

## 凍結防止剤で劣化したコンクリートの電気防食に関する実験的検討

(株)ピーエス三菱 正会員 工博 ○石井 浩司  
(株)ピーエス三菱 正会員 工修 鴨谷 知繁  
(株)ピーエス三菱 正会員 工博 青山 敏幸

Abstract : The concrete structures in snowfall and cold districts are under severe environmental conditions. In addition, the chloride anti-freezing agents, like  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{NaCl}$ , have been sprayed onto the road surface for winter road management purposes. Consequently, there are some greater concern regarding concrete damages caused by the freezing and thawing, salt permeating into concrete as well as in coastal areas. The snow-melted water contaminated anti-freezing agents leaks through expansion joint, the chloride ions ingress into concrete, especially end of concrete girders. The countermeasure around these areas is not established. So, this paper discusses the applicability of cathodic protection using sacrificial anode against these concern.

Key words : Cathodic Protection, Sacrificial Anode, Corrosion, Antifreezing Agent

### 1. はじめに

積雪寒冷地域では、降積雪と気温の低下により凍結路面が発生する。凍結路面は路面の滑り摩擦低減による交通事故や交通渋滞の要因となる。1990年代初頭のスパイクタイヤ使用禁止以降、「つるつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい凍結路面が多く出現するようになり、快適で安全な道路交通確保を目的として、除排雪、凍結防止剤散布等の冬季路面対策が実施されるようになった。

散布される凍結防止剤の種類にはいろいろあるが、我が国で一般的に使用されているものは塩化カルシウムや塩化ナトリウムなどの塩化物が殆どで、国道、高速道路における標準的な撒布量は $20\sim 40\text{g/m}^2/\text{回}$ と言われている<sup>1)</sup>。これら塩化物の凍結防止剤は種々の作用でコンクリートを劣化させる。コンクリート表面の激しいスケーリングとして現れる凍害、アルカリ骨材反応の促進、コンクリート中の鉄筋の急速な腐食などで一旦、劣化が始まると、それらを完全に抑制することが困難と言われている。

散布された凍結防止剤の大半は路面水、融雪水に混じって流出し、一部が自動車等により大気中に飛散すると言われている。前者の過程で、橋梁等の伸縮装置から一部が漏水して上部工、下部工のコンクリート構造物表面に塩化物イオンが付着・浸透する。橋梁では大半がけた端部に凍結防止剤による劣化が生じていると報告されている<sup>2)</sup>。しかし、けた端部は狭隘なスペースで、作業がしづらい場所である。そのためか、その補修方法についての報告は希で、十分に確立されていないのが現状である。

そこで、本研究は凍結防止剤で劣化したPCT桁橋のけた端部の補修方法として流電陽極方式の電気防食工法の適用性を製作した試験体を用いて実験的に検討したものである。

### 2. 流電陽極方式電気防食の適用と課題

我が国においてコンクリート構造物の電気防食は外部電源方式が主流を占めているが、マクロセル腐食の抑制や局所的な電気防食に流電陽極方式電気防食の適用性が報告<sup>3)</sup>されている。PCT桁のけた端部のような小さな面積の対象箇所では外部電源方式電気防食を適用した場合にはコストパフォーマンスに課題が残ると考えられる。そこでコストパフォーマンスに優れる流電陽極方式電気防食に着目した。

PCT桁への流電陽極方式電気防食工法の概要図を  
 図-1に示す。流電陽極の形状は棒状とし、端部横  
 桁のコンクリートを電解質として主桁端部に防食電  
 流を通電させる。ここで検討しておくべき課題は、  
 ①流電陽極材の設置間隔、②流電陽極材の深さ方向  
 の防食範囲、③環境変化が及ぼす防食性能への影響、  
 ④モニタリング手法など、挙げられる。

