

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和5年11月15日発行 ISSN0371-0718

2023
No.921

11

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



未来をカタチに変える創造力



コンクリート用化学混和剤

フローリック

時代を見据え、より高く、より強くありたいー
見つめる先は、コンクリート用化学混和剤の未来です。

◆ AE減水剤（高機能タイプ）

フローリック SV10シリーズ

◆ AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）

フローリック SL20S・R

◆ 高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

◆ 乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード

◆ 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ（標準形・遅延形）

フローリック SF500SK・RK

◆ 高性能減水剤

フローリック VP900シリーズ

日本製紙グループ
株式会社フローリック

本社：〒170-0013 東京都豊島区東池袋1-10-1
TEL.03-5960-6911 FAX.03-5960-6915
◎ 北海道・東北・東京・北関東・中部・関西・四国・中国・九州
◎ 出張所：長野・北陸・静岡・高松・岡山・鹿児島
◎ コンクリート研究所（つくば）・東日本技術センター（東松山）

コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック

<https://www.flowric.co.jp>

セメント協会 発行図書のご案内

セメント・コンクリート お得な

年間購読



カーボンニュートラルとセメントのこれから
創刊900号記念特集



本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

最新のセメント・コンクリート技術を毎号多彩に紹介

- ・土木建築分野の特徴的な施工事例
- ・セメント化学分野の研究動向
- ・学協会の関連規格基準類の制定・改定を解説
- ・脱炭素・低炭素社会を目指すセメント産業 など



月刊誌
「セメント・コンクリート」

■発行 / 毎月 10 日ごろ
■形態 / A4 判 68P フルカラー
■発行 / セメント協会
■1 冊 / 定価 1,100 円
(本体 1,000 円 + 税 100 円) 特集号は除く

通常

(1 冊 1,000 円 + 送料) × 12 ヶ月 = 13,200 円 (税込)
+ 送料 ※ 概算

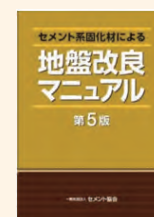
年間購読

2,200 円
もお得

12 冊 / 年: **11,000 円** (税・送料込)

※ 当会へ直接お申込みの場合に限りです。
※ 予約購読料は前払いとさせていただきます。

◆ セメント協会では、セメントに関する基礎知識から最新技術情報、関連規格類解説など、以下のような書籍を発行しております。◆



セメント系固化材による
地盤改良マニュアル [第
5 版]

A5 判 502 頁 6,600 円



セメントの常識 (2020
年版オールカラー)

A4 判 72 頁 2,200 円



C3 クリップボード
[コンクリート化学編]

A4 判 123 頁 3,080 円



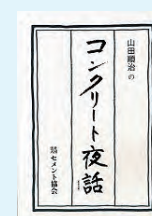
C3 クリップボード
[セメント化学編]

A4 判 134 頁 3,080 円



すぐに役立つ セメント
系補修・補強材料の基礎
知識 [第 2 版]

B5 判 197 頁 3,520 円



コンクリート夜話 (山田
順治著)

A5 判 261 頁 2,200 円



セメント・コンクリート
論文集 (No.65 2011)

A4 判 573 頁 11,524 円



セメント・コンクリート
論文集 (Vol.66 2012)

A4 判 713 頁 11,524 円



セメント・コンクリート
論文集 (Vol.67 2013)

A4 判 647 頁 11,000 円

(注) 1. 送料は図書代金と一緒に請求させていただきます。 2. 10 冊以上のご注文は同一送付先に限り、送料は当協会が負担いたします。 3. お支払いは銀行振込でお願い申し上げます。 4. 恐れ入りますが、銀行振込の振込手数料は購入者のご負担でお願い申し上げます。 5. 提供いただいたお客様の個人情報は、お申し込みいただいた月刊誌・書籍の発送や案内、およびそのために必要な情報確認以外に使用することはありません。

その他、単行本や資料集など、各種をご用意しております。詳しくはホームページよりご覧ください。

<https://www.jcassoc.or.jp/>

コンクリート専門 コンサルタント

●フレッシュコンクリート

配調合選定試験 試験体作製
RCD・CSG ダムコンクリート
繊維補強コンクリートの評価

●硬化コンクリート

強度・耐久性試験 熱特性試験
打継ぎ部の一面せん断 橋梁・トンネル関連試験

●コンクリート材料・建設材料

骨材・セメントの物理試験 補修材の性能評価
鉄筋・繊維補強材の物性試験

コンクリート 試験

構造物 調査診断

●一般建築構造物

採取コアによる試験 非破壊検査

●ダム・河川・橋梁・上下水道

劣化度調査 耐久性調査

●トンネル・洞道

ひび割れ調査 空洞調査

●原子力施設

健全性評価 現地調査 室内試験

化学分析

●化学分析

配合推定 塩化物イオン量 アルカリ量
アルカリ骨材反応性試験 有害鉱物判定
粉末X線回折 走査型電子顕微鏡
細孔径分布

*High
Technology
and
Creative
Challenge*

建設コンサルタント

HCC 株式会社 八洋コンサルタント

本社 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1丁目7番8号
電話 03 (5577) 5826 (代表) FAX 03 (5577) 5829
技術センター 〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園2722番地
電話 0467 (87) 3451 (代表) FAX 0467 (57) 0618
URL <http://www.hachiyo.co.jp>

クリップボードの コンクリート化学編 出ました。

セメント協会の出版物



ブルーのカバー

**e³ (シースリー)
クリップボード**

コンクリート化学編

A4判・123頁・3,080円



グリーンのカバー

**e³ (シースリー)
クリップボード**

セメント化学編

A4判・134頁・3,080円

月刊セメント・コンクリート誌に長期連載した人気シリーズが単行本になりました。コンクリートの気になるキーワード全47項目をそれぞれ2～3ページで簡潔に解説。既刊の[セメント化学編]とともにお役に立つこと間違いなしです。

4つのカテゴリーに分類 ● [フレッシュコンクリートの物性](#) [硬化コンクリート](#) [耐久性](#) [いろいろなコンクリート](#)

お求め・お問い合わせは…一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで

東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2023 No.921

もくじ

- 02 戻りコンクリートから製造したスラッジ再生セメントの再利用技術 … 大川 憲ほか
- 10 3Dレーザースキャナを用いたキルン点検手法の検討 … 関根 麻里子ほか
- 18 東海道新幹線浜名橋りょう
～耐塩性コンクリートを用いた橋脚修繕～ … 鬼頭 直希ほか
- 24 すいそう
コロナとともに札幌へ … 山本 徹
- 26 西都市庁舎
～設備と防災を統合したDT版あらわしのワークスペース～ … 伊藤 淳ほか
- 33 TOPICS
橋梁に関する国際会議「BEI-2023」を開催 … 吉武 勇
- 36 生産性向上に資する締固め不要コンクリートの打込み方法に関する検討 … 松本 修治ほか
- 42 第51回(2023年度)セメント協会論文賞・受賞論文
コンクリートの火害におけるセメント水和物の炭酸化メカニズムの解明 … 吉田 夏樹ほか
- 50 シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード
バイオマス発電の運転実績と今後の展開
～バイオマスを活用したエネルギーの低炭素化～ … 大谷 紀彦ほか
- 56 セメスタグラム/コンクリートに魅せられて
コンクリート製遊具ありんくりん

- 17 第38回(2024年度)セメント協会研究奨励金
テーマ募集のご案内
- 49 第55回セメント協会研究所講演会 ご案内
- 58 外国雑誌の記事情報
- 60 EVENT GUIDE
- 63 セメント・データファイル
- 64 主要建設工事・資材統計
- 66 12月号予告



今月の表紙

西都市庁舎 [宮崎県/提供:
(株)久米設計]

戻りコンクリートから製造した スラッジ再生セメントの再利用技術

Reuse technology of the sludge recycle cement which it produced from return concrete

大川 憲 橋本 雄太 宮田 夏侑 佐久間 誉義 青木 真一

1. はじめに

現在、脱炭素社会に向けた動きは世界中に広まっており2021年4月時点で125か国を超える国が「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、わが国も同様に各産業分野におけるCO₂排出削減に向けた動きが本格化している。セメント・コンクリート分野では、CO₂排出原単位が大きい普通ポルトランドセメント(以下、OPCと称す)を副産物混和材で置換した環境配慮型コンクリートやCO₂を吸収しコンクリートに固定化させることができるCO₂吸収・硬化セメントの開発および高濃度のCO₂による炭酸化養生でCO₂を吸い込みカーボンネガティブと

なる環境配慮型コンクリートが開発され、コンクリート製品での実用化も進んでいる^{1~3)}。

一方、レディーミクストコンクリート(以下、生コンと称す)工場で発生する残コンクリート・戻りコンクリート(以下、戻りコンと称す)に関し、全国生コンクリート工業組合連合会およびその技術委員会によると、2022年度における国内の生コン出荷量が約7,445万m³であるのに対し、戻りコンの発生率は約2.1%と報告され、この発生率は2006年度の同報告に比べ増加している⁴⁾。この戻りコンの有効利用について、JIS A 5308ではスラッジ水や回収骨材として利用できるルールがあるにもかかわらず、普及が進んでいないのが現状である。一方、JIS A 5308以外では、特殊な薬剤を戻りコンに投入して自然乾燥するだけで砂と砂利に戻し、有効利用する技術⁵⁾や、戻りコンを統一規格の型枠へ打設して製造した残コンブロック⁶⁾など、一部で普及しはじめている技術もある。

当社では、これらの上記課題を同時に解決するため、戻りコン起源のスラッジについて、コンクリート製造からスラッジ処理完了までの時間を短縮することで、未水和セメント分を多く残し水和活性を高めたことを特徴とするスラッジ再生セメント(以下、再生セメント／記号：SRyと称す)を開発した。本稿では、戻りコンから製造した再生セメントの概要を解説し、その再利用技術について紹介する。



おおかわ けん / OHKAWA Ken
三和石産(株)
テストング事業部
部長 博士(工学)



はしもと ゆうた / HASHIMOTO Yuta
同上
テストング事業部



みやた なつゆき / MIYATA Natsuyuki
同上
テストング事業部



さくま たかのり / SAKUMA Takanori
同上
テストング事業部
技術部長



あおき しんいち / AOKI Shinichi
同上
研究開発部長



図1 再生セメントの製造工程



写真1 スラッジ再生セメント製造プラント
[左：藤沢市 右：川崎市]

2. 開発の経緯

当社では、2005年頃に戻りコンの有効利用を実現するために検討を開始し、2006年から再生セメントの製造を開始した。当初は製造した再生セメントがどのようなものかが明らかではなく、基礎物性試験を1年以上ほぼ毎日のように実施したところ、日々それらの結果が異なることがわかり、原料の戻りコンの水和反応の進行度合いがその物性値に大きく影響することが明らかとなった。ここから、本格的な研究開発がスタートした。

3. 再生セメントの概要

3-1. 再生セメントの製造方法

再生セメントの製造工程を図1に示す。再生セメントは戻りコンから骨材を洗浄分級し、残ったスラッジ水を脱水後、破碎攪拌翼付きスラッジ乾燥機(乾燥温度120~130℃)を用いて含水率が1~2%程度となるまで破碎乾燥処理して製造したものである。この処理を戻

りコンが発生した当日に行うことで、未水和セメントの含有率を高くすることができ、OPCの6~8割程度の強度発現性を有した再生セメントが得られる。また再生セメントの微粒分を除去する目的で、図1の②洗浄分級工程で微粒分を取り除いた後、③湿式サイクロン(分級点：35~75μ)で遠心分離を行っている。湿式サイクロンの工程では微粒分(0.7mm以下)の一部を除去しているが、これまでの検討で再生セメントには微粒分が30%程度含まれていることがわかっている⁷⁾。なお、⑥破碎乾燥工程において、原料投入量や破碎攪拌翼の回転数は常にほぼ同程度としている。

3-2. 再生セメントの製造拠点

再生セメントは現在神奈川県内の2拠点に製造および出荷基地がある。一つは生コン工場内に併設し、自社工場の戻りコンから再生セメントを製造するプラントである(写真1左)。もう一つは、生コン工場内ではなく、運搬距離10km以内で生コンの使用材料や配(調)合が異なる近隣4工場の戻りコンで製造するプラントであ

表1 再生セメントの品質規格			
品 種	スラッジ 再生セメント-L	スラッジ 再生セメント-M	スラッジ 再生セメント-H
比表面積 (cm ² /g)	5000～ 8000以下	8000～ 10000以下	10000を 超える～
強度発現性 (普通セメントとの強度比)	0.6～0.8 程度	0.4～0.6 程度	0.3～0.4 程度
CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)	100(普通ポルトランドセメントの1/8程度)		
主な用途	生コン,PCコン	—	
	セメント系固化材	—	
	地盤改良材・プレミックスモルタル等		

る(写真1右)。一般に、生コン工場における戻りコンは、生コンを出荷した当日の夕方以降に集中して発生する。そのため、その処理を行う作業員は夕方以降の時間外労務が増加することや、処理にたずさわる作業員不足から、各生コン工場における戻りコンの処理能力が年々減少傾向となっていることが課題である。また、今後労働人口の減少が避けられない状況であり、戻りコン処理の効率化・合理化の向上を目指す上で、複数の生コン工場の戻りコンを集約して処理を行うことは必要不可欠になると考えられ、このようなパイロットプラントを考案した。各プラントの再生セメント製造能力は400t/月程度で、戻りコン処理量は1500m³/月程度である。今後、戻りコンが多く発生する都市部に上記パイロットプラントの方法で再生セメントの製造拠点を増やしていく必要があると考えている。

3-3. 再生セメントの品質規格

再生セメントの品質規格を表1に示す。表より、再生セメントの品質管理は比表面積により行っており、比表面積ごとに5000～8000cm²/g以下はスラッジ再生セメント-L(以下、SRy-Lと称す)、8000～10000cm²/g以下はスラッジ再生セメント-M(以下、SRy-Mと称す)、10000cm²/gを超えるものはスラッジ再生セメント-H(以下、SRy-Hと称す)にグレード分けを行い、これらの品質に適した用途で使用している。

3-4. 再生セメントの基礎物性

(1) 比表面積

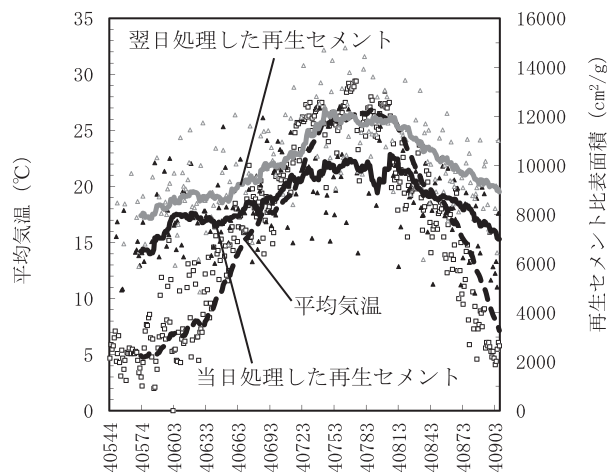


図2 平均気温と比表面積

再生セメントの比表面積と平均気温の関係を図2に示す。図より当日処理した再生セメントの比表面積と平均気温には高い相関関係が認められ、平均気温が低いほど、再生セメントの比表面積は小さくなった。また再生セメントの密度、強熱減量および比表面積と平均気温には高い相関関係が認められ、平均気温が低いほど、再生セメントの密度は大きく、強熱減量および比表面積は小さくなる⁸⁾。これは、平均気温の相違により、再生セメントの原料である戻りコンに含有するセメントの水和反応の進行度合いに差が生じ、未水和セメントの残存量は気温が低いほど多くなっているためであると考えられる。また翌日処理した再生セメントの比表面積は2000 (cm²/g) 程度大きくなった。これは気温の相違の場合と同様に処理までの時間が長いほどセメントの水和反応が進行したためであると考えられる。これらより、再生セメントは処理までの時間と平均気温により未水和セメントの残存量が支配されるものと考えられる。

(2) 粒度分布

比表面積の異なる再生セメント(3種類)、OPCおよび早強ポルトランドセメント(以下、HPCと称す)のレーザー回折式粒度分布測定結果を図3に示す。図の凡例に記載されたカッコ内の数値は、比表面積の値を示す。図よりOPCの粒度分布は30μm程度、HPCの粒度分布は20μm程度を中心とした山状の粒度分布であるのに対し、再生セメントは30μm程度のピークの他に300μm程度の頻度も高く2山状の粒度分布であること

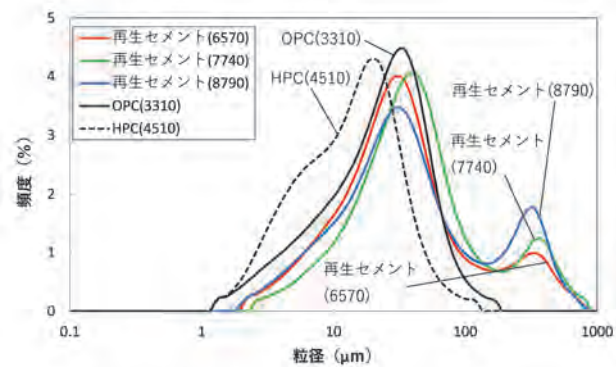


図3 再生セメントの粒度分布

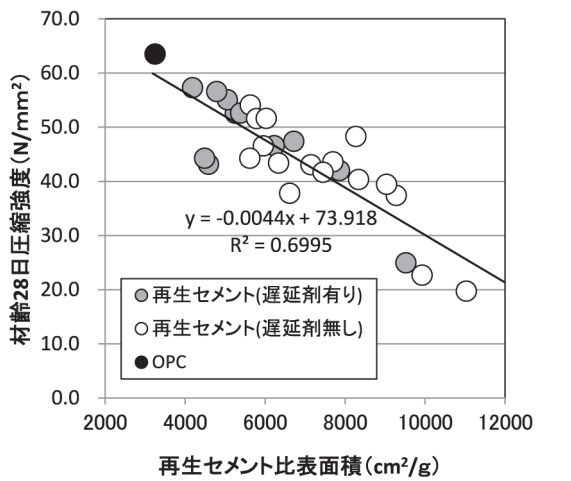


図4 再生セメントの比表面積と圧縮強度

が確認された。通常、比表面積が大きいということは、図のOPCとHPCのように粉体の粒子が細かいことを意味するが、再生セメントの比表面積は大きくなるに従い、30μm程度の頻度は低下し、300μm程度の頻度は増大する結果となった。これはセメント粒子が凝集したものや細骨材の微粒分の一部が含まれていることが影響したと考えられる。また再生セメントはOPCやHPCに比べ比表面積の割に粒度分布のピーク値が小さい理由は、レーザー回折式の粒度分布では凝集した顆粒状のものを1粒子として測定しているが、ブレーン空気透過法による比表面積では凝集構造を成している各微細粒子を計測しているためであると考えられる。

(3) 再生セメントのSEM画像

再生セメントおよびOPCのSEM画像を写真2に示す。図より再生セメントには、未水和セメント、細骨材の微粒分の一部および水和生成物の凝集したものが

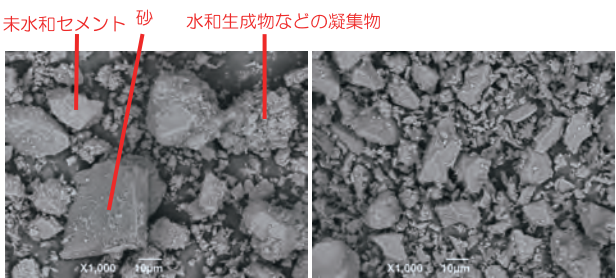


写真2 SEM画像
[左：再生セメント、右：OPC]

含まれていることが観察された。再生セメントは100μm以上の凝集した粒子が確認されており、上述のレーザー回折式による粒度分布測定結果と合致する。

(4) 強度発現性

再生セメントの比表面積と再生セメントのみを用いたモルタルの材齢28日圧縮強度の関係を図4に示す。なお、モルタルの強度試験はJIS R 5201に準拠した。この再生セメントは、同一配(調)合(普通-30-18-20N)の生コンを実機プラントで5m³製造したものから、夏期および冬期に生コンの練混ぜから再生セメント製造までの時間を変化させて製造したものであり、夏期には遅延剤を添加したものも検討した。図より比表面積と強度は高い相関がみられ、遅延剤の有無によらず比表面積が小さいほど、未水和セメントの含有率が高くなり強度発現性が高い傾向となった。

3-5. 再生セメントのCO₂排出原単位

(1) 算出方法の概要

本試算では、(一社)産業環境管理協会のLCAソフトのMiLCAを用い、再生セメントの有効利用における地球温暖化への影響を明らかにすることを目的とし、戻りコンから製造した再生セメントのCO₂排出原単位をISO14040、ISO14044に準拠して算出した。

(2) 製品システム

再生セメントのCO₂排出原単位の算出は、以下に示す製品システムで行った。図1の④脱水機、⑥破碎乾燥機は電力を使用し、東京電力地域の標準的な電力を用いた。⑤スラッジケーキはホイールローダーを用い、破碎乾燥機に投入する。なお、ホイールローダー

表2 SRコンクリートの概要

SRコンクリートの種類	L-SRコンクリート	H-SRコンクリート
結合材の割合	再生セメント:10～30%, OPC:70～90%	再生セメント:30～85%, OPC:5～10%, その他混和材:5～65%
使用する再生セメントの種類	比表面積8000cm ² /g以下	比表面積8000cm ² /g以下
設計基準強度	18～60N/mm ² 以下※	36N/mm ² 以下
コンクリートの種類	レディーミクストコンクリート, プレキャストコンクリート	プレキャストコンクリート

※設計基準強度：36～60N/mm²に関しては、プレキャストコンクリート限定であり、なおかつ 再生セメントの質量比は20%以下であること

の燃料は軽油， 破碎乾燥機の燃料はA 重油を使用した。スラッジケーキ1.5385kgから再生セメント1kgが生産されるが，スラッジケーキの含水率は35%の設定で行った。上記のそれぞれのデータは， 全て自社工場での実測値(1年間分)を用いた。燃料に用いる軽油， 重油の輸送はタンクローリ車(10kL)で行い， 20kmの距離を輸送してきたものとして算出した。

(3) インベントリ分析結果

インベントリ分析とは，「製品やサービス等において，原料の調達，製造，流通，使用，排気，リサイクルなどライフサイクルの各段階のうち， 予め設定した調査範囲に対し， 各段階で投入される資源， エネルギーまたは排出物を定量的に把握し分析すること」と定義されている。このインベントリ分析について， 上記MiLCAを用い算出した結果， 再生セメントのCO₂排出原単位は95.8kg-CO₂/tであった。これは高炉スラグ微粉末(26.5kg-CO₂/t) (以下，BFSと称す)やフライアッシュ(29kg-CO₂/t) (以下，FAと称す)に比べ大きな値となるが， OPCが2021年度で約789kg-CO₂/tであることから， 再生セメントはOPCの約1/8程度のCO₂排出原単位となることがわかった⁹⁾。

4. 再生セメントの再利用事例

4-1. コンクリート分野

再生セメントの再利用事例として， 戻りコンを起源とする再生セメントを混和材として用いることで， クリンカー

使用量を抑制し， 原料由来のCO₂を低減した環境配慮型コンクリート(以下， SRコンクリートと称す)に関する適用事例を紹介する。SRコンクリートの概要を**表2**に示す。表より， SRコンクリートのうち， 結合材中に占める再生セメントの質量比が10～30%の場合をL-SRコンクリート， 再生セメントの質量比が30～85%の場合をH-SRコンクリートと区分している。SRコンクリートの品質は， 第三者機関である(一財)日本建築総合試験所の建設材料技術性能証明(GBRC材料証明第16-10号改3)を取得した¹⁰⁾。またL-SRコンクリートは， JIS A 5308レディーミクストコンクリートおよびJIS A 5371プレキャスト無筋コンクリート製品の認証を取得している。なお， 再生セメントは混和材として， JIS A 5308 8.4.c)およびJIS A 5364 4.1.4に示す「コンクリートおよび鋼材に有害な影響を及ぼさず， 所定の品質およびその安定性が確かめられたもの」とする要件を満たしている。

なお， L-SRコンクリートは普通コンクリートに比べ， 8.7～26.1%， H-SRコンクリートは79.2～88.5%のCO₂を削減できる¹⁰⁾。

現在， L-SRコンクリートの生コンに関しては東京1工場， 神奈川5工場でJIS A 5308の認証を取得し， これまでの累計出荷実績が約15,000m³となった。打設部位は従来の生コンと同様に全ての部位に適用できる。またプレキャストコンクリートに関しては， 2工場で生産できる体制となっており， H-SRコンクリートの現場実績はまだ1件ではあるものの， 今後大型物件での適用が控えており， それに向け準備を進めている状況である。



写真3 ハイブリッドドライモルタル・ジャリコン



写真5 ソイル柱列式連続壁工法

4-2. プレミックスモルタルおよび袋セメント分野

(1) プレミックスモルタル

再生セメントをOPCに対し最大50%置換し， さらに戻りコンからの回収骨材も再利用した環境配慮型プレミックスモルタル(以下， モルタルと称す)に関する適用事例を紹介する。このモルタルは再生セメントと回収骨材を用いることから， 従来のプレミックスモルタルに比べ， 産業廃棄物の削減およびCO₂排出量を最大53.4%削減できる画期的な環境製品である**(写真3)**。そのため， 神奈川県の実証製品として， 「かながわりサイクル製品」や「建設リサイクル資材認定製品」にも登録されている。また再生セメントは川崎市の「低CO₂川崎ブランド」にも登録されていることから， それを用いたモルタルであるため， そのブランドロゴを用いることもできる。このように従来のプレミックスモルタルにはない環境性能に特化したモルタルであることから， その販売実績が少しずつ伸びており， 現在， 神奈川， 東京， 千葉， 埼玉， 静岡を中心に建材会社やホームセンター



写真4 地球にやさしいセメント

へ販売している。それ以外にもホームセンターへ販売している。このモルタルは住友大阪セメント社と共同開発した商品で， 品質は材齢28日の圧縮強度が30N/mm²以上であり， 市販されているプレミックスモルタル数種類の圧縮強度の平均値程度となるように配(調)合設計したものである¹¹⁾。現在， 出荷量が多いときで月5～6万袋程度となっており， 今後の環境志向の高まりから， さらに出荷量が伸びていくことが予想される環境製品である。

(2) 袋セメント

再生セメントをOPCに対し最大50%置換した環境配慮型袋セメント(以下， 袋セメントと称す)に関する適用事例を紹介する。この製品は， 従来の袋セメントに比べ， CO₂排出量を最大50%程度削減できる環境製品である**(写真4)**。そのため， プレミックスモルタルとほぼ同様に神奈川県と川崎市の認定を取得している。現在はホームセンターを中心に販売しており， まだ月5千袋程度の出荷量となっているが， 今後出荷量を更に増やす計画であり， 上記モルタルと同様に出荷量が伸びていくと考えられる。

4-3. 地盤改良分野

(1) ソイル柱列式連続壁工法の概要

ソイル柱列式連続壁工法において， 地中に注入するセメントペーストの一部に再生セメントを用いることで従来のセメントペーストよりもCO₂排出量を削減することができるソイル柱列式連続壁工法に関する現場適用事例を紹介する**(写真5)**。

表3 使用材料					
種 類	高炉セメントB種	ベントナイト	スラッジ再生セメント		
			A現場	B現場	C現場
密度 g/cm ³	3.04	2.50	2.74	2.58	2.60
比表面積 cm ² /g	3780	—	7730	8820	8860
記 号	BB	Ben	SRy		

表4 配(調)合表							
現場	配合	対象土1m ³ 当り (kg/m ³)					
		BB	Ben	SRy	W	W/C %	W/(C+SRy) %
A現場	通常配合	260	5	0	527	203	203
	SRy配合	240	0	40	557	232	199
B現場	通常配合	280	10	0	725	259	259
	SRy配合	260	0	40	700	269	233
C現場	通常配合	280	15	0	672	240	240
	SRy配合	220	0	60	550	250	196

