

複合劣化作用を受ける RC 部材の鉄筋腐食に関する研究

早稲田大学大学院 学生会員 ○桑原 大亮

早稲田大学 学生会員 飯泉 興平

早稲田大学 学生会員 櫻田 朋浩

早稲田大学 フェロー 関 博

1. まえがき

近年、鉄筋コンクリート構造物の品質低下による、コンクリート片の落下、それに伴う事故の危険性が問題視されている。コンクリート標準示方書[維持管理編]には、構造物の要求性能として「構造物の一部(かぶりコンクリート片やタイル片)が落下することによって構造物下の人やものに危害を加える可能性(第三者影響度)について考慮されるもの」として「第三者影響度に関する性能」を挙げている。かぶりコンクリートの落下・剥落の直接的な原因は内部鉄筋の腐食であり、その主因であるのは塩害や中性化の複合劣化などであるとされているが、部材の材料性能が複合劣化によってどのように低下していくかは、定量的な研究が十分になされていないのが現状である。本研究では、塩害および中性化の複合劣化作用を受ける RC 構造物の第三者影響度に関する性能の低下に着眼し、その性能限界に定量的な判断を与えるための初期段階として、単独劣化と複合劣化、およびかぶりや塩化物量が腐食速度や腐食減量に与える影響について、実験的に調査した。また破壊力学に基づいた有限要素解析を行い、ひび割れ発生腐食量の推定を行った。対象 RC 部材は、塩害と中性化の複合劣化を受ける RC 部材を想定している。

2. 実験概要

実験供試体の概要図を図 1 に、また、供試体の種類と測定項目について表 1 に示す。パラメータはかぶりおよび塩化物量(対セメント重量)である。実験は複合劣化環境を模擬するため、供試体に塩化物(塩化ナトリウム)を添加しておき、まず「温度 40℃・湿度 50%・CO₂ 濃度 10%」の環境に暴露する「中性化促進試験」を行った。中性化促進は、中性化深さが埋設鉄筋の裏側に達するまで行い、その後、高温高湿状態(温度 40℃・湿度 95%)と低温低湿状態(温度 15℃・湿度 60%)をそれぞれ 1 週間ずつ繰り返す「腐食促進試験」を行った。腐食促進試験の期間中には、埋設鉄筋の腐食進行状態を確認するため、①腐食電流密度、②腐食減量の各測定を行った。各測定については腐食促進試験開始 0 週から原則 3 週ごとに行った。測定は供試体ごとに 3 体ずつ行い、その平均の値を代表させた。また、腐食促進 12 週において、鉄筋錆およびコンクリート付着錆の X 線回折を行い、生成錆の成分を調べた。

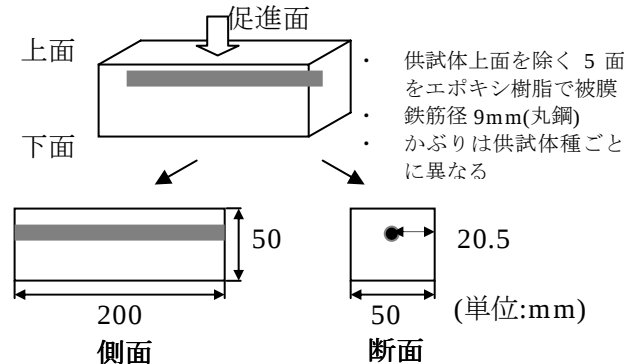


図 1 供試体概要図

表 1 供試体の種類と測定項目

かぶり	CI(対セメント重量)	中性化	測定項目
5mm	3%	あり	腐食電流密度・腐食減量・供試体表面でのひび割れの観察・錆のX線回折
10mm	1%	あり	
10mm	3%	あり	
10mm	5%	あり	
15mm	3%	あり	
10mm	0%	なし	
10mm	3%	なし	
10mm	0%	あり	
10mm	0%	あり	

注:下 3 種の供試体については、劣化因子を与えないもの、および単独劣化のものである。

3. 実験結果

腐食電流密度の測定結果を図 2 に示す。本図より単独劣化と比較して、複合劣化させた供試体の腐食速度が大きいことが確認できた。また、塩害単独劣化と中性化単独劣化を比較すると、塩害単独劣化の方が腐食速度が大きいことがわかった。さらに、腐食促進の初期においては、塩化物量が大きくなるにつれて、腐食速度が大きくなる傾向が見られ、かぶりが 10mm で塩化物量を変化さ

キーワード 複合劣化 腐食 腐食電流密度 腐食減量

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早大理工 51-16-09 早稲田大学理工学部関研究室 TEL 03-5286-3407

