

コンクリートの圧縮強度に及ぼす蒸気養生条件の影響

安藤ハザマ 正会員 ○谷田貝 敦
安藤ハザマ 正会員 齋藤 淳

1. 目的

プレキャストコンクリート製品工場では、型枠の回転率向上が、生産性向上に直結する。これまでも早期に脱型可能な強度を発現させることで高品質な製品を低コストで製造する検討が行われている¹⁾。RCセグメントなどのプレキャスト部材は、従来から1日に2cycleの製造が行われているが、品質確保と生産性向上を両立するためには、蒸気養生条件の前置き時間や温度上昇速度などの最適化を行うことが重要となる。そこで本研究では、蒸気養生の前置き時間および温度上昇速度を変化させて圧縮強度を測定し、脱型時強度および設計基準強度を満足させる最適なバランスの蒸気養生条件設定のための基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

コンクリートの使用材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。スランプの範囲を3.0±1.5 cm、空気量の範囲を2.0±0.5%、コンクリートの練上り温度は20±3℃とした。

2. 2 養生条件

昼勤（8時～17時）での2cycle製造を想定し、蒸気養生時間（1cycle目）を4時間45分と設定した。蒸気養生条件を表-3に示す。本試験では恒温恒湿槽を用いて槽内湿度を95%以上とし、槽内温度を20℃から65℃とした温度履歴を与えて蒸気養生を模擬した。前置き時間は30分、1時間15分および2時間と変化させ、温度は20℃一定とした。温度上昇速度は10.5℃/時間、20.0℃/時間および30.0℃/時間と変化させ、65℃に達したら、蒸気養生終了時間まで65℃を保持した。蒸気養生後は、湿度60%、温度20℃の恒温恒湿室で自然冷却し、そのまま材齢28日まで気中養生を継続した。なお、積算温度は養生温度から算出した。

表-1 コンクリートの使用材料

種類	品質
水	W : 上水道水
セメント	C : 普通ポルトランドセメント、密度：3.15g/cm ³
細骨材	S : 山砂、表乾密度：2.58g/cm ³ 、吸水率2.46%
粗骨材	G : 碎石、表乾密度：2.64g/cm ³ 、吸水率0.72%
高性能減水剤	SP : ポリカルボン酸エーテル系化合物
AE 剤	AE : アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S	G	SP	AE
3.0±1.5	2.0±0.5	30	39.0	155	517	666	1064	3.62	0.52

2. 3 圧縮強度試験の方法

圧縮強度試験は、JIS A 1108 に従い行った。試験材齢は、脱型時強度の材齢4時間45分および材齢28日とした。

表-3 蒸気養生条件

条件	蒸気養生						材齢 4 時間 45 分時の 積算温度
	前置き過程		温度上昇過程		温度保持過程		
	温度	時間-分	上昇速度	時間-分	温度	時間-分	
No. 1	20℃	2 時間-00 分	20. 0℃/時間	2 時間-15 分	65℃	0 時間-30 分	216D・h
No. 2		1 時間-15 分				1 時間-15 分	250D・h
No. 3		0 時間-30 分				2 時間-00 分	284D・h
No. 4		2 時間-00 分	30. 0℃/時間	1 時間-30 分		1 時間-15 分	233D・h
No. 5		1 時間-15 分				2 時間-00 分	267D・h
No. 6		0 時間-30 分				2 時間-45 分	301D・h
No. 7		0 時間-30 分	10. 5℃/時間	4 時間-15 分		-	238D・h

脱型時強度の測定結果を図-1に示す。前置き時間を2時間としたNo.1の12.7N/mm²に対し、前置き時間を30分としたNo.3は19.1N/mm²となり、約1.5倍に強度増加した。このように、前置き時間は短縮するほど圧縮強度は大きくなった。

キーワード 蒸気養生、前置き時間、温度上昇速度、圧縮強度

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1 安藤ハザマ 技術研究所 TEL：029-858-8813

温度上昇速度を 20.0℃/時間とした No.1 の 12.7N/mm²に対し、温度上昇速度を 30.0℃/時間とした No.4 は 15.1N/mm²となり、約 1.2 倍に強度増加した。このように、温度上昇速度は速くするほど圧縮強度は大きくなった。

積算温度と脱型時強度の関係を図-2 に示す。No.1～No.6 の条件では、積算温度の増加に伴い脱型時強度は大きくなっており、その関係は友澤らが報告²⁾した式で近似できた。一方、温度上昇速度を 10.5℃/時間とした No.7 は近似線から大きく乖離していた。この原因として、養生温度と供試体温度の差が他の条件より大きい可能性が考えられるが原因特定には至っていない。

材齢 28 日の圧縮強度の測定結果を図-3 に示す。前置き時間を 2 時間とした No.1 の 52.7N/mm²に対し、前置き時間を 30 分とした No.3 は 47.1N/mm²となり、約 0.9 倍に強度低下した。このように、前置き時間は短縮するほど圧縮強度は小さくなった。

