

CO₂ 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート 「CO₂-SUICOM (スイコム)」



取違 剛¹・横関 康祐¹・吉岡 一郎²・
中本 健二²・盛岡 実³・樋口 隆行³

¹鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

²中国電力株式会社 流通事業本部 (〒730-8701 広島市中区小町 4-33)

³電気化学工業株式会社 セメント特混研究部 (〒949-0393 新潟県糸魚川市大字青海 2209)

CO₂削減は地球温暖化抑制のために全世界的に取り組まれている大きな課題である。我が国の建設分野においても、特にセメント製造時に多量の CO₂ を排出することから、セメント使用量削減のために様々な取組みが行われている。著者らは、「産業副産物の有効利用によるセメント使用量の削減」と「炭酸化反応によるコンクリートへの CO₂ 固定」の 2 つの技術を組み合わせることで、コンクリート製造時の CO₂ 排出量をゼロ以下にできる新しい環境配慮型コンクリート「CO₂-SUICOM」を開発した。ここでは、この「CO₂-SUICOM」の概要を説明し、適用事例、ならびに今後の展望について紹介する。

キーワード：CO₂-SUICOM, CO₂, γ -C₂S, 石炭灰, 排気ガス, 炭酸化養生

1. はじめに

ゲリラ豪雨や台風の大型化、記録的な猛暑や大干ばつといった異常気象が世界各地で頻発しており、日本においても全国各地で様々な被害が報告されている。図 1 に示すように、日本は高度経済成長を迎えた 1960 年代頃から平均気温が上昇し始め、この 50 年で約 3°C 上昇しており、一般的にはこの「地球温暖化」がこれらの災害の引き金になっていると考えられている。このような状況のなか、上述した自然災害による被害を防ぐための方策として、短期的にはインフラ等の整備によって災害に強い国づくりを推進することが望ましいと考えられるが、長期的には、その原因である「地球温暖化」を抑制する取組みが非常に重要になると考える。

地球温暖化の原因は二酸化炭素 (CO₂) やメタン、代替フロンなどの温室効果ガスといわれており、このうち温室効果ガスの多くを占める CO₂ の削減に向けた取組みが世界中で行われている。

著者らは、「建設産業による地球温暖化防止への貢献」を目標に技術開発を進め、コンクリートに大量の CO₂ を

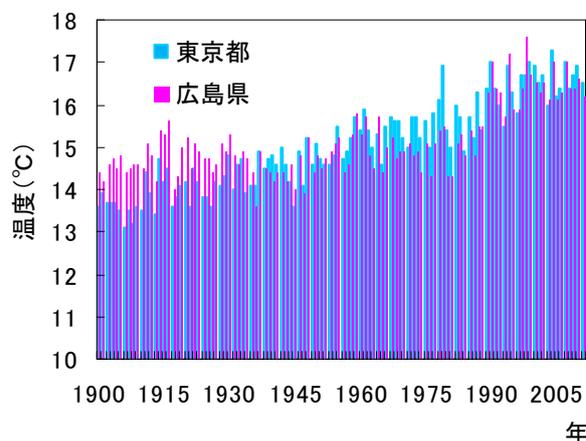


図 1 東京都と広島県の平均気温の変化
(気象庁のデータをもとに作図)

固定することで、これまでになかった新しい環境配慮型コンクリート「CO₂-SUICOM」を開発した。

本稿では、CO₂-SUICOM の開発に至った経緯、同コンクリートの概要を紹介するとともに、適用事例ならびにこのコンクリートの今後の展望について述べる。

2. 開発の経緯

日本において土木・建築分野に関わる CO₂ 排出量は、セメント製造時や鉄筋製造時の CO₂ 排出までカウントすると全産業の約 1/4 を占める¹⁾。すなわち、建設産業は日本の主要な CO₂ 排出産業といえる。コンクリートあるいはコンクリート構造物が CO₂ を排出する主な要因はセメントと鉄であり、それぞれ製造時に大量の CO₂ を排出する。このため、(社)セメント協会では高炉スラグ微粉末やフライアッシュをセメント代替として用いた、混合セメントの利用を促進している²⁾。また土木学会では、コンクリート構造物の設計、施工、供用、維持管理、解体・廃棄や解体後の再利用を行う際の環境負荷を照査できる仕組み作りが始められている³⁾。

