

## 外部電源方式と犠牲陽極方式との比較による低電流下での防食効果の確認

維持管理工学研究室 DINH NAM THIEN

### 1 はじめに

塩害によるコンクリート構造物の劣化に対して、抜本的な対策となり得る可能性のある方法として電気防食工法が注目されている。

電気防食工法は、外部電源方式と犠牲陽極方式の2種類に大別される。外部電源方式は直流電源装置を用いて防食電流を供給することから、施工後の電流調整が可能であるが、その反面、直流電源装置の定期的なメンテナンスが必要となる。一方の犠牲陽極方式は、陽極材と鋼材との電位差を起電力として防食電流を供給することから、直流電源装置が不要であるためシステムの維持管理が容易であるが、設置後の電流調整ができない。また、外部電源方式における防食基準である100mV以上の復極量を満足するために必要な防食電流密度は、5~20 mA/m<sup>2</sup> (対鋼材表面積)程度といわれているが、犠牲陽極方式では、必ずしもシフト量100mVを満足することが出来ない場合もある。しかし、実際には防食電流が10mA/m<sup>2</sup>以下でもコンクリート中の鋼材をある程度防食できることが実構造物によっても実証されたことから、犠牲陽極方式の採用が増加している。

そこで、本研究では室内試験と暴露試験に分け、室内試験に対して塩分を含有するコンクリート試験体に対して100mV以下の復極量を設定し、電気防食試験を実施し外部電源方式と犠牲陽極方式による防食効果を比較することにより、犠牲陽極方式でコンクリート中の鋼材を低電流下で、すなわち復極量が100mVを下回る範囲で防食する場合の、その効果を明らかにすることを目的とする。さらに、気温等の環境変化が復極量に与える影響を確認するために、暴露試験も行うこととした。

### 2 実験概要

#### 2.1 供試体概要

本研究では、3種類の塩分濃度のコンクリート(対セメント比で0.8%, 1.5%, 2.0%)に対して実験を行う。10種類の供試体は電気防食を行わないものが1種類(PLAIN), 外部電源方式で電気防食を行うものが4種類、犠牲陽極方式で電気防食を行うものが5種類(XPT, XP2, XP4, DAS, FUSION)である。

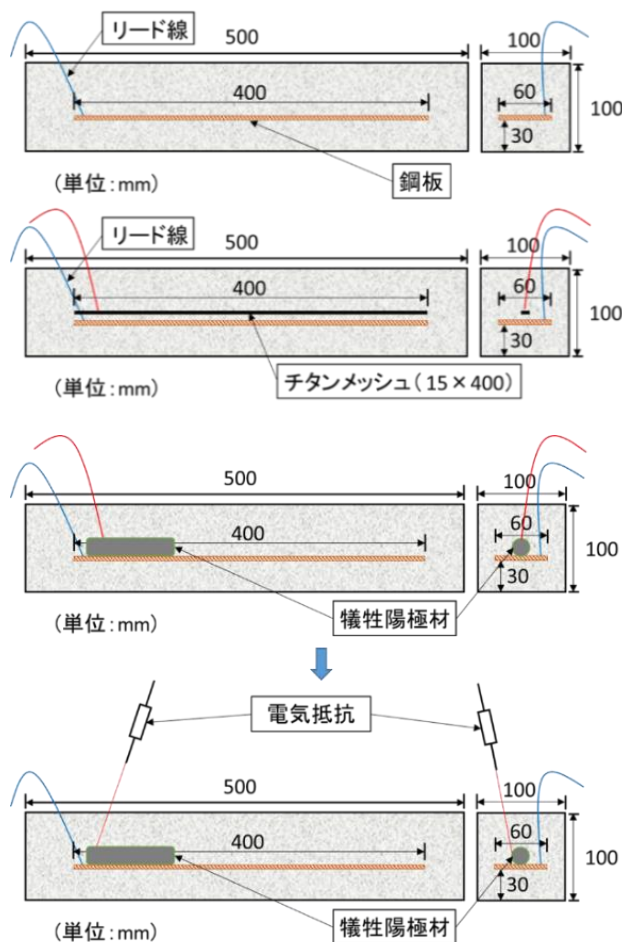


図1 供試体概要図

図1には室内試験用供試体の概要を示す。暴露試験用供試体も同様に作製したが、100×100×250mmとし、配置した鋼板は60×150×5mmとした。

## 2.2 実験条件

室内試験では室温 20°Cの部屋に供試体を静置し実験を行った。外部電源によって供試体に流す電流量は 0.01, 0.05mA, 0.1, 0.2mA (それぞれの鋼材に対して 0.2, 1, 2, 4mA/m<sup>2</sup>) である。鋼板の表面積に対して犠牲陽極材が大きすぎ、犠牲陽極材がオーバースペックとなったため、実験開始から 6 ヶ月後に電流密度を低下するために、鋼板と犠牲陽極材との間に電気抵抗を取り付けた。供試体は水を注入したトレーの中に静置し、乾燥を防いだ。



