

# 報告 レディーミクストコンクリート工場における超高強度繊維補強コンクリートの大量製造

玉滝 浩司\*1・吉田 浩一郎\*2・石関 嘉一\*3・平田 隆祥\*4

**要旨:** 近年、高温の熱養生を行わなくても、早期に高い性能が得られる超高強度繊維補強コンクリートが開発されている。これまで、筆者らはレディーミクストコンクリート工場における製造実績を積み重ねてきたものの、大量かつ長期にわたり、超高強度繊維補強コンクリートを製造・供給を行った事例はなかった。このため本製造では、製造量および製造方法を事前に確認し、その結果を本製造に反映することで、品質の安定した製品の供給に努めた。その結果、一般的なレディーミクストコンクリート工場においても品質の安定した超高強度繊維補強コンクリートを連続して供給することが可能なことを確認した。

**キーワード:** 超高強度繊維補強コンクリート, レディーミクストコンクリート工場, 安定供給, 品質管理

## 1. はじめに

欧州において実用化された超高強度繊維補強コンクリート (Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete: 以下, UFC と表記) は、一般のコンクリートと比較して圧縮強度は約7倍の 200N/mm<sup>2</sup>程度と非常に高く、さらに、鋼繊維を添加することで高いじん性を付与しており、組織も極めて緻密なことから、耐久性にも優れている。

2004年に土木学会から「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」<sup>1)</sup>(以下, UFC 指針と表記)が発刊されて以降は、東京国際空港D滑走路の床版<sup>2)</sup>をはじめとする、UFC技術の適用事例が増えており、今後更なる活用が期待されている。

一方で、既往のUFCは、その性能を発揮するために、製造時に熱養生することが必須となり、結果的に工場生産によるプレキャスト部材としての施工に限定されている。このため、UFC技術の更なる適用拡大として、筆者らは、常温養生で早期に高強度を実現できるUFC(以下、常温硬化型UFCと表記)を開発した<sup>3)</sup>。

常温硬化型UFCは、一般的なレディーミクストコンクリート工場で製造し、アジテータトラックによる運搬を行った後に、現場施工が可能であることが確認されている<sup>4)</sup>。しかし、これまでにレディーミクストコンクリート工場において常温硬化型UFCを大量かつ長期にわたって製造した事例はなく、一般的なコンクリートのように、安定的な供給の可否については定かではなかった。

本報告は、市中のレディーミクストコンクリート工場において、約4ヶ月にわたって、常温硬化型UFCを製造した実績と供給期間中における品質管理試験結果をとりまとめたものである。

## 2. 製造概要

### 2.1 常温硬化型UFCの構成材料と配合

製造した常温硬化型UFCの配合を表-1に示す。常温硬化型UFCは、ポズラン材等を含むプレミックス材、高強度コンクリートに適した粒径5mm以下の細骨材、ポリカルボン酸系の高性能減水剤、および補強用鋼繊維で構成されている。鋼繊維を除くマトリックス部分は、C<sub>3</sub>A量が少なく、かつ硬化時に反応速度の早いC<sub>3</sub>S量が多いセメントをベースとした結合材により、低水結合材比を実現し、常温環境においても早期に高強度が得られるように配合を最適化している<sup>5)</sup>。補強用繊維には、引張強度が2,000N/mm<sup>2</sup>を超える鋼繊維を使用し、混入率は2.0vol%とした。

表-1 常温硬化型UFCの配合

水	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			鋼繊維 (kg)
	プレミックス材	細骨材 <sup>※2</sup>	高性能減水剤	
230 <sup>※1</sup>	1830	330	20~24	157

※1 水の単位量は減水剤の水分を含む。

高性能減水剤は出荷時期に応じて適宜調整した。

※2 表乾密度 2.68-2.69g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 1.30-1.53%

粗粒率 2.86-2.88 (細骨材物性の製造期間中の変動)

### 2.2 製造工場の概要

常温硬化型UFCは東海地区にあるレディーミクストコンクリート工場で製造した。製造したレディーミクストコンクリート工場の外観を写真-1に示す。

また工場の設備概要を表-2に示す。プレミックス材は、ジェットパック車での輸送を経て、供給期間中は容量150tのセメントサイロに保管した。練混ぜは水平二軸型の強制練りミキサで行った。

\*1 宇部興産(株) 技術開発研究所 コンクリート開発部 工修 (正会員)

\*2 宇部興産(株) 技術開発研究所 コンクリート開発部 主席研究員 (正会員)

