

論文 金属繊維を用いた繊維補強セメント複合材料による鉄筋防食メカニズム

前田 美里*1・崔 希燮*2・西脇 智哉*3・下澤 和幸*4

要旨: 繊維補強セメント系複合材料(以下 FRCC)は、ひび割れ幅の拡大抑制等の力学的効果だけではなく、鉄筋防食にも効果があることが既往の研究で確認されている。本研究においては、亜鉛繊維を含めた各種金属繊維を用い、その防食効果を促進腐食試験によって検討した。さらに、防食効果に大きな影響があると考えられる塩分浸透、犠牲陽極効果、電気回路形成に着目し、各々の要因ごとに効果の検討を行った。その結果、金属繊維を混入した FRCC の防食効果が確認でき、特に、犠牲陽極効果が高い亜鉛繊維が、塩分浸透抑制に優れた他の金属繊維よりも耐腐食性能に優れるという結果が示された。

キーワード: 鉄筋腐食, FRCC, 促進腐食試験, 犠牲陽極効果, 電気回路形成, 亜鉛繊維

1. はじめに

近年、RC 建造物の長寿命化に関心が寄せられている。融雪剤を散布する寒冷地では屋上駐車場や接地部、沿岸部では建物全体が飛来塩分による塩害被害を受けやすく、特にこれらの地域に位置する建築物は、塩害対策が建造物の長寿命化のために重要となる。塩害によって生じる RC 建造物の鉄筋腐食は、建設時に期待されていた建造物の耐久性を著しく低下させ、短命化にもつながる。そこで現在、繊維補強セメント複合材料(以下 FRCC)を用いた鉄筋防食の有効性が注目されている¹⁾。繊維を混入することでセメント系材料は高い靱性を示し、繊維無混入時よりもひび割れ幅の拡大を抑制することができる。これにより鉄筋の腐食に必要な酸素や水の外部からの供給を低減させることが期待できる。FRCC を用いた鉄筋防食は、このようなひび割れ幅の抑制という力学的な効果だけではなく、金属繊維を用いた場合にはこれが犠牲陽極となることや、電気回路の形成などにより電気化学的な防食効果も期待できるとする既往の研究がある²⁾。しかし、ひび割れ幅の抑制という力学的な効果と比較して FRCC における電気化学的な視点からの防食要因や効果の検討は十分にされているとは言いがたい。従って本研究では、各種の金属繊維を用いた FRCC の鉄筋防食における電気化学的な防食効果に着目し、促進腐食試験による鉄筋腐食の検討を行うと同時に、考えられる防食要因ごとにその効果を明らかにすることを目的に検討を行う。さらに現在では繊維として普及されていない亜鉛繊維を金属繊維として用いることで、その有効性を模索する。

2. 実験方法

金属繊維を混入した FRCC の防食要因は、1 章で述べたように複数考えられる。そこで本研究では、表-1 に

表-1 繊維の物性値

シリーズ	略号	密度(g/cm ³)	長さ(mm)	直径(mm)
無混入	NF	—	—	—
亜鉛	ZN	7.13	1	0.10
鋼	SC	7.84	32	0.40
ステンレス	SUS	8.45	30	0.38

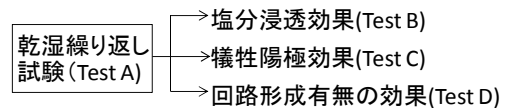


図-1 実験概念図

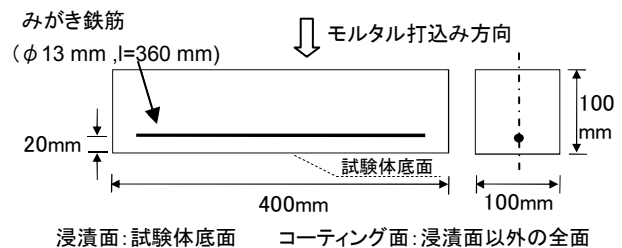


図-2 Test A 試験体形状

示す材質の異なる3種類の繊維を各々混入した FRCC および繊維無混入を用い、図-1 に示すような防食要因が複合的に生じる各々の防食要因を切り分けた Test B, Test C および Test D のそれぞれの防食効果の検討に加え、これらを総合的に検討する Test A によって異なる金属繊維を用いた FRCC の防食効果の比較を行う。

