

## ポストテンションPCT桁端定着部への脱塩工法の実験的検討

電気化学工業 (株)	正会員	○松久保 博敬
(株) 高速道路総合技術研究所		工修 宮永 憲一
(株) 高速道路総合技術研究所	正会員	野島 昭二
東京工業大学	正会員	工博 大即 信明

### 1. はじめに

凍結防止剤を散布する山間部の道路橋では遊間部や排水管損傷部からの漏水の影響により、限定した範囲で塩害劣化が顕在化している。特にポストテンション PCT 桁端部の定着部で損傷が生じた場合、単に補修のみでは橋梁全体の安全性を担保できなくなる可能性もあり、膨大な補修・補強費が必要となる。ポストテンション PCT 桁の棲面や端部側面は、プレストレスも導入されていないためはつり作業などの空間的問題が解決されるのであれば断面修復工法などの対策も可能となる。しかしながらはつり作業による構造物の損傷やプレストレスへの影響を考慮すれば、非破壊による補修対策が望まれる。本内容はポストテンション PCT 桁の桁端部模擬供試体を使用し、桁端部定着部への脱塩工法の有効性を実験的に検討した。

### 2. 試験内容

#### 2. 1 供試体概要

ポストテンション PCT 桁端部供試体概要を図-1に示す。日本道路公団標準図集 1984 年の単純合成桁を参考として、桁高さ約 1/2 の  $h=1450$  mm,  $B=700$  mm,  $L=3000$  mmである。定着方式は当時主流のフレシネー工法 (12T13M220) と VSL 工法 (E5-12) の 2 種類とし、使用した PC 鋼より線は SWPR7BL ( $\phi 12.7$ mm), プレストレス導入完了時の PC 鋼より線の緊張力は  $\sigma_{pu} \times 70\%$  を目標とした。

コンクリートは  $W/C=40.4\%$  ( $\sigma_{c28d}=54.5N/mm^2$ ), 塩化物イオン濃度は  $9.0kg/m^3$  を練り込んだが、採取した供試体の分析結果は  $7.62kg/m^3$  (標準偏差  $0.33kg/m^3$ ) を示したため、これを初期値として脱塩後の評価を行った。定着部の間詰め部は、横方向に配力鉄筋を配置し、同配合のコンクリートを打設した。

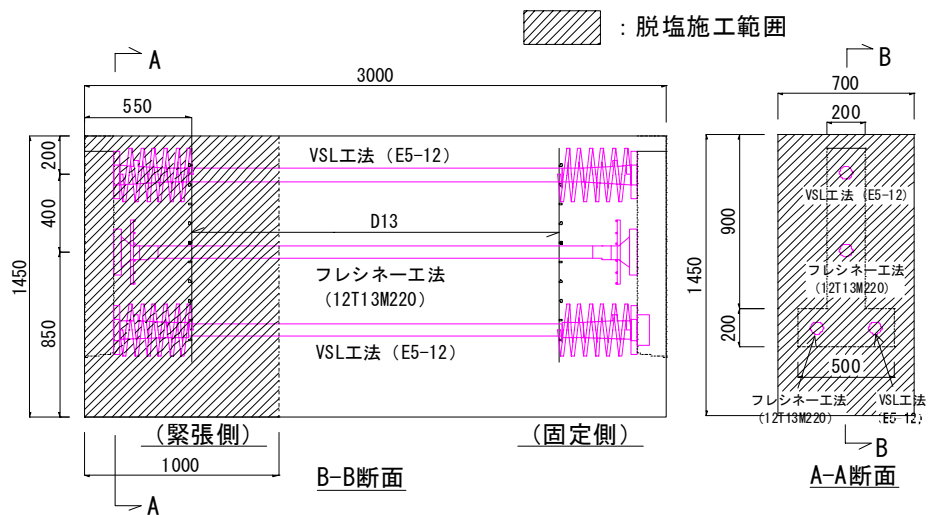


図-1 ポストテンション PCT 桁端部供試体

表-1 通電条件

部位	(コンクリート) 電流密度 (A/m <sup>2</sup> )	(鉄筋) 電流密度 (A/m <sup>2</sup> )	通電期間	積算電流量 (A・h/m <sup>2</sup> )
側面	2→4	2.9→5.7	2A/m <sup>2</sup> :4日間	2784
棲面		—	4A/m <sup>2</sup> :27日間	

