

## 鉄筋腐食が進行する RC はりの疲労特性に関する実験的検討

独立行政法人 港湾空港技術研究所 正会員 ○岡崎 慎一郎  
 正会員 加藤 絵万  
 正会員 川端 雄一郎

### 1. 本研究の目的

海洋環境にある RC 構造物は、供用中に鉄筋腐食による損傷を受けつつ、同時に、活荷重による疲労損傷を受けるため、劣化予測においては両者を勘案しなくてはならない。これまで、電食等によって腐食させた RC はりの疲労実験<sup>1)~3)</sup>は多く行われているが、RC 部材中で鉄筋腐食が進行しているときの疲労現象を検討した例は少ない<sup>4)</sup>。本研究はこれに焦点を当て、鉄筋腐食が進行している RC はりの疲労特性の実験とモデルに関して検討を行うものである。

### 2. 実験概要

本研究では腐食促進のため、部分電食を採用した。電食では一般に、試験体を塩水に浸漬させる必要があるが、その場合には水中疲労試験となり実際のはり部材の供用状態とは大きく異なる。そこで、本研究では図-1 に示すように多孔質スポンジにより等曲げ区間を覆い、試験体下面のスポンジから海水を毛管吸収によって載荷面以外の等曲げ区間に、部分的に海水を供給するシステムを構築した。電食は、試験体下面とスポンジとの間に挿入したステンレス板と、試験体中からリード線により接続された鉄筋を、ポテンショスタットを介して接続し、所定の電圧を作用させて実施した。試験体の寸法を図-2 に示す。コンクリートの水セメント比は 56.5%、鉄筋は SD345 の D10(降伏強度：398N/m<sup>2</sup>、破断強度：598N/m<sup>2</sup>)を使用している。疲労試験においては、載荷周波数を 1.0(1/sec)、荷重を 7kN、8kN、10.5kN とし、それぞれ電食のための設定電圧を 20V、50V、80V とした。

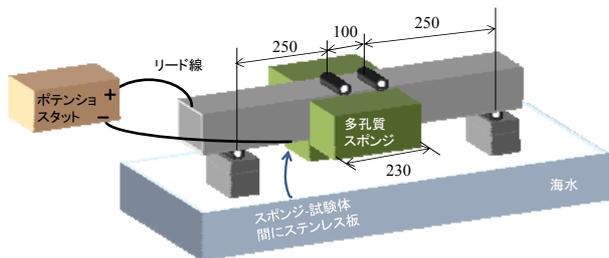


図-1 本研究で採用した試験システム

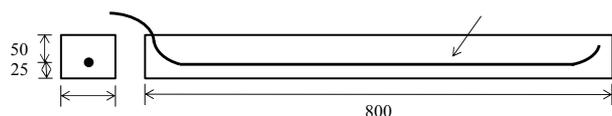


図-2 試験体の寸法

### 3. 実験結果

実験結果を図-3 に示す。なお縦軸は、鉄筋の公称断面積によって算出した見かけの鉄筋応力度である。電圧値が大きくなるほど、破壊に要する載荷回数は減少しており、鉄筋の腐食が疲労強度を低下させている。また、電食を行わない場合、載荷回数を対数としたグラフ上で載荷回数と鉄筋応力度の関係は直線傾向にあるが、電食を行った場合では、同じ条件下では直線関係は概ね認められず、上に凸の曲線を描き、従来の疲労試験とは異なった傾向を呈した。本試験では載荷中に腐食が進行し、載荷荷重が低くなると電食時間および鉄筋腐食量が増加している。これにより鉄筋断面が減少して正味の鉄筋応力度が増加したため、時間の経過とともに疲労強度の減少が顕著になった影響が曲線の形状に現れたと考えられる。

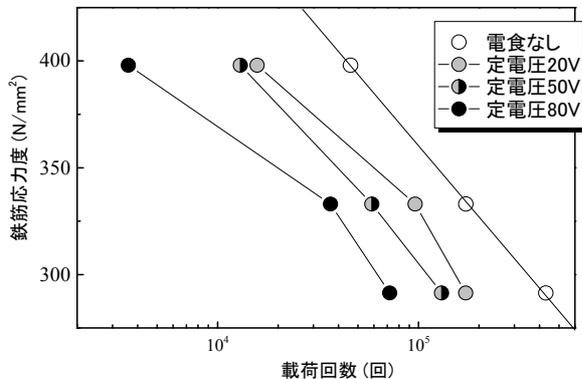


図-3 疲労試験結果

### 4. 累積電流量と載荷回数

図-4 に載荷回数と累積電流量の関係を示す。本実験条件においては、累積電流量の推移は疲労損傷には依らず、

キーワード 疲労, 鉄筋腐食, 線形累積損傷則

連絡先 〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所 TEL 046-844-5059

通電時間にのみ依存している。また横軸が対数であるため下に凸の曲線に見えるが、載荷回数と累積電流量は比例関係にあった。

**5. 鉄筋の腐食減量**

疲労破壊後に試験体より取り出した鉄筋の腐食減量を JCI-SC1 に準じて測定した。累積電流量と腐食減量の関係を図-5 示す。従来の知見通り、これらは概ね比例関係にある。この結果により、4. で議論した内容は、腐食減量の推移が通電時間のみに依存し、疲労による損傷にはほとんど影響されないということに言い換えられる。本実験条件の範囲内においては、通電時間にのみ依存した鉄筋腐食による、鉄筋の応力増加が、鉄筋腐食の進行する RC 部材の疲労寿命減少の主たる要因としてよいと考えられる。

