

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2015

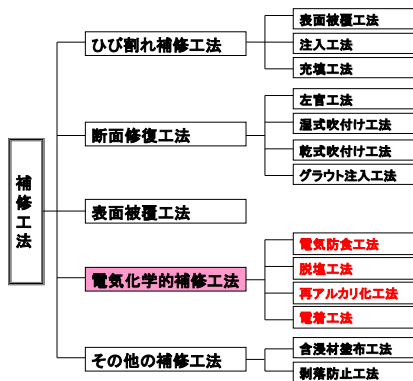
コンクリート構造物の電気防食工法の紹介

コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会
技術委員 山本 誠(住友大阪セメント株)

コンクリート構造物の 電気化学的防食工法研究会 (CP研) <http://www.cp-ken.jp/>

- ・会長:宮川 豊章(京都大学 特任教授)
- ・顧問:関 博(早稲田大学 名誉教授)
福手 勤(東洋大学 教授)
武若 耕司(鹿児島大学 教授)
- ・事務局:東亜建設工業株式会社内
- ・会員会社:17社

≫≫ CP工法研究会が取り扱う工法



3

≫≫ 電気化学的補修工法とは？

(電気防食工法、脱塩工法、再アルカリ化工法、電着工法)

コンクリートを介してコンクリート内部の鉄筋に直流通電を供給することを基本とするコンクリート構造物の劣化補修工法

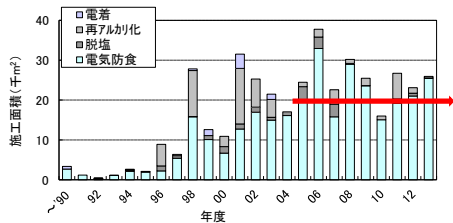
➡ 各工法で目的が異なる。

- ✓ 鉄筋の腐食反応の停止 ⇒ 電気防食工法
- ✓ コンクリート内部塩分の除去 ⇒ 脱塩工法
- ✓ コンクリートのアルカリの回復 ⇒ 再アルカリ化工法
- ✓ コンクリートの欠陥部閉塞など ⇒ 電着工法



4

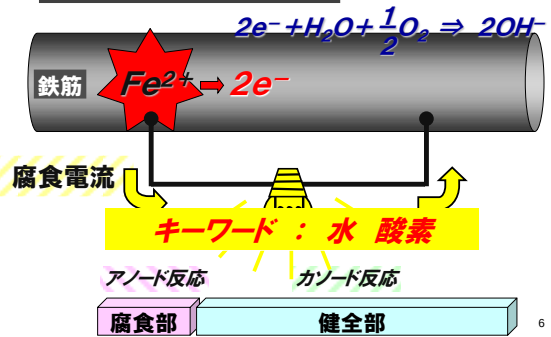
電気化学的補修工法はどの程度適用されているのか？
(CP工法研究会施工実績の整理)



電気防食工法は、2005年以降：約2万m²/年前後の実績
⇒主流は、外部電源方式である。
⇒補修対策としての電気防食工法は、根付いてきている

5

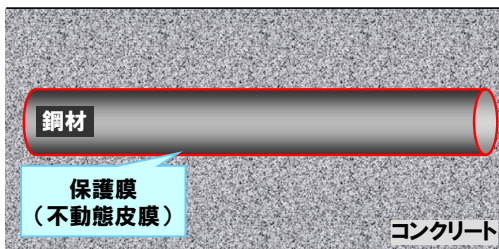
電気防食工法とは？
～コンクリート中鉄筋の腐食メカニズムを理解しよう！～
大気中で鉄筋が錆びるとは……



