

鋼部材のコンクリート境界部における腐食表面性状の数値シミュレーション

(株)東京鐵骨橋梁 正会員 ○細見 直史 岐阜大学 正会員 貝沼 重信
名古屋大学 フェロー 伊藤 義人

1. はじめに コンクリート境界部における鋼構造部材には、塗膜が劣化するとコンクリート境界線近傍の鋼部材には、局所的かつ急速に進行する通気差系のマクロセル腐食が生じる。そこで、本研究では腐食供試体¹⁾の表面性状を地球統計学的手法であるバリオグラムにより分析した上で、経時性を考慮した腐食表面性状の特性値について検討した。この検討結果に基づき、検索の空間統計解析による数値シミュレーションを行うことで、鋼構造部材のコンクリート境界線近傍における経時的な腐食表面性状を推定した。

2. 供試体の腐食表面性状 図1¹⁾の供試体（S6-2400cycle）の腐食表面性状を図2に示す。図中に回帰樹による空間分割図と各分割領域の平均腐食深さも示す。各空間分割領域に示す数値は、各領域内の平均腐食深さであり、括弧内の数値は、最小分割領域の平均腐食深さである。1) 境界線からの距離Xが14.5mmまでの範囲内には、境界部特有の通気差系マクロセル腐食が生じている。2) Xが14.5mmから49.5mmの範囲内については、ほぼ全面に局部腐食が生じていた。また、3) Xが49.5mmから100mmの範囲内については、全面腐食が支配的になっている。以後、1)～3)に相当する腐食領域をそれぞれ、①境界部、②中間部および③一般部と呼ぶ。

3. 腐食表面性状の特性値 供試体（S6-1800cycle）の腐食深さのヒストグラムを図3に示す。このヒストグラムには腐食深さの確率分布が異なる全面腐食と局部腐食が混合しているため、一つの確率密度関数が適用できない。また、この全面腐食と局部腐食は、互いに独立した関係にあるため、全面腐食と局部腐食を個別に検討する必要があると言える。以下では、①境界部のみについて検討した結果を示す。全面腐食による平均腐食深さは、一般部の平均腐食深さ μ_u で与えられる。しかし、境界部における局部腐食の平均腐食深さ μ_{lb} を算出するためには、局部腐食領域の平均腐食深さ μ_l を抽出する必要がある。そこで、回帰樹により μ_l を求めた。また、アノード部に局部腐食、カソード部に全面腐食が生じるものと考え、それらの面積比を算出することで μ_{lb} を推定した。境界部の全領域に対する局部腐食領域の面積比 A_l/A_m は、次式により算出した。

$$\frac{A_l}{A_m} = \frac{\mu_m - \mu_u}{\mu_l - \mu_u} \quad (1)$$

A_l ：境界部の局部腐食の面積

A_m ：境界部の領域面積

μ_m ：境界部の平均腐食深さ

μ_l ：局部腐食領域の平均腐食深さ

μ_u ：全面腐食領域の平均腐食深さ

図3の黒色で示すヒストグラムは、腐食深さの最大値から累積相対度数が A_l/A_m となるまでのデータを示している。最大値からの累積相対度数が A_l/A_m となるデータの近傍で、腐食深さの相対度数が急激に増加している。そのため、この黒色で示すヒストグラムは、境界部の局部腐食によるヒストグラムに相当すると考えられる。このヒストグラムが局部腐食による腐食深さの片側の正規分布と仮定し、境界部の局部腐食の平均腐食深さ μ_{lb} は、最大値から累積相対度数が A_l/A_m のときの腐食深さとした。

腐食サイクル数 n_c と境界部の局部腐食による腐食深さの平均値 μ_{lb} の関係を図4(a)に示す。図の縦軸は μ_{lb} であり、横軸は腐食サイクル数 n_c である。図中の実線は μ_{lb} の n_c に対する回帰直線である。なお、S6-600cycleの供試体のデータは、局部腐食が初期の段階であるため、回帰解析から除外した。 μ_{lb} は n_c の増加にともない線形的に増加する傾向にある。この傾向は図4(a)中の式で近似できる。バリオグラム解析から求めた境界部の局部腐食領域のレンジ h_{lb} とシル γ_{lb} の算出結果を図4(b)と図4(c)に示す。図中の実線は回帰直線を示している。 n_c と h_{lb} は図4(a)

