

# 塩水降雨 - 乾燥の繰り返し下におけるひび割れた RC プリズムの鉄筋腐食に関する実験的検討

広島大学大学院 学生会員 頃安 研吾  
 広島大学大学院 学生会員 平田 浩一  
 広島大学大学院 正会員 石田 剛朗  
 広島大学大学院 フェロー会員 佐藤 良一

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は、供用中に曲げや乾燥収縮などによるひび割れが発生する。ひび割れはコンクリート内への水分、酸素及び塩化物等の劣化因子の移動を容易にし、鉄筋の腐食原因となることが知られている。しかし、環境、かぶり異なる場合のひび割れの影響は必ずしも明らかにされていない。

そこで本研究では、塩化物を含む降雨と乾燥の乾湿繰り返し環境を想定し、非貫通のひび割れを有する鉄筋コンクリート棒材の鉄筋腐食機構を実験的に検討した。腐食の機構は、ひび割れ部の電気抵抗測定による水分浸入とともに、既往の研究<sup>1)</sup>を参考にして、埋設した分割鉄筋の腐食電流密度の経時変化を直接測定することにより検討した。

## 2. 実験概要

本研究では、沿岸域にある連続鉄筋コンクリート舗装版を想定し、粗骨材の最大寸法 40mm、W/C41%のコンクリートを用いた。その配合を表 1 に示す。

養生条件は 1 週間湿潤養生を行い、続いて材齢 33 日まで気中養生した。材齢 33 日から 5 日間水中に浸漬し、後述の電気抵抗を測定した。環境暴露は材齢 41 日から開始した。環境条件は、温度 40℃ 下において NaCl を 3% 含む降雨環境(降雨量約 55mm/hr)に 24 時間、温度 40℃、湿度 60%の雰囲気にて 6 日間の暴露を 1 サイクルとする塩水降雨 - 乾燥繰り返し環境とした。

供試体の概要を図 1 に示す。供試体は 150×200×900mm、かぶり 90mm の角柱供試体とし、長手方向中央の断面に平均幅 0.32mm の貫通ひび割れを導入した。腐食電流を測定するために、D19SD345 異形鉄筋を分割<sup>1)</sup>し、ひび割れ部を中心とする 150mm の範囲に長さ 25mm の分割鉄筋要素を 5 個埋設した。またコンクリート中の水分移動状況を把握するために、ひび割れ部にステンレス電極を埋設し、電極間の電気抵抗を経時的に測定した。そしてシールの状況の異なる 2 体の供試体を図 2 に示す(以下、図 2 の上の供試体を供試体 A、下の供試体を供試体 B とする)。供試体 A は、塩分を含む降雨や融雪水がひび割れの生じた舗装版や RC 床版にたまる場合などを想定し、降雨時に供試体上面に約 10mm の高さの塩水が溜まるようにした供試体である。供試体 B は上面のみ暴露し、他の面はエポキシ樹脂で被覆した。これによりひび割れは非貫通となる。

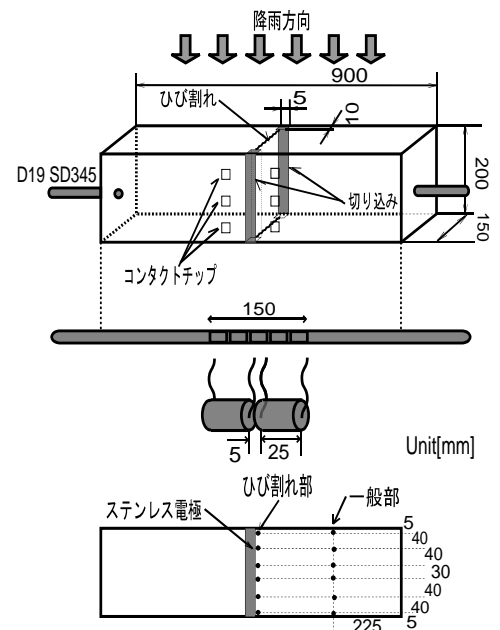


図 1 供試体概要

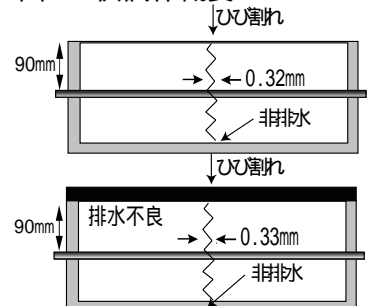


図 2 シールの状況

表 1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )								
		W	C	S		G			混和剤1 AE減水剤	混和剤2 遅延剤
				硬質砂岩	石灰石	G1505	G2015	G4020		
41	36	140	378	387	260	303	424	484	4.91	0.189