6

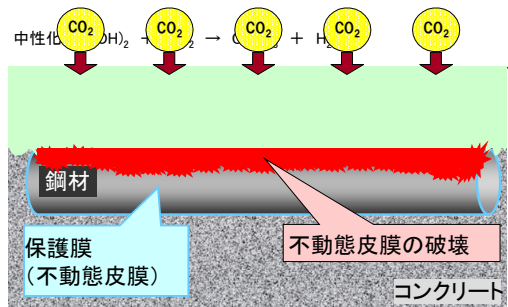
鉄筋が錆びるとは？

健全なコンクリート中の鉄筋は腐食しない！



7

鉄筋が錆びるとは？
中性化すると不動態皮膜が破壊される！



8

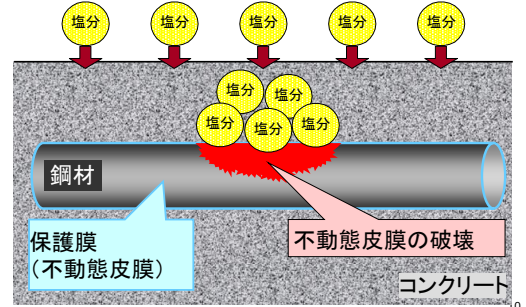
≫≫ 鉄筋が錆びるとは？
中性化の様子



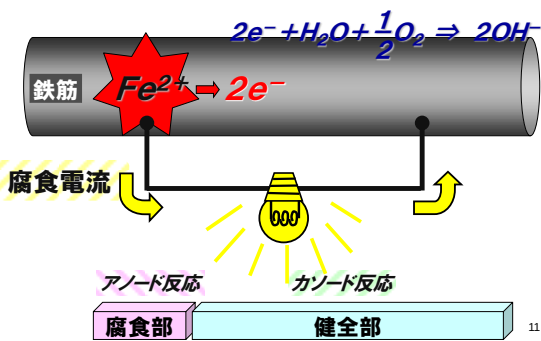
フェノールフタレイン1%溶液による中性化試験

≫≫ 鉄筋が錆びるとは？：塩害

限界値以上の塩化物イオンが鉄筋周辺に到達すると不動態皮膜が破壊される！
発錆限界塩化物イオン量 ⇒ コンクリート標準仕様書に記載

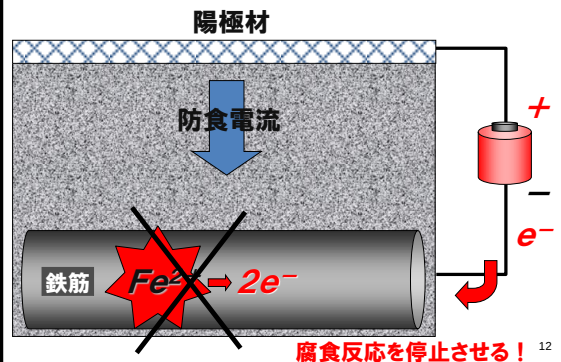


≫≫ 鉄筋が錆びるとは？
不動態皮膜が破壊される ⇒ 大気中鉄筋の腐食と同じ！



11

≫≫ 電気防食とは？
コンクリートを介して防食電流を供給する



12

電気防食の実験

電気防食を目で確認しましょう。



電気防食の特徴整理

電気防食は、腐食反応を直接的に抑制

- 1) 再劣化しない
- 2) 多量の塩分が存在する環境でも防食可能
- 3) 塩分を含有するコンクリートの除去が不要
- 4) 鉄筋の防錆処理が不要
- 5) 防食効果の確認が容易

電気防食の種類

防食電流の供給方法により2種類

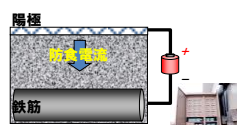
電気防食工法

防食電流の供給方法の違い

主流

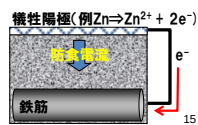
外部電源方式

直流電源装置を用いる
防食電流の調節可能



流電(犠牲)陽極方式

鉄筋と金属のイオン化傾向を利用する(直流電源不要)
防食電流の調節不可能



電気防食用陽極の形状による種類

3種類の形状

面状陽極



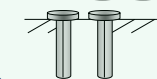
防食対象に対して、陽極材を面状に設置
防食電流の均一性に優れる

線状陽極



所定の設置間隔(300mm以下)をあけて設置
設置間隔の検証必要
補修構造物表面に塗装がある場合など有効
⇒塗装を全面除去する必要なし

点状陽極



コンクリート表面からドリル削孔して設置
所定の設置間隔をあけて設置
局所的な防食に有効

※図:コンクリート構造物の電気防食 O&A 日本エレクトロニクス協会から一部抜粋

16

外部電源

流電陽極

面状陽極: チタンメッシュ陽極方式
パネル陽極方式
導電性塗料方式
チタン溶射方式
導電性モルタル方式

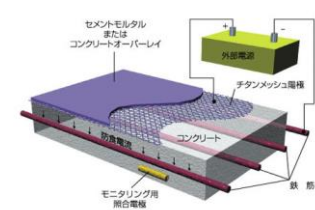
線状陽極: チタンリボンメッシュ陽極方式
チタングリッド陽極方式
PI-Slit方式
チタントレイ方式
ニッケル被覆炭素繊維方式

