

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760402

研究課題名（和文） 鉄筋腐食の生じた RC 部材への合理的な補修補強方法の提案と再劣化現象の検証

研究課題名（英文） The suggestion of the rational strengthening method for the corroded RC member and the verification of the re-deterioration phenomenon

研究代表者

上原子 晶久（KAMIHARAKO AKIHISA）

弘前大学大学院・理工学研究科・准教授

研究者番号：70333713

研究成果の概要（和文）：鉄筋腐食の生じた鉄筋コンクリートはりに対して、連続繊維シートで補強した場合に補強効果を合理的に得る方法について検討した。その結果、主筋の質量減少率が 10% 程度以下であれば、母材の修復を行わずに連続繊維シート補強しても、十分な性能回復が見込める可能性を示した。一方、主筋の腐食量が 30% 以上になると、断面修復工法などで母材を修復してからシート補強を行わないと、十分な補強効果が得られないことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We studied how to get reasonably strengthening effect for reinforced concrete beam which deteriorated by rebar corrosion by strengthening with a continuous fiber sheet. As a result, the corrosion mass loss ratio of the longitudinal bars is at about 10% or less, even if the continuous fiber sheet without repair of the host metal, indicating the possibility that an adequate structural performance recovery can be expected. Meanwhile, the corrosion amount of longitudinal bars becomes more than 30%, it was found that do not have a sufficient strengthening effect without repair of the host material such as the patch repair.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート

1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで、連続繊維シートで補強された RC 部材の力学性能の評価手法について研究を進めてきた。補強を必要とされる RC 部材では、鉄筋腐食やひび割れなどの材料劣化が生じている。ところが研究代表者のこれまでの研究では、被補強側となる RC 部材の材料劣化によって耐荷力などの構造性能の低下が考慮されていなかった。よって、その課題を克服しながら連続繊維シートによる補強効果を定量化することが必要である。

関連して、平成 18～19 年で本補助金を交

付された範囲内で、連続繊維シートが外部から滲入する塩化物イオンを遮蔽する効果の高いことを明らかにした。その効果は、塩害に対して優れた補強効果を発揮する一方で、補強前までに RC 部材の内部に浸透した塩化物イオンを閉じ込めてしまうという弊害が表れる可能性がある。連続繊維シート補強による再劣化の可能性を明らかにし、さらに時間軸に沿った性能予測を実現するためにも、その弊害が及ぼす影響を明らかにすることが必要である。

さらには、実際の RC 構造物を補修・補強する際の工法選択も看過できない。一般に、

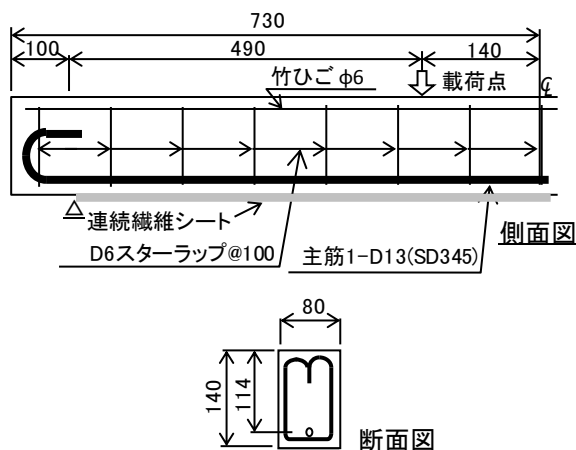


図-1 試験体の概要

表-1 配合表

W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE (Kg/m ³)
			W	C	S	G	
54.6	5.6	43.4	131	295	796	1077	2.95

塩害などにより鉄筋腐食の生じた RC 構造物を補修・補強する場合には、断面修復工法やひび割れ注入工法により母材の性能を回復させた後に、耐荷力の低下を補うために連続繊維シートを適宜接着することが想定される。しかしながら、母材の性能回復により、それが起点となって新たな腐食機構が形成されるマクロセル腐食が生じる可能性がある。そのような現象により、シート補強後の耐荷力が損なわれる可能性については、これまで議論されていない。

