

# 報告 排ガスを用いた再生粗骨材および床版ブロックの炭酸化

谷田貝 敦\*1・岩淵 崇宏\*2・安部 弘康\*3・福留 和人\*4

**要旨：**建設分野のカーボンニュートラルへの取組みとして、コンクリートの構成材料やコンクリート自体にCO<sub>2</sub>を吸収・固定化する取組みが進められている。本検討は、バイオマス発電所の排ガスを用いた再生粗骨材およびコンクリート床版ブロックの炭酸化を行いCO<sub>2</sub>固定量の把握を行った。その結果、再生粗骨材は30kg/t以上の、コンクリート床版ブロックは80kg/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>が固定化された。一方で、再生粗骨材およびコンクリート床版ブロックのいずれも炭酸化後のCa(OH)<sub>2</sub>含有率が1.0%以上確認されており、効率の良い炭酸化手法を確立することでより多くのCO<sub>2</sub>を固定化することが期待できる。

**キーワード：**排ガス, 再生粗骨材, コンクリート床版ブロック, CO<sub>2</sub>固定量

## 1. はじめに

近年、脱炭素社会の構築に向けて様々な取組みが推進されているが、全国地球温暖化防止活動推進センターの調査によると、2021年の世界全体の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の合計は約332億tであり、日本は3.0%の約998百万tのCO<sub>2</sub>となっている。この排出量は、全世界で5番目と日本は世界有数のCO<sub>2</sub>排出国であり、CO<sub>2</sub>排出量削減へ早急に取り組む必要がある。また、国内の温室効果ガスの排出量を2050年までに実質的にゼロとする、「2050年カーボンニュートラル」宣言により、多種多様な分野で温室効果ガス削減に向けた取組が加速している。

建設分野では、コンクリートに使用されるセメントが製造段階でCO<sub>2</sub>を多量に排出することが問題視されている。セメント製造時のCO<sub>2</sub>排出は燃焼などに使用されるエネルギー源由来と、石灰石の脱炭酸等の原料由来に分かれるが、両者を合計するとセメント製造によって排出されるCO<sub>2</sub>は年間4000万tを超えることが報告されている<sup>2)</sup>。これは国内の産業部門において第4位の排出量であり、セメント・コンクリート分野は、有効なCO<sub>2</sub>排出量の削減に向けた取組を早急に実施する必要がある。

一方で、セメント・コンクリートに含まれる水酸化カルシウム(以下、Ca(OH)<sub>2</sub>)やケイ酸カルシウム水和物(以下、C-S-H)が炭酸化することで、Calciteなどの化学的に安定した炭酸カルシウム(以下、CaCO<sub>3</sub>)を生成するため、CO<sub>2</sub>の固定材料として注目されている。このようなCO<sub>2</sub>を吸収する特性について国内のみならず、米国や欧州で研究開発・実証実験が進められている<sup>例え(3), 4)</sup>。

コンクリートを原料とした再生骨材は、骨材に付着したセメントペーストへのCO<sub>2</sub>固定による脱炭素化への貢献に加え、構造物の解体・改修時に発生する廃コンクリ

ートの再利用の観点からも循環型社会の形成への貢献も期待される。このような背景のもと、著者らはCO<sub>2</sub>濃度17%といった高濃度CO<sub>2</sub>環境下において再生骨材へのCO<sub>2</sub>固定化方法について検討を進めてきた<sup>5)</sup>。

本報告では、これまでに実施してきた再生粗骨材の炭酸化方法の社会実装に向けた検討の一環として、バイオマス発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を含むガスを用いた炭酸化試験を実施した。炭酸化の対象は、再生粗骨材およびコンクリート床版ブロック(以下、床版ブロック)としてCO<sub>2</sub>固定化特性の把握を試みた。

## 2. 試験概要

### 2.1 排ガスを用いた炭酸化方法

#### (1) バイオマス発電所から供給される排ガスの特性

本試験の炭酸化に使用したCO<sub>2</sub>供給源は、バイオマス発電所の発電時に発生する排ガスを用いた(以下、排ガス)。当該発電所の設備概要は、ボイラーに流動層ボイラーを用いており蒸気温度が360℃である。タービンは、抽気復水タービンを採用しており、発電出力は3550kwである。使用燃料は、木質廃材や間伐材などの木質チップであり、定格発電時は約140t/日の燃料を使用している。

