

軽質炭酸カルシウムと高炉スラグ微粉末を併用したモルタルの
流動性及び強度発現性に関する研究
(その1) 軽質炭酸カルシウムが初期流動性に及ぼす影響
ー G I 基金事業『CUCO』開発成果ー

(株)フローリック 正会員 ○熊本 光弘 正会員 Rosyad Mohammad 正会員 西 祐宜 正会員 松沢 友弘
鹿島建設(株) 正会員 向 俊成 正会員 取違 剛 正会員 閑田 徹志

1. はじめに

近年の建設業界において、カーボンニュートラル社会に向けた対応技術としてコンクリートの CO₂ 削減および固定化に関する研究が急調に推進されており、筆者らもコンソーシアム「CUCO (Carbon Utilized CO₂ Concrete)」の一員として、研究開発を進めている¹⁾。同事業において筆者らは、新規 CCU 材料である、ボイラー排ガス中の CO₂ から生成した工業用の軽質炭酸カルシウム粉末²⁾(以降 EC)を題材に、当該材料のコンクリートへの適用性評価や化学混和剤による課題解消を目的とした検討を進めている。

本研究では、セメントおよび環境負荷低減材料として利用が推進されている高炉スラグ微粉末(以降 BFS)を併用したモルタルに、EC を使用した場合の流動性および強度特性の基礎的評価を実施したので、本報にてその概要と初期流動特性について主に示すものとした。

2. 試験概要

表-1 に使用材料、表-2 に試験配合の水準を示す。実験シリーズ I では、W/B=50%一定条件で BFS 置換率を 0,45,70%の3水準設定し、EC を W,N,BFS で構成された結合材ペースト容積に対して置換する構成とした。この水準を基準に、シリーズ II では BFS 置換率 0,70%に限定して W/B=30%とした場合、シリーズ III では W/B=50%にて EC を細骨材に容積置換した場合の性質をそれぞれ評価した。

化学混和剤は、W/B=50%では AE 減水剤高機能タイプ(Ad)、W/B=30%ではポリカルボン酸系の分散剤(PC)を使用し、空気量の影響除外のため消泡剤も添加した。またシリーズ III においては、従来のタンカル混和材として石灰石微粉末(LP)を EC との比較に用いるものとした。

なお、EC の含水率が 3.8%と粉体としては多いため、骨材表面水と同様に扱い補正して計量するものとした。

表-3、表-4 にモルタルの容積配合をシリーズ別に示す。各配合は、W/C=50%、単位水量 175kg/m³、単位粗骨材量 360L/m³ の一般強度コンクリートを想定した配合を基準に設定しており、各結合材にて EC と結合材ペーストの容積比 V_{EC}/V_{BP} が 0,3,6,9%(シリーズ III では 9%を除く)となる 4 水準を設定した。試験環境は 20℃とし、試料はモルタルミ

表-1 使用材料

種別		記号	産地・物性等
結合材 B	水	W	上水道水、密度: 1.00g/cm ³
	普通ポルトランドセメント	C (N)	密度: 3.16g/cm ³ 、比表面積: 3240cm ² /g
	高炉スラグ微粉末	BFS	密度: 2.89g/cm ³ 、比表面積: 4390cm ² /g
タンカル CC	軽質炭酸カルシウム	EC	密度: 2.46g/cm ³ 、比表面積: 3000cm ² /g 水分: 3.8%
	石灰石微粉末(重質炭酸カルシウム)	LP	密度: 2.71g/cm ³ 、比表面積: 7840cm ² /g 水分: 0.18%
	細骨材	S	掛川産山砂、表乾密度: 2.59g/cm ³
混和剤 Ad	AE 減水剤高機能タイプ	Ad1	リガニスルホン酸塩、ナリカルボン酸塩、ポリカルボン酸系化合物(PCE)
		Ad2	Ad1 より PCE 比率の高い AE 減水剤
	高減水性分散剤	PC	高減水性ポリカルボン酸系化合物

