

# 亜硝酸塩の有効的な工法の紹介

## (スラグリードSR工法)

高炉スラグを活用した自己修復新規防食塗装材料

## (GFプロテクト工法)

高炉スラグを活用したグラウト材と亜硝酸塩と  
埋込型枠を用いたコンクリート構造物鉄筋防食工法



エス・エルテック株式会社



ダイキ工業株式会社

代表取締役  
池田幹友



# ◆スラグリードSR工法

## 高炉スラグを活用した自己修復新規防食塗装材料と工法



スラグリードSR



従来品



従来品

自己修復型防錆塗料/  
環境配慮型水系塗料

- ①高炉スラグを活用
- ②高い防錆効果で鋼構造物を長寿命化
- ③下地処理コストとエネルギーを低減可能
- ④溶剤使用を低減可能

構成される材料は・・・ 3つの因子

①アルカリ粉体  
(高炉スラグ配合)

アルカリ雰囲気



鉄鋼業の副産物である  
水砕スラグを利用した  
高炉セメント含有。  
塗膜中をアルカリ雰囲気  
にすることで錆にくくする。

②特殊防錆剤

自己修復機能



価格の高騰の著しい  
亜硝酸塩での適用  
技術を確認している。

③特殊変性合成樹脂  
エマルジョン

付着強度



アルカリ粉体と防錆剤の  
バインダーとして採用。  
特に亜硝酸塩を融合させる技  
術を持っている。

混練



pH13のペースト状

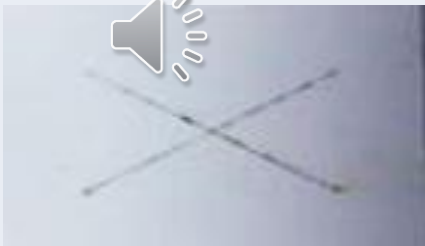


# 防錆剤の防錆効果検証

200サイクル＝1600時間経過

JIS K5600-7-9 サイクルA 塗膜の長期耐久性(中性塩水噴霧サイクル試験)

塩水噴霧(5%NaCl,35℃,2h) → 乾燥(60℃,25%RH,4h) → 湿潤(50℃,98%RH,2h)

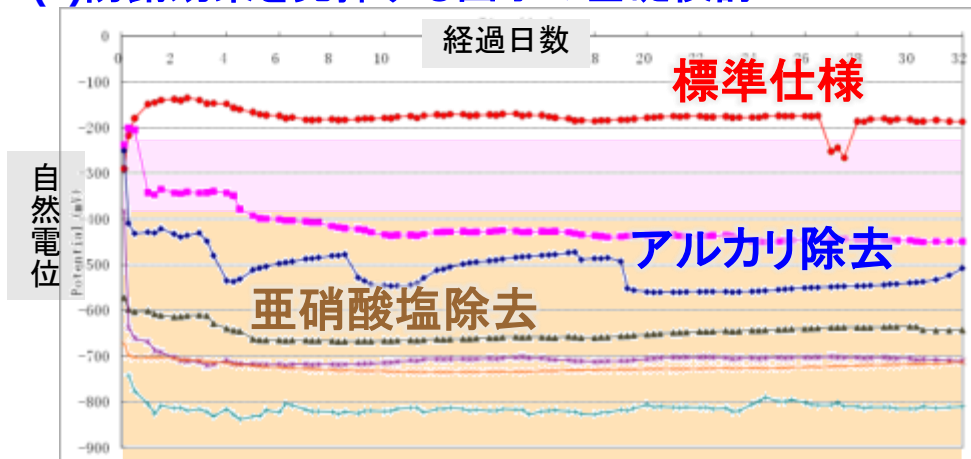
|              | 重防食塗料<br>(変性エポキシ)                                                                   | 複合型自己修復塗料<br>(スラグリードSR)                                                              | 複合型自己修復塗料<br>(防錆剤抜き)                                                                  |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験前<br>(40倍) |    |    |    |
| 試験後          |    |    |    |
| 試験後<br>(40倍) |  |  |  |

スラグリードSRは、アルカリ雰囲気・防錆剤が、耐食性を発揮。

# 防錆メカニズムの解明

九州工業大学 大学院 工学研究院／  
准教授 日比野 誠

## (1) 防錆効果を発揮する因子の基礎検討



|   | A             | B | C |
|---|---------------|---|---|
| 1 | ○             | ○ | ○ |
| 2 | ○少            | ○ | ○ |
| 3 | ○少            |   | ○ |
| 4 |               | ○ | ○ |
| 5 | 既存品(エポキシ樹脂塗料) |   |   |
| 6 |               |   | ○ |
| 7 | 試験鋼板(無塗装)     |   |   |

