

メタカオリン含有人工ポゾランの混和がセメントペーストの 水酸化カルシウム生成量の変化に関する考察

九州大学大学院 学生会員 ZHANG YICHEN 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
九州大学大学院 正会員 山本 大介 九州大学大学院 フェロー会員 濱田 秀則
(株) 柏木興産 柏木 武春 (株) 柏木興産 原田 克己

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の環境負荷低減が求められているため、コンクリート混和材の活用が推進されている。本研究では、メタカオリン含有人工ポゾラン (MKP) の混和や養生条件による水和過程への影響を明確にすることを目的とし、熱分析によりセメントの水和過程における水酸化カルシウム (CH) の量を測定し、ペースト中でのセメントおよび MKP の反応について考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料, 配合および養生条件

表-1 に本研究で使用した材料を示す。また、表-2 に製作したセメントペーストの配合を示す。本実験では、骨材中に含まれている有機物の熱分析への影響を回避するため、セメントペーストの供試体で実験を行った。水結合材比 W/B は 40% とした。ベースセメントは普通ポルトランドセメント (OPC) とし、結合材すべてを OPC とした C100, 内割り 20% で MKP を用いた C80M20, 外割り 20% に MKP を用いた C100M20E の 3 種類の配合のペーストを作製した。なお、C100M20E では、W/B は 33% となる。

養生条件は表-3 に示すように 6 通りとした。脱型後、材齢 28 日まで気中養生 (20°C, 60%RH) とした A, 20°C 水中養生とした D の他に、蒸気養生を行った E および F を設定した。蒸気養生では前置き時間 (3 時間, 5 時間) と蒸気養生終了後の養生方法 (気中養生, 水中養生) を作製した。蒸気養生は最高温度 60°C で 3 時間とし、温度上昇速度 20°C/h に設定した。また、ペーストの打設後のブリーディングの影響を最小限にするため、ブリーディングが終了したことを目視で確認した後に、ペーストをプラスチック容器 (75×50×35mm) に詰めた。

2.2 分析方法

打設後それぞれの養生方法に基づいて材齢 1, 7, 28 日まで養生を行い、硬化したセメントペースト供試体を約 2.5mm 角の立方体にカットし、アセトンで水和停止をさせた後、微粉碎したものを分析用試料とした。測定には、熱重量示差熱分析装置 (日立ハイテクサイエンス製 TG/DTA7300 型) を用いて、試料を 40°C から 1000°C まで加熱 (昇温速度 20°C/min.) した。試料を加熱した際に起こる質量変化を連続的に測定し、450°C 付近から Ca(OH)₂ の脱水による減量と 600°C 付近から 800°C 付近までに CaCO₃ の脱炭酸による減量を基に、CH 量を計算し、セメント水和の進行度を評価した。

表-1 使用材料

材料	種類	記号	物理的性質
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度 3.16 g/cm ³ 比表面積 3,210 cm ² /g
混和材	メタカオリン含有人工ポゾラン (MKP)	M	密度 2.65 g/cm ³ 比表面積 10,434 cm ² /g
水	水道水	W	—

表-2 配合表

種類	水結合材比 W/B (%)	単 位 量 (kg/m ³)		
		水 W	結合材 B	
			セメント	MKP
C100	40	558	1398	0
C80M20		558	1118	280
C100M20E	33	510	1289	258

表-3 養生方法

記号	養生方法
A	1日脱型→28日気中養生
D	1日脱型→28日水中養生
E	3 前置き 3 時間→蒸気養生→1日脱型→28日気中養生
	5 前置き 5 時間→蒸気養生→1日脱型→28日気中養生
F	3 前置き 3 時間→蒸気養生→1日脱型→28日水中養生
	5 前置き 5 時間→蒸気養生→1日脱型→28日水中養生

3. 実験結果および考察

蒸気養生を行っていない養生 A と養生 D のケースについて、CH 量の経時変化を図-1 に示す。実線は C100 の配合を示しており、破線は MKP を内割りで 20% を置換した配合を表す。図より、MKP を混和させることで全材齢において CH の量が減少していることが見られる。しかし、この減少量には、MKP が CH を消費したことによる影響と、元々 OPC の量が少ないことによる影響の両者が含まれている。そこで、C100 に外割りで MKP を 20% 添加した C100M20E と比較した結果を、図-2 に示す。図より、ベースセメントの量が同じとしても MKP を混和した場合は CH 量が少ないことが確認された。その理由として、材齢 1 日目の時点で、微粉末である MKP によるポズラン反応に伴う CH の消費が考えられる。また、材齢 1 日から気中養生の養生 A と水中養生の養生 D を比べた結果、養生 D の方が水分供給により水和反応が進み、CH 量が増加する傾向が見られた。