3. 実験概要

3.1 試験体の製作

PCT桁に用いられるPC鋼材、鉄筋、シースの代  
 わりにφ13mmみがき丸鋼、φ65mmの鋼管を用い  
 て試験片とした。鋼材の電気的絶縁を確保したまま  
 数本の鋼材(ピース)を塩ビ管を用いて1本に組立  
 て試験片とした。各鋼材の両端にはリード線を取り  
 付け流入または流出する電流値を測定できるように  
 するとともに、試験体外部で電気的に一体化させた。

試験片の一部は、5%NaCl水溶液を2回/日、2ヶ月間  
 散布することで腐食させた。クエン酸二アンモニウ  
 ムにより腐食生成物を除去し、腐食量を算出した結  
 果、3本の平均値で代表させ  
 ると43.4mg/cm<sup>2</sup>であった。な  
 お、腐食させた試験片は後述  
 する塩化物イオンを含むコン  
 クリート中に設置させた。試  
 験片の腐食状況を写真-1に  
 示す。

使用したコンクリートは早  
 強ポルトランドセメントを使  
 用し、水セメント比を42%と  
 して製造した。製作した試験  
 体は2種類で図-2にその試  
 験体の概要図を示す。試験片  
 を構成するピースは鉄筋位置  
 No.とピースNo.で表示される。

また、試験体の端部のコン  
 クリートは凍結防止剤からの  
 塩化物イオンの浸透を模擬し  
 てコンクリート表面から約  
 100mmの位置まで5kg/m<sup>3</sup>の塩  
 化物イオン<sup>2)</sup>を含んだコンク  
 リートとした。

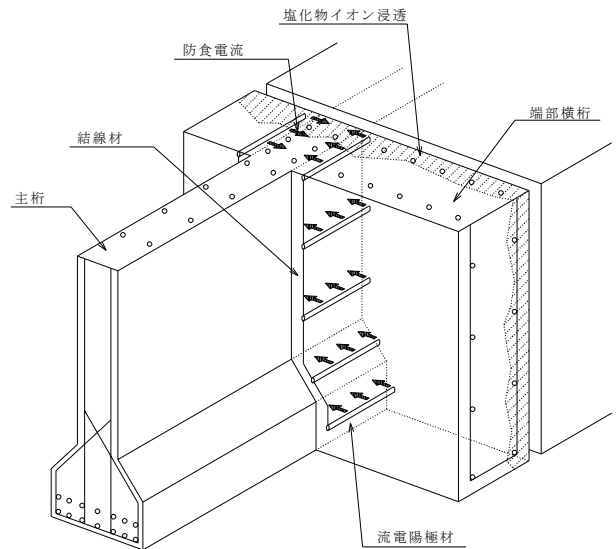
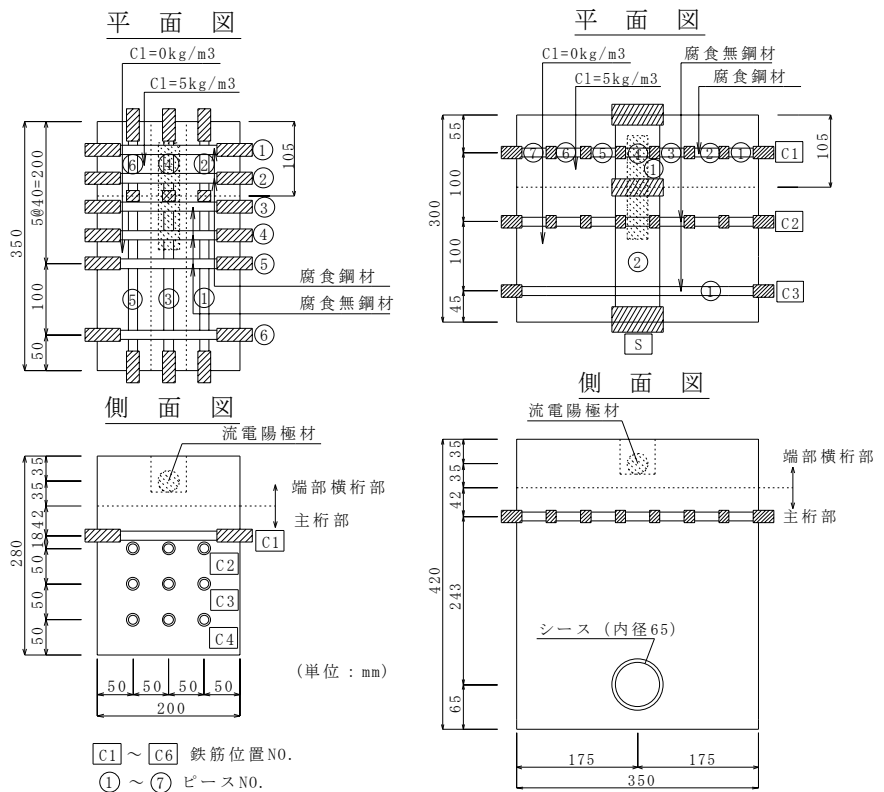


