

## 腐食した鉄筋の疲労特性

東海旅客鉄道(株) 正会員 ○久保淳一郎  
 ジェイアール東海コンサルタンツ(株) 正会員 稲熊 唯史  
 東海旅客鉄道(株) 正会員 長谷川昌明  
 正会員 竹上 浩史  
 フェロー 関 雅樹

### 1. 目的及び概要

鉄筋が腐食した鉄筋コンクリート部材の力学的性能についての考察は、これまで実験的あるいは解析的に様々な形で報告され、鉄筋の腐食量と部材性能の関係について比較的多くの知見が報告されている。しかし、腐食した鉄筋の疲労特性についての検討は鉄筋を腐食させたRC梁の曲げ疲労試験によって検討した結果が既往の文献<sup>1)</sup>によってされているが、その知見は十分であるとは考えられない。一方鉄筋の腐食量評価の手法については、現在一般的に行われている鉄筋の腐食生成物の重量を評価する試験法が JCI-SC1 法<sup>1)</sup>として提案されている。これに対して、腐食生成物を除去した鉄筋の表面形状を直接的に計測して断面積を評価する方法が既往の研究<sup>2)</sup>で示されており、腐食状態のより厳密な評価が可能であると考えられる。そこで、本研究では電食により腐食させた鉄筋の腐食量を従来の重量評価と3次元スキャナを利用した形状計測で評価し、さらにそれらの鉄筋を引張及び疲労試験を実施して腐食した鉄筋の疲労特性を評価した。



写真-1 電食終了後の鉄筋コンクリート試験体

### 2. 腐食量評価及び引張試験結果

電食により腐食促進させた鉄筋は、長さ 1000mm の SD345D16 鉄筋 2 本を幅 100、高さ 100、長さ 700mm のコンクリートに埋め込み、NaCl3%濃度の食塩水中で積算電流 192A・h 通電した。通電終了後コンクリートを破砕して採取した。コンクリート試験体は 10 体製作し腐食鉄筋は 20 本製作した。電食終了後のコンクリート試験体を写真-1 に示す。

鉄筋の腐食量評価の方法は JCI-SC1 法による重量評価と、3次元レーザースキャナにより腐食生成物除去後の鉄筋表面形状を直接計測したデータから鉄筋断面積を解析する方法の2種類で行った。鉄筋腐食量の計測結果を図-1 に示す。形状計測した鉄筋断面積の平均値と JCI-SC1 法により重量評価した結果はよく相関しており、形状評価において腐食後の最小断面積を特定した結果はそれら平均腐食量に対して 5~8%大きくなっている。また、腐食量として約 4%と 22%の鉄筋に関しては、これらが同一コンクリート試験体で電食されたものであり、腐食割裂ひび割れの発生状況により通電量に偏りが生じた結果であると考えられ、平均した腐食量は他の鉄筋の腐食量と一致する。

引張試験結果を図-2 に示す。結果は最大荷重を公称断面積及び形状計測で評価した最小断面積で除して引張強度としている。公称断面積を適用した引張強度は重量評価の腐食減少率が増加に伴い減少しているが、形状評価による最小断面積を適用した場合は腐食減少率に関係なく材料固有の引張強度を表していると考えられる。また、引張試験に供した試験体の腐食減少率は重量評価で約 14%であったことに対して、引張荷重は腐食していない基準鉄筋に対して約 18%の減少であった。

