

徐冷スラグ細骨材が DEF と DEF 膨張に与える影響

元芝浦工業大学 工学部

芝浦工業大学 大学院理工学研究科

芝浦工業大学 工学部

○石井咲弥

澁谷亜香里

伊代田岳史

1. 研究背景及び目的

高炉スラグは冷却方法によって、2種類に分けられており、高炉水砕スラグは潜在水硬性を所有することから高炉スラグ微粉末(GGBFS)として用いられている。一方、高炉徐冷スラグは、硫黄の含有量が多く、酸化されせつこうの生成につながる。このせつこうがセメントの異常膨張を生じる可能性があるりと報告されていることから、コンクリート用細骨材として JIS 化されていない。しかし近年では、1970年代のこの報告時よりも異常膨張の要因である硫黄の含有量は減少したこともあり、近年の骨材事情に対応すべく、コンクリート用細骨材としての利用の可能性の検討が必要である。その一方で、近年欧州を中心に明らかとなってきたエトリンガイトの遅延生成もせつこうや SO_3 の含有量が大きく関わっているためその検討も急務である。

エトリンガイトの遅延生成(DEF:Delayed Ettringite Formation)とは、初期に生成したエトリンガイトが蒸気養生などの高温履歴により消失し、長期間湿潤環境下に置かれることでエトリンガイトが再び生成(二次生成)する現象²⁾である。硬化後に再生成するため、膨張(DEF 膨張)しひび割れを引き起こすと報告されており、国内でも 2000 年代中頃からプレキャストコンクリート製品での劣化損傷事例²⁾がある。そこで本研究では、コンクリート用細骨材として徐冷スラグ細骨材を用いた際の DEF 膨張挙動を把握することを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、細骨材種類と GGBFS 置換率が硬化体の膨張率へ与える影響の検討を行った。細骨材として標準砂(標)と徐冷スラグ細骨材(徐)を用い、GGBFS 置換率を 0%(B0)、45%(B45)、70%(B70)とし、W/C=50%, C:S=1:3 の 40mm×40mm×160mm モルタル

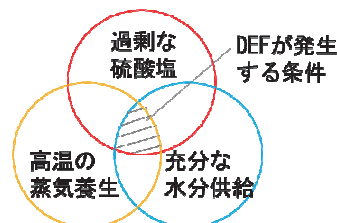


図-1 DEF の 3 条件

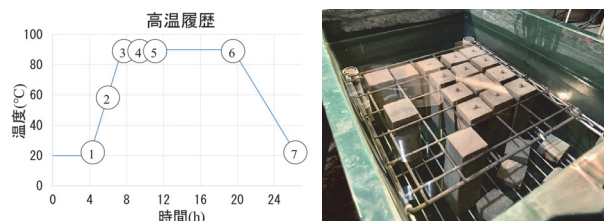


図-2 高温履歴と水中養生の様子

供試体を各配合で 6 本作製した。DEF は図-1 に示す 3 つの条件がそろって発生しやすくなると報告されているため、過剰な硫酸塩として硫酸カリウムを用い SO_3 量で結合材×2%(K2)、4%(K4)となるように添加を行った。高温の蒸気養生としては、図-2 に示すように 20℃4 時間の前置き後、20℃/hr で 90℃まで昇温し、90℃で 12 時間保持の蒸気養生を行った。蒸気養生後は、10℃/hr で 20℃まで降温し、その後、十分な水分供給を行うため、図-2 の写真のように 20℃の水中養生を行った。

水中養生を行った 6 本の供試体のうち 3 本を 1 週間ごとに JIS A 1129-3 に準拠してダイヤルゲージを用いて長さ変化の計測を行った。

3. 長さ変化試験結果

図-3, 4 に長さ変化試験の結果を示す。標準砂を用いた供試体に大幅な膨張が見られた。一方、徐冷スラグ細骨材では膨張は見られなかった。添加した SO_3 量が多いほど、初期の膨張率は大きいものの、緩やかに膨張しており材齢 200 日あたりでは SO_3 量が少ないもののほうが膨張していることから、 SO_3 量が多