図-1 流電陽極方式の概要図



写真-1 試験片の腐食状況



a)シリーズ I

b)シリーズ II

図-2 試験体の概要図

試験体に設置した流電陽極材は亜鉛を多孔質のセメントモルタルで包んだ市販品 (φ29mm×135mm) で平均で300μAを通電できる。流電陽極材は、かぶり20mmとなるように試験体に設置した。

### 3.2 実験概要

試験はシリーズⅠおよびシリーズⅡに分けて行った。シリーズⅠはプレテンション方式PCT桁に適用した場合の深さ方向の防食性能を検討することを目的としている。シリーズⅡは、ポストテンション方式PCT桁に適用した場合の深さ方向の防食性能の検討を目的としている。

試験体は屋内暴露試験に供し、定期的に流電陽極材から発生する発生電流量、鋼材に流入する防食電流や鋼材電位、および復極量を測定した。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 無防食状態におけるマクロセル電流

流電陽極材と試験片を閉回路した6日後、測定したマクロセル電流を図-3に示す。マクロセル電流がプラスはピースの表面から流出していることを意味し、逆にマイナスは流入していることを意味する。塩化物イオンを含むコンクリート中に位置するピースが必ずしも全てがアノードとなるわけではなく同一環境内においてもアノードとカソードが形成され、さらに、腐食しやすい条件、すなわちコンクリート表層に近く、塩化物イオンを含むコンクリートに位置するピースがアノードとなる傾向にあった。

### 4.2 防食電流と防食効果

図-4に犠牲陽極から発生する電流の経時変化を示す。閉回路直後は、1000μA程度の電流が発生していたが30日後には1/2程度に減少する傾向にあった。これはピースの分極性状が改善されることに起因すると考えられる。

閉回路30日後の各ピースに流入する防食電流を測定した結果を図-5に示す。マクロセル電流と同様にマイナス表示は、ピースに電流が流入することを意味している。シリーズⅠ、シリーズⅡとも全てのピースに防食電流が流入しマクロセル電流が消滅していることが明らかである。また、防食電流は、塩化物イオンを含むコンクリートに位置する腐食したピースに多く流入する傾向にあった。また、シリーズⅠではC1からC4位置までほぼ同等の防食電流が流入しているのに対し、シリーズⅡでは、C1位置のピースに多く流れる傾向に合った。金属の腐食系は溶液抵抗、分極抵抗、電気二重層容量が組み合わさった電氣的等価回路モデルで検討される。シリーズⅠ、Ⅱとも、固有の分極抵抗や電気容量を有したピースの電氣的等価回路が並列に接続された電気回路と考えられる。加えてピースのカソード分極性状等も影響していると推定される。コンクリート抵抗は塩化物の有無や混入程度で変化し、鋼材の分極抵抗は鋼材腐食により小さくなる。すなわち抵抗成分から考えると塩化物を含ん