2.1 乾湿繰り返し試験(Test A)

Test A では促進腐食試験を行い、自然環境を模擬して、Test B, C, D で検討する防食要因が複合的に発生した場合の総合的な防食効果の検討を行った。検討にあたって、混入繊維種類の違いによる鉄筋腐食量および腐食面積の測定を行った。調査は W/B=40%, S/B=45%,

*1 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻 (現 仙台市役所) (正会員)

*2 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻 (現 北見工業大学 社会環境工学科) 助教 博士(工学) (正会員)

*3 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻 准教授 博士(工学) (正会員)

*4 (一財)日本建築総合試験所 構造部 耐震耐久性調査室 主査 博士(工学) (正会員)

SF/B=15%, 繊維混入率を 0.75vol.%とし, 早強ポルトランドセメントを用いた。骨材には細骨材として 5 号けい砂を使用し, 繊維補強モルタルとした。鉄筋の不動態被膜が破壊されやすい状態から試験を開始するため, NaCl 3kg/m³を予め混入させた。試験体は, 寸法を 100×100×400 mmとし, かぶり厚さ 20mm の位置に鉄筋(φ13mm みがき鉄筋:長さ 360mm、表面積 14.7×10³ mm²)を埋設した(図-2)。また腐食促進の方法は, 塩害環境を想定し, 20°C, 60% RH の恒温恒湿室において, NaCl 10%溶液に浸す乾湿繰返し試験(湿潤 3 日(塩水浸漬), 乾燥 4 日を 1 サイクル)とした。なお浸漬方法は, 浸漬面以外をエポキシ樹脂でコーティングし, 図-3 に示すように一方向からのみ塩分供給を行うこととした。実験終了後に鉄筋をはつり出し, JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準じて, 鉄筋の腐食面積率および腐食減量を求めた。また, 錆の除去には 60°C のクエン酸 10%溶液を用いた。

2.2 塩分浸透効果 (Test B)

Test B では, 混入した金属繊維の違いおよび無混入における塩分浸透の違いを比較することを目的として, 見かけの拡散係数及び試験体深さ方向における塩化物イオン濃度の測定を行った。調合及び用いた繊維は Test A と同様であり, 試験体寸法は 100×100×100 mm である。また, 浸漬方法も Test A と同様(図-3)とした。なお, NaCl 10%溶液は 1 週間ごとに取り替えることで塩分濃度を保持させた。実験では, 浸漬開始から 1 ヶ月ごとに試験体を浸漬面から 15mm 間隔で 6 スライス(図-4)し, JIS A 1154 に従って塩化物イオン濃度を測定し, 塩分の浸透深さを確認した。

2.3 寒天試験体による犠牲陽極効果の検討 (Test C)

Test C では, 犠牲陽極効果を検討するため, 表-1 に示す繊維を用いた場合の鉄筋の犠牲陽極効果を目視で確認する, 寒天を用いた可視化試験体を参考文献 2) に倣って作製した。寒天を用いた場合, 実際に用いられるコンクリート中の腐食環境とは異なるが, 参考文献 2) では pH4~10 では鉄の腐食速度は一定であることに着目し, pH5.16 の寒天を用いた実験を行った。本実験の調合はこれと同様であり, 寒天はコンクリートよりも水分を多く含むが, 寒天内で生じる腐食メカニズムは同一にモデル化することができるため, 腐食挙動の比較を行うことができる。寒天にはヘキサシアノ鉄(III)カリウムおよびフェノールフタレイン混入することで, アノード反応($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$)が生じた際試験体が青色に呈色し, カソード反応($\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$)が生じた際赤色に呈色する。その呈色反応により, 腐食挙動を目視で確認することができる。試験体作製にあたっては, 精製水にヘキサシアノ鉄(III)カリウム 1%溶液を 7%とフェノールフタレイン 1%溶液を