せたもので比較してみると、全体的に塩化物量が大きくなるにつれて、腐食電流密度が大きくなる傾向が見られた。これは、細孔溶液中に溶存する塩化物イオン量が鉄筋の不動態破壊の量に直接的に影響したことなどが原因と考えられる。また、初期における腐食速度が大きい供試体では、時間が経つにつれて腐食速度が小さくなっていく傾向にあった。これは腐食生成物の形成する錆層が、さらなる鉄の溶出を阻害し、腐食が抑制されていることに起因しているものと考えられる。また、かぶりを変化させた供試体種間での比較では、かぶりが腐食電流密度に与える影響について、顕著なものは見られなかった。続いて、単位面積当たりの腐食減量の経時変化を図3に示す。複合劣化させた供試体および塩害単独劣化させた供試体では、腐食促進期間の増大に伴い、腐食減量が増加している傾向が確認できた。また塩化物量が大きいほど腐食減量が大きくなることが確認できた。これについては前述した腐食電流密度の大きさの違いに対応している。減量の数値的比較では、単独劣化と複合劣化(塩化物は3%のもの)について、腐食促進9週においては、複合劣化は塩害単独劣化の約1.7倍の腐食減量を示し、中性化単独劣化と比べては約3.8倍の腐食減量を示した。全腐食促進期間を通じて、複合劣化の腐食減量は、塩害単独劣化の腐食減量と中性化単独劣化の腐食減量との和よりも大きい値となっているが、これは複合劣化コンクリートでは、中性化による塩化物イオンの遊離・濃縮が起こることなどによって腐食が加速することによって起きていると思われる。また、鉄筋錆およびコンクリート付着錆のX線回折を行った結果、複合劣化および塩害単独劣化では塩化物環境下で生成する特徴的錆である β -FeOOHが検出された。

4. 解析によるひび割れ発生腐食量の推定

ひび割れ発生腐食量を推定するために、コンクリートの破壊力学に基づいた2次元での有限要素解析を行った。解析方法は、鉄筋の腐食による膨張を、鉄筋の周囲に作用する強制変位として与えていく変位制御型の増分解析である。解析により判断されるひび割れ発生腐食量は表2の通りとなった。実験ではこの腐食量を上回っているにもかかわらずひび割れが確認できていないが、これは体積膨張した錆の一部が細孔溶液中に溶出し、膨張圧が解析より小さくなっていることなどの影響が考えられる。

5. まとめ

本研究の範囲内で明らかになった事は以下の通りである。(1)単独劣化と比較して、複合劣化させた供試体の腐食速度は大きい。(2)腐食促進の初期においては、塩化物量が大きくなるにつれて腐食速度が大きくなる。(3)初期の腐食速度が大きい供試体では、時間が経つにつれて腐食速度が小さくなる。(4)塩化物量の増加により腐食減量は増加する。(5)複合劣化の腐食減量は、塩害単独劣化と中性化単独劣化の腐食減量の和よりも大きい値となる。

なお、本研究は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(A))(1)、代表者 町田篤彦 埼玉大学教授)によって実施したものであることを付記する。

参考文献

- ・鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向(その2) 土木学会 2000年12月

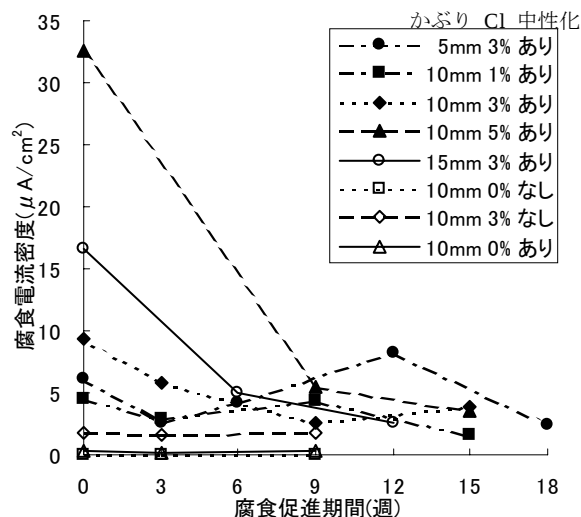


図2 腐食電流密度

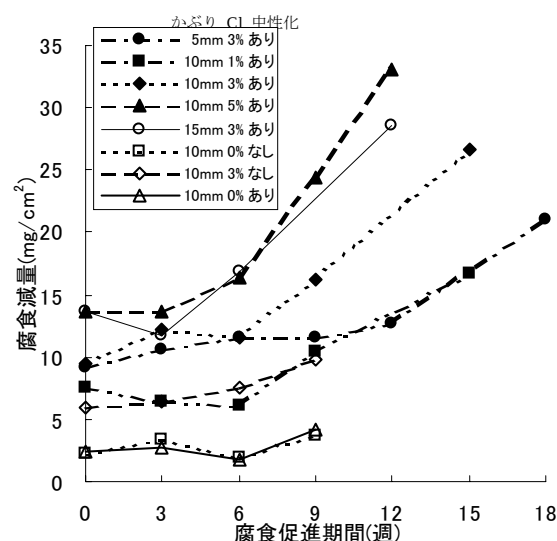


図3 腐食減量

表2 ひび割れ発生腐食量(解析値)

	ひび割れ発生腐食量
かぶり	mg/cm ²
5mm	6.67
10mm	6.48
15mm	8.44