#### 2. 2 脱塩工法

通電仕様と通電状態を表-1に示す。脱塩工法の通電は桁の両側面 1m の範囲と棲面に対して、コンクリート面積あたりの積算電流量が  $2688A \cdot h/m^2$  ( $2.0A/m^2$ ),

8週間相当)以上となるよう  $2.0A/m^2$  を4日間、 $4.0A/m^2$  を27日間にわたり定電流制御で連続通電した(電流回路は両側面と棲面の2回路)。溶液保持方法はファイバー方式、電解質溶液はほう酸と炭酸カリウムの混合水溶液を使用した。鉄筋に流れる電流量を測定するため、供試体の鉄筋と絶縁したD13の分割鉄筋を任意のかぶり位置に配置し、並列回路中に設置した $1\Omega$ の固定抵抗間を電圧降下法によって自動計測した。通電完了後、コアおよびドリル法によって試料を採取し、JIS A 1154に準じて全塩化物イオン濃度の分析を行った。

3. 試験結果

3.1 脱塩量

側面の通電後の全塩化物イオン濃度の分布を図-2、棲面の通電後の全塩化物イオン濃度の分布と試料採取位置とを図-3~5、6に示す。図-2のSI-1, SI-3, SI-4は、側面の鉄筋近傍と分割鉄筋-1の近傍から、SI-2は鉄筋間から採取した試料である。分割鉄筋-1は側面のかぶり28mmの位置に配置している。

SI-1, SI-3, SI-4の表面から30mmの鉄筋近傍の全塩化物イオン濃度は、 $1.8\sim 3.5kg/m^3$ を示し脱塩率は77~54%と高い脱塩効果を示した。一方鉄筋間から採取したSI-2はほとんど脱塩されていない。

図-3~5は棲面のPC鋼より線余長部、配力筋が存在する定着板および配力筋がない定着板上から採取した試料の通電後の全塩化物イオン濃度を示す。図-3よりPC鋼より線の余長部分は深さ方向の130mmでほぼ一定の全塩化物イオン濃度を示しており、PC鋼より線に沿ったかたちで脱塩されている。図-4、5の定着板上の全塩化物イオン濃度は、横方向の配力筋の影響によって脱塩量が大きく変化した。図-4のように定着板上に配力筋が存在する場合、表面からの深さ54mmに位置する配力筋に多くの電流が流れ、定着板に流れる電流が阻害されるため、配力筋背面の脱塩が阻害される。図-5の配力筋が存在しない定着板付近の130mmの全塩化物イオン濃度は、 $3.0\sim 4.5kg/m^3$ を示し、電位勾配が最も大きい陰極表面の脱塩量が最も高い。

図-7に絶縁した各分割鉄筋に流れた積算電流密度と分割鉄筋近傍の脱塩量の関係を示す。脱塩率は積算電流量に依存するため相関性が良いが、 $4000A \cdot h/m^2$ で脱塩率は収束する傾向を示す。