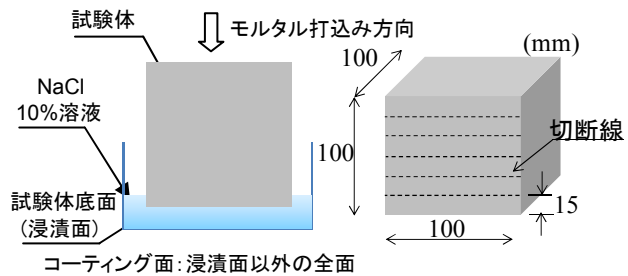


図-3 浸漬方法

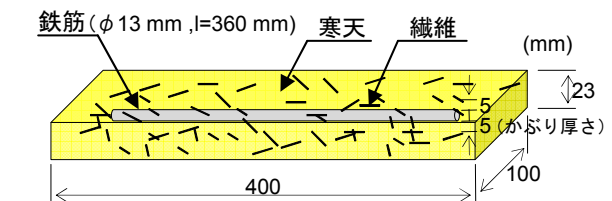


図-4 試験体切断方法

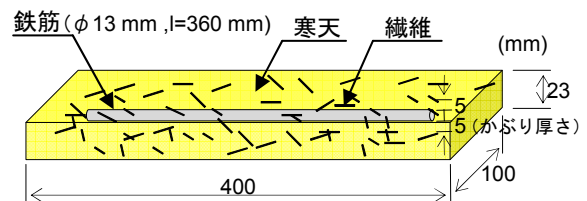


図-5 Test C 試験体

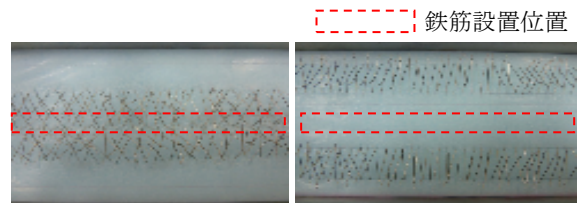


図-6 SC 及び SUS 試験体型枠
(左: 回路形成有り 右: 回路形成無し)

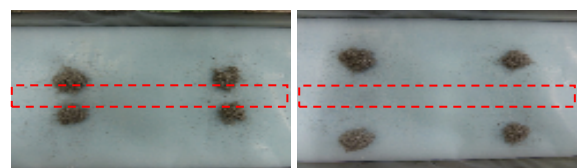


図-7 ZN 試験体型枠
(左: 回路形成有り 右: 回路形成無し)

1%混入し, よく攪拌したのち寒天パウダーを投入, その後, ガラス製の鍋にて溶液を加熱し, 数分間沸騰させた。試験体は図-5 に示す通り 23×100×400 mm とし, かぶり厚さ 5 mm の位置に鉄筋を設置した。なお, 混入する繊維は 0.075vol.%とし, ランダムに配置した。

2.4 寒天試験体を用いた回路形成有無の効果の検討 (Test D)

Test D では, 繊維と鉄筋や繊維同士による電気回路の形成の有無が防食効果に与える影響について確認する。回路を形成した場合, 腐食電流の流束が乱れることで腐食の進行が妨げられることが既往の研究³⁾で考察されている。本実験では予め人為的に, 回路を形成している試験体の型枠と, 回路を形成していない試験体の型枠を作製し, Test C と同様寒天を用いて電気化学的な反応を目視で確認することを目的とする。調合及び用いた繊維は Test C と同様であるが, 繊維の混入を Test C の 0.5 倍とした。試験体の型枠を図-6 に示す。なお, ZN 繊維においては繊維の形状が小さく, SC や SUS のような試験体を作製することが困難であるため, 繊維の塊を単位として型枠の

8 箇所に設置し、図-7 に示すように鉄筋に接触させないものを回路形成無し、接触させたものを回路形成有りとした。

3. 実験結果

3.1 乾湿繰り返し試験(Test A)

図-8 は、乾湿繰り返し試験について現在完了している 26 サイクル終了時における試験体底面を示したものである。いずれの試験体においても 0.1mm 以下のひび割れ(赤線)のみが発生しており、内部の鉄筋腐食により滲出した錆汁は確認されなかった。ひび割れ幅と鉄筋腐食の関係は、既往の研究で様々議論がなされているが、今本⁴⁾は CEB 指針をはじめとする多くの既往の指針類において、ひび割れ幅が 0.4mm 以下であれば鉄筋の腐食に及ぼす影響が小さく、0.3~0.4mm を閾値としている実態を指摘している。また、図-8 に示すひび割れは内部に到達していない乾燥収縮ひび割れと予測されることから、内部の鉄筋には影響がないと考えられる。26 サイクルの乾湿繰り返し試験終了後、試験体内部から鉄筋を取り出し、腐食減量及び腐食面積の測定を行った。その結果を表-2 に示す。NF においては孔食が発生していなかったものの、腐食減量は 100 mg、腐食面積は 154mm²、腐食面積率は 1.1×10⁻² % と測定された。一方で SC の腐食面積および腐食面積率は NF の 0.5 倍程度であったが、腐食減量としては計測されなかった。また、SUS においても腐食面積および腐食面積率が NF の 0.4 倍程度であったが、SC と同様、腐食減量としては計測されなかった。この要因としては、腐食面積として計測された錆の進行度が小さい(NF>SC>SUS)ことが挙げられる。ZN においては鉄筋のどの位置においても錆の発生は見受けられなかった。以上より 26 サイクル時点における鉄筋の耐腐食性能は、繊維無混入よりも繊維を混入した試験体の方が高く、中でも総合的には ZN が最も腐食の進行を抑制する効果があると言える。以下でそれぞれの要因についての検討を行う。

