

論文の要旨

題目 C₃S系セメントとポゾラン質微粉末を用いた超高強度繊維補強コンクリートの拘束応力の評価

(Evaluation of Self-induced Stress in Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete with Alite Cement and Pozzolanic Fine Powder)

氏名 桐山 宏和

本研究は、C₃Sの含有率の高いセメントとポゾラン質微粉末からなる結合材を用いることで、蒸気養生等の熱養生を施さなくとも常温養生で180N/mm²の圧縮強度と8.8N/mm²の引張強度の特性値が得られる超高強度繊維補強コンクリート（以下、C₃S系UFC）を対象とする。

UFCで製造される部材は、引張強度を設計で考慮するため、使用時においてひび割れの発生を許容していない。従って、UFC部材の製造時に拘束の影響が想定される場合には、事前に十分に対策を検討する必要がある。また、C₃S系UFCは、現場での打込みで製造することが可能であり、既存コンクリート構造物の表面への保護層や、プレキャスト部材の接合部など、強い拘束を受ける部分へ使用されることがある。一方で、C₃S系UFCは、極低水結合材比で単位結合材料の大きい配合であるため、水和発熱量が大きく、自己収縮も大きい。従って、硬化初期におけるひび割れの発生リスクが高い材料である。以上より、C₃S系UFCで製造される部材の品質を確保する上で、硬化時の水和熱や自己収縮等によって生じる拘束応力の精度の高い予測手法の確立が望まれている。

拘束応力の予測には、温度応力解析が用いられるが、この場合、温度履歴を受けた場合の物性を適切に評価することが重要である。しかし、超高強度コンクリートは、温度履歴を受けた場合の強度や自己収縮等の硬化物性の発現が温度に強く依存することが知られており、一般的なコンクリートと同様な方法でこれらの値を推定することが困難である。これは、C₃S系UFCについても同様である。

本研究は、C₃S系UFCについて、硬化時の水和発熱による温度変化や、自己収縮による体積変化を起因とする拘束応力について、有限要素法を用いた温度応力解析による推定方法を確立することを目的とした。そこで、温度履歴を受けた場合のC₃S系UFCの物性発現の温度依存性を把握し、温度応力解析に必要な物性の推定式を提案するとともに、単純なモデルで温度応力解析を行い、拘束応力を推定する上での問題点を抽出することを行った。本論文は、全7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景および目的、本論文の構成について示した。

第2章では、超高強度繊維補強コンクリートの概要と、C₃S系UFCの特徴について整理した。さらに、温度履歴を受けた場合の超高強度コンクリートの物性発現の特徴とその評価における問題について整理した。最後に、温度応力解析で用いられる有限要素法の考え方について示した。

第3章では、温度履歴を受けたC₃S系UFCの圧縮強度の推定方法を確立するため、圧縮強度試験結果から推定した見かけの活性化エネルギーを用いた修正有効材齢を用いた推定式を提案した。修正有効材齢を用いることで、温度履歴を受けた場合の圧縮強度を高い精度で推定できることが分かった。さらに、C₃S系セメントの反応率とポゾラン質微粉末の反応率を基に、ゲルスペース比モデルによってC₃S系UFCの強度発現性について検討したところ、低熱セメントをベースとする超高強度コンクリートよりもポゾラン質微粉末の強度への寄与効果が幾分低い特徴を示すことが分かった。

第4章では、まず温度履歴を受けたC₃S系UFCの拘束応力の特性を把握するため、種々の温度履歴となる条件で自己収縮試験と異形鉄筋を用いた拘束応力試験を実施した。その結果、温度履歴を受けたC₃S系UFCの自己収縮についても、修正有効材齢を用いると一義的に評価できることが分かった。得られた自己収縮ひずみの結果から、修正有効材齢を用いて温度履歴を受けた場合の自己収縮の推定式を提案した。また、鉄筋ひずみについても修正有効材齢で一義的に評価できることが分かった。拘束試験結果から推定した有効ヤング係数とUFC自身のヤング係数との比（低減係数）は、一般的なコンクリートよりも小さくなることが分かった。また、温度履歴を受けたC₃S系UFCのヤング係数やひび割れ発生強度も修正有効材齢で一義的に評価できることが分かった。

第5章では、C₃S系UFCの自己収縮の低減方法として、膨張材、収縮低減剤と、セルフキュアリング効果が得られる廃瓦を用いて自己収縮試験を行った。また、自己収縮を低減した配合において、拘束応力の低減効果を検討した。C₃S系UFCの自己収縮の低減には、膨張材および収縮低減剤の利用が効果的であることが分かった。廃瓦の使用は初期の自己収縮の抑制には効果的であるが、長期的には収縮量が増大する傾向となった。異形鉄筋を用いた拘束試験では、膨張材または収縮低減剤を用いた場合には、拘束応力を30～40%程度に、廃瓦と膨張材を併用した場合には50%程度に拘束応力を低減することができた。

第6章では、C₃S系UFCの断熱温度上昇特性を推定し、異形鉄筋を用いた拘束試験体をモデルとして、有限要素法による温度応力解析を行った。解析結果から、温度応力解析における課題を整理した。簡易断熱試験から推定した断熱温度上昇曲線を用いて温度解析をした結果、C₃S系UFCの部材中の発熱を概ね精度よく推定することができた。ただし、養生温度が10℃程度の低温の場合には、部材の温度が実測値よりも大きくなる予測結果を示した。このことから、水和反応の温度依存性を考慮した発熱モデルが必要であることが分かった。また、これまでに提案した修正有効材齢を用いた物性値の評価式を用いることで、拘束応力を概ね精度よく推定できることが分かった。ただし、水和発熱量がより大きくなる20℃以上で保温養生をしたような場合には、実測値と解析値に差が生じることが分かった。このことから、温度依存性を考慮したクリープモデルの構築が必要であることが分かった。

第7章では、本研究で得られた知見を整理するとともに、今後の展望として、C₃S系UFCにおける拘束応力と構造性能に関する課題について示した。

以上