

製品化に至るまでの二酸化炭素 (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

CO₂-SUICOM (スイコム)

関 健 吾・向 原 敦 史・庄 司 慎

石炭灰をはじめとする産業副産物を大量に活用し、さらに CO₂ を吸収・固定するコンクリート“CO₂-SUICOM” (以下「本コンクリート」という) を開発した。本コンクリートについて、室内試験によって CO₂ 排出量および廃棄物リサイクル量を評価した。また、取得した結果に基づき、実工事に適用した場合の CO₂ 排出量および廃棄物リサイクル量を試算した。その結果、本コンクリートを実工事に適用することで、環境負荷を著しく低減することができるとの見通しを得た。

キーワード：石炭灰、CO₂、炭酸化養生、排気ガス、コンクリート

1. はじめに

近年火力発電は、我が国の電力供給量の 90% 程度を担っており、それに伴い産業や国民生活を支える重要なエネルギーとなっている¹⁾。しかしながら、火力発電のうち石炭火力の特徴として、原料となる石炭を燃焼した際に CO₂ と石炭灰が排出されてしまうことが挙げられる。CO₂ は地球温暖化の一因として考えられており、国内外において、排出量の削減が求められている。他方、石炭灰に関しては、その有効利用率は高いものの、最終処分場の延命化という観点からは、更なる有効活用が望まれる。

これまでにも、機械設備の合理化やコンクリートへの石炭灰の活用 (フライアッシュセメント) に代表されるように、各方面で前述の課題解決に向けた検討が様々ななされている。しかしながら、火力発電所は今後も増設されることが見込まれており、益々の努力を重ねることが必要であると考えられる。

このような背景のもと、著者らは、特殊混和材や石炭灰などの副産物を用いてコンクリート中に CO₂ を吸収・固定する本コンクリートを開発した²⁾。本コンクリートの特徴は二つある。まず一つ目は、材料製造時の CO₂ 排出量が少ない特殊混和材や石炭灰をセメント代替として用いることで、材料製造時の CO₂ 排出量を低減していることである。二つ目は、火力発電所の排ガスを充満させた養生槽内でコンクリートを養生 (以下、炭酸化養生) することで、排ガス中の CO₂ をコンクリート中に吸収・固定させていることである²⁾。このように、本コンクリートは、石炭灰等産業副

産物の有効活用と CO₂ 排出量の大幅削減という二項目を実現しており、前述した二つの課題解決に寄与するものとして期待される。また、本コンクリートは、配合設計や製造方法の工夫により、石炭灰利用率を更に高めることができる。

ここでは、石炭灰利用率を高める手法として、即時脱型方式のプレキャストコンクリートブロックの製造を想定し、室内試験によりコンクリートの品質評価を行うと共に、実工事に適用した場合の環境負荷低減効果を試算した結果を報告する。

2. 本コンクリートの品質評価結果

(1) 使用材料および配合

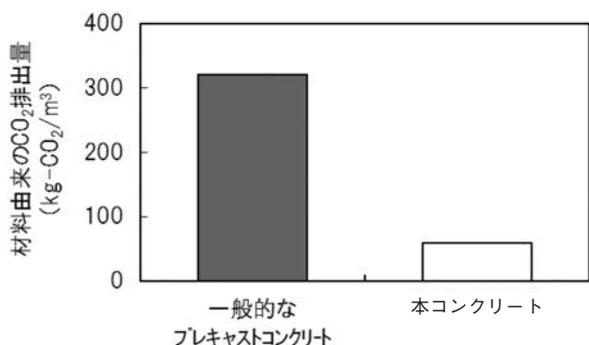
本コンクリートの使用材料を表 1 に示す。表中には、土木学会の指針³⁾ に示される材料由来の CO₂ 排出量および廃棄物リサイクル量の原単位を併記した。なお、同指針中では、セメントおよび石炭灰は廃棄物リサイクル量の計上対象として扱われているものの、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュは計上対象外として扱われている。

配合は、即時脱型性等を考慮して、水粉体比を 32% とした。その場合、本コンクリートの単位セメント量は 55 kg/m³、単位石炭灰量は 212 kg/m³ となる。強度や配合にもよるが、一般的なプレキャストコンクリートは、単位セメント量が 400 ~ 450 kg/m³ 程度と考えられ、石炭灰は使用していない場合がほとんどであることを踏まえると、本コンクリートは、セメント使用量が大幅に低減され、代わりに石炭灰の使用量