これらの技術を用いることで建設産業における CO₂ 排出量を削減はできるものの、コンクリート構造物を継続的に建設・更新し続ける限り、建設産業としては少なからず CO₂ を排出し、地球規模で見た CO₂ 排出量は増加していくこととなる。そこで著者らは、コンクリート製造時の CO₂ 排出量をゼロ以下にすることで、地球規模で見て CO₂ を削減できるコンクリートの開発に着手した。

3. CO₂-SUICOM の概要

(1) 特徴

CO₂-SUICOM は CO₂-Storage Under Infrastructure by COConcrete Materials の略であり、その名のとおりコンクリートに CO₂ を大量に吸い込む（スイコム）とともに、固定／貯留（Storage）することで CO₂ を削減する。CO₂-SUICOM の開発コンセプトを図 2 に示す。以下に CO₂-SUICOM の 2 つの大きな特徴を述べる。

a) 炭酸化反応によるコンクリートへの CO₂ 固定

コンクリート中のセメント水和物と CO₂ が反応する現象は“炭酸化”と呼ばれ、一般的にはコンクリートの劣化のひとつである“中性化”と同義で扱われる。大気中の CO₂（濃度約 0.03%）がコンクリートに表面から徐々に浸透してセメント水和物と反応することで、コンクリートの高アルカリ性が失われ、コンクリート内部の鉄筋腐食を助長する。しかし、鉄筋腐食は助長されるものの、炭酸化によってコンクリート自体の強度が向上する結果も報告されており⁴⁾、鉄筋を含まないコンクリートにとって炭酸化は品質向上になりうる事が確認されている。

また、CO₂ はセメント水和物との反応によって化学的

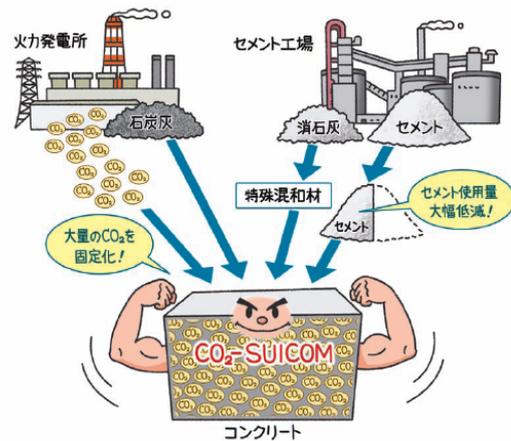


図 2 CO₂-SUICOM の開発コンセプト

に安定な形で固定されることから、コンクリートを積極的に炭酸化させてコンクリート内部まで CO₂ と反応させることができれば、コンクリートに大量の CO₂ を固定することができるので、大きな CO₂ 削減につながると考えた。

早期にこの炭酸化を進めるための方策として、高濃度の CO₂ 環境下でコンクリートと CO₂ を反応させることが効果的である。高濃度な CO₂ の供給源としては各種産業から排出される排気ガスが挙げられ、その中でも著者らは、安定的に大量の CO₂ を排出する場所として火力発電所の排気ガスに着目した。発電所の運転状況によって多少のばらつきはあるものの、火力発電所の排気ガスに含まれる CO₂ は 15~20% と比較的高濃度（大気中の CO₂ 濃度の 500~600 倍）であり、大量の CO₂ を供給するのに適している。

すなわち、火力発電所の排気ガスに含まれる高濃度の CO₂ をコンクリートに大量に固定し、これを CO₂ 削減量としてカウントすることが、CO₂-SUICOM の一つめの大きな特徴である。

b) 特殊混和材と産業副産物の有効利用

CO₂-SUICOM を構成する材料のうち、鍵となる材料である特殊混和材は、ダイカルシウムシリケート γ 相 (γ -2CaO · SiO₂ : 以下、 γ -C₂S) を主成分とする粉末である。この γ -C₂S は、水とは反応しないため一般のコンクリートに適用した場合には強度発現性を示さないが、CO₂ と反応させる炭酸化反応によってコンクリート組織を緻密化し、強度発現性を示すという特徴がある⁵⁾。

