

超高強度コンクリートにおける熱養生温度履歴が圧縮強度と水和反応に及ぼす影響

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

近年、超高強度コンクリート(UHSC)の施工が増加傾向にある。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への利用が進んでいる。UHSCのプレキャスト製品は早期に強度を確保できる熱養生が適用されている。しかし、UHSCにおける熱養生時の温度履歴による強度発現や水和反応との関係は、十分明らかになっていない。そこで、本研究では超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)の標準熱養生を参考に、超高強度プレキャストコンクリートの熱養生パターンを変化させた場合の温度履歴が強度発現、水和反応に及ぼす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：表-1に使用材料，表-2にモルタル配合及びフレッシュ性状，表-3に熱養生パターン，図-1に熱養生サイクルを示す。水和反応分析に用いた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ものとした。水結合材比(W/B)は15%，22%とし、シリカフューム(SF)添加量はセメントに内割りで20%とした。フレッシュ性状は，モルタルフロー値250±20mmになるよう高性能減水剤添加量を決定し，空気量3.0%以下になるよう消泡剤で調整した。水和反応分析には，セメントペースト試料を微粉碎し，アセトンで水和停止したものを使用した。熱養生は図-1のように前置時間，最高温度継続時間を変えた7パターンとした。前置時間は表-2の凝結時間を参考に設定した。なお，養生パターンの表示例としては，W/B=15%，前置時間4h，最高温度継続時間8hの場合を15前4継8と表す。

2.2 試験方法：圧縮強度はJIS A 1108に準拠し，φ50×100mmのモルタル円柱供試体を用いて熱養生直後に測定した。SFの反応率は浅賀らの選択溶解法¹⁾を参考にSFの不溶残分量を測定し求めた。XRD/リートベルト解析による各鉱物の定量は，リートベルト解析ソフトTOPAS (Bruker AXS)を使用し行った。定量は，シリケート相(C₃S, C₂S)，間隙質(C₃A, C₄AF)，石こう(二水，半水),CH, エトリンガイト(AFT)の各セメント鉱物と水和物ならびに内部標準物質 α-Al₂O₃(10mass%)を定量対象としてC-S-H及びSFを含む非晶質量を同時

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)ブレン値: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 モルタル配合及びフレッシュ性状

W/B(%)	単位量(kg/m ³)					SP添加量(C%)	DEF添加量(C%)	フロー値(mm)	空気量(%)	凝結時間			
	W	B	SF	S	SP					始発時間(h)	分(m)	時間(h)	分(m)
15	223	1190	297	639	59.5	4.00	0.25	265×265	2.10	33	12	36	3
22	223	810	202	1064	16.2	1.60	0.06	262×262	1.00	8	41	9	58

表-3 熱養生パターン

養生パターン	W/B(%)	前置時間(h)	最高温度継続時間(h)	養生パターン	W/B(%)	前置時間(h)	最高温度継続時間(h)
15前4継8	15	4	8	22前4継8	22	4	8
15前4継24		4	24	22前4継24		4	24
15前4継48		4	48	22前4継48		4	48
15前12継48		12	48	22前12継48		12	48
15前48継8		48	8	22前48継8		48	8
15前48継24		48	24	22前48継24		48	24
15前48継48		48	48	22前48継48		48	48

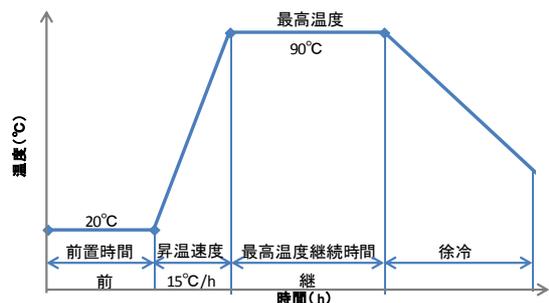


図-1 熱養生サイクル

に測定した。その定量値と熱分析による間隙水量，選択溶解法による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。

3. 結果及び考察

3.1 圧縮試験結果：圧縮強度試験の結果を図-2に示す。熱養生直後における圧縮強度は，W/B=15%前置時間4h

キーワード 超高強度コンクリート，熱養生，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

では硬化せず 15 前 12 継 48 では約 45N/mm² と非常に低くなった。15 前 48 継 48 は約 220N/mm² に達した。W/B=15%は凝結前に熱養生を行った場合、強度発現が得られない結果となった。図-3 の W/B=15%の XRD パターンより 15 前 48 継 48 と比較して前置時間の短い 15 前 4 継 48, 15 前 12 継 48 は AFt のピークが増加したことから、生成された AFt が水和反応を阻害し、強度発現が得られなかったと推察される。一方、W/B=22%は凝結前に熱養生を行った場合でも強度発現が得られ、前置時間の影響は小さく、最高温度継続時間の増加に伴い強度増加が認められた。

