

持続荷重下における RC 構造物の鉄筋腐食性状に関する研究

大成建設(株) 正会員 ○鈴木 三馨, 正会員 河村 圭亮, 正会員 福浦 尚之, フェロー会員 丸屋 剛

1. はじめに 著者らはこれまでに RC 構造物中の塩害による劣化機構をシミュレートするため、鉄筋腐食に関する構造解析と耐久性解析との連成解析システムを構築してきた¹⁾。本システムの適用範囲を拡大するためには様々な環境条件や外力条件での鉄筋腐食性状について明確にする必要がある。しかし、実構造物の使用状態を想定して、持続荷重が作用し、初期ひび割れが生じた条件下での鉄筋腐食に伴う RC 構造物の劣化機構について、実情に即して長期的に検討された研究事例は数少ない²⁾。そこで、本研究では RC 梁試験体を用いた持続荷重下における乾湿繰返し腐食促進劣化試験を行い、鉄筋の腐食性状について明らかにした。

2. 実験概要 実験には図-1 に示す長さ 4,200mm の RC 梁試験体を用いた。断面は幅 300mm×高さ 200mm で、主鉄筋はかぶり 20mm で異形鉄筋 D16 が 3 本、せん断補強鉄筋は異形鉄筋 D6 が 100mm ピッチで配置されている。試験体に用いたコンクリートの W/C は 55% であり、材齢 28 日における圧縮強度は 36.3N/mm² であった。

材齢 75 日で各試験体に降伏荷重 (41kN) の約 50% の持続荷重 (21kN) を載荷し、初期ひび割れ (曲げひび割れ) を導入した。材齢 81 日で図-1 に示す試験体下面中央の塩水噴霧区間に 3% 塩化ナトリウム水溶液を噴霧し、以降、塩水噴霧 1 日、乾燥 13 日を 1 サイクルとして、261 日間乾湿繰返し実験を行った。乾湿繰返し終了後の試験体底面におけるひび割れ状況は図-2 に示す通りであり、ひび割れ幅は、曲げひび割れは最大 0.15mm、腐食ひび割れは最大 0.25mm であった。

その後、図-1 に示す A~E の 5 ヶ所で試験体を切断し、各区間から主鉄筋 3 本 (600mm×計 12 本) をはつり出し、腐食量および腐食分布の測定を行った。はつり出した鉄筋は、JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準拠するように、60℃ の 10% クエン酸二アンモニウム溶液に 7.5 時間浸漬して腐食生成物を除去した。その後、鉄筋の質量と長さを測定し、同一鉄筋の腐食が生じていない部分で測定した単位長さ当たりの質量を基準として、各鉄筋の質量減少量を測定し、単位表面積当たりの腐食量を算定した。

また、写真-1 に示す装置を用いて断面形状の測定を行った。各測定断面を 36 分割し、レーザー変位計を用いて鉄筋を 10 度ごとに回転させながら半径方向の距離を測定した。測定断面はふしのない箇所、鉄筋の軸方向に約 20mm 間隔とした。測定結果より得られた断面積を残存断面積とし、腐食が生じていない断面での測定結果との差から、単位表面積当たりの腐食量に換算した。

3. 鉄筋の腐食状況 区間 C-D からはつり出した主鉄筋のかぶり側および内側 (かぶり側の反対) の腐食状況を写真-2 に示す。写真中のスケールは位置 C からの距離に対応し、黄線は鉄筋表面で腐食生成物の付着が確認できた区間を示す。

最初に腐食ひび割れが発生し、乾湿繰返し終了時点で鉄筋

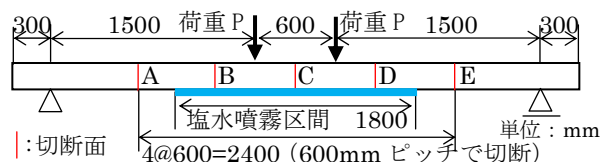


図-1 RC 梁試験体概要

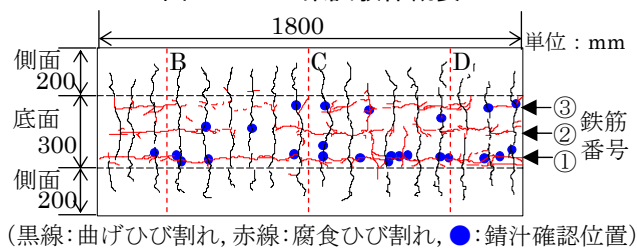


図-2 底面のひび割れ状況

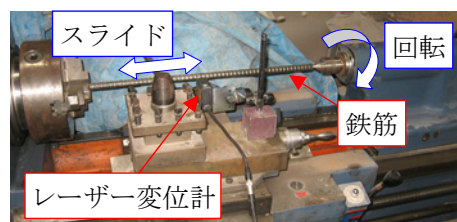
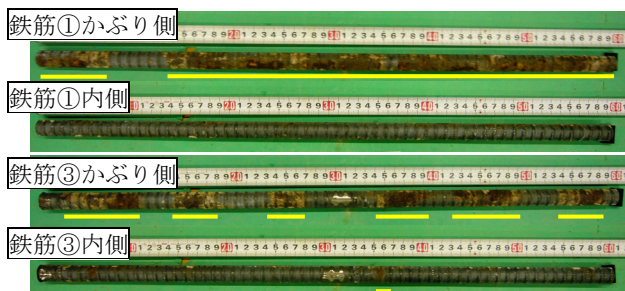


写真-1 断面形状の測定装置



黄線: 腐食生成物の付着が確認できた区間
写真-2 主鉄筋の腐食状況 (区間 C-D)