### 3. 実験結果および考察

図3に、一例として、供試体（かぶり90mm、平均ひび割れ幅0.32mm）の、1, 2および8, 9サイクルの期間における、ひび割れ部の上面からの各位置における抵抗係数の経時変化を示す。また、図4に同供試体の、ひび割れからの各位置の鉄筋要素に流れるマクロセル電流密度の経時変化を示す。ここで、抵抗係数とは電極間の電気抵抗を電極間の距離で除したもので、小さい値は湿潤状態にあることを意味する。

図3によれば、表面側25mmの位置では、降雨と乾燥の影響を敏感に受けるが、他の位置では大きな変化はみられない。また、下面側の位置ではサイクル増加に伴い抵抗が小さくなり、貯水される可能性が伺える。

図4によれば、1サイクル目で降雨とほぼ同時にマクロセル電流密度の値が急増し、その後比較的安定した値を示している。しかし、9サイクル目に急な増加がみられ、段階的に腐食進行が早まることを示唆している。この段階で明確な説明は困難であるので、計測を続け進行速度の検討を行いたい。

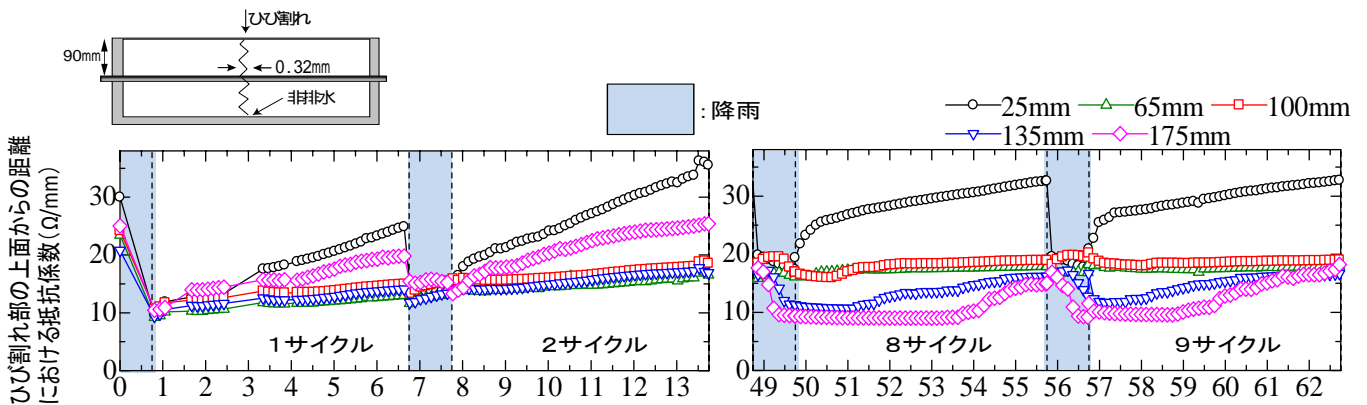


図3 コンクリート中の抵抗係数の経時変化