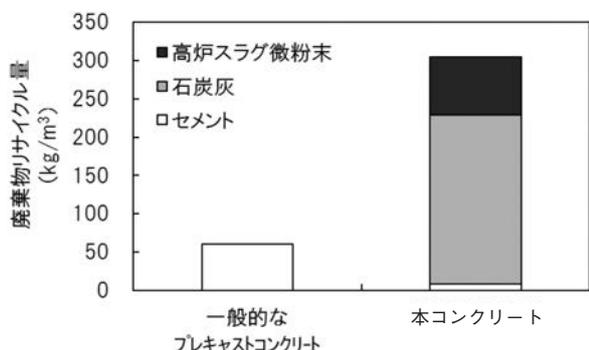
表一 1 使用材料³⁾

| 名称 | 密度 (g/cm ³) | CO ₂ 排出量 (kg/ton) | 廃棄物リサイクル量 (wet-kg/ton) |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| 水道水 | 1.00 | 0 | 0 |
| 早強セメント | 3.14 | 766.6 | 148 |
| 高炉スラグ微粉末 | 2.91 | 26.5 | - |
| γ-C ₂ S (ダイカルシウムシリケート) | 2.85 | 159.3 | (740) [*] |
| 石炭灰 (原粉) | 2.20 | 0 | 1000 |
| 細骨材 | 2.62 | 3.7 | - |

※参考として、材料に含まれる副生消石灰の量を示すが、本検討では考慮しない



図一 1 材料由来の CO₂ 排出量の比較



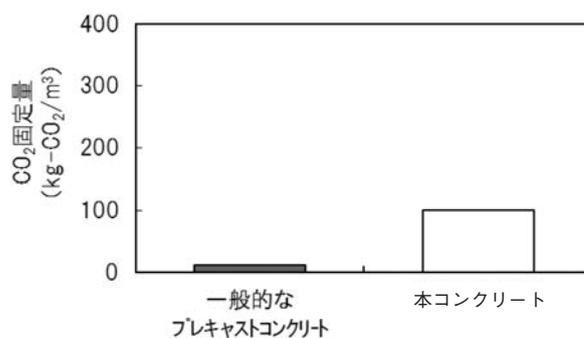
図一 2 廃棄物リサイクル量の比較

が著しく多くなっていることが分かる。

各々の配合について、土木学会の指針³⁾に従い、材料由来の CO₂ 排出量および廃棄物リサイクル量を算出した。算出結果を図一 1 および図一 2 に示す。本コンクリートは、一般的なプレキャストコンクリートと比較して、材料由来の CO₂ 排出量が 1/6 と大幅に少ないだけでなく、廃棄物リサイクル量も 4~6 倍へと大きく増加することが分かる。

(2) CO₂ 削減量の評価

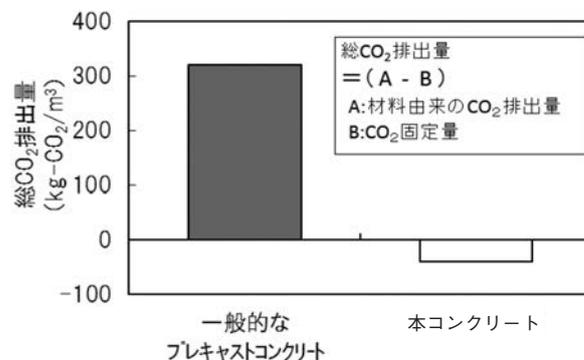
試験室の設備（促進中性化試験装置）を用いて炭酸化養生を行った本コンクリートについて、無機炭素分析を行い、CO₂ 固定量を測定した。測定結果を図一 3



図一 3 CO₂ 固定量の測定結果

に示す。図より、一般的なプレキャストコンクリートは炭酸化していないため、ほとんど CO₂ を固定していない結果となったが、本コンクリートは 100 kg/m³ の CO₂ をコンクリート中に固定していることが分かる。

