

高温度履歴を受けた低水結合材比シリカフューム混和セメントの強度および空隙特性

太平洋セメント（株） 正会員 ○番地 成朋 三谷 裕二 谷村 充
名古屋大学大学院 正会員 丸山 一平

1. はじめに

コンクリートの高強度化技術は構造物の超高層化や長スパン化等に対応すべく飛躍的に進歩し、最近では設計基準強度 150N/mm² 級の超高強度コンクリートが実用化された。超高強度コンクリートでは、長期強度および流動性を確保するために、低発熱型のセメントを用い、シリカフュームを混和することが多い。その一方で、結合材量が多く、部材は水和熱による高温度履歴を受けるため、構造体強度を適切に評価するためには、材齢初期に温度履歴を受けた場合の強度発現メカニズムを明確にする必要がある。

著者らはこれまでに、中庸熟ポルトランドセメントにシリカフュームを混和した水結合材比 16.5%，シリカフューム置換率 7.5～17.5%のセメントペーストを対象に、高温度履歴下における若材齢（～材齢 7 日）の強度・空隙構造・水和反応性について実験的に検討してきた¹⁾。本報では、より広い範囲の水結合材比についてデータの拡充を図り、初期材齢に高温度履歴を受けた場合の若材齢から長期材齢までの強度発現特性と空隙構造の関係について検討した。

2. 実験概要

本研究で用いた材料を表-1 に、配合の水準を表-2 に示す。セメントペーストの水結合材比(W/B)は 13, 16.5, 20%の 3 水準とし、セメントに対するシリカフューム置換率は W/B=13, 20%の場合が 12.5, 17.5%の 2 水準、W/B=16.5%の場合が 7.5, 12.5, 17.5%の 3 水準とした。

養生条件は、W/B=13%には最高温度 80℃、W/B=16.5%には最高温度 70℃および 45℃、W/B=20%には最高温度 70℃の温度履歴をそれぞれ設定した。また、全ての W/B で 20℃一定の養生を設けた。図-1 に設定した養生温度パターンを示す。

測定項目は圧縮強度と空隙構造とし、圧縮強度試験は土木学会規準「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法(JSCE-G505-1999)」に準拠し、試験材齢は 1, 2 (W/B=16.5%のみ), 3, 7, 28, 91 日とした。また、同時に静弾性係数も測定した。空隙構造は水銀圧入式ポロシメータを用いて測定し、試料には供試体 (70ml: ポリプロピレン製容器) を約 5mm 角に切断し、水和停止ならびに D-乾燥を施したものを用いた。なお、試験材齢は圧縮強度と同一とした。

3. 実験結果および考察

図-2 に圧縮強度の経時変化を示す。同一配合の強度発現性について養生条件で比較すると、高温度履歴(70℃, 80℃)を受けた場合の圧縮強度は材齢 7 日の時点でほぼ最大に達しているのに対し、20℃養生下では材齢 91 日においても強度が増進する傾向が認められた。また、材齢 7 日の圧縮強度は、高温度履歴下の方が 20℃養生下より W/B=13, 16.5, 20%でそれぞれ約 35, 30, 15%高いものの、材齢の経過に伴って両者の差は小さくなり、W/B=20%では材齢 28 日、W/B=16.5%では材齢 91 日において 20℃養生の圧縮強度が高温度履歴を受けた場合とほぼ同等になった。一方、W/B=13%では、材齢 91 日においても高温度履歴下の圧縮強度が 20℃養生下より約 15%高かった。既往の研究²⁾でも同様の結果が得られており、W/B が小さいほど、高温度履歴が若材齢時の強度発現に及ぼす作用が大きく、高温度履歴を受けた場合の長期強度が 20℃養生よりも上回る可能性が高くなると考えられる。

表-1 使用材料

材料	物理的特性など
セメント	中庸熟ポルトランドセメント 密度:3.23g/cm ³ , プレーン比表面積:3320cm ² /g
シリカフューム	密度:2.34g/cm ³ , BET比表面積:10.1m ² /g
混和剤	ポリカルボン酸系高性能減水剤