写真 1 室内試験の様子

暴露試験用供試体は 4.5 ヶ月間室内試験を行った後に工学部の A 棟の屋上で暴露試験をした。

## 3 実験方法

室内試験では 2 週間を 1 サイクルとし、12 日間電気防食を行い、その後 2 日間電流を停止し、オン電位、インスタントオフ電位、48 時間後のオフ電位の 3 種類の電位対飽和硫酸銅照合電極 (CSE) を測定する。そして犠牲陽極方式ではインスタントオフ電位とオフ電位との差を、外部電源方式ではオン電位とオフ電位との差を復極量とした。これは外部電源方式供試体は実験回路の性質上インスタントオフ電位が計測できないためである。また、室内試験開始から半年後から 3 ヶ月毎に全供試体に対して分極試験を行った。PLAIN 供試体については 1 週間ごとに自然電位を測定した。

暴露試験では 3 ヶ月に 1 回に室内供試体と同様の測定を行った (PLAIN 供試体は自然電位のみ)。

## 4 実験結果

### 4.1 室内試験

### 4.1.1 外部電源での復極量

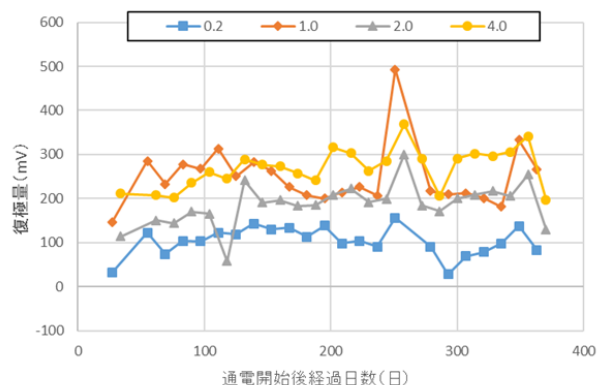


図 2 塩分濃度 0.8%外部電源方式供試体における復極量の経時変化の平均 (図中凡例の数値は通電電流密度 (単位: mA/m<sup>2</sup>) を表している)

図 2 に外部電源方式の供試体での復極量の例を示す。塩分濃度 0.8%では全ての供試体は復極量が 100mV を超えていることが分かる。この結果からコンクリート中の塩分濃度が低い場合は電流密度 0.2mA/m<sup>2</sup> 以上であれば 100mV 以上の復極量を得ることができるが、塩分濃度が高い場合でも実験期間を延ばせば 100mV 以上の復極量を得るために必要な電流密度は低い塩分濃度程度まで減少していく可能性がある<sup>1)</sup>。

### 4.1.2 犠牲陽極方式での発生電流密度

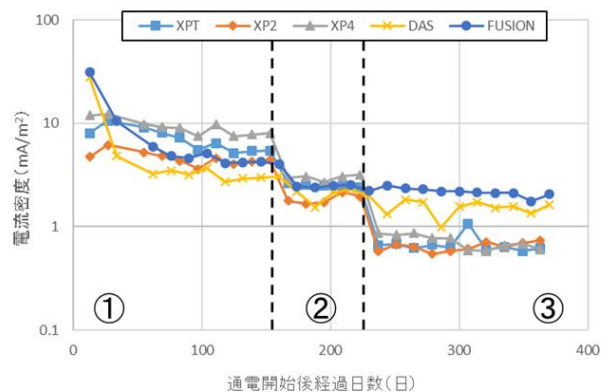


図 3 塩分濃度 0.8%犠牲陽極方式供試体における電流密度の経時変化の平均

図 3 に犠牲陽極方式の供試体での電流密度の例を示す。図中領域①とは電気抵抗が付いていない期間、領域②とは全供試体一律 4.3kΩ の電気抵抗が付いている期間、領域③とは XP 系の供試体が 20kΩ, DAS と FUSION の供試体が 4.3kΩ の電気抵抗が付いている期間となる。電気抵抗が取り付

けるとともに、塩分濃度に関わらず全ての供試体の電流密度は時間経過に伴って低下していき、XP系に対して約  $0.7 \text{ mA/m}^2$  で、それ以外に対して約  $2.0 \text{ mA/m}^2$  で安定し、電流密度が外部電源方式の供試体と同じレベルになった。

