

常温環境下での強度発現性を高めた超高強度繊維補強コンクリートの強度発現性状

大成建設 生産技術開発部 正会員 ○橋本 理

大成建設 生産技術開発部 正会員 渡部 孝彦

大成建設 生産技術開発部 正会員 武田 均

大成建設 生産技術開発部 正会員 武者 浩透

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を現場打ちで適用する場合、道路開放等の制限等により早期の強度発現を要求されるケースが想定される。本研究では、常温環境下での強度発現性を高めたUFC¹⁾を対象として、養生温度をパラメータとした強度発現性を調査した。さらに、実際の現場に適用することを想定し、試験の結果得られた圧縮強度と有効材齢の関係から、若材齢時圧縮強度の推定式について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料は、水、セメントおよびシリカフェーム等の混和材、珪砂、ポリカルボン酸系の高性能減水剤、鋼繊維（直径0.16mm、長さ13mm、引張強度2,700N/mm²以上）である。表－1に配合を示す。

2.2 練り混ぜおよび養生

練混ぜにはホバート型ミキサ（容量30L）を用いた。雰囲気温度を表－2に示す温度に調整した室内で練混ぜを行った後、ブリキ製型枠（寸法φ50×100mm）に打ち込んだ。養生条件は、表－2に示す3種類の養生温度とした。

2.3 試験方法

各養生に供した供試体の打設面および型枠底面を研磨した後、JIS A 1108に準拠した圧縮強度試験を実施した。

3. 結果と考察

3.1 圧縮強度と材齢の関係

図－1に各養生温度下における圧縮強度と材齢の関係を示す。養生温度が高いほど圧縮強度の発現が早い。養生温度20℃および30℃では材齢56日で同程度の強度となった。一方、養生温度5℃における強度発現は他のケースに比べて遅く、材齢91日においても他のケースの75%程度の圧縮強度にしか達しない結果となった。

3.2 圧縮強度と有効材齢の関係

マスコンクリートのひび割れ制御指針²⁾には、有効材齢を用いたコンクリートの圧縮強度の推定式として式(1)が、有効材齢として式(2)が示されている。

$$f'_c(t_e) = \frac{t_e - S_f}{a + b(t_e - S_f)} f'_c(t_n)$$

(1)

$$t_e = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \exp \left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i / T_0)} \right]$$

(2)

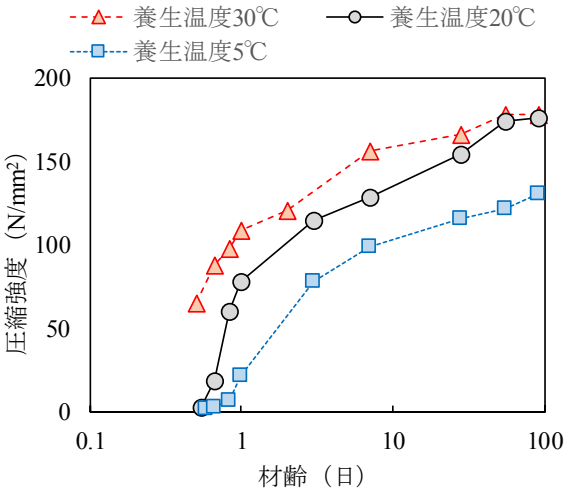
表－1 配合

単位量(kg/m ³)			高性能減水剤(kg/m ³)	消泡剤(kg/m ³)	鋼繊維(kg)
水 [※])	粉体	珪砂			
216	1,420	650	24	1	118

※) 高性能減水剤、消泡剤を含む

表－2 養生条件および供試体数量

練混ぜ時の雰囲気温度(℃)	養生温度(℃)	養生方法	試験材齢（供試体数量：各3本）											
			12h	13h	14h	16h	20h	1d	2d	3d	7d	28d	56d	91d
30	30	封蔵	○	-	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○
20	20		-	○	-	○	○	○	-	○	○	○	○	○
10	5		-	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○



図－1 各養生温度下における圧縮強度発現

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート、圧縮強度、強度発現、養生温度、有効材齢、アレニウス則
連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター生産技術開発部 TEL:045-814-7229

ここに、 t_e ：有効材齢(日)， t_n ：圧縮強度の管理材齢(日)， $f'_c(t_e)$ ：有効材齢 t_e における圧縮強度(N/mm²)， a, b ：係数， S_f ：硬化原点に対応する有効材齢(日)， $f'_c(t_n)$ ：管理材齢における圧縮強度(N/mm²)， Δt_i ：一定のコンクリート温度が継続する期間(日)， $T(\Delta t_i)$ ： Δt_i の間継続するコンクリート温度(°C)， T_0 ：1°Cである。式(2)の有効材齢は、式(3)に示すアレニウス則に基づく等価材齢式の E_a/R を4,000K、基準温度 T_r を20°Cとしたものである。

$$t_e = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \exp \left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{273+T_r} - \frac{1}{273+T(\Delta t_i)} \right) \right] \tag{3}$$

