

各種犠牲陽極材の防食効果の検討

東京地下鉄(株) ○正会員 諸橋 由治 正会員 武藤 義彦
 (株)国際建設技術研究所 正会員 小椋 紀彦 正会員 葛目 和宏
 住友大阪セメント(株) 非会員 鹿島 篤志 正会員 山本 誠 非会員 赤澤 一彰

1. はじめに

近年、鉄筋腐食が起因した塩害補修対策として断面修復時に、鉄筋よりもイオン化傾向が大きい亜鉛が含まれた犠牲陽極材を鉄筋に取付け、鉄筋の腐食反応を抑制する補修方法が採用されている。しかしながら、犠牲陽極材の防食効果・範囲や耐久性については明確にされていないのが現状である。本研究では、部分断面修復を模擬した供試体を用い、各種犠牲陽極材の防食効果・範囲および耐久性について比較検討したので、これらの検討結果について以下に報告する。

2. 実験概要

(1) 犠牲陽極材の概要

実験に使用した犠牲陽極材は、市販されている3種類を選定した。各メーカーの技術資料等に基づいた、犠牲陽極材の製品概要を表-1に示す。

(2) 供試体の概要

供試体のコンクリートの示方配合および概要図をそれぞれ表-2、図-1に示す。供試体の示方配合および配筋は、東京地下鉄(株)が所有する箱型トンネルを参考¹⁾に、コンクリート中に塩化物イオン量で 10 kg/m^3 となるように練り混ぜ水に NaCl を混入させて打設した。また、コンクリート表面積当たりの鉄筋表面積比は1.15となるように $\phi 16$ と $\phi 19$ の磨き丸鋼を配筋した。

供試体はコンクリート打設後、約1ヶ月気中環境で養生後、中央部に犠牲陽極材を設置し、電気抵抗率が $500 \Omega \cdot \text{m}$ 以下の超速硬断面修復材を用いて被覆した。なお、犠牲陽極材と鉄筋は供試体外部にて導通がとれるように同じ長さ、径のリード線を用いて接続した。断面修復材硬化後、供試体の側面は外部からの腐食要因の影響を排除するためにエポキシ処理を実施した。養生条件は、通電開始から81日間空調設備の無い屋内で塩水噴霧繰り返し環境 (35°C) とし、その後、約8ヶ月空調設備の無い屋内での気中環境に移行し、測定を行った。

(3) 試験項目

試験項目は、通電時は発生電流量、鉄筋電位、復極量とし、通電開始から336日経過後に解体試験による鉄筋の発錆面積、質量減少量および陽極の質量減少量の測定を実施した。なお、鉄筋電位は図-2に示す位置に外付け照合電極を用いて通電遮断直後のインスタントオフ電位 (以下、Eins) および通電切断24時間後のオフ電位 (以下、Eoff) の測定を行った。発生電流量は、鉄筋-陽極のリード線間に 10Ω のシャント抵抗を固定し、抵抗間の電圧を測定することで、発生電流量の測定を行った。

3. 実験結果

(1) 発生電流量

発生電流量の経時変化を図-3に示す。通電初期の発生電流量の挙動は、犠牲陽極材の種類によって異なるものの、通電開始後336日時点で、全ての犠牲陽極材で 0.3mA 以上の電流が発生し、また既往の研究²⁾ と同

表-1 犠牲陽極材の概要

記号	亜鉛量	保護材料	大きさ
犠 A	38g	2種類の亜鉛刺激促進剤	33×56×75mm
犠 B	85g	1種類の亜鉛刺激促進剤	13×45×140mm
犠 C	160g		32×54×110mm

表-2 コンクリートの示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					実測SL (cm)	実測Air (%)
		W	OPC	S	G	NaCl		
53.0	47.1	185	349	824	967	16.48	13.5	5.4

