

**巻末資料**  
**コンクリート・セメント分野の CO<sub>2</sub> 対策技術紹介**

No.	CO <sub>2</sub> 対策技術	紹介した企業・団体
①	CO <sub>2</sub> -SUICOM	鹿島建設(株)
②	CO <sub>2</sub> -TriCOM	中国電力(株)
③	DAC コート	清水建設(株)
④	強制炭酸化再生骨材を用いたコンクリート	東京電力 HD(株)
⑤	カーボンキュア (CarbonCure)	三菱商事(株)
⑥	T-Carbon Mixing	大成建設(株)
⑦	O.C.O Technology Limited	(株)神鋼環境ソリューション 三菱商事(株)
⑧	Blue Planet	三菱商事(株)
⑨	CCC (C <sup>4</sup> S プロジェクト)	東京大学・北海道大学
⑩⑮⑳㉔㉖	T-eConcrete シリーズ	大成建設(株)
⑪	クリーンクリート N	(株)大林組
⑫	バイオ炭コンクリート	清水建設(株)
⑬	リグニククリート	(株)大林組
⑭	ECM コンクリート	鹿島建設(株)
⑯	スーパーグリーンコンクリート	前田建設工業(株)
⑰	LHC (ローカーボンハイパフォーマンス コンクリート)	(株)安藤・間
⑱	BBFA 高強度コンクリート	(株)安藤・間
⑲	アッシュクリート	(株)安藤・間
㉑	ジオポリマー (ジオポリマー)	西松建設(株)
㉒	AAM コンクリート	西松建設(株)
㉓	現場打設型ジオポリマー「ポリマークリート」	(株)大林組
㉔	サスティンクリート (Sustain-Crete)	三井住友建設(株)
㉕	クリーンクリート	(株)大林組
㉖	スラグクリート	戸田建設(株)

## CO<sub>2</sub>-SUICOM 鹿島建設(株) ①

### (1) 技術概要

CO<sub>2</sub>-SUICOM (CO<sub>2</sub>-Storage and Utilization Infrastructure by Concrete Materials) は、産業副産物を活用するとともに、強制的な炭酸化(炭酸化養生)によって大量のCO<sub>2</sub>をコンクリート中に吸収させた、カーボンネガティブを実現できる環境配慮型コンクリートであり、中国電力(株)、鹿島建設(株)、デンカ(株)およびランデス(株)が共同開発したものである。

#### ① 産業副産物利用によるセメント使用量の低減

コンクリート製造時のCO<sub>2</sub>排出量はその大部分がセメント由来であるため、セメント使用量の低減がコンクリートのCO<sub>2</sub>排出量を削減するための有効な手段となる。CO<sub>2</sub>-SUICOMでは、セメント使用量を約1/3に低減し、その他に産業副産物である高炉スラグ微粉末や、産業副産物等を原料として製造する特殊混和材 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S ( $\gamma$ -2CaO・SiO<sub>2</sub>)などを使用する。特殊混和材 $\gamma$ -C<sub>2</sub>Sは基本的にはセメントと同じ成分であるが、水と反応せずCO<sub>2</sub>と反応して硬化する性質を有する。また、CO<sub>2</sub>-SUICOMで使用する $\gamma$ -C<sub>2</sub>Sは、産業副産物である副生水酸化カルシウムを用いるとともに、セメントと比較して低温で焼成する。そのため、製造時のCO<sub>2</sub>排出量は普通ポルトランドセメントの約1/5であり、セメント代替材料としてCO<sub>2</sub>削減に有効である。

#### ② 炭酸化養生によるCO<sub>2</sub>の吸収

CO<sub>2</sub>-SUICOMは特殊混和材 $\gamma$ -C<sub>2</sub>Sを配合することにより、CO<sub>2</sub>をコンクリート内部に効率的に吸収・固定できる。吸収するCO<sub>2</sub>の供給源の一例として火力発電所の排気ガスが挙げられる。火力発電所の排気ガス(CO<sub>2</sub>濃度は10%~20%程度)を利用する場合、発電所内に養生槽を設置し、脱型したコンクリートを搬入した後に発電所からの排気ガスを引き込む。効率的にCO<sub>2</sub>を吸収・固定できるよう養生槽内の温度・湿度を一定範囲で管理し、炭酸化養生を行う。



図 1.1 発電所内に設置した養生槽の例



図 1.2 養生槽へのCO<sub>2</sub>-SUICOM製品搬入状況

## (2) CO<sub>2</sub>削減量および適用実績

### ① CO<sub>2</sub>-SUICOM の CO<sub>2</sub>削減量と CO<sub>2</sub>吸収量

歩車道境界ブロックの一般製品と CO<sub>2</sub>-SUICOM の CO<sub>2</sub> 排出量の比較例を図 1.3 に示す。セメント使用量を通常の約 1/3 に低減し、産業副産物である高炉スラグ微粉末や石炭灰、および前述した特殊混和材  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S を利用することによる CO<sub>2</sub> の削減量 (▲197kg/m<sup>3</sup>) と、炭酸化養生による CO<sub>2</sub> の吸収量 (▲109kg/m<sup>3</sup>) の合計は▲306kg/m<sup>3</sup> となる。このように、CO<sub>2</sub>-SUICOM は一般製品と比べて大幅な CO<sub>2</sub> 削減を達成するとともに、その CO<sub>2</sub> 排出量は-18Kg/m<sup>3</sup> とカーボンネガティブも実現できるコンクリートである。

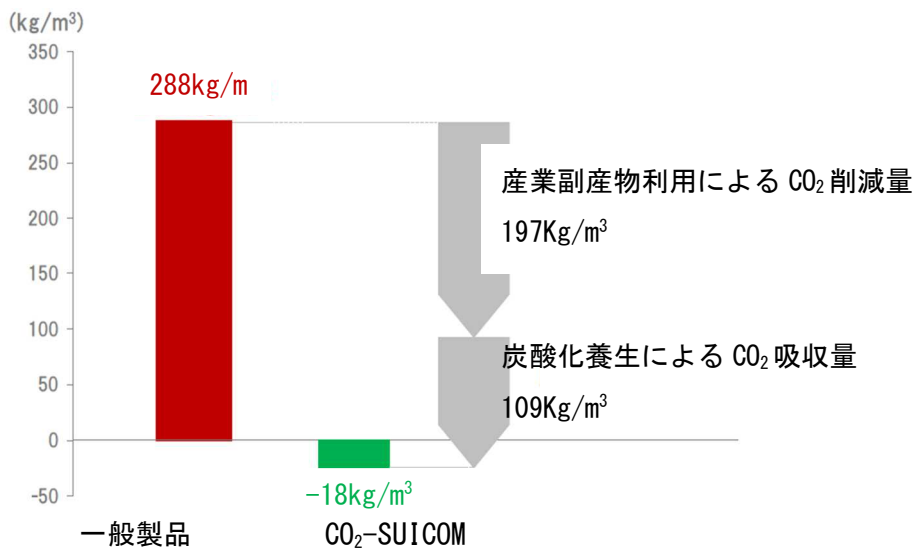


図 1.3 歩車道境界ブロックの CO<sub>2</sub> 排出量比較例

### ② CO<sub>2</sub>-SUICOM の適用実績

CO<sub>2</sub>-SUICOM は 2011 年から実工事で使用するプレキャストコンクリート製品に多数適用されている。

- ・歩車道境界ブロック (5 件)
- ・インターロッキングブロック (3 件)
- ・埋設型枠 (4 件)
- ・その他 (建築用プレキャストパネル・基礎ブロック  
護岸ブロック・張りブロック)



図 1.4 CO<sub>2</sub>-SUICOM 製歩車道境界ブロック

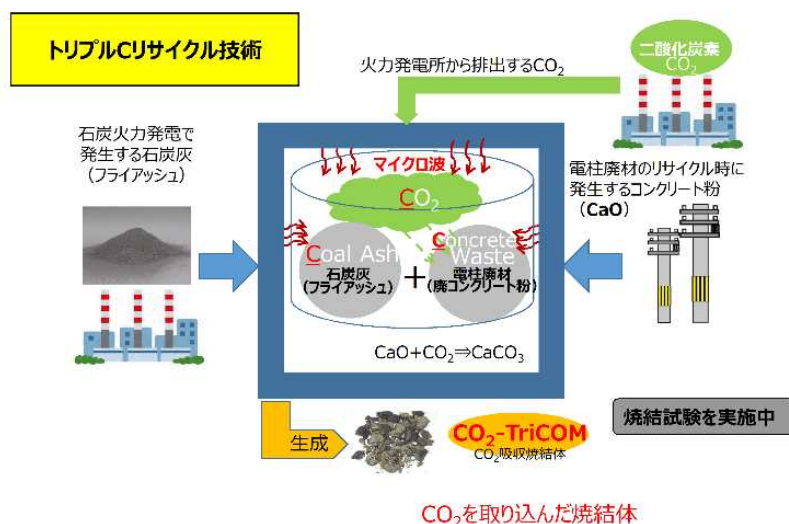
## (3) 今後の展望

現状の CO<sub>2</sub>-SUICOM は、CO<sub>2</sub> を養生槽で吸収させる製造工程があることなどから、製品の適用範囲が主にプレキャストコンクリート製品に限られている。そのため 2020 年から現場打設コンクリート構造物へ適用可能とするための技術開発に取り組んでおり、2020 年代中頃の商用化を目指している。

## CO<sub>2</sub>-TriCOM 中国電力(株) ②

### (1) 技術概要

CO<sub>2</sub>-TriCOM (シーオーツートリコム) とは、火力発電所から発生する石炭灰 (フライアッシュ : Coal ash) に加え、コンクリート電柱をリサイクルする際に発生する廃コンクリート粉 (Concrete waste) をカーボンリサイクルの鉱物化に分類される土木工事用の資材として再生させるリサイクル技術である。フライアッシュに加え、廃コンクリート粉を混合し、火力発電所から発生する CO<sub>2</sub> を加え、マイクロ波による加熱で焼結するとともに、廃コンクリート粉に含まれる酸化カルシウム (CaO) と CO<sub>2</sub> を反応させ、炭酸塩 (CaCO<sub>3</sub>) を生成、CO<sub>2</sub> を固定化する。CO<sub>2</sub>-TriCOM の命名については、3 つの CO を取り込んだ材料という意味から Triple CO Capture Material とし、それを略して TriCOM としている。CO<sub>2</sub>-TriCOM のイメージを図 2.1 に示す。



石炭火力発電所で発生する石炭灰は、フライアッシュとクリンカアッシュに大別される。フライアッシュは主にフライアッシュコンクリート等に使用されるが、クリンカアッシュは緑化基盤材、軽量盛土材、排水材などの幅広い用途がある。本技術により生成された焼結体は、クリンカアッシュに近い物理性状を示すため、軽量盛土材、緑化基盤材等として幅広く利用されることが期待される。

本技術開発について、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) が公募した「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO<sub>2</sub> 排出削減・有効利用実用化技術開発/コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの CO<sub>2</sub> 利用技術開発」に、中国電力株式会社、国立大学法人広島大学及び中国高压コンクリート工業株式会社の共同で応募し、2020年7月に採択された。また、中国高压コンクリート工業株式会社の再委託先として学校法人中部大学が参画している。

### (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績

本技術では、CO<sub>2</sub> 吸収量を焼結体 1t 当り 60 kg を目標としている。しかし、マイクロ波を用いて加熱することで、その消費電力により CO<sub>2</sub> が発生する。そのため、その消費電力を半減させるとともに、

焼結体 1t 当りの CO<sub>2</sub> 吸収量を 60 kg とすることにより、CO<sub>2</sub> 収支を 167 kg/t とすることを研究開発の目標としている。CO<sub>2</sub> 収支を抑制することにより、他の競合材料よりも CO<sub>2</sub> 収支が低くなる見込みである。

### (3) 今後の展望

商用化時には 5 万 t/年の製造を目標とし、2030 年度の商用化を目指し、さらなる研究を継続する。

### 参考文献

- 1) 香川慶太：マイクロ波を用いた日本初の CO<sub>2</sub> リサイクル技術～CO<sub>2</sub>-TriCOM, 化学工学, Vol.85, pp342-344
- 2) 香川慶太、宮本将太他：マイクロ波による CO<sub>2</sub> 吸収焼結体の研究開発 (CO<sub>2</sub>-TriCOM) ,令和 4 年度火力原子力発電大会 (広島大会) 要旨集
- 3) 香川慶太、宮本将太他：マイクロ波による CO<sub>2</sub> 吸収焼結体の研究開発～CO<sub>2</sub>-TriCOM～,日本電磁波エネルギー応用学会 JEMEA Web 機関紙 第 8 巻 pp11-13

## DAC コート 清水建設(株) ③

### (1) 技術概要

DAC (Direct Air Capture) コートは、表層に塗布した含浸剤を介してコンクリート構造物に大気中の  $\text{CO}_2$  を吸収・固定化させる技術である (図 3.1)。コンクリートは本来アルカリ性であるため、供用中に大気中の  $\text{CO}_2$  を吸収していく。DAC コートはその吸収速度を含浸剤塗布前の 1.5 倍以上に増大させることができる。

コンクリートが  $\text{CO}_2$  を吸収する現象は、元来、中性化と呼ばれ、内部鉄筋の腐食につながる劣化現象として扱われてきた。これに対し、DAC コートの主材となるアミン化合物は防食性能を有しているため、コンクリートの中性化に起因する鉄筋の腐食を抑制し、コンクリート構造物への  $\text{CO}_2$  固定促進と、その長寿命化の双方を同時に実現する。

DAC コート適用の有無による 5 年間の  $\text{CO}_2$  固定量をシミュレーションにより比較した結果を図 3.2 に示す。図はコンクリート表面からの深さとコンクリートの組成を示しており、DAC コートを適用することで、コンクリートのより深くまで、より多くの  $\text{CaCO}_3$  が生成していることがわかる。この  $\text{CaCO}_3$  は、 $\text{CO}_2$  がコンクリート中の水酸化カルシウムと反応して生じたものであり、 $\text{CO}_2$  固定量に相当する。