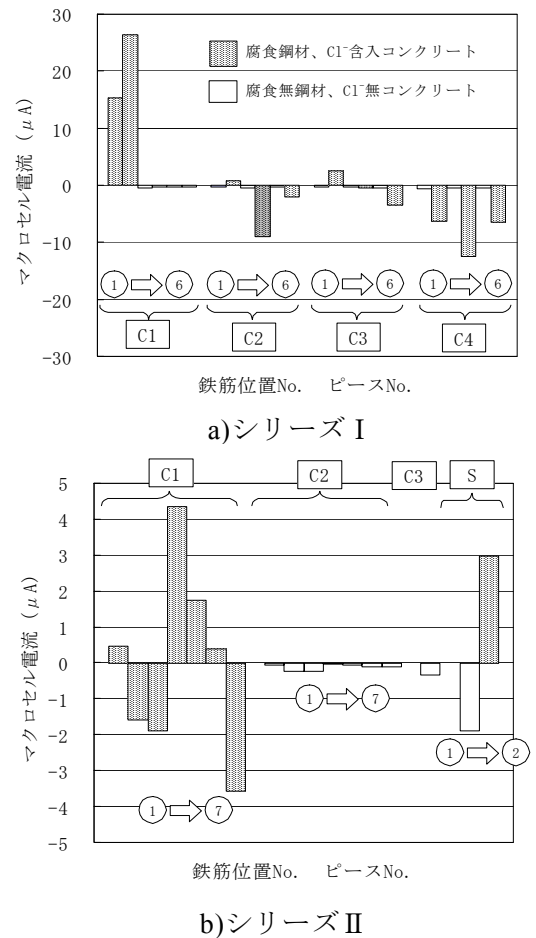


図-3 マクロセル電流

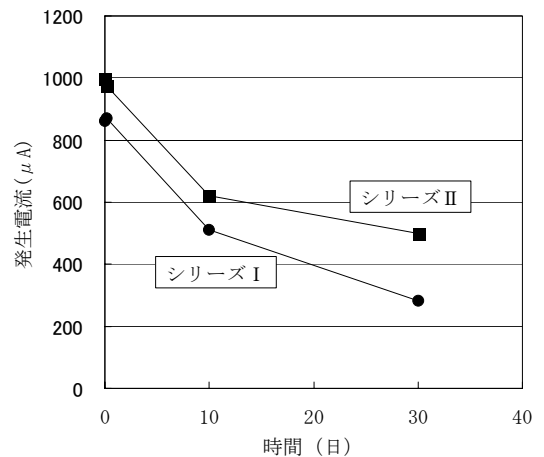


図-4 発生電流量の経時変化

だコンクリート中の腐食した鋼材は、電流が流入しやすい環境にあることを示している。

図-6に復極試験結果を示す。一般的に腐食した鋼材と腐食していない鋼材のカソード分極性状が相違している。すなわち、同程度のカソード分極量を得るために、後者の鋼材は前者の鋼材と比較して大きなカソード電流が必要なる。図-5において防食電流の流入が少ないピースも多く流入したピースもほぼ同程度の復極量を示しているのは鋼材の分極性状が相違することに起因すると考えられる。

シリーズ I において

一部、防食基準である100mV以上の復極量を満足しないピースが認められるが、その他のピースは防食基準を満足しており、良好な防食状態にあると推定される。

4. まとめ

凍結防止剤で劣化した桁端部のような部分への流電陽極方式電気防食の適用性を検討した。本実験の範囲内で以下の事項が明らかになった。

- (1) マクロセル電流を測定した結果、腐食しやすい条件、すなわちコンクリート表層に近く、塩化物イオンを含むコンクリートに位置するピースがアノードとなる傾向にあった。
- (2) 犠牲陽極と鉄筋を閉回路とすると、全てのピースに防食電流が流入しマクロセル電流が消滅した。
- (3) 一部のピースに防食基準を満足しない場合が認められたが、殆どのピースは防食基準を満足しており、犠牲陽極により良好な防食状態にあると推定された。

