

足利工業大学工学部 正会員 ○黒井登起雄

足利工業大学工学部 正会員 松村 仁夫

日 鐵 建 材 工 業 ㈱ 正会員 越智 恒男

1. まえがき

鉄筋コンクリートに直流電流が作用したとき、鉄筋の腐食が陽極となる部分に、また鉄筋の周辺ペーストの軟化による付着強度低下が陰極となる部分に起こることはよく知られている¹⁾。本研究は、電食時の鉄筋コンクリートの鉄筋の防食を目的とした繊維長の短い（アスペクト比40以下）鋼繊維（金属材料）を混入したコンクリートの作用電流の強さの防食・劣化抑制に及ぼす影響を明らかにするとともに、電食による鉄筋の腐食などの劣化抑制メカニズムを電気化学的に検討したものである。

2. 実験の概要

表1 鋼繊維を混入したコンクリートの配合

2.1 使用材料及び配合 鉄筋は、 $\phi 19\text{mm}$ のみがき丸棒鋼を用いた。鋼繊維は、N社製の繊維長10mmおよび20mm〔 $0.5 \times 0.5\text{mm}$ 〕の2種類を使用した。セメントは、C社製の普通ポルトランドセメントを、細・粗骨材は、鬼怒川産の川砂（比重；2.59）および同産の川砂利（最大寸法；15mm）を使用した。配合は、表1に示すように、 $W/C=0.40 \sim 0.60$ （スランプ= $10 \pm 2\text{ cm}$ ）のコンクリートを基本とした。繊維混入率は、 $V_f=0$ 、1.0 および2.0 %を主にし、一部0.5および1.5 %も行った。試験供試体は、表1の配合を参考にしたセメントペースト（ $W/C=0.45$ ）およびモルタル（ $W/C=0.40$ および0.60）で作成した。混入量は、鋼繊維の容積濃度がコンクリートと同じになるようにした。

2.2 供試体の形状および実験方法 (1) 電食試験

電食試験用供試体は、辺の長さが $15 \times 15\text{cm}$ 、高さ10cmの角柱モルタルに、高さ方向の中心に鉄筋を埋設する形状とした。鉄筋は、酸洗い処理したのち、あらかじめ質量を10mgまで正確に測定した。試験は、材令28日に水道水中で、埋設鉄筋を陽極に、水道水中の円筒銅板電極を陰極に接続して行った。電流は40、20および5 mA（電流密度0.90、0.45および0.11 mA/cm^2 ）の一定にした直流電流とした。試験時間は336および672時間とした。試験後に鉄筋のさび量の測定を行い、酸洗い処理したのちの鉄筋質量と試験前との差から求めた。また、鋼繊維の腐食状況の観察も行った。

(2) 電解試験 電解試験用供試体は、内径10.5cm、高さ12cmの鋼管に繊維を混入したセメントペーストおよびモルタルを打込み、鋼管の中心高さ方向に鉄筋を埋設する形状とした。試験は、材令28日に水道水中で、鋼管を陽極に、埋設鉄筋を陰極に接続して行った。電流は、電食試験と同じにした（電流密度0.79、0.39および0.10 mA/cm^2 ）。電解時間は672時間とした。電解試験前後の供試体は押し抜きによる付着強度試験を行ったのち、ペーストおよびモルタルのアルカリ金属イオン（Na、K）のEPMAによる分析を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリート中の鉄筋の腐食性状 図1より、鋼繊維を混入したモルタル中の鉄筋のさび量は、鋼繊維無混入のモルタル中より著しく少なくなる。すなわち、電食による鉄筋のさび速度を表す電食係数は、

鋼繊維の 公称寸法 (mm)	V_f %	W/C %	s/a %	単 位 量 (kg/m^3) ^{*3}				
				SF	W	C	S	G
-----	---	40	47	--	199	497	753	823
-----	---	50	49	--	185	370	854	861
-----	---	60	50	--	196	327	892	831
0.5 × 0.5 × 10 ^{*1}	0.5	40	34	39	215	536	518	961
	1.0	"	52	79	221	553	763	682
	1.5	"	54	118	232	580	761	621
	2.0	"	64	157	252	630	834	449
	1.0	50	46	79	207	414	748	841
	2.0	"	66	157	227	454	998	492
	0.5	60	38	39	187	312	676	1055
	1.0	"	48	79	194	323	834	864
	1.5	"	58	118	212	353	956	663
	2.0	"	68	157	214	357	1106	497
0.5 × 0.5 × 20 ^{*2}	0.5	40	40	39	221	553	596	855
	1.0	"	50	79	257	643	650	630
	1.5	"	60	118	223	558	866	560
	2.0	"	70	157	242	605	944	390
	1.0	50	52	79	231	462	788	705
	2.0	"	72	157	235	470	1060	399
	0.5	60	44	39	203	338	749	923
	1.0	"	54	79	220	367	875	823
	1.5	"	64	118	230	383	1003	547
	2.0	"	64	157	228	380	1001	546

