

1. 研究背景および目的

高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ、CO₂ 排出量や生成時のエネルギー削減、耐久性の向上といった多くの利点が存在する。しかし、高炉セメントコンクリート (BB) は普通ポルトランドセメントコンクリート (N) よりも熱膨張係数が高く、温度上昇時と降下時で値が異なると報告¹⁾もあり、体積変化特性のメカニズムは不明である。そこで、本研究では N および BB の温度変化時における体積変化特性を検証し、体積変化が温度上昇時と降下時で異なるメカニズムを解明することを目的とする。

2. 温度変化時による体積変化特性の検証

100×100×400mm の角柱コンクリートで N および BB に図-1 のように 20℃ から 60℃、60℃ から 20℃ の温度変化を与え、熱による体積変化特性の検証を行った。その結果を図-2 に示す。N は温度上昇時と降下時で熱膨張係数に変化はなく、BB では既往の研究¹⁾と同様な体積変化特性が得られた。本研究では、BB の体積変化のメカニズムの検討として、温度履歴を受けたセメント硬化体の水和反応に着目し、骨材の影響を取り除いたセメントペースト (以下、ペースト) で研究する。

3. 試験概要

3.1 供試体概要

表-1 にペーストの配合を示す。水セメント比 (W/C) と高炉スラグ微粉末 (BFS) の置換率を変動させるパターンの 2 種類とした。それぞれセメントの水和反応に要する水分量およびスラグ量が熱による化学的变化で体積変化に影響を及ぼしているか検討した。ここでは、代表として W/C50% の結果を示す。普通ポルトランドセメントは研究用セメント、BFS は SO₃2% 添加、粉末度 4000 ブレーンを使用した。水和反応の化学分析を行う供試体は φ40×5mm のシャーレに打込んだ。また、体積変化測定用の供試体は 40×40×160mm の角柱にひずみゲージを埋込んだものを使用した。供試体は翌日脱型し、20℃ 環境下で材齢 28 日まで封緘養生した。

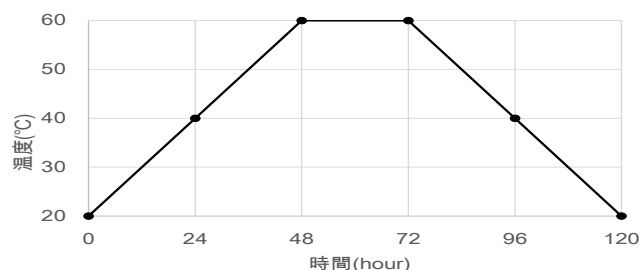


図-1 温度履歴の経時的変化

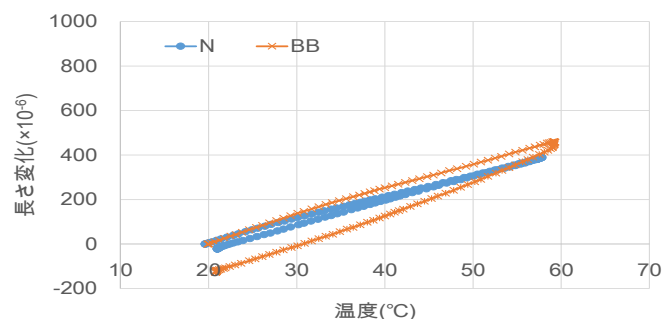


図-2 コンクリートの長さ変化

表-1 ペーストの試験配合表

名称	結合材添加割合(%)		W/C		
	OPC	BFS	30%	50%	100%
セメントペースト	N	100	-	○	○
	B20	80	20	-	○
	B50	50	50	○	○
	B70	30	70	-	○
	B90	10	90	-	○

3.2 試験方法

(1) 粉末 X 線回折試験 (XRD)

粉末 X 線回折装置を用いて、温度履歴による水和生成物の定性分析および定量分析を行った。測定は材齢 28 日より図-1 に示すように 20℃、40℃、60℃、60℃、40℃、20℃ で同一の供試体で測定した。測定終了後は直ちに恒温槽に戻し、再び温度履歴を与えた。

(2) 示差熱重量分析 (TG-DTA)

TG-DTA により試験開始時 (20℃)、温度履歴最高温度 (60℃)、温度履歴終了時 (20℃) の結合水率を算出し、セメント硬化体の水和反応が温度履歴に影響を受けるか検討した。

前処理は各設定温度に到達した時点で、供試体を全粉

砕し、アセトンに浸漬させ室温で十分乾燥させ水和停止した。本研究では、20℃から1000℃までの質量減少から水和物水、水酸化カルシウム(CH)、炭酸カルシウム(CaCO₃)および結合水率を算出した。

4. 試験結果および考察

4.1. 試験結果

(1) 体積変化測定結果

図-3には、ペーストを用いた体積変化測定結果として、普通ポルトランドセメントペースト(N)、高炉セメント硬化体(B50)の結果を示す。ペーストは図-2に示すコンクリートの傾向とほぼ同様であった。このことから、温度履歴を受けた高炉セメント硬化体の体積変化は骨材が影響しないことが考えられる。