表-1にバイオマス発電所から排出される排ガスの成分及び排出量の一例を示す。なお、本結果の測定場所は、最終的に排ガスが排出される煙突部で測定した結果である。発電所の主な燃料が木質材料であるため排ガスには約12%程度の水分が含まれている。CO<sub>2</sub>濃度は、約16.1%であり、著者らが実施してきた炭酸化試験と同程度の高

表-1 排ガスの成分及び排出量

水分量 Vol%	O <sub>2</sub> 濃度 %	CO <sub>2</sub> 濃度 Vol%	ガス 温度 ℃	排出量 (湿り) m <sup>3</sup> /h	排出量 (乾燥) m <sup>3</sup> /h
12	5.8	16.1	167	31265	27483

\*1 (株)安藤・間 技術研究所脱炭素技術開発部 担当課長 工修 (正会員)

\*2 (株)安藤・間 技術研究所脱炭素技術開発部 研究員 工修 (正会員)

\*3 (株)安藤・間 技術研究所構造・材料研究部 主席研究員 (正会員)

\*4 (株)安藤・間 技術研究所脱炭素技術開発部 担当部長 工博 (正会員)

濃度となっている<sup>5)</sup>。排ガスの排出量は排ガスの状態により異なるが、約 27000m<sup>3</sup>/h~31000m<sup>3</sup>/h となっている。

## (2) 炭酸化設備

図-1 に炭酸化養生設備の概要を示す。再生粗骨材および床版ブロックの炭酸化は、排ガス排出設備から排ガスを耐熱ブロワーにより炭酸化槽に供給して実施した。炭酸化槽に供給した排ガスは炭酸化槽を介して排気口へ流れるようにした。なお、本試験に用いた耐熱ブロワーは、最大 5.9m<sup>3</sup>/min の流量のものを用いた。

図-2 に再生粗骨材および床版ブロックを格納して炭酸化を行った炭酸化槽の概要を示す。本炭酸化では、下面が 5mm 以上の金網を設置した内箱にサンプルを所定量格納して炭酸化を行った。内箱は、金網部のみ排ガスを通す形状であり、排ガスは必ずサンプルを介して排出する仕組みとなっている。このような内箱を外箱に格納し、外箱の下部側面から排ガスを供給して炭酸化した。

写真-1 から写真-3 に炭酸化作業を示す。炭酸化作業はサンプルを格納した内箱を外箱に格納し、蓋をして排ガスの供給・排出管を接続した。内箱および配管を保温し、排ガス温度が大きく低下しないようにした。

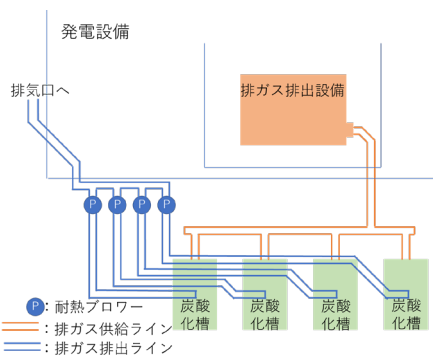


図-1 炭酸化養生設備の概要

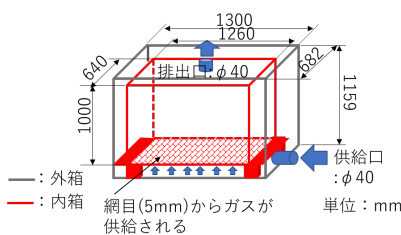


図-2 炭酸化槽の概要



写真-1 炭酸化作業 (内箱の格納)

## (3) 再生粗骨材の炭酸化

再生粗骨材の炭酸化の状況を写真-4 および写真-5 に示す。再生粗骨材は、炭酸化槽の内箱に 400kg 格納して排ガスを供給して 24 時間の炭酸化を行った。排ガス排出設備から供給管接続部の排ガスの温度は約 130℃となったが、炭酸化槽付近の供給管は約 80℃まで温度低下した。また、炭酸化前の骨材の状態は気乾状態で実施したが、炭酸化後の再生粗骨材は一部水分を持った状態となった。これは、排ガスが結露して排ガス中の水分などが再生粗骨材に供給されたと推測される。