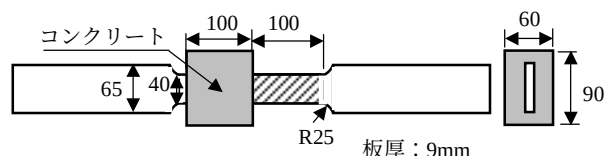


図1 供試体の形状および寸法¹⁾ (単位: mm)

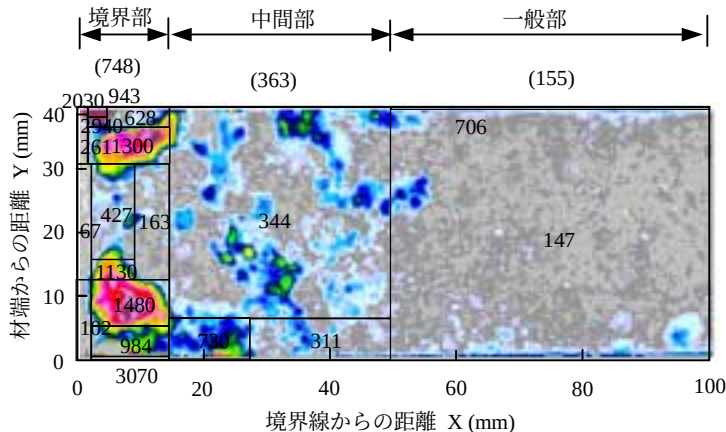


図2 供試体の腐食表面性状 (S6-2400cycle)

キーワード 鋼部材, コンクリート, 腐食, 回帰樹, バリオグラム, シミュレーション

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学 総合情報メディアセンター TEL 058-293-2402 FAX 058-293-2402

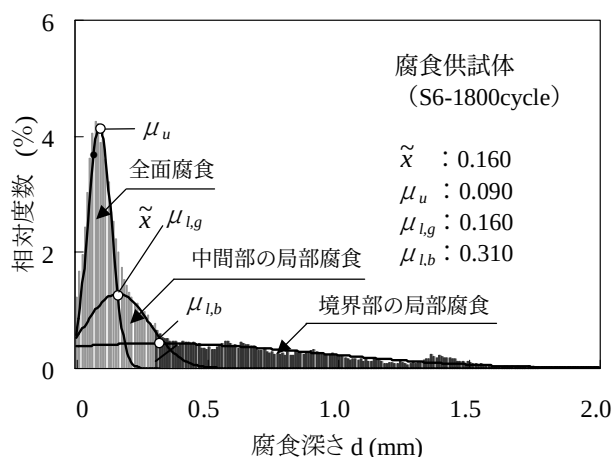


図3 腐食深さのヒストグラム

の μ_{lb} と同様に線形的に増加している。この関係式は図4(b)中の式で示すことができる。また、 γ_{lb} については、図4(c)中の式で近似できると考えられる。

4. 数値シミュレーション 腐食表面性状の数値シミュレーションは、以下に示す手順で行った。この結果から、腐食深さの経時性と空間的自己相関を考慮した腐食データを生成した。

- 腐食データを生成する①一般部の全面腐食、②境界部および③中間部の局部腐食の領域（確率場）を設定する。
- 1)の各領域に対して、例えば、図4(b)および(c)に示す式により腐食サイクル数 n_c に対するレンジ h とシル γ を設定する。
- 1)の各領域に2)の h と γ に基づき、球型モデルの共分散関数を用いて、平均 0mm、共分散 Σ の空間的自己相関構造を有する正規乱数を発生させる。

- 3)の結果に、例えば、図4(a)の図中に示す式を用いて平均値 μ を加算することで、平均 μ 、共分散 Σ の空間的自己相関構造を有する正規確率場を生成する。

- 最後に、4)の確率場を合成することで腐食データを生成する。境界部については、①～③の3つの確率場を合成する。中間部は①および②の確率場を合成する。一般部については、①の確率場を用いる。なお、確率場の合成の際には、各格子点の腐食深さが大きい方のデータを採用する。