外部電源

流電陽極

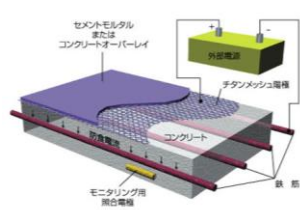
電氣防食を紹介(一部の工法)

- 陽極材: 防食電流を流し出す電極(直流電源装置のプラス極に接続)、流電陽極方式では、陽極材が自ら腐食して防食電流を供給する
- 鋼材: 防食対象で、表面に防食電流が流れ込む(マイナス極に接続)
- 照合電極: 鋼材の電位を測定するための基準になる電極
- 直流電源装置: 防食電流を供給するための整流器

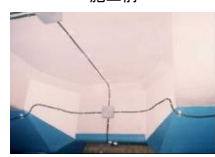


外部電源・面状 : チタンメッシュ陽極方式

CP研10周年記念事業 講習会 テキストより(事例番号21)

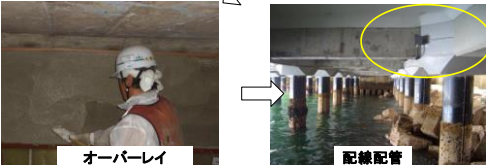
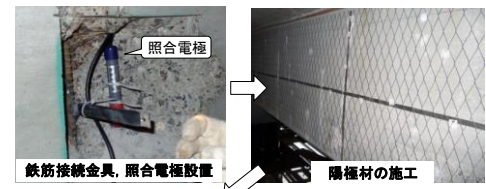


施工前



施工後

外部電源・線状 : チタンメッシュ陽極方式

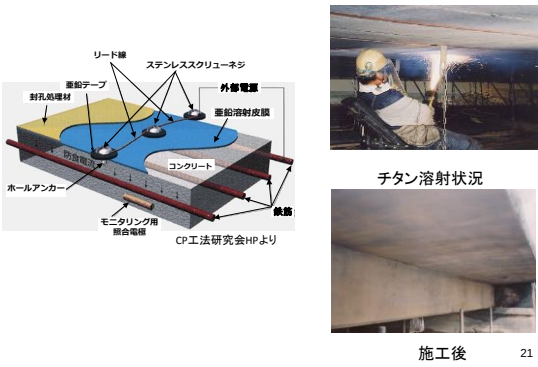


オーバーレイ

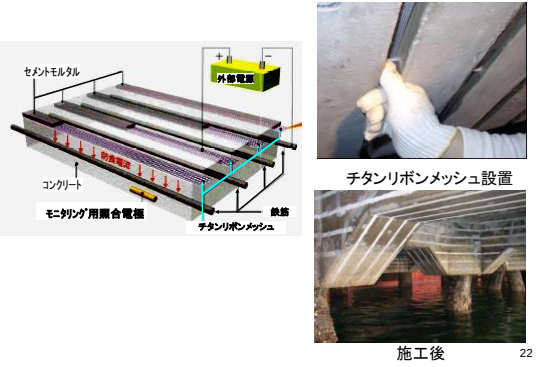
配線配管

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム 2014
コンクリート構造物の電氣防食工法の紹介資料から抜粋