## (4) 床版ブロックの炭酸化方法

床版ブロックの炭酸化状況を写真-6 に示す。床版ブロックの炭酸化は、炭酸化槽の内箱に寸法が



写真-2 炭酸化作業 (配管の接続状況)



写真-3 炭酸化作業 (炭酸化槽及び配管の保温)



写真-4 再生粗骨材の炭酸化方法



写真-5 炭酸化後の再生粗骨材

300×300×55mm の床版ブロックを 2 枚静置して排ガスを供給することで実施した。

床版ブロックの炭酸化養生条件を表-2 に示す。炭酸化期間は、2 日および 4 日とし、ケース 3 については既往の研究<sup>5)</sup>を参考に CO<sub>2</sub> 固定量を最大化するために乾湿繰返しを実施した。ケース 3 の乾湿繰返しは、気乾状態の床版ブロックを開始として、21 時間の炭酸化時に排ガスの結露で生じた水分を床版ブロックに供給し、その後、炭酸化槽から槽外に床版ブロックを取出し、3 時間の大気乾燥させることにより実施した。

炭酸化槽内の温度履歴例を図-3 に示す。同図は、ケース 3 の炭酸化槽内の結果を示しているが、槽内温度は最大で約 100℃まで温度上昇し、4 日間の炭酸化期間の平均温度は、約 62℃となった。このように床版ブロックの炭酸化は高温環境下で実施したが、発電量や外気温の条件により一定温度での養生とはならなかった。

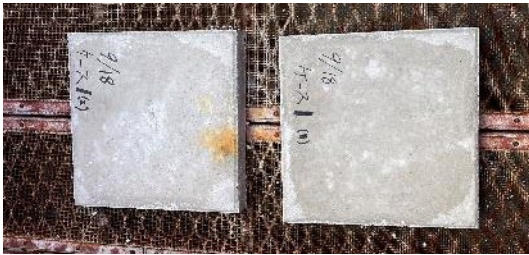


写真-6 床版ブロックの炭酸化状況

表-2 床版ブロックの炭酸化条件

	炭酸化期間 (日)	乾湿繰返し
ケース 1	2	無し
ケース 2	4	無し
ケース 3	4	有り

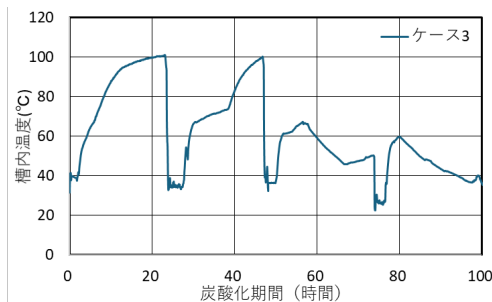


図-3 内箱の温度履歴例

## 2.2 分析および CO<sub>2</sub> 固定化の試算方法

### (1) 分析サンプルの準備

再生粗骨材の分析サンプルは、約 100kg の代表サンプルを採取して四分法により約 10kg まで縮分した。その後ジョークラッシャーにより粗粉碎して 100g まで縮分器で縮分し、アセトンにより水和停止を行った。本分析

は、上記で準備した 5 サンプルの平均を測定結果とした。

床版ブロックの分析サンプルは、床版ブロック製品の特性を把握することを目的とした。すなわち、約 10kg の床版ブロック 1 枚をジョークラッシャーにより全てを粗粉碎して 100g まで縮分器で縮分し、アセトンにより水和停止を行った。本分析は、上記で準備した 2 枚の床版ブロックの平均を測定結果とした。

### (2) 示差熱重量分析

示差熱重量分析 (以下, TG-DTA) は、乾燥試料を約 20mg 用いて、測定温度範囲を室温から 1000℃とし、昇温速度を 20℃/min で実施した。Ca(OH)<sub>2</sub> の測定は 450℃付近の脱水反応による質量変化を読み取り、式(1)により Ca(OH)<sub>2</sub> の含有率を算出した。脱水反応による質量変化は、DTA (示差熱) 曲線上における 450℃付近の吸熱・発熱前後に引いた接線の交点を、それぞれ反応開始温度 T1、反応終了温度 T2 とし、TG(熱重量)曲線上で求められる T1、T2 間の差を Ca(OH)<sub>2</sub> の脱水量とした(図-4)。