表5 現場概要					
現 場	削孔径(mm)	削孔長(m)	土 質 柱 状 図 (%)		
A現場	φ 650	16.0	埋 土	礫まじり砂質土	粘土シルト系
			21	51	28
B現場	φ 850	23.0	粘土シルト系	砂礫系	土 丹
			54	19	27
C現場	φ 650	15.5	埋 土	粘土系	砂礫系
			4	66	30

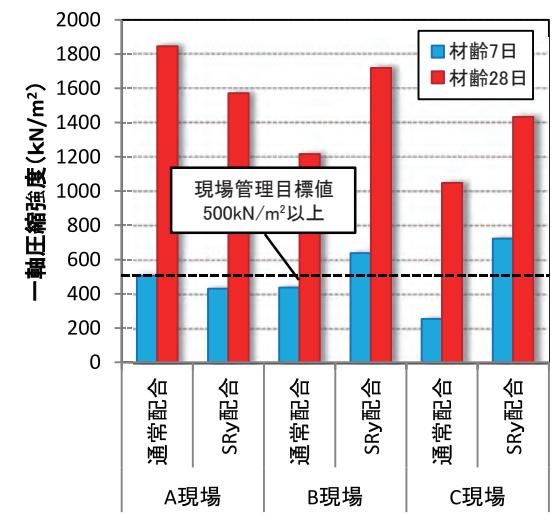


図5 一軸圧縮強度試験結果

(2) 使用材料および配(調)合

使用材料を表3に示す。各現場において再生セメント(SRy)の物性は、密度2.58～2.74g/cm³、比表面積7,730～8,860cm²/gのものを用了。通常配合で用いる高炉セメントB種とベントナイトについては各現場で同様のものを使用した。現場での配(調)合表を表4に示す。

(3) 現場概要

現場概要を表5に示す。今回、現場実施施工を行っ

たA～C現場は東京都内であり、それぞれ現場におけるソイルセメントの一軸圧縮強度の管理目標値は、500kN/m²(材齢28日)以上であった。

(4) 実験結果および考察

ソイルセメントの一軸圧縮強度試験結果を図5に示す。全ての現場において材齢28日で現場管理目標値500kN/m²以上となった。ただしA現場では通常配合に比べ、SRy配合の圧縮強度が小さくなり、B現場、C現場はSRy配合の強度が大きくなった。これらは、SRy配合のW/(C+SRy)が小さく、再生セメント(SRy)が強度発現に寄与したものと思われる。また各現場における土質柱状図より、地盤状況に応じて強度の値が異なることが明らかになった。

ソイルセメントのフロー試験結果を図6に示す。B現場、C現場ともに通常配合に比べ、SRy配合はフロー値が小さくなった。これらは、SRy配合のW/(C+SRy)が小さく、再生セメント(SRy)の比表面積が大きいため、粘性が大きく、フロー値が小さくなったものと思われる。この結果からベントナイトをいなくてもベントナイトに求められる粘性の向上に再生セメント(SRy)も寄与することが示唆された。

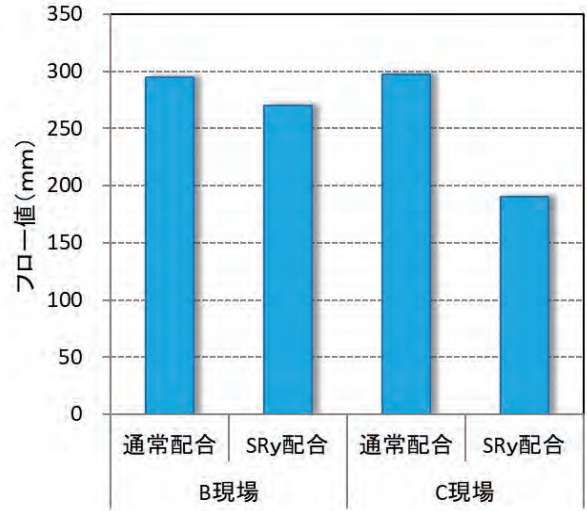


図6 フロー試験結果

(5) 現場の施工性

各現場のSRy配合では、通常配合に比べそれぞれの試験結果から粘性が大きくなったため、特にソイルセメント壁の実施工においてH型鋼材の建込時の影響が懸念されたが、各現場とも通常配合で行った場合と同様の施工性が確認できた。その他に現場プラントから圧送されるセメントペーストについても、通常配合と同様の施工性であることが確認できた。

(6) まとめ

各現場において、SRy配合はソイルセメント壁の管理目標値以上であった。また基準配合よりSRy配合は粘性が大きくなったが、現場での施工性には影響がないことが確認された。よって、再生セメント(SRy)はソイルセメント壁におけるセメントの一部およびベントナイトの代替材料として、ソイルセメント壁へ再利用することが可能であると考えられる。

5. 終わりに

本稿では、戻りコンから製造した再生セメントの概要やその再利用事例について、現場への適用事例も含め紹介した。ここで紹介した再利用事例に関しては、2050年カーボンニュートラルに実現に向け、セメント・コンクリート分野のCO₂削減へ貢献する技術として紹介した。またこの再生セメントの更なる環境性能を向上さ

せる研究開発がこのほどスタートした。再生セメントは、戻りコンからの産業廃棄物削減とCO₂削減の2つの課題について同時に解決する取組と考えられ、サーキュラーエコノミー実現に向け、今後さらなる普及に役立てれば幸いである。

【参考文献】

- 小島正朗，辻大二郎，依田和久，橋本学／エネルギー・CO₂ミニマムセメント・コンクリートの開発と適用，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.776～781，2021
- 橋本真幸，小林和揮，扇嘉史，細川佳史／CO₂吸収・硬化セメント「カーボフィックス®セメント」の開発，セメント・コンクリート，No.906，pp.10～16，2022.8
- 取達剛，関健吾，渡邊賢三，坂井吾郎／炭酸化養生によるCO₂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
- 全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会／生コンクリートスラッジの実態に関する調査報告書Ⅲ，2020.3
- 船山真里，細田暁，武南浩二，宮本充也／戻りコンクリートから製造した細骨材を使用した流動化処理土の物性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.45，No.1，pp.1252～1257，2023.7
- 残コンブロック利用促進協議会：https://www.zancon.jp/
- 八巻真規，大川憲，青木真一，関田徹志，百瀬晴基，石関浩輔，笠井哲郎／戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の基礎物性，第42回土木学会関東支部技術研究発表会，V-65，2015.3
- 大川憲，青木真一，百瀬晴基，関田徹志，笠井哲郎／乾燥スラッジ微粉末と産業副産物混和材を併用したクリンカーフリーコンクリートに関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.80，No.710，pp.539～549，2015.4
- 大川憲，青木真一，関田徹志，笠井哲郎／レディーミクストコンクリート工場の戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の諸特性とCO₂排出原単位，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1372～1377，2020.7
- 日本建築総合試験所／スラッジ再生セメントを含有する結合材を用いた低環境負荷コンクリート工法，建設材料技術性能証明書，GBRC材料証明第16-10号改3，2021
- 森川翔太，大川憲，笠井哲郎／戻りコンクリートから回収した乾燥スラッジ微粉末と回収細骨材を用いたプレミックス型モルタルへの基礎物性，第41回土木学会関東支部技術研究発表会，V-26，2014.3

3Dレーザースキャナを用いた キルン点検手法の検討

Study of Kiln Inspection Method Using 3D Laser Scanner

関根 麻里子 星 健太 住吉 裕次郎 森 寛晃

1. はじめに

セメント製造の主要設備であるロータリーキルン(以下、キルンと称する)は巨大な円筒状の回転炉であり、複数の支点と一つの駆動装置によって全長を支持、回転する設備である。原料焼成のため内部は1450℃に達し、表面の鋼製シェルを保護するため、内側は耐火物のレンガが施工されている。レンガはわずかに台形の断面をしておりシェルの内径に沿って積まれ、基本的にはレンガ同士の一様な圧縮力によりその配列が保たれている(図1)が、温度や過大なシェル変形、キルン中心軸のずれにより、レンガの溶融、損耗、剥離、圧壊や、配列が崩れる斜行(写真1)などのレンガ故障^{1,2)}が生じる。レンガ故障を防ぐため、キルンの定期点検項目とし

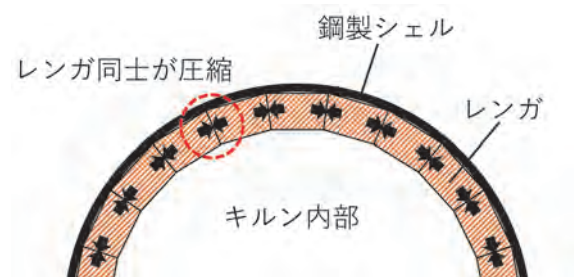


図1 レンガ配列イメージ

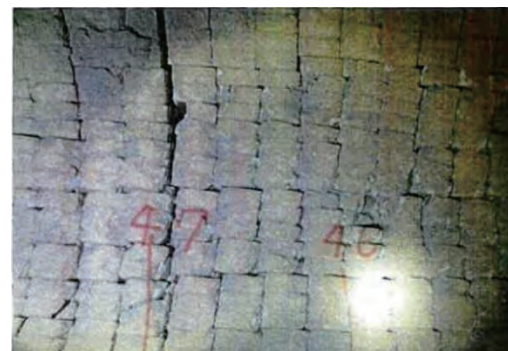


写真1 レンガ斜行例

てシェルの変形や、厚さ、剛性、レンガ損耗状況を定期的に把握しており、特にシェルは機械的応力を極力小さくするように管理されている。

セメント工場の稼働年数は、古いものは90年を超えており、老朽化による設備故障やそれに伴う修繕回数の増加が懸念される。また、今後のマンパワー不足に備えて、点検技術の省力化・効率化が求められている。従来の点検は主に手作業で行われてきたが、例えば、先進機器を導入して、耐火レンガやキルンシェルのありのままの形状を容易に把握できれば、適切な修繕タイミ



せきね まりこ / SEKINE Mariko
太平洋セメント(株) 中央研究所
研究開発推進部 インフラ先進技術チーム



ほし けんた / HOSHI Kenta
同上



すみよし ゆうじろう / SUMIYOSHI Yujiro
同上



もり ひろあき / MORI Hiroaki
同上
インフラ先進技術チームリーダー



図2 3DLS概要

ングや設備更新判断が可能となり、レンガ故障のない安定運転を実現できる可能性がある。著者らはこれまでに、セメント製造の主要設備であるキルンを対象に、内部の全ての耐火レンガの残厚を効率的に精度よく取得する方法³⁾を確立した。本稿では、さらなる点検技術の高度化を目指し、キルン形状特性の評価方法について検討した事例を紹介する。

2. 計測概要

キルン形状計測手法として、地形測量に用いられ、近年ではインフラ調査などで活用^{4,5)}されている3Dレーザースキャナ(以下、3DLSと称する)に着目し、大きさの異なる2つのキルンを対象とした形状計測を実施した。

2-1. キルン概要

計測対象の2つのキルンをキルン①とキルン②とする。キルン①は直径5.5m、全長100mの大径キルンである。キルン②は直径3.75m、全長76mの小径キルンであり、長手方向31~34mの範囲で直径が3.75mから3.45mに徐々に小さくなる。

2-2. 計測機器

3DLSは測定対象物にレーザー光線を照射し、その距離と照射角度から対象物の座標値を算出する。また、レーザー照射部が垂直方向に360°回転し、本体全体が水平方向に180°回転することで全周囲における3次元空間の点群座標を取得できる(図2)。本検討



写真2 リファレンスボール

ではFARO製のFocusS-Plus150を用いた。計測時の点間距離は10m先にレーザーを垂直に照射した場合6.3mmの設定とした。この設定では全周囲を計測するのに約4分要する。

2-3. 計測方法

キルンの運転を停止する大規模な点検・修繕は半年に一回の頻度で行われており、このタイミングでキルン内部のレンガを更新する。古いレンガを解体し、シェル表面が露出した範囲を対象にキルン内部から計測を実施した。また、各キルンの初回計測時の停止角度を0°とし、90°、180°回転させた状態の計3パターンの停止角度で計測を実施した。なお、キルン①では2021年に0°、2022年に180°、2023年に90°の停止角度の計測を実施し、キルン②は3パターンの停止角度を同一時期に計測した。

3DLSはレーザーを放射状に照射するため、計測対象が3DLSから離れるほど得られる点群の間隔が大きくなることや、照射角度が小さいとキルン内部の凹凸により死角が増える等の問題が生じる。これらを防ぐため、キルン内部の計測は計測機器を長手方向に20mずつ移動させて複数回計測を行い、各計測で得られたデータを繋ぎ合わせた。計測間には写真2に示す直径約14cmの樹脂製基準球(以下、リファレンスボールと称する)を複数個ランダムに配置して計測データに含めることで、任意の3個のリファレンスボールで構成される三角形を複数の計測データの合成目印とした。

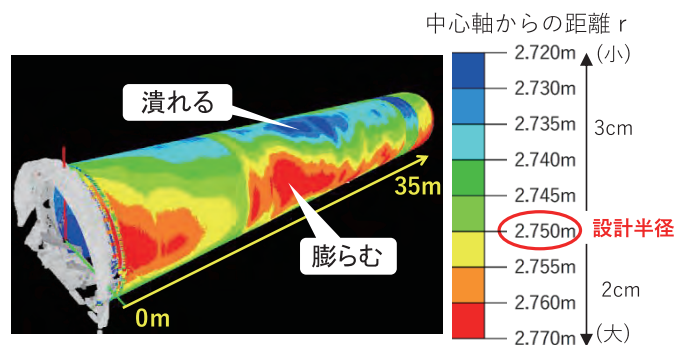


図3 キルン①全体形状

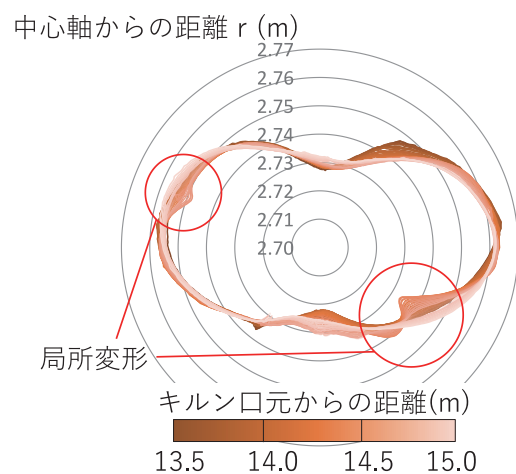


図4 キルン①局所変形

2-4. 点群処理

得られた点群データは整列していないランダム点群であり、計測時の機器中心を中心とした座標系で構成される。複数の点群データの合成や新たな座標の設定には、3D計測データ処理ソフトウェアGalaxy-Eye modelerを使用した。リファレンスボールの位置関係から自動的に全点群データを合成して、これに最小二乗法で円筒を近似した。近似円筒の中心軸をキルンの中心軸と仮定し、これをZ軸とする円筒座標系(中心軸から点群までの半径方向距離をR、中心角 θ はキルンの頭上方向を0°とする)を点群の座標系に設定した。全点群について、円周方向約5cm、軸方向5cmの範囲ごとにRの平均値 r を算出した。なお、円周方向約5cmは、キルン①における中心角1°の弧の長さ、キルン②における中心角1.5°の弧の長さに一致する。この平均化によって、計測器からの距離により点密度が異なるランダム点群の点群密度は均一となり、シェル表

面の点群データについて中心角を行、軸方向長さを列とする行列で表すことが可能となる。以降、平均化した点群を用いてキルン形状を表す。

3. 計測結果

点群処理を実施したキルン①の停止角度180°における計測結果の一例を図3に示す。図3では r の値を用いたカラーマッピングで形状を表しており、垂直方向は青、水平方向は赤で表され、水平方向は垂直方向より r が5cm程度大きい。キルンは真円のように見えるが、実際には形状特性として、軸に直交する断面は楕円状に変形していることが確認された。図4にキルン13.5～15mの断面を示す。この図はレンジをキルン表面付近に合わせ変形を顕著に表した図であり、断面垂直方向が潰れる楕円変形の他に、向かって右下と左上方向に局所的に隆起するような変形を確認でき

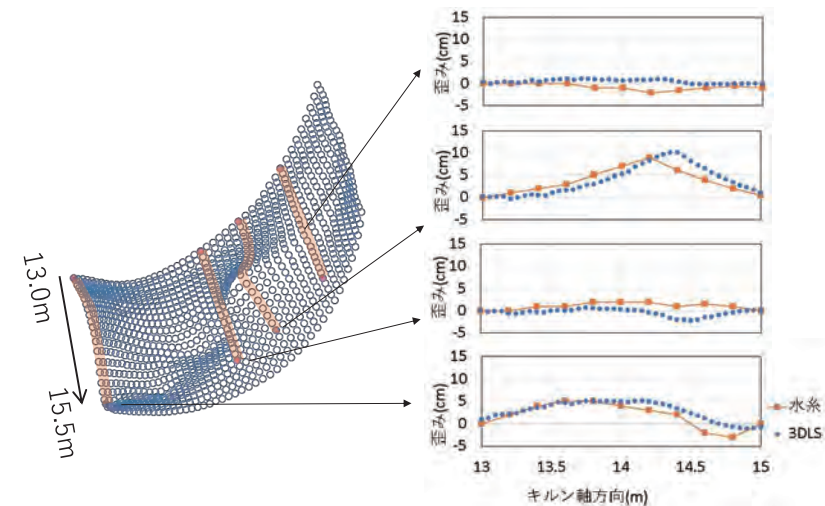


図5 3DLS計測で求めた局所変形の3D図と水系計測結果との比較(溶損箇所)

る。キルン口元から15m付近で、レンガ故障が発生し、これに伴いシェルの受熱温度が高くなり変形が生じたと考えられる。従来、このような変形が生じた際は変形を囲うように健全な箇所に2点基準をとり、基準点から同一高さに水系を張って、水系から変形箇所表面までの高さを測ることで変形程度を把握している。図5にキルン13.5～15mの円周右下1/4範囲における3DLS計測から求めた3D散布図と同箇所を水系での計測した結果を示す。図上の4ラインについて、従来の水系の計測結果と、3DLSによる結果を比較すると、両者の局所変形の大きさがおおむね一致していることが確認できた。水系はライン上の計測に限られるのに対し、3DLSは面的に形状を取得でき、シェル局所変形の程度を詳細に確認できる。これまで確認の難しかった支点間を含む全体形状・局所変形データを短時間で精緻に得られる点が3DLSを用いるメリットと言える。

4. 形状評価

キルン形状において図3,4で示された通り、全体の変形と局所変形が混在していることや、レンガ故障を引き起こす変形程度が不明であることから、3DLSを用いた本手法を点検に活用するためには複数キルンのデータ蓄積が必要である。現状、キルン形状について、全国のキルンの形状個体差が不明であること、従来の

管理方法では支点付近の変形程度や回転芯を計測しており、支点間の詳細な形状は把握できていないことから、まずは各キルンの基本的な形状特性を確認することとした。複数のキルン形状を把握するにあたり、統一した形状評価手法が必要である。ここではキルン中心軸と、軸に直交する断面形状を評価する。

4-1. 中心軸の把握

従来の管理では、キルンを直線に保つため、各支点付近の断面中心位置を計測し、調整している。これに対し、3DLSによって得られる点群は支点間を含む形状データであるため、支点間の断面中心も把握できる。2-4.により、軸方向に5cmごとの断面が得られる。また、各断面はキルン①は360点、キルン②は240点で構成されており、点群処理後の平均化した点を頂点とする多角形とみなして重心座標を算出し、その分布から中心軸を把握した。

4-2. 全体変形と局所変形の抽出

図3,4で確認された通り、自重により軸に直交する断面形状は楕円に近い形状である²⁾。そこで、各断面に最小二乗法により近似した楕円を自重による変形と仮定し、近似楕円の扁平率から形状を評価する。さらに、断面形状と近似楕円の誤差情報を局所変形として各キルンの局所変形分布を確認した。

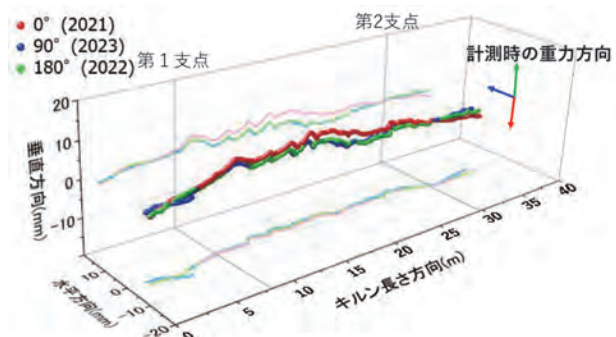


図6 キルン①中心軸

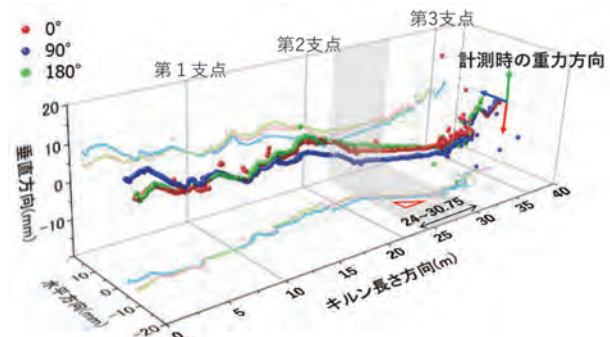


図7 キルン②中心軸

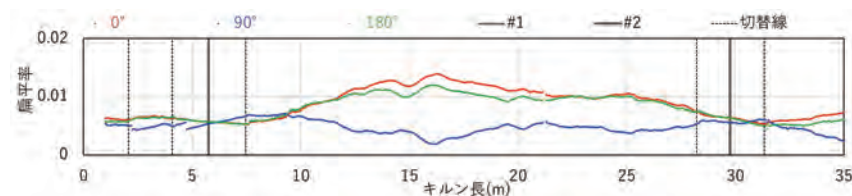


図8 キルン①断面扁平率

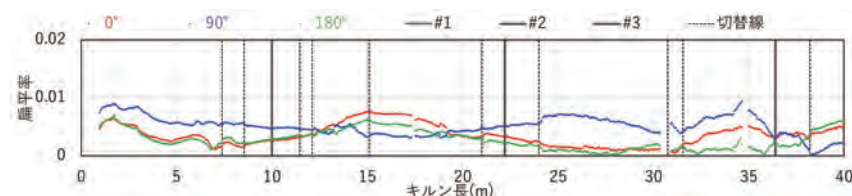


図9 キルン②断面扁平率

5. 形状特性

5-1. 中心軸

3パターンの停止角度で取得した形状データから得られた中心軸について、キルン①は図6、キルン②は図7に示す。両図は各中心軸の向きを停止角度0°に統一し、キルン斜め上からの視点で表した。先述の通り各断面の重心分布を中心軸として表しており、運転時の回転芯ではない。図6のキルン①は第1支点と第2支点の断面重心を繋いだ直線を垂直0mm、水平0mmの基準線とし、図7のキルン②は第1支点と第3支点の断面重心を繋いだ直線を基準線として作図した。図中では計測時に加わる重力の向きは各データにより異なるが、図6のキルン①では停止角度に関わらず各断面の重心分布はおおむね一致している。支点間の重心分布は停止角度に関わらず自重により常に下に凸の傾向を示すと予想したが、キルン運転時は回転に伴い凸の向きはキルン①のように常に変化すると考え

られる。図7のキルン②も同様に停止角度に関わらず各断面の重心分布はおおむね一致している。重心分布の特徴として、窯前からの距離24mから30.75mにかけての勾配が特に大きい。24mと30.75mはシェルの繋ぎ目であり、施工時にわずかにずれ、完全な直線でない状態で溶接された可能性がある。中心軸を重心分布から把握する本手法は、支点付近で行われる従来のキルン芯計測に相当し、シェル切替や支点調整の目安となる可能性がある。

5-2. 全体変形

キルン①②の各断面に近似した楕円の扁平率をそれぞれ図8,9に示す。図中の#1～#3の二重線はキルン長手方向における第1～3支点位置を表す。図8のキルン①において、扁平率は支点付近で小さく、楕円変形が小さいことがわかる。支点部はシェル厚が大きい変形が抑制されていると考えられる。また、支点間では停止角度0°、180°の扁平率は大きく、おお

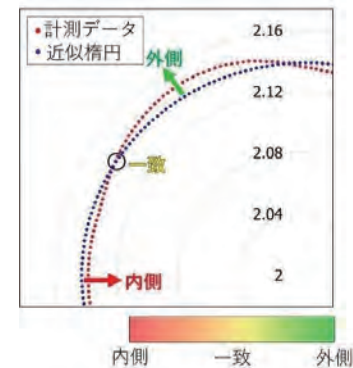


図10 局所変形のカラーマッピング方法

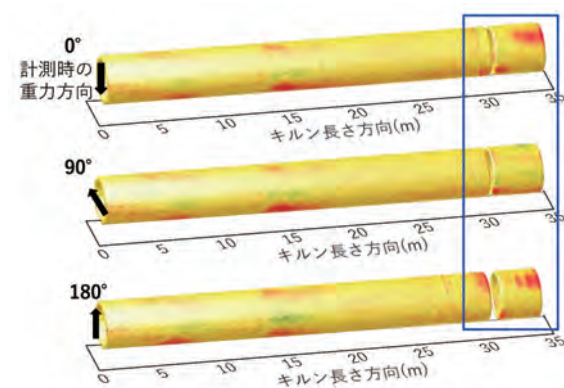


図12 キルン②局所変形分布

むね一致している。一方、停止角度90°の扁平率は小さい。このことから停止角度により変形しやすさが異なり、停止角度の変化に伴い生じる変形量が多いことがわかる。特に支点間中央付近は負荷が大きい。図9のキルン②では、停止角度0°と180°の扁平率はおおむね一致し、停止角度90°は異なる扁平率であった。これによりキルン①と同様に停止角度により変形しやすさが異なることが示された。キルン①の最大扁平率は0.014程度であるがキルン②の扁平率は0.01以下であり、小径のため剛性が大きく変形しにくいことが示唆される。キルン31～34mでは0°と180°の扁平率が乖離するが、この範囲ではキルン直径が3.75mから3.45mに徐々に縮小するため、直径の変化が扁平率に影響したと考える。また、直径Dに対する支点間距離Lの大きさをL/Dで表すとキルン①の第1-2支点間は4.4、キルン②の第1-2支点間は3.3、第2-3支点間は3.8である。キルン②はL/Dがキルン①と比べて相対的に小さいことも変形しにくい理由だと考えられる。

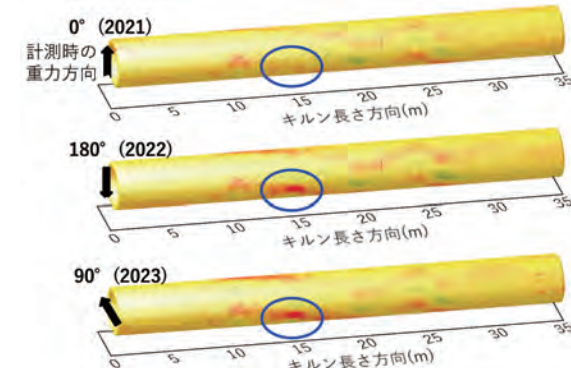


図11 キルン①局所変形分布

キルン各断面の近似楕円の扁平率からキルン各断面の変形程度と、停止角度の変化に伴い生じる変形量を把握することができた。特に大径であるキルン①では支点間中央付近で楕円変形と停止角度の変化に伴う変形量が多い傾向があることが確認された。今後、データ蓄積により扁平率の基準値を設定でき、基準を満たさない場合、剛性低下や局所変形の発生などのスクリーニングに使える可能性がある。