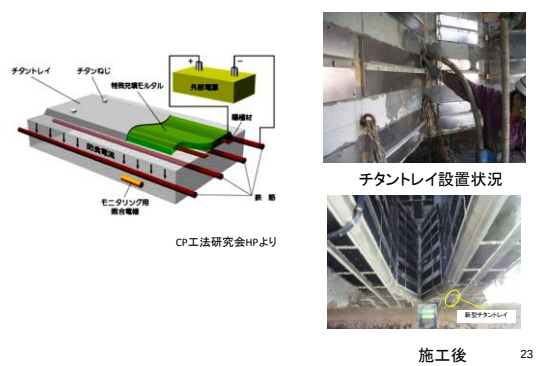
外部電源・面状：チタン溶射方式



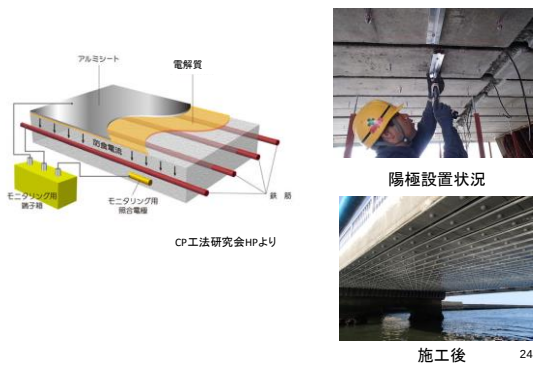
外部電源・線状：チタンリボンメッシュ陽極方式



外部電源・線状：チタントレイ方式



流電陽極・面状：ALAPANEL方式（アラパネル）



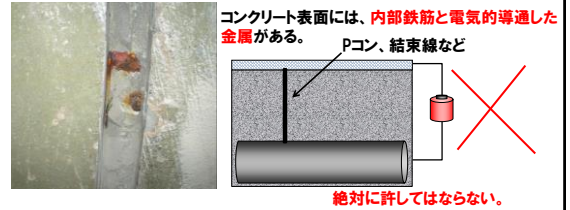
電気防食の実験

電気防食を目で確認しましょう。



電気防食システム施工時の最大の注意点

陽極材と内部鉄筋が短絡してはならない！



内部鉄筋と繋がると ⇒ 単なる電線となる。

処理方法：除去、エポキシなどで被覆

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム 2014
コンクリート構造物の電気防食工法の紹介資料から写真抜粋

26

電気防食システム施工後 防食効果の確認を行う！！

コンクリート中の鋼材の腐食状況を確認する方法は？

鋼材の電位を測定して判断する



埋設型照合電極を使用

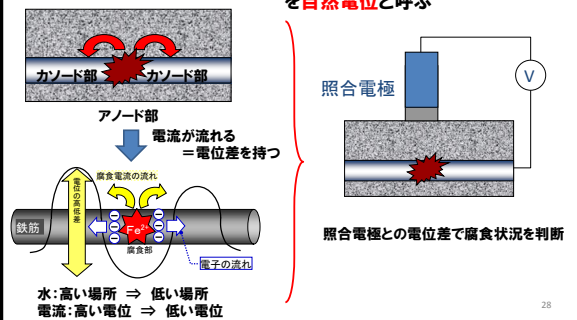
- ・鉛照合電極
- ・二酸化マンガ照合電極

27

鉄筋の電位測定

鉄筋には電位がある！！

照合電極との電位差を測定 ⇒ 電氣的な作用を受けてない電位を自然電位と呼ぶ



28

>>> **自然電位の判定**
自然電位法
 照合電極：銅硫酸銅
 -200mV < 自然電位 90%以上腐食なし
 -350mV < 自然電位 ≤ -200mV 不確定
 自然電位 ≤ -350mV 90%以上腐食あり
 腐食判定によく用いられる方法

>>> **自然電位の判定**
 供試体を用いた自然電位測定事例

この部分（補修部、未補修部の境界）が最も腐食し易いといわれる。
 電位差が大きい
 = 腐食電流が多く流れる

>>> **電気防食工法の防食基準**
100mVシフト(分極・復極)基準

分極量
 100 mV
 復極量
 通電遮断直後の電位

>>> **電気防食すると自然電位は変化**
 防食電流を少しずつ流してみた！！

防食電流を供給
 ⇒ 電位差が小さくなる

電氣防食の効果

撤去PC桁への電氣防食適用後10年経過

山本誠、青山敏幸、山本 悟、内藤英晴、佐野清史
「長期曝露供試体を用いた電氣防食工法の性能評価に関する実験」
コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第12巻
pp.289-296、2012.11
日本材料学会
「長期曝露供試体による塩害対策評価検討委員会」による成果

