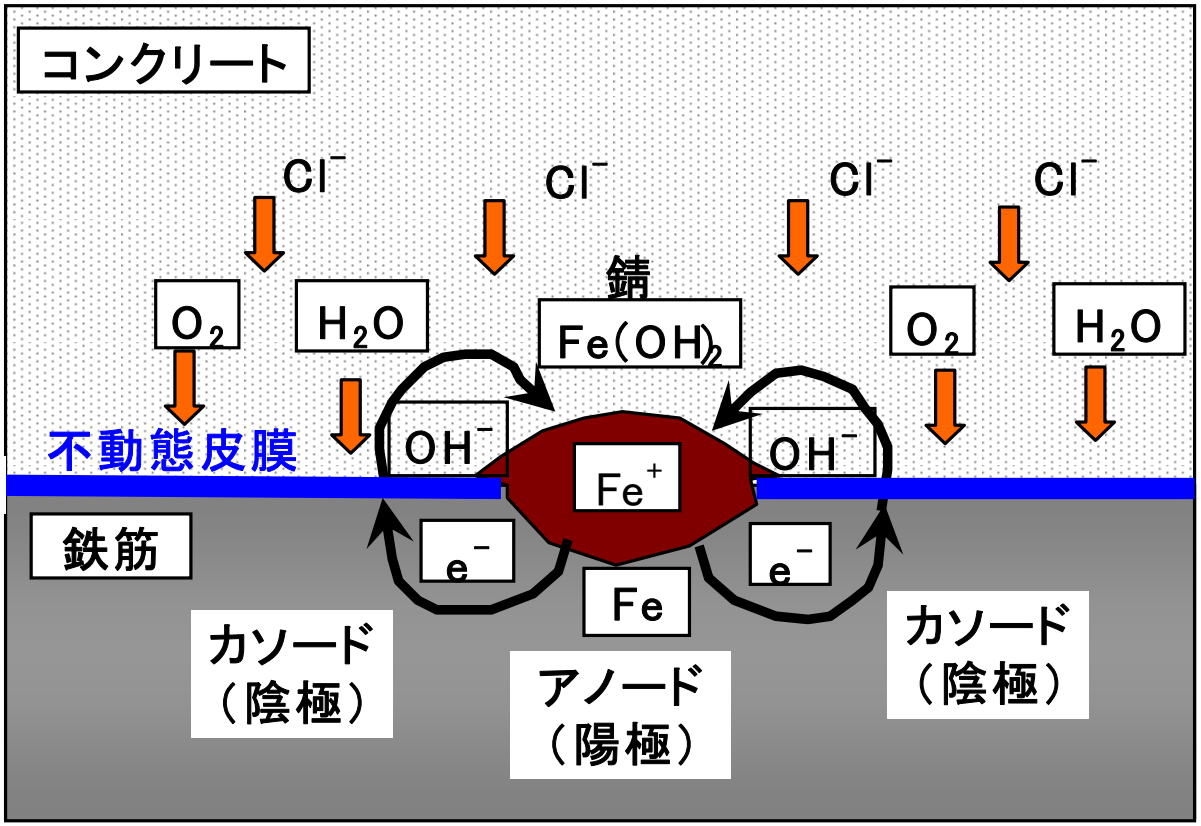




【塩分分布】$C=Co(1-erf(X/\sqrt{D \cdot T}))$
フィックの拡散方程式で近似

空隙が繋がり，溶液で満たされている

塩分濃度：表面部大⇒深部小

# コンクリート中の鋼材腐食




## 腐食電池の形成

アノード反応 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

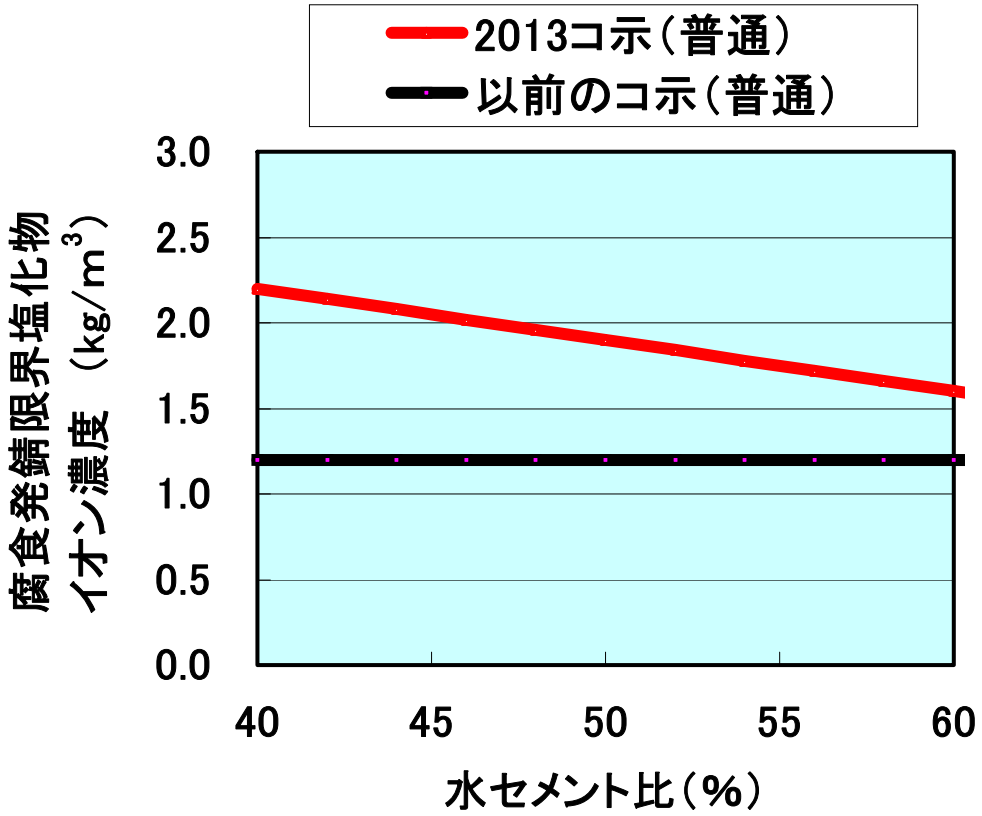
カソード反応 $O_2 + 2H_2O + 4e^+ \rightarrow 4OH^-$

健全なコンクリート：高アルカリ（pH12～13 ）：不動態被膜

鋼材位置で腐食発生塩分濃度に達すると不動態皮膜が破壊され，腐食電池が形成されて鋼材腐食がはじまる

# 腐食発生限界塩化物イオン濃度

## 【鋼材の腐食発生（が始まる）塩分濃度】




コンクリート標準示方書　従来1.2kg/m$^3$、2013年見直し

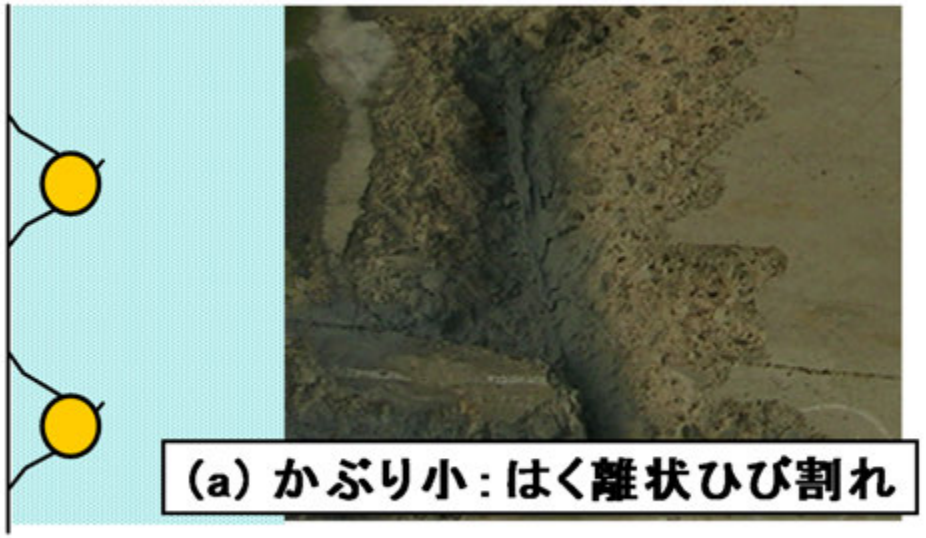
維持管理では、現地調査結果から求めるのが原則

# ひび割れ発生パターン

**表面ひび割れ**

**かぶり小**

$(2tp+\varphi)/\varphi < 3.0$




**浮き状ひび割れ**

**鉄 筋 間 隔 小**

ほとんどが、浮き状ひび割れパターン

ひび割れ進行は，外観から確認できない

# 塩害発生原因と塩害環境

## 【塩害の発生原因】

**塩分の浸透**

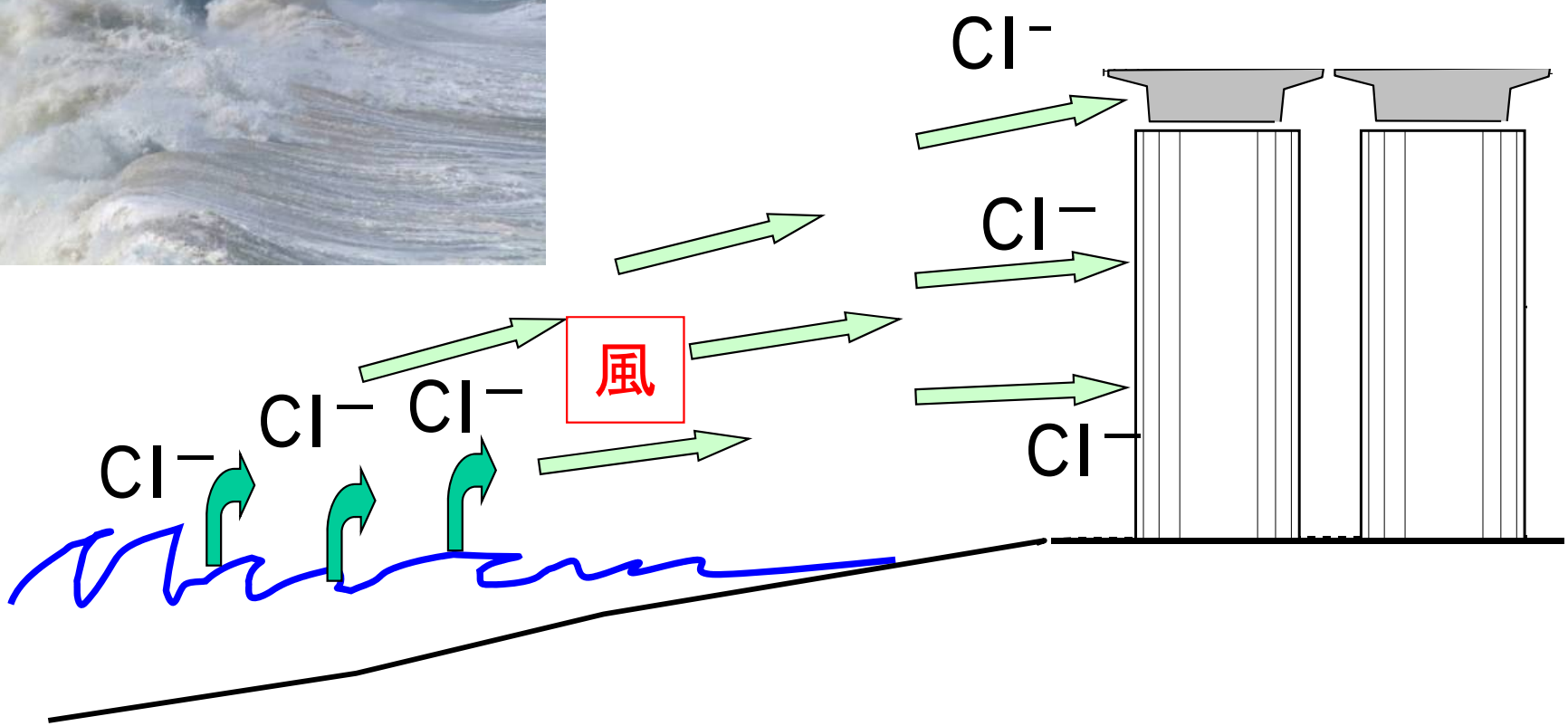
- 海岸部 ― 飛来塩分

- 内陸部 ― 凍結防止剤

**内在塩分**

- 海砂の使用

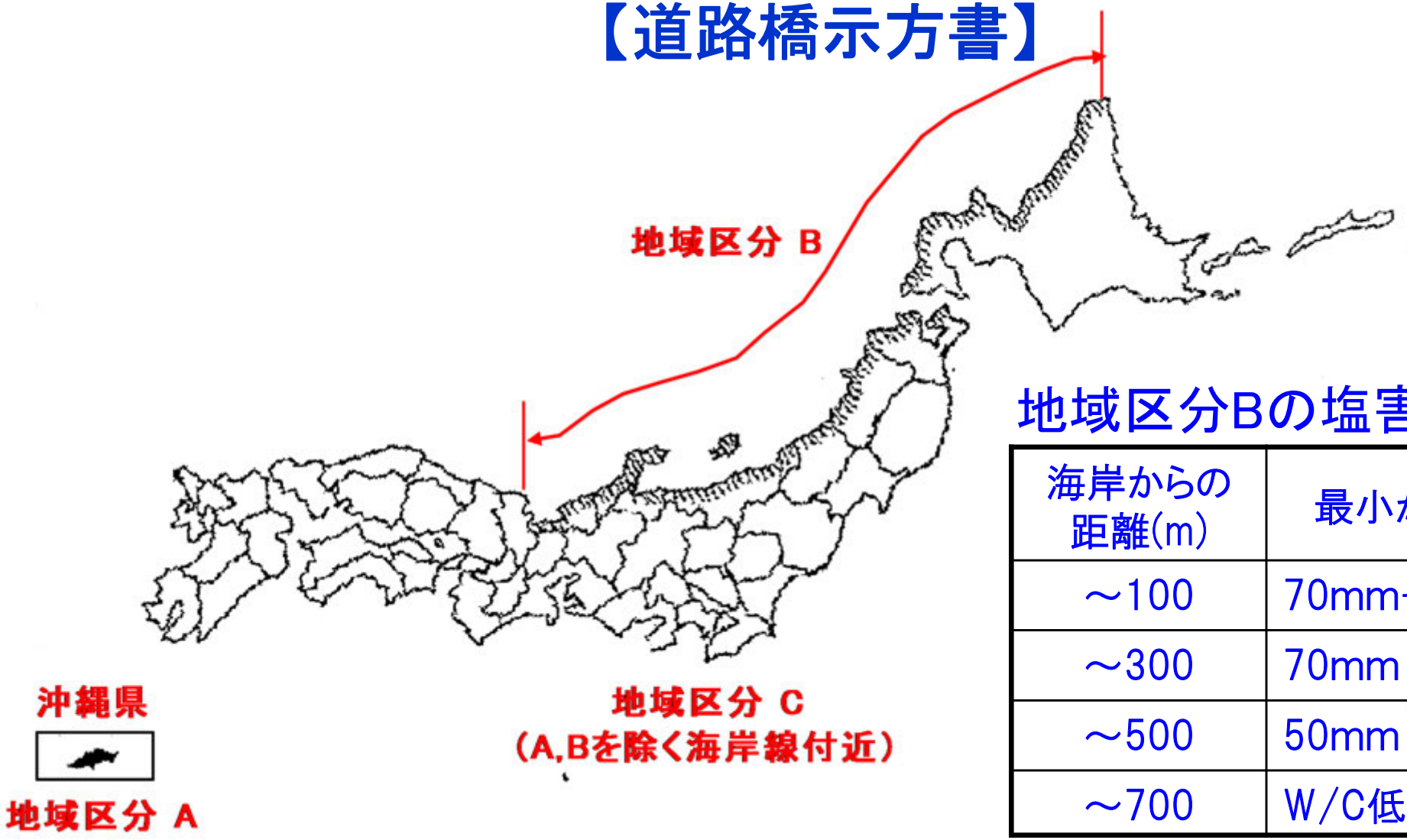
# 海岸部の飛来塩分による塩害




波飛沫 → 風 → 付着 → 浸透

# 日本の地域による塩害の発生度合い

## 【道路橋示方書】




### 地域区分Bの塩害対策

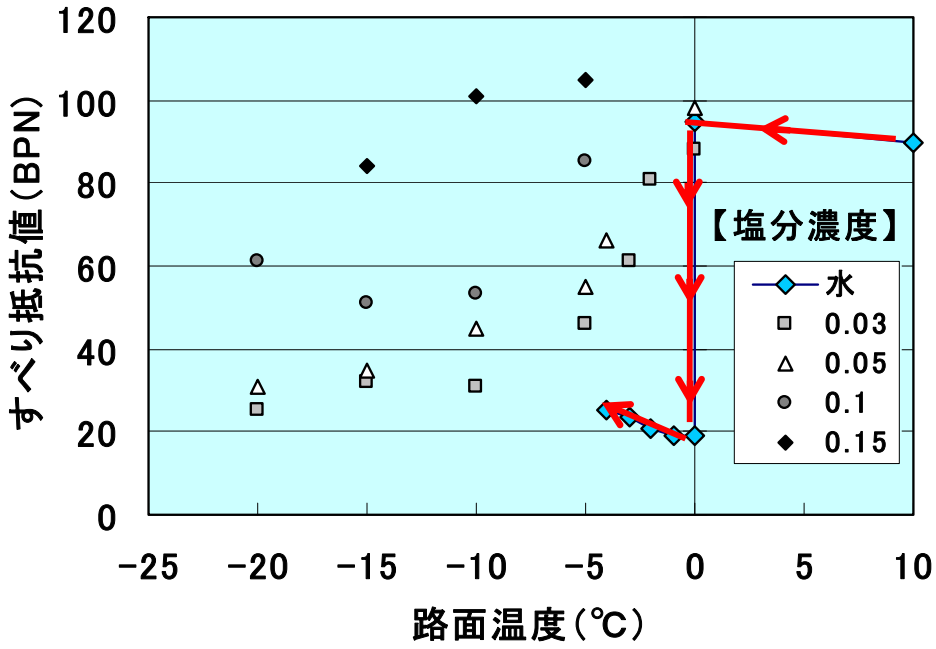
| 海岸からの距離(m) | 最小かぶり等 |
|---|---|
| ～100 | 70mm+塗装等 |
| ～300 | 70mm |
| ～500 | 50mm |
| ～700 | W/C低減等 |

地域区分A:全域，B:海岸から700 m，C ：海岸から200m

# 凍結防止剤中の塩分

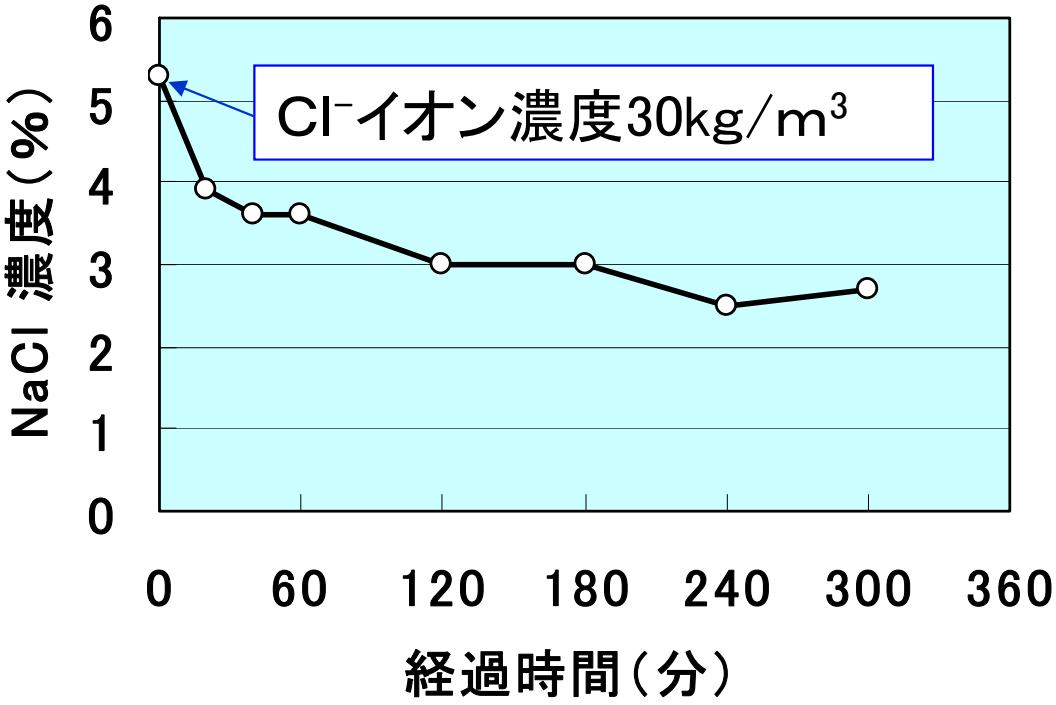
【凍結防止剤散布】

20～30g/m²/回




凍結防止剤：路面水が凍結して路面のすべり抵抗が急激に低下するギャップを解消し，冬期路面の安全を確保するため散布される

【路面塩分濃度の経時変化の測定例】

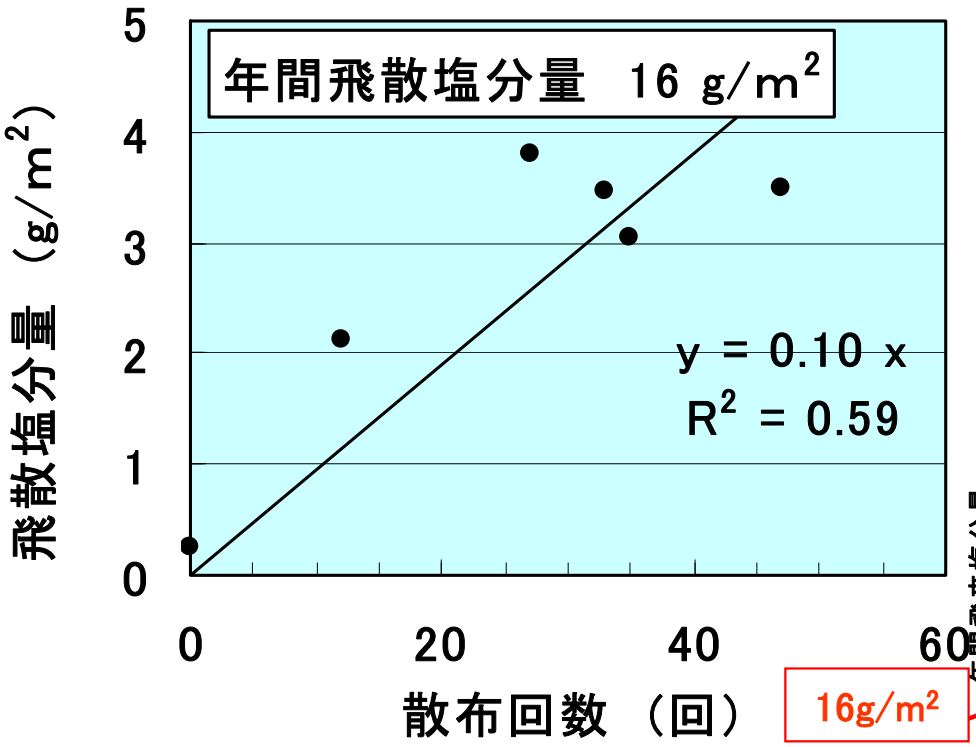



路面水の塩分濃度5～6%
塩化物イオン濃度30～36kg/m³

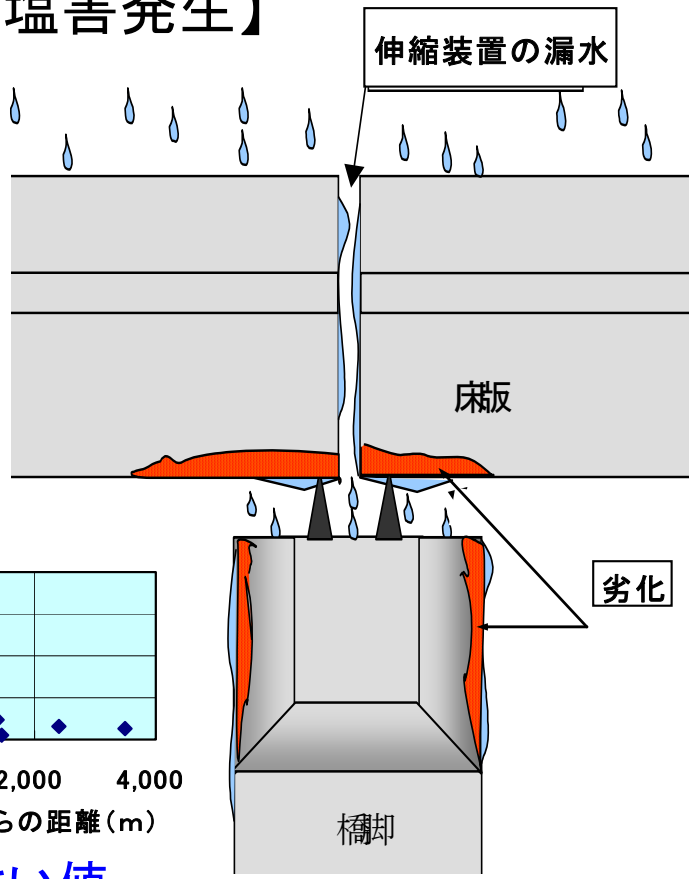
高濃度の塩化物イオンが路面水に含まれる

# 凍結防止剤による塩害

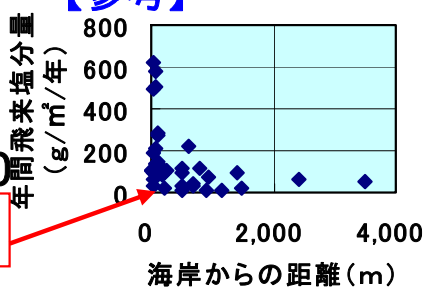
【低盛土のリ尻部での
飛散塩分量測定結果】




【ジョイント部の漏水による
塩害発生】




【参考】

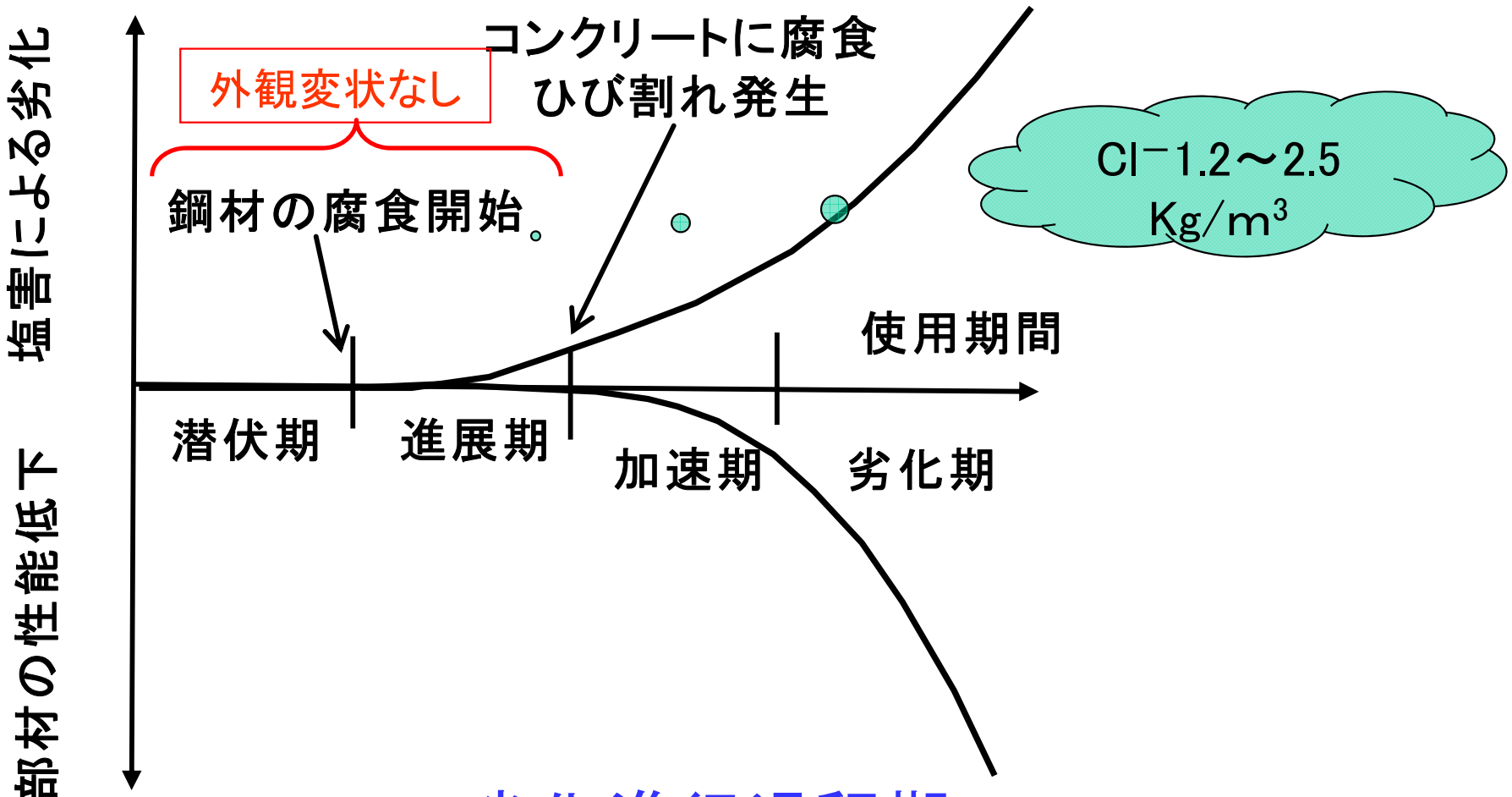



飛散量 は 海岸部の飛来塩分に比べ小さい値

凍結防止剤の大気飛散塩分が構造物に与える影響はない

塩害は、塩分を含む路面水が直接付着する部位のみに発生

# 塩害の劣化進行過程




## 劣化進行過程期

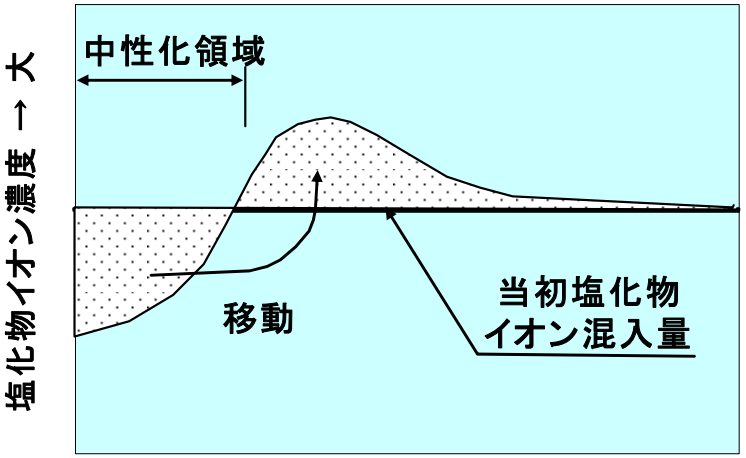
1 潜伏期：鋼材の腐食が開始するまで
2 進展期：腐食開始から腐食ひび割れ発生まで
3 加速期：腐食ひび割れの影響で腐食速度が増加する
4 劣化期：鋼材の断面減少などによって耐荷力が低下する