5-3. 局所変形

局所変形の分布は断面形状と近似楕円の誤差情報から求めた。図10のように、各断面を構成する計測データの各点について、中心軸からの距離rが近似楕円の半径より小さい場合(計測データが内側)を赤、一致する場合を黄色、大きい場合(計測データが外側)を緑とし、キルン3Dコンタにカラーマッピングした。図11は上から停止角度0°(21年計測)、180°(22年計測)、90°(23年計測)のキルン①の計測データから得られる局所変形の分布を表し、キルン3Dコンタの向きは停止角度0°に統一した。15m付近に着目すると、停止角度180°、90°では、停止角度0°には見られない局所的な赤い特徴がキルン下方に確認できる。これは図5に示したレンガ故障後のシェル塑性変形を捉えたものである。図12のキルン②は上から停止角度0°、90°、180°の計測データから得られる局所変形の分布を表し、キルン①と同様に図の向きを停止角度0°に統一した。停止角度3パターンの局所変形位置を比較すると、キルン5,15m付近にはキルン側面の緑と下

方の赤い特徴が見られ、局所変形が確認できる。30 m付近では停止角度によって赤い特徴が発生、消失しており、一時的な変形の可能性がある。剛性低下の影響の可能性があるが、また、31～34mはキルン径が変化する範囲でもある。一方、キルン①②において停止角度に関わらず、同一箇所に表示される赤や緑の特徴は永久変形とみなすことができる。複数の停止角度による計測で、永久変形と一時的な変形を検知できる可能性がある。従来の水系計測は故障発生時のみ該当箇所を実施され、故障部以外の局所変形の有無は不明である。当手法であればキルン全面に対して局所変形の有無とその位置が検知でき、効率的なキルン点検の一助となる。

6. おわりに

本稿ではキルン点検技術の高度化を目指し、キルン形状特性の評価方法について検討した事例を紹介し

た。3DLSによって支点間を含むキルンの全体形状・局所変形データを短時間で精緻に得られ、その形状評価手法として楕円近似を用いた手法に期待できる。また、この形状評価手法によりキルン①②の固有の形状特性を把握できた。他のキルンにもこの形状評価手法を適用し、キルン固有の形状特性の把握に努めたい。また、故障時の計測に加えて定期的なデータ蓄積によりキルン健康度の評価に使える管理指針の設定に繋げたい。

【参考文献】

1) 戸田雅他／セメントロータリーキルンのオーバリティが内張り耐火物の損耗に与える影響／耐火物 69[10] pp.502～506, 2017
2) 戸田雅他／ロータリーキルンの耐火物のトラブルとその要因について／紙パ技協誌 第73巻第8号 pp.68～71, 2019
3) 関根麻里子他／3Dレーザースキャナを用いたロータリーキルン点検技術／第77回セメント技術大会, 2023
4) 中村隆寛他／3次元レーザースキャナを用いた建築物の計測手法に関する研究 その1：利用目的ごとの計測手順の整理／日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) pp.903～904, 2020
5) 山下淳子他／3次元点群データを活用したインフラ構造物の維持管理／Journal of the Japan Society for Precision Engineering Vol.85, No.3, pp.228～231, 2019



【おもな内容】セメントって知ってる？／みんなの安全な暮らしを守るコンクリート！／みんなの身のまわりにあるセメント・コンクリート／セメントができるまで／世界トップクラスの省エネ技術！／廃棄物をセメントの原料に！／セメント工場が無かったら日本はゴミの山！？／未来を守るセメント工場

わたしたちの暮らしのサポーター
セメント 安全で快適な暮らしを支えています。

日々の生活の安心・安全を支え、省エネ、省資源で環境貢献をしているセメント産業について、一般・小・中学生向けにわかりやすく解説したパンフレットを作成しています。
大人から子供たちまで、あらゆる世代の方々にご理解いただける内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会

広報部門 FAX 03-5540-6181



お知らせ

第38回(2024年度)セメント協会研究奨励金テーマ募集のご案内

一般社団法人 セメント協会

一般社団法人セメント協会では、セメント化学・コンクリート化学分野の研究振興と若手および中堅の研究者育成のために、大学・工業高等専門学校の研究者に対して研究助成を行っています。
本年度も下記の要領で研究奨励金のテーマ募集を行います。ご応募をお待ちしております。

- 1. 対象 セメント化学，コンクリート化学分野における研究(セメント系新材料，セメント系固化材，環境・リサイクルの関連研究を含む)
- 2. 応募資格 日本の大学または工業高等専門学校に所属する研究者(大学院生を含む)
※ただし，前年度(2023年度)にセメント協会研究奨励金の交付を受けた方は応募できません。
- 3. 応募条件 研究成果については，セメント技術大会，セメント・コンクリート論文集において公表すること。
- 4. 助成金額 採用された研究1件につき原則として100万円
- 5. 応募方法 セメント協会ホームページから研究奨励金申請書の様式(Word)をダウンロードし，研究奨励金申請書を作成して下さい。応募入力フォームより必要事項を記入し，研究奨励金申請書を添付して下さい。応募入力が完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報が送信されますので内容をご確認下さい。

セメント協会ホームページ

<https://www.jcassoc.or.jp>

[トップページ]>[イベント・募集]>[募集/研究奨励金]

- ※ 一人で複数の応募はできません。
- ※ 必要事項を記入する際は日本語又は英語を用い，申請書の記入欄内に収めて下さい。
- ※ 審査条件を統一するため，研究奨励金申請書以外の添付資料は付けないで下さい。

6. 募集期間 2023年9月1日(金)～11月17日(金)必着

※ 期日を過ぎて到着したものは受け付けません。

7. 審査方法 研究奨励金審査委員会により審査

8. 結果通知 2024年3月下旬 ※ 申請者へ結果を通知

9. 支給 2024年4月以降 ※ 全額一括支給

- 10. 留意事項 ※ 当初の研究期間の終了後，遅滞なく全体の成果報告書を提出して頂きます。
- ※ 研究期間が1年を超えるときは，前年度成果の研究概要報告書(中間報告)を提出して頂きます。
- ※ 研究成果の公表に際して，当研究奨励金を受けて研究したことを付記願います。

11. 問合せ先 一般社団法人 セメント協会 研究所 技術情報グループ 研究奨励金 担当

〒114-0003 東京都北区豊島4丁目17番33号

E-mail jca_event@jcassoc.or.jp TEL 03-3914-2692

東海道新幹線浜名橋りょう

～耐塩性コンクリートを用いた橋脚修繕～

Hamana bridge on the Tokaido Shinkansen
～ Bridge repair work using salt-resistant concrete ～

鬼頭 直希 永尾 拓洋 加納 俊作 佐久間 勇樹 前田 昌大 秋田 悠宇

1. はじめに

静岡県西部に位置する第1浜名、第2浜名、第3浜名の3橋りょう(以下、浜名橋りょうと総称する)には全41橋脚があり、汽水湖である浜名湖に橋脚があることから、東海道新幹線全線の中でも特に塩害を受けやすい環境下にある(写真1)。そのため、1988(昭和63)年に塩害による変状が確認されたことを受け、1995(平成7)年までに橋脚を厚さ150mmのコンクリートで巻き立てる補強工を実施したが、2006(平成18)年の調査にて巻き立て補強工の変状のほか、補強コンクリートより深部にある橋脚建設時の鉄筋周囲にまで高濃度の塩化物イオンが浸透していることが判明した(写真2)。そこで、今回の橋脚修繕工事では、高炉スラグ微粉末、フライアッシュを混合した三成分系の耐塩性の高いコンクリートとエポキシ樹脂塗装鉄筋によ

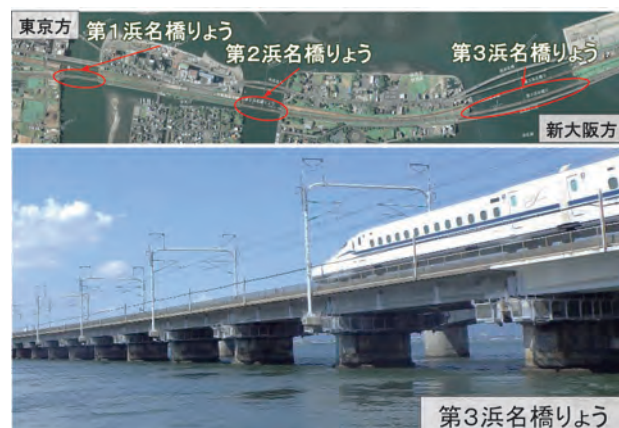


写真1 東海道新幹線浜名橋りょう

り橋脚の再塩害化防止を図ることとした。

また、浜名湖周辺では海苔や牡蠣などの漁業が盛んであることから、本工事は海産物の生育や漁に影響が少ない4月下旬～9月上旬の4ヶ月半で実施しなければならず、さらに夜間も漁が行われるため施工時間は昼間のみに限定されるという極めて厳しい条件下で施



写真2 補強工に発生した塩害状況

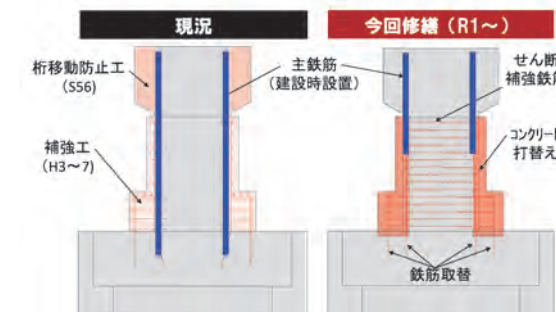


図1 修繕工事概要(橋脚の橋軸方向断面図)

	修繕工	塩害防止概念図
コンクリート	【耐塩性コンクリート】 (普通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)	・塩化物イオン浸透抑制 表面緻密化
鉄筋	【エポキシ樹脂塗装鉄筋】	・浸透した塩化物イオンや内在塩分から鉄筋を保護 保護

図2 塩害防止材料と概念図



写真3 撤去したコンクリートと新設鉄筋



写真4 仮締切設置作業状況

工を行う必要があった。

本稿では、東海道新幹線の安全な運行と供用中の橋脚耐力を確保した上で、耐塩性の高い鉄筋コンクリートへの打替えによる再塩害防止を図る工事について詳述する。

2. 橋脚修繕の概要および施工手順

本工事の概要は、図1に示すように、1995(平成7)年までに施工した巻き立て補強工と建設時の主鉄筋裏までのコンクリートをはつり、主鉄筋とせん断補強鉄筋を取り換え、耐塩性の高いコンクリートを打設する工事である。

塩害を防ぐには塩化物イオンを鉄筋位置まで浸透させないことが望ましく、鉄筋のかぶり厚さを大きくすることが対策の一つとして考えられるが、浜名橋りょうの場

合、橋軸直角方向の橋脚幅に対しケーソン基礎の幅の余裕が小さいため、かぶり厚さを現状より大きくすることができない。そこで、図2に示すように、高炉スラグ微粉末とフライアッシュを普通ポルトランドセメントに混合した三成分系の耐塩性コンクリートを採用し、既設と同等のかぶりでありながら、塩化物イオンの浸透を抑制することとした。また、取り換える鉄筋は、発錆防止効果があるエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用し、コンクリートに浸透した塩化物イオンや内在する塩化物イオンに対し保護できるようにした(図2, 写真3)。

工事の実施に当たり、湖内に建つ橋脚の修繕工事における品質、安全性の確保ならびに水質汚濁防止の観点から仮締め切りによる施工環境確保が不可欠であった。そこで、過去の実績や漁業への影響等を勘案したうえで、設置撤去時に水質を汚濁せず転用が可能な鋼製函体による仮締切を採用した(写真4)。



きとう なおき / KITO Naoki
東海旅客鉄道(株)
建設工事部
係長



ながお たくひろ / NAGAO Takuhiro
同上
担当部長



かのう しゅんさく / KANO Shunsaku
同上
課長代理



さくま ゆうき / SAKUMA Yuki
東海旅客鉄道(株)
新幹線鉄道事業本部
主任



まえだ しょうた / MAEDA Syota
同上
建設工事部
課員



あきた ゆう / AKITA Yu
同上
主席

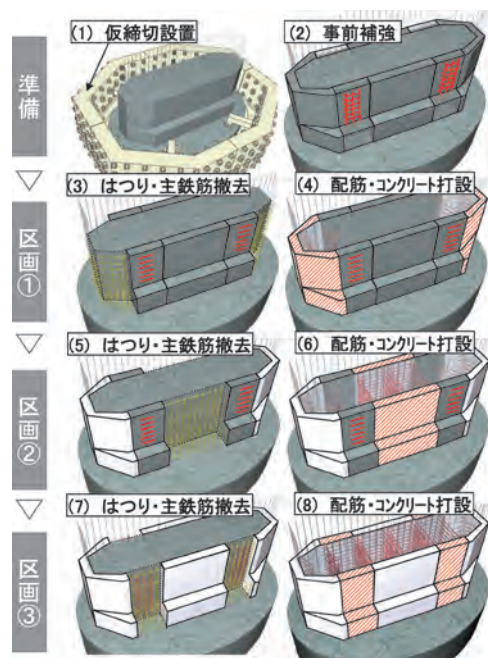


図3 橋脚修繕の分割施工手順

仮締切設置後、東海道新幹線の営業運転に供用されている橋脚を修繕するためには、橋脚の現有耐力を維持しながら工事を進める必要がある。そのため1橋脚断面を3区画に分割して施工することとした(図3)。これは、現有耐力確保のため1区画の施工量を極力抑えつつ、一方で、必要以上に細かく分割して施工期間が長くないよう勘案したものである。なお、最初の区画である区画①のコンクリートと鉄筋を撤去する前段に、事前補強(図3(2))を施すことにより、全ての段階で現有耐力を維持していることを確認し、施工を進めることとした。

3. 耐塩性コンクリートの配合 および耐塩性確認

配合検討は、一定量の高炉スラグ微粉末、フライアッシュを混和材として添加し組織を緻密化することで、塩化物イオンの浸透を停滞する事例の報告¹⁾を参考に、配合試験を実施した。表1に、配合試験のケースを示す。普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末(表1中の記号B)を約50%置換し、フライアッシュを内割10%添加した三成分セメントとし、水セメント比

表1 耐塩性コンクリートの配合試験

CASE	記号	W/B	空気量	スランプ	単位量(kg/m ³)			
		(%)	(%)	(cm)	W	B (結合材)		
1	N-42	42	4.5	15	160	381	-	-
2	NBF-35-10	35			160	205	206	46
3	NBF-38-10	38			160	190	189	42
4	NBF-43-10	43			160	168	167	37
実配合		39	4.5	18	158	405	40.5	

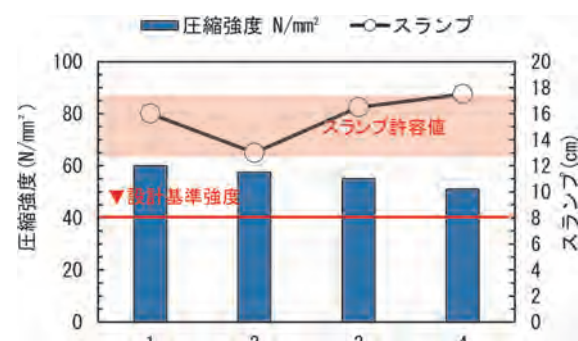


図4 配合試験のフレッシュ性状・圧縮強度試験結果

を変化させた際のフレッシュ性状と圧縮強度を確認した。試験の結果、図4に示すとおり、いずれの配合も設計基準強度40N/mm²を満足し、スランプも許容値内に収まった。耐久性の観点からは、水セメント比が低い配合を選定することがより緻密なコンクリートとなり望ましいが、混和材を多く置換することにより粘性の増加が懸念されることや実際の施工にあたり生コンプラントでの対応能力等を踏まえ、CASE4を基本配合に選定した。

次に、選定した三成分セメントを用いた耐塩性コンクリート供試体と普通ポルトランドセメントのみを使用したコンクリート供試体をそれぞれ浜名湖の海中、干満、飛沫帯に配置し、一定時間経過後の塩化物イオン濃度の浸透を測定した。図5に海中に配置した供試体の測定結果を示す。普通コンクリートは塩化物イオンが一定量内部浸透しているのに対し、耐塩性コンクリートはコンクリート表層にこそ塩化物イオンが浸透しているものの、コンクリート内部への塩化物イオンの浸透は普通コンクリートに比べ低下していることがわかった。試験結果をもとに将来の発錆限界に達するまでの年数は、平均純かぶりの鉄筋位置(約123mm)で約150年経過後であり、エポキシ樹脂塗装鉄筋の効果をあわせれ

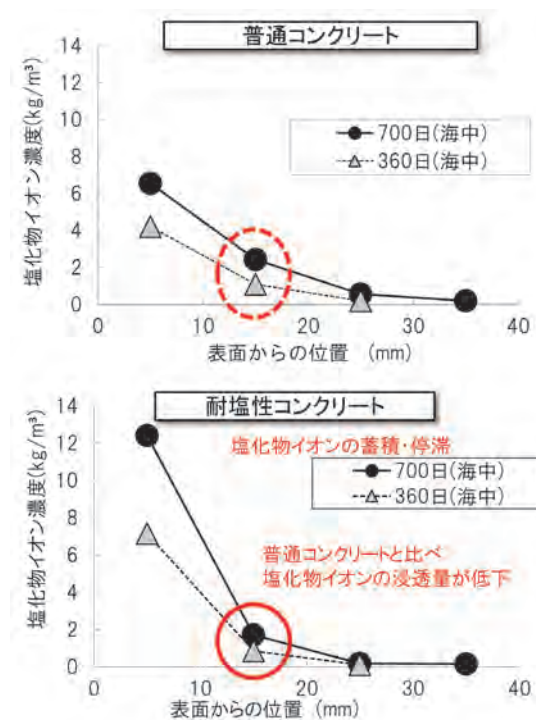


図5 塩化物イオンの浸透(360日/700日)

ば、さらなる耐塩性が期待できると考えている。

実際の施工に当たっては、生コンプラントで一般的に使用されている高炉セメントB種に対し、外割で10%のフライアッシュを投入することで配合試験と同程度の配合条件を再現することとした。また、3区画の施工により生じる打ち継ぎ目の付着切れの防止ならびに収縮ひび割れの低減を目的に、膨張材を添加することとした。膨張材の添加量は、土木学会示方書²⁾に記載のある標準添加量20kg/m³で所定の膨張率150~250×10⁻⁶を満足することを確認している。また、後述するコンクリート打設時の課題検証の結果等を踏まえ、打込み時の最小スランプを12.5cmと設定し、品質のばらつき(±2.5cm)および、練り混ぜ開始から打設完了までに想定されるスランプロスを考慮し、目標スランプを18.0cm±2.5cmと設定した(表1)。

4. コンクリート打設時の課題検証

コンクリート打設時期は、6月から8月であり、日平均気温が25℃を超えるため暑中コンクリートとなり、コンクリートの打込みは練り混ぜ開始から打ち終わるまで1.5



写真5 コンクリート台船による曳航



写真6 コンクリートの積み替え



写真7 コンクリート打設資機材



時間(90分)を超えないことが標準となる。

一方で、本現場は浜名湖内の橋脚修繕であるため、写真5に示すように、コンクリートの運搬に台船を用いるという特徴がある。台船は航路上にある空頭制限がある橋りょうを通過することから、トンネル工事で使用するアジテーターカーに陸上ヤードで生コンクリートを積み替え(写真6)、台船にアジテーターカーとポンプを積載して曳航する。橋脚到着後は、準備した配管とポンプを接続し、コンクリートを打設することとした(写真7)。

令和5(2023)年度までに工事を実施している第2浜

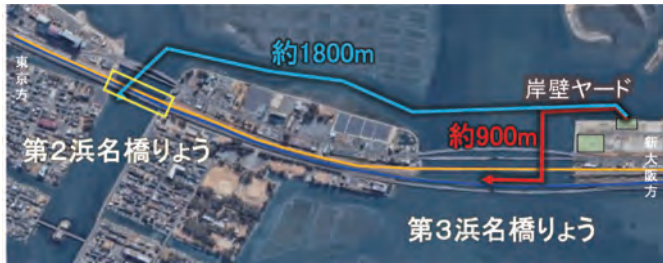


写真8 コンクリート台船による曳航ルート

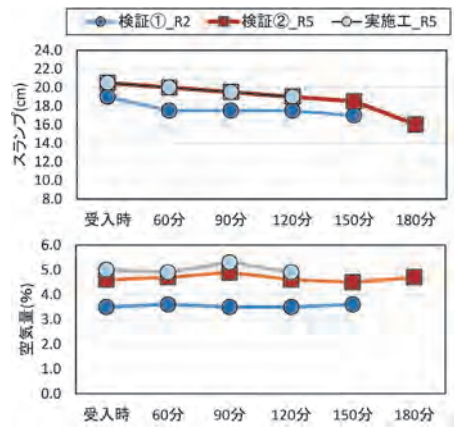


図6 スランプ・空気量の経時変化

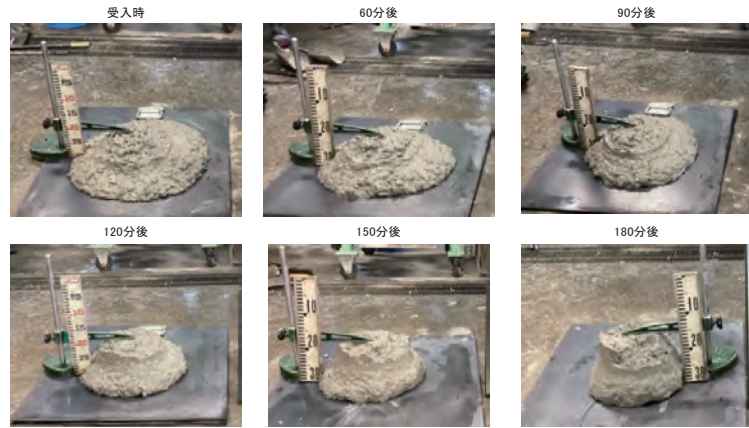


図7 スランプ形状の変化

名、第3浜名橋りょうは、写真8に示すように資機材運搬の起点となる岸壁ヤードからそれぞれ約1800m、900mほど離れており、練り混ぜ開始から橋脚まで台船曳航して打設開始するまでそれぞれ約80分、60分の時間を要する。さらに、仮締切内という狭隘な施工空間での打設時間は約30分必要となる。また、橋脚付近は潮流があることから、コンクリート打設設備を積載した作業台船は、昼間に約2回ある潮流の弱まる潮止まり(干満の切替わる時)での運搬と限られており、90分以内に打設完了しない場合、別の日程で打設を再度行うこととなる。そこで、1日で確実に品質を確保しながら1区画の打設を完了できるよう、打設時間限度長について検証した。

検証方法は、実施工の作業手順を想定し、事前に室内試験において各経過時点のスランプおよび空気量を測定した。また、実際のコンクリート打設当日においてもコンクリートを台船にて運搬した後のポンプの筒先からコンクリートを採取し、スランプおよび空気量を確認した。試験結果を図6に示す。配合計画は統一されているものの、各年においてフレッシュ性状は少なから

ず変化するため、室内試験は、令和2(2020)年度および令和5年度での検証結果を示している。練り混ぜ開始から120分時点までは、過度なスランプロスは見られないが、練り混ぜ開始から150分以降は低下する傾向がある。空気量は、測定した経過時間で低下はみられなかった。スランプ形状は図7に示すように、材料分離は見られないものの、練り混ぜ150分以降は、粘性も非常に高く、仮締切内という狭隘な施工空間での打設は困難となると判断した。そこで、本施工における打設時間の限度長を練り混ぜ開始から150分と設定することとした。

5. 漁場、自然環境への配慮

工事の推進に当たっては、漁協協同組合やマリーナなど地域関係者の理解を得る必要がある。過去に沿岸で行われたコンクリート工事が起因と想定される汚濁によって海産物(海苔、牡蠣など)が被害を受けた経験のある漁協協同組合からは、海産物の育成に影響が少ない5～9月上旬の施工を求められた。この期

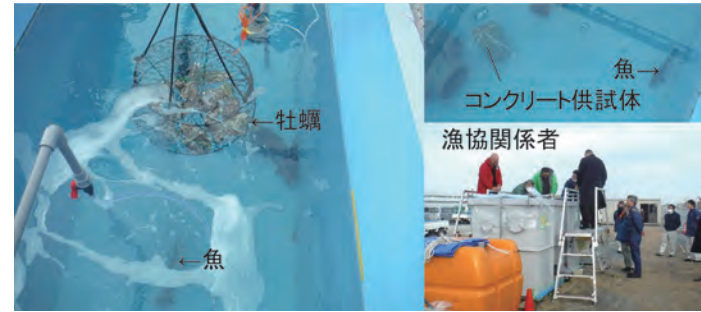


写真9 コンクリートと海産物の浸漬試験

間内で一連の作業を終えることは困難なことから、協議の結果4月下旬～9月上旬に海産物への影響が懸念される作業を行うことを基本とした。

修繕工事の作業区画は仮締切により浜名湖の水環境から隔てており、コンクリート撤去に伴い発生する粉塵などが飛散しないようコンクリート撤去作業時は常時散水ならびに飛散防止シートを設置し、対策を図っている。修繕工事にて発生した濁水は、作業台船上に設置した濁水処理設備にて処理し、工事用水に再利用している。

また、漁協協同組合や自治体等の地域関係者に対し、写真9に示すように、海産物と本工事で使用する耐塩性コンクリートを同時にタンク内に浸漬した試験を実施し、海産物に対して耐塩性コンクリートの影響がないことと確認していただくとともに、工事中も環境保全への対策を現地で確認していただきながら、リスクコミュニケーションを図っている。

6. おわりに

令和元(2019)年度より修繕工事を開始し、令和5年度までに、第3浜名橋りょうで11橋脚、第2浜名橋りょうで2橋脚の修繕工事を実施している。修繕する橋脚ごとに潮流の影響や水深、さらに漁協協同組合等地域関係者の心配事も異なるため、修繕作業開始前には入念な調査や説明を行い、施工時に発生が想定される課題に対し、計画段階から対策をとっている。引き続き、東海道新幹線の安全安定輸送、工事の安全、環境の保全、地元関係者との連携を確保しながら、残りの橋脚の塩害対策工事を完遂する所存である。

【参考文献】

- 1) 高橋佑弥, 井上翔, 秋山仁志, 岸利治／実構造物中のフライアッシュコンクリートへの塩分浸透性状と調査材齢の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.32 No.1, 2010
- 2) 土木学会／2017年制定 コンクリート標準示方書[施工編：特殊コンクリート]：5章 膨張コンクリート, pp.258～259

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2023”をお頒けします

セメント協会は海外向けにわが国セメント産業をダイジェストしたパンフレットを発行しました(A4版・16ページ)。需要と供給・分野別販売先・輸出と輸入・物流関連・建設投資状況・エネルギー・世界のセメント情報などを図表で紹介。海外の方に日本のセメント産業を理解いただくためのツールとしてご活用下さい。

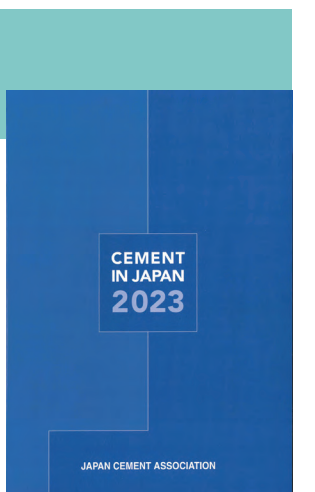
ご希望の方には無料でお届けいたします。

申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

【主な内容】

1.JCA MEMBER COMPANIES 2.DEMAND AND SUPPLY 3.CEMENT SALES BY CUSTOMER 4.IMPORT AND EXPORT 5.CEMENT DELIVERY FLOW 6.CONSTRUCTION INVESTMENT 7.ENERGY CONSUMPTION, RAW MATERIALS 8.CEMENT PLANTS LOCATION



