

ふっ素塗装鉄筋のコンクリート部材への適用性に関する基礎的研究

長崎大学大学院 学生会員 ○菅原 大征

長崎大学 正会員 山口 浩平

AGC 株式会社 尾知 修平

1. 背景および目的

腐食環境下での鉄筋コンクリート構造物は、塩化物イオンや炭酸ガス等の侵入による鉄筋腐食が問題となっている。鉄筋腐食による問題を解決するために、1980年代から表面をエポキシ樹脂で被覆したエポキシ樹脂塗装鉄筋や、2000年代から鉄に一定量のクロムを含ませた合成鋼であるステンレス鉄筋が開発され流通している¹⁾。エポキシ樹脂塗装鉄筋は、無被覆鉄筋と比べ高い防食性能を有するが、運搬・施工時に表面塗膜の剥離が発生しそのまま使用すると、鉄筋腐食が早期に発生する恐れがある。また、ステンレス鉄筋は無被覆鉄筋と比べて耐食性が極めて高いが、材料費や加工費が高額である。これらの課題に対して、より高性能な塗装鉄筋を開発するために本研究では、ふっ素加工された鉄筋(以下、ふっ素鉄筋)のコンクリート構造物への適応性を明らかにすることを目的とし、以下の評価を行う。

建設工事では組み立て途中の柱、はり、壁、床等の鉄筋を一定期間大気中にさらすことがある。そのため、時間経過や雨風および紫外線による鉄筋の影響を調べ、ふっ素鉄筋の防食性能について評価を行う。また、ふっ素樹脂やエポキシ樹脂を塗装した鉄筋は、無被覆鉄筋に比べコンクリートとの付着強度の低下が問題視される²⁾。そのためコンクリートとの付着性能、鉄筋に樹脂塗装加工を施すと鉄筋とコンクリートとの付着性能が低下する可能性があるため、RC部材の曲げ補強筋としての性能について評価を行う。なお、紙面の都合上、本報にはふっ素鉄筋の防食性能に関して除いている。

2. 各種塗装鉄筋とコンクリートとの付着性能

2.1 試験概要

ふっ素塗装鉄筋に関する試験はまだ確立されていないため、JSCE-E 516-2010「樹脂被覆鉄筋の付着強度試験方法」を参考に行う³⁾。試験体を図1に示す。試験体は、一辺の長さ150mmのコンクリート製の立方試験体とし、その中心に鉄筋D19を通す。

試験方法は、試験体上部の鉄筋突出部分とコンク

リートブロック上端の計2か所に変位計を設置し、鉄筋とコンクリートの変位差から鉄筋のすべりを測定する。付着応力度は、文献5)を参考に算出する。

2021年度は無被覆、エポキシ樹脂、ふっ素(1種)の3種類の鉄筋を各3本使用し、2022年度は無被覆、エポキシ樹脂を各3本、新たなふっ素(2種)を各7本の4種類を使用する。以下、2021年度の無被覆、エポキシ樹脂、ふっ素をそれぞれN(21)、EP(21)、F(C)と示し、2022年度の無被覆、エポキシ樹脂、ふっ素(2種)をそれぞれN(22)、EP(22)、F(A)、F(B)で示す。

2.2 結果および考察

結果を表1に示す。すべり0.04mm時の付着応力度は、N(22)が5.87 N/mm²であり、EP(22)、F(B)がそれぞれ4.48 N/mm²、4.27 N/mm²とほぼ同等の値であり、N(22)の約0.7倍と減少した。また、F(A)は2.48 N/mm²でN(22)の約0.4倍と最小であった。

最大付着応力度は、N(22)が13.6 N/mm²、F(B)が19.1 N/mm²でN(22)の約1.4倍と増加した。またEP(22)、F(A)はそれぞれ13.2 N/mm²、11.7 N/mm²でN(22)と同等の値となった。すべり0.04mmでの塗装鉄筋の付着応力度の減少は、樹脂の膜厚のためふしの形状が滑らかになり、付着応力度が小さくなるという知見⁶⁾があり、本試験においてその影響が出ていると考えられる。

また、塗装鉄筋の最大付着応力度は、無被覆鉄筋の80%以上有する必要⁷⁾があり、本試験では満足していると考えられる。

2.3 付着特性を考慮した数値解析

試験で得られた付着特性を用いて、図2のようにすべり0.04mm時の付着応力度、鉄筋のすべり始めのすべり0.2mm時の付着応力度を特性値として半接着テーブルの構成則を作成し、数値解析に用いる。数値解析モデルは、鉄筋とコンクリート間の条件に付着応力を徐々に伝達しなくなる半接着と定義する。なお、すべり0.04mm時の付着応力度は鉄筋とコンクリートの摩擦が卓越する段階であり、初期段階の付着強度を評価す

キーワード ふっ素塗装鉄筋 付着特性 曲げ補強筋 数値解析

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科構造工学コース 電話 095-819-2591

るために有効であると考えられる⁵⁾。また、すべり0.2mm 以降は一定の付着応力度が作用すると定義する。半接着テーブルの構成則を用いて RC はり静的曲げ試験モデルに適用させ、試験値と解析値の比較を行う。

