

京都大学大学院 学生会員○尾崎 健
京都大学大学院 正会員 服部 篤史
京都大学大学院 フェロー 宮川 豊章

1.研究目的 現在、RC 構造物には各種劣化要因による性能低下を考慮した耐久性設計が必要とされている。本研究では、塩害環境下にある RC 部材の耐力低下を、腐食モニタリングにより把握するため、鉄筋腐食させた供試体を用いて実験および解析を行い、塩害補修・補強時に配慮すべき点について検討した。

2.実験概要 はり供試体の要因として「劣化初期段階」(供試体作成後すぐ載荷試験)「劣化後段階」(塩水散水環境下で材令 36 ヶ月)の 2 段階を設定した。「劣化初期段階」供試体は塩分混入の有無、高流動コンクリートの使用、ゼブラ状 CFRP シート巻立て補強を要因とし、「劣化後段階」供試体はそれらに横拘束筋量の違い、曲げ区間に塩分を含む打継ぎを要因として加えた。供試体は図 1 に示すような 10×20×160cm の複鉄筋 RC はりとし、主筋は D10 異形棒鋼(鉄筋比 0.812%で曲げ降伏が先行)とした。スパンは 140cm、曲げ区間は 30cm とし、また横拘束区間を中央 70cm として、帯筋(φ6)を体積比 0.8%および 1.6% (間隔 12.2cm および 6.1cm に相当する)で配置した。横拘束区間の両側 55cm をせん断区間とし、帯筋を間隔 10cm で配置して示方書よりせん断破壊に対しやや安全側とした。主筋フック部に測定用コードをエポキシ樹脂で防水して取付け、帯筋には防錆塗料を塗布した。コンクリートは表 1 に示す 4 種類の配合とし、塩害の断面補修を想定した打継ぎ供試体では曲げ区間のみに塩分を混入した。CFRP シート巻立て補強は、幅 5cm、中心線間隔 12.2cm、繊維体積比 0.136%のゼブラ状とし、端部で定着をとった。腐食モニタリング項目は、ひび割れ性状(幅 0.05mm 単位)、自然電位(AgCl 電極)、分極抵抗(矩形波 800Hz・0.1Hz で鉄筋全表面を測定、および交流法 10Hz~0.01Hz の二重対極を

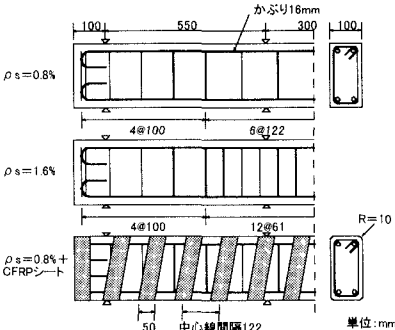


図 1 はり供試体の形状・寸法
表 1 コンクリートの配合

普通コンクリート										高流動コンクリート	
Air (%)	W/C	W/P (%)	単位量(kg/m³)	W	C	Lp	S	G	水和剤(cc/m³)	増粘剤(cc/m³)	CaCl₂ (kg/m³)
4±0.5	55	55	168	305	-	882	950	762.5	610	No.303	-
-	55	55	168	305	-	863	950	762.5	610	-	18.78
高流動コンクリート										高流動コンクリート	
Air (%)	W/C	W/P (%)	単位量(kg/m³)	W	C	Lp	S	G	水和剤(cc/m³)	増粘剤(cc/m³)	CaCl₂ (kg/m³)
4	55	41.1	185	326	114	820	832	6180	1350	SFCA2000	334
4	55	41.1	185	326	114	802	832	12600	1350	-	17.6

※粗骨材最大寸法=10mm
※普通コンクリートのスランブ目標値=9±1cm
※高流動コンクリートのスランブフロー目標値=60±5cm
※塩分はCl⁻量にして11.2kg (普通・高流動コンクリートで共通)

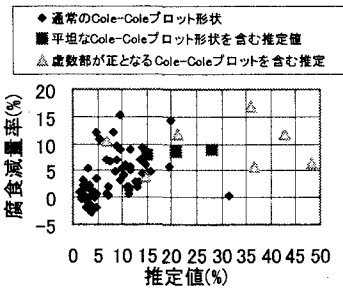


図 2 交流分極抵抗による腐食減量率の推定

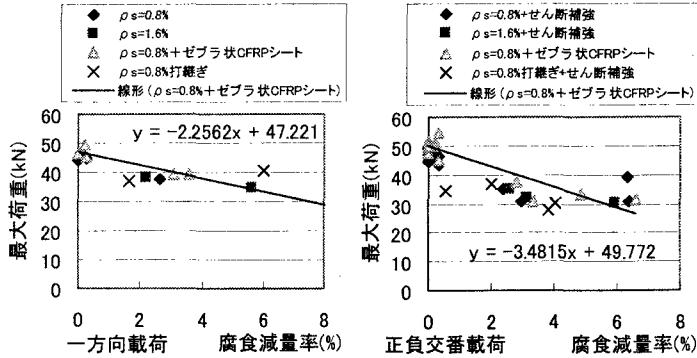


図 3 腐食減量率が最大荷重に与える影響

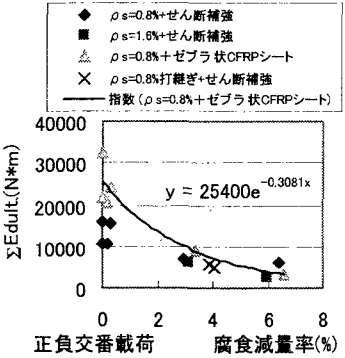


図 4 腐食減量率が正負交番荷重下の累積消散エネルギーに与える影響

用いた局所的な測定、測定面積約 6.2cm^2 ）、埋設ミニセンサによる自然電位・分極抵抗(矩形波)とした。載荷試験は対称 2 点単調漸増方向あるいは正負繰返し載荷とし、荷重、変位、曲げ区間の曲率、スパン中央における主筋・帯筋・CFRP シートひずみを測定した。腐食減量率の測定は JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準じ、横拘束区間の主筋(70cm)、およびそれらを 5cm 毎に切断したものの腐食減量率を測定した。