2. 研究の目的

以上の背景の下、本研究では、これまで未検討であった以下の事項を検討する。

- ・ 電食試験により鉄筋腐食させた RC はりについて、鉄筋腐食などの材料劣化を適切に考慮しながら連続繊維シートの補強効果を評価する。
- ・ 連続繊維シート接着により閉じ込められた塩化物イオンが鉄筋腐食に及ぼす影響を検討する。
- ・ 被補強側の RC 部材において、断面修復工法やひび割れ注入工法とシート補強を組み合わせた場合に、母材の性能回復が連続繊維シートの補修・補強効果に及ぼす影響について検討する。

3. 研究の方法

(1) 試験体

本研究で用いた試験体は、土木学会 コンクリート委員会 材料劣化の生じた構造的な性能研究小委員会が実施した電食による RC はりに関する共通試験で採用されたものを参

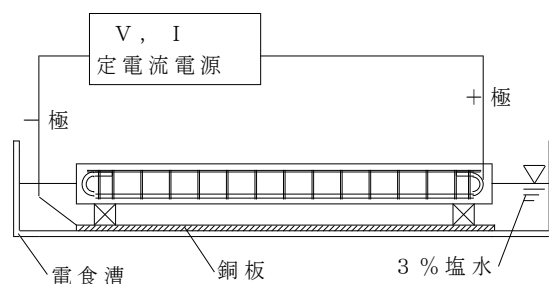


図-2 電食試験の概要



図-3 載荷試験

考に仕様を決定した。試験体の概要を図-1に示す。はりの外形寸法は全高 140mm(有効高さ 114mm)・幅 80mm・長さ 1460mmである。内部鋼材は主筋が D13、スターラップに D6 の異形鉄筋を使用した。はりの主筋比は 1.39%であり、主筋は引張側にのみ配置した。電食試験を行う都合上、スターラップの主筋と接する範囲はビニルテープで絶縁した。使用したコンクリートの配合を表-1に示す。使用したセメントは早強セメントであり、水セメント比を 54.6%とした。

(2) 電食試験

図-1に示した RC はりについて電食試験を実施した。図-2に電食試験の概要を示す。共通試験では、通電時の電流密度を 10A/m²以下とすることを基本としている。本研究では、それに従って電流密度を 9.81A/m²として 0.68A で通電した。目標とした質量減少率を得るための積算電流量と通電時間については、既往の実験式を参考に決定した。

(3) シート補強方法

電食試験終了後、浸漬槽から RC はり試験体を取り出して概ね 1 週間経過後に連続繊維シートによる補強を行った。使用した連続繊維シートは 1 方向に繊維が配列されているものである。本研究では曲げ補強を対象としたので、けた下面の支点間に幅 80mm・長さ 1220mm のシートをエポキシ樹脂で接着した。

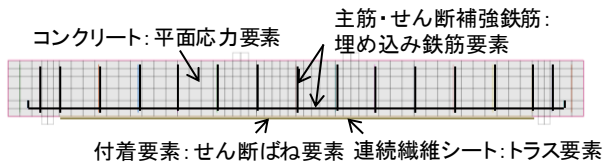


図-4 有限要素モデル

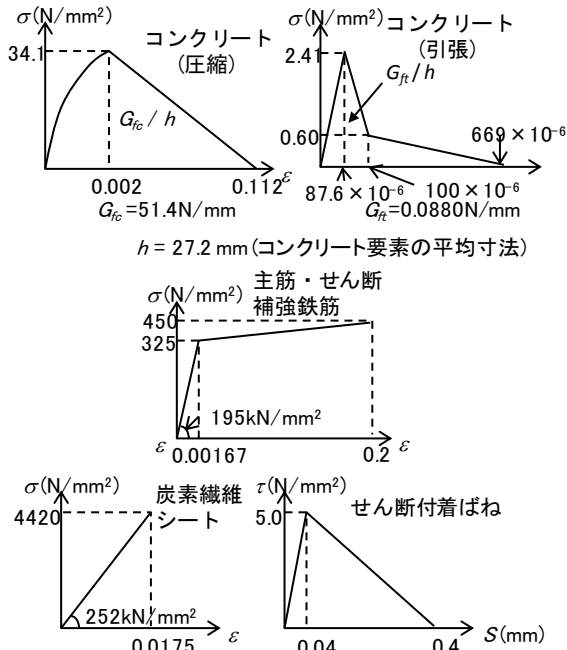


図-5 材料の構成モデル

補強後の試験体は再劣化を確認するための電食試験を行う。そのため、支間外に発生した腐食ひび割れや、はり側面から塩化物イオンが侵入しないようにする必要がある。支間外に発生した腐食ひび割れについては、紙製ウエスを連続繊維シートと同様の施工手順で接着した。これは、載荷試験時に支間外で引張力を負担させないためである。一方、はり側面に関しては、シートの接着時にプライマーとエポキシ樹脂を塗布した。

