

## バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートのフレッシュ性状

清水建設株式会社 正会員 ○幸田 圭司 正会員 木原 亮太  
 正会員 山本 伸也 正会員 清水 和昭  
 正会員 田中 博一 正会員 久保 昌史

## 1. はじめに

近年、カーボンニュートラルへの対応から、環境配慮型コンクリートに関する様々な技術開発が進められている。筆者らは製造時のCO<sub>2</sub>排出量が少ない結合材に加え、CO<sub>2</sub>固定化を期待できる材料であるバイオ炭（バイオマス原料を不完全燃焼させて得られる炭化物）を併用することで、カーボンニュートラル達成可能な環境配慮型コンクリートを検討している。本稿では、バイオ炭をコンクリートに混和した場合のフレッシュ性状試験の結果についてまとめる。

## 2. 試験配合および試験方法

表-1 に本検討で使用した配合を、表-2 に使用材料の諸元を示す。セメント種類としては、製造時のCO<sub>2</sub>排出量の少ない高炉セメントB種（以下、BB）および高炉セメントC種相当のECMセメント（以下、ECM）を用いた。なお、BB配合とECM配合で強度レベルを同等とするため、ECM配合の水セメント比はBB配合に対して5%小さくした<sup>1)</sup>。また、バイオ炭は混和量15kg/m<sup>3</sup>、30kg/m<sup>3</sup>、60kg/m<sup>3</sup>の3水準を設け、細骨材容積に置換して使用した。使用したバイオ炭は粉状（粒径：1mm以下）と粒状（粒径：2~5mm）の2種類としたが、その理由としては、特に粉状の場合、混和量が多くなると所要のスランプ・空気量を確保することが困難となるためである。そのため、混和量60kg/m<sup>3</sup>の水準で用いるバイオ炭は粒状のみとしている。

試験方法としては、スランプ試験（JIS A 1101）、空気量試験（JIS A 1128）、ブリーディング試験（JCI-S-015-2018）をそれぞれ実施し、バイオ炭を混和した際のコンクリートのフレッシュ性状を確認した。なお、スランプおよび空気量の測定は練上り直後および練上りから30分静置後、60分静置後でそれぞれ実施した。

表-1 検討配合

セメント種類	配合略称	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							混和剤添加量	
				W	C	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	G	バイオ炭(粉)	バイオ炭(粒)	AE減水剤(C×wt%)	AE助剤(A)
BB	BB(基準)	55	45.5	169	307	327	490	1008	0	0	0.8	3.5
	BB炭15(粉)	55	44.7	169	307	318	475	1008	15	0	1.4	40
	BB炭30(粉)	55	43.9	175	318	303	454	994	30	0	1.3	80
	BB炭30(粒)	55	44.0	169	307	308	461	1008	0	30	1.0	40
	BB炭60(粒)	55	42.3	169	307	288	431	1008	0	60	1.5	3
ECM	ECM(基準)	50	45.5	169	338	321	481	989	0	0	0.8	2
	ECM炭15(粉)	50	44.7	169	338	311	466	989	15	0	1.0	20
	ECM炭30(粉)	50	43.9	169	338	301	451	989	30	0	1.4	20
	ECM炭30(粒)	50	43.9	169	338	301	451	989	0	30	0.8	20
	ECM炭60(粒)	50	42.3	169	338	282	422	989	0	60	1.0	10

表-2 使用材料の諸元

使用材料	産地・仕様	二酸化炭素排出原単位 <sup>2)</sup> (kg-CO <sub>2</sub> /kg)
水(W)	地下水	0.0002
セメント(C)	高炉セメントB種, 密度: 3.04g/cm <sup>3</sup>	0.4441
	ECMセメント, 高炉スラグ微粉末混入率65%, 密度: 2.96g/cm <sup>3</sup>	0.2645
細骨材①(S <sub>1</sub> )	栃木県佐野市産砕砂, 表乾密度: 2.66g/cm <sup>3</sup>	0.0034
細骨材②(S <sub>2</sub> )	千葉県市原市万田野産山砂, 表乾密度: 2.60g/cm <sup>3</sup>	0.0037
粗骨材(G)	栃木県佐野市産碎石, 表乾密度: 2.70g/cm <sup>3</sup>	0.0029
バイオ炭(粉状・粒状)	原料: おがくず, 密度: 1.60g/cm <sup>3</sup>	-2.5128
AE減水剤	変性リグニンスルホン酸化合物・ポリカルボン酸系化合物の複合体	—
AE剤	高級脂肪酸塩・非イオン系界面活性剤(バイオ炭混和配合)	—
	アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤(バイオ炭無混和配合)	—

キーワード カーボンニュートラル, バイオ炭, CO<sub>2</sub>固定化, フレッシュ性状

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設(株) 土木技術本部 TEL: 03-3561-3915

### 3. バイオ炭による CO<sub>2</sub>の固定効果について

図-1 に各配合の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。本検討で対象とするバイオ炭はおがくずを原料としたものであり、バイオ炭の農地施用を対象とした方法論<sup>2)</sup>によると、1kg あたり約 2.5kg の CO<sub>2</sub> を固定化した材料と捉えることができる。本検討配合では、バイオ炭を 60kg/m<sup>3</sup> 混和した場合、その他の材料に起因する CO<sub>2</sub> 排出量よりもバイオ炭による CO<sub>2</sub> 固定量が上回るため、カーボンネガティブを実現することが可能となる。