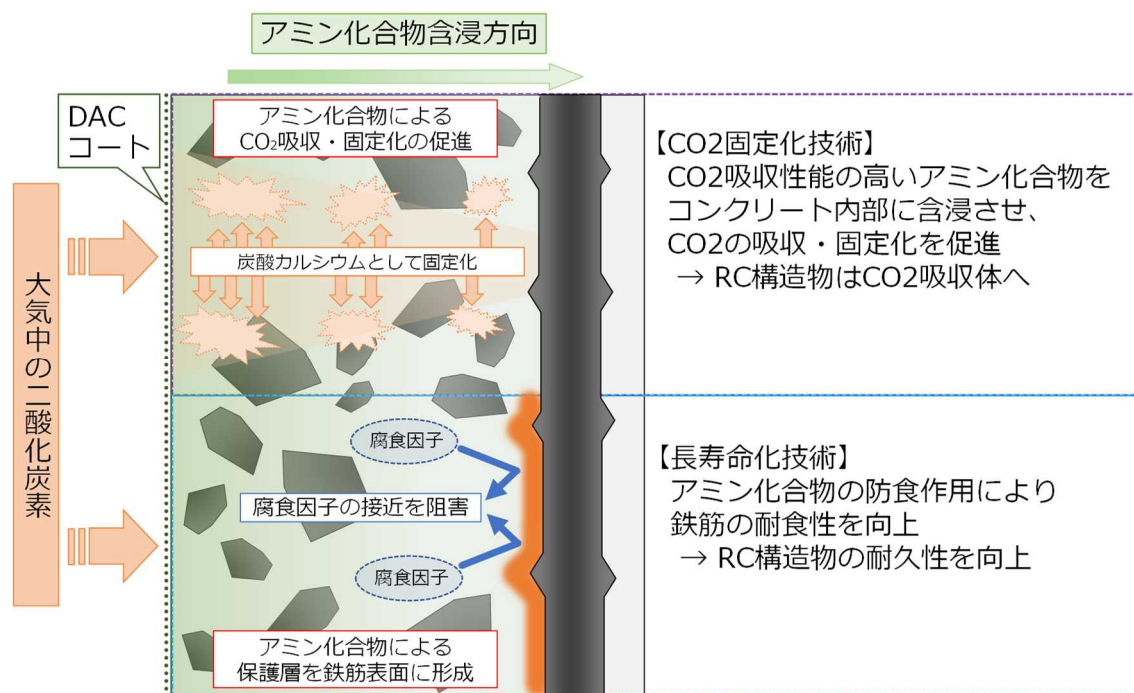


図 3.1 DAC コートの概念図

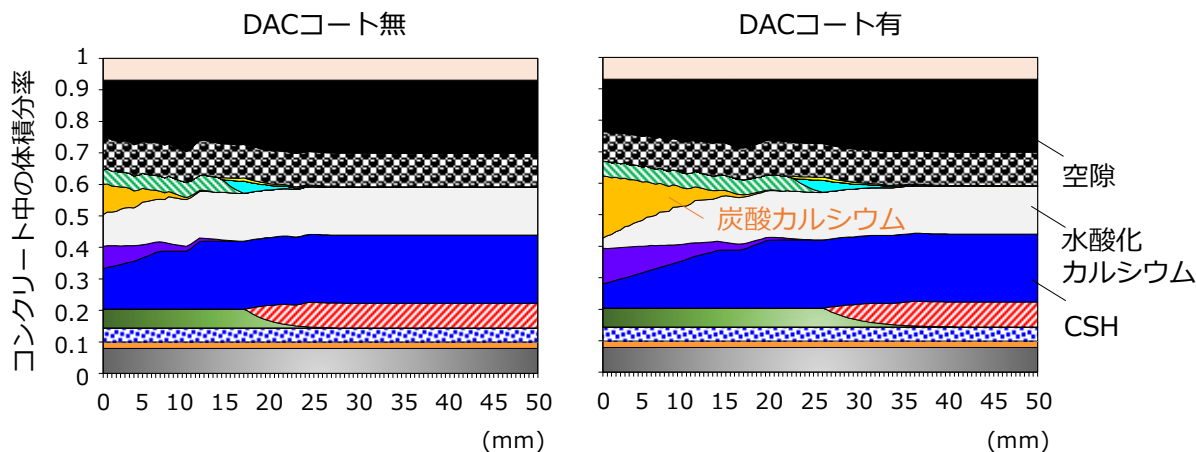


図 3.2 DAC コートの有無による 5 年後の CO<sub>2</sub> 固定量の比較 (シミュレーション)

### (2) 新設・既設を問わず広く適用可能

DAC コートの特徴は、新設・既設を問わずに適用できる点にある。日本国内におけるコンクリート構造物のストックは約 100 億 m<sup>3</sup> 以上と推計される。コンクリートは通常、1m<sup>3</sup> 当たり約 18kg の CO<sub>2</sub> を固定すると言われており、DAC コートを適用することで、その固定量を 27kg~36kg に増大できる。すなわち、既設ストックの露出部全体に本技術を適用した場合の CO<sub>2</sub> 吸収ポテンシャルは 3 億トン以上に達する。その他、再生骨材や解体時に発生するコンクリートガラに対しても積極的に CO<sub>2</sub> を固定することが可能である。

### (3) 今後の展望

コンクリート構造物への CO<sub>2</sub> 固定促進と長寿命化を両立した DAC コートにより、コンクリートに CO<sub>2</sub> 吸収体 (カーボンクレジット) としての新たな価値を付与できる。

今後は、2026 年頃の実用化をターゲットに、産学連携を加速させ、ラボでの性能評価、実大規模での性能実証、施工法の標準化やカーボンクレジット化の検討等を進めていく。

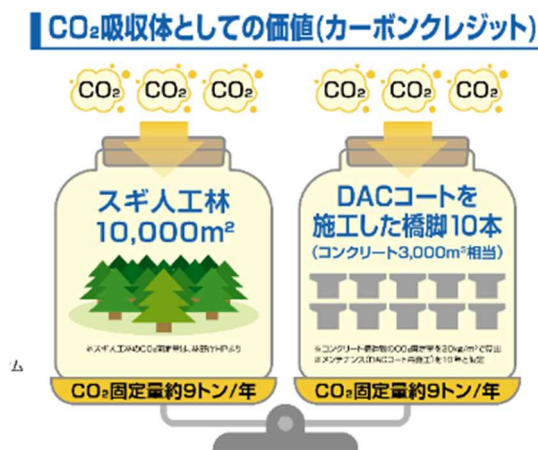


図 3.3 コンクリート構造物への新たな価値創造

## 強制炭酸化再生骨材を用いたコンクリート 東京電力 HD(株) ④

### (1) 技術概要

強制炭酸化再生骨材とは、主には品質区分 M,L を対象とした再生骨材を強制的に炭酸化することによって、付着モルタル部分を緻密化し、密度や吸水率等の品質を改善したものを指す。本技術によって CO<sub>2</sub> 固定と品質改善を実現することにより、コスト等の課題によって普及が停滞している再生骨材の利用を促進し、コンクリート分野における高次の資源循環形成を目指す。現在、東京電力 HD(株)では強制炭酸化骨材とこれを用いたコンクリートに関する実証と実装に向けた検討が進められている。



図 4.1 再生骨材

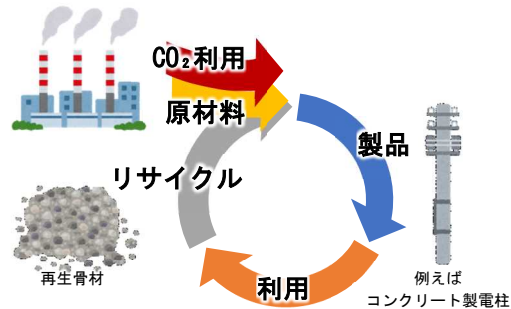


図 4.2 強制炭酸化再生骨材の循環利用サイクル

#### ① 簡易な製造プロセス

強制炭酸化再生骨材の炭酸化養生に使用するガスは、火力発電所を含むボイラー等の排ガス利用（CO<sub>2</sub> 濃度 5～15%程度）を主流とし、高濃度ガスの適用を必要としない。そのため、CO<sub>2</sub> の分離回収工程を経ず、加温等の必要もないため、簡易なプロセスで製造が可能である。製造過程で消費するエネルギー（CO<sub>2</sub> 排出量）も基本的に天然骨材を上回らない。

強制炭酸化再生骨材を用いたコンクリートの製造プロセスも、基本的に一般のコンクリート製造と変わらない。

#### ② コンクリートに及ぼす影響

通常の（非炭酸化）再生骨材利用と比べて、強制炭酸化骨材を用いたコンクリートは圧縮強度の低下が抑制される等、多くの物性が一般のコンクリートと同等に改善される。したがって通常の利用範囲において、強制炭酸化再生骨材を用いることは単位セメント量の有意な増加を伴わない。なお、乾燥収縮や凍結融解の激しい作用を受ける場合には、通常の再生骨材と同様に、引き続き注意が必要である。

本技術は、骨材のみを炭酸化させる技術であるため、コンクリート全体の中性化による鋼材の腐食を誘引しない。また、国内で先行する CN 技術、例えばセメントレスコンクリートや CO<sub>2</sub> 吸収技術等との併用も可能と考えられる。

### (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績



既往の研究<sup>1)</sup>において、再生骨材の炭酸化による質量増加は骨材区分により異なり、表 4.1 に示すとおり試料質量に対して 0.7~2.8%変化することが報告されている。この質量変化の全量が CO<sub>2</sub> 固定によるものか判断は早計であるが、炭酸カルシウム量の変化もおよそこれに符合していることから、再生骨材の強制炭酸化による CO<sub>2</sub> 固定量のオーダーもこれに相応する（同等とした場合、試料 1t あたり 7~28kg-CO<sub>2</sub>/t）と考えられる。なお、強制炭酸化再生骨材は、排ガスを直接利用し、軽度の破碎、分級プロセスのみで製造されるため、製造時の消費エネルギーは天然骨材の製造時消費エネルギーを上回らず、炭酸化により固定化された CO<sub>2</sub> 量がそのまま CO<sub>2</sub> 低減に寄与するものと考えられる。

国内の廃コンクリート発生量は 37 百万 t/年であり、全量を潜在市場と考えた場合、約 1 百万 t-CO<sub>2</sub>/年のポテンシャルを有することになる。

表 4.1 強制炭酸化による再生骨材の質量変化量(%)

	再生粗骨材 M	再生粗骨材 L	再生細骨材 L	電柱破碎材
実測最大	0.4	1.5	2.8	0.7

### (3) 今後の展望

コンクリート分野においても、持続可能社会の実現に向けて循環資源利用の機運はより高まっていくものと考えられる。したがって、再生骨材利用も浸透していくことが期待される。このような背景において、品質が改善され、かつ CO<sub>2</sub> 固定の付加価値を擁する強制炭酸化再生骨材の普及は大いに期待される。

一般のコンクリートへの利用は、規格等の制約によって直ちに普及するに至らないことが予想されるため、導入期においては用途、製品を特定した利用によって実績を蓄積していく必要がある。普及にあたっての製造拠点は、火力発電所のみならず、簡易な製造プロセスである利点も活かして市中の工場等への適用も念頭に参画企業を拡大していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 松浦忠孝, 小林保之, 青山裕之, 尾崎公則: 強制炭酸化した再生骨材および電柱破碎材の品質に関する基礎検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.4

## カーボンキュア (CarbonCure) 三菱商事(株) ⑤

### (1) 技術概要

この技術は、コンクリートの練り混ぜ時に適切な量の液化二酸化炭素をミキサー内に噴霧することにより、セメントに含まれるカルシウム分と二酸化炭素の反応によりナノレベルの炭酸カルシウムが生成される鉱物化反応の原理を活用している。

この鉱物化によるコンクリートの圧縮強度、曲げ強度への影響は略無く、また pH への影響もないため、鉄筋への使用が可能である。また、鉱物化によりコンクリートの強度が発現するため、配合の最適化をすることで、セメント使用量の削減が可能である。

### ① 本技術のメリット

- ・ 脱炭素：製造時に大量の二酸化炭素を排出するセメントの使用量削減と同時に、鉱物化による二酸化炭素の固定化により、コンクリート製造におけるカーボンフットプリントの低減が可能となる。また、セメント使用量削減はコスト削減にも寄与する。
- ・ 製品スペック：強度や信頼性は従来のコンクリートと変わらない。
- ・ 製品コスト：液化二酸化炭素タンク、制御装置等、簡易な設備を設置するだけで導入可能なため、これらの導入コストの価格転嫁を抑えられる。

### ② カーボンキュア社について

2007年にカナダで設立されたベンチャー企業。ビル・ゲイツ氏が率いるファンド、マイクロソフト、アマゾン等が株主に名を連ねている。現時点で世界 30 か国以上において 800 を超える工場で導入済み。日本に於いては、三菱商事が事業展開を推進し、會澤高圧コンクリート株式会社や河島コンクリート工業株式会社を含む数工場での導入実績が有る。

### (導入設備イメージ)

液化二酸化炭素タンク



## (2) CO<sub>2</sub>削減量および適用実績

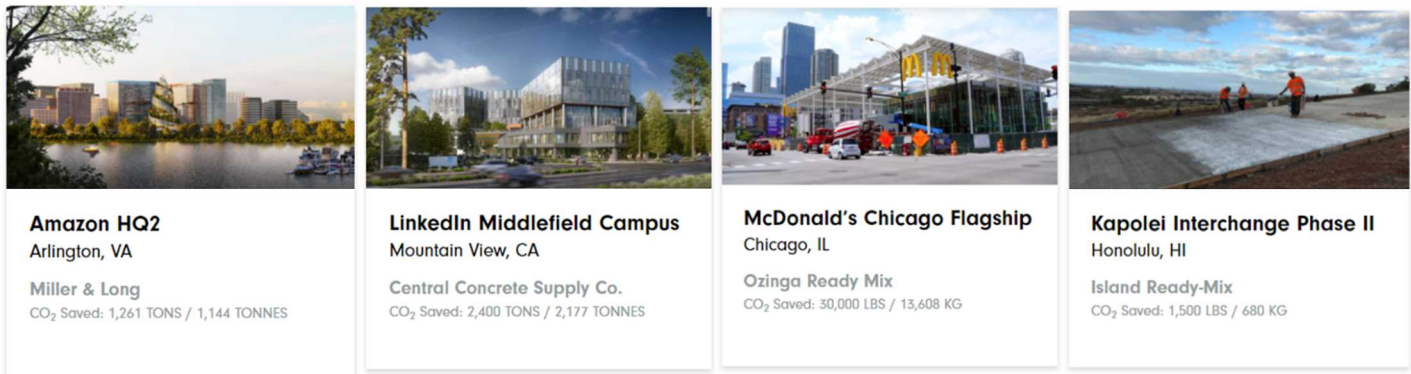
### ① カーボンキュアによるコンクリートのCO<sub>2</sub>削減量

カーボンキュア社によると平均でコンクリート 1 平米当たり 17 キログラムの CO<sub>2</sub> 削減が見込める。尚、これはセメント削減に起因するもの、及び鉱物化による二酸化炭素の固定化によるもの両方を併せたものである。これは一般的な高層ビル一棟に使用する全てのコンクリートに適用すると 680 トンの CO<sub>2</sub> 削減に相当し、これは 360 ヘクタールの森林が 1 年間に吸収する CO<sub>2</sub> に相当する。

### ②カーボンキュアの適用実績

北米では Amazon 本社ビル、LinkedIn 本社ビル、カナダのカルガリー空港、シカゴのマクドナルド旗艦店、ハワイの高速道路インターチェンジ等の多数の適用実績が有る。

日本国内では會澤高圧コンクリート株式会社において小規模建築用杭状地盤補強工法に使用する H 型パイル等での出荷実績が有る。



## (3) 今後の展望

2050 年迄のカーボンニュートラル達成に向けた CO<sub>2</sub> 排出量の削減ニーズが社会的に高まっている中、カーボンキュアは既に商業化されて広く導入されている数少ない技術である。また、コンクリートの強度に影響を与えない点、セメント使用量の削減によるコスト削減が期待できる点、更に導入のハードル（期間・費用）が低いことから、引き続き、日本を含む全世界で導入が広がるものと予想される。

## T-Carbon Mixing : 大成建設(株) ⑥

### (1) 技術概要

本技術は、練混ぜ時にCO<sub>2</sub>を直接噴霧することにより、CO<sub>2</sub>をコンクリートに固定する技術である。

#### ・ コンクリートを2段階で練混ぜ

粗骨材を除くコンクリート材料の10~30%を先行して混ぜる(1次練り)。この際、ミキサ内に設置されたノズルでCO<sub>2</sub>を直接噴霧し、練混ぜ材料にCO<sub>2</sub>を確実に固定する。その後、残りの材料と併せて練り混ぜを行い、コンクリート製造する(2次練り)。

2段階に分けてコンクリートの練混ぜを行うことで、効率的なCO<sub>2</sub>固定化を実現するとともに、過度のCO<sub>2</sub>固定を防ぐことが可能。

