

常温硬化型超高強度繊維補強コンクリートの強度発現性について

宇部興産(株) 正会員 ○桐山 宏和
 宇部興産(株) 正会員 玉滝 浩司
 宇部興産(株) 正会員 吉田浩一郎

1. はじめに

常温環境下でも早期に高強度が得られる超高強度繊維補強コンクリート（以下、常温硬化型 UFC）は、熱養生を必要としないため、工場製造のみならず、現場での打込みが可能である。その強度発現性を明らかにすることは、現場における施工管理に資するものと考え、ここでは、常温硬化型 UFC の若材齢から長期材齢における強度発現性について等価材齢を用いて評価した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料は、水、セメントおよびボゾラン質微粉末等を含む常温硬化型 UFC 用のプレミックス材、高強度材料に適した細骨材、ポリカルボン酸系の高性能減水剤、および鋼繊維（直径 0.16mm、長さ 13mm、張力 2000N/mm² 以上）とした。

表－1 常温硬化型 UFC の標準配合

単位量(kg/m ³)				鋼繊維 (vol%)
水	プレミックス材	細骨材	高性能減水剤	
230※	1830	330	32	2.0

※：高性能減水剤の水分を含む

2.2 配合および製造

常温硬化型 UFC の標準配合を表－1 に示す。練混ぜは、容量 55L の水平二軸形強制練りミキサーを使用し、1 回の練混ぜ量を 30L とした。プレミックス材と細骨材を投入し 30 秒間空練りした後、水および高性能減水剤を投入し 10 分間練り混ぜ、鋼繊維を投入し更に 2 分練り混ぜてから排出した。養生温度が 20℃以上の場合、20℃に調整した材料を用いて 20℃環境下で製造した。養生温度が 20℃未満の場合、養生温度と同一の温度に調整した材料を、養生温度と同一温度の環境下で練り混ぜた。

2.3 試験方法

練り混ぜた試料から円柱供試体（φ50×100mm）を採取し、表-2 に示すように、各養生温度に調整した環境で、封かん状態で供試体を保管した。注水時間を起点として、所定の養生期間ごとに供試体 3 体を取り出し、供試体温度が 20℃となつてから圧縮強度試験に供した。60℃以上の養生を施す場合、注水から 20℃一定の前置き期間として 8 時間を確保した後、昇温時の温度勾配を 20℃/h とした昇温工程の期間も含み、養生期間を定めた。

表－2 試験体の養生温度と養生期間

養生温度 (℃)	養生期間 (日)	試験点数
80※	0.50 ～ 28	8
60※	0.46 ～ 28	5
40	1.00 ～ 28	7
30	0.40 ～ 0.75	6
20	0.46 ～ 91	18
15	0.67 ～ 2.8	5
10	0.83 ～ 300	16

※注水から 8 時間後に 20℃/h で昇温した。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度試験結果

図-1 に各養生温度における養生期間と圧縮強度との関係を示す。常温硬化型 UFC は、養生温度が 20℃の場合、養生期間 28 日に約 200N/mm² の圧縮強度が得られた。また、養生温度が 10℃の場合でも、養生期間 100 日程度で約 200N/mm² の圧縮強度が得られた。20℃より高い温度で養生した場合には、圧縮強度の発現が早くなり、80℃で養生した場合には、養生期間 1 日で 200N/mm² を超える圧縮強度が得られた。また、最終的な圧縮強度は 220～240N/mm² に収束するものとみられた。

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、圧縮強度、温度依存性、アレニウス則、等価材齢

連絡先 〒755-8633 山口県宇部市大字小串字沖の山 1-6 宇部興産(株) 技術開発研究所 TEL0836-22-6157

3.2 等価材齢による圧縮強度の評価

任意の温度履歴を受けたコンクリートの圧縮強度の評価式として、式(1)に示すアレニウス則に基づく等価材齢がある。強度の発現速度がアレニウス則に従うとして、基準温度の材齢に換算するものである。普通コンクリートの場合、式(1)中の E/R を $4000K$ とした有効材齢として用いられている¹⁾。また、これまでの検討で常温硬化型 UFC の圧縮強度は、約 $100N/mm^2$ 以上の範囲では、式(1)中の E/R を $8990K$ とした等価材齢で精度よく評価できることが分かっている²⁾。

$$t_e = \sum \exp \left\{ \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_k} \right) \right\} \Delta t \quad (1)$$

