

高炉スラグ微粉末を混和した高強度コンクリートの収縮特性に及ぼす 無水石こうの影響について

Effect of Anhydrite on Shrinkage of High-Strength Concrete with Ground-Granulated Blast-Furnace Slag

室蘭工業大学大学院工学研究科 ○学生員 吉田崇紀 (Takanori Yoshida)
室蘭工業大学 正員 菅田紀之 (Noriyuki Sugata)

1. はじめに

現在、地球温暖化等の環境問題への意識が高まっている。その中でコンクリート分野では産業副産物を用いたコンクリートの利用が推奨されている。産業副産物の一つである高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートは、二酸化炭素の削減、原材料の保全、長期強度の増進、化学抵抗性の向上が期待できる。その一方で、自己収縮ひずみの増大が課題として挙げられている。自己収縮ひずみの増大を改善する方法の一つとして無水石こうの添加がある。しかしながら、高強度コンクリートの収縮特性に及ぼす無水石こうの影響について検討が行われた例は少ない。

そこで本研究では、高炉スラグ微粉末を混和した高強度コンクリートの収縮に及ぼす無水石こうの影響を水和反応の面から検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合材には普通ポルトランドセメント(C)、高炉スラグ微粉末(BFS)を用いた。使用した高炉スラグ微粉末は JIS A 6206 に規定されている高炉スラグ微粉末 4000 (比表面積：4,060 cm²/g)であり、石こうを混和していないものである。石こうはⅡ型無水石こう(SO₃：56%)を用い、細骨材(S)として陸砂、粗骨材(G)として砕石 2005 を用いた。混和剤はポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤(SP)と、ポリエチレングリコール系の消泡剤(AF)を用いた。

2.2 配合

本研究に用いたコンクリートの配合を表—1 に示す。

水セメント比 (W/B, B=C+BFS+AH) を 30%、高炉スラグ微粉末の置換率 (BFS/B) を 0%、40%、高炉スラグ微粉末への無水石こうの添加率は SO₃量換算(SO₃/(BFS+AH))で 0%、1.5%、3.0%、4.5%とし、計 5 ケースに設定した。

配合名は、高炉スラグ微粉末無置換のものを N、その他は BS40-SO₃% (例：BS40-15) で表記する。

2.2 自己収縮試験

直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体の中央軸方向に埋込型ひずみゲージを設置した。コンクリート打込み後から 20°Cの恒温室内で封緘養生とし、測定を行った。

2.3 乾燥収縮試験

直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体の中央軸方向に埋込型ひずみゲージを設置した。20°Cの恒温室内で 7 日間封緘養生し、脱型後 20°C、相対湿度 60%の下で測定を行った。また、乾燥収縮ひずみの測定と同時に供試体の質量測定も行い、質量減少率を算出した。

2.4 毛細管水試験

表—1 で示した使用材料のうち骨材を除いた配合でセメントペーストを作製し、20g 程度の試料を 40°Cで 24 時間乾燥を行い、乾燥前後の質量減少量を毛細管水量とした。

2.5 X 線回折試験

表—1 で示した使用材料のうち骨材を除いた配合でセメントペーストを作製し、粉末状にしたものを試料とした。X 線回折法により水和生成物の種類を同定、生成量(積分強度)を算出し、水和反応について検討を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 水和反応分析結果

図—1 に材齢とエトリンタイトの積分強度の関係を示す。無水石こう無添加の BS40-00 はエトリンタイトの生成量が少ないこと、無水石こう添加量の増加によりエトリンタイトの生成量が増大していることがわかる。また、材齢 1 日あるいは 3 日で生成が終了していることがわかる。

図—2 に材齢と毛細管水率の関係を示す。無水石こう無添加の BS40-00 は N よりも毛細管水率が大きいこと、

表—1 配合

配合名	W/B (%)	BFS/B (%)	SO ₃ /(BFS+AH) (%)	単位量 (kg/m ³)										
				W	C	BFS	AH	S	G	SP	AF(g)			
N	30	0	0	165	550	330	0	0	852	883	2.75	8.25		
BS40-00		40	0				220	0			844	875	1.98	5.94
BS40-15			1.5				214	5.9					1.99	5.99
BS40-30			3.0				208	11.8					2.01	6.04
BS40-45			4.5				202	17.7					2.04	6.11

無水石こう添加量の増加により毛細管水率が減少していることがわかる。毛細管水率の減少は水和反応および潜在水硬反応の進行を現わしているため、無水石こう添加量の増加により反応が促進されていると考えられる。

3.2 収縮試験結果

図—3 に材齢と自己収縮ひずみの関係を示す。図(a)より BS40-00 は材齢 3 日～20 日の間で自己収縮ひずみが N よりも大きくなっていることがわかる。また図(b)より無水石こうを添加した BS40-30, BS40-45 は材齢 1 日の自己収縮ひずみが大きく減少していることがわかる。しかしながら、収縮に転じた後の収縮の増分量は無水石こう添加量が多いほど大きく、材齢 3 日以降の自己収縮ひずみは無水石こうの添加により大きくなっている。水和反応分析で示したエトリンガイトは膨張性を持つ水和生成物であるため、エトリンガイトが少ない BS40-00 では自己収縮ひずみが増大し、BS40-30 と BS40-45 ではエトリンガイトの増大により、材齢 1 日の自己収縮ひずみが大きく減少したと考えられる。また無水石こう添加による材齢 3 日以降の自己収縮ひずみの増大は、空隙の微細化によるものと考えられる。

