

熱養生履歴が超高強度セメント硬化体物性に及ぼす水和反応の影響

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○遠藤 俊宏
日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己
日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

1. はじめに

超高強度コンクリート(UHSC)の施工が増加傾向にあるが、UHSC の品質管理は煩雑であるため養生の合理化と品質管理が容易なプレキャスト製品の利用が進んでいる。土木学会 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)(UFC 指針案)にも、UHSC のプレキャスト製品は強度を確保することができる熱養生が適用されている。しかし、UHSC に熱養生を適用することにより圧縮強度の増加が見込める反面、自己収縮が大きくなることが報告されている¹⁾。また、長さ変化と圧縮強度に及ぼすセメント鉱物や混和材の水和反応との関係を調べた報告は少ない。そこで、本研究では UFC 指針案の標準熱養生を参考に、熱養生履歴を変化させた場合に超高強度セメント硬化体の長さ変化と圧縮強度に及ぼす水和反応の影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料、配合条件および養生条件：表-1 に使用材料、表-2 にモルタル配合、表-3 にフレッシュ性状、表-4 に熱養生パターン、図-1 に熱養生サイクルを示す。水結合材比、モルタルフロー値、空気量は表-2、3 に示す通りとした。分析用セメントペースト配合は、モルタル配合から細骨材を除いた配合とした。水和反応分析と圧縮強度試験は、未水和、熱養生終了直後、材齢 7、28、91、182 日で行い、長さ変化試験は打込みから材齢 77 日まで行った。熱養生は前置時間を変化させた 4 パターンとした。熱養生パターンの表記は、W/B=15%、前置時間 48h、の場合を 15P48 と表す。

2.2 セメントとシリカフュームの水和反応分析：選択溶解法により求めた未反応 SF 量を測定し、SF の反応率を算出した。セメント鉱物および水和物の定量は、佐藤らの手法¹⁾に従い XRD/リートベルト法により行った。その定量値と水酸化カルシウム量(TG-DTA)、間隙水量(105℃乾燥)、選択溶解法による未反応 SF 量から相組成を算出し、セメント鉱物の反応率を求めた。

2.3 圧縮強度試験：圧縮強度は JIS A 1108 に準拠し、φ50×h100mm のモルタル円柱供試体を作製し測定した。

2.4 長さ変化試験：長さ変化の測定は、埋込型ひずみゲージを用いた。試験体寸法 40×40×160mm とし、テフロンシート、ポリエステルシートを用い型枠面と絶縁した。養生は、前養生、熱養生ともラップフィルムとアルミテープを用いて封かん養生とした。

キーワード 超高強度、熱養生、長さ変化、圧縮強度、XRD/リートベルト解析、選択溶解法

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1- 8-14 理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0682

表-1 使用材料

材料	略号	諸元
セメント	C	低熱ポルトランドセメント 密度:3.22(g/cm ³) プレーン値:3470(cm ² /g)
シリカフューム	SF	フェロシリコン系 密度:2.22(g/cm ³) BET値:15.3(m ² /g) 強熱減量:1.34(%) 湿分量:0.51(%) SiO ₂ 量:96.6(%)
練混ぜ水	W	蒸留水
細骨材	S	ISO標準砂:密度2.63(g/cm ³)
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系超高強度用高性能減水剤
消泡剤	DEF	ポリエーテル系抑泡剤

表-2 モルタル配合

W/B (%)	単位量(kg/m ³)					SP添加量 (C×%)	DEF添加量 (C×%)
	W	B	C	SF	S		
15	223	1190	297	639	59.5	4.00	0.25

表-3 フレッシュ性状

フロー値 (mm)	空気量 (%)	凝結時間			
		始発		終結	
		時間(h)	分(m)	時間(h)	分(m)
265×265	2.1	33	12	36	3

表-4 熱養生パターン

養生 パターン	W/B(%)	最高温度 (℃)	前置時間:P (h)	最高温度 継続時間 (h)
15P4	15	90	4	48
15P12			12	
15P24			24	
15P48			48	

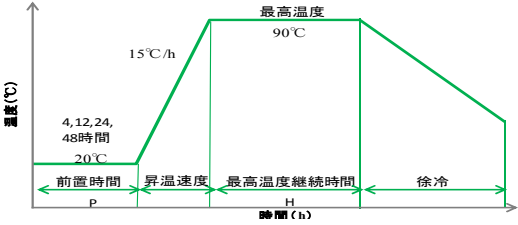


図-1 熱養生サイクル

3. 結果及び考察

3.1 長さ変化試験結果：長さ変化試験結果を図-2 に示す。前置時間 4,12,24h は熱養生開始と同時に膨張した。図-3 に W/B=15%の XRD チャート図を示す。膨張が認められた前置時間 4,12,24h では、エトリンガイト(Aft)

のピークが検出され 48h では認められなかった。このことから、膨張は AFt の生成が関与していると考えられた。また、前置時間 4,12,24h では、高性能減水剤の多量添加により凝結遅延が起こり、間隙水が水蒸気になり体積膨張により膨張したことも考えられた²⁾。よって膨張は、熱養生による AFt 生成と水蒸気膨張が原因であると推察された。熱養生後の長さ変化は、硬化不良を起こした 4h を除き変化が認められなかった。