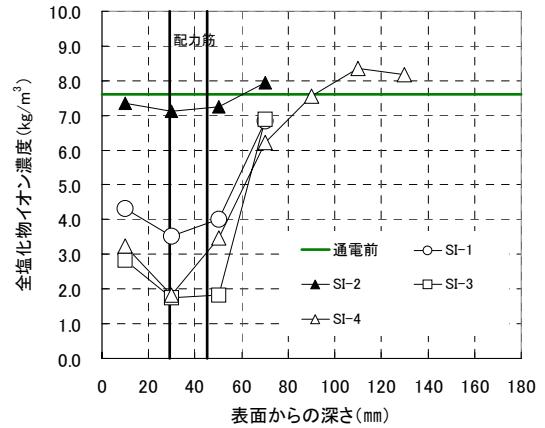


図-2 側面の全塩化物イオン濃度

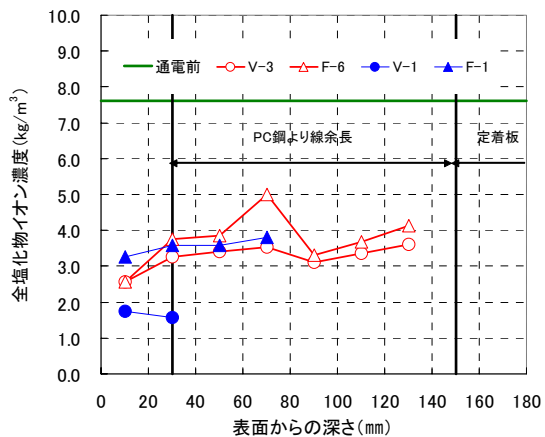


図-3 棲面の全塩化物イオン濃度

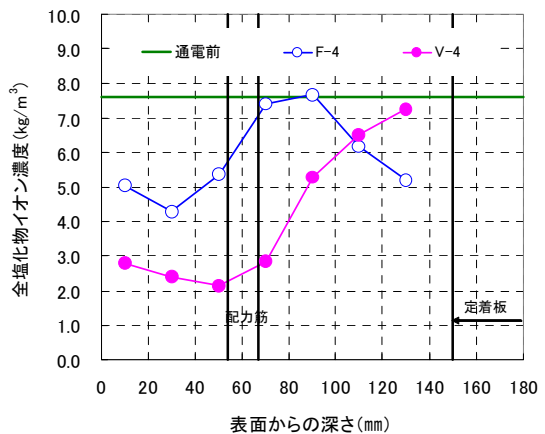


図-4 棲面の全塩化物イオン濃度

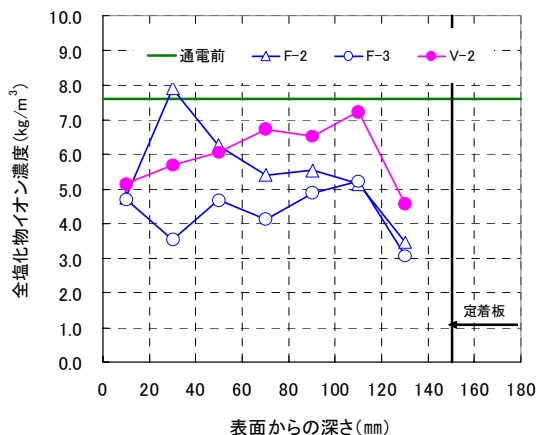


図-5 棲面の全塩化物イオン濃度

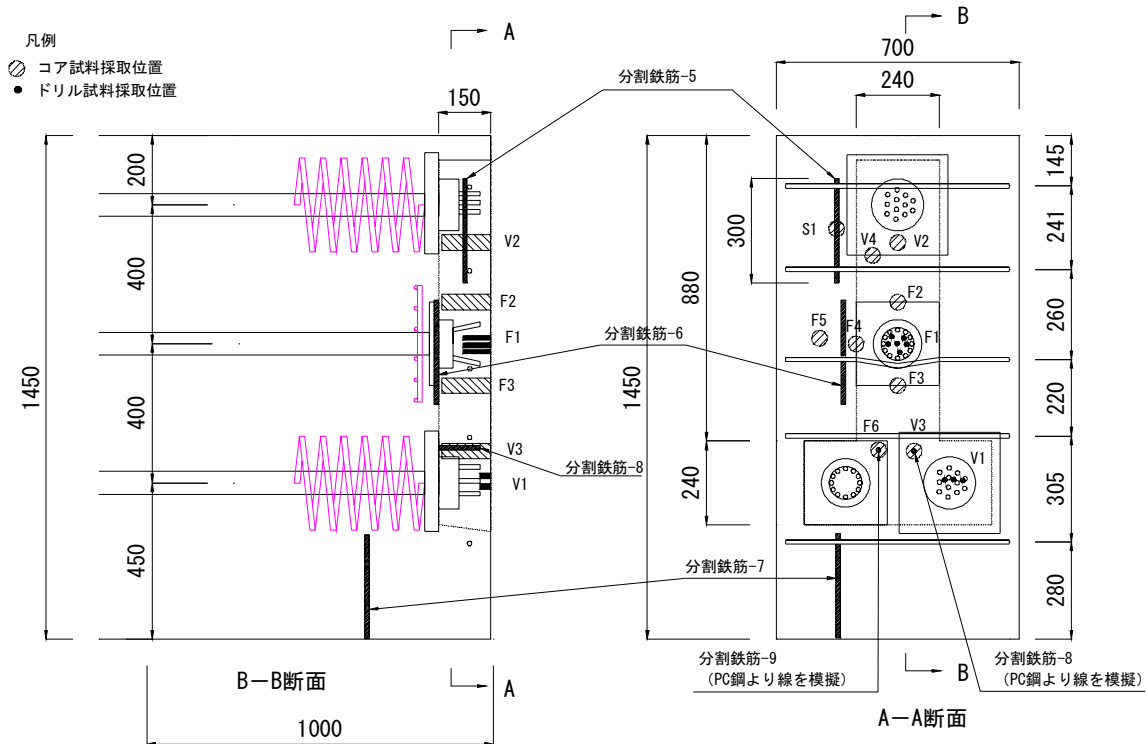


図-6 稜面の試料採取位置

3. 2 脱塩量予測

稜面定着板部を差分法によって脱塩量の解析試算を実施した。解析<sup>1)</sup>は定着板とコンクリート表面の断面を2mm間隔の格子で近似し、コンクリート表面と内部鉄筋の電位差を実測の結果から25V一定と仮定し、差分法で電位分布を算出した。電位分布と隣り合う格子間距離から電位勾配を求め、コンクリート中の比抵抗を仮定し電流密度を算出した。解析に使用した係数や実測値を表-2に示す。通電時のコンクリートの比抵抗は、稜面のかぶり54mmの分割鉄筋に流れる平均電流密度が実測値である5.8A/m<sup>2</sup>となるように105Ω・mと仮定した。

分割鉄筋に流れた実測の積算電流量と分割鉄筋近傍から採取した試料分析による脱塩量の関係を図-7に示す。図-7の近似曲線の(1)式より定着板付近の脱塩後の残存塩化物イオン濃度を算出した。

$$D = a \times A^2 + b \times A \quad (1)$$

ここで、D：脱塩量 (kg/m<sup>3</sup>)，A：積算電流密度 (A・h/m<sup>2</sup>)，a：係数 (-2.58×10<sup>-7</sup>)，b：係数 (2.06364×10<sup>-3</sup>)，ただし最大脱塩量は4.1kg/m<sup>3</sup>を上限とした。通電後のフレシネー定着板近傍の残存塩化物イオン濃度の予測結果を図-8に示す。これら図-8と図-3～5に示した分析結果のF1、F3は概ね一致している。しかしながらF2の定着板近傍の脱塩量はF3や解析値とほぼ一致しているが、表面部分で高い残存塩化物イオン濃度を示した。これは通電途中にF2の採取位置の表面部分で電流分布が不均一になり表面部分の塩化物イオンの輸率が大きく低下したためと考えられる。