CO<sub>2</sub> 含有率は、既往の研究<sup>6)</sup>を参考にカルサイトの脱炭素温度域を 550℃から 850℃とした。この温度区間内で変化した質量変化分を用いて式(2)により CaCO<sub>3</sub> 含有率を算出した。また、式(3)により Ca(OH)<sub>2</sub> 含有率から CaCO<sub>3</sub> 含有率を試算した。

$$CH = M_{CH} \times \frac{Ca(OH)_2}{H_2O} \quad (1)$$

$$CC = M_{CC} \times \frac{CaCO_3}{CO_2} \quad (2)$$

$$CC_E = CH \times \frac{CaCO_3}{Ca(OH)_2} \quad (3)$$

ここに、CH : Ca(OH)<sub>2</sub> 含有率(%), M<sub>CH</sub> : Ca(OH)<sub>2</sub> の脱水による質量変化量(%), Ca(OH)<sub>2</sub> : Ca(OH)<sub>2</sub> の分子量 74.1g/mol, H<sub>2</sub>O : H<sub>2</sub>O の分子量 18.02 g/mol, CC : CaCO<sub>3</sub> 含有率(%), M<sub>CC</sub> : 550 から 850℃の脱 CO<sub>2</sub> による質量変化量(%), CaCO<sub>3</sub> : CaCO<sub>3</sub> の分子量 100.09 g/mol, CO<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> の分子量 44.01 g/mol, CC<sub>E</sub> : CH 含有率から推定した CaCO<sub>3</sub> 含有率

### (3) CO<sub>2</sub> 固定量の算出方法

再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 固定量は、式(4)により炭酸化前の CO<sub>2</sub> 含有率と炭酸化後の CO<sub>2</sub> 含有率の差から炭酸化前の

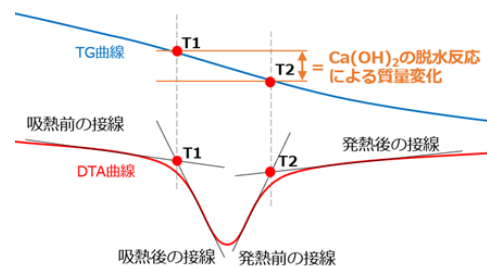


図-4 Ca(OH)<sub>2</sub> 脱水反応の質量変化の測定概要

1t 当たりに固定した量を求めた。この計算の CO<sub>2</sub> 固定量は、分析サンプルの状態が絶乾状態であり、コンクリートの原料とした場合の含水状態と異なる。そこで、炭酸化再生粗骨材の吸水率を用いて式(5)により表乾状態の CO<sub>2</sub> 固定量を算出した。

床版ブロックの CO<sub>2</sub> 固定量は、式(4)により炭酸化前の CO<sub>2</sub> 含有率と炭酸化後の CO<sub>2</sub> 含有率の差を計算し炭酸化前のコンクリート 1t 当たりに固定した量を求めた。この CO<sub>2</sub> 固定量を式(6)によりコンクリート 1m<sup>3</sup> 当たりの CO<sub>2</sub> 固定量に計算した。式(6)に用いたコンクリート密度は、炭酸化後の床版ブロックを 105℃で乾燥させて質量を測定し求めた絶乾燥状態の単位容積質量である。絶乾燥状態の単位容積質量をコンクリート密度とすることで、分析サンプルの状態と合わせることができ、このような条件で排ガス供給による床版コンクリート 1m<sup>3</sup> 当たりの CO<sub>2</sub> 固定量を求めた。

$$CO_{2k} = \left( CO_{2c} \times \frac{(100 - CO_{2c})}{(100 - CO_{2b})} - CO_{2b} \right) / 100 \times 1000 \quad (4)$$