**6. 鉄筋腐食の進行を考慮した RC はりの線形累積損傷則**

疲労寿命の予測には式(1)の線形累積損傷則がよく利用される。また、この法則は式(2)の S-N 線を前提とする場合が多い。本研究もこれに倣い、腐食進行を考慮した線形累積損傷則を構築する。ここに  $D$  は累積損傷度、 $n$  は荷重の載荷繰り返し回数、 $N$  は疲労寿命、 $S$  は鉄筋応力度、 $a$ 、 $b$  は腐食していない場合での S-N 線に関する定数である。ここで、腐食による鉄筋応力度の増加について検討する。これまでの議論により、鋼材の腐食進行は繰返し荷重による疲労履歴には影響を受けないことが判明している。したがって、腐食の進行による鉄筋応力の増加は、載荷回数に比例する腐食量を、断面積減少として分母に反映した式(3)で表現としてよいと考えられる。ここに、 $A_0$  は腐食していない鉄筋の断面積、 $S_0$  は鉄筋の公称断面積で算出する鉄筋応力度、 $\alpha$  は腐食による鉄筋の断面積減少を表現する定数、 $S$  は正味の鉄筋応力度である。

式(2)に、式(1),(3)を代入し、 $D=1$  とした場合の  $n$  が、RC 部材の疲労寿命となり、式(4)の関係を満たしている。ここで式(4)は  $n$  に対して陰伏的な式であるため、繰返し計算によって  $n$  を算出した。

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} \quad (1) \quad S = a \log_{10} N + b \quad (2) \quad S = \frac{A_0}{A_0(1-\alpha n)} S_0 = \frac{S_0}{1-\alpha n} \quad (3) \quad \frac{S_0}{1-\alpha n} = a \log_{10} n + b \quad (4)$$

$\alpha$  が S-N 線に与える影響を検討するため、感度解析を実施した。その結果を図-6 に示す。 $\alpha$  が比較的小さい場合、解析結果には腐食の効果は現れず、また  $\alpha$  の増加に伴って、上に凸の曲線性状を呈することが確認できる。また、 $\alpha$  を増加させることによって、それぞれのみかけの鉄筋応力度に対する、疲労寿命の低下が再現できており、腐食を進行させた場合の実験結果の傾向と定性的には一致するものである。しかしながら、実験値のような緩やかな曲線の傾向を再現できていないことから、今後モデルの修正をしつつ、さらに載荷荷重の小さい場合の検討を加えることで、提案モデルの妥当性の検証を行いたい。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 23360189・材料間の界面特性に着目した RC 構造物の耐久性と構造性能の統一的評価手法の開発(研究代表者：加藤佳孝 東京理科大学准教授)の助成を受けた。

**参考文献**

1)久保ほか、腐食した鉄筋の疲労特性、第 63 回 JSCE 年次概要集、pp225-226、2)大屋戸ほか、電食により鉄筋を腐食させた鉄筋コンクリート梁の疲労性状、第 56 回 JSCE 年次概要集、pp638-639、3)西脇ほか、鉄筋が腐食した RC 梁の疲労性状、JCI 年次論文集、Vol.24, No.1, pp.783-785、4)Luca Giordano et.al., Study of the interaction between loading and rebar corrosion in R.C. ties, *Modelling of Corroding Concrete Structures*, RILEM Bookseries 5, pp.1-14

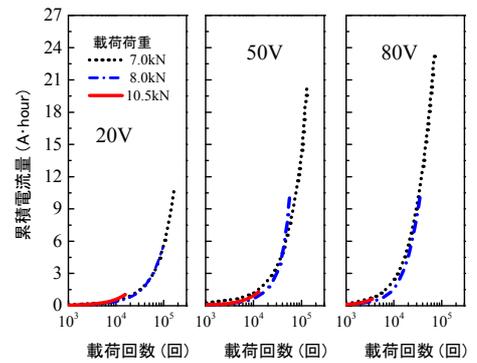


図-4 載荷回数と累積電流量の関係

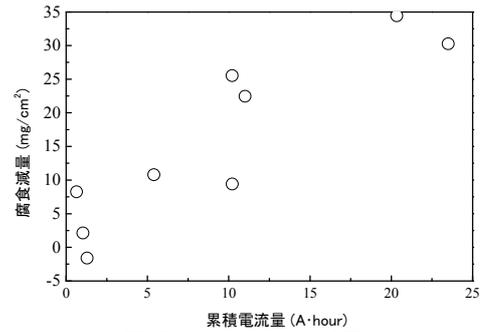


図-5 鉄筋の腐食減量

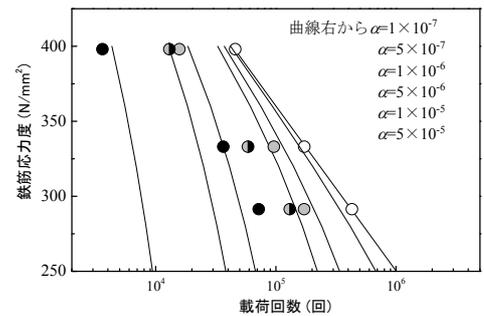


図-6 腐食を考慮した疲労モデル計算結果