

産業副産物を大量に使用した超低収縮高強度繊維補強コンクリートの
促進養生方法に関する検討

三井住友建設(株) 正会員○恩田 陽介, 佐々木 亘, 松田 拓, 基 哲義, 竹山 忠臣

1. はじめに

近年、混和材の使用量を高めたコンクリートの検討が活発に行われ、土木学会より指針案¹⁾も発刊された。一方で、筆者らの一部は超高強度コンクリートの配合をベースとして粉体および細骨材に産業副産物を使用することで、単位水量を極めて低減することができ収縮量も非常に小さい高強度コンクリートの開発に成功した²⁾。さらに、これらの特徴を保持したまま短繊維補強コンクリートとすることも可能であることを確認した³⁾。開発したコンクリートは結合材として混和材を大量に使用しているため、強度発現は緩慢で長期的に増進していくものと考えられるが、実部材、特にプレキャスト(PCa)部材への適用を検討する上では、強度発現の促進による製造工程の効率化が求められる。そこで本稿では、開発したコンクリートのプレキャストプレストレストコンクリート部材への適用を目的とし、蒸気による促進養生方法について検討した。

2. 実験概要

表-1 にコンクリートの配合およびフレッシュ性状の一例を示す。使用材料は表-2 に示す通りである。
シリーズ1：配合 15.5-0 を用いて養生条件の基礎的な検討を行った。すなわち、「20℃封緘」, 「35℃36h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 7.5℃/h)→20℃60%RH」, 「35℃封緘(昇温 15℃/h)」, 「35℃36h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 7.5℃/h)→85℃24h(昇温 15℃/h, 降温 3℃/h)」の4種類の養生(いずれも前置きは注水から4時間)を実施し、

表-1 コンクリートの配合およびフレッシュ性状の一例

記号	配合指標				単位量 [kg/m ³]									スランプ フロー [mm]	空気量 [%]	
	W/B [%]	空気量 [%]	単位粗骨材 絶対容積 V _g [m ³ /m ³]	短繊維 混入率 V _f [vol.%]	W	(計)	BF	FA	SF	EX	S	G	Fb			
15.5-0	15.5	3.5	0.200	0	90	581	309	168	84	20	1079	768	0	670	3.0	
15.5-1.00				1.00	120	774	415	226	113		1013	526	78.5	695	2.3	
12.0-0.75	0.75			100	833	447	244	122			1012		58.9	570	2.8	
12.0-1.00	12.0										1.00		1004	78.5	580	2.5
12.0-1.25											1.25		997	98.1	500	2.5

表-2 使用材料

材料	物性他	記号
結合材	高炉スラグ 微粉末	BF
	フライアッシュ	FA
	シリカフューム	SF
	膨張材	EX
細骨材	フェロニッケル スラグ	S
粗骨材	硬質砂岩	G
化学 混和剤	高性能減水剤	SP
	消泡剤	DF
短繊維	鋼繊維	Fb

圧縮強度の経時変化を調べた。
シリーズ2：短繊維を用いた配合に対して高温の蒸気養生を実施することを基本とし、脱型前の一次養生の有無について検討を行った。配合 12.0-1.00 を主とし、養生中の収縮ひずみ、養生後の圧縮強度および荷重-CMOD 関係(JCI-S-002)の測定を行った。養生方法と検討配合の組合せを表-3 に示す。

3. 実験結果および考察

シリーズ1：図-1 に各養生条件下における圧縮強度の経時変化を示す。20℃封緘では、材齢2日でも脱型ができず、30~40 N/mm²を得るには材齢5日程度が必要であった。一方、35℃の条件では材齢1日から2日の間で急激に強度が発現し、材齢2日で50

表-3 養生条件と実施配合 (シリーズ2)

記号	養生方法		配合
	一次養生	二次養生	
A	35℃36h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 7.5℃/h)	85℃24h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 3℃/h)	12.0-1.00, 12.0-1.25
B		90℃48h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 3℃/h)	15.5-1.00, 12.0-0.75, 12.0-1.00
C	なし	85℃24h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 3℃/h)	12.0-1.00
D		90℃48h 蒸気(昇温 15℃/h, 降温 3℃/h)	12.0-1.00

※いずれも前置きは注水から4時間

キーワード 混和材, フェロニッケルスラグ細骨材, 蒸気養生, 超高強度, 低収縮

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設(株)技術研究所 TEL: 04-7140-5201

N/mm^2 を上回る圧縮強度が得られた。しかし材齢2日以降は強度の伸びは鈍化した。一方、材齢2日まで 35°C (36h 保持) とし、脱型後に $85^\circ\text{C}24\text{h}$ の蒸気養生を行った場合には、短期間で 100 N/mm^2 を超える非常に高い圧縮強度が得られることが分かった。その後の圧縮強度の変化は小さく、UFC⁴⁾等の超高強度コンクリートと同様な挙動を示すことが分かった。

