

応力負荷を受けた鉄筋のモルタル中における腐食特性の解明

金沢工業大学大学院 工学研究科 学生会員 ○東 洋輔
金沢工業大学 環境・建築学部 正会員 宮里 心一

1. 目的

多くの鉄筋コンクリート部材には、スターラップがある。その隅角部では、曲げにより応力が負荷されている。また、プレストレストコンクリート(以下、「PC」と称す。)では、応力を負荷された鋼材が、重要な役割を果たしている。このように、スターラップおよび PC 鋼材では、直接鋼材に応力が負荷されているため、応力が無負荷状態の鉄筋とは異なる腐食性状を示す可能性がある。

上述の背景を踏まえて本研究では、モルタルに埋設された鉄筋に対し、スターラップを模擬した曲げによる応力負荷や、PC を模擬した引張による応力負荷が、鉄筋腐食に及ぼす影響を解明した。

2. 試験概要

表 1 に試験要因と水準の一覧を示す。試験水準は、鉄筋に与えるひずみおよび黒皮の有無の二つとした。ひずみは、応力を負荷しない健全な鉄筋(No.A:0 μ)、引張応力を負荷した鉄筋(No.B:680 μ , C:14000 μ , D:78000 μ)、引張応力を負荷することで破断させた鉄筋(No.E:300000 μ)、曲げ応力を負荷した鉄筋(No.F:140000 μ)および曲げ応力を負荷し隅角部を 3 分割した鉄筋(No.H,K(中央部):300000 μ , No.G,I,J,L(両端部):125000 μ)とした。また、一般的な黒皮を有する鉄筋を用いて実際にスターラップを加工する場合、隅角部において黒皮が剥がれる。そのため、黒皮の有無が隅角部の腐食に及ぼす影響を評価した。なお、No.J~L を除いて、ワイヤーブラシにて黒皮を除去した後に応力を負荷した。

鉄筋に対して応力を負荷する方法を図 1 に示す。引張による場合、200kN 万能試験機および伸び計(50 mm の範囲が対象)を用いた。鉄筋のひずみは、引張による伸び値をデータロガーにて測定し、算出した。また、伸び計の測定範囲から 2.0 cm を選定し、試験体として切り取った。一方、曲げによる場合、鉄筋曲げ機を用いた。鉄筋のひずみは、外側の曲げによる伸び値を定規にて測定し、算出した。また、隅角部から 1.0 cm、2.0 cm あるいは 5.0 cm を選定し、試験体として切り取った。

供試体の概略を図 2 および図 3 に示す。鉄筋内部を流れる腐食電流を測定するため、表 1 に示すひずみを有する鉄筋は、健全な鉄筋とリード線にて接続し、1 組の試験体とした。ここで Type I 供試体には No.A,B,C および F を、一方 Type II 供試体には No.D,E,G,H,I,J,K および L を含む鉄筋を埋設した。また、何れのモルタル供試体も、塩分(Cl^- :3.6kg/m³ 相当)を混入した。次に、全ての供試体は脱枠後、水中養生にて 28 日間の初期養生を行った。その後、「3%の塩水噴霧 1 日 + 乾燥(20℃, RH60%) 2.5 日」を 1 サイクルとして乾湿繰返しを行う。塩害促進暴露を開始した。そして、暴露期間 1 日目および 28 日目に鉄筋の腐食電流を測定した。

本研究では鉄筋要素間を流れる腐食電流をマクロセル腐食電流、一方鉄筋要素内を流れる腐食電流をミクロセル腐食電流と定義した。また、マクロセルアノード腐食電流密度とミクロセル腐食電流密度を合計し、総腐食電流密度を求めた¹⁾。

表 1 試験要因と水準

要因	健全	引張					曲げ						
No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
ひずみ(μ)	0	680	14000	78000	300000	140000	125000	300000	125000	125000	300000	125000	
黒皮	無					有							
備考	応力無				破断		上端部	中央部	下端部	上端部	中央部	下端部	



図 1 応力負荷方法(左:引張,右:曲げ)

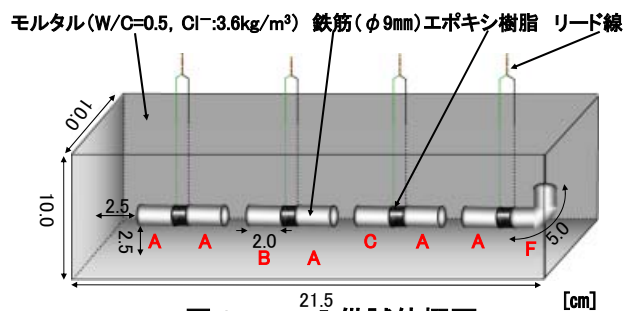


図 2 Type I 供試体概要

キーワード スターラップ, プレストレストコンクリート, 腐食, ひずみ, 黒皮

連絡先 〒921-8510 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1 TEL076-248-1305 FAX076-294-6713

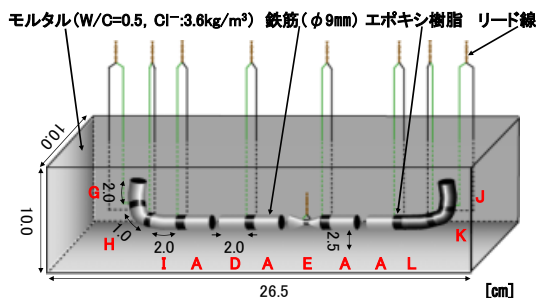


図3 Type II 供試体概要

3.実験結果

引張応力を負荷したケースの総腐食電流密度の結果を図4に示す。これによれば、No.A(健全:0 μ)およびNo.B(引張:680 μ)を比較すると、値に大きな差はなかった。しかしながら、破断に至るようなひずみを与えた場合(No.E:300000 μ)では、高い値を示した。

