

カルシウムアルミネート系水和物に着目した
高炉スラグ微粉末含有モルタルの収縮抑制の検討

埼玉大学大学院
学生会員
○筒井 奏太

埼玉大学大学院
正会員
浅本 晋吾

大成建設技術センター
正会員
臼井 達哉

東北大学大学院
正会員
宮本 慎太郎

1. 序論

現在、土木業界では CO₂ 排出量削減が大きな課題となっている。CO₂ 排出量削減対策として、セメントの使用量を減少させる混合セメントの利用があげられ、高炉スラグ微粉末を混合した高炉セメントの活用が進んでいる。高炉セメントを使用したマスコンクリートでは、材齢初期の温度ひび割れが発生しやすいという報告があるが、供用開始後しばらくしてひび割れが発生することも報告されている。これは乾燥収縮の増大が要因である可能性があり、本研究では、マスコンクリート構造物の水和による初期の高温作用が高炉セメント硬化体の乾燥収縮に与える影響と収縮手法の検討を目的に、乾燥収縮とカルシウムアルミネート系水和生成物の関係に着目した。

高橋ら¹⁾は高炉スラグ微粉末を低熱セメントに混合した場合、エトリンガイトが減少し、モノサルフェートが増加するときに収縮が増大することを報告している。坂井ら²⁾によれば、高炉セメントは養生温度が高いとエトリンガイトよりもモノサルフェートが生成するが、セッコウと炭酸カルシウム微粉末を添加することでエトリンガイトが安定し、モノサルフェートの増加が抑制されることを報告している。本研究では、セッコウ、炭酸カルシウム微粉末を添加材として結合材ともに混合し、高温履歴を材齢初期に作用させた高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの圧縮強度、乾燥収縮の検討をした。

2. 実験方法

セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。高炉スラグ微粉末は高炉セメント B 種を想定し、セメント質量の 40 % で内割置換した。細骨材は、絹産川砂

表-1 各供試体の示方配合

(表乾密度 2.60 g/cm³, 吸水率 2.33 %, 粗粒率 2.63) を使用した. 細骨材体積率は 50 %, 空気量は 2 % とし, 表-1 に示す 5 パターンで, セッコウ, 炭酸カルシウム微粉末を添加したモルタルを練り混ぜ, 乾燥圧縮試験には 40 × 40 × 160 mm の角柱供試

配合	単位量 (kg/m ³)					細骨材
	水	B				
		早強ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	炭酸カルシウム微粉末	セッコウ	
添加なし	301	328	219	0	0	1300
配合1	298	293	195	27	34	1300
配合2	297	284	189	27	51	1300
配合3	297	272	181	43	55	1300
配合4	299	312	208	0	31	1300

(表乾密度 2.60 g/cm³, 吸水率 2.33 %, 粗粒率 2.63) を使用した。細骨材体積率は 50 %, 空気量は 2 % とし、表-1 に示す 5 パターンで、セッコウ、炭酸カルシウム微粉末を添加したモルタルを練り混ぜ、乾燥収縮試験には 40×40×160 mm の角柱供試体、圧縮強度試験には φ 50×100 mm の円柱供試体を作製した。

壁厚と高さが 100 cm、結合材量が 350 kg/m³ の壁構造物を想定した温度解析のもと、図-1 に示す最高温度 60 °C、材齢 7 日で温度が 20 °C となる温度履歴を、型枠に入れたまま封緘状態で初期に与えた。その後、脱型し、材齢 14 日まで恒温恒湿室 (温度 20±1 °C、湿度 60±10 %) 内で水中養生を行ったのち、材齢 14 日で圧縮強度試験、同じ恒温恒湿室で乾燥収縮試験を開始した。さらには、表

-1 と同じ W/B と添加材のセメントペーストに図-1 の温度履歴を与えたのち、材齢 14 日まで水中養生終了後、粉末 X 線回析(以下、XRD)で、カルシウムアルミネート系水和生成物に着目した分析を行った。

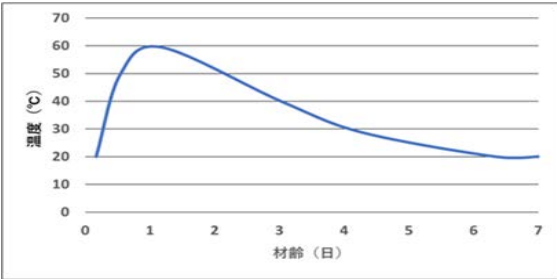


図-1 養生温度

キーワード 高炉セメント、乾燥収縮、カルシウムアルミネート系水和物、圧縮強度、XRD

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

埼玉大学 理工学研究科 TEL 048-858-3739

3. 実験結果

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を図-2に示す。セッコウ、炭酸カルシウム微粉末を添加したことにより圧縮強度が低下したのはセッコウを4.5%添加した配合④のみであった。添加なしの供試体と比較して他の配合の強度は、10%以下の変動であったため強度のばらつきも考慮するとセッコウ、炭酸カルシウム微粉末添加による強度変化は小さいといえる。

