

塩害加速期における鉄筋コンクリートの腐食速度の評価

大成建設（株） 土木技術研究所 正会員 ○堀口 賢一
大成建設（株） 土木技術研究所 フェロー会員 丸屋 剛

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の塩害に対する耐久性は、鋼材の腐食発生時点（潜伏期の終点）を限界状態としており、構造物本来の使用限界状態と考えられる腐食ひび割れ発生時点（進展期の終点）まで、もしくは構造耐力が著しく低下し始める時点（加速期の終点）までに対して、余裕を持った安全側の照査となっている。これは、既設コンクリート構造物中の鋼材の腐食速度などを精度よく定量的に評価する手法が、現時点では十分に構築されていないことがひとつの要因として考えられる。新設構造物の使用限界状態をより合理的に設定するためには、既設構造物での劣化評価手法の構築が望まれる。例えば、コンクリート中の鋼材の腐食速度を定量的に評価する手法としては、従来から分極抵抗法が用いられており、測定方法や評価基準の策定が試みられつつあるが、実構造物への適用にはデータの蓄積と、さらなる精度の向上が必要である。そこで本研究では、海洋環境下の飛沫帯に長期間暴露した鉄筋コンクリート供試体の分極抵抗を測定して、鋼材の腐食速度と腐食量を定量的に評価し、加速期における分極抵抗法の適用性について検討した。

2. 実験内容

表-1にコンクリートの配合と使用材料を示す。コンクリートの配合は、粗骨材の最大寸法 20mm、水セメント比 50%、単位水量 161kg/m³とした。練上り時のフレッシュコンクリートは、スランプ 10±2.5cm、空気量 4.5±1.5%を目標値とした。図-1に供試体の寸法と形状を示す。供試体は100

表-1 コンクリートの配合と使用材料

G _{max} mm	スランプ ^o cm	空気量 %	W/C %	s/a %	単位量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
20	10	4.5	50	44.1	161	322	802	1029	0.81

セメント：普通ポルトランドセメント、密度3.15g/cm³
細骨材：山砂、表乾密度2.63g/cm³、吸水率1.79%
粗骨材：碎石、表乾密度2.66g/cm³、吸水率0.70%
混和剤：リグニンスルホン酸系AE減水剤（標準形）

×100×1200mmで、内部にD13をかぶり30mmで1本配置し、長さ1200mmの方向を縦にしてコンクリートを打設した。また、供試体表面のうち、暴露する上面と下面の中央100×800mmの範囲のみを開放面とし、それ以外の表面からの塩化物の浸透を抑制するため、アクリル樹脂系表面被覆材を塗布した。供試体の打設後28日間は標準養生を行い、材齢57日

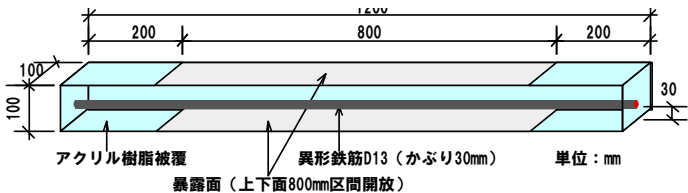


図-1 供試体の形状と寸法

日で海洋環境下に暴露を開始した。供試体は、かぶり30mmの面が下向きになるように設置した。暴露地点は海からの波浪による飛沫が頻繁に作用し、降雨や日射などの影響により乾湿が繰り返される飛沫帯である。

供試体の測定は、(1)腐食ひび割れの観察、(2)コンクリート表面からの鉛照合電極による自然電位の測定、および(3)交流インピーダンス法による分極抵抗の測定を行った。(1)と(2)は暴露開始から供試体を解体するまでの11.5年(138ヶ月)の間に、およそ6ヶ月に1回の頻度で行った。(3)は暴露を開始して8.0年(96ヶ月)から供試体を解体するまでの11.5年(138ヶ月)までの間に、およそ6ヶ月に1回の頻度で行った。また、暴露11.5年の時点で供試体を解体して鉄筋を取り出し、鋼材断面残存率の測定をレーザー変位計で行った。

3. 実験結果

図-2に自然電位と腐食ひび割れの発生状況を示す。ここでは自然電位を銅・硫酸銅電極での値に換算してキーワード コンクリート、腐食、分極抵抗、自然電位、加速期

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）土木技術研究所土木構工法研究室 TEL045-814-7228

示している。腐食ひび割れは、解体時点には開放面の全長に発生し、最大幅は 2.5mm であった。ただし、表面被覆してあった範囲には発生していなかった。また、自然電位が相対的にやや卑な測定位置区間 200～600mm 付近での腐食ひび割れ幅がより広くっており、マクロセル腐食回路でのアノード領域であったと考えられる。

表-2 に腐食ひび割れの有無を要因とした分極抵抗の測定結果を示す。かぶり 57 mm はひび割れの無い裏側から測定したものである。今回使用した鉄筋腐食診断装置から得られた分極抵抗は、腐食ひび割れの有無や、かぶりの数十 mm 程度の違いによる影響をほとんど受けないものと考えられる。

