

RPC の収縮およびクリープ特性に関する実験的検討

太平洋セメント（株）中央研究所 正会員 ○佐藤 正己 正会員 前堀 伸平
 正会員 片桐 誠 正会員 田中 敏嗣

1. はじめに

近年、コンクリートの高強度化とともに超高強度繊維補強コンクリート（以下RPC）が注目されている¹⁾。RPCは、低水セメント比、最密充填理論を適用した反応性粉体を用いられている。補強用繊維を混入することで靱性が付与されており、蒸気養生により 200N/mm^2 程度の圧縮強度を発現する。RPC は、従来のコンクリートと比較して非常に緻密な硬化体組織を有しているため、収縮およびクリープなどの時間依存性変形特性が異なると考えられる。本稿では、RPC の収縮およびクリープ特性について述べる。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

当実験に使用した材料および配合を表 1, 2 に示す。なお、RPC プレミックス粉体は、太平洋セメント社製プレミックス DP-200 とした。これは、セメント(C)、石英質微粉末および珪砂など(S+ α)を予め混合したものである。

表 1 使用材料

種別	銘柄	記号
プレミックス	RPCプレミックス粉体	PM
鋼繊維	$\phi 0.2 \times 15\text{mm}$ 鋼繊維	FM
有機繊維	$\phi 0.3 \times 15\text{mm}$ PVA 繊維	FO
混和剤	ポリカルボン酸系減水剤	Ad
水	—	W

2. 2 供試体作成方法

練混ぜは、ミキサに RPC プレミックス粉体、水、減水剤を同時に投入し 10 分間行い、繊維投入後さらに 3 分行った。目標フロー値(JIS R 5202(ゼロ打))は $270 \pm 10\text{mm}$ とし減水剤添加量によって調整した。供試体寸法は、圧縮強度、圧縮クリープ、細孔径分布測定用供試体は $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 、収縮ひずみ測定用供試体は $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ とした。成形した供試体は、図 1 の工程で前養生および蒸気養生を行った。

表 2 配合

配合	繊維 添加量 (vol%)	W/C (%)	単位量(kg/m^3)					
			W	PM		FM	FO	Ad
				C	S+ α			
RPC-FM	2.0	22.0	180	818	1459	157	—	18
RPC-FO	3.0		178	810	1444	—	39	20
RPC-NF	0		184	835	1488	—	—	17

※減水剤は単位水量に含むものとする。

2. 3 実験方法

圧縮強度は、JIS A 1108 に準拠して行った。圧縮強度試験供試体にストレインゲージ(長さ 60mm)を貼り付けひずみを測定し静弾性係数を求めた。収縮ひずみ測定は、打設から蒸気養生終了後までは埋込み型ひずみ計を用い測定し、蒸気養生終了後はクリープ試験と同一環境($20.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 60%R.H.)下に置き、コンタクトゲージを用い（基調：100mm、検長：1/500mm）ひずみを測定した。圧縮クリープ試験は、 20°C 60%R.H.に管理された恒温室内で 500kN クリープ試験機を用い、2 本の供試体を軸方向に積重ねて設置した。载荷応力は 50.9N/mm^2 (400kN)一定とし、コンタクトゲージを用いてひずみを測定した。また、圧縮クリープひずみは同一環境条件においた供試体の実測ひずみで補正することで求めた。なお、各配合の供試体について中央部分をダイヤモンドカッターで切り出し、直ちにアセトンに浸漬した。その後 D-乾燥を行い、水銀圧入ポロシメーターで細孔径分布を測定した。

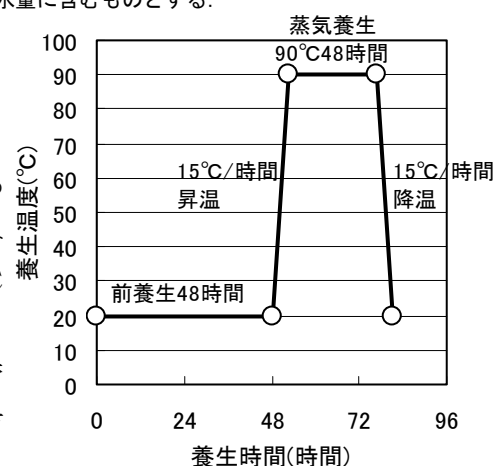


図 1 養生工程

キーワード：圧縮クリープ、クリープ係数、収縮ひずみ、細孔径分布、超高強度繊維補強コンクリート、RPC
 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 TEL. 043-498-3853 FAX. 043-498-3821

表3 フレッシュおよび硬化体力学性状

配合	フロー (mm)	練上がり 温度(°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)	载荷導入率 (%)
RPC-FM	274	27.2	212	5.5	24.0
RPC-FO	268	27.6	150	4.9	34.0
RPC-NF	276	26.8	190	5.2	26.8

3. 実験結果

本試験で用いたRPCのフレッシュおよび硬化体力学性状を表3、打設後からの収縮ひずみの経時変化を図2に示す。

RPCの打設から蒸気養生終了後までの収縮ひずみは、RPC-FMで約 -600μ 、RPC-FOおよびRPC-NFで約 -900μ の収縮を生じた。さらに、蒸気養生後の収縮ひずみは1年間経過時で $-5\sim -30\mu$ 程度であり極めて小さい。また、質量変化率は、1年経過時で $-0.04\sim -0.05\%$ と非常に小さく、水の離脱が極めて少ないことが認められた。