3. 塗装鉄筋の RC 部材の曲げ補強筋としての性能

3.1 試験概要

ふっ素鉄筋の RC 部材の曲げ補強筋としての性能を確認するために、載荷試験を行う。試験体は、図 3 に示すようにスパン 1200mm、等曲げモーメント区間 300mm の 2 点載荷とする。試験体は、2021 年度に無被覆、エポキシ樹脂の 2 種類を各 2 体作成して、2022 年度は無被覆、エポキシ樹脂、新たなふっ素鉄筋(2 種)の 4 種類を各 1 体作成する。以下、2021 年度の無被覆、エポキシ樹脂を N(21), EP(21)と示し、2022 年度の無被覆、エポキシ樹脂、ふっ素(2 種)を N(22), EP(22), F(A), F(B)で示す。

鉄筋は、引張補強筋 D13 を 2 本、圧縮補強筋 D10 を 2 本、せん断補強筋 D6 を 100mm ピッチで配筋する。測定項目は、ひび割れ発生荷重、降伏荷重、鉄筋ひずみ、変位、ひび割れである。

3.2 結果および考察

試験結果を図 4、表 2 に示す。計算値は、はり理論を用いて算出した。荷重－変位曲線はおおよそ一致していることがわかる。また、ひび割れ発生荷重や降伏荷重は著しい相違が見られなかった。さらに、付着強度試験より作製した数値解析モデルを RC はり静的曲げ試験モデルに適用させ、試験値と解析値の比較を行うと、各種鉄筋において解析値が試験値と近似し、数値解析モデルの妥当性が確認できた。

4. 今後の課題

鉄筋の発錆による付着性能を調べるために、曝露試験を行った鉄筋を用いて付着強度試験を行い、表面塗膜を改良した新たなふっ素鉄筋の付着性能を調べる必要がある。

参考文献

1) 丸屋 剛：エポキシ樹脂塗装鉄筋・ステンレス鉄筋，コンクリート工学論文，pp.78-82，Vol.49，No.5，2011.5

2) 小林一輔，他：エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する試験的研究，pp.91-106，Vol.21，No.2，1983.2

3) <https://life-science-project.com/711/> (2023.3.17 閲覧)

4) 土木学会：15 年間の海洋曝露試験を行ったエポキシ樹脂塗装鉄筋コンクリート梁の耐久性と防食効果，pp.107-120，Vol.592，No.39，1998.5

5) 土木学会：樹脂被覆鉄筋の付着強度試験方法，JSCE-E 516-2010

6) 片野啓三郎，他：高性能な樹脂被覆鉄筋に関する研究，大林組技術研究所報，pp.1-7，No.79，2015.12

7) 土木学会：エポキシ樹脂被覆塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針 改訂版，コンクリートライブラリー第 112 号，1986

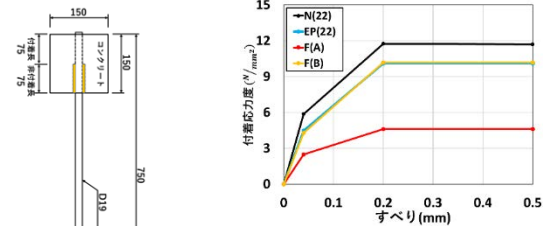


図 2 半接着テーブルの構成則

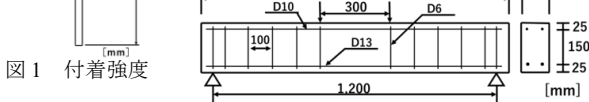


図 3 RC はり静的曲げ試験試験体

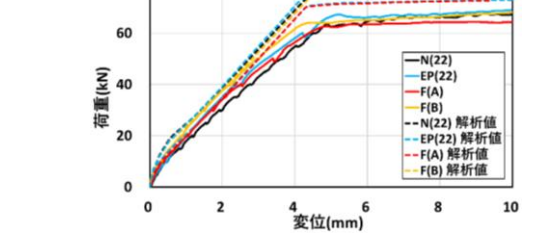


図 4 荷重－変位曲線

表 1 付着強度試験結果(※N(22)との比較)

名称	付着応力度(N/mm ²)			
	すべり 0.04mm 時		最大荷重時	
	試験	解析	試験	解析
N(21)	8.23	8.80	14.5	16.1
EP(21)	4.60	5.02	15.4	18.8
F(C)	7.37	8.36	16.2	20.0
N(22)	5.87(1.00)	6.36	13.6(1.00)	14.9
EP(22)	4.48(0.77)	4.80	13.2(0.97)	18.3
F(A)	2.48(0.42)	2.58	11.7(0.86)	16.0
F(B)	4.27(0.73)	4.58	19.1(1.40)	21.3

表 2 RC はり静的曲げ試験結果

名称	ひび割れ発生荷重(kN)			降伏荷重(kN)		
	試験	計算	解析	試験	計算	解析
N1(21)	5.00	9.15	9.42	62.0	55.8	73.9
N2(21)	10.0			60.0		
EP1(21)	10.0		8.60	68.0		73.5
EP2(21)	5.00			66.0		
N(22)	9.84	9.03	7.88	63.6		74.8
EP(22)	10.2		7.34	68.2		70.6
F(A)	10.0		5.27	64.3		70.1
F(B)	10.0		7.04	64.1		73.8