#### ・ CO<sub>2</sub>を固定したコンクリートの材料特性

内部のアルカリ性を保持するとともに、強度も通常のコンクリートと同等。

#### ・ 既存の設備への適用

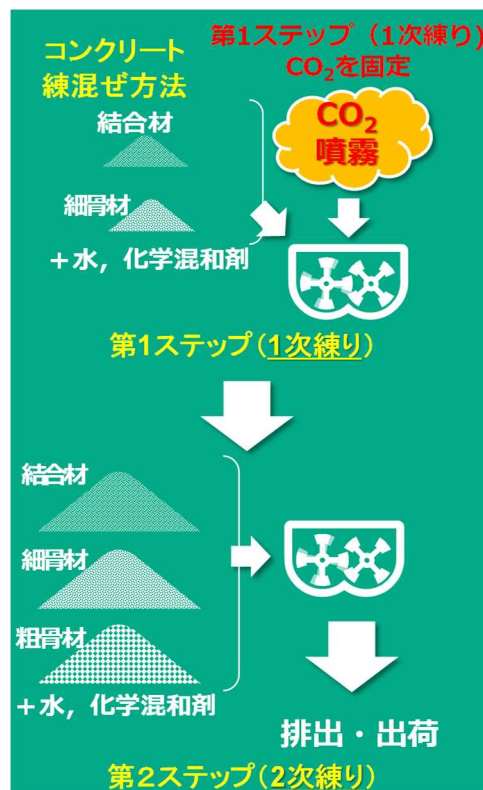
既存のコンクリート製造プラントにCO<sub>2</sub>噴霧用のポンプノズルを設置することで、本技術の適用が可能。

#### ・ 環境配慮コンクリート「T-eConcrete®」と併用が可能

普通コンクリートへの適用性は勿論のこと、当社開発の「T-eConcrete®」※に適用することで、CO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減が可能。

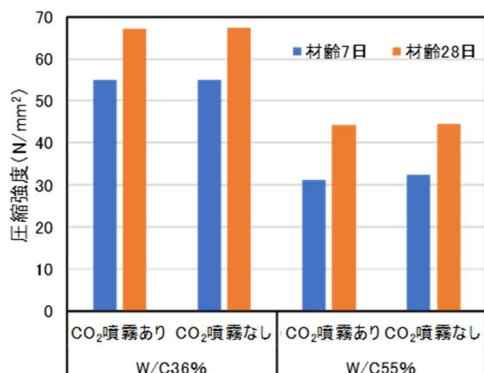
※「T-eConcrete®」

コンクリート材料製造時のCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減でき、一般的なコンクリートと同様の製造・施工方法で同等の性能を有し、高炉スラグ微粉末の大量使用により資源の有効活用に貢献するコンクリート

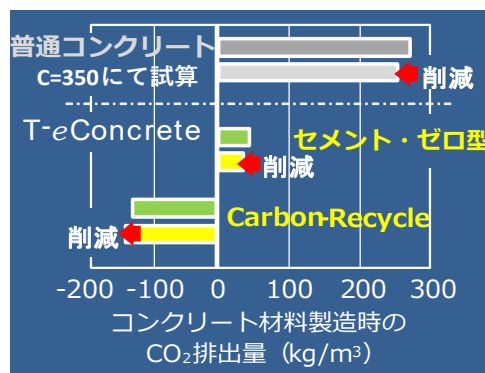


T-Carbon Mixingにおける  
コンクリートの製造手順<sup>1)</sup>

練り  
ルよ  
トを  
率的  
止す  
ンク  
べや  
T-



CO<sub>2</sub>噴霧の有無がコンクリート圧縮強度  
に及ぼす影響の検証結果<sup>1)</sup>



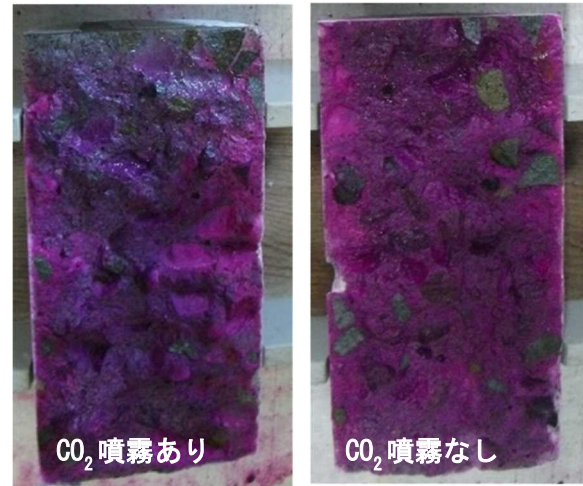
T-Carbon Mixing適用による  
CO<sub>2</sub>排出量削減効果

(2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

- ・ 水セメント比 36～55%の普通ポルトランドセメントを使用した普通コンクリートを対象とした室内試験結果より、本技術による CO<sub>2</sub>固定量は概ね 10kg/m<sup>3</sup>である<sup>1)</sup>。
- ・ 本技術の適用による圧縮強度への影響は、全く無い<sup>1)</sup>。
- ・ 本技術を適用したコンクリートは、内部のアルカリ性を保持しているため<sup>1)</sup>、鉄筋コンクリート構造物への適用も可能である。

普通コンクリートにおける  
 CO<sub>2</sub>固定量測定結果<sup>1)</sup>

実験ケース	CO <sub>2</sub> 固定量
水セメント比 36%	10.2 kg/m <sup>3</sup>
水セメント比 45%	9.30 kg/m <sup>3</sup>
水セメント比 55%	8.20 kg/m <sup>3</sup>



2次練り後におけるフェノールフタレイン  
 噴霧状況（アルカリ性保持）<sup>1)</sup>

(3) 今後の展望

本技術は、既存のコンクリート製造プラントに CO<sub>2</sub>噴霧用のポンベやノズルなどを設置することで適用可能であり、対象とするコンクリートの制限もないため、現場打ち用コンクリート、ならびに二次製品用コンクリートなど幅広く適用を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 松元淳一ほか：コンクリート製造時に二酸化炭素を固定させる技術，コンクリート工学, Vol.61, No.2, pp.138-144, 2023.2

## 0.C.0 Technology Limited (株)神鋼環境ソリューション

三菱商事(株) ⑦



### (1) 技術概要

本技術は、焼却飛灰等に含まれるカルシウムなどを水・CO<sub>2</sub>と反応させ、世界初のネガティブエミッション骨材を製造する技術である。基本的な反応を図 6.1 に示す。英国の O.C.O Technology 社が開発した Accelerated Carbonation Technology (ACT:高速炭酸塩化技術)を用いることにより、通常数か月から年単位で進行する炭酸塩化が数分で達成される。本技術で製造される骨材は以下の 3 点の特徴がある。

- ① **CO<sub>2</sub>の削減**：高速炭酸塩化技術により、化学的に安定な状態である炭酸カルシウムの形で CO<sub>2</sub>を固定することが可能。また、炭酸塩化は発熱反応であり加温や加圧が不要であるため、製造プロセスにほとんどエネルギーを消費しないことが特長である。さらに、排ガス中に含まれる CO<sub>2</sub>を直接利用することも可能であり、原料 CO<sub>2</sub>を回収・調達する際のエネルギー消費や費用も削減できる。
- ② **廃棄物中の金属溶出抑制**：廃棄物中の重金属は炭酸塩化することで、様々な化学的・物理的メカニズム（例：化学形態の変化、固溶体への取り込み等）により安定な状態へ変化する。その結果、重金属の溶出を抑制する効果がある。原料は、木質バイオマス灰、都市ごみ飛灰、セメントダスト、製鋼スラグ、製紙焼却灰等、多岐に渡る廃棄物を用いることが可能である。
- ③ **廃棄物の有効利用**：通常処理費用が発生する産業廃棄物、および排出量の削減が喫緊の課題とされる CO<sub>2</sub>を原料に骨材を製造できる。製造される骨材は M-LS (Manufactured Limestone) と呼ばれ、代表的な密度は 1、100±100kg/m<sup>3</sup>、圧縮強度は > 5N/mm<sup>2</sup> である。コンクリートやモルタルの軽量骨材、あるいは、建築用レンガや土木用ブロック、路盤材等の骨材として利用できる。また、セメントや砂と混合・造粒前の粉体の状態においても、混和剤等としての使用を検討している。図 6.2 に炭酸塩化後の粉体、炭酸塩化・造粒後の骨材を示す。



図 6.1 基本的な高速炭酸塩化反応



図 6.2 左：炭酸塩化後の粉体、右：炭酸塩化・造粒後の骨材

## (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

### ① CO<sub>2</sub>削減量

O.C.O Technology 社によると、製造される骨材への CO<sub>2</sub>固定量(原料 CO<sub>2</sub>量+造粒後の吸収 CO<sub>2</sub>量)は製造時に排出される CO<sub>2</sub>量より多く、骨材 1 トン当たり 49kg の CO<sub>2</sub>排出量を削減できると評価されている。これは Environmental Product Declaration (EPD: 環境製品宣言)に記載されている値であり、独立した第三者機関により ISO 14025 に基づき検証されている。また、Cradle to Gate (原料から製品化するまで)の計算であり、原材料の製造、工場への原材料の輸送、骨材の製造、の各プロセスでの CO<sub>2</sub>排出量を加味した CO<sub>2</sub>削減量である。本削減量は、1,000t の骨材を製造するごとに、4,000 本の木を植えるのと同量の CO<sub>2</sub>を削減する規模である。

### ② 実績

O.C.O Technology 社の所在地である英国内では既に 3 つの工場 (Brandon、 Bristol、 Leeds) が稼働しており、特に南東部 Brandon の工場は 2012 年に稼働を開始し、10 年以上の操業実績がある。これらの工場全体で年間 20 万 t 以上の廃棄物が処理され、その結果年間 45 万 t 以上の骨材が製造されている。

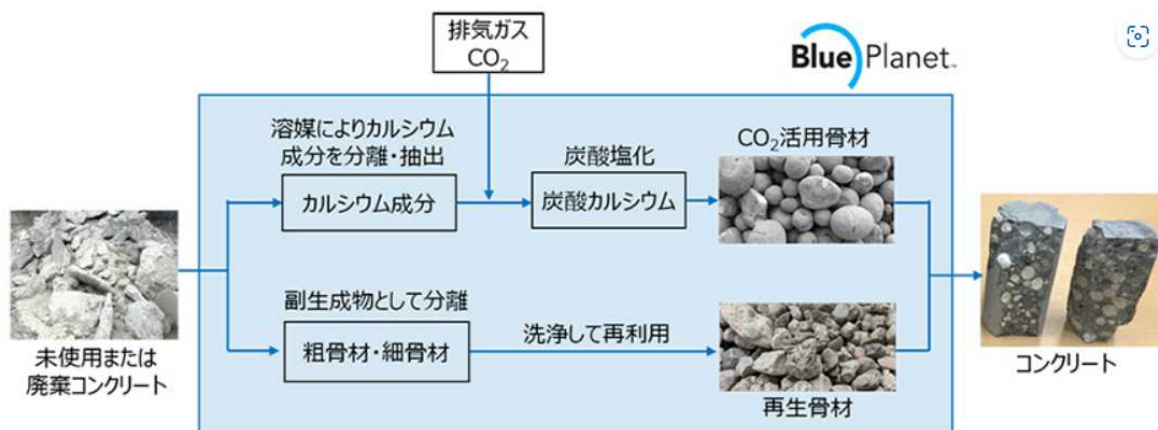
## (3) 今後の展望

英国内のみならずグローバルで事業規模を拡大させており、スペイン (Repsol・Petronar 社と協業) とオーストラリアで商業プラントの建設を進めている。また、日本においても事業展開を検討している。世界の廃棄物ベースで試算すると 240Mt の CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルがあり、事業規模の拡大により低炭素社会実現への貢献が期待される。

## Blue Planet 三菱商事株 ⑧

### (1) 技術概要

Blue Planet は 2012 年の創業以来、環境負荷低減を目標に CO<sub>2</sub> 有効活用技術の開発とその事業化に取り組んでいる。当技術の製造プロセスは、発電所などの排気ガスに含まれる CO<sub>2</sub> をコンクリートへ固定化する技術と、未使用コンクリート又は廃棄コンクリートなどの廃棄物を有効活用する技術が用いられている。具体的には、未使用または廃棄コンクリートから、特殊な溶媒を用いてカルシウム成分と再生骨材とを分離・抽出し、カルシウム分と排気ガスに含まれる CO<sub>2</sub> とを反応させる事で炭酸カルシウムを生成・造粒する事でカーボンネガティブ骨材を製造するという技術（下図）である。



### (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績

コンクリート 1m<sup>3</sup> を製造する際、約 300kg の CO<sub>2</sub> が発生するが、一般的なコンクリートに含まれる粗骨材・細骨材の全てを Blue Planet の技術で製造された骨材で置き換えた場合、約 600~700kg の CO<sub>2</sub> を固定する事が出来る。この場合、コンクリート製造時に排出する CO<sub>2</sub> の総和は約▲300kg (カーボンネガティブ) となる。

また、同社の CO<sub>2</sub> 活用骨材は、既に米国サンフランシスコ国際空港の改装工事で使用された実績もある。



### (3) 今後の展望

現在、2021年から米国カリフォルニア州シリコンバレー地区で、上述の試算値の検証ならびにスケールアップを目指した実証事業を行っている。尚、他にも投資家として世界最大手セメント企業のスイス Holcim、エンジニアリング会社のスイス Sulzer、オイルメジャーの米国 Chevron 等も参画している。日本での商業展開に関しては、Blue Planet と三菱商事は、本格的に商業展開する計画を立てている。



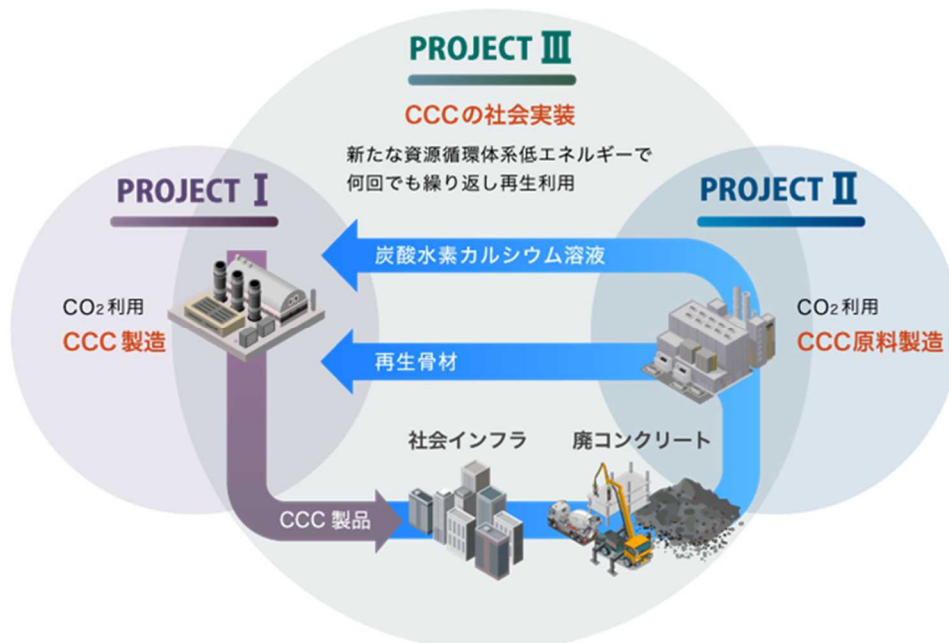
## CCC (C<sup>4</sup>S プロジェクト) 東京大学・北海道大学 ⑨

### (1) 技術概要

C<sup>4</sup>S では、コンクリート構造物中のカルシウム (Ca) を CO<sub>2</sub> 吸収源とみなし、構造物の解体によって発生するコンクリート廃棄物中の Ca と大気中の CO<sub>2</sub> (工場排ガス中の高濃度 CO<sub>2</sub> でも可) とを結合させて、炭酸カルシウムコンクリート (CCC : Calcium Carbonate Concrete) として再生する技術を開発し、CCC を従来のセメント・コンクリートに替わる主要な建設材料として実用化することで、コンクリートのクローズドループの資源循環を実現することを目標としている。