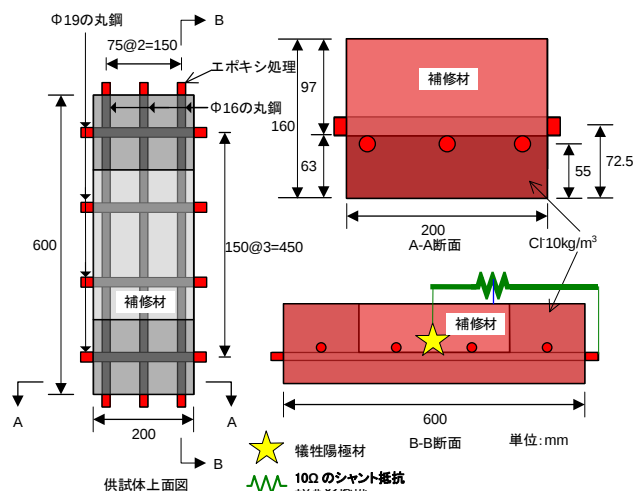


図-1 供試体概要

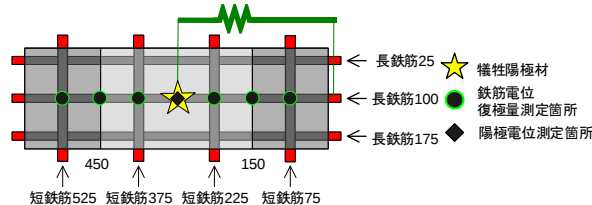


図-2 供試体概要

キーワード 犠牲陽極材、断面修復、防食効果、防食範囲、耐久性

連絡先

〒110-8614 東京都台東区東上野3丁目19番6号 東京地下鉄株式会社 TEL: 03-3837-7264

様に気温の増減に伴い発生電流量も増減傾向が認められた。亜鉛量が大きい犠牲 C は他の犠牲陽極材よりも約 2 倍の電流が発生おり、犠牲 B は、犠牲 A の 2 倍以上の亜鉛量であるが、その発生電流量は犠牲 A と同程度であった。いずれの犠牲陽極材も気温変動影響を受けるが、特に犠牲 C は影響を受けやすい傾向にあった。

(2) 防食効果・範囲

鉄筋の各種電位分布および復極量と腐食度の関係をそれぞれ図-4、図-5 に示す。また、解体試験による鉄筋の発錆面積および質量減少量より腐食速度を算出し、ブランク供試体の結果も併せて図示した。

図-4 より、いずれの犠牲陽極材を適用しても、断面修復部の鉄筋では通電開始前の自然電位よりも Eoff は貴側に变化しており、犠牲陽極材から離れるに従い卑側に移行していることが認められた。また、その傾向は犠牲 A、犠牲 B、犠牲 C の順で大きくなっており、図-5 の復極量分布からも同様な傾向が認められる。

腐食速度の結果より、ブランク供試体と比較し犠牲 A では全体的に、犠牲 B、犠牲 C では断面修復部のみ防食効果・腐食抑制効果が認められ、犠牲 B、犠牲 C の既存部中の鉄筋では、ブランク供試体より腐食が卓越している結果となった。既往の研究³⁾では防食範囲外の鉄筋がアノードとなりマクロセル腐食電流が隣設する鉄筋に流れ、犠牲陽極材側の鉄筋を防食するという報告もある。本検討では、各鉄筋に流入する電流量を測定していないが、Eins の分布より断面修復部と既存部の鉄筋電位の差が大きく、既存部中の鉄筋がアノードとなっていることが要因と推察される。

の差が大きく、既存部中の鉄筋がアノードとなっていることが要因と推察される。

(3) 耐久性

通電開始前および通電終了後に各犠牲陽極材を解体し亜鉛の質量測定を行うと共に、通電期間における各犠牲陽極材から発生する電流量の積算電流量の算出を行った。質量減少率とファラデーの法則

(理論値) による質量減少率結果を表-3 に示す。なお、ファラデーの法則は(1)式で示される。質量減少率は、積算電流量の傾向と一致しないが、安定後の発生電流量の傾向と同様に他の犠牲陽極材と比較し犠牲 C で 2 倍以上、犠牲 A、犠牲 B は同程度の結果となった。また、通電開始約 1 年で 7~20%の質量減少率となり、単純計算で 5~13 年の耐久性となるが、犠牲陽極は通電初期において発生電流量は大きくなることが知られており、質量減少率が大きくなった要因と考えられ、今後測定を継続して行く予定である。