#### 4.1.3 犠牲陽極方式での復極量

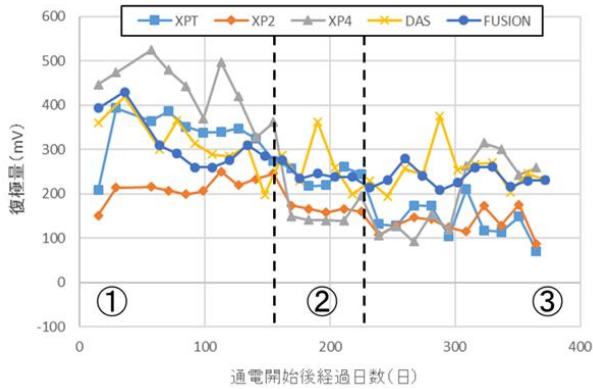


図4 塩分0.8%犠牲陽極方式供試体における復極量の経時変化の平均

図4に犠牲陽極方式の供試体での復極量の例を示す。領域①と②においては塩分濃度に関わらず、すべての供試体で実験期間中、常時  $100 \text{ mV}$  以上の値で復極量が推移していた。また、領域③においては、塩分濃度  $0.8\%$  においてのXP系の供試体は電流密度が  $1 \text{ mA/m}^2$  以下となったが、復極量が  $100 \text{ mV}$  以上となった。また、塩分濃度が  $1.5\%$  と  $2.0\%$  の場合には、XP系の供試体が  $100 \text{ mV}$  以下の復極量で、DASとFUSIONの供試体が  $100 \text{ mV}$  以上の復極量で推移した。

#### 4.1.4 鋼板の腐食状況

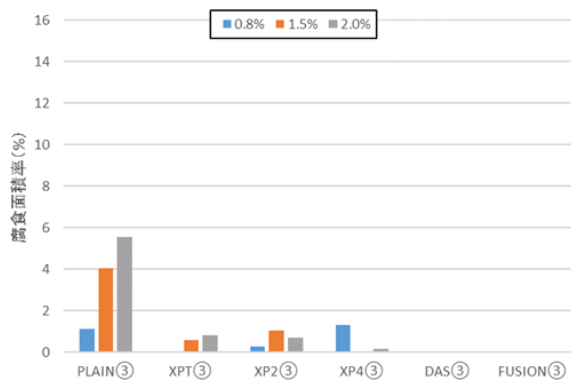


図5 犠牲陽極方式の腐食面積率

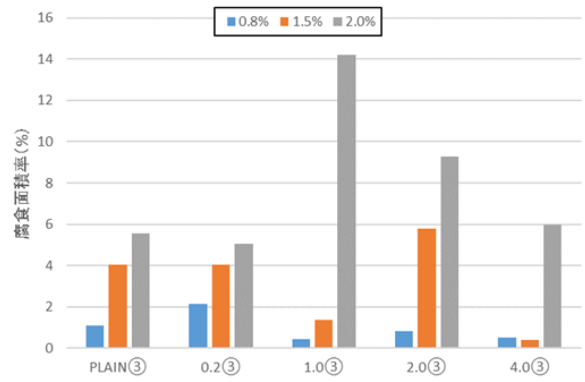


図6 外部電源方式の腐食面積率

図5より、犠牲陽極方式ではDASとFUSION以外は腐食しているのだが、腐食が確認された供試体もPLAINと比較すると、腐食面積率はかなり小さいので、犠牲陽極方式はすべて正常に機能していたと言える。図6より、外部電源方式は、PLAINよりも腐食面積率が高い供試体があるが、これは基盤型電源装置で電流を流したため、安定度が低くて設定電流密度に達しなかった可能性があると考えられる。しかし、塩分濃度が低い場合にはPLAINと比較して腐食面積率が低い傾向にあった。このことから、今回実験で設定した電流密度でもある程度の腐食抑制は可能であると言える。