2022 年 2 月公開情報時点での CCC の製造手法としては、まず、コンクリート廃棄物を破砕して再生骨材と微粉末 (主成分:セメント硬化体) とに分別し、どちらも完全に炭酸化 (化学反応式:  $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ) させる。次に、炭酸化させた微粉末を水中に投入した後に、水中に CO<sub>2</sub> を吹き込んで炭酸水素カルシウム ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) 水溶液とする (化学反応式:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ )。そして、容器に詰めた再生骨材粒子間に炭酸水素カルシウム水溶液を通水し、水分蒸発、温度変化、pH 変化など、炭酸カルシウムの溶解度を低下させる操作を施すことで、再生骨材粒子間に炭酸カルシウムの微細な結晶を析出させる。これにより、再生骨材がつなぎ合わされて硬化体となる。

2022 年 2 月公開情報時点での圧縮強度は、直径 10mm の円柱体で 15MPa、直径 50mm の円柱体で 4MPa であり、2022 年末までには建築基準法で求められる 12MPa を直径 100mm の円柱体で実現すべく、現在、製造プロセスの改善が試みられ、従来のコンクリートを CCC に置換することによる大幅な CO<sub>2</sub> 削減量が期待されている。



(ムーンショット C<sup>4</sup>S Website より転載: <https://moonshot-c4s.jp/>)

(2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

2023年10月時点で、LCA-CO<sub>2</sub>が製造プロセスの精査が終わっておらず、未公表である。

(3) 今後の展望

2023年10月時点で、強度増進・大型部材の製造方法の確立に向けて技術開発中である。

## T-eConcrete シリーズ：大成建設（株） ⑩⑮⑳㉔㉖

### (1) 技術概要

コンクリートの材料製造に関わる CO<sub>2</sub> 排出量のうち、90%以上がポルトランドセメントの製造時に排出される。「T-eConcrete」はセメントの一部またはすべてを産業副産物やカーボンリサイクル製品に置き換えて、CO<sub>2</sub>の排出削減や CO<sub>2</sub>収支のマイナスを実現する。以下には、特に脱炭素社会への貢献が期待される T-eConcrete/Carbon-Recycle について特徴をまとめた。

## 環境配慮コンクリート「T-eConcrete®」シリーズ

### ●建築基準法対応型

セメントの代わりに高炉スラグ（製鋼過程で生じる産業副産物）を使用します。建築物の建設に適しています。

### ●フライアッシュ活用型

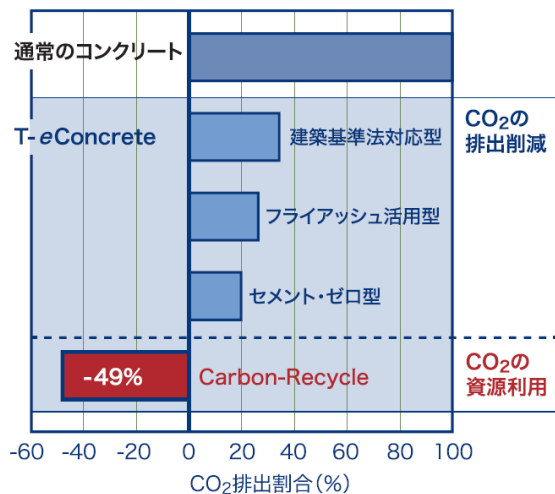
セメントの代わりに高炉スラグとフライアッシュ（石炭灰の一種）を使用します。発電所など容易に石炭灰を入手できる場所での使用に適しています。

### ●セメント・ゼロ型

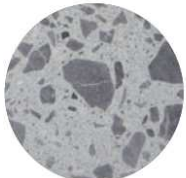
セメントを使用せず、高炉スラグを特殊な反応剤を用いて固めます。CO<sub>2</sub>排出削減を極めたコンクリートです。

### ●Carbon-Recycle

セメント・ゼロ型に炭酸カルシウムなどカーボンリサイクル製品を加えて製造したコンクリートです。  
CO<sub>2</sub>収支マイナスを実現します。2030年のリサイクルシステムの確立を目指しています。



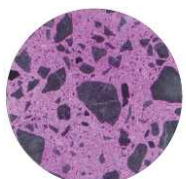
## 技術の特徴



切断面  
(直径10cm)



固定した炭素の分布  
(白い点)



pH指示薬の呈色  
(ピンク=強アルカリ性)

### ●CO<sub>2</sub> 収支マイナスを実現

CO<sub>2</sub>排出量が少ない産業副産物(高炉スラグ)を使用し、大量のCO<sub>2</sub>を炭酸カルシウムとして固定します。

CO <sub>2</sub> 排出量(収支)	-116 ~ -45 kg/m <sup>3</sup>
炭酸カルシウムのCO <sub>2</sub> 固定量	98 ~ 171 kg/m <sup>3</sup>

### ●鉄筋腐食を防ぎ、構造物の耐久性を維持

- ・CO<sub>2</sub>をそのまま吸収せず、炭酸カルシウムとして固定するためコンクリートは強アルカリ性です。
- ・鉄筋の腐食を防いで耐久性を維持し、従来どおりの構造物の建設が可能です。

### ●通常設備で製造でき、従来のコンクリートと同等の強度、施工性を発揮

- ・生コン工場の通常の設定備で製造できます。
- ・建設現場にCO<sub>2</sub>を持ち込まないため、安全です。
- ・スランプ：12 ~ 21cm、スランプフロー：45 ~ 60cm、圧縮強度：20 ~ 45N/mm<sup>2</sup>



スランプ15cm



スランプフロー60cm



圧縮強度20~45N/mm<sup>2</sup>

## (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

### \* T-eConcrete/Carbon-Recycle の事例と CO<sub>2</sub>低減率

○大成建設 技術センター 人と空間のラボ前現場打ち舗装および舗装ブロック

T-eConcrete / Carbon-Recycleを現場打ち舗装と、舗装ブロック敷設に使用することで、1.5t以上のCO<sub>2</sub>排出量を削減しました。

施工日 : 2021年12月

施工面積 :

現場打ち舗装

・配合A(圧縮強度:25.5N/mm<sup>2</sup>) : 3.84m<sup>2</sup>

・配合B(圧縮強度:43.8N/mm<sup>2</sup>) : 3.84m<sup>2</sup>

舗装ブロック : 69.5m<sup>2</sup>



コンクリート製造時のCO<sub>2</sub>排出量の収支 単位(kg/m<sup>3</sup>)



大成建設 技術センター 人と空間のラボ前



現場打ち舗装施工状況

舗装ブロック施工状況

○大成建設 技術センター 音響のラボ 壁部材

T-eConcrete / Carbon-Recycleを壁部材に使用することで、CO<sub>2</sub>排出量を約1.1t以上削減できました。

施工日 : 2021年11月

施工面積 : 28.8m<sup>2</sup>

製品仕様 :

・形状 : 3m×0.6m×0.12m ・数量 : 12枚

・圧縮強度 : 40N/mm<sup>2</sup> ・補強材 : 鉄筋・鋼繊維



コンクリート製造時のCO<sub>2</sub>排出量の収支 単位(kg/m<sup>3</sup>)



大成建設 技術センター音響のラボ

### \* T-eConcrete/セメント・ゼロ型の事例と CO<sub>2</sub>低減率

○下水処理場シールドトンネル工事

セメントを使わないセメント・ゼロ型をシールドトンネルへ国内初適用しました。これにより、従来のセグメントと使用時と比較して約7割を超えるCO<sub>2</sub>を削減しました。

○千葉印西エリア洞道新設工事(その2)

シールドトンネル工法で施工される地中送電洞道のインパート部の部材にセメント・ゼロ型を大量に適用しました。

これにより従来のコンクリートに比べ材料製造時のCO<sub>2</sub>排出量を8割程度削減でき、「T-eConcrete」の使用量(223m<sup>3</sup>)から算出されるCO<sub>2</sub>削減量は、インパートおよび歩床部材全体で53.8tになります。

## (3) 今後の展望

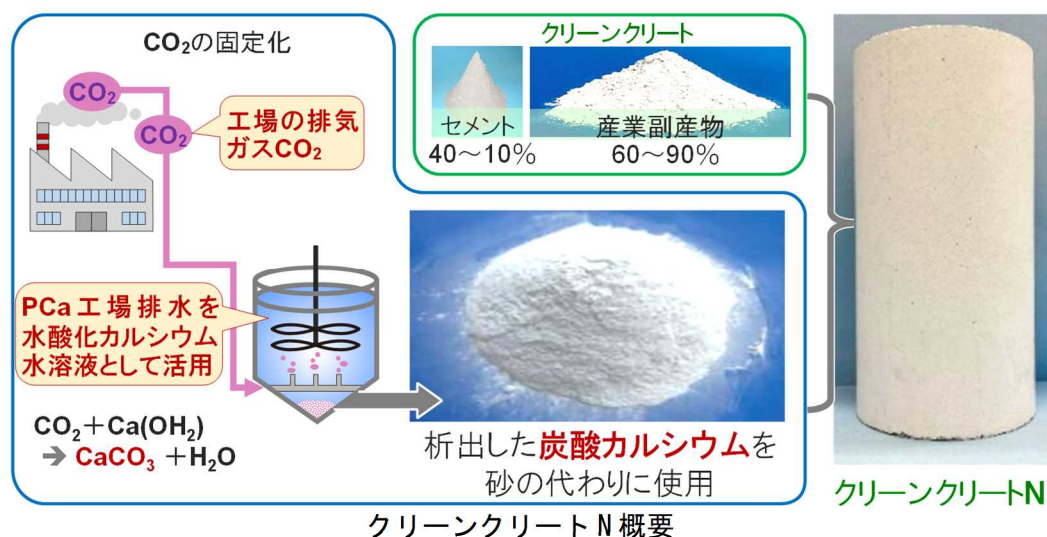
4種類のコンクリートとも既存の装置や設備で製造施工でき、現場打ちによりRC構造物への適用も可能であり、従来のコンクリートと容易に置き換えることができる。また、適用実績も順調に増えている。今後も、現場打ちコンクリート、二次製品として積極的に社会実装を進める。

## クリーンクリートN (株)大林組 ⑪

### (1) 技術概要

「クリーンクリートN」は、「クリーンクリート※」に CCU 粉体 (Carbon dioxide Capture and Utilization : CO<sub>2</sub>を回収・利用した粉体) を混ぜ合わせることで、CO<sub>2</sub>の排出量を差し引きゼロ (カーボンニュートラル) から、さらにマイナス (カーボンネガティブ) まで達成できるコンクリートである。この CCU 粉体は、コンクリート遠心成形品の製造工場において排出されるスラッジ水に、同工場における蒸気養生の際に発生する排気ガスを吹き込んで生成させた炭酸カルシウムを主成分としている。CO<sub>2</sub>固定量は 390kg-CO<sub>2</sub>/t であり、CO<sub>2</sub>の排出量の削減と同時に廃棄物の削減も実現可能となる。

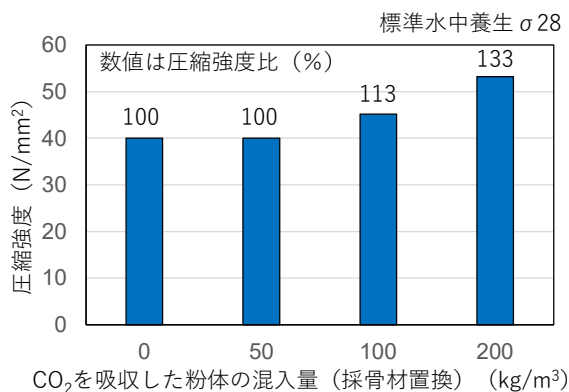
※セメントを高炉スラグ微粉末・フライアッシュ・シリカフェームなどの産業副産物 (混和材) に大量に置換し、70~80%程度の CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる低炭素型のコンクリート



粉体(セメント・高炉スラグ微粉末・CCU粉体)の量が多いため、高流動コンクリートが基本となり、締固め不要のため施工の省力化も可能である。圧縮強度は CCU 粉体の混入量増加に伴い、大きくなることを確認されている。



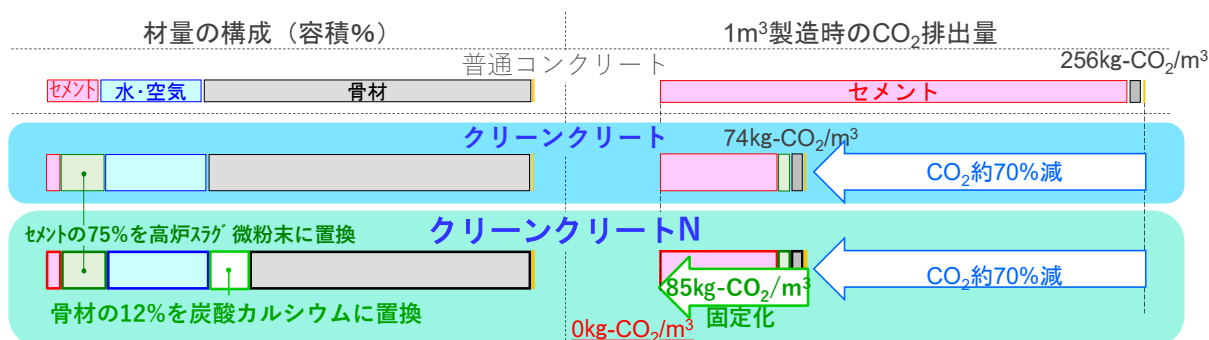
クリーンクリートNフレッシュ性状



CCU粉体混入量と圧縮強度の関係

## (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

「クリーンクリート」の標準配合では、CO<sub>2</sub> 排出量が 760~770 kg-CO<sub>2</sub>/t 程度であるポルトランドセメントの 75%を高炉スラグ微粉末 (24~36 kg-CO<sub>2</sub>/t) に置換することで、CO<sub>2</sub> を約 70%削減することが可能だが、「クリーンクリートN」では更に細骨材を CCU 粉体に置換する。混入量は任意だが、一例として 200~250kg/m<sup>3</sup> CCU 粉体を混入することで、CO<sub>2</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 固定化量が釣り合った、カーボンニュートラルが達成できる。また、更に CCU 粉体の置換率を増やすことで、カーボンネガティブを達成できる。2023 年 3 月には現場打ちの RC 擁壁に適用し、一般のコンクリートに比べて CO<sub>2</sub> 排出量を 106%削減した。



クリーンクリートNのCO<sub>2</sub>削減量

## (3) 今後の展望

2023 年度中に新築物件の外壁プレキャスト部材の製造を開始する。CCU 粉体は規格がまだ整備されていないため、建築基準法上の主要構造部へ適用するのは難しいが (JIS 外にもなる)、今後の適用拡大や規格の整備に備え実験を通じて品質を検証中である。



クリーンクリートNを用いたPCa外壁部材適用予定 当社実験施設

顧客からの注目度・ニーズは非常に高い状況ではあるが、カーボンニュートラルの達成のために必要な CCU 粉体の製造拠点と供給量が現状では多くないため、今後製造・調達面で各産業との連携が不可欠となる。また、CCU 粉体が各所で製造されるようになった場合、その共通の規格が必要となる。

## バイオ炭コンクリート 清水建設株 ⑫

### (1) 技術概要

バイオ炭コンクリートは、木質バイオマスを炭化した「バイオ炭」をコンクリートに混和することで、コンクリート構造物に炭素を貯留する環境配慮型コンクリートである。本技術は、成長過程で大気中の CO<sub>2</sub> を吸収した木材の炭化物を利用し、コンクリート内部に CO<sub>2</sub> を固定するもので、製造時に多量の CO<sub>2</sub> を排出するセメントの一部を高炉スラグで代替した低炭素セメントを併用することで、CO<sub>2</sub> の固定量が排出量を上回るカーボンネガティブを実現できる。

