第Ⅴ部門

塩害により劣化したRC部材における鉄筋の腐食分布特性と力学的性能低下の評価

神戸大学工学部　学生員　○手塚　聡　　神戸大学工学部　正会員　森川　英典
神戸大学大学院　学生員　小島　大祐　　神戸大学大学院　学生員　湯浅　康史

1．はじめに

塩害環境下における RC 構造物の鉄筋の腐食は複雑な分布特性を示しており，実態に即した鉄筋腐食の状況を正確に把握することは劣化予測を行うために重要である．本研究は約 50 年間供用されてきた RC 橋から採取された鉄筋（以下採取鉄筋）と，実験室において塩水を供給しながら湿乾繰り返しによって腐食を促進させた鉄筋試料（以下塩水浸漬鉄筋）の表面の腐食形状を計測することで鉄筋の腐食分布の特性を把握するものである．また腐食鉄筋の引張試験を行い，力学的性能低下の程度を腐食減量率との関係から評価した．

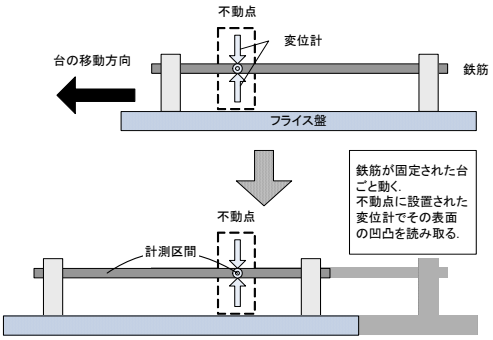

図-1 表面形状計測概要図

表-1 鉄筋試料概略

	径	本数	腐食程度	局部腐食
採取鉄筋	φ8	9	軽度(0～数%)	小
	φ28	6	軽度(0～数%)	小
塩水浸漬鉄筋	D10	8	重度(30%～)	大
	D13	3	重度(20～30%)	小
	D16	1	重度(15%)	小
	φ13	2	軽度(5%程度)	小

2．腐食鉄筋の形状解析による腐食特性の評価

鉄筋の腐食減量率分布を把握するために，変位計を鉄筋表面に沿って走査させて凹凸を計測（軸方向 0.2mm ピッチ，周方向 15 度ピッチ 24 点）し腐食分布状況を測定した(図-1)．これによって得られた腐食減量率分布をフーリエ級数変換しフーリエスペクトル解析を行った．表-1 に今回使用した腐食鉄筋の概要を示す．

図-2 は採取鉄筋の主鉄筋における腐食減量率分布の一部である．A2-1-1 は他に比べて表面の形状に凹凸が目立つ．図-3 にこれらのスペクトルを示したところ，表面に凹凸のあった A2-1-1 におけるスペクトルが他に比べて大きく変化している．つまり腐食が進行し表面形状に変化が現れるとこれらはスペクトルに反映されると考えられる．

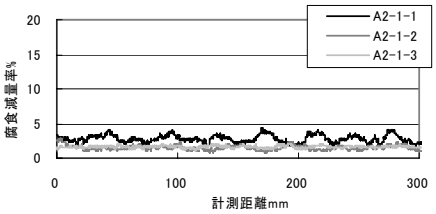

図-2 主鉄筋腐食減量率分布

次に採取鉄筋のスターラップにおいて事前に行われた外観調査[1)]について述べる．これは主桁側面のスターラップ直近のかぶりコンクリートの変状を観察し図-4 に示される分類法にあてはめることで内部鉄筋の腐食進行度を分類するものである．採取されたスターラップをA~Eの各タイプに分類し，各鉄筋のスペクトルをタイプごとに平均したものを代表値としてそれらの標準偏差を求め，さらにスペクトルの大きいものほど腐食減量率分布に与える影響が大きいという考えからスペクトルパワーの大きい順に 20 個を抽出しそれらの平均を求めた．図-5 に示した通りタイプAからEに腐食が進んでいくにつれてスペクトル上位 20 位の平均および標準偏差が上がっており，腐食が進むにつれてスペクトルが大きくなるとともに，スペクトル分布全体のばらつきが大きくなって腐食減量率分布に影響を与えていくと考えられる．