RPCの圧縮クリープひずみの経時変化を図3、クリープ係数の経時変化を図4に示す。圧縮クリープひずみは、1年間経過時で $-280\sim -350\mu$ 程度の収縮が生じた。クリープ係数は、1年間経過時でいずれの配合においても $0.3\sim 0.4$ であり、圧縮クリープが小さいことが確認された。圧縮クリープに関して、繊維の違いによる大きな差は認められなかった。既往の研究²⁾によると材齢28日において目標強度 120N/mm^2 の高強度コンクリートの収縮特性は2年経過時での乾燥収縮量が -200μ 、圧縮クリープひずみが -928μ 、クリープ係数が 0.78 という知見があるが、RPCの収縮ひずみおよびクリープ係数は、高強度コンクリートと比較して非常に小さいことが確認された。

RPCの細孔径分布を図5に示す。既往の研究³⁾によると高強度コンクリートの総空隙量は 15% である。これと比べRPCの総空隙量は 4% 以下と非常に小さく、また空隙の約 80% が $3\sim 6\text{nm}$ の微細なゲル空隙で構成されていることがわかる。ただし、RPC-FOの細孔径分布にはPVA繊維の空隙が含まれている。このため $1\mu\text{m}$ 以上の空隙量が多くなったと考えられるが、圧縮クリープ試験結果からはこの粗大な空隙の影響は小さいと考えられる。

RPCの圧縮クリープが小さくなった理由として、水セメント比が 22% と小さく、最密充填理論に基づいた最適粒度構成で混合されたプレミックス粉体を使用していること、蒸気養生により水合が十分進行し組織が非常に緻密となり乾燥による水の離脱が少ないこと、持続荷重による硬化体内部の水の移動が少ないことが推察される。

本試験結果より、RPCは圧縮強度が高く、クリープおよび収縮が小さいことからプレストレス構造物への適用が期待される。

参考文献 1)下山善秀, 鶴澤正美: ダクトル(Ductal®)の特性と応用分野, 太平洋セメント研究報告, 第142号, pp55-62, 2002

2)後藤和正, 小室努, 陣内浩, 川端一三: 高強度コンクリートの圧縮クリープ性状, コンクリート工学年次論文集, vol.22, No.2, 2000

3)内川浩: 組成と構造の観点から見た硬化セメントペースト, モルタルおよびコンクリートの類似性と相違点, セメント・コンクリート, No.507, pp.33-45, 1985

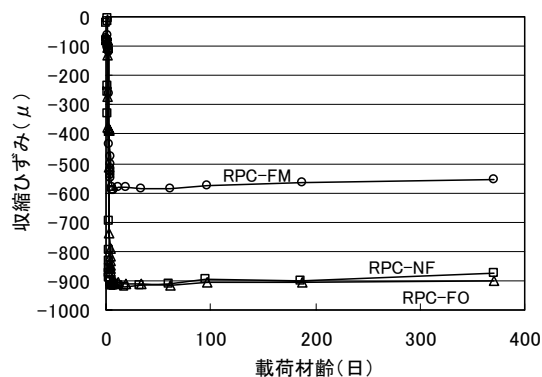


図2 収縮ひずみ測定結果

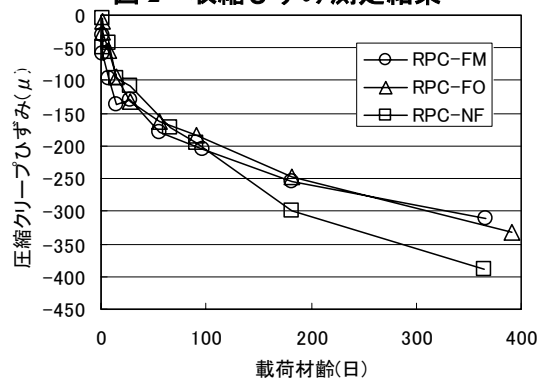


図3 圧縮クリープひずみ測定結果

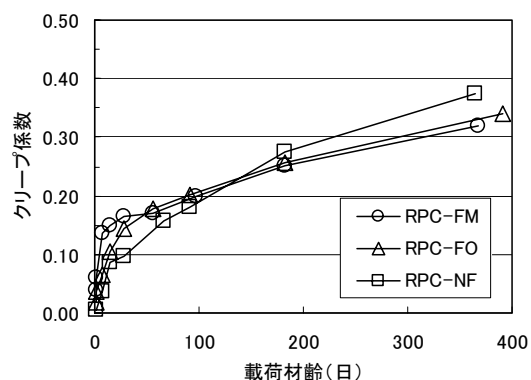


図4 クリープ係数測定結果

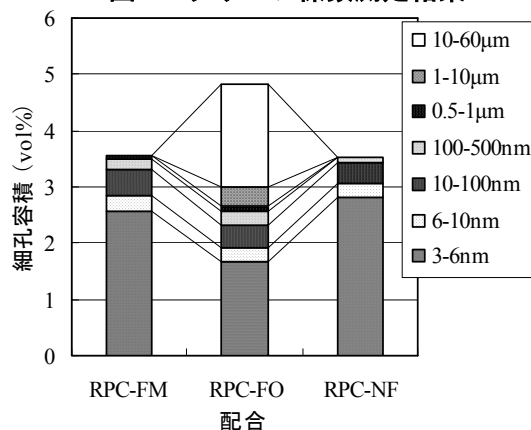


図5 細孔径分布測定結果