バイオ炭は、バイオマス原料を不完全燃焼させて炭化したもので、木材から生成したバイオ炭には、木が光合成で吸収した CO<sub>2</sub> が炭素として固定されている。農業分野では、「バイオ炭の農地施用」が国の J-クレジット制度の対象として認められ、バイオ炭による CO<sub>2</sub> 貯留量が環境価値としてクレジット化されている。

一般的な土木配合（設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>）に対して、フレッシュ性状、硬化性状、耐久性に関する基礎データを取得し、生コン工場での実機試験練りおよびポンプ圧送試験を実施しており、図 11.1、図 11.2 に示すように普通コンクリートと施工性や品質が同等であることを確認している。

バイオ炭コンクリートの特徴は、コンクリート二次製品への適用のみならず、生コン工場で製造し現場打ち施工が可能であるため汎用性が非常に高いこと、1kg あたりの CO<sub>2</sub> 固定量が炭酸カルシウムの 4 倍以上であるために CO<sub>2</sub> を効率的に固定化することが可能であること、高炉セメント B 種あるいは C 種などの低炭素セメントと組み合わせることでカーボンニュートラル、カーボンネガティブを実現できること、などが挙げられる。

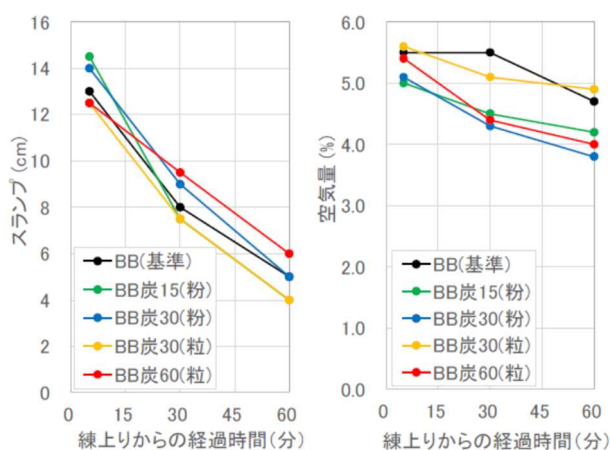


図 11.1 スランプ、空気量

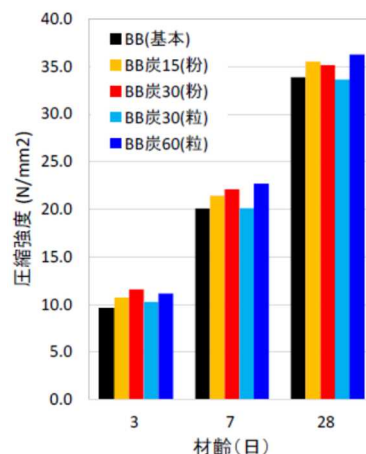


図 11.2 圧縮強度

### (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績

バイオ炭の材料には、針葉樹や広葉樹の製材時に廃棄されるオガ粉を利用している。オガ粉を炭化したオガ炭は、他のバイオ炭と比べて炭素を安定的かつ多量に固定できる特徴があり、炭素含有率は約 9 割であり、J-クレジットにおける農地施用の方法論では 100 年後の炭素残存率は約 9 割とされている。バイオ炭 1kg あたりの CO<sub>2</sub> 固定量は 2.3kg で、コンクリート 1m<sup>3</sup> あたり 60kg のバイオ炭を混



和することで、137kgのCO<sub>2</sub>を固定することができる。表 11.1 に示すように、配合 24-12-20N に対して、高炉セメント B 種にバイオ炭を 60kg/m<sup>3</sup> 用いる場合、あるいは高炉セメント C 種にバイオ炭を 40kg/m<sup>3</sup> 用いる場合にカーボンニュートラルが実現可能であり、さらに、高炉セメント B 種にバイオ炭を 80kg/m<sup>3</sup> 用いる場合、あるいは高炉セメント C 種にバイオ炭を 60kg/m<sup>3</sup> 用いる場合にカーボンネガティブが実現可能である。

2022 年 10 月に実工事の初適用として、バイオ炭コンクリートを現場内の工事用道路の仮舗装コンクリートに 34.5m<sup>3</sup> 使用した。今回の適用においては、高炉セメント B 種にバイオ炭を 60kg/m<sup>3</sup> 用いる配合とした。普通コンクリートに対する CO<sub>2</sub> 排出量削減率は 99% であり、バイオ炭コンクリートによる CO<sub>2</sub> 排出削減量は 6.7 トンである。

表 11.1 バイオ炭コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の算出例

種類	セメントの種類	バイオ炭混入量	低炭素セメントによる削減量* <sup>1</sup> A	バイオ炭による固定量 B	1m <sup>3</sup> あたりの削減量 A+B	1m <sup>3</sup> あたりの削減率* <sup>2</sup>
N-粉20	普通ポルトランドセメント	20kg/m <sup>3</sup>	0kg/m <sup>3</sup>	46kg/m <sup>3</sup>	46kg/m <sup>3</sup>	19%減
BB-粉20	高炉セメント B種	20kg/m <sup>3</sup>	97kg/m <sup>3</sup>	46kg/m <sup>3</sup>	143kg/m <sup>3</sup>	60%減
BB-粒60		60kg/m <sup>3</sup>		137kg/m <sup>3</sup>	234kg/m <sup>3</sup>	99%減
BB-粒80		80kg/m <sup>3</sup>		183kg/m <sup>3</sup>	280kg/m <sup>3</sup>	118%減
BC-粒40	高炉セメント C種	40kg/m <sup>3</sup>	143kg/m <sup>3</sup>	91kg/m <sup>3</sup>	234kg/m <sup>3</sup>	99%減
BC-粒60		60kg/m <sup>3</sup>		137kg/m <sup>3</sup>	280kg/m <sup>3</sup>	118%減

\*1：普通ポルトランドセメントを用いた配合（24-12-20N）に対して  
\*2：配合24-12-20NのCO<sub>2</sub>排出量（238kg/m<sup>3</sup>）に対して

### （3）今後の展望

バイオ炭コンクリートは、汎用性が高く、CO<sub>2</sub>固定量も定量的に把握することができるため、今後、環境配慮型コンクリートとして、土木分野のみならず建築分野においても普及展開していきたい。建築分野では、JIS 製品ではないバイオ炭コンクリートを構造部材に用いる場合には大臣認定が必要であるが、非構造部材であれば適用しやすいため、まずは非構造部材へと展開していくことを検討している。さらには、バイオ炭をコンクリート以外にも、地盤改良材や緑化基盤などの建設資材にも幅広く適用することで、建設時における CO<sub>2</sub> 排出量の低減に貢献していければと考えている。

## リグニークリート (株)大林組 ⑬

### (1) 技術概要

木材は成長する過程で、光合成により吸収した CO<sub>2</sub> を蓄積している。木材利用は「使う・植える・育てる」というサーキュラーエコノミー（循環型経済）の観点からも注目されている。木材の利用による CO<sub>2</sub> の固定が、地球温暖化対策にも繋がるため、積極的な利用が期待されている。

「リグニークリート」は、木材を原料とする製紙工程で排出される木質バイオマス（再生可能な生物由来の有機性資源で化石燃料を除いたもの）の一種であるリグニンに着目し、腐朽や燃焼利用すると大気に放出される CO<sub>2</sub> を、コンクリート中に長期間、多量に固定することができる。リグニンは、1kg 当たり約 2.4kg の CO<sub>2</sub>\*1 を吸収しているため、コンクリート 1m<sup>3</sup> に対して 100kg 添加した場合、CO<sub>2</sub> を 240kg 程度固定できる。産業副産物を併用するなどの配合の工夫で、生コンクリートの製造時に排出する CO<sub>2</sub> と同量の CO<sub>2</sub> をコンクリート中に長期間固定でき、このコンクリートの使用で、環境循環や脱炭素社会の実現に貢献できる。

※1 水分を完全に飛ばした粉体状のリグニンにおける炭素含有分析値から換算した試算値



木質バイオマス（リグニン粉末）



リグニークリートスランプ性状

リグニンは粉末状で生コンクリートや生モルタル等に添加でき、専用の混和剤の使用で、適切なワーカビリティを確保できる。打設後は特殊な養生が不要で、実用強度や耐久性を確保できる。砂の一部をリグニンに置き換えているため砂の使用量を削減でき、天然資源の保全にも貢献する。また、解体時にも CO<sub>2</sub> を固定したままりサイクル骨材として利用できるため、半永久的に CO<sub>2</sub> を固定できる。



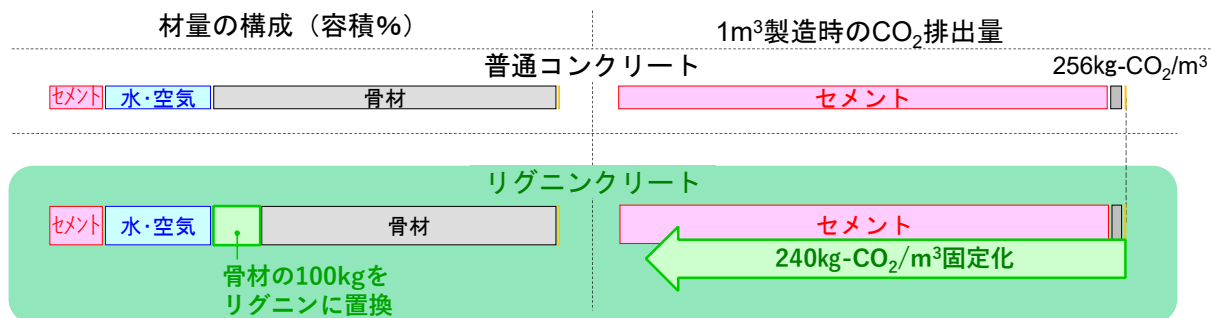
普通コンクリート（左）  
リグニークリート（右）



硬化後のリグニークリート断面

## (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

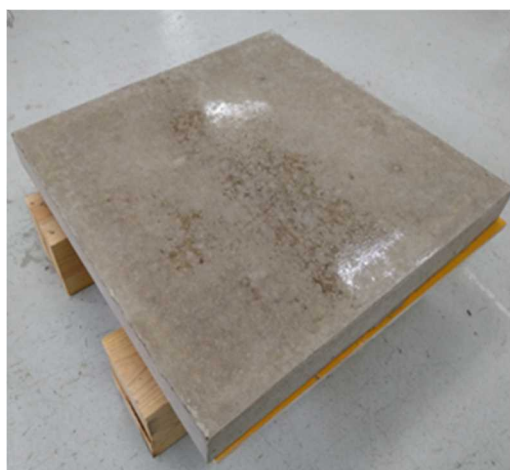
「リグニークリート」は、1m<sup>3</sup>に対し最大で 100kg のリグニンを添加でき、その際の CO<sub>2</sub> 固定化量は 240kg 程度となる。これにより、コンクリート製造時の CO<sub>2</sub> 排出量とほぼ同量の CO<sub>2</sub> を固定できる。更に、高炉セメント B 種を用いることや、セメントの一部を産業副産物に置換することで、更なる CO<sub>2</sub> 削減やカーボンネガティブの達成に貢献できる。



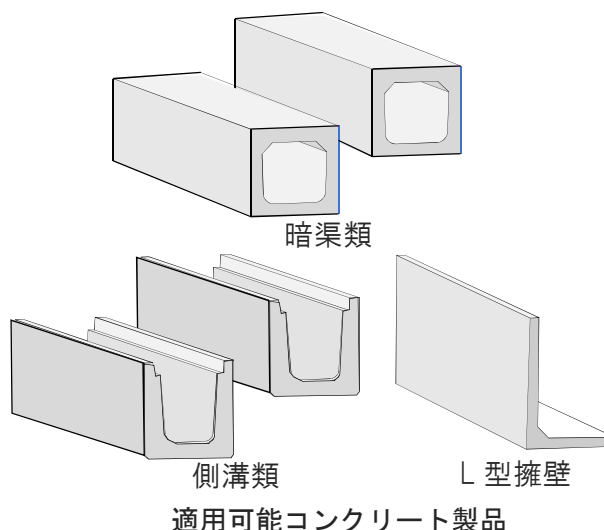
## (3) 今後の展望

建設分野の中でセメントやコンクリートは、鋼材とともに CO<sub>2</sub> 排出量の多い建設材料となる。本技術は木質バイオマスのリグニンに着目しているが、コンクリートの中に長期間 CO<sub>2</sub> を固定することは、気候変動対策の一つとして貢献できると考えている。また、リグニンを添加しても従来のコンクリートと同等の耐久性を有することも求められている。

「リグニークリート」の適用先は、ブロック等コンクリート製品を始めとして、今後、現場打ちコンクリートへ適用拡大する予定である。



リグニークリート PCa 平版



## ECMコンクリート 鹿島建設(株) ⑭

### (1) 技術概要

ECM® (Energy・CO<sub>2</sub>・Minimum) コンクリートは ECM セメントを用いたコンクリートのことであり、ECM セメントはセメントの代わりに高炉スラグ微粉末を多量に使用し、耐久性と環境負荷低減を両立した材料である。ECM セメントは高炉セメント C 種 (JIS 適合品) の範疇として使用可能であり、(株) 竹中工務店、鹿島建設 (株)、(株) デイ・シイ、日鉄高炉セメント (株)、東京工業大学、太平洋セメント (株)、日鉄セメント (株)、竹本油脂 (株) の 1 大学、7 企業で共同開発したものである。

#### ① 高炉スラグ微粉末の使用によるセメント使用量の大幅削減

ECM セメントはセメント代替材として高炉スラグ微粉末を多量に置換 (60~70%程度) しており、高炉セメント C 種 (JIS 適合品) の範疇として使用可能である。そのため、ECM コンクリートは従来の中庸熱セメントを用いたコンクリートと比較し、CO<sub>2</sub> 排出量を大幅に低減可能である。

これまでの高炉セメント C 種を用いたコンクリートは、スランプの継時変化が大きいことや初期強度が低い、収縮が大きいといった課題があった。それに対し、ECM コンクリートは、セメント組成の改良と専用の AE 減水剤を用いることでこれらを克服し、高炉セメント B 種とほぼ同等の性状を有するコンクリートとして使用することができる。

#### ② 優れた温度ひび割れ抵抗性と経済性を実現

ECM コンクリートは、低発熱性のため温度ひび割れ抵抗性に優れており、マスコンクリートに適しているほか、場所打ち杭にも使用可能である。一般的なコンクリートと比較した場合、断熱温度上昇量は中庸熱セメントに対して約 10℃低減され、温度ひび割れの抑制に効果的である。



図 13.1 ECM セメント

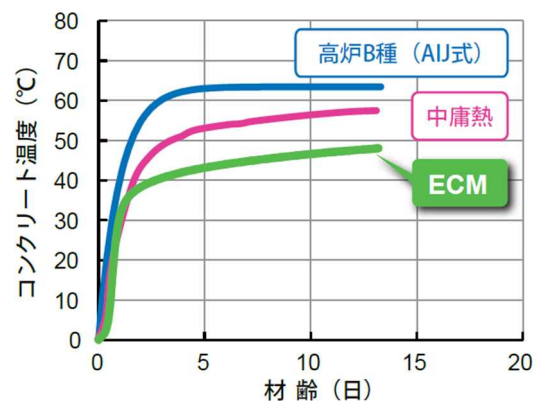


図 13.2 コンクリートの断熱温度上昇量

## (2) CO<sub>2</sub>削減量および適用実績

### ① ECM セメントの CO<sub>2</sub>削減量

ECM セメントを用いたコンクリートと従来の中庸熱セメントを用いたコンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量の比較例を図 13.3 に示す。セメントの大部分を産業副産物である高炉スラグ微粉末に置き換えることで、約 60% の CO<sub>2</sub> 排出量を削減可能としている。