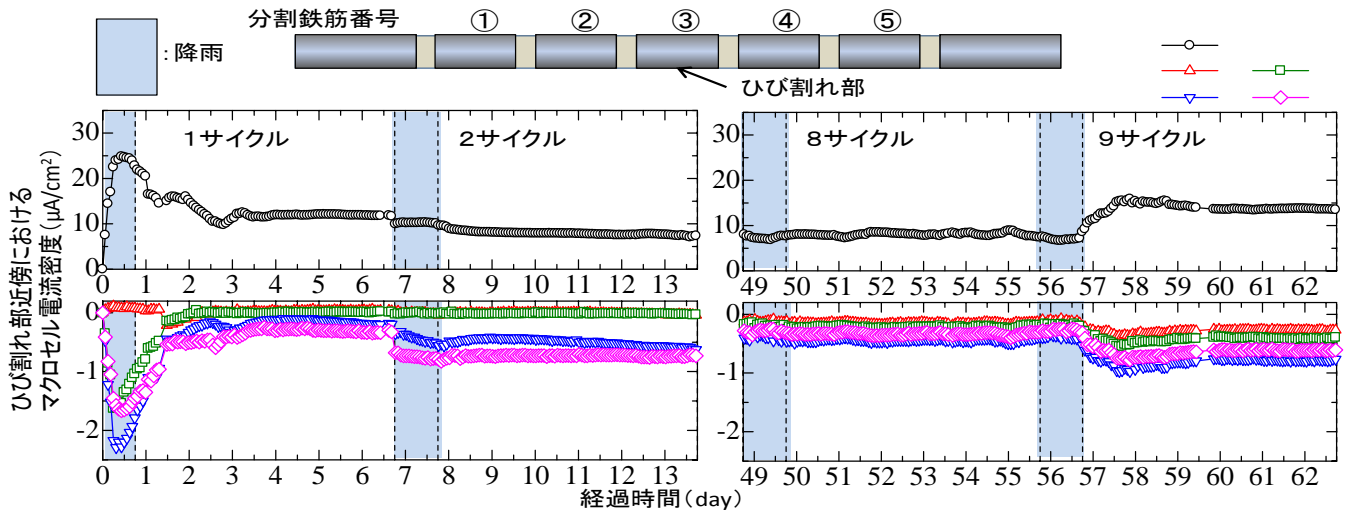


図4 マクロセル電流密度の経時変化

図5に、供試体（かぶり90mm、平均ひび割れ幅0.33mm）の、1, 2および8, 9サイクルの期間における、ひび割れ部の上面からの各位置における抵抗係数の経時変化を示す。また、図6に同供試体の、ひび割れからの各位置の鉄筋要素に流れるマクロセル電流密度の経時変化を示す。

図5によれば、図3の傾向と同様に、表面側25mmの位置では、降雨と乾燥の影響を敏感に受けている。また、上面に塩水が1.5日程度溜まることから、乾燥の開始が遅れている。8, 9サイクルにおいて、鉄筋位置で、降雨前後で抵抗がほぼ変化しなくなり、貯水されていると考えられる。

図6についてみると、1サイクル目で降雨とほぼ同時にマクロセル電流密度の値が急増している。マクロ

セル電流密度はその後、降雨後に減少し、上面の塩水が全て排水した後増加を繰り返しながら、サイクルを重ねるごとに徐々に増加していく。しかし、8,9サイクル目になると、降雨前後とも増減の傾向はみられなくなり、ある一定の値へ収束していることを示唆している。また、1,2サイクルではカソード側を示していた鉄筋要素が8,9サイクルでアノードを示している。

