

繊維補強無孔性コンクリートの養生温度が強度発現性に及ぼす影響

太平洋セメント(株) 正会員 ○ 落合 昂雄 正会員 溝口 愛実 正会員 小亀 大佑
正会員 岸良 竜 正会員 河野 克哉

1. はじめに

近年、流し込み成型で 400 N/mm² 以上の超高強度を発現する無孔性コンクリート（以下、PFC ; Porosity Free Concrete）が開発された。PFC は、(1)最密充填に粉体構成を調整した専用結合材の使用、(2)硬化した PFC に外部から吸水させる強制吸水工程、(3)蒸気養生と加熱養生の 2 段階の熱養生工程を組み合わせることで、極めて高い強度を発現する¹⁾。

特に(3)熱養生工程の加熱養生は、製造設備の制約を受ける場合がある。そこで、本稿では PFC の製造工程と物性の関係を把握するため、加熱温度および加熱時間の加熱養生条件を変化させたときの PFC の圧縮強度発現性を評価した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

使用材料を表-1、配合を表-2 に示す。(1)PFC で用いるプレミックス結合材は、低熱ポルトランドセメントとシリカフュームに対し、それらの中間粒径となる微粉末を混合して最密粒度にしたものである。また、水結合材比 (W/B) は 15 %とし、鋼繊維 (F) は全体積に対して外割で 2 %を混合した。

2. 2 試験体作製および養生方法

本実験では、オムニミキサ（容量 10 L）を使用し、6

分間の練混ぜを行った。試験体はφ 50×100 mm の円柱試験体とし、型枠内で封緘養生（20 °C，80 %RH 環境下）を材齢 48 h まで行った後に脱型した。

脱型後には(2)アクリル製密閉容器内に試験体を予め水中浸漬させた状態で、容器に接続した真空ポンプで脱気して減圧させ、試験体表面から水分を供給した。なお、脱気時間は 30 分とした。

吸水処理を終えた試験体は、(3)蒸気養生（昇温 15 °C /h，最高温度 90 °C，保持時間 48 h，降温 15 °C/h）を行った後、表-3 に示す加熱条件下で養生を行った。水準①～④は、加熱養生の保持時間を 48 h 一定とし、最高温度を 90～180 °Cまで変化させた。一方、水準⑤～⑧は最高温度を 180 °Cとし、保持時間を 24 h，または 8 h のサイクルを 1～3 回繰り返した。なお、各水準とも昇温・降温速度は 60 °C/h とした。

3. 試験結果

3. 1 異なる加熱養生温度での強度発現性

本実験で得られた圧縮強度を図-1 に示す。最高温度の保持時間が 48 h であった水準①～④に着目すると、180 °Cでは 338 N/mm²であったが、150 °Cでは 327 N/mm²，120 °Cでは 311 N/mm²であり、加熱温度の低下とともに圧縮強度が低下した。また、図-2 に示す水準

表-3 養生条件

試験水準名	強制吸水	蒸気養生	加熱養生
① 180°C-48h	30 min	90 °C,48 h	180 °C,48 h
② 150°C-48h	30 min	90 °C,48 h	150 °C,48 h
③ 120°C-48h	30 min	90 °C,48 h	120 °C,48 h
④ 90°C-48h	30 min	90 °C,48 h	90 °C,48 h
⑤ 180°C-24h	30 min	90 °C,48 h	180 °C,24 h
⑥ 180°C-8h×1	30 min	90 °C,48 h	180 °C,8 h×1 回
⑦ 180°C-8h×2	30 min	90 °C,48 h	180 °C,8 h×2 回
⑧ 180°C-8h×3	30 min	90 °C,48 h	180 °C,8 h×3 回

表-1 試験体概要

材料	産地/銘柄	記号	概要
水	上水道	W	—
結合材	プレミックス粉体	B	PFC 専用結合材，密度:2.98 g/cm ³
細骨材	高強度砂	S	密度:2.63 g/cm ³ ，最大粒径:0.3 mm
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール系
短繊維	鋼繊維	F	寸法:φ0.2×15 mm，密度:7.84 g/cm ³ 引張強度:2800 N/mm ²

表-2 配合

W/B (%)	単位量(kg/m ³)						フロー (mm)	空気量 (%)
	W	B	S	F	SP	DF		
15	199	1328	934	157	B×2.3%	B×0.02%	257	3.5

キーワード：無孔性コンクリート，加熱養生温度，圧縮強度
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 TEL：043-498-3893

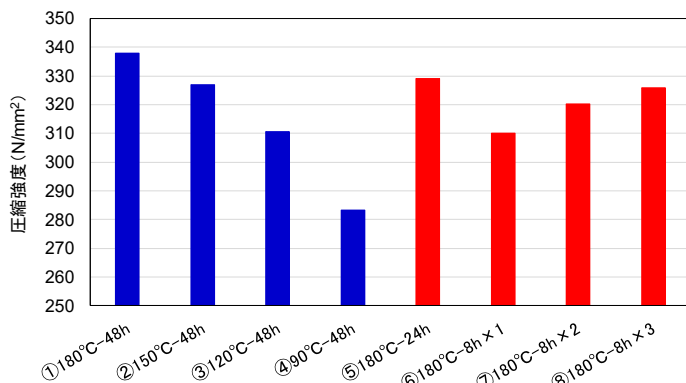


図-1 異なる加熱条件での強度発現性

①～④の加熱養生の最高温度と圧縮強度の関係を確認すると、120℃以上で加熱した水準①～③と比較して90℃では圧縮強度が低く、加熱温度が100℃を下回る場合には強度発現の異なる傾向が認められる。

