

学位論文要旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	超高強度繊維補強モルタルの配合設計と製造方法に関する研究 —圧縮強度 200N/mm ² 級の繊維補強モルタル—
氏名(Name)	玉滝 浩司

現在、高度経済成長期に建設されたインフラ設備の多くが更新・修繕時期を向かえている。今後も継続して構造物の新設や補修・補強を行うなかで、維持管理コストを低減できる高耐久な材料が注目されており、その1つが超高強度繊維補強コンクリート UFC (Ultra-high-strength fiber-reinforced concrete) である。一般的に、UFC は高温の熱養生 (90°C-48h) を行われている。そのため、専用設備があるコンクリート製品工場での製造に限定される場合が多く、部材寸法や形状に運搬上の制約が生じる。

そこで本研究では、熱養生が不要で、一般的なコンクリートと同じ管理材齢 (材齢 28 日) で必要な性能を発揮する UFC の配合設計と製造方法について実験的検討を行った。

本論文は全7章の構成であり、各章の内容は以下のとおりである。

「第1章 序論」では、日本の社会情勢や社会インフラの現状、高強度コンクリートおよび繊維補強コンクリートの変遷を述べたうえで、本研究の目的を示した。

「第2章 既往の研究」では、本研究に関連する既往の研究を調査・整理し、UFC の製造・施工における課題を明らかにした。

「第3章 配合設計」では、常温環境下で所定の性能を発揮できる UFC に適した材料選定および配合設計を検討した。5種類のセメントと4種類の粉体材料を組み合わせながら、水結合材比や単位水量などを変化させて、ベースモルタルの配合設計を行った。次に、配合設計したベースモルタルに補強用繊維を添加した UFC について、補強用繊維の分散性、材料分離抵抗性と圧縮強度および曲げ強度などの強度性状を検討した。その結果、常温環境下で性能を発揮するためには、セメント中の C₃A が少なく C₃S を多く含むセメントや微細な反応性粉体を使用すること、細骨材の粒度や使用量を限定すること、水結合材比を 14~21% とすることなどを明らかにした。

「第4章 硬化物性および耐久性」では、第3章で配合設計した UFC の硬化物性と耐久性を調べた。その結果、本研究で配合設計した UFC の圧縮強度は、材齢 28 日で 196N/mm² に達し、割裂ひび割れ発生応力および引張強度の特性値も、熱養生を行う UFC と同等となることを報告した。また、中性化、凍結融解劣化、塩化物イオンの浸透性、硫酸塩に対する抵抗性が高いことを示した。さらに、結合材が多い配合であることから、自己収縮ひずみが大きく、型枠などの拘束によるひび割れやプレストレスのロスには注意が必要なこと、硫酸や塩酸などによる劣化については標準的なコンクリートと同様に劣化するため、注意が必要なことを述べている。

「第5章 生コン工場における製造方法の検討」では、本研究で検討した UFC のレディーミクストコンクリート (生コン) 工場における製造方法を検討した。その結果、ミキサの能力によって、練混ぜ時間に若干差が生じるものの、一般

的な設備で製造可能なことを明らかにした。また、鋼繊維の添加方法については、プラントのミキサとトラックアジテータに添加する方法を比較した。また、一般のコンクリートと同様にトラックアジテータで運搬が可能であるものの、粘性が高いため、トラックアジテータから排出できない材料が約190Lにも及び、一般のコンクリートの80Lよりも材料ロス量が著しく多くなる課題を指摘した。また、UFCの目標強度を達成するためには、使用する細骨材を事前に選定・使用することが必要と結論づけた。

「第6章 実現場におけるUFCの適用性の検討」では、本研究のUFCについて、実現場での適用性を検証した。その結果、練混ぜ時のミキサの負荷は、練混ぜ量に比例して大きくなり、この負荷を考慮した場合、練混ぜ量の上限はミキサ容量の80%程度であることを明らかにした。また、生コン工場で数ヶ月間連続的に製造し、フレッシュ性状や強度性状の安定したUFCが供給できることを示した。さらに、運搬時の材料ロスを考慮すると、少量の施工の場合は、車載式ミキサを使用した現地製造が適していることを述べた。また、UFCの表面仕上げ時期は土壌硬度計を使用して適切に判断できることを示した。また、コンクリート製品に適用する場合、所定の性能を得るための熱養生条件は、熱養生を行うUFCの標準熱養生（90℃-48h）よりも最高温度を低減でき、かつ養生時間も短くできることを示した。

