初期養生がフライアッシュコンクリートの鉄筋腐食形態・性状に与える影響

愛媛大学大学院　学生会員 ○杉野和可子
愛媛大学大学院　正会員　河合慶有　正会員　氏家勲

1. はじめに

鉄筋腐食が発生すると，鉄筋表面では鉄がイオン化するアノード反応と酸素が還元するカソード反応が進行し，セルという腐食電池が形成される．カソード反応においては，鉄筋表面で酸素が消費されるため，酸素透過量はコンクリート中の鉄筋腐食に大きな影響を及ぼす要因の一つであることが報告されている [1)]．また，コンクリート中の鉄筋腐食はマクロセル腐食とミクロセル腐食に大別される [2)]．一般に，アノード反応とカソード反応が同じ位置もしくは極めて近い位置で生じる場合の腐食が，ミクロセル腐食と称される．一方，マクロセル腐食は，アノード反応とカソード反応が互いに離れた位置で生じ，局所的に腐食が進行する．後者の腐食形態が生じる要因には，コンクリート内部あるいは外部環境における不均一性，異種金属の接触作用，活性ー不動態電池作用，濃淡電池作用などが挙げられる．本研究では，遮塩性能に優れたフライアッシュ（FA）コンクリートを対象として，初期養生の相違が鉄筋腐食形態・性状に与える影響について検討を行った．特に，上述したマクロセル腐食において，初期養生の相違がマクロセル腐食の発生する条件を含めたマクロセル腐食機構に与える影響を明らかにすることを目的とした．

2. 実験概要

2.1 使用材料および供試体概要

本研究では，水結合材比を 50%としてコンクリート供試体を作製した．FA の配合方法はセメント質量の 30%を内割りで置換した．供試体寸法は，断面 100×100mm，高さ 200mm とし，埋設した鉄筋には長さ 100mm の丸鋼ϕ22 を使用した．**図 1** に示すように上下に分割した鉄筋を型枠底面からかぶりを 20mm 確保して埋設した．鉄筋には切断面の垂直方向に二等分し，幅 1mm を確保した鉄筋間をエポキシ樹脂により接着した分割鉄筋を用いた．本研究で検討した OPC および FA の条件を**表 1** に示す．OPC においては 2 ケース，FA においては 4 ケースの異なる条件で脱型・初期養生を行った．養生終了後に，かぶりを確保した面以外の 5 面をエポキシ樹脂で被覆した．なお，コンクリートの配合を**表 2** に，使用した骨材の物性を**表 3** に示す．

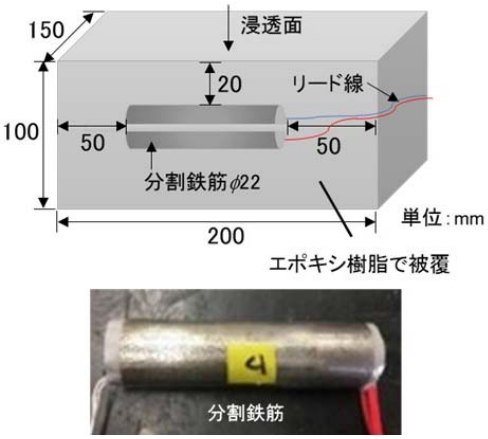

図 1　供試体概要

2.2 塩害促進試験

塩害促進試験は，20℃の恒温室において塩水（濃度 10%）を用いて乾燥期間 4 日と湿潤期間 3 日の 1 週間を 1 サイクルとして行った．自然電位，分極抵抗，カソード・アノード分極曲線の測定は各サイクルの湿潤期間が終了した直後に行った．また，マクロセル電流密度は既往の研究 [2)]を参考にして無抵抗電流計を用いて測定した．また，カソード分極試験の結果に基づいて酸素透過速度を推定した．

表 1　検討ケース

配合	脱型材齢	養生
OPC	1日	28日水中A
	3日	28日気中B
FA（内割30%置換）	1日	28日水中C, D
	1日	7日湿布E, F
	1日	14日湿布G, H
	3日	28日気中I, J

表 2　配合

配合	W/B(%)	単位量(kg/m^3)					単位量(g/m^3)	
		水 W	セメント C	混和材 FA	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE助剤
OPC	50	175	350	ー	845	922	5597	14
FA	50	175	245	105	829	905	2099	7

表 3　骨材の物性

骨材		表乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粗粒率
砂岩砕砂	S	2.61	0.88	2.87
砂岩砕石	G	2.63	1.15	-