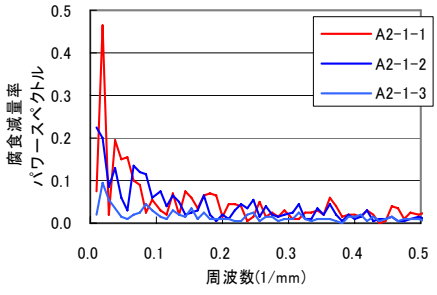

図-3 主鉄筋スペクトル分布

ここで各タイプのスペクトルがその特徴を有しているかを検証する．フーリエ級数はスペクトルαとその初期位相φをパラメータとして成り立つ．そこでランダムに与えた位相φを固定

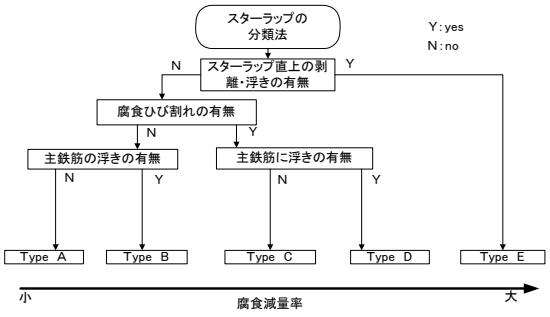

図-4　外観の変状による分類法

Satoshi TEZUKA, Hidenori MORIKAWA, Daisuke KOJIMA, Koji YUASA

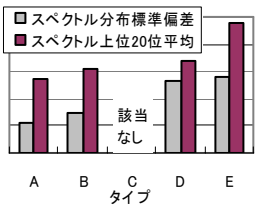

図-5　分類による
スペクトルの遷移

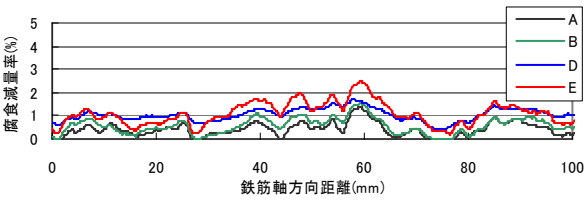

図-6　腐食減量率分布の再現

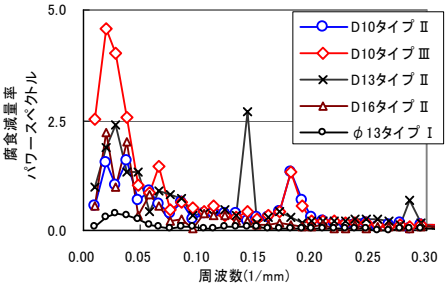

図-7　塩水浸漬鉄筋のタイプ別スペクトル

し，得られたスペクトルによって腐食減量率分布を再構成した．再現されたグラフを**図-6** に示す．タイプ A から E にかけて腐食減量率分布が上昇している．よって得られたスペクトル分布は腐食タイプに相当する特性を持っていると言える．

塩水浸漬鉄筋では採取鉄筋と同様にスペクトルを求め，**表-2** に示す目視での分類に基づいてタイプごとに平均したものを**図-7** に示した．タイプⅠからⅢに腐食が進行するに従いスペクトルが大きくなっている．周波数 0.15 近傍で突出しているスペクトルは異形棒鋼のふしを示している．ここでも腐食減量率分布の再現を行い，分類に相当する特性を持っていることが言えた．

表-2　塩水浸漬鉄筋の目視分類基準

タイプ	分類上の特徴
Ⅰ	全面に渡ってほぼ均一な腐食を生じているものの，断面減少は比較的少ない．
Ⅱ	全面に渡って激しく腐食しており原形をとどめないが，局部腐食は少ない．
Ⅲ	全面に渡る激しい腐食に加えて，局部的にさらに大きな腐食部位を伴う．