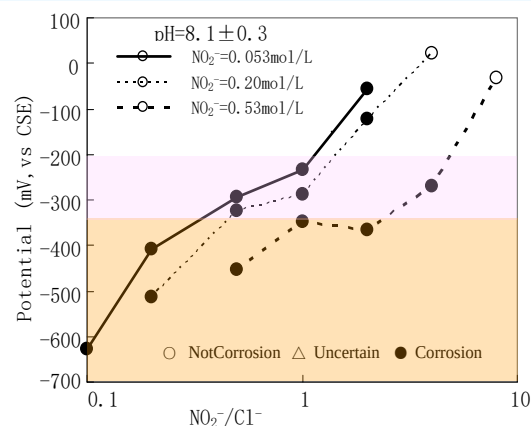
(銅-硫酸銅電極) (Pb電極)

|           |           |
|-----------|-----------|
| -126~-150 | +675~+651 |
| -151~-175 | +650~+626 |
| -176~-200 | +625~+601 |
| -201~-225 | +600~+576 |
| -226~-250 | +575~+551 |
| -251~-275 | +550~+526 |
| -276~-300 | +525~+501 |
| -301~-325 | +500~+476 |
| -326~-350 | +475~+451 |
| -351~-375 | +450~+426 |
| -376~-400 | +425~+401 |
| -401~-425 | +400~+376 |

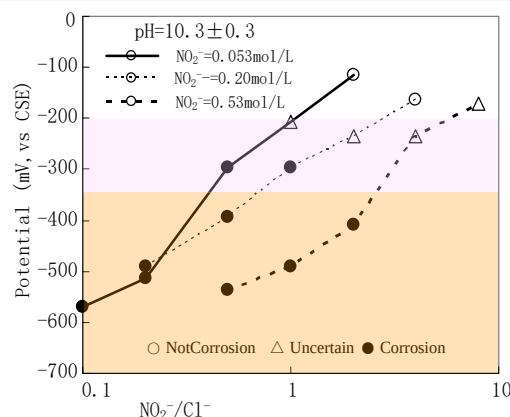
自然電位と腐食 (ASTM C876の腐食評価基準)

・自然電位測定により開発品の防錆効果の優位性を確認できた。

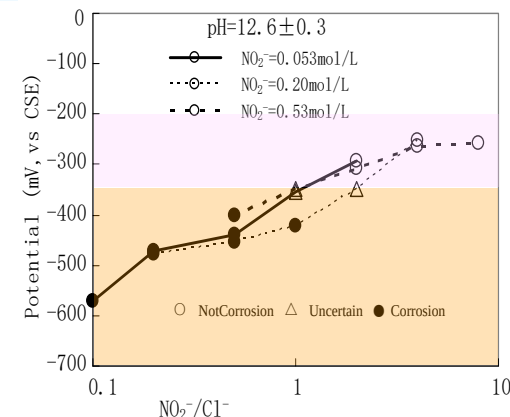
## (2) $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ のモル比とpH環境による影響



(a)pH8.1



(b)pH10.3



(c)pH12.6

・特殊防錆剤の防錆効果は、**強アルカリ**( $\text{pH} \geq 10$ )でかつ **$\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- \geq 1$** で、最も大きい。



# 鋼材の残存塩分と特殊防錆剤の効果

付表－Ⅱ.1.2 処理方法別付着塩分除去効果

| 水洗い前の<br>付着塩分量            | 水洗                        |            | 動力工具                      |            | 動力工具とウェス拭き併用              |            |
|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
|                           | 処理後の付着塩分量                 | 除去率<br>(%) | 処理後の付着塩分量                 | 除去率<br>(%) | 処理後の付着塩分量                 | 除去率<br>(%) |
| (NaCl mg/m <sup>2</sup> ) | (NaCl mg/m <sup>2</sup> ) |            | (NaCl mg/m <sup>2</sup> ) |            | (NaCl mg/m <sup>2</sup> ) |            |
| ① 218                     | 20                        | 90%        | 110                       | 49%        | 52                        | 76%        |

処理方法による付着塩分量について鋼道路橋塗装・防食便覧(社)日本道路協会発行 平成26年3月10日刷発行) P-Ⅱ 162

②下地処理が充分に出来ない箇所 1000mg/m<sup>2</sup>

## ◆ 計 算

|                     |      |             |
|---------------------|------|-------------|
| NaCl＝               | 58.5 | (1グラム分子質量)  |
| (Cl <sup>-</sup> )＝ | 35.5 | (1グラムイオン質量) |