キーワード 塩害, 鉄筋腐食, 腐食分布, 持続荷重

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7230

に沿って全体に軸方向の腐食ひび割れが生じていた①の鉄筋は、かぶり側表面を見ると全体に腐食生成物が付着していた。これは、腐食ひび割れから腐食因子となる物質が浸透し易くなり、全体的に腐食の進行が加速したことが考えられる。

一方、軸方向の腐食ひび割れが発生したものの、全体には生じていなかった③の鉄筋は、かぶり側表面を見ると約 100mm ピッチの等間隔に腐食生成物が付着していた。この位置は曲げひび割れ発生位置と対応しており、せん断補強鉄筋が配置されている位置とも対応する。よって、初期ひび割れが生じている条件下では、その発生位置から腐食が進行していくことが分かる。鉄筋の内側表面については、いずれの鉄筋もほとんど腐食生成物の付着は見られなかった。従って、本実験の腐食レベルでは、かぶり側のみに腐食が集中しており、内側ではほとんど腐食が生じていないと言える。

4. 鉄筋の腐食量 各鉄筋の質量減少量および残存断面積から算出した 600mm 区間での平均腐食量を表-1 に示す。質量減少量から算出した腐食量は、最も腐食が進行していた鉄筋①中央部での腐食量は約 20～30mg/cm² であった。一方、乾湿繰返し終了時に腐食ひび割れがかぶり表面で観察された区間と観察されなかった区間が混在する鉄筋②や③の腐食量は約 10～15mg/cm² であることから、質量減少量の測定結果より、ひび割れ発生限界腐食量は約 10～15mg/cm² 以下であると考えられる。一方、残存断面積から算出した腐食量は、約 5～60mg/cm² であり、測定方法による誤差が生じることや、約 20mm ピッチで測定した値の平均値として算出していることより、質量減少量から算出した腐食量と必ずしも同等の結果を得ることはできなかった。

5. 鉄筋の腐食分布 質量減少量から算定した腐食量と比較的近い値が得られたケースとして、区間 C・D からはつり出した主鉄筋の内、鉄筋①の腐食分布を図-3 に示す。これはかぶり側が全体的に腐食している部分であり、質量減少量から算定した腐食量 29.5mg/cm² に対して、残存断面積から算出した平均腐食量は 30.1mg/cm² であった。

腐食分布を見ると全体的に腐食しているが、図中に丸印で示すように、局所的に腐食量が大きく、平均腐食量の 2 倍程度以上の腐食量になっている箇所が複数見られる。これは約 100mm ピッチでほぼ等間隔になっており、曲げひび割れが生じていた位置と概ね対応している。よって、初期ひび割れ発生位置において腐食が局所的に進行するマクロセル腐食が生じたものと考えられる。なお、腐食量分布で全体的に傾きが生じ、端部で腐食量が負の値となっているのは、測定装置に鉄筋を取り付けた際にわずかに傾きが生じていた影響であると思われる。

局所的に腐食が進行していた箇所の内、図-3 中に青丸で示す位置の鉄筋の断面形状を図-4 に示す。図中には同じ鉄筋の腐食が生じていない部分で測定した断面形状を併せて示す。両者を比較すると、腐食部ではかぶり側で局所的に断面欠損が生じている。実際の鉄筋の該当部分でも断面が欠損していることを確認した。測定結果より、この位置では 0.6mm 断面が欠損していた。

6. まとめ 本研究では、持続荷重下における乾湿繰返し腐食促進劣化試験を行った RC 梁試験体からはつり出した鉄筋の腐食量および腐食分布の測定を行った。初期ひび割れ発生位置では、鉄筋表面への腐食生成物の付着量が多く、残存断面積から算出した腐食量分布より局所的に平均腐食量の 2 倍程度以上の腐食量となっており、マクロセル腐食が生じたものと考えられる。また、かぶり側で局所的に断面欠損が生じることが明らかになった。

参考文献 1)鈴木三馨 他：ひび割れ発生限界腐食量と腐食生成物の膨張率の定量化に基づく耐久・構造連成解析システムの高精度化，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.773-778，2010. 2)Phetkaysone Anongdeth 他：持続荷重下で腐食進行する RC はり部材の長期構造挙動の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.755-760，2010.

表-1 鉄筋の腐食量 (単位: mg/cm²)

区間	質量減少量から算出			残存断面積から算出		
	鉄筋①	鉄筋②	鉄筋③	鉄筋①	鉄筋②	鉄筋③
A-B	17.8	11.7	8.8	8.6	5.2	4.8
B-C	22.5	9.3	10.4	53.0	19.6	44.4
C-D	29.5	15.7	13.9	30.1	16.6	50.3
D-E	15.0	11.9	13.8	43.6	61.1	40.2

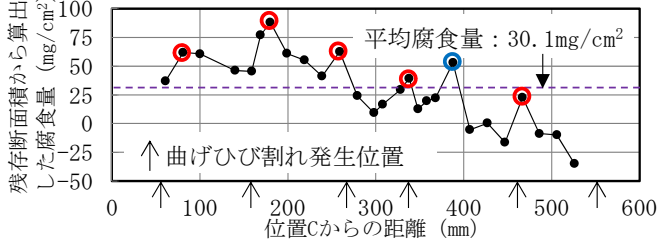


図-3 鉄筋の腐食分布 (区間 C-D, 鉄筋①)

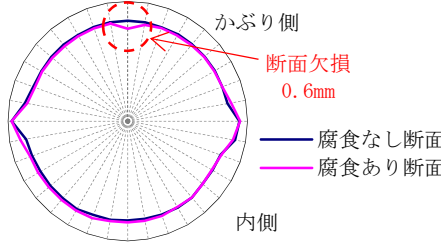


図-4 鉄筋の断面形状