3.2 塩分浸透効果 (Test B)

図-9 に浸漬期間 7 ヶ月の NF, ZN, SC 及び 6.5 ヶ月の SUS の各シリーズにおける、深さ方向についての塩化物イオン濃度の変化を示す。なお、横軸のプロットは、試験体切断厚さの中間値とした。各シリーズを比較して最も塩化物イオン濃度に差が生じた浸漬面において、その大小関係は ZN>NF>SC>SUS と示された。また図中に示す見かけの拡散係数 D_{ap} (cm²/year)においても塩化物イオン濃度と同様、ZN の値が最も大きく繊維無混入の NF を上回ったが、繊維を混入した SC および SUS においては NF を下回り、特に SUS が最も小さい値を示した。ここで、図-10 に水銀圧入法によって計測した、塩水浸漬させた各シリーズの積算空隙量および塩水浸漬前の pre.SC の積算空隙量を示す。既往の研究⁵⁾において、塩水浸

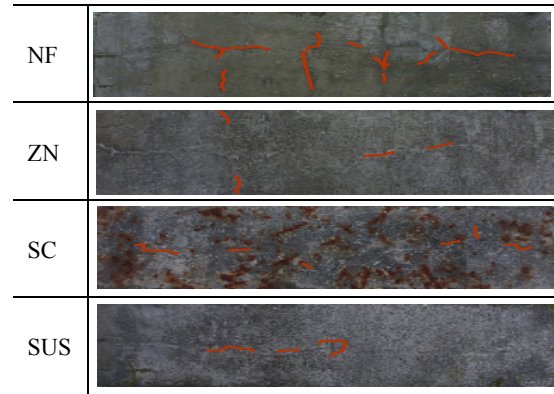


図-8 試験体底面の様子 (26 サイクル終了時)

表-2 腐食量と腐食面積 (26 サイクル)

シリーズ	NF	ZN	SC	SUS
サイクル数	26			
腐食減量(mg)	100	-	-	-
腐食面積(mm ²)	154	-	73.5	59.5
腐食面積率(×10 ⁻² %)	1.1	-	0.5	0.4

