

防食亜鉛を用いた流電陽極方式の防食効果および施工性に関する実験的検討

(株)ピーエス三菱 正会員 ○香田 真生
 (株)ピーエス三菱 正会員 博(工) 青山 敏幸
 九州大学 山本 大介
 九州大学 博(工) 濱田 秀則

1. はじめに

電気防食工法は、外部電源方式と流電陽極方式に大別されるが、コンクリート構造物への適用では一般に、外部電源方式は大規模な防食に対しての適用性が高く、流電陽極方式は小規模な防食に対する適用性が高いといえる。また、流電陽極方式は、防食対象の鋼材よりもイオン化傾向の高い金属を犠牲陽極材として使用し、両者間の電位差を利用して防食電流を流す方式である。本実験は、防食亜鉛を用いた流電陽極方式において、複数本の鋼材を配置した試験体を用い、約430日間の測定より、各鋼材に対する防食効果が確認された。一方、施工方法のひとつとして、水平方向のコア孔へ防食亜鉛を設置して陽極被覆材を充填することを想定しており、被覆材の充填性を確認した結果を報告する。

2. 本実験に用いた流電陽極方式

本実験では、φ10mmの防食亜鉛を流電(犠牲)陽極材として使用した。防食亜鉛の被覆材(以降、陽極被覆材)は、プレミックス材のセメントモルタルを使用し、40%亜硝酸リチウム水溶液を練混ぜ水として用いた。陽極被覆材の配合を表-1に示す。防食効果を得るためには、亜鉛を活性化させる被覆条件が必要であり、既往の研究¹⁾により、有効性が確認されている配合とした。

3. 防食効果の確認実験

3.1 試験体の概要

試験体は310mm×210mm×200mmの角柱とし、φ13mmのみがき丸鋼を8本埋設した。試験体の詳細および使用したコンクリートの配合をそれぞれ図-1および表-2に示す。防食亜鉛を配置するスペースとしてφ40mmの孔を削孔し、φ10mmの防食亜鉛を2本配置した。また、環境条件は、亜鉛と鉄筋の通電開始から305日までは相対湿度50~60%の気中環境とし、それ以降は部分浸漬と湿布による湿潤環境とした。

3.2 試験体の種類

防食亜鉛の設置位置および設置本数による影響を確認するため、試験体の種類は表-3および図-2に示す条件とした。防食亜鉛を試験体の中央(No.1)、上側(No.2)および下側(No.3)の3通りに設置し、さらにNo.3'として、No.3の防食亜鉛を4本の条件とした。

表-1 陽極被覆材の配合

粉体(P)	W/P (%)	備考
プレミックス材	73	注入材系

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(kg/m ³)	
		W	C	S	G	C1	高性能減水剤	AE剤
42	44.1	165	393	751	972	5	2.75	0.11

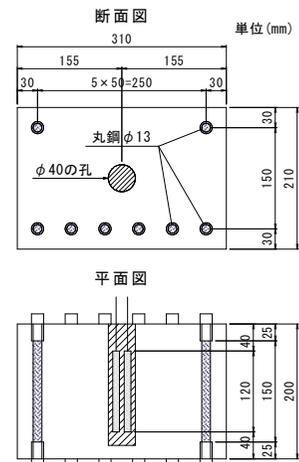


図-1 試験体

表-3 試験体の種類

	試験体 No.			
	No.1	No.2	No.3	No.3'
a (mm)	105	67.5	142.5	142.5
b (mm)	105	142.5	67.5	67.5
防食亜鉛	2本		4本	
試験体数	1	1	1	1

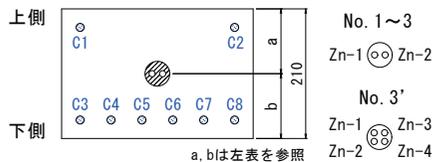


図-2 防食亜鉛の設置位置および記号

No.1~3は2本の亜鉛間を短絡していない状態でのそれぞれの亜鉛をZn-1およびZn-2とし、No.3' も同様に、4本のそれぞれの亜鉛をZn-1, Zn-2, Zn-3およびZn-4の記号で区別し、鉄筋は上側をC1, C2, 下側をC3~C8の記号で区別した。

