

石炭ガス化スラグ骨材を使用したモルタルの材齢1年間における物性変化

太平洋セメント (株) 正会員 ○安田 瑛紀 正会員 立岩 華英
正会員 黒野 承太郎 正会員 河野 克哉

1. はじめに

エネルギー効率に優れた新しい発電方式として「石炭ガス化複合発電」の実用化が進められている。この発電において、ガス化炉内に石炭溶融スラグ (CGS: Coal Gasification Slag) が副産物として発生し、これを磨砕して粒形や粒度を整えることで「石炭ガス化スラグ骨材 (以下、CGS 骨材)」が得られる。この骨材は、2020年に JIS A 5011-5 としてコンクリート用スラグ骨材のひとつとして JIS 制定されたものの、硬化後の物性に与える影響については不明な点もある。そこで、CGS 細骨材を使用したモルタルを作製し、山砂を使用した場合と比較する形で各種強度、収縮および細孔径分布の測定のほか、骨材とペースト界面の顕微観察を実施した。

2. 実験方法

2. 1 実験ケース

表-1 に示すように、強度レベルと細骨材種類が異なる全4水準のモルタルを作製した。強度レベルは水セメント比 (W/C) を50%または30%とすることで調整した。比較用の細骨材としては山砂を用意した。

2. 2 材料ならびに配合

練混ぜ水として上水道 (W) を、セメントとして普通ポルトランドセメント (C) を、細骨材として山砂 (S_M) と CGS 骨材 (S_C) をそれぞれ用意した。ここで、細骨材に対する各種物性試験の結果を表-2 に示す。ここで、

表-1 実験ケースならびに配合表

No.	水準	W/C	細骨材種類	単体量 (kg/m ³)			
				W	C	S_M	S_C
1	M-50	50%	山砂	343	686	1028	-
2	C-50	50%	CGS 骨材	343	686	-	1116
3	M-30	30%	山砂	273	908	1028	-
4	C-30	30%	CGS 骨材	273	908	-	1116

表-2 細骨材の物性値

項目	試験方法	単位	測定値	
			山砂	CGS 骨材
粗粒率	JIS A 1102	-	2.63	2.62
表乾密度	JIS A 1109	g/cm ³	2.57	2.79
絶乾密度		g/cm ³	2.52	2.78
吸水率	JIS A 1104	%	1.98	0.35
単位容積質量		kg/L	1.74	2.03
実積率	JIS A 1103	%	66.7	73.2
微粒分量		%	1.30	4.19

CGS 骨材は密度が高く、吸水率が低いこと、実積率は山砂よりも高く、微粒分量は多いことがわかる。

混和剤には AE 減水剤 (AE)、高性能 AE 減水剤 (SP) および消泡剤 (DF) を用意し、AE は W/C=50% の水準で、SP は W/C=30% の水準でそれぞれ使用した。

配合表は表-1 に示すとおりであり、いずれの水準でも細骨材の絶対容積を 400L/m³ に統一した。

2. 3 試験体作製方法

養生方法は、水中養生ならびに気中養生の2条件を用意し、試験項目に応じて実施した。いずれの養生方法の場合にも材齢1日で脱型を行い、その後、材齢28日まで水中養生 (20°C) を行った。水中養生を行う場合は所定の材齢まで水中養生を継続し、気中養生を行う場合には材齢28日以降は気中環境 (20°C, 60% R.H.) に静置することで乾燥させた。

3. 実験結果

3. 1 フレッシュ性状

フレッシュ性状試験の結果を表-3 に示す。細骨材の種類が流動性に及ぼす影響は小さく、所要のフローを得るための AE ならびに SP の添加量は同程度であった。空気量は、CGS 骨材を使用する場合に低下する傾向を示し、骨材に含まれる炭素分による影響と考える。ブリーディング率は CGS 骨材の使用によって増加し、これは骨材の粒形や粒度による影響と考えられる。

3. 2 強度特性

養生期間364日における圧縮・曲げ強度の比較を表

表-3 フレッシュ性状試験の結果

水準	AE/SP 量 (C×%)	DF 量 (C×%)	フロー*1 (mm)	空気量 (%)	ブリーディング率*2 (%)
M-50	0.2	0.002	227	1.9	2.5
C-50	0.2	0.002	239	0.6	4.2
M-30	1.0	0.002	254	1.7	1.4
C-30	0.9	0.002	256	1.4	2.5

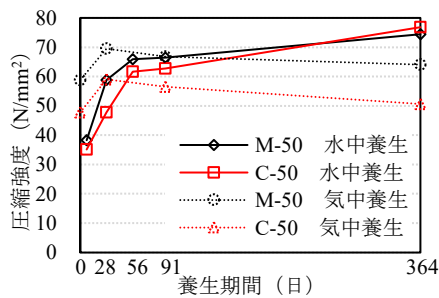
*1: JIS R 5201 にて (落下振動のないフロー), *2: JSCE-F522-2018 にて

表-4 養生期間364日における圧縮・曲げ強度

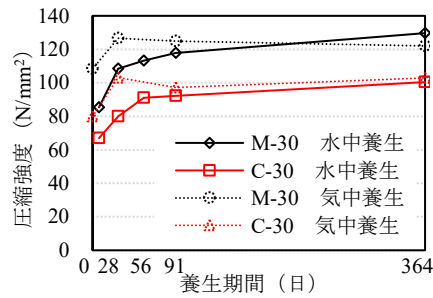
水準	圧縮強度 (N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)	
	水中養生	気中養生	水中養生	気中養生
M-50	74.4	62.3	6.6	5.4
C-50	76.8	52.7	7.2	4.4
M-30	130	123	10.1	9.2
C-30	100	101	9.8	8.2