\*3 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 工博 (正会員)

\*4 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 工博 (正会員)

### 2.3 練混ぜ条件の設定

本製造に使用したミキサでの1バッチの練混ぜ量は、これまでの実績からミキサ容量の50~70%が適切と推察されたが、事前に練混ぜ量を変えた予備試験を実施して最大練混ぜ量を定めることとした。また、練混ぜ時間もミキサの回転数や練混ぜ容量によって異なることが予想されたため事前の試験で確認することとした。

### 2.4 打込み現場までの運搬

プラントで練混ぜた常温硬化型UFCは、アジテータトラック（大型車）によって、現場まで運搬を行った。運搬距離は凡そ20kmで、運搬時間は40~60分であった。



写真-1 UFCを製造した工場の外観

### 2.5 計量および品質管理項目

製造時の計量および品質管理項目を表-3に示す。

プレミックス材は、セメントの計量装置を用いて計量を行ったが、1回で全量計量することが不可能であったため、数回に分けて計量を行った。同様に、高性能減水剤も数回に分けて計量を行った。計量が数回に分かれる場合、製造システムの都合上、計量記録が印字できないこともあり得るため、計量記録を残すために、計量モニタの撮影を行った。また、鋼繊維はミキサ上部の投入口から手投入するため、投入した鋼繊維の箱数で投入量を確認した。

表-2 工場の設備概要

設備		容量等
サイロ貯蔵量 (プレミックス材)		150t
計量 上限値	セメント	1,000kg
	細骨材	2,500kg
	混和剤	20kg
ミキサ 仕様	練混ぜ容量	2.5m <sup>3</sup>
	ミキサ形式	水平二軸（強制練り）
	電動機	37kw×2機（200V）
	回転数	30rpm
	投入口の有無	有

表-3 計量および品質管理項目

管理項目		管理値	頻度	管理・試験方法等
製造時	計量記録	—	全バッチ	計量モニタの撮影により確認
	計量誤差	プレミックス材：1%以内 細骨材：3%以内 高性能減水剤：2%以内 練混ぜ水：1%以内	全バッチ	JIS A 5308 を参考
	鋼繊維投入量	—	全バッチ	空箱の数量により確認
荷卸し時	フロー値	260±30mm	1回/製造日	JIS R 5201（落下なし）
	空気量	3.5%以下		JIS A 1128 に準拠
	コンクリート温度	10℃以上		JIS A 1156 に準拠
	圧縮強度※1	180N/mm <sup>2</sup> 以上		JIS A 1108 を参考 試験体寸法：φ50×100mm
	引張強度※1	8.8N/mm <sup>2</sup> 以上		JIS A 1106 に準じた試験結果を用いて、以下のUFC指針の関係式より算出 引張強度 (N/mm <sup>2</sup> ) = (曲げ強度-1.54) / 2.59

※1：標準養生 材齢28日で管理

なお、出荷時には参考値として、フロー値、空気量およびコンクリート温度を測定した。

### 3. 練混ぜ試験（事前確認）

#### 3.1 最大練混ぜ量の決定

許容される最大練混ぜ量を見極めるため、練混ぜ量を変えた製造確認試験を行った。図-1によれば、練混ぜ量が多いほどミキサ電流の最大値は大きくなっており、練混ぜ量に応じて負荷が大きくなることがわかる。

練混ぜ容量を 1.9m<sup>3</sup> とした場合のミキサ負荷は、ミキサの練混ぜ性能の半分程度と想定され、攪拌停止後に再起動した場合の過剰な負荷の発生や、投入材料の高容積等を考慮して、本ミキサでの最大練混ぜ量は 2.0m<sup>3</sup> に設定することとした。

#### 3.2 製造時間

練混ぜ時間とミキサ電流値の関係を図-2に示す。前述のとおり、練混ぜ量によって、ミキサ電流の最大値に差異は認められるものの、負荷が最大となる練混ぜ時間はほぼ同等であった。