$$CO_{2S} = CO_{2k} / \left( 1 + \frac{Q}{100} \right) \quad (5)$$

$$CO_{2V} = \rho_{cd} \times CO_{2k} \quad (6)$$

ここに、CO<sub>2k</sub>：炭酸化作業によって固定化された CO<sub>2</sub> 固定量(kg/t)、CO<sub>2c</sub>：炭酸化後の CO<sub>2</sub> 含有率(%), CO<sub>2b</sub>：炭酸化前の CO<sub>2</sub> 含有率(%), CO<sub>2s</sub>：表乾状態を想定した炭酸化粗骨材の CO<sub>2</sub> 固定量(kg/t)、Q：炭酸化粗骨材の吸水率(%), CO<sub>2v</sub>：絶乾状態のコンクリートの CO<sub>2</sub> 固定量(kg/m<sup>3</sup>), ρ<sub>cd</sub>：絶乾燥状の床版ブロックの単位容積質量(1782kg/m<sup>3</sup>) から求めたコンクリート密度(g/cm<sup>3</sup>)

### 3. 排ガスを用いた再生粗骨材の炭酸化

#### 3.1 炭酸化再生粗骨材

炭酸化養生に用いた再生粗骨材は、コンクリート塊を粉砕し、15mm および 5mm のふるいで調整して製造した。このような再生粗骨材を炭酸化した結果、表乾密度は 2.38 g/cm<sup>3</sup> となり、吸水率は 7.40% となった。

#### 3.2 再生粗骨材の Ca(OH)<sub>2</sub> および CaCO<sub>3</sub> 含有量

図-5 に炭酸化前後の再生粗骨材の Ca(OH)<sub>2</sub> 含有率と CaCO<sub>3</sub> 含有率を示す。Ca(OH)<sub>2</sub> は、blank 時の 2.4% と比べて炭酸化後は 1.6% に減少したが、24 時間の炭酸化では全ての Ca(OH)<sub>2</sub> が炭酸化することは無かった。炭酸化前の blank の CaCO<sub>3</sub> 含有率は約 26.4% となっており、原材料であるコンクリートに石灰系の骨材が使用されていた場合や供用中に炭酸化することで高い CaCO<sub>3</sub> 含有率となったことが推測される。このような再生粗骨材を炭酸化することで CaCO<sub>3</sub> 含有率は、33.8% となり、blank との差は約 7.4% となった。また、Blank からの Ca(OH)<sub>2</sub> 含有率の減少率から式(3)により試算した CaCO<sub>3</sub> 含有率は約

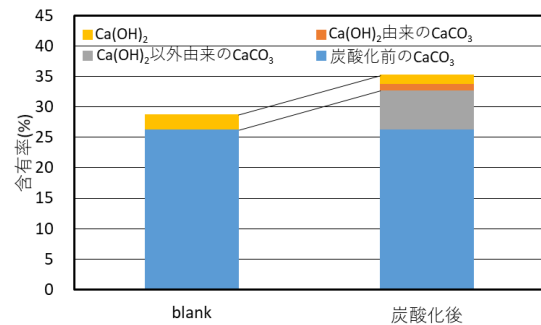


図-5 再生粗骨材の Ca(OH)<sub>2</sub> および CaCO<sub>3</sub> 含有率

表-3 再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 含有率および CO<sub>2</sub> 固定量

	CO <sub>2</sub> 含有率(%)	CO <sub>2</sub> 固定量(kg/t)	
	絶乾状態	絶乾状態	表乾状態
blank	11.6	-	-
炭酸化後	14.9	32.7	30.5

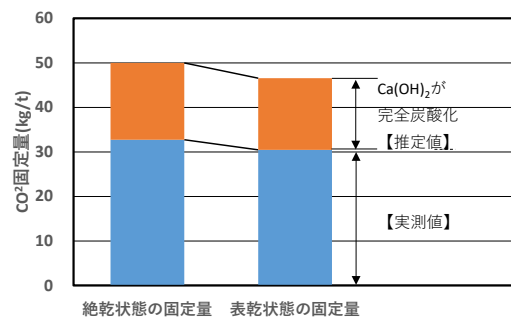


図-6 再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 固定量

1.1% となった。したがって、再生粗骨材の炭酸化は、Ca(OH)<sub>2</sub> の炭酸化だけでは CaCO<sub>3</sub> の生成量に達しないと考えられ、C-S-H などが炭酸化したものと推測される。