①水洗い前の付着塩分量に含まれる塩素イオン(Cl<sup>-</sup>)のモル数を求める。

$$(\text{Cl}^-) \text{ モル数} = 0.218 \times \frac{35.5}{58.5} \times \frac{1}{35.5} = 0.00373$$

②下地処理が充分に出来ない箇所の付着塩分量に含まれる塩素イオン(Cl<sup>-</sup>)のモル数を求める。

$$(\text{Cl}^-) \text{ モル数} = 1.000 \times \frac{35.5}{58.5} \times \frac{1}{35.5} = 0.017094$$

スラググリードSR標準仕様に含まれる亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)のモル数を求める。

スラググリードSR標準仕様の塗布量は500g/m<sup>2</sup>(下塗材1層塗 標準塗布量500g/m<sup>2</sup>)特殊防錆剤は、全質量の約4%含まれている(配合より算定)よって、500×0.04＝20 (g) の特殊防錆剤が含まれている。

$$(\text{NO}_2^-) \text{ モル数} = 20 \times \frac{92}{132} \times \frac{1}{92} \times 2 = 0.30303$$

|                                                |     |                |
|------------------------------------------------|-----|----------------|
| 特殊防錆剤＝                                         | 132 | (1グラム分子質量)     |
| (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup> ＝ | 92  | (1グラムイオン質量) ×2 |

$$\textcircled{1} \frac{(\text{NO}_2^-) \text{ モル数}}{\text{Cl}^- \text{ モル数}} = \frac{0.30303}{0.00373} = 81.2 \geq 1 \quad \dots \text{OK}$$

$$\textcircled{2} \frac{(\text{NO}_2^-) \text{ モル数}}{\text{Cl}^- \text{ モル数}} = \frac{0.30303}{0.017094} = 17.7 \geq 1 \quad \dots \text{OK}$$

特殊防錆剤には、1分子当り2モルの亜硝酸イオンが含まれているので、(Cl<sup>-</sup>)で求めた方法に2を乗じて求める。

①②の数値より高い防錆効果が期待出来る。

## ◆ まとめ

- ・ 特殊防錆剤の防錆効果は、強アルカリ (pH≧10) でかつNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> ≧1で、最も大きい。