「コロナ」とともに札幌へ

山本 徹

私は2020年4月に東京から札幌に赴任した。コロナとともにやって来た。当時、この年の「札幌雪まつり」で感染が広がり、東京より一足早く札幌でのコロナ感染が話題となったが、もう3月末から4月にかけては東京も含め全国的に感染が広がっている状況であった。これも理由の一つで、とりあえず単身赴任で来ることになった。札幌中心街大通公園沿いに居を構えた小職は、大学時代を過ごした札幌の発展に目を見張りながら、暫くは期待と希望を持って、新天地での生活をしようと思っていた。しかし、コロナである。社内・社外との懇親会もすべて自粛で、想像していたような日々とは程遠く、朝会社へ行き、夕方に一人で帰宅する毎日であった。

感極まったのが、その年のゴールデンウィークである。札幌市から「GW緊急メッセージ」が発表され、「とにかく家にいる」「道民の方は札幌へ来ない」「都道府県間の行き来はしない」との具体的な行動が求められた。会社としても、なるべく都道府県をまたぐ帰省はしないようにとの通達があり、一人で札幌で過ごすこととなった。それまでの単身赴任はすべて現場であり、仲間もいたし、基本的に食事の心配はなかったが、今度の単身赴任は本当に一人である。

まして、周りのレストラン、居酒屋、食事をするようなお店はすべて閉まっており、デパートの食品売り場も閉鎖、中心街であるが故にスーパー系の食料を調達できるところもなく、あるのはコンビニのみである。GWも二日目、三日目となると、さすがにコンビニの食事でも飽きてきて、会社の人間にお願いして郊外のスーパーに連れて行ってもらった。大量に食料品を買い込み、何とか腹は収まったが、今度はずっとマンションの部屋にいるのも飽きてくる。そこで、GW中盤以降は、また会社の人間や大学の同期にお願いしてゴルフに連れて行ってもらった。レストランでの食事はできなくともゴルフはできたのである。

ゴルフに行かない日は、早朝から大通公園を歩いた。大通公園は東はテレビ塔から西は13丁目の札幌資料館までで、一周4500歩ぐらいある。5:45にマンションを出て、ケヤキ、ハルニレ、トチノキ、エゾヤマザクラ、ニセアカシア、プラタナス、キタコブシ、イチヨウ、ニイノキなどの大木とともに、鮮やかに咲き誇るライラックを満喫して、一周回ってくると6:30、ちょうど大通公園でのラジオ体操が始まる。第一体操、第二体操と体を動かしてラジオ体操が終わると、マンションに帰り、後はゴルフ番組、

読書、好きな落語をインターネットで聞くなどして、ゆっくり過ごした。このようなことはゴールデンウィークが終わってからもゴルフに行かない日の週末の行事のようになっていたが、何度目かのラジオ体操の後、体操の段取りをしている方が体操参加者にマスクを箱で配っており、私も頂けたのは感激だった。

以降、札幌の短い夏はあっという間に過ぎて、秋になり雪の季節となった。まだまだコロナで騒いでいる頃、会社から帰り、今日はラーメンを作ろうと冷蔵庫を見たが、もやしが無い。もやしは近所のコンビニでも売っているのを知っていたので、マンションを出ていつもなら歩道で行ける裏手のコンビニ行くのだが、ちょうどその時一本道路を隔てた先に新しい北海道ブランドのコンビニが出来たのが思い当たり、そっちに行ってみようと、信号待ちをし、青になり三歩目ぐらいか、横断歩道で見事に滑り転んでしまった。すぐにマンションに戻り、左手首が腫れていることに気づき、保冷剤で冷やし、いつしか寝てしまったが、朝起きて腫れがひどくなっており、会社の車で病院に連れて行ってもらおうと、「骨折です。明日入院、明後日手術です。」と言われた。早速会社と家内に伝えたとこ、家内もすぐに札幌に来る、という話であったが、病院ではコロナでお見舞いはできません、とのこと。そこで、一度マンションに帰り、身支度をして、家内は退院の日に来てもらうことにした。

そんな感じの一年目だったが、早くももう3年半が過ぎた。骨折も完治し、今は新幹線工事



や、再開発が進み、風力発電や半導体まで来ようとしている北海道、札幌で日々送っている。あれから、家内も何度か来ているが、北海道のゴルフ場、大通公園の四季、ジンギスカン、寿司、ラーメン、果物などは本当に素晴らしく、楽しい日々を送らせて頂いている。是非、一度お越しあれ！

[やまもと とおる /

鹿島建設(株) 執行役員 北海道支店長]

イラスト・タイトル 宮島幸次

西都市庁舎

～設備と防災を統合したDT版あらかわしのワークスペース～

Workspace with exposed precast DT floor slab integrating equipment and disaster prevention functions.
-Saito City Hall-

伊藤 淳 野原 啓司 柳井 健太

1. はじめに

西都市は宮崎県の中央部に位置し、総面積のおよそ8割を森林地帯に覆われ、その間を一ツ瀬川が貫流する自然豊かな地域である。

市庁舎の建つ敷地は一ツ瀬川の下流平野部で、西側丘陵地に国内最大級の西都原古墳群を有し、かつて日向国の中心部として栄えた妻地区にある。一方、現在は多くの地方都市と同様に人口は減少傾向にある。

県全域が南海トラフ地震防災対策推進地域に指定され、旧庁舎が耐震診断で耐震性能不足の判定を受けた中、庁舎建て替えは喫緊の課題であった。計画にあたり、新庁舎の果たすべき役割やあるべき姿について、市民懇話会より提言が出され、「防災拠点性能の確保」「誰もが利用しやすい庁舎」「効率性・機能性の重視」「環境配慮」という課題が与えられた。これら

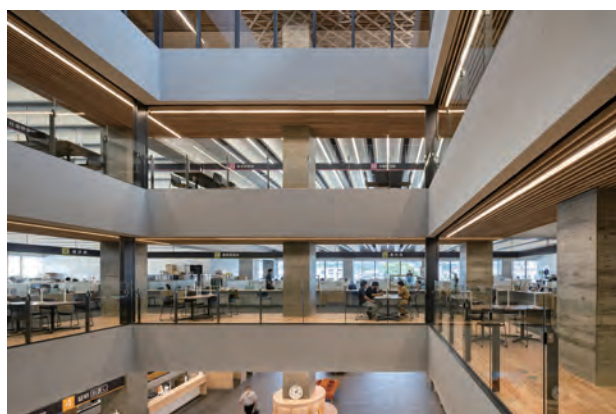


写真1 意匠・設備・防災を統合したDT版による執務室

に対しPC技術、とりわけプレキャストコンクリート(以下、PCaと称す)のダブルT型合成床版(以下、DT版と略)により意匠・設備・防災を統合した設計とした(写真1)。

2. 建築計画概要

2-1. 建築概要

庁舎の建築概要を以下に示す。

建設場所：宮崎県西都市聖陵町2-1

建築主：宮崎県西都市

設計・監理：(株)久米設計 九州支社

施工者：(株)鴻池組・大和開発(株)・
(株)宮内建設

特定建設工事共同企業体

建築面積：3172.55m²



写真2 庁舎の東側鳥瞰

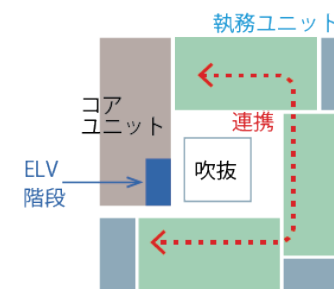


図1 風車型の平面ダイアグラム

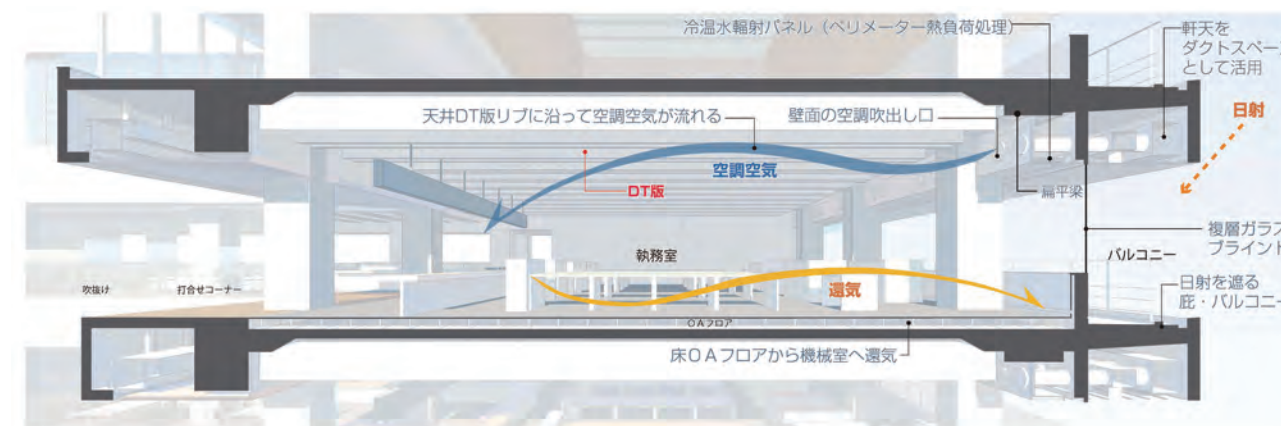


図2 DT版を利用したダクトレス空調

延床面積：8161.26m²

階数：地上5階

最高高さ：21.55m

主要用途：庁舎

2-2. 建築計画

写真2に庁舎の東側鳥瞰を示す。平面計画は吹抜けを4つのユニットで風車型に囲む40m×40mのコンパクトな構成である。西側は西日対策も兼ねて階段やエレベーター、トイレ等のコアユニットとし、その他3つのユニットは外気に面した執務ユニットとした。図1に風车型的の平面ダイアグラムを示す。この執務ユニットは各階の機能に合わせて1つ、あるいは複数のユニットの組み合わせとなる。執務ユニットはPC技術を利用した13.6mの無柱空間とした。

PCaDT版により、窓口・執務室の開放的かつ連続的なワークスペースを実現し、現場緊張のPC梁により、

市長室や議会エリアなど個室が必要となる部分では自由な間仕切壁の配置を可能にする等、庁舎の空間的要求に合わせて、それぞれを使い分けている。

吹抜けは庁舎の動線の基点かつ活動の中心である。各階に階段やエレベーターでアクセスすると、吹抜けを介して目的の部署が視覚的に一望できる(写真1)。吹抜けを囲み、風車型に配置された執務室はPCaDT版によるあらかわしの直天井とし、地震時の仕上げ材や照明・設備機器の落下の危険性を排除している。

外周部はバルコニーを設け、軒天を下げることで日射遮蔽効果を高めている。これにより生み出される軒天内部を空調ダクトスペースとして活用した。空調空気はペリメーターゾーンのサッシ上部吹出口からPCaDT版リブを利用したダクトレス空調としている(図2)。

吹抜け周りの市民協働スペースは各課窓口前の相談・打合せコーナーやラウンジ、傍聴ロビー等、各階



いとう じゅん / ITO Jun
(株)久米設計
環境技術本部 構造設計室
主管



のはら けいじ / NOHARA Keiji
同上
設計本部 九州支社
部長



やない けんた / YANAI Kenta
同上
設計本部 九州支社
主管

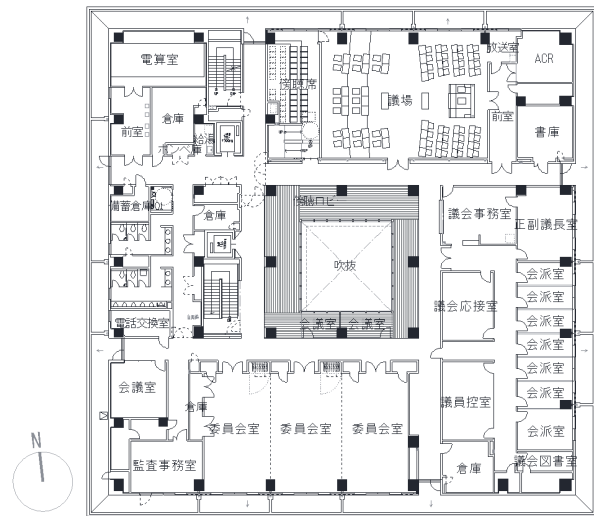


図3 2階平面図

の機能に即した役割を持つ(図3,4)。吹抜け上部および1階エントランスホールの天井に用いた木格子ブレースや各階のフローリングやルーバー材など、各所に西都市産スギ材を様々な形で使用した仕上げ材を展開し、居心地の良い空間づくりとともに、市産材の魅力を発信している。

3. 構造計画概要

3-1. 構造概要

庁舎の構造概要を以下に示す。

構造形式：基礎免震構造

構造種別：鉄筋コンクリート造，一部

プレストレストコンクリート造，鉄骨造

床形式：鉄筋コンクリート造

ハーフPCaDT版

基礎形式：杭基礎(既製コンクリート杭)

3-2. 構造計画

本建物は「防災拠点性能の確保」の観点から、基礎免震構造として建物全体を免震化している。敷地GLは近隣の一ツ瀬川氾濫による浸水に対し、周辺よりかさ上げするとともに、免震層周囲に側溝を設け、免震部材の浸水に配慮している。

剛性確保と近隣の基地を離着陸する自衛隊機の航

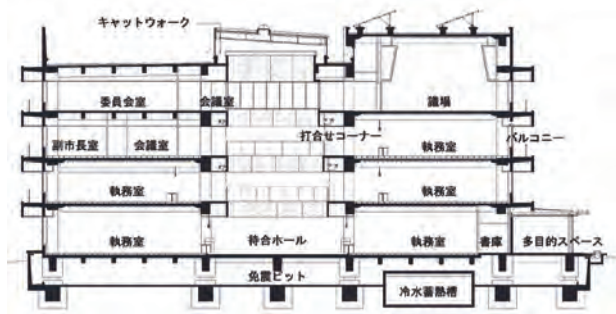


図4 断面図(南北方向)

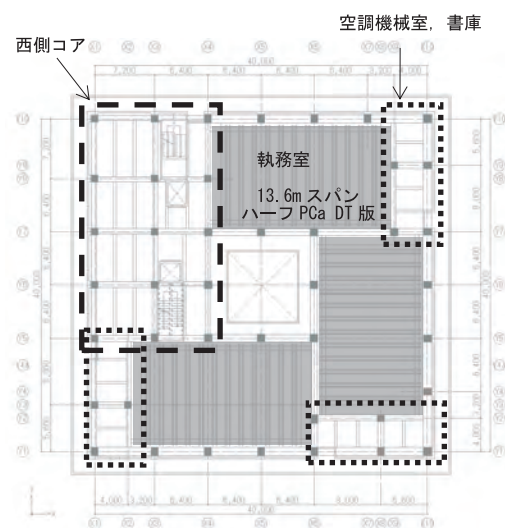


図5 3階床伏図

空騒音対策のため、上部構造は一边40mの正方形平面で積層する部分を鉄筋コンクリート構造としている。

西側コア部分に集中的に柱梁フレームを配置する一方、執務室を13.6mの無柱空間とし、窓口からの見通しを確保するとともに、将来のレイアウト変更に柔軟に対応できるようにした。

執務室はハーフPCaのDT版を用いることで直天井とし、照明器具および防災機器を直付けすることで、地震時の仕上げ材や照明および機器の落下による危険性を排除した。なお、DT版のリップはダクトレス空調にも利用している。上階の小部屋となる部分はDT版を現場緊張のPC梁に置き換え、全階を同じスパンとした。

西側に偏心したコアに対して、執務室に隣接する空調機械室や書庫などのヘビーデューティーゾーンに柱を配置して鉛直荷重を支持するとともに、水平剛性を高め、建物全体をバランスさせることで偏心率を小さくしている(図5)。

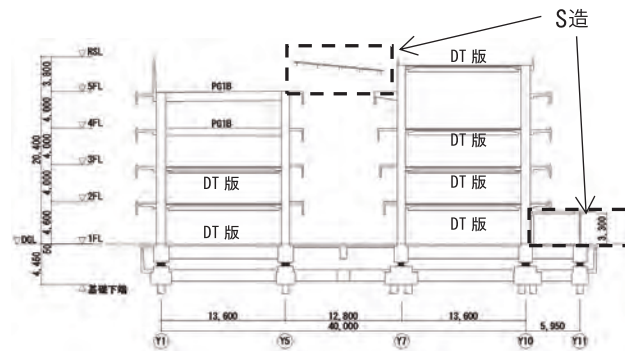


図6 軸組図(Y方向)

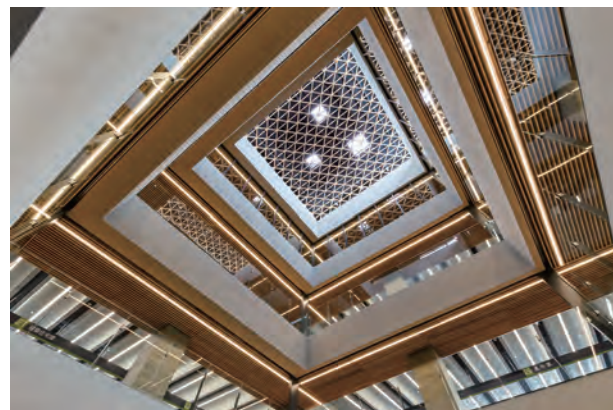


写真4 PCaDT版と木格子ブレース(吹抜け見上げ)

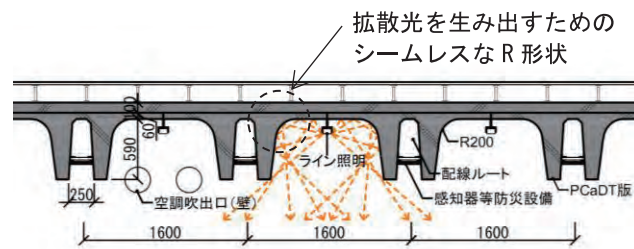


図8 照明光の拡散イメージと執務室の照度シミュレーション

吹抜け上部の屋根と1階下屋部分は鉄骨造とし(図6)、来庁者が多く訪れる共用部を軽快かつ開放的に造り、市民に親しみのある市産スギ製材による木格子ブレースを用いることで、庁舎の玄関口を象徴的な空間としている(写真3,4)。

4. PC部材の概要

4-1. ハーフPCaDT版の設計

執務室と議場は13.6mスパンをハーフPCaDT版に



写真3 エントランスホールの木格子ブレース

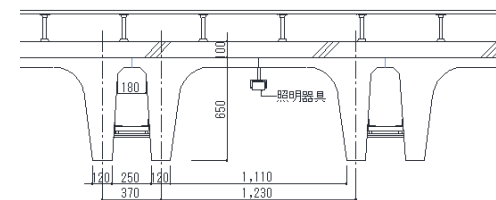
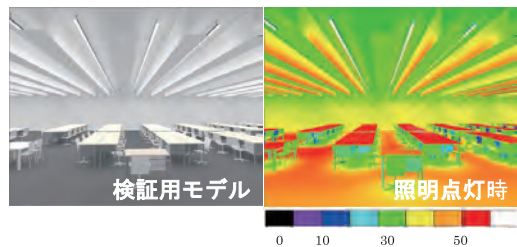


図7 ハーフPCa DT版断面詳細図



より意匠性の高い直天井の無柱空間としている。DT版のリップ間隔を操作し、照明や防災機器を直付けすることで地震時の照明および機器の落下危険性を排除している(図7)。DT版の入隅部は照明による拡散光を生み出すため、シームレスなR形状とした。拡散光により、コンクリート面でありながら明るさ感のある視環境を実現している(図8)。さらに空調空気は、DT版のリップを這うように流れるコアンダ効果を利用したダクトレス空調としている。外周のDT版受け梁を扁平断面とし、バルコニーで展開したダクトを梁下から室内へ取り込

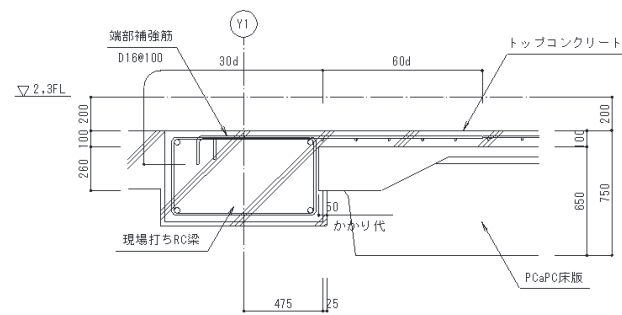


図9 外周DT版端部と扁平梁の取り合い

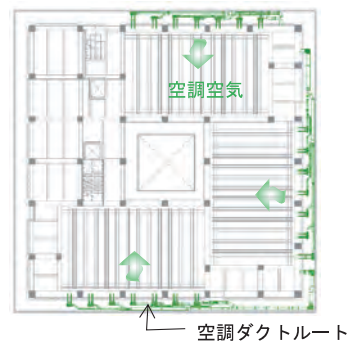


図10 効率的な空調を実現するダクトルート



写真5 ダクト施工状況



写真7 統一された形状による議場のDT版

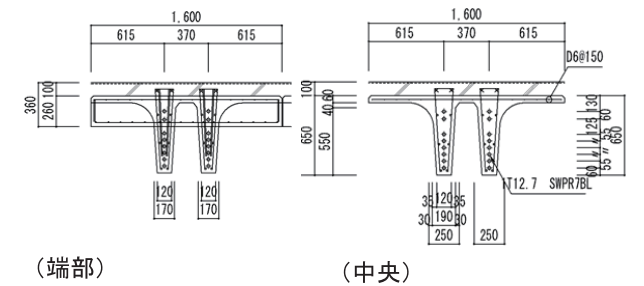


図12 DT版断面図

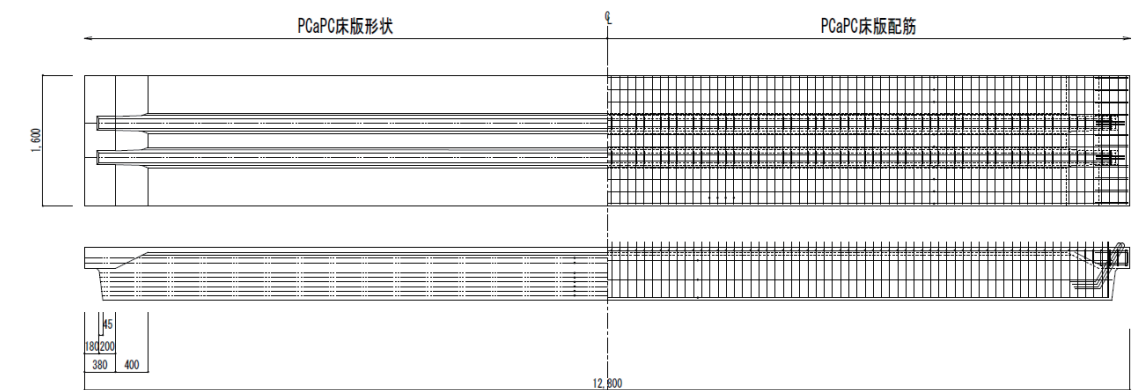


図13 DT版形状・配筋図

り代は50mmとした。リブに内蔵するPCケーブルはSWPR7BL 12.7mmとし、執務室から議場までを同一形状で統一することで、型枠製作に掛かるコストを抑えた(写真7)。

なお、図12に断面図を、図13に形状配線図を示す。DT版の部材数は合計で103ピースである。

4-2. 現場緊張PC梁の設計

天井仕上りとなる小部屋を集約する3階の一部と4階は13.6mスパンに掛かる梁(以下、PRC梁と称す)に、PC鋼材を内蔵し、プレストレスを導入している。このことにより、市長室や議会エリアなど個室が必要となる部分での自由な間仕切壁の配置を可能にし、それらの各部屋ごとに設ける空調その他の設備計画とも整合する計画としている。図14に5SLのPRC梁位置を示す。

PC鋼より線はSWPR7BL 12.7mmの7本から10本のユニットを用い、梁幅は定着金物の納まりに配慮し、

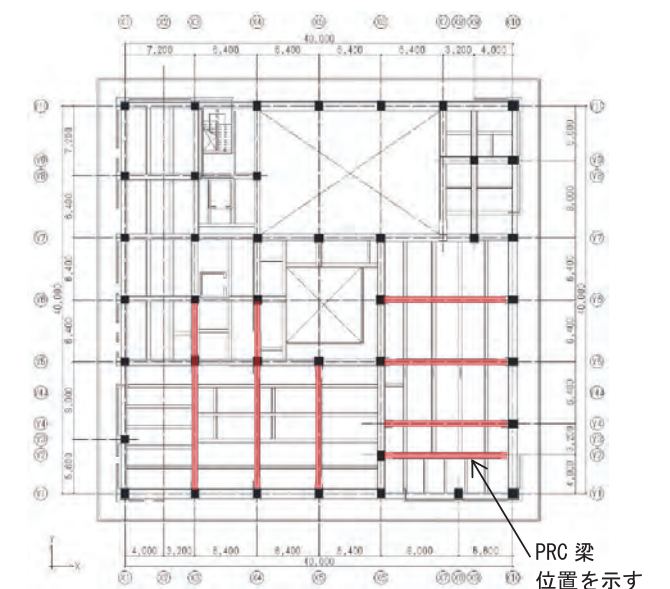


図14 PRC梁KEY PLAN(5SL)

700mmとした。緊張端は全て建物外周側に設け、バルコニーを利用して隠し、意匠性に配慮している。

図15に代表的な梁のPC鋼線配線図を示す。最上階の大梁外端側では、鉄筋の柱頭フックと梁



写真6 DT版を利用した照明拡散光とダイレクト空調による快適なワークスペース

み、ペリメーター側から効率よく空調を行っている(図9,10,写真5)。その効果を気流解析シミュレーションにより、冷暖房時の室内温度分布に大きなムラが無いことで確認している(図11)。以上により、美しい表情を持つあらかわのDT版による快適かつ、耐震安全性の高いワークスペースを実現した(写真6)。

DT版はFc50の高強度コンクリートにPC鋼材を内蔵し、リブせいをD=750mm(トップコンクリート100mmを含む)に抑えけるとともに、クリープ変形によるひび割れ幅の拡大を抑制した。

リブ間隔は上述した機能を統合するための必要寸法より1,230mm, 370mmとした。版端部の梁へのかか

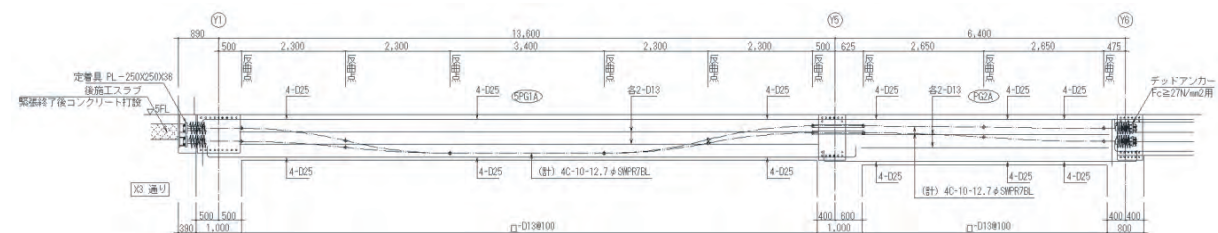


図 15 PC鋼線配線図

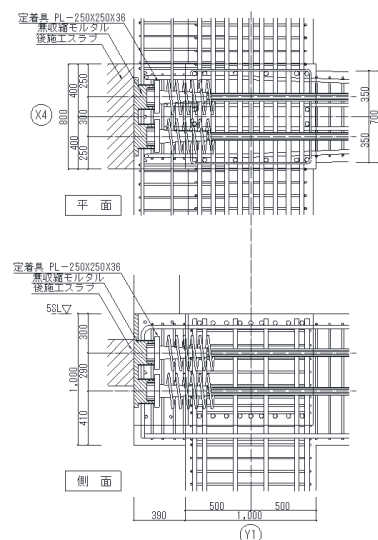


図 16 PC定着具納まり図



写真 8 柱頭付近の定着具納まり状況



写真 9 夕景に映えるDT版

端部定着による干渉を避けるため、図 16 のように定着端部を柱面から 390mm 外部へ持ち出す計画とした。

写真 8 に柱頭付近の定着具納まり状況写真を示す。

緊張作業はバルコニーを利用して行った。緊張作業を行うために、バルコニーのスラブは部分的にあと打ちとし、当該部の周辺を鉄筋で十分に補強した。

5. おわりに

本建物は PC 技術の導入により、可変性および更新

性に配慮した無柱の執務空間を形成している。PCaDT 版を構造材として利用するだけでなく、リブ間隔の操作により、高い意匠性を最大限に活かしながら、設備・防災機能を統合した。