#### 3.3 再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 固定量

表-3 に再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 含有率および CO<sub>2</sub> 固定量を示す。同表では、炭酸化粗骨材の吸水率 (7.40%) を用いて式(5)により試算した表乾状態の CO<sub>2</sub> 固定量を合わせて示す。排ガスを用いて再生粗骨材に CO<sub>2</sub> を固定化した場合に乾燥状態で約 32.7kg/t となった。これをコンクリートに使用した場合を想定して表乾状態に換算すると 30.5kg/t となった。

図-6 に再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 固定量の実測値と Ca(OH)<sub>2</sub> が無くなるまで炭酸化した場合の推定値を示す。本試験に用いた再生粗骨材は、炭酸化後も Ca(OH)<sub>2</sub> が約 1.6% 含まれており、これが炭酸化した場合に乾燥状態で約 17.3kg/t、表乾状態で約 16.1kg/t の CO<sub>2</sub> 固定量が増加すると試算された。このように Ca(OH)<sub>2</sub> を完全炭酸化した場合でも CO<sub>2</sub> 固定量は大きく増加すると考えられ、C-S-H などが炭酸化した場合は更なる CO<sub>2</sub> の固定化が期待できる。CO<sub>2</sub> を最大限固定化する検討を今後の課題としたい。

#### 4. 排ガスを用いた床版ブロックの炭酸化

##### 4.1 床版ブロックの概要

床版ブロックの使用材料を表-4に、配(調)合を表-5に示す。結合材は、普通セメント、高炉スラグ微粉末および炭酸化スラッジ粉末を用いた。炭酸化スラッジ粉末は、濃度が20%のセメントミルクを模擬スラッジ水として製造し、そこに液化CO<sub>2</sub>をガス化してエアレーションすることで炭酸化したものを乾燥して製造した。細骨材は、コンクリート塊を粉砕し、5mm以下に調整した再生細骨材を屋外で約2カ月間の自然炭酸化した炭酸化再生細骨材を用いた。粗骨材は、3.に示す排ガスを用いて炭酸化した炭酸化再生粗骨材を用いた。このような材料を用いて、汎用の即脱コンクリートブロックの配(調)合を参考に設計基準強度を21N/mm<sup>2</sup>、水結合材比34%、空気量6%の床版ブロックを製造した。

写真-6~写真-8に床版ブロックの製造状況を示す。床版ブロックは、ゼロスランプのコンクリートを300×300×55mmの型枠に投入し、加圧振動により締固めを行って製造した。加圧振動により製造した床版ブロックは、即座に脱型して、運搬に適した強度を得るために60℃、3時間の蒸気養生を行った。

##### 4.2 床版ブロックのCa(OH)<sub>2</sub>およびCaCO<sub>3</sub>含有量

表-6に床版ブロックのCa(OH)<sub>2</sub>含有率およびCaCO<sub>3</sub>含有率を示す。Ca(OH)<sub>2</sub>含有率はBlankが約4.3%に対し、炭酸化後はそれぞれ、ケース1で約3.6%、ケース2で約3.6%、ケース3で約2.9%となった。いずれも炭酸化を行うことでCa(OH)<sub>2</sub>が減少した。一方で、ケース2はケース1と比べて炭酸化期間が長いにも関わらず、Ca(OH)<sub>2</sub>含有量に違いが生じなかった。

CaCO<sub>3</sub>含有率は、Blankが約27.2%に対し、炭酸化後はそれぞれ、ケース1で約34.8%、ケース2及びケース3は約36.1%となった。いずれも炭酸化養生を行うことでCaCO<sub>3</sub>含有率が増加し、特に養生期間が長いほどCaCO<sub>3</sub>含有率が大きくなった。

図-7に床版ブロックのCa(OH)<sub>2</sub>およびCaCO<sub>3</sub>の含有率を示す。式(3)によりBlankからのCa(OH)<sub>2</sub>含有率の減少量からCaCO<sub>3</sub>含有率を試算したところ、ケース1で1.0%、ケース2で1.0%、ケース3で1.9%となった。炭酸化後のCaCO<sub>3</sub>含有率の増加は、いずれもCa(OH)<sub>2</sub>から試算したものよりも大きくなり、C-S-Hなどの物質が炭酸化したものと推測される。また、ケース1およびケース2のCa(OH)<sub>2</sub>含有率の減少率は同一であるがCaCO<sub>3</sub>含有率はケース2の方が大きくなった。ケース3はCa(OH)<sub>2</sub>含有率の低下が最も大きいと同等のCaCO<sub>3</sub>含有率となった。本試験では、炭酸化期間が長いほどCaCO<sub>3</sub>含有率は大きくなり、乾湿繰返しなどの作業を行わない場合ではCa(OH)<sub>2</sub>の炭酸化が鈍化した。伊代田ら