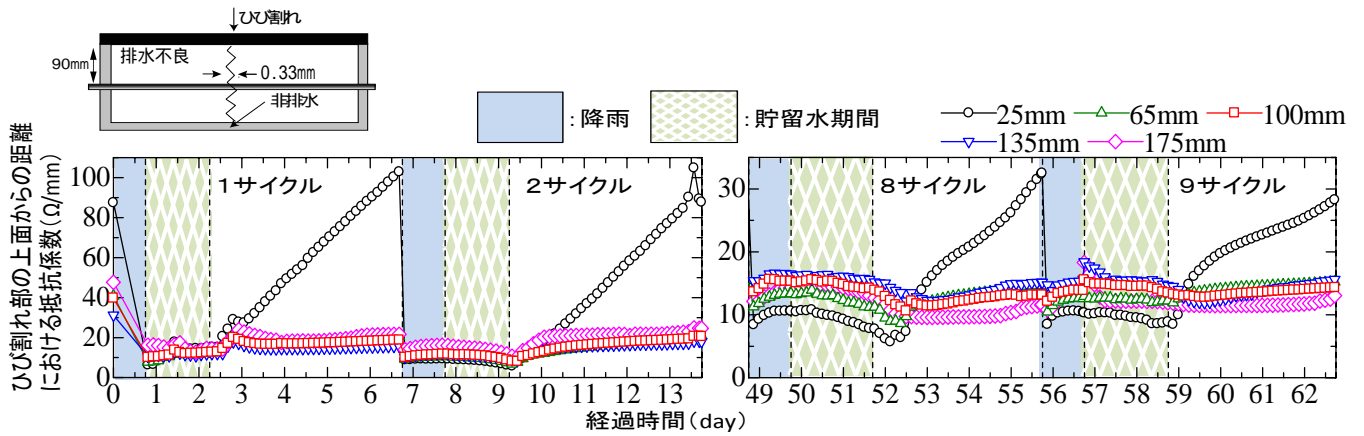


図5 コンクリート中の抵抗係数の経時変化

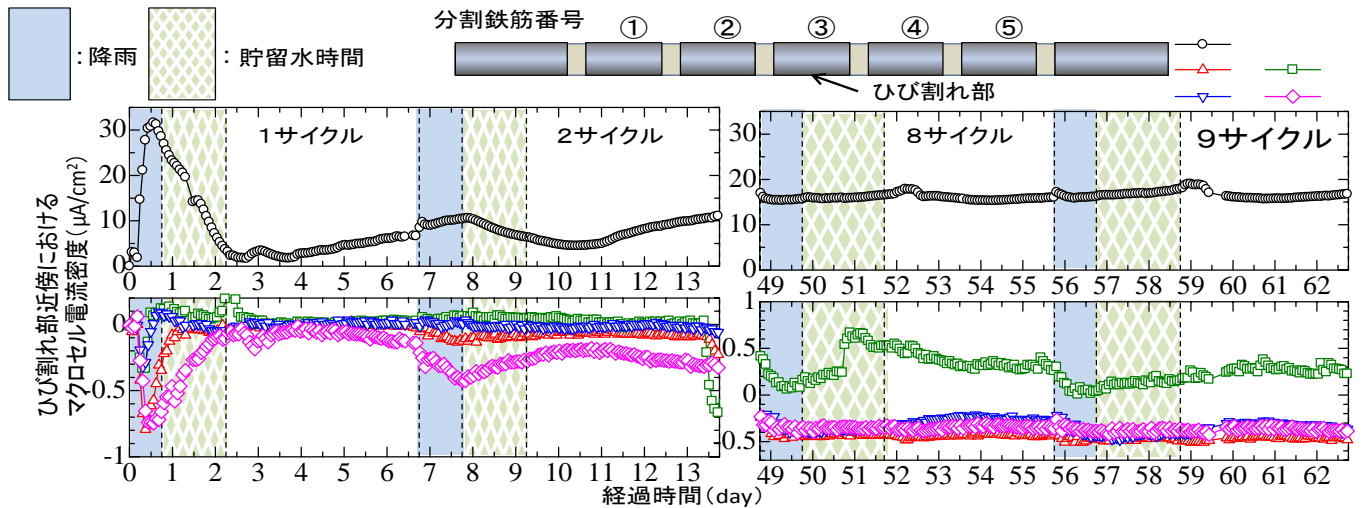


図6 マクロセル電流密度の経時変化

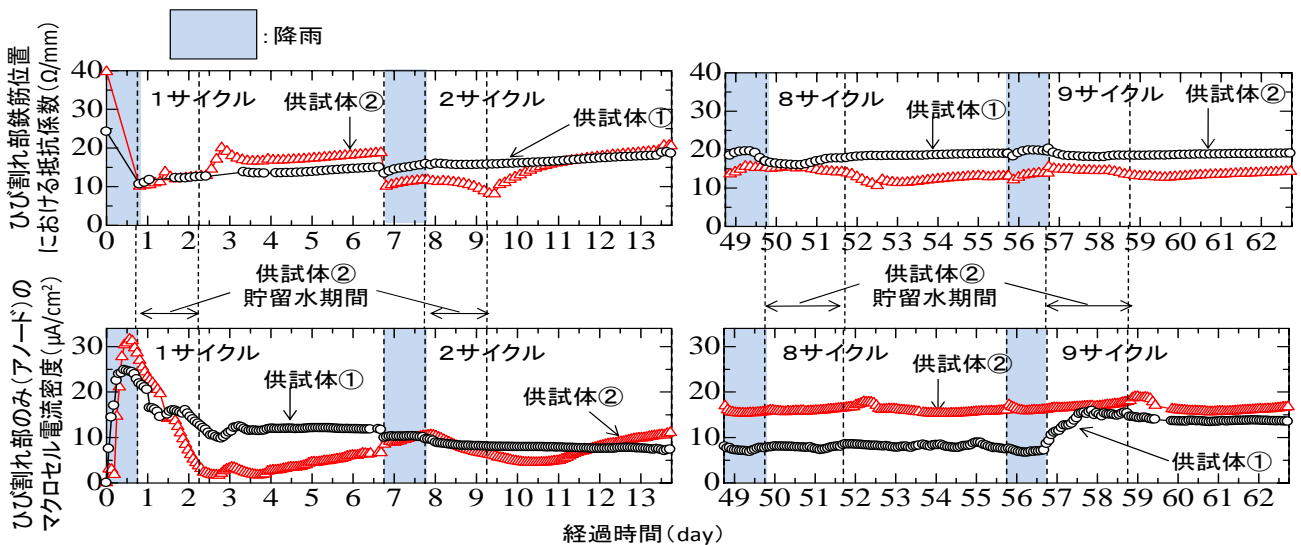


図7 供試体 と 供試体 の比較

図7に、1, 2 および 8, 9 サイクルの期間における供試体 と供試体 の、ひび割れ部鉄筋位置における抵抗係数の比較、およびひび割れ部の要素 の鉄筋（アノード域）のマクロセル電流密度の比較を示す。供試体の方が抵抗係数の値が低いとき、つまり供試体の方が湿潤しているとき、供試体の、供試体より大きくなっている。マクロセル電流密度の値は特に鉄筋位置での湿潤状態が大きく影響している可能性が伺える。

図8は、供試体 と供試体 の各鉄筋要素ごとの9サイクルまでの総腐食電気量密度を示したものである。腐食電気量密度は、暴露期間中に流れた腐食電流密度を時間積分することで求めた。マクロセルアノード電流密度を時間積分したものをマクロセル電気量密度、マクロセルカソード電流密度を時間積分したものをカソード電気量密度と呼ぶ。マクロセル電気量密度の値については、供試体、供試体、かつ全ての鉄筋要素で、ほぼ0という非常に小さいという結果であった。