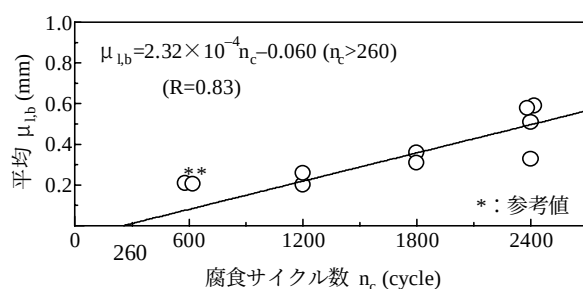
なお、数値シミュレーションには、文献1)の腐食供試体の腐食表面性状の考察結果から、以下に示す仮定を用いた。

- 腐食深さの自己相関構造は、球型モデルの共分散関数に従う。
- 各種（全面腐食、境界部および一般部の局部腐食）の腐食現象は、互いに独立である。
- 各種腐食深さの確率分布は、正規分布に従う。
- 各種領域内では、2次定常性が成立する。

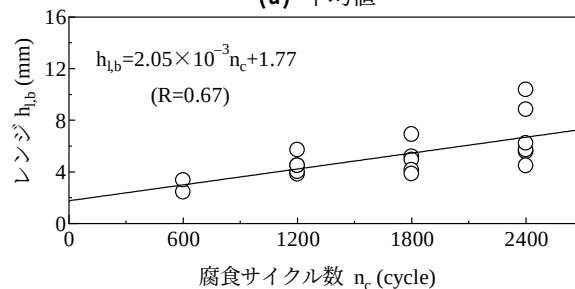
数値シミュレーションでは図2に示す腐食供試体（S6-2400cycle）の表面性状を対象とした。この供試体の表面性状から抽出した供試体の特性値に基づき、腐食表面性状の数値シミュレーションを行った。図5にシミュレーションによる各領域の表面性状を示す。シミュレーションによる表面性状は、図2の供試体の腐食表面性状と類似している。なお、供試体と数値シミュレーションから得られた境界部、中間部および全領域の腐食深さのヒストグラムの各種統計値はほぼ一致していた。したがって、本数値シミュレーションにより、腐食供試体の表面性状をほぼシミュレートできると言える。

5. まとめ (1)全面腐食と局部腐食の経時的な自己相関構造は、バリオグラムの球型モデルの共分散関数によるレンジとシルで推定できる。(2)コンクリート境界部を有する鋼板の腐食数値シミュレーションモデル手法を提案した。

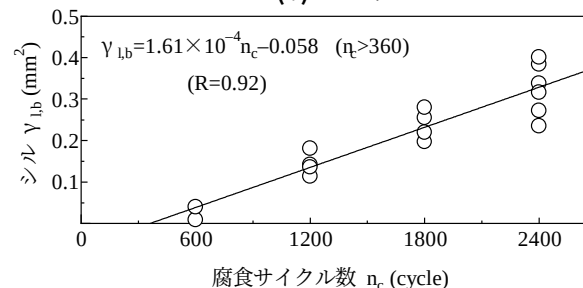
参考文献 1) 貝沼重信, 他3名: 鋼コンクリート境界部の経時的な腐食特性に関する基礎的研究, 第58回年次学術講演会, I-471, 2003.



(a) 平均値



(b) レンジ



(c) シル

図4 腐食表面性状の特性値

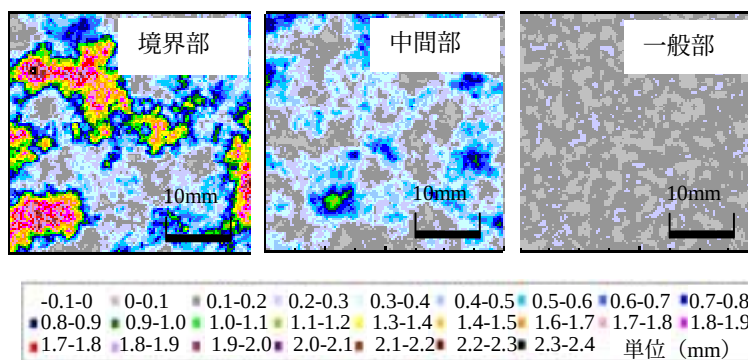


図5 シミュレーションによる各領域の表面性状