3.3 測定項目と測定方法

陽極被覆材を充填してから12日後、亜鉛と鉄筋の通電を開始した。亜鉛と鉄筋間に流れる電流量、通電中の亜鉛と鉄筋の電位、および短絡を切断了直後の電位（以降、インスタントオフ電位）を測定した。また、短絡切断了後24時間が経過した時点での電位を自然電位として測定し、インスタントオフ電位との差を求めることで、復極量を算定した。なお、亜鉛および鉄筋の電位計測は、可搬式の照合電極を用いた。

3.4 実験結果

亜鉛と鉄筋の短絡から約430日間の測定結果を報告する。亜鉛と鉄筋間の発生電流量と外気温の経時変化を図-3に示す。防食亜鉛を2本配置した試験体（No.1, 2, 3）の発生電流量に大きな差はないが、4本配置したNo.3' はNo.1~3と比較して、通電開始から約半年間は大きな発生電流量であったが、それ以降においては両者に大きな差は確認されない。また、すべての試験体で時間経過に伴って発生電流量は減少したが、湿潤環境への変更によって増加傾向となり、さらに外気温の上昇に伴ってNo.1~3は増加することが確認された。一方、No.2のみは時期によってはばらつきが生じているものの、2本および4本のそれぞれの防食亜鉛から概ね均等に電流が流出していることが確認された。

亜鉛と鉄筋間の発生電流量を陽極表面積および鉄筋表面積あたりの電流密度に換算し、それぞれの電流密度の経時変化を図-4に示す。防食亜鉛を4本配置したNo.3' はNo.1~3と比較して、陽極表面積あたりの電流密度は小さい一方で、鉄筋表面積あたりの電流密度は大きい。時間経過に伴ってその差は小さくなり、防食亜鉛の本数の違いが電流密度へ与える影響は小さくなるのが分かった。

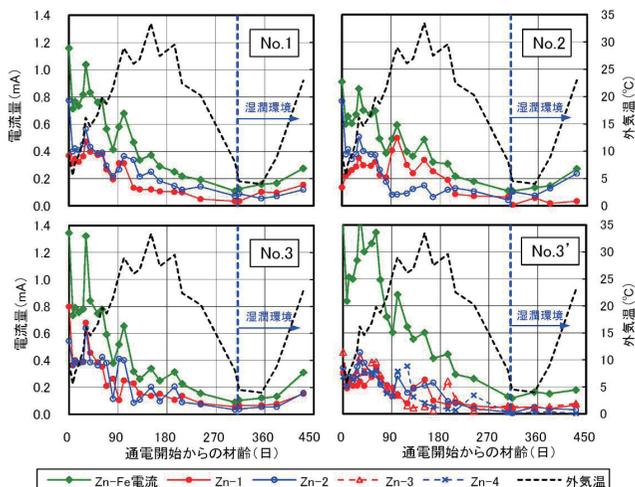


図-3 発生電流量と外気温の経時変化

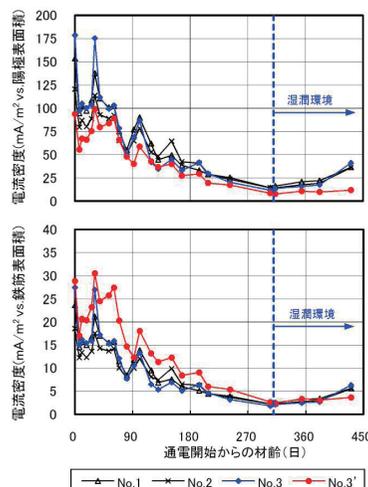


図-4 電流密度の経時変化

亜鉛のインスタントオフ電位と自然電位の経時変化を図-5に示す。亜鉛の自然電位は、約100日までは-800~-900mVの卑な値を示したが、すべての試験体において時間経過に伴って約-600mVまで貴化した。一方、湿潤環境へ変更したことによって、亜鉛電位の自然電位は20~30mV卑化した、大きな変動はないことが確認された。

