

高炉セメント-膨張材系の初期高温履歴下での体積変化と水和挙動

前橋工科大学 学生会員 ○豊田 拓真
前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. 研究の背景・目的

高炉セメントは様々な構造物への利用拡大が見込まれている。しかし、初期強度改善のため、高炉スラグ微粉末の粉末度を大きくすることによって、普通ポルトランドセメントに比べ発熱量や自己収縮が大きくなる場合がある。また、初期に高温履歴を受けるマスコンクリートに高炉セメントを用いた場合は、材齢初期に収縮ひび割れが生じやすくなると報告されている。そのため、ひび割れリスクの低減策として、膨張材を用いて収縮の補償を行うことが提案されている。しかし、高炉セメント-膨張材系の初期高温履歴下での体積変化と水和挙動に関する研究は多くない。

そこで本研究では、膨張材を添加した高炉セメントに、温度履歴を与えた上で、体積変化の測定および水和解析を行い、考察を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびモルタルの配合

本研究では、研究用普通ポルトランドセメント(N)、膨張材、JIS 規格標準砂、高炉スラグ微粉末 4000 (BFS, SO₃2%) を使用した。モルタルは水結合材比 50% の JIS モルタルとし、高炉セメントのスラグ置換率を 45% とした。膨張材はアウイン系膨張材(CSA)、石灰系膨張材(EX) を用い、結合材の外割 10% 添加した。

2.2 体積変化測定試験

上記配合の 4 種類のモルタルにて長さ変化の測定を行った。養生条件は温度履歴を与えた封緘養生とした。温度履歴は 20℃ 一定と 20℃ での前置き時間を 6 時間、60℃ への昇温時間を 24 時間、最高温度保持時間を 24 時間、20℃ への降温時間を 6 日間とする 2 種類を与えた(以下、後者を高温履歴とする)。測定には埋込型ひずみゲージを用いた。φ50×100mm のプラモールドの底と全周をテフロンシートで覆い摩擦を

低減した。モルタル打ち込み後パラフィルムで蓋をし、水分の蒸発を防ぐためにアルミテープを用いて密閉することで封緘状態とした。測定値は線膨張などを差し引いていない実ひずみとした。また、同一配合でダイヤルゲージ法により 20℃ 水中 7 日養生までの自由膨張を測定した。

2.3 ペースト試験

上記モルタルと同一の結合材配合で 4 種類のペーストを作製し、40×50mm チャック付ポリ袋に板状に成型した。養生条件は体積変化測定と同様の高温履歴下で封緘養生し、24 時間後脱型した。脱型後は水中養生を行った。ペーストの作製には蒸留水を用いた。測定材齢は 1, 3, 7, 28 日とし、多量のイソプロパノールにて水和停止させ、24 時間 40℃ 乾燥した。40℃ 乾燥後の試料を遊星ミルにて微粉碎し、微粉碎後の試料を N は 950℃、高炉セメント B 種(BB) は 900℃ で 30 分間加熱し、強熱後の質量に対する減量を強熱減量として求めた。また、微粉碎後の試料は粉末 X 線回折(XRD) の測定を行い、リートベルト法により水和生成物量を測定した。

3. 実験結果

図 1, 2 にモルタルの長さ変化を示す。図のプロットはダイヤルゲージ法で測定した長さ変化であり、ひずみゲージを用いた測定での材齢 1 日を基準とした。ダイヤルゲージ法とひずみゲージを用いた測定での長さ変化はおおむね一致した。N, BB とともに、膨張材の種類に関わらず、高温履歴を与えた場合、20℃ 一定の場合より大きく膨張した。しかし、これらの高温履歴下での大幅な膨張は無拘束時特有のものであり、拘束時の膨張特性は無拘束時よりも温度依存性が低い。したがって、この自由膨張は実際のマスコンクリートでの状況とは異なると考えられ、若材齢時での収縮ひび割れは降温時の自己収縮に起因するものと考えた。

キーワード 高炉セメント, 膨張材, 自己収縮, 高温履歴, リートベルト法

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460 番地 1 前橋工科大学 TEL : 027-265-0111

図3に高温履歴を与えたモルタルの降温時の長さ変化を示す。凡例は、材齢7日での収縮量の順とした。Nと比較しBBは、膨張材の種類に関わらず降温時の収縮量が大きいことが分かる。セメント硬化体の自己収縮と水和物との関係について検討した既往の研究では²⁾、エトリンガイト (AFt) がモノサルフェート (AFm) へ転化する時に大きく体積減少するとされており、そのためAFm生成量が多いと自己収縮が大きくなると考えられる。そこでAFmの生成量について検討するために水和解析を行った。図4は材齢7日でのAFm生成量と降温時のモルタルの収縮量を示す。この図からNと比較しBBのAFm生成量が多く、AFm生成量が多いほど大きな収縮量を示す傾向が認められた。これらのことからNよりもBBが収縮するのは、多くのAFtがAFmへ転化することが一因と考えられる。

