

# 塩害および中性化による鉄筋腐食がモルタル表面のひずみ挙動に与える影響

東急建設(株) 技術研究所 ○前原聡  
 芝浦工業大学 工学部 伊代田岳史

## 1. はじめに

RC 構造物の鉄筋腐食に起因する劣化として、塩害および中性化が挙げられる。塩害ではコンクリート中に塩化物イオンが浸透すること、中性化ではコンクリート中のアルカリ性が低下することで、鉄筋の不動態皮膜を破壊、鉄筋腐食を引き起し、かぶりコンクリートにひび割れや剥離・剥落を発生させる。ひび割れ発生後は鉄筋腐食の速度が著しく増大することから、その後の構造物の諸性能が大きく低下する。そのため、ひび割れ発生時期を定量的に把握することは適切な劣化予測をするためにも極めて重要である。

ひび割れ発生時期を推測するのにあたり、鉄筋の腐食程度と関連づけて整理する研究がなされている。それらは、塩害を想定し、急速に腐食を促進させる電食実験や実環境下に近い条件を模擬した乾湿繰返しによる腐食促進試験などにより研究が進められている。しかし、電食実験では腐食がひび割れ面に集中し、局所的に著しく腐食する腐食形態に大きく偏ること<sup>1)</sup>や電食実験と実環境下では腐食生成物が異なること<sup>2)</sup>が言われている。一方、中性化による鉄筋腐食は、塩害によるものと比較して著しく遅くなることが実務的に認識されている。そのため、中性化による鉄筋腐食がひび割れ発生に及ぼす影響を言及した実験的検討はなされておらず、定量的に示した事例は極めて少ない。

そこで、本研究では、塩害および中性化の劣化機構の違いによりひび割れ発生に至る際の腐食程度を把握することを目的とし、塩害および中性化による鉄筋腐食を模擬した乾湿繰返しによる腐食促進試験を実施した。腐食促進試験では、モルタル供試体の表面ひずみの経時変化と任意の時点での鉄筋の腐食減量、腐食面積率を求め、劣化機構の違いがモルタル表面のひずみ挙動に与える影響を整理した。

## 2. 実験概要

### 2.1 配合および供試体

モルタルの配合は、水セメント比が65%で砂セメント比が3.0とした。供試体形状は、60×60×80mmの角柱供試体とし、かぶり5、7.5、10mmとなるように鉄筋を

配置した。鉄筋は、径10mm、長さ90mmのみがき丸鋼で、粒度80番の研磨紙を用いて粗研磨し、アセトンにて表面の油分を除去した。なお、鉄筋の両端部から15mmずつの範囲はエポキシ樹脂にて被覆し、鉄筋の長さ方向で60mmの範囲が腐食するようにした。

### 2.2 養生条件

図1にモルタル供試体の水準と養生条件を示す。供試体は塩害と中性化を模擬した水準に分類し、養生終了後、塩害では10%NaCl水溶液に浸漬して初期の塩化物イオン浸透深さが概ね5mm、10mmおよび15mmとさせた。中性化では、二酸化炭素濃度5%、温度20℃、湿度60%RHの促進中性化環境で、中性化深さが概ね5mmもしくは7.5mmとなるまで曝露した。

### 2.3 腐食促進試験

腐食促進試験は、材齢91日以降から塩害で40℃、10%NaCl水溶液に3日間浸漬、その後20℃、60%RHの環境下で4日間乾燥させる乾湿繰返しを1サイクルとした。中性化では、40℃の水道水に3日間浸漬、4日間の乾燥とした。任意の腐食促進期間において鉄筋を採取し、腐食減量・腐食面積率を求めた。腐食面積率は、鉄筋表面上の腐食している部分を透明シートに写し取り、二値化画像処理にて面積を求めた。腐食減量は、60℃、10%クエン酸二アンモニウム水溶液に12時間程度浸漬させ、腐食生成物を除去した鉄筋重量を測定し、質量減少率を算出した。また、表面ひずみを求める供試体では、曝露面一面以外をエポキシ樹脂で被覆し、防水型ひずみゲージを供試体の曝露面中央部で鉄筋直角方向に配置し、鉄筋直上のモルタル表面ひずみの変化を連続的に計測した。

W/C (%)	水準			劣化機構	材齢(日)										
	かぶり (mm)	劣化深さ (mm)			1	7	14	28	35	49	63	91			
65	5, 10	0	Cl, C	標準養生	塩中養生										
65	5	5	Cl	標準養生	塩水浸漬	塩中養生									
65	5, 10	10	Cl	標準養生	塩水浸漬		塩中養生								
65	10	15	Cl	標準養生	塩水浸漬							塩中養生			
65	5	5	C	封緘養生	気中養生	促進中性化	気中養生								
65	7.5	7.5	C	封緘養生	気中養生	促進中性化						気中養生			

※記号：65-(かぶり)-(初期劣化深さ)-(Cl:塩害, C:中性化)

図1 モルタル供試体の水準と養生条件

3. 実験結果

3. 1 腐食面積率・腐食減量

図2に腐食面積率と質量減少率を示す。塩害における腐食促進期間65日の場合、65-5-10-Clにおいて、腐食面積率が41.1%、質量減少率が0.63%と最も腐食程度が大きくなり、鉄筋のかぶり側のみに腐食が確認された。腐食促進期間157日では、全ての供試体において腐食面積率が50%以上となり、供試体内部側の面まで腐食が進行していた。中性化では、鉄筋表面まで中性化させた65-5-5-C、65-7.5-7.5-Cにおいて、腐食促進期間171日で腐食面積率50%程度に達したが、中性化が進展していない65-5-0-Cでは腐食が確認されなかった。