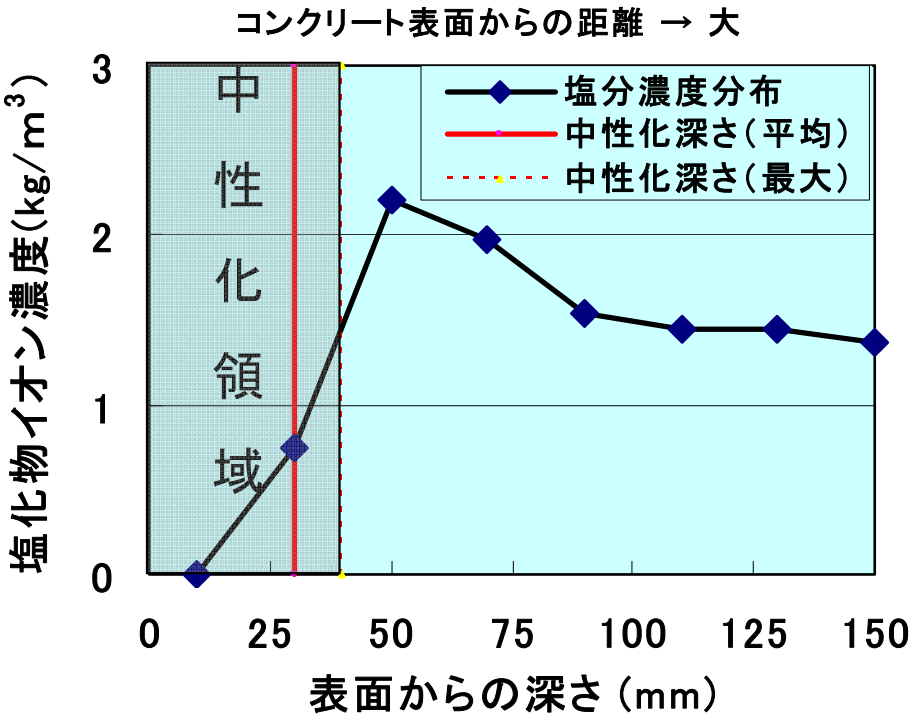
# 3. 実構造物における塩害劣化と塩分浸透状況

- ○ 海砂による塩害
- ○ 飛来塩分による塩害
- ○ 凍結防止剤による塩害

# 海砂による塩害

【除塩不足の海砂を使用】




中性化による塩分移動の現象、 深部まで一様な塩分濃度分布

# 飛来塩分による塩害

PC橋

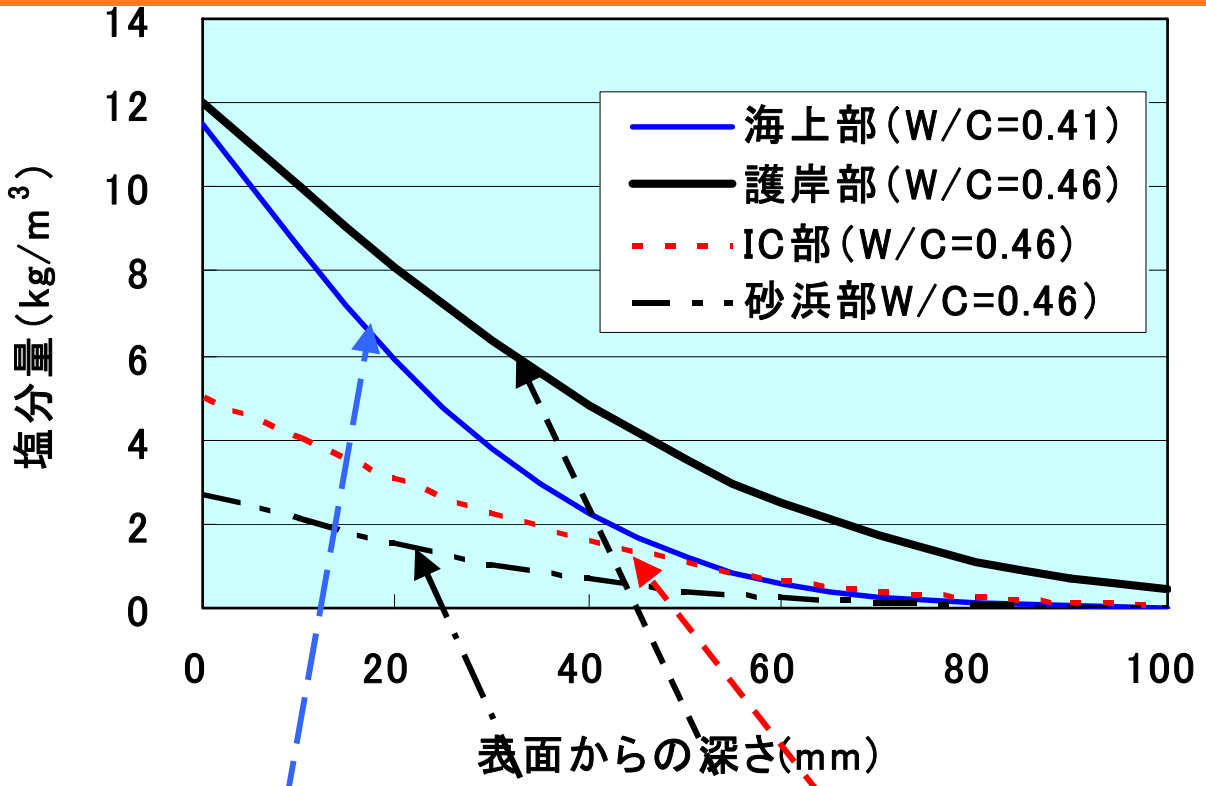
RC橋

橋脚の浮き

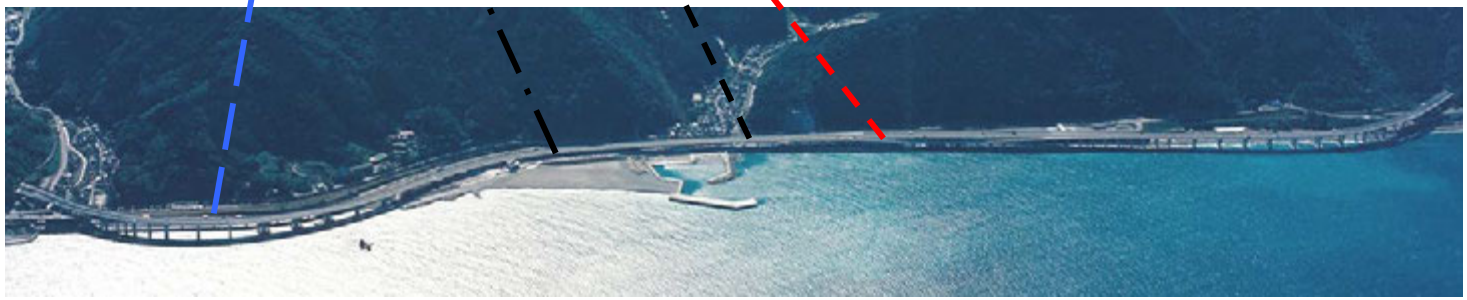
PC鋼材の破断

飛来塩分による塩害は構造物表面全体に発生

# 海岸橋上部工の塩分濃度分布の事例



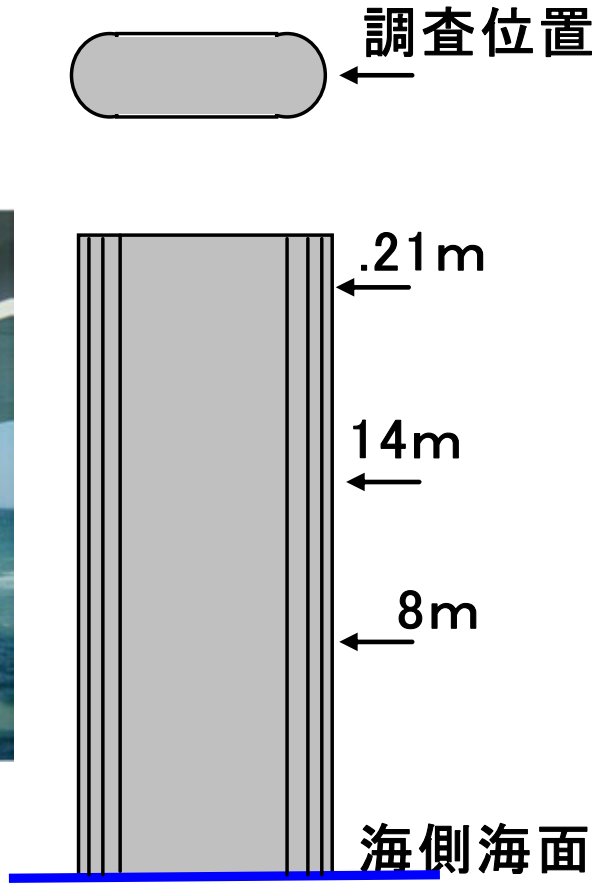

17年経過



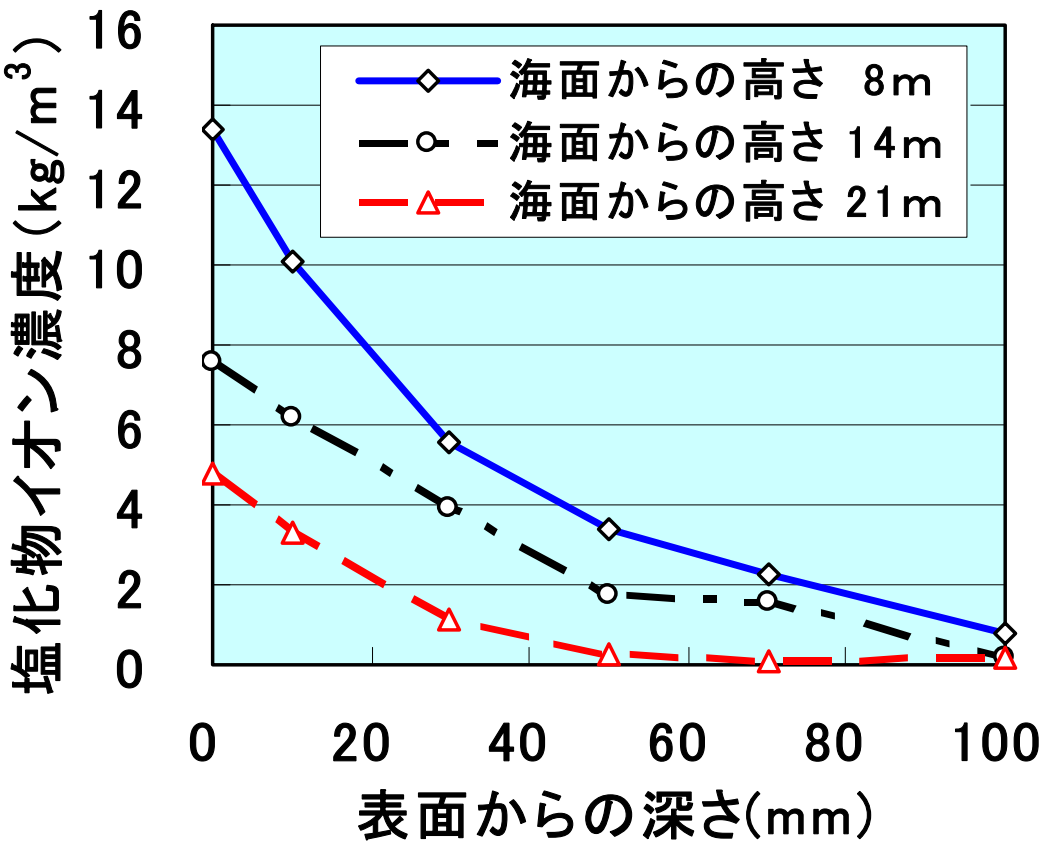
塩分浸透量：海上部・護岸部で多く，砂浜部では少ない。同じ海岸でも塩害環境（ $C_0$値）が大きく異なる

