

# スラグ系細骨材を用いたコンクリートの収縮ひび割れ抑制効果に関する基礎的研究 (その3:スラグ系細骨材の混合率の違い)

正会員 ○安田慎吾\* 正会員 今本啓一\*\*  
同 清原千鶴\*\* 同 原品 武\*\*  
同 山崎順二\*\*\* 同 前田朗\*\*\*\*

非鉄スラグ細骨材 高炉スラグ細骨材 乾燥収縮ひずみ  
電気炉酸化スラグ細骨材 強度試験 乾燥収縮ひび割れ

## 1. はじめに

製鉄過程および非鉄金属を製錬する際において副産される高炉スラグ細骨材(以下, BFS), 電気炉酸化スラグ細骨材(以下, EFS), フェロニッケルスラグ細骨材(以下, FNS), 銅スラグ細骨材(以下, CUS)を用いたコンクリートは, 収縮低減効果が得られることや収縮ひび割れの抑止に対して効果が得られることが確認されている<sup>1)2)3)</sup>。本研究ではスラグ系細骨材を用いたコンクリートの細骨材の混合率の違いによる収縮ひび割れ抑制効果を明らかにするために, 強度特性, 乾燥収縮, 収縮ひび割れ試験を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験計画

使用した骨材の物性を表-1 に示す。細骨材は, FNS,CUS, EFS および BFS を使用し, 比較のために砕砂(以下 CS)を使用している。表乾密度については, いずれのスラグ細骨材もCSに比べて高くなっている。吸水率はCSよりFNS以外低い傾向が見られた。これはBFS, EFS および CUS 成分の中にSiO<sub>2</sub>のガラス質が多く含まれており, また, CUS および EFS については, 鉄分を含有しているので水が骨材に吸収されにくいと考えられる。吸湿率および平衡気乾含水率は, CS と比較してFNS,CUS および BFS が小さくなっている。

### 2.2 コンクリートの調合および実験項目

調合を表-2 に示す。水セメント比は50%とし, セメントには, 普通ポルトランドセメントを使用した。スランブ 18±2.5cm, 空気量 4.5±1.5%となるように試し練りを行い, 調合を決定した。FNS および BFS の混合率は50%および100%の2種類, CUS および EFS の混合率は50%の1種類とした。実験項目を表-3 に示す。実験では, FNS,CUS,EFS および BFS の使用による収縮低減効果および収縮ひび割れの抑制効果を検討した。

### 2.3 実験方法

強度試験においては, φ100×200mm の円柱試験体を用い圧縮強度試験(JIS A 1108), 弾性係数試験(JIS A 1149)および割裂引張強度試験(JIS A 1113)を行った。なお, 強度試験は表-3 に示す試験材齢において実施した。強度用試験体は, 恒温恒湿室内(温度 20℃, 相対湿度 60%)にて封緘養生を行い, 材齢 7 日で脱型し, 気中養生とした。

乾燥収縮試験には, 100×100×400mm の角柱試験体を用い, コンクリート内部に埋設した埋め込みゲージにてひずみの測定を行った。また, 材齢 7 日で脱型し, 100×400mm の試験

表-1 使用した骨材の物性

骨材の種類	記号	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	微粒分量 (%)	吸水率 (%)	吸湿率 (%)	平衡気乾含水率 (%)	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)
砕砂	CS	2.64	4.7	1.78	0.71	0.54	6.45
フェロニッケルスラグ細骨材	FNS	3.02	3.6	2.05	0.13	0.07	0.51
銅スラグ細骨材	CUS	3.49	3.2	0.30	0.08	0.05	0.18
電気炉酸化スラグ細骨材	EFS	3.50	2.0	0.35	—	—	—
高炉スラグ細骨材	BFS	2.72	3.1	1.36	0.13	0.11	0.61
砕石 1	CG1	2.69	0.8	0.86	—	—	—
砕石 2	CG2	2.70	0.4	0.59	—	—	—

