

エトリングایت生成系超高強度繊維補強コンクリートの水和に伴う発熱と養生中に高温履歴を受けた硬化体の諸物性

鹿島技術研究所 正会員 ○松原功明, 大野俊夫, 坂井吾郎, 柳井修司, 盛田行彦, 渡邊有寿
電気化学工業株式会社 正会員 芦田公伸 電気化学工業株式会社 相澤一裕, 山本賢司

1. はじめに

エトリングایت生成系超高強度繊維補強コンクリート（以下、AFt系UFCと称する）は、エトリングایتの生成によって硬化体を緻密化し、超高強度化と高耐久性を達成している。しかし、AFt系UFCは一般的なコンクリートと比べて単位結合材量が多いため、断熱温度上昇量が非常に高くなり、マッシュな部材では養生中に高温となることが懸念される。また、硬化体が非常に高い温度履歴を受けた場合、強度低下やエトリングایتの遅延生成による後膨張（以下、DEFと称する）を引き起こすことが懸念される。本実験では、AFt系UFCでマスブロックを製作し、水和過程の発熱履歴や養生中に高温履歴を受けたAFt系UFCの硬化特性を確認した。

2. 実験概要

(1) 使用材料及び配合

使用材料及び配合を表-1に示す。AFt系UFCの材料及び配合は、土木学会「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針（案）」に示されている所定の性能を満足できるように調整されたものである。結合材の化学成分を表-2に示す。

表-1 使用材料及び配合

使用材料 単位量 (kg/m ³)	水	結合材	骨材	高性能減水剤	鋼繊維
	193*	1287	905	45.0 (結合材×3.5%)	137.4

*単位水量には高性能減水剤の水分を含める

表-2 結合材の化学成分

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O
33.4	6.4	2.8	51.1	2.4	0.7

mass%

(2) 試験体の製作

本実験ではAFt系UFCで1.0×1.0×1.0mのマスブロックを製作した。AFt系UFCの製造には、練混ぜ容量2.5m³の強制二軸式ミキサを使用し、練混ぜ量を2.0m³とした。マスブロックの製作には、厚さ12mmの木製合板を使用した型枠を製作し、打設した。型枠は断熱材(t=500)で覆い、簡易的に断熱温度上昇量を測定できるようにした。AFt系UFCの標準の養生方法は、打設後に常温で実施する一次養生と、その後、実施する85℃で20～24時間の二次養生に分けることができる。しかし、今回はAFt系UFCの水和による発熱性状を把握することを目的としたため、二次養生は実施しなかった。なお、テストピースは二次養生を実施したが、養生装置の故障もあり、85℃の保持時間は約10時間であった。

表-3 測定項目

測定項目	測定方法	備考
フレッシュ性状	モルタルフロー	JIS R 5201 落下運動なし
	空気量	JIS A 1128 —
	モルタル温度	温度計 —
部材温度	熱電対	測定位置を図-1に示す
硬化性状 (テストピース、コア)	圧縮強度	JIS A 1128 (φ100×h200mm) コア供試体採取位置を図-1に示す
	細孔構造	水銀圧入式ポロシメーター
	鉱物組成	粉末X線回折

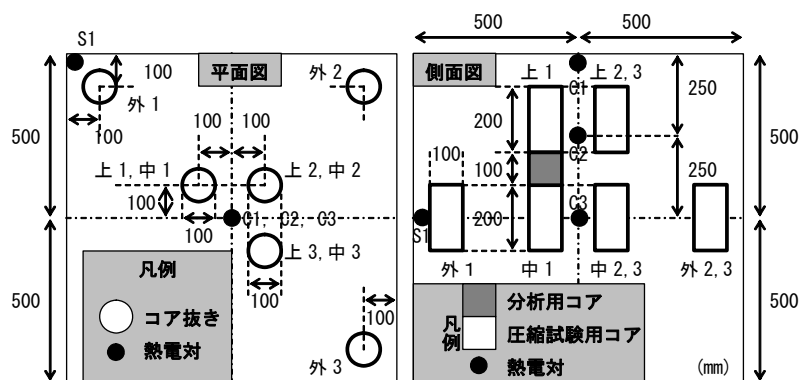


図-1 測定位置及びコア採取位置

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート, エトリングایت, 高温養生

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-1 9-1 鹿島技術研究所 TEL 042-489-7743