鋼繊維は、試料が軟化したことを確認して投入するこ

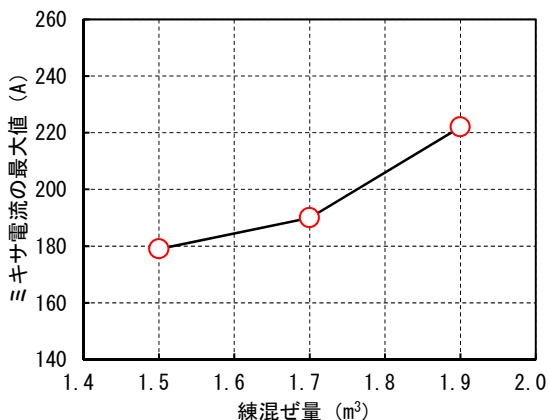


図-1 練混ぜ量とミキサ電流の最大値の関係

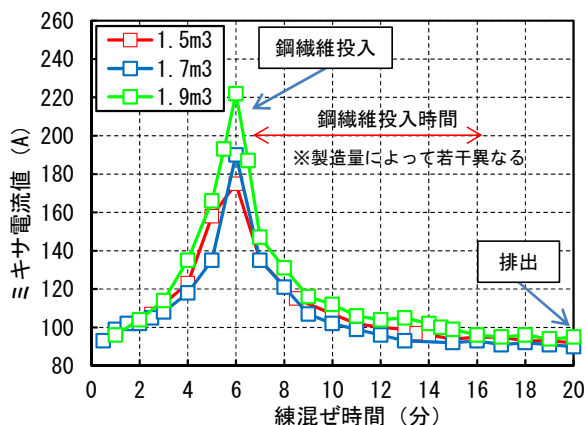


図-2 練混ぜ時間とミキサ電流値の関係

とし、投入開始は、ミキサ電流値が最大値から降下し始める時間を目安とした。なお、鋼繊維は、ミキサ上部の投入口から、1箱（15.7kg/箱）ずつ人力で投入した。鋼繊維投入後にミキサ電流値が概ね収束したことを確認し、練混ぜ完了とした。なお、製造量によって鋼繊維の投入量が異なるため、1バッチの製造に要した時間は15～20分と若干差が生じた。

### 4. 製造・品質管理

#### 4.1 実機製造結果

##### (1) 製造量

1日の製造量は、施工条件に応じて 8.0～10.0m<sup>3</sup> とし、計 17回製造した結果、累計製造量は 140m<sup>3</sup> となった。1日に 4～6バッチの製造を行い、製造要した時間は、1.5～2.0時間であった。製造実績を図-3に示す。

##### (2) 計量誤差

いずれの材料についても計量誤差は、全バッチで許容範囲内であった。なお、本製造期間における細骨材の表面水率は 0.5～1.5% であり、練混ぜ水はこれを考慮して計量した。

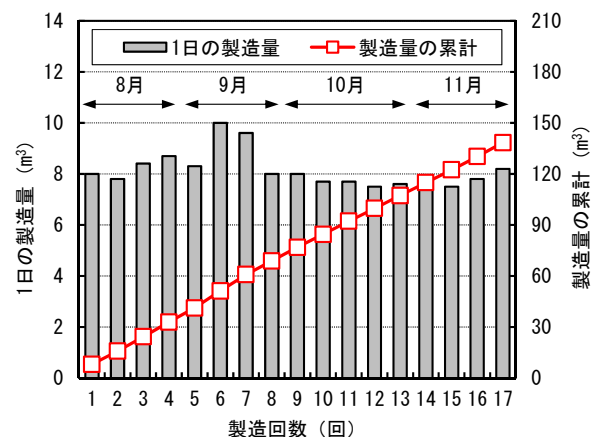


図-3 常温硬化型 UFC の製造実績

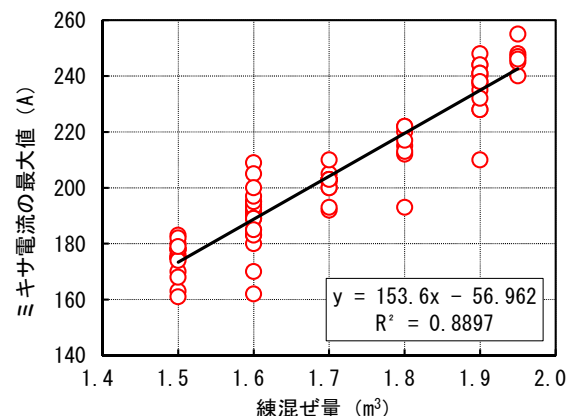


図-4 練混ぜ量とミキサ電流の最大値の関係

### (3) 練混ぜ負荷および製造時間

練混ぜ量とミキサ電流の最大値の関係を図-4に示す。練混ぜ量とミキサ電流の最大値の関係は、ばらつきが認められるものの、事前確認時と同様の結果となった。

練混ぜに要した時間は、事前確認試験とほぼ同等であり、製造時期によって練混ぜ時間が大幅に変化する傾向は認められなかった。また今回の製造における1バッチの製造量は1.50~1.95m<sup>3</sup>であり、ミキサ容量の80%程度までであれば、練混ぜ量による製造時間の差は小さいと考えられる。