同じ塩害環境（同じ$C_0$値）でもW/Cの違いによって塩分浸透量が異なる

# 海岸橋 海上部橋脚の塩分濃度分布事例



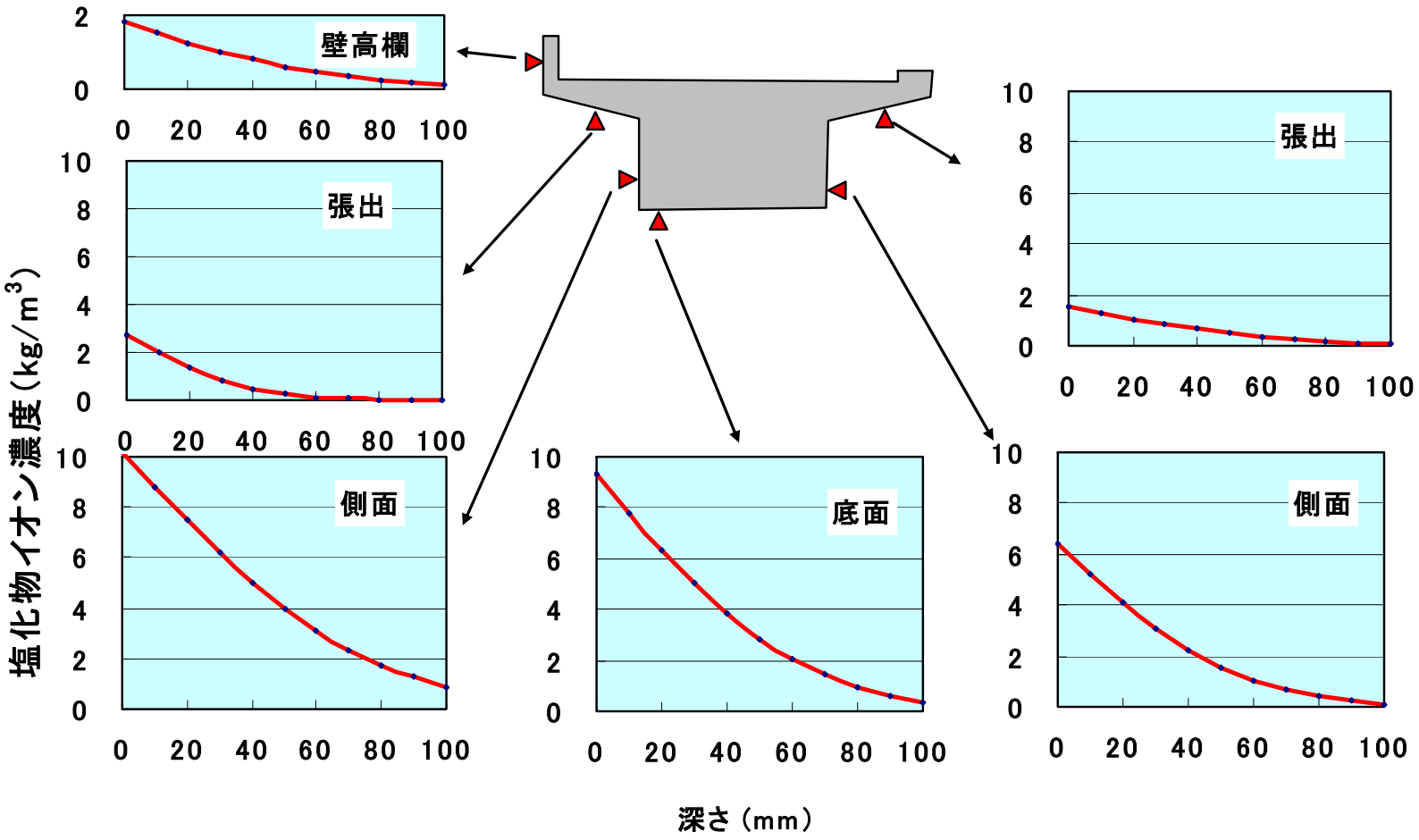

海上部橋脚：10年経過時




高さ（波飛沫の影響度合い）によって塩分浸透量が異なる

# 海岸橋 箱桁各部位の塩分濃度分布

## 海岸橋 海上部箱桁の事例




箱桁側面や底面の浸透量が大きく，張出し部は少ない

壁高欄は、雨水の洗い流し作用によって浸透量は少ない

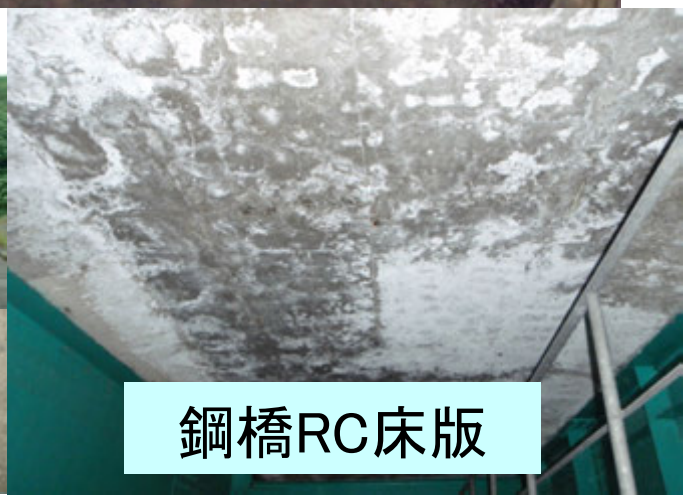
# 凍結防止剤による塩害

床版橋 桁端部

張出部

ジョイント部の橋脚・橋台

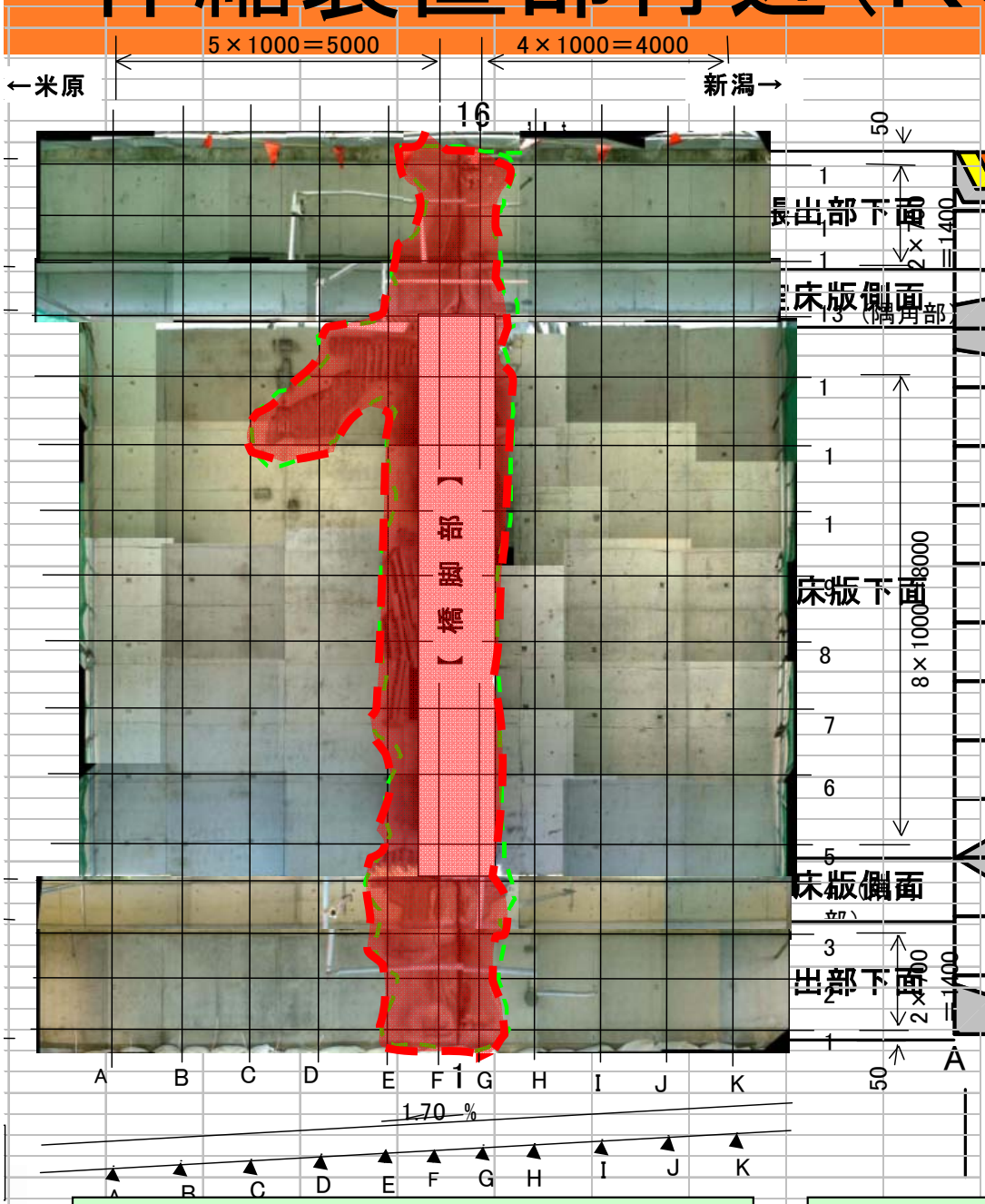
トンネル側壁

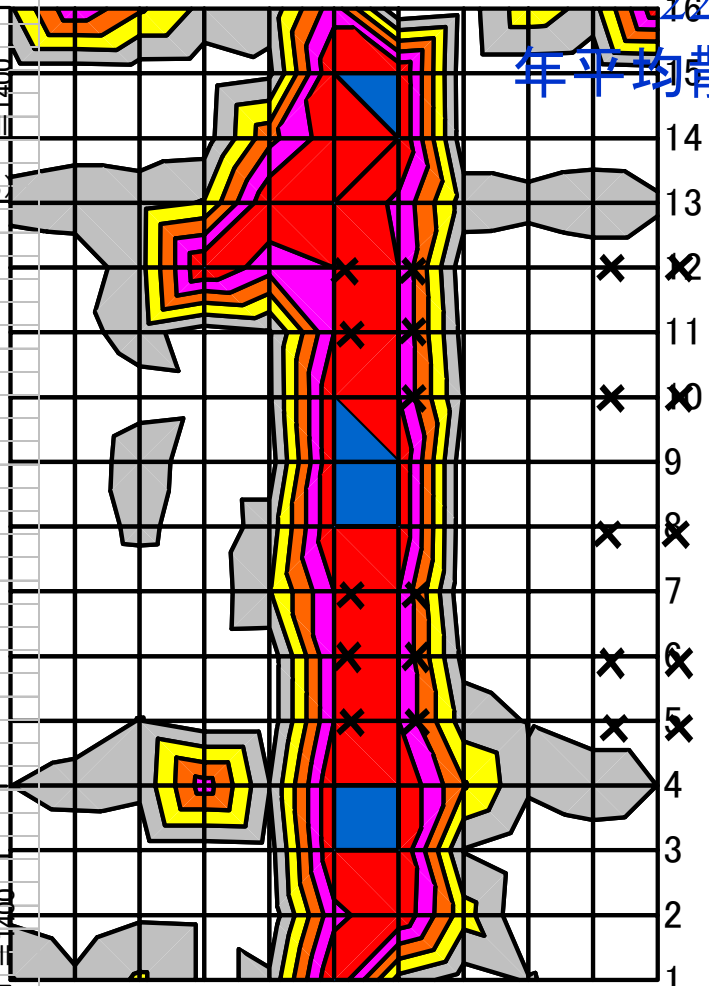


鋼橋RC床版

発生経路：ジョイントの漏水、車両等の飛散水、路面水の浸透

# 伸縮装置部付近（RC中空床版橋端部）




22年経過
年平均散布量18t/km

- 3.00以上
- 2.50−3.00
- 2.00−2.50
- 1.50−2.00
- 1.00−1.50
- 0.50−1.00
- 0.00−0.50

×データは参考値

橋脚から2m以上 | 橋脚から2m以内 | 橋脚から2m以上

JCI 2004青山他

劣化および漏水範囲

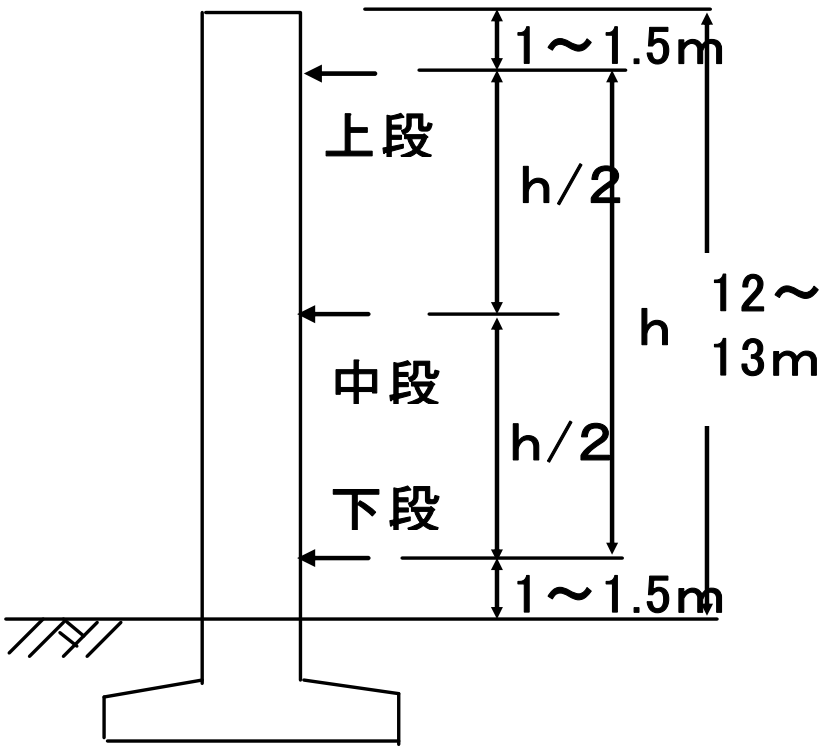
表面部塩分浸透＝漏水範囲≒端部2m

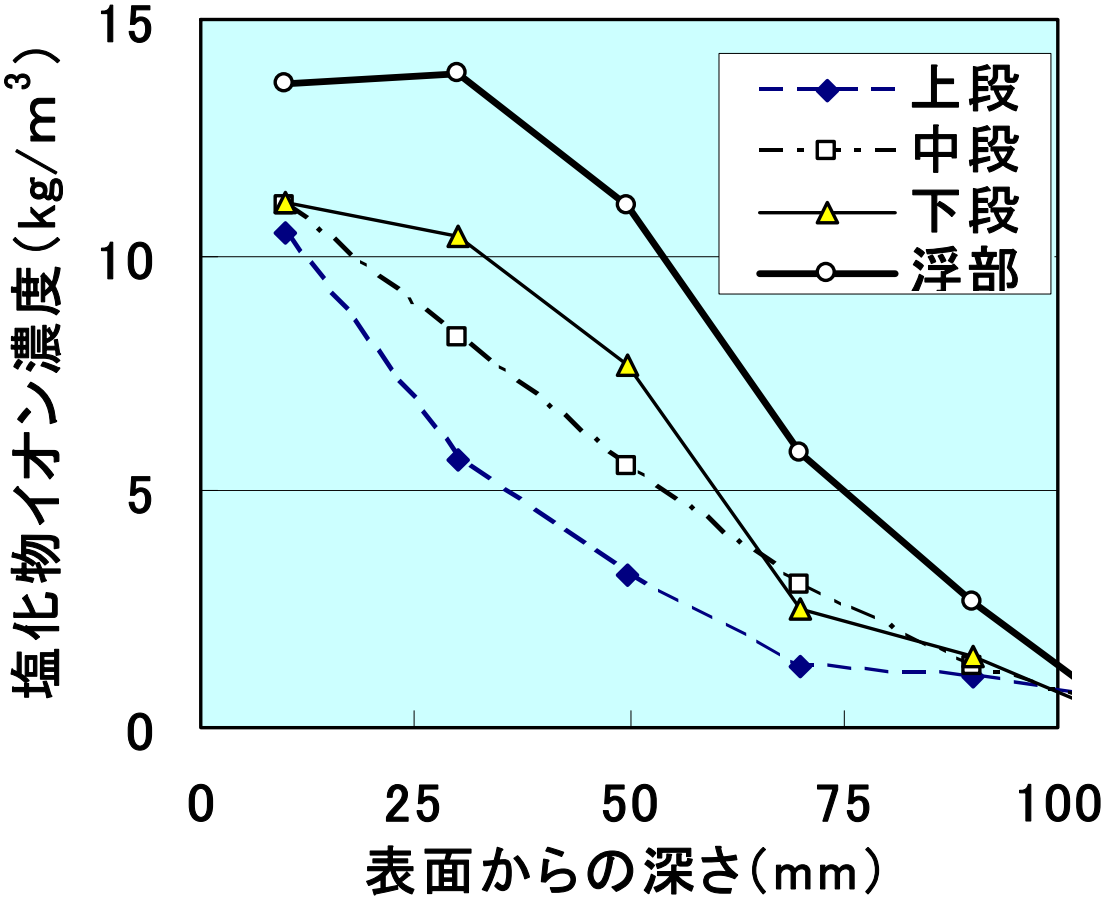
←米原 新潟→

# 下部工（橋脚）

【橋脚の塩分濃度分布】16年経過　年平均散布量37t/km

【試料採取位置】



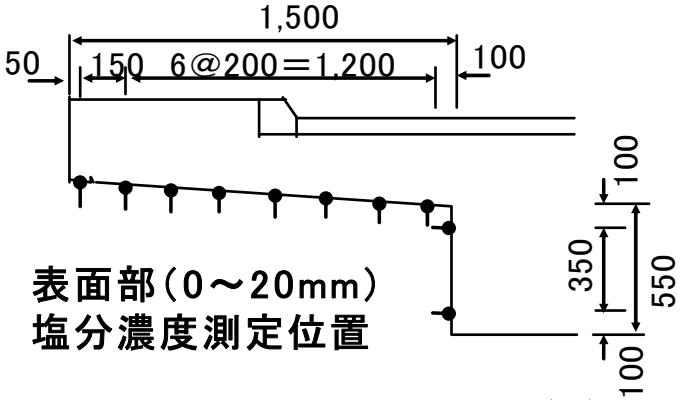



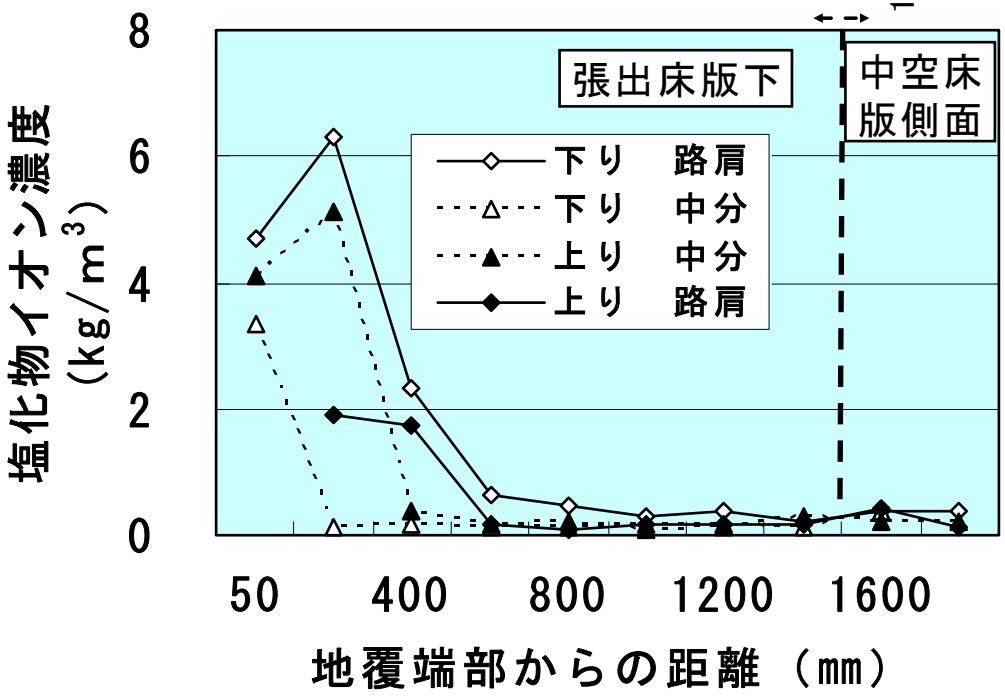

漏水範囲：多くの塩分が浸透している

浮（劣化）部の塩分浸透量は大きい

# 床版張出下面

調査位置






（表面部の塩分浸透状況）

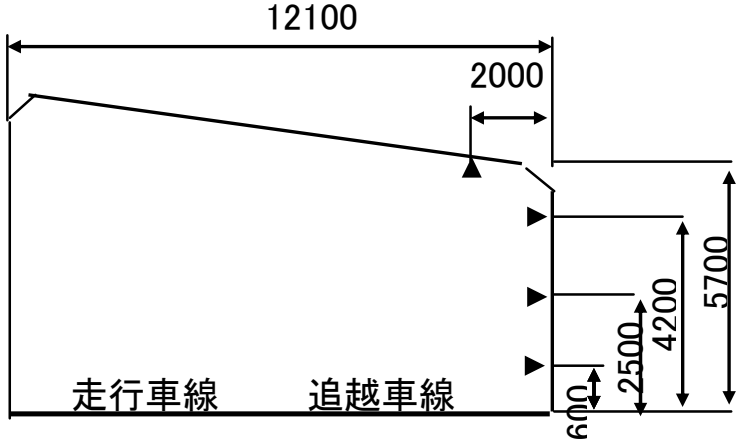
22年経過
年平均散布量18t/km

塩分浸透範囲
＝漏水範囲

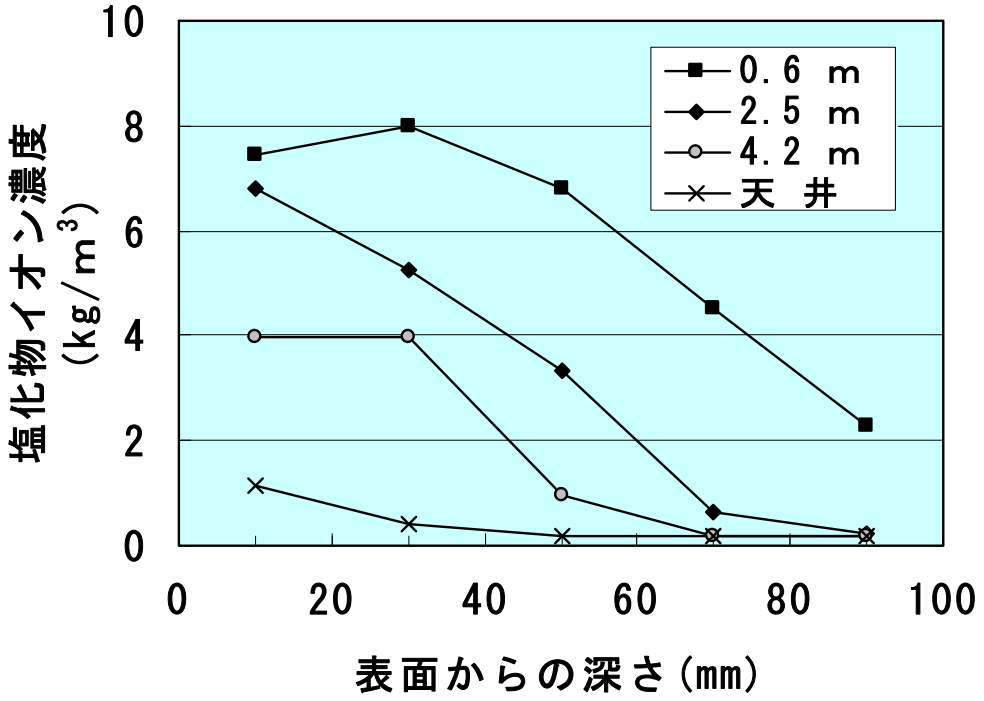
# トンネル壁面

16年経過
年平均散布量37t/km

調 査
位 置




トンネル側面の
高さごとの塩分
濃度分布

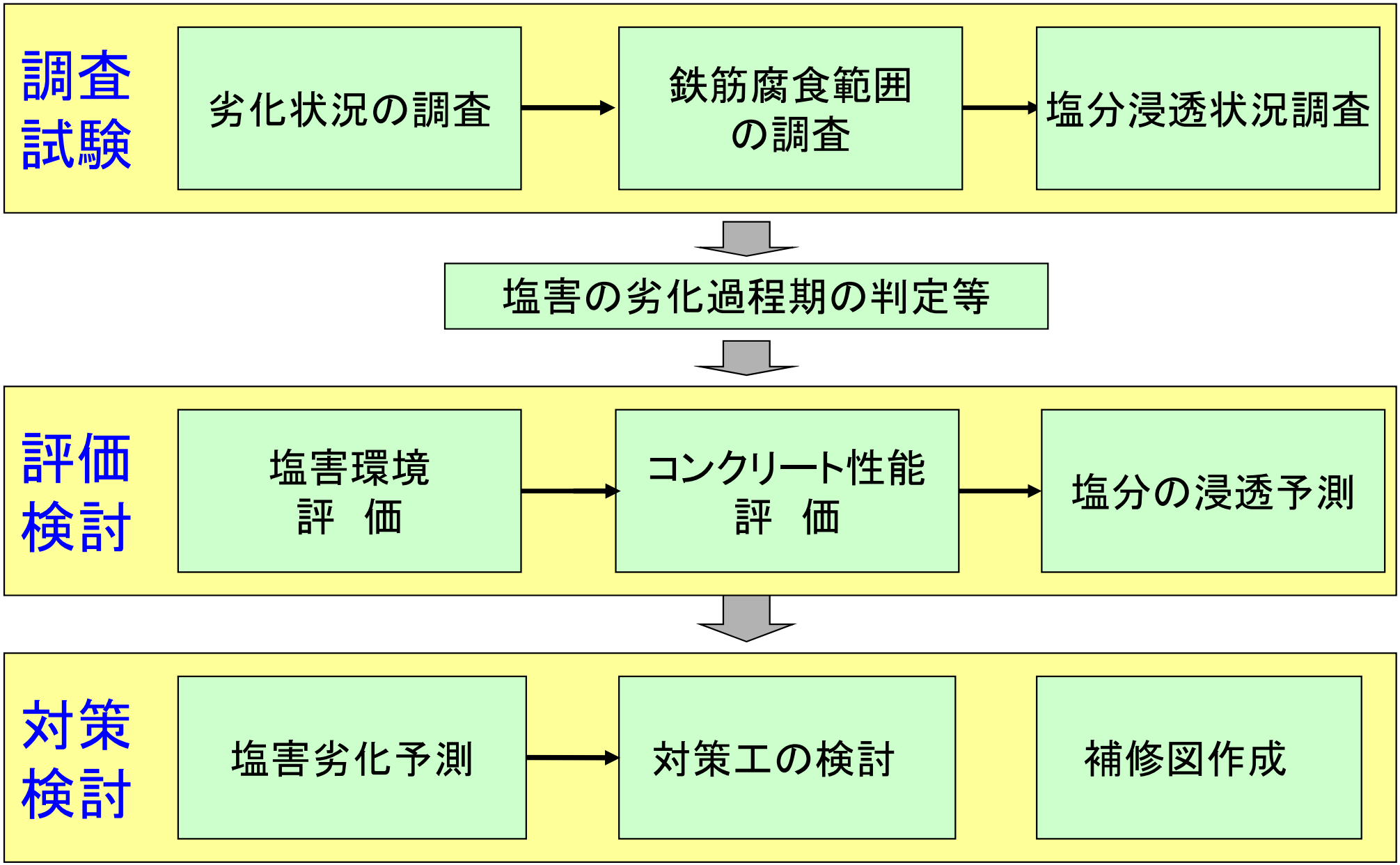



塩分浸透:路面付近 大、天井　小(飛散水の影響度合が関係)

# 4　塩害の調査･診断･対策

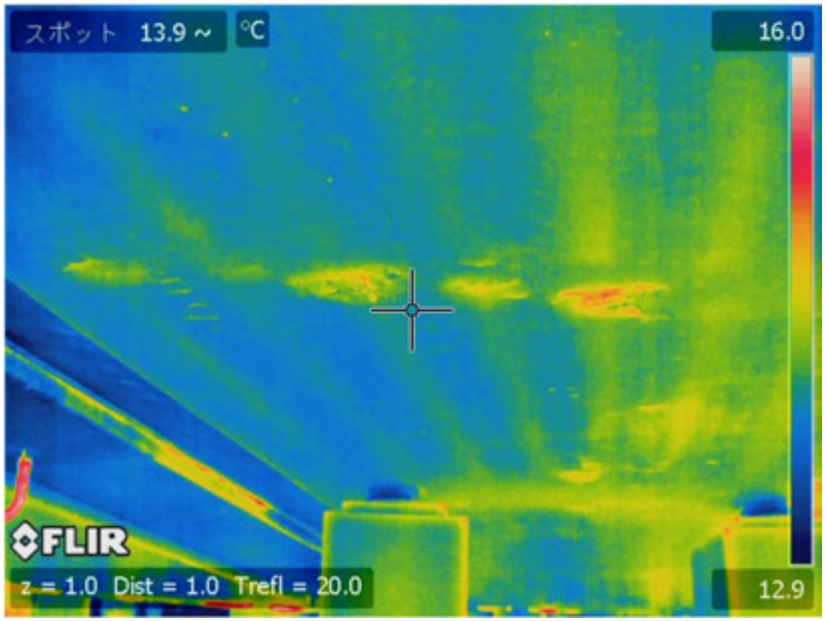
○ 調　　査
○ 診　　断
○ 対　　策

# 塩害の調査・診断・対策の検討の流れ



# 調　査

## 劣化範囲の調査




ひび割れ&浮き・はく離の劣化状況の把握

# 塩分浸透状況

コアの分割・粉砕、ドリルによる深さごとの試料を塩分分析

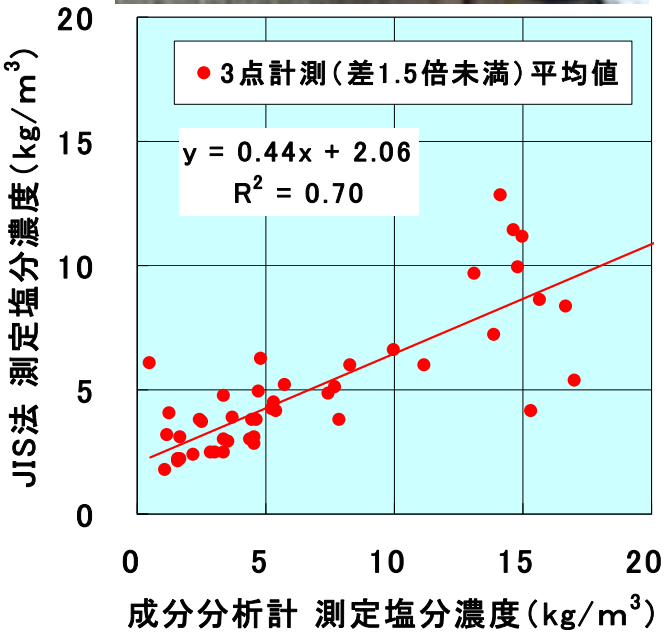
塩分浸透情報は、劣化過程期判定・補修設計に不可欠

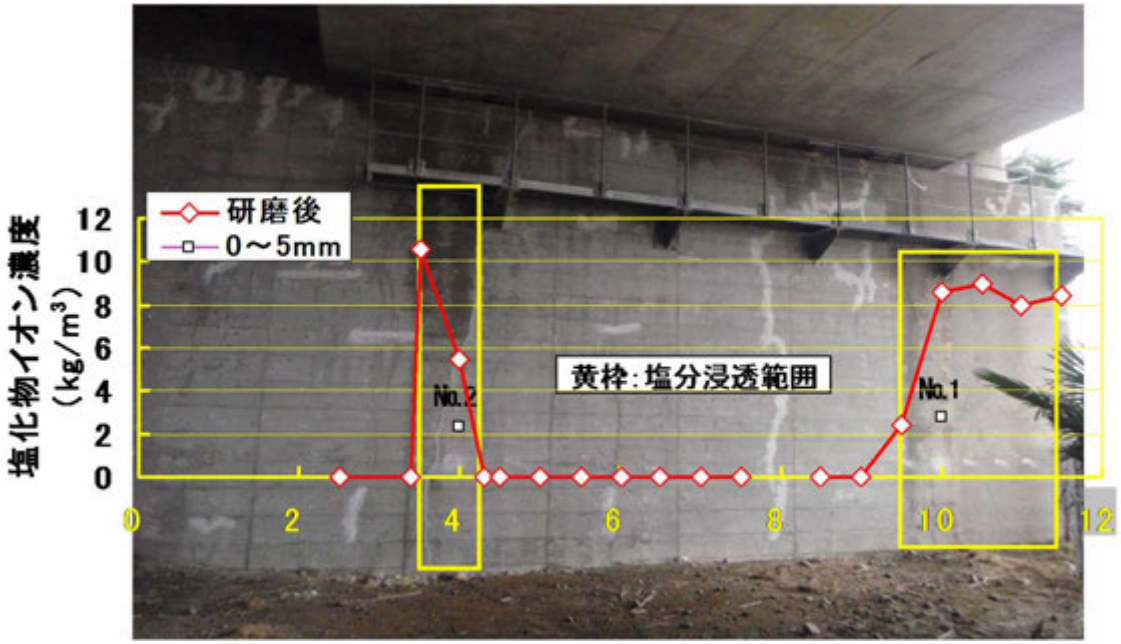
# 携帯型成分分析計

測定原理：蛍光X線分析法
検量線設定により直接読み取り

## 仕　様

| | | |
|---|---|---|
| 測定可能元素 | ： | マグネシウムより重い元素<br>塩　素：Clが測定可能 |
| 表示･出力部 | ： | カラー液晶タッチパネ |
| 対象試料寸法 | ： | 直径8mm |
| 本体質量 | ： | 本体1.65kg |
| 測定時間 | ： | 約20秒 |

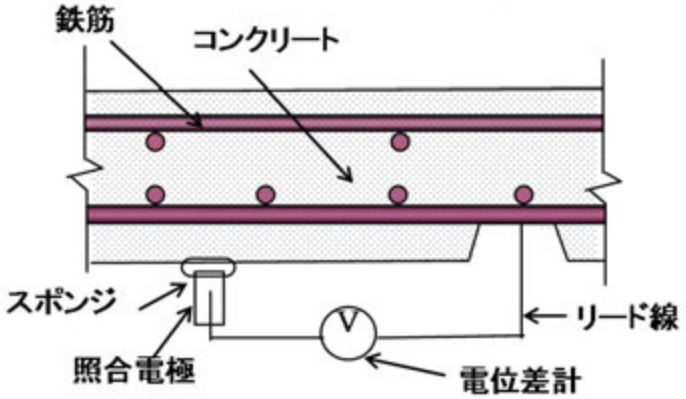


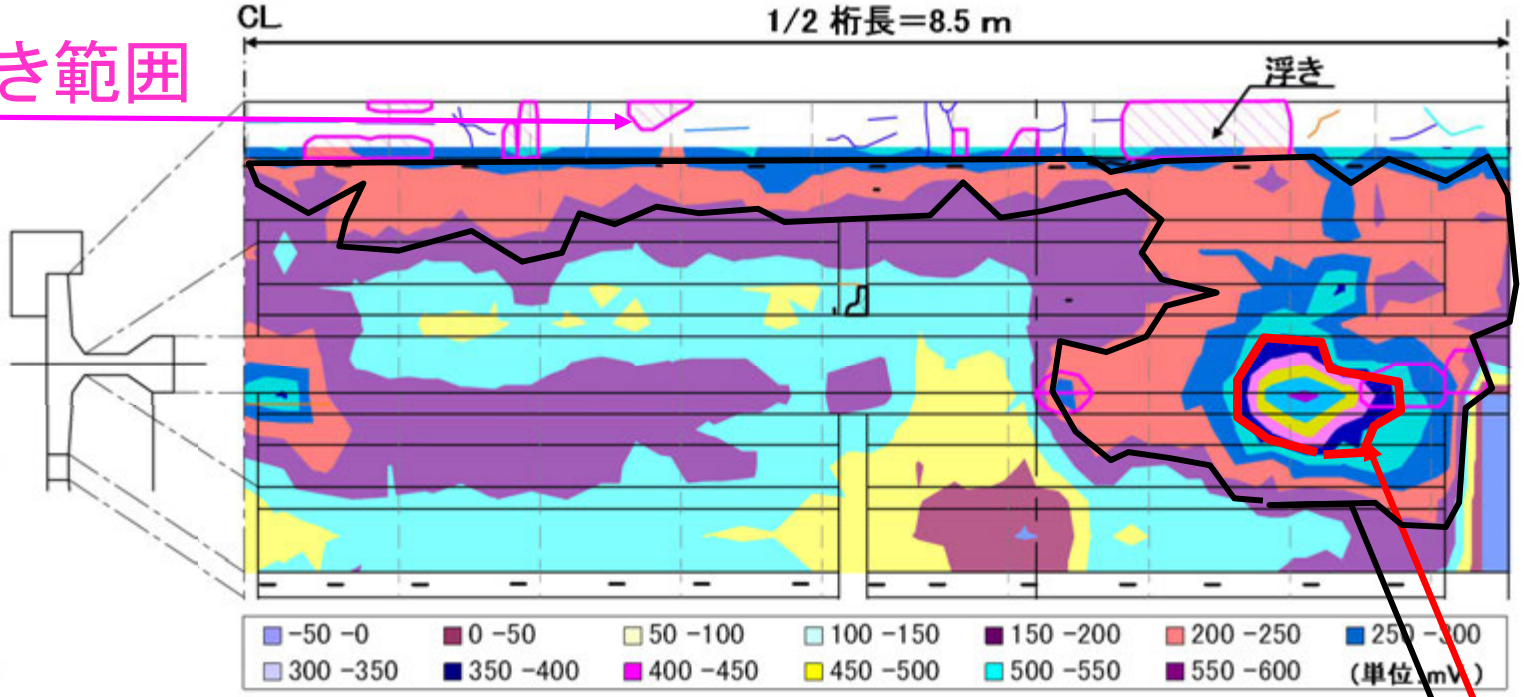




塩分濃度の概略値や塩分浸透範囲を現地で把握できる

# 鉄筋腐発生範囲の調査(自然電位)

浮き範囲




【自然電位測定値の分布図】

| 自然電位ECSE(mV) | 鉄筋腐食の可能性 |
|---|---|
| -200<E | 90%以上の確率で腐食なし |
| -350<E ≦-200 | 不確定 |
| E≦-350 | 90%以上の確率で腐食あり |

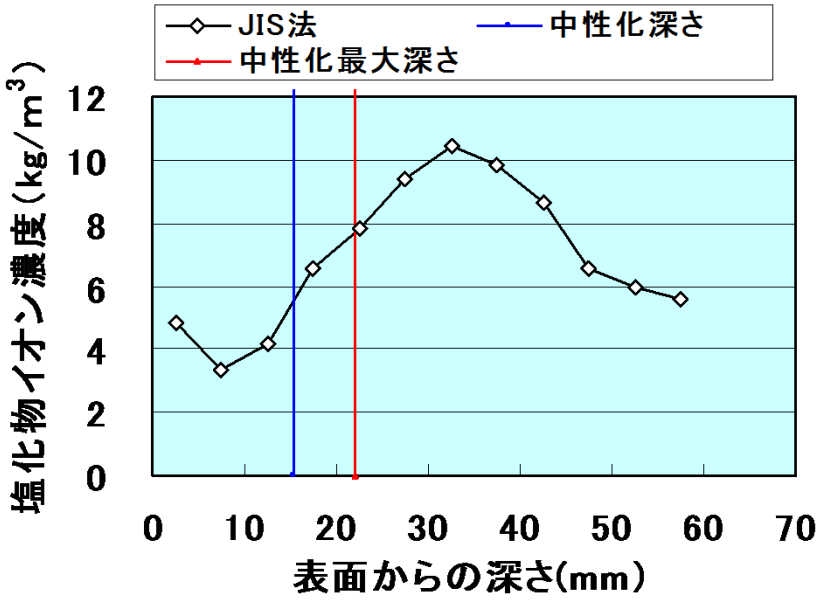
鉄筋腐食範囲:補修範囲や工法決定に関する有用な情報

# EPMA分析

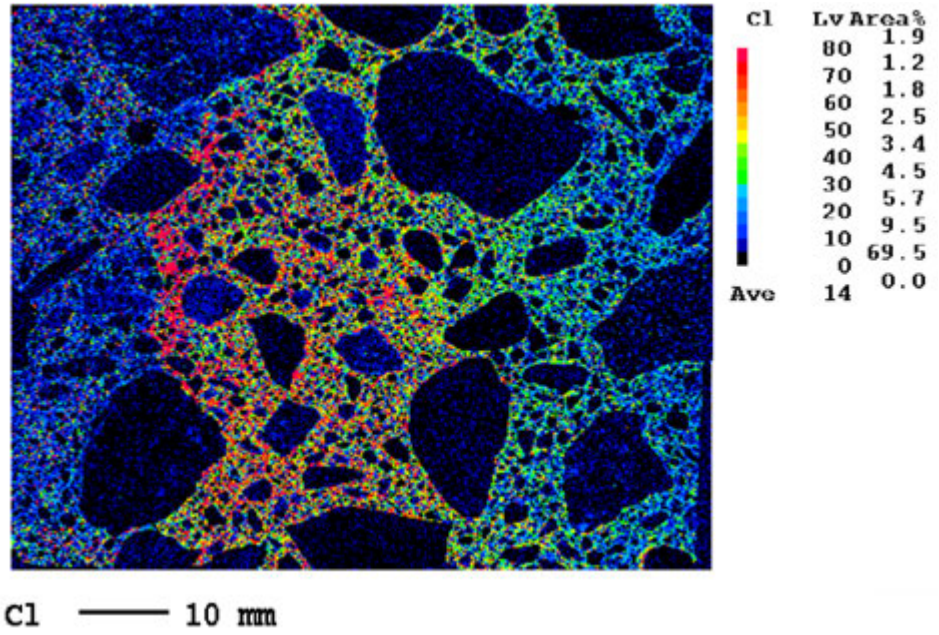
## 【元素のマッピング】

塩素などの劣化因子の分布を観察することができる

劣化事象や補修材料の効果等の評価に有益な情報が得られる




塩素の分布

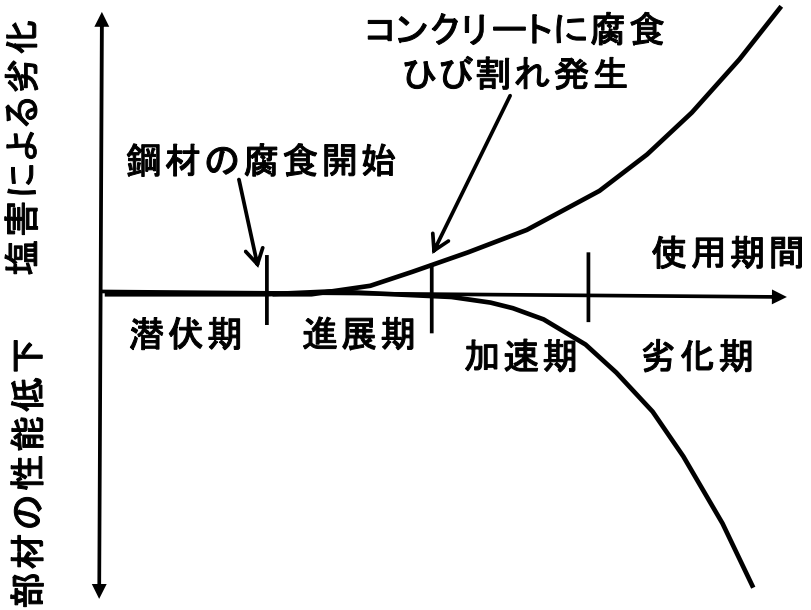



未中性化領域への塩素の濃縮・拡散

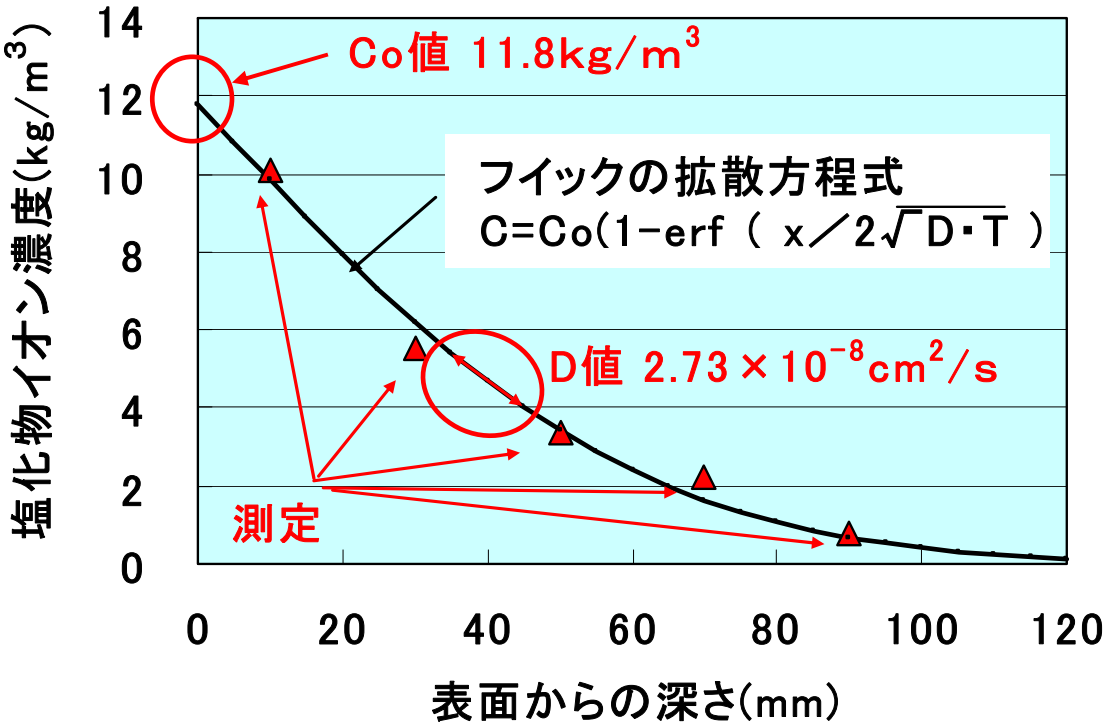
# 診　断

## 診断：現状の劣化過程期の判定＆塩分浸透度を評価

【劣化進行過程期】



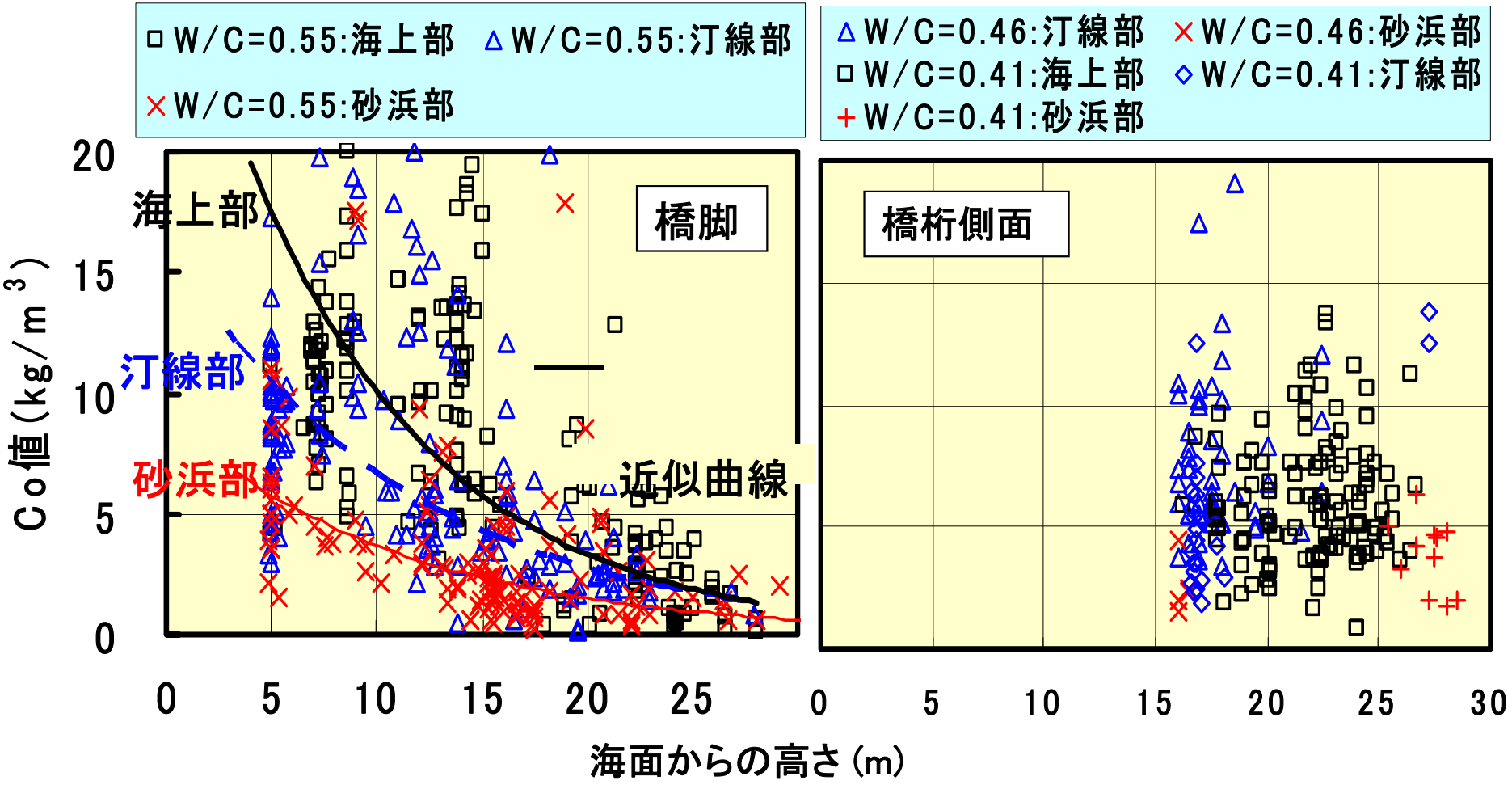

【塩化物イオン濃度分布より
Co値・D値を求める】




概ね適用する対策工法を選定

塩分浸透度はCo・D値を求めて評価し，劣化予測を行う

# 海岸橋のCo値の分布状況



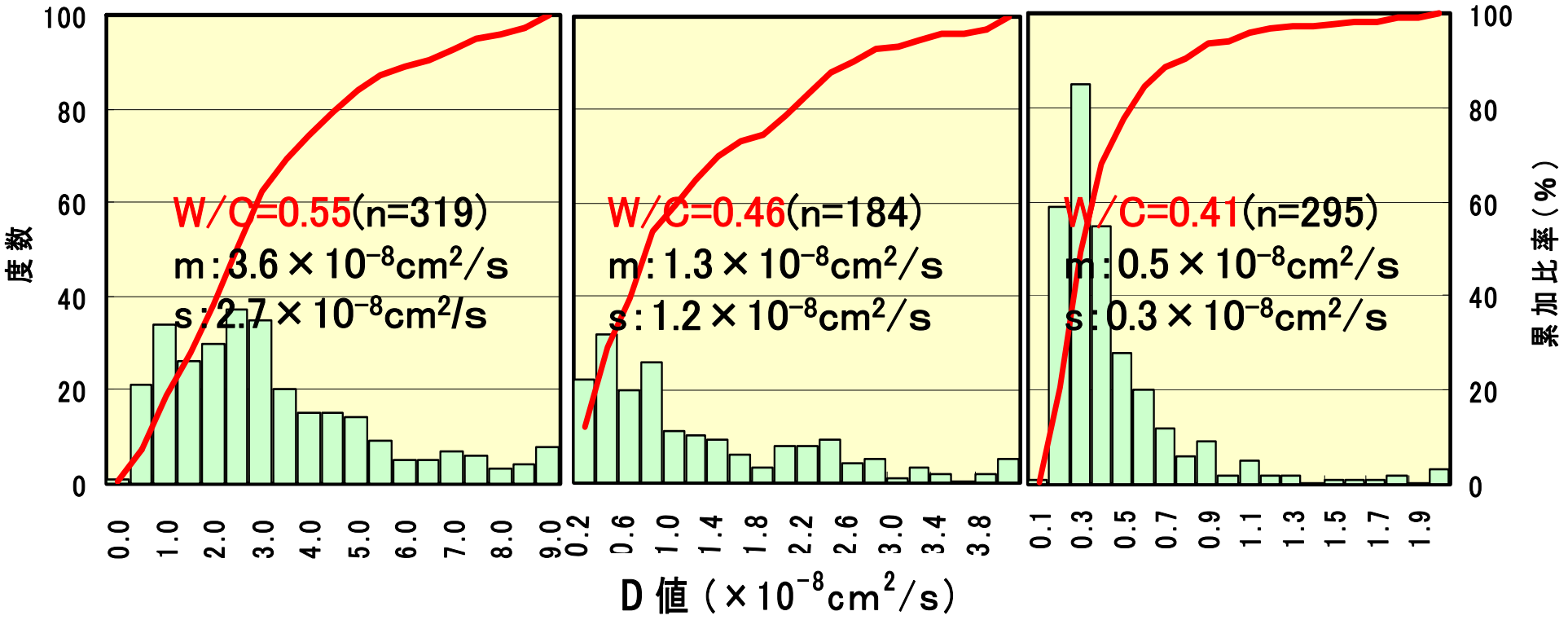

## 示方書のCo値(kg/m³)

| 飛沫滞 | 汀線部 | 100m |
|---|---|---|
| 13.0 | 9.0 | 4.5 |

砂浜部＜汀線部＜海上部、高さ15mまで大

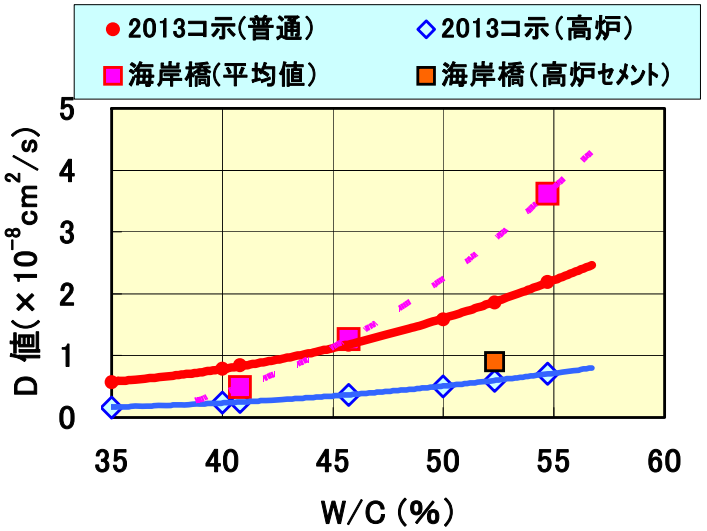
同じ高さ:橋桁＞橋脚より大きい(雨水の影響)

