

蒸気養生コンクリートの強度発現に関する研究

石川島建材工業(株) 正会員 ○篠原 知行
 同 上 正会員 長谷川 聖史
 同 上 正会員 伊達 重之

1. はじめに

コンクリート製品工場においては、生産効率の向上を目的とした蒸気養生プロセスが広く採用されている。また、プレキャストコンクリート製品にも自己充填コンクリートが活用される事例が増えてきており、コンクリートの配合としては、材料分離抵抗性を高めるための粉体量が多くなり、高炉スラグ微粉末や石灰石微粉末などの無機質微粉末材料を添加する場合が多い。これらを用いたコンクリートの養生条件（温度、水中養生）と短期強度の関係については、研究事例が少ないのが現状である。

そこで本研究では、強度発現に及ぼす養生温度、混和材の種類と添加率および脱型直後の水中養生の影響を調査することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料および配合・養生条件を、表-1および2にそれぞれ示す。セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。混和材については高炉スラグ微粉末（4000cm²/g、以降“BFS”と記す）および石灰石微粉末（2600ブレン、以降“LP”と記す）を用いた。各配合の単位粉体量は420 kg/m³（W/P=32.1%）とし、混和材の添加量は内割および外割でそれぞれ0, 50, 100kg/m³の3水準とした。また、s/aはすべて41%とした。

2.2 練混ぜおよび養生

練混ぜは、60リットル2軸強制練りミキサを用いて、90秒間行った。また、練上りのスランプが4±1.5cmとなるよう、減水剤の添加率を調整した。圧縮強度測定用に、φ100mm円柱供試体を採用した。

なお、締固めには3000rpmのテーブルバイブレータを用いた。

養生温度は、20, 40, 55℃の3水準とし、20℃については雰囲気湿度65%RHの気中養生とし、その他の温度については、前置き1時間ののち、所定の温度で6時間蒸気養生を行った。打設後7時間経過時点で20℃-65%RHの気中養生に切り替えた。18時間経過後、所定の期間（0, 1, 3日）20℃水中養生を行ったのち、20℃気中養生を行った。

3. 実験結果

BFSおよびLPをセメントの内割で添加したコンクリートの強度に及ぼす各種要因の影響について、L9直交表を用いて解析した。BFSについては配合No.1~9の結果を対象に、LPについてはNo.1~3およびNo.14~19の結果からそれぞれ分散分析を行った。各材齢ごとの圧縮強度に及ぼすそれぞれの要因の影響について、その寄与率と判定結果を表-3に示す。

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント
細骨材	茨城県産陸砂
粗骨材	茨城県産碎石
混和材	高炉スラグ微粉末 石灰石微粉末
混和剤	ナフタレン系減水剤

表-2 配合・養生条件

配合 No.	単位量(kg/m ³)					養生 温度 (°C)	水中 養生 (日)
	C	BFS	LP	S	G		
1	420	0	0	763	1111	20	0
2	420	0	0	763	1111	40	1
3	420	0	0	763	1111	55	3
4	370	50	0	762	1109	20	3
5	370	50	0	762	1109	40	0
6	370	50	0	762	1109	55	1
7	320	100	0	761	1107	20	1
8	320	100	0	761	1107	40	3
9	320	100	0	761	1107	55	0
10	420	50	0	745	1084	40	0
11	420	50	0	745	1084	40	3
12	420	100	0	726	1057	40	0
13	420	100	0	726	1057	40	3
14	370	0	50	760	1107	20	3
15	370	0	50	760	1107	40	0
16	370	0	50	760	1107	55	1
17	320	0	100	758	1103	20	1
18	320	0	100	758	1103	40	3
19	320	0	100	758	1103	55	0
20	420	0	50	743	1082	40	0
21	420	0	50	743	1082	40	3
22	420	0	100	723	1053	40	0
23	420	0	100	723	1053	40	3

表-3 圧縮強度に及ぼす各要因の影響（分散分析結果）

	寄与率(%)		判定		
	BFS	LP	BFS	LP	
添加率	13.3	9.4	**	**	(7時間)
養生温度	74.5	82.1	**	**	
	寄与率(%)		判定		
	BFS	LP	BFS	LP	
添加率	72.4	71.0	**	**	(18時間)
養生温度	20.9	13.3	**	**	
	寄与率(%)		判定		
	BFS	LP	BFS	LP	
添加率	-	1.9	-	*	(4週)
養生温度	64.3	58.6	**	**	
水中養生	32.7	33.1	**	**	

キーワード 蒸気養生、圧縮強度、高炉スラグ微粉末、石灰石微粉末、水中養生

連絡先 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-12-1 石川島建材工業(株) TEL03-5221-7245 FAX03-5221-7298

