

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 渡邊 有寿

本論文は、「超高性能繊維補強セメント系複合材料の品質および耐久性確保に向けた研究」と題し、超高性能繊維補強セメント系複合材料（UHPFRC）が一般的なコンクリートと同じような現場打ち施工がなされた際に、ひび割れの発生を想定した場合の耐久性の確保・照査、さらには今後の設計・施工法や維持管理手法の確立に資する知見を得ることを目的としている。

UHPFRCは、圧縮強度 $100\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の超高強度で、設計に引張強度を組み込めるほどの靱性を有し、さらには非常に緻密なマトリクスで耐久性にも極めて優れた次世代材料であり、国内では土木学会指針にて定義されているUFCがこの一種とされている。一方、同指針では主に工場で製作される部材向けに設計や養生方法が取り纏められ、ひび割れは許容しない、異形鉄筋とは併用しないなど、適用範囲を限定する前提であれば長期耐久性が担保できるとされている。近年は様々なUHPFRCが開発されてきているが、現場打ち施工としての留意点について着目して研究した事例は少なく、材料の特性や施工方法が品質や耐久性に及ぼす影響および設計思想について整備された規準が求められている。

本研究において得られた成果は次のようにまとめられる。

- ・UHPFRCの強度発現には温度依存性があることを明らかにするとともに、部材温度と時間を要因とした積算温度法に着目し、新たに提案した補正方法を用いることで、簡便かつ精度の高い強度発現の推定を可能とした。
- ・UHPFRCは結合材量が非常に多いため水和熱が大きく、部材寸法や断熱状態によっては 100°C 以上の高温となり、エトリンガイトが分解し、水や硫酸塩が供給されると再膨張する「遅れエトリンガイト生成（DEF）」による劣化の可能性を確認した。
- ・一方、5～10年の長期スパンで硬化体を追跡調査した結果、強度が増進し、空隙量も減少・緻密化することが確認された。そのため、水や硫酸塩の供給が遮断される観点からUHPFRCにはDEFによる劣化が生じる可能性は小さい。
- ・UHPFRCの水平・鉛直打重ねは繊維の架橋や配向に大きな影響を及ぼし、特に鉛直打重ねについては突き棒によるかき乱しでは元の曲げ強度まで回復させることは困難であることが明らかにした。
- ・UHPFRCの収縮変形が既設構造物や鉄筋などによって拘束を受けた際のひび割れ抵抗性について、拘束度や養生温度を任意に変化させることができる「TSTM試験」によって検証した。UHPFRCは材齢初期から給熱養生を行うと収縮量は抑制できる一方で、弾性係数の発現とともに拘束応力が大きくなり、ひび割れ発生強度に対する余裕度が小さくなることを明らかにした。
- ・ひび割れが残留したUHPFRCの耐久性や力学的挙動への影響を明らかにすることを目的に、マト

リクス内の繊維の健全性に着目した検討を行った。鋼繊維を用いた場合、0.1~0.2mm程度の残留ひび割れでは4年間の海洋暴露後も静的な力学特性は低下せず、11年後でも塩化物イオンはひび割れからマトリクス内部には拡散していないことを確認した。

- ・ただし、酸素や水が常時供給される環境において、残留ひずみやひび割れを有した状態で疲労を受ける際にはひび割れを架橋する鋼繊維の腐食破断が早まる恐れがある。

- ・腐食の恐れのない合成繊維の検討では、まずポリプロピレン繊維では、高温時の伸びや引張強度の変化といった温度依存性がUHPFRCの力学特性にも影響を与えるが、マトリクス内部の繊維の劣化（酸化）については100年以上の健全性が保たれることを実証した。

- ・アラミド繊維については、温度依存性は認められず、マトリクス内の繊維が高温かつアルカリに曝されても、加水分解による強度低下が認められないことを実証した。

- ・UHPFRCの損傷・劣化に補修を想定した検証において、ひび割れ部を注入や浸透防水材による補修では、載荷初期の剛性回復は見込めず曲げ強度やタフネスなどひび割れ後の挙動にも関与しないものの、適切に材料を選定すれば塩化物イオンの浸透を抑制できることを実証した。

- ・断面修復に関する検討では、欠損箇所に残存する繊維を含めた補修をすることで強度低下が緩和される知見を得た。ただし、断面補修部が疲労を受けるような環境では、補修界面の付着切れやマイクロクラック、界面に架橋している繊維との付着について影響を及ぼす恐れがあることを明らかにした。

本論文については、2022年2月3日に本学8号館822教室において、審査委員全員とおよび学内外のこの分野の研究者出席のもとにZoomによるオンライン公聴会が開催され、その研究内容の発表と質疑応答が行われた。公聴会の後、審査委員全員による学位審査委員会が開催され、本論文内容を詳細に検討した。その結果、本研究により建設材料のコンクリート分野で新しい知見が得られたと認められ、本論文は工学的に価値があり、研究内容の学術レベルおよび研究としての独創性・実用性において優れたものと判断した。従って、本論文は博士(工学)の学位論文に値するものと認める。