各鉄筋のインスタントオフ電位と自然電位の経時変化を図-6に示す。すべての試験体でインスタントオフ電位が自然電位に対して卑な値を示しており、時間経過に伴って貴化していく傾向であったが、湿潤環境へ変更して以降、鉄筋の自然電位は100~200mV、インスタントオフ電位は100~150mV卑化した。湿潤環境としたことによって酸素の供給量が少なくなったことが影響している²⁾と考えられる。一方、防食亜鉛を下側に配置したNo.3 および No.3' は、亜鉛と近い位置にあるC5、C6の鉄筋電位がその他の鉄筋と比較して卑な値となっているが、湿潤環境へ変更して以降、各鉄筋間の電位の差は小さくなることが確認された。含水量の増加によってコンクリートの比抵抗が小さくなったことが影響していると考えられる。

鉄筋の復極量の経時変化を図-7に示す。すべての試験体で鉄筋8本それぞれの復極量に大きな差は生じないことが確認された。また、湿潤環境へ変更したことによって、復極量は減少する傾向となり、各鉄筋間の復極量の差は小さくなった。一方、防食基準として、100mV以上の復極量を満足する必要があると規定³⁾されているが、すべての試験体で100mV以上の復極量を満足することが確認された。

以上より、すべての試験体において、時間経過に伴って、発生電流量は減少し、亜鉛電位および鉄筋電位は貴化していくことが確認された。また、防食亜鉛の本数の違いが発生電流量へ与える影響は経時的に小さくなることが分かった。一方、湿潤環境へ変更したこと、および外気温の上昇によって、発生電流量は増加傾向となった。亜鉛電位には大きな変動はないものの、鉄筋電位は湿潤環境によって卑側にシフトすることが確認され、各鉄筋間の電位および復極量の差は小さくなることが確認された。