図-3 に断面残存率分布を示す。供試体左端から 275, 525mm における断面残存率は、それぞれ 88.6, 81.4% である。一方、分極抵抗を用いた Stern-Geary 式に基づく腐食量から算出した断面残存率は、それぞれ 90.6, 90.4% で、実測の方が小さい。これは、孔食が生じる腐食では、局部的に大きな断面欠損が生じるためと考えられる。孔食の生じた残存断面積は、分極抵抗から算出される腐食量を、275mm で 2.2 倍、525mm では 2.6 倍することで算出できる。このような考え方は文献 1) にも示されており、環境条件に応じて、孔食深さを分極抵抗から算出される平均腐食深さの 3～10 倍とする。本実験では分極抵抗から算出される平均腐食深さが 0.28, 0.29mm に対し、実測の孔食深さが 1.9mm, 3.0mm であるから 6.8～10.3 倍となり、概ね 3～10 倍の範囲にある。

4. まとめ

- (1) 今回の実験で使用した測定装置では、腐食ひび割れが発生している加速期においても、腐食ひび割れの影響を受けずに分極抵抗を測定でき、加速期における鋼材の腐食速度の評価に適用できることが確かめられた。
- (2) 分極抵抗から求まる腐食量は実測よりも小さくなる。孔食が生じた腐食が著しい断面では、腐食速度を見かけ上は 2.2～2.6 倍することで、断面残存率を評価できると考えられる。

参考文献

1) RILEM TC154-EMC ‘Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion’, Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization method, ‘Materials and Structure’, Vol.37, pp.623-643, Nov.2004

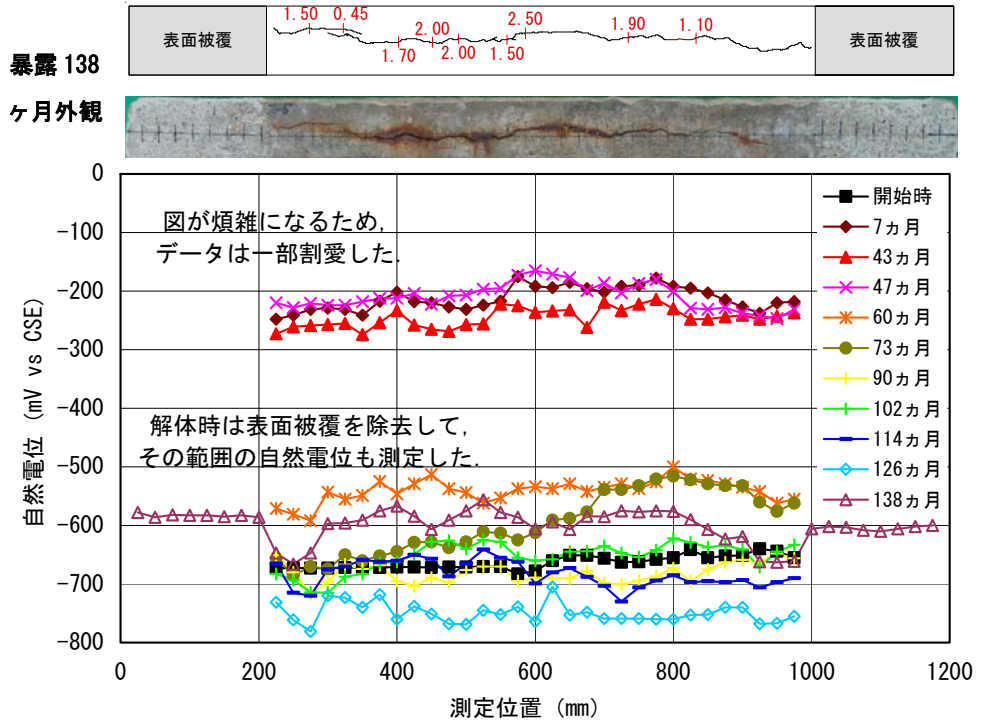


図-2 自然電位と腐食ひび割れの発生状況

表-2 腐食ひび割れの有無を要因とした結果

暴露期間		127ヶ月		138ヶ月	
測定位置		275mm	525mm	275mm	525mm
分極抵抗 ($k\Omega cm^2$)	かぶり30mm ひび割れ有	12.4	18.5	9.5	10.0
	かぶり57mm ひび割れ無	16.8	15.5	10.0	12.7

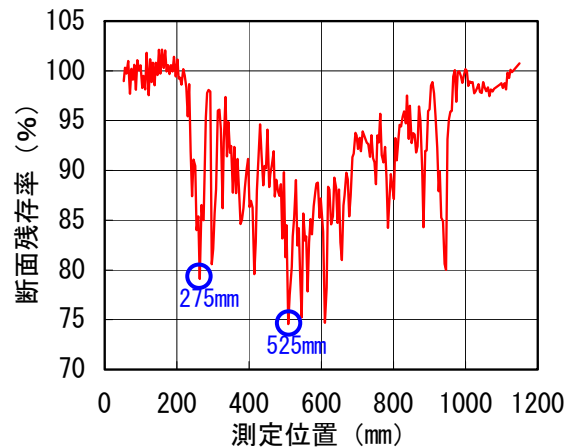


図-3 鋼材の断面残存率分布