表-2 調合表

記号	W/C (%)	細骨材の種類		混合率 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>			W	C	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	CG <sub>1</sub>	CG <sub>2</sub>
CS0	—	—	0	46.9	180	360	826	0	374	564	
FNS50	50	FNS	50	46.9	180	360	413	473	374	564	
FNS100	100	FNS	100	49.9	180	360	0	997	445	445	
CUS50	50	CUS	50	47.5	180	360	413	546	374	564	
EFS50	50	EFS	50	49.9	180	360	439	578	445	445	
BFS50	50	BFS	50	41.5	180	360	413	426	374	564	
BFS100	100	BFS	100	49.9	180	360	0	898	445	445	

表-3 実験項目

実験項目	試験体寸法 (mm)	試験体数 (本)	測定開始材齢 (日)	養生条件
フレッシュ性状	—	—	—	—
圧縮強度 (ヤング係数)	φ100×200	3	7, 28,	7 日まで封緘 その後 気中
割裂引張強度		3	28	
乾燥収縮ひずみ	100×100×400	1	7	
乾燥収縮ひび割れ	100×100×1100	2	7	

体側面 2 面を乾燥面とし, その他の面をアルミ箔テープによりシールして恒温恒湿室(温度 20℃, 相対湿度 60%)で気中養生とした。

乾燥収縮ひび割れ試験は, 日本コンクリート工学会で提案されているコンクリートの収縮ひび割れ評価試験方法に準拠し, 1 水準につき 2 体作製した。材齢 7 日に脱型し, 100×1100mm の試験体側面 2 面を乾燥面とし, その他の面をアルミ箔テープによりシールし, 乾燥を開始した

## 3. 結果および考察

### 3.1 フレッシュ性状

フレッシュ性状の一覧を表-4に示す。FNS,CUS, EFSおよび BFSを用いた場合, CSに比べてブリーディング量が多くなって

いる。スランブは18.0±2.0cm, 空気量は4.5±1%の範囲内にはば収まっている。

### 3.2 強度試験

圧縮強度試験結果を図-1 に示す。ヤング係数の測定結果を図-2 に示す。それぞれの図では、CS を用いたコンクリートの圧縮強度およびヤング係数に対するスラグ系細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度比およびヤング係数比を示したものである。圧縮強度比およびヤング係数比は、スラグ系細骨材の混合率が増加するに従い上昇している。特に FNS を 100%用いたコンクリートの圧縮強度比は 1.5, ヤング係数は 1.8 となっており、FNS を使用した場合圧縮強度およびヤング係数の増進効果が高い。また、いずれのスラグ系細骨材においても圧縮強度比よりヤング係数比の方が高い値をしめしている。

このような圧縮強度およびヤング係数の増進効果は、スラグ系細骨材の使用による圧縮強度増進の要因として、スラグ系細骨材の反応層による強度が影響<sup>4)</sup>していると考えられる。

### 3.3 乾燥収縮ひずみ試験

CS を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみに対する各スラグ系細骨材の乾燥収縮ひずみ比を図-3 に示す。CS を用いたコンクリートに比べ、スラグ系材骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみはいずれも小さいことが確認された。また、スラグ骨材使用のコンクリート試験体では、混合率が増加するに伴い乾燥収縮ひずみが低減している。

### 3.4 収縮ひび割れ試験

収縮ひび割れ材齢を図-4 に示す。CS を用いたコンクリートと比べてスラグ系細骨材は、ひび割れ材齢が延びていることが確認された。特に FNS においては混合率の増加によってひび割れ材齢が大幅に延びている。

## 4. まとめ

スラグ系細骨材を使用したコンクリートは、圧縮強度およびヤング係数が増加し、その傾向は混合率の増加とともに大きくなる。また、混合率の増加とともに乾燥収縮ひずみが低減し、乾燥収縮ひび割れ抑制効果が高くなることも確認できた。

