

塩害に起因するコンクリート中の鉄筋腐食における温度促進に関する検討

金沢大学理工学域 学生会員○小笠原 啓人
正会員 久保 善司

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食発生および速度を支配する要因として、塩化物イオン量(以下、 Cl^- 量)、含水率、コンクリート温度が挙げられる。 Cl^- 量については、セメント量およびW/Cによって異なるものの腐食発生限界量が存在することが知られている。含水状態については、含水率の増加に伴い、腐食速度が大きくなり、飽和状態よりも若干小さな含水状態において最大の腐食速度を示すことが知られている¹⁾。さらに、コンクリート温度については、コンクリート温度が高くなると腐食速度が大きくなる傾向にあり、この関係にはアレニウス則が成立するとされている²⁾。他方、実環境下においては、これらの支配要因は環境条件によって大きく変化するため、これらの要因と腐食発生および速度に関する統一的な関係は十分に把握されているとは言い難い。本研究では、所定の Cl^- 量および含水率に調整された供試体を用い、種々のコンクリート温度において腐食速度(分極抵抗より推定)を求め、それらの関係を実験的に検討することとした。

2. 実験概要

2.1 供試体

腐食測定用供試体の配合、および供試体の概要を表-1、表-2および図-1に示す。コンクリート内部には、鉄筋(丸鋼φ9)を埋設し、所定の部分(中央部、長さ5cm)にのみ腐食が生じるように、それ以外の鉄筋表面に防食用塗膜を施した。また、コンクリート温度測定用供試体を別途作製し、供試体中心部に熱電対を埋設した。打設、脱型後、20℃の恒温室内において28日間の湿封養生を行った。

2.2 腐食速度の測定(推定)

養生終了後、供試体の含水率を所定の含水率となるよう調整し、含水率が変化しないようポリビニル袋で密封し、所定のコンクリート温度が得られるよう温度調整された環境槽内に静置した。実験要因を表-2に示す。所定の含水率とコンクリート温度に7日間経過以降、携帯型腐食診断器(照合電極:Ag/AgCl)を用いて、各供試体の分極抵抗を測定した。分極抵抗からStern-Gearyの式を適用し、腐食速度を求めた(K値:26mV)。含水率にばらつきがあったため、含水率を50%程度(45~55%)、60%程度(55~65%)、75%程度(65~85%)の分類し、腐食速度は各含水率範囲に測定値の平均を求めた。

3. 結果および考察

3.1 含水率とコンクリート温度による影響

含水率およびコンクリート温度が腐食測定の結果を図-2に示す。腐食速度は0~20(mg/cm²/年)の範囲で

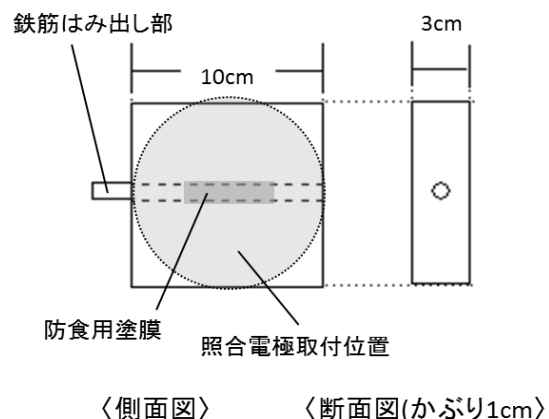


図-1 供試体概要

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	NaCl	G
65	46	175	272	820	8.0	968

表-2 種々の設定値

Cl^- 量	含水率	設定 T_c
4.8kg/m ³	45~84%(実測値)	20, 40, 60℃

キーワード：鉄筋腐食、塩害、コンクリート温度、含水率

連絡先：〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学自然科学研究域土木材料科学研究室 Tel 076-264-6365

あった。含水率が大きいものほど、腐食速度は大きくなり、同一含水率においては、温度が高いものの方が大きかった。温度と腐食速度の関係については一般的にアレニウス則が成立することが知られている。本研究結果においても、含水率ごとにアレニウス則が成立していることを別途確認した（相関係数 $R^2=0.95$ 程度）。

今回の検討範囲では、最低と最大の腐食速度を比較すると約 8 倍となった。含水率およびコンクリート温度が腐食速度に与える影響は大きく、特に、含水率の影響は顕著であった。実環境下においては、各種条件（降水、気温、日射等の気象条件）によって、コンクリート温度および含水状態が大きくことなるものと考えられる。したがって、腐食速度の推定を行う際には、含水率およびコンクリート温度の影響を考慮し、評価する必要がある。