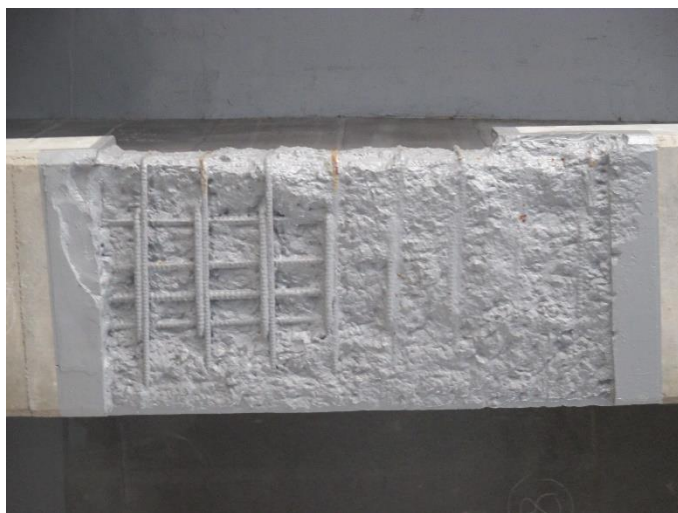
# スラグリードSR-F

施工例：福岡県内某PC橋

交通量も多く、剥落防止措置が必要…



〈露筋部にスラグリードSRを塗布〉



欠損部の意匠性復旧 鉄筋防錆



〈鉄筋をスラグリードSR-Fで埋め戻す〉



施工後4年経過



# ■施工実績 民間工場内設備

屋外排気設備  
施工前



セメントサイロ  
施工前



化学工場  
施工前



屋外排気設備  
施工3年後



セメントサイロ  
施工後



化学工場  
施工後



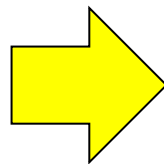


# 大型構造物・海外塗装実績あり

某製鉄所-スタッカークレーン



施工前



施工後

中国/大連にて施工



下塗材塗布状況



上塗材 塗装状況



輸送状況

# ■道路橋等、支承部補修塗装

支承部 塗装①

塗装箇所：高速道路公社



着工前



塗装完了

支承部 塗装①

塗装箇所：モノレール



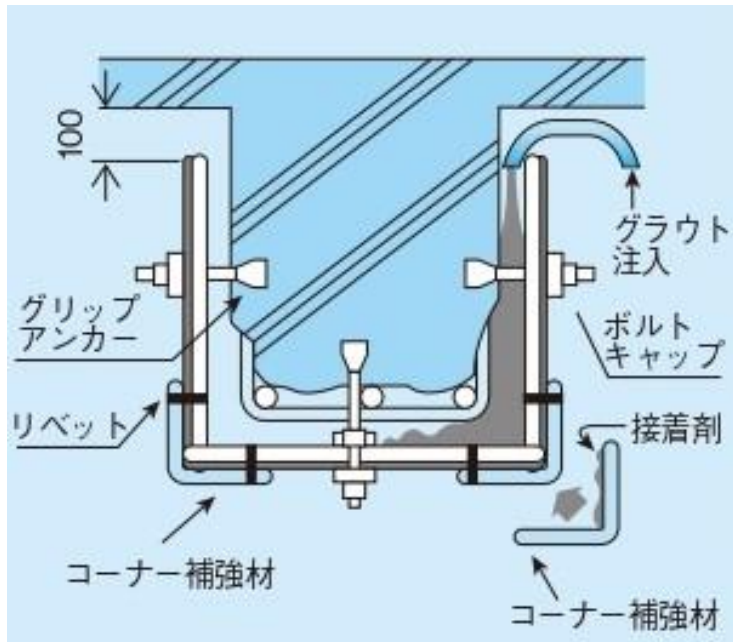
着工前



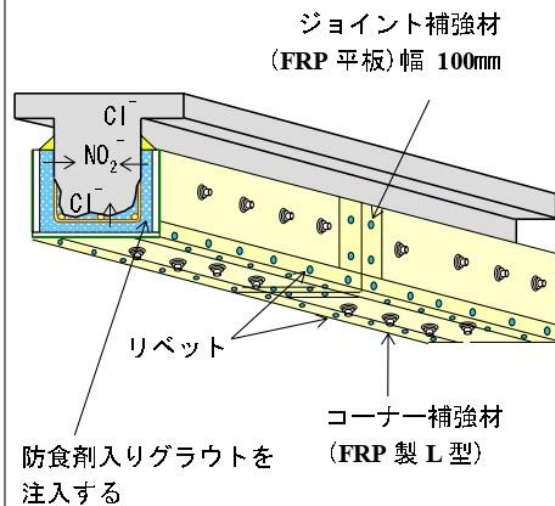
塗装完了



# ◆ GFプロテクト工法



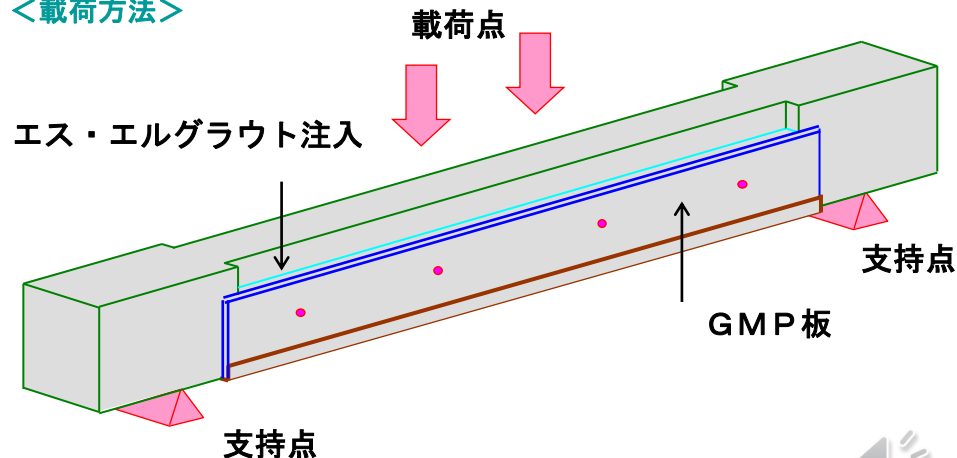
(完成図)