表-2 解析に使用した係数・実測値

メッシュ間隔 (mm)	電位差 (V)	コンクリートの比抵抗 (Ω・m)	最大脱塩量 (kg/m <sup>3</sup> )
2	25	105	4.1

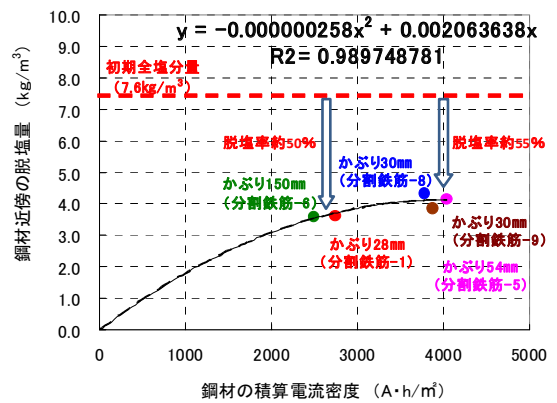


図-7 分割鉄筋の積算電流密度と脱塩量

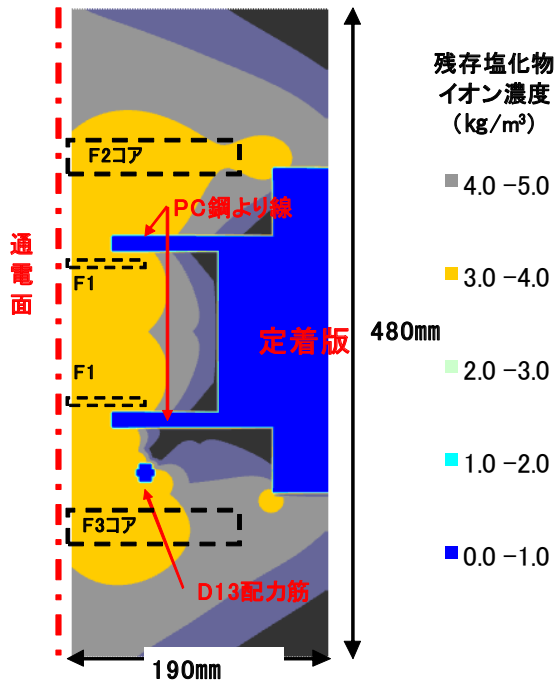


図-8 残存塩化物イオン濃度の予測

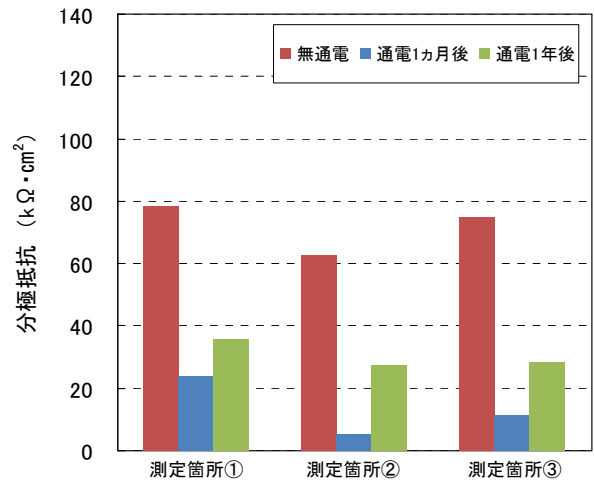


図-9 通电前後の分極抵抗



写真-1 無通电部の鉄筋状態



写真-2 脱塩1年後の鉄筋状態

### 3. 3 防食効果

脱塩後の鉄筋腐食速度を確認するため、交流インピーダンス法で分極抵抗を測定した。その結果を図-9に示す。無通电部分の分極抵抗が最も高く、通电1年後、通电直後の順に低くなった。通电後に分極抵抗が低下する原因としては、長期間の高い電流密度により黒皮 ( $Fe_3O_4$ ) が一旦還元し、通电直後の鉄筋が酸化しやすい状態になっているためと考えられる。その後酸素の供給に伴い還元した部分は再び  $Fe_3O_4$  に酸化し、且つ不動態の生成により分極抵抗が経時的に増大すると考えられる。その期間は通电による水の電気分解によって生成した水酸基イオンにより高いアルカリ状態にあることから、塩化物イオンが存在していても発錆し難い。鉄筋の分極抵抗はこれら通电の影響がなくなってから測定評価する必要がある。写真-1, 2に無通电部分と脱塩部分の鉄筋の腐食状態(通电後1年間屋外に暴露)を示す。無通电部分の鉄筋は部分的に腐食、孔食が発生している。一方脱塩部は表面の黒皮部が変色しているが孔食による断面欠損は確認されなかった。

4. まとめ

#### 4. まとめ

- (1) 定着部の脱塩効果としては、深さ 130 mm の定着板近傍で  $7.6kg/m^3$  の全塩化物イオン量を  $3.0\sim 4.5kg/m^3$  まで低減させることができた。
- (2) 配筋状態と全塩化物イオン濃度の深さ方法の分布を調査することで、電位分布による予測からある程度の脱塩量を試算することが可能となる。
- (3) 脱塩工法適用直後の鉄筋の分極抵抗は通电による影響で通电前に比べて大きく低下する。分極抵抗による防食評価では継続的調査が必要である。

#### 参考文献

- 1) 椎名貴快, 渡辺博志, 久田 真, 古賀裕久: 脱塩工法におけるコンクリート中の電場特性と塩化物イオンの挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp. 1519-1524, 2005.7