DT 版によるワークスペースを、吹抜けを囲み風車型に配置することで動線を集約し、来庁者が利用しやすく、職員が効率的に業務を行える庁舎とした(写真 9)。設計および施工に当たり、ご指導・ご協力をいただいた全ての方々に感謝致します。

TOPICS

橋梁に関する国際会議「BEI-2023」を開催

1. はじめに

Bridge Engineering Institute (BEI) は、橋梁およびその関連分野の研究・技術の情報交流の場として、第 1 回国際会議 (BEI-2019) を 2019 年 7 月 22 ~ 25 日にかけて、ハワイ州ホノルルで開催した。BEI-2019 には米国・中国・日本を中心に 150 名程度の研究者・技術者が参加した。BEI は、国際会議を隔年開催し、その中間年で特定のテーマに絞ったシンポジウムを開催する計画であった。BEI-UHPC シンポジウムを 2020 年夏にシンガポールで開催すべく、論文募集など準備を進めていたが、COVID-19 によるパンデミックのため、開催延期となり、そしてやむなく中止することになった。その後も国際会議 BEI-2021 (シンガポール)・同 BEI-2022 (ローマ) を企画・準備したが、パンデミックが収まらず、いずれも計画中止になった。ようやく新型コロナウイルスのワクチン接種も進み、2022 年夏頃から第 2 回国際会議 (BEI-2023) の開催準備を再開できるようになった。そして 2023 年 7 月 17 ~ 20 日にかけて、ローマ市内の Roma Eventi-Fontana di Fontana Trevi において BEI-2023 を開催するに至った。BEI-2023 には、14 カ国+1 地域から合計 92 名の研究者・技術者が参加し、日本からも 20 名の参加があった(写真 1)。「トレビの泉」そばの会場であり、最高気温 40℃ を越える猛暑下でたくさんの観光客がジェラートを食べながら休憩している中をかき分けて学会参加者は会場に通うこととなった。



写真 1 BEI-2023 参加者の集合写真

2. BEI について

話は前後するが、BEI はコロラド大学デンバー校の Y. J. Kim 教授の呼びかけでできたものである。2018 年正月早々に Kim 教授から「橋梁に関する学会を創りたいので手伝って欲しい。」との依頼メールが届いた。それから Kim 教授のリーダーシップと行動力によって、Kim 教授・私・V. Vimonsatit 博士 (豪州：マッコーリー大学)・X. He 教授 (中国：中南大学) の運営委員 4 名、アドバイザー 19 名、事務局 1 名で BEI は組織された。

3. 国際会議 BEI-2023 について

BEI-2023 には、米国・日本・韓国を中心に参加があり、4 件の基調講演と 66 編の一般講演が行われた。BEI-2019 では、中国からの参加者が最も多かったが、BEI-2023 では中国の大学等に勤務する研究者が、ビザ承認を得られず、全員欠席となった。そのため運営委員の He 教授や事務局の Ji 博士も急遽参加できなくなり、彼らが担当する予定

表1 基調講演一覧

題目	講演者
A review of 35-years of experience of field testing of bridges	Prof. Issam Harik (ケンタッキー大学)
Performance-based electrochemical analysis of an innovative magnesium phosphate cement coating to mitigate mild steel bar corrosion	Prof. John Myers (ミズーリ科学技術大学)
Diagnostic loading test of a bridge before and after rehabilitation	Prof. Antonio Nanni (マイアミ大学, ACI 会長)
Current state of expressways and new maintenance technologies for bridge deck in Japan	山根隆志 氏 (極東興和株式会社)



写真2 山根氏(極東興和(株))による基調講演



写真3 一般講演の様子

表2 BEI-2023 優秀論文賞

論文題目	受賞者
Development of elevated road and rail projects in Singapore	Mr. Hooi Leng Phua (Land Transport Authority)
Finite element analysis model of prestressed concrete girder through nonlinear material properties correction of strand	Ms. Do-Yeon Kim (Kumoh National Institute of Technology) ほか5名
Visualization of the effect of steel corrosion cracks on shear deformation inside mortar using X-ray CT	麓 隆行 教授 (近畿大学) ほか3名

だったセッション座長は手分けして務めた。なおビザ承認を得て中国から参加できたのは、大学院生などの学生のみであった。指導教員が同行できない中で、彼らはお互いに助け合いながら、研究発表者の役目を務めていた。

基調講演の題目・講演者を表1にまとめて示す。講演者には、現在の米国コンクリート工学会(ACI)会長を務めるA.Nanni教授や極東興和(株)の山根社長が含まれている。山根氏は、日本の高速道路の現状と橋梁床版の最新メンテナンス技術について講

演した(写真2)。

一般講演では、腐食や耐久性、モニタリングや非破壊検査、耐震・振動などの研究発表が行われた(写真3)。最近の学会では、オンライン発表を併用したハイブリッド型の研究発表会も多数実施されているが、BEI-2023では、全て対面式の研究発表のみとした。これはインターネットトラブル回避や時差問題といった消極的な理由だけでなく、参加者間の技術交流を図ることが主な目的である。

学会初日のランチでは、表2に示す優秀論文賞3



写真4 優秀論文賞を受賞した麓教授(左から2人目)と運営委員



写真5 Nanni ACI会長による講演



写真6 バンケットの様子

件が紹介され、近畿大学の麓教授らの研究グループの論文が表彰された(写真4)。またランチ中には、ACI会長のNanni教授からACIの最新の取り組みについて紹介が行われた(写真5)。また学会2日目夜のバンケットでは、みんなでイタリアンディナーを楽しんだ(写真6)。

4. おわりに

パンデミックのため何度も延期・中止を繰り返すことになった国際会議であったが、たくさんの方々の協力を得て、何とか開催まで漕ぎ着けることができた。当初は、隔年開催を予定していたが、コロナ禍で開催できなかった分、当面は毎年BEI国際会議を計画している。2024年7月にラスベガスで

BEI-2024を開催予定である。詳しくは、ホームページ(<https://beibridge.org>)に掲載しているので参照頂きたい。

[吉武 勇/山口大学 大学院創成科学研究科 教授 博士(工学)]

生産性向上に資する締固め不要コンクリートの打込み方法に関する検討

Study on Placement of a Self-Compacting Concrete for Increased Productivity

松本 修治 荒川 遥 芦澤 良一 渡邊 賢三

1. はじめに

近年，建設工事では，技能労働者の高齢化・離職に伴う労働力不足から生産性向上が強く求められている。コンクリート躯体工における生産性向上の手段として自己充填を有し締固めを不要とする高流動コンクリートの適用が考えられるが，コストアップや製造の複雑さが課題となり，生産性向上の観点からは，一般的なRC構造物にはほとんど適用されていないのが実状である。そこで，筆者らは，製造コストを抑えつつ締固めを不要とする性能を付与することで，一般的な構造・施工条件となるRC構造物（以下，一般的なRC構造物と記す）の生産性向上に資するコンクリート（以



写真1 GP-SCCのスランプフロー

下，GP-SCC：General Purpose Self-Compacting Concreteと記す）について検討^{1,2)}を行っている。GP-SCCの打込み方法は，スランプ12cm程度のいわゆる普通コンクリートと同じ扱いとすることを前提としているものの，GP-SCCに適した打込み方法について確認されていなかった。そこで，本稿では，打込み計画を立案する上で必要となるGP-SCCの水平流動距離と打込み高さに関して検討した結果について述べる。

2. GP-SCCとは

GP-SCCは，スランプ18cm程度のベースコンクリートに，粉末分散剤を後添加してスランプフローを450～600mm程度（写真1）としたコンクリートである。いわゆる普通コンクリートと同じ扱いで打ち込むことを前提とすることで，締固めが不要なコンクリートを安価に実現するものである。その配合は，流動性や間隙通過性を確保するために，自己充填性を有する高流動コンク



写真2 新規の粉末分散剤

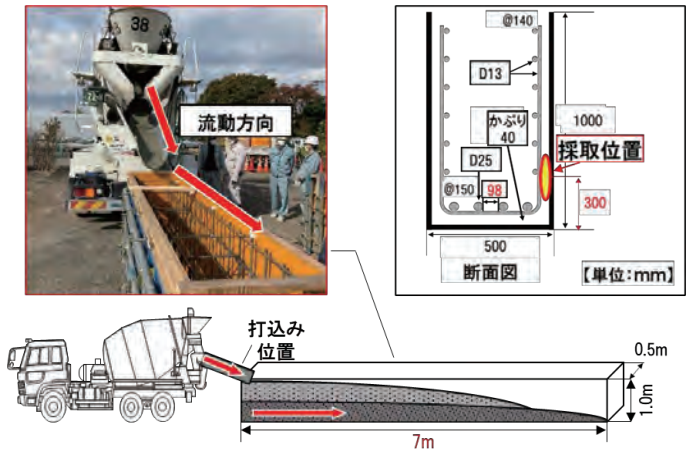


図1 打込み実験の概要

リートと同程度である粗骨材かさ容積を508L/m³とし，単位水量を土木学会の一般的なコンクリートの上限値である175kg/m³としている。また，単位セメント量を300～350kg/m³程度と普通コンクリートと同等とした。一方で，材料分離抵抗性を確保するために，細骨材中の微粒分量を粉体のように活用している。具体的には，モルタル中に含まれる0.6mm以下の粒子の容積割合（以降，V0.6と記す）に着目し，2種類以上の細骨材の混合割合を変えることで47%程度に増加している。さらに，後添加する粉末分散剤は，流動性を高めた際の塑性粘度の低下を抑制できるリグニンスルホン酸塩を主成分とし高い分散性を有する新規に開発した粉末分散剤^{3,4)}（写真2）としている。

3. 水平流動距離に関する検討

3-1. 実験概要

GP-SCCの品質を確保するためには，材料分離を

生じることなく自己充填可能な水平流動距離の限度を把握し，打込み間隔を適切に計画する必要がある。そこで，GP-SCCの水平流動距離の限度を把握するための打込み実験を行った。

ベースコンクリートは，単位水量175kg/m³，単位セメント量320 kg/m³で目標スランプ18±2.5cmの表1に示すコンクリートの配合とした。GP-SCCは，ベースコンクリートの現場到着後に，粉末分散剤をトラックアジテータに後添加して，5分間高速攪拌を行うことで製造した。目標スランプフローは525±75mmとした。

本実験では，一般的なRC構造物を模擬した幅0.5m，高さ1.0m，延長7.0mの型枠への打込みを行った。型枠内には，鋼材の最小あきは98mm，かぶりは40mmとなるように鉄筋を配置した（図1）。GP-SCCは，型枠端部からトラックアジテータのシュートで打込みを行い，打込み位置におけるコンクリートの打上がり高さが1.0mに到達するまで連続的に打ち込んだ。

本実験では，目視による流動状況の観察，およびか

表1 コンクリートの配合

W/C (%)	呼び 強度	Gvol (L/m ³)	単位量(kg/m ³)					混和剤(C×%)		
			W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2	AD-P
54.7	27	302	175	320	421	561	800	2.3	1.0A*	0.18

W：地下水
C：普通ポルトランドセメント,密度:3.16g/cm³
S1：砕砂,表乾密度:2.63g/cm³,粗粒率 3.10
S2：山砂,表乾密度 2.59g/cm³,粗粒率 1.70
G：碎石 2005,表乾密度:2.65g/cm³,実積率:59.4%
Ad1: AE 減水剤,主成分:リグニンスルホン酸塩,ポリカルボン酸系化合物
Ad2：AE 剤,主成分:樹脂酸系界面活性剤(*1A=C×0.001%)
AD-P：粉末分散剤,主成分:リグニンスルホン酸塩



まつもと しゅうじ / MATSUMOTO Shuji
鹿島建設(株) 技術研究所
土木材料グループ
主任研究員



あらかわ よう / ARAKAWA Yoh
同上
土木材料グループ



あしざわ りょういち / ASHIZAWA Ryoichi
同上
土木材料グループ
上席研究員



わたなべ けんぞう / WATANABE Kenzo
同上
土木材料グループ
グループ長 博士(工学)

表2 GP-SCCのフレッシュ性状				
ベースコンクリート	GP-SCC			
スランプ	スランプ フロー	フロー 停止時間	空気量	コンクリート 温度
(cm)	(mm)	(s)	(%)	(℃)
18.5	508×487	6.0	6.0	20



写真3 流動先端状況

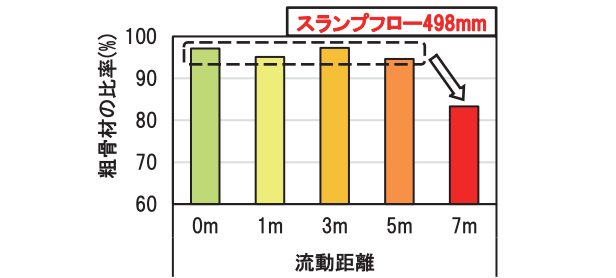


図3 洗い分析の結果

ぶりの粗骨材量を測定した。かぶりの粗骨材量は、GP-SCCの硬化が進み、ある程度自立したタイミングで、型枠側面を脱型して、2L程度の試料を採取し、フレッシュコンクリートの洗い分析試験方法(JIS A 1112)により測定した。試料の採取位置は、底面から高さ300mmの高さで、打込み箇所からの流動距離が0,1,3,5,および7mとした(図1)。

3-2. 実験結果

(1) 流動状況の目視観察

GP-SCCのフレッシュ性状は表2に示すとおりで、ベースコンクリートのスランプ18.5cmに、新規に開発した粉末分散剤を単位セメント量に対して0.16%添加することで、スランプフローは498mmとなった。流動勾配は、図2に示すようにGP-SCCが7mに到達した時点では、打込み位置における打上がり高さは550mm

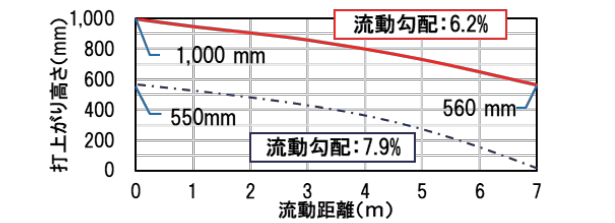


図2 流動勾配

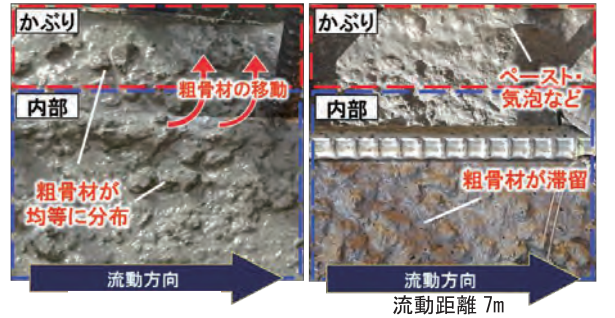


写真4 打込み終了後の打込み上面の状況

であり、流動勾配は7.9%であった。また、打込み終了時には、7m地点におけるGP-SCCの打上がり高さが560mmであり、流動勾配は6.2%となった。

GP-SCCが7mに到達する直前の流動先端部の状況は、写真3に示すように、粗骨材がモルタルと一体となって流動先端まで十分に連行されていた。

打込み終了後における流動距離1mと7mの地点での打込み上面の状況は、写真4に示すように、流動距離1mの地点では、粗骨材が鉄筋の間隙を通過して、かぶりまで十分に連行されていた。しかし、流動距離7mの地点では、かぶりにペーストや気泡が浮き上がり、粗骨材が十分に連行されていなかった。これは、GP-SCCは、流動距離1mの地点では粗骨材とモルタルが一体となって流動するものの、流動距離が大きくなるにしたがい、側面の鉄筋が流動障害となってかぶりに粗骨材を連行する能力が低下したためと考えられる。

(2) 流動距離に伴う骨材の分布状況

流動距離ごとにおける配合上の単位粗骨材量を100とした場合に各箇所で測定された粗骨材量の比率は、図3に示すように、スランプフロー 498mmのGP-SCCでは、水平流動距離5mまで粗骨材の比率が90%以上に確保され、材料分離を生じることなく、かぶりにまで十

表3 使用材料		
名称	記号	摘要(打込み実験)
水	W	上澄水
セメント	C	普通ポルトランドセメント,密度:3.15g/cm ³
細骨材	S1	山砂,表乾密度:2.62g/cm ³ ,粗粒率 2.59
	S2	
粗骨材	G	碎石 2005,表乾密度:2.69g/cm ³ ,実積率:60.1%
混和剤	Ad1	AE 減水剤,主成分:リグニンスルホン酸塩,ポリカルボン酸系化合物
	Ad2	AE 剤,主成分:樹脂酸系界面活性剤
	AD-P	粉末分散剤,主成分:リグニンスルホン酸塩

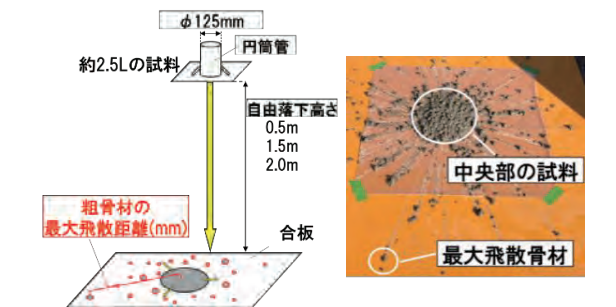


図4 自由落下実験の状況

分に粗骨材が連行されていたことが分かった。一方、水平流動距離7mの地点では、粗骨材の比率が80%程度にまで急激に減少しており、前述の目視観察の結果と合わせて、この地点で材料分離が顕著になっていたことが分かった。よって、GP-SCCの材料分離を防ぐためには、打込み時の水平流動距離を5m以内に抑制する必要があると判断された。

4. 打込み高さに関する検討

4-1. 実験概要

GP-SCCは、細骨材の微粒分量を増やすことで、単位粉体量を普通コンクリートと同程度にもかかわらず、流動性を高めている。そのため、品質を確保するためには、自由落下による材料分離の影響を考慮して打込み高さを適切に計画する必要がある。そこで、自由落下高さの限度を把握するための実験を行った。

(1) 自由落下実験

GP-SCCは、レディーミクストコンクリート工場からベースコンクリートを運搬し、現場到着後に粉末分散剤をトラックアジテータに後添加し、5分間高速攪拌して製造

表4 コンクリートの配合									
W/C	Gvol	単位量(kg/m ³)					混和剤(C×%)		
(%)	(L/m ³)	W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2	AD-P
54.7	305	175	320	981		820	0.7	2.5A ^{*1}	0.19

*1 : 1A=C×0.001%

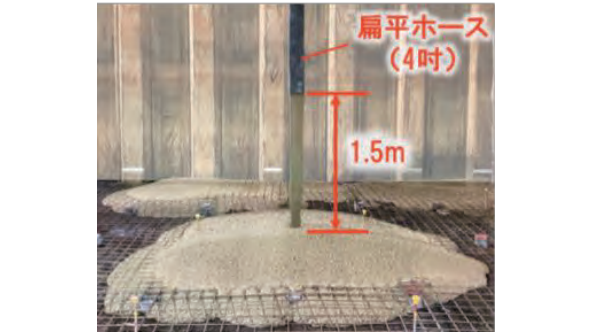


写真5 打込み状況(自由落下高さ 1.5m)

した。なお、3.の実験と同じ使用材料、コンクリート配合を用いた。ベースコンクリートは、単位水量が175kg/m³、単位セメント量が320kg/m³で目標スランプ18±2.5cmとした。GP-SCCの目標スランプフローは525±75mmとした。

既往の文献⁵⁾を参考に、図4に示すような打込み時のコンクリートの自由落下を模擬した実験を行った。具体的には、内径125mmの円筒管の下部を予め板で閉じた状態で、約2.5L(約5.7kg)のコンクリート試料を充填した後、板を素早くスライドさせることで円筒管の下部を開放し、試料を自由落下させた。自由落下高さは、コンクリート標準示方書[施工編]⁶⁾に示される、標準的な施工方法の上限である1.5mを中心とし、0.5mおよび2.0mの3水準とした。落下した試料の中心から最も飛散した粗骨材までの距離(最大飛散距離)を測定し、その距離をコンクリートの材料分離抵抗性の評価指標とした。

(2) 打込み実験

自由落下実験の結果を踏まえ、コンクリートポンプを使用した実規模の打込み実験により、自由落下高さの影響を確認した。ベースコンクリートは、表3の使用材料と表4のコンクリートの配合としており、自由落下実験と同程度の配合とした。

打込みは、ピストン式のコンクリートポンプのブームにより、写真5に示すように吊るし打ちで行った。自由落

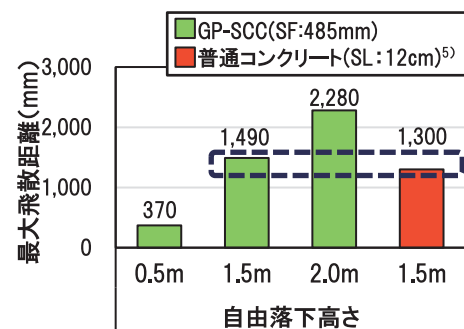


図5 骨材の最大飛散距離

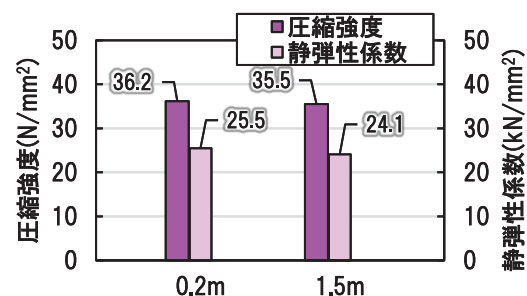


図6 圧縮強度と静弾性係数

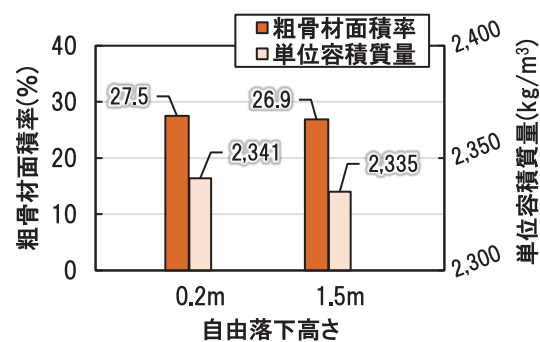


図7 粗骨材面積率と単位容積質量

下高さは、0.2mと1.5mの2ケースについて検討した。打込み速度はいずれも30m³/hとし、打込み箇所の高さが200mmに到達するまで連続的に打込みを行った。コンクリートの硬化後、打込み箇所にてφ100mmのコアを採取し、圧縮強度 (JIS A 1108), 静弾性係数 (JIS A 1149), 気中重量と水中重量から算出した単位容積質量およびコア側面の5mm以上の粗骨材面積率を測定した。コアは各ケース3体ずつ採取し、試験に供した。

4-2. 実験結果

(1) 自由落下実験

ベースコンクリートのスランプは16.5cmであり、粉末分散剤をC×0.19%後添加することで、スランプフロー485mmと目標の範囲となった。

既往の文献⁵⁾に示される単位セメント量320kg/m³、スランプ12cmの場合の自由落下高さにおける粗骨材の最大飛散距離と本実験のデータは、図5に示すとおりで、粗骨材の最大飛散距離は自由落下高さが高いほど大きくなった。また、自由落下高さを1.5mとした場

合に、スランプ12cmのコンクリートと同程度の最大飛散距離となった。このことから、スランプフロー500mm程度のGP-SCCでは、普通コンクリートと同様に自由落下高さを1.5m以内に制限する必要があると考えられた。

(2) 打込み実験

圧送前のGP-SCCのスランプフローは、自由落下高さ0.2mのケースで590mm、自由落下高さ1.5mのケースで600mmとなり、両ケースとも目標値の上限に近いスランプフローとして実験を行った。

コアの圧縮強度と静弾性係数は図6に示すとおりで、自由落下高さ0.2mでは、圧縮強度が36.2N/mm²、静弾性係数が25.5kN/mm²となった。自由落下高さ1.5mでは、圧縮強度が35.5N/mm²、静弾性係数が24.1kN/mm²となり、いずれの自由落下高さにおいても圧縮強度と静弾性係数は同程度であった。

コア側面の粗骨材面積率とコアの単位容積質量は図7に示すとおりで、自由落下高さ0.2mでは、粗骨材面積率が27.5%、単位容積質量が2,341kg/m³となった。自由落下高さ1.5mでは、粗骨材面積率が26.9%、単

位容積質量が2,335 kg/m³となり、自由落下高さによる粗骨材分布は同等と判断された。また、目視による評価でも、打込み時の自由落下による材料分離はなく、粗骨材とモルタルが一体となって打込まれる状況が確認できた。これらより、自由落下高さ1.5mでは、材料分離は生じていないと考えられる。本実験にて自由落下高さ0.2mと1.5mで試験結果に差がなかったのは、先行して打ち込まれたコンクリートによって、後続して打ち込まれたコンクリートの自由落下による衝撃が緩和されたことも影響しているものと考えられる。

5. まとめ

スランプフロー450～600mm程度のGP-SCCについて、打込み時の水平流動距離および自由落下高さの限度を把握する実験を行った。その結果、均質性を確保するためには水平流動距離を5m以内、普通コンクリートと同じ扱いである自由落下高さを1.5m以内に制限

すれば、材料分離を生じさせることなく、均質に打込みが可能であることが分かった。今後、対象部材に応じたGP-SCCのより効率的な打込み方法を検討していく。

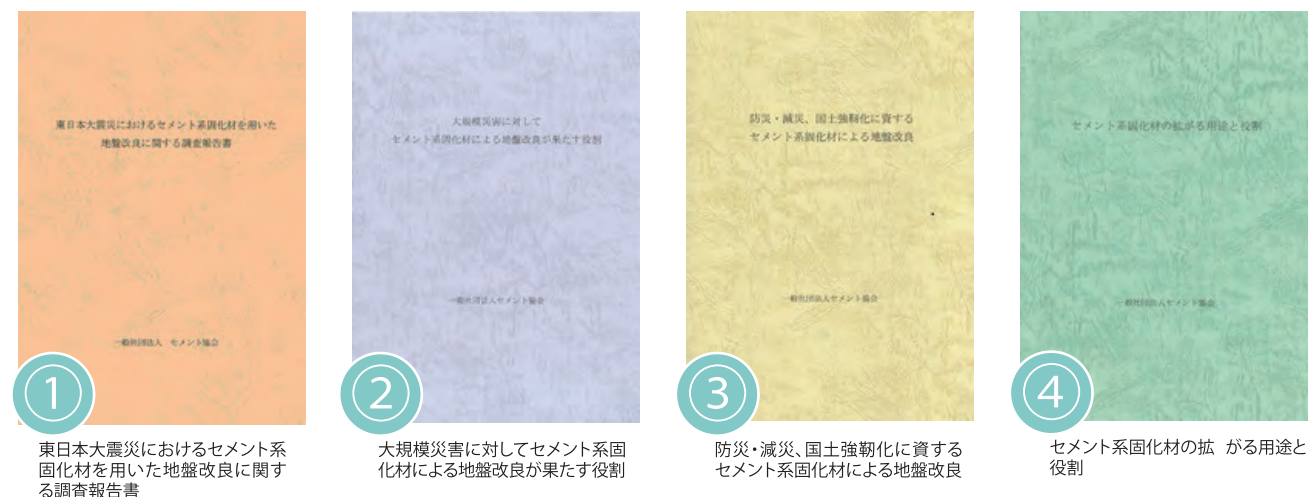
【参考文献】

- 1) 松本修治, 倉田和英, 柳井修司, 坂井吾郎／生産性向上に資する締固め不要コンクリートの配合設計手法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1037～1042, 2020
- 2) 松本修治, 橋本 学, 渡邊賢三, 橋本紳一郎／締固め不要コンクリートの自己充填性に及ぼす骨材特性の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.832～837, 2021
- 3) 松本修治, 橋本 学, 渡邊賢三, 橋本紳一郎／汎用締固め不要コンクリートにおける新規の粉末分散剤と新たな充填性評価手法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.820～825, 2022
- 4) 中村拓馬, 高橋花苗, 藤野謙一／高性能変性リグニン分散剤の開発とその利用, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.965～970, 2020.
- 5) 渡邊大河, 根本浩史, 小林竜平／締固めを必要とする高流動コンクリートの自由落下高さによる材料分離に関する検討, 土木学会第77回年次学術講演会, 2022
- 6) 土木学会／2017年制定コンクリート標準示方書[施工編], 2018.3