電氣防食適用約20年の調査報告の紹介

鈴木康弘、山本誠、鹿島篤志、本田和也、若杉三紀夫
「電氣防食工法を適用して約20年経過した擁壁の追跡結果報告」
土木学会年次学術講演会概要集Vol.66、pp.505-506、2011

33

電氣防食の効果

撤去PC桁への電氣防食適用後10年経過

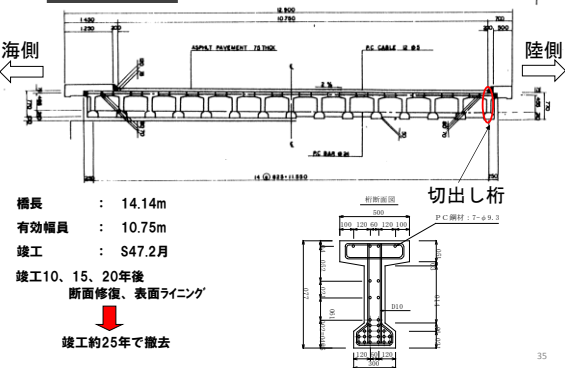
山本誠、青山敏幸、山本 悟、内藤英晴、佐野清史
「長期曝露供試体を用いた電氣防食工法の性能評価に関する実験」
コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第12巻
pp.289-296、2012.11
日本材料学会
「長期曝露供試体による塩害対策評価検討委員会」による成果

電氣防食適用約20年の調査報告の紹介

鈴木康弘、山本誠、鹿島篤志、本田和也、若杉三紀夫
「電氣防食工法を適用して約20年経過した擁壁の追跡結果報告」
土木学会年次学術講演会概要集Vol.66、pp.505-506、2011

34

撤去PC桁への電氣防食適用後10年経過
撤去PC桁概要

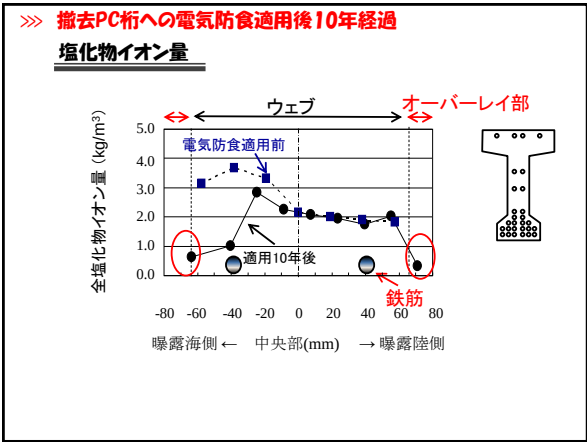
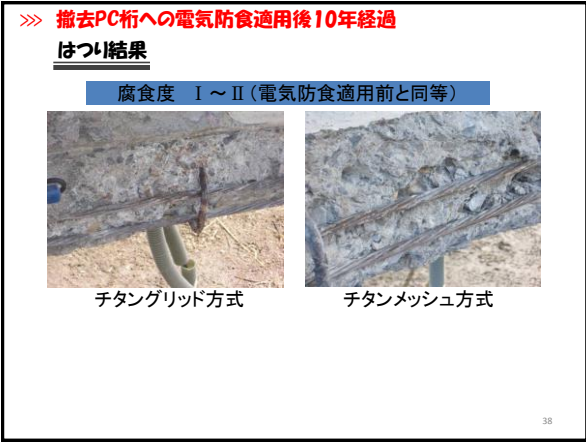
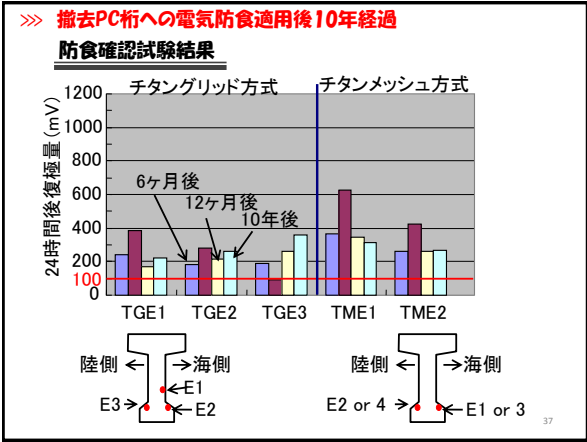


