

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 22 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者小山 拓

所 属：群馬大学大学院物質環境類土木環境プログラム

氏 名：小山拓

研究課題名：高温環境下における連続繊維補強材を用いたプレストレスト床板を模擬した耐爆裂性能試験方法の開発

助成金額：100 万円

研究実施期間：自 令和 7 年 4 月 1 日 ～ 至 令和 8 年 3 月 3 1 日

高温環境下における連続繊維補強材を用いた

プレストレスト床板を模擬した耐爆裂 性能試験方法の開発

Development of a Test Method for Spalling Resistance of CFRP-Reinforced Prestressed Concrete Slabs at Elevated Temperatures

所属群馬大学物質環境類土木環境プログラム 助教 氏名小山 拓

（研究計画ないし研究手法の概略）

本研究では、火災時におけるコンクリート内部の複合的な熱・水分・拘束条件下における材料挙動を明らかにするため、拘束加熱試験に基づく実験的検討を行う。日本コンクリート工学会では高温作用によるコンクリートの爆裂試験方法が規格されている。本研究では、コンクリート材料にて規格されている試験方法をコンクリートと異種材料との相互作用まで適用性を拡張することを目的としている。連続繊維補強材は、主剤である繊維とバインダーである樹脂から構成されており、高温環境下では樹脂の挙動がコンクリートとの相互作用に大きく影響すると考えられる。そこで本研究では、その基礎的検討として、緊張材の代替として亜鉛めっき鉄筋およびエポキシ被覆鉄筋を用い、比較のため黒皮鉄筋を対象とした。比較のため黒皮鉄筋を用いた。既往研究¹⁾²⁾では、加熱履歴を与えた供試体に対して引抜試験を実施することで、被膜鉄筋の耐熱性や付着特性の評価が行われてきた。しかしながら、これらの物性評価試験は、実構造物が火災時に受ける拘束条件や温度勾配、水分移動といった複合的な境界条件を十分に再現しているとは言い難い。連続補強繊維補強材においても被膜鉄筋と同様の現象が問題となることから、拘束条件下において加熱を行い、コンクリート中における補強材の損傷を観察することを目的とした。

最初に、被膜単体の耐熱挙動を把握するため、鉄筋単体の加熱試験を実施した。試験体は長さ 200 mm とし、200℃、300℃、400℃の各温度において電気炉で加熱後、30 分間保持し、炉内で自然冷却した。その後、被膜の損傷状態を観察した。

次に、コンクリート中での挙動を評価するため、拘束条件下における一面加熱試験を実施した。供試体は JCI-S-014-2024³⁾に準拠して作製し、かぶり厚 25 mm の位置に鉄筋を十字状に埋設した。供試体の概要を図 1 に示す。加熱は、1150℃に保持した電気炉により 30 分間の一面加熱とした。測定項目は内部温度、水蒸気圧および円周方向ひずみとし、加熱面から 5, 10, 25, 40 mm の深さ位置で計測した。特に 25 mm 位置は鉄筋近傍の代表点として設定した。

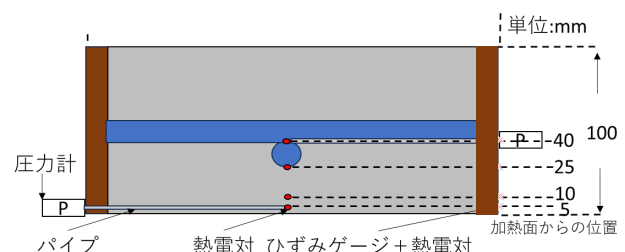


図1 拘束供試体概要

（実験調査によって得られた新しい知見）

図2に鉄筋単体を加熱した際の被膜の熱損傷を示す。200℃では、エポキシ被覆鉄筋においてガラス転移温度に達したことに起因すると考えられる変色を確認された。300℃では、亜鉛めっき被膜において金属光沢の低下が認められ、エポキシ被膜では変色に加えて収縮が生じた。さらに400℃では、亜鉛めっき被膜の金属光沢は消失し、エポキシ被膜では炭化お

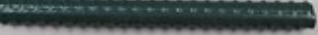
受熱履歴	黒皮鉄筋	亜鉛メッキ鉄筋	エポキシ鉄筋
加熱前			
□□□℃			
□□□℃			
□□□℃			

