

流電陽極方式における陽極被覆材が防食効果へ与える影響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

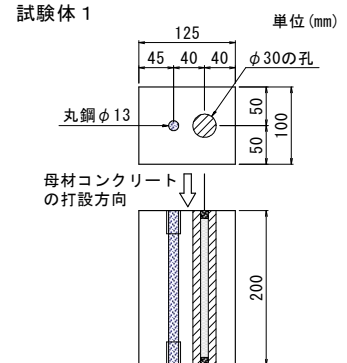
電気防食工法は、外部電源方式と流電陽極方式に大別されるが、一般に、外部電源方式は大規模な防食に対しての適用性が高く、流電陽極方式は小規模な防食に対しての適用性が高いといえる。また、流電陽極方式は、防食対象物よりもイオン化傾向の高い金属を犠牲陽極材として使用し、両者間の電位差を利用して防食電流を流す方式である。本実験は、流電陽極方式における、犠牲陽極材の被覆材の違いが防食効果に与える影響に着目し、被覆材の選定実験、および選定した被覆条件における複数本の鉄筋に対する防食効果の確認実験を行った。

2. 実験概要

本実験では、犠牲陽極材の被覆材(以降、被覆材)の違いが防食効果に与える影響について確認することを目的とし、1本の鉄筋を埋設した被覆材の選定実験(試験体1)、および複数本の鉄筋に対する防食効果の確認実験(試験体2)をそれぞれ行った。試験体は図-1に示す条件とし、犠牲陽極材には棒状φ10mmの防食亜鉛を用い、陽極被覆材は市販のプレミックス材をベースに亜硝酸リチウムを添加するなどの配合とした。

2. 1 被覆材の選定実験(試験体1)

試験体は125mm×100mm×200mmの角柱とし、φ13mmのみがき丸鋼を1本埋設した。防食亜鉛を配置するスペースとしてφ30mmの孔を空けた。使用したコンクリートの配合を表-1に示す。打設後、温度20℃の室内で14日間の湿布養生を行い、養生終了後にφ30mmの孔に防食亜鉛を設置し、各種条件の被覆材を充填した。また、環境条件は、2日水中、5日気中の乾湿繰返しのサイクルとした。



2. 2 防食効果の確認実験(試験体2)

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。使用したコンクリートの配合を表-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、相対湿度50~60(%)の気中環境とした。

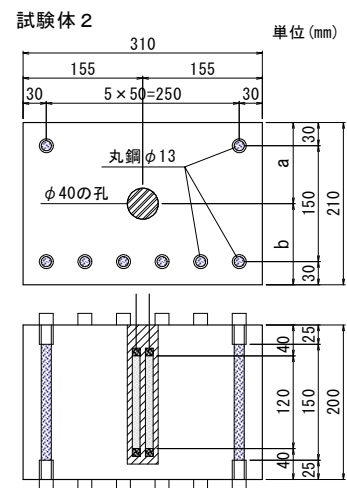


図-1 試験体

2. 3 測定方法

試験体1の短絡は防食亜鉛を配置した翌日に開始し、試験体2の短絡は防食亜鉛を配置した12日後に開始した。鉄筋と亜鉛間に流れる電流量、通電中の鉄筋電位、および短絡を切断した直後の電位(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、鉄筋の復極量を算定した。なお、鉄筋および亜鉛の電位計測は可搬式の照合電極を使用した。

表-1 試験体1のコンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤		
		W	C	S	G	Cl	AE減水剤 (kg/m ³)	AE剤 (kg/m ³)	
65	47.6	172	265	851	1015	0or5	0.829	0.0156	

表-2 試験体2のコンクリート配合

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

3. 被覆材の選定実験 (試験体1)

3.1 犠牲陽極材の被覆条件

試験要因は表-3 に示す条件とし、鉄筋は腐食のない状態で埋設した。塩分添加の有無および被覆材の種類を試験要因とし、10体のコンクリート試験体を作製した。被覆条件は、A, B, C, Dの4通りであり、それぞれの配合を表-4 および表-5 に示す。条件A, Bはプレミックス材として市販されているセメントモルタルをそれぞれ使用し、練混ぜ水に亜硝酸リチウム水溶液を用いた。条件Cは普通ポルトランドセメントを用いたモルタルであり、条件Dは被覆材を用いず、防食亜鉛を直接試験体に埋設したものである。