(2) 測定項目

本実験では、マスブロックの温度履歴及び硬化特性を把握した。測定項目を表-3、各測定項目の測定位置を図-1に示す。

3. 実験結果

(1) フレッシュ性状

練上り時のモルタルフロー値、空気量、モルタル温度は、283mm、2.6%、32.8℃であった。

(2) 部材温度

AFt系UFC打設後の温度履歴を図-2に示す。図に示すとおり、中心部(C3)の最高温度は123.3℃に達し、打設時の温度が32.8℃であったことを考慮すると、温度上昇量は90.5℃であった。最高温度到達後の温度低下が早いことから、断熱材で囲んでも断熱状態を確保できなかったといえる。これは、材齢31日において断熱材を解体した際の写真を写真-1に示すが、マスブロックの発熱によって断熱材が溶けていたためと考えられる。したがって、AFt系UFCの実際の断熱温度上昇量はさらに大きいと考えられる。また、マスブロックは二次養生を実施していないにもかかわらず、熱養生を実施したテストピースよりも最高温度が高く、高温の時間が長い結果であった。

(3) 硬化性状

最高温度と圧縮強度の関係を図-3に示す。マスブロック中の温度分布は平面的に対象と考え、最高温度は、「上」はC2、「中」はC3、「外」はS1の温度を採用した。図に示すとおり、「上」、「中」、「外」でばらつきはあるものの、おおむね、最高温度が高いほど圧縮強度が高い結果となり、高温履歴を受けたことによる強度低下は確認されなかった。また、いずれのコアもテストピースより高い圧縮強度を示した。

細孔構造を図-4に示す。テストピースよりもコアのほうが全細孔量が少なく、小さい空隙が多い結果となった。これより、マスブロックは高温履歴を受けたために組織がさらに緻密化し、圧縮強度も高くなったと考えられる。

X線回折結果を図-5に示す。図に示すとおり、テストピースではエトリンガイトが検出され、無水石膏は検出されなかった。これに対し、コアではエトリンガイトは検出されず、無水石膏が検出された。これは、水和過程で一度生成したエトリンガイトが養生時の高温によりモノサルフェートと無水石膏に変化したとも考えられ、これらが将来的にDEFを引き起こす可能性が示唆された。したがって、AFt系UFCでマッシュブな部材を製作する際は、水和熱による温度上昇が大きくなりすぎないように配慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

今回の打込み温度におけるAFt系UFCの断熱温度上昇量は少なくとも90.5℃になると考えられた。また、120℃程度の高温履歴を受けたマスブロックは硬化体が緻密で圧縮強度も高いが、降温による物質変化が生じる可能性が示唆されたため、養生中の温度管理が重要である。



写真-1 解体時の断熱材

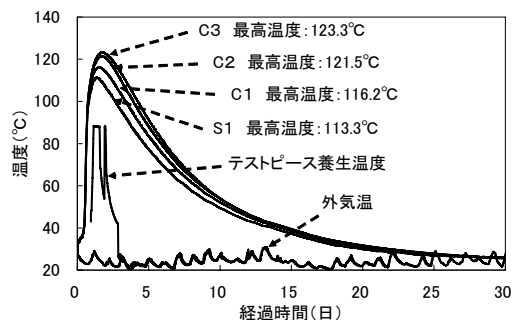


図-2 温度履歴

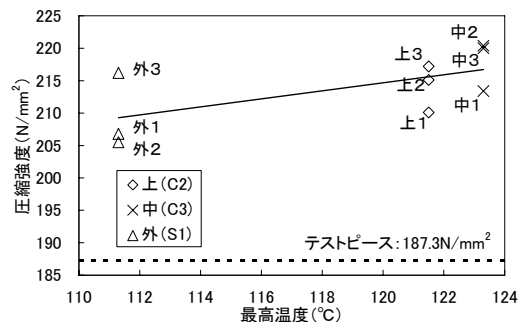


図-3 最高温度と圧縮強度

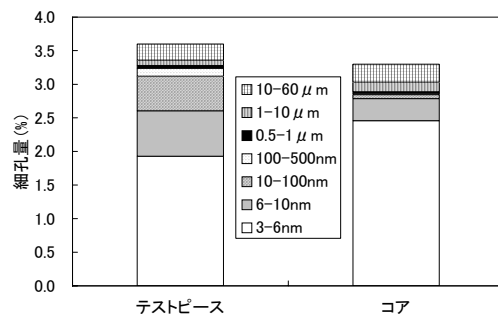


図-4 細孔構造

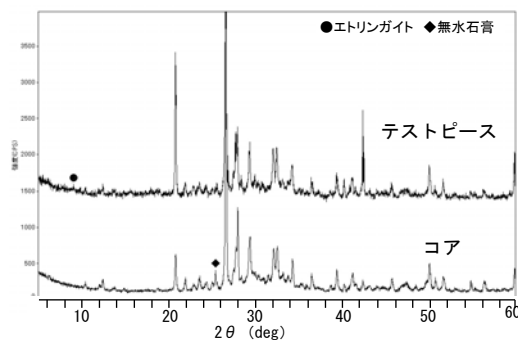


図-5 X線回折結果