ここで、 E_a ：みかけの活性化エネルギー(kJ/mol)

R ：気体定数(8.31J/mol/K)

T_0 ：基準温度(293K)

T_k ：供試体温度(K)

Δt ： T_k を維持する期間(日)

式(1)中の E/R を $4000K$ および $8990K$ とした等価材齢と圧縮強度の関係を図-2 および図-3 に示す。等価材齢と圧縮強度の関係は、圧縮強度が約 $100N/mm^2$ までは E/R を $4000K$ の場合に、それ以上の強度の場合は E/R を $8990K$ とした場合に、一つの曲線に収束する結果となった。よって、常温硬化型 UFC の圧縮強度は、 E/R を変えた二つの等価材齢を用いることで圧縮強度を評価できる可能性が高いことが分かった。

既報の研究³⁾によると、常温硬化型 UFC の材齢 28 日までのポズラン質微粉末の反応量は小さく、セメントの水和反応による強度寄与分が卓越している。よって、約 $100N/mm^2$ 以下における圧縮強度は、普通コンクリートと同程度の E/R を $4000K$ とした等価材齢に収束したと考えられる。

また、圧縮強度が約 $100N/mm^2$ 以上の材齢においては、ポズラン質微粉末のポズラン反応によってみかけの活性化エネルギーが大きくなり、 E/R を $8990K$ とした等価材齢に収束したと考えられる。

4. まとめ

温度履歴を受けた場合の常温硬化型 UFC の圧縮強度は、若材齢時とそれ以降でみかけの活性化エネルギーを変えることで評価できる可能性が高いことが分かった。これは、セメントの水和反応とポズラン質微粉末のポズラン反応の程度が影響を及ぼしていると考えられる。

参考文献

- 1) (社) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008
- 2) 桐山宏和，丸屋英二，大西利勝，平田隆祥：等価材齢を用いた超高強度繊維補強コンクリートの強度発現性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，2012
- 3) 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，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.66，2011

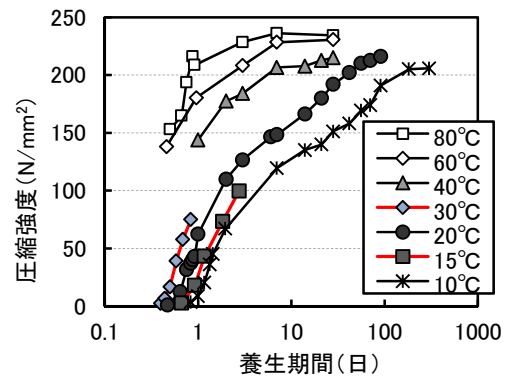


図-1 圧縮強度試験結果

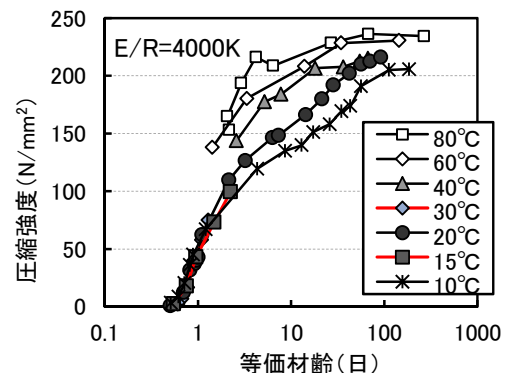


図-2 等価材齢と圧縮強度
($E/R=4000K$)

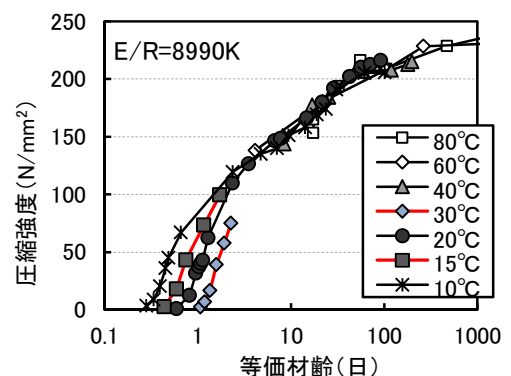


図-3 等価材齢と圧縮強度
($E/R=8990K$)