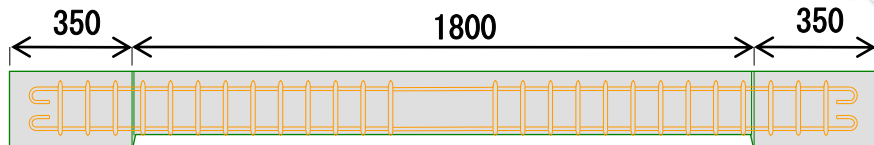
# GFプロテクト工法による曲げ試験

## ・ GMP板で補修した梁の曲げ載荷試験

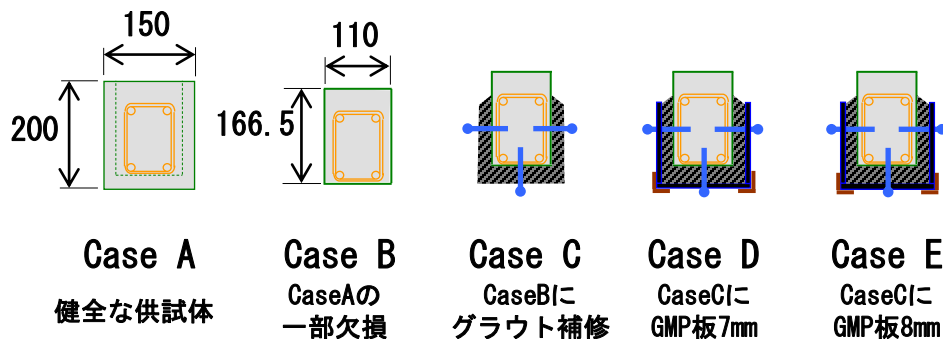
### < 載荷方法 >



### < 梁の長さ >



### < 梁の断面 >



供試体概要

九州工業大学 建設社会工学科  
名誉教授 出光隆



供試体

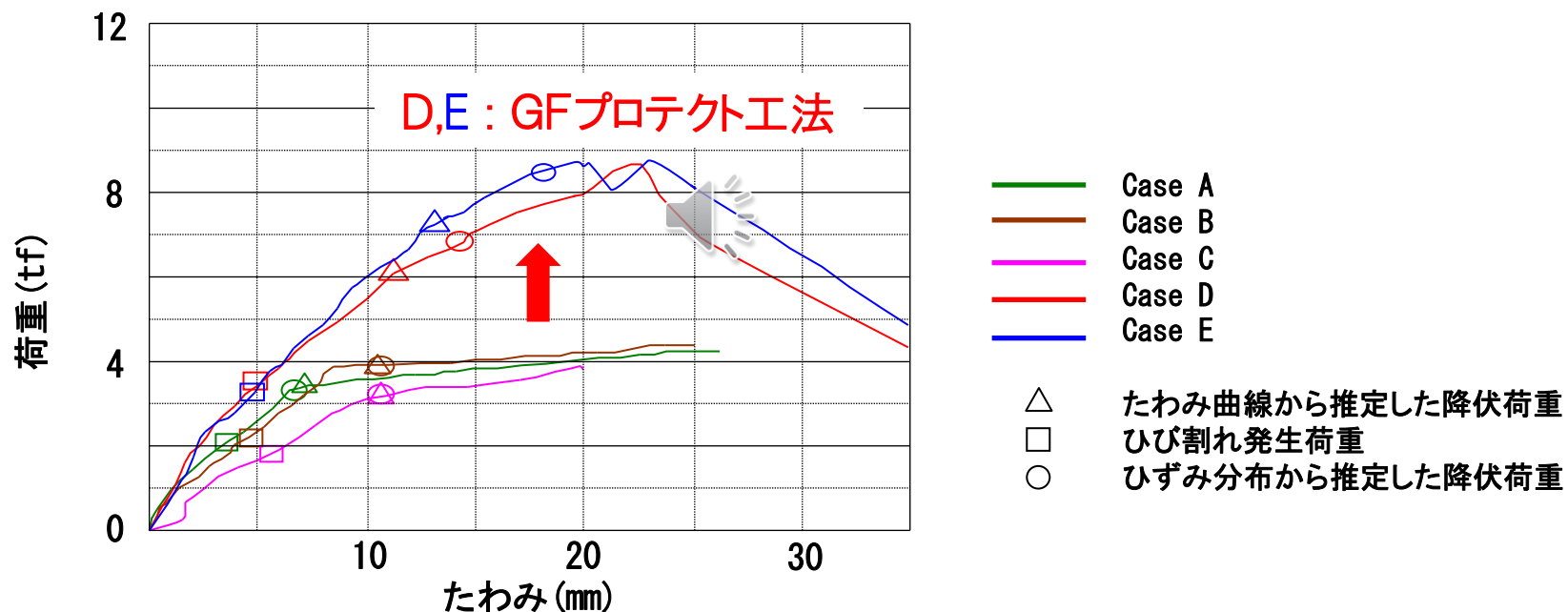


ひずみゲージ取付け 曲げ試験中



## <曲げ試験結果>

| 供試体    |                       | 破壊荷重 ( t f ) | ひび割れ状況        |
|--------|-----------------------|--------------|---------------|
| Case A | 健全な供試体                | 4.09         | 破壊時 4.0mm     |
| Case B | CaseAの一部が欠損した供試体      | 3.96         | 破壊時 1.4mm     |
| Case C | CaseBにグラウトのみの補修をした供試体 | 3.63         | 破壊時 3.0mm     |
| Case D | CaseCにGMP板7mm使用した供試体  | 8.81         | GMP板 ひび割れ発生なし |
| Case E | CaseCにGMP板8mm使用した供試体  | 8.70         | GMP板 ひび割れ発生なし |



