

腐食ひび割れ発生限界腐食量の推定方法の評価

大成建設株式会社 正会員 ○松元 淳一 大成建設株式会社 正会員 堀口 賢一
大成建設株式会社 フェロー会員 丸屋 剛

1. はじめに

本研究は、鉄筋コンクリートの塩害劣化のうち進展期を対象とし、進展期における腐食ひび割れ発生限界腐食量の推定方法の評価を行ったものである。推定方法としては、分極抵抗から算出する方法、自然電位から腐食電流密度を算出する方法、溶存酸素濃度に応じて腐食速度を求める方法の3ケースとし、それぞれの腐食ひび割れ発生時の推定腐食量を実験から測定した腐食ひび割れ発生限界腐食量と比較することで、それぞれの推定方法に関する評価を行った。

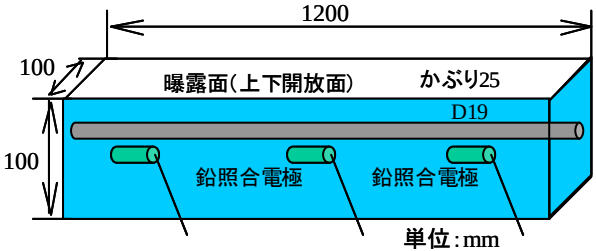
2. 実験概要（腐食ひび割れ発生限界腐食量の実測値を求めるための実験）

実験供試体の配合を表－1に示す。供試体は、目標スランプを12±2.5cm、空気量4.5±1.5%として定めた、水セメント比（以下、W/C）55%および65%のコンクリートであり、各4体ずつ製作した（供試体番号：55N-1～55N-4、65N-1～65N-4）。使用材料として、セメントは普通ポルトランドセメント（密度3.16g/cm³）、細骨材としては山砂（表乾密度2.61g/cm³、吸水率2.15%）、粗骨材としては最大骨材寸法13mmの碎石（密度2.67g/cm³、吸水率0.74%）を用いた。また、混和剤としてリグニンスルホン酸系AE減水剤を使用した。

実験供試体の形状・寸法を図－1に示す。試験面からかぶり25mmとなる様にSD295Aの異形鉄筋D19を1本配筋し、φ10×100mmの鉛照合電極を3箇所配置した。製作にあたっては、100×100×1200mmの型枠への打設とした。脱型後は、28日間の標準養生を行い、試験面を除く側面をエポキシ樹脂にて被覆し、7日間乾燥後に実験に供した。試験方法としては、塩水浸せきと気中乾燥を繰り返す劣化促進試験とした。試験環境の条件は、塩水（NaCl 3%溶液）浸せき3日と乾燥4日の繰返しを1サイクルとし、腐食ひび割れが発生する時点まで実施することにした。促進試験中は、埋設した鉛照合電極を用いて自然電位を連続的にモニタリングし、鉄筋の腐食発生時点を適確に捉えた¹⁾。また、自然電位が低下してから、分極抵抗を交流インピーダンス法により、鉛照合電極を埋設した位置直上の供試体表面で測定した。さらに腐食ひび割れが発生した時点で供試体を解体し、鉄筋を取り出して腐食面積と腐食生成物の質量を測定した。

表－1 供試体配合

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
13	10.5	55	5.2	50	175	318	886	907	3.18
13	13.0	65	5.1	52	180	277	933	881	2.76



図－1 供試体の形状・寸法

3. 腐食量の推定方法

3.1 分極抵抗から算出する方法²⁾

分極抵抗から腐食電流密度を算出する際の Stern-Geary 式の K 値は、0.026 (V) とした。この腐食電流密度と進展期の長さをパラメータとして、ファラデーの法則から推定腐食量を算出した。なお、ここで用いている分極抵抗は、供試体表面から 25mm ピッチで測定した自然電位の中で、最も低であった位置で測定した値である。

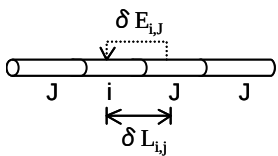
3.2 自然電位から腐食電流密度を算出する方法³⁾

腐食電流密度の算出は、供試体表面から計測した自然電位の分布から求められる電位差により電気回路が形成されるマクロセル腐食を想定して腐食ひび割れ発生位置における電流密度を式 (1) により計算し、算出した電流密度を用いて腐食ひび割れ発生時の腐食量をファラデーの法則から求めた。

キーワード 腐食ひび割れ、腐食、分極抵抗、自然電位、塩害

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

$$I_i = \sum_{j=1}^n \frac{\delta E_{i,j}}{\rho \cdot \delta L_{i,j}} \dots (1)$$