シリーズ 2: 図-2 に養生終了後の圧縮強度を示す。 35°C の一次養生後に二次養生として高温の蒸気養生を行うことで、いずれの配合でも高い圧縮強度が得られた。各種養生条件を実施した配合 12.0-1.00 に着目すると、 35°C の一次養生を行った条件では、 $85^\circ\text{C}24\text{h}$ より $90^\circ\text{C}48\text{h}$ のほうが高い強度が得られ、その圧縮強度は 150 N/mm^2 程度にまで達した。一方で前置き後すぐに高温の蒸気養生を行った場合には、 100 N/mm^2 を超える高い圧縮強度は得られないことも分かった。同じ養生条件で比較すると、圧縮強度に与える Vf の影響は小さいこと、W/B は 15.5% より 12.0% のほうが高い圧縮強度が得られることが分かった。

図-3 に $90^\circ\text{C}48\text{h}$ の蒸気養生を行った場合の収縮ひずみの測定結果を示す。なお、温度ひずみは線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と仮定して除去した。図より、前置き後すぐに高温の養生を行うと非常に大きい膨張ひずみが発生していることが分かる。一方、 35°C の一次養生を行った場合には一次養生の途中、材齢 24h 付近から膨張ひずみが急増している。これは、図-1 に示した強度発現状況を勘案すると、この材齢付近から結合材の反応が活発になり、それに伴う体積変化が生じていることが推察される。極初期の膨張ひずみは除去できていない温度ひずみである可能性が考えられる。一次養生後の高温養生においては、UFC 等ではここで大きな収縮ひずみを生じるが、本実験では極めて小さな収縮ひずみを生じるに留まっている。高温養生の終了後でひずみ変化がみられないのは UFC 等と同様である。図-4 に荷重-CMOD 関係の測定結果を示す。配合 12.0-0.75 については 20°C 封緘材齢 28 日のデータ³⁾も併せて示したが、圧縮強度の大幅な増加に伴って荷重も大きくなっていることが分かる。また、ポルトランドセメントを使用せず高温の蒸気養生を行うという特殊な条件であっても、短繊維混入率の増加に伴って荷重-CMOD 曲線下の面積（エネルギー）が大きくなるという通常の短繊維補強コンクリートと同様の結果が得られた。

4. まとめ

開発したコンクリートは 35°C の蒸気養生により材齢 2 日で 50 N/mm^2 の圧縮強度が得られ、さらに高温の蒸気養生を実施することでポルトランドセメントを用いない条件でありながら 150 N/mm^2 程度の高い圧縮強度を早期に得ることが出来ることが分かった。また、その場合にも低収縮という特徴は損なわれなかった。

参考文献

- 1) 土木学会：混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案），2018.9
- 2) Matsuda, T. et al.: Ultralow shrinkage and high strength concrete without portland cement, Proceedings of the fib congress 2018
- 3) 佐々木亘ほか：産業副産物を大量に使用した超低収縮高強度繊維補強コンクリートの開発，土木学会第 74 回年次学術講演会概要集（投稿中）
- 4) 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），2004.9

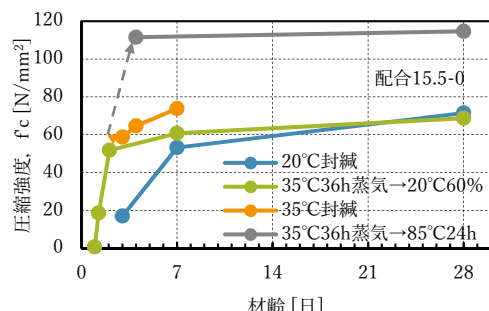


図-1 圧縮強度の経時変化(シリーズ 1)

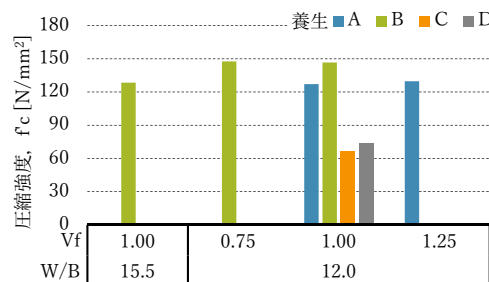


図-2 圧縮強度 (シリーズ 2)

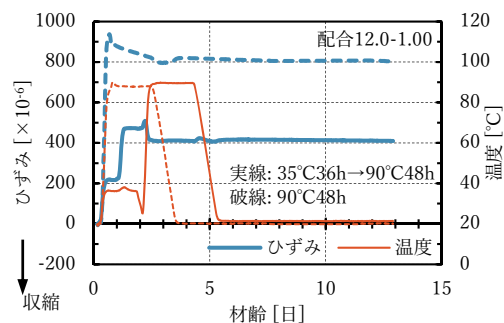


図-3 収縮ひずみ (シリーズ 2)

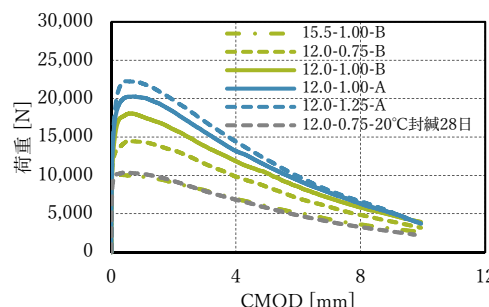


図-4 荷重-CMOD 関係(シリーズ 2)