今後は混合率の増加に伴うブリーディング量の増加の影響について検討を行っていく予定である。

### 【参考文献】

- 1)日本建築学会:フェロニッケルスラグ細骨材または銅スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・製造・施工指針・同解説,2018,12
- 2)齊藤和秀, 木之下光男, 井原俊樹, 吉澤千秋:高炉スラグ細骨材を使用した耐久性向上コンクリートの性質, コンクリート工学年次論集, vol.32, No.1, pp.139-144, 2009
- 3)中里侑司, 真野孝次:電気炉酸化スラグ系細骨材を用いたコンクリートに関する研究 その 8:硬化コンクリートの基礎物性), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.133-134, (2004)
- 4) 原品武, 今本啓一, 清原千鶴, 真野孝次:非鉄スラグ細骨材を用いたコンクリートの強度特性および乾燥収縮に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, vol.83, No.750, pp.1087-1095, 2018.8

表-4 フレッシュ性状

記号	S <sub>2</sub> 混合率 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 (°C)
CS0	0	20.0	4.7	19
FNS50	50	18.0	4.9	19
FNS100	100	19.5	4.9	25
CUS50	50	17.0	3.3	20
EFS50	50	20.0	4.3	26
BFS50	50	18.0	4.1	21
FNS100	100	20.5	5.2	25

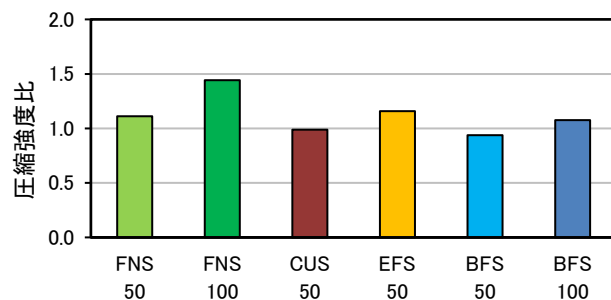


図-1 圧縮強度試験結果

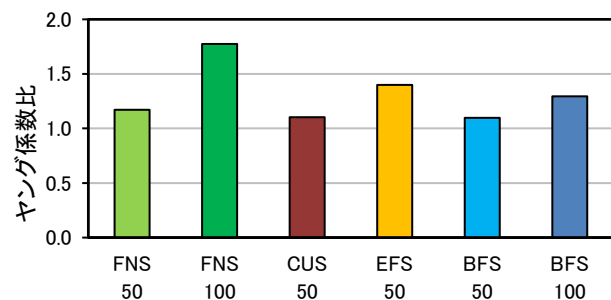


図-2 ヤング係数の測定結果

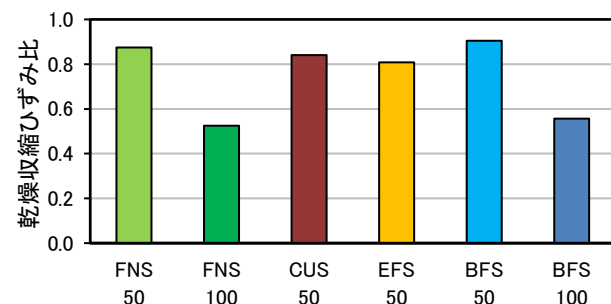


図-3 乾燥収縮ひずみ (乾燥期間:150 日)

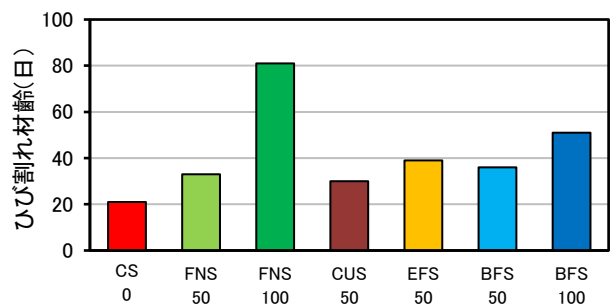


図-4 収縮ひび割れ発生材齢

\* (株)関西宇部  
 \*\* 東京理科大学  
 \*\*\* 浅沼組  
 \*\*\*\* 大阪兵庫生コンクリート工業組合

\* Kansai Ube Corporation  
 \*\* Tokyo University of Science  
 \*\*\* ASANUMA Corporation  
 \*\*\*\* Osaka-Hyogo Ready Mixed Concrete Industrial Association