温度上昇速度を 20.0℃/時間とした No.1 の 52.7N/mm²に対し、温度上昇速度を 30.0℃/時間とした No.4 は 46.1N/mm²となり、約 0.8 倍に強度低下した。また、温度上昇速度を 30.0℃/時間とし、前置き時間を 30 分とした No.6 は 35.9N/mm²となり、No.1 の約 0.7 倍に強度低下した。一方、温度上昇速度を 20.0℃/時間とした No.3 の 47.1N/mm²に対し、温度上昇速度を 10.5℃/時間とした No.7 は 48.1N/mm²と大きな差は生じなかった。このように、温度上昇速度を 20.0℃/時間以上とした場合に温度上昇速度を速くするほど圧縮強度は小さくなり、前置き時間を短縮するとともに更に圧縮強度は小さくなった。丸山らの報告¹⁾では、前置き時間を 3 時間以下とした場合に温度上昇速度が速くなるほど圧縮強度が低下する傾向にあるとされており、本試験結果も同様な傾向となった。

蒸気養生終了時点の積算温度と材齢 28 日の圧縮強度の関係を図-4 に示す。蒸気養生終了時点の積算温度と圧縮強度の関係は、それぞれの温度上昇速度ごとに友澤らの式²⁾で表すことができた。温度上昇速度が 20.0℃/時間の試験結果を近似した数式の傾きは -47.51 となったのに対し、30.0℃/時間の試験結果を近似した数式の傾きは -92.53 と小さくなった。したがって、温度上昇速度 30℃/時間は、20℃/時間より前置き時間短縮による負の影響が大きいことが分かった。

4. まとめ

本試験は、1cycle 目の蒸気養生時間を 4 時間 45 分とし、前置き時間を 30 分～2 時間、温度上昇速度を 10.5℃/時間～30.0℃/時間および最高温度を 65℃の範囲で蒸気養生条件を設定した。本試験の範囲では、温度上昇速度を 20.0℃/時間とし、前置き時間の増減により、積算温度を増減することで脱型時強度と材齢 28 日強度のバランスをとることが有効だと考えられた。

参考文献

- 1) 丸山晃平, 宇治公隆, 上野敦, 大野健太郎: 蒸気養生条件が相違するコンクリート製品の強度特性および細孔構造に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, PP.571-576, 2011
- 2) 友澤史紀, 牛島栄, : 最近の積算温度方式の発展とその応用, セメント・コンクリート, No.527, PP.66-74, 1991

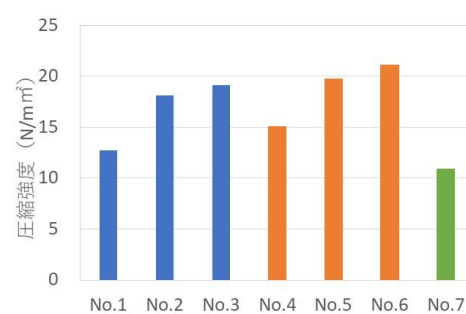


図-1 脱型時強度の測定結果

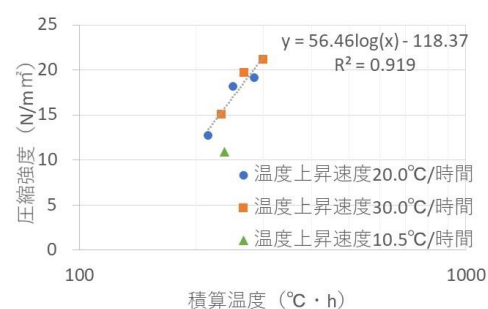


図-2 積算温度と脱型時強度の関係

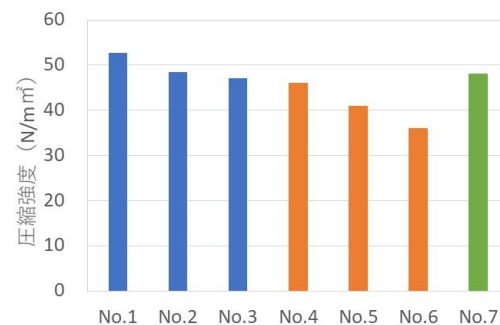


図-3 材齢 28 日の圧縮強度の測定結果

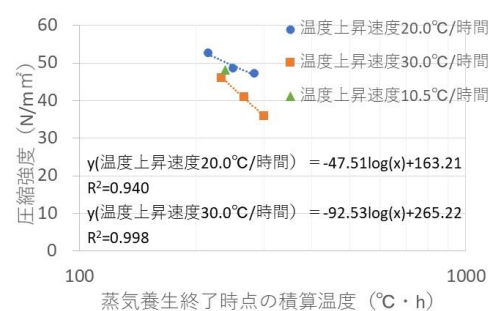


図-4 蒸気養生終了時点の積算温度と材齢 28 日の圧縮強度の関係