#### 4.2 暴露試験

##### 4.2.1 発生電流密度

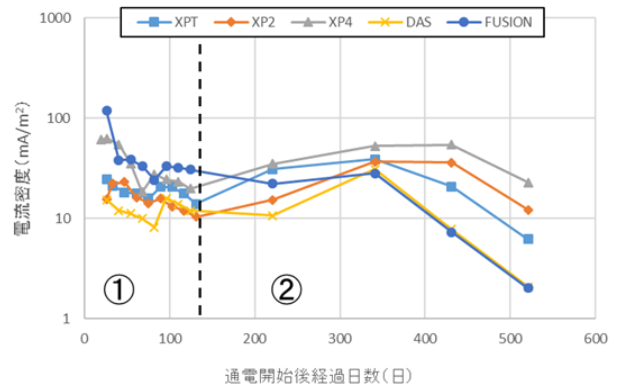


図7 塩分濃度1.5%犠牲陽極方式供試体における電流密度の経時変化の平均

図7に電流密度の例を示す。領域①とは室内で、領域②とは屋上で試験を行った期間となる。領域②では全ての塩分濃度においてどの犠牲陽極方式

供試体も実験期間を通して電流密度がほぼ 5～30mA/m<sup>2</sup>となった。

#### 4.2.2 復極量

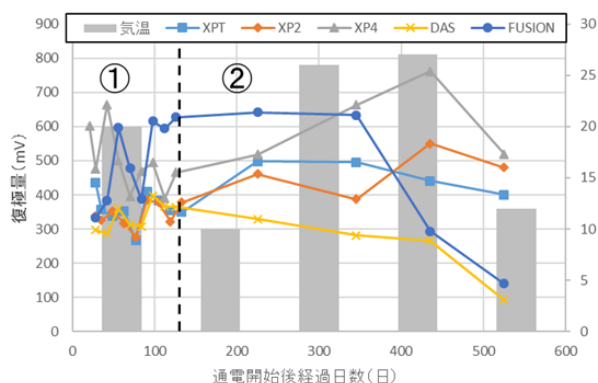


図8 塩分1.5%犠牲陽極方式供試体における復極量の経時変化の平均

図8に復極量の例を示す。領域①にはすべての供試体の実験期間中、常時100mV以上の値で復極量が推移した。領域②には犠牲陽極方式では、塩分濃度1.5%のDASとFUSIONの供試体以外は全ての供試体において100mVを大きく越える復極量が出ており、時間が経過しても復極量が100mVを下回ることは無かった。また、気温変化により、復極量の変化が見られなかった。

#### 4.2.3 鋼板の腐食状況

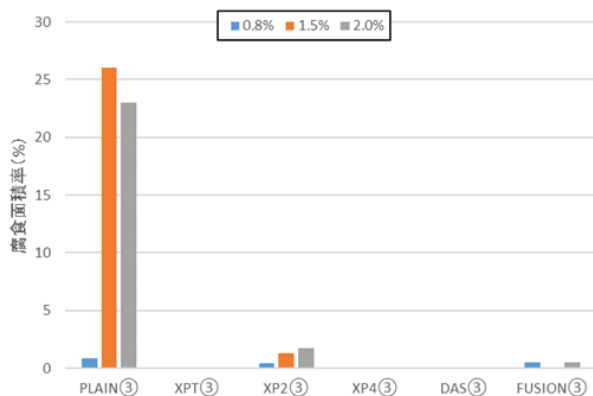


図9 犠牲陽極方式の腐食面積率

図9より、犠牲陽極方式ではXP2とFUSION以外は全く腐食しておらず、腐食が確認されたものもPLAINと比較すると、腐食面積率はかなり小さいので、犠牲陽極方式はすべて正常に機能していたと言える。

#### 4 結論

塩分を含有するコンクリートを対象に、3種類の塩分濃度に対して、電気防食を行わない供試体を1種類、外部電源方式を用いて電気防食を行う供試体を4種類、犠牲陽極方式を用いて電気防食を行う供試体を5種類、計30種類の供試体を用いて、約1年間2週間サイクルで実験を行い、電流量および復極量と防食効果の詳細な関係の検討を行った。これまでの結果を踏まえて以下の結論に至った。

- ① 電流密度1mA/m<sup>2</sup>以下となっても、復極量が100mV以上が得られる可能性がある。また犠牲陽極方式では、復極量100mVを下回るXP系の供試体でも十分に防食出来ることが確認できた。
- ② 外部電源方式において、電流量が0.2～4.0mA/m<sup>2</sup>であれば比較的短時間で十分に復極する可能性があることが分かった。
- ③ 今回、外部電源方式では結果の信頼性が低く、両方式を比較し、電流密度および復極量と防食効果の詳細な関係を明らかにするには至らなかった。
- ④ 外部電源方式は、概ねPLAINより腐食面積率が低かった。このことから、今回設定した電流密度でもある程度は腐食の抑制が可能であると言える。

また、同じ対象に寸法の違う3種類の塩分濃度に対して、電気防食を行わない供試体を1種類、犠牲陽極方式を用いて電気防食を行う供試体を5種類、計18種類の供試体を用いて、約1年間暴露試験を行って、気温による犠牲陽極方式の供試体の復極量の変化を検討した結果は温度の影響を受けなく、オーバースペックのままに防食機能ができることが確認できた。

#### 参考文献

- 1) 前田勝幸, 尾山寿嗣, 荒木弘祐: かぶりコンクリートが高比抵抗を有する場合の電気防食の復極量変化, 土木学会第60回年次学術講演会, 平成17年9月