3.実験結果 載荷試験時において、劣化初期段階の供試体には腐食ひび割れが観察されないが、劣化後段階の供試体にはすべて腐食ひび割れが観察され、最大 2mm 以上に達した。

鉄筋全長にわたる分極抵抗(矩形波)、局所的な分極抵抗(交流法)、ミニセンサによる分極抵抗(矩形波)を用いて、鉄筋の腐食減量率の推定($K=0.026V$ とした)を行い、実際の値と比較を行った。鉄筋全長の推定値は、実験値の 4 倍程度の値となるものの大まかな相関がある。ミニセンサによる推定(測定面積 0.785cm^2 とした)はばらつきが多い。交流法では、図 2 に示すように電流分布の制御により精度が向上した。いずれの測定も推定値が過大となる場合があり、腐食の進行した場合の分極抵抗の評価に注意が必要である。

腐食減量率がはり供試体の降伏荷重および最大荷重に与える影響を図 3～4 に示す。腐食減量率は、横拘束区間の引張縁主筋 2 本のうち、大きい方であ

与えた。図中の曲線は全てゼブラ状 CFRP シート補強供試体に関する近似曲線であり、最大荷重は直線近似、累積消散エネルギーは指数関数で近似した。腐食減量率の増加に伴い、降伏荷重は徐々に減少するが、主筋の腐食区間により傾向が異なる。腐食減量率が最大荷重に与える影響は、一方向載荷より正負交番載荷下において若干大きい。変位靱性率および累積消散エネルギーは腐食減量率の影響を受け大きく低下したが、主筋伸び能力の低下の影響と考えられる。また腐食減量率が大きくなると、横拘束筋体積比の増加、ゼブラ状 CFRP シート補強によっても最大荷重、変位靱性率、累積消散エネルギーの各指標は無補強のものに比べ値は大きくならない。これは横拘束により圧縮縁コンクリート耐力が増加するが、主筋の伸び性能低下が著しいためと考えられる。すなわち塩害劣化 RC 構造物の靱性補強として、横拘束補強のみでは不十分であるといえる。

ゼブラ状 CFRP シート補強供試体の荷重-変位関係を計算値とともに図 6 に示す。荷重-ひずみ関係の計算で、ひずみ硬化開始以降を二次曲線で表す腐食鉄筋の応力-ひずみモデル(図 5)、コンクリートは横拘束筋¹⁾および CFRP シートによる横拘束効果を考慮するモデル²⁾を用い、ファイバーモデルにより計算した。また同じ供試体について最大荷重の経時変化を図 7 に示す。これは分極抵抗(矩形波)より主筋の腐食減量率を算定し、主筋の性能の低下を考慮した計算値である。劣化初期段階で計算値が小さくなったが、曲げひび割れ断面の付着切れ、鉄筋腐食による付着劣化を考慮することでさらに精度は向上すると考えられる。

4.まとめ (1)ばらつきはあるものの分極抵抗による腐食減量率の推定が可能である。(2)塩害劣化部材の靱性補強には、鉄筋の性能を補うような曲げ補強も含める必要がある。(3)モニタリングから RC 部材の塩害による性能低下曲線を描くことができ、補修・補強適用時期や適用水準決定の基礎資料とできる。

参考文献：1)道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、pp.130-132、1996.12 2) 細谷 学、川島一彦、星隈順一：炭素繊維シートで横拘束したコンクリート柱の応力度-ひずみ関係の定式化、土木学会論文集 No.592/V-39,pp.37-52、1998.5

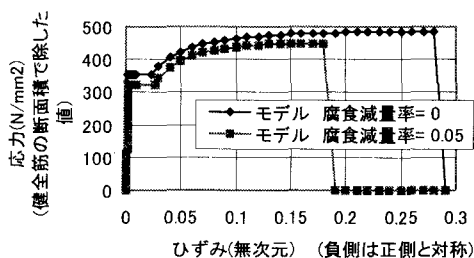


図5 腐食鉄筋の応力-ひずみモデル

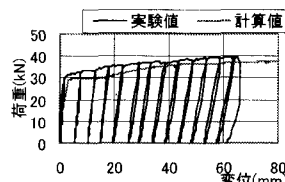


図6 荷重-変位関係の計算(腐食減量率2.2%)

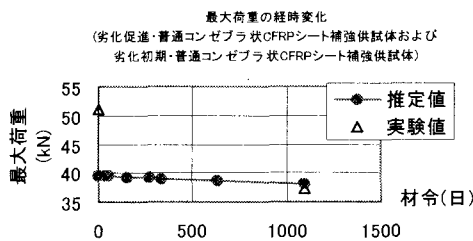


図7 最大耐力の経時変化