ここで、“材料由来の CO₂ 排出量 (図一 1)” から、“CO₂ 固定量 (図一 3)” を差し引いた、CO₂ 排出量の評価結果を図一 4 に示す。図より、一般的なプレキャストコンクリートは 320 kg/m³ 程度の CO₂ を排出するのに対し、本コンクリートの CO₂ 排出量は -39 kg/m³ であった。すなわち、CO₂ 削減量は 320 - (-39) = 359 kg/m³ と大幅に低減できることが分かった。



図一 4 CO₂ 排出量の評価結果

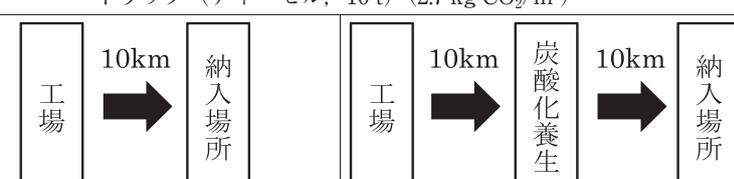
3. 実工事に適用した場合の環境負荷低減効果の試算

前章での室内試験による品質評価結果を踏まえ、本コンクリートを実工事に適用した場合について、CO₂ 排出量と廃棄物リサイクル量を試算し、環境負荷低減効果を評価した。

(1) 対象工事と試算条件

検討対象とした工事条件および試算条件を表一 2 に示す。検討対象は、大規模太陽光発電所（以下、メガソーラー発電所）新設工事のうち、太陽光パネル基礎

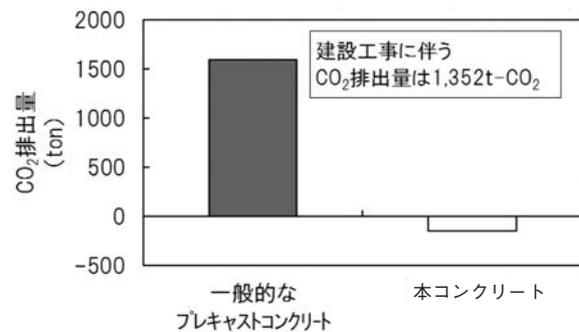
表一 2 検討対象とした工事条件および試算条件

| 分類 | 項目 | 試算条件 | |
|------|--|---|---|
| | | 一般的なプレキャストコンクリート | 本コンクリート |
| 工事概要 | 工事対象物 | メガソーラー発電所 | |
| | 使用コンクリート製品 | 太陽光パネル基礎ブロック | |
| 工事条件 | ブロック寸法 | 2.0 m × 0.4 m × 0.5 m | |
| | 使用ブロック数量 | 11,000 個 | |
| | コンクリート使用量 | 4,400 m ³ (0.4 m ³ × 11,000 個) | |
| | 練混ぜ方法 | コンクリートミキサ (2.5 m ³) を使用 (0.6 kg-CO ₂ /m ³) ³⁾ | |
| | 締固め方法 | 棒状バイブレータ (0.2 kg-CO ₂ /h) ³⁾ | CV-10型全自動成型機(3.7 kW × 4台) (6.0 kg-CO ₂ /h) |
| | 養生方法 | 蒸気養生→気中養生 | 気中養生→炭酸化養生 |
| | 運搬方法 | トラック (ディーゼル, 10 t) (2.7 kg-CO ₂ /m ³) ³⁾ | |
| 運搬経路 |  | | |

ブロックの設置工事とした。発電出力は、2013年時点で建設予定であったメガソーラー発電所のうち、最大規模である 8,000 kW と設定した。

(2) 実工事に伴う CO₂ 削減量

基礎ブロックの材料製造～練混ぜ～締固め～養生～運搬までを対象として、実工事に伴う CO₂ 排出量をそれぞれ算出した。各工程における CO₂ 排出量の算出結果を表一 3 に示す。なお、同表には、前章にて測定した CO₂ 固定量も併記した。表より、本コンクリートは、基礎ブロックの製造から運搬までを考慮しても、CO₂ 排出量はマイナスとなる結果であり、一般的なプレキャストコンクリートと比較して 400 kg/m³ の CO₂ を削減できることが分かった。さらに、工事全体で製造する基礎ブロック数量 (11,000 個) を考慮し、工事全体での CO₂ 排出量を算出した。算出結果を図一 5 に示す。図より、一般的なプレキャストコ