次に、 γ -C₂S のもう一つの大きな特徴である CO₂ 排出量について述べる。これまで γ -C₂S は、工業原料として入手可能な石灰石 (CaCO₃) と珪石を用いて製造されていた。CaCO₃ を原料として γ -C₂S を製造する際には、セメント製造のときと同様に CaCO₃ を高温で燃焼して Ca 成分

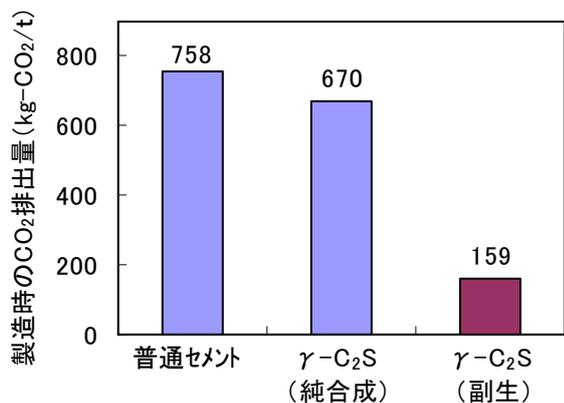


図3 γ-C₂SのCO₂排出量

を取り出す。この処理は、CaCO₃に含まれるCO₂を分離することから“脱炭酸”と呼ばれ、この脱炭酸によって排出されるCO₂の量はγ-C₂S製造時に排出される総CO₂排出量の約半分を占める。このため、図3に示すように、工業原料から純合成したγ-C₂Sでは普通セメントと比較してCO₂排出量は10%程度の削減にとどまる。

一方、最近の研究によって、他産業にて排出される産業副産物である副生水酸化カルシウム（以下、副生Ca(OH)₂）と珪石を用いた場合にも、不純物をほとんど含まないγ-C₂Sを生成でき、炭酸化による強度発現も同程度であることを確認した⁶⁾。Ca(OH)₂を原料とすることで上述した脱炭酸処理が不要となり、γ-C₂S製造時のCO₂排出量は図3に示すように80%程度と大幅に削減可能となった。

さらに、CO₂-SUICOMには火力発電所から排出される石炭灰を分級せずにそのまま用いている。製品によってその使用量は異なるものの、コンクリート1m³あたり70

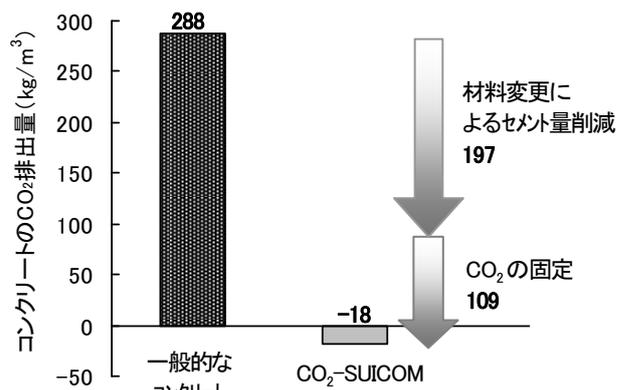


図4 コンクリートのCO₂排出量

～160kgの石炭灰を混入しており、産業副産物の有効利用にもさらに大きく寄与できる。

C) CO₂-SUICOMによるCO₂削減効果

一般的なコンクリートおよびCO₂-SUICOMのCO₂排出量を図4に示す。CO₂-SUICOMはγ-C₂Sや石炭灰をセメント代替として用いることで、一般的なコンクリートに比べて197kg/m³のCO₂を削減している。さらに、炭酸化によってコンクリートに固定されたCO₂量（分析値：109kg/m³）を差し引くと、図4に示すようにCO₂排出量はマイナスとなる。

(2) 製造方法

現在開発を進めているCO₂-SUICOMは、一般的なスランプ8cm程度のコンクリートと即時脱型が可能な硬練りモルタルの2種類がある。CO₂-SUICOMの製造手順は以下のとおりである。