表-2 配合水準

シリーズ	W/B	BFS 置換率(%)	EC 用法	CC 種類	混和剤
I	50%	0, 45, 70 (N,BB,BC)	結合材ペースト容積置換	EC	Ad
II	30%	0, 70 (N,BC)		EC	PC
III	50%	0, 45, 70 (N,BB,BC)	細骨材容積置換	EC, LP	Ad

表-3 モルタル容積配合 (シリーズ I, II)

シリーズ	code	W/B (%)	BFS 置換率 (%)	V _{EC} /V _{BP} (%)	単位容積量(ml/L)						
					粉体ペースト				S	Air	
					結合材ペースト			EC			
I	N50	50	0	0	277	175	-	0	538	10	
	N50-E3			3	269	170	-	13			
	N50-E6			6	261	165	-	25			
	N50-E9			9	253	160	-	38			
	BB50	45	45	0	277	96	86	0	531		
	BB50-E3			3	269	94	84	13			
	BB50-E6			6	261	91	81	27			
	BB50-E9			9	253	88	79	39			
	BC50	70	70	0	277	53	134	0	527		
	BC50-E3			3	269	51	130	13			
	BC50-E6			6	261	49	126	27			
	BC50-E9			9	253	48	122	39			
II	N30-E0	30	0	0	277	292	-	0	421		
	N30-E3			3	269	284	-	16			
	N30-E6			6	261	275	-	33			
	N30-E9			9	253	267	-	49			
	BC30-E0	70	70	0	277	88	223	0	402		
	BC30-E3			3	269	85	217	17			
	BC30-E6			6	261	83	211	33			
	BC30-E9			9	253	80	204	50			

キーワード CUCO, 軽質炭酸カルシウム, 高炉スラグ微粉末, 石灰石微粉末, 初期流動性, 化学混和剤
連絡先 〒355-0002 埼玉県東松山市東平 1551
(株)フローリック 技術本部 東日本技術センター TEL0493-23-6846

キサにて、細骨材と粉体を空練り後、W+Ad を投入し低速 30s、高速 90s で練り混ぜた。

流動性はミニスランプフロー(以降 MSF)で評価し、目標値をコンクリートのスランプ 18cm 想定 MSF=175mm (W/B=50%)、フロー60cm 想定 MSF=300mm (W/B=30%)に設定し、所要混和剤量等について検討した。また一部、30cm 角の簡易断熱箱に投じたモルタル試料温度を計測し、注水から最大温度に到達するまでの時間を凝結特性の指標に用いた。

3. 初期流動性試験結果

図-1 にシリーズ I における Ad 添加率と MSF の関係を示す。BFS 置換率によらず、 V_{EC}/V_{BP} 増加に伴い粘性が卓越することに起因して流動性が低下し、所要混和剤量が増加した。N50-E9 では特に顕著で、Ad1 では添加率増加による MSF 確保が困難であったため、PCE 比率の高い Ad2 を使用した。

図中直線は最小二乗法による近似線であり、目標 MSF となる Ad 添加率を算出し、シリーズ III も同処理を施して図-2 に並記した。結合材ペースト置換における EC 増配に伴う混和剤増加は、BB、BC では一様であるが、N では増加幅が顕著であり、細骨材置換とした場合は全体的にやや低減される結果となった。また、LP を用いた場合は混和剤増加は少なく、EC より流動性に及ぼす影響が小さいことが確認された。図-3 に示すシリーズ II の MSF=300mm となる PC 固形分添加率の算出値より、W/B=30%にてポリカルボン酸系分散剤を用いた場合も、W/B=50%同様、EC による流動性低下が確認された。

図-4 にシリーズ I の簡易断熱箱内試料温度の最大温度到達時間を EC 量毎に示す。EC 量の多い水準ほど発熱が遅延しており、混和剤増量が要因と推察され、EC 使用に際しては過剰な混和剤添加率増大を考慮して配合を決定する必要がある。また、好適な混和剤の選定や開発による改善も期待される。

4. まとめ

BFS を使用したモルタルを対象に、CO₂ を原料とする新規 CCU 材料である EC を用いた場合の初期流動性について評価し、以下の知見を得た。

- 1) EC 量増加に伴い、所定の流動性となる混和剤量は水結合材比によらず増加するが、EC を細骨材置換した場合は結合材ペーストに置換した場合より混和剤量増加は低減される。
- 2) 軽質炭酸カルシウムである EC は、重質炭酸カルシウムである石灰石微粉末に比べ流動性低下が大きい。