図 2 鉄筋単体を加熱した場合の熱損傷

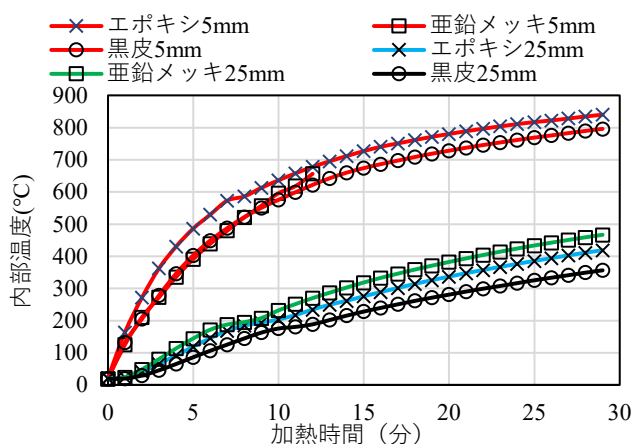


図 3 内部温度履歴

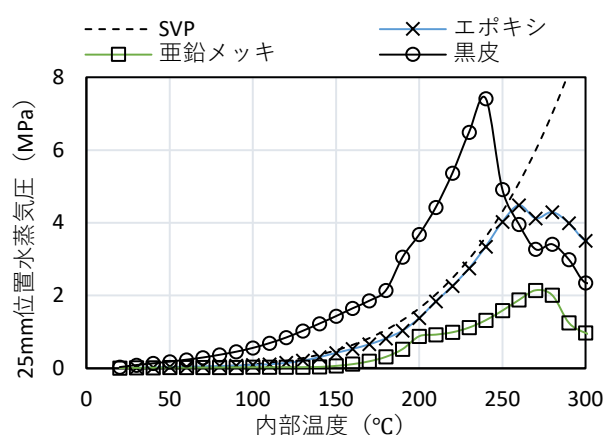


図 4 水蒸気圧と温度の関係

	黒皮鉄筋	亜鉛メッキ鉄筋	エポキシ鉄筋
切断面			
加熱面			
側面			

図 5 拘束状態で一面加熱した鉄筋の熱損傷の観察

よび剥離が確認された。

図 3 に内部温度の測定結果を示す。鉄筋の埋設位置（かぶり 25 mm）においては、加熱中に約 300～400℃に達しており、被膜の熱劣化が生じ得る温度域に到達していることが確認された。図 4 に水蒸気圧と温度の関係を示す。亜鉛めっき鉄筋および黒皮鉄筋では、水蒸気

圧は飽和水蒸気圧曲線（SVP 曲線）に沿って上昇し、約 250℃付近で急激に減少した。一方、エポキシ被覆鉄筋では約 200℃付近から水蒸気圧の上昇が緩やかになる挙動が確認された。この挙動は、図 2 で観察されたエポキシ樹脂の熱変質がコンクリート中においても生じ、透水性や界面状態が変化したことにより起ると考えられる。

図 5 に加熱後の供試体断面および鉄筋の観察結果を示す。コンクリート断面においては鉄筋に沿った顕著なひび割れは確認されなかった。一方、取り出したエポキシ被覆鉄筋では、加熱面側において被膜の減肉が認められ、鉄筋単体加熱時とは異なる損傷形態を示した。この差異は、加熱によりエポキシ樹脂が軟化・融解し、内部圧力の影響で移動・再分布したことによるものと推察される。

以上の結果より、エポキシ樹脂のような熱により軟化・融解する被膜材料は、火災時にコンクリート内部で流動・再配置する可能性があることが示唆された。このような挙動は付着性能や損傷分布に影響を及ぼす可能

性があり、火災後の補修および健全性評価においては、被膜の残存状態だけでなく再分布の影響を考慮した評価が必要である。

参考文献

- 1) 岸谷孝一ら、加熱を受けたエポキシ樹脂塗装鉄筋の付着特性、第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.577-580, 1986
- 2) 宮部あづさら、高温加熱を受けた溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリートの付着特性に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.201-202, 2020
- 3) 日本コンクリート工学会、コンクリートの爆裂試方法, JCI-S-014-2024), 2024

（ 発 表 論 文 ）

小山拓ら、拘束加熱条件下における被膜鉄筋の一面加熱の熱損傷の観察、土木学会第 81 回年次学術講演会(発表予定)