

V-147

鋼繊維混入鉄筋コンクリートの電食に及ぼす塩化物イオンの影響

足利工業大学工学部 正会員 ○黒井 登起雄

同 上 正会員 松 村 仁 夫

1. まえがき

コンクリート中への鋼繊維混入は、電流の流入・流出回路が形成されるため、鉄筋コンクリートの電食による劣化抑制方法として効果的である¹⁾が、塩分環境においては防食性能が十分に発揮されない²⁾。その原因は未解明の部分が多い。そこで、本研究では、塩分環境における鋼繊維混入コンクリート（以下、SFコンクリートと呼称）中の鉄筋の電食抑制の低下の原因を解明するため、簡単な電食試験を行い、鉄筋の電食による腐食速度、コンクリート中の塩化物イオン分布および量を検討し、考察した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料及び配合 鉄筋は呼び径19mmのみがき丸棒鋼を用いた。鋼繊維は、N社製の0.5×0.5×10mm（ストレートタイプ）および0.5×0.5×20mm（波付タイプ）のものをを用いた。配合は、表1に示すように、W/C=40および60%（スランプ=10±2cm）のコンクリートを参考にするモルタルとした。鋼繊維混入率は、 $V_f=0$ および2.0%（容積百分率）とした。繊維混入量は、コンクリートの配合からモルタルの容積割合を算出し、鋼繊維の容積濃度がコンクリートの場合と同一になるように調節した。

表1 コンクリートの配合

鋼繊維の有無	V_{sf} %	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)*1				
				SF	W	C	S	G
----	---	40	47	--	199	497	753	823
----	---	60	50	--	196	327	892	831
混入*2	2.0	40	70	157	242	605	944	390
	"	60	64	"	228	380	1001	546

*1 最大寸法: 15mm, スランプ: 10±2cm

*2 0.5×0.5×10mm（ストレートタイプ）および0.5×0.5×20mm（波付タイプ）の2種類の鋼繊維

2.2 供試体の形状及び電食試験方法 電食試験用供試体は、図1に示すように、一辺が15cm、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、酸洗い処理した後、質量をあらかじめ10mgまで正確に測定した。供試体は、試験まで20±3℃の水中で養生した。電食試験は、材齢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。なお、電解液は、海水を模した $Cl^- = 20000$ ppmの塩化ナトリウム溶液を使用した。電流は、40mA（鉄筋表面の電流密度0.90mA/cm²）および20mA（電流密度0.45mA/cm²）の一定直流電流とした。試験時間は336時間および672時間とした。電食試験後に鉄筋のさび量、塩化物イオンの浸透深さおよび量の測定を行った。鉄筋のさび量は、モルタルから鉄筋を取り出して酸洗い処理し、質量測定によって求めた。塩化物イオンの浸透深さは、供試体の鉄筋を含む断面に硝酸銀溶液（濃度0.1mol/l）を噴霧し、白色変色域をかぶり表面から測定して求めた。また、塩化物イオンの量は、鉄筋周辺および浸透領域の2箇所からモルタル試料を採取し、硝酸銀溶液（濃度0.1mol/l）の直接滴定によって求めた。

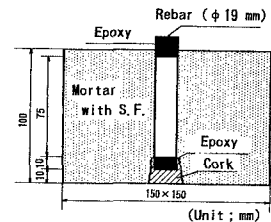


図1 電食試験用供試体の形状寸法

3. 電食時のSFコンクリートの防食性能

3.1 塩分環境におけるSFコンクリートの防食性能 SFモルタル（ $\ell_{sf}=10$ mmおよび20mm、 $V_f=2.0\%$ ）中に埋設した鉄筋の塩分環境における電食試験結果を図3（W/C=0.40）および図4（W/C=0.60）に示す。図3より、塩分環境（電解液; $Cl^- = 20000$ ppm塩水中）におけるSFモルタル中の鉄筋のさび量は、Non-SFモルタル（電解液; 水道水）のときより著しく増加する。すなわち、水道水中で電食試験を行ったときのNon-SFモルタル中の鉄筋の電食係数*1が $\eta=0.012$ であるのに対して、塩水中で電食試験を行ったSFモルタル中の場合は、 $\eta=0.112\sim0.223$ の範囲にあり、約10～20倍にも大きくなる傾向が認められる。積算電流

*1 電食係数 η は、鉄筋のさび速度を表す係数であり、 $\eta = W/W_0$ 、 $W_0 = 1.042 \text{ i t}$ によって算定される。

量13A・h程度までの電食係数は比較的小さく0.112程度であるが、13A・h以上になると急激に大きくなるようである。また、図4のW/C=0.60のときの結果も、電食係数は0.222～0.375の範囲にあり、W/C=0.40とほとんど同じ傾向が認められる。なお、モルタル中の鋼繊維の腐食は、内部および表面付近とも目視によって確認できなかった。

