

学 位 論 文 題 名

Corrosion-Protection of Reinforced Concrete  
Members by Galvanized Steel Fibers

(亜鉛めっき鋼繊維による鉄筋コンクリート部材の防食に関する研究)

学位論文内容の要旨

コンクリート構造物は、社会資本の根幹をなし、快適で高性能な生活・産業空間を造るために、その一翼を担ってきたが、近年コンクリートの腐食が社会の重大な関心事となっている。スパイクタイヤの禁止による融氷剤の使用、海洋などの厳しい環境への進出による海水作用、さらに海砂の利用などによってコンクリート構造物は腐食環境に晒される機会が多くなってきた。コンクリート中の鉄筋が腐食すると、鉄筋の周囲の腐食生成物の膨張によってコンクリートと鉄筋との間にひび割れを生じ、コンクリートのかぶりの剥落、ついには崩壊に至る。腐食は自然に起こる電気化学的反応であり、腐食生成物はもとの鋼の体積の3倍以上に達すると言われている。この体積変化がコンクリートの縦ひび割れ発生の主な原因となる。塩化物は鉄筋表面の不動態皮膜を破壊し、鉄筋コンクリート部材中の鉄筋の腐食を促進する。腐食により鉄筋コンクリート部材が劣化すると補修または場合によっては架け換えが必要となる。こうした劣化から橋梁や港湾施設を守るために莫大な費用が費やされている。

この腐食問題に対する対策の一つとして、本研究ではコンクリートに亜鉛めっき鋼繊維を混合し、塩化物イオンの侵入による腐食を抑える防食方法を提案する。亜鉛めっき鋼繊維が鉄筋と接触している場合には、亜鉛めっき鋼繊維は犠牲陽極として働き、亜鉛めっき鋼繊維はコンクリート中の鉄筋の腐食を抑制し、さらにひび割れの成長を遅らせる。一方、コンクリート中ではアルカリ性が高いため、亜鉛の溶解による水素ガス発生が問題となる。本研究では炭酸水素ナトリウムおよびクロム化合物を用い、亜鉛めっき鋼繊維からの水素ガス発生抑制効果を調べた。

本論は第1章から第13章で成り立っている。

第1章～4章ではコンクリート中の鉄筋の腐食についての既往の研究を調べたもので、セメント成分、塩素イオン、酸素などによる要因および防食方法として、コンクリートに対しては水密性、混和材料、鉄筋に対してはコーティング、カソード防食、亜鉛めっき鉄筋の効果などを調べ、腐食の測定法として自然電位法、分極法、電気抵抗法などを述べたもので次章からの研究の背景をなすものである。

第5章～7章では鋼繊維コンクリートの力学的特性について実験および解析によって調べたもので、鋼繊維による変形靱性性能、強度特性について明らかにしている。またリサイクル繊維を用いた補強コンクリートの引張強度、曲げ強度、せん断強度についても明らかにしている。

第8章はコンクリートマトリックス中の鉄筋の腐食、鋼繊維の防食効果などを可視的にシミュレートするために、改良フェロオキシルテストを用い、透明な寒天ゲル中の鋼繊維および鉄筋の電気化学的腐食過程を肉眼で観察した。この手法は鋼繊維ならびに鉄筋の腐食の初期段階を理解するのに有効であり、苛酷な腐食条件下での鉄筋の腐食プロセスにおける鋼繊維の役割を理解するのに有効であることが判った。

第9章は35℃の乾燥と塩水噴霧の繰り返し腐食促進試験によって、亜鉛めっき鋼繊維を混入した鉄筋コンクリート部材の腐食挙動を表面の亜鉛めっき鋼繊維に注目して調べた。その結果コンクリート表面から数 mm 程度に亜鉛めっき鋼繊維の腐食が認められ、その内部ではほとんど腐食は認められなかった。

第10章は腐食促進試験による主鉄筋の腐食状態を調べたもので、主鉄筋には亜鉛めっき鋼繊維による薄い錆が残っていたが、明らかな腐食は認められなく、亜鉛めっき鋼繊維の犠牲陽極作用による防食効果が明らかとなった。

第11章はコンクリート中において亜鉛めっき鋼繊維が鉄筋と接触すると亜鉛めっき部分が犠牲陽極として働くメカニズムについて、不動態条件、一般の腐食状態、ピッチング腐食状態、定電位条件の場合について明らかにした。

