

# 線状陽極を用いた新しい脱塩工法に関する検討

技術本部 技術部 メンテナンス技術グループ 深川直利

技術本部 技術部 メンテナンス技術グループ 青山敏幸

技術本部 技術部 メンテナンス技術グループ 白水祐一

**概要：**塩害劣化したコンクリート構造物の電気化学的補修工法として脱塩工法がある。

一般的に、脱塩工法は面状陽極を使用した工法が主であるが、執筆者らは、これまで脱塩工法では使用実績のない線状陽極を用いて、施工性・経済性に優れた脱塩工法の開発に着手した。

実験では、塩化物イオンを混入したコンクリート試験体を用いて、設計・施工に係る不明確な点や、その脱塩性能を検討した。結果として、通電する電流量は鉄筋表面積当たりの通電量を用いることが望ましいこと、開発した新しい脱塩工法は従来の工法と同等の脱塩性能を有することが確認された。

**Key Words：**塩害、コンクリート構造物、脱塩、線状陽極

## 1. はじめに

我が国において塩害劣化したコンクリート構造物に対する有効な補修方法としての電気化学的防食工法がある<sup>1)</sup>。数多くの方式が開発され多くの施工実績を有している<sup>2)</sup>電気化学的防食工法の一つである電気防食工法は、施工後の維持管理には専門的知識が必要であり、このことが広汎な普及を妨げているひとつの原因となっている。一方、施工後の維持管理が非常に簡単とされる脱塩工法では、前者と比較し新しい技術であることから工法としての種類が少なく、施工実績が少ないのが現状である<sup>2)</sup>。我が国の維持管理構造物数の増大と技術者不足の現状を鑑み、執筆者らは維持管理が非常に簡単で専門的な知識を必要としない脱塩工法に注目し、施工性に優れ、コスト縮減が可能な工法を開発した。本論文は線状陽極を使用した脱塩工法の脱塩性能を検討した結果を論じる。

## 2. 新しい脱塩工法の概要

図-1に従来の脱塩工法と新しい脱塩工法の概要図を示す。前者は面状陽極をコンクリート表面に設置した後にファイバーを吹き付け、アルカリ電解質を散布し通電する工法である。一方、後者は工場で作られた陽極モールドを、保水スポンジを介してコンクリート表面に設置した後に水道水を散布して通電する工法である。なお、陽極モールドは線状陽極、アルカリ性バックフィル、イオン交換膜および樹脂容器から構成されている。新しい工法の特徴として、以下の点があげられる。

- ① 主材料の陽極モールドは工場制作されるため、品質が高く現場作業を軽減できる。
- ② 散布する電解質が水道水であり、安全な環境で作業が可能となる。
- ③ 陽極モールドの設置本数を変化させ、同一回路内で鋼材量に応じた電流量を通電できる。



深川直利



青山敏幸



白水祐一

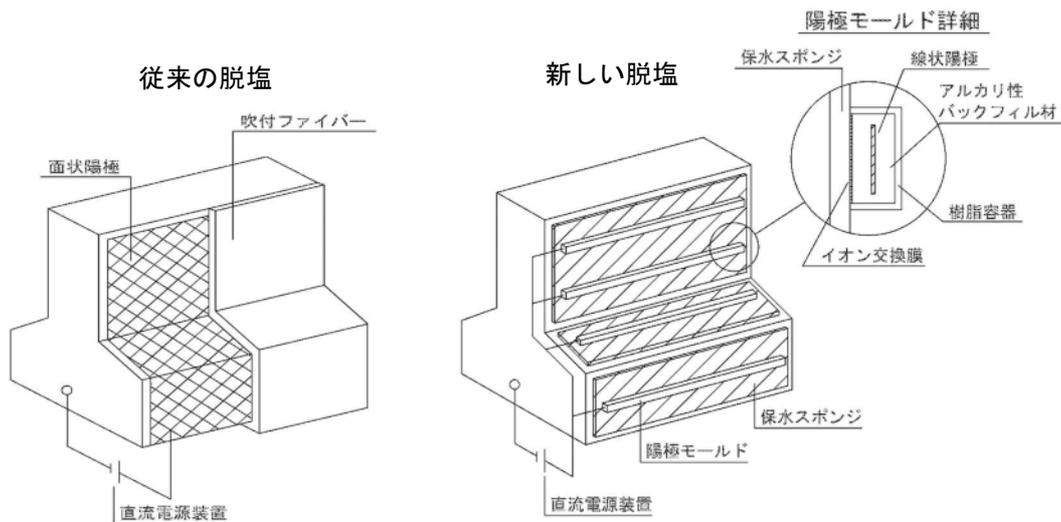


図-1 脱塩工法の概要

### 3. 試験概要

内在塩分を有するT桁試験体を製作し、所定の積算電流量を通電した。通電前後のコンクリートに含まれる塩化物イオン濃度を分析し、従来の脱塩工法との脱塩性能と比較検討した。