# 海岸橋のD値の分布状況



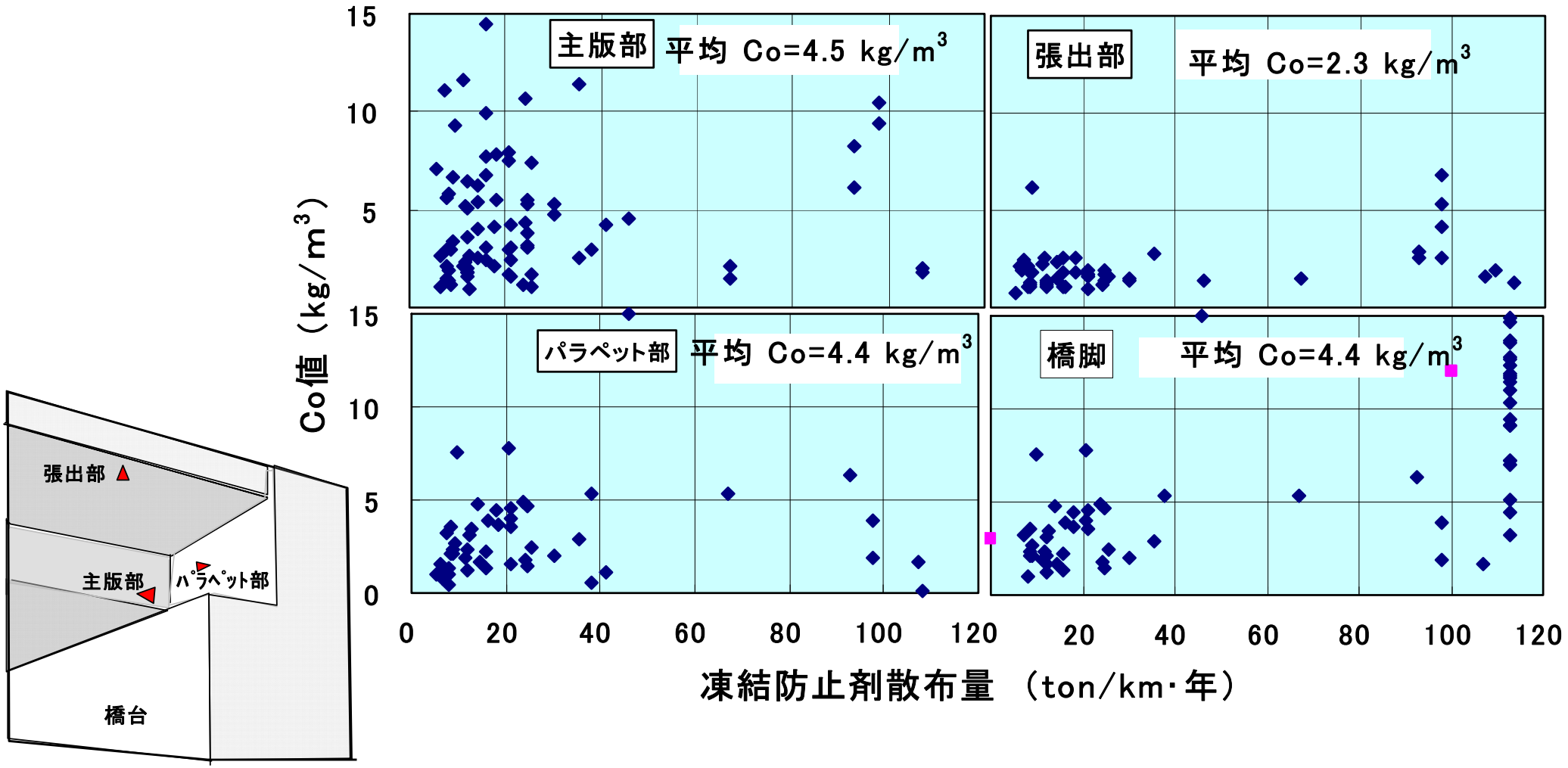

対数正規分布を示し、W/C 小⇒D値 ・ばらつき 小

D値の示方書との比　較




W/C が大きい場合、示方書のD値は小

# 凍結防止剤散布量とCo値の部位ごとの関係

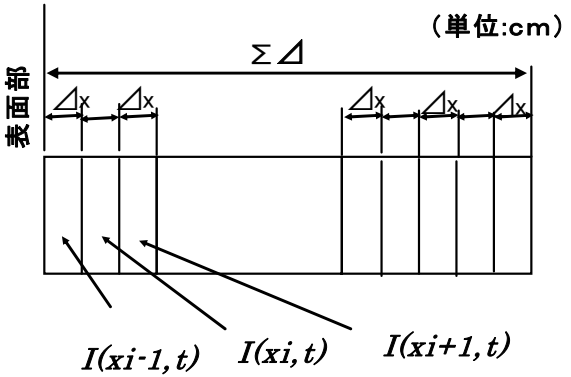



Co値：張出し部＜パラペット部＜主版部の順で大きくなる傾向

Co値と凍結防止剤散布量との間には明確な相関が見られない

# 劣化予測(各種イオンの移動予測)

## 【差分法による予測】

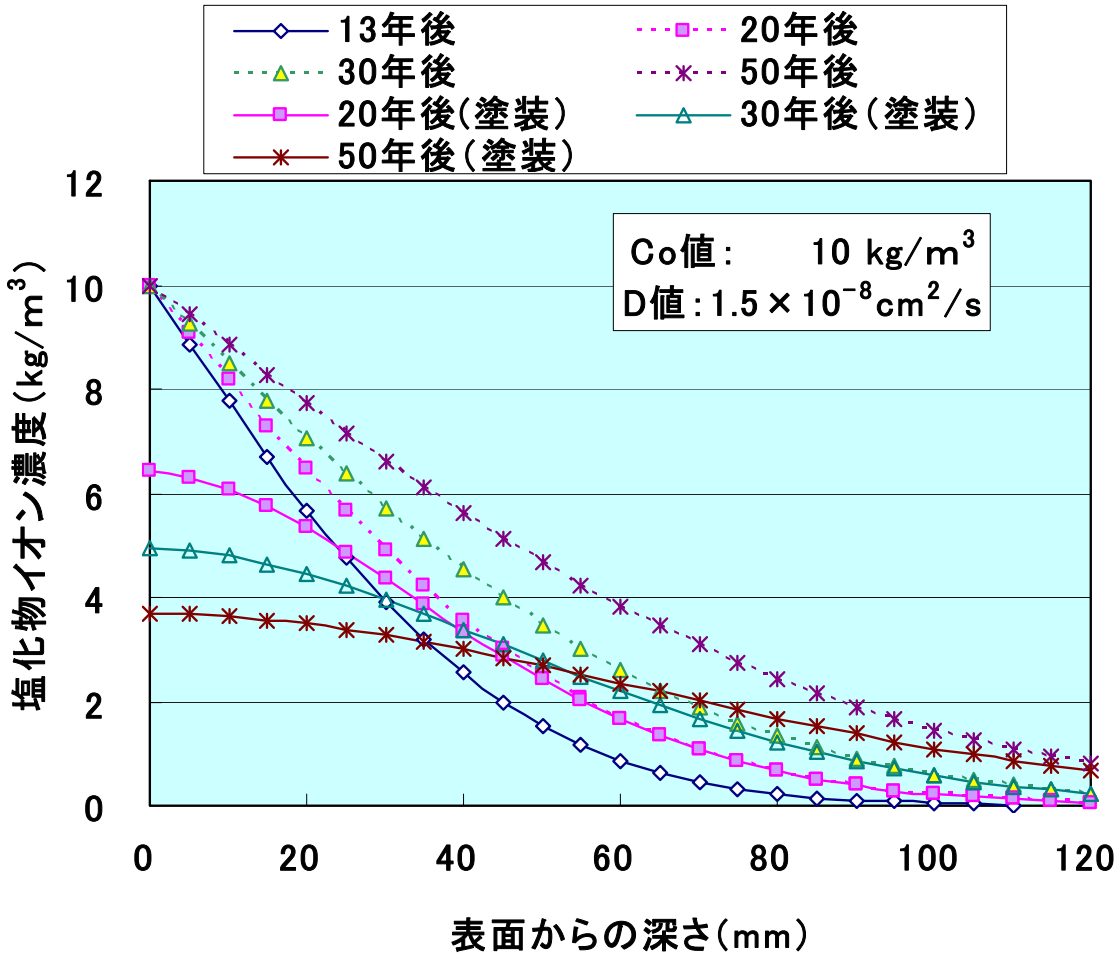



$$I(xi,t+\Delta t) = D \times \frac{A}{(\Delta x)2} \times \Delta t + I(x,,t)$$

ただし　$I$　:各種イオン濃度(kg/m$^3$)

$D$　見かけの拡散係数　(cm$^2$/s)

## 【予測例】

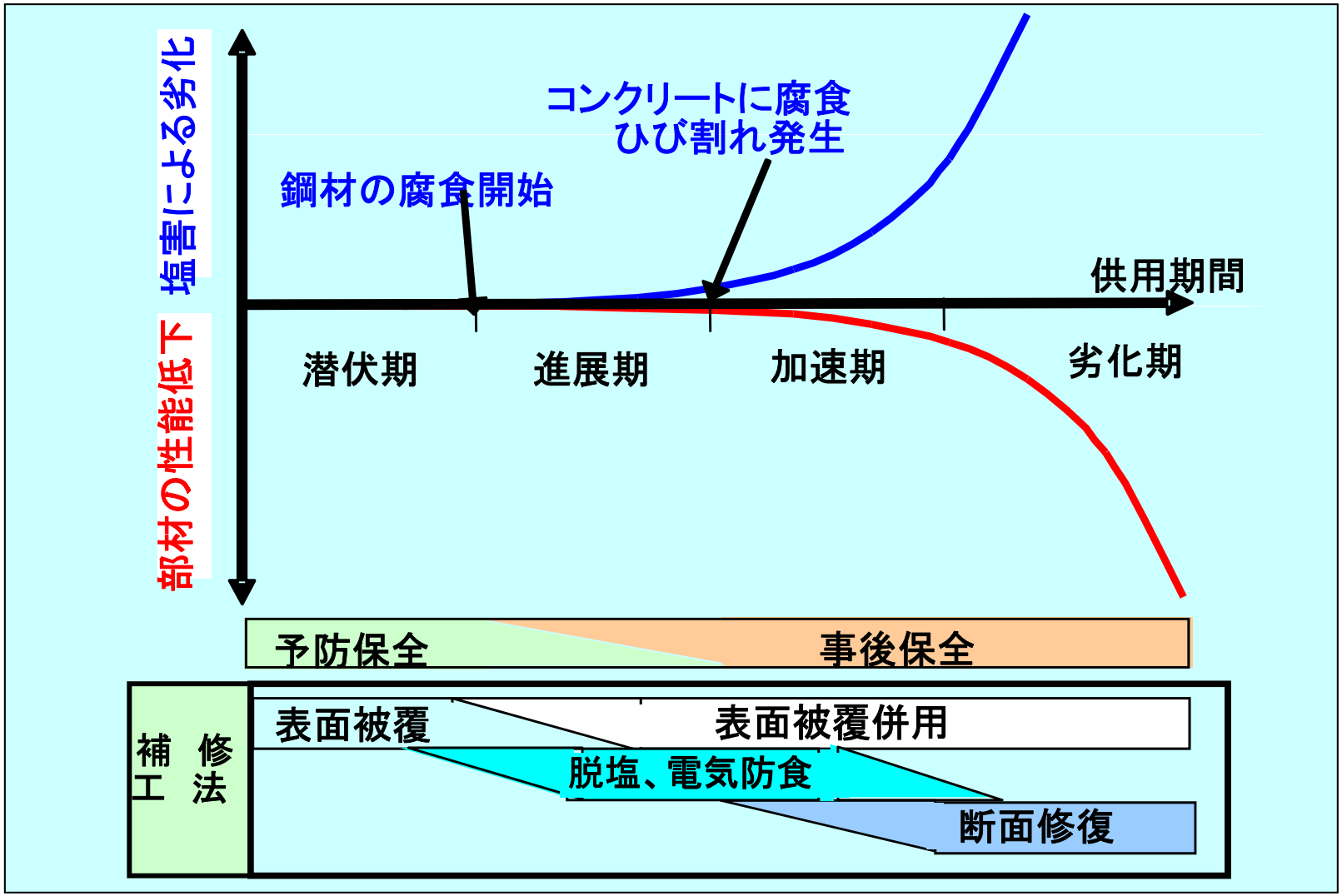



塗装の有無による塩化物イオン濃度分布の変化

各種イオンのコンクリート中の移動予測は，差分法を用いる

# 塩害対策工

【各劣化過程期と標準的な塩害対策工法】



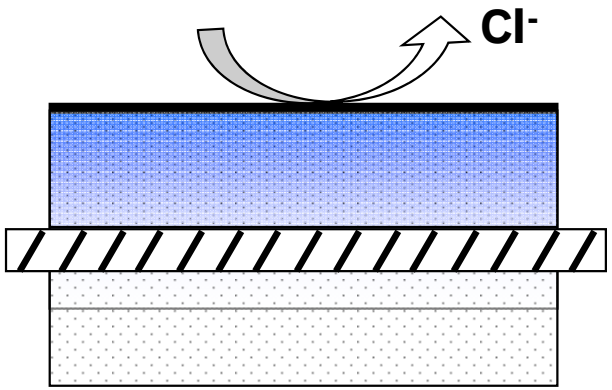

潜伏期～進展期の対策が予防保全，それ以降が事後保全に該当

# 標準的な塩害対策工法

予防保全

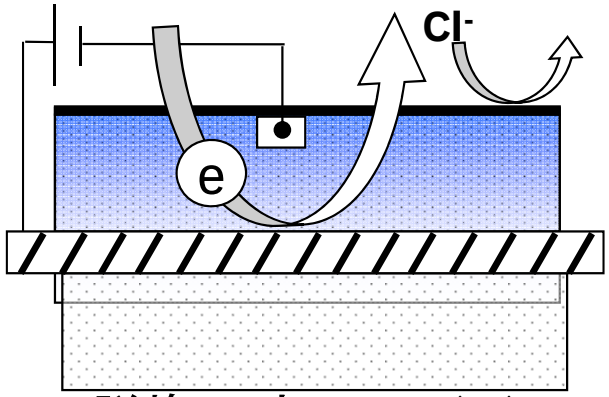
事後保全

表面被覆工法（塗装）

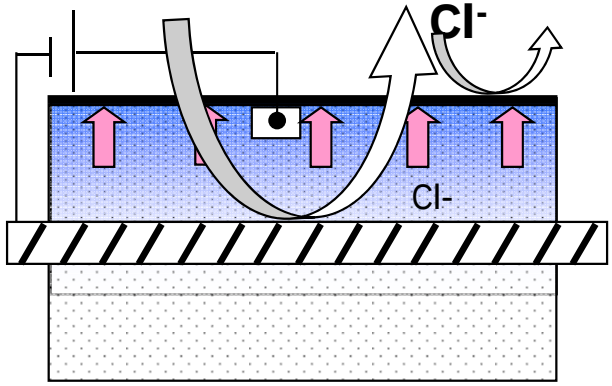



ひび割れ注入

電気防食工法＋（D）

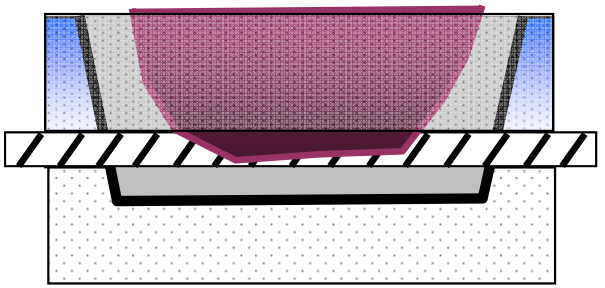



脱塩工法＋C＋（D）




断面修復工法+C

鉄筋周囲の劣化部除去



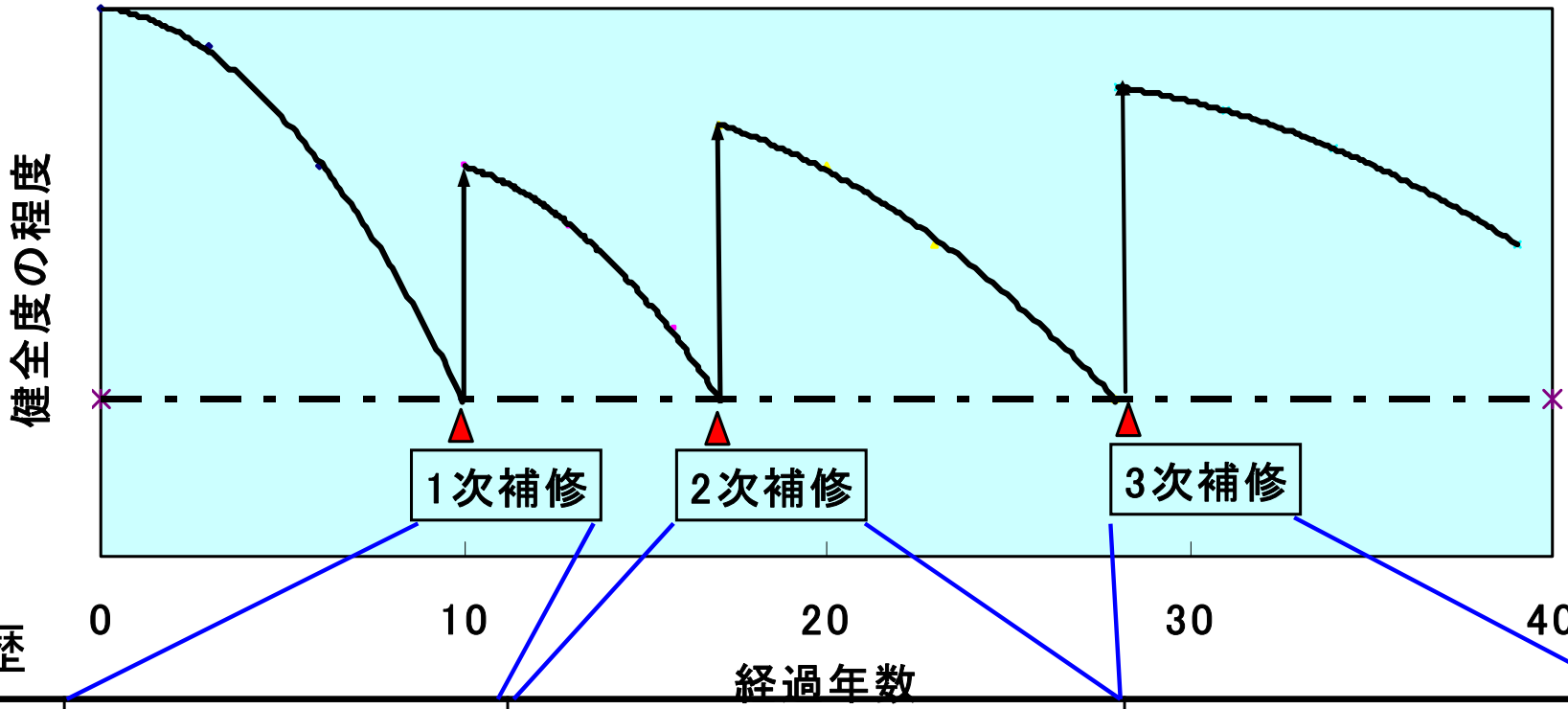
新しい補修材料に置換

C　：表面被覆を併用
(D)：部分的断面修復

| 鉄筋腐食なし | 腐食開始 | ひび割れ発生 | 浮き・はく離 |
|---|---|---|---|
| （潜伏期） | （進展期） | （加速期） | （劣化期） |

# 塩害対策の問題点（補修後の再劣化）

海岸付近のPC橋

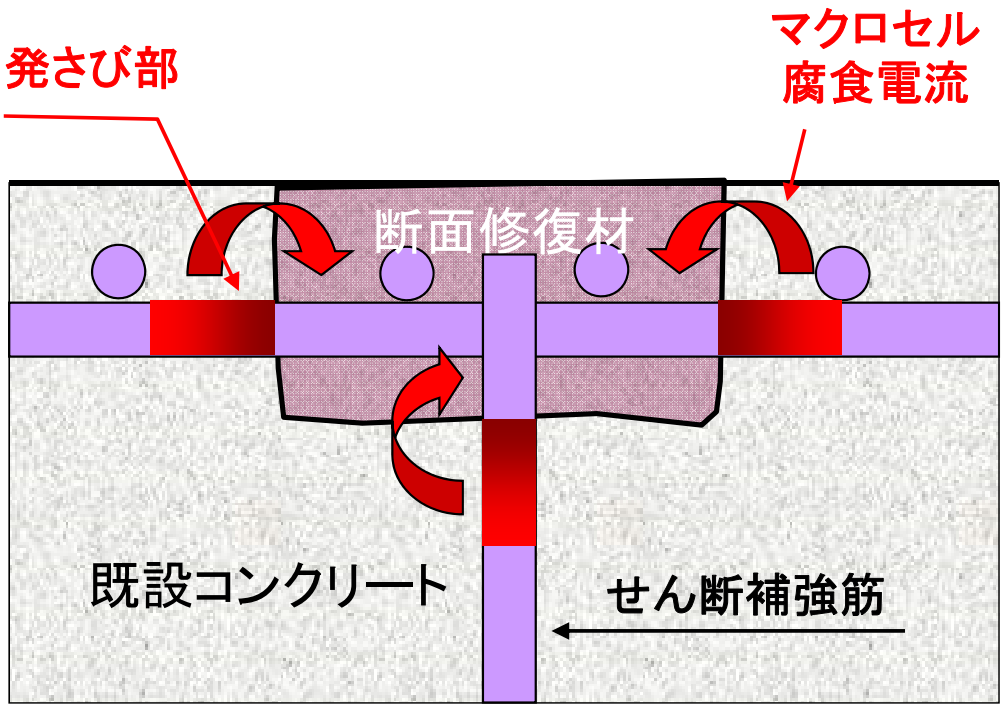



補修履歴

| 補修範囲 | 劣化部のみ | 劣化部のみ | 全面　鉄筋背面 |
|---|---|---|---|
| 断　面<br>修復材 | ブレーカー<br>エポキシ樹脂等 | ｻﾝﾄﾞﾌﾞﾗｽﾄ<br>ﾎﾟﾘﾏｰ系無収縮モルタル | ウオータジェット<br>ﾎﾟﾘﾏｰセメント系 |
| 塗　装 | ﾎﾟﾘﾌﾞﾀｼﾞｪﾝ+アクリルウレタン系 | エポキシ+ポリウレタン系 | エポキシ+ポリウレタン系 |

