

鉄筋腐食分布の推定に基づく腐食 RC はりの曲げ耐荷力評価に関する研究

京都大学 学生会員○藤澤 真海 京都大学 正会員 高谷 哲  
 京都大学 正会員 山本 貴士 京都大学 フェロー 宮川 豊章

1. はじめに

本研究では、塩害を受ける実構造物での限られた数量の腐食鉄筋測定データをもとに、腐食鉄筋断面積の特性値の推定手法が、耐荷力評価に与える影響を明らかにすることを目的として、RC はり供試体の腐食分布ならびに載荷実験データを用いて、空間補間法による腐食分布推定手法の適用性を検討した。

2. 実験概要および推定手法概要

腐食分布推定および耐荷力評価の対象とする供試体の形状・寸法を図1に示す。幅×高さ(有効高さ)×全長(スパン長) = 100 × 200(175 および 172) × 1600(1400)mm の引張主筋が 2-D10 および 2-D16 の RC はりとし、電食によって質量減少率を制御した。加えて、図2に示す既往研究<sup>1)</sup>の供試体(電食および塩水散布暴露)も対象とした。いずれも載荷終了後に鉄筋をはつり出し、質量減少率および鉄筋径を測定した。鉄筋径はノギスを用いて、図1の供試体では異形棒鋼の腹ごとに、図2の供試体では軸方向 50mm 間隔で測定した。

3. 腐食鉄筋径分布の推定手法

測定した鉄筋径プロファイルから抽出した数断面(以下、測定点。実点検での調査位置数点に相当。)の鉄筋径測定値を用いた鉄筋径分布推定手法として、通常型クリギングによる補間<sup>2)</sup>を検討した。まず、式(1)のバリオグラムを全測定点についてプロット

し、理論バリオグラムのパラメータ ( $a$ : レンジ,  $b$ : シル) を設定した。なお、レンジは共分散関数が 0 となるまでの距離であり、この値が大きいほど、確率場が強い空間従属性を持つことを意味する。

$$\gamma^*(h) = \frac{|z(t+h) - z(t)|^2}{2} \tag{1}$$

ここで、 $h$ : 標本間の空間距離,  $z$ : 観測値

さらに、式(2)の球型モデルで共分散関数を仮定し、式(3)のクリギングの基本式によって各測定点間の鉄筋径分布の推定を行った。重み関数  $w$  は、式(4)に示す行列式で算出した。

$$C(h) = \begin{cases} b \left( 1 - \frac{3|h|}{2a} + \frac{1}{2} \left( \frac{|h|}{a} \right)^2 \right) & (0 \leq |h| \leq a) \\ 0 & (|h| > a) \end{cases} \tag{2}$$

$$Z^*(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha} Z(x_{\alpha}) \tag{3}$$

$$\begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n - x_1) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x_0) \\ 1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

ここで、 $\mu$ : ラグランジュの未定乗数

推定した鉄筋径分布の平均値を鉄筋径特性値とし、円断面を仮定して求めた腐食鉄筋断面積を、RC 断面解析に入力して耐力および耐荷力を算定した。

4. 腐食分布推定結果および考察

代表的な一つの供試体について、鉄筋径の実測値と、測定点数を変化させて推定した分布を図3に示す。測定点数が多いほど、正確に推定できることが期待されるが、5 測定点よりも 4 測定点の方が極小

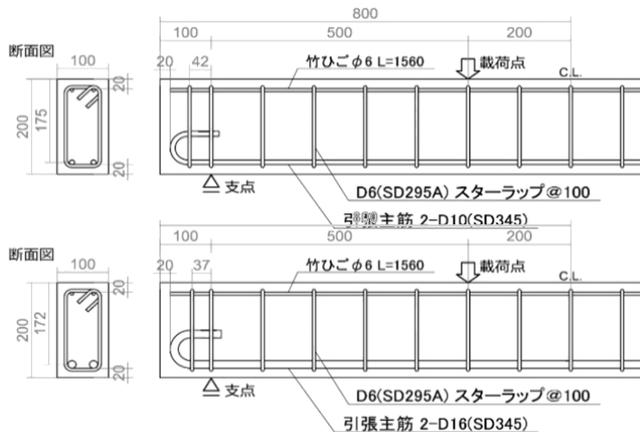


図1 供試体の形状・寸法 (単位:mm)

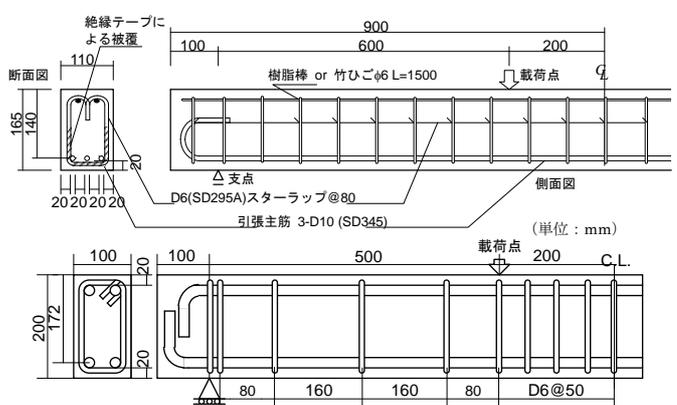


図2 既往研究<sup>1)</sup>の供試体の形状・寸法 (単位:mm)