表-2 配合の水準

		水結合材比 (W/B)		
		13%	16.50%	20%
シリカフューム置換率	7.5%	-	○	-
	12.5%	○	○	○
	17.5%	○	○	○
養生条件		80℃履歴, 20℃養生	70℃履歴, 45℃養生, 20℃養生	70℃履歴, 20℃養生

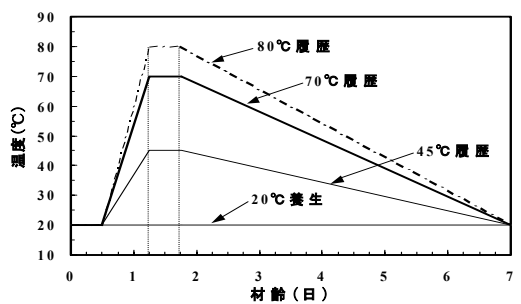


図-1 養生温度のパターン

キーワード 超高強度コンクリート, シリカフューム, 強度特性, 空隙構造, 温度依存性
連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント（株）中央研究所 TEL043-498-3804

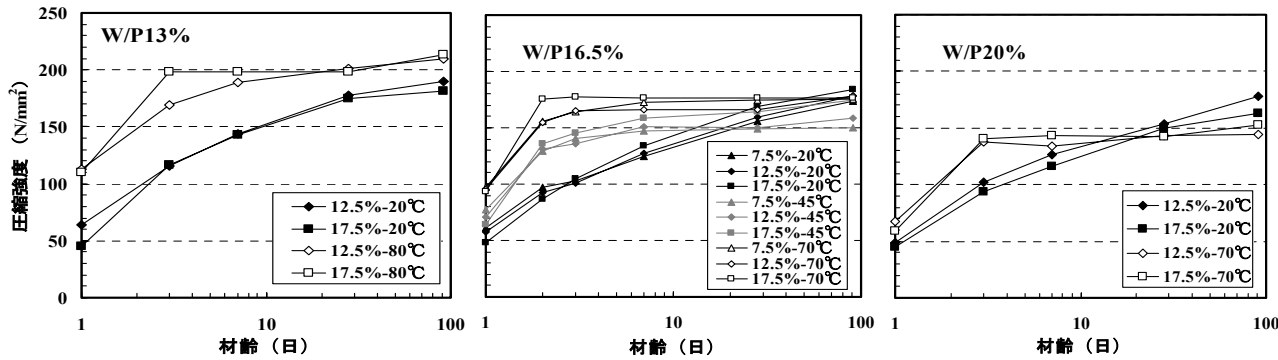


図-2 圧縮強度の経時変化

図-3 に静弾性係数と圧縮強度の関係を示す. W/B, シリカフュームの置換率および養生条件に拘らず, 静弾性係数は圧縮強度によりほぼ一義的に表現することができる.

図-4 に各養生条件下における空隙量の経時変化を示す. 20℃養生の場合, 空隙量が材齢 91 日まで徐々に減少していくのに対し, 高温履歴下の場合では, 材齢 1~3 日までに急激な総空隙量の減少が見られるものの, それ以降の材齢では空隙構造がほとんど変化しなかった. これは, 高温履歴を受けた場合の圧縮強度が材齢 3~7 日で最大値に達し, その後の強度増進がほとんど見られなかった結果と一致しており, 水和反応がほぼ終了していることが示唆される.

図-5 に圧縮強度と空隙量の関係を示す. W/B, シリカフューム置換率および養生条件に拘らず, 圧縮強度の増加と空隙量の減少は概ね良く対応していた. しかしながら, 材齢 91 日の総空隙量・空隙分布と圧縮強度の関係を見ると, 例えば W/B=16.5%の圧縮強度は, 70℃履歴と 20℃養生でほぼ同等であるものの, 総空隙量は 70℃履歴の方が少なく, 20℃養生では 5nm 以下の空隙量が少ない傾向にある. 既往の研究³⁾では, シリカフュームを混和すると, 無混和の場合と比較して圧縮強度と空隙構造の相関性が低下するという知見もあるため, 両者の関係については養生条件による水和生成物の違いの観点から, より詳細に検討をする必要がある.