35

撤去PC桁への電氣防食適用後10年経過
供試体の曝露状況

曝露場所：千葉県袖ヶ浦市 東京湾に面する岸壁





電気防食の効果

撤去PC桁への電気防食適用後10年経過

山本誠、青山敏幸、山本 悟、内藤英晴、佐野清史
「長期曝露供試体を用いた電気防食工法の性能評価に関する実験」
コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第12巻
pp.289-296、2012.11
日本材料学会
「長期曝露供試体による塩害対策評価検討委員会」による成果

電気防食適用約20年の調査報告の紹介

鈴木康弘、山本誠、鹿島篤志、本田和也、若杉三紀夫
「電気防食工法を適用して約20年経過した擁壁の追跡結果報告」
土木学会年次学術講演会概要集Vol.66、pp.505-506、2011

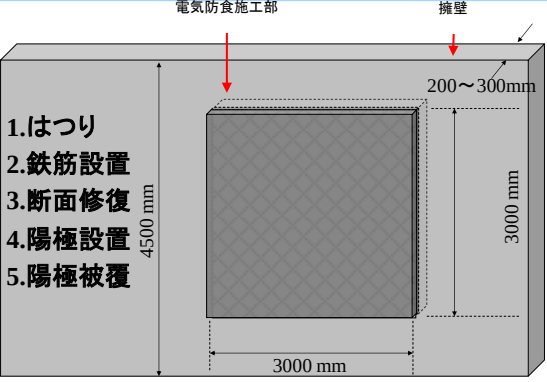
41

調査対象構造物について



1970年代：建設
1989年：電気防食工法施工
2010年：追跡調査実施

施工方法



施工状況



調査結果

45

2010年 調査項目

①	外観調査