*1 普通鋼（ストレート型） *2 普通鋼（波付型）

*3 粗骨材の最大寸法；15mm，スランプの範囲； $10 \pm 2\text{ cm}$

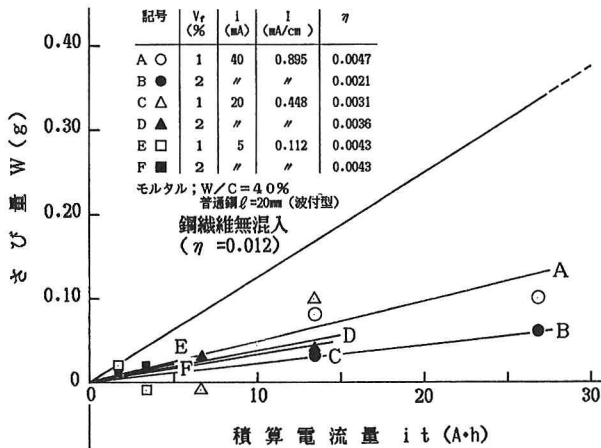


図1 積算電流量と鉄筋のさび量の関係 (W/C=0.40)

無混入のモルタルの場合に $\eta=0.012$ であるのに対し、鋼繊維を混入した場合、大部分が $\eta=0.0000\sim0.0070$ の範囲にあり、約40~100%も小さくなることが認められる。これらの傾向は、電流が40、20および5mAと変化（電流密度が変化）しても、また、モルタルの水セメント比が大きくなっても (W/C=60%) ほとんど同じである。

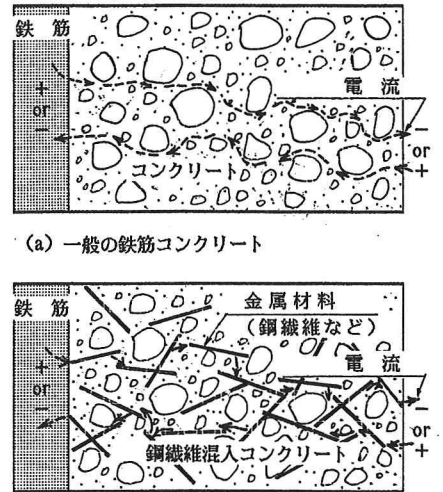
3.2 アルカリ金属イオンの分布 EPMAによる面分析および線分析結果の一例を写真1に示す。鋼繊維無混入のペーストの場合、電流密度が 0.39mA/cm^2 の小さいときにもアルカリ金属イオンの鉄筋周辺への著しい集積が認められる。これに対して、写真1より、鋼繊維 ($\ell=20\text{mm}$) を2%混入し、電流密度 0.39mA/cm^2 で電解したペーストの場合、鉄筋周辺へのアルカリ金属イオンの集積は、イオンが鉄筋のかぶり厚方向の広い範囲に細かく変化しながら分布し、認められなくなる。これは電流がペースト中を回路にしていなかったことを示している。

このように、鋼繊維の混入は、繊維長の短い10および20mmの場合にも、 $0.10\sim0.79\text{mA/cm}^2$ の電流密度の電流が作用したペースト中のアルカリ金属イオンの鉄筋周辺への集積抑制に効果的である。

3.3 電食（電気分解）の抑制メカニズム 鉄筋コンクリートの電食は、図2(a)に示すように、鉄筋からコンクリート、またはコンクリートから鉄筋に電流が流れること、すなわち、電気電導のメカニズムが異なることによって起こると考えられる。導体である金属（鉄筋）中の電荷の移動は、陽イオンの結晶格子中を自由電子が移動することであるのに対して、電解質（コンクリート）中の電荷の移動は、イオン結晶の物質が水溶液中で陽イオンと陰イオンとに分かれるイオン移動である。鉄筋コンクリートの電食による劣化抑制には、電荷のイオン移動を抑制することも有効であり、コンクリート中への金属材料の混入は「金属-金属」の回路を作るのに効果がある。図1および写真1の結果は、図2(b)のように、コンクリート中に混入した鋼繊維（金属材料）が「金属-金属」の回路を形成し、鉄筋から流れる電流の40~100%がこれらを回路としたためと考えられる。

〔謝辞〕 本研究において、EPMAによる面・線分析は、秩父セメント（株）中央研究所原澤修氏にご協力賜った。ここに謹んで感謝の意を表します。

1) 黒井；電気分解による鉄筋コンクリートの劣化に関する基礎的研究，土木学会論文集，414号，1989.2



(b) 鋼繊維を混入した鉄筋コンクリート

図2 鉄筋コンクリートの電流回路

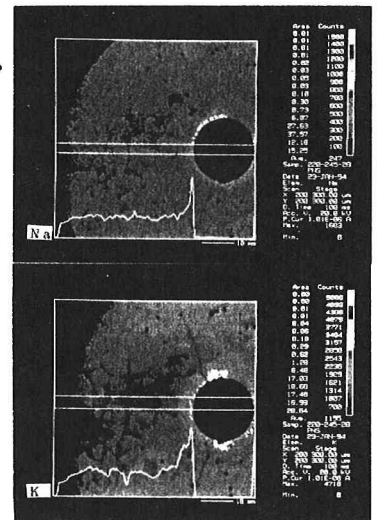


写真1 面・線分析によるアルカリ金属イオンの分布 ($\ell_{SF}=20\text{mm}$, $V_f=2\%$, $i=20\text{mA}$, $T=672\text{h}$.)