

ふっ素加工された鉄筋のコンクリート部材への適応性

長崎大学 学生会員 平地 健悟 正会員 山口 浩平
 長崎大学大学院 学生会員 志岐 豊
 AGC 株式会社 尾知 修平

1. 背景および目的

腐食性環境下における鉄筋コンクリート構造物では、塩化物イオンや炭酸ガスなどの劣化因子の侵入による鉄筋腐食が問題となっている。この問題を解決するために、1980年代からエポキシ樹脂塗装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、無被覆鉄筋と比較して高い防食性能を有する一方で、運搬・施工時に塗膜表面に損傷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。

以上のような課題に対して、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、ふっ素鉄筋のコンクリートとの付着性能、RCはり曲げ試験による構造性能を評価する。

2. コンクリートとの付着性能

2.1 概要

ふっ素やエポキシ樹脂を塗装した鉄筋は、無被覆鉄筋に比べてコンクリートとの付着強度の低下が問題視されている。RC構造が成立する前提条件は、鉄筋とコンクリート間での力の伝達は付着作用によって行われることである。つまり、RC構造の挙動を知るために付着強度は重要な特性となってくる。そこで、付着強度試験により、ふっ素鉄筋と従来の鉄筋の付着性能を比較する。

2.2 試験方法

試験は、JSCE-E 516-2010「樹脂被覆鉄筋の付着強度試験方法」²⁾を参考に行った。供試体は図1に示すように、一辺の長さ150mmのコンクリート製の立方体とし、その中心に鉄筋D19を通した。ふっ素鉄筋（2種）に加えて、無被覆鉄筋、エポキシ樹脂塗装鉄筋の2種類に、それぞれ付着長75mm（文献2）・150mm（比較用）の計8種類を作製する。供試体の種類を表1に示す。また供試体数は各3体作製する。以下、無被覆鉄筋はN、エポキシ樹脂塗装鉄筋はEP、ふっ素鉄筋（2種）はそれぞれF_(A)、F_(B)で示す。なお、2種のふっ素鉄筋の違いは、硬化剤の有無である。試験方法は、供試体を試験装置上部に固定し、試験装置下部で鉄筋をつかんだ。供試体上部の鉄筋突出部分とコンクリートブロック上端の内側および外側の計3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すべりを測定する。付着応力度は、文献2)を参考に算出する。

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、特にすべり0.04mm時の

付着応力度、鉄筋のすべり始めの付着応力度を特性値として数値解析に用いる。数値解析モデルは、コンクリートと鉄筋間で徐々に付着応力を伝達しなくなる半接着を反映した³⁾。

2.4 試験結果

現時点で実施したNおよびEPの試験結果を表3、図2に示す。付着長75mmにおいて、すべり0.04mm時の付着応力度は、N1は9.0N/mm²、EP1は5.2N/mm²とN1に比べて0.6倍と小さくなった。最大付着応力度では、N1は19.0N/mm²、EP1では19.5N/mm²でほぼ同等の結果が得られ、コンクリートにひび割れは生じず引抜き破壊であった。付着挙動において、ふしが引張力に抵抗するため付着力が生じるが、EPでは被覆厚さ分、節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^{4) 5)}があるが、本試験ではその影響は小さいと考えられる。

また参考として、付着長150mmのN2とEP2のすべり0.04mm時の付着応力度を比較すると、ほぼ同等の結果が得られた。最大付着応力度はEP2>N2となり、コンクリートにひび割れが発生したがすべり破壊した。図2は、実験値と解析値の比較であるが、解析値は実験結果を再現できており妥当であるといえる。なお、ふっ素鉄筋は現在試験準備中である。

3. 塗装鉄筋のRC部材の曲げ補強筋としての性能

3.1 概要

2.4の結果から、鉄筋に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考えられる。これにより、塗装鉄筋を用いた構造用部材は、無被覆鉄筋の場合と異なった挙動を示す可能性があることが懸念される。この点を明らかにするために、RCはりの静的曲げ試験を実施する。

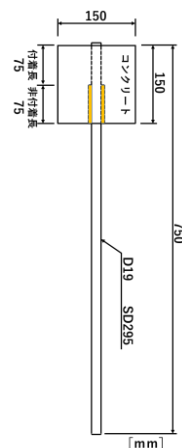


図1 付着強度試験供試体

表1 供試体の種類

付着長 (mm)		75	150
鉄筋の種類	無被覆	N1	N2
	エポキシ	EP1	EP2
	ふっ素 A	F _(A) 1	F _(A) 2
	ふっ素 B	F _(B) 1	F _(B) 2

表2 コンクリートの強度特性

圧縮強度	25.1 N/mm ²
引張強度	1.73 N/mm ²
ヤング係数	2.46×10 ⁴ N/mm ²

3.2 試験方法および数値解析の概要

載荷試験は図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。

曲げ補強筋は, 付着強度試験と同様に, N, EP, $F_{(A)}$, $F_{(B)}$, の4種類を用いて, 各2体ずつ作製する。使用する鉄筋は, 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。なお, 両鉄筋とも SD295 である。