謝辞：本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21014）を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

参考文献

- 1) 取達剛，森泰一郎，小島正朗：コンクリートの材料・施工技術および品質評価技術の開発—CUCO（Carbon Utilized CO₂ Concrete）によるカーボンニュートラル社会の実現へ—，コンクリートテクノ，Vol.42，No.1，pp.58-64，2023
- 2) 八木利之ら：エコタンカル CO₂ を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシウム，土木施工，Vol.62，No.11，pp.87-90（2021.11）

表-4 モルタル容積配合（シリーズⅢ）

シリーズ	code	W/B (%)	BFS 置換率 (%)	単位容積量(ml/L)						
				粉体ペースト					S	Air
				結合材ペースト			EC	LP		
W	C	BFS								
Ⅲ	N-0	50	0	291	184	-	0	-	515	10
	N-E3S			291	184	-	13	-	501	
	N-E6S			291	184	-	27	-	488	
	N-L6S			291	184	-	-	27	488	
	BB-0	45	45	291	101	91	0	-	507	
	BB-E3S			291	101	91	13	-	493	
	BB-E6S			291	101	91	27	-	480	
	BB-L6S			291	101	91	-	27	480	
	BC-0	70	70	291	55	141	0	-	502	
	BC-E3S			291	55	141	13	-	489	
	BC-E6S			291	55	141	27	-	475	
	BC-L6S			291	55	141	-	27	475	

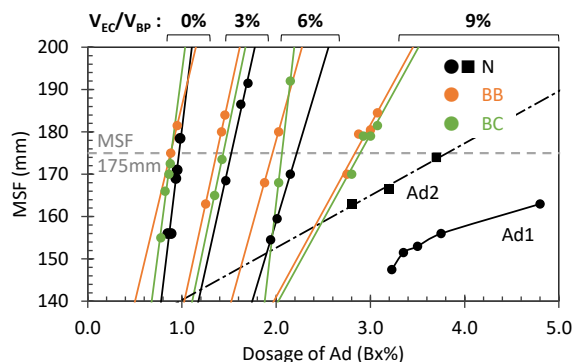


図-1 Ad 添加率と MSF の関係(シリーズ I)

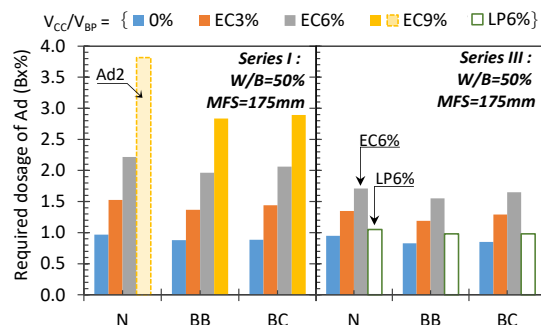


図-2 目標 MSF となる Ad 添加率(シリーズ I, III)

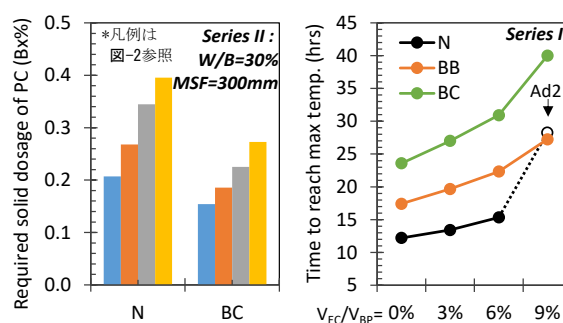


図-3 目標 MSF となる PC 固形分添加率(シリーズ II)

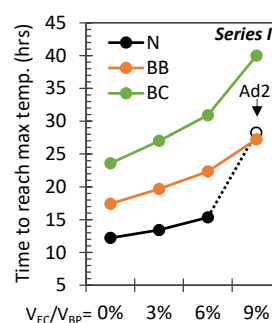


図-4 EC 量と最大温度到達時間(シリーズ I)