CO₂-SUICOMを練混ぜ後、型枠に打ち込み、脱型可能

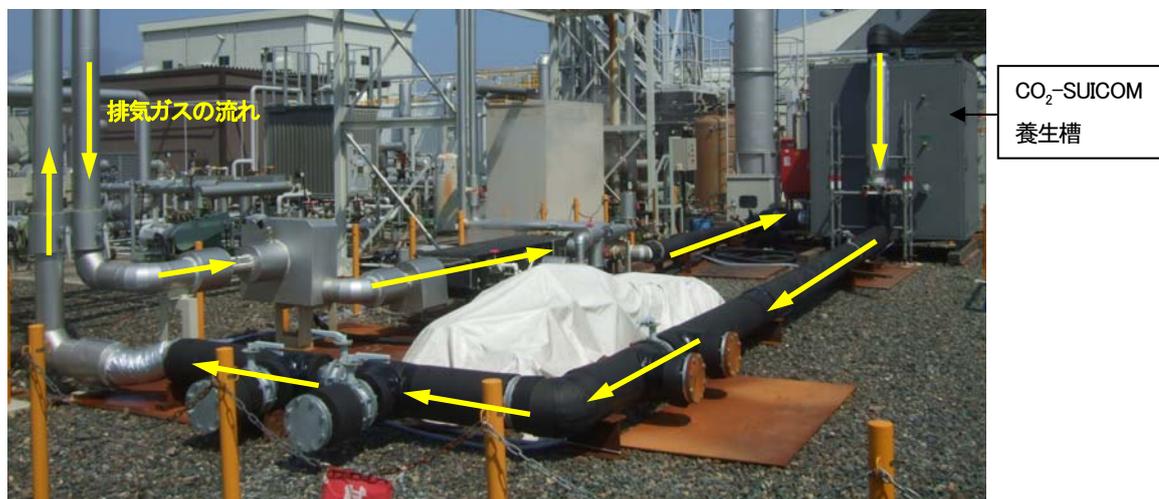


写真1 炭酸化養生設備

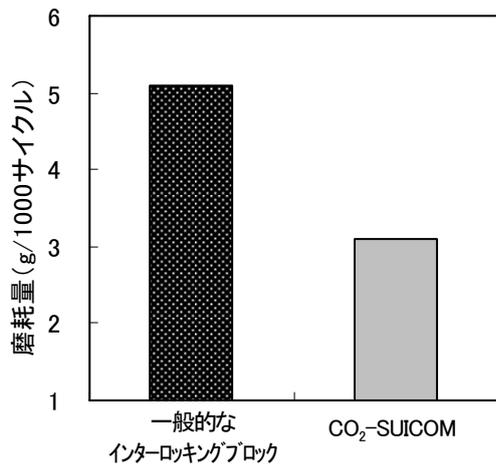


図 5 CO₂-SUICOM の耐摩耗性

な強度に至った時点で脱型する。その後、脱型したCO₂-SUICOMを写真1に示す炭酸化養生設備内にて約2週間養生する。槽内には排気ガスを引き込んでおり、CO₂-SUICOMが効率的にCO₂を固定できるように槽内の温度・湿度を調整している。

(3) コンクリートとしての品質

CO₂-SUICOMは一般的なコンクリートと比較してセメント使用量を大幅に削減しているが、 γ -C₂Sの炭酸化による強度発現によって一般的なコンクリートと同等以上の強度を有する。なお、CO₂-SUICOMは要求される強度レベルに応じて配合変更が可能である。

即時脱型が可能な硬練りモルタルのCO₂-SUICOMは、車道に適用可能なインターロッキングブロックの要求品質である曲げ強度 5N/mm²以上を満足している。また、炭酸化反応による組織の緻密化によって、一般的なインターロッキングブロックに比べて耐摩耗性が向上する(図5)。

さらに、CO₂-SUICOMの大きな特長として、炭酸化反応によるコンクリートのpHの低下、およびエフロレッセンスの発生抑制効果が挙げられる。一般的なインターロッキングブロックとCO₂-SUICOMを製造したときのエフロレッセンスの発生割合を図6に示す。また、それぞれのエフロレッセンス発生状況を写真2に示す。このように、CO₂-SUICOMはエフロレッセンスの発生を大幅に抑制できることから、美観や歩行安全性(エフロレッセンスがあると滑りやすくなる)を損ねることなくインターロッキングブロックを供用できる。