(2) XRDによる定性分析結果

図-4, 5にはXRDの結果の一例としてNおよびB50の測定結果を示す。供試体に温度履歴を与えると、温度上昇に伴いピーク角度10°付近のエトリンサイト(Aft)が減少した。他のBFS置換率の配合でも同様な現象が確認できた。そこで、積分強度からAftの定量分析を行い、試験開始時を100%とした各温度下でのAftの残存率を図-6に示す。NおよびB20は60℃環境において急激に減少しているが、B50以上の置換率の供試体は半分もしくは半分以上残存することが分かった。

(3) 結合水率計測結果

図-7にはTG-DTAによる結合水率算出結果を示す。供試体によってCaCO₃量にばらつきがあるが、CH量は温度を上げると生成され増加している。また、水和物水の量が多いと結合水率が多い傾向が確認できたが、それぞれ特異の性質ではない。

4.2. 考察

(2)(3)より、BBの体積変化の化学的なメカニズムの要因としてAftの残存率が考えられる。Aftの残存率とBFS置換率で比例関係が成立し、NとBBでの性質の違いが確認できた。しかし、温度履歴を繰り返し与えるとAftの残存量に関係なく、図-2、図-3と同様な体積変化特性であったため、体積変化とAftの関係性がなく、本研究の試験方法で体積変化メカニズムを立証することは困難であった。

5. まとめ

本研究で得られた成果を以下に記す。

- (1) 温度履歴によるAftの減少を確認し、NおよびBBで残存量が異なることが分かった。

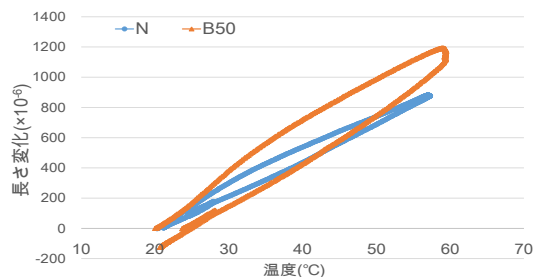


図-3 ペーストの長さ変化

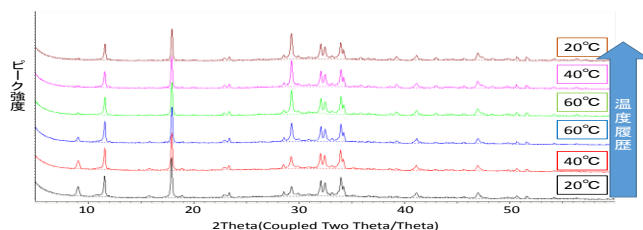


図-4 NにおけるXRD測定結果

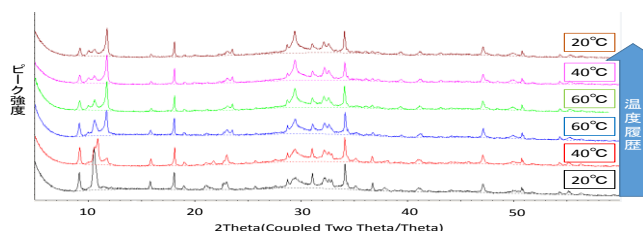


図-5 B50におけるXRD測定結果

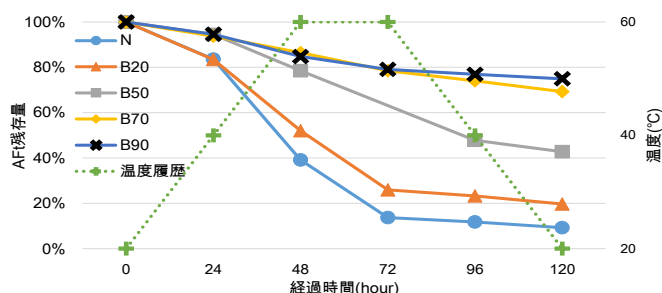


図-6 温度履歴を受けたペースト中のAft残存率

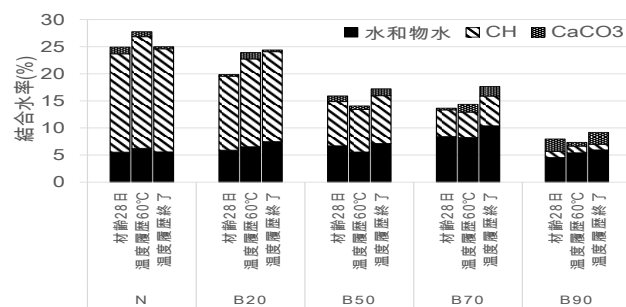


図-7 BFS置換率ごとの結合水率結果

- (2) 温度履歴を受けたセメント硬化体の水和反応の分析のみではBBの体積変化特性のメカニズムを解明することができなかった。

参考文献

- 1) マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008(JCI)

Supported by 前田建設工業(株)