

CO₂排出量をゼロ以下にできる環境配慮型コンクリート「CO₂-SUICOM」の開発

中国電力（株）流通事業本部（土木計画担当） ○向原 敦史
中国電力（株）流通事業本部（土木計画担当） 及川 隆仁
中国電力（株）流通事業本部（土木計画担当） 小畑 大作

1. 本開発にいたった背景および目的

地球温暖化防止に向け、CO₂排出量の削減はあらゆる産業において極めて重要な問題であり、主要な建設材料の一つであるコンクリートは、構成材料であるセメントの製造過程でCO₂を大量に発生することが課題となっている。

このような背景のもと、新しい材料の利用や製造方法の工夫により、CO₂排出量をゼロ以下にできる全く新しい環境配慮型コンクリートを世界で初めて開発した。

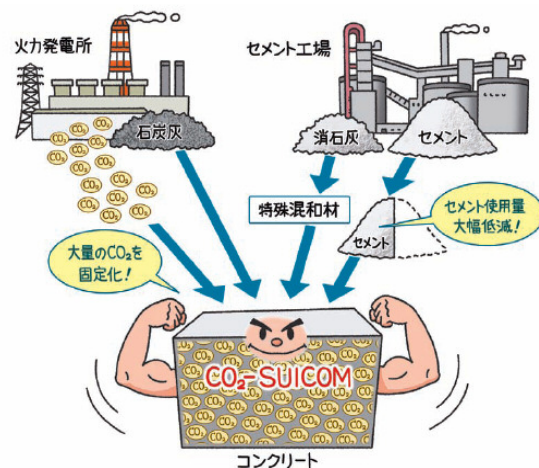


図-1 CO₂-SUICOM の概念図

2. 開発内容とその新規性、優位性について

今回開発した「CO₂-SUICOM（スイコム）」は、CO₂-Storage Under Infrastructure by CO₂Concrete Materialsの略で、コンクリートがCO₂と反応する“炭酸化反応”に着目し、その名のとおり、コンクリートに大量のCO₂を吸い込む（スイコム）とともに、コンクリート内に固定／貯留（Storage）するというコンセプトのもとに開発された、全く新しい環境配慮型コンクリートである。CO₂-SUICOMの開発コンセプトを図-1に示す。

(1) 産業副産物有効利用によるセメント削減

CO₂-SUICOMは2つの大きな技術で成り立っている。コンクリート製造時のCO₂排出量はその大部分がセメント起因のものであるため、セメント使用量を削減することがコンクリートのCO₂排出量を削減するための有効な手段となる。セメント使用量を削減するための一般的な方法

としては、火力発電所にて発生する石炭灰や、製鉄所にて発生する高炉スラグをセメント代替として利用することが挙げられる。CO₂-SUICOMは、これらの代替材料に加えてさらに、特殊混和材『 γ -2CaO・SiO₂（以下、 γ -C₂S）』をセメントの代替材料として用いている。これが一つめの特長である。 γ -C₂Sはセメントのように水とは反応しないものの、CO₂と反応して硬化する性質を有している。この γ -C₂Sをセメント代替として用いたコンクリートは、高濃度のCO₂と強制的に反応させる『炭酸化養生』を行うことで、一般のコンクリートと同等以上の強度が付与される。 γ -C₂Sは従来、工業原料として入手可能な石灰石とケイ石を用いて製造されていたが、技術開発の結果、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）とケイ石を原料に用いても、純度の高い γ -C₂Sを生成できるようになった。副生Ca(OH)₂を用いて製造した γ -C₂Sは製造時のCO₂排出量が普通ポルトランドセメントに比べて1/5と非常に少なく、副

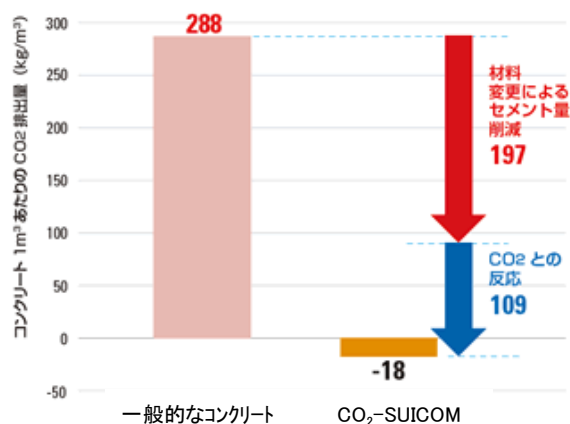


図-2 コンクリートとしてのCO₂排出量の一例

生 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ から製造した $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ をセメント代替として用いることによって、大量の CO_2 削減ならびに産業副産物のリサイクルに繋げることができる。

(2) 排ガスに含まれる CO_2 の大量固定

本開発では、コンクリートに固定させる CO_2 の供給源として火力発電所の排ガスを選定した。これがこれまでのコンクリートにはない、 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ のもう一つの大きな特長である。発電所の運転状況によって多少のばらつきはあるが、火力発電所の排ガスに含まれる CO_2 は 15～20% と高濃度であり、大量の CO_2 を早期にコンクリートに固定することに適している。 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ を練り混ぜて型枠に打ち込み、脱型後、火力発電所からの排ガスを充満させた炭酸化養生設備内にて養生することで、コンクリートが十分な強度に達する。 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ に排ガス中の CO_2 を固定することによって、火力発電所から排出される CO_2 の削減に貢献できる。