#### 3.1 コンクリート配合および使用材料

試験体のコンクリート配合を表-1に示す。コンクリートに使用したセメントは、早強ポルトランドセメントであり、コンクリート中の塩化物イオン濃度が  $8\text{kg/m}^3$  となるよう  $\text{NaCl}$  を練混水に添加して使用した。陽極モールド構成材料である線状陽極は、幅  $15\text{mm}$  の高純度チタンに酸化貴金属皮膜を施したものを使用し、アルカリ性バックフィル材はベントナイトに水酸化リチウムを添加して用いた。また、イオン交換膜は厚さ  $0.21\text{mm}$  の高強度耐アルカリ性陽イオン交換膜を使用した。なお、保水スポンジは、厚さ  $10\text{mm}$  のセルローススポンジを用いた。

#### 3.2 試験体の形状・寸法

試験体の形状・寸法と配筋状況を図-2に示す。桁高  $1400\text{mm}$ 、長さ  $6000\text{mm}$  のT桁断面とした。通し筋には  $D16$  および  $D13$  の鉄筋、配力筋は  $D16$  を桁の左右で  $200$  ピッチおよび  $300$  ピッチで配置した。

また、 $\phi 42$  のシース 7 本を配置した。試験体の単位長さのコンクリートおよび鉄筋の表面積、コンクリートと鉄筋の面積比を表-2に示す。なお、シース面積は鉄筋面積として計上している。

#### 3.3 通電量と試験環境

一般的に脱塩工法の通電量は  $1\text{A/m}^2$  (コンクリート表面積) の電流密度を 8 週間通電<sup>1)</sup> と言われており、コンクリート表面積当たりの電流密度で通電されている。しかし、脱塩のメカニズムから考えると脱塩の効率は鉄筋に流入する電流量、すなわち、鉄筋表面積当たりの電流密度に影響されると考えられる。そこで本試験では鉄筋量の異なる部位を 3 つの回路に分けて、鉄筋表面積を基準とし、各部位に位置する鉄筋に流入する電流量が可能なかぎり均一になるよう 8 週間の通電を行った。なお、通電は屋外で行い、1 日に 1 回水道水の散布を行った。

表-1 試験体の配合

| W/C  | 単位量 ( $\text{kg/m}^3$ ) |     |     |      | Air | CL  | 呼び強度 |
|------|-------------------------|-----|-----|------|-----|-----|------|
|      | W                       | C   | S   | G    |     |     |      |
| 44.1 | 150                     | 340 | 774 | 1057 | 4.5 | 8.0 | 40   |

表-2 コンクリートと鉄筋の表面積

| 配力筋ピッチ | 部位  | コンクリート ( $S_c \text{ m}^2/\text{m}$ ) | 鉄筋 ( $S_s \text{ m}^2/\text{m}$ ) | 比率 ( $S_s/S_c$ ) |
|--------|-----|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| ctc200 | 底面  | 0.55                                  | 0.687                             | 1.249            |
|        | 側面  | 2.418                                 | 1.122                             | 0.464            |
|        | 上床版 | 1.552                                 | 0.749                             | 0.483            |
| ctc300 | 底面  | 0.55                                  | 0.673                             | 1.224            |
|        | 側面  | 2.418                                 | 0.988                             | 0.409            |
|        | 上床版 | 1.552                                 | 0.648                             | 0.418            |