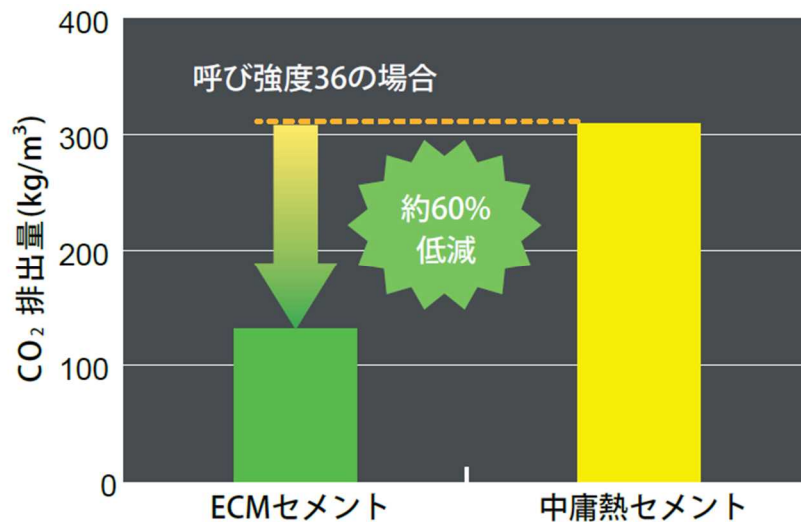


図 13.3 ECM セメントの CO<sub>2</sub> 排出量比較例

### ② ECM コンクリートの適用実績

ECM コンクリートは東京都内、大阪、強度、北九州などで供給が可能であり、これまでに地下躯体のマスコンクリートや土木港湾施設などに使用され、累計約 38 万 m<sup>3</sup> の施工実績がある。

- ・ 事務所
- ・ ホテル
- ・ 焼却施設
- ・ 土木港湾施設 ほか

## (3) 今後の展望

CO<sub>2</sub> 排出量の削減と高い耐久性を両立する ECM コンクリートは、ひび割れ抵抗性にも優れており、発熱量が少ないことから部材断面が大きいマスコンクリートにも適している。一方で、主要都市では供給可能であるものの、供給範囲は限定的である。そのため、日本全国で供給可能となるよう取り組みを進めるとともに、土木構造物への普及拡大に努めて、低炭素社会実現への貢献を目指している。

## スーパーグリーンコンクリート 前田建設工業(株) ⑩

### (1) 技術概要

「スーパーグリーンコンクリート」(SGコンクリート)は、ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフューム、せっこうの一部または全部を組み合わせた低炭素型のコンクリートである。結合材に占めるポルトランドセメントの割合は、JISに規定されるセメントの混合割合よりも小さく、30%以下となっており、混和材の割合が70%以上を占めている。そのため、コンクリート中の材料由来の二酸化炭素排出量は、一般的なコンクリートに対して20~40%に削減(削減率60~80%)することができる。

SGコンクリートは、設計基準強度18~36N/mm<sup>2</sup>程度の構造物に適用が可能で、場所打ちコンクリートとして活用することを想定している。低発熱性や塩化物イオン浸透抵抗性を有しているため、マスコンクリート構造物や塩害環境にある構造物へ適用が有効である。また、アルカリシリカ反応の抑制対策としても効果が期待できる。一方、セメントの使用量が少ないため、中性化抵抗性は一般のコンクリートに比べると劣る傾向にある。

SGコンクリートは、土木研究所が主催する共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」の一環として、大成建設株式会社と実施したものであり、土木学会コンクリートライブラリー152号「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」の適用範囲に適合するコンクリートとなっている。

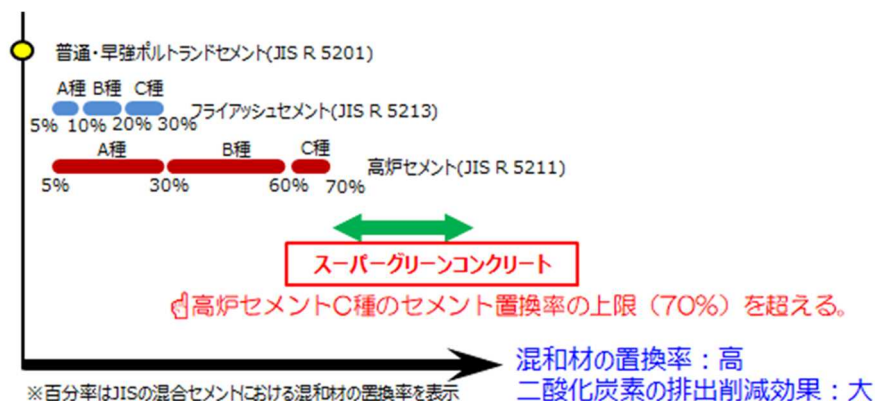


図 15.1 スーパーグリーンコンクリートの結合材の位置づけ

### (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

SGコンクリートの代表配合として、図 15.2 に、H25BF(結合材割合:セメント25%、高炉スラグ微粉末45%、フライアッシュ30%)と、H10BS(結合材割合:セメント10%、高炉スラグ微粉末85%、シリカヒューム5%)のコンクリート1m<sup>3</sup>あたりのCO<sub>2</sub>排出量を示す。いずれも呼び強度24相当(材齢28日)のコンクリートとして配合設計をしたもので、普通ポルトランドセメントのみを用いた水セメント比55%の一般的なコンクリートに比べて、H25BFで61%、H10BSで81%のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を有している。

使用実績として、研究施設の床スラブへの適用が挙げられる。市中のレディーミクストコンクリートで製造・出荷し、68m<sup>3</sup>の施工を行った(図 15.3)。

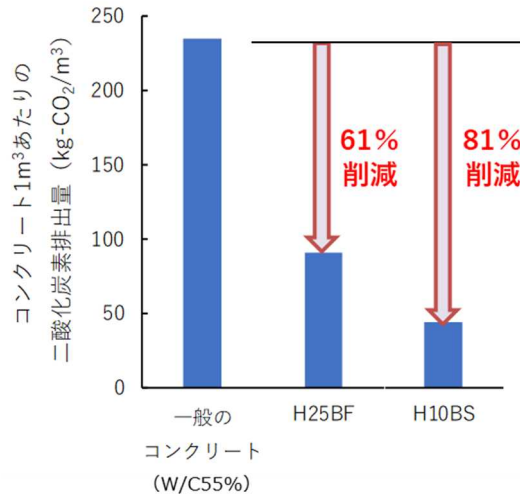


図 15.2 スーパーグリーンコンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量



低炭素型のコンクリート



低炭素型のコンクリートの施工状況



低炭素型のコンクリートの仕上げ状況



低炭素型のコンクリートの仕上げ完了後の状況

図 15.3 スーパーグリーンコンクリートの施工事例

### (3) 今後の展望

カーボンニュートラルに寄与するコンクリートの展開を図るには、耐久性等の設計方法の確立、CO<sub>2</sub>削減量の評価方法の標準化、第三者による認証制度の確立、インセンティブの付与など、信頼性を確保するための方策が必要となる。また、環境面とコストに配慮した混和材料の調達や、製造工場の選定にも課題を有しており、これらを解決するためには、業界全体での取組みも必要であると考えている。

## LHC（ローカーボンハイパフォーマンスコンクリート）(株)安藤・間 ⑰

### (1) 技術概要

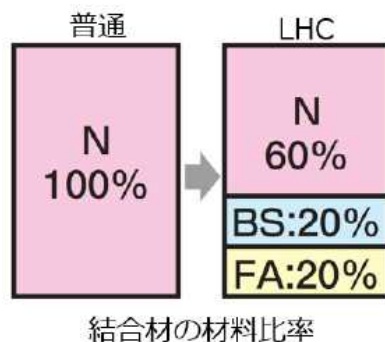
- ・普通ポルトランドセメント（N）、高炉スラグ微粉末（BS）、フライアッシュⅡ種（FA）を6：2：2の割合で混合した3成分系コンクリート。
- ・実用的に生コン工場では、N、高炉セメントB種（BB）、FAを混合してLHCを製造出荷することも可能。
- ・呼び強度およびスランプはJIS A 5308の範囲。
- ・一般のコンクリートと同様な製造、施工、品質管理が可能。圧送性が改善。
- ・コンクリートの発熱量が少ないので、温度ひび割れの抑制効果（LHC>BB>N）あり。
- ・水結合材比55%の場合、N比で初期強度は下回るものの、材齢3日において鉛直面の脱型強度5N/mm<sup>2</sup>を十分に満足し、材齢56日以降の長期強度で上回る。
- ・特許第6177534号
- ・呼び強度、スランプの範囲、強度発現に問題なければ特に制約なし。

### (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

- ・CO<sub>2</sub>排出量 約45%（普通ポルトランドセメント使用時と比べた場合）

### (3) 今後の展望

- ・本技術は高炉セメントB種（BB）の性能を改善させたもので、これまでと同様、適用箇所があれば積極的に展開していく所存である。



厚幌ダム閉塞工事での打設状況



## BBFA 高強度コンクリート (株)安藤・間 ⑱

### (1) 技術概要

- ・高炉セメント B 種 (BB)、フライアッシュ II 種 (FA) を 8 : 2 の割合で混合したコンクリート。
- ・呼び強度の範囲 46~73、スランプの範囲 18~23cm、スランプフローの範囲 50~65cm。  
(一部、JIS A 5308 の範囲外)
- ・コンクリートの発熱量が少ないので、温度ひび割れの抑制効果 (BBFA>BB>N) あり。
- ・一般のコンクリートと同様な製造、施工、品質管理が可能。
- ・コンクリートの発熱量が少ないので、温度ひび割れの抑制効果 (LHC>BB>N) あり。
- ・呼び強度、スランプの範囲、強度発現に問題なければ特に制約なし。

### (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績

- ・CO<sub>2</sub> 排出量 約 50% (普通ポルトランドセメント使用時と比べた場合)

### (3) 今後の展望

- ・これまで生コン工場と共同で大臣認定を取得 (品質が確保) しており、今後更に適用工場を増やし、技術展開先を拡大していく予定である。

→大臣認定取得生コン工場：首都圏 2 工場、仙台地区 3 工場



## アッシュクリート (株)安藤・間 ⑱

### (1) 技術概要

- ・石炭灰原粉を主材料とし、水（海水）とセメント（N、BB）で混合した硬化体。
- ・必要最小限の水で混合し、振動を加えて流体化する（超流体化工法）。
- ・陸域使用の場合、有害元素の溶出対策として石膏の添加量を調整する。
- ・金属スラグを用いて比重調整可能。
- ・海域では、人工海底山脈や消波ブロックでアッシュクリートブロックの使用実績あり。
- ・陸域では、盛土造成材、路盤材の適用実績あり。
- ・石炭灰由来の有害元素(例えば六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素)が溶出する可能性がある。
- ・使用材料や配合によって対策を施していることから、溶出リスクの少ない海域での利用、盛土造成材での利用に際しては問題無いが、適用箇所によっては留意が必要である。
- ・これまでの累計石炭灰原粉使用量は 170 万 t を超える実績がある。

### (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績

- ・CO<sub>2</sub> 排出量 約 40%（圧縮強度 30N/mm<sup>2</sup> のコンクリートと比べた場合）
- ・廃棄物利用：石炭灰原粉 1,000～1,200kg/m<sup>3</sup>（目標強度による）

### (3) 今後の展望

- ・これまでと同様に陸域での展開を継続するとともに、海域での適用も視野に入れている。
- ・石炭灰以外の灰（例えば、バイオマス灰）を適用することで、カーボンニュートラルに向けた幅広い技術展開を考えている。



アッシュクリートの製造状況および破砕材

## ジオポリマー（ジオポリマー）西松建設(株) ⑳

### (1) 技術概要

ジオポリマーは、1988年にフランスの Davidovits により提唱された。ジオポリマーは、アルカリシリカ溶液とアルミナシリカ粉末との反応によって形成される非晶質の縮重合体（ポリマー）の総称である。コンクリートの分野では、アルカリシリカ溶液として珪酸ナトリウム水溶液や水酸化ナトリウムを、活性フィラーとしてフライアッシュや高炉スラグ微粉末などを使用することが多い。

ジオポリマーの材料製造時に発生する CO<sub>2</sub> の排出量は、セメントのそれに比べ少ない。ジオポリマーで構造物を建設した場合、セメントで建設するより最大で 80%程度 CO<sub>2</sub> を削減できると試算されており、次世代のコンクリートのバインダーとなりうる可能性を有している。また、活性フィラーとしては、フライアッシュや高炉スラグ微粉末以外にも、都市ゴミ焼却灰溶融スラグ微粉末や下水汚泥溶融スラグ微粉末なども使用でき、産業副産物の有効利用の観点からも優れた技術である。

ジオポリマーの構成元素はセメントコンクリートと異なり、Ca の代わりに Na や K を多く含むため、固化体の性状がセメントコンクリートと大きく異なる。例えば、耐酸性や耐熱性等が、セメントより優れているとの報告が多い。さらに、ジオポリマーは、アルカリ骨材反応によるひび割れを抑制することも期待できる。

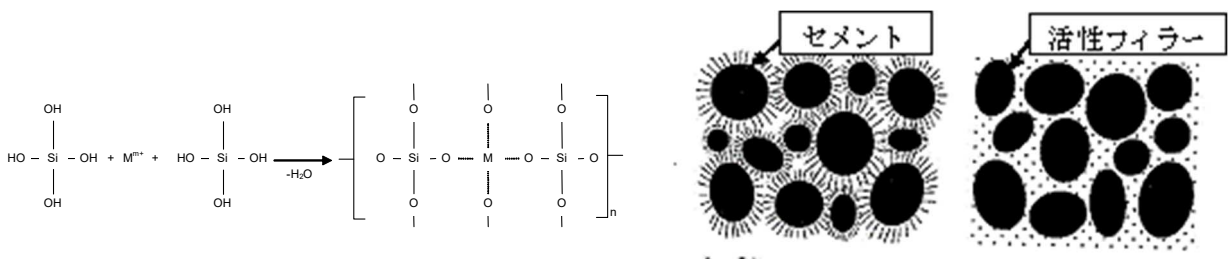


図 19.1 ジオポリマーの固化概念図

(a) セメント (b) ジオポリマー

図 19.2 固化形態イメージ

### (2) CO<sub>2</sub> 削減率の試算または実績

ジオポリマーの CO<sub>2</sub> 削減率の試算例を下記に示す。試算に用いたセメントコンクリートの配合は、実際に二次製品メーカーで使用しているものである。

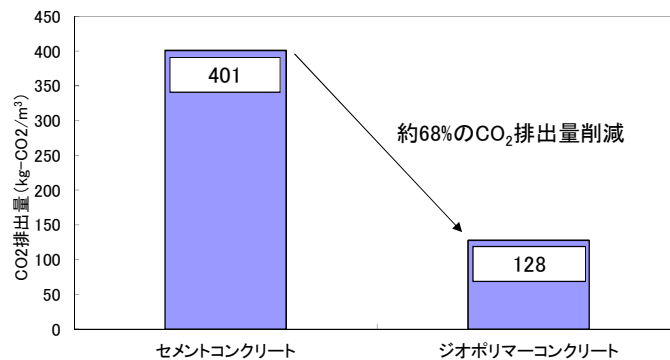


図 19.3 CO<sub>2</sub> 削減率

施工実績は、試験施工等も含めて多数あるが、写真 19.1 には大分県発注の「平成 27 年度道改単別

第3号道路改良工事」で施工されたジオポリマー製境界ブロックを示す。2023年4月では、施工本数は150本以上、施工延長は100m以上の実績となっている。



写真 19.1 施工状況

### (3) 今後の展望

当社は、ジオポリマーのリーディングカンパニーとして、我が国の研究開発を牽引してきた。その成果として、今では多くの研究機関、民間企業等でジオポリマーへの取り組みがなされている。セメントの開発・実用化もそうであったように、新材料に関しては多くの機関が協力して研究開発を進めないで実用化を望めない。今後の、ジオポリマーの発展を大いに期待するところである。