I_i : i点の腐食電流密度(mA/cm²)
 $\delta E_{i,j}$: i点とj点との電位差(mV)
 $\delta L_{i,j}$: i点とj点との距離(cm)
 ρ : 比抵抗(Ω cm)

3.3 溶存酸素濃度に応じて腐食量を求める方法⁹⁾

鉄筋の腐食反応がカソード支配となる場合には、酸素の供給量で電流密度が定まることになるため、ここでは、既往の研究^{6)~8)}を参考に、腐食ひび割れ発生時の腐食量を算出した。なお、腐食量を求めるための進展期の経過時間は、実測値から得られた進展期の長さとした。

4. 試験結果および考察

表-2 にそれぞれの推定方法および実測の腐食ひび割れ発生限界腐食量を示す。ここで、実測の腐食量は供試体表面から測定した自然電位が最も卑であった位置を中心に、長さ 50mm の範囲で腐食面積と腐食生成物の質量を測定して算出した。鉄筋の錆部分から、採取した付着物には、モルタルが含まれていたため、腐食生成物のみを磁石で取り分けた。文献⁹⁾によれば、塩化物イオンの多い環境で生成する腐食生成物はβ-FeOOH の形態をしており、これは磁石に対し磁性を持つと考えられる。このようにして測定した腐食生成物の質量に、FeOOH (分子量 88.8) 中の Fe (原子量 55.8) の割合を算出した比率 (0.628) を乗じて、これを腐食面積で除して腐食量の実測値とした。

分極抵抗から推定する場合では、個々の供試体レベルでは、必ずしも一致はしないが、多くの供試体の平均化することで、分極抵抗から腐食量を推定により、進展期の長さを推定できるものと考えられる。これに対して、表面自然電位の分布から推定腐食量は、実測値と大きく異なり、腐食ひび割れ限界腐食量と一般的に言われている10~100mg/cm²の範囲¹⁰⁾の上限に近い値を評価していた。一方、溶存酸素量(酸素の供給量)から電流密度を求めた場合の腐食量について見ると、実測値より若干小さな値であり、本実験の試験方法では、乾燥が幾分卓越しており、酸素供給量が多かったものと考えられる。

5. まとめ

進展期の長さから算出した腐食ひび割れ発生までの推定腐食量を、実測した腐食量と比較することによって、分極抵抗からの推定が進展期の長さを定量的に予測することに有効であった。

表-2 それぞれの推定方法および実測の腐食ひび割れ発生限界腐食量

供試体	進展期の長さ(時間)	推定値					実測値			
		分極抵抗		表面自然電位		溶存酸素濃度	腐食生成物質量(mg)	5cm範囲の腐食面積(mm ²)	腐食量(mg/cm ²)	平均(mg/cm ²)
		腐食量(mg/cm ²)	平均(mg/cm ²)	腐食量(mg/cm ²)	平均(mg/cm ²)	腐食量(mg/cm ²)				
55N-1	20649	16.6	21.6	118	153	14.7	13	24	34	19.43
55N-2	26133	34.4		177			88	591	9.4	
55N-3	12981	26.6		202			272	1074	15.9	
55N-4	13298	8.8		115			68	233.4	18.4	
65N-1	11945	29.4	23.1	135	130	7.8	217	421.9	32.3	19.68
65N-2	6811	12.8		114			257	628.1	25.7	
65N-5	7489	24.3		136			77	936.9	5.2	
65N-6	8777	25.8		133.9			140	567.5	15.5	

参考文献

1) 堀口賢一ほか：自然電位連続モニタリングによる発錆時期推定手法の検討と腐食発生限界塩化物イオン濃度の測定,コンクリート工学年次論文集,Vol.28,No.1,pp.1007-1012,2006 2) 横田優ほか：塩害により鉄筋が腐食したコンクリートの劣化予測,コンクリート工学年次論文集,Vol.26,pp.1041-1046,2004 3) 堀口賢一ほか：自然電位を用いた鉄筋腐食の定量的評価手法に関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.26,No.1,pp.1065-1070,2004 4) 丸屋剛ほか：コンクリート中の鋼材のマクロセル腐食に関する解析手法の構築,土木学会論文集,Vol.62,No.4,pp.757-776,2006 5) 化学便覧 6) 土木学会：2007年度版コンクリート標準示方書〔設計編〕 7) 荒木祐祐ほか：コンクリート中の鉄筋腐食膨張圧のモデル化,土木学会第59回年次学術講演会,5-227,pp.551-552,平成16年 8) 金貞辰ほか：鉄微粉末混入によるモルタル中の鉄筋の腐食抑制メカニズムに関する研究,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.1,pp.1037-1042,2006 9) 土木学会：2007年度版コンクリート標準示方書〔維持管理編〕