3.2 温度促進倍率

コンクリート温度と腐食速度（温度促進倍率）の関係を図 - 3 に示す。本研究で得られた結果を、既往の研究^{3)~5)}と比較検討するため、温度 20℃ に対する腐食速度の比を温度促進倍率と定義した。なお、既往の研究においては、厳密にはコンクリート温度ではなく、環境温度（気温）に対する腐食速度であったが、温度とコンクリート温度が平衡状態であるものと仮定し、特別な補正は行わなかった。また、既往の研究における塩化物イオン量、W/C、かぶりなどの要因を表 - 3 に示す。

既往の研究も含めて、温度が高いものほど、促進倍率は大きくなった。他方、本研究の結果（図 - 3 中の実線）においては、含水率の小さい 50% のものは、他の含水率に比べて促進倍率は大きい。また、飯島らおよび梶田らの研究結果は、含水率 50% の結果に近く、畠田らの研究結果は含水率 60% および 75% の結果に近かった。腐食速度の絶対値、あるいはコンクリート等の諸要因（表 - 3 参照）の影響などについては、詳細な検討が必要であるものの、温度による腐食速度（倍率）については、含水率の影響を考慮することで、より精度の高い推定を行うことが可能となるものと考えられる。

4. まとめ

今回の検討範囲では、最低と最大の腐食速度を比較すると約 8 倍となった。コンクリート温度および含水率が腐食速度に与える影響は大きく、特に、含水率の影響は顕著であった。コンクリート温度および含水率の影響を考慮することで、より精度の高い腐食速度の推定を行うことが可能となるものと考えられる。

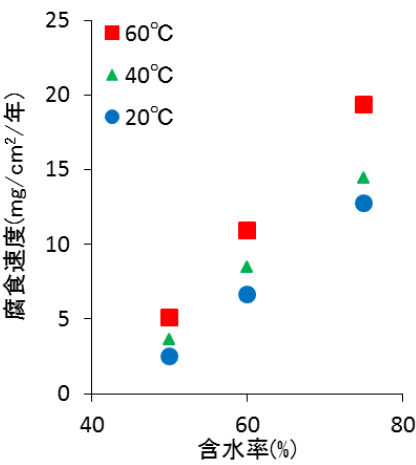


図 - 2 腐食速度

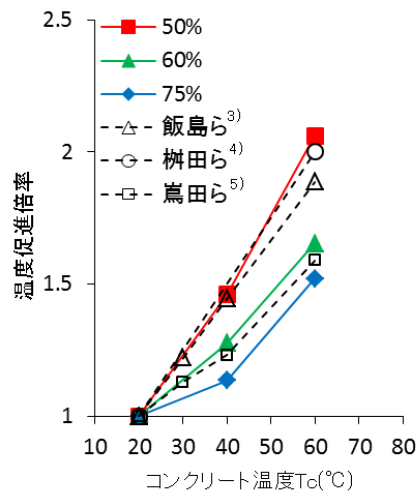


図 - 3 温度促進倍率

表 - 3 既往の研究における諸要因

飯島ら	梶田ら	畠田ら
Cl ⁻ 量 : 5.0kg/m ³	NaCl : 1.0%	蒸留水中での腐食
W/C : 65%	W/C : 65%	W/C : 不明
かぶり深さ : 20mm	かぶり深さ : 10mm	かぶり深さ : 25mm
鉄筋径 : 13mm	鉄筋径 : 13mm	鉄筋径 : 10mm

参考文献 1) A.Bentur ら : Steel Corrosion In Concrete, E & FN SPON, pp.46-48, 1997 2) 大即ら : 中性化したコンクリート部材中の鉄筋腐食速度に及ぼす温度の影響, 材料, Vol.153, No.1, pp.108-113, 2004 3) 飯島ら : コンクリート中の鉄筋の腐食速度に及ぼす気温の影響, 鉄道総研報告, Vol.23, No.6, pp.11-16, 2009 4) 梶田ら : コンクリート中の鉄筋腐食速度に及ぼす各種要因の影響に関する実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992 5) 畠田ら : 塩害環境下における鉄筋コンクリートの腐食速度解析モデルの提案, 長岡技術大学大学院修士論文, 2011