表-4 床版ブロックの使用材料

種類	記号	諸特性
上水道水	W	
普通セメント	N	密度:3.16 g/cm <sup>3</sup>
高炉スラグ微粉末	BFS	密度:2.89 g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:4590 cm <sup>2</sup> /g
炭酸化スラッジ粉末	CSP	密度:2.60 g/cm <sup>3</sup> , 平均粒径:13.1 μm, 比表面積:8600 cm <sup>2</sup> /g, CO <sub>2</sub> 固定量:219kg/t
炭酸化再生細骨材	CRS	表乾密度:2.21 g/cm <sup>3</sup> , 絶乾密度:1.94g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:14.0% CO <sub>2</sub> 固定量:5.5kg/t
炭酸化再生粗骨材	CRG	最大寸法:15mm, 表乾密度:2.38 g/cm <sup>3</sup> , 絶乾密度:2.21g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:7.40%
美観剤	Ad.	界面活性剤

表-5 床版ブロックの配(調)合

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		W	N	BFS	CSP	CRS	CRG	Ad.
34	69.9	106	92	171	49	1123	521	0.93



写真-6 型枠への材料投入および締固め状況



写真-7 即脱状況



写真-8 蒸気養生状況

表-6 床版ブロックのCa(OH)<sub>2</sub>およびCaCO<sub>3</sub>の含有率

ケース	炭酸化期間(日)	乾湿繰返し	Ca(OH) <sub>2</sub> 含有率 (%)	CaCO <sub>3</sub> 含有率 (%)
blank	-	-	4.3	27.2
ケース1	2	無し	3.6	34.8
ケース2	4	無し	3.6	36.1
ケース3	4	有り	2.9	36.1

の報告<sup>7)</sup>によれば、高濃度CO<sub>2</sub>環境では、CO<sub>2</sub>の供給が速いため、はじめからCa(OH)<sub>2</sub>およびC-S-Hともに炭酸化し、未炭酸化のCa(OH)<sub>2</sub>を残したまま炭酸化が進行するとされている。排ガスを用いた炭酸化は、高濃度CO<sub>2</sub>環境下であったことから、Ca(OH)<sub>2</sub>の消費に伴うCaCO<sub>3</sub>

の生成で同様な傾向が生じたと推測される。

### 4.3 床版ブロックのCO<sub>2</sub>固定量

表-7に床版ブロックのCO<sub>2</sub>含有率およびCO<sub>2</sub>固定量を示す。排ガスを用いて床版ブロックにCO<sub>2</sub>を固定化した場合にコンクリート1m<sup>3</sup>当たりのCO<sub>2</sub>固定量は、ケース1で約70.8kg/m<sup>3</sup>となり、ケース2およびケース3で約83.6kg/m<sup>3</sup>となった。本試験のような条件では、炭酸化期間を少なくとも4日以上とすることで、床版ブロックに80kg/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>を固定化できることが確認できた。

図-8に床版ブロックのCO<sub>2</sub>固定量の実測値とCa(OH)<sub>2</sub>が無くなるまで炭酸化した場合の推定値を示す。床版ブロックは、いずれの炭酸化条件においても炭酸化後のCa(OH)<sub>2</sub>含有率が2.9%以上含まれている。このCa(OH)<sub>2</sub>が炭酸化した場合のCO<sub>2</sub>固定量を試算した結果、ケース1で約119kg/m<sup>3</sup>、ケース2で約132kg/m<sup>3</sup>、ケース3で約123kg/m<sup>3</sup>となった。このように、床版ブロックは、CO<sub>2</sub>固定量に対して大きなポテンシャルを秘めており、Ca(OH)<sub>2</sub>の完全炭酸化やC-S-Hなどの炭酸化によってCO<sub>2</sub>を最大限固定化する方法の検討が今後の課題である。