# 塩害対策後の再劣化

## マクロセル腐食による再劣化



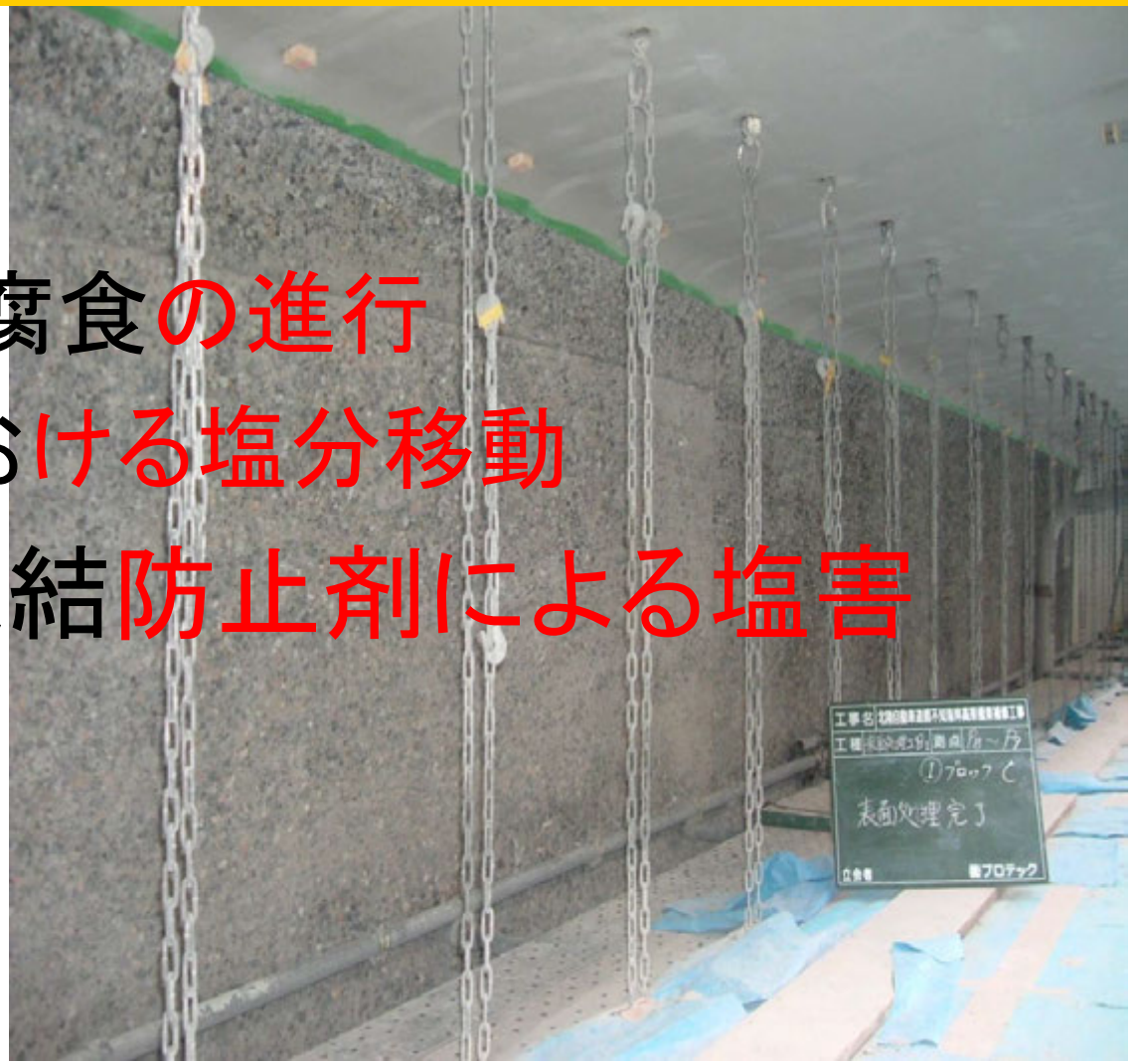

残存塩分量が多いほど腐食電流大

断面修復による補修で，既設コンクリートに残存する塩分により，
補修しなかった部分の鉄筋がマクロセル腐食を生じることが原因

補修後の再劣化リスクを小さくする対策が必要（調査・設計が重要）

# 5. 塩害劣化事象の解明

- ○ 試験研究室
- ○ 実構造物での鉄筋腐食の進行
- ○ 中性化した部位における塩分移動
- ○ 鋼橋RC床版の凍結防止剤による塩害



# 弊社の試験研究室

〇2002年 試験研究室を設置
〇塩害・ASRに関する各種試験の実施体制の構築
〇劣化診断技術の高度化、塩害事象の解明等の取組み

試験研究室

登録番号　140358JP

EPMA

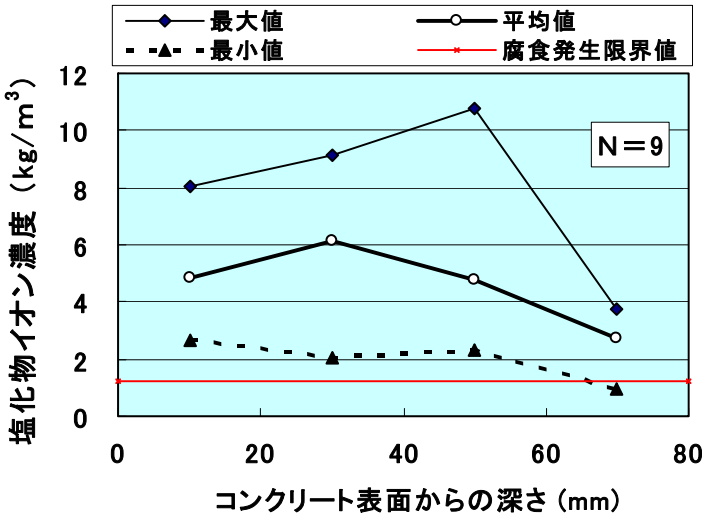
複合サイクル試験設備

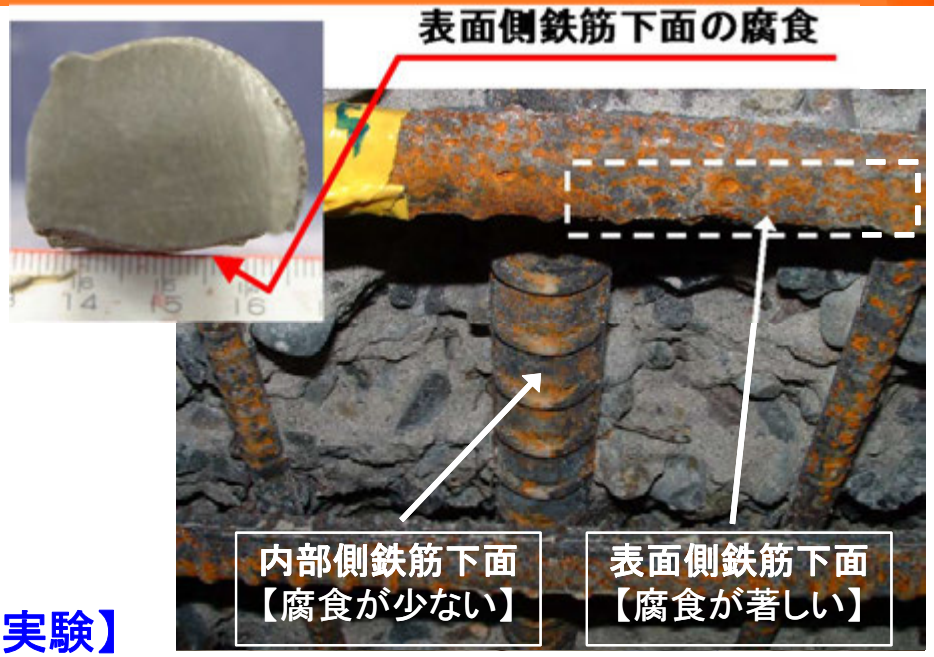
電位差滴定装置

アルカリシリカ反応試験設備

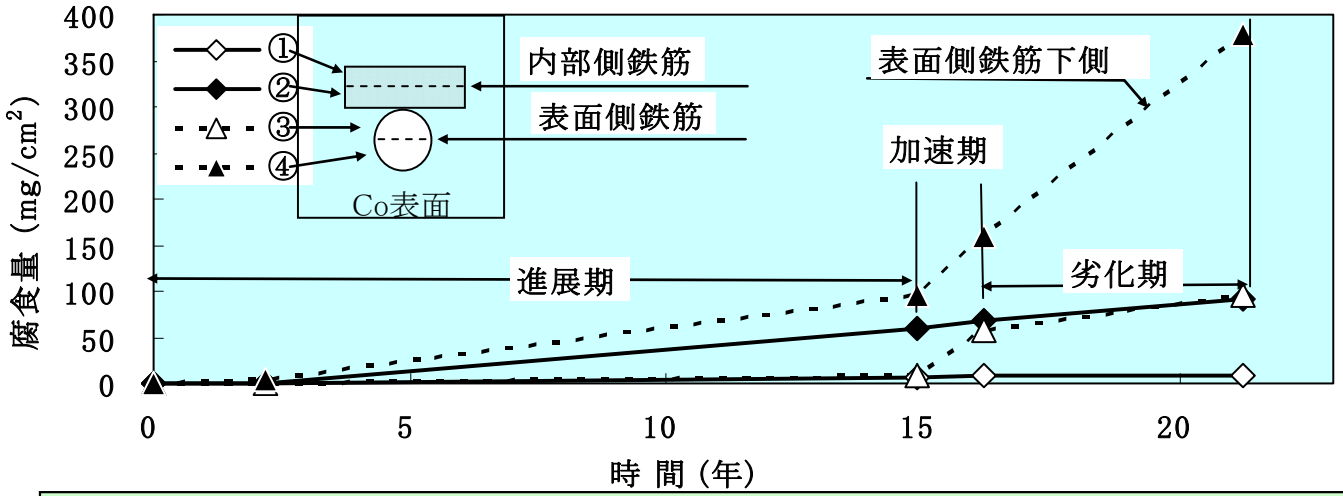
# 実構造物での鉄筋腐食進行

【 劣 化 部 】
深くまで多くの
塩分が浸透




【劣化過程期を模擬した分割鉄筋を用いた腐食実験】




【実験結果】加速期以降は表面側鉄筋下面の腐食進行が激しい（鉄筋下面がアノード，他の鉄筋がカソードとなる腐食回路が形成されることによると考える）

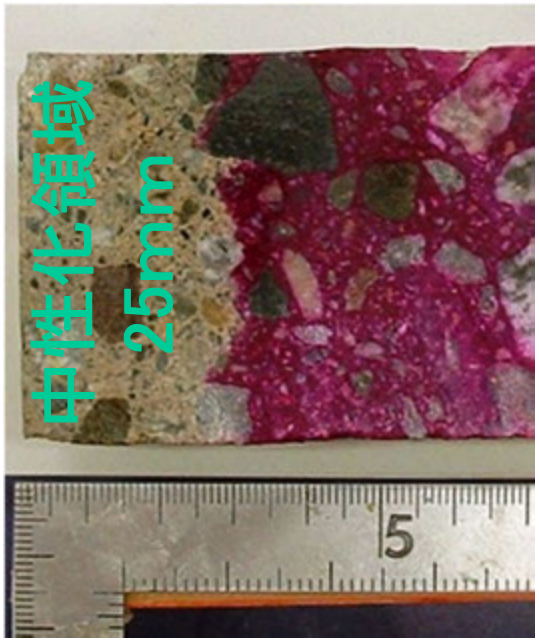
鉄筋腐食は表面側鉄筋下面が著しく、内部の鉄筋腐食は小

劣化（ひび割れ・浮き）は表面側鉄筋付近で発生している

# 中性化した部位における塩分移動

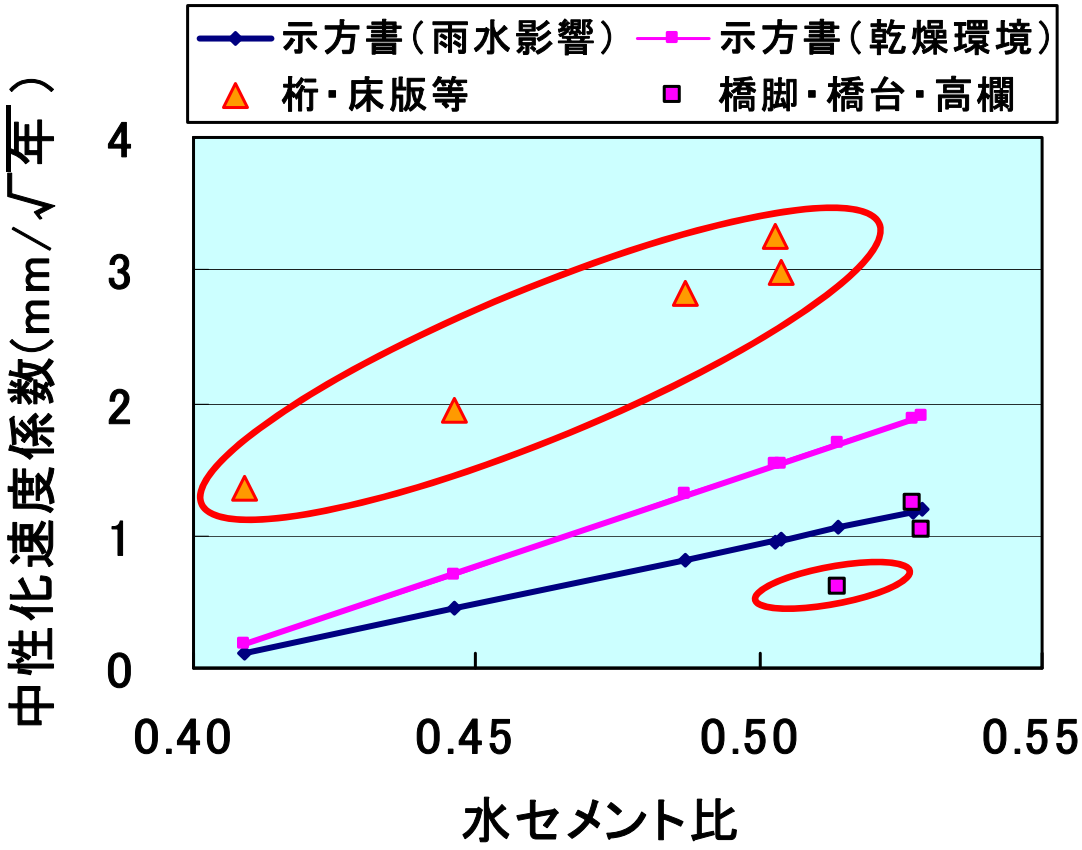
## 【中性化の事象】

コンクリート：PH12～13
炭酸ガスの作用
PH8.2～10以下（中性化）



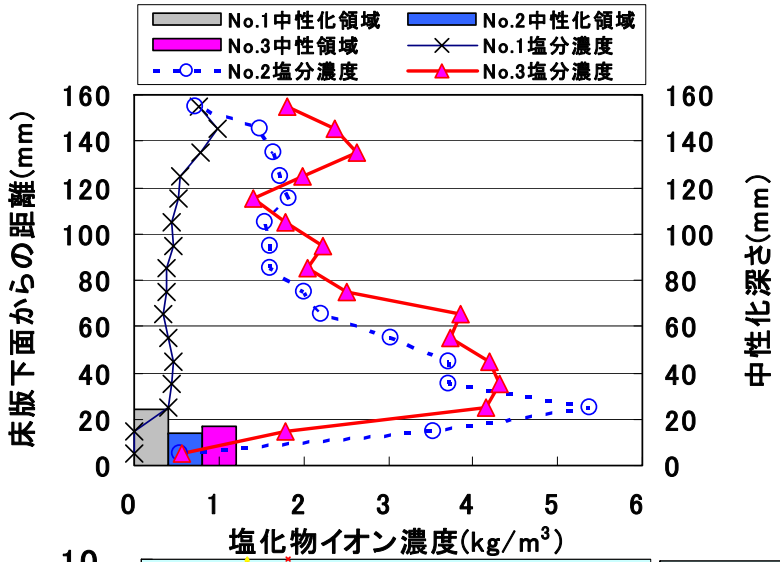

## 【北陸の実構造物の中性化速度係数】

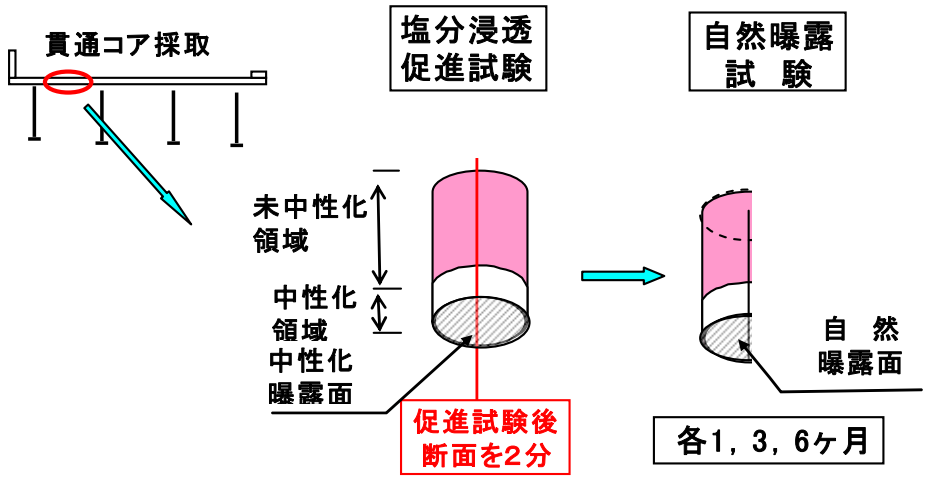
中性化深さ=中性化速度係数×√経過年数

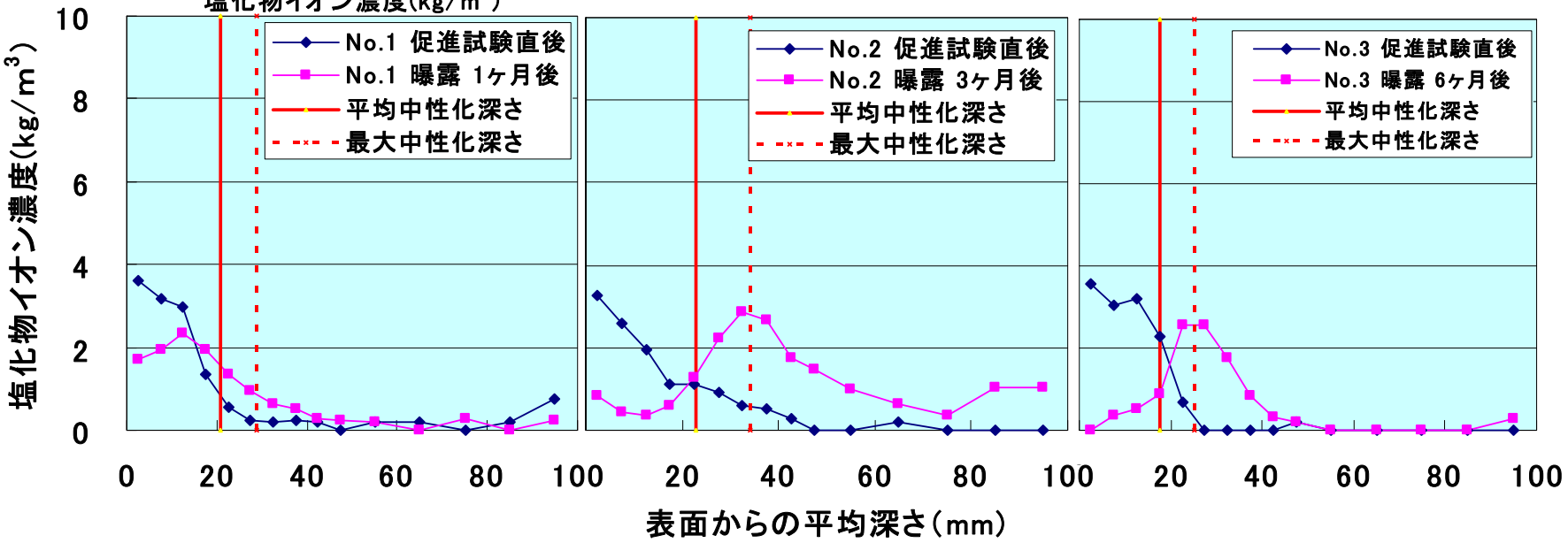



雨水の影響を受けないRC床版等の部位は，雨水の影響を受ける部位に比べ，の中性化進行は約3倍と早い

# 中性化領域と塩分移動・濃縮現象



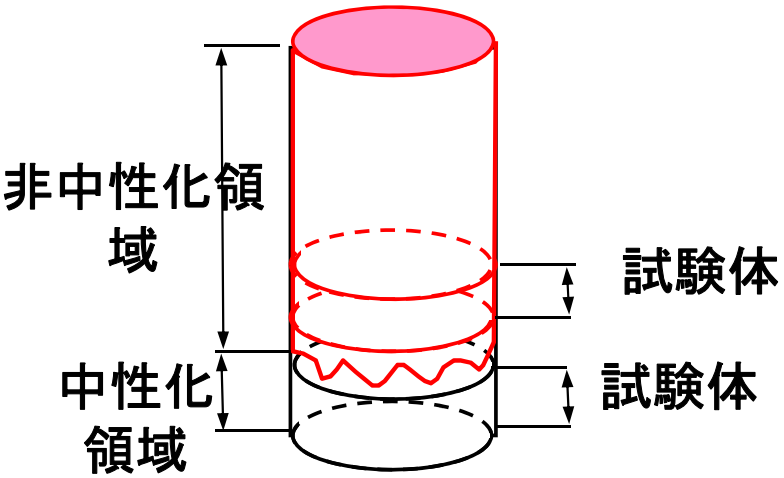

劣化したRC床版では，下側鉄筋付近の塩分濃度が高い事例が多い

曝露3ヶ月後には，ほとんどの塩分が未中性化領域に移動する

# 水分移動性試験結果【飽和度の変化】

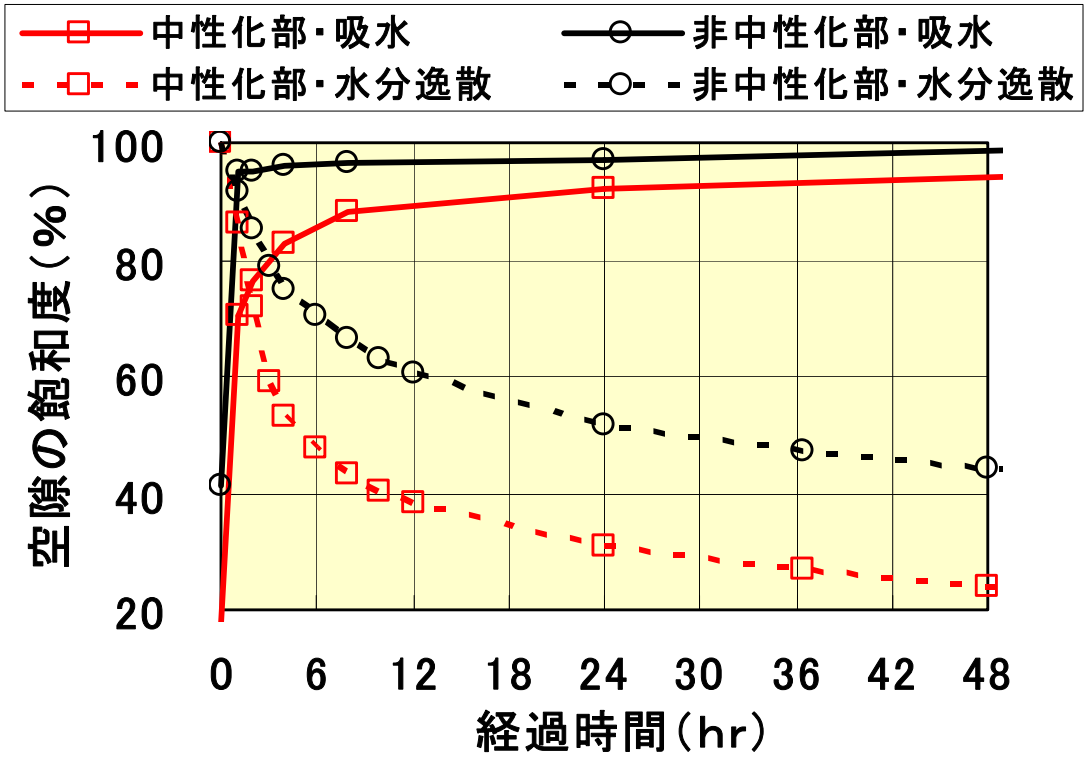
## 【吸水・乾燥による質量変化から飽和度を算定】

### 試験体の作成




38年経過したRC床版（W/C=0.51，セメント量300kg/m³）よりコア採取

### 飽和度の変化



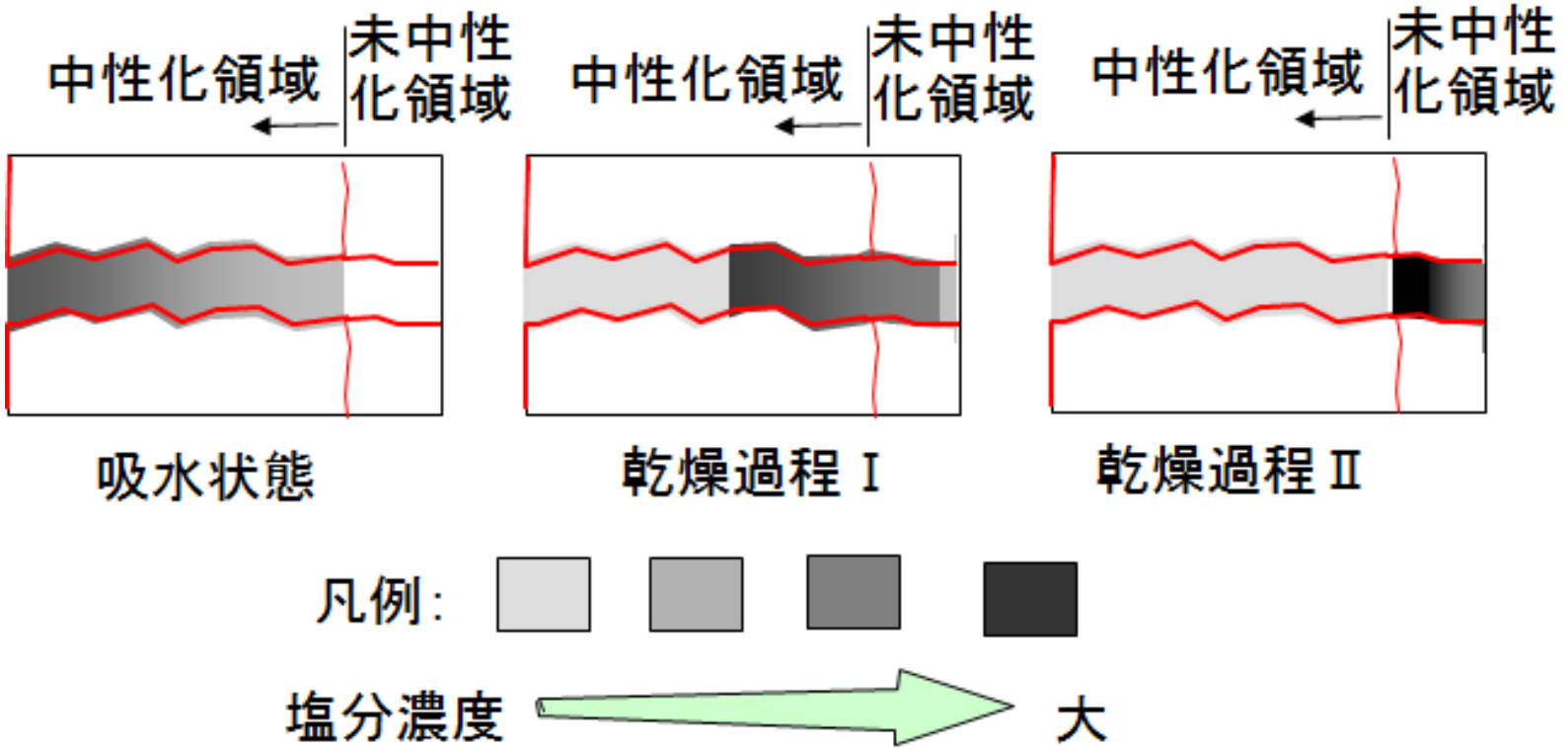

中性化部分：乾燥過程で水分が短時間に内部空隙から外に逸散する

非中性化部分：短時間に飽和状態になり，内部空隙の水分が逸散しにくい

両者の水分の移動性状が大きく異なっている

# 塩分移動・濃縮現象のメカニズム

## 【細孔の模式図による考察】



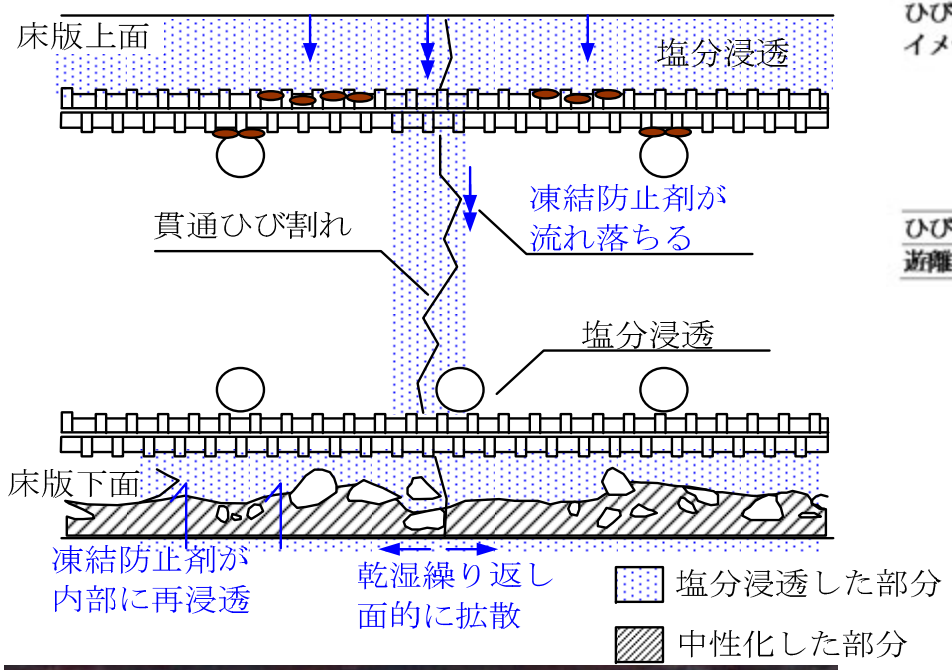

コンクリート表面に付着した塩分は水分に溶けて細孔中に吸収される

乾燥過程で，短時間に表面側から外部に順次水分は逸散し、残った細孔水に塩分が順次濃縮されながら非中性化領域に移動すると推察される

非中性化領域では常に飽和状態にあり、濃縮された塩分は中性化領域側に移動せず、内部に濃度差拡散すると推察される

# 鋼橋RC床版の凍結防止剤による塩害

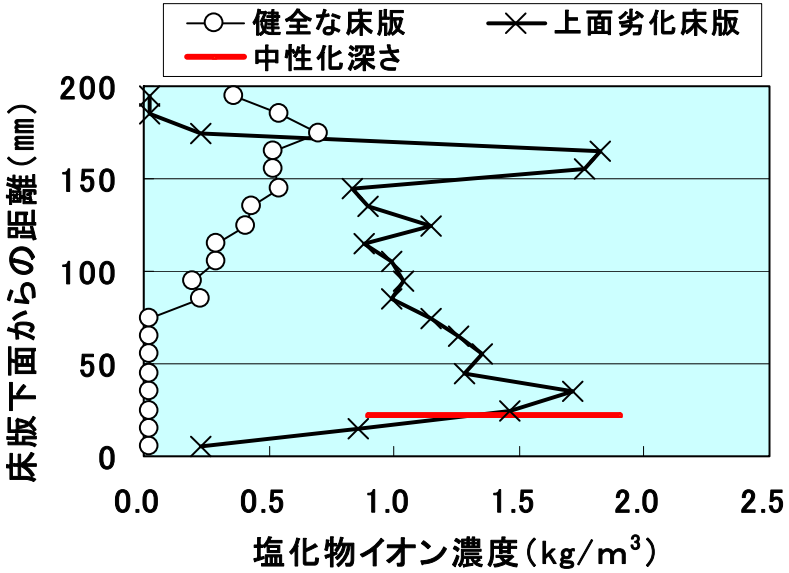
## 【疲労と塩害を受けたRC床版の劣化】



## 【疲労劣化の進行】

| パネル判定 | D | C | B | A |
|---|---|---|---|---|
| ひび割れ イメージ図 | | | | |
| ひび割れ形態 | 一方向 | 二方向 | 亀甲状 | 亀甲状 |
| 遊離石灰 | なし | 軽微 | 多い | 著しい |

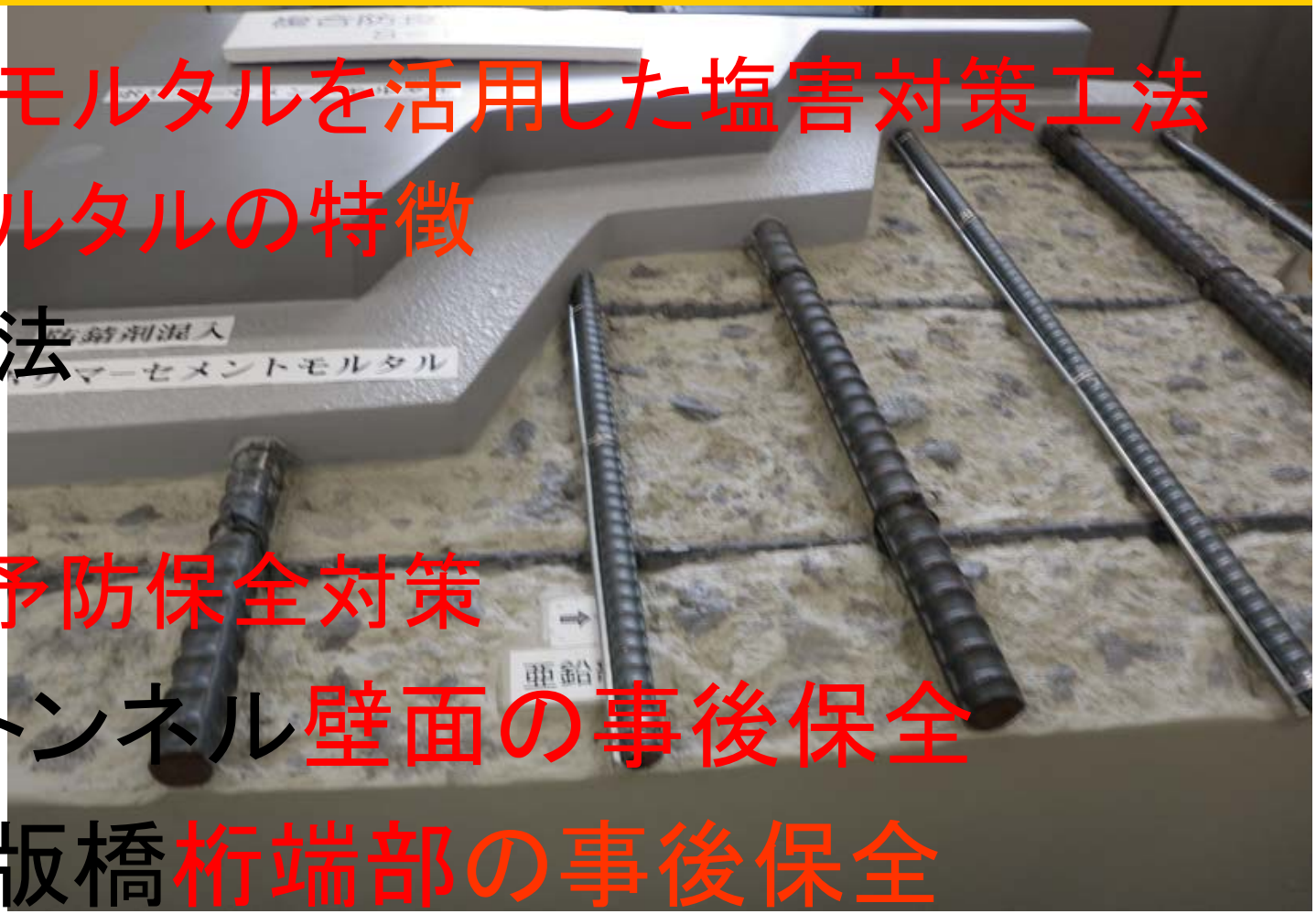
## 【床版中の塩化物イオン濃度分布】




床版疲労が進行し塩分がRC床版下面に到達すると，中性化が進んだ状態で塩分は急速に内部の鉄筋付近に移動・濃縮して、鉄筋腐食を加速させる

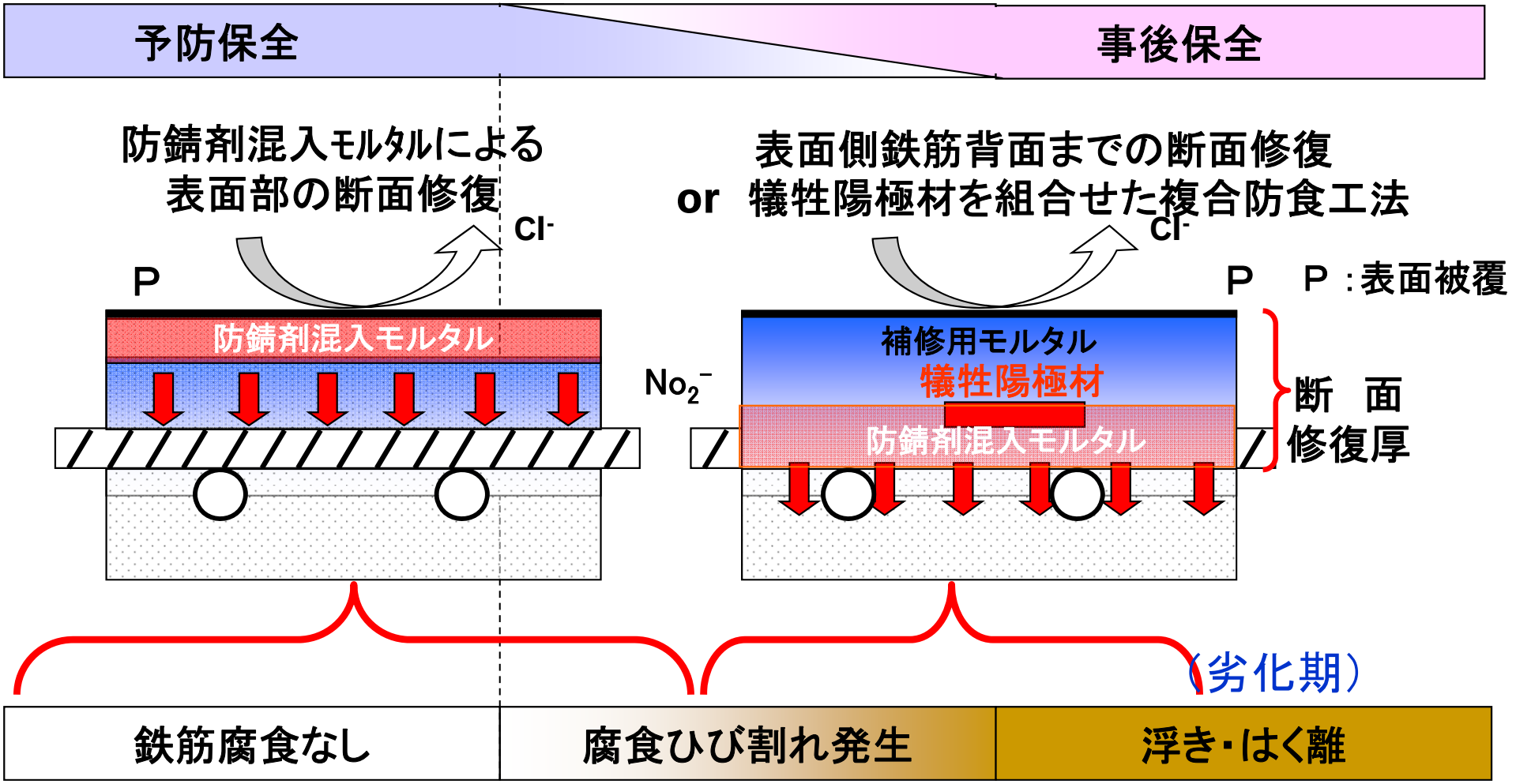
# 6. 防錆剤を活用した塩害対策とその適用事例

- ○ 防錆剤混入モルタルを活用した塩害対策工法
- ○ 防錆混入モルタルの特徴
- ○ 複合防食工法
- ○ 適用事例
  - ・海岸橋での予防保全対策
  - ・C-Bx構造トンネル壁面の事後保全
  - ・RC中空床版橋桁端部の事後保全