次に、曲げ応力を負荷したケースの総腐食電流密度の結果を図5に示す。これによれば、隅角部の中央部(No.H,K:300000 μ)において、高い値を示した。また、黒皮の有無が鉄筋腐食に及ぼす影響はみられない。

以上をまとめて、ひずみと腐食電流の関係を図6に示す。これによれば、ひずみが高くなれば、腐食電流が高くなることから、これは、鉄筋に作用する応力の増加に伴い、不動態被膜の保護性が低下したためと考えられる(例えば2),3)。

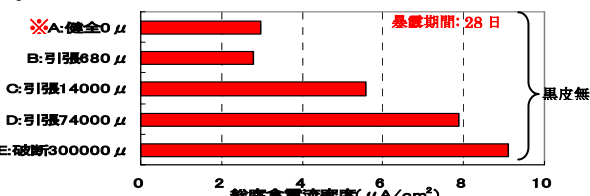


図4 総腐食電流密度(引張応力ケース)

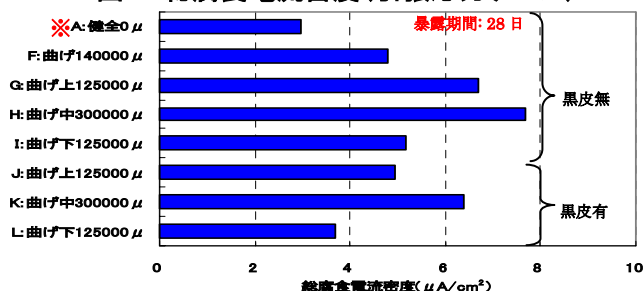
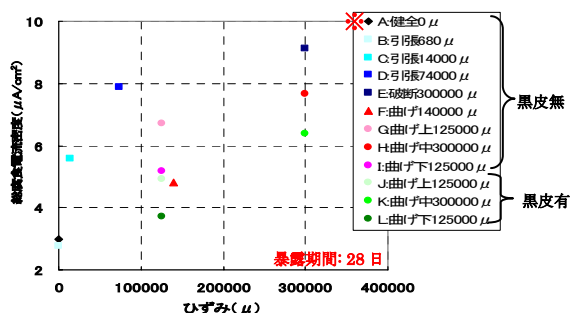


図5 総腐食電流密度(曲げ応力ケース)



※ No.A は鉄筋要素 A と A を組にした結果(図2 参照)

図6 ひずみと腐食電流の関係

4.考察

応力負荷が鉄筋腐食に及ぼす影響を考察するため、ひずみを有する鉄筋要素のアノード分極曲線を測定した。なお鉄筋要素は、「水酸化カルシウム水溶液(pH:12.4, NaCl:3.0%, 20 $^{\circ}$ C) 1 日 + 乾燥(20 $^{\circ}$ C, RH60%) 2.5 日」を1 サイクルとした環境にて乾湿繰返しを行った。その後、暴露期間 28 日目にアノード分極曲線を測定した。そして、鉄筋の腐食速度はアノード分極曲線の初期電位から、貴に 250mV 移行させた電位における電流密度を用いて評価した。すなわち、電流密度が高くなれば、腐食しやすい状態にあることを意味する。ここで、アノード分極曲線の結果を図7に示す。これによれば、No.E, H, K は他のケースより腐食しやすい状態にあることがわかる。また、他のケースは健全な鉄筋(No.A)と同程度の腐食状態にあることがわかる。また、No.H と No.K を比較すると、黒皮の有無は腐食状態に影響を及ぼさないことが確認された。以上のことから、これらの結果は 3 章にて得られた結果と一致するものであることが確認された。

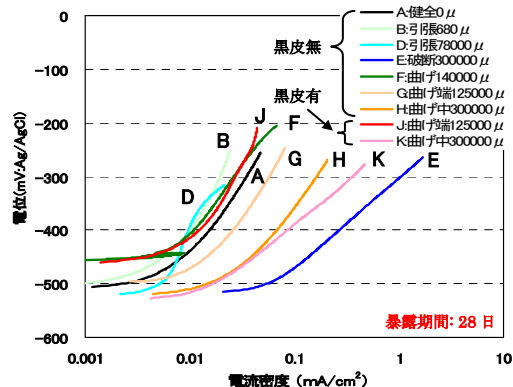


図7 アノード分極曲線

5.結論

- 1) 曲げにより応力負荷を受けた鉄筋の腐食速度は、隅角部(ひずみ=約 300000 μ)において高い。また、引張により破断(ひずみ=約 300000 μ)に至る応力負荷が与えられた場合、腐食速度は高い。
- 2) 黒皮の有無は鉄筋の腐食速度に影響を及ぼさない。

参考文献

- 1) 宮里心一, 大即信明, 小長井彰祐: 分割鉄筋を用いたマクロセル腐食電流測定方法の実験的・理論的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.547-552, 2001.
- 2) 菅原博勝, 五藤寛丈, 小茂鳥潤: Ni-Ti 形状記憶合金の腐食挙動に及ぼす応力負荷およびひずみの影響, 材料と環境 2005 講演集, No.C-117, pp.285-288, 2005.
- 3) H. Iwanaga and T. Oki, J Soc Mater Sci Jpn, Vol.30, No.331, p.394, 1981.