3.2 セメントと SF の水和反応分析結果： 図-4 に C_3S の反応率を示す。熱養生直後の C_3S の反応率は前置時間 4h で約 30% となり、それ以外では約 80~90% と高い値となった。熱養生後の反応率は、前置時間 4h を除き変化しなかった。図-5 に C_2S の反応率を示す。熱養生直後の C_2S の反応率は約 50~60% となった。熱養生後の反応率は、材齢経過にともない増加した。図-6 に SF の反応率を示す。熱養生直後の SF 反応率は、前置時間の延長にともない増加した。熱養生後は、前置時間 4,12,24h では、材齢経過にともない反応率が大きく増加し、48h では材齢経過に伴う増加はわずかとなった。図-7 に C-S-H 生成量を示す。C-S-H の生成量は、前置時間 4h 以外で熱養生直後において約 50~60% となった。熱養生後は、材齢経過に伴う増加が認められた。図-4 ~7 より前置時間 48h は全ての測定結果で反応率が最も高い値となり、前置時間の増加が水和反応の促進することが認められた。前置時間 4h は熱養生直後の反応率は低下し水和反応が停滞した。これは熱養生中に AFt が過剰生成し、水和反応が阻害されたと推察された。

3.3 圧縮強度試験結果： 圧縮強度試験結果を図-8 に示す。前置時間 4,12,24h は前置時間 48h と比較して小さかった。前置時間 4h は水和停止による硬化不良、12, 24h は膨張によるクラックが認められ膨張破壊が生じたと推察された。熱養生後の圧縮強度は、前置時間 4h 以外で停滞した。また、前置時間 48h は他の試料に比べ圧縮強度が大きくなったため、前置時間の増加にともない圧縮強度の増加が認められた。

4. まとめ

- (1) 前置時間の増加にともない、水和反応が進行し、収縮、圧縮強度が大きくなった。
- (2) 前置時間を短縮すると AFt の生成、内部の水の蒸発により膨張するため、凝結時間より長い前置時間の設定が重要である。

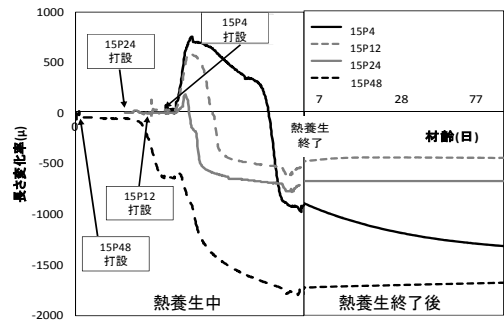


図-2 長さ変化率測定結果

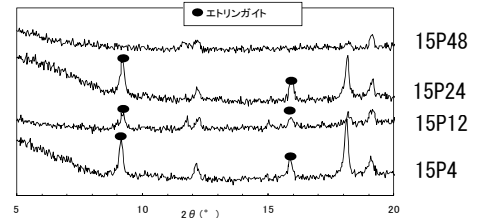


図-3 XRD チャート図

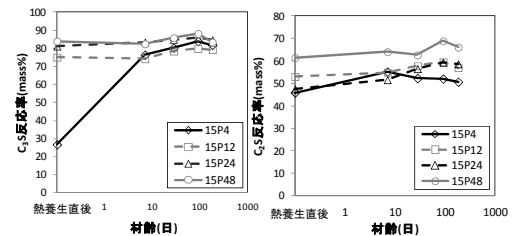


図-4 C_3S の反応率
測定結果

図-5 C_2S の反応率
測定結果

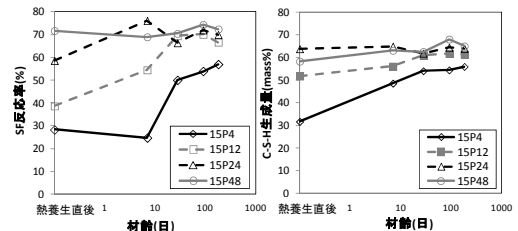


図-6 SF の反応率

図-7 C-S-H の生成量

測定結果

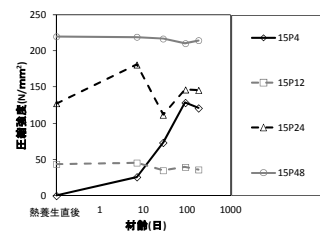


図-8 圧縮強度試験結果

【参考文献】

- 1) 松田拓, 蓮尾孝一, 野口貴文ら：200N/mm² 級超高強度コンクリートの強度・自己収縮特性における初期高温履歴の影響メカニズム, 日本建築学会構造系論文集, No.666, pp.1383-1392(2011)
- 2) 佐藤正己, 梅村靖弘, 小泉公志郎：シリカフェームと高性能減水剤を用いた超高強度セメント硬化体の水和反応, セメントコンクリート論文集, No.64, pp.442-448 (2010)
- 3) 篠沢和久：蒸気養生コンクリートの圧縮強度に関する研究, 建築研究報告, 第 52 号, pp.18-25(1968)