キーワード 石炭ガス化スラグ骨材, 産業副産物, 骨材, 乾燥収縮, ポズラン活性

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント (株) 中央研究所 TEL. 043-498-3893



(a) W/C=50%



(b) W/C=30%

図-1 圧縮強度の経時変化

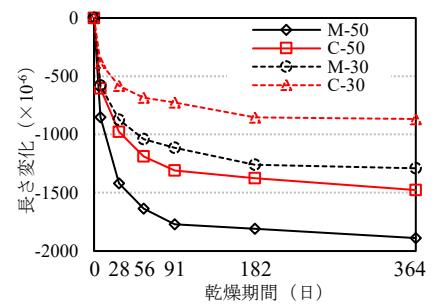


図-2 乾燥収縮の履歴

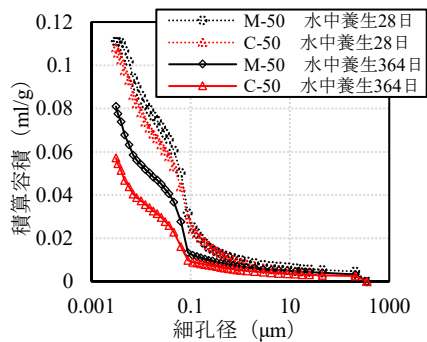
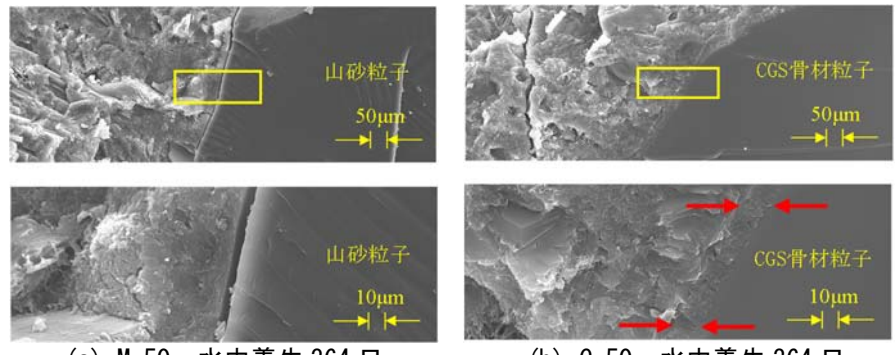


図-3 W/C=50%における水中養生中の細孔径分布の変化



(a) M-50 水中養生 364日

(b) C-50 水中養生 364日

図-4 二次電子像による観察結果(下段は上段の黄枠部を拡大したもの)

一4に示す。なお、圧縮強度の測定には寸法 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の試験体を、曲げ強度の測定には寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の試験体をそれぞれ使用した。圧縮強度は、図一1に示すように、気中養生では山砂を使用した方が全ての材齢を通じて高く、水中養生ではCGS骨材を使用した方が長期にわたって増進しており、W/C=50%の場合には水中養生364日の圧縮強度はCGS骨材を使用した方が高くなった。

曲げ強度は、表一4に示すように、水中養生では骨材種類にかかわらず同程度である一方、気中養生の場合にはCGS骨材を使用することで低下する傾向となった。

3. 3 乾燥収縮

気中養生中における長さ変化を図一2に示す。長さ変化は寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の試験体にて測定した。CGS骨材を使用することで山砂を使用した場合とくらべて収縮量は3割ほど低減し、これはCGS骨材の吸水率が低く、ヤング係数が高いため、収縮変形を拘束することに起因すると考える。

3. 4 空隙構造ならびに硬化組織の観察

CGS骨材の使用によって圧縮強度が増進したW/C=50%の試験体に対し、水中養生28日と水中養生364日において水銀圧入式ポロシティメータで細孔径分布を測定した。測定結果は図一3に示すように、水中養生28日から364日まで経過することで、CGS骨材を

使用した場合に細孔容積量が減少し、硬化組織が緻密化していることを示唆する。さらに、水中養生364日におけるセメントペースト-骨材界面の二次電子像を図一4に示す。CGS骨材粒子の外周部では、図中の赤矢印で示すように、反応生成物と思われる層状の物質が観察された。また、セメントペーストと山砂粒子の界面には空隙が認められる。

これは、シリカ質であるCGS骨材のポゾラン活性によると考えられ、水中養生における圧縮強度の増加や空隙の緻密化に寄与したものと推察する。W/Cが高い場合にこの傾向はより明確になっており、これは硬化体中に外部から水が浸透しやすいため、骨材の反応が促進されたものと考えられる。

4. まとめ

石炭ガス化スラグ骨材を使用したモルタルの、材齢1年間の物性変化を検討した。その結果、水中養生を行った場合には材齢に伴う圧縮強度の増加と細孔容積量の減少が顕著であった。このとき、二次電子像の観察結果から骨材粒子の表面には反応物と思われる物質の生成が認められ、骨材の反応性が発揮されたものと考えられる。

本研究は、土木学会コンクリート委員会「石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計・施工小委員会(255)」の中の活動の一環として実施したものである。