測定項目は, 引張鉄筋ひずみ, コンクリート上縁ひずみ, ひび割れである。数値解析は2.3で得られた特性値を入力する。

3.3 試験結果

現時点で実施した N および EP の試験結果を図4, 図5, ひび割れ発生荷重と降伏荷重を表4に示す。計算値は, はり理論を用いて算出した。コンクリートの強度特性は, 圧縮強度は 30.4N/mm^2 , 引張強度は 2.4N/mm^2 , 曲げ強度は 3.3N/mm^2 , ヤング係数は $2.74 \times 10^4\text{N/mm}^2$ となった。

図4の荷重-変位曲線では, いずれの供試体とも曲げ性状は同様であることが確認でき, 図5の荷重-引張鉄筋ひずみ曲線の概形はおおよそ一致している。

降伏荷重は, N1 が 62kN, N2 が 60kN に対し, EP1 が 68kN, EP2 が 66kN であり, その差は 10% となった。また, 図6は最大荷重時の N, EP のひび割れ分布であり, 著しい相違は確認できなかった。破壊形態は, すべての供試体で曲げ破壊型となった。なお, ふっ素鉄筋は付着強度試験と同様に現在試験準備中である。

4. まとめおよび今後の予定

エポキシ鉄筋について各種性能評価比較試験を行った結果, 以下の知見が得られた。

- (1) 付着強度試験によるすべり 0.04mm 時の付着応力度の減少は, エポキシ鉄筋の塗膜厚が影響していると考えられる。
- (2) 付着強度試験による最大付着応力度は, 無被覆鉄筋と同等以上の値であることが確認された。

表3 付着強度試験結果(※同一付着長での N 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
N1	9.0(-)	19.0(-)
EP1	5.2(-43%)	19.5(+3%)
N2	11.0(-)	23.5(-)
EP2	10.9(-1%)	28.0(+19%)

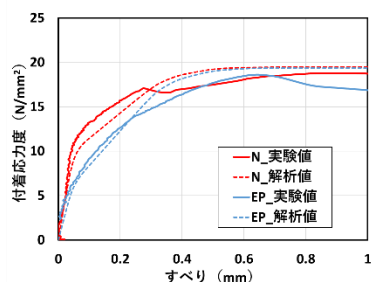


図2 付着応力度-すべり曲線

- (3) RC はりの静的曲げ試験の結果, 曲げ変形状, ひび割れ性状について無被覆鉄筋と同等であることが確認された。

今後, ふっ素鉄筋との比較を行う予定である。

参考文献

- 1) 片野啓三郎, 他: 高性能樹脂被覆鉄筋に関する研究, 大林組技術研究所報, No.79, 2015
- 2) 土木学会: 樹脂被覆鉄筋の付着強度試験方法, JSCE-E 516-2010
- 3) Marc 2019 Volume A: Theory and User Information
- 4) 小林一輔, 他: エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する実験的研究, コンクリート工学論文, 21(2), pp.91-106, 1983.9
- 5) 前田聡, 他: 最近のエポキシ樹脂塗装鉄筋の諸性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, 2005.7

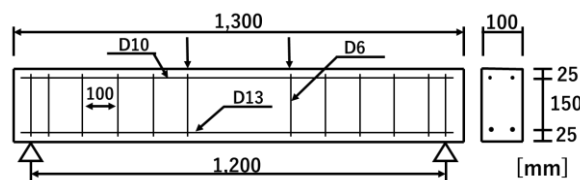


図3 曲げ試験供試体

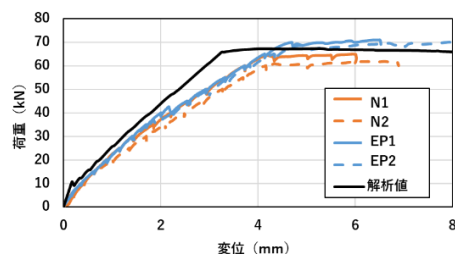


図4 荷重-変位曲線

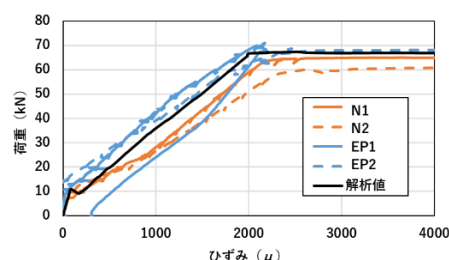
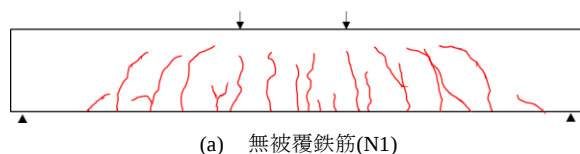


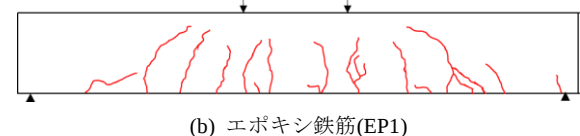
図5 荷重-引張鉄筋ひずみ曲線

表4 曲げ試験結果

名称	ひび割れ発生荷重(kN)			降伏荷重(kN)		
	実験値	計算値	解析値	実験値	計算値	解析値
N1	5	9	10	62	64	65
N2	10			60		
EP1	10			68		
EP2	5			66		



(a) 無被覆鉄筋(N1)



(b) エポキシ鉄筋(EP1)

図6 ひび割れ図