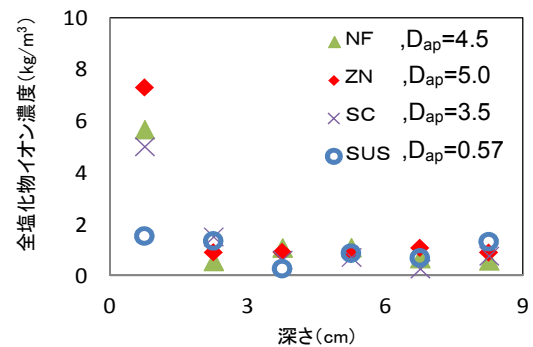


図-9 塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数

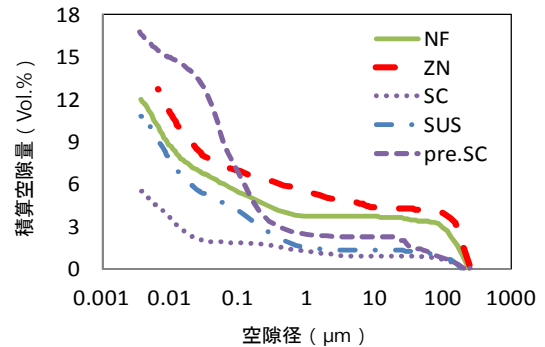


図-10 各シリーズにおける積算空隙量

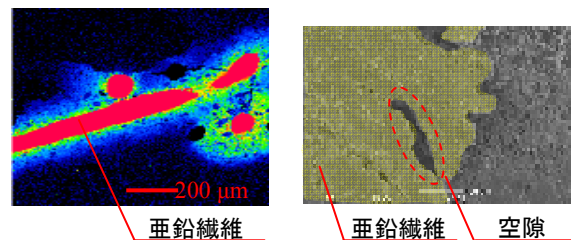


図-11 ZN マッピング

図-12 ZN 繊維周辺の空隙

漬させた試験体では、鉄筋周辺の塩化物イオン量が多い

鉄筋ほど腐食面積率は大きくなり、さらに、空隙面積が大きい場合においても同様なことが言えると報告されている。このことから、空隙量と塩化物濃度には相関関係があることが予測でき、本実験では各シリーズの浸漬面における塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数に同様の傾向があることから、空隙量が多いほど見かけの拡散係数が大きくなると考えられる。以上から、図-10よりNF, ZN および SUS において積算空隙量が見かけの拡散係数と同様 $ZN > NF > SUS$ の順となっていることから、塩分浸透は空隙量に依存しており、特に空隙量が少ないSUSが塩分浸透抑制効果に優れていると言える。ZNについて、EPMA (Electron Probe Micro Analyzer)により試験体に含まれる成分を面分析した結果を図-11に示す。赤い部分が亜鉛繊維であり、周囲にその成分が広がっていることが分かる。繊維周辺の様子をSEM (Scanning Electron Microscopy)によって観察した結果、図-12に示すように、繊維(図中黄色部分)の周辺に空隙が生じている。このことから、大量に侵入した塩分によって亜鉛の表面に孔食が生じ、亜鉛が水素ガスを伴って溶けだしたことでZNの空隙量が多くなったと考えられる。一方、SCにおいては積算空隙量が最も少ないのに対し、見かけの拡散係数の値がSUSよりも大きい。ここで図-10を見ると、塩水浸漬前のSCの空隙量は浸漬後と比較して約3倍の大きさである。また、鉄粉を試験体に混入し塩水浸漬させると、細孔半径10nmから7.5 μ mの空隙が腐食生成物の空隙充填効果によって非常に小さくなるという結果が既往の研究によって明らかにされている⁹⁾。本実験においても、浸漬開始1週間時点で浸漬面に繊維による点錆が発生していた。従ってSCは、浸漬開始時に侵入した塩化物イオンにより、試験体表層部のSC繊維が腐食し始めたことで生じた腐食生成物で空隙が充填されて空隙量が減少する一方で、腐食を誘発する塩分が早い段階で既に内部に侵入したことから、内在する塩分量をもとに算出した見かけの拡散係数の値が大きくなったものと考えられる。

3.3 寒天試験体による犠牲陽極効果の検討 (Test C)

NFにおいては図-13に示すように、1日経過時から鉄筋のアノード領域とカソード領域が明確に形成され、マクロセル腐食を生じていることが分かる。また、13日経過時には1日目よりもカソード領域が減少、アノード領域が増加しており、鉄筋の腐食が進行している。一方ZNにおいては、アノード化している鉄筋部分が両端のみであり、13日経過時にはその領域が拡大しているものの、NFと比較してその領域は小さい。ZNの鉄筋の両端において腐食が進行した理由としては、2日目を経過した時点で図-13に示す位置においてかぶり部分の寒天が1cm程度剥がれてしまい、そこから酸素と水分が供給され、腐食環境にさらされたことが考えられる。それ以外の鉄筋部分においては、寒天が青色に呈色していないことからアノード反応が生じておらず、錆も発生していないことが確認できた。従ってZN繊維を混入した場合、犠牲陽極効果によって鉄筋の腐食の進行を抑制することができると考えられる。