これは、コンクリートの水セメント比が0.41と小さく、さらに分割鉄筋を用いたために、ひび割れ近傍の微細ひび割れが生じていないことによる可能性がある。供試体、供試体とも、マクロセル電気量密度は、ひび割れ部の鉄筋要素のみにおいて卓越しているのがわかる。一方、カソード電気量密度の値はひび割れ部以外で卓越し、マクロセル腐食であることが認められる。

また、マクロセル電気量密度は同サイクルで供試体の方が大きく、腐食が進行していることがわかる。これは、供試体では上面に塩水が溜まり、ひび割れを通して、鉄筋への塩化物や水分などの腐食性因子の供給量が多くなるからと考えられる。

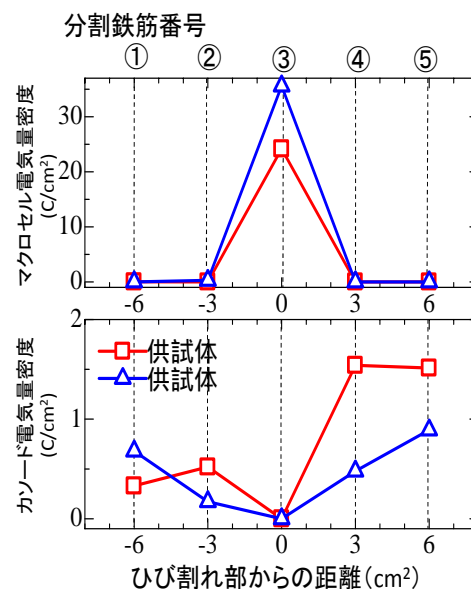


図8 総腐食電気量密度

#### 4. 結論

- (1) 本研究のサイクル範囲ではマクロセル卓越型腐食となった。
- (2) マクロセル電流密度の値は特に鉄筋位置での湿潤状態が大きく影響していると考えられる。
- (3) 本研究のサイクル範囲では、上面に塩水が溜まる供試体の方が、溜まらない供試体より、腐食が進行する。

#### 参考文献

- (1) 宮里心一ら：分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定方法の実験的・理論的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.2, 2001