

蒸気養生コンクリートの明度に関する研究

石川島建材工業(株) 正会員 ○伊達 重之
同 上 正会員 長谷川 聖史

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、コンクリートに求められる品質として、強度や耐久性は重要な項目であるが、近年では美観の観点からコンクリート表面の明度のについても要求特性として関心が高くなっている。一方、プレキャストコンクリートにおいても、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）と表面の明度の関係については、研究事例が少ない。

本研究では、コンクリート表面の明度に及ぼす養生温度、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リットルの2軸強制練りミキサを用いて、90秒間行った。また、練上り直後のスランプが4±1.5cmとなるよう、減水剤の添加率を調整した。明度測定用に、300×300×50mmの平板供試体を作製し、締固めは3000rpmのテーブルバイブレータで60秒行った。

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. 実験結果および考察

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。

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント(C)
細骨材	茨城県産陸砂(S)
粗骨材	茨城県産砕石(G)
混和材	高炉スラグ微粉末(BFS)
	石灰石微粉末(LP)
混和剤	ナフタレン系減水剤(SP)

表-2 配合・養生条件

添加方法	単位量(kg/m ³)					養生温度(°C)	水中養生(日)
	C	BFS	LP	S	G		
内割	420	0	0	763	1111	20	0
	420	0	0	763	1111	40	1
	420	0	0	763	1111	55	3
	370	50	0	762	1109	20	3
	370	50	0	762	1109	40	0
	370	50	0	762	1109	55	1
	320	100	0	761	1107	20	1
	320	100	0	761	1107	40	3
	320	100	0	761	1107	55	0
	420	50	0	745	1084	40	0
外割	420	50	0	745	1084	40	3
	420	100	0	726	1057	40	0
	420	100	0	726	1057	40	3
	370	0	50	760	1107	20	3
内割	370	0	50	760	1107	40	0
	370	0	50	760	1107	55	1
	320	0	100	758	1103	20	1
	320	0	100	758	1103	40	3
	320	0	100	758	1103	55	0
	420	0	50	743	1082	40	0
外割	420	0	50	743	1082	40	3
	420	0	100	723	1053	40	0
	420	0	100	723	1053	40	3

表-3 明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	12.2	8.3	**	**	(2週)
養生温度	65.1	62.6	**	**	
	寄与率(%)		判定		
	BFS	LP	BFS	LP	
養生温度	75.3	61.0	**	**	(4週)
水中養生	5.5	8.4	**	**	
	寄与率(%)		判定		
	BFS	LP	BFS	LP	
添加率	-	21.6	-	**	(1年)
養生温度	52.4	34.4	**	**	
水中養生	21.3	14.2	**	**	

**：危険率1%で有意 -:有意でない

キーワード 蒸気養生、明度、高炉スラグ微粉末、石灰石微粉末、水中養生

連絡先 〒252-1121 神奈川県綾瀬市小園720 石川島建材工業(株) TEL 0467-77-8554 FAX 0467-77-4314

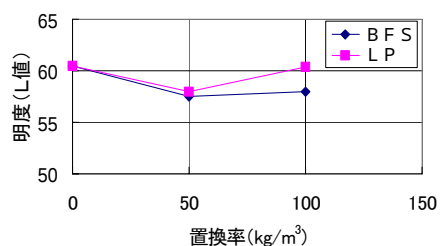


図-1 置換率と明度の関係(材齢2週)

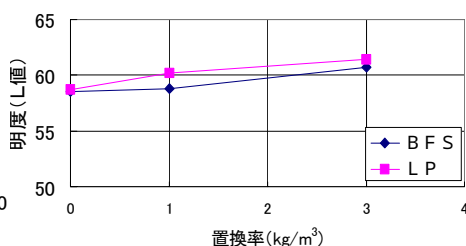


図-3 水中養生期間と明度の関係(材齢4週)

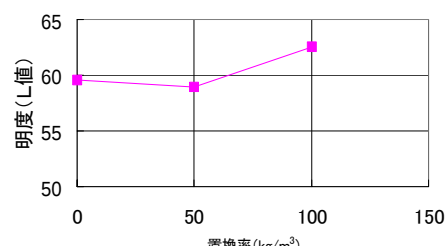


図-5 LP置換率と明度の関係(材齢1年)