第12章は炭酸水素ナトリウムを用い、また種々のクロム化合物を用いて、亜鉛めっき鋼繊維からの水素ガス発生抑制率を調べた。その結果、炭酸水素ナトリウムあるいは、クロム化合物の種類および量によって水素ガス発生抑制率は異なること、これらの抑制剤を適量用いることにより水素ガス発生を抑制出来ることが判った。クロム化合物を用いる場合にはコンクリート構造物からクロムが溶出し、自然環境に悪影響を与えることを考え、降雨モデル試験を行った。その結果溶出量は水道水質基準に定められている六価クロム量より少ないことが確認された。

第13章は結論である。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇  
副 査 教 授 鎌 田 英 治  
副 査 教 授 大 沼 博 志  
副 査 教 授 石 川 達 雄

## 学 位 論 文 題 名

### Corrosion-Protection of Reinforced Concrete Members by Galvanized Steel Fibers

(亜鉛めっき鋼繊維による鉄筋コンクリート部材の防食に関する研究)

近年スパイクタイヤの禁止による融氷剤の使用、海洋などの厳しい環境への構造物の進出、さらに海砂の利用などによってコンクリート構造物は腐食環境に晒される機会が多くなり、鉄筋コンクリートの腐食が社会の重大な関心事となっている。

本論文ではコンクリートに亜鉛めっき鋼繊維を混入し、塩化物イオンの浸入による腐食を抑える防食方法を提案している。亜鉛めっき鋼繊維が鉄筋と接触している場合には、亜鉛めっき鋼繊維は犠牲陽極として働き、コンクリート中の鉄筋の腐食を抑制し、さらに鋼繊維の作用によりひび割れの成長を遅らせる。一方、コンクリート中ではアルカリ性が高いため、亜鉛の溶解による水素ガス発生が問題となる。本論文では炭酸水素ナトリウムおよびクロム化合物を用いることによる、亜鉛めっき鋼繊維からの水素ガス発生抑制効果を調べている。

本論文は第1章から第13章で成り立っている。

第1章～4章ではコンクリート中の鉄筋の腐食についての既往の研究を調べたもので、セメント成分、塩素イオン、酸素などの腐食要因、防食方法として、コンクリートに対しては水密性の向上、混和材料の使用、鉄筋に対してはコーティング、カソード防食、亜鉛めっき鉄筋の効果などを調べ、腐食の測定法として自然電位法、分極法、電気抵抗法などについてまとめたもので次章からの研究の背景をなすものである。

第5章～7章では鋼繊維コンクリートの力学的特性について実験および解析によって調べたもので、鋼繊維による靱性および強度特性について明らかにしている。

第8章はコンクリートマトリックス中の鉄筋の腐食、亜鉛めっき鋼繊維の防

食効果などを可視的にシミュレートするために、改良フェロオキシルテストを用い、透明な寒天ゲル中の鋼繊維および鉄筋の電気化学的腐食過程を肉眼で観察している。この手法は鋼繊維ならびに鉄筋の腐食の初期段階を容易に観察でき、苛酷な腐食条件下での鉄筋の腐食プロセスにおける亜鉛めっき鋼繊維の役割を理解するのに有効である。

第9章は35℃の乾燥と塩水噴霧の繰り返し腐食促進試験によって、亜鉛めっき鋼繊維を混入した鉄筋コンクリート部材の腐食挙動を表面の亜鉛めっき鋼繊維に注目して調べている。その結果コンクリート表面から数mm程度に腐食が認められ、それ以上の内部では腐食は起こっていないことなどの防食挙動について明らかにしている。

第10章は腐食促進試験によるコンクリート中の主鉄筋の防食状態を調べたもので、主鉄筋には亜鉛めっき鋼繊維による薄い錆が残るが、顕著な腐食は認められなく、亜鉛めっき鋼繊維の犠牲陽極作用による防食効果が明らかにされている。

第11章はコンクリート中において亜鉛めっき鋼繊維が鉄筋と接触すると亜鉛めっき部分が犠牲陽極として働くメカニズムについて、不動態条件、一般の腐食状態、ピッチング腐食状態、定電位条件の場合について考察している。

第12章は炭酸水素ナトリウムを用い、また種々のクロム化合物を用いて、亜鉛めっき鋼繊維からの水素ガス発生抑制率を調べている。その結果、炭酸水素ナトリウムあるいは、クロム化合物の種類および量によって水素ガス発生抑制率は異なること、これらの抑制剤を適量用いることにより水素ガス発生を抑制できることを明らかにしている。またクロム化合物を用いる場合には自然環境に及ぼす影響を考慮し、降雨モデル試験を行って、その安全性について明らかにしている。

第13章は結論である。

これを要するに、著者は、亜鉛めっき鋼繊維によるコンクリート構造物の鉄筋の防食法についての新知見を得たものであり、コンクリート工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。