

材料分離の影響を受けた水平鉄筋の腐食性状に及ぼす酸素透過の影響

愛媛大学大学院 正会員 ○河合 慶有 奥村組 非会員 仲井 一平
愛媛大学大学院 正会員 氏家 勲

1. はじめに

コンクリートを打設する際に生じるブリーディング水により鉄筋及び骨材周囲には境界相や空隙が形成されるが、鉄筋腐食への影響は不明確な点が多い。既往の研究¹⁾によると、水平鉄筋周りの境界相がコンクリート中鉄筋の腐食に影響を及ぼすことが定性的に明らかになっている。本研究では、ブリーディング量の異なる4種類の配合を用いて作製した打設高さ1.5mの供試体を対象として、材料分離が配置高さの異なる水平鉄筋の腐食性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。特に、材料分離抵抗性の違いに起因する供試体の高さ方向における物質透過抵抗性の相違がカソード反応で消費される酸素透過量、埋設鉄筋近傍の塩分濃度、分割鉄筋要素間の電位差の存在に及ぼす影響について、腐食形態を含めた腐食性状の観点から検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び供試体概要

本実験では水結合材比を60%または52.5%とし、単位水量は 165kg/m^3 に設定した。混和材として加熱改質フライアッシュ(密度: 2.23g/cm^3 , ブレーン値: $4310\text{cm}^2/\text{g}$, 強熱減量: 0.9%)を使用した。配合方法は、材齢28日の圧縮強度がFAを混和していない配合と同程度となるようにセメント量及び細骨材量を調節し置換した。コンクリートの配合を表1に示す。また細骨材及び粗骨材の物性を表2に示す。

表1 配合

ケース	W/B (%)	単位量 (kg/m^3)											
		W	C	FA	細骨材				粗骨材			混和剤	
					S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	G ₁	G ₂	G ₃	Ad1	Ad2
OPC	60	165	275	-	448	457	-	-	955	-	-	4125	13.75
CUS60	60	165	275	-	179	183	-	731	959	-	-	1650	-
FACUS30	52.5	165	251	63	-	-	604	366	-	469	462	943	22
FACUS60	52.5	165	251	63	166	169	-	731	931	-	-	1886	6.29

表2 骨材の物性値

骨材種類	表乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粗粒率
S ₁ 愛媛県東温市山ノ内産砕砂	2.61	1.06	2.92
S ₂ 福岡県北九州市東谷山産石灰砕砂	2.66	0.58	2.47
S ₃ 千葉県君津市法木産山砂	2.62	1.05	2.51
S ₄ 銅スラグ細骨材CUS2.5	3.55	0.04	2.28
G ₁ 愛媛県東温市山ノ内産砕石	2.63	1.15	-
G ₂ 東京都青梅市成木産砕石5号	2.65	0.49	-
G ₃ 東京都青梅市成木産砕石6号	2.61	0.66	-

供試体寸法は、断面 $300\times 300\text{mm}$ 、高さ 1500mm とし、埋設した鉄筋は長さ 100mm の異形鉄筋D32を使用した。図1に示すように上・下に分割した鉄筋を相対するコンクリート表面からかぶりを確保し、2本ずつ各高さ(底面から250, 750, 1250mm)に埋設した。本研究では一方の側面から切出した3体の供試体を用いて検討した塩害による腐食試験の結果を示す。かぶりはいずれの高さの供試体においても 30mm と一定とした。供試体は、打設後材齢3日目に脱型し材齢28日まで 20°C の恒温室内で屋内曝露した。その後、図1に示す切出し供試体を乾式により切断し作製した。

2.2 試験項目

乾湿繰り返しを用いた腐食試験は、 20°C の恒温室内において塩水を用いた湿潤期間3日と乾燥期間4日の1週間を1サイクルとした乾湿繰り返しにより実施した。試験に使用した塩水の濃度は10%とした。1サイクル毎の湿潤期間直後に自然電位及び分極抵抗(ACインピーダンス法)を測定した。マイクロセル電流密度は測定された分極抵抗値からStern-Geary式のK値を0.026として算出した。なお、いずれの測定においても参照電極にはAg/AgClを使用した。マクロセル電流密度は、鉄筋上・下間に無抵抗電流計を接続して鉄筋それぞれから流出入する電流を測定し、鉄筋表面積で除して算出した。またコンクリート内部を透過し鉄筋表面でのカソード反応によって消費される酸素量を既往の研究²⁾を参考にして算出した。

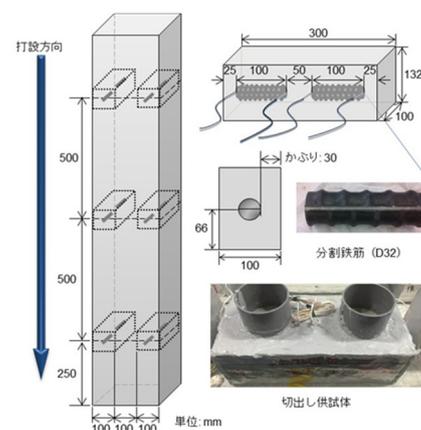


図1 供試体概要

3. 実験結果及び考察

予備実験の際に JIS A 1123-2003 に準拠し行ったブリーディング試験より、各配合におけるブリーディング量はそれぞれ約 $0.33 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (OPC), 約 $1.0 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (CUS60), 約 $0.55 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (FACUS60), 及び約 $0.32 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (FACUS30) であり, CUS を混合使用した配合でも FA を混和することでブリーディングの抑制効果が得られることが確認されている. 図 2 にマイクロセル電流密度と鉄筋表面近傍から採取した粉末試料を用いて測定された塩化物イオン含有量の関係を示す. なお, マイクロセル電流密度は供試体切断・割裂前(試験期間 343 日まで)に測定された値とし, 塩化物イオン含有量の結果は浸透面から 30~45mm の区間で得られた結果を用いた. 図より, 塩化物イオン含有量が増加するほどマイクロセル電流密度は大きくなる傾向が一定程度認められる. 特に, この傾向は OPC 及び CUS60 の供試体において認められるものの, FA を混和した供試体においては, 塩化物イオン含有量が大きな値を示した場合であってもマイクロセル電流密度が低減されている供試体も認められる.