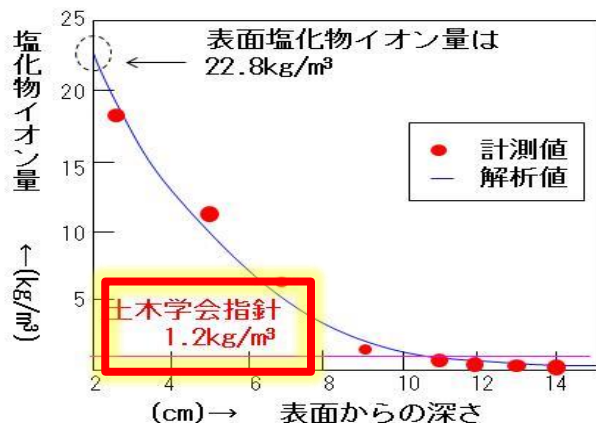
### 【考察】

ひび割れについては、GMP板を用いていない供試体は、普通のRC梁であるから、低荷重時から引張部に多数のひび割れが生じ、それぞれの幅が拡大していくのに対し、GMP板合成梁は、最大荷重に達する直前の破壊時までGMP板にひび割れは発生せず、最大荷重時にGMP板が破断して急激に荷重が低下するという経過をたどる。コンクリートと補修部との間の剥離については、コンクリート表面に施したチップング処理の効果で、いずれの供試体についても全く見られなかった。

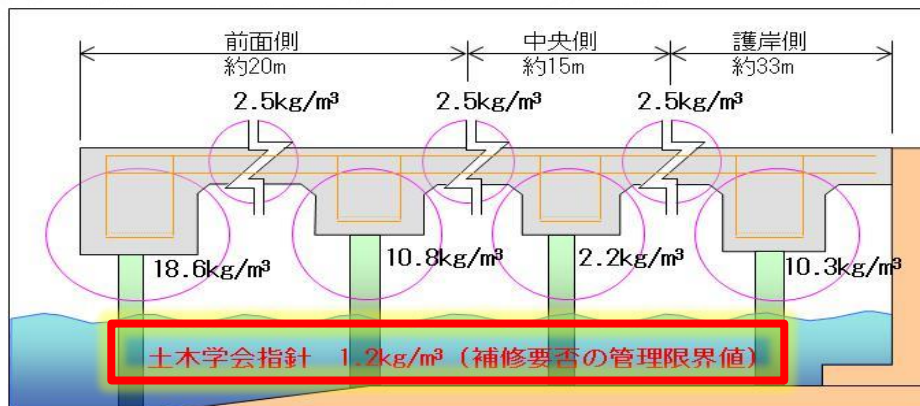
# ◆ GFプロテクト工法

高炉スラグを活用したグラウト材と亜硝酸塩と埋込型枠を用いたコンクリート構造物鉄筋防食工法を開発

## ■ 表面からの深さと塩化物イオン量の関係



## ■ 岸壁(埠頭・棧橋)の表面塩化物イオン量の実例



## ■ GFプロテクト工法／亜硝酸塩の添加量及び根拠

### ・配合比

|                   | グラウト材<br>(25kg/袋) | 亜硝酸塩<br>(25%溶液)  | 水      | 合計      |
|-------------------|-------------------|------------------|--------|---------|
| 質量(kg)<br>(配合比)   | 25                | 1.4<br>(0.35)    | 3.65   | 30.05   |
| 密度(kg/L)          | 2.10              | 1.10<br>(0.38)   | 1.00   | -       |
| 体積(L)<br>1000L当り  | 707.46            | 75.63<br>(18.91) | 216.91 | 1000.00 |
| 質量(kg)<br>1000L当り | 1485.66           | 83.20<br>(20.80) | 216.91 | 1785.77 |