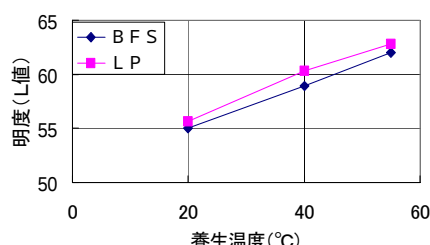


図-2 養生温度と明度の関係(材齢2週)

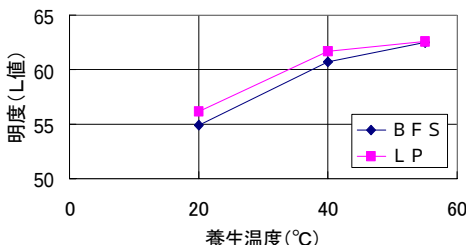


図-4 養生温度と明度の関係(材齢4週)

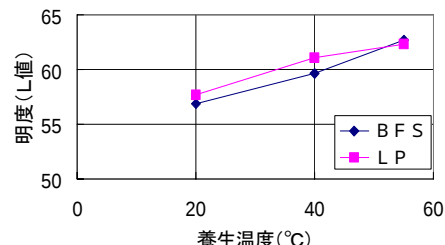


図-6 養生温度と明度の関係(材齢1年)

各材齢ごとの明度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。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 とともに、明度に及ぼす影響が最も大きい要因は蒸気養生温度であった。セメントの水和初期における高温養生は、反応生成物の粗大化につながる¹⁾。このため、光の乱反射によって明度が上昇（L値が増加）するものと考えられる。この養生履歴の明度への影響は、材齢1年経過した時点においても残存していることが確認された（図-6参照）。

また、明度に及ぼす水中養生の影響は、表-3における寄与率で比較してわかるとおり、材齢4週にくらべて1年経過時点の方が、相対的に影響が大きいことが確認された。このことは、表面に一旦形成された炭酸カルシウム層が材齢4週以降、時間の経過とともに風化し、多孔化したことによるものと推察される。さらに、長く水中養生を施した供試体の明度が高いのは、コンクリート表面に炭酸カルシウム生成のもととなる水酸化カルシウムが多く析出することに起因するものと推察される。

一方、セメントに対して外割で混和材を添加した場合は、BFS はほとんど明度に影響しないものの、炭酸カルシウムそのものである LP は、前述の理由から明度の上昇が著しいことが確認された。

4. まとめ

コンクリートの明度に及ぼす材料、養生条件の影響に関する今回の実験の範囲から以下の知見を得た。

- 1) 蒸気養生コンクリートの表面の明度は、養生温度が高いほど大きい値を示し、その影響は材齢1年経過時点でも残存していることがわかった。
- 2) 明度に及ぼす材齢初期における水中養生の影響は、わずか3日でも有意であることがわかった。
- 3) セメントに対して外割で混和材を添加した場合は、BFS はほとんど明度に影響しないものの、LP は明度の上昇が著しいことがわかった。

参考文献

- 1) 森本，魚本：初期高温養生したポルトランドセメントの細孔構造に関する研究，コンクリート工学論文集，Vol. 7，No. 1，p.p.153～159，1996

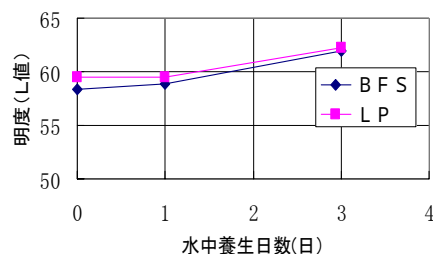
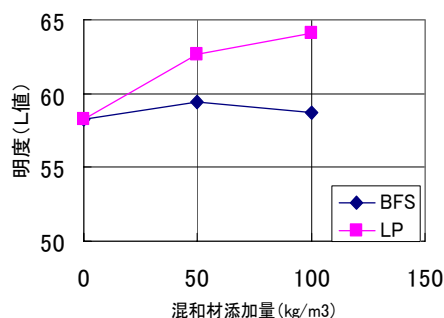


図-7 水中養生期間と明度の関係(材齢1年)

図-8 明度に及ぼす混和材添加量の影響
(外割添加;材齢1年)