いほど膨張するというわけではないことが確認された。また、既往の研究²⁾と同様に、GGBFS 置換を行うと膨張は見られなかった。

4. 考察

細骨材の違いにより膨張に差が見られたことから、初期に生成されるエトリンガイト量、および膨張の有無によるエトリンガイトの生成量を比較するため供試体を粉碎し 150 μ m ふるいにかけて細骨材を取り除いた粉末を用いて粉末 X 線回析試験(XRD)を実施した。標準物質として α - Al_2O_3 を使い、内部標準法によりエトリンガイト量を定量した。また、ここでは細骨材の除去が困難であることから、試験体から得た粉体中に含まれる細骨材量を内部標準法により定量を行い、細骨材を除外したセメントペーストあたりのエトリンガイト量で比較を行った。また走査電子顕微鏡(SEM)を用いて結晶の大きさについての検討も行った。

4.1 初期のエトリンガイトの生成量の違い

図-5 に蒸気養生中の供試体の時間経過・温度によるエトリンガイトの生成量を示す。徐冷スラグ細骨材は標準砂に比べ初期のエトリンガイトの生成量が多いことが明らかになった。標準砂を用いた B0 標 K4 は 90 $^{\circ}\text{C}$ に達した時点でエトリンガイトが消失しているが、徐冷スラグ細骨材を用いた B0 徐 K4 は 90 $^{\circ}\text{C}$ に達した点でもエトリンガイトは残存しており、その後消失した。このことから、徐冷スラグ細骨材を用いた硬化体では消失しながらも生成されていたと考えられる。

4.2 膨張の有無によるエトリンガイトの生成量の違いと結晶の大きさについて

図-6 にエトリンガイトの生成量と SEM によるエトリンガイトの二次電子像を示す。XRD による分析の結果、材齢約 125 日の供試体では、膨張率に関わらずエトリンガイトは同程度生成していた。また SEM により観察を行ったところ、初期のエトリンガイトは小さく細い針状結晶が観察された一方で、材齢約 125 日の供試体は、膨張率に関係なくどちらにも初期のエトリンガイトよりも大きく太い針状結晶が観察された。これらの結果より、いずれの細骨材においても DEF は生じているが、DEF 膨張は標準砂のみに見られたため DEF が起きても DEF 膨張が必ず

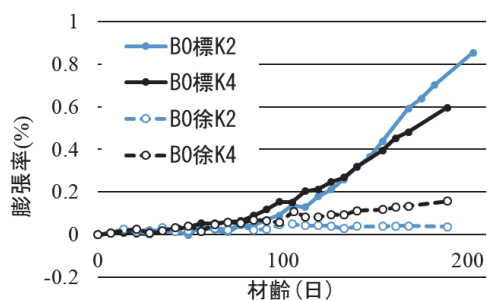


図-3 GGBFS0%の膨張率

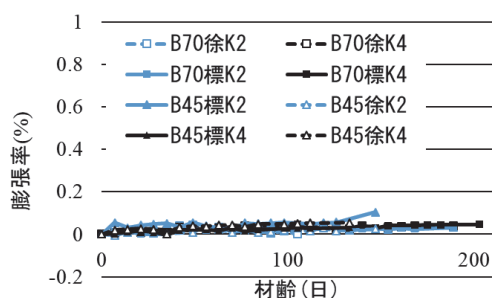


図-4 GGBFS45, 70%の膨張率

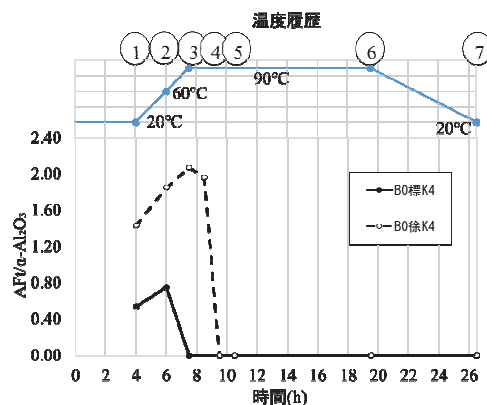


図-5 蒸気養生中の供試体の時間経過・温度によるエトリンガイトの生成量

	標準砂		徐冷スラグ細骨材	
	SEM	AFt/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	SEM	AFt/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
6h		0.75		1.02
125日		3.24		3.31

図-6 エトリンガイトの変化

しも起きるとは限らないと考えられる。

参考文献

- 1) 近藤連一：鉄鋼スラグの化学，石膏と石灰，vol.1977, No147, pp.13-21, 1977
- 2) 日本コンクリート工学会，「DEF のリスクを考える」に関するシンポジウム，委員会報告書，2019