### 4. バイオ炭を混和したコンクリートのフレッシュ性状

表-1 に示す通り、バイオ炭を混和した場合、基準配合と同等のスランプ・空気量を確保するために必要な混和剤の添加量は増加した。これは、多孔質なバイオ炭がコンクリート中の自由水や混和剤を吸着したためであると考えられる。この傾向は粒状よりも粉状のバイオ炭を混和した場合に顕著であったが、要因としては、粉状の方が比表面積が大きいことに加え、粒状の場合、粒径が大きいバイオ炭が飽水状態になっていないことも可能性として考えられる。セメント種類で比較すると、BB 配合よりも ECM 配合の方が、所要のスランプ・空気量を確保するための混和剤量が少なく、ワーカビリティも良好であった。また、図-2 に BB 配合の、図-3 に ECM 配合のスランプ・空気量の試験結果をそれぞれ示す。バイオ炭混和の有無に関わらず、スランプ・空気量の経時保持性能はほぼ同等であった。

次に、各配合のブリーディング率を図-4 に示す。バイオ炭を混和することでブリーディング率が低減され、特に粉状の方がその効果が高かった。これは、バイオ炭がコンクリート中の自由水を吸水したためであると考えられる。一方で、粒状のバイオ炭を 60kg/m<sup>3</sup> 混和した場合、BB 配合、ECM 配合ともにブリーディング率は基準配合と同等であった。この要因については現時点では特定できていないため、今後検討が必要である。

### 5. まとめ

CO<sub>2</sub> 固定材であるバイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートについて、フレッシュ性状に関する各種試験を実施した。その結果、バイオ炭を混和した場合、所定のスランプ・空気量を確保するための混和剤量は増加するが、経時保持性は、静置状態では無混和の場合と同等であった。また、バイオ炭の混和量によっては、無混和の場合よりもブリーディングを低減できる可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 室野井 敏之, 坂井 吾郎, 井上 和政, 齋藤 和秀: 高炉スラグ高含有セメントを用いた土木用コンクリートの基礎物性に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013
- 2) 辻 大二郎, 小島 正朗, 檀 康弘: 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量を6割削減できる高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの実工事への適用, 建設機械施工Vol.69, No.3, pp.9-14, 2017.3
- 3) 農林水産省: J-クレジット制度におけるバイオ炭の農地施用を対象とした方法論に関する説明資料 (<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/forum/attach/pdf/biochar-1.pdf>)

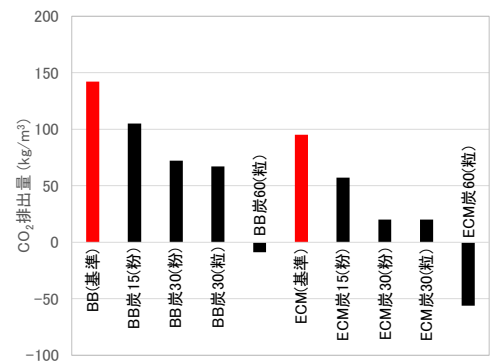


図-1 各配合の CO<sub>2</sub> 排出量

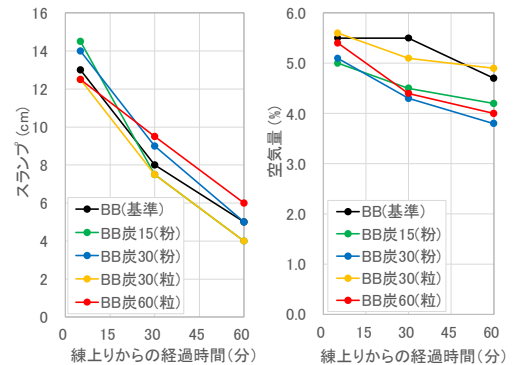


図-2 BB 配合のスランプ・空気量

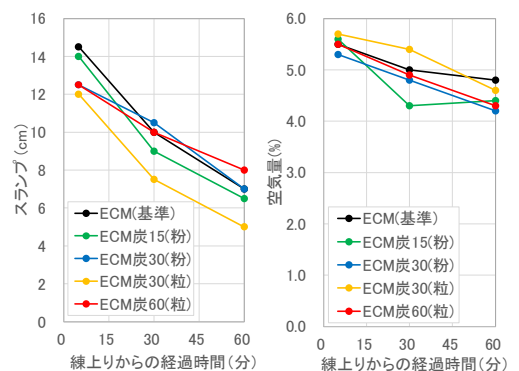


図-3 ECM 配合のスランプ・空気量

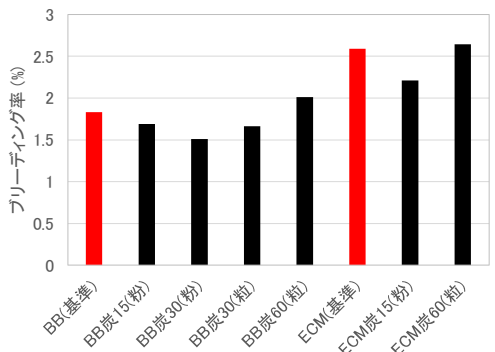


図-4 各配合のブリーディング率