### ・グラウト厚と推定制御可能NaCl換算塩化物量の関係

| グラウト厚     | LiNO <sub>2</sub> (固形分)<br>(kg/m³) | LiNO <sub>2</sub> モル数<br>(モル/m³) | 制御可能Cl <sup>-</sup> 量<br>(kg/m³) | NaCl換算 塩<br>化物量(kg/m³) |
|-----------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1m(100cm) | 20.8                               | 392.453                          | 13.932                           | 22.959                 |
| 5cm       | 1.04                               | 19.622                           | 0.697                            | 1.148                  |
| 10cm      | 2.08                               | 39.245                           | 1.393                            | 2.296                  |
| 15cm      | 3.12                               | 58.86                            | 2.090                            | 3.443                  |

・計算に用いる各原子量と分子量

〈原子量〉Na:23 Cl:35.5 Li:7 N:14 O:16

〈分子量〉NaCl:58.5 No<sub>2</sub>:46

# ◆ GFプロテクト工法

# 実海域実験工事

## 施工場所:

佐賀県唐津港(東港地区)埠頭用地(-0.9m)岸壁No.12栈橋一部

## 工事期間:

平成15年7月1日～8月31日(62日間)

## 監督元:

国土交通省 九州地方整備局 唐津港湾事務所

## 工法共同開発グループ

### 実施者:

九州工業大学

ダイキ工業株式会社

エス・エルテック株式会社

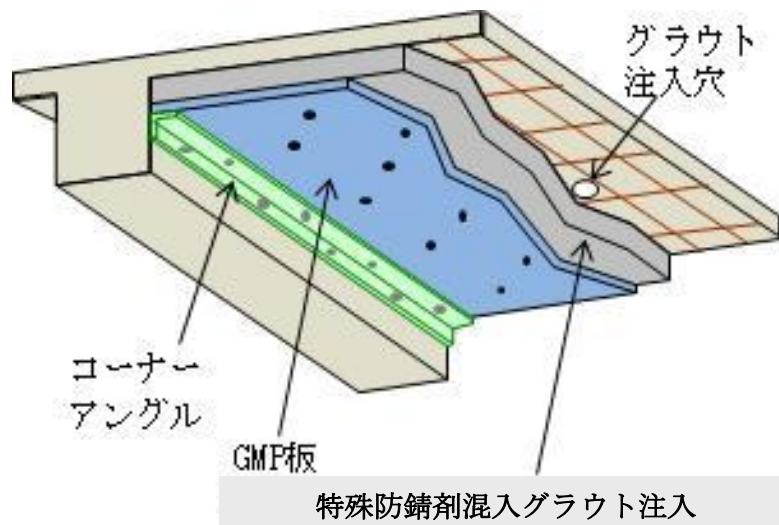
新日鐵高炉セメント株式会社

## ◆実海域実験目的:

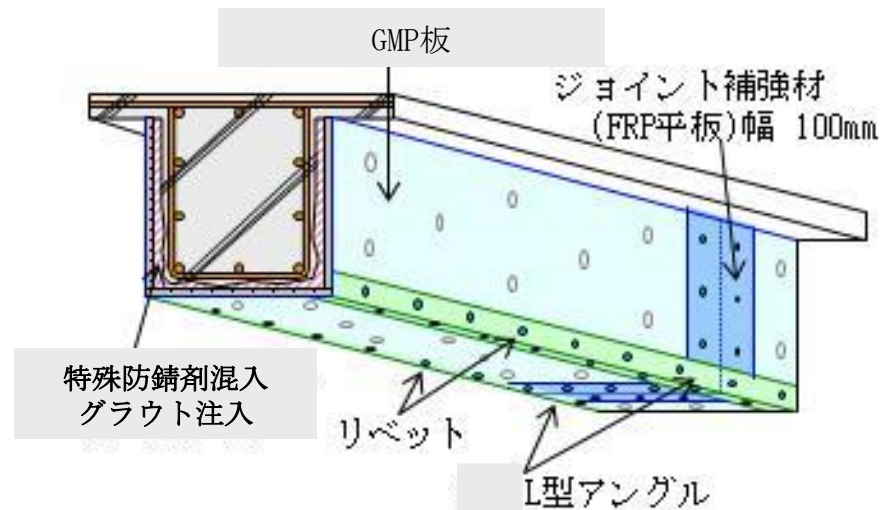
### 「塩害対策鉄筋防錆工法」

中性化又は塩害を受けたコンクリート構造物寿命延長のため、亜硝酸塩を用いた鉄筋防食と、埋込型枠を用いた断面復旧による構造物の維持を目的とした、環境に優しい補修、補強工法の開発を目指したものである。

本実験では、実現場で損傷を受けたコンクリートの鉄筋防食、断面復旧、表面保護を行い、塩害を受けたコンクリート構造物の補修工法としての適用の実用化を目指したものである。



