

高炉スラグ微粉末の化学成分の差異がコンクリートの拘束膨張へ与える影響

広島大学 学生会員 ○福永 将斗
 広島大学 学生会員 梶田 紗英子 森田 賢伍
 広島大学 正会員 半井 健一郎

1. 背景・目的

高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、普通セメントのみを使用した場合よりも化学抵抗性が向上する一方で、自己収縮量が大きく、コンクリートのひび割れの原因となっていることが問題視されている⁽¹⁾。この問題を解決する手法の一つとして、膨張材の添加が挙げられる。高炉スラグ微粉末を使用する場合、膨張材と石こうの添加による収縮抑制が報告されている⁽²⁾。

高炉スラグ微粉末は産業副産物であり、産地や時期によって成分にばらつきがあるため、普通コンクリートに高炉スラグ微粉末を使用した場合、その種類によって収縮量に差異が見られることが報告されている⁽³⁾。しかし、成分のばらつきや養生が、高炉スラグ微粉末を使用した膨張コンクリートの性能に及ぼす影響についての研究は少ない。

そこで本研究では、高炉スラグ微粉末を使用した膨張コンクリートの性能に及ぼす高炉スラグ微粉末の化学成分、無水石こうの有無及び養生の影響を、材料の化学成分に着目して検討することを目的とする。

2. 試験概要

本研究では、セメントペースト供試体を用いた化学分析、コンクリート供試体を用いた拘束膨張試験を行った。

セメントペーストの配合について、水結合材比は45%とし、結合材には普通ポルトランドセメントと2種類の高炉スラグ微粉末(以下、高炉スラグ微粉末の分類はI, IIとする)、エトリンガイト系膨張材、無水石こうを使用した。結合材のうち、単位膨張材置換量は50kg/m³とし、高炉スラグ微粉末はセメント量の50%置換とした。今回用いた高炉スラグ微粉末は石こうが無添加のものを使用し、これに無水石こうを一部置換する配合と置換しない配合、計2配合をそれぞれの高炉

スラグ微粉末について作製した。コンクリートの配合については、セメントペーストの配合に細骨材と粗骨材を加えて配合設計を行った。

今回の実験では、コンクリートにおいて配合計算を間違えたためにセメントに対する高炉スラグ微粉末と無水石こうの置換率が46.0%、水結合材比が46.5%となっているが、考察への影響は小さいものと考えた。表-1にコンクリートにおける各配合での化学成分の割合、表-2にセメントペーストにおける各配合での化学成分の割合を示す。

表-1 セメントペーストの化学成分

	化学成分(%)							
	ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	他
I	1.20	23.50	10.22	1.56	53.59	3.54	4.75	1.65
I+AH	1.22	22.97	9.98	1.55	53.56	3.44	5.66	1.61
II	1.12	23.71	9.77	1.67	54.09	3.33	4.81	1.50
II+AH	1.14	23.21	9.56	1.66	54.05	3.24	5.66	1.47

表-2 コンクリート中のセメントペーストの化学成分

	化学成分(%)							
	ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	他
I	1.20	23.50	10.22	1.56	53.59	3.54	4.75	1.65
I+AH	1.25	22.64	9.83	1.60	53.96	3.34	5.78	1.60
II	1.12	23.71	9.77	1.67	54.09	3.33	4.81	1.50
II+AH	1.17	22.89	9.44	1.70	54.40	3.16	5.78	1.47

養生は、セメントペースト供試体については、封緘状態における20℃恒温の室内での静置と、プレキャスト工場での蒸気養生を模した高温履歴を与える養生(以下、高温履歴)の2種類の養生を行った。コンクリートにおいては20℃恒温室内での7日間の封緘養生と、高温履歴に加えて蒸気を供給する蒸気養生の2種類を行った。コンクリートの場合はそれぞれの養生終了後20℃RH60%の恒温恒湿の室内で気中暴露を行った。

キーワード 化学成分, エトリンガイト, 膨張コンクリート

連絡先〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科社会基盤環境工学プログラム事務室

TEL: 082-424-7819・7828

セメントペーストは材齢 1 日, 7 日, 28 日でそれぞれ水和停止のために 24 時間アセトンに浸漬した. その後 24 時間真空脱気を行い, 供試体粉碎後に粉末 X 線回折分析および結果のリートベルト解析を行った.

コンクリート供試体については, 打込み直後から拘束膨張量の測定を行った. 膨張量の測定は JCI-S-009-2012 に準じて軽量鋼製型枠を使用し, その表面にひずみゲージを貼り, 経時計測を行った. 膨張量の評価は, 封緘養生では材齢 7 日まで湿潤状態であるのに対して, 蒸気養生では材齢 1 日以降気中暴露であることから乾燥による影響が等しくないために, 影響差が小さいと考えられる膨張ひずみの最大値を用いて比較を行った.