(2) 高温履歴を与えた乾燥収縮実験

各配合の乾燥収縮ひずみを図-3に示す。配合1と配合4の乾燥収縮が抑制され、配合3は105日後では添加なしと乾燥収縮ひずみが同等となった。本実験条件では、セッコウ5%、炭酸カルシウム微粉末5%添加することで、高温養生後の高炉セメントモルタルの乾燥収縮が最も効果的に抑制された。

(3) XRDによる水和物の分析結果

図-4にXRDによるカルシウムアルミネート系水和物の分析結果を示す。乾燥収縮が抑制された配合1と配合4の主なカルシウムアルミネート系水和物はエトリンガイトであり、モノサルフェートは生成されていなかった。配合1では、 11° 付近にモノカーボネートも確認された。乾燥収縮が増大した添加なしのセメントペーストの主なカルシウムアルミネート系水和物はモノサルフェートであり、エトリンガイトは生成されていなかった。セッコウ、炭酸カルシウム微粉末の適切な添加により、エトリンガイトの減少とモノサルフェートの増加が抑制でき、マスコンクリートに高炉セメントを用いた場合、無添加に比べ乾燥収縮を減少させることが期待される。

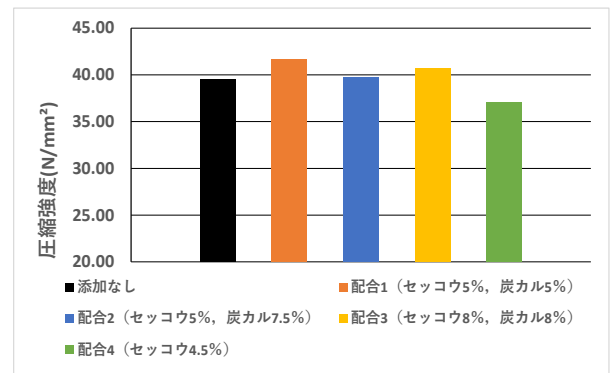


図-2 圧縮試験の結果

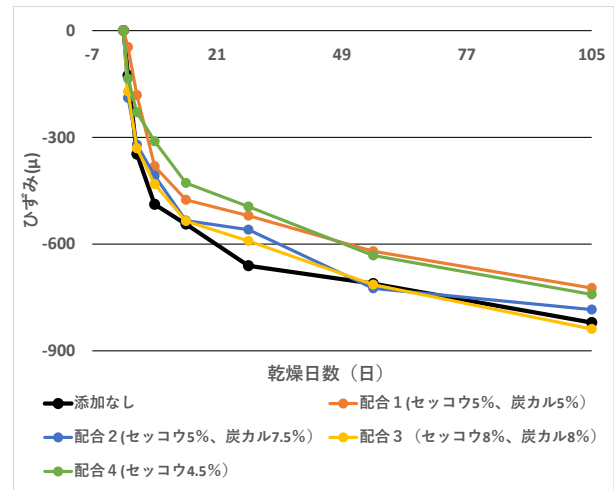


図-3 乾燥収縮実験の結果

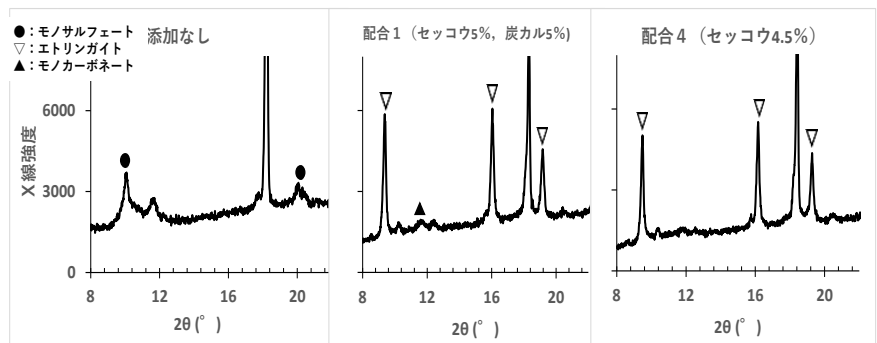


図-4 XRD 分析結果

4. まとめ

- (1) セッコウ、炭酸カルシウム微粉末を添加することによる圧縮強度の変化はわずかであった。
- (2) 高炉スラグ微粉末置換率40%のモルタルにおいて、内割置換でセッコウ5%、炭酸カルシウム微粉末5%添加することで高温履歴を与えた時の乾燥収縮が最も抑制された。
- (3) 初期に高温履歴を受けた高炉スラグ微粉末を混和したモルタルでは、セッコウ、炭酸カルシウム微粉末の適切な添加により、エトリンガイトの減少とモノサルフェートの増加を抑制でき、無添加に比べ乾燥収縮が減少した。

5. 参考文献

- 1) 高橋 俊之：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 第7巻 第2号 1996年7月
- 2) 坂井 悦郎：初期水和性状を考慮した高炉スラグ高含有セメントの材料設計，Cement Science and Concrete Technology, No.65, 2011