(4) 主筋の再劣化を確認するための電食試験

主筋の腐食したRCはりにシート補強を施した後に、再度電食試験を行う。電食試験の方法については、(2)節に示した方法と同様とした。ただしこの場合には、シートや樹脂塗膜により試験体表面の電気抵抗が高くなっていることを考慮して、15Vの定電圧で360時間を目処に通電した。

(5) 載荷試験

再劣化の確認試験を経た後に、図-3に示した方法で載荷試験を行った。計測項目は荷重、はり中央のたわみ、はり上縁のコンクリート

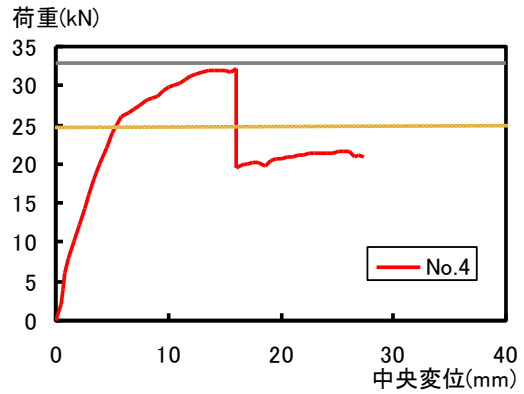


図-6 荷重-中央変位関係の一例

表-2 載荷試験結果

供試体	補強方法	主筋質量減少率(%)	最大荷重(kN)
No.1	なし	腐食なし	23.2
No.2	なし	3.0	22.8
No.3	なし	11.1	20.0
No.4	なし	40.0	5.53
No.5	炭素シート	2.4	32.1
No.6	炭素シート	13.0	29.7
No.7	アラミドシート	4.8	31.6
No.8	アラミドシート	7.9	31.3
No.9	炭素シート	37.3	18.0
No.10	炭素シート+断面修復	40.1	26.3
No.11	添え筋+断面修復	38.2	20.5

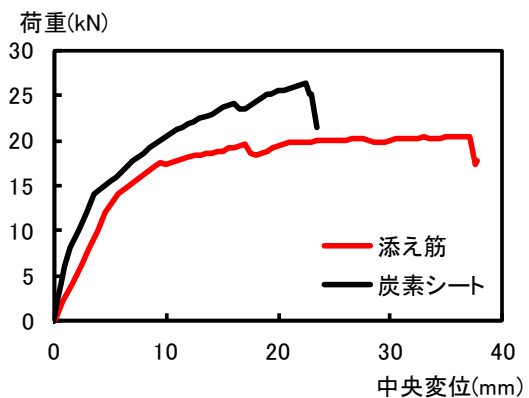


図-7 添え筋と連続繊維シートとの補強効果の比較

ひずみである。

(6) 主筋の質量減少率の測定とシート剥離面の観察

載荷試験終了後の試験体については、主筋をはりだし、主筋の質量減少率を測定した。10%のクエン酸二アンモニウム水溶液に浸漬

して主筋の除錆を行った。除錆の主筋質量を測定して質量減少率を求めた。また、主筋の直径を 25mm 間隔で測定することにより腐食の分布を確認した。直径測定はノギスを用いて、縦リブ方向と横方向の直交 2 方向の平均値とした。