②	たたき点検
③	中性化深さ
④	全塩化物イオン量
⑤	復極量試験
⑥	電位分布測定
⑦	はつり調査

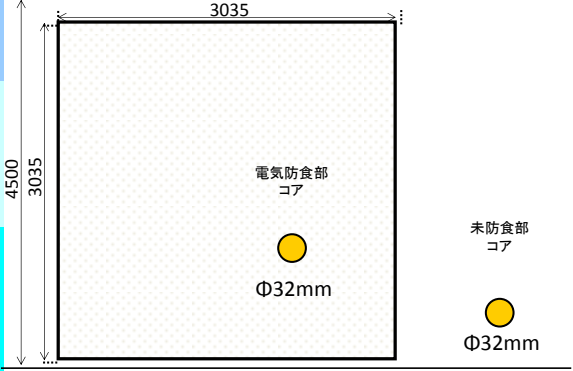
調査結果①外観調査②たたき点検

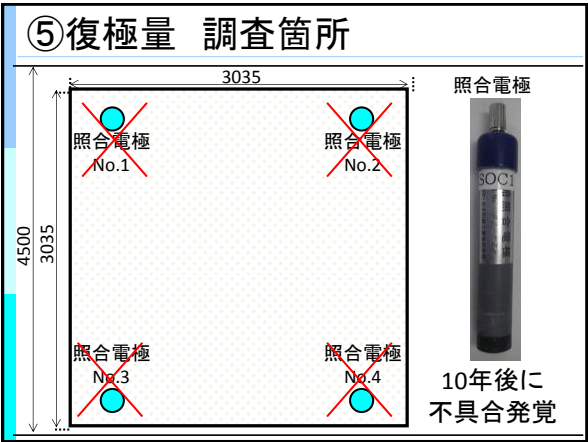
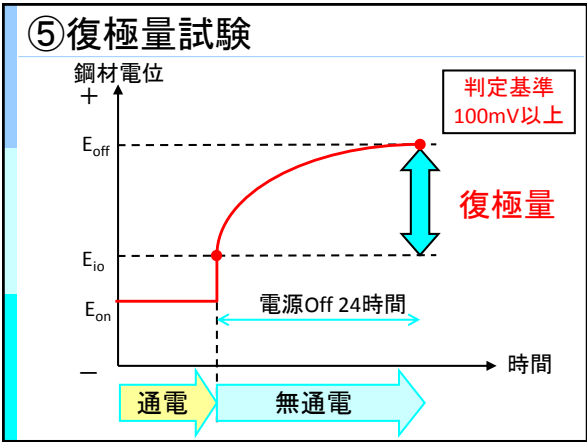
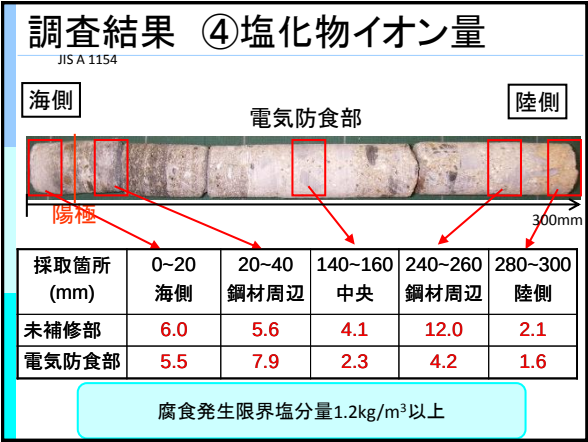
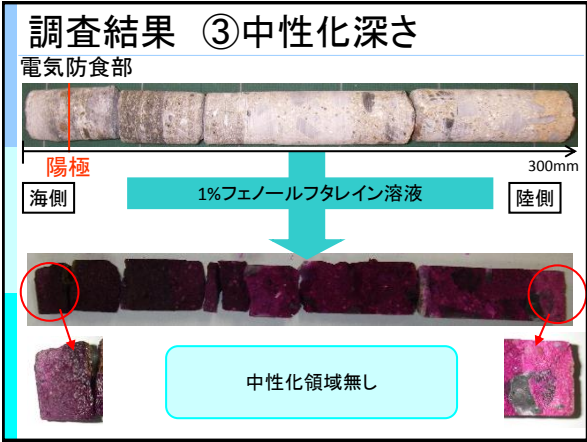


1989年施工時

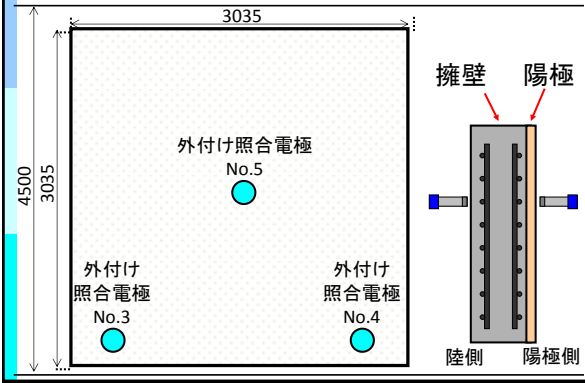
2010年調査時

③中性化深さ④塩化物イオン量

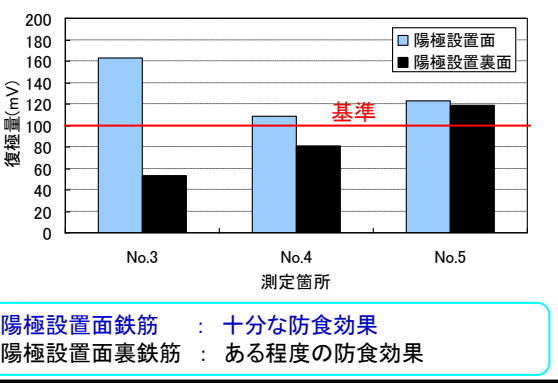




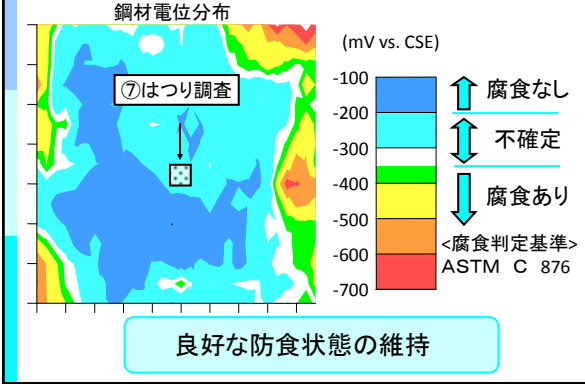
⑤復極量 調査箇所



調査結果 ⑤復極量試験結果



調査結果 ⑥鋼材電位分布



調査結果 ⑦はつり調査



ご清聴ありがとうございました。