

# 犠牲陽極方式電気防食による防食効果の温度依存性に関する実験的検討

九州大学 学生会員 ○樋口 貴哉 九州大学大学院 学生会員 Rahmita Sari Rafdinal  
 九州大学大学院 フェロー会員 濱田 秀則 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴  
 九州大学大学院 正会員 山本 大介

## 1. はじめに

コンクリート構造物における鉄筋の腐食は耐久性上、非常に重要な問題である。鉄筋の防食方法の1つとして犠牲陽極材を供用した断面修復工法が挙げられる。本研究では犠牲陽極材による防食効果の温度依存性に注目し、設置環境の違いが犠牲陽極材を埋設した鉄筋コンクリートに与える影響を実験的に検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体および試験方法

本実験では、図-1に示すように100×150×290mmのコンクリートの角柱供試体に鉄筋および13×45×140mmの犠牲陽極(以下CP)を埋設した。使用したCPを写真-1に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを用い、練混ぜ水として20±2°Cの水道水または塩水を用いた。塩水はコンクリート中のCl<sup>-</sup>濃度が10kg/m<sup>3</sup>となるようにNaClを用いて調製した。また細骨材には表乾密度2.58g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.72%の海砂を、粗骨材には表乾密度2.91g/cm<sup>3</sup>、吸水率0.62%の砕石を用いた。表-1にコンクリートの配合を示す。

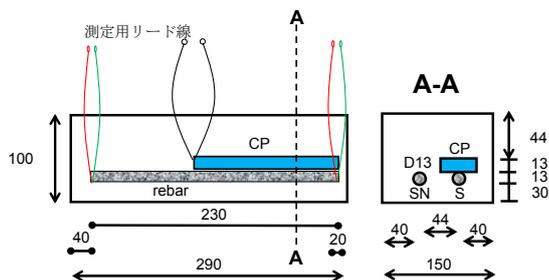


図-1 供試体の形状寸法

埋設する鉄筋として、供用20年の海洋構造物から取り出した後、表面の錆を金属ブラシで研磨し取り除いたφ13の丸鋼を2本、かぶり厚さ30mmの位置に埋設した。2本のうち、1本の鉄筋にのみCPを設置した。以後CPを設置した鉄筋を「S」、設置しなかった鉄筋を「SN」と表記する。



写真-1 犠牲陽極  
上段：表面、下段：裏面

供試体は打設後、1日で脱型し、材齢28日まで20±2°Cで湿布養生を行い、その後2体を温度40°C、湿度96~99%の高温高湿環境、残りの2体を温度-17°C、湿度4~5%の低温低湿環境に設置した。供試体名とその要因と水準を表-2に示す。

表-2 供試体の要因と水準

表1 コンクリートの配合

| No. | 供試体名                   | 練混ぜ水                | 設置環境 |
|-----|------------------------|---------------------|------|
| 1   | Cl <sup>-</sup> (0)-L  | Cl <sup>-</sup> 非含有 | 低温   |
| 2   | Cl <sup>-</sup> (0)-H  | Cl <sup>-</sup> 非含有 | 高温   |
| 3   | Cl <sup>-</sup> (10)-L | Cl <sup>-</sup> 含有  | 低温   |
| 4   | Cl <sup>-</sup> (10)-H | Cl <sup>-</sup> 含有  | 高温   |

| Type                | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) | AE減水剤 (kg) | AE剤 (mL) |
|---------------------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|--------------------------------------|------------|----------|
|                     |         |         | W                        | C   | S   | G   |                                      |            |          |
| Cl <sup>-</sup> 非含有 | 45      | 47      | 190                      | 422 | 766 | 970 | 0                                    | 1.34       | 19       |
| Cl <sup>-</sup> 含有  | 45      | 47      | 190                      | 422 | 766 | 970 | 10                                   | 1.34       | 19       |

### 2.2 測定方法

鉄筋の腐食状況、犠牲陽極の効果を判断するため、鉄筋の自然電位およびインスタントオフ電位(毎週1回)、CPから鉄筋へ供給される電流密度(毎週1回)、復極量(毎月1回)の測定を行った。測定環境は室温20°C、湿度45%の恒温恒湿環境とし、自然電位およびインスタントオフ電位は測定環境で湿潤状態にした後に、復極量は測定環境で通電を絶ち24時間後の値を取り、電流密度のみそれぞれの供試体の設置環境において測定した。自然電位測定時には照合電極として銀/塩化銀電極を用い、後に硫酸銅電極(CSE)に電位を変換した。なお自然電位による鉄筋腐食度の判定は、ASTM C-876(Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in

Concrete, 1991) により行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 発生電流量

CP から鉄筋へ供給される電流密度を片対数グラフとし、図-2 に示す。図中の凡例は鉄筋名と供試体 No. の組合せを示す。低温低湿環境では非常に小さい電流しか流れておらず、高温高湿環境において顕著に CP から電流が供給されている。これより犠牲陽極の発生電流の温度依存性が明らかになった。また低温の場合の方が Cl<sup>-</sup>含有の効果が発著であり発生電流が大きくなった。