お知らせ

改良地盤の震災・適用調査報告書 無料ダウンロードできます。

- ①東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する 調査報告書
- ②大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
- ③防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- ④セメント系固化材の拡がる用途と役割



弊会ホームページ(<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/kokazaihoukoku01.html>)から、**無料ダウンロードできます。是非ご利用下さい。**

一般社団法人セメント協会普及部門 E-mail fukyu@jcassoc.or.jp

コンクリートの火害における セメント水和物の炭酸化メカニズムの解明

Study on carbonation mechanism of cement hydrates in fire-damaged concrete

吉田 夏樹 新 大軌 木野瀬 透 安達 丈

1. はじめに

コンクリートが火災による熱を受けると、骨材やセメント水和物に物理的变化(昇温時の熱膨張, 降温時の収縮など)¹⁾や化学的变化(石英の相転移, セメント水和物の分解・合成反応など)^{2,3)}が生じ, コンクリートの強度や耐久性能を低下させる。

火害を受けたコンクリートの耐久性に関連し, コンクリートの中性化が受熱直後から確認され, 受熱後時間が経つと中性化した領域が拡大することが報告されている⁴⁾。これに関して著者らは, 火害によって空隙構造が疎になり, 火害後にCO₂の拡散が容易になること⁵⁾

CaCO₃が生成すること⁶⁾などを報告した。なお, 火災時の燃焼ガスは有機質の建材や家具の燃焼によってCO₂濃度が5%まで上昇することが報告されている⁷⁾。

そこで本研究では, 火災時の燃焼ガスに含まれるCO₂ガスの影響に着目し, 高温環境下におけるコンクリートの炭酸化(以降, 高温炭酸化と表記)のメカニズムを明らかにすることを目的として実験を行った。本稿では, 著者らの論文^{8,9)}の一部を抜粋し, 研究概要を紹介する。

2. 実験概要

2-1. 雰囲気制御型高温X線回折装置によるセメントペーストの高温炭酸化過程のその場観察

セメントには, 研究用ポルトランドセメント(セメント協会)を用いた。水セメント比を0.4とし, スチロール瓶の中でスパチュラを用いて10分間練り混ぜたのちに, 20℃の恒温環境下で28日間の封緘養生を行った。

雰囲気制御型高温X線回折装置(高温XRD)を用いて, N₂ガスまたはCO₂ガスをフローしながら試料を昇温させ, 昇温下における結晶相変化のその場測定を行った。

2-2. 合成C-S-Hの高温炭酸化実験

実験にはCa/Siモル比1.4と0.7のC-S-Hを合成して

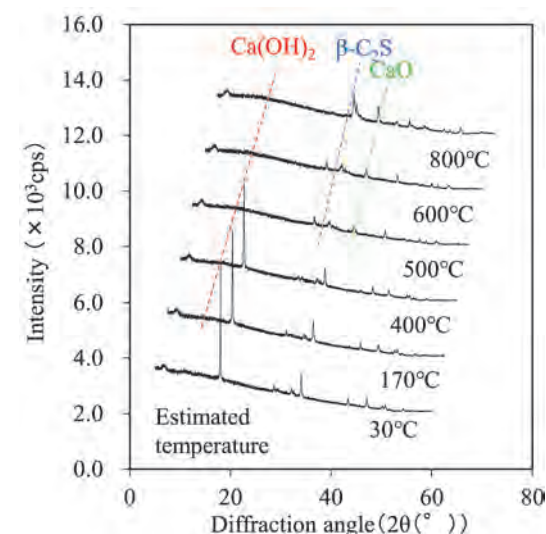


図1 高温XRDによるセメントペーストの分析結果(N₂フロー)

使用した(以降, C-S-H(1.4)およびC-S-H(0.7)と表記)。

C-S-Hの合成は, 部分加水分解によるゾル-ゲル法によった¹⁰⁾。テトラエチルオルトシリケート(TEOS)にエタノール, 蒸留水, 塩酸を加え(TEOS:エタノール:蒸留水:塩酸=1:4:2:0.01), ケイ酸エチル溶液を調製した。この溶液に, Ca/Siモル比が1.4および0.7となるよう水酸化カルシウム溶液を攪拌しながら室温で混合した後に, 攪拌時に溶液が空気と触れて炭酸化しないよう, ブタノールを溶液表層に2~3 cmの厚さで加え, その後2日間静置した。混合水溶液をろ過したのちに真空乾燥(0.02 MPa)を行い, C-S-Hの粉末を得た。

合成C-S-Hに加えて, 試薬の水酸化カルシウム(CHと表記)とセメントペースト試料(OPCと表記)を用意し, 合成C-S-Hと同じ炉内で加熱した。炉内の設定温度は200, 400, 600, 700, 800, 1000℃とした。1時間で設定温度まで上昇させ, 4時間保持した。炭酸化条件は, 炉内をCO₂ガスで充填させてから試料を加熱した。降温時にはN₂ガスに切り替えて, 試料を室温まで放冷した。これにより, 降温過程および降温後の炭酸化を防止した。なお, セメントペースト試料は, 硬化体を粒径5mm程度まで粗粉碎して加熱実験に供し, 分析前に微粉碎した。

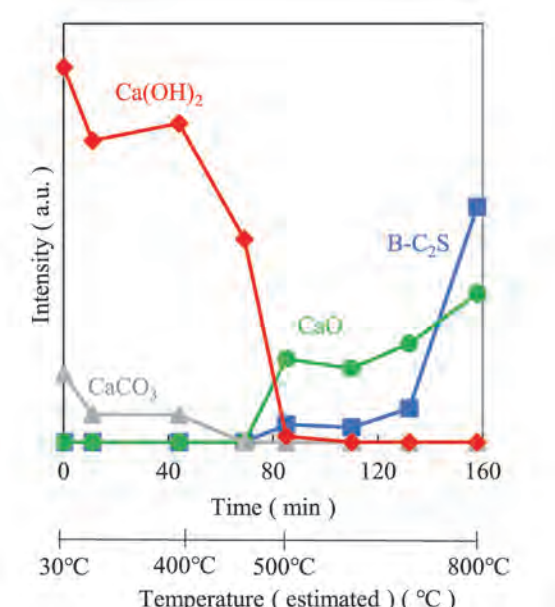


図2 高温XRDにおけるピーク強度の変化(N₂フロー)

3. 実験結果および考察

3-1. 高温XRDによるセメントペーストの高温炭酸化過程のその場観察

図1に高温XRDによりN₂をフローしながらセメントペーストを加熱した結果を, 図2に各結晶相のピーク強度の変化を示す。加熱を連続的に行うと, Ca(OH)₂由来のピークが400~500℃で急激に消失し, Ca(OH)₂の消失した後はCaOに帰属されるピークが明瞭に観測された(推定温度500℃)。さらに過熱すると, β-C₂Sのピークも出現した(推定温度800℃)。β-C₂SはCa(OH)₂などの水和物の分解により生成したCaOとC-S-Hから分解したSiO₂の一部が反応して生成したものと考えられる。なお, 既往の研究⁴⁾で認められたC₄AFのピークは観察できなかったが, これは, 高温XRDによるその場観察では, C₄AFは融液(液相)として存在しているためと考えられる。

次に, CO₂ガスをフローさせた結果について, 図3に高温XRDによる分析結果を, 図4に各結晶相のピーク強度の変化を示す。N₂フローの場合とは異なり, Ca(OH)₂のピークが消失した後に, CaCO₃(カルサイト)に帰属されるピークが急激に上昇した。これは, Ca



よしだ なつき / YOSHIDA Natsuki
島根大学 学術研究院
環境システム科学系
特任准教授 博士(工学)



あたらし だいき / ATARASHI Daiki
同上
准教授 博士(工学)



きのせ とおる / KINOSE Toru
(一財)日本建築総合試験所 試験研究センター
材料部材料試験室
修士(工学)



あだち じょう / ADACHI Jo
(株)トクヤマ
セメント開発グループ
修士(工学)

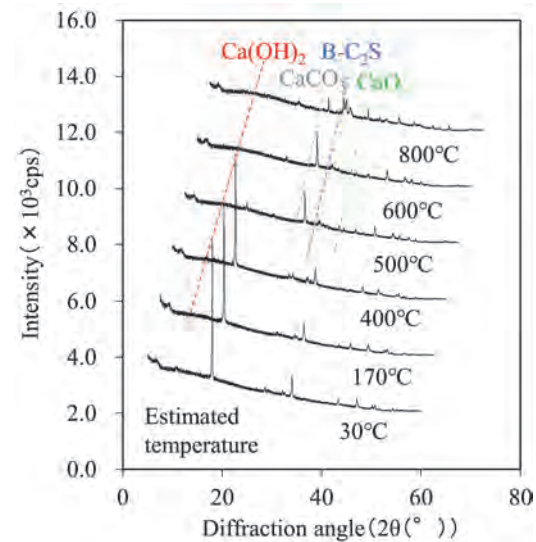


図3 高温XRDによるセメントペーストの分析結果(CO₂フロー)

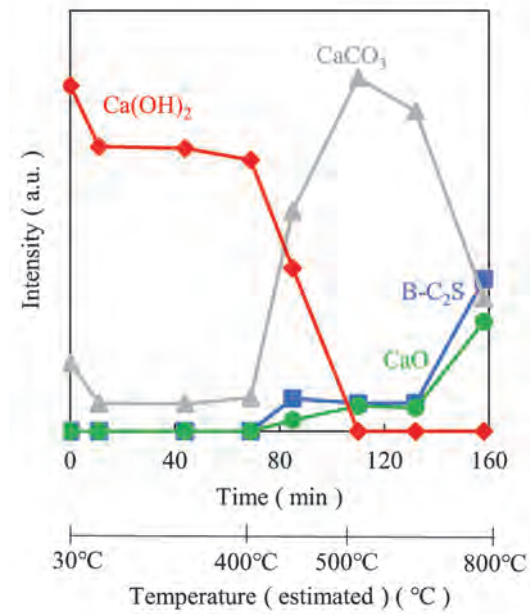


図4 高温XRDにおけるピーク強度の変化(CO₂フロー)

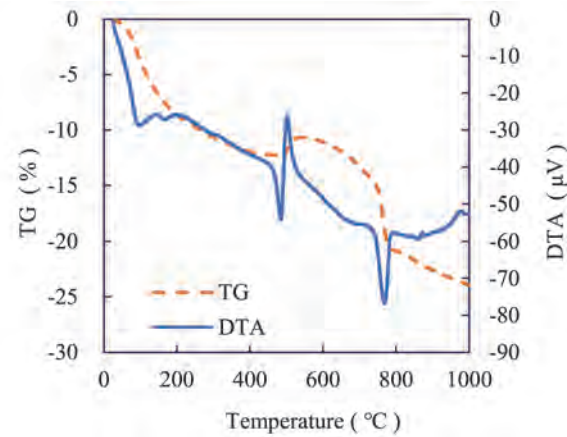
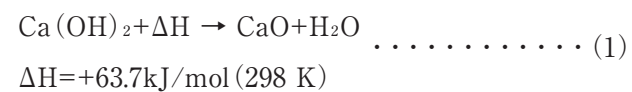
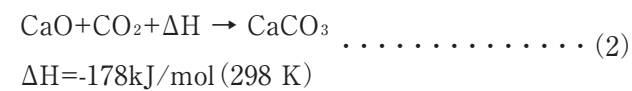


図5 セメントペーストのTG-DTA分析結果(5%CO₂フロー)

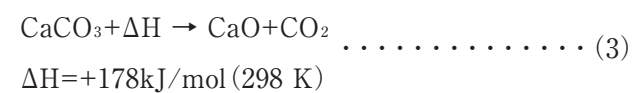
(OH)₂が分解した際にすみやかに加熱雰囲気中のCO₂と反応しカルサイトが生成したと推定できる。また、各温度で生じた化学反応による熱的变化を確認するため、CO₂ガスをフローさせたTG-DTAの測定結果を図5に示す。400℃から500℃付近の急峻な吸熱ピークは、Ca(OH)₂からH₂Oが熱分解し、CaOを生成する反応であり、式(1)のとおりの吸熱反応である(以降、エンタルピー変化ΔHは25℃の値を記している)。



その後、急峻な発熱ピークを示し、質量は増加している。これは、CaOとフローガス中のCO₂が急激に反応してCaCO₃を生成しているためと推定され、式(2)のとおりの発熱反応である。



TG-DTAの結果からは、式(1)の反応と式(2)の反応の間にタイムラグがなく、ほぼ瞬間的に式(1)から式(2)の反応へ移行していると考えられる。その後加熱にともないゆっくりと質量減少が生じ、700℃から800℃において吸熱ピークおよび急激な質量減少が確認された。これはCaCO₃の分解によるものと推定され、式(3)のとおりの吸熱反応である。



なお、高温XRDは「結晶相」の炭酸化反応を検討したものである。次節では、高温環境下におけるC-S-Hの炭酸化反応を検討した結果を示す。

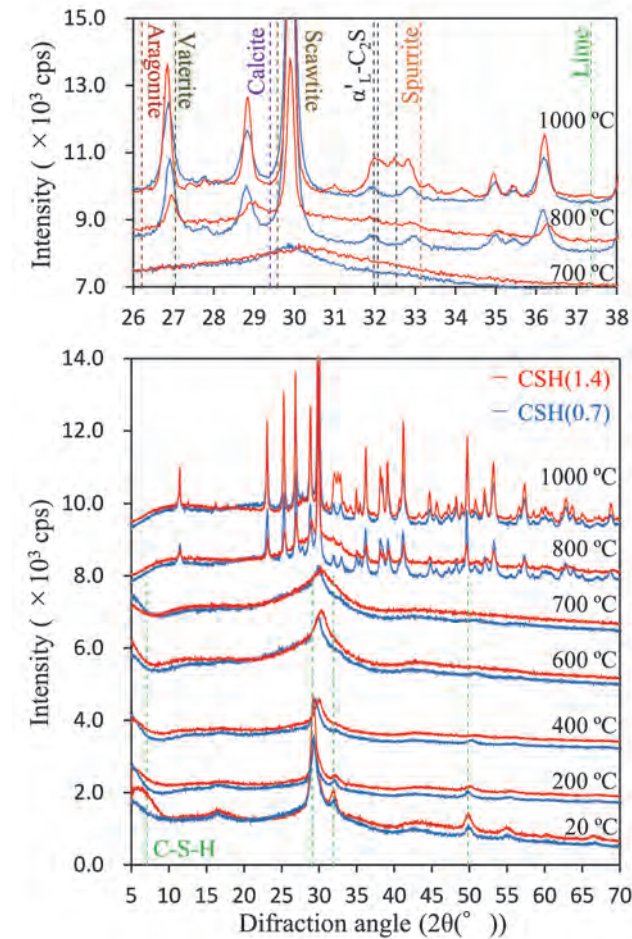


図6 C-S-HのXRDパターン(CO₂フロー)

3-2. 合成C-S-Hの高温炭酸化実験

(1) XRDおよびFT-IRによる分析結果

図6にCO₂雰囲気中で加熱したC-S-HのXRD分析結果を示す。加熱温度が高くなる順に上方へ並べて示し、赤線がCSH(1.4)、青線がCSH(0.7)の分析結果である。図6上図について、1000℃加熱のCSH(1.4)においては、α'-L-C₂Sのピークが認められ、余剰のCaOとβ-wollastoniteが反応して生成したと推察される¹¹⁾。図中にはlime, calcite, vaterite, aragoniteの最強線位置(それぞれ、2θ=37.36°, 29.41°, 27.05°, 26.21°)を併記したが、いずれも含まれていない。また、石灰石微粉末を含むセメント硬化体を800℃まで加熱するとspurrite(4CaO・2SiO₂・CaCO₃)が生成することが報告されている¹²⁾が、spurriteのピーク(最強線位置: 2θ=33.14)も認められなかった。さらに、scawtite(6CaO・6SiO₂・CaCO₃・2H₂O, 最強線

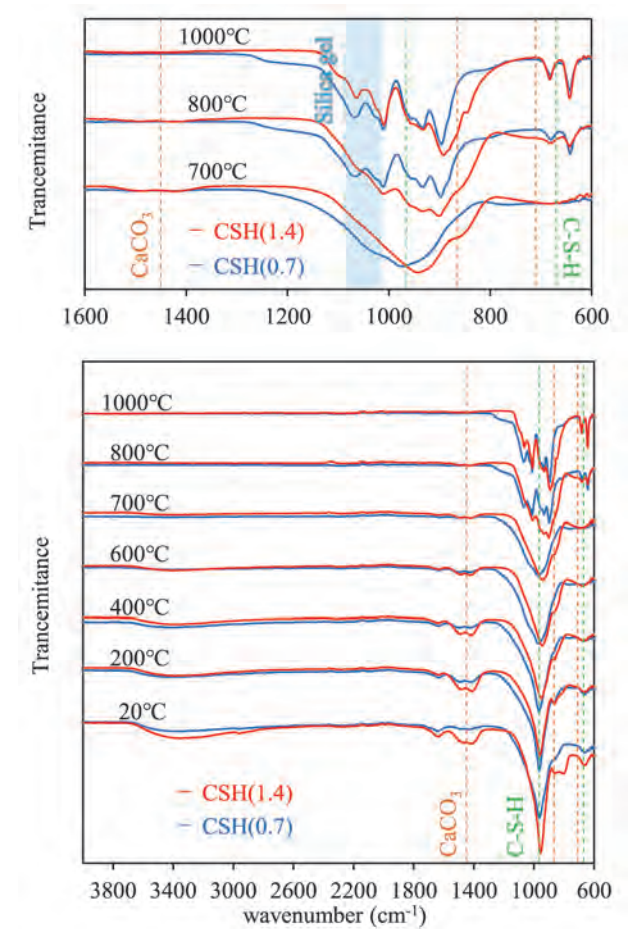


図7 C-S-HのFT-IR分析結果(CO₂フロー)

位置: 2θ=29.58°)や他の炭酸塩鉱物のピークも認められなかった。

次に、FT-IRによる分析結果を図7に示す。赤線がCSH(1.4)、青線がCSH(0.7)の分析結果である。図7上図に示すとおり、CO₃²⁻伸縮振動およびC-Oの伸縮振動によるピーク(860 cm⁻¹および1400~1500 cm⁻¹付近)は認められず、非晶質CaCO₃, calcite, vaterite, aragonite, spurrite, scawtiteなどの炭酸塩は高温環境下で生成していないと判断される。また、シリカゲルのSi-O伸縮振動によるブロードなピーク(1020~1070 cm⁻¹)¹³⁾は認められず、C-S-Hは分解していないと判断される。さらに、CO₂が吸着した場合に認められるC-O伸縮振動によるピーク(850cm⁻¹付近, 1083cm⁻¹付近, 1430cm⁻¹付近), O-C-O変角振動のピーク(710cm⁻¹付近, 875cm⁻¹)¹³⁾も認められなかった。

以上の結果から、CO₂雰囲気中で合成C-S-Hは高温

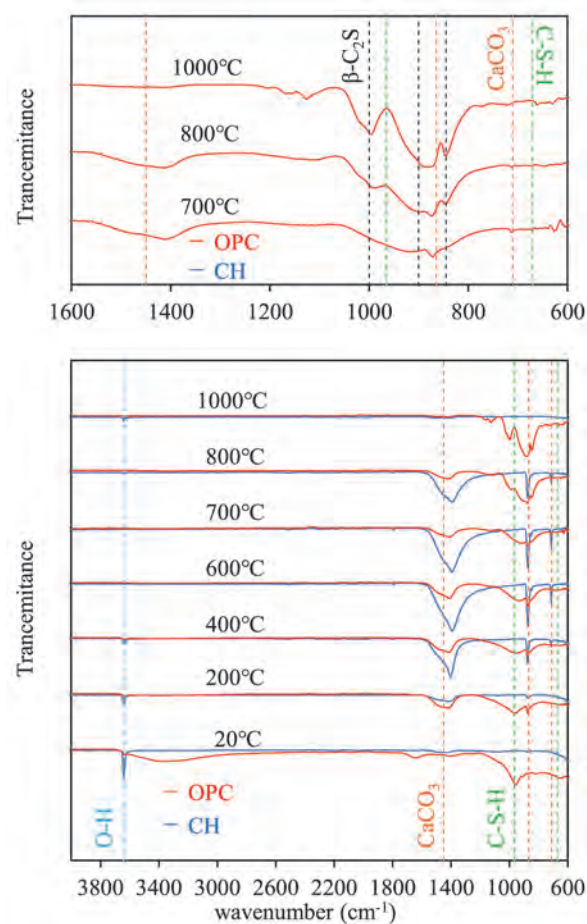


図8 OPCおよびCHのFT-IR分析結果(CO₂フロー)

炭酸化していないと考えられる。
(2) セメントペーストの分析結果

図8に合成C-S-Hと同じCO₂雰囲気の中で加熱したOPCおよびCHのFT-IR分析結果を示す。赤線がOPC、青線がCHの分析結果である。OPC(赤線)について、合成C-S-Hと異なり、200℃からCaCO₃由来のO-C-Oの変角振動(710cm⁻¹付近)、CO₃²⁻の変角振動(875cm⁻¹付近)およびC-Oの伸縮振動(1400cm⁻¹付近)のピークが明瞭に現れた。シリカゲルのブロードなピーク(1020~1070cm⁻¹)は認められないため、OPCにおいて、C-S-HはシリカゲルとCaCO₃に分解していないことは確かであり、C-S-H由来の非晶質炭酸塩が生成している可能性は低いと考える。OPCが比較的低温(200℃)で炭酸化した理由について、今回のOPC試料は、5mm程度に粗粉碎した試料を用いたためと考えている。例えば、800℃の高温では水分は一瞬にして蒸発してしまうが、200℃の穏やかな加熱では試料

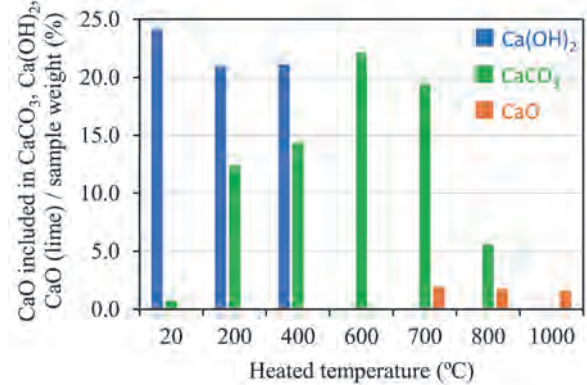


図9 OPCに含まれるCaCO₃、Ca(OH)₂、CaO量

中に水分が残存し、CHの液相反応により非晶質CaCO₃が生成したと推察しているが、今後の検討を要する。

図9にTG-DTAからCa(OH)₂量、TOC(全有機体炭素)計によるIC(無機体炭素)測定からCaCO₃量、XRDリートベルト法からCaO量を定量した結果を示す。揮発分を除く質量に換算したものであり、Ca(OH)₂(portlandite)、CaCO₃、CaO(lime)に含まれるCaO量(試料中の割合)として示した。これより、600℃でCaCO₃量が最大となった。非加熱のOPCに含まれるCa(OH)₂量(CaO換算)は24.1%であり、600℃におけるCaCO₃量(CaO換算)の22.1%とほぼ合致した。600℃における高温炭酸化によるCO₂固定量の最大値は、初期のCa(OH)₂量にほぼ依存すると言える。また、このデータは、C-S-Hの劇的な炭酸化が、高温環境下で生じないことを定量的に裏付けている。なお、200℃および400℃で生成するCaCO₃量は、それぞれ12.4%および14.4%(CaO換算)であり、当該温度領域におけるCO₂固定メカニズムは、今後の検討課題である。

3-3. 火害によるコンクリートの炭酸化メカニズムに関する考察

コンクリートが火災を受けると、炎に曝されたコンクリート表面から深さ方向へと受熱温度の勾配が生じ、内部へと損傷が進行する。図10は、表面の受熱温度を1000℃とした場合のコンクリート内部の受熱温度勾配を

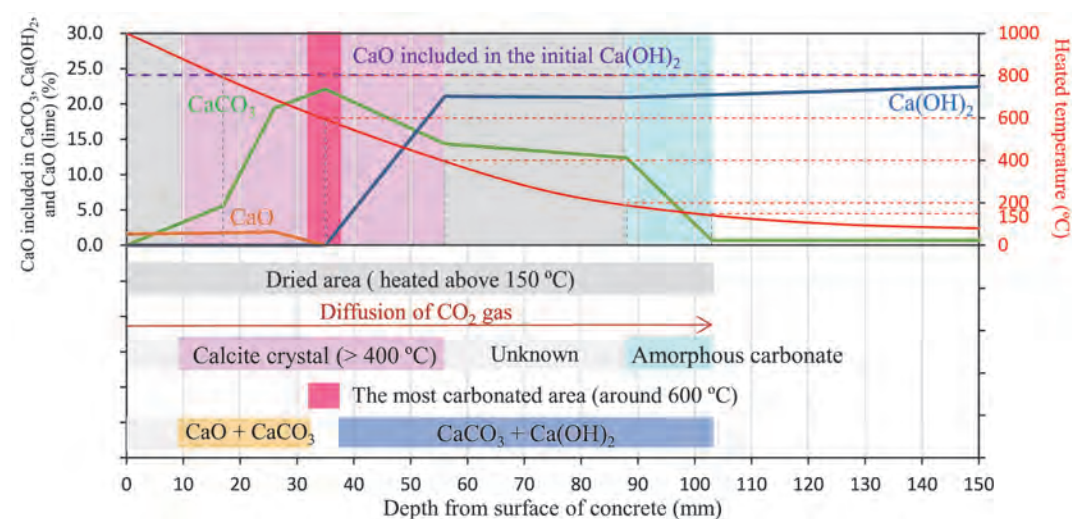


図10 コンクリートの高温炭酸化メカニズムの模式図

模式的に示したものである。

コンクリート内部で約150℃以上の熱を受けた領域はほぼ絶乾状態にあり¹⁴⁾、火災中の雰囲気に含まれるCO₂ガスは、この乾燥領域を内部へと拡散すると考えられる¹⁵⁾。図中に、本実験で得られたセメント中のCaCO₃、Ca(OH)₂およびCaO量(CaO換算)を例として示す。

コンクリート内部に拡散したCO₂ガスは、受熱200℃程度までの領域でセメント成分と反応し、非晶質炭酸塩を形成する(メカニズムの詳細は不明)。400℃以上の受熱領域では、徐々にCa(OH)₂が分解し、CO₂ガスとすみやかに反応して結晶質のcalciteを生成する^{6,15)}。600℃以上では、熱分解によりCaCO₃量が徐々に減少し、CaOが生成する。800℃を超えると、β-C₂SやC₄AFの再合成が開始する。