## 4.2 品質確認および品質管理

### (1) 出荷時の品質確認結果

#### ①フロー値および空気量

出荷時におけるフロー値と空気量を図-5に示す。出荷時のフロー値は272~295mmであった。製造回数を追うに従って、出荷時のフロー値が小さくなっているが、これは外気温に応じて、運搬中のフローロスを考慮したためである。具体的には、高性能減水剤の使用量によって、出荷時のフロー値を調整した。なお、本製造期間における細骨材の表面水率の変動は小さく、また計量にこ

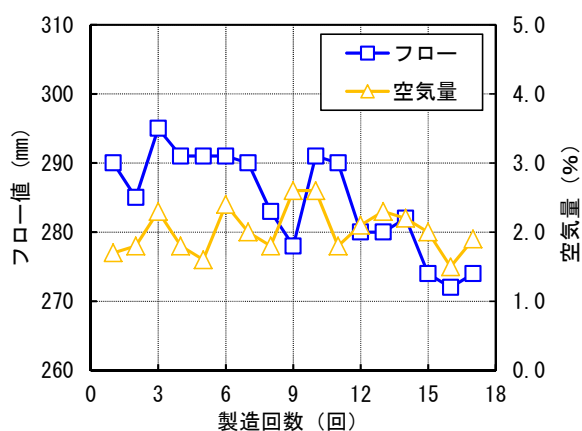


図-5 出荷時のフロー値と空気量

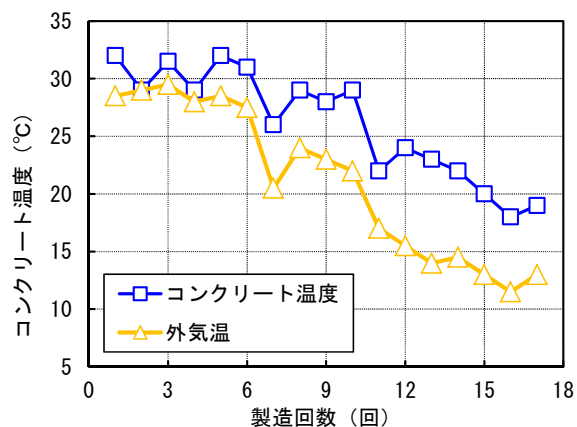


図-6 出荷時のコンクリート温度と外気温

れを反映したため、フロー値に及ぼした影響は小さいと考えられる。出荷時の空気量は1.5~2.6%であった。

#### ②コンクリート温度

出荷時のコンクリート温度を図-6に示す。出荷時のコンクリート温度は18~32°Cとなり、凡そ外気温より5°C高くなった。外気温の下降に伴って、コンクリート温度は低下した。

#### ③圧縮強度

出荷時に採取したコンクリートの圧縮強度を図-7に示す。供試体は、製造日毎に1回採取した。圧縮強度の平均値は199N/mm<sup>2</sup> (191~205N/mm<sup>2</sup>)であり、変動係数は2.1%であった。

### (2) 荷卸し時の品質管理結果

#### ①フロー値および空気量

荷卸し時におけるフロー値と空気量を図-8に示す。また、運搬後のフロー残存率(出荷時のフロー値に対する荷卸し時のフロー値の割合)を図-9に示す。

フロー値の平均は275mm (265~283mm)となり、変動係数は1.6%であった。出荷時と荷卸し時のフロー値を比較すると、外気温が25°C以下の場合、ほとんどフロー