次に、それらの腐食面積率と質量減少率の関係を図3に示す。図中には腐食面積に対する腐食減量割合の関係もあわせて示す。局所的に著しく腐食している範囲が大きい場合、腐食面積が同程度であっても腐食減量が大きくなり、腐食減量/腐食面積が大きくなる。腐食期間が進行し、腐食面積率が50%以上となると、かぶりおよび初期塩化物イオン浸透深さによらず、腐食減量/腐食面積が0.03g/cm<sup>2</sup>程度で、中性化においても同程度となった。

3. 2 表面ひずみ

図4にモルタル供試体表面のひずみ変化を示す。全ての条件において、表面ひずみは腐食促進開始直後に200~400×10<sup>-6</sup>程度の膨張挙動を示した。これは、腐食促進試験を開始する直前に、それぞれの条件で乾燥期間を設けていることから、水分の浸透および20℃から40℃への温度変化によるひずみ変化である。図中には、3日間浸漬後で乾燥に移行する時点でのひずみを示す。塩害では腐食促進期間50日程度以降から徐々に膨張傾向を示した。ここでの初期の膨潤によるひずみからの変化量が腐食膨張によるひずみ変化量と考える。ここで、質量減少率と腐食面積の関係から中性化を想定した65-5-5-C、65-7.5-7.5-Cでは、腐食がある程度、進行しているものと考えられるが、所要の腐食促進期間において腐食膨張によるひずみの変化が見られなかった。つまり、塩害および中性化の劣化機構の違いによる鉄筋腐食では、表面ひずみに与える影響が異なり、ひび割れ発生に至る過程やひび割れ発生時の腐食程度が異なると思われる。これは、腐食面積率と質量減少率が同程度であっても劣化機構によって腐食生成物の種類や割合に違いが生じ、体積膨張率が異なり、コンクリートに作用する応力が変化することが要因として推測されるが、今後、それらに着目した検討が必要であると思われる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) 塩害および中性化の劣化機構の違いによって、腐食膨張によるひずみ挙動は異なり、ひび割れ発生に至るまで

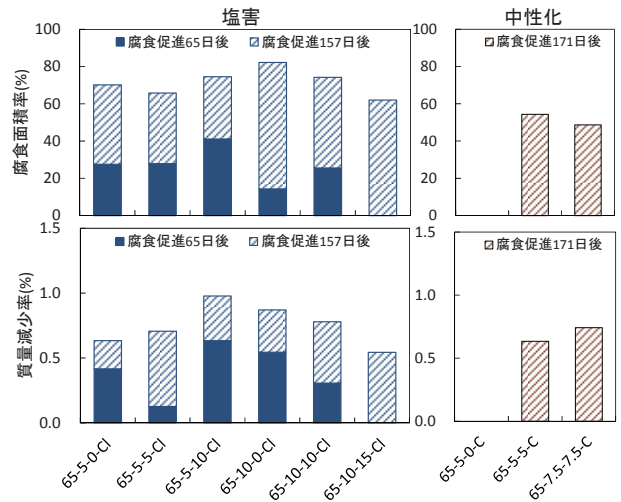


図2 腐食面積率と質量減少率

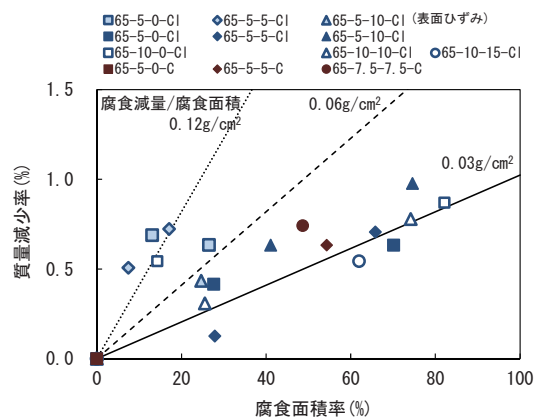


図3 腐食面積率と質量減少率の関係

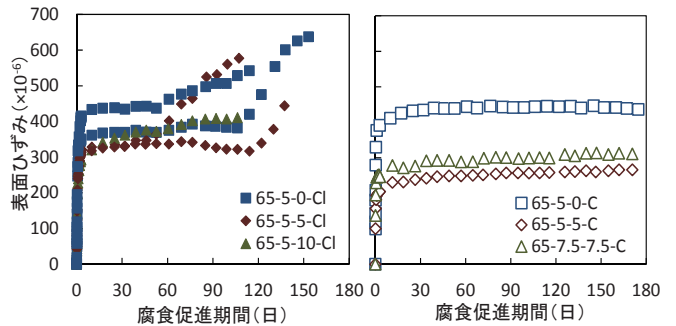


図4 モルタル供試体表面のひずみ変化

の過程やひび割れ発生時の腐食程度が異なると思われる。  
(2) 腐食面積率と質量減少率の関係において、塩害および中性化を想定したものは同程度の関係を示した。

【参考文献】

- 1) 松島学, 横田優, 関博: 鉄筋腐食膨張によるひび割れ発生時の腐食量, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.1669-1674, 2004.7
- 2) 高谷哲ほか: コンクリート中の鉄筋の腐食生成物の違いがひび割れ発生腐食量に与える影響, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.2, pp. 154-165, 2013.