### 5. まとめ

本報告では、バイオマス発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を含むガスを用いて再生粗骨材および床版ブロックの炭酸化試験を実施した。本試験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 再生粗骨材を炭酸化した結果、全てのCa(OH)<sub>2</sub>が炭酸化することは無く、消費されたCa(OH)<sub>2</sub>よりもCaCO<sub>3</sub>の生成量が多いことから、C-S-Hなどの物質が炭酸化していることが推測された。
- (2) 再生粗骨材は、30kg/t以上のCO<sub>2</sub>を固定化できることが確認でき、含有するCa(OH)<sub>2</sub>が全て炭酸化することで、46kg/t以上のCO<sub>2</sub>固定量が期待される。
- (3) 床版ブロックは、4日間の炭酸化で約80kg/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>を固定化できることが確認でき、含有するCa(OH)<sub>2</sub>が全て炭酸化することで、119kg/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>を固定化することが期待される。

### 謝辞

本成果はNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務（JPNP21023）の結果得られたものです。国立環境研究所の藤井氏には、考察に関するご助言を頂きました。いぶきグリーンエナジー株式会社の松山氏、山室木材工業株式会社の清水氏にはバイオマス発電所内の炭酸化作業で各種ご協力を頂きました。関係各位に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター：

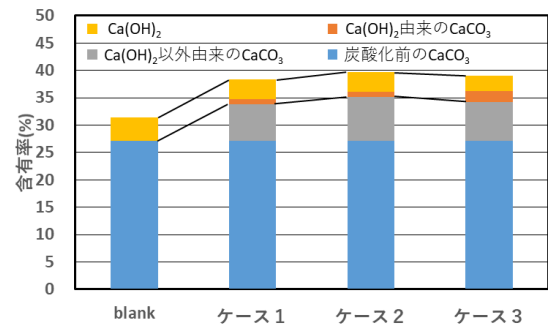


図-7 床版ブロックのCa(OH)<sub>2</sub>およびCaCO<sub>3</sub>の含有率

表-7 床版ブロックのCO<sub>2</sub>含有率およびCO<sub>2</sub>固定量

	CO <sub>2</sub> 含有率(%)	CO <sub>2</sub> 固定量(kg/m <sup>3</sup> )
blank	12.0	-
ケース1	15.3	70.8
ケース2	15.9	83.6
ケース3	15.9	83.6

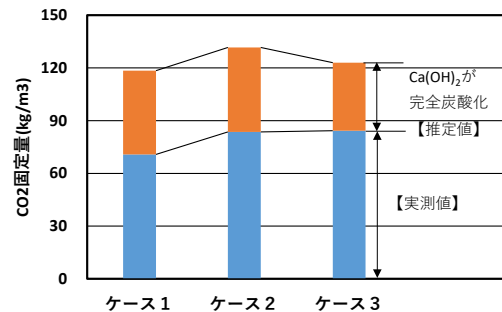


図-8 床版ブロックのCO<sub>2</sub>固定量

<https://www.jccca.org/download/66928>（閲覧日：2024年12月4日）

- 2) 一般社団法人セメント協会:[https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/220324\\_01.pdf](https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/220324_01.pdf)（閲覧日：2024年12月4日）
- 3) 取達剛，関健吾，渡邊健三，坂井吾郎：炭酸化養生によるCO<sub>2</sub>吸収型カーボンネガティブコンクリートの開発と今後の展開，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.813-818，2021.9
- 4) 山岸弘大：総合商社のカーボンリサイクルへの取り組みと海外技術の紹介，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.764-768，2021.9
- 5) 吉野玲，安部弘康，鈴木好幸，野口貴文：再生骨材への効果的なCO<sub>2</sub>固定方法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 45，pp.34-39，2023
- 6) 鈴木好幸，山本武志，小山拓，野口貴文：湿式分析とTG-DTAによるCO<sub>2</sub>含有率評価に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 45，pp.1258-1263，2023
- 7) 伊代田岳史，中村殉也，後藤誠史：セメント硬化体の炭酸化機構の検討—実環境と促進環境の相違について，セメント・コンクリート論文集，Vol. 72，pp.225-232，2019