ファラデーの法則に従う質量減少量の結果は、実際の質量減少量よりも少なく危険側の結果となった。この要因として、発生電流量の測定が 2 週間に一度であったことから結果に乖離が出たものと考えられる。

4. まとめ

断面修復部に各犠牲陽極材を 1 個のみ埋設し通電期間 1 年で比較した場合、犠牲陽極材の防食効果・範囲は発生電流量の大小ではなく、防食電流の広がりに影響を受けることが判明した。

参考文献

1) 山本努, 武藤義彦, 小椋紀彦, 葛目和宏, 大即信明: 地下鉄トンネルにおける塩害発生条件の検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 11 巻, pp.147~154, 2011.10
2) 吉田隆浩, 中塚猛, 渡辺佳彦, 西井学, 松久保博敬: 塩害劣化 RC 構造物における犠牲陽極材の鉄筋腐食抑制範囲の検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 12 巻, pp.95~100, 2012.11
3) 横田優, 松場新吾, 中川裕之: 犠牲陽極材の防食性能に関する基礎的研究, 土木学会第 64 回年次学術講演会, pp.521~522, 2009.9

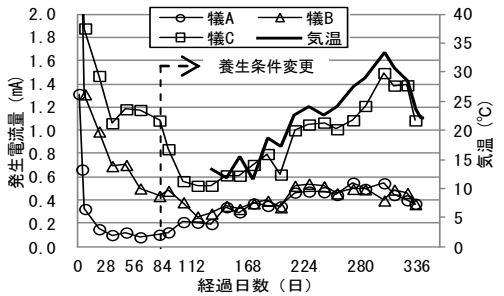


図-3 発生電流量の経時変化

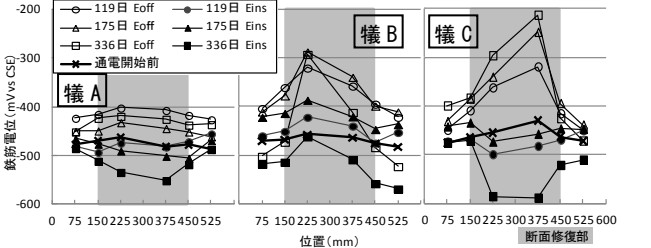


図-4 各種電位分布

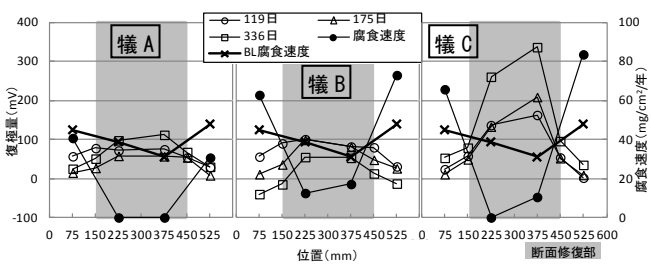


図-5 復極量と腐食度の関係

表 3 解体試験による各犠牲陽極材の質量減少率とファラデーの法則による質量減少率比較

記号	陽極材の質量減少				積算電流量からの陽極材質量減少理論量		
	初期質量 (g)	解体後質量 (g)	質量減少量 (g)	質量減少率 (%)	積算電流量 (A・h)	質量減少量 (g)	質量減少率 (%)
犠牲 A	38.1	30.23	7.87	20.66	2.63	3.24	8.52
犠牲 B	85.5	78.91	6.59	7.71	4.08	5.02	5.90
犠牲 C	172.0	151.65	20.35	11.83	8.19	10.08	6.30

$$w = \frac{(I)(t)(e)}{26.8} \quad (1)$$

ここで、w = 亜鉛の質量(g)、I = 電流(A)、t = 時間(h)、e = 亜鉛の化学等量 (32.96)