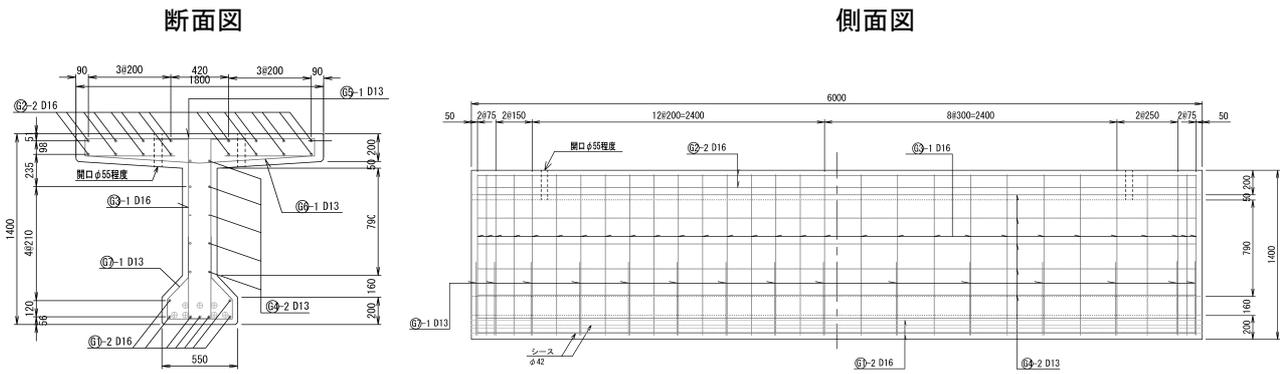


図-2 試験体の形状・寸法, 配筋

### 3.4 陽極モールドの配置

使用した線状陽極は NACE 基準<sup>3)</sup>を満足するもので、 $8.9A/m^2$  (線状陽極表面積)の電流密度を 180 日間通電する性能を有する。これを準拠して、それぞれの通電方法を満足する陽極モールド数を算出し、図-3 に示すように陽極モールドを配置した。構成する回路は、下床版底面、ウェブとフランジ側面、および上床版の 3 回路とした。なお、陽極モールドの長さは 1m とし、その設置状況を写真-1 に示す。また、陽極モールド内の構成を写真-2 に示す。

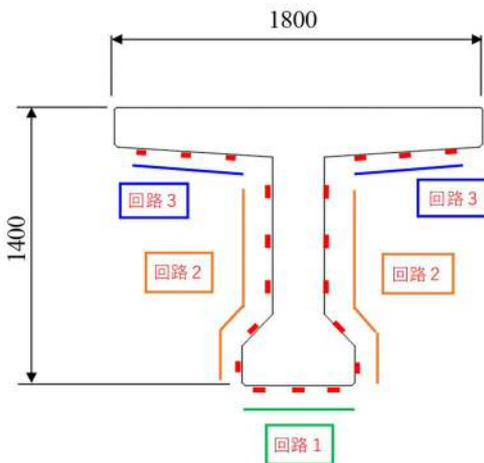


図-3 陽極モールド設置位置と回路分け状況

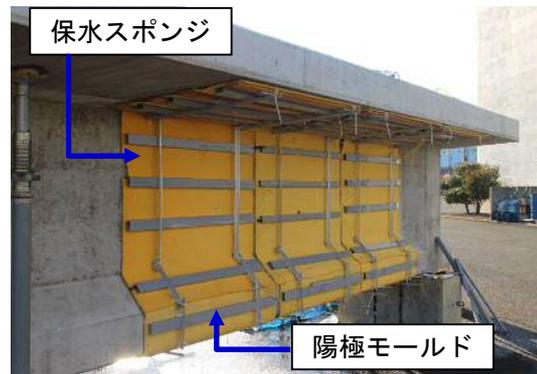


写真-1 陽極設置状況

### 3.5 塩化物イオン分析と脱塩効率

通電前後に試験体からコアを採取し、塩化物イオンの分析をした。コア採取位置を図-4 に示す。

コア採取位置は陽極直上と陽極間の鉄筋位置、および鉄筋間とした。コア径は  $\phi 50mm$ 、採取コア長は  $L=60mm$  とした。下床版底面については、コア削孔の作業空間の制約からコンクリート側面より水平コアを採取した。コア径は  $\phi 50mm$ 、採取コア長は  $L=350mm$  とした。分析結果から(1)式に従って脱塩効率を算出した。

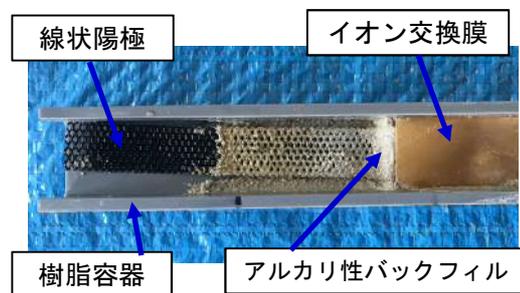


写真-2 陽極モールド内の構成

$$\text{脱塩効率} = \frac{(\text{脱塩前の塩化物イオン量} - \text{脱塩後の塩化物イオン量})}{\text{脱塩前の塩化物イオン量}} \quad (1)\text{式}$$