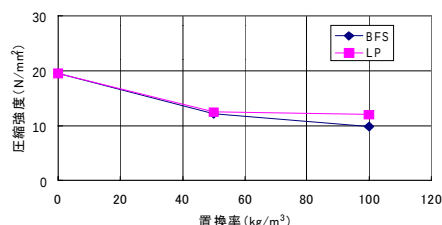


図-1 置換率と圧縮強度（材齢7時間）の関係

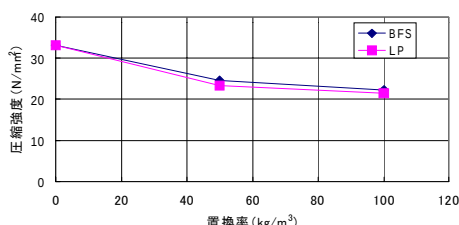


図-3 置換率と圧縮強度（材齢18時間）の関係

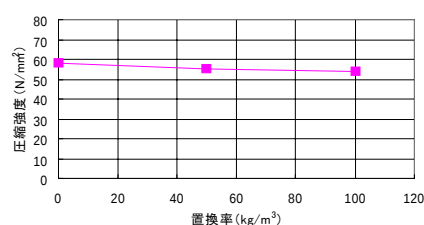


図-5 LP置換率と圧縮強度（材齢4週）の関係

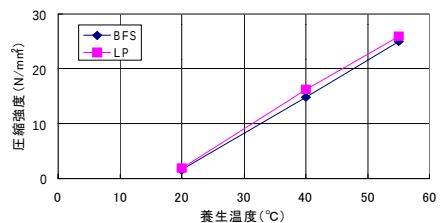


図-2 養生温度と圧縮強度（材齢7時間）の関係

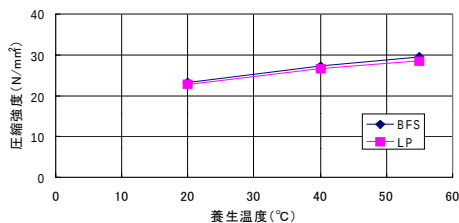


図-4 養生温度と圧縮強度（材齢18時間）の関係

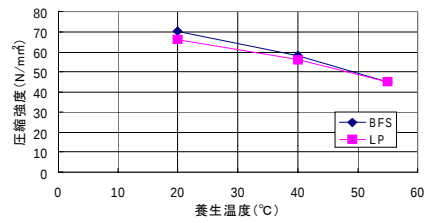


図-6 養生温度と圧縮強度（材齢4週）の関係

同じく、それぞれの要因の効果について、図-1～図-7に示す。

BFS および LP ともに、材齢 18h までは添加量が増加するに伴って圧縮強度は低下する傾向にあった。材齢が短い方が、この傾向は顕著であった。材齢 4 週に至ると、BFS の場合は添加量にかかわらず強度低下は見られなかった（分散分析において“有意でない”と判定した）。一方 LP の場合、依然として強度低下は認められるものの、その効果は材齢初期に較べて大幅に緩和されている。LP の内割添加による強度低下の抑制効果は、材齢初期ほど卓越すると報告されている¹⁾が、蒸気養生したコンクリートの短期材齢においては逆の傾向を示した。また、いずれの混和材を使用した場合においても、蒸気養生温度が高いと初期の強度発現は大幅に増進されるが、4 週強度においては逆に高温養生による強度低下が認められた。

また、強度増進に及ぼす水中養生の影響は、いずれの混和材を用いた場合でも顕著に現れている。全く水中養生をしなかったものに比べ、1 日の養生で約 1 割、同じく 3 日で約 2 割程度高い値を示した（図-7）。

混和材を外割で添加したコンクリートに対して 40℃の蒸気養生を行った場合、強度へ及ぼす影響を図-8, 9 に示す。一般に、BFS, LP いずれについても外割添加の場合は強度増加が期待される¹⁾が、今回の条件では短期材齢（18h まで）においては殆ど強度に影響を及ぼさないことが確認された。一方、材齢 4 週においては外割添加の効果が認められたものの、BFS に較べ LP ではその効果は微小であった。

圧縮強度と積算温度の対数は直線関係が成り立つとされるものの、今回の条件では材齢ごとにその傾きが異なる傾向を示した。また、混和材の種類の影響は認められなかった。

4. まとめ

今回の実験から以下の知見を得た。

- 1) BFS および LP を内割で添加したことによる若材齢における圧縮強度の低下が認められた。
- 2) 圧縮強度に及ぼす材齢初期における水中養生の影響は、わずか 1 日でも有意であることが判った。

参考文献

- 1) 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム委員会報告書論文集, JCI, pp. 20～21



図-8 圧縮強度（材齢7, 18h）に及ぼす混和材添加量の影響

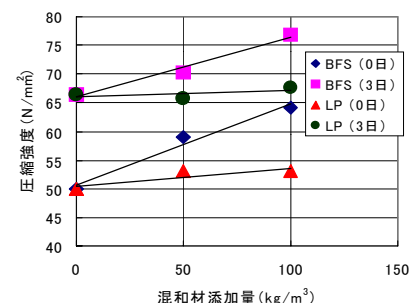


図-9 圧縮強度（材齢4週）に及ぼす混和材添加量と水中養生日数の影響

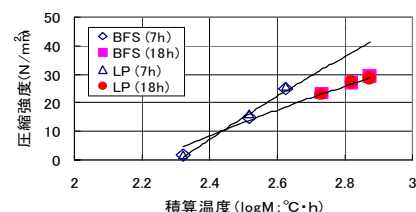


図-10 圧縮強度と積算温度(M)の関係