3.2 SF の反応率及びセメントの水和反応：図-4 に SF の反応率と温度履歴の関係を示す。W/B=15%は前置時間の増加に伴い SF の反応率も約 40%増加した。W/B=22%では前置時間に関わらず約 80%で一定となった。最高温度継続時間の違いによる比較では、W/B=15%前置時間 4h をのぞき、最高温度継続時間の増加に伴い約 5%~10%程度増加した。図-5 に C₃S の反応率と温度履歴の関係を示す。W/B=15%は前置時間の増加に伴い C₃S の反応率も約 70%増加した。W/B=22%は前置時間に関わらず約 90%で一定となった。最高温度継続時間の違いによる比較では、W/B=15%の前置時間 4h のみ最高温度継続時間の増加に伴い約 8%増加したが、それ以外では約 85%~90%で一定となった。最高温度継続時間の増加による水和反応の促進効果は見られなかった。図-6 に C₂S の反応率と温度履歴の関係を示す。C₂S の反応率は約 40~65%となり C₃S の反応率と同じ傾向を示したが、C₃S の反応率と比較して前置時間と最高温度継続時間による影響が小さくなる結果となった。

4. まとめ

- (1) W/B=15, 22%とも最高温度継続時間の増加に伴い強度増加が認められた。W/B=22%の場合、前置時間の影響は小さかったが、W/B=15%の場合は、前置時間を凝結終結時間より長くとりないと強度発現が阻害された。
- (2) W/B=15%の場合、前置時間の増加に伴い SF と C₃S, C₂S の反応率は増加したが、W/B=22%の場合は変化が少なかった。最高温度継続時間の増加に伴い両 W/B の SF の反応率は増加したが C₃S と C₂S への影響は少なかった。

【参考文献】

1) 浅賀喜与志ほか:セメント-石英系水熱における未反応石英の定量, 窯業協会誌, Vol. 90, pp. 397-400(1982)

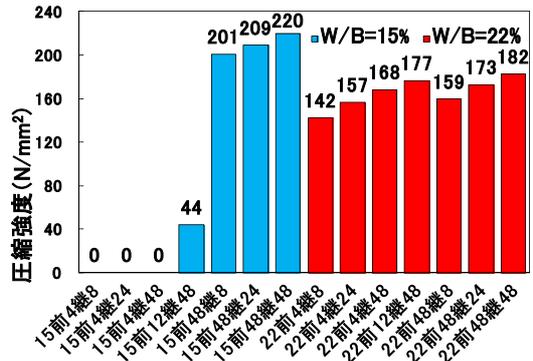


図-2 圧縮試験結果

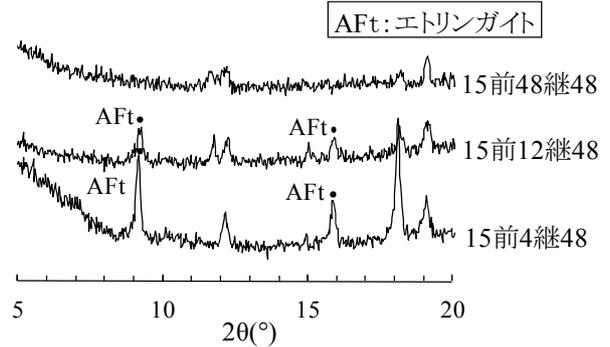


図-3 XRD パターン (W/B=15%)

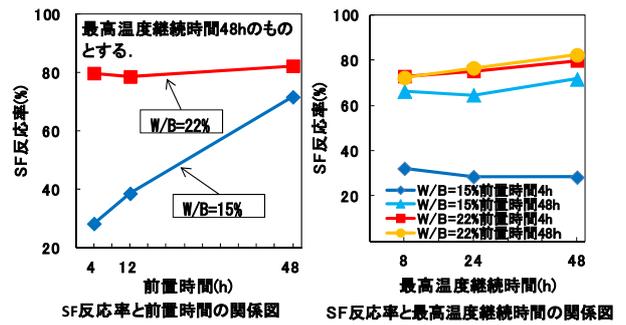


図-4 SF の反応率と温度履歴の関係

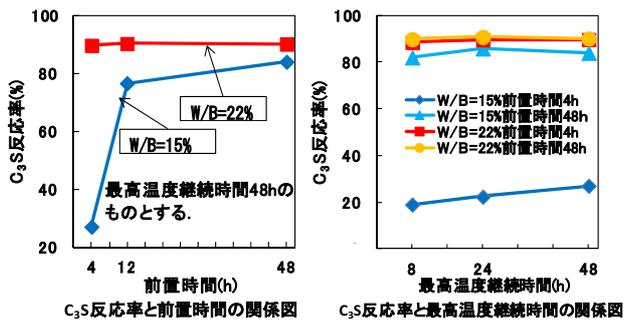


図-5 C₃S の反応率と温度履歴の関係

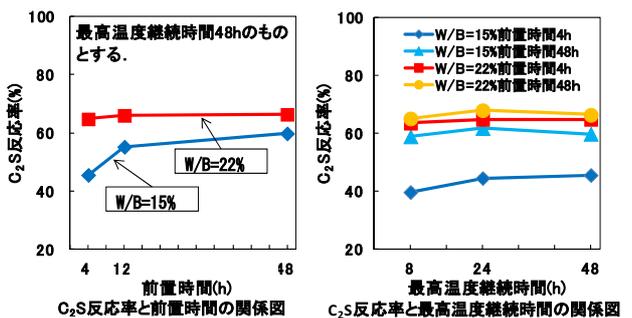


図-6 C₂S の反応率と温度履歴の関係