# 防錆剤を活用した塩害対策工法

【鉄筋腐食進行の特徴を踏まえた，高濃度の防錆剤混入モルタルを活用する塩害対策工法】



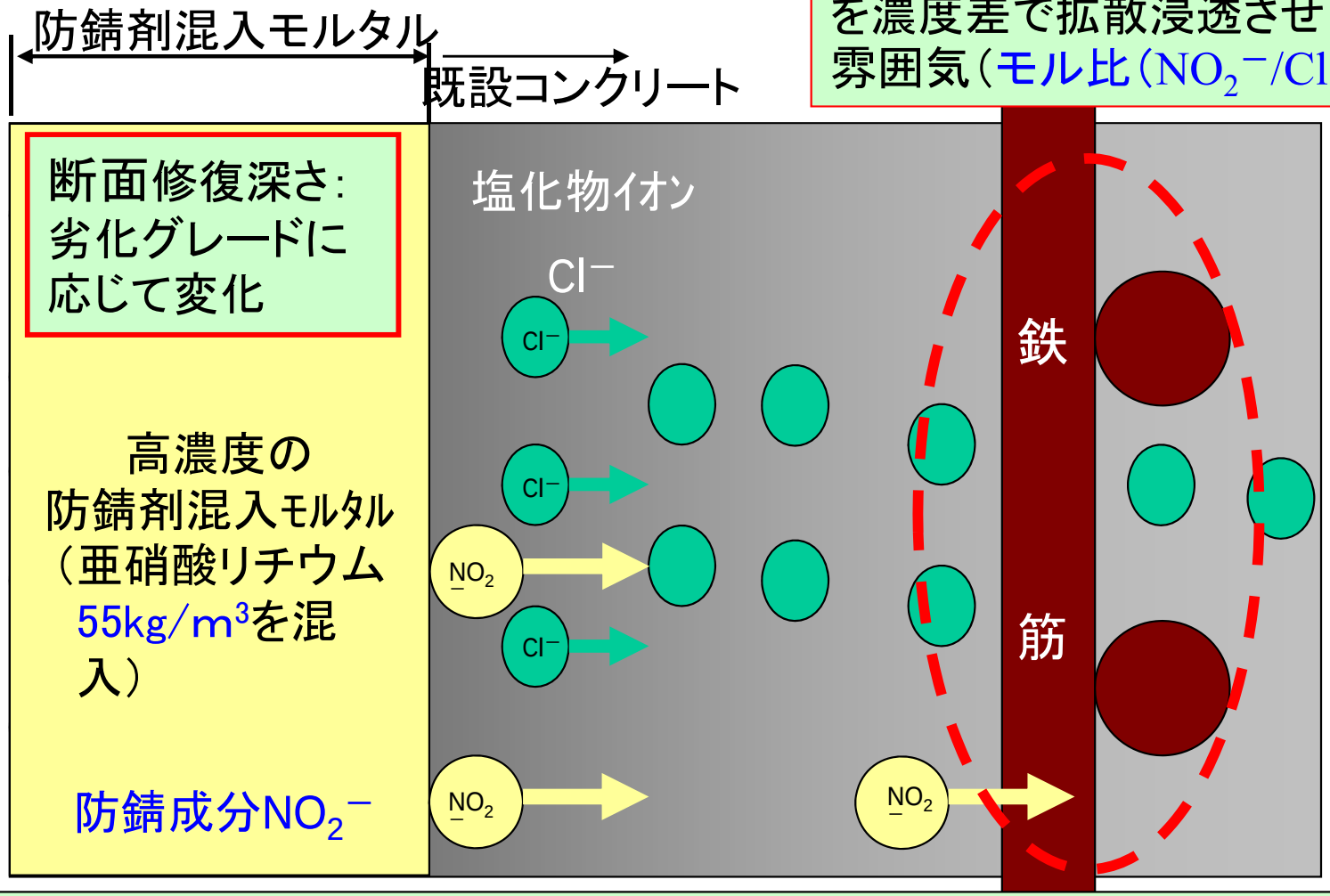

特徴：防錆成分を浸透させて鉄筋を防食し、マクロセル腐食を防止できる

防錆材は、補修モルタルへの混入性や施工性より亜硝酸リチウム溶液を使用

# 工法と防錆機能

## 【工法の基本：実験結果を基づく】

腐食環境下にある鉄筋に対して，防錆成分を濃度差で拡散浸透させ，鉄筋位置で防錆雰囲気（モル比（$NO_2^-/Cl^-$）0.8程度を形成




亜硝酸イオンは不導態被膜を修復

$Fe^{2+} + 2OH^- + 2NO_2^-$

⇩

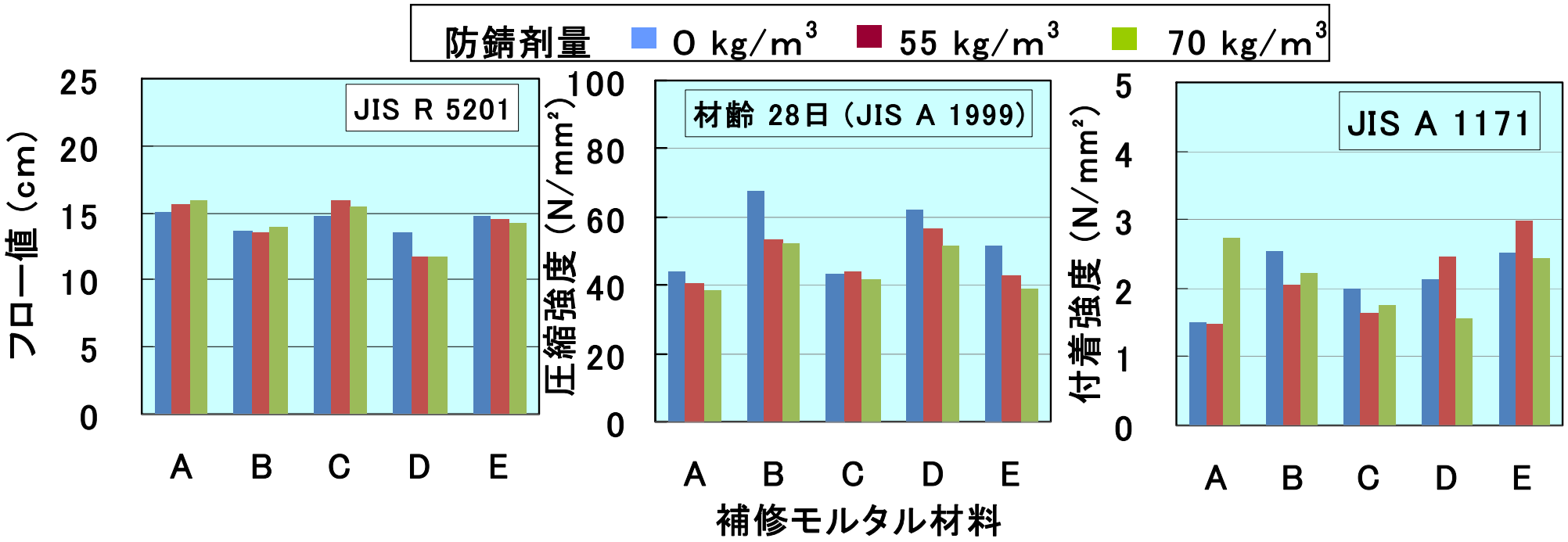
$Fe_2O_3 + H_2O + 2NO$

防錆成分は高濃度であるほど，防錆雰囲気が早く形成できる

加速期では，ひび割れが発生している表面側鉄筋背面まではつり，3年未満に内部鉄筋で防錆雰囲気が形成できる場合に適用

# 防錆剤混入モルタルの特徴（実験結果）

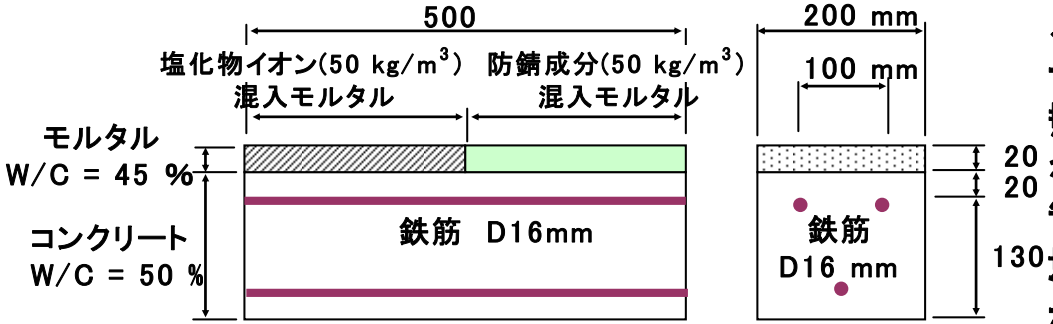
【市販の補修用モルタルへの亜硝酸リチウム（$LiNO_2$）55kg/$m^3$および70kg/$m^3$混入した場合のコンシステンシーと強度に及ぼす影響　】



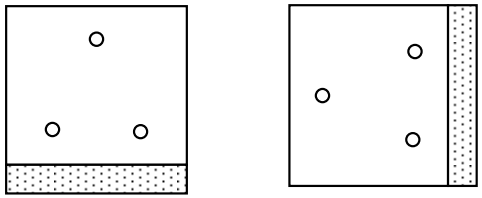

フロー値や圧縮強度，付着強度に及ぼす影響は小さい

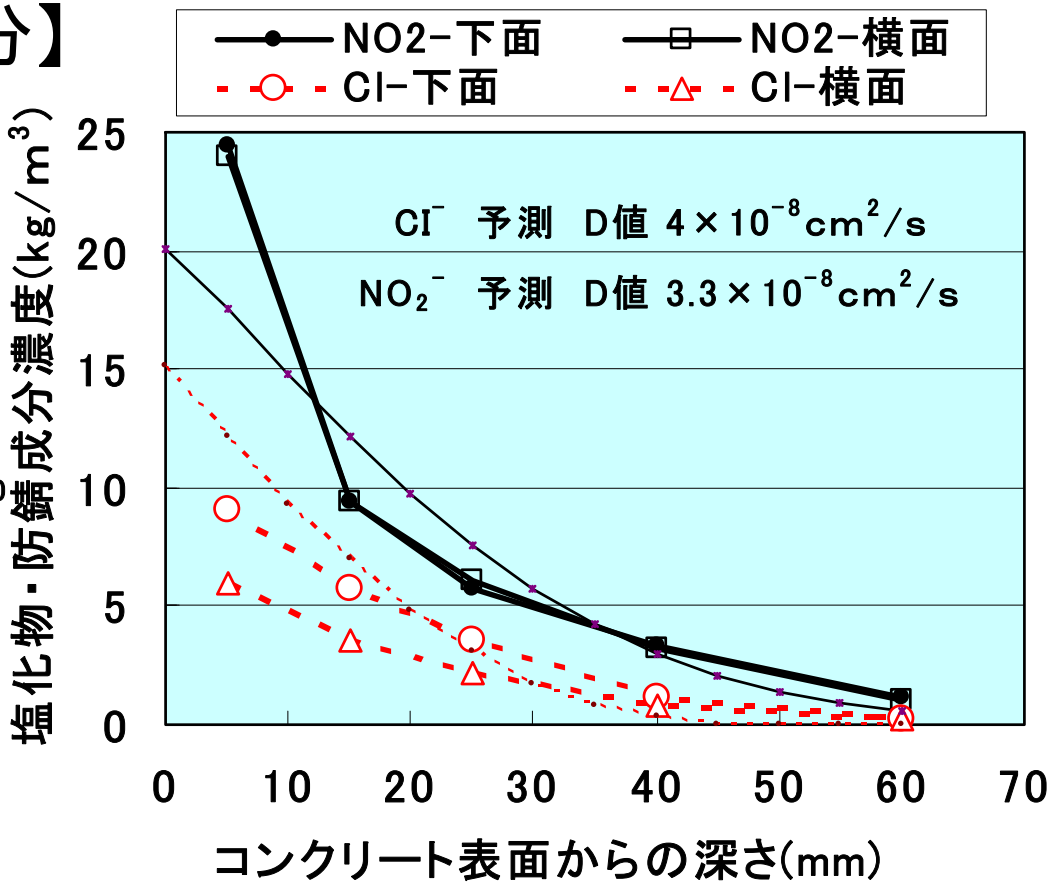
# 防錆成分の浸透性の定量的評価

【モルタル中の塩化物＆防錆成分】
（37ヶ月後の浸透量を比較）




貼付面：下面と横面に配置






防錆成分は，塩化物イオンと同様に濃度差によって浸透

貼付面の方向による差はない

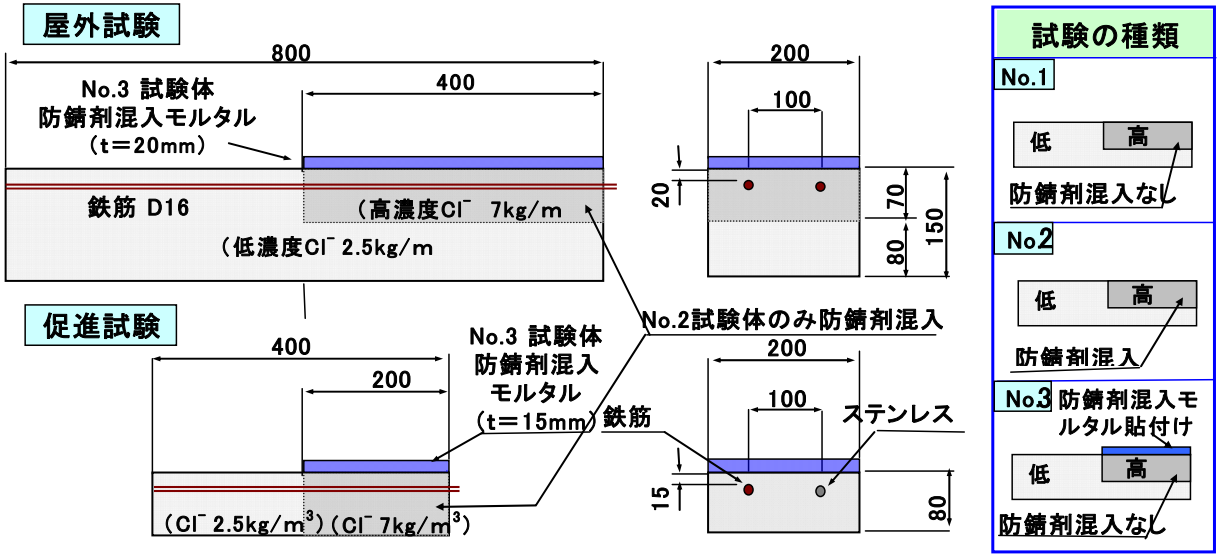
防錆成分の浸透量は塩化物イオンより大きい（D値が大）

# 防錆剤混入モルタルの防食効果

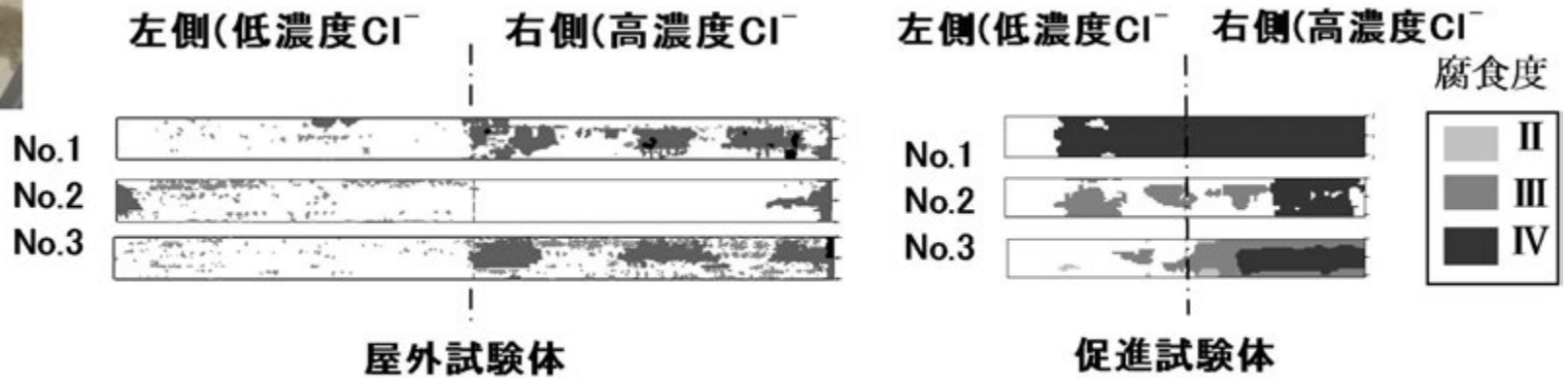
【試験体】

屋外曝露 37ヶ月
促進曝露 10ヶ月

促進曝露条件：乾湿・繰り返し（40℃4日間乾燥－3日間湿潤）




【試験後に解体した鉄筋の腐食状況】



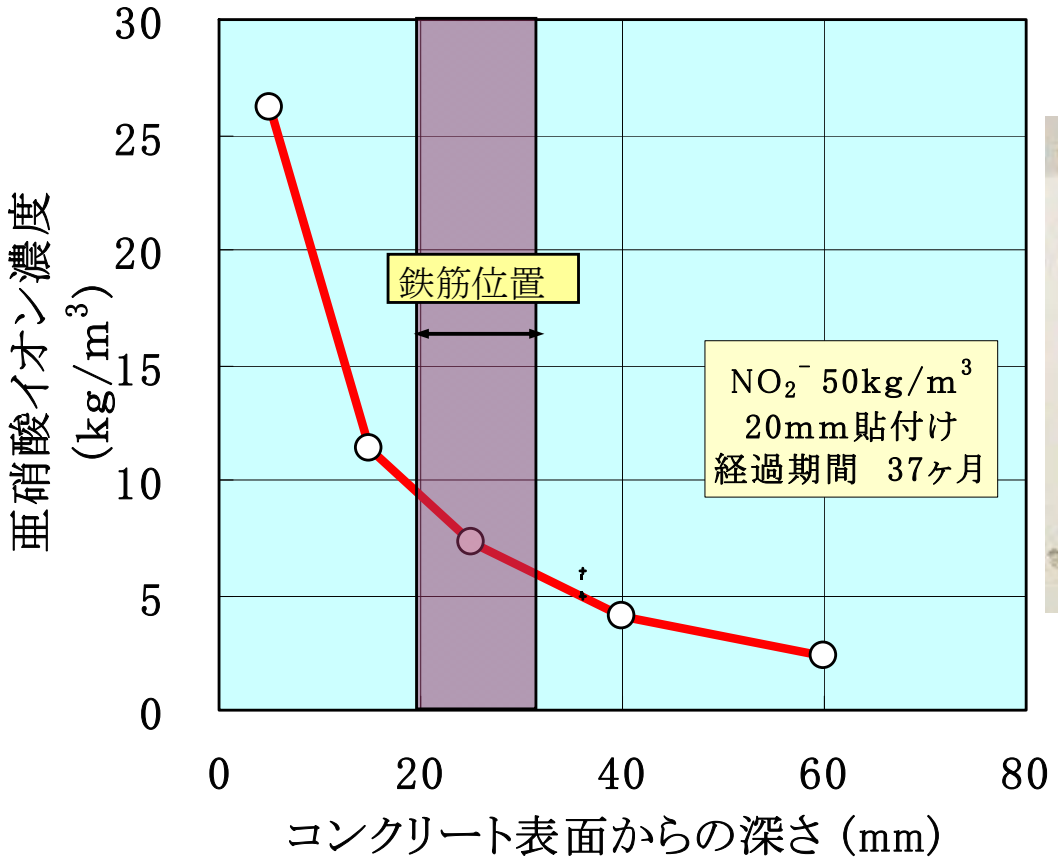

No1試験体：無混入は腐食が激しい

No.2試験体：0.8モル相当の防錆剤混入した場合，防食効果を確認

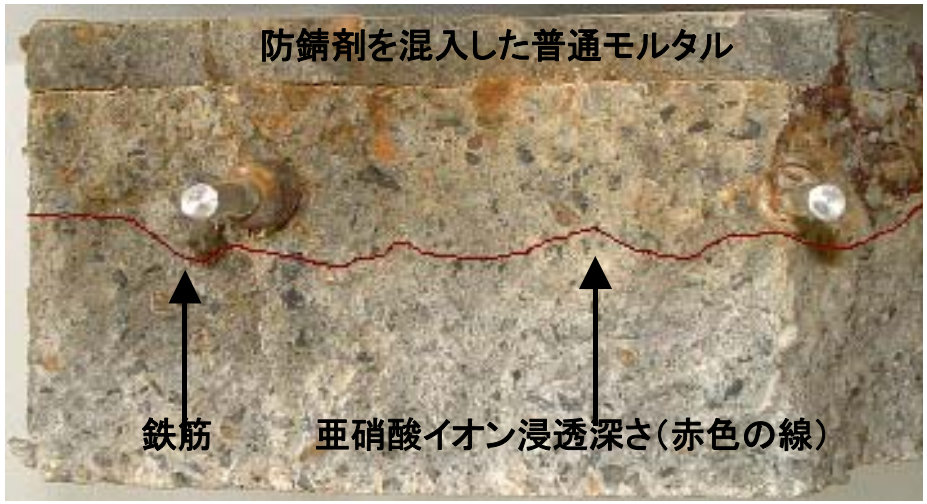
No.3試験体：防錆成分の浸透によって防食効果の発現が始まる

# No.3 試験体曝露後の防錆成分の浸透状況

【屋外曝露 試験体：37ヶ月後】




【促進曝露 試験体：10ヶ月後】




両試験体とも，防錆成分が鉄筋付近まで浸透していることが確認

# 複合防食工法

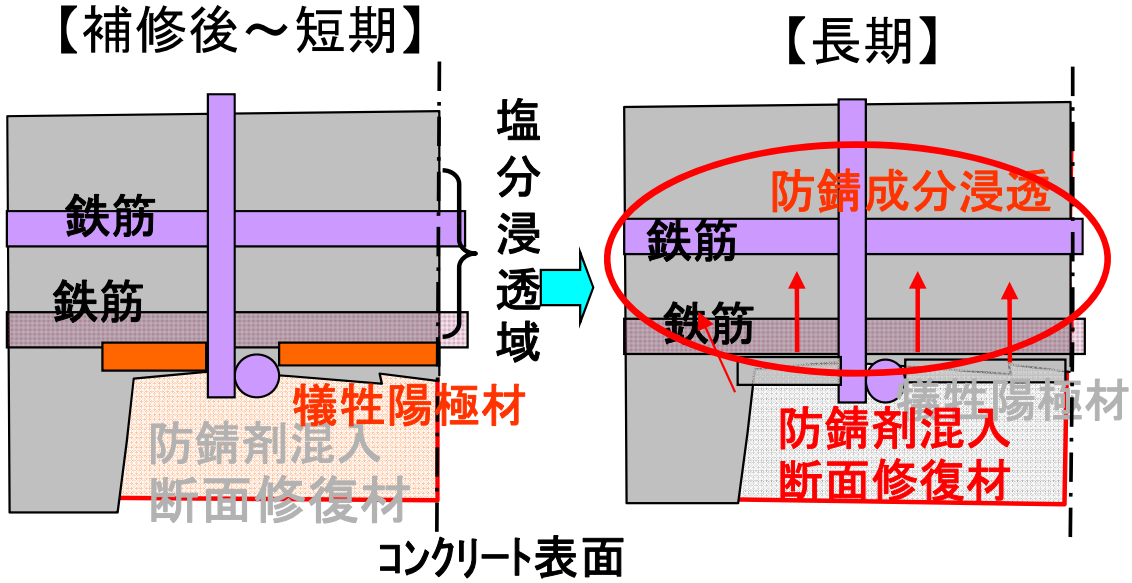
防錆材と流電陽極方式の電気防食（犠牲陽極材）を組合せた工法

多くの塩分がコンクリート中に浸透していて，防錆剤混入モルタルのみでは防錆雰囲気形成に時間がかかる場合に適用する

犠牲陽極材（亜鉛線）

既成品(亜鉛)