ここに、 E_a ：見掛けの活性化エネルギー(kJ/mol)， R ：気体定数(8.31J/mol/K)， T_r ：基準温度(°C)である。図-2に $E_a/R=4,000K$ とした場合の圧縮強度と有効材齢の関係を示す。式(2)は一般のコンクリートを対象としており、UFCの場合には E_a が大きく評価($E_a/R=8,990K$)された例が報告されている³⁾。本研究では、養生温度20、30°Cを対象とした場合、養生温度5°Cを対象とした場合のそれぞれについて最小二乗法により E_a 、 a および b を求めた。養生温度5°Cを区別したのは、養生温度5°Cの強度発現が明らかに他のケースと異なっていたためである。養生温度5°Cの影響が初期の水和反応活性の他、水和に伴う組織構造の形成にも及んだことが考えられる。図-3に圧縮強度の試験値と回帰結果を、表-3に回帰式に用いた係数を示す。 E_a は材料固有の性質と考え、それぞれの養生温度で同一の値とした。また、 S_f は圧縮強度の試験値により定めた。図-3に示したように、20°Cと30°Cは一つの近似曲線で近似できるが、5°Cについては別途近似する必要があると考えられる。

4. まとめ

常温環境下で強度発現性を高めたUFCを対象に養生温度をパラメータとした圧縮強度試験を行い、有効材齢により圧縮強度の発現を検討した。その結果、 E_a は一般のコンクリートより大きく設定する必要がある。また、養生温度5°Cの場合に対しては、20°Cおよび30°Cの場合と区別する必要があると考えられた。

参考文献

1) 橋本 理, 坂本 淳：UFCプレキャスト部材の接合部に用いるウェットジョイント材に適した早強・常温硬化型UFCの諸物性，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.321-326，2016.7
2) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016，2016.11
3) 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，No.1，pp.238-243，2012.7

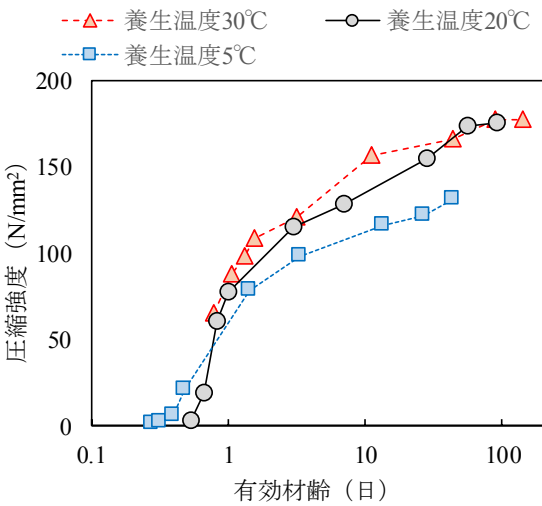


図-2 圧縮強度と有効材齢の関係
($E_a/R=4,000K$ とした場合)

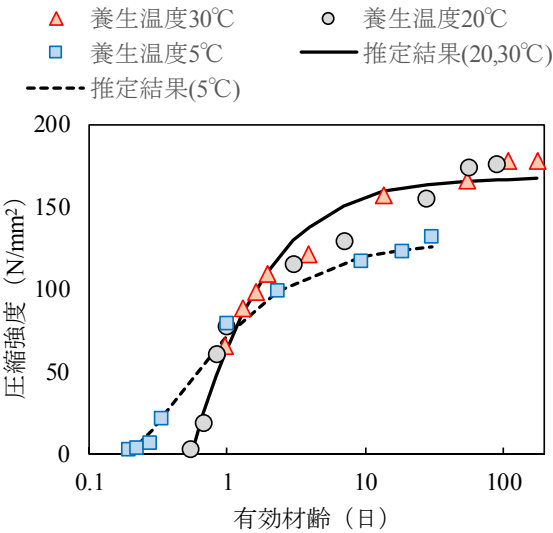


図-3 圧縮強度と有効材齢の関係
(E_a/R を大きく評価した場合)

表-3 回帰式に用いた係数

養生温度(°C)	$f'_c(t_n)$ (N/mm ²)	E_a/R (K)	a	b	S_f (日)	相関係数
20,30	178	5,900	0.78	1.06	0.54	0.982
5	131		0.66	1.02	0.20	0.997