3. 試験結果と考察

セメントペーストの粉末 X 線回折分析によって得られた各配合における材齢 1 日のエトリンサイト(以下, Et.)の生成量と化学成分の関係を図-1 に示す. このうち (a)を SO_3 , (b)を Al_2O_3 との比較とする. Et.の生成量は材齢 1 日において養生によらず無水石膏を置換した場合で多く, 無水石膏を置換した場合で比較を行うと Al_2O_3 の含有量が多い場合で多くなった. この結果から, Et.の生成量には SO_3 量と Al_2O_3 の含有量が関係すると思われる. また, 養生条件での比較を行うと, 高温履歴を与えた場合で Et.の生成量が減少していた. これは, 高温環境下で Et.がモノサルフェート水和物に変質したと考えられる⁽⁴⁾.

続いて, コンクリートの最大膨張ひずみの測定結果と前述の Et.の生成量との比較結果を図-2 に示す. 今回, I+AH のコンクリート試験において材料の保存方法が適切でなく, 信頼性に欠くデータであると考えられることから, これを除いた結果と比較を行った. Et.の生成量と最大膨張ひずみの比較を行った結果, Et.の生成量と最大膨張ひずみには関係性が見られた.

以上の結果から, SO_3 の他に膨張特性に影響する化学成分として, Al_2O_3 が挙げられる.

4. まとめ

セメントペーストにおける Et.の生成量は, SO_3 と Al_2O_3 の含有率が大きいほど増加した. また, コンクリートの膨張量と Et.の含有率にも関係性が見られた. このことから, コンクリートの膨張特性には, SO_3 に加えて Al_2O_3 の含有率も影響することが示された.

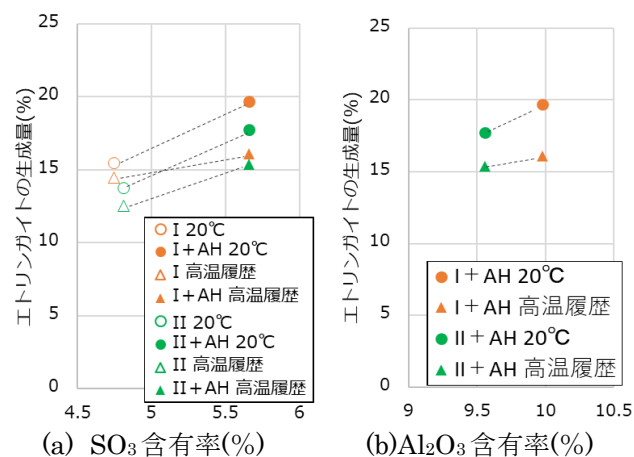


図-1 材齢 1 日の Et.生成量と化学成分

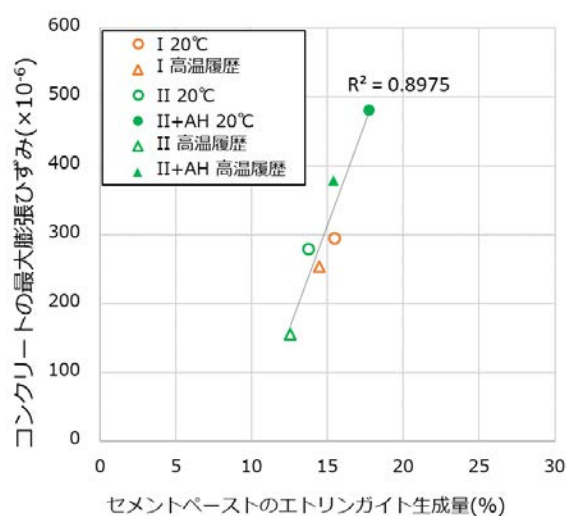


図-2 コンクリートの最大膨張ひずみ

5. 参考文献

- 1) 三浦智也ほか：コンクリートの自己収縮に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.117, No.1, pp. 359-364 (1995)
- 2) Ge Zhang & Guoxin Li: Effects of mineral admixtures and additional gypsum on the expansion performance of sulphoaluminate expansive agent at simulation of mass concrete environment, Construction and Building Materials, Vol. 113, pp. 970-978 (2016)
- 3) 佐川孝広らほか：高炉セメントの鉱物組成およびスラグ混合率とコンクリートの諸性状との関係, 第61回セメント技術大会講演要旨, pp. 52-53 (2007)
- 4) 小林晋吾らほか：異なる温度環境下における膨張モルタルの膨張性脳と水和生成物の関係, Cement Science and Concrete Technology, No.65, pp. 95-102, (2011)