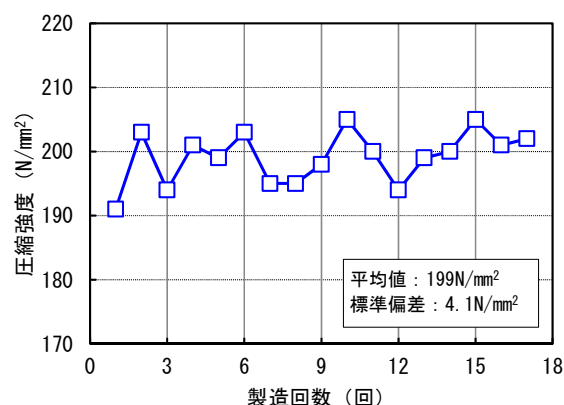


図-7 出荷時に採取したコンクリートの強度



写真-2 アジテータトラックからの荷卸し状況

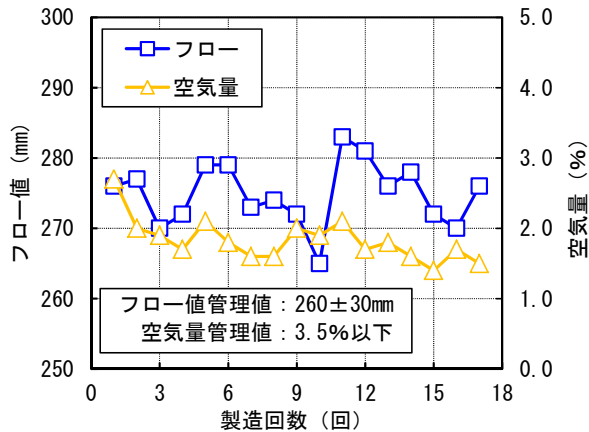


図-8 荷卸し時のフロー値と空気量

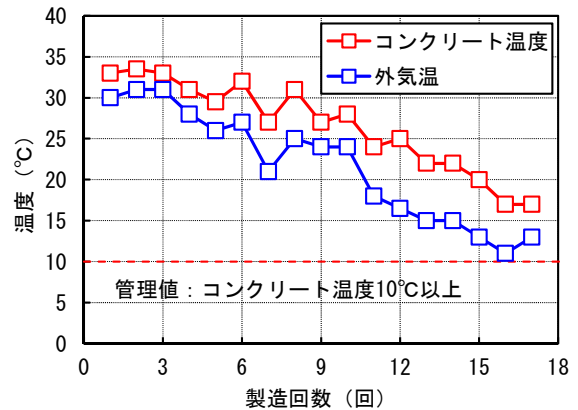


図-10 荷卸し時のコンクリート温度と外気温

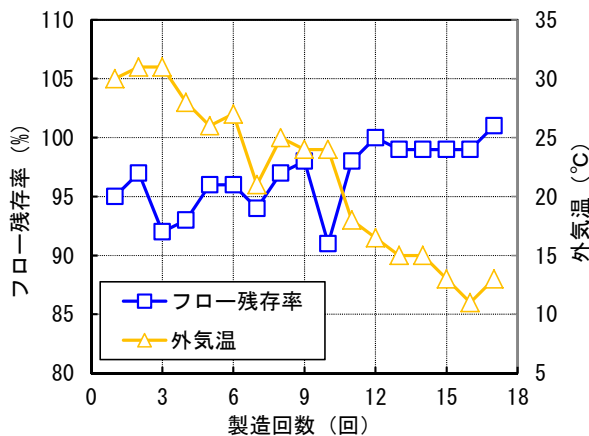


図-9 運搬後のフロー残存率

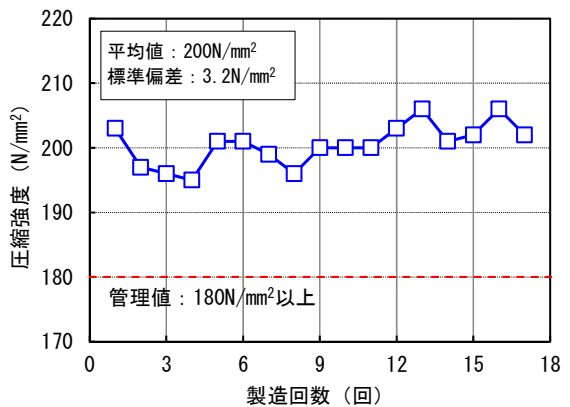


図-11 荷卸し時に採取したコンクリートの強度

ロスが生じていないことがわかる。また、外気温が25°Cを超える夏期であっても、5%程度のフローロスにとどまっており、常温硬化型 UFC の流動性は外気温による影響を受けにくいことが明らかとなった。

冬期は、フロー値測定時における流動時間が長くなり、コンクリートの粘度が高くなる傾向が認められた。これは、高性能減水剤の吸着量の低下が影響していると推察される。

なお、アジテータトラックでの運搬前後で繊維の分散性状に差異は認められず、写真-2に示すように、荷卸したコンクリートにはファイバーボール等は認められず、鋼繊維は均一に分散していた。

