

ポルトランドセメント-高炉スラグ微粉末系の空隙構造特性と乾燥収縮

ポルトランドセメント 高炉スラグ微粉末
空隙構造特性 乾燥収縮

正会員 ○佐川 孝広*
正会員 渡邊 詩穂子**
正会員 濱 幸雄***

1. はじめに

高炉セメントを用いたコンクリートの硬化特性は、結合材であるポルトランドセメントや高炉スラグ微粉末(スラグ)の水和反応に強く依存する。特にスラグの水和反応はセメント鉱物とは全く異なった反応プロセスを示し、水和物相組成や微細構造形成がポルトランドセメント単体の系とは異なった様相を呈すると推測される。高炉セメントを使用したコンクリートは、ポルトランドセメントを用いた場合よりも自己収縮量が大きくなったり、早期に乾燥収縮ひび割れが発生する場合もあることが指摘されている¹⁾が、筆者らは高炉セメントの乾燥収縮量は生成する C-S-H ゲル量と関連があることを指摘している²⁾。このことは、セメントの水和の進行程度で乾燥収縮量が変動する可能性があることを意味し、乾燥開始材齢が乾燥収縮特性に影響を及ぼすことが考えられる。

そこで本研究では、普通、中庸熱、低熱セメントに高炉スラグ微粉末 4000 を混和した高炉セメントを試製し、高炉セメントペーストの空隙構造特性とモルタル乾燥収縮量との関係について検討を行った。

2. 実験概要

実験には、混合材を含まない普通セメント(N)および中庸熱(M)、低熱セメント(L)、高炉スラグ微粉末 4000(B)を用いた。ただし、セメントペーストとモルタルの作製では異なるセメントおよびスラグが用いられており、セメント、スラグ銘柄の違いによる実験結果の差異は小さく、本研究の考察において大きな影響は与えないものと仮定した。セメントペーストおよびモルタルの調合は、各セメント単独およびそれぞれのセメントにスラグを 45%置換した高炉セメントを用い、水セメント比を 50%とした。セメントペ

ースト試験体は既報^{2,3)}と同様で、4×4×16cm 試験体を 3mm 厚に切断し、20℃水中養生を行った。またセメントペーストの作製と同一のセメントを用い、Φ5×10cm, W/C 50%のモルタル圧縮強さを測定した³⁾。乾燥収縮試験用のモルタルは標準砂を用いた JIS モルタルとし、所定の材齢まで 20℃水中養生を行った後、20℃60%RH 環境下での乾燥収縮量を測定した。セメントの種類と実験条件を表 1 に示す。

セメントペースト試料は、毛管空隙、ゲル空隙量、セメント水和反応解析による C-S-H ゲル体積を測定した²⁾。なお、毛管空隙量はペースト硬化体が表乾状態から 40℃乾燥での逸散水のもつ空隙、ゲル空隙は 40℃から 105℃乾燥での逸散水のもつ空隙とそれぞれ定義している。モルタル長さ変化の測定は、JIS A 1129-3(ダイヤルゲージ方法)に準じて行い、水分逸散量もあわせて測定した。

3. 実験結果および考察

図 1 にはモルタル乾燥収縮試験結果を示す。セメント N については、乾燥開始材齢を 3 日から 28 日まで変化させても乾燥収縮量はほぼ等しかった。M, L では、乾燥開始材齢 7 日に比較し、材齢 28 日でやや収縮量が大きく、56 日

表 1 実験条件

セメント	乾燥開始材齢(日)	記号				
N	3, 7, 28	N3, N28, N56	PC			
				M	7, 28	M7, M28, M56
NB	3, 7, 28	NB3, NB7, NB28	BB			
				MB	7, 28	MB7, MB28, MB56

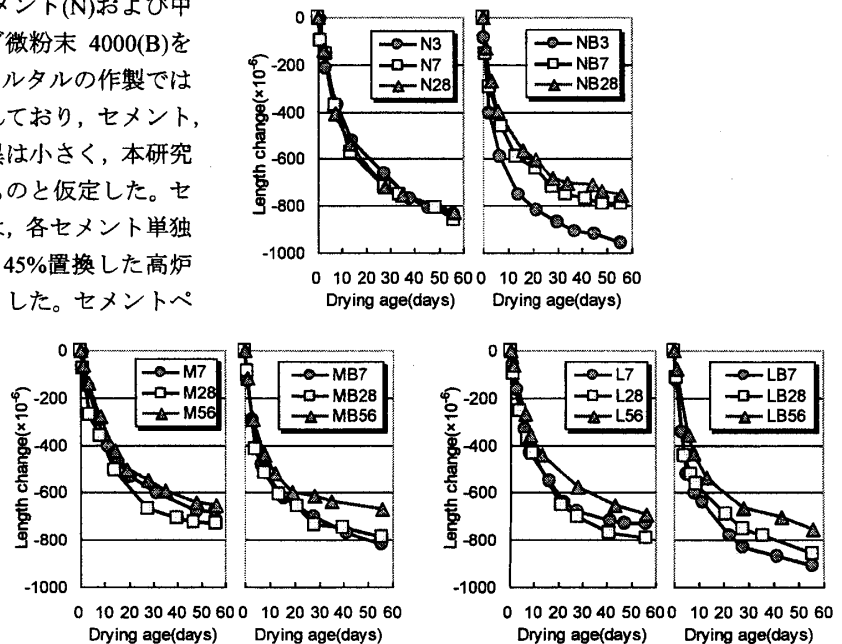


図 1 モルタル乾燥収縮試験結果

Micro structure characteristics and drying shrinkage of Portland cement-blast furnace slag system