埋込型枠工法(大きく露筋している箇所)





# ◆実験場所の現状



スラブの劣化

梁の劣化

## 実海域実験施工

### ◆埋込型枠工法(大きく露筋している箇所)



鉄筋新設



埋込型枠加工取付(GMP板=7mm)



端部アングル取付



グラウト充填(t=70mm)



天井部 GFプロテクト施工

## 躯体接着調査



A diagram of a 2D hexagonal lattice structure. The lattice is composed of solid black lines forming a grid of squares. Each square contains a smaller, solid black square in its center. A red arrow points to the central square of one of the units in the lattice.





# ■GFプロテクト工法 実績■

施工前(全体像)



完成直後



完成から20年後



施工前(代表部位)

完成直後

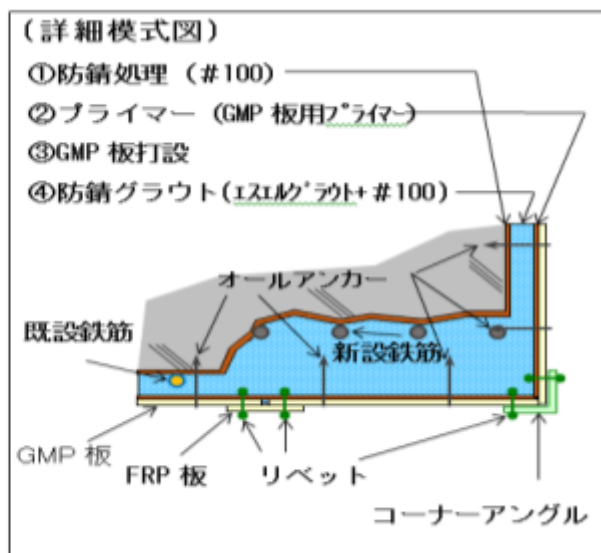
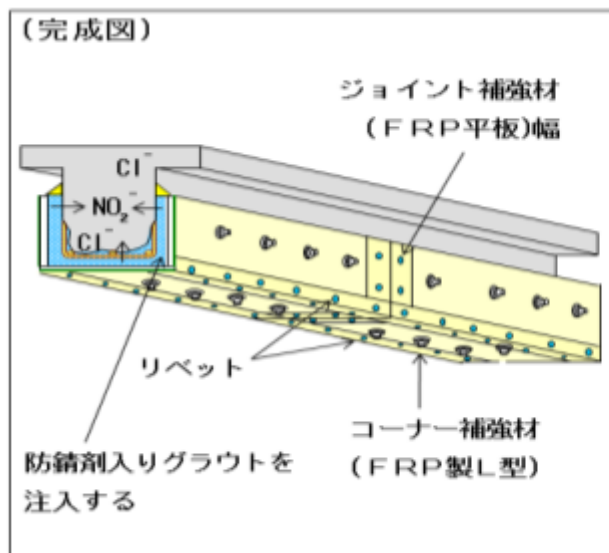
完成から20年後

## 港湾施設の点検・補修技術ガイドブック（改定版：2019年春）

発刊元：一般財団法人 港湾空港総合技術センター（SCOPE）

### <掲載内容>

- ・本工法は、自立型埋込型枠と高流動モルタルの組合せで躯体コンクリートと一体断面を構築する工法である。
- ・特徴の一つは、自立式の埋込型枠である。従来の埋込型枠は大型で重量があり、重機使用が一般的で且つ、支保工を必要としていた。  
本工法は、工場でFRPとボードを圧着、成型した、軽量で剛性の高い製品である。この製品を現地サイズに加工し、組み立てる型枠である。
- ・二つ目は、自立式埋込型枠に適した高炉スラグを活用した高流動モルタルを開発すると同時に、亜硝酸塩混入モルタル(グラウト)による鉄筋不動態被膜を再構築することにより、既存コンクリート構造物の内部に残存する、塩素イオンの影響から鉄筋を保護すると共に、外部より新たに滲入する塩素イオンを皆無又は少なくする工法である。



問い合わせ先：一般社団法人 コンクリートメンテナンス協会



## ●お問い合わせ先●



一般社団法人 コンクリートメンテナンス協会

〒730-0053 広島県広島市中区東千田町2-3-26

TEL・FAX: 082-541-0133

E-mail: [info@j-cma.jp](mailto:info@j-cma.jp)



製造元:



エス・エルテック株式会社



ダイキ工業株式会社

〒802-0032 福岡県北九州市小倉北区赤坂5-6-64