荷卸し時の空気量は1.5~2.7%となり、管理値の範囲内であった。運搬中の攪拌による空気量の増大も懸念されたが、その傾向は認められなかった。

## ②コンクリート温度

荷卸し時のコンクリート温度を図-10に示す。外気温の下降に伴って、コンクリート温度は低下したが、いずれも管理値(10°C以上)を満足した。また、運搬によ

る温度変化はほとんど認められなかった。

## ③圧縮強度

荷卸し時に採取したコンクリートの圧縮強度を図-11に示す。圧縮強度の平均値は200N/mm<sup>2</sup>(195~206N/mm<sup>2</sup>)となり、管理下限値の180N/mm<sup>2</sup>を上回る結果となった。また、変動係数は1.6%であり、ばらつきが小さいことが確認された。

なお、出荷時に採取したコンクリートとの強度差は認められず、アジテータトラックによる運搬が圧縮強度に与える影響は小さいと考えられる。

## ⑤推定引張強度

曲げ強度試験結果から算定される推定引張強度を図-12に示す。推定引張強度の平均値は12.7N/mm<sup>2</sup>(11.5~14.5N/mm<sup>2</sup>)となり、管理下限値である8.8N/mm<sup>2</sup>を満足した。

なお、今回使用した常温硬化型 UFC の引張強度が曲げ強度から推定できることは、既往の報告<sup>5)</sup>で確認されている。



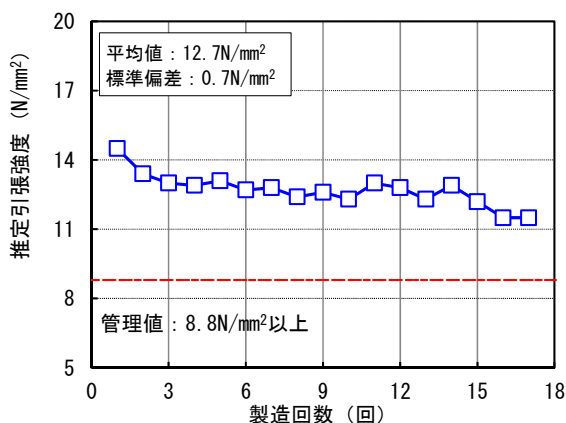


図-12 曲げ強度から算定した引張強度

## 5. まとめ

常温養生で早期の高強度が得られる超高強度繊維補強コンクリートについて、大量かつ長期にわたり、製造・供給を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 常温硬化型 UFC は、レディーミクストコンクリート工場において、計量開始から排出まで、15～20分／バッチで製造可能であり、ミキサ容量の80%程度までであれば、練混ぜ量による製造時間の差は小さい。
- (2) 約4ヶ月に渡り、累計140m<sup>3</sup> (80バッチ) を実機製造した結果、外気温に関わらず、フレッシュ性状の安定した UFC を連続的に供給することが可能であり、その硬化体物性も安定している。

本報告では、レディーミクストコンクリート工場において多量に UFC を製造した場合の製造実績と品質管理結果を示した。今回の製造は、レディーミクストコンクリート工場における通常出荷のない時間帯に実施するこ

とで、対応することができた。今後は、今回の製造結果を踏まえ、製造および品質管理の省力化を図り、UFC技術のさらなる普及に努めたいと考える。

謝辞：常温硬化型超高強度繊維補強コンクリートの製造にあたり、ユタカコンクリート工業株式会社の皆様にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー113，2004
- 2) 野口孝俊，加藤浩司：羽田空港再拡張事業における超高強度繊維補強コンクリートの活用，セメント・コンクリート，No.741，pp.34-38，2008.11
- 3) 吉田浩一郎，玉滝浩司，松永篤：現場打込みが可能な超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート®」の開発，コンクリートテクノ Vol.31，No.5，pp.9-13，2012.5
- 4) 吉田浩一郎，玉滝浩司，松永篤，石関嘉一：超高強度繊維補強コンクリートのレディーミクストコンクリート工場での製造に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.286-291，2012.6
- 5) 丸屋英二，歳谷一雄，高橋俊之，平田隆祥：超高強度繊維補強コンクリートの流動性及び強度に及ぼすセメントの鉱物組成の影響，土木学会第66回年次学術講演会（平成23年度）要旨，V-497，pp.993-994，2011
- 6) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書，技術推進ライブラリーNo.10，2012.1