## 4. 試験結果

### 4.1 通電電流量と脱塩効率

通電後の上床版, ウェブおよび下床版の塩化物イオン分析結果を図-5に示す。

コンクリート表面から50mmの軸鉄筋位置における脱塩効率と積算電流密度の関係を表-3および図-6にそれぞれ示す。なお、図-6には、従来の脱塩工法を実構造物に適用した事例<sup>4)</sup>から脱塩効率を算出した結果を合わせて記した。

積算電流密度と脱塩効率の関係には、ばらつきがあるものの、既往の事例におけるそれと比較すると、同様な値を示している。特に、上床版, 下床版の積算電流密度と脱塩効率の関係は、従来型の値と比較的一致する傾向にあった。

## 5. まとめ

本実験では、新しい脱塩工法を開発し、実構造物モデルの試験体を用いて脱塩性能の検討を行った。

以下に本試験により得られた知見をまとめる。

- (1) 塩化物イオン分析結果から考察すると、脱塩前と後ではあきらかに塩化物イオン濃度の減少があり、脱塩の効果が認められる。
- (2) 新しい脱塩工法の脱塩効率は、8週間通電した結果0.57~0.81と部位によりバラツキがあったものの、実構造物に従来の脱塩工法を適用した事例におけるそれと比較すると、同様な値を示すことから、従来型と孫色のない脱塩効果を得られることが分かった。
- (3) 線状陽極を使用することにより、同一桁内でも鋼材量が異なる部位毎に陽極設置本数を変化させることが可能となり、設置回路による部位毎の積算電流密度と脱塩効率の相関関係を詳細に把握することができた。