Takahiro SAGAWA, Shihoko WATANABE and Yukio HAMA

でやや小さくなる傾向にあった。高炉セメント系(BB)では、ポルトランドセメント系(PC)と比較して全般に乾燥収縮量に対する養生開始材齢の影響は大きく、乾燥開始材齢が長くなるほど収縮量が小さくなる傾向にあった。PC系とBB系を比較すると、N7およびN28において、スラグを混和することで収縮量は70 μ 程度小さくなり、それ以外ではスラグを混和した際の収縮量は同程度かやや大きくなる傾向にあった。

図2には、ペースト試験体の毛管空隙量とモルタル乾燥収縮試験時の水分逸散量との関係を示す。ややばらつきはあるが、毛管空隙量と水分逸散量には相関が認められ、毛管空隙量が多いほど水分逸散量が多くなる傾向にあり、その関係はPC系、BB系でほぼ同様であった。

図3には、モルタル圧縮強さと乾燥収縮量との関係を示す。PC系では両者に相関は認められず、圧縮強さにて収縮量を評価できなかった。養生日数により強度は大きく異なるにも関わらず、図1に示すように収縮量に大きな変化は認められなかったことから、強度と収縮量に相関が得られないことが判断できる。一方でBB系では、強度が高くなるほど収縮量が小さくなる傾向にあった。PC系では図3中に示すM7、L7の凡例を除くと、BBと同様な相関があるともいえるが、Nは強度の変化に対して収縮量は一定であり、いずれにせよ、PC系では強度と収縮量の関係のばらつきは大きいといえる。

図4には、ペースト試験体にて求めた毛管空隙量、C-S-H体積とモルタル乾燥収縮量との関係について示す。図3に示した傾向と同様に、PC系では毛管空隙量やC-S-Hゲル量と収縮量との関係はばらつきが大きく、一方でBB系では、C-S-Hゲルの生成量が増し、毛管空隙量が少なくなるほど収縮量は小さくなる傾向が得られた。

セメント硬化体の空隙構造と収縮特性の関係は、一般に毛細管張力による応力は細孔径が小さいほど大きくなることから、セメントの水和が進行し微細な空隙が増すほどその応力は大きくなる。一方で、セメントの水和が進行し微細な空隙が増えると乾燥時の水分逸散は緩慢になり、ペースト硬化体の収縮に抵抗するヤング率も増すために収縮量は小さくなる。実際の乾燥収縮量は、この双方の影響のバランスにより決定されると考えられる。本研究で得られた、PC系で強度や毛管空隙量に変化しても収縮量に大きな影響を及ぼさなかったという実験事実は、この考察を裏付けるものと考えられる。しかし、BB系で収縮量に及ぼす毛管空隙量やC-S-Hゲル生成量の影響が卓越した原因は明らかでなく、高炉セメントの生成する水和物相組成や微細構造形成等について、より詳細な検討が必要と考えられる。

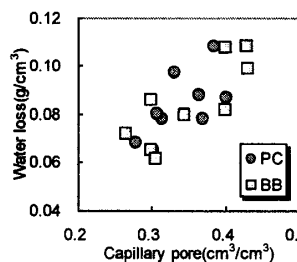


図2 毛管空隙量と水分逸散量との関係

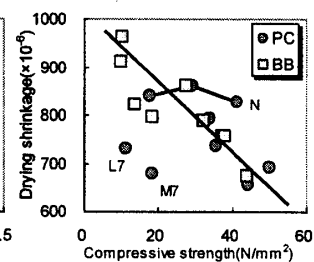


図3 モルタル圧縮強さと乾燥収縮量との関係

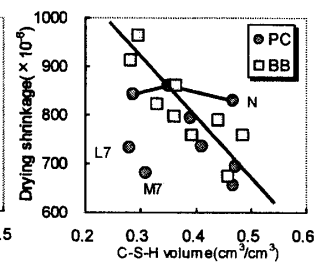
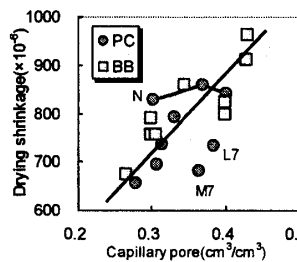


図4 毛管空隙量、C-S-H体積と乾燥収縮量との関係

4. まとめ

- (1) ポルトランドセメント系では、モルタル乾燥収縮に及ぼす乾燥開始材齢の影響は小さかった。
- (2) 高炉セメント系では、モルタル乾燥収縮に及ぼす乾燥開始材齢の影響は大きく、養生期間を長くするほど収縮量が小さくなった。
- (3) 高炉セメント系の乾燥収縮量はセメントペーストの毛管空隙量やC-S-Hゲル生成量にて概ね評価可能であり、C-S-Hゲルの生成量が増し、毛管空隙量が少なくなるほど収縮量が小さくなる傾向にあった。

謝辞：本実験は、室蘭工業大学卒論生、捻金宏太氏にご助力頂きました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)たとえば、日本建築学会、鉄筋コンクリート造建築物収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説、2006
- 2)佐川孝広、名和豊春：ポルトランドセメント-高炉スラグ系の水和反応-微細構造形成と乾燥収縮、日本建築学会構造系論文集、Vol.75, No.652, 2010
- 3)佐川孝広ほか：高炉セメントの水和反応に及ぼすセメント鉱物組成とスラグ粉末度の影響、第63回セメント技術大会講演要旨、pp.36-37, 2009

*日鐵セメント株式会社 技術部 博士(工学)
 **室蘭工業大学大学院工学研究科 修士課程
 ***室蘭工業大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)

*Nittetsu Cement Co., Ltd., Dr. Eng.
 **Master course, Muroran Institute of Technology
 ***Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.