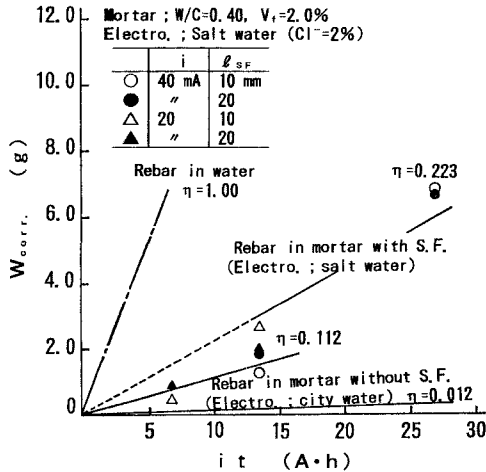


図3 積算電流量とさび量との関係(W/C=0.40)

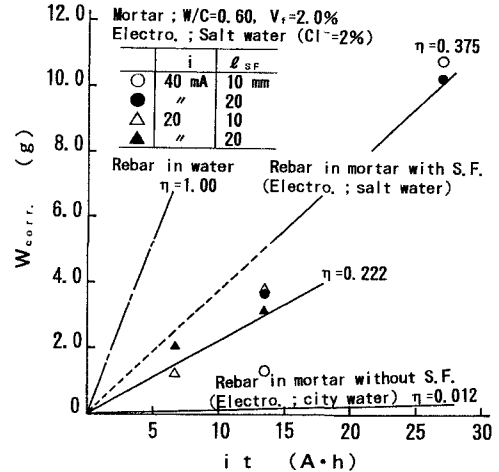


図4 積算電流量とさび量との関係(W/C=0.60)

3.2 モルタル中の塩化物イオン 電食試験後のモルタル中の塩化物イオンの浸透深さおよび濃度を調べた結果を表2に示す。表より、電流による外部からのモルタル中への塩化物イオンの浸透深さは、W/C=0.40のとき、かぶり表面から4.5～9.5mm（積算電流量13.44A・h）および11.2～22.2mm（同26.88A・h）であり、かぶり65.5mmの表面から約1/6～1/3に達している。また、W/C=0.60のときも塩化物イオンの浸透深さは、11.6～22.4mm（積算電流量13.44A・h）および14.5～30.1mm（同26.88A・h）で、かぶり表面から約1/4.5～1/2に達している。浸透領域内のモルタルの塩化物イオンの濃度は、0.15～0.31%（積算電流量13.44A・h）および0.11～0.64%であり、モルタル中にかなりの量の塩化物イオンが電流によって浸透していることが明らかとなった。なお、鉄筋周辺の領域から採取したモルタルの塩化物イオン濃度は、定量分析の結果からも確認できなかった。

3.3 S Fモルタルの電食抑制の限界 塩分環境を模した本実験の結果から、電食時のS Fモルタルによる鉄筋の防食性能は、外部に塩化物イオンが存在する場合、電流によって塩化物イオンがモルタル中に浸透し、鋼繊維よりもイオン化傾向の大きい塩化物（NaCl）が含まれるために著しく阻害される。したがって、塩化物（NaCl、KClなど）がコンクリートに含まれていたり、またコンクリートが塩分環境にある場合、電流作用下における鉄筋の防食を目的とするS Fコンクリートは、効果的でないと考えられる。

4. まとめ

S Fコンクリートの電食に対する防食性能は、鋼繊維よりもイオン化傾向の大きい塩化物イオンが含まれる場合、著しく損なわれることが明らかになった。

〔謝辞〕 本研究を実施するに当たり、鋼繊維およびエポキシ樹脂塗料は、それぞれ日鐵建材工業㈱およびショーボンド建設㈱よりご提供頂いたものである。ここに謹んで感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 黒井・松村・越智：金属材料を混入した鉄筋コンクリートの電食による劣化の抑制機構、土木学会第49回年次大会講演概要集、V-282（1994）
- 2) 黒井・中根・松村：電流作用下における鋼繊維混入コンクリートの防食特性、土木学会第50回年次大会講演概要集、V-282（1995）

表2 モルタル中の塩化物イオンの浸透深さおよび濃度

W/C	ℓ_{SF} (mm)	i (mA)	浸透深さ (mm)		濃度 (%) **	
			t=336 h.	t=672 h.	t=336 h.	t=672 h.
0.40	10	40	8.2	17.6	----	0.37
		20	4.5	11.9	----	0.11
	20	40	9.5	22.2	0.15	0.64
		20	5.8	11.2	0.31	0.24
0.60	10	40	22.4	30.1	----	----
		20	13.2	17.9	0.19	----
	20	40	14.0	19.7	----	----
		20	11.6	14.5	0.15	----

注 1) 鉄筋のかぶりは65.5mmである。

注 2) *1に示す濃度はモルタル質量に対する値である。なお、鉄筋周辺の塩化物イオンが浸透していない部分の濃度は0%であった。