

膨張材と石灰石微粉末を混和した高炉セメントの マス養生下での体積変化と水和反応

前橋工科大学 学生会員 ○長岡 蓮
前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. はじめに

高炉セメント B 種(BB)を用いたコンクリートは A 種や C 種に比べ汎用性が高く、環境負荷低減の観点から様々な構造物への利用拡大が見込まれている。一方で、普通セメントに比べ発熱量や自己収縮量が大きくなる場合のあることが報告されている¹⁾。また、既往の研究では、エトリンガイト(AFt)からモノサルフェート(AFm)への転化で体積減少することや石灰石微粉末(LSP)の混和は、カーボネート系水和物の生成により AFt から AFm への転化が抑制されることが指摘されている^{2,3)}。

そこで本研究では、マスコンクリートに高炉セメントを用いた際のひび割れ対策として膨張材と石灰石微粉末を使用するために必要な知見を得ることを目的とし、高炉セメントのマス養生下での体積変化及び圧縮強度の測定と水和解析を行った。

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)、石灰石微粉末(LSP)、高炉スラグ微粉末 4000(BFS)、JIS 規格標準砂、膨張材を使用した。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は 45%とした。膨張材はアウイン系膨張材(EX1)、石灰系膨張材(EX2)を用い、結合材の外割 10%混和した。LSP は膨張材を除く結合材に対して内割 5%置換した。表 1 に試験体の種類と試験項目を示す。

表 1 試験体の種類と試験項目

記号	セメント	膨張材	LSP	体積変化	水和解析	圧縮強度
NL	N	—	○	—	—	
N			—			
BBL	BB	—	○			
BB			—			
NL1	N	EX1	○	○	○	○
N1			—			
NL2		EX2	○			
N2			—			
BBL1	BB	EX1	○			
BB1			—			
BBL2		EX2	○			
BB2			—			

2.2 体積変化の測定

表 1 の 8 種類のモルタルにて体積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。高温履歴は 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 日間とした。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、アルミテープで密閉して封緘養生とした。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。

2.3 水和解析

上記モルタルと同一の結合材配合で 8 種類のペーストを作製し、40×55mm 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。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℃、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。

2.4 圧縮強度の測定

表 1 の 12 種類のモルタルにて圧縮強度の測定を行った。測定材齢は 28 日とし、試験体及び養生条件は体積変化の測定と同一とした。

3. 実験結果および考察

全ての配合で高温履歴初期の昇温時に 800~2300μ 程度の膨張を示した。膨張特性の評価は、拘束膨張試験にて行う必要があることから、本研究では膨張後の自己収縮特性に着目し以降の検討を行った。図 1 に降温時を基点とした自己収縮ひずみを示す。この図より、N と

比べ BB は降温時に大幅に収縮することが分かる。BB での LSP の影響は膨張材の種類により異なり、EX1 では自己収縮量は低減し、EX2 では増大した。これは膨張材の作用機構が異なり、EX1 は AFt を生成することで、EX2 は水酸化カルシウムの結晶成長かつ結晶圧によりそれぞれ膨張するためと考えられる。図 2 に高温履歴後を基点とした自己収縮ひずみを示す。N は 40~65 μ 程度の自己収縮量であり、試験体の種類による差は小さかった。また、BB は膨張材の種類により収縮量が異なった。

AFt から AFm への転化の際に体積減少をし収縮することから、本実験で得られた AFm、AFt 生成量と自己収縮量との関係を図 3 に示す。N と比べ BB は AFm 生成量が多いが、AFt 生成量には N と BB で大差はなかった。また、LSP の混和で AFm 生成量は減少し、AFt 生成量は増大した。これは既往の研究より、LSP の混和によりモノカーボネートやヘミカーボネートが生成し、AFt から AFm への転化が抑制されたためと考えられる。