SCは図-13に示すように、1日経過時においてNFと同様、鉄筋各箇所であノード反応が生じていることから、鉄筋の腐食が開始されていることが分かるが、それと同時に鉄筋以外の部分においても同様の反応が見受けられた。これは、図-14(a)に示すように繊維部分で生じたものであり、点状に発生している。その要因として、SC繊維は軟鋼であることから、単一繊維内で腐食電池が形成された可能性が挙げられる。また、同じく図-14(a)に示す1日経過時よりも図-14(b)に示す4日経過時の方が、鉄筋のアノード領域が増大していることが見受けられ、試験期間が経過していくにつれ単一繊維ごと点状に生じていたアノード領域も、繊維の塊を単位として反応が進行したことが分かる。これにより、鉄筋内及び繊維同士に加え、繊維と鉄筋においても腐食電池が形成されることで、繊維が陽極、鉄筋が陰極となった他、その逆となった可能性も考えられる。図-13に示す13日経過時にはNFと同程度の鉄筋腐食が進行していることから、SC繊維の混入は無混入と比較して、犠牲陽極の観点で防食に優位に働くとは言えない。

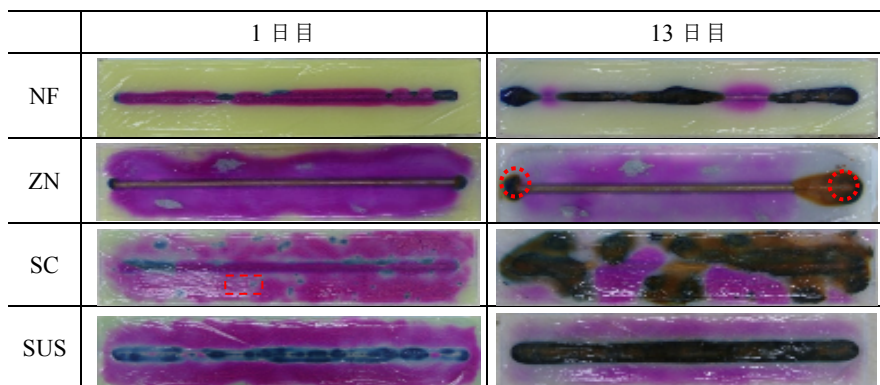


図-13 試験体の経時変化 (Test C 犠牲陽極効果) (● 寒天剥がれ位置)

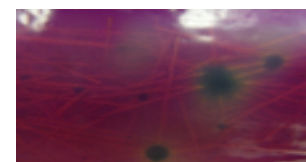


図-14(a) 1日目



図-14(b) 4日目
(□ 拡大図)

SUSは図-13に示すように、1日経過時点でNFよりもアノード領域が大きく現れ、鉄筋のほぼ全面積においてその反応が生じている。また13日経過時には、1日目と比較してその色が濃く呈色していることから、腐食が著しく進んでいることがわかる。一方、繊維部分が全てカソード反応を示す赤色に呈色していることから、厳しい腐食環境下においても、鉄筋よりもイオン化傾向の低いSUS繊維が貴に、高い鉄筋が卑になることが分かった。従ってSCと同様、SUS繊維の混入は無混入と比較して犠牲陽極の観点で防食に優位に働くとは言えない。

3.4 寒天試験体による回路形成有無の効果の検討 (Test D)

図-15に電気回路形成有無による試験体の経時変化を示す。ZNについて、同図からも分かるように、回路を形成している場合は、1日経過時は鉄筋全面がカソード領域となっており腐食の進行は確認できなかったが、それ以降繊維が設置されている場所から部分的にアノード化し始め、13日経過時においてはその領域が拡大している。一方で回路を形成していない場合は13日目を迎えてもほぼ全域でカソード領域のままである。よってZNは、回路形成したと考える。この実験では2.4で述べたように、亜鉛と接触していない部分の鉄筋が存在する。一般的に、防食を目的として利用される亜鉛メッキ鉄筋は、メッキ層に傷が生じて周囲の亜鉛が陽極に働き、腐食を抑制してくれるというメリットがある。本実験で腐食が進行した理由として、腐食因子が多く供給される環境下では、亜鉛が近接する部分における鉄筋の犠牲防食が活発に行われる一方で、亜鉛が存在しない部分もその間継的に厳しい腐食環境におかれるため、その部分の腐食速度がNFと同程度となり、鉄筋全面に犠牲陽極効果が及ばなかったと考えられる。従って、亜鉛繊維の塊が鉄筋と部分的に接触するよりも、試験体内に繊維が