「第7章 結論」では、本研究で得られた成果・知見を取りまとめるとともに、今後の実用化に向けた研究課題と展望を示した。

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	玉滝 浩司
審 査 委 員	主 査：吉武 勇
	副 査：進士 正人
	副 査：中村 秀明
	副 査：李 柱国
	副 査：渡邊 学歩
論 文 題 目	超高強度繊維補強モルタルの配合設計と製造方法に関する研究 —圧縮強度 200N/mm ² 級の繊維補強モルタル— (Study on mixture design and manufacturing method of ultra-high-strength fiber-reinforced mortar: Fiber-reinforced mortar of 200 N/mm ² compressive strength)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>現在，社会基盤構造物の建設にあたり，維持管理コストを大幅に低減できる高耐久な材料が求められており，その 1 つとして超高強度繊維補強コンクリート UFC (Ultra-high-strength fiber reinforced concrete) が注目されている．一般的に，UFC は高温の熱養生が必要とされるため，専用設備があるコンクリート製品工場での製造に限定される場合が多く，部材寸法や形状に運搬上の制約が生じる課題があった．これらの課題に対して，本研究は熱養生を必要とせず材齢 28 日で要求性能を発揮できる UFC の配合設計と製造方法について検討したものである．本論文は全 7 章の構成であり，各章の内容は以下のとおりである．</p> <p>「第 1 章 序論」では，日本の社会情勢や社会インフラの現状，高強度コンクリートおよび繊維補強コンクリートの変遷と課題を述べたうえで，本研究の目的を示している．</p> <p>「第 2 章 既往の研究」では，本研究に関連する既往の研究を調査・整理し，UFC の製造・施工における課題を明らかにしている．</p> <p>「第 3 章 配合設計」は，常温環境下で所定の性能を発揮できる UFC に適した材料選定および配合設計を検討したものである．5 種類のセメントと 4 種類の粉体材料を組み合わせながら，水結合材比や単位水量などを変化させて，ベースモルタルの配合設計を行っている．さらに，配合設計したベースモルタルに補強用繊維を添加した UFC について，補強用繊維の分散性，材料分離抵抗性と圧縮強度および曲げ強度などの強度性状を検討している．その結果，セメント中の C₃A が少なく C₃S を多く含むセメントや微細な反応性粉体を使用すること，細骨材の粒度や使用量を限定すること，水結合材比を 14~21%が適当と報告している．</p> <p>「第 4 章 硬化物性および耐久性」では，UFC の硬化物性と耐久性を調べている．本研究の UFC の圧縮強度は，常温養生下でも材齢 28 日で 196N/mm² に達し，割裂ひび割れ発生応力および引張強度の特性値も，熱養生を行う UFC と同等となることを報告している．さらに，</p>	

(様式 9 号)

中性化、凍結融解劣化、塩化物イオンの浸透性、硫酸塩に対する抵抗性が高くなる結果を得ている。なお、結合材料の多い UFC では自己収縮ひずみが大きく、型枠などの拘束によるひび割れやプレストレスのロスには注意が必要なこと、硫酸や塩酸などによる劣化については標準的なコンクリートと同様に劣化するため、注意が必要なことを述べている。

「第 5 章 生コン工場における製造方法の検討」は、レディーミクストコンクリート（生コン）工場における UFC の製造方法を検討したものである。ミキサの能力によって、練混ぜ時間に若干差が生じるものの、一般的な設備で製造可能なことを明らかにしている。この UFC は粘性が高いため、トラックアジテータから排出できない材料が約 190L にも及び、一般のコンクリートの 80L よりも材料ロス量が著しく多くなる課題を指摘している。

「第 6 章 実現場における UFC の適用性の検討」では、実現場における UFC の適用性について検証している。一般的な生コン工場でもフレッシュ性状や強度性状の安定した UFC が供給できることを示した。さらに、運搬時の材料ロスを考慮すると、少量の施工の場合は、車載式ミキサを使用した現地製造が適していること、UFC の表面仕上げ時期は土壤硬度計を使用して適切に判断できることを報告している。

「第 7 章 結論」では、本研究で得られた成果・知見を取りまとめるとともに、今後の実用化に向けた研究課題と展望を示している。

公聴会はオンラインのみで実施し、学内外から 55 名の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、主に UFC の練り混ぜ時において鋼繊維の混入タイミングとそれに伴う繊維分散性の相違について、火災時における UFC の爆裂の可能性と抑制方法について、ポンプ圧送で適用できる配管長について、UFC に用いることができる材料について、UFC の材料コストと適用部材例について、などであった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 8 編、参考論文 0 編）

- 1) 玉滝浩司, 伊藤智章, 石関嘉一, 平田隆祥, 吉武 勇: 常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリートの開発プロセスと現場適用性, 土木学会論文集 E2, Vol.77, No.3, pp.119-133, 2021.
- 2) 玉滝浩司, 藤野由隆, 吉田浩一郎, 桐山宏和: 超高強度繊維補強コンクリートの鋼繊維添加方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1279-1284, 2015.

ほか 6 編