表-3 試験要因の一覧

塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋腐食	犠牲陽極材の被覆条件	供試体名	供試体数
0	なし	A	0-A	2
		B	0-B	2
5		A	5-A	2
		B	5-B	2
		C	5-C	1
		D	5-D	1

表-4 条件A, Bの被覆材配合

条件	粉体 (P)	W/P (%)
A	被覆材 A	26
B	被覆材 B	73

表-5 条件Cの被覆材配合

条件	粉体	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
			W	C	S
C	OPC	65	287	442	1326

OPC: 普通ポルトランドセメント

3.2 実験結果

鉄筋と防食亜鉛の短絡から約130日間の測定結果を報告する。鉄筋と亜鉛間の発生電流量の経時変化を図-2に示す。条件A, Bは約30日をピークとして、時間経過に伴い発生電流量が減少しているが、材料Aよりも材料Bの方が発生電流量は大きな傾向を示した。一方、条件C, Dの発生電流量は0.2~6.0μAと小さな値であり、被覆条件として普通ポルトランドセメントを用いたモルタルの場合、または直接試験体に埋設した場合、防食亜鉛からの発生電流量が著しく小さくなることが確認された。

鉄筋のインスタントオフ電位および復極量の経時変化を図-3および図-4に示す。発生電流量の大きさに応じて、条件A, Bはインスタントオフ電位が卑化していることが確認できるが、条件Aは短絡開始から40日までに約500mV貴化しているのに対し、条件Bの貴化は緩やかとなっている。また、条件A, Bは塩分添加の有無があるが、現時点では内在塩分による影響が一定の傾向としては表れていない。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¹⁾されており、条件A, Bは、100mV以上の復極量を満足することを確認できた。しかし、条件C, Dは、インスタントオフ電位が貴な値を示し、また復極量が100mVを満足していないことから、十分な防食効果を期待できない結果であった。

3.3 被覆材の選定

被覆条件の違いが防食亜鉛の活性化および鉄筋の防食効果に影響があることが分かり、本実験に用いた防食亜鉛の場合、条件A, Bは防食効果を期待できることが確認できた。また、防食亜鉛の活性化は、亜硝酸リチウム添加によりpH値が大きくなった影響がある²⁾と考えられる。今後の長期挙動を確認していく必要があるものの、現時点において鉄筋のインスタントオフ電位の貴化が小さく、また復極量を大きく確保できている条件Bを被覆材として選定し、複数本の鉄筋に対する防食効果の確認実験を行った。