4. まとめ

本研究では膨張材を添加した高炉セメントに対して、温度履歴を与えた上で長さ変化の測定および水和解析を行った。以下に結果をまとめる。

普通ポルトランドセメント (N)、高炉セメント B 種 (BB) とともに高温履歴を与えた場合、20℃一定の場合に比べ大きく膨張することが分かったが、既往の研究より無拘束時特有の膨張と考えられる。

高温履歴を与えた場合の降温時に BB は N に比べ大きく収縮することが確認できた。降温時の収縮量と7日材齢でのモノサルフェート (AFm) 生成量に高い相関があり、N と BB の収縮量の差はエトリンガイト (AFt) から AFm に転化する際に生じる体積減少の影響と考えられる。

今後は、膨張材を添加していない N、BB で同様の測定を行い、自己収縮に及ぼす膨張剤混和の影響について検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 三谷裕二ほか：マス養生温度下における膨張コンクリートの膨張応力評価法について、コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.225-230, 2004
- 2) 高橋俊之ほか：セメントペーストの自己収縮に及ぼす水和反応の影響、コンクリート工学論文集,

Vol.7, No.2, pp.137-142, 1996

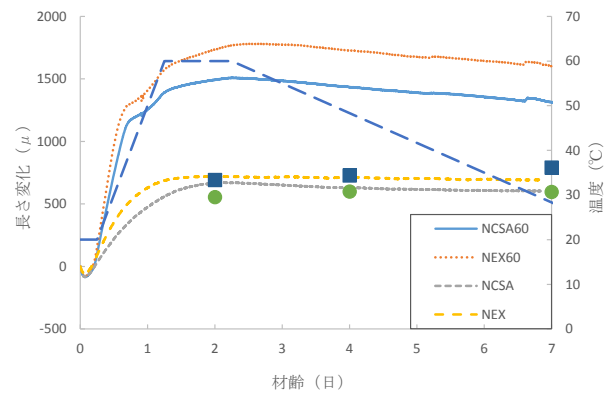


図1 Nの長さ変化

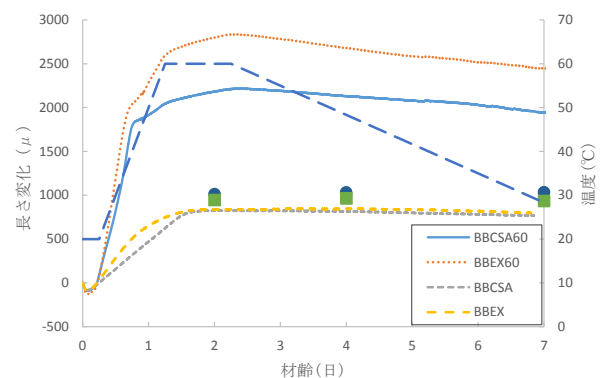


図2 BBの長さ変化

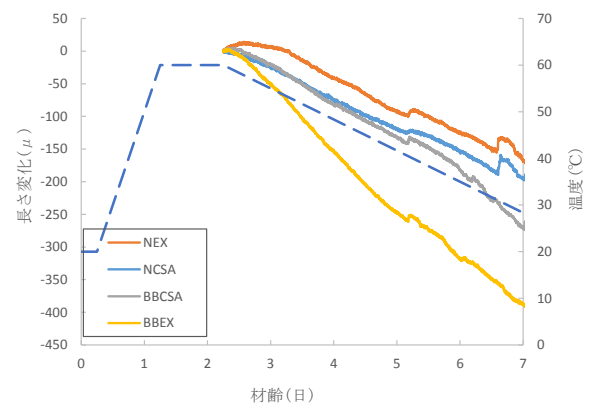


図3 高温履歴下での降温時の長さ変化

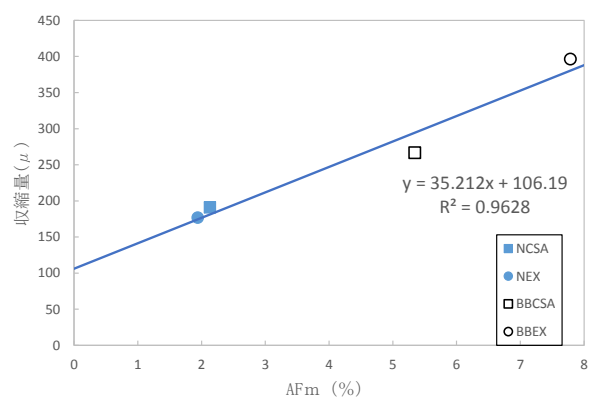


図4 材齢7日でのAFm生成量と降温時の収縮量