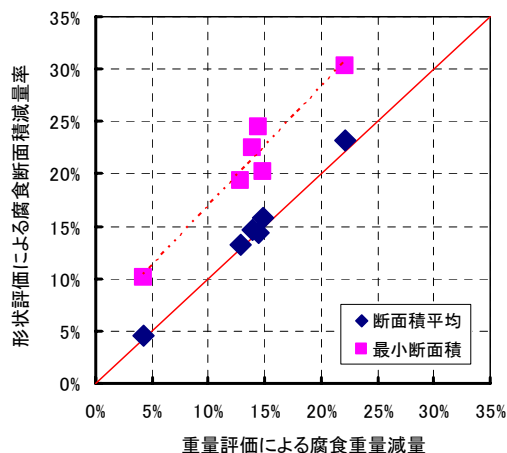


図-1 鉄筋腐食量

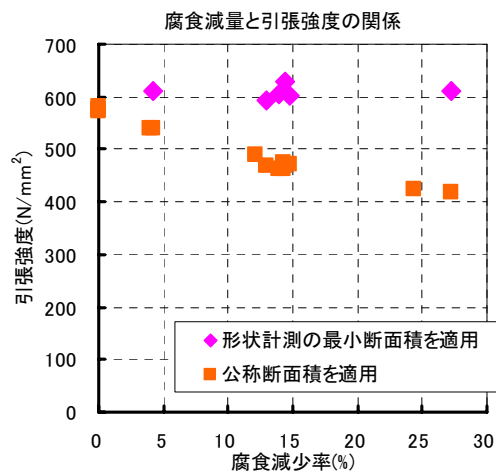


図-2 鉄筋引張試験結果

キーワード 腐食評価, 電食, 引張強度, 疲労

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 東海旅客鉄道(株) TEL 0568-47-5374

### 3. 疲労試験結果

鉄筋の疲労試験は下限応力を最大応力の1/10と $10^7$ 回を上限値として繰り返しを行った。途中チャック部で破断した場合は定チャック部を移動して再開し、載荷速度は試験体に発熱が生じないことを確認し5~15Hzで実施した。腐食していない基準試験体5体と電食させた10体の試験結果をS-N線図として図-3に示す。腐食した鉄筋の結果については上限応力として公称断面積を適用して換算した値と形状計測による最小断面積によって換算した応力を示している。腐食した鉄筋の疲労特性は健全な基準鉄筋に対して低下しており、 $10^7$ 回疲労限では基準鉄筋の応力振幅225MPaに対して腐食した鉄筋は117MPaで48%の低下であり、静的な引張試験結果の18%の低下に対して疲労による低下が著しいと判断される。また、応力への換算として形状計測による最小断面積を適用した場合、引張試験においては最小断面積を考慮することで腐食の影響を除いて評価できたが、疲労特性では腐食した鉄筋の応力振幅は最小断面積で除しても139MPaで基準鉄筋に対して38%の低下となった。

腐食鉄筋における破断部の状況を写真-2に示す。疲労亀裂の進展は基準鉄筋では表層のヘゲ疵が、腐食鉄筋では腐食ピットを起点として発生しており疲労特性において孔食の影響が大きいことが予想される。一般的に図-4に示すように切欠き半径 $\rho$ 、切欠き深さ $t$ とすると、遠方応力を受ける場合の応力集中係数 $K_t$ は(1)式により表される。破断した鉄筋の断面観察により起点となったピット形状を計測した結果、切欠き半径 $\rho$ については基準鉄筋と腐食鉄筋に大きな差はなく約0.8mmであった。これに対して切欠き深さ $t$ は基準鉄筋が平均0.3mmに対して腐食鉄筋では1.1mmで応力集中係数として約1.9倍となっていたことが考えられる。

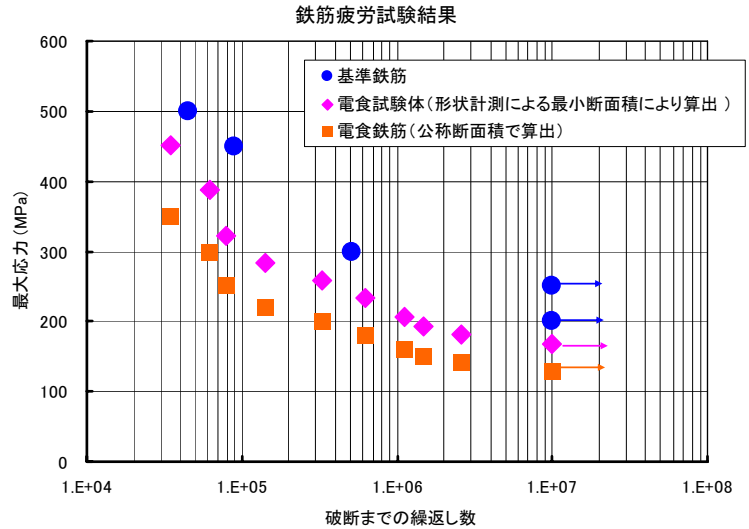


図-3 鉄筋疲労試験結果

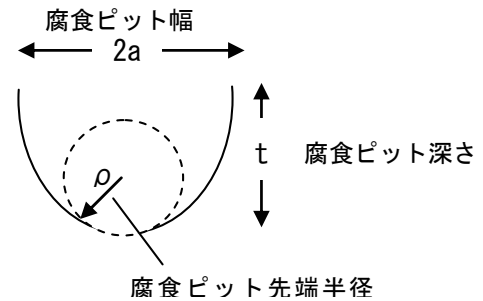


図-4 腐食ピットの計測

$$K_t = 1 + 2\sqrt{\frac{t}{\rho}} \quad (1)$$



写真-2 腐食鉄筋破断部(左, 中; 腐食ピット 右; 腐食ピットからの疲労亀裂起点)

### 4. まとめ

- 腐食した鉄筋の静的な引張特性は、鉄筋腐食量を形状計測により最小の断面積で評価した場合、鉄筋の引張荷重を精度良く評価できるが、疲労特性は腐食による断面積減少を考慮した以上に性能が低下する。
- 腐食した鉄筋の疲労は孔食ピットが疲労亀裂の起点となっており、鉄筋腐食によりピット深さが大きくなることが断面積の低下よりも疲労に対して影響を与えていると考えられる。

### 参考文献

- (社)日本コンクリート工学協会:コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案). 1987
- 西脇, 大屋戸, 長谷川, 長岡:鉄筋の腐食したRC梁の疲労性状 コンクリート工学年次論文集 Vol. 24 No. 1, 783-788 2002