犠牲陽極材の事例




亜鉛と鉄筋の電位差

⇩

亜鉛がなくなれば、効果なし（10年程度）

⇩

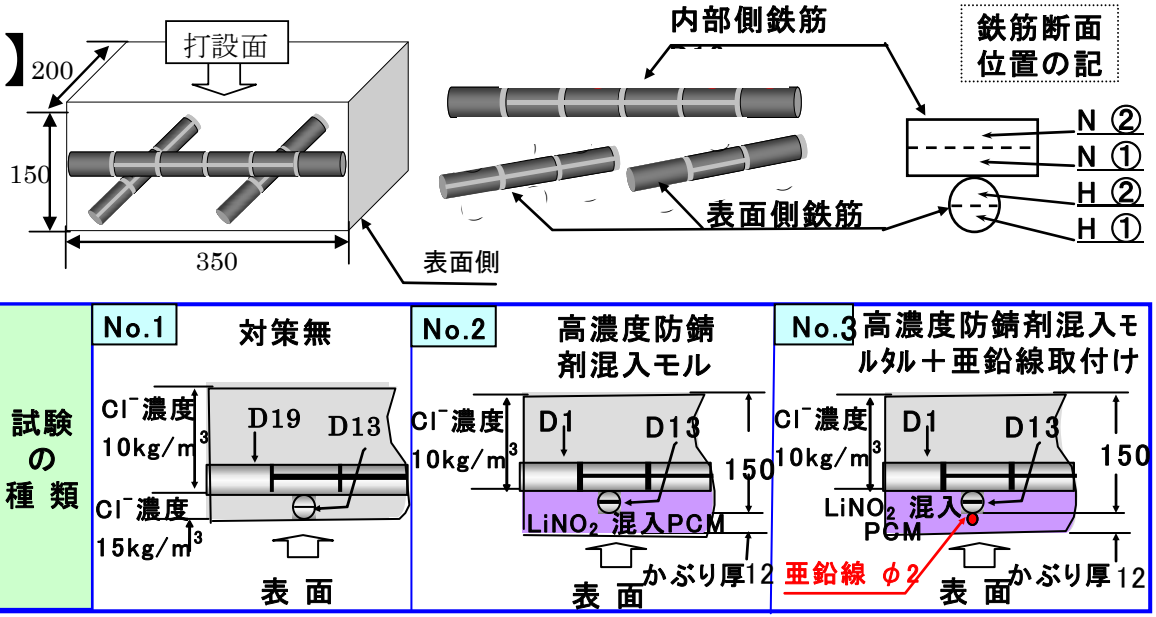
短期間有効 ⇨ 長期的：$NO_2^-$浸透による防錆機能持続

【ハツリ深さ】表面側鉄筋背面まで（断面修復厚を最小（ひび割れ発生部））

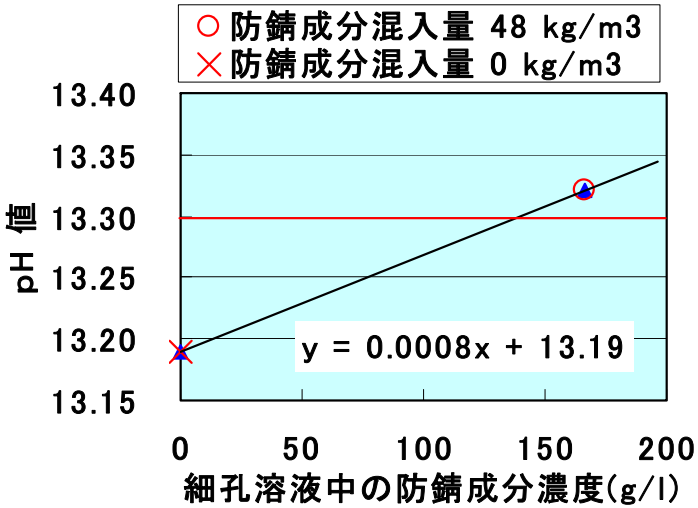
【鉄筋防食】補修後は犠牲陽極材で，長期的には防錆成分で持続させる

# 亜鉛線の犠牲陽極材としての防食効果

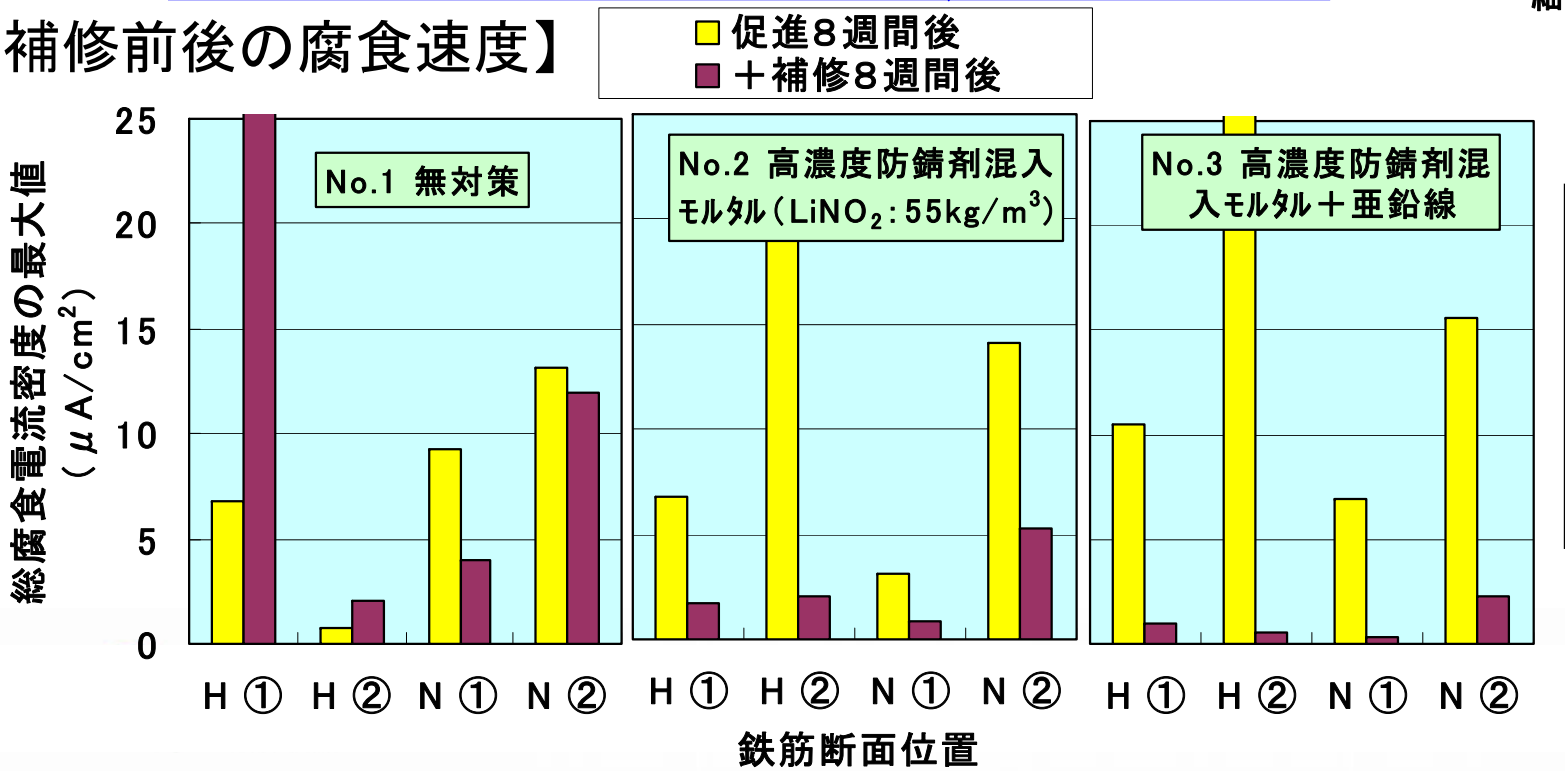
【試験体】




防錆剤混入モルタル中のpH



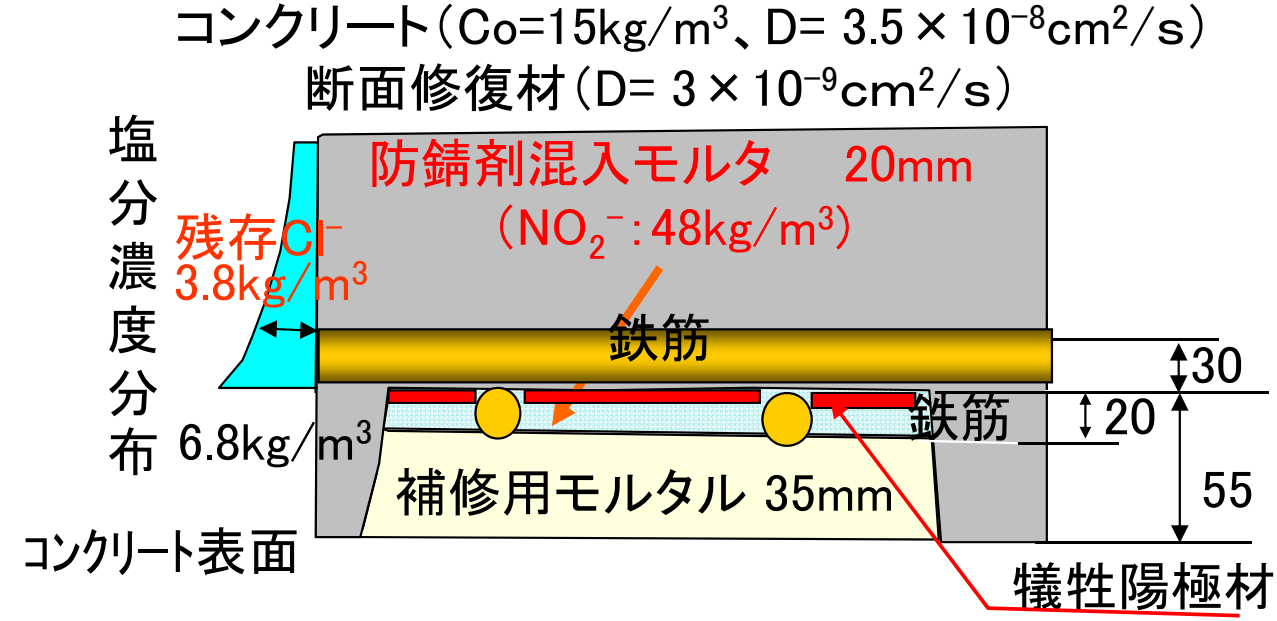

【補修前後の腐食速度】

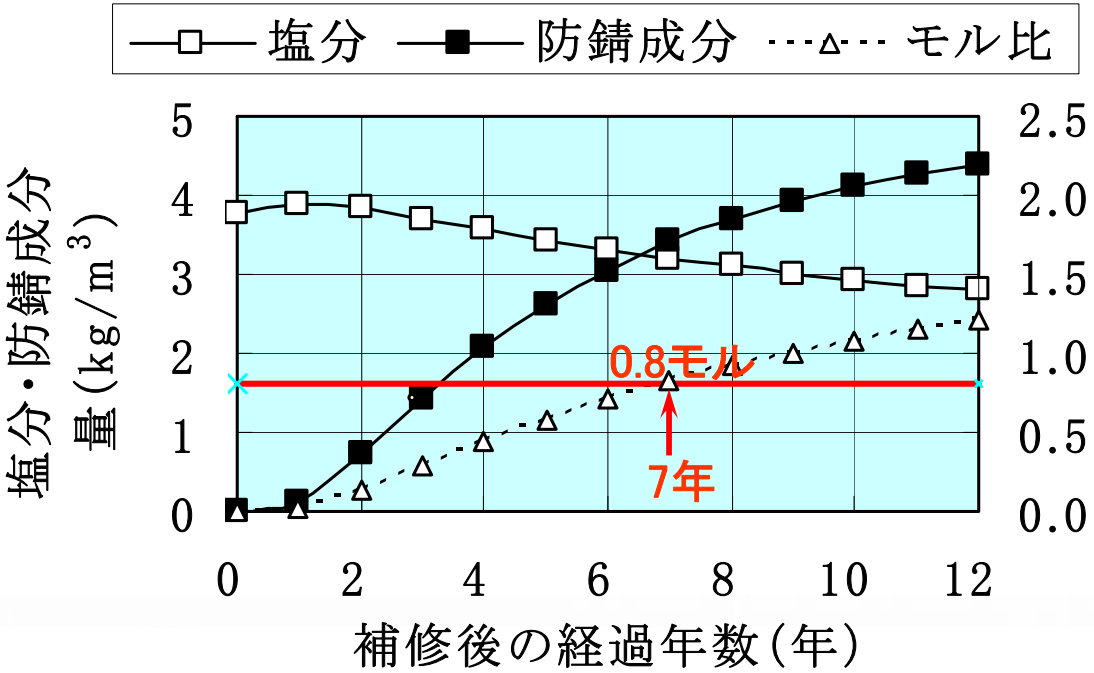



亜鉛線が犠牲陽極材としての鉄筋防食効果を発現する

# 適用性の検討事例

防錆雰囲気形成時期と犠牲陽極材の寿命の関係を検討する



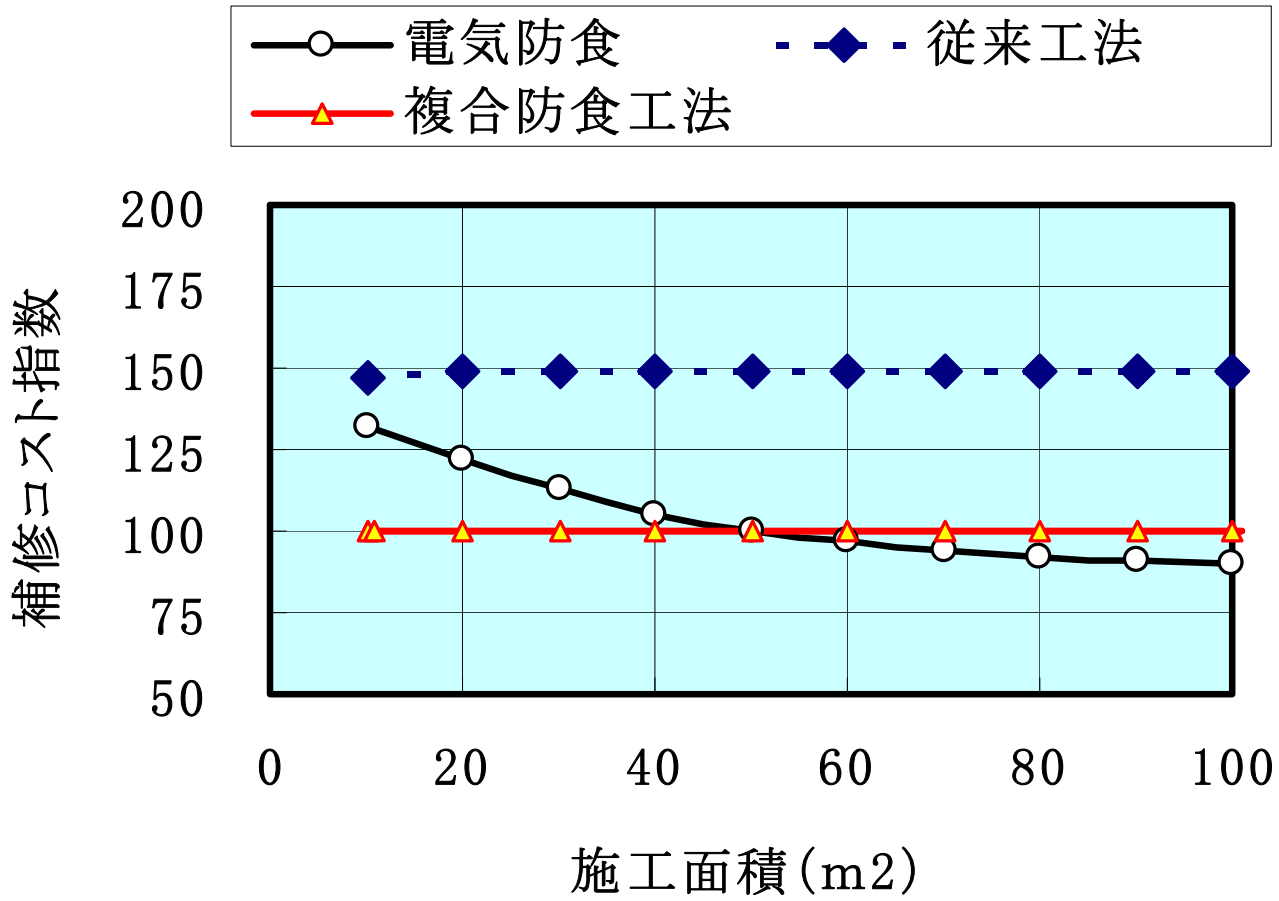




補修条件：　断面修復厚　：55mm

【結果】防錆雰囲気形成 7年 ＜ 犠牲陽極材推定寿命10年
複合防食工法 OK

残存塩分濃度が高い環境にも対応できる

# 複合防食工法のコスト比較




【犠牲陽極材：既成品】

従来工法に比べ補修コストを大幅に削減

凍結防止剤による塩害：施工面積が小さい場合に特に適する

# 【適用例1】海岸橋での塩害予防保全対策

○　建設時の上部工の塩害対策　かぶり70mm
○　モニタリングの結果、多くの塩分浸透量

➡ 予防保全対策

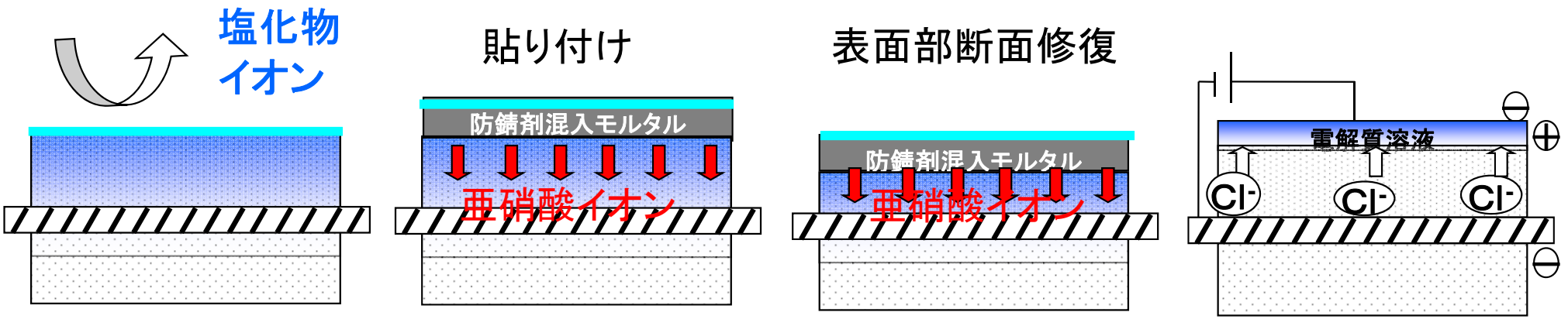
基本：今後100年間 鉄筋を腐食させない

## 予防保全対策

コンクリート塗装

防錆剤混入モルタル
（$LiNO_2$ 55kg/m³）＋塗装

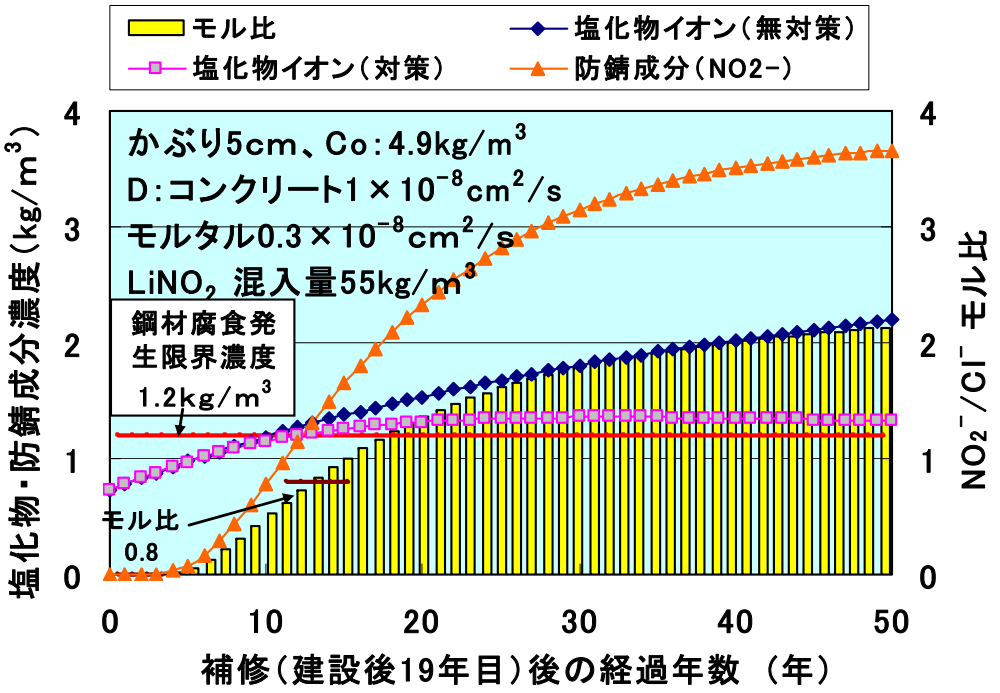
脱塩工法＋塗装




小　塩化物イオン浸透総量　大

# 予防保全対策工の設計方法とコスト評価

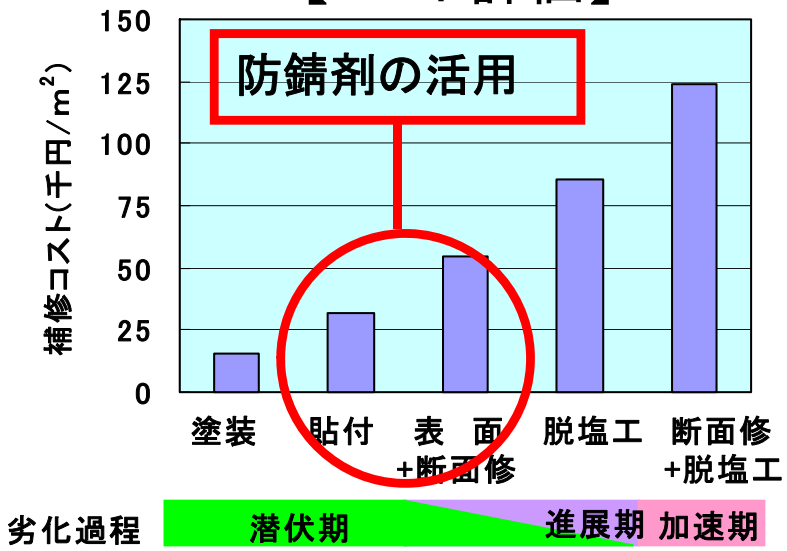
【鉄筋位置での塩化物と防錆成分の移動予測】

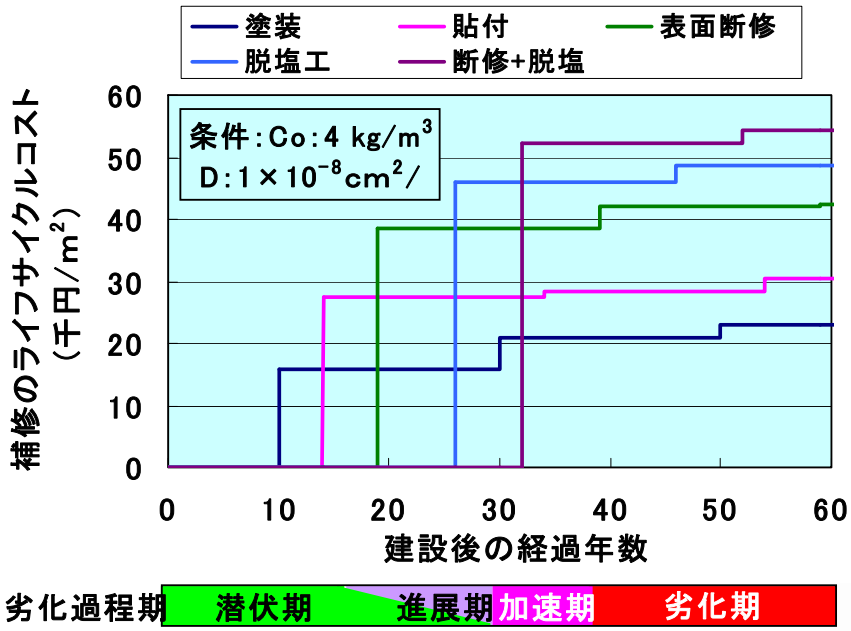



鉄筋位置で，腐食発生塩分濃度に達する時期と防錆雰囲気が形成できる時期との関係から，工法の適用性を判定する

防錆剤混入モルタルを活用：従来工法（塗装工と脱塩工と）のコストギャップを解消でき，LCCの低減を図ることができる

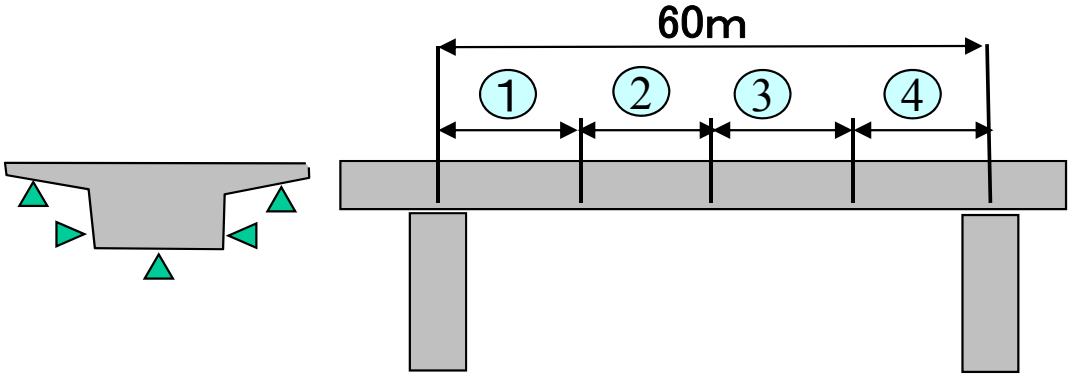
【コスト評価】



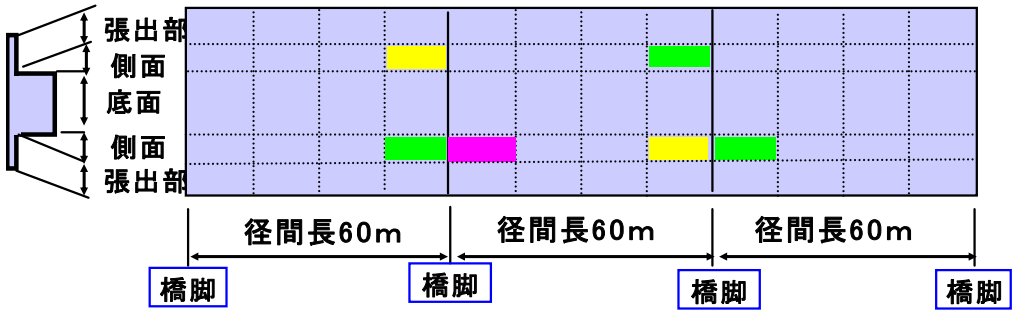



# 海岸橋の予防保全対策の工種

【対策部位の単位】海上部箱桁：20部位/径間




【海上部での対策工の適用例】

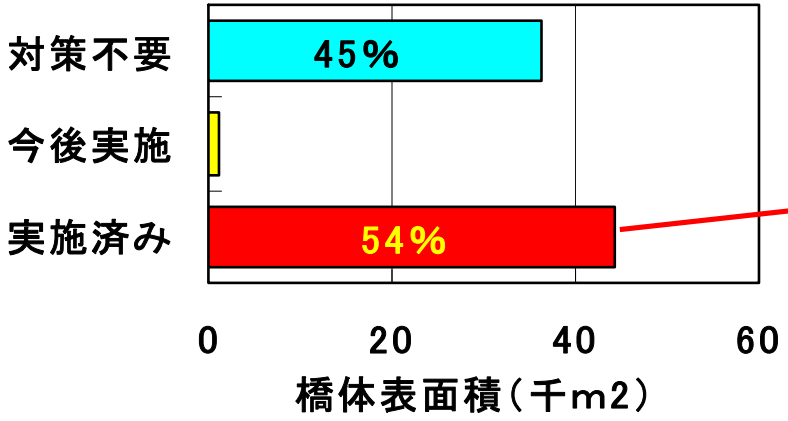


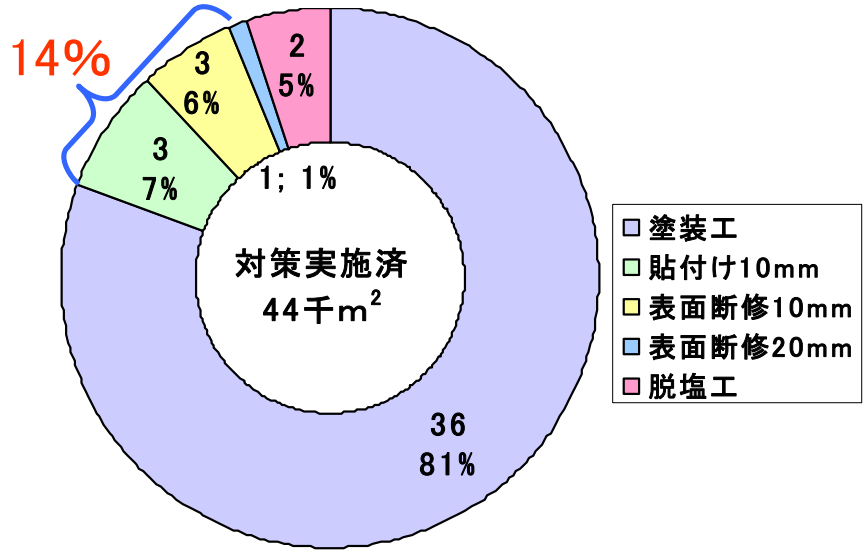

【箱桁表面の展解図】

【凡例】
- :コンクリート塗装
- :防錆剤混入モルタル吹付け1cm＋コンクリート塗装
- :防錆剤モルタル断面修復1cm＋コンクリート塗装
- :脱塩工法＋コンクリート塗装

波飛沫の影響を受ける橋脚付近の塩分浸透量が多く、脱塩工や防錆剤混入モルタルによる対策が必要

【対策範囲と対策工種】




予防保全は全体の55%，防錆剤混入モルタルによる対策は面積比で14%

# 施工状況

【防錆剤混入モルタルによる表面部断面修復(10mm)】

(a) ウオータジェット(10mm深さ)によるはつり完了

(b) 防錆剤混入モルタル吹付け状況

(b) 塗装完了

【脱塩工法】

(a) 陽極材の取付け

(b) セルローズファイバーの吹付け

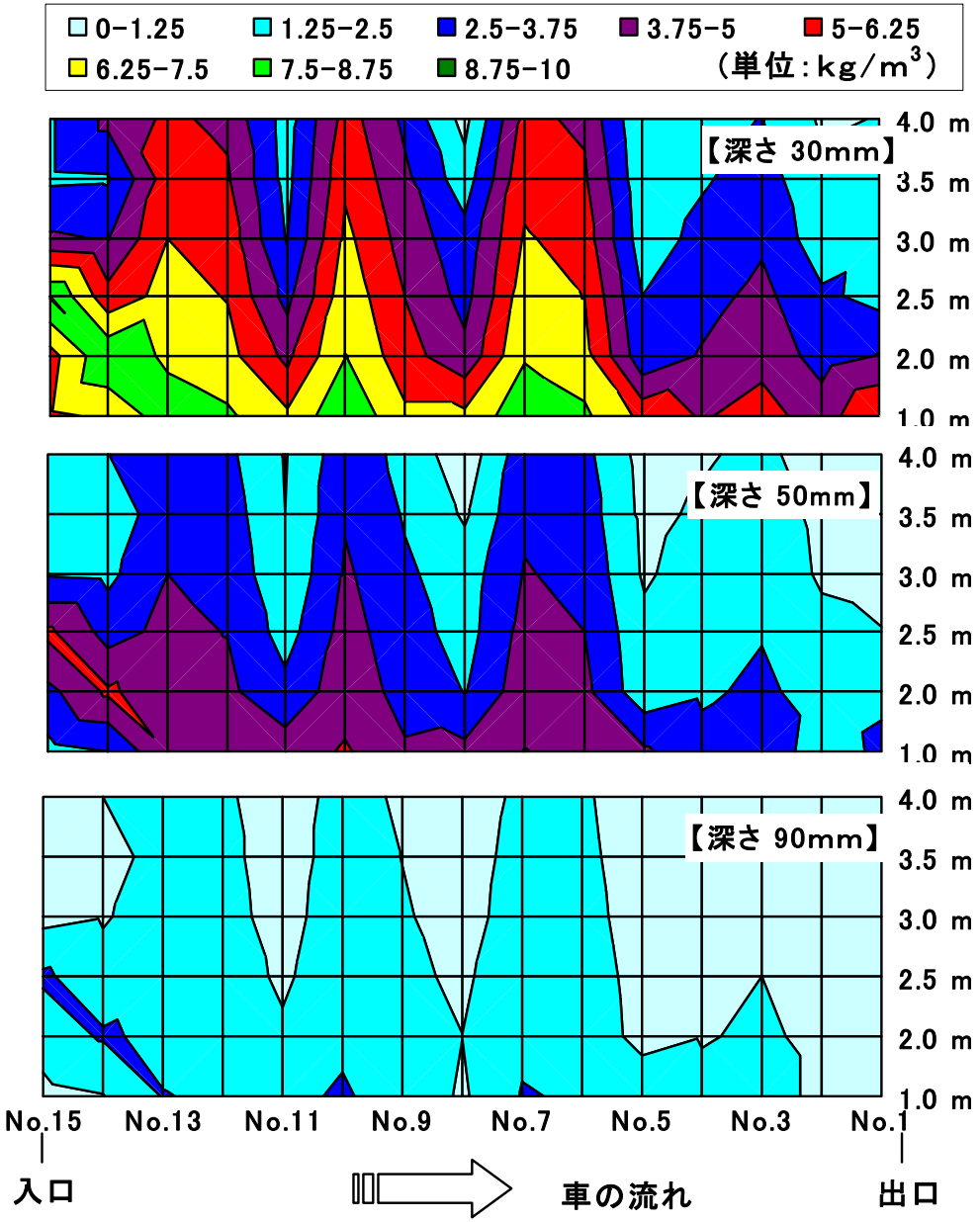
(b) 通電状況

# 【適用例2】C-Bx構造トンネル壁面の事後保全

トンネル壁面の塩害による鉄筋腐食・浮きの発生

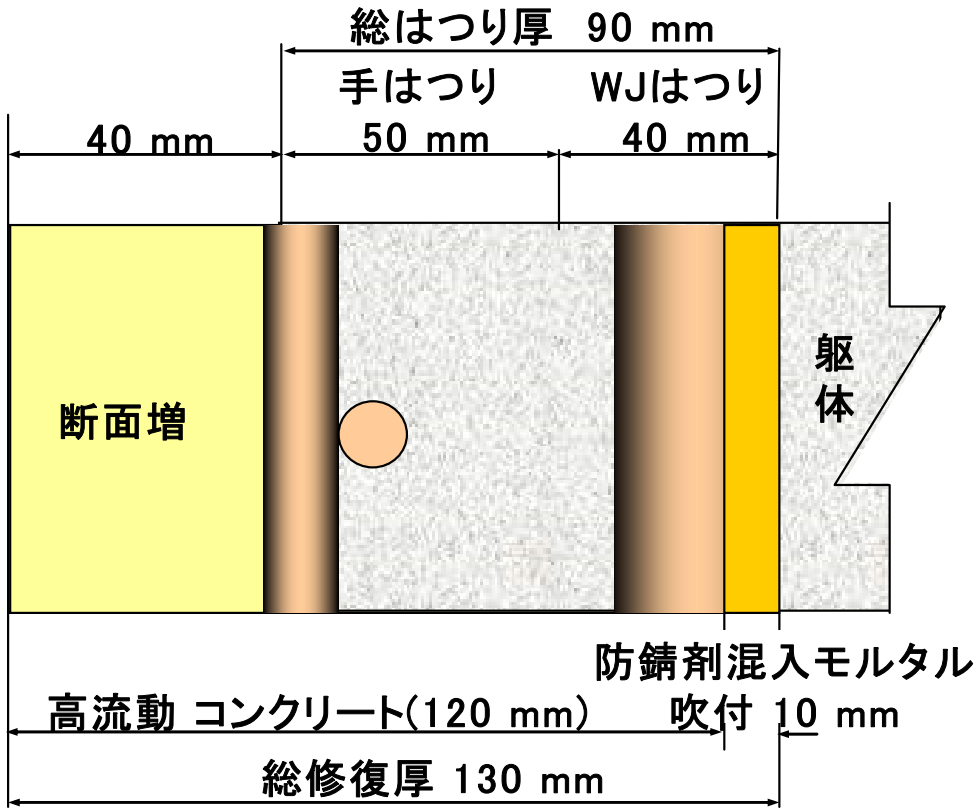
深さ90mmの位置で 高さ4m程度まで，２ kg/m$^3$程度の塩化物イオン濃度