これら 2 つの技術を組み合わせることで、材料起因の CO_2 排出量以上の CO_2 をコンクリートに固定させることができ、図-2 に示すように、コンクリートとしての CO_2 排出量ゼロ以下を実現している。

3. 環境の保全・創造への貢献

(1) 地球温暖化防止への貢献

$\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ の CO_2 排出量は、図-2 に示すように「0」以下になっている。これは、コンクリートに大量の CO_2 を固定することによって実現されるもので、大きな視点で考えれば、 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ を作れば作るほど、日本の CO_2 排出量が削減されることを意味している。 CO_2 を吸収してくれる $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ は、植物のようなコンクリートと言える。

また、 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ を使用することで、一般的なコンクリートに比べてコンクリート 1m^3 あたり約 300 kg (0.3 トン) の CO_2 を削減することができる。日本における道路用コンクリート製品の生産量が年間約 220 万 m^3 であり、これを全量 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ に置き換えると $220\text{万}\text{m}^3 \times 0.3\text{トン} = \text{約}66\text{万トン}$ もの CO_2 を 1 年間で削減することができる。

(2) 水域環境保全への貢献

一般的なコンクリートは高アルカリ ($\text{pH}=12\sim13$) であるが、 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ は『炭酸化養生』によりコンクリートが低アルカリ化しており、水に浸漬した際の pH は 8 程度とほぼ中性である。一般的に植物はアルカリや酸の環境下では生育が困難な場合が多いが、 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ は pH が中性域のため植物の生育を妨げず(写真 1)、河川堤防や護岸のように、コンクリート構造物としての強度だけでなく周辺環境との調和が求められるような部位にも適用可能で、かつ水域の環境を保全することができる。

(3) 循環型社会形成への貢献

$\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ はコンクリート 1m^3 あたり 150～300 kg 程度の石炭灰を利用している。また、製鉄所にて発生する高炉スラグや、他産業にて排出される副生 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ も利用している。石炭灰および高炉スラグについては、セメント原料やセメント用混和材料として有効利用が促進されてきてはいるが、特に石炭灰については、埋立てされている量も少なくない。 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ は、これらの産業副産物(石炭灰、高炉スラグ、副生 $\text{Ca}(\text{OH})_2$) を有効利用しているため、循環型社会の形成に貢献することができる。

4. コンクリートとしての信頼性、安全性

$\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ は従来製品と比較してセメント使用量を大幅に削減しているが、 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ の炭酸化反応によって一般的なコンクリートと同等以上の強度を有している。 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ で製造した歩車道境界ブロックやイ



写真-1 小松菜の発芽試験結果

(上段は砂、下段は黒土とセメントペーストを混ぜたもので発芽試験を実施)

インターロッキングブロックは、JIS に定められたコンクリートとしての規格（圧縮強度，曲げ強度）を満足している。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な設計となっている。

その他の品質として，例えば CO₂-SUICOM で製造したインターロッキングブロックは，炭酸化反応による組織の緻密化によって耐摩耗性が 1.5 倍程度向上する。さらに，CO₂-SUICOM の大きな特長とし

て，炭酸化反応によってコンクリートの pH が低下するとともに，エフロレッセンスの発生を抑えられることが挙げられる。CO₂-SUICOM 製インターロッキングブロックと一般的なインターロッキングブロックを製造したあと，エフロレッセンス発生状況を調査した結果，一般的なインターロッキングブロックの 48% にエフロレッセンスが発生していたのに対し，CO₂-SUICOM は 4% と大きく低減された。

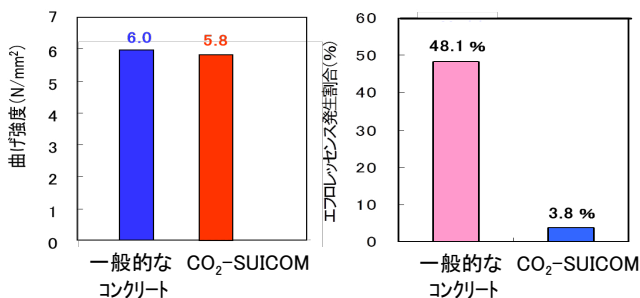


図-3 曲げ強度およびエフロレッセンス発生割合

5. 適用実績

CO₂-SUICOM のこれまでの適用実績を以下に示す。土木分野への適用として，2011 年 1 月に太陽光発電所施設の外構部材に適用した。また，建築分野への適用として，2012 年 1 月に集合住宅のバルコニー天井部に埋込み型枠として使用し，さらに 2013 年 1 月には，国土交通省管轄道路の歩車道境界ブロックに適用した。また，2014 年 2 月には太陽光発電所基礎ブロックへ適用し，更なる製品の展開を図っている。



フェンス基礎



建築部材への適用



歩車道境界ブロック



太陽光発電所基礎ブロック

写真-2

6. おわりに

地球温暖化防止に向け CO₂ 排出量の削減が重要な課題である我が国にとって，CO₂-SUICOM の開発は，CO₂ 排出量の削減と社会資本整備の両立を可能にし，さらに産業副産物の有効利用を図ることができる画期的な取組みであると考えている。

今後は，CO₂-SUICOM の特性を活かした適用製品の拡大と更なる社会への普及拡大を図り，CO₂ の削減に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 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
- 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
- 吉岡一郎，小畑大作，南條英夫：CO₂ 排出量を実質ゼロ以下にできる環境配慮型コンクリートの開発，電力土木，No.356，pp.30-34，2011
- 取違剛，横関康祐，吉岡一郎，盛岡実：炭酸化養生を行ったコンクリートの CO₂ 収支ならびに品質評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1450-1455，2012