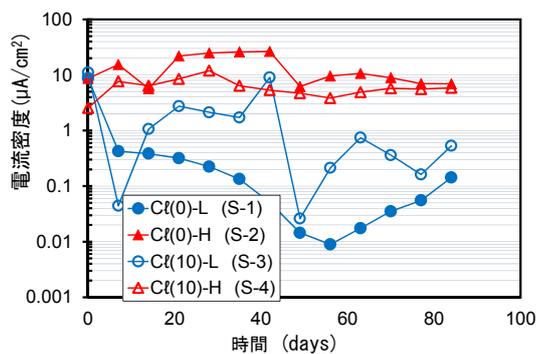


図-2 CP から鉄筋へ供給される電流密度

#### 3.2 鉄筋の電位及び復極量

CP を配置した鉄筋 (S) および CP を配置していない鉄筋 (SN) の自然電位をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。図-3 より、高温高湿環境において、初めは電位が不安定であったが、20 日以降は電位が安定した。一方、低温低湿環境において、電位の変動はあまり見られないが徐々に卑化していく傾向を観察できた。高温高湿、低温低湿環境ともに、Cl<sup>-</sup>含有での違いは認められておらず、CP による防食効果が発揮されているものと考えられる。図-4 より SN の電位は高温高湿の場合も低温低湿の場合も比較的安定していることが分かる。しかし両者ともに Cl<sup>-</sup>を含有している方の電位が卑となっており、温度よりも Cl<sup>-</sup>含有の方が電位に及ぼす影響が大きいことが分かる。

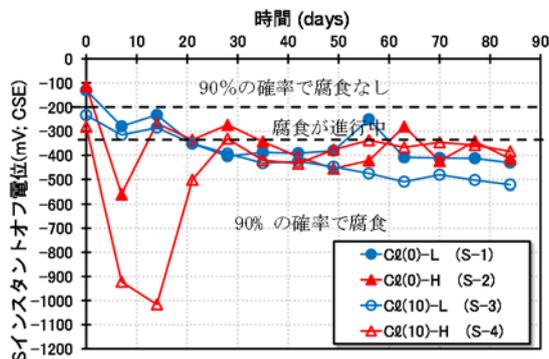


図-3 インスタントオフ電位 (S)

図-5 に復極量試験の結果を示す。設置環境を問わず塩化物イオンを含まない S-1, S-2 において防食基準の復極量 100mV を満たした。低温低湿環境においては、供給されている電流密度は非常に小さいが復極量試験では防食効果を確認できていることから、むしろ CP は長寿命化されると考えられる。また、塩化物イオンを含まない SN-1, SN-2 でも復極量 100mV を確認できたことから、CP を設置していない鉄筋にまで犠牲陽極による防食効果があることが示唆された。SN-2 については高湿環境であるために CP の効果が CP を設置していない鉄筋にまで及んだものと考えられる。SN-1 については今後継続してその挙動を観察していく予定である。

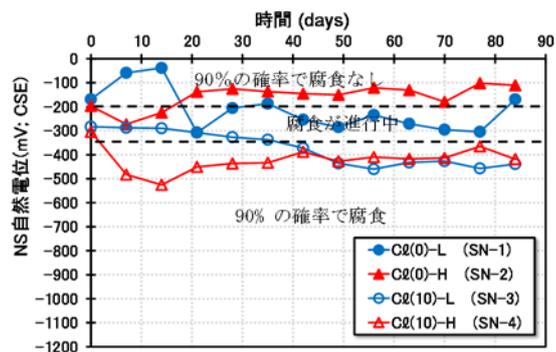
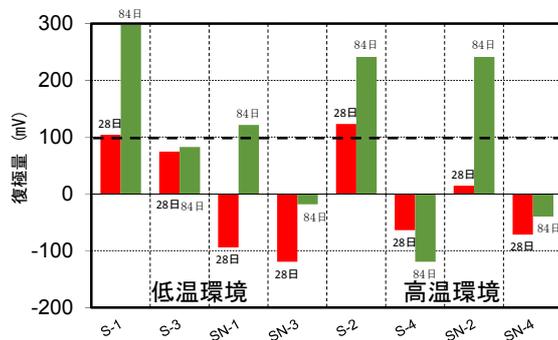


図-4 自然電位 (SN)

### 4. 結論

本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- (1) 高温高湿および低温低湿環境で犠牲陽極は防食性能を発揮できた。
- (2) 低温低湿環境では電流の供給量が大きく低減されることから低温低湿環境では犠牲陽極の長寿命化も期待できる。
- (3) 塩化物イオンを含む場合は復極量が 100mV に達しなかった。
- (4) 塩分を含まない環境では犠牲陽極を設置していない鉄筋でも防食されている可能性がある。



S-1, S-2, SN-1, SN-2 : Cl<sup>-</sup>非含有  
S-3, S-4, SN-3, SN-4 : Cl<sup>-</sup>含有

図-5 復極量試験