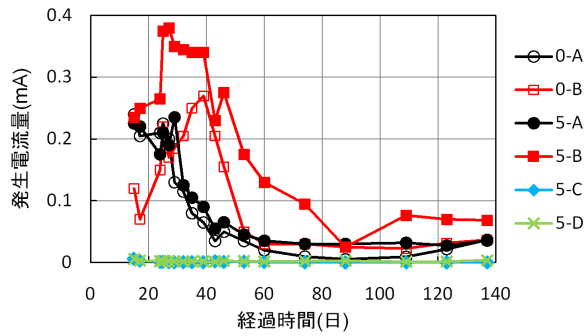


図-2 発生電流量の経時変化

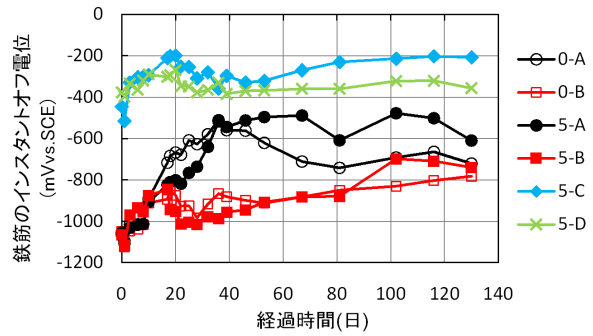


図-3 鉄筋のインスタントオフ電位の経時変化

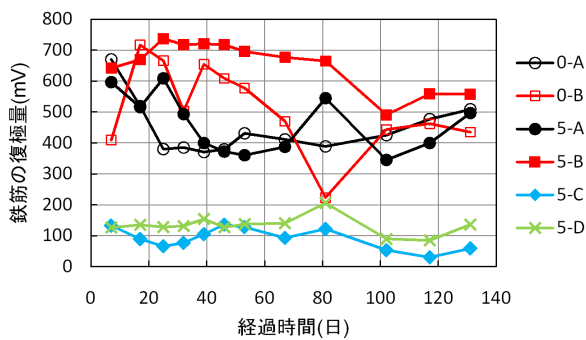


図-4 鉄筋の復極量の経時変化

試験体 2	試験体 No.		
	No. 1	No. 2	No. 3
a (mm)	105	142.5	67.5
b (mm)	105	67.5	142.5
供試体数	1	1	1

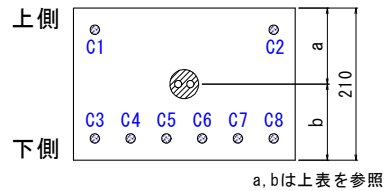


図-5 防食亜鉛の設置位置

4. 複数本の鉄筋に対する防食効果の確認実験 (試験体 2)

4. 1 防食亜鉛の設置位置

試験体 2 における防食亜鉛の設置位置は図-5 に示す条件とし、試験体の中央 (No. 1)、下側 (No. 2) および上側 (No. 3) の 3 通りとした。試験体には塩化物イオンを $5\text{kg}/\text{m}^3$ 添加しており、鉄筋は下側を C3~C8、および上側を C1, C2 の記号で区別した。

4. 2 実験結果

鉄筋と防食亜鉛の短絡から約60日間の測定結果を報告する。鉄筋と亜鉛間の発生電流量の経時変化を図-6に示すが、2本の亜鉛同士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 で区別している。すべての試験体 (No. 1, 2, 3) の発生電流量に有意な差はなく、2本の防食亜鉛から均等に電流が流出していることが確認できる。一方、試験体1では発生電流量の時間経過に伴う減少があったが、試験体2では減少傾向は確認されない。この理由のひとつとして、試験体1と試験体2の環境条件および試験期間の差異が影響しているものと考えられる。

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-7に示す。亜鉛の自然電位は、すべての試験体で約 -900mV となっており、インスタントオフ電位が自然電位に対して貴な値となっていることから、防食電流を流出していることが確認できる。また、時間経過に伴う亜鉛の自然電位の貴化も認められない。

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-8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化していることが確認できる。また、防食亜鉛を下側に配置した No. 2 は、防食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、各鉄筋の電位に大きな差は生じておらず、本実験の範囲では、防食亜鉛の配置位置が鉄筋電位に与える影響は小さい結果であった。また、鉄筋の復極量の経時変化を図-9に示すが、すべての鉄筋において復極量にも大きな差は生じておらず、 100mV 以上の復極量を満足する結果であった。