分散されている環境の方が犠牲陽極効果を発揮すると考えられる。

SCについて、図-15に示すように、回路形成をしていない場合は、1日経過時点で鉄筋右半分にカソード、左半分のアノード領域が生じている。また、繊維部分では、図-16に示すように繊維ごとアノード領域とカソード領域を形成している。このことから、繊維が完全に独立している場合、繊維は繊維同士で腐食電池を形成し鉄筋単体で腐食電池を形成すると考えられ、腐食反応の程度は犠牲陽極効果で検討したNFと変わらないと考える。よって、防食の効果は認められない。一方、回路を形成している場合、1日経過時において、回路を形成していない場合のような繊維同士の腐食反応は見られず、13日経過時点で繊維と鉄筋でそれぞれカソードおよびアノードを担う領域を生じていることが分かる。SCは鉄筋と同じイオン化傾向の繊維であるため、腐食のしやすさは同程度であることを踏まえると、繊維と鉄筋が回路を形成したということは、単純に鉄筋の面積が増加したと考えることができる。そのため本実験では、よりイオン化しやすい部分から酸化し始めたことで腐食電池が形成され、腐食が進行したと言える。従って、回路を形成する場合においても防食の効果は認められない。回路形成の有無で比較すると、13日目におけるアノード領域は、回路を形成している方が広く、腐食が進行していると言える。しかし、以上のことを踏まえると、繊維と鉄筋が同じイオン化傾向であり、よりイオン化しやすい部分から腐食が進行していくため、回路形成の有無によって腐食の進行のしやすさに違いはないと考えられる。SUSについて、図-15に示すように、回路を形成している場合、1日目においてはイオン化傾向の高い鉄筋がアノード、低いSUS繊維がカソード領域を形成したが、2日経過時には


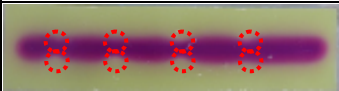
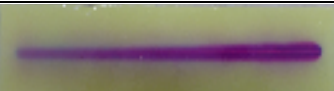

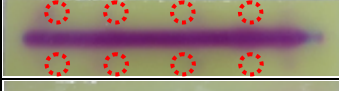
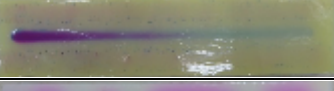
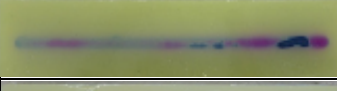

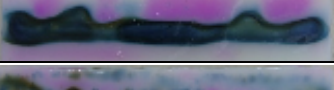
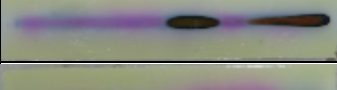



		ZN  繊維設置位置	SC	SUS
1日目	有			
	無			
13日目	有			
	無			

図-15 試験体の経時変化 (Test D 回路形成有無の効果)



図-16 回路形成無しにおけるSC繊維の腐食反応(1日目)



図-17(a) 回路形成有の試験体の様子(SUS 2日目)

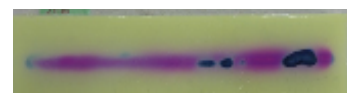


図-17(b) 回路形成無の試験体の様子(SUS 2日目)

ほとんどの鉄筋部分がカソード領域を示した。しかし、それ以降鉄筋に部分的にアノード領域が発生し、徐々にその領域が拡大した。一方、回路を形成していない場合は、1日経過時点から発生していたアノード領域が、時間の経過とともに広がり始め、13日目には回路を形成しない試験体と同程度の腐食が進行したことが分かる。従って、回路形成の有無によらず、双方とも防食の効果は認められない。回路を形成していない試験体はSCと同様、鉄筋のみで腐食電池が形成されたと考えられるが3.3で検討したNFよりも腐食の進行が抑制されている。繊維を混入した場合、腐食電流の流束が妨げられることが既往の研究³⁾で考えられていることから、鉄筋と接触していない繊維が腐食電流の抵抗として働いたことが考えられる。また回路を形成している試験体において、1日目に鉄筋がアノード領域を形成した後、カソード領域に転換したとは考えにくい。ここで2日目経過時点における、回路形成有(図-17(a))と無(図-17(b))の試験体の、カソード領域に呈色している範囲を比較すると、回路を形成している試験体の方が広いことが分かる。そのためこのカソード領域は、鉄筋と回路を形成した繊維のものであると考えられる。以上より1日目の腐食反応を考慮すると、回路を形成していない方が腐食の進行を抑制すると言える。