CaCO₃の生成量は、受熱600℃付近で最も多い。受熱150~600℃付近ではCaCO₃とCa(OH)₂が共存し、600℃を超えると、CaCO₃とCaOが共存する。

高温環境下では、C-S-HがシリカゲルとCaCO₃に分解するような、C-S-Hの構造変化を伴う劇的な高温炭酸化は生じず、600℃付近におけるCO₂固定量の最大値は、初期に含まれるCa(OH)₂の高温炭酸化にほぼ依存する。

以上で、火害を受けたコンクリート内部の炭酸化状況を模式的に整理できた。なお、コンクリートの配合条件、受熱温度、火災継続時間、CO₂濃度などの影響を受け

て、図8の表面位置、各領域の幅、相組成は変化する。

最後に、これらの知見は、セメント・コンクリート産業におけるカーボンリサイクルの観点からも興味深く、CO₂ガスの迅速固定化技術としても応用できる可能性がある。今後も検討を継続したいと考えている。

4. まとめ

本研究では高温環境下におけるセメント水和物の化学的変化に及ぼすCO₂の影響を検討し、以下に示す知見を得た。

(1) 加熱雰囲気中にCO₂ガスが十分に存在している場合、加熱過程で、Ca(OH)₂の分解とほぼ同時に生成したCaOとCO₂が即座に反応しCaCO₃(カルサイト)が生成する。

(2) 合成C-S-HをCO₂雰囲気中で高温加熱した結果、常温環境と同様な炭酸化は生じず、合成C-S-Hの構造変化を伴う劇的な高温炭酸化は生じなかった。

(3) OPCをCO₂雰囲気中で高温加熱した結果、FT-IRにより200℃で炭酸塩由来のピークが認められ、非晶質炭酸塩が生成していると考えられた。

(4) OPCをCO₂雰囲気中で高温加熱した結果、CaCO₃の生成量は600℃で最大となった。CO₂固定量の最大値は、初期のCa(OH)₂量にほぼ依存する結果となった。

【参考文献】

1) M.J. DeJong and F. Ulm / The nanogranular behavior of C-S-H at elevated temperatures (up to 700℃), Cement and Concrete Research, Vol.37, pp.1～12, 2007

2) W. Lin et al. / Microstructures of fire-damaged concrete, ACI Materials Journal, Vol.93, No.3, pp.199～205, 1996

3) 吉田夏樹他／火災の影響を受けたコンクリートの化学的変化に関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.643～648, 2017

4) 小林幸一, 枝広英俊／火害を受けたコンクリート構造物に対する非破壊・微破壊試験の適用に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.73, No.629, pp.1027～1034, 2008

5) 八代大生他／火害によるセメント硬化体の炭酸化メカニズムに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.587～592, 2019

6) 吉田夏樹他／高温下における二酸化炭素の作用がセメントペースト硬化体の表面から深さ方向への化学的変化に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.461～466, 2020

7) 鈴木唯一郎他／火災現場における燃焼生成ガスの採取・分析について, 消防科学研究所報, 26号, pp.45～52, 1989

8) 新大軌, 吉田夏樹, 木野瀬透, 安達丈／加熱雰囲気がセメントペーストの結晶相変化と炭酸化に及ぼす影響とコンクリートの火害による中性化メカニズムに関する考察, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, pp.58～65, 2021

9) 吉田夏樹, 新大軌, 木野瀬透／高温環境下におけるC-S-Hの化学的変化に及ぼすCO₂の影響とコンクリートの火害による炭酸化メカニズムに関する考察, セメント・コンクリート論文集, Vol.76, pp.356～364, 2022

10) 金尚奎他／水酸化カルシウムおよびケイ酸カルシウム水和物の炭酸化反応, Inorganic Materials, Vol.2, No.254, pp.18～25, 1995

11) E. T. Rodriguez et al. / Thermal stability of C-S-H phases and applicability of Richardson and Groves' and Richardson C- (A) -S-H (I) modes! to synthetic C-S-H, Cement and Concrete Research, Vol.93, pp.45～56, 2017

12) Z. Jia et al. / The microstructural change of C-S-H at elevated temperature in Portland cement/GGBFS blended system, Cement and Concrete Research, Vol.123, 105773, 2019

13) S. Steiner et al. / Effect of relative humidity on the carbonation rate of portlandite, calcium silicate hydrates and ettringite, Cement and Concrete Research, Vol.135, 106116, 2020

14) 木野瀬透他／高温加熱を受けたセメントペーストの含水率および構成化合物とフェノールフタレイン溶液による呈色状態の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1582～1587, 2020

15) 新大軌他／加熱雰囲気がセメントペーストの結晶相変化と炭酸化に及ぼす影響とコンクリートの火害による中性化メカニズムに関する考察, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, No.1, pp.58～65, 2022

今月の推薦図書

DISCOVER DOBOKU 土木が好きになる22の物語

吉川弘道 著

2023年7月発行／A5版175頁

発行：平凡社(東京都千代田区神田神保町3-29)

税込定価：2860円



『めくってもめくっても土木。土木構造物は、先達の英知と、熱きエンジニア魂を秘めている。語り継ぐべき歴史とミッションを持つ日本の社会インフラを、選りすぐりの写真とともに綴る“土木の名場面集”（本書帯より）』とうたっている本書は、これでもかと土木のエッセンスを詰め込んだ読み応えのある1冊だ。著者の吉川先生はゼネコン勤務などを経て東京都市大学で長く教鞭をとられており、15年ほど前からは社会活動の一環として、主宰するウェブサイト「土木ウォッチング」やfacebook「Discover Doboku」で広報活動を行ってこられた。これらをベースに、前後して執筆されてきた5社のホームページやSNSに載せてきた記事を加え、このほど単行本として発刊されたという。

本書は、理系で就活中の学生をはじめ、中高生から男女問わずあらゆる人々に目にしてもらうことで次世代に土木の素晴らしさと意義を伝え、バトンタッチすることを目標としている。たくさんの美しい写真に本格的な技術をわかりやすく伝えている解説は、全4章22のエピソードに、10のコラムを加えた形で、どこから読み始めても興味深いものと言えよう。

【内容】第1章 次世代に伝えたい巨大インフラ施設／第2章 土木のレガシーを綴る／第3章 日本の土木技術に出会う／第4章 土木はもはやアートである！

お知らせ

複写についてお願い

セメント協会は下記協会に複写に関する権利委託をしております。本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。ただし(公社)日本複製権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません(社外頒布用の複写は許諾が必要です)。なお、著作物の転載・翻訳などの複写以外の許諾は、直接セメント協会広報部門(☎03-5540-6175/出版担当)へご連絡下さい。

連絡先：(一社)学術著作権協会 ☎170-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
TEL 03-3475-5618 FAX 03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

第55回 セメント協会 研究所講演会 ご案内

一般社団法人 セメント協会

一般社団法人セメント協会 研究所では、セメント・コンクリートに関する学術研究,新技術などに関する知見を普及,啓蒙させることを目的として「セメント協会 研究所講演会」を開催しております。

今回は、前橋工科大学の佐川 孝広 先生,芝浦工業大学の伊代田 岳史 先生および東京大学の友寄 篤 先生より「セメント・コンクリートの混和材」についてご講演を頂きます。関係各位お誘いのうえ、ご参加下さいますようご案内申し上げます。

日 時：2023年12月1日(金)13時00分～16時40分

開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド)

会場場所／(一社)セメント協会 研究所(東京都北区豊島4丁目17番33号)

オンライン／お申込み後、ご登録頂いたメールアドレスにオンライン参加情報(Cisco Webex)を送信致します。

演題および講演者：

高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価

前橋工科大学 工学部 環境・デザイン領域 佐川 孝広 氏

カーボンニュートラル社会を実現するためのマテリアルデザイン
～高炉スラグ微粉末を効果的に使うためには～

芝浦工業大学 工学部先進国際課程 兼務土木工学科 伊代田 岳史 氏

火山ガラスの混和材利用 過去／現在／未来

東京大学大学院 工学系研究科 建築学専攻 友寄 篤 氏

定 員：会場100名(定員になり次第、締め切らせて頂きます。オンラインの定員はございません。)

参 加 費：無 料

申込方法：下記の〔研究所講演会〕の申込方法より「申込み」をクリックし、入力フォームより必要事項をご入力ください。

入力が完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報およびオンライン参加情報(Cisco Webex)が送信されますので内容をご確認ください。

セメント協会ホームページ
<https://www.jcassoc.or.jp/>
〔トップページ〕>〔イベント・募集〕>〔研究所講演会〕

問合せ先：一般社団法人 セメント協会 研究所 技術情報グループ 研究所講演会係
E-mail: jca_event@jcassoc.or.jp TEL: 03-3914-2692

バイオマス発電の運転実績と今後の展開

～バイオマスを活用したエネルギーの低炭素化～

History of Tochigi biomass power plant operation and next strategy
～Utilization of biomass as a low carbon energy～

大谷 紀彦 井田 憲嗣 駒津 祐介 神辺 隆行 池口 孝司

1. はじめに

バイオマス発電は木材や農産物、水産物、食品などの生物資源を「直接燃焼」、 「熱分解ガス化」、 「生物化学的ガス化」するなどして発電する発電方式である。光合成によりCO₂を吸収して成長する植物などのバイオマス資源を燃料とした発電は「京都議定書」における取扱上、CO₂を排出しないものとされ、大気中のCO₂を増加させないカーボンニュートラルな発電といえる。

2. カーボンニュートラルにおけるバイオマス発電

地球温暖化抑制の観点より、「2050年二酸化炭素(CO₂)排出量実質ゼロ(カーボンニュートラル)」の実現を目指す動きが世界中で加速してきている。その中で、バイオマス発電はCO₂を排出しない発電として大きな役割を担っている。

CO₂を排出しない発電は主に、太陽光発電、風力発電、水力発電、バイオマス発電があるが自然の力を利用した太陽光発電、風力発電は時間帯や季節、天候を選び、電力安定供給のためには調整力電源(電力の需給バランスが悪化した際、電力供給を増加減できる電源)が必要である。

バイオマス発電は国内の電源構成(図1)では3.2%(2021年度 エネルギー需給実績 資源エネルギー庁)と全体の中では少ない発電電力量であるが、燃料

さえ調達できれば安定的に電力を供給可能な発電である。バイオマス発電の発電電力量はFIT制度(再生可能エネルギー固定買取制度)の後押しにより徐々に増加しており、2023年度ミックス(第6次エネルギー基本計画の概要、資源エネルギー庁)では全体の5%を目指している。

3. 自社の取組み(導入経緯)

2009年4月、当社で初となる木質バイオマスを主燃料とするバイオマス発電所(栃木県佐野市：最大出力25,000kW)が稼働した。従前、栃木工場での使用電力は重油を燃料とするディーゼル発電と購入電力により賄っていたが、木質バイオマス発電所の稼働により設備稼働時点で年間およそ91,000tのCO₂排出削減を見込んだ。

4. 設備概要およびフロー

4-1. 設備概要

燃 料 種：木質チップ+石炭+タイヤチップ

ボ イ ラ：ICFB[®]内部循環流動床ボイラ

蒸気条件 6.4MPa×500℃

最大連続(MCR)蒸発量 105t/h

※ICFBは荏原環境プラント(株)の日本国内における登録商標である。

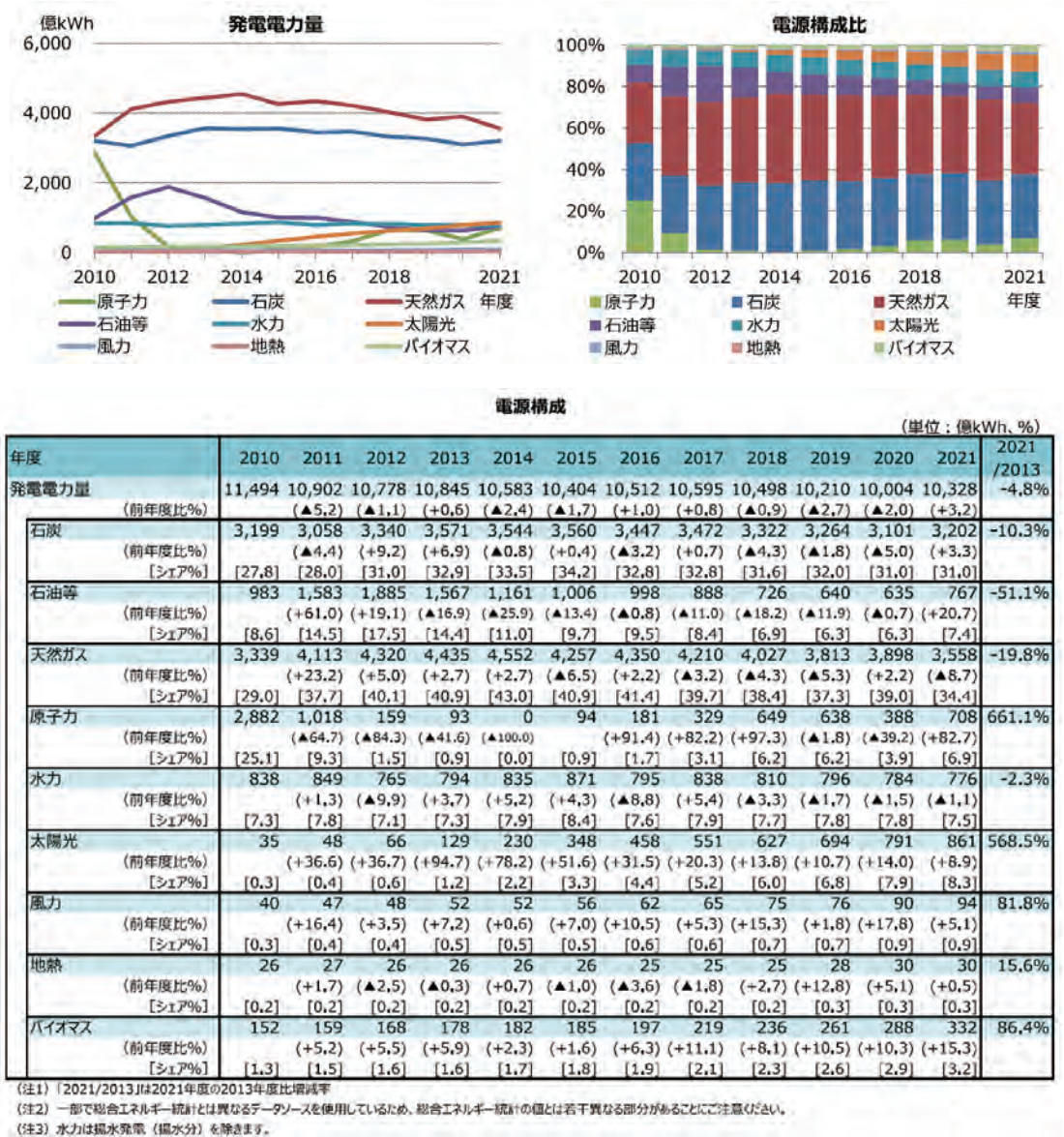


図1 国内電源構成の推移

蒸気タービン：3段抽気復水タービン

定格出力 25000kW (25MW)

に投入される。

(2) ボイラ設備

ボイラの型式はICFB[®]を採用している。特徴として燃焼室の両側に熱回収室を設けてここに伝熱管(層内蒸発管)を設置し、流動媒体(珪砂)から直接熱回収を行っている。熱回収室に供給する空気量を任意に制御することで高い負荷応答性を実現している。

(3) 発電設備

ボイラで発生した蒸気のはほぼ全量を蒸気タービンに供給して発電を行っている。蒸気タービンは衝動式抽気復水タービンで3段の抽気を取り、1段目は高圧給水加熱器、2段目は脱気器、3段目は低圧給水加熱

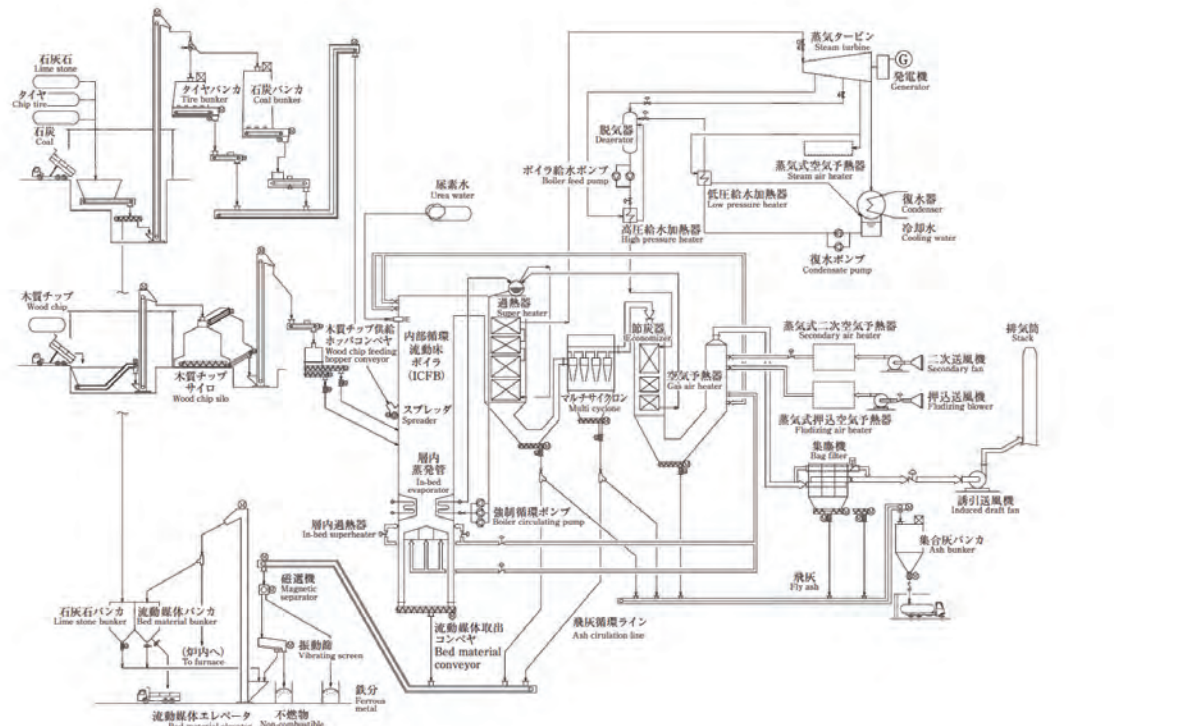


図2 プロセスフロー

	石炭	木質チップ
発熱量 (MJ/kg)	26.08	13.21
かさ比重	1.0	0.2

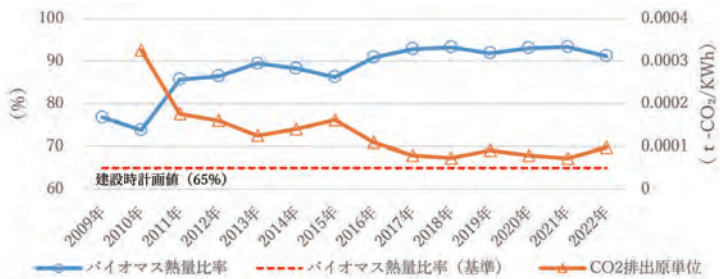


図3 栃木発電所 バイオマス熱量比率およびCO₂排出係数の推移

器および空気予熱器へ給気している。

復水器は水冷式とし、排気真空度を夏場でも絶対圧力6kPa程度の高真空に維持している。

5. 実績紹介

5-1. 木質チップの特徴とICFB

表1に一般的な石炭及び木質チップの性状を示す。

主燃料である木質チップは石炭に比べ比重が軽い
ため、ガスの流れに導かれボイラ炉内の頂部(炉頂)で燃焼する傾向にある。つまりボイラ水冷壁に加えて、燃焼ガスが流れるバックパスに設けられた過熱器での熱交換がバイオマスボイラの運転ではキーとなる。他

方でICFBの設計思想としては燃焼室の両側に設けられた熱回収室(層内蒸発管)においていかに流動媒体(珪砂)との熱回収を促進させるかが肝である。

図3にバイオマス熱量比率およびCO₂排出係数の推移を示す。運開当初よりカーボンニュートラルな発電所を目指し計画値以上の運用を目指して諸調整や対策を行ってきた。以下にその概要を示す。

5-2. 過熱器外面の洗浄

バイオマスボイラでは、石炭焚きボイラと比較し熱交換用ボイラチューブ外面に灰が付着しやすく、その灰の固着が進みやすい特徴がある。ボイラチューブへ固着した灰をスケールと呼んでいるが、これについては木



写真1 スケール発達状況



写真2 外面洗浄後過熱器の様子

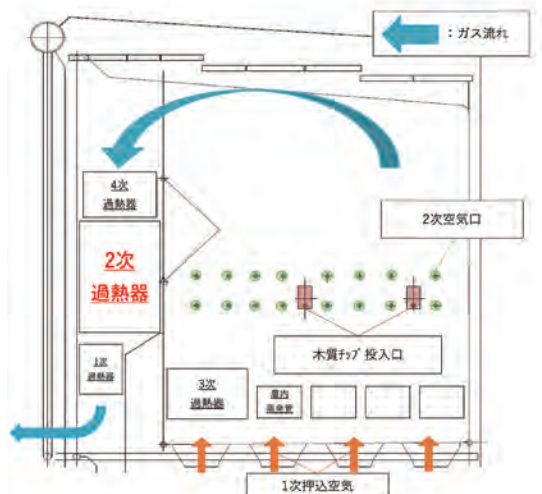


図4 ボイラ炉内概略図

質チップに含まれるナトリウムやカリウムのアルカリ金属が灰の低融点化に作用することに起因していることがわかっている。

当社のボイラでは特に熱負荷の高い2次過熱器および4次過熱器チューブでのスケール発達が著しく、スクレーパやハンマー等でのスケール除去が困難であった。ボイラ運転中にスケールが発達するとボイラでの熱収支が悪化しボイラ効率低下を招く。

そこで、スケール除去を目的に外面スケールの高水圧洗浄を2016年6月の定期修理時に実施した。一定の効果があつたが運転当初からの蓄積でスケールが想定以上に硬質化しており、完全な除去には至らなかった。

そこで、追加対策としてスケール成分を分析し、薬液にスケールを浸漬、軟化させてから高水圧洗浄を行うこととした。事前の養生や灰の粗落とし、回収したスケールの清掃等の工程を確保しつつボイラ定期修理工程を長期化させないような調整に苦慮したが、2019年

6月の定期修理で薬液を用いた洗浄を実行できた。写真1,2は洗浄前後における過熱器外面の様子である。広範囲にスケールを除去することができた。ボイラ熱収支を維持するために現在も過熱器外面清掃は継続している。

5-3. ボイラ押込空気量の操業調整

ボイラの概略図を図4に示す。前述の通り、炉頂側で木質チップが燃焼することによってボイラ出口ガス温度は上昇する。また燃焼ガスは4次→2次→1次過熱器の順で管の内外で熱交換を行うが、その中で特に2次過熱器出口蒸気温度(以下、2SH出温度と称する)が上昇し、蒸気管の管理上限値である500℃を一時的に超える事象が発生した。2SH出温度が上限値を超えると設備保護の観点から木質チップの使用を抑制せざるを得ないため、対策が急務であった。

まずはこれまでの運転経験から、1次押込空気量の削減と、炉内中段部2次空気口からの2次空気量増量による燃焼改善を図った。しかし特に炉内温度に変化は無く2SH出温度にも変化は見られなかった。そこで1次押込空気量を増やすことで流動媒体中での燃焼促進を図った。層内蒸発管が設けられた熱回収室での燃焼率が上がり、炉頂側での燃焼が抑制されたことで2SH出温度の低下に繋がった。

ただし、1次押込空気量を増やすと空気ノズルおよび周辺耐火物の摩耗進行や風量増加による誘引送風機(IDF)の負荷増加が懸念される。2SH出温度の上昇を抑えつつ可能な限りの空気量の調整を行った。表

「セメントの常識」
 緑の表紙の常識、新版出ました！

セメントの常識

INTRODUCTION TO
CEMENT & CONCRETE



「はじめて学ぶ セメント・コンクリート」をコンセプトに1973年から47年, おなじみの「常識」が第24版を迎え発刊いたしました。「セメントはなぜ固まるの?」「コンクリートって何ですか?」といった初歩的な疑問から, セメント・コンクリート技術とその使い方まで, さらに環境のことを考えたセメント産業の「いま」, セメントに関する国内外の統計データをカバー。最新のJISにも対応済みです。次代を担う新人の研修から知識の再整理まで, 自信を持っておすすめするお役に立てる一冊です。

A4版・オールカラー 72ページ 定価2200円(税込)
 (月刊セメント・コンクリート定期購読者は1割引)

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
 東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
 TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

表2 ボイラ押込空気調整結果

	押込空気 [Nm ³ /h]	2次空気 [Nm ³ /h]	2SH出温度 [°C] MAX/AVE	バイオマス比 率 [%]	IDF電流 [A] MAX/AVE
① 調整前	46, 500	25, 000	506/490	92. 7	105/101
② 2次空気増	42, 500	26, 500	510/494	94. 0	105/101
③ 押込空気増	50, 000	20, 000	501/482	94. 9	106/102
④ 押込空気微減 (1)	49, 400	21, 500	496/483	95. 8	106/101
⑤ 押込空気微減 (2)	49, 000	21, 500	498/482	95. 9	106/101
⑥ ボイラ出O ₂ 4. 6→4. 2*	48, 600	20, 500	505/484	96. 0	105/100
⑦ ボイラ出O ₂ 4. 2→4. 6	49, 000	21, 000	500/479	95. 9	106/101

※ボイラ出 O₂ は IDF 電流を下げるために調整。O₂ 設定値を下げると総空気量 (押込+2 次) が下がる

2は各種調整の結果である。

6. 今後の展望

近年では、バイオマス燃料の需要増加から木質チップの収集が困難になりつつある。そこで今後の展望としてRDFの導入検討を進めている。RDFは一般的に石炭と同等の発熱量を有しており、ハンドリングが優れる、という特長もある。

しかしながらRDFの成分によっては塩素や重金属類を多量に含む場合もあり、ボイラチューブへの影響について注意が必要である。また成分に問題が無かったとしても、ボイラでの燃焼状態に問題が無いか、当プラントにマッチするか等を検証しながら導入を進めている。

7. おわりに

当社は、2050年“カーボンニュートラル”ビジョン「SOCN2050」を2020年12月に発表した。その中で、自家発電で使用する化石エネルギーの削減も謳っている。本文中の栃木県佐野市のバイオマス発電は、今日までに建設時の計画値を大きく上回るバイオマス比率を達成している。ただこれまで、補助燃料としての石炭使用が熱量比で数%程残っていたが、前項にある通り、木質チップ他RPF等の導入により石炭代替燃料を最大化し、近時の操業では石炭レス発電に成功している。

最後に、当社は本バイオマス発電所由来のトラッキング付非化石証書を活用して、本社オフィス(汐留)使用電力のCN化を実現していることを申し添える。



おおたに のりひこ / OOTANI Norihiko
住友大阪セメント(株)
栃木工場 栃木発電所
所員



いだ けんじ / IDA Kenji
同上
設備部 動力・制御グループ
グループ員



こまつ ゆうすけ / KOMATSU Yusuke
同上
栃木工場 栃木発電所
所員



かんべ たかゆき / KANBE Takayuki
同上
栃木工場 栃木発電所
所長



いけぐち こうじ / IKEGUCHI Koji
同上
設備部 動力・制御グループ
グループリーダー

【出典】

- ・資源エネルギー庁(2021年度エネルギー需給実績 <図表35:電源構成の推移>)
- ・資源エネルギー庁「第6次エネルギー基本計画の概要 ※令和3年11月23日更新」
- ・資源エネルギー庁「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数(2018年度改定)の解説」
- ・飯田裕一「バイオマス発電設備 内部循環流動床ボイラー住友大阪セメント(株)栃木工場向け」『エバラ時報』226号, 2010.1, P.26