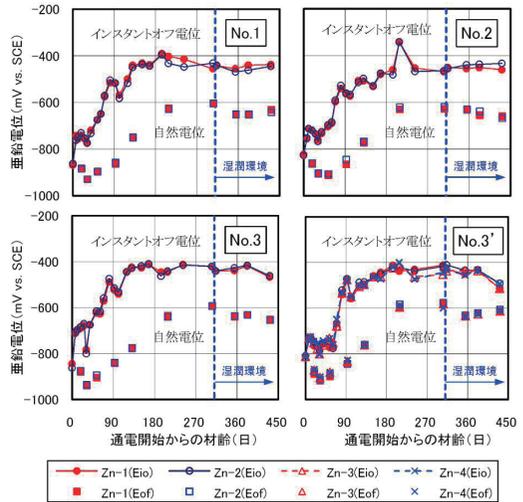


図-5 亜鉛のインスタントオフ電位と自然電位の経時変化

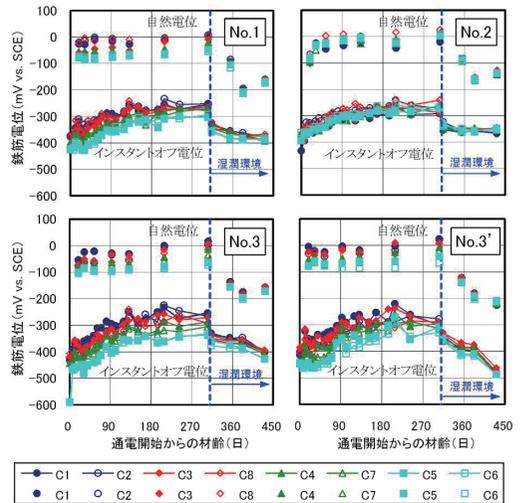


図-6 鉄筋のインスタントオフ電位と自然電位の経時変化

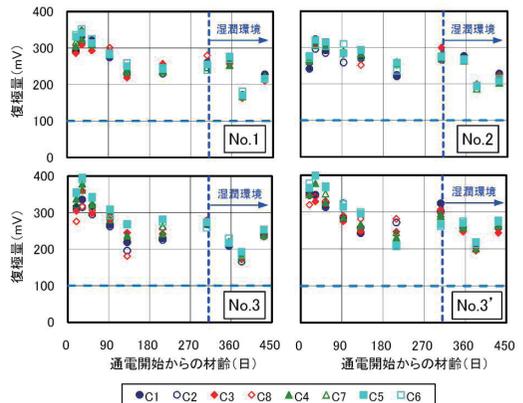


図-7 鉄筋の復極量の経時変化

4. 施工性の確認実験

陽極被覆材のフロー値の経時変化を測定した結果を図-8に示す。フロー試験は修正JASS法により、φ50×100mmの円筒管を用いた。フロー値の経時変化は外気温が低い方がフロー値の低下が早く進行することが確認された。

充填性は透明管を用いた注入実験により確認した。試験体の詳細は図-9に示すが、透明管の中に陽極材(模擬品)を配置し、陽極被覆材を注入した。フロー値が15cm以下の陽極被覆材を注入すると、粘性の増加によって、空隙が一部に残留したり、ゴム栓が注入圧によって抜ける結果となった。本実験の条件では、水平方向への注入作業において、15cm以下とならないフロー値が適当であることが確認された。

注入から3日後の透明管の外観を写真-1に示す。外観からは空隙等は確認されなかったため、カッターにて透明管を切断した。透明管の切断面を写真-2に示す。目視観察より、陽極被覆材の沈下は生じておらず、硬化後においても良好な充填性が確認された。

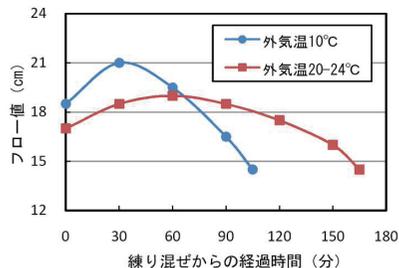


図-8 フロー値の経時変化

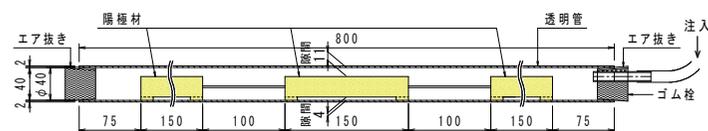


図-9 透明管を用いた試験体

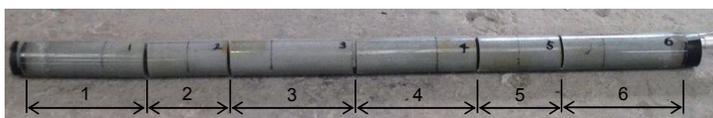


写真-1 透明管の外観(切断後)



写真-2 硬化後の切断面

5. まとめ

本実験により、確認された事項を以下にまとめる。

- (1) 本実験の範囲では、防食亜鉛の被覆材に亜硝酸リチウムを混和したセメントモルタルを用いることで、8本埋設したすべての鉄筋で十分な防食効果が確認された。また、防食亜鉛の配置位置が±40mm程度の違いがある場合でも、またその本数が2本と4本の違いがある場合でも、亜鉛電位および鉄筋電位に与える影響は小さいことが確認された。
- (2) 本実験の範囲では、気中環境から湿潤環境への変更によって、発生電流量は増加傾向となったが、亜鉛電位の変動は小さい一方で、鉄筋電位は100~200mV卑化することが確認された。
- (3) 陽極被覆材の水平方向への注入作業において、被覆材は15cm以下とならないフロー値であれば、良好な充填性であることが確認された。また、硬化後においても、陽極被覆材には沈下に伴う空隙等は生じないことが確認された。

参考文献

- 1) 香田, 青山, 山本, 濱田: 流電陽極方式における陽極被覆材が防食効果に与える影響に関する実験的検討:プレストレストコンクリート工学会, 第23回シンポジウム論文集, pp.623-626, 2014.10
- 2) 岡本, 山本, 本田, 福手: 干満帯環境下における鉄筋コンクリートの電位制御および防食管理に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, 2012
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー107 電気化学的防食工法 設計施工指針(案), 2001