図 3 及び図 4 に各供試体におけるマイクロ・マクロセル電流密度及び酸素透過速度(材齢 180 日)の関係をそれぞれ示す. 図より, 酸素透過速度の増加に伴いマイクロセル電流密度は大きくなる正の相関が明確に認められる. また FA を混和した供試体においては酸素透過速度が $1.0 \times 10^{-11} \text{ (mol/cm}^2/\text{sec)}$ と低減されたことで, マイクロセル電流密度の値も低減されたと考えられる. 一方, マイクロセル腐食と同様にカソード側鉄筋部における酸素透過速度が大きくなるほどマクロセル電流密度も大きくなっている. しかし, 酸素透過速度が低い場合であっても, マクロセル電流密度が大きな値を示している供試体がみられた. これらの供試体では図 5 に示すように鉄筋④⑤間に自然電位の差が存在しており, この電位差が起電力として作用しマクロセル腐食形成に影響していることが示唆される. このような部位では材料分離に起因する沈下ひび割れの存在により, 塩化物イオンが局部的に鉄筋に到達しアノード部を形成したことで, 鉄筋要素間に電位差が生じたものと推察される.

4. まとめ

材料分離抵抗性の違いに起因して, 物質透過抵抗性が低下した部位では塩化物イオンの浸入が容易となり, 塩化物イオン含有量が増加するほどマイクロセル電流密度は大きくなる傾向が一定程度認められるが, 鉄筋腐食の発生状況と塩化物イオン含有量の関係は不明確な結果となった. 本研究では, 鉄筋要素間に電位差が生じた供試体を除き, カソード反応における酸素透過速度がマイクロ・マクロセル腐食をそれぞれ律速していると考えられる.

参考文献

- 1) T.U.Mohammed et al. : Chloride-induced corrosion of steel bars in concrete with presence of gap at steel-concrete interface, ACI Materials Journal, Vol.99, No.2, pp.149-156, 2002.3
- 2) 西田孝弘, 大即信明, Melito A.Baccay : 鋼材腐食による鉄筋コンクリートの劣化の温度依存症に関するアレニウス則に基づく検討, 材料と環境講演概要集, pp.363-366, 2006

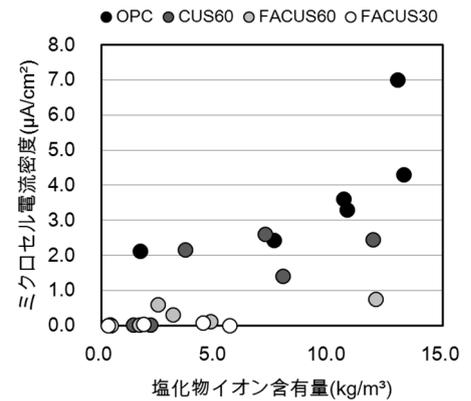


図 2 Cl⁻含有量及びマイクロセル電流密度

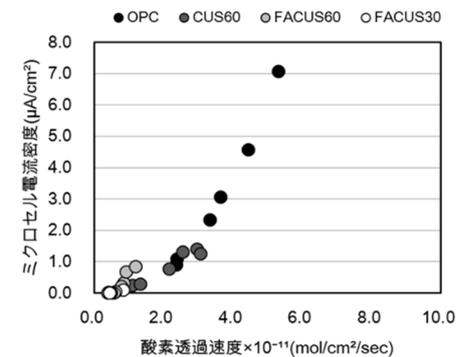


図 3 酸素透過速度及びマイクロセル電流密度

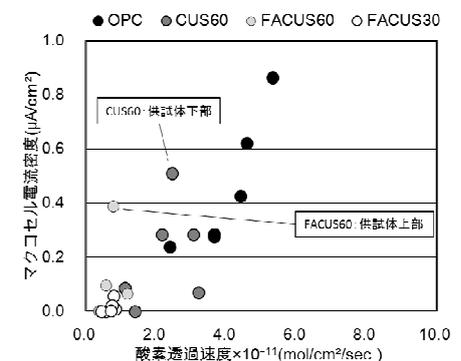


図 4 酸素透過速度及びマクロセル電流密度

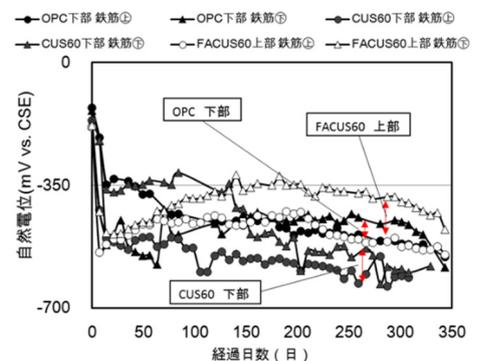


図 5 鉄筋上下間の自然電位の差