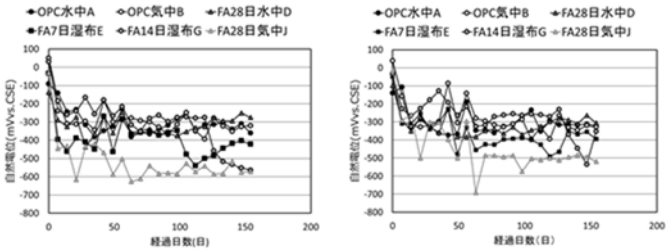

図 2　自然電位(左：鉄筋上部，右：鉄筋下部)

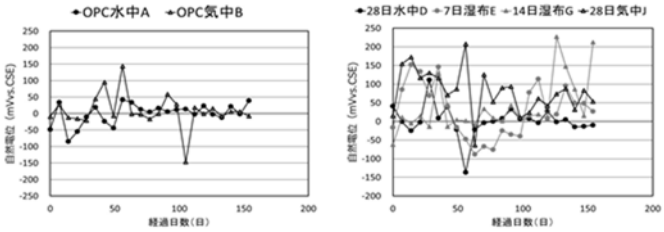

図 3　鉄筋上下間の自然電位差(左：OPC，右：FA)

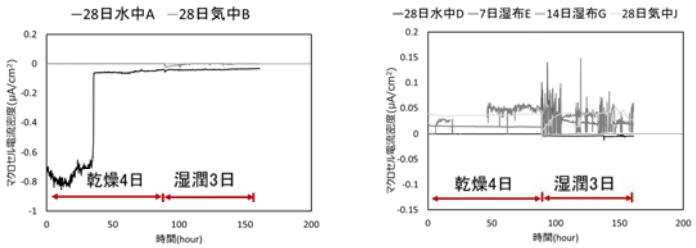

図 4　マクロセル電流密度(左：OPC，右：FA)

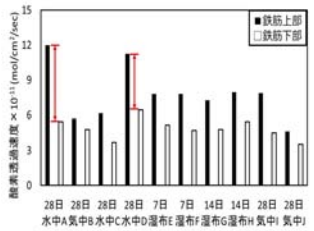

図 5　酸素透過速度(材齢 28 日)

3. 実験結果および考察

各供試体で測定された自然電位および鉄筋上下間の自然電位差（鉄筋下部－鉄筋上部）を**図 2** および**図 3** に示す．**図 2** より，28 日水中，7 日湿布，14 日湿布養生の順に自然電位の値が-350mV vs. CSE より卑な値を示し，初期養生の相違によって鉄筋腐食の発生時期が異なっている．また，**図 3** より FA の 7 日湿布，14 日湿布，28 日気中養生を施したケースでは，鉄筋上下間の自然電位の差より，鉄筋上部がアノード，下部がカソードとなっていると推察される．しかし，28 日水中養生を施したケースにおいては自然電位の差は上下間で逆の傾向を示しており，生じた腐食性状に違いが認められた．以上のように，鉄筋上下間で自然電位の差が存在する供試体については，マクロセル腐食を発生させる要因になると推察される．

次に材齢 175 日から 182 日の 1 週間，各供試体で測定されたマクロセル電流密度の結果を**図 4** に示す．これらの図より，OPC の 28 日水中，および FA の 28 日水中養生を施した供試体では上部がカソード，FA のその他の養生では下部がカソードとなっており，マクロセル腐食電流の方向から判定されるアノード・カソードに違いが生じている．前述したように FA 供試体は水中養生以外の 7 日湿布 E，14 日湿布 G，28 日気中 J において鉄筋上下間に自然電位差が生じており，この起電力によりマクロセル腐食が進行していると考えられる．この時，塩分濃度の高まる鉄筋上部がアノード部，下部がカソード部となる傾向があることがわかった．一方，OPC および FA の水中養生の供試体においてこのような腐食形態・性状は認められない．ここで，材齢 28 日に OPC および FA 供試体の鉄筋上下間において測定された酸素透過速度の結果を**図 5** に示す. OPC および FA ともに 28 日水中養生を施したケースにおいて，分割鉄筋の上部の方が下部よりも酸素透過量が多く，鉄筋上下間の酸素透過速度の差が最も大きくなっていることが認められる．このことから，水中養生を施したケースでは，乾湿繰り返し作用に伴う浸潤深さが鉄筋上部のみに到達し，溶存酸素濃度が高まると考えられる鉄筋上部側がカソードとなる濃淡電池作用が生じたと推察される．

4. まとめ

本研究により，初期養生の異なるコンクリート供試体で生じた材齢 182 日の腐食形態・性状の違いは，材齢 28 日で測定された酸素透過速度に基づけば，分割鉄筋の上下間の酸素透過性の違いに起因すると推察される．

参考文献

1) 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，D-101，pp.363-366，2006.
2) 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電流測定方法の実験的・論理的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，2001.