【深さ別の塩化物イオン濃度分布】



# 保全対策の修復断面の構造と施工高さ

【修復断面の構造】




【実施高さ】

高さ4mの範囲，はつり深さ90mm，40mmの断面増を伴う断面修復

90mm厚を表面を人力ﾌﾞﾚｰｶと鉄筋周辺をｳｫｰﾀｼﾞｪｯﾄではつり取り

防錆剤混入モルタル10mm吹付け後，鉄筋補強による厚さ120mmの高流動コンクリートを打設する

# 施工状況

ブレーカはつり
主筋表面1cmまで

機械によるウオータジェット
はつり　主筋背面まで

人力ウオータジェト仕上

防錆剤混入モルタル
吹付け 10 mm

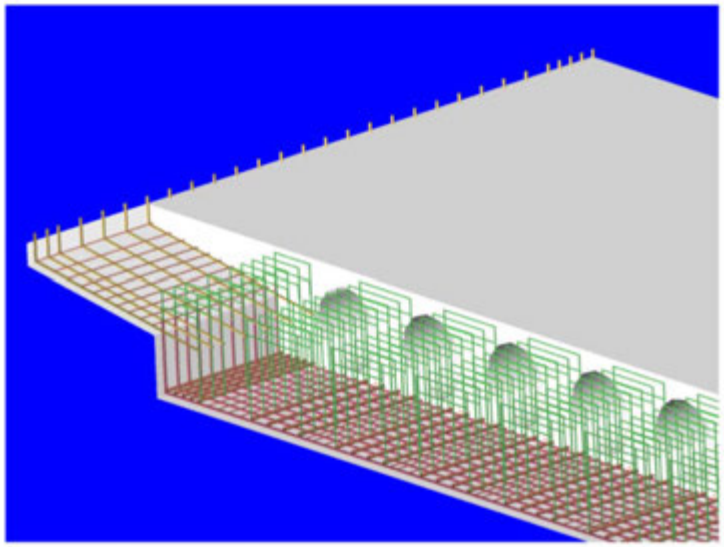
コンクリート打設

完成

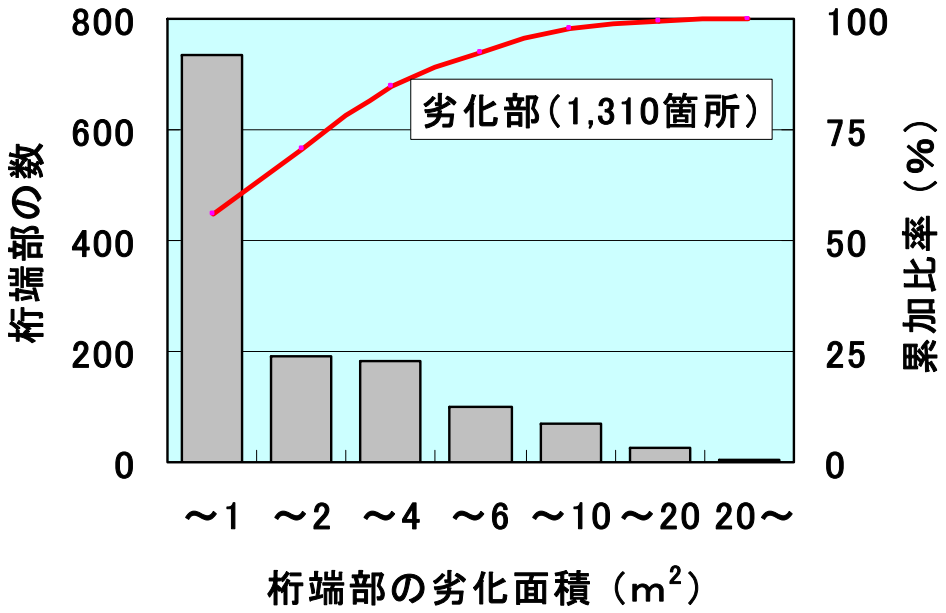
# 【適用例3】RC中空床版橋桁端部の事後保全

## 桁端部の劣化傾向

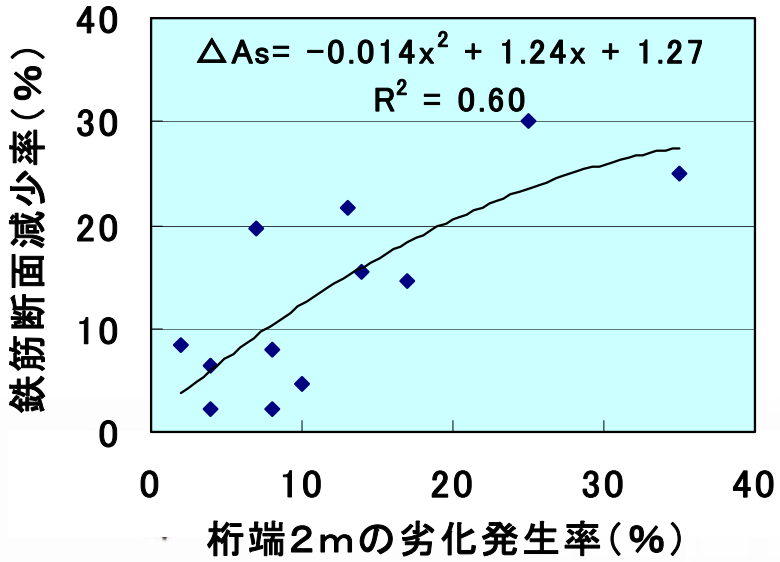
【桁端部の鉄筋配置】



【端部の劣化面積と箇所数】




【鉄筋断面減少率】



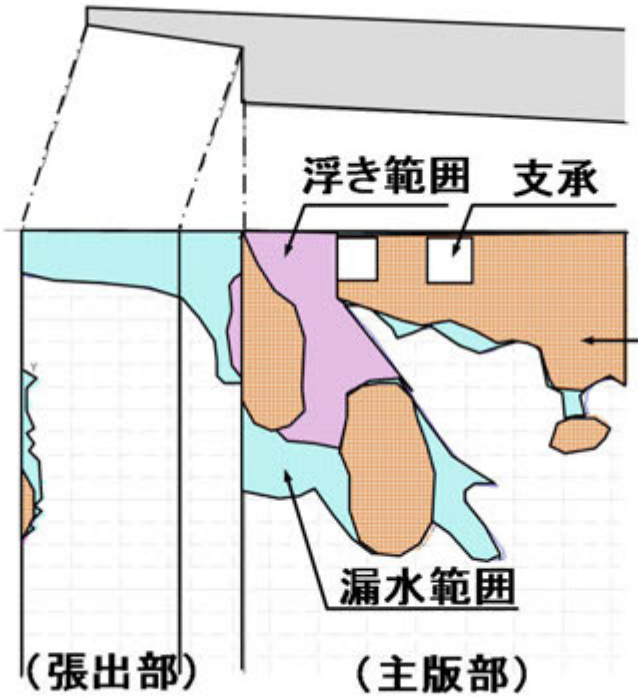

桁端部：軸方向・横方向・せん断の各補強鉄筋が配置

劣化端部数は多いが，劣化面積は小さい

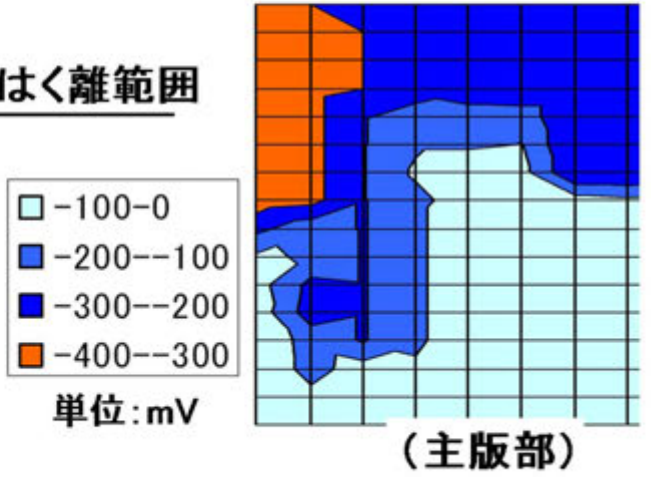
端部2mの劣化発生面積率が大きくなると，鉄筋断面減少率が大きくなる

# RC中空床版橋桁端部劣化の調査事例

【劣化状況】




【外観調査結果】



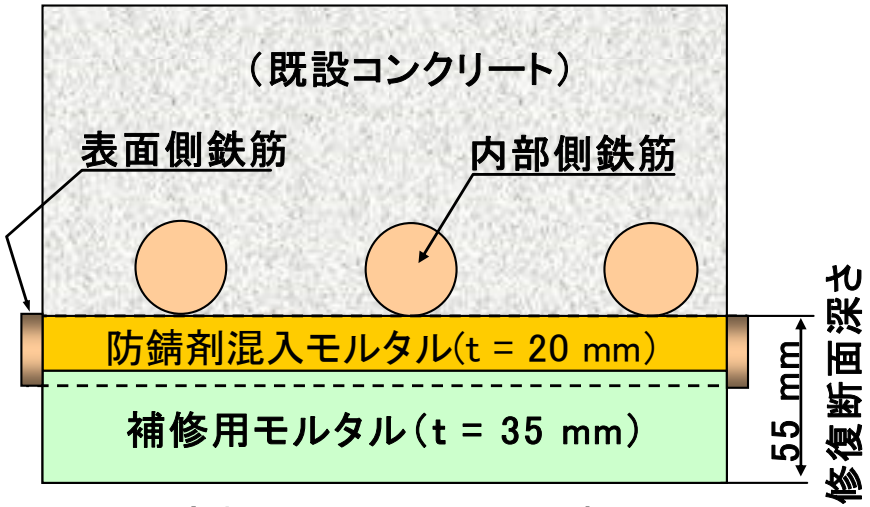

【自然電位測定結果】

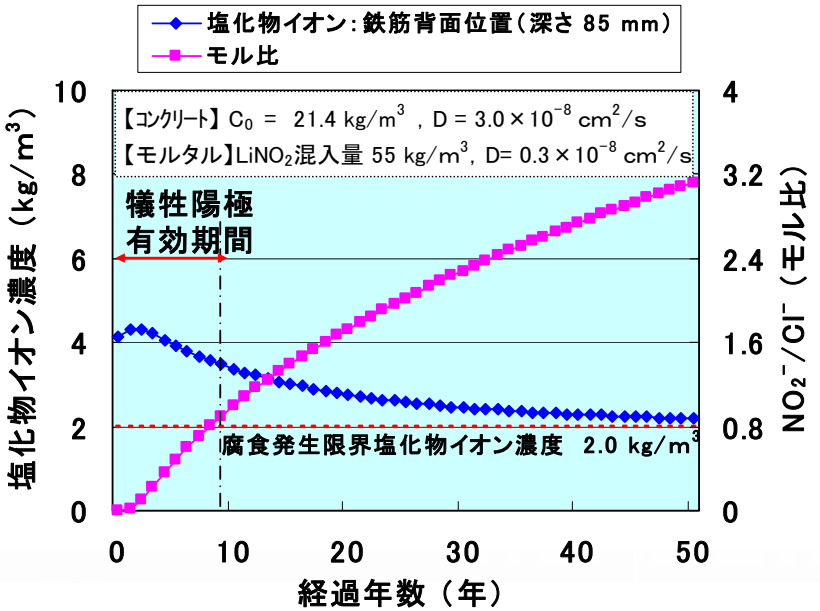
軸方向鉄筋背面(深さ85mm)の塩化物イオン濃度 は 4 kg/m$^3$

はく離・浮きの劣化が広範囲に発生し，内部に多くの塩化物イオンが浸透

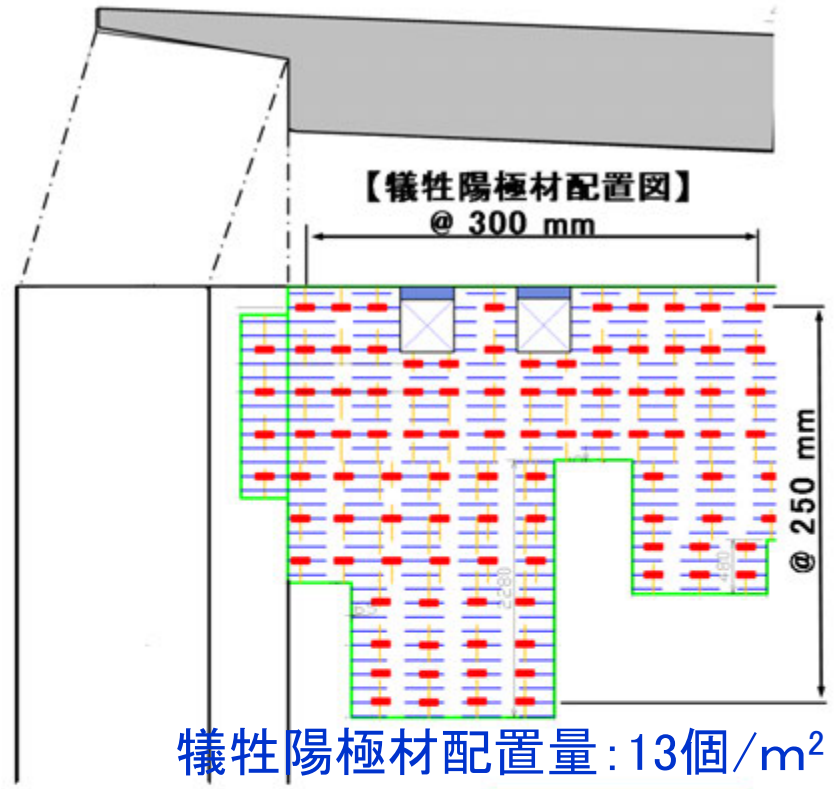
# 調査箇所の複合防食工法の検討

【断面修復構造（2層）】

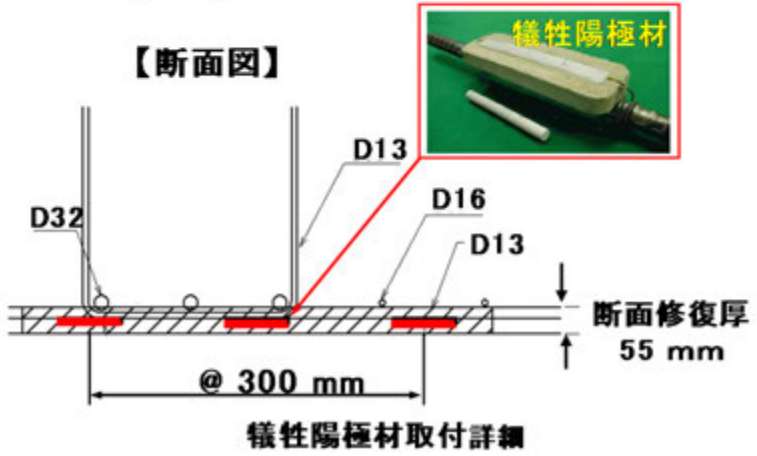



移動予測結果：防錆雰囲気形成 約8年




犠牲陽極材配置量：13個/m²



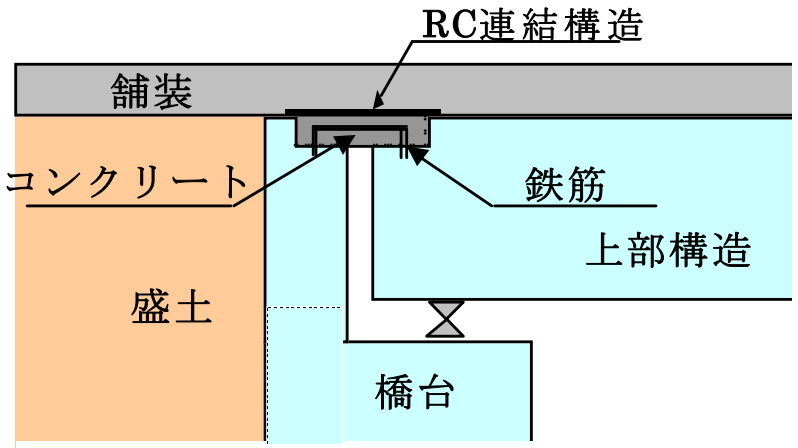

犠牲陽極材の有効期間 約9年

# RC橋桁端部での施工状況

# 7. RC連結ジョイント

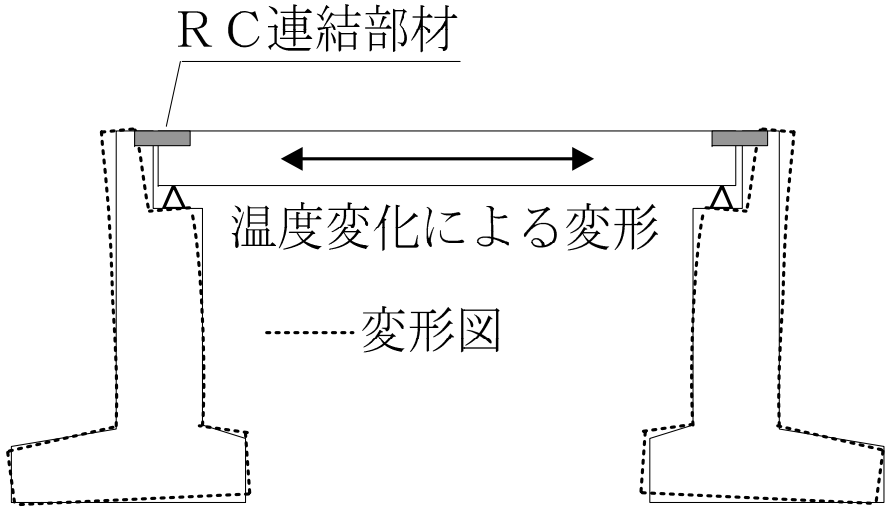
## 【橋台パラペットと上部工をRC構造で連結するノージョイント工法】

### 【基本構造】



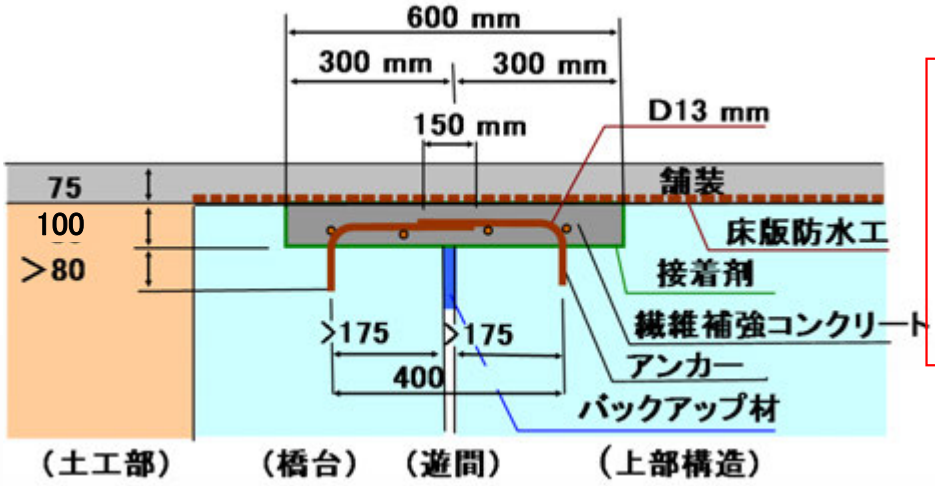

確実な漏水防止による塩害発生抑制

### 【温度変化による橋体の挙動】




けたの伸縮を基礎地盤の変位で吸収

### 【連結部の細部構造】



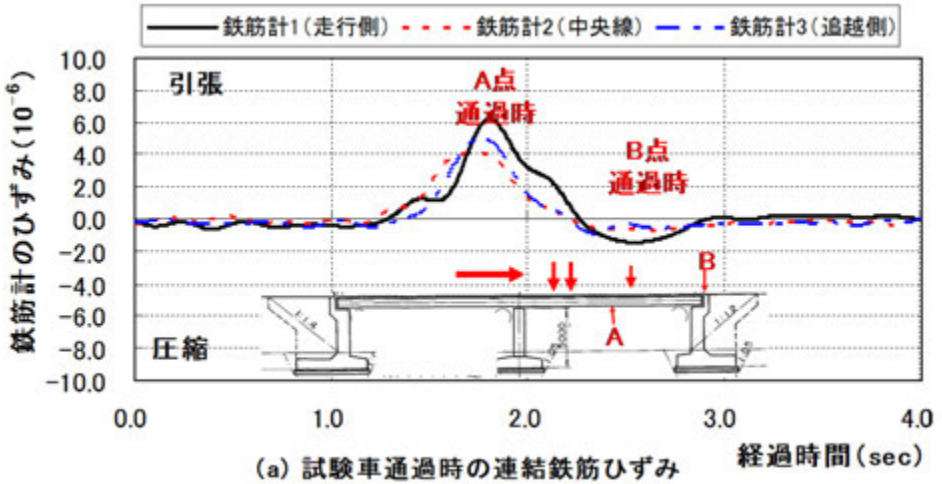

### 【適用範囲】

○桁長30～50m程度までのコンクリート橋

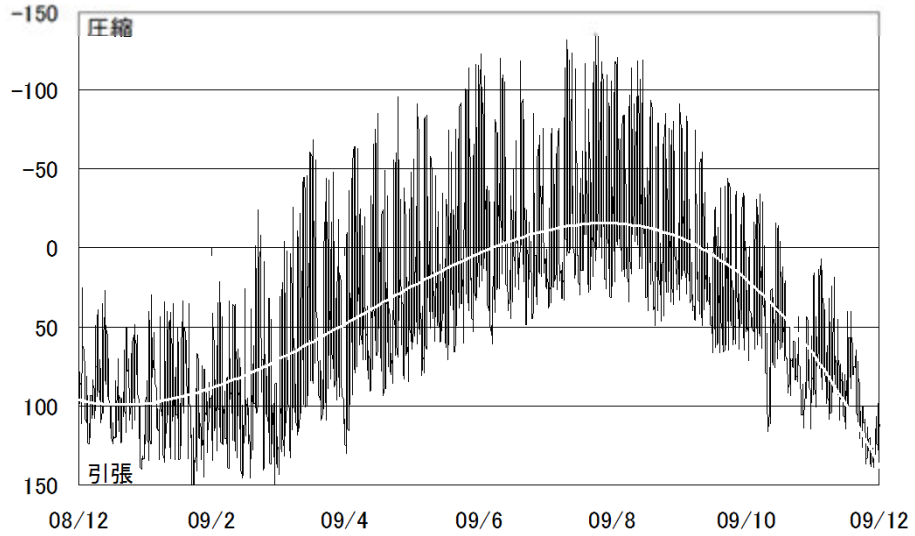
○基礎が岩盤でないこと

# RC連結ジョイント化に伴う挙動

【連結鉄筋の発生応力度】

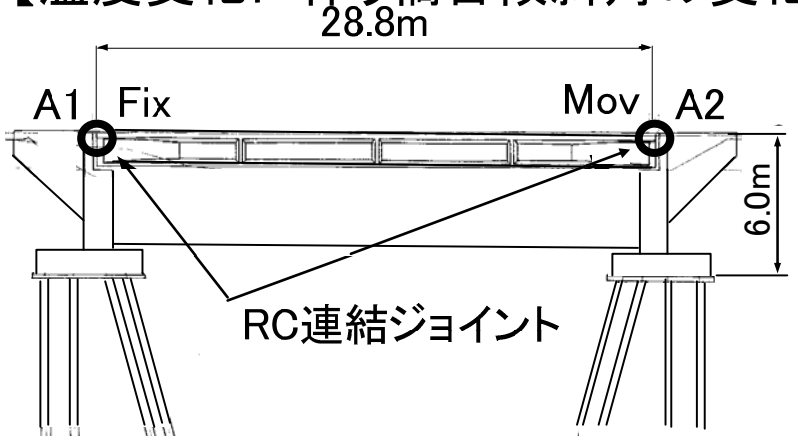


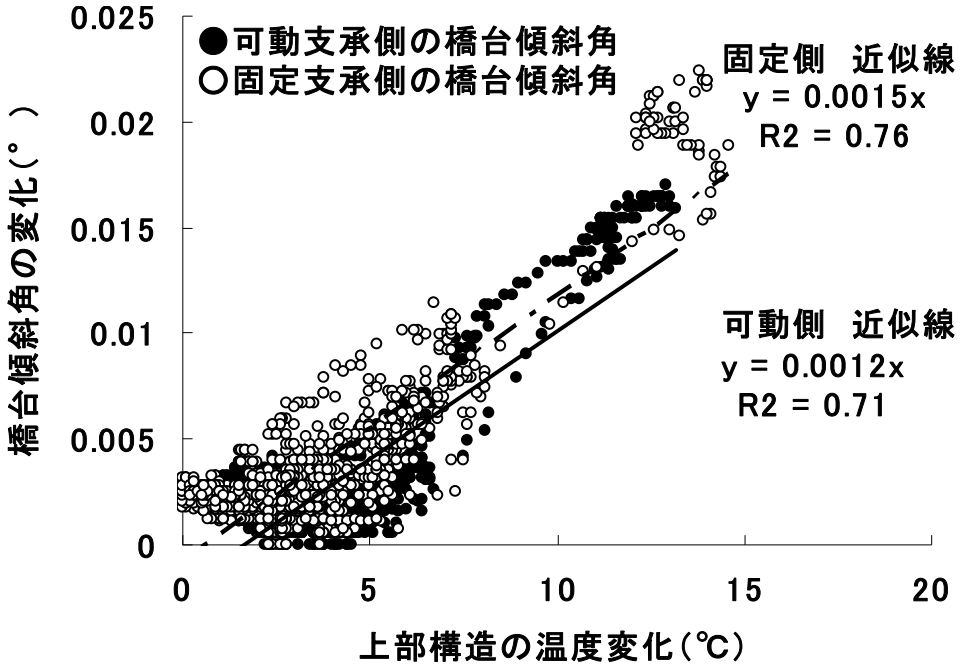

(a) 試験車通過時の連結鉄筋ひずみ




(b) 1年間の温度変化による連結鉄筋のひずみ変動

【温度変化に伴う橋台傾斜角の変化】




連結鉄筋の発生応力度は，通過車両は僅かで，温度変化が支配的

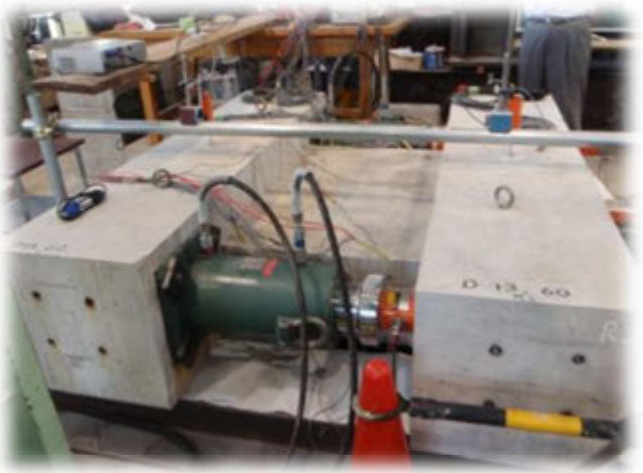
温度変化による桁の伸縮に伴い，橋台の傾きが変化する

# RC連結ジョイントの検討

## 2010年　技術検討会（委員長　長岡技術科学大学　長井教授）

審議

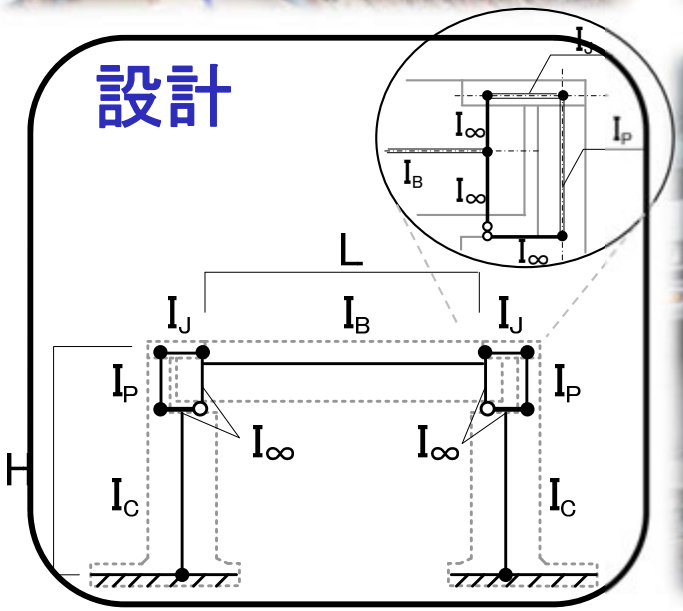
実験



### 要求性能と照査法

1. 構造安全性能
2. 使　用　性　能
3. 耐　久　性　能
4. 社会・環境適合性
5. 施　工　性
6. 維持管理性

設計




施工

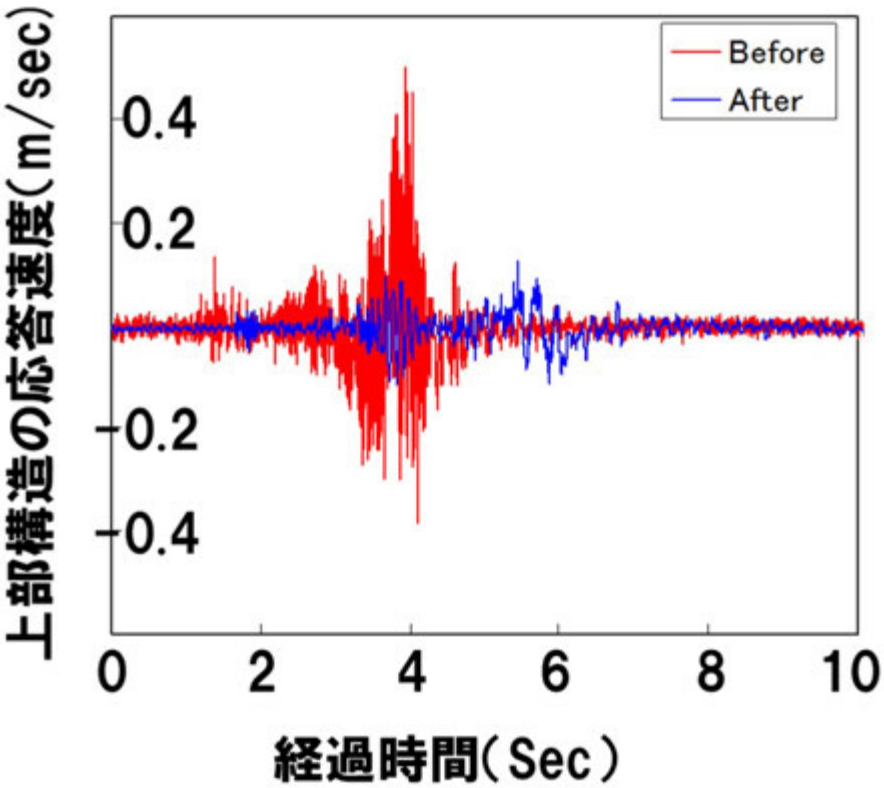
技術検討会の成果を「設計・施工の手引き（案）」にまとまる

# RC連結ジョイントの効果

## ジョイント止水

【手前車線をRC連結ジョイント】

## 走行性の改善




確実な止水による桁端部、支承、下部工の塩害発生を抑制

走行性の改善（ジョイント付近の応答速度が低下）

ジョイント本体のコスト削減と耐久性向上が図れる

# 施工状況

既設ジョイントの状況

既設ジョイント撤去

鉄筋配置＆接着剤塗布

コンクリート打設

舗装による暫定復旧

完成

コンクリートは繊維入り超速硬コンクリートを使用

施工時間は，約10時間

# RC連結ジョイント「デザイン賞」を受賞

## 国際会議（イギリス）

## 「Structural Faults & Repair -2012」

「RC連結ジョイント」の論文（弊社石川裕一氏発表）が「デザイン賞」を受賞しました

# 終 わ り

ご静聴ありがとうございました。