4. まとめ

- 本検討より得られた知見を以下に示す.
- (1) シリカフュームの置換率が大きいほど, 高温履歴下における若材齢の圧縮強度は高く, 空隙構造の緻密化の状況とよく対応していた.
 - (2) 高温履歴下では, 材齢 7 日程度で強度がほぼ最大値に達し, それとほぼ同時期に空隙量の変化も小さくなった.
 - (3) 圧縮強度と空隙量には概ね良い相関性が認められた.

参考文献

- 1) 松本健一ほか: 低水結合材比におけるシリカヒューム混入セメント硬化体の若材齢時の力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.103-108, 2008.7
- 2) 小泉真一ほか: $f_{c'}$ 150N/mm²級の強度発現性に及ぼす養生条件の影響に関する一考察 (その3 強度発現性と水和反応の関係), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1073-1074, 2008.9
- 3) 大池武ほか: シリカフューム混入セメントペーストの高温履歴による強度発現性と微細構造に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.12, No.1, pp.237-240, 1990

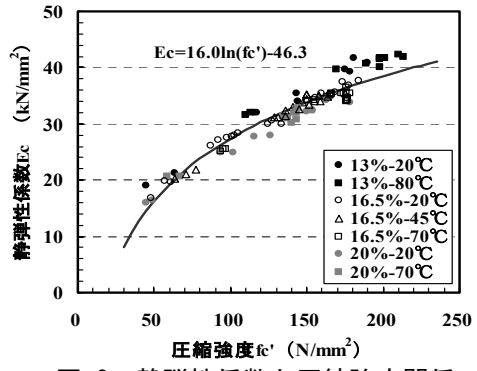


図-3 静弾性係数と圧縮強度関係

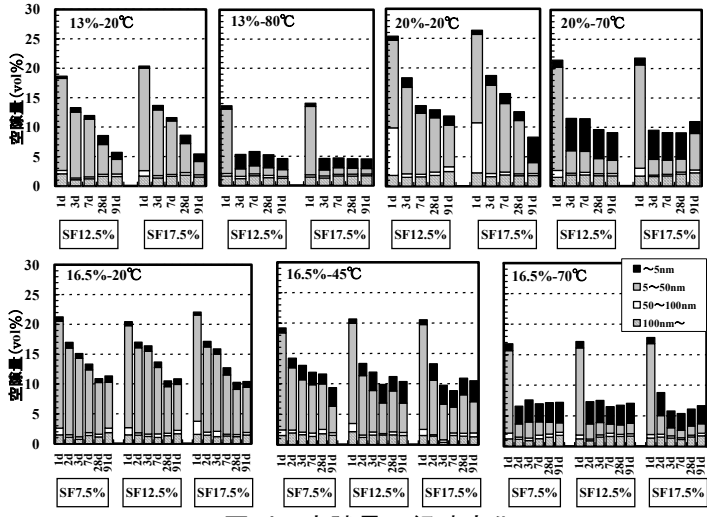


図-4 空隙量の経時変化

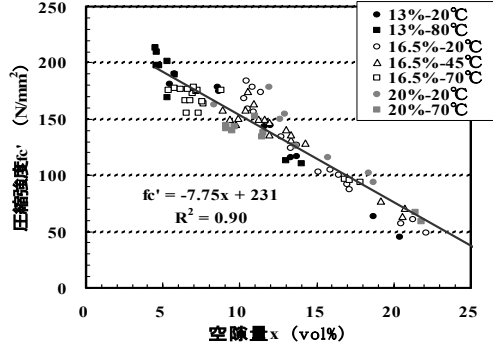


図-5 圧縮強度と空隙量の関係