キーワード 鉄筋コンクリート, 腐食分布推定, クリギング, 耐荷力評価  
 連絡先 〒615-8246 京都市西京区京都大学桂 C1-458 TEL 075-383-3173

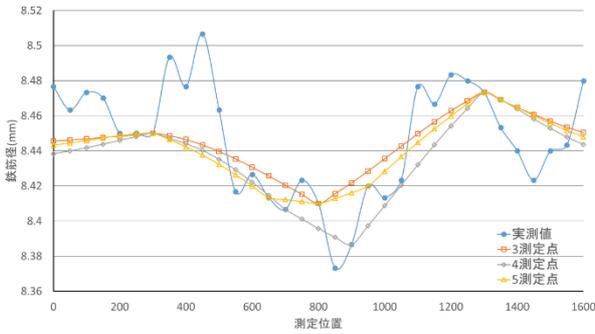


図3 測定点数の分布推定への影響

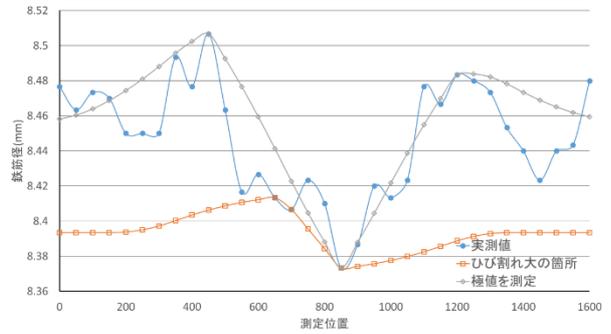


図4 外観変状を利用した分布推定

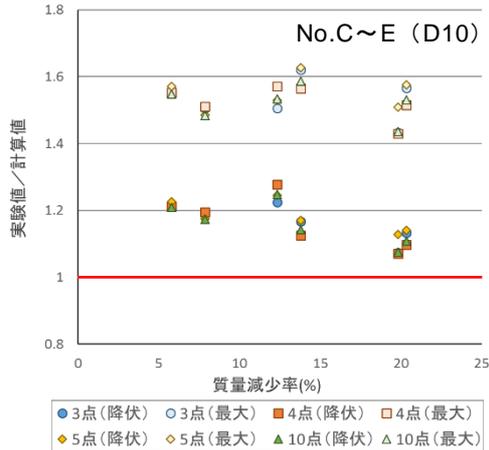


図5 測定点数の耐力評価への影響

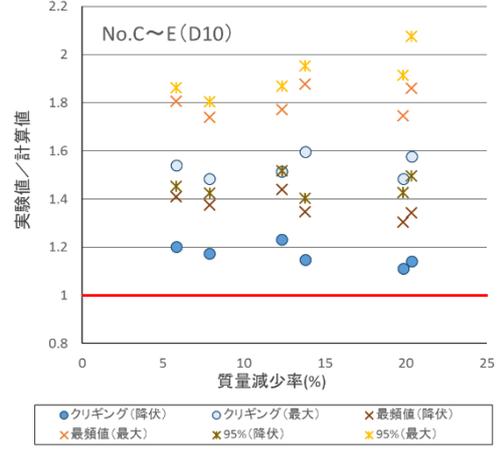


図6 腐食分布推定手法の耐力評価への影響

値を再現できている。一方、測定点を外観の変状から定めることを想定して、腐食ひび割れ幅の大きい3箇所を測定点とした場合と、腐食ひび割れ幅の大きい箇所から1点、比較的健全な箇所から2点とするような極値が測定点として得られた場合の推定結果を図4に示す。腐食ひび割れ幅の大きい箇所から推定した分布は、ほぼすべての位置で実測値を下回り、安全側の評価になったが、実測値との乖離が大きかった。これに対して、健全な部分も含めて推定した分布は、実測に近い分布形状を推定できた。クリギングを用いた推定では、腐食部のみならず健全部での測定も含め、比較的偏りなく測定箇所の選定を行うことがよいと考えられる。

5. 曲げ耐力評価結果および考察

5.1 測定点数の影響

測定点数を2, 3, 4, 10点として推定した分布から耐力評価を行った結果を図5に示す。質量減少率が10%を超える供試体で、測定点数の違いによるばらつきが見られるが、最も安全側の算定結果が必ずしも最大の測定点数である10点ではない。分布推定と同様に、腐食部と健全部の両方から測定点の選定を行う必要があると考えられる。

5.2 正規分布を仮定した手法<sup>1)</sup>との比較

腐食部と健全部を含む3断面を測定点として抽出し耐力評価を行った結果を図6に示す。正規分布を仮定した手法では、質量減少率が大きい供試体ほど過度に安全側の評価となった。腐食部と健全部を含めていることによって標準偏差の大きい分布が推定され、腐食鉄筋断面積の特性値が小さくなったものと考えられる。一方、クリギングによる算定値は、全ての供試体で安全側かつ実験値に近い結果を示した。腐食分布を仮定して腐食鉄筋断面積の特性値を求める手法では、測定点を外観の変状が類似した部位から選定するのがよいと考えられる。

謝辞 本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人: JST)によって実施されました。

参考文献

1) 中元佑一ら: 引張主筋の腐食分布を考慮したRC曲げ部材の曲げ耐力算定手法, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第11巻, pp.205-212  
 2) 地球統計学研究委員会 訳編/伊青木謙治 監訳: 地球統計学, 森北出版, 2003