次に、蒸気養生したケースの CH 量の経時変化を図-3 に示す。前置き時間 3 時間と 5 時間のケースを比べると、概ね、5 時間の方が CH 量が多い傾向が認められた。また、前置き時間 5 時間で蒸気養生を行い、その後、水中養生を行った場合には、材齢 28 日における CH 量は、蒸気養生を行わずに水中養生を行った場合 (C100-D) と同等となった。さらに、MKP を混和したペーストを蒸気養生した場合、CH の生成量が全体的に少ないことも明らかとなった。

4. まとめ

本研究の結果より、以下の知見が得られた。

- (1) MKP を用いた場合、材齢 1 日目の時点で OPC のみの場合よりも CH 量が小さいことから、材齢 1 日目の時点で既に MKP が反応していることが確認された。
- (2) 蒸気養生を行わない場合、MKP の有無に関わらず、水中養生を継続することで CH 量が増加する。
- (3) 蒸気養生を行う場合、前置き時間が長い方が CH 量が多い傾向があった。また、蒸気養生後に水中養生を行った場合、OPC のみでは CH 量が増加するが、MKP を内割りで混和した場合には、その増加は認められなかった。

謝辞：本研究の熱分析測定には、九州大学中央分析センターの装置を使用しました。関係者各位に謝意を表します。

参考文献：1) 佐藤正己, 梅村靖弘, 小泉公志郎：熱養生履歴が超高強度セメント硬化体の水和およびケイ酸構造へ与える影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.515-522, 2012

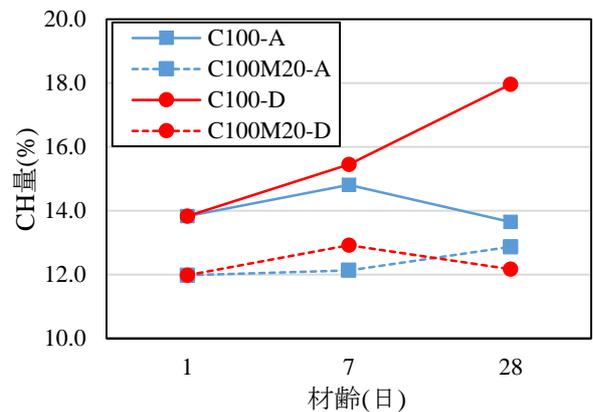


図-1 CH 量の経時変化 (蒸気養生なし)

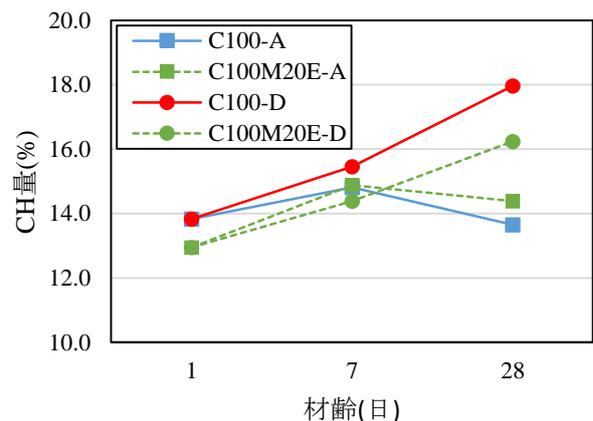


図-2 OPC 量が同じケースの CH 量の経時変化 (蒸気養生なし)

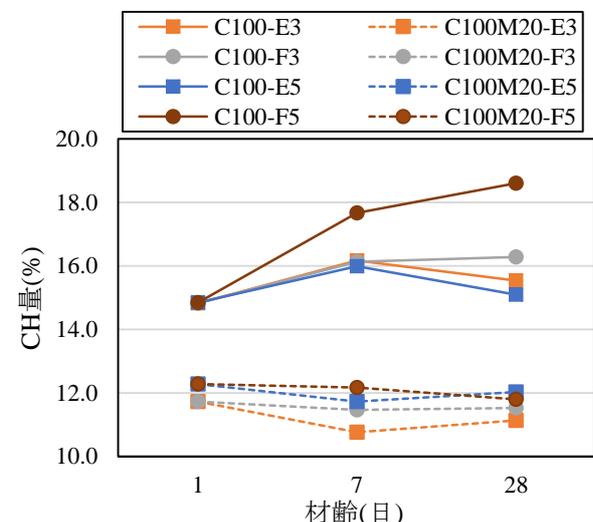


図-3 CH 量の経時変化 (蒸気養生あり)