なお、当社では、今後増えるバイオマス発電所から排出されるバイオマス灰を用いたジオポリマーの研究を ERCA の補助金で進めており、2023 年度にはある程度の成果を得らえる予定である。さらには、ジオポリマーの材料が、産業副産物であることから地産地消材料として活用の可能性があることに注目して、2022 年度から沖縄 TLO の補助金を活用することにより、「琉球ジオポリマー」の開発を開始して、地元企業・大学とタッグを組み、検討を進めている。

以上

## AAMコンクリート 西松建設(株) ⑳

### (1) 技術概要

AAM (Alkali Activated Materials : アルカリ活性材料) コンクリートは、製鉄所から排出される副産物の高炉スラグを粉体や細骨材として使用し、アルカリ溶液で反応・硬化させたセメントフリーの環境配慮型コンクリートである。強度発現性や耐凍害性に優れ、現場施工や二次製品への利用も可能な建設資材であり、西松建設(株)、JFE スチール(株)、東北大学、日本大学が共同開発したものである。

#### ① 産業副産物の利用

ポルトランドセメントに比べて、製造時の CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に少ない産業副産物の高炉スラグを材料(粉体、細骨材)として利用することで、普通コンクリートに比べて、製造過程で発生する CO<sub>2</sub> 排出量を低減している。

#### ② 製造・運搬

一般的なコンクリート用ミキサでの製造が可能であり、アジテータ車による運搬も普通コンクリートと同様にできる。

#### ③ 現場打ち施工

独自の配合設計ノウハウにより、施工に適した流動性と材料分離抵抗性を有しつつ、施工条件に応じた可使時間の調整が可能である。これにより、現場の生産性向上にも寄与する。また、常温大気下での強度発現性に優れており、材齢 1 日で 10N/mm<sup>2</sup> 以上、28 日で 30N/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度が得られる。



写真 20.1 フレッシュ性状の確認



写真 20.2 土間での流動充填性

#### ④ 耐凍害性

寒冷地での凍結防止剤の散布による塩害と凍害の複合劣化を想定し、塩水浸漬による凍結融解試験を実施しており、AAM コンクリートは所要の凍結融解抵抗性を有していることを確認している。

## (2) CO<sub>2</sub>削減量および適用実績

### ① AAM コンクリートの CO<sub>2</sub>削減量

同程度の強度を有する普通コンクリート（強度 24 クラス）と AAM コンクリートの製における CO<sub>2</sub> 排出量の比較例を右図に示す。ントを使用せず、産業副産物の高炉スラグをと細骨材に利用することで、CO<sub>2</sub> の削減量は以上となる。

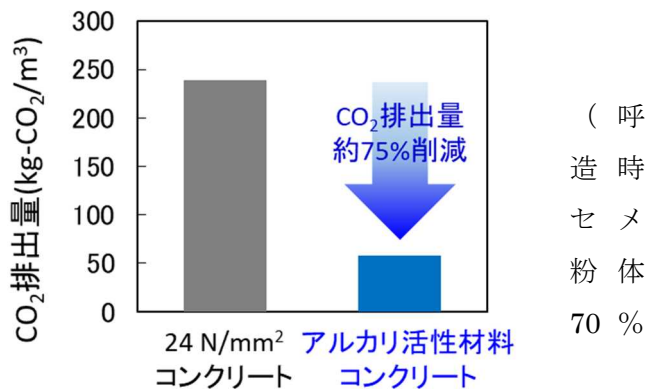


図 20.1 CO<sub>2</sub>排出量比較例（製造時）

### ② 適用実績

現場打ちへの適用やプレキャストコンクリート製品の試作を実施している。

- ・のり面保護コンクリート
- ・建屋基礎補強（増し打ち）
- ・土間コンクリート
- ・護岸積みブロック（試作） 他



写真 20.3 のり面保護コンクリート



写真 20.4 建屋基礎補強（増し打ち）



写真 20.5 土間コンクリート



写真 20.6 護岸積みブロック

## (3) 今後の展望

現状では、主に非構造部材への現場適用を行っているが、構造部材への適用に向けて性能検証に取り組む計画である。また、プレキャスト製品の早期商品化を目指している。

## 現場打設型ジオポリマー「ポリマークリート®」 (株)大林組 ②

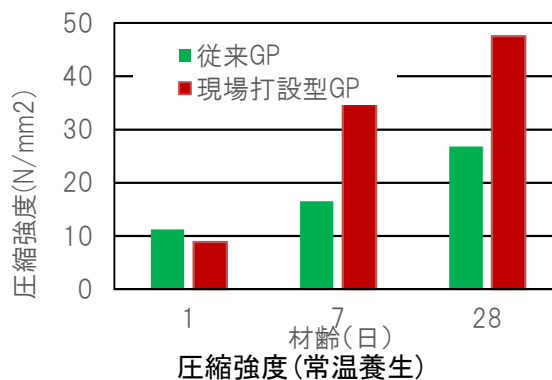
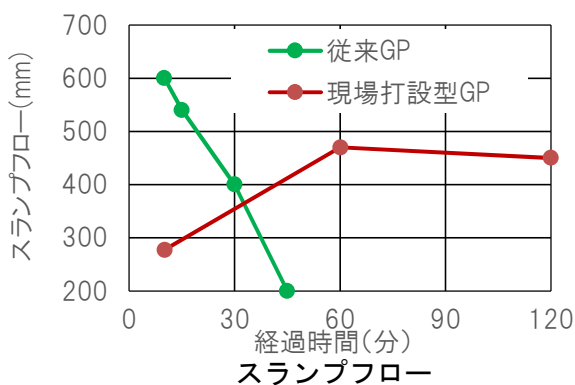
### (1) 技術概要

ジオポリマーは、火力発電所の副産物であるフライアッシュや、製鉄時の副産物である高炉スラグ微粉末を主原料としたアルミナシリカ粉末にアルカリ溶液を加えることで、固化する性質を利用した、セメントを使用しない固化体である。CO<sub>2</sub>排出量は、普通コンクリートの20~35%となり、耐熱性が高く、高温環境下での耐久性に優れている等の特徴も有している。一方、これまでジオポリマーは、



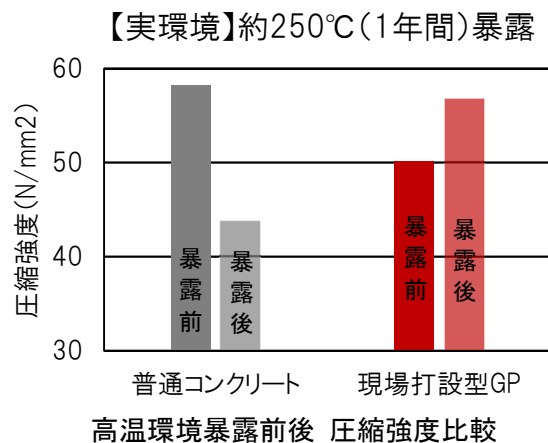
製鉄所内RC擁壁断面補修適用事例

可使時間が非常に短く、必要な強度を確保するには熱養生が必要となるため、工場で製作される二次製品でのみ使用されていた。現場打設型ジオポリマー「ポリマークリート」は特殊な分散剤の添加により、打設に必要な可使時間を確保しコンクリートポンプ車での打設も可能となった。また、現場の常温養生で圧縮強度を発現する。これにより、従来のジオポリマーに対して適用範囲が大幅に広がった。これまでに、熱により劣化した壁の表面を10cmの厚さで断面修復する工事で適用し、施工性と常温での強度発現を現場施工でも確認済みである。



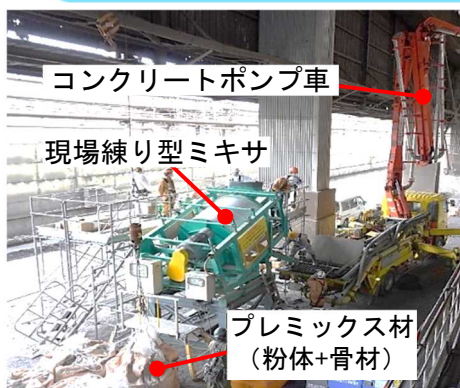
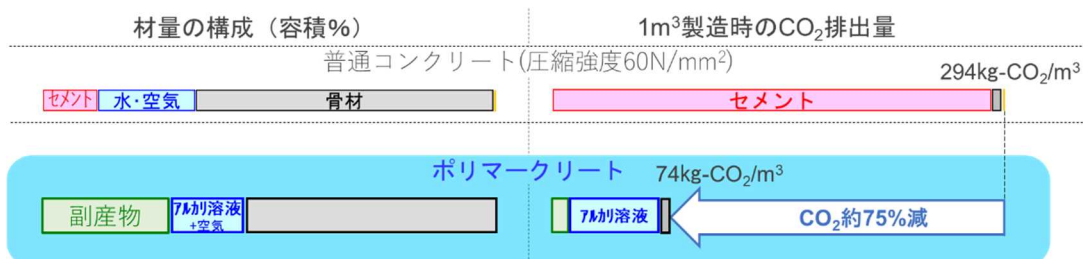
従来ジオポリマーと現場打設型ジオポリマーの比較

「ポリマークリート」は、従来のジオポリマー同様に普通コンクリートに比べて耐熱性に優れている。暴露試験（環境温度250℃で1年間）では、普通コンクリートの圧縮強度が25~30%程度低下するのに対し、ポリマークリートの圧縮強度は10%程度増加することを確認した。環境温度が250℃程度までならばポリマークリートの圧縮強度はほとんど変化がない、あるいは増加することがこれまでの実験で確認できている。

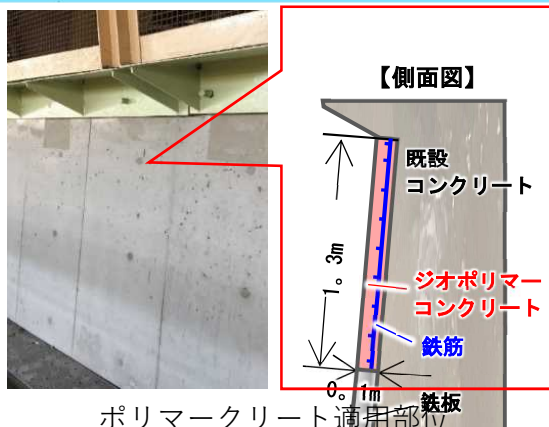


## (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

製鉄所内鉄筋コンクリート擁壁断面補修工事で使用したジオポリマーの配合から試算すると、ジオポリマーのCO<sub>2</sub>排出量は約74kg/m<sup>3</sup>となる。これは、同等強度を有する普通コンクリート(約294kg/m<sup>3</sup>)の約25%(75%減)と、大幅な排出量削減となる。また、ジオポリマーの原材料として、フライアッシュや高炉スラグなどの産業副産物の有効利用ができ、環境保全に貢献できる。



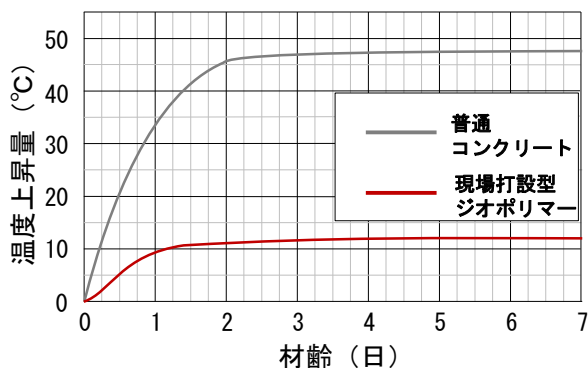
製鉄所内RC擁壁断面補修打設状況



ポリマーコンクリート適用部位

## (3) 今後の展望

「ポリマーコンクリート」の適用範囲拡大に向けて各種試験を実施中である。断熱温度上昇試験では、セメントコンクリートと比較して硬化時に発生する発熱量が極めて少ないため、マスコンクリートに採用した場合、温度ひび割れ対策となる可能性がある。また、圧送試験では、水平換算距離約250mの長距離圧送後でもフレッシュ性状は良好であり、圧送後の圧縮強度発現にも影響がないことを確認している。今後は、低炭素型材料や耐熱性が高い材料としてだけでなく、長距離圧送でのマスコンクリートにも適用範囲が拡大することが期待される。



断熱温度上昇試験結果



圧送後筒先排出状況



## サスティンクリート® (Sustain-Crete®) 三井住友建設(株) ⑳

### (1) 技術概要

サスティンクリートは、材料に由来する CO<sub>2</sub> 排出量を 40%~90%削減する環境配慮型コンクリートである。高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフュームなどの産業副産物の特性を考慮し、配合の最適化を図ることによって、様々な構造物の要求性能を満足しつつ CO<sub>2</sub> 排出量が多いポルトランドセメント（以下、セメント）の使用量を極力低減する。

サスティンクリートは以下の3つの特徴がある。

#### ① CO<sub>2</sub> 排出量を大幅に削減可能

通常のコンクリートよりもセメント量を少なくすることにより、CO<sub>2</sub> 排出量を 40%以上削減する。セメントを全く使用しない条件（ゼロセメントタイプ）においては最大で約 90%の削減が可能である。

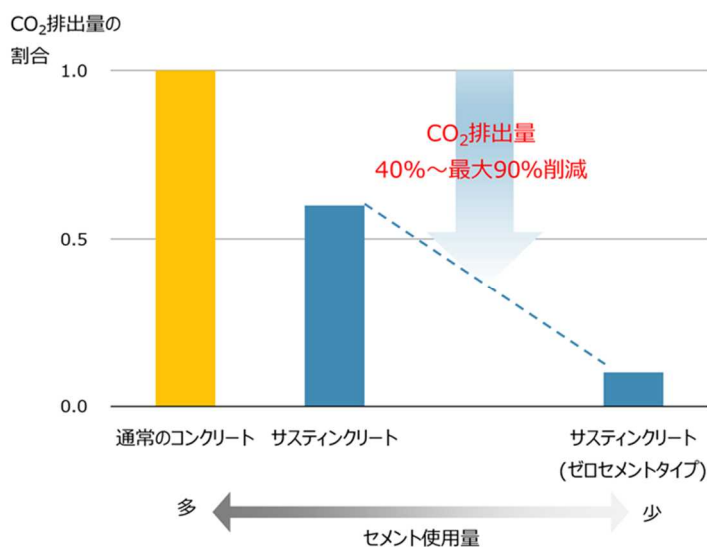
#### ② 普通強度から超高強度（設計基準強度 220N/mm<sup>2</sup>）に対応

一般的な環境配慮型コンクリートより強度範囲が広いコンクリートである。超高強度のコンクリート部材は、普通強度のコンクリート部材と比べてより多くのセメントが必要となるが、サスティンクリートは超高強度の部材においても使用するセメント量を少なくでき、CO<sub>2</sub> 排出量を削減することができる。