図一 5 実工事における CO₂ 排出量

ンクリートを使用した場合は、工事全体で 1,592 ton の CO₂ を排出する結果となった。一方、本コンクリートを使用した場合は、-147 ton の CO₂ を排出する、すなわち、147 ton の CO₂ を固定する結果となった。よって、本条件において本コンクリートを使用する場合は、1,592 - (-147) = 1,739 ton の CO₂ を削減できる結果となった。

表一 3 実工事における CO₂ 排出量の算出結果

| 項目 | | 一般的なプレキャストブロック | 本コンクリート | |
|--|------|----------------|---------|-----|
| A : CO ₂ 排出量 (kg/m ³) | 使用材料 | 320.0 | 61.0 | |
| | 製造 | 練混ぜ | 0.6 | |
| | | 締固め | 0.0 | 0.1 |
| | | 養生 | 38.5 | 0.0 |
| | 運搬 | 2.7 | 5.4 | |
| B : CO ₂ 固定量 (kg/m ³) | | 0.0 | 100.0 | |
| 合計 (A - B) | | 361.8 | -39.0 | |

(3) 実工事に伴う廃棄物リサイクル量

前述の廃棄物リサイクル量 (図一 2) の結果および工事全体で製造する基礎ブロック数量に基づき、工事全体での廃棄物リサイクル量を算出した。算出結果を図一 6 に示す。図中には、土木学会の指針³⁾ に示される定義に加えて、高炉スラグ微粉末を加えた場合の廃棄物リサイクル量も併記した。図より、工事全体における廃棄物リサイクル量は、一般的なプレキャストコンクリートを使用した場合には 267 ton となるのに対し、本コンクリートを使用した場合には、1,008 ton

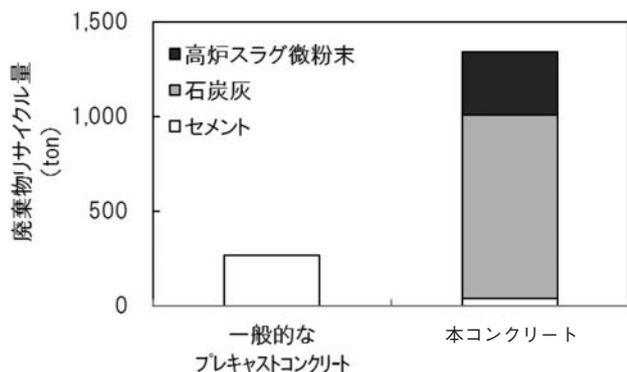


図-6 実工事における廃棄物リサイクル量

となり、約4倍となることが分かった。さらに、高炉スラグ微粉末も計上した場合には、その値は1,341 tonとさらに増加する結果が得られた。

4. おわりに

本コンクリート CO₂-SUICOM を実工事に適用することで、CO₂ 排出量および廃棄物リサイクル量において、環境負荷を大きく低減できる可能性が示された。

我が国のエネルギー供給政策として、想定シナリオにもよるが、2020年までに2,626万~5,200万kWの太陽光発電の設置が見込まれている⁴⁾。仮にこれらに用いる太陽光パネル基礎ブロックを、全て本コンクリート CO₂-SUICOM で製造した場合、CO₂ 排出量は571~1135万 ton 程度削減できる試算となる。また、廃棄物リサイクル量は、243~484万 ton 程度増加できる試算となる。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 資源エネルギー庁：電力調査統計、インターネット HP http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results.html#headline2
- 2) 吉岡 一郎ほか：CO₂ 排出量を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、平成23年11月号
- 3) 土木学会：コンクリート構造物の補修・解体・再利用におけるCO₂削減を目指して、コンクリートライブラリー134、2012
- 4) 経済産業省2013年以降の対策・施策に関する報告書 <http://www.env.go.jp/earth/report/h24-03/main.pdf>

【筆者紹介】



関 健吾 (せき けんご)
鹿島建設
技術研究所 土木材料グループ
研究員



向原 敦史 (むかいばら あつし)
中国電力(株)
流通事業本部 土木計画担当



庄司 慎 (しょうじ まこと)
デンカ(株)
インフラ・無機材料部門
特殊混和材部 技術課