載荷試験終了後に剥離したシートについては、シートとコンクリートとの接着面について観察した。

(7) 劣化後・補強後の RC はりに対する有限要素解析

図-4 に示した解析モデル、ならびに図-5 の材料モデルを用いて有限要素解析を行った。

4. 研究成果

図-6 に載荷試験における荷重と中央変位との関係を示した。この図における最大荷重を整理した結果を表-2 に示す。この結果より、断面修復やひび割れ注入による補修を行わずに連続繊維シートにより補修を行うことにより、剛性や耐荷力が向上することが分かる。このことは、シートの種類によらず同様の傾向である。ただし、既往の研究で指摘されているように、シート補強を行った場合には、荷重が最大値を示すと、載荷点下のかぶりコンクリートの剥落を起点にシートの剥離が支点方向に生じて耐荷力が急激に低下することに留意が必要である。本実験では、主筋の質量減少率が 10%程度までであり、なおかつ腐食後においても主筋の定着が十分である RC はりを対象にしている。表-2 の結果を見ると、主筋の質量減少率や定着がその条件の範囲であれば、ひび割れ注入やかぶりコンクリートの打ち替えを行わずにシートによる補強を行っても、剛性や耐荷力を回復できることが示されている。一方、主筋の質量減少率が 30%以上になると、断面修復を行わずにシート補強を行うと、性能回復が効率的に得られないことが明らかになった。この場合には、断面修復により母材の性能回復を行ってからシート補強を行うことが望ましいと言える。一方で、断面修復工法と添え筋、およびシート補強を組み合わせた場合の荷重と中央変位との関係を図-7 に示す。この結果より添え筋を行わず、連続繊維シートのみで補強しても、耐荷力は効率よく回復できる可能性を見出すことができた。しかしながら、変形性能が要求される場合には、連続繊維シートで補強しただけでは、不十分であることが明らかになった。よって、柱部材などの補強では、添え筋を併用することが望ましいと言える。

表-3 に再劣化を考慮した電食試験による主筋の質量減少率を示す。この表より、連続繊維シートや樹脂被覆により電気抵抗値や

表-3 再劣化試験の結果

	再劣化試験による 主筋の質量減少率(%)
炭素繊維シート	5.1
アラミド繊維シート	1.1



図-8 炭素繊維シートの損傷状況

耐物質透過性を高めたとしても、主筋の腐食を完全に防ぐことはできないと考えられる。表-3 で、炭素繊維シートで補強したはり、アラミド繊維シートで補強したものよりも再劣化試験時における主筋の質量減少率が大きくなっている。これは、図-8 に示したように、炭素繊維シート補強の場合には、シートの一部が損傷して、それを起点に主筋の腐食が促進されたことが原因と考えている。シートが損傷する原因としては、電食試験で発生した気体や炭素繊維に流れる微弱な電流の作用が考えられる。一方、アラミド繊維シート補強の場合には再劣化の確認試験により、シートが損傷しないものの、わずかな膨れが確認された。今回は、再劣化の確認試験を電食試験で実施した。そのため、電気化学的作用が炭素繊維シートに悪影響を及ぼし、それが補強後の耐荷力に大きく関係する結果となった。今後は、実際の自然腐食に近い形態で再劣化の確認試験を行い、より実体に近い再劣化現象を明らかにしたい。

最後に、有限要素解析で載荷試験結果の再現解析を行った。その結果、耐荷力は概ね解析で予測可能であるものの、変形性能については、精度が良くない結果となった。それに関しては、シートとコンクリートとの付着ばねの構成モデルを適切に与える必要があると考えている。そのためには、要素レベルでの実験を行う必要がある。今後の研究で適切な付着ばねの構成モデルを提案したい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- 1) 上原子晶久, 工藤 健, 炭田 海: 鋼材腐食の生じた RC はりへの補修・補強効果と再劣化現象の検証, 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 12 巻, pp. 9-16, 2012

〔学会発表〕（計 2 件）

- 1) 上原子晶久：鉄筋腐食が生じた RC はりへの炭素繊維シートによる補修・補強効果の検討，平成 24 年度土木学会全国大会 第 67 回年次学術講演会，2012 年 9 月 7 日，名古屋大学
- 2) 上原子晶久：鉄筋腐食が生じた RC はりへの連続繊維シートによる補強効果と再劣化の可能性，平成 25 年度土木学会全国大会 第 68 回年次学術講演会，2013 年 9 月 4 日，日本大学理工学部（発表予定）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上原子 晶久 (KAMIHARAKO AKIHISA)
弘前大学大学院・理工学研究科・准教授
研究者番号：70333713