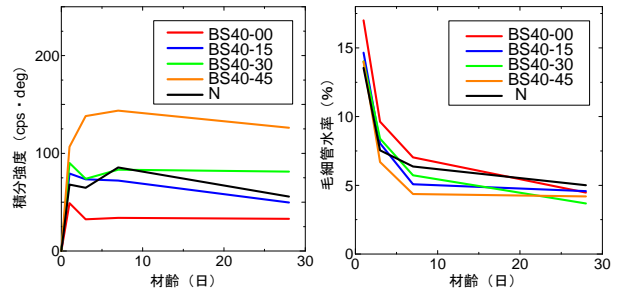
図—4 に乾燥日数と乾燥収縮ひずみの関係を示す。高炉スラグ微粉末の混和により乾燥収縮ひずみが大きく低減していることがわかる。また無水石こう添加量の増加により乾燥収縮ひずみがさらに低減していることがわかる。図—5 に材齢と質量減少率の関係を示す。無水石こう無添加の BS40-00 は N と大きな差は見られない。また無水石こう添加量の増加により質量減少率が小さくなっていることがわかる。図—2 の毛細管水率の結果で示されているように、毛細管水が少なくなっていることが 1 つの要因と考えられる。

図—6 に質量減少率と乾燥収縮ひずみの関係を示す。同一質量減少率において無水石こう無添加の BS40-00 は N よりも乾燥収縮ひずみが小さいことがわかる。また同一質量減少率において無水石こう添加量の増加により乾燥収縮ひずみが大きくなっていることがわかる。この結果より高炉スラグ微粉末の混和による空隙の粗大化、無水石こう添加による空隙の微細化が考えられる。空隙の微細化は水和反応分析で示した水和反応の促進によるものと考えられる。以上から BS40-00 では空隙の粗大化により乾燥収縮ひずみが低減したと考えられる。また無水石こう添加量の増加により、水和反応が促進し、ペースト剛性の増大とともに乾燥収縮の要因となる蒸発水が減少し、乾燥収縮ひずみがさらに低減したと考えられる。

4. まとめ

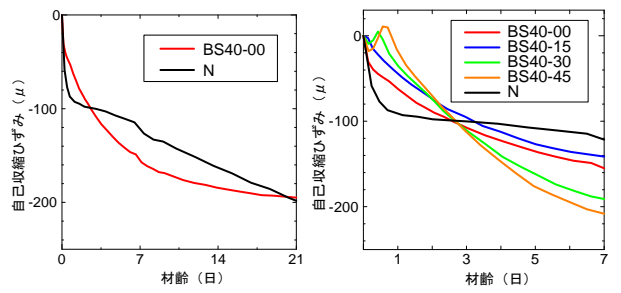
本研究では、無水石こうの添加が高強度コンクリートの収縮に及ぼす影響について水和反応の面から検討を行った。その結果を次にまとめる。

- 1) 高炉スラグ微粉末の混和は、材齢 3 日から 20 日の自己収縮ひずみを増大させる。また、乾燥収縮ひずみを減少させる。
- 2) 無水石こうの添加は、エトリンガイトの生成により初期の自己収縮ひずみを低減するが、水和反応促進効果による空隙の微細化により、材齢 3 日以降の自己収縮ひずみを増大させる。



図—1 エトリンガイトの積分強度

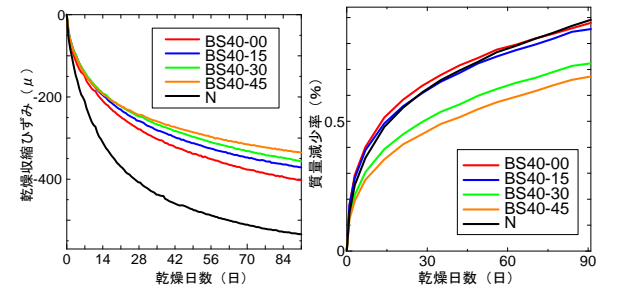
図—2 毛細管水率



(a)

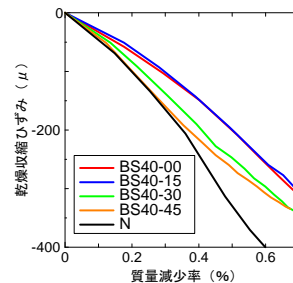
(b)

図—3 自己収縮ひずみ



図—4 乾燥収縮ひずみ

図—5 質量減少率



図—6 質量減少率と乾燥収縮ひずみの関係

- 3) 無水石こうの添加は、水和反応の促進によりペースト剛性を増加させるとともに蒸発水を減少させ、乾燥収縮ひずみを低減させる。