3). また、BB の自己収縮量は LSP の有無に関わらず、概ね AFm 生成量が多いほど自己収縮量は増加し、AFt 生成量が多いほど減少する傾向のあることが分かった。図 4 に各試験体の圧縮強度を示す。各試験体の圧縮強度は 50~60N/mm² 程度であり、膨張材や LSP の影響は小さかった。

4. まとめ

- (1) 高炉セメントのマス養生下での自己収縮量は、N と比較して大きかった。また、BB は膨張材と LSP の混和でカーボネート系水和物が生成することで AFt から AFm への転化が抑制された。
- (2) AFt 及び AFm 生成量と自己収縮量の関係を定量的に示すことができた。
- (3) BB での LSP の混和の影響は、膨張材の種類により異なることが考えられた。
- (4) N と BB の圧縮強度に対する膨張材や LSP の影響は小さかった。

参考文献

- 1) 全培糊, 丸山一平: 高炉スラグ微粉末と石灰系膨張材を混和したセメントペーストの若材齢水和挙動, 日本建築学会構造系論文集, Vol.80, No.712,

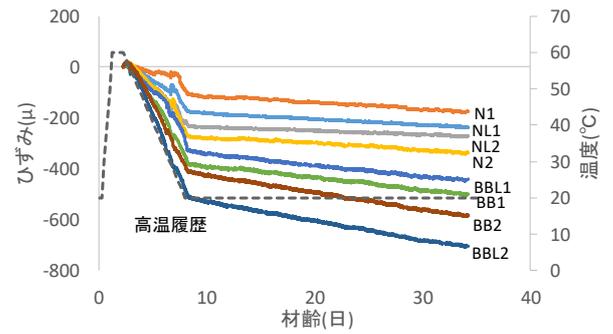


図 1 降温時基点の収縮ひずみ

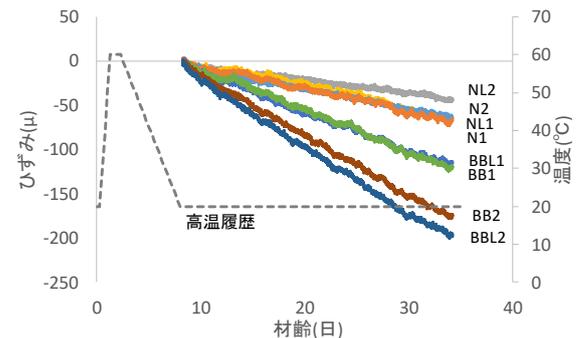


図 2 高温履歴後基点の収縮ひずみ

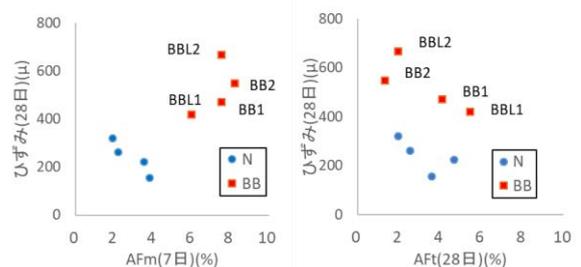


図 3 AFm, AFt 生成量と降温時基点の自己収縮ひずみ

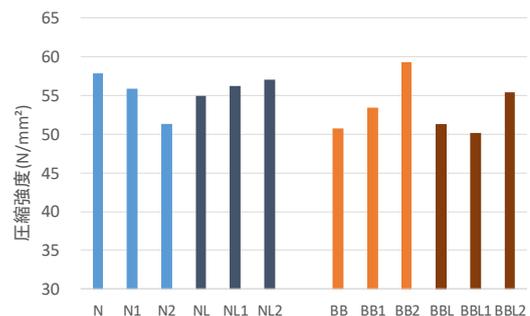


図 4 圧縮強度

pp.841-848, 2015

- 2) 佐川孝広, 名和豊春: 膨張材を混和した高炉セメントの水和反応, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.181-186, 2009
- 3) 佐川孝広, 西澤大和: 高炉スラグ高含有セメントのマス養生下での体積変化と水和挙動, 第 73 回セメント技術大会講演要旨, pp.182-183, 2019