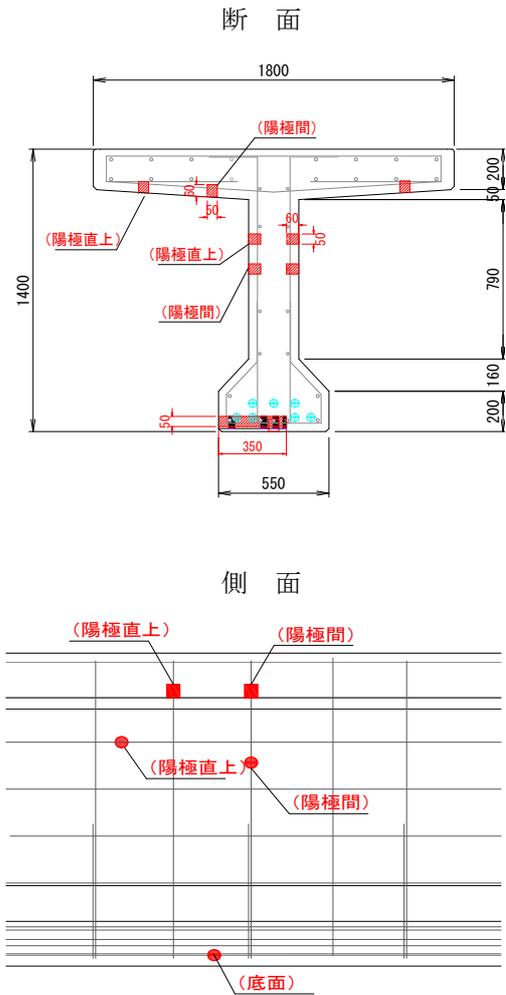


図-4 コア採取位置

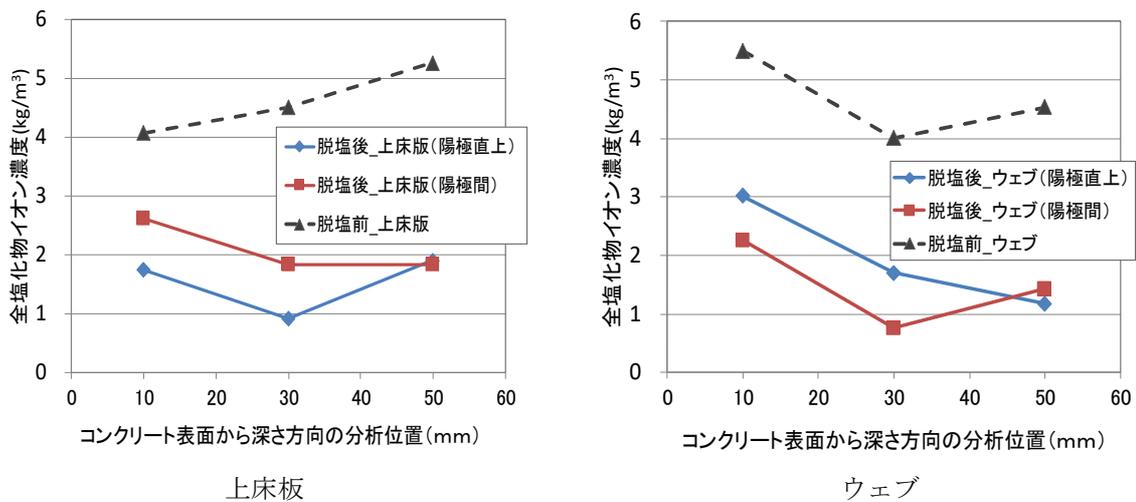
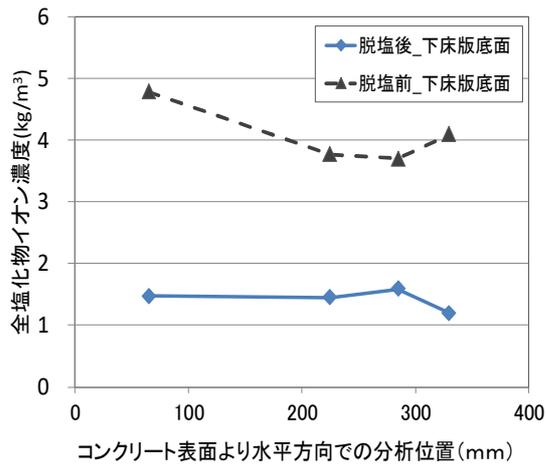


図-5 塩化物イオンの分析結果-1



下床板

図-5 塩化物イオンの分析結果-2

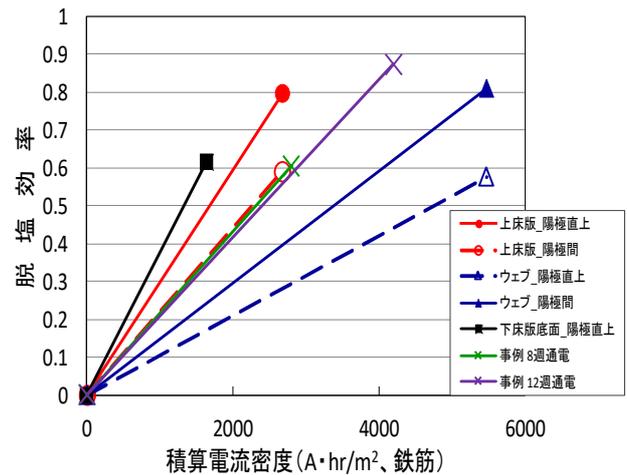


図-6 積算電流密度と脱塩効率の関係

表-3 積算電流密度と脱塩効率

| 部位    | 細目   | 積算通電密度<br>(Ahr/m <sup>2</sup> 鉄筋) | 塩化物イオン (kg/m <sup>3</sup> ) |      | 脱塩効率 |
|-------|------|-----------------------------------|-----------------------------|------|------|
|       |      |                                   | 脱塩前                         | 脱塩後  |      |
| 上床版   | 陽極直上 | 2679                              | 4.51                        | 0.92 | 0.80 |
|       | 陽極間  |                                   | 1.84                        | 0.59 |      |
| ウェブ   | 陽極直上 | 5473                              | 4.00                        | 1.70 | 0.57 |
|       | 陽極間  |                                   | 0.76                        | 0.81 |      |
| 下床版底面 | 陽極直上 | 1643                              | 3.77                        | 1.45 | 0.62 |

謝辞

試験を実施するにあたり関係各位に多大なる協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会, 電気化学的防食工法 設計施工指針 (案), コンクリートライブラリー107, 2002.
- 2) コンクリート構造物の電気化学的補修工法研究会, 第 23 回定時総会資料, 2019.
- 3) NACE, Testing of Embeddable Impressed Current Anodes for Use in Cathodic Protection of Atmospherically Exposed Steel-Reinforced Concrete, NACE Standard TM0294-94, 1994.
- 4) 本間 元ら, 小余綾高架橋塩害補修工事の施工報告, プレストレストコンクリート工学会 第 15 回シンポジウム論文集, pp.73-76, 200
- 5) 土木研究所ら, 塩害を受けたコンクリート構造物の脱塩工法に関する共同研究報告書, pp.39-55, 2008