3.5 各シリーズにおける鉄筋の耐腐食性能の評価

以上で述べた結果をもとに繊維無混入のNFと、金属繊維を混入したZN,SC及びSUSとの鉄筋の耐腐食性能の比較を行い、検討した各要因の影響について考察する。

ZNはNFと比較して、乾湿繰り返し試験(Test A)の結果、鉄筋の耐腐食性能に最も優れていた。Test Bで検討した見かけの拡散係数においてはNFよりも大きな値を示し、塩分が鉄筋に到達する時期も早いと言えるが、Test Cで検討した犠牲陽極効果に優れていることが大きく寄与していると言える。また、Test Dにおいて回路を形成しない場合に犠牲陽極効果を発揮したことから、少量の繊維で防食効果を示すと考えられる。また、SCもNFと比較して鉄筋の耐腐食性能に優れていた。SCは回路形成の有無に関わらず犠牲陽極効果は見受けられなかったが、見かけの拡散係数がNFよりも小さい値を示し、SC繊維の混入によって塩分の浸透速度が抑えられたものと考えられる。すなわち、試験体に存在する空隙への酸化金属イオンの充填による塩分浸透抑制が大きく寄与したと考えられる。一方SUSに関してもNFと比較して鉄筋の耐腐食性能に優れていた。SCと同様、犠牲陽極効果は確認されなかったが、見かけの拡散係数が非常に小さな値を示したことから、SUS繊維の混入によって、塩分の浸透速度が抑えられ、腐食開始を遅延させたと考えられる。また、本実験で用いた調合において、打設時に鉄筋と繊

維や繊維同士による回路が形成されにくい可能性があり、3.4の結果から、鉄筋よりも貴であるSUS繊維を混入しても、鉄筋の腐食速度が大きくならなかった可能性が考えられる。以上より、金属繊維を混入した試験体の鉄筋の防食効果を確認し、特に犠牲陽極効果が大きいことが確認された。また、本実験の範囲では、鉄筋と金属繊維の接触により回路を形成した場合よりも、回路を形成しない場合の方が腐食の進行は小さいことが分かった。

4. まとめ

金属繊維を混入した試験体の鉄筋防食効果において、複数の防食要因が同時に生じる乾湿繰り返し試験で総合評価を行い、各々の防食要因ごとにその効果を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 複数の防食要因が生じる乾湿繰り返し試験の結果、本実験で用いた金属繊維を混入した場合、無混入と比較して高い防食効果を示し、本実験の範囲ではZNが最も優れていた。
- 2) 空隙量に依存すると考えられる塩分浸透よりも、イオン化傾向による犠牲陽極効果の方が鉄筋の防食効果に大きく影響する。
- 3) 鉄筋と繊維や繊維同士で回路を形成するよりも形成しない方が、内部鉄筋の腐食が進行しにくい。

【謝辞】塩分浸透効果の検討に当たって、(一財)日本建築総合試験所 試験研究センター材料部 材料試験室の吉田夏樹氏、中山健一氏に多大なるご指導ご助言を頂きました。また、実験計画の立案に当たって、東北大学建設材料学研究室の皆川浩准教授にも貴重なご助言を頂きました。ここに記し、深謝いたします。

参考文献

- 1) 小早川鮎子, 本間大輔, 三橋博三, 下澤和幸: 繊維補強セメント系複合材料の鉄筋の耐腐食性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.177-178, 2009.8
- 2) Abdullah K.SOMEH ほか: 亜鉛めっき鋼繊維による鉄筋コンクリート部材の防食挙動と性能, 土木学会論文集, No.655/V-48, pp.35-46, 2000.8
- 3) 辻恒平, 星野富夫, 小林一輔: 鋼繊維補強コンクリートの防食機構, 生産研究, 41巻10号, pp.62-63, 1989.10
- 4) 今本啓一: ひび割れ幅の許容値, コンクリート工学, Vol.43, No.5, pp.68-69, 2005.5
- 5) 高橋勝也, 佐川康貴, 濱田秀則, 森川亮太, 池ノ平勉: モルタルに埋設された鉄筋の下面の空隙が腐食に及ぼす影響, 土木学会西部支部研究発表会, V-050, pp.843-844, 2009.3
- 6) 金貞辰, 朴同天, 兼松学, 野口貴文: 鉄微粉末混入によるモルタル中の鉄筋の腐食抑制メカニズムに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1037-1042, 2006