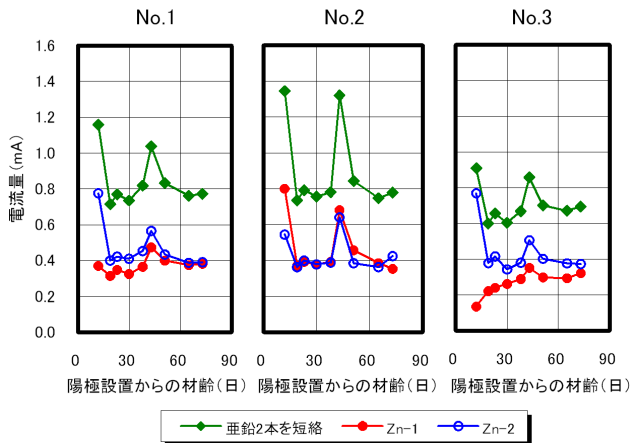


図-6 発生電流量の経時変化

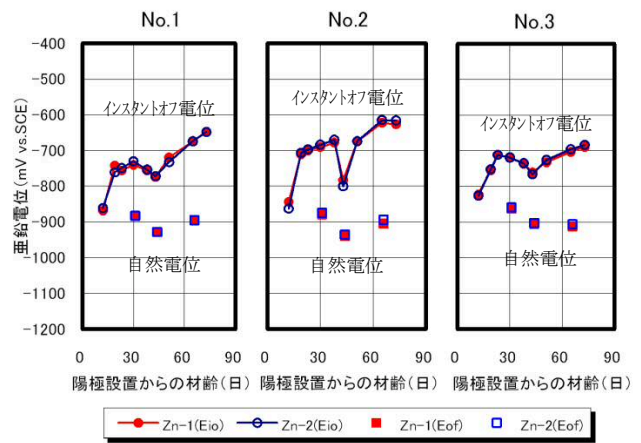


図-7 亜鉛のインスタントオフ電位と自然電位の経時変化

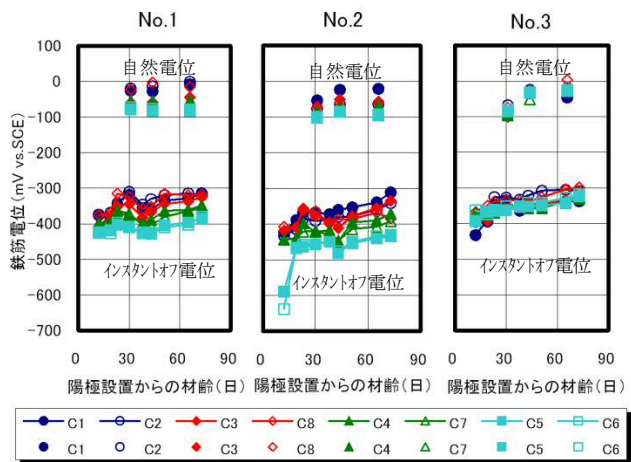


図-8 鉄筋のインスタントオフ電位と自然電位の経時変化

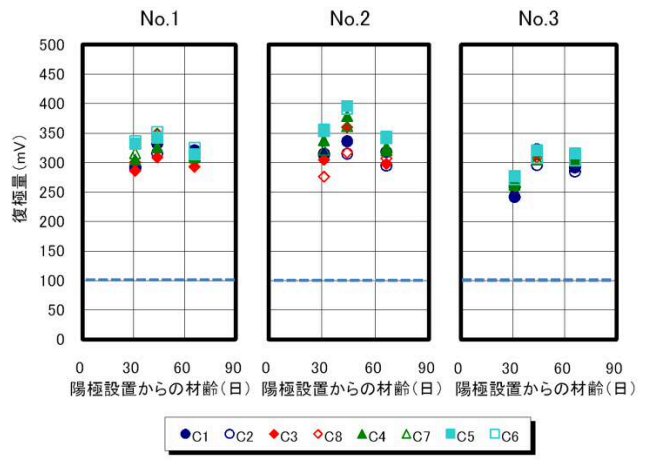


図-9 鉄筋の復極量の経時変化

5. まとめ

- ・被覆条件の違いが防食亜鉛の活性化および鉄筋の防食効果に影響があることが分かり、本実験における被覆条件Bの有効性が確認できた。
- ・本実験の範囲では、防食亜鉛の配置位置が±40mm程度の違いがある場合でも、鉄筋電位に与える影響は小さく、8本埋設したすべての鉄筋で十分な防食効果が確認できた。

現在も試験体1と試験体2の測定は継続中であり、今後の長期挙動を確認していく予定である。また、本実験にあたり、九州大学濱田研究室の修士2年薬師寺輝氏および高田敏宏氏(現尾道市役所)ならびに共同研究者の(株)美和テック上西裕樹氏にご協力をいただきました。ここに、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 青山，平野，宮里：塩害損傷を受けたコンクリート構造物の効率的補修法の考案：コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 1, 2008