一方、180℃で加熱した水準⑤～⑧に着目すると、短時間の加熱時間でも、加熱サイクルを繰り返すことで圧縮強度の増加を確認できる。また、保持時間の合計が24hであった水準⑤と⑧では同等の圧縮強度が得られ、加熱養生でPFCに供給された熱エネルギーが等しい場合には、類似した強度発現性を示すことが示唆される。

3. 2 強度発現特性への液相・気相の影響

液相が内在する多孔質材料について、Benedicks²⁾は表面張力が高い液相が浸透した場合には強度が低下する傾向（Benedicksの法則）を示した。さらに、堀は³⁾セメント系材料にもBenedicksの法則が近似的に成立することを報告している。

Benedicksの法則を踏まえると、図-2で示した最高温度が90℃の場合には、空隙中に水分が多く残存して固相に表面張力が作用したことで、120℃以上の場合よりも相対的に圧縮強度が低下したことが示唆される。

また、最高温度を180℃とした場合の加熱時間と圧縮強度の関係を示した図-3を確認すると、加熱時間が24h以前の圧縮強度の増加傾向と比較し、24h以降には強度増進が緩慢になる傾向が認められた。24h以前に認められる強度発現傾向は、180℃での加熱サイクルを繰り返して水分が逸散し、固相に作用する表面張力が低下したことで圧縮強度が増加したと考えられる。しかし、24h以上の加熱養生ではPFCの乾燥が進み、新たに逸散する水分量が減少することで圧縮強度の発現性が緩慢になったことが推察される。

さらに、前述したBenedicksの法則による表面張力の影響の他に、载荷時の試験体全体への応力伝達に着目すると、固相に加えて空隙中の液相も応力伝達を担い、

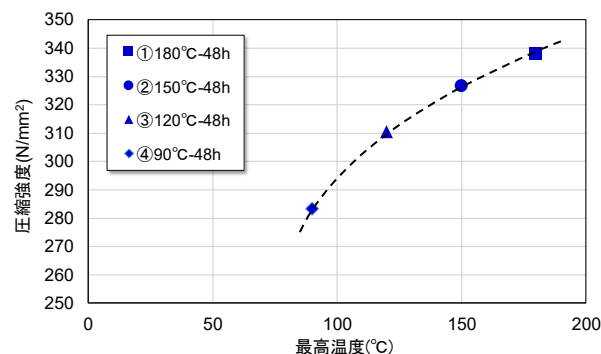


図-2 加熱養生の最高温度と圧縮強度の関係

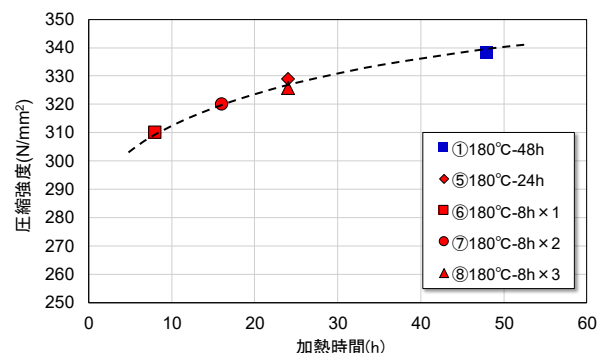


図-3 加熱養生の加熱時間と圧縮強度の関係

空隙に保持された液相には载荷により等方圧が作用すると考えられる。加熱養生によって空隙中の液相が逸散し、気相が占める空隙が増加することで応力が伝達されなくなったことも、PFCの強度発現の一因である可能性が示唆される。

4. まとめ

超高強度を発現する繊維補強PFCを対象として異なる加熱条件で養生を行い、強度発現性を確認した。本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 最高温度を90～180℃、保持時間を48hとした加熱養生を行い、120℃以上では310 N/mm²以上の圧縮強度を発現した。水分逸散量の少ない90℃では、他より強度発現性に劣る傾向であった。
- (2) 最高温度を180℃、保持時間を8hとしたサイクルを繰り返すことで圧縮強度は増加傾向であったが、24h以上の加熱では緩慢な強度発現となった。

参考文献

- 1) 河野克哉 他：450 N/mm²以上の圧縮強度を発現するセメント系材料の製造方法と硬化組織の変化，コンクリート工学年次論文集，38(1)，pp.1443-1448，2016
- 2) C. Benedicks：Influence de la tension de surface du liquid sur l'effet de mouillage，Comptes rendus，Vol.232，pp.2435-2436，1951
- 3) 堀素夫：表面エネルギーから見たセメント硬化体の強さ，窯協，Vol.70，No.7，pp.54-59，1962