

V-319 高炉スラグコンクリートの強度発現特性

三井建設技術研究所 正会員 中島規道
 三井建設技術研究所 竹田 満
 三井建設技術研究所 正会員 竹内 光

1. はじめに

コンクリートの圧縮強度の特性値は、その種類によらず従来より標準養生下の値を用いている。しかしながら、低発熱型セメントとして高炉スラグ微粉末を高置換率で用いたコンクリートの使用を考えた場合、その強度発現特性に温度条件が与える影響には不明確な部分が残されている。本研究は、高炉スラグを用いたコンクリート(以下、高炉スラグコンクリートと略称する)の強度発現特性に置換率および温度条件が与える影響を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

試験水準は、高炉スラグの置換率を4水準、打設・養生温度を3水準の計12水準とした(表-1参照)。養生方法は、恒温養生と断熱養生の2種類とした。恒温養生は供試体を恒温・恒湿室内で作成し、脱型後直ちに打設温度に等しい養生槽に移して水中養生を行った。断熱養生は断熱温度上昇試験機を利用して行い試験機内の余剰スペースに封緘状態で供試体を収納して材令7日まで行った。また、それ以後は恒温養生と同様に水中養生を行った。なお、試験機は空気循環方式で、発熱測定用の供試体はφ45×40(cm)の大きさである。また、圧縮強度試験は、φ10×20(cm)の円柱供試体を用いて行った。供試体の養生方法および圧縮強度試験を実施する材令を表-2に示す。

本試験で用いた使用材料を表-3に示す。高炉スラグの反応性は、その化学的性質や粉末度によって大きく異なるが、本試験では現在高炉セメントなどに一般的に用いられている高炉スラグと同程度の粉末度のものを用いている。

コンクリートの示方配合を表-4に示す。置換率と打設温度の変化によるコンシステンシーの調整はAE減水剤量により行った。

断熱養生を受けた供試体の温度履歴として、断熱温度上昇試験により得られた最高温度を図-1に示す。バラツキはあるものの高炉スラグを置換率60%以上で用いると発熱量の低下が認められる。特に置換率80%では、普通セメントの約50%の発熱量であり、高炉スラグを高置換率で用いる事は、温度上昇量低減に効果がある事が示されている。

打設温度20℃における材令-強度関係を恒温養生について図-2に、断熱養生について図-3にそれぞれ示す。恒温養生を行った供試体について、高炉スラグを置換率40%および60%で用いた水準は、普通セメントに比べ材令初期の強度は低下するものの、

表-1 試験水準

置換率 s/(c+s) (%)	打設温度(℃)		
	10	20	30
0	○	○	○
40	○	○	○
60	○	○	○
80	○	○	○

表-2 強度試験用供試体の養生方法および試験材令

養生方法	打設温度	試験材令(日)								
		1	2	3	7	14	28	56	91	
恒温	10℃	* 湿潤			10℃水中養生					
	20℃				20℃水中養生					
	30℃				30℃水中養生					
断熱	10℃	断熱養生			10℃水中養生					
	20℃				20℃水中養生					
	30℃	30℃水中養生								

*: 脱型可能な材令まで打設温度に等しい恒温恒湿室内で湿潤養生

表-3 使用材量

区分	種類および仕様
セメント	普通ポルトランドセメント ブレン値 3260 (cm ² /g)、比重 3.16
混和材	高炉スラグ微粉末 ブレン値 4250 (cm ² /g)、比重 2.89
細骨材	川砂(茨城県霞ヶ浦産川砂) 比重 2.56、F _M 2.66、吸水率 2.106
粗骨材	碎石(茨城県空閑産) 比重 2.66、F _M 6.53、吸水率 0.479
混和剤	AE減水剤(標準型)、AE補助剤 オキシカルボン酸系

表-4 示方配合

置換率 (%)	G _{max} (mm)	SL (cm)	W/C (%)	s/a (%)	AIR (%)	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤	
						W	C	S _g	S	G		
0	20	12	53.5	45.0	4	170	318	0				
40						191	127	785	1009	*		
60						127	124					
80						64	254					

*: 試験水準により変化させサンプル、空気量を調整する。

強度の増進は長期に渡り良好に継続する事が認められる。断熱養生を受けた供試体についても置換率の影響が現れ、置換率40%および60%の水準は普通セメントよりも強度が高くなっている。また、高炉スラグコンクリートは材令の経過と共に若干ながら強度が増進するものの、普通コンクリートでは強度の増進はほとんど認められなかった。これは、高炉スラグコンクリートは、温度上昇量が低下し高温履歴の悪影響を受けにくい事に加え、高炉スラグの反応性が小さい事から断熱養生後も未反応の高炉スラグが多く残されているためと考えられる。