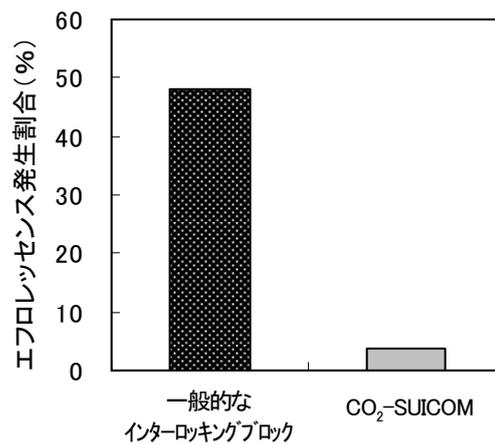


図 6 エフロレッセンスの発生割合



写真 2 エフロレッセンス発生状況

4. CO₂-SUICOM の適用事例

CO₂-SUICOMにて作製した歩車道境界ブロック、フェンス基礎ブロック、ならびに舗装ブロックを2011年3月に中国電力福山太陽光発電所(広島県福山市:写真3)に適用した。実際に適用された状況を写真4に示す。設置した製品については、今後定期的に強度試験等を行い、長期的な耐久性の確認を行う予定である。

また、土木分野だけでなく建築分野への適用も検討を進めており、CO₂-SUICOMで製造したプレキャストの部



写真 3 福山太陽光発電所

材を集合住宅のバルコニー天井部に型枠として使用した。この際、配合の工夫によって CO₂ 排出量マイナスを確保しつつ強度が 50N/mm² となるように改良したものを適用した。

5. 今後の展望

CO₂-SUICOM は使えば使うほど CO₂ を削減できる“植物”のようなコンクリートである。また、低アルカリであることから河川や農業用水路といった自然との調和が求められる箇所への適用が期待される。さらに、エフロレンス抑制による美観向上は建物の外構材への適用に効果的と考える。

このように CO₂-SUICOM は土木・建築を問わず様々な用途への適用が期待できる一方、コスト面では特殊混和材の利用や排気ガス養生にかかる費用によって、現状は一般的なコンクリートに比べて割高となっている。しかしながら、東日本大震災以降当面の対応として火力発電への依存にシフトしている今の日本にとって、CO₂ 削減技術は必要不可欠なものになると考えられる。今後は、CO₂ 削減技術としての CO₂-SUICOM の認知を高めるとともに、適用実績を積み重ねながら、国内クレジット制度等 CO₂ 削減技術としての認証を得るべく各方面に積極的に働きかけ、適用箇所を拡大していく予定である。

【参考文献】

- 1) 日本建設機械化協会：建設施工における地球温暖化対策の手引き, p.3, 2003.7
- 2) (社)セメント協会 HP より引用
- 3) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），コンクリートライブラリー125, 2005



写真 4 CO₂-SUICOM 適用状況

- 4) 横関康祐, 渡邊賢三, 安田和弘, 坂田昇: 炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.555-560, 2002
- 5) 取違剛, 横関康祐, 盛岡実, 山本賢司: γ -2CaO \cdot SiO₂を混入して強制炭酸化したセメント系材料による環境負荷の低減, セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.161-167, 2009
- 6) 盛岡実, 山本賢司, 取違剛, 横関康祐: 工業原料を用いた γ -2CaO \cdot SiO₂の製造とその二酸化炭素排出量の評価, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.29-34, 2010

-
- 1) 日本建設機械化協会：建設施工における地球温暖化対策の手引き，p.3，2003.7
 - 2) (社)セメント協会 HP より引用
 - 3) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），コンクリートライブラリー125，2005
 - 4) 横関康祐，渡邊賢三，安田和弘，坂田昇：炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.555-560，2002
 - 5) 取違剛，横関康祐，盛岡実，山本賢司： γ -2CaO・SiO₂ を混入して強制炭酸化したセメント系材料による環境負荷の低減，セメント・コンクリート論文集，No.63，pp.161-167，2009
 - 6) 盛岡実，山本賢司，取違剛，横関康祐：工業原料を用いた γ -2CaO・SiO₂ の製造とその二酸化炭素排出量の評価，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.29-34，2010