3．引張試験にもとづく腐食鉄筋の力学的性能の評価

腐食鉄筋の断面積を健全鉄筋の断面積とすることで，降伏点や弾性係数などの力学的要素が見かけ上低下しているように見ることができるとの考えから，採取鉄筋や塩水浸漬鉄筋において引張試験を行い見かけの弾性係数・降伏点の低下，伸び性能の低下など腐食が及ぼす力学的性能について考察する．ここでは力学的性能に大きな影響を与えると考えられる局部腐食の大小に注目して考察を行った．

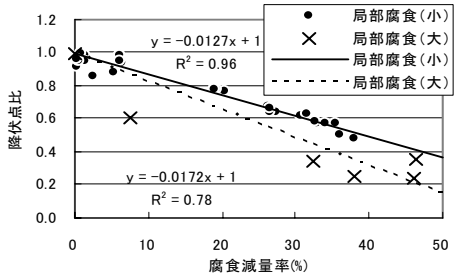

図-8　降伏点比

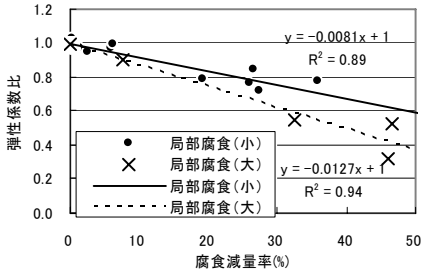

図-9　弾性係数比

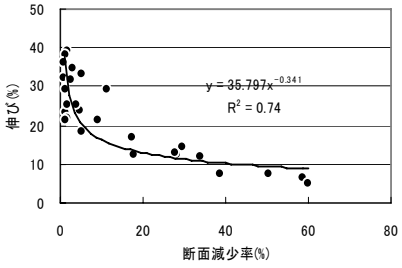

図-10　伸び

図-8 では降伏点比と腐食減量率について示した．腐食が進むほど見かけの降伏点が減少しており，特に局部腐食の小さい鉄筋では相関が高く，一方大きな局部腐食を有する鉄筋ではその部分が弱点となり早期に降伏すると考えられ大きくばらつく結果となった．**図-9** に弾性係数比と腐食減量率のグラフを示す．降伏点比と同様の傾向を示しているが多少ばらつきが見られる．また**表-3** にこれらの腐食による見かけの力学的性能の低下式として算定した．**図-10** では伸び性能について示した．断面減少率の小さい範囲では急激な伸び性能の低下がみられ，腐食が進むにつれて伸びずにより脆性的に破断する傾向が見られた．

表-3　見かけの力学的性能低減式

		低減式	低減係数
見かけの降伏点	局部腐食（小）	$\sigma_{cy}=(1-1.27(\Delta w/100))\cdot\sigma_{sy}$	$\alpha_a=1.27$
	局部腐食（大）	$\sigma_{cy}=(1-1.72(\Delta w/100))\cdot\sigma_{sy}$	$\alpha_p=1.72$
見かけの弾性係数	局部腐食（小）	$E_{cs}=(1-0.81(\Delta w/100))E_{ss}$	$\beta_a=0.81$
	局部腐食（大）	$E_{cs}=(1-1.27(\Delta w/100))E_{ss}$	$\beta_p=1.27$

4．結論

表面形状分析より，様々に分類した腐食鉄筋間でその分類に相当する特性をもったスペクトルが得られた．さらにそのスペクトルに適当な位相を与えることで腐食減量率分布がシミュレートできる可能性が示された．また腐食鉄筋の引張試験を行い，腐食が鉄筋に与える力学的性能への影響を評価した．

1)　湯浅，森川：局部腐食を有する RC 部材のせん断耐荷機構，土木学会関西支部年次学術講演集，第Ⅴ部門-46，2005.5.