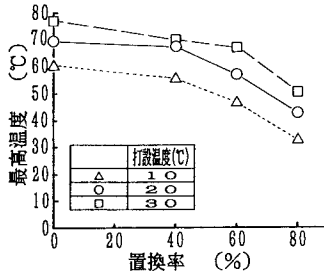


図-1 断熱温度上昇最高温度

養生温度と材令の両影響を考慮するため、積算温度と強度の関係を置換率40%の場合を図-3に、また置換率80%の場合を図-4にそれぞれ示す。なお、積算温度は下記に示す式を用い対数表示とした。

$$M = \sum (\theta + 10) \cdot \Delta t \quad M: \text{積算温度} (\text{°C} \cdot \text{日})$$

$$\theta: \text{養生温度} (\text{°C})$$

$$\Delta t: \text{養生温度が} \theta \text{である日数}$$

恒温養生を行った高炉スラグコンクリートの積算温度の対数と強度の関係は、従来の高炉B種程度の置換率のみならず置換率80%と高置換率で用いた場合にも直線関係が認められる。断熱養生においては、積算温度の低い場合は恒温養生と重なって分布しているが、それ以後の積算温度の高い場合は高温履歴の影響によりこの分布から外れている事が認められる。この積算温度と強度の関係を各置換率について直線回帰した結果を図-5に示す。高炉スラグコンクリートは積算温度が低い場合、強度の発現が小さい事が認められる。またさらに置換率40%および60%の高炉スラグコンクリートは、長期にわたり強度の増進が継続する事から普通セメントに対し直線の勾配が急になっている。置換率80%で用いたものは、直線の勾配が緩やかになり、高炉スラグコンクリートの積算温度に対する強度発現率が置換率の増加によって低下する事が認められた。

4. まとめ

高炉スラグを高置換率で用いたコンクリートは、その積算温度に対する強度の発現率は低下するものの、積算温度の対数と強度の間には直線関係がある事が確認できた。

参考文献 小林一輔 他：高炉水砕スラグ粉末のコンクリート混和材としての使用方法に関する研究、コンクリート工学、Vol. 17, No. 5, pp. 10-18, 1979

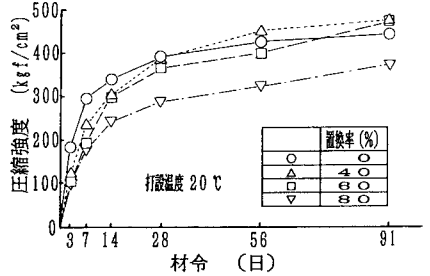


図-2 圧縮強度の経時変化(恒温養生)

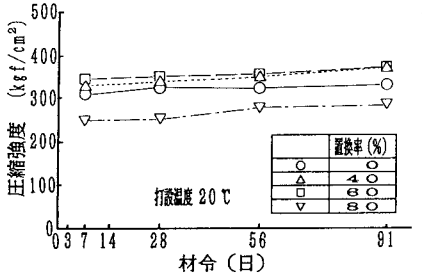


図-3 圧縮強度の経時変化(断熱養生)

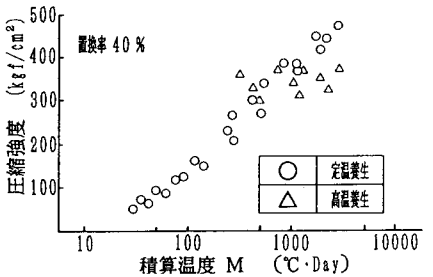


図-4 積算温度と強度の関係(置換率40%)

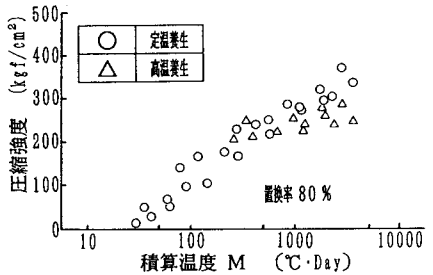


図-5 積算温度と強度の関係(置換率80%)

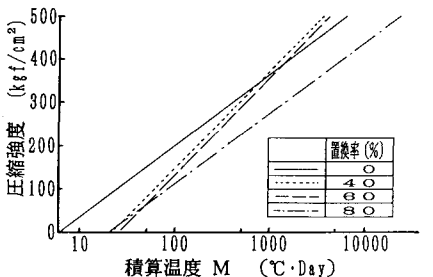


図-6 積算温度と強度の関係(回帰直線)