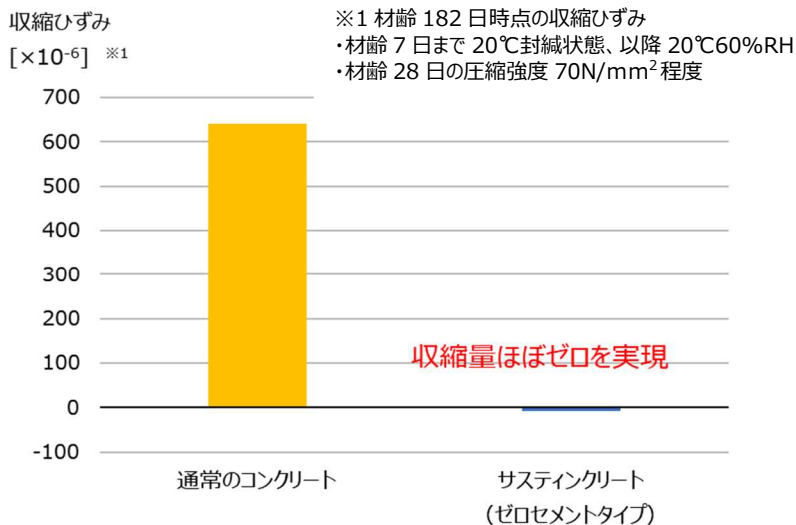
#### ③ 超低収縮の性能を付加した特別な配合も可能

産業副産物でもある特殊な細骨材（フェロニッケルスラグ）を活用した配合とすることで、超低収縮の性能を付加することが可能である。これによりコンクリートの収縮ひび割れのリスクを大幅に低減することが可能になり、構造物の耐久性がより向上する。

収縮ひび割れを回避したい構造部材・部位や、通常のコンクリートでは収縮ひび割れが発生し、成形が難しい複雑なデザインの部材・造形物などにも適用可能である。



サスティンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量



超低収縮性能を付加した場合の収縮特性

## (2) CO<sub>2</sub> 低減率の試算または実績

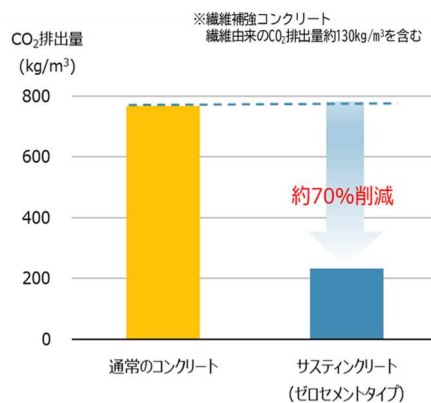
### 【適用例】

セメント不使用・超低収縮タイプのサスティンクリート（短繊維補強）と腐食しないアラミド FRP ロッドを組み合わせた「環境配慮型高耐久 PC 橋梁」に適用した。

- ・高強度（140N/mm<sup>2</sup>）、短繊維補強材を入れた配合において、CO<sub>2</sub> 排出量を 70%削減した。
- ・超低収縮の性能を付加することで、収縮量ほぼゼロを実現した。



プレストレストコンクリート桁の架設状況



CO<sub>2</sub> 排出量

## (3) 今後の展望

脱炭素社会の実現に向け、「サスティンクリート」の更なる開発を進め、インフラ更新事業における老朽化した高速道路橋などの床版の取替工事などへの採用に向け提案していく所存である。

## クリーンクリート (株)大林組 ②⑤

### (1) 技術概要

「クリーンクリート」は、セメントを高炉スラグ微粉末・フライアッシュ・シリカフュームなどの産業副産物(混和材)に60~90%置き換えることで、最大80%程度のCO<sub>2</sub>排出量を削減することが可能な低炭素型のコンクリートである。施工性・強度などは通常のコンクリートと同等であり、低発熱・塩害に対する高い耐久性等の特徴がある。特に高炉スラグ微粉末のみを65~75%程度(残りの35~25%はポルトランドセメント)使用する構成を標準としている。「クリーンクリート」に使用する高炉スラグ微粉末はJIS規格品であれば産地・構成等を選ばない。また、JIS規格高炉スラグ微粉末と専用の混和剤、およびそれらのサイロ・薬剤ビンのみ確保出来れば良く、プラント担を最小限に抑制することが可能である。これらによる汎用性の高さから、2010年の開発・実用化以2023年1月末までに土木建築合わせて約100件万m<sup>3</sup>以上、CO<sub>2</sub>排出の総削減量は約6.5万tと建最大の実績を有している。また、公的認証として、日築総合試験所の建築材料技術証明を取得し、NETIS(KT-130003-VE)やJ-クレジット制度に登録済み、国立研究開発法人土木研究所との共同研究報告書471号~476号にも、その性能が取りまとめられている。



とうきょうスカイツリー駅切替線床版

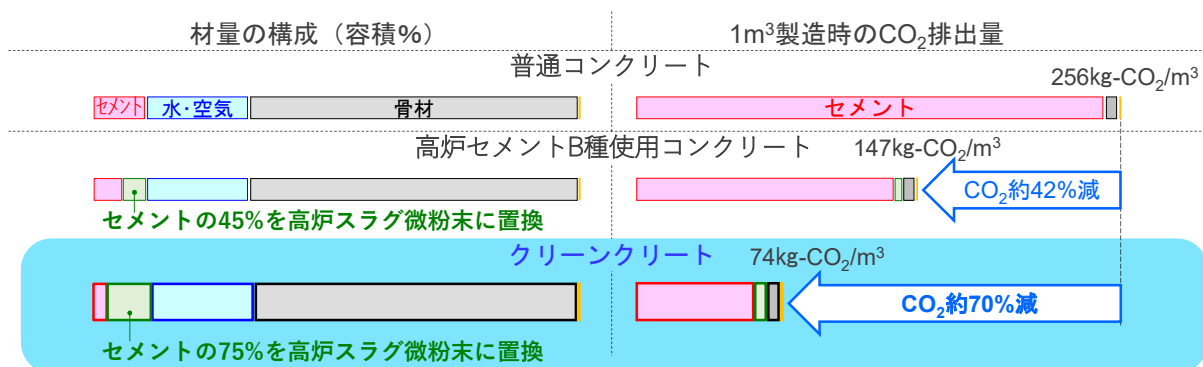


東名阪 弥富高架橋 PCa 仮設防護柵

規格品のための負特徴降、37設業本建

### (2) CO<sub>2</sub>低減率の試算または実績

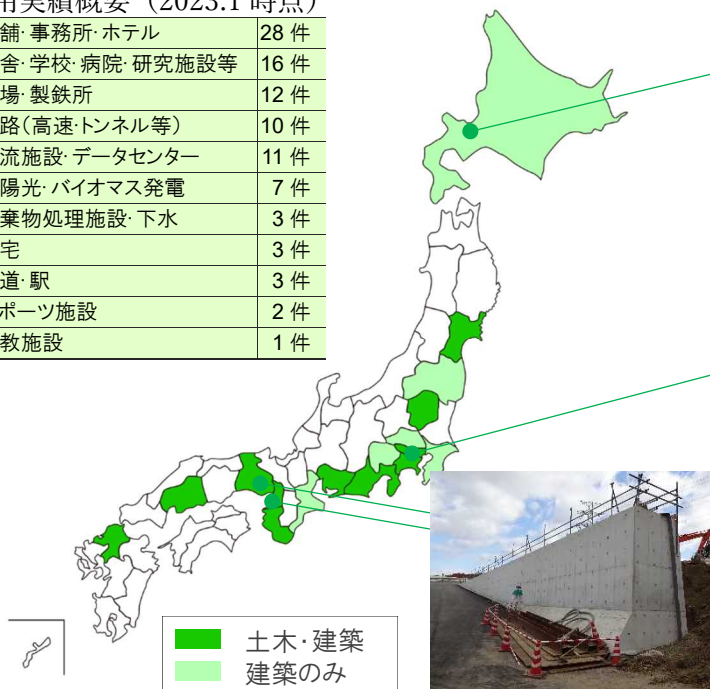
「クリーンクリート」の標準配合では、CO<sub>2</sub>排出量が760~770 kg-CO<sub>2</sub>/t程度であるポルトランドセメントの75%を高炉スラグ微粉末(24~36 kg-CO<sub>2</sub>/t)に置換することで、CO<sub>2</sub>を約70%削減することが可能である。



施工実績は 2023 年 1 月末までに土木建築合わせて約 100 件 37 万 m<sup>3</sup> 以上、CO<sub>2</sub> 排出の総削減量は約 6.5 万 t と建設業最大の実績である。

クリーンクリート  
適用実績概要 (2023.1 時点)

店舗・事務所・ホテル	28 件
庁舎・学校・病院・研究施設等	16 件
工場・製鉄所	12 件
道路(高速・トンネル等)	10 件
物流施設・データセンター	11 件
太陽光・バイオマス発電	7 件
廃棄物処理施設・下水	3 件
住宅	3 件
鉄道・駅	3 件
スポーツ施設	2 件
宗教施設	1 件



エスコンフィールド HOKKAIDO



中央環状品川線大井地区トンネル



大阪夢洲 ひかりの森メガソーラー



神戸 JCT

クリーンクリート適用実績

(3) 今後の展望

・適用拡大

現状は低炭素型のコンクリートを設計段階から盛り込みやすい建築工事での適用が進んでいるが、今後は土木工事でも一層の適用拡大が求められる。そのためには、現場打ちの鉄筋コンクリートやプレキャストコンクリートへの適用拡大が重要となる。地上部鉄筋コンクリートへの適用は、中性化への対応が不可欠である。一例として、プレキャスト埋設型枠内部への充填コンとしての適用や、耐久性に優れるクリヤ塗料による中性化抵抗性の付与による打放し壁部材への適用が建築案件で進んでいるので、土木分野でも展開することが考えられる。

・適正コスト

各社の低炭素型コンクリート用スラグの共通化や、CO<sub>2</sub>削減効果の評価手法の統一を経た適切な価格設定により、低炭素型コンクリート全体として適用が広がることが望ましいと考える。



エスコンフィールド HOKKAIDO  
大屋根ガーダー架構埋設型枠内部に適用



当社技術研究所内施設  
クリーンクリート+クリヤ塗料外壁

## 「スラグリート®」 戸田建設(株) ②7

### (1) 技術概要

「スラグリート®」とは、セメントの質量比70~90%を製鉄所の副産物である高炉スラグ微粉末で置換した低炭素型のコンクリートである。「スラグリート®」を使用することで、コンクリート製造時における二酸化炭素の主たる排出源となるセメントの使用量を大幅に低減することが可能となり、普通コンクリートと比較してCO<sub>2</sub>排出量を約65~85%削減することができる技術である。

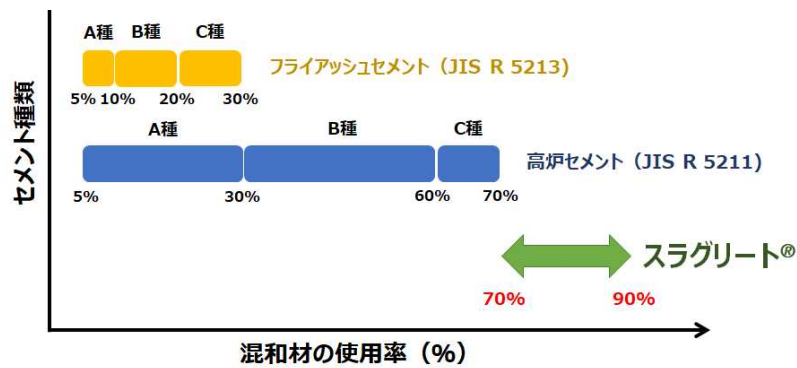


図 26.1 「スラグリート®」の混和材使用率

以下に「スラグリート®」の特徴を示す。

- ① セメントの70~90%を高炉スラグ微粉末に置換することで、CO<sub>2</sub>排出量を65~85%程度削減することができる。
- ② 普通ポルトランドセメントや高炉B種セメントを使用したコンクリートと比較して、温度ひび割れの低減効果が期待できる(図26.2参照)。
- ③ 流動性や圧送性などのフレッシュ性状は、一般的なレディーミクストコンクリートと大きな違いはなく、普通コンクリートと同様に打設可能である。

### 最高温度分布

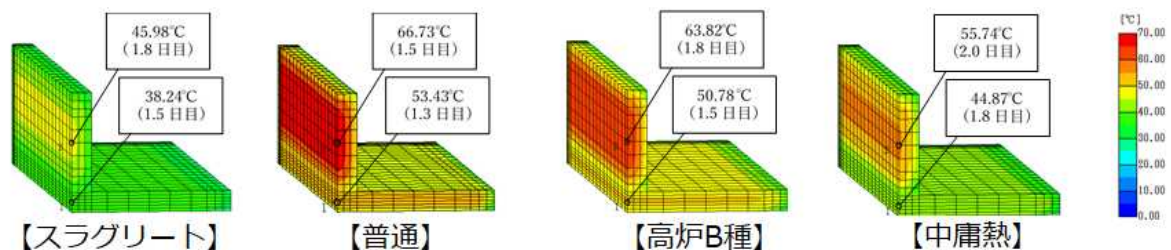
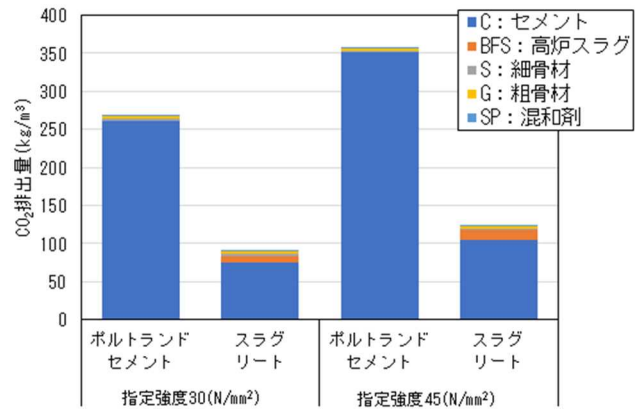


図 26.2 壁状部材の温度解析結果

## (2) CO<sub>2</sub> 排出量の試算

普通ポルトランドセメント製造時の CO<sub>2</sub> 排出量は、1 トン当たり約 760kg であり、コンクリート製造時の CO<sub>2</sub> 排出量の大半を占める。

セメント質量の 70% を高炉スラグ微粉末に置換した「スラグリート®」の場合、普通ポルトランドセメントを用いた同一強度の配合と比較して、CO<sub>2</sub> 排出量を 65% 程度削減できる (図 26.3 参照)。



※ (セメント質量 70% を高炉スラグ微粉末に置換した場合)

図 26.3 コンクリート製造時の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果

\*1 骨材および混和剤 CO<sub>2</sub> 原単位は土木学会: コンクリート構造物の環境性能照査指針 (試案) 2005 年を元に作成。

※ただし、高炉スラグ微粉末 4000 を使い、CO<sub>2</sub> 原単位を 40.4kg/t と仮定した場合。

## (3) 実績

- ・ 造成工事における擁壁
- ・ 戸田建設 (株) 技術研究所、グリーンオフィス棟 (写真 26.1)
- ・ 戸田建設 (株) 技術研究所敷地内、共同溝 (写真 26.2)
- ・ 戸田建設 (株) 「TODA BUILDING」、耐圧スラブ (写真 26.3)



写真 26.1 グリーンオフィス棟



写真 26.2 共同溝



写真 26.3 耐圧スラブ

## (4) 技術登録・評価取得

- ・ NETIS 登録番号: QS-210008-A
- ・ 建設材料技術性能証明 性能証明番号: GBRC 材料証明 第 20-01 号
- ・ エコリーフ 登録番号: JR-BY-23001E(スラグリート®70(呼び強度 40 以下))

## (5) 今後の展望

脱炭素社会の実現に向けた取組みの一つとして、土木・建築分野の実構造物に対して、積極的に普及、展開を図っている。また、土木分野においては、適用範囲の拡大向け、コンクリート二次製品等への適用について検討を行っている。