参考文献

- 1) 三浦 尚ほか：融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告，コンクリート工学年次論文報告集，Vo.21，No.1，pp29-7138，1999.
- 2) 熊谷和夫ほか：北陸地方の橋梁けた端部のコンクリート部材の損傷特性と劣化推移，土木学会論文集，No.798/VI-68，pp31-39，2005.
- 3) たとえば神尾守人ほか：塩害劣化したRC部材に対する犠牲陽極材を用いた電気防食工法の腐食抑制効果について，土木学会第64回年次学術講演会，V-252，pp507-508，2009.

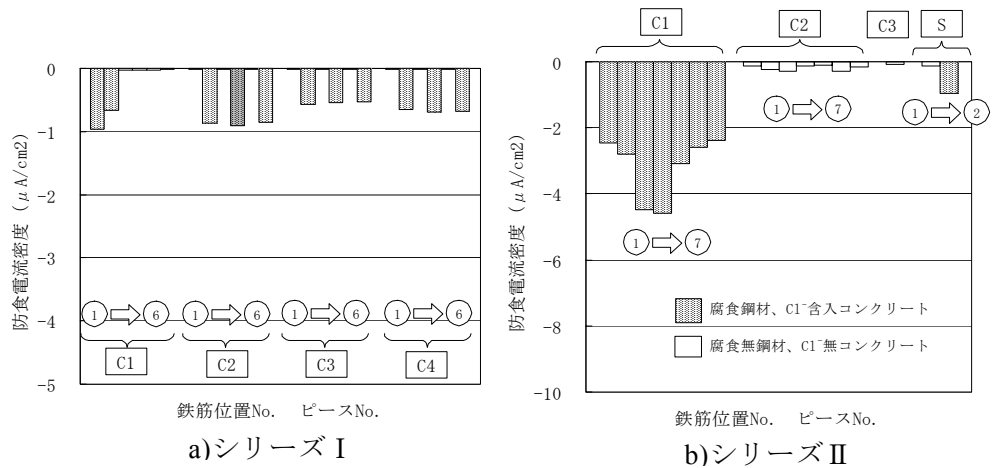


図-5 防食電流密度

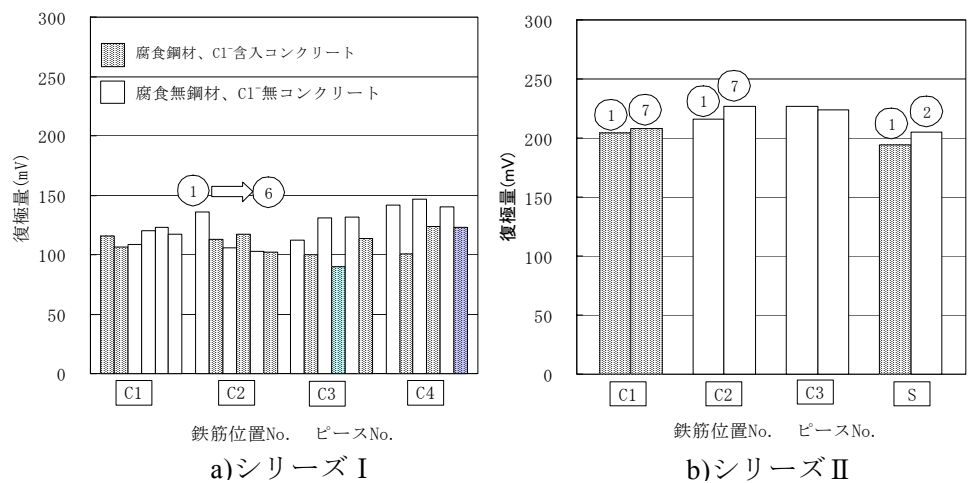


図-6 復極量