セメスタグラム



コンクリートに魅せられて



新西新井公園 東京都足立区 最優秀賞「飛べ!タコ星人ロケット!」



上沼田北公園 東京都足立区 優秀賞「足立の町を見守り台!」

コンクリート製遊具 ありんくりん

本年2023(令和5)年は、1873(明治6)年1月15日の太政官布達第十六号により、日本における都市公園制度が制定されてからちょうど150年です。

東京では浅草公園・飛鳥山公園・上野公園・芝公園・深川公園の5公園が最初の公園として開園しました。

現在、東京都を主体に、今後の都立公園の更なる発展を図るため、また、公園が都民に層親しまれるようにと、「東京都都市公園制度制定150周年記念事業」として、様々なイベント等を実施しています。

さて、公園と言えば、多くの方々が子どもの頃、ぶらんこやすべり台、鉄棒、シーソーなどといった遊具で遊んだことを思い出されるのではないのでしょうか。

その頃は遊びに夢中だったと思いますが、今、よくよく周囲を見渡すと、動物や乗り物などを模ったコンクリート製遊具が多いことにも気が付くと思います。

中でも今回は比較的大型のコンクリート製遊具についてご紹介したいと思います。

その代表選手と言えば、通称ですが「石の山」と「タコのすべり台」でしょうか。

東京では戦後の復興において、公園の整備も重要な課題の一つとして、数多くの公園や児童遊園が設置されました。

また、駅前広場や公園などでは環境整備の一環として芸術を取り入れようとする動きもあり、街頭美術展の開催や、井の頭公園や日比谷公園などでは野外彫刻展も行われました。

そのような中、1950年代にスウェーデンのゴン・モラー・ニールセン氏によって考案された、プレイ・スカルプチャーが日本にも取り入れられました。直訳すれば遊戯用塑像、遊ぶことができる彫刻。遊具としての実用性と彫刻としての芸術性を兼ね備えたものといった感じでしょうか。



左: 王子6丁目児童遊園
東京都北区

右: あかぎ児童遊園
東京都新宿区

ぶらんこやすべり台など既存の遊具は、ある程度決まった遊び方になってしまいがちですが、それまで見るだけだった彫刻が、実際に触れたり遊んだり、子供たちは自由に遊び方を創造できるようになりました。

日本では1959(昭和34)年、入谷南公園(東京都台東区)に、当時日本住宅公団所属の造園技師であった造園家、環境デザイナーの池原謙一郎氏設計による、お椀を伏せたような「石の山」など、斬新な空間造形を施した遊具が作られました。

日本におけるコンクリート製「石の山」第1号の誕生です。この「石の山」は完成後60年以上経過した2023(令和5)年10月現在も健在で、子供たちにより登れられながら、その成長を見守り続けています。

その後、ここはユニークな遊び場をもつ公園として全国的に有名となり、やがて様々な「石の山」が全国各地に作られていきました。

もう一つ、人気の大型コンクリート製遊具にタコの形状を模したすべり台があります。

この「タコのすべり台」のルーツには諸説ありますが、1965(昭和40)年の東京都足立区起源説と1968(昭和43)年の東京都品川区起源説の2つが広く伝わっているようです。

こちらも評判が良かったようで、その後、「タコのすべり台」は全国に広く繁殖していきました。

このように、プレイ・スカルプチャーは日本では「石の山」や「タコのすべり台」に代表されるように独自の進化を遂げていったのです。

コンクリート製遊具にはこれからも子供たちに夢と希望を与える存在であってほしいと願っています。

写真・文 井川幹雄(セメント協会)



飛鳥山公園



入谷南公園



白銀公園

「タコのすべり台」発祥の地の一つである東京都足立区では、すべり台がある公園を地図にまとめた「タコさん(ときどきイカさん)MAP」を作成するとともに、区の公式サイトに「タコさんすべり台のある公園リスト」や「おもしろい遊具のある公園リスト」を掲載しています。

足立区にあるタコさん11基の中でも、特に新西新井公園の1基は、本邦初の「タコのすべり台」とも言われていますが、2018(平成30)年に実施された「あだちのタコさんすべり台 デザインコンテスト」で約200点の応募の中から最優秀賞に輝いた「飛べ!タコ星人ロケット!」のデザインに翌年3月に塗り替えられ、一般的なタコさんから「タコ星人ロケット」へと進化を遂げました。



▲築地大橋

▲厩橋

▲蔵前橋

◀「東京都都市公園制度制定150周年記念事業」の一つである「都立公園150周年記念ライトアップ」が都立公園等により緑あふれる東京としていくことをイメージして、上野恩賜公園および芝公園の開園日(10月19日)にあわせて、都庁第一本庁舎やレインボーブリッジ、都立公園など都内13の施設でグリーンの照明による一斉ライトアップが2023(令和5)年10月19日(木)から22日(日)にかけて実施されました(写真参照)。

隅田川に架かる橋では、10月19日に白鰐橋、吾妻橋、駒形橋、厩橋、蔵前橋、清洲橋、永代橋、佃大橋、勝間橋、築地大橋の十橋で実施されました。

このコーナーはセメント協会公式Instagramに掲載された全国の個性あふれるコンクリート構造物のいろいろな情報を織り交ぜながら隔月で紹介していきます。どうぞ期待ください。セメント協会公式Instagramでは、この他に数多くの構造物をアップしています。下記QRコードよりご覧いただけます。

セメント協会 Instagram
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/





カーボンナノチューブで改質したコンクリートのひび割れ抵抗性

Yingjia Lan, ほか

Magazine of Concrete Research

vol.74 (22) 1165～1175 (2022)

カーボンナノチューブ (CNTs) は、日本の学者である飯島氏によって発見されたナノメートルファイバーの一種である。CNTsは優れた物理的、電気的、工学的特性を有しており、多くの研究者にとって魅力的な素材となっている。

セメント系材料へのCNTsの配合に関する研究の多くはペーストやモルタルに焦点が当てられており、CNTsを添加したコンクリートに関する研究、特に破壊特性への影響に関する研究はほとんど行われていない。本稿では、CNTsをコンクリートに練り込み、CNTs含有率の違いによる圧縮強度および割裂引張強度への影響を検討している。また、ひび割れ抵抗性については、既成のクラックを有する供試体を用いたリング試験および3点曲げ梁破壊試験により検討している。さらに、CNTsの補強メカニズムを解明するため、コンクリート中の微細構造の観察を行い、考察している。

実験の結果、コンクリートの圧縮強度と割裂引張強度は、CNTsを配合することにより向上させることができ、CNTsの含有率が0.15wt%の場合、コンクリートの28d圧縮強度は1.9%、割裂引張強度は10%増加することが示された。

また、ひび割れ抵抗性は、CNTsを配合することによって、ひび割れ指数とひび割れ幅を減少させるだけでなく、マイクロクラック発生後のひび割れの進展を効果的に抑制できることが確認された。

さらに、破壊靱性については、CNTsの含有率を

徐々に増加させると向上し、材齢28日より材齢7日の方がその傾向は顕著であった。

微細構造を観察した結果、CNTsはコンクリート中で一定の架橋効果を発揮することがわかった。CNTsはセメントの水和生成物とよく一体化し、コンクリートのマイクロクラックを橋渡ししていた。また、骨材の界面遷移帯を改善し、マイクロクラック間に一定の付着構造を形成していた。筆者らは、この付着構造によりマイクロクラックの進展を遅らせることができ、コンクリートの破壊特性を改善できると考察している。

ジエタノールイソプロパノールアミンとエチルジイソプロピルアミンがポルトランドセメントの水和及び強度増進に与える効果

Yifei Wang, ほか

Cement and Concrete Research

162 論文 No.106999 (2022)

アルカノールアミンは粉砕助剤や強度増進剤として利用可能であり、セメント産業において重要な化学添加材である。ジエタノールイソプロパノールアミン (DEIPA) 及びエチルジイソプロピルアミン (EDIPA) は、最近になってセメント産業で使用されるようになったアルカノールアミンであり、強度増進効果、特に多量に添加した場合の効果に関する研究は少ない。そこで著者らは、DEIPA 及び EDIPA をセメントに対して通常の添加量である0.05%と過剰量である0.5%添加し、これら2種類のアミンの強度増進効果を検討した。

その結果、いずれのアミンも0.05%添加では、材齢3日(初期)から28日(長期)において、アミン無添加と比較して圧縮強度が増進した。これは、初期ではアミン添加によって、C₃A、C₄AFの水和が促進され、長期ではC₃S、C₂Sの水和が促進されることで、組織が緻密化されたためと考えられた。一方0.5%添加では、初期、長期ともに強度の増進効果は見られなかった。

初期は0.05%添加よりもC₃A、C₄AFの水和が促進され、過剰に生成したAFmが、C₃S、C₂Sの水和を抑制したため、強度の増進効果が発揮されなかったと考えられた。長期は、アミン添加によってC₃S、C₂Sの水和度が高まって組織が緻密化されるが、過剰な空気

連行作用による空隙の増加により、この効果が打ち消されるため、強度の増進効果が認められなかったと推察した。検討を通して、DEIPA 及び EDIPA の添加は水和や微細組織の形成に重要な役割を果たし、過剰量の添加は強度低下を引き起こすことが分かった。

ロンドン粘土を用いたSCMsおよび軽量骨材の製造

Fragkoulis Kanavaris, ほか

CONCRETE

vol.56 [6] 40～42 (2022)

Supplementary Cementitious Materials (以下、SCMs)として代表的なフライアッシュや高炉スラグは、石炭火力発電所や高炉の段階的な休止により在庫量が減少しており、新たな代替品への需要が高まっている。本報告では、イギリス国内のインフラ整備事業におけるトンネル工事等の掘削工事で大量に発生する掘削土(以下、ロンドン粘土)を対象に、SCMsや軽量骨材への有効活用の可能性について検討している。

ロンドン粘土をSCMsとして利用する場合、約800℃で焼成を行う。これは、セメントの焼成温度約1400℃より低いこと、また、焼成時には原料由来のCO₂も発生しないことから、セメントと比べると製造時のCO₂排出量の少ない材料となる。また、ロンドン粘土は、比較的埋蔵量が豊富であるためSCMsとして有効利用が期待されている。一般に、SCMsとして粘土を使用する場合、粘土中のカオリナイトの含有量は、コンクリートにおける強度発現性の面で、40%以上が望ましいとされている。一方、ロンドン粘土は、カオリナイトの含有量が17～25%と少なくSCMsとしては低品位な粘土に分類されるが、800℃で1時間焼成したロンドン粘土をポルトランドセメントに対して置換したモルタルの材齢28日の圧縮強さは約50MPaの強度が得られ、設計強度が低いコンクリートへの適用性が確認された。

粘土から軽量骨材を製造するプロセスでは、粘土を高温で焼成し直径十数mmに膨張させる必要がある。本実験では、ロンドン粘土を1140～1200℃で8分間焼成させることで、軽量で堅牢な軽量骨材を作製することができた。

今後は、ロンドン粘土を使用したSCMsを最大70%までセメントに置換し、圧縮強度25MPaを目標に研究

を進める予定である。また、ロンドン粘土を現場で焼成してコンクリート事業に活用できるように実用化に向けた検討移行する。本試みは、高炉スラグのような有限のSCMsに代わって、廃棄物を有効利用した新しいコンクリート用材料を提案し、脱炭素化に貢献する。

炭酸ガス圧入溶解処理した黄リンスラグによるセメント組成物の初期強度改善

Hamideh Mehdizadeh, ほか

Cement and Concrete Composites

133 論文 No.104702 (2022)

黄リンスラグ(以下、RYPS)とは、黄リンを電炉法によって製造する際に得られる副産物であり、ボゾラン反応性を有している。これまでコンクリート用混和材としての検討もなされてきたが、初期反応性に乏しいという課題があった。本稿では、初期反応性の改善を目的に炭酸ガス圧入溶解処理したRYPSのボゾラン材料としての性能について検討した。

検討の結果、炭酸ガス圧入溶解の処理条件を固液比8ml/g、温度80℃、CO₂(純度：99%)圧力0.1MPa、処理時間9時間、とすることで、非晶質シリカゲルとハイドロカルサイトタイプのCaCO₃が多量に生成されることを明らかにした。また、炭酸ガス圧入溶解後のRYPS(以下、CYPS)は、石灰石微粉末やフライアッシュなどに比べて、高いボゾラン反応性を有し、CYPSをセメントへ5～15%置換したペーストの初期強度はRYPSを置換したものや、無置換のものに比べて増加することも示した。そして、これらは1)ボゾラン反応による細孔構造のち密化、2)CYPS中におけるカルサイトの核生成効果による水和促進、3)C₃Aとカルサイトの反応によるヘミ及びモノカーボネートの生成とエトリンガイトの安定化、4)炭酸塩による充填効果によるものと考察した。従って、上述の処理条件はRYPSのボゾラン反応性を向上させる有効な方法である。

さらに、RYPSを炭酸化する過程において74.7kg-CO₂/t-RYPS、モルタルに5～15%置換した場合には、圧縮強度を損なうことなく、850kg/t-RYPS程度のCO₂の利用(固定化)が可能であることから、筆者らは環境負荷低減にも効果的な技術であると述べた。

「地盤アンカーの設計・施工に関するQ&A」改訂講習会

開催日：2023年11月29日(水)
会場：建築会館ホール(港区芝)およびオンライン
参加費：会員：10,000円、後援団体会員：12,000円、
会員外：15,000円
定員：対面150名／オンライン制限なし
申込方法：日本建築学会 HP より申込み
締切：2023年11月24日(金)
問合せ：日本建築学会
電話：03-3456-2051

関東平野の地震動特性はどこまで明らかになったか？
～関東地震から100年～

開催日：2023年12月1日(金)
会場：建築会館ホール(東京都港区)およびオンライン
参加費：会員：5,000円、会員外：8,800円、学生会員：3,000円、学生会員外：3,300円
定員：対面150名／オンライン制限なし
申込方法：日本建築学会 HP より申込み
締切：対面：2023年11月29日(木)
オンライン：2023年11月21日(火)
問合せ：日本建築学会 事務局事業グループ(担当：高畑)
電話：03-3456-2057

令和5年度 第2回 構造工学研究会
「PC橋の変遷～つくる時代から魅力ある維持管理の時代へ～」

開催日：2023年12月13日(水)
会場：土木学会 講堂(東京都新宿区)およびオンライン

参加費：無料
定員：対面70名／オンライン500名
申込方法：土木学会 HP より申込み
締切：2023年12月6日(水)
問合せ：土木学会
電話：03-3355-3441

シンポジウム
「建築物振動制御性能の定量的評価とその評価指標」

開催日：2023年年12月22日(金)
会場：建築会館ホール(東京都港区)
参加費：会員：4,000円、会員外：6,600円、学生会員：2,500円、学生会員外：2,750円
定員：120名
申込方法：日本建築学会 HP より申込み
締切：2023年年12月15日(金)
問合せ：日本建築学会 事務局事業グループ(担当：高畑)
電話：03-3456-2057

第11回 河川堤防技術シンポジウム

開催日：2024年1月19日(金)
会場：TKP ガーデンシティ PREMIUM 品川高輪口
(東京都港区)およびオンライン
参加費：3,300円
申込方法：土木学会 HP より申込み
問合せ：土木学会地盤工学委員会(事務局担当：那須)
電話：03-3355-3559

コンクリート舗装講習会(福岡)

コンクリート舗装は高耐久な舗装であり、適切に設計・施工・維持管理を行えば、ライフサイクルコストに優れ社会資本維持費の削減に大きく寄与できる舗装である。本講習会はコンクリート舗装の技術の伝承を目的に、コンクリート舗装の概要から設計、施工、早期交通開放型コンクリート舗装である 1DAY PAVE について解説するものである。

日時：2023年12月14日(木)13:30～16:45
会場：福岡県建設技術情報センター (〒811-2416 福岡県糟屋郡篠栗町大字田中 315-1)
受講料：無料
申込先：セメント協会 HP(<https://jcafukyu.jp/>)または FAX(03-5540-6181)でお申込みください。
定員：150名(定員になり次第締め切らせて頂きます)。
CPD：土木学会認定 CPD プログラム(JSCE23-1284 3.0 単位)
問合せ：(一社)セメント協会・普及部門 TEL:03-5540-6180

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載頁
「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2022」講習会	2023年 11月20日	北海道	日本コンクリート工学会 「コンクリートのひび割れ調査、 補修・補強指針講習会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	9号 p.63
第16回日本地震工学シンポジウム	2023年 11月23日～25日	神奈川県	日本地震工学会事務局	03-5730-2831	4月号 p.60
「地盤アンカーの設計・施工に関するQ&A」 改訂講習会	2023年 11月29日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	本号 p.60
第55回 セメント協会研究所講演会	2023年 12月1日	東京都 および オンライン	セメント協会研究所 技術情報グループ	03-3914-2692	本月号 p.49
関東平野の地震動特性はどこまで明らかになったか？ ～関東地震から100年～	2023年 12月1日	東京都 および オンライン	日本建築学会 事務局事業グループ (担当：高畑)	03-3456-2057	本号 p.60
令和5年度 第2回 構造工学研究会 「PC橋の変遷～つくる時代から魅力ある維持管理の時代へ～」	2023年 12月13日	東京都 および オンライン	土木学会	03-3355-3441	本号 p.60
コンクリート舗装講習会(福岡)	2023年 12月14日	福岡県	セメント協会 普及部門	03-5540-6180	本号 p.60
シンポジウム 「建築物振動制御性能の定量的評価とその評価指標」	2023年 12月22日	東京都	日本建築学会 事務局事業グループ (担当：高畑)	03-3456-2057	本号 p.60
第11回 河川堤防技術シンポジウム	2024年 1月19日	東京都 および オンライン	土木学会地盤工学委員会 (事務局担当：那須)	03-3355-3559	本号 p.60
第2回全国圧送技術大会	2024年 3月23日	東京都 および オンライン	全国コンクリート 圧送事業団体連合会	03-3254-0731	10月号 p.60

※掲載中の情報は状況により中止・延期の場合がございます。各主催 HP 等にて最新情報をご確認ください。

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

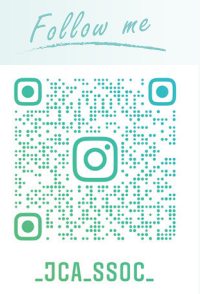
セミナー・講座名	会場名	土木学会 CPD(単位)
1 DAY PAVE 製造施工マニュアル[第1版]の概要(約26分)	WEB	-
動画で学ぶ断面修復工法の基礎知識(約34分)		-
コンクリート舗装の基礎知識(約33分)		-
セメント系固化材の基礎知識(約45分)		-
セメント系補修・補強材料の基礎知識(約29分)		-
地盤改良に関する試験について(約31分)		0.5

セミナーに関する詳細・お申込みはセメント協会 動画配信サイトをご覧ください ▶▶▶ <https://jcafukyu.jp/>

お知らせ



一般社団法人
セメント協会



公式インスタグラム

ひたむきに…黙々と…。

私たちの安全・安心・快適な生活の営みを支えている
コンクリート構造物。

そんな「コンクリートの底力」を紹介しております。

ぜひご覧ください。

アカウント名…_jca_ssoc_
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/

パンフレット・セメントの底力 セメントはわが国の防災インフラ整備を支えています

セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット（A4判・16ページ）を作成しました。様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・渇水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

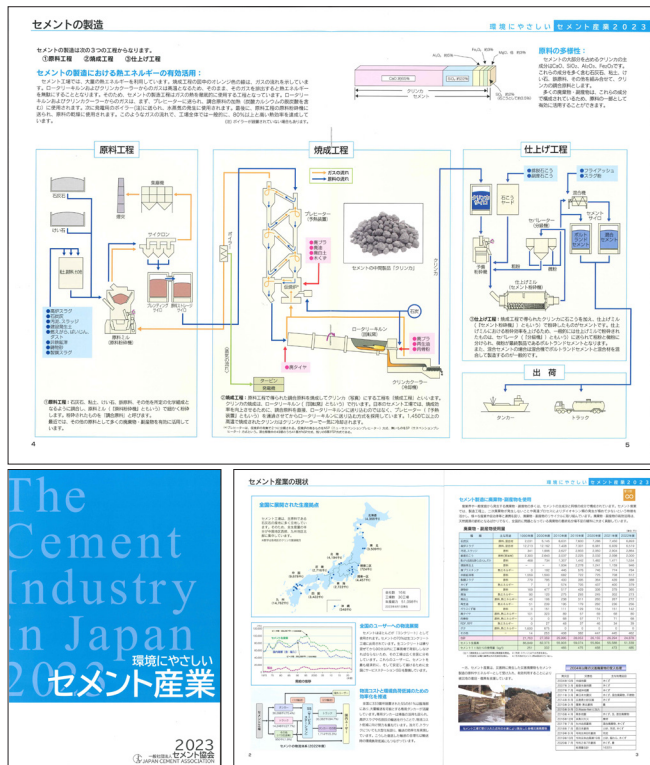


A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2023

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは、部数と送付先を明記のうえ、下記までファックスでお申込み下さい。

（一社）セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

[主な内容]セメント産業の現状,セメントの製造,カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン,カーボンニュートラル行動計画の概要,2050年に向けた対策



セメント・データファイル

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

生産

項目		23年		23年	
		7月	前年比	8月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,651	94.6	2,317	82.7
	早強・超早強	161	72.1	218	95.8
	中庸熟	59	98.0	48	78.7
	低熱	9	59.8	14	55.3
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	1	-
小計		2,879	92.8	2,599	83.4
混合セメント	高炉	774	95.0	627	82.2
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	6	244.4	3	179.6
	その他	69	90.3	56	84.6
小計		849	95.0	686	82.6
その他のセメント		15	121.8	7	99.0
計		3,742	93.4	3,292	83.2
輸出用クリンカ等		262	113.7	397	81.3
合計		4,004	94.5	3,689	83.0

販売

地区		23年			23年		
		7月	前年比	構成比	8月	前年比	構成比
北海道		174	91.5	5.7	152	89.2	5.6
東北		240	85.6	7.9	207	85.6	7.7
関東一		765	101.5	25.0	672	97.1	24.9
関東二		280	92.0	9.2	243	88.2	9.0
北陸		131	94.9	4.3	121	94.0	4.5
東海		363	104.0	11.9	313	94.0	11.6
近畿		444	102.5	14.5	396	97.0	14.7
四国		89	88.3	2.9	79	79.7	2.9
中国		171	93.1	5.6	158	94.6	5.9
九州		332	85.3	10.9	305	82.2	11.3
沖縄		67	100.0	2.2	51	83.4	1.9
計		3,056	95.8	100.0	2,698	91.5	100.0

輸出

地域・仕向地		23年	23年
		7月	8月
アジア	韓国	25	32
	中国	0	0
	台湾	27	18
	香港	112	87
	フィリピン	51	72
	シンガポール	136	128
	ブルネイ	0	19
	スリランカ	31	0
小計		382	356
その他	大洋州	170	337
	中南米	0	0
	小計	170	337
合計		552	693

需給

項 目		生 産		販 売						期末在庫		輸 入		内 需		固化材 原料他
		前年比	国 内	前年比	輸 出	前年比	合 計	前年比		前年比		前年比		前年比		
会 計 年 度	2012	59,488	103.3	43,754	104.4	9,632	96.3	53,387	102.8	4,140	98.3	822	111.4	44,577	104.5	6,173
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,332	96.4	20	90.0	38,670	94.4	6,450
	2021	55,741	99.4	37,872	98.0	11,484	103.3	49,356	99.2	4,347	100.3	10	52.0	37,882	98.0	6,371
	2022	51,482	92.4	37,265	98.4	8,137	70.9	45,402	92.0	4,194	96.5	16	151.4	37,280	98.4	6,233

セメントハンドブック 2023年度版

インターネットからご覧下さい

わが国セメント産業のデータ集「セメントハンドブック」は、2018年度版より電子書籍化して公開しております。企業概要・需給状況・流通・原料・エネルギー・生産性・関連製品・市況・世界のセメント需給・関連経済指標と多岐にわたり掲載。業界人必須の一冊をお手元の端末で、いつでもどこからでも閲覧可能です。

セメントハンドブック2023年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf

セメント協会HPはこちら
<https://www.jcassoc.or.jp/>

※本書籍の閲覧およびダウンロードのご利用は無料ですが、別途通信料が発生いたします。

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)							(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2021年度	200,576	37,968	4,867	27,813	55,215	55,967	5,752	
2022	215,422	41,065	7,012	22,833	59,451	62,687	9,982	
2022年6月	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721	
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238	
8	17,167	2,753	302	1,235	5,671	5,744	532	
9	24,272	5,104	541	2,332	6,897	7,595	499	
10	17,406	2,195	627	1,679	6,564	5,028	321	
11	13,077	1,665	607	1,475	4,773	3,412	370	
12	15,489	1,686	380	2,025	4,598	5,667	360	
2023年1月	11,173	2,240	677	1,553	3,037	2,477	439	
2	20,885	5,160	929	1,640	4,014	4,498	4,064	
3	34,439	9,300	1,589	4,292	10,303	6,123	1,216	
4	11,822	2,929	520	2,050	2,461	2,439	531	
5	13,132	2,655	413	916	2,265	5,535	746	
6	20,139	3,069	657	1,618	4,753	7,851	800	
7	18,528	3,924	364	1,166	4,512	6,564	809	
8	17,476	2,022	264	1,350	4,531	6,747	287	

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省)								(単位:万㎡)	
	合計	構造別						用途別		
		木造	鉄骨鉄筋コン クリート造	鉄筋コンクリ ート造	鉄骨造	コンクリートブ ロック造	その他	居住用	非居住用	
2021年度	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806	
2022	11,872	4,877	238	2,458	4,197	6	97	6,746	4,690	
2022年6月	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479	
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498	
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397	
9	968	437	7	193	322	0.6	8	610	358	
10	990	433	21	181	345	0.6	9	630	360	
11	957	425	16	158	346	0.6	12	606	351	
12	897	386	14	170	319	0.4	7	558	339	
2023年1月	928	330	40	250	299	0.5	8	538	390	
2	902	352	58	194	343	0.5	6	545	357	
3	860	363	22	200	267	0.4	6	579	280	
4	1,029	388	16	228	391	0.4	6	549	480	
5	899	387	15	202	287	0.7	6	574	325	
6	918	403	22	186	299	0.4	6	603	315	
7	926	402	22	179	314	0.3	9	565	361	
8	931	414	16	202	290	0.5	8	579	352	

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)									(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)	
		計	製造業	計	国の機関					
2021年度	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497	
2022	165,377	116,357	32,673	37,045	25,000	112,943	52,434	113,603	-	
2022年6月	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288	
7	9,176	6,529	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222	
8	10,334	8,302	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166	
9	21,617	13,586	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186	
10	10,520	7,331	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	208,774	
11	9,636	6,849	1,908	2,121	1,590	6,736	2,900	5,906	206,833	
12	17,593	14,275	5,184	3,208	1,707	13,048	4,544	14,299	207,841	
2023年1月	10,021	6,986	1,556	2,452	1,782	6,867	3,154	6,992	207,251	
2	14,867	9,285	1,928	5,010	3,207	9,662	5,204	11,344	209,850	
3	27,481	18,606	4,053	7,409	5,081	17,187	10,294	19,983	214,894	
4	10,993	8,354	2,034	2,003	1,250	7,807	3,186	7,488	215,556	
5	9,304	6,854	1,807	1,772	1,476	6,125	3,179	6,035	214,435	
6	17,100	12,062	2,801	3,457	2,533	11,401	5,699	11,528	215,220	
7	9,973	5,877	1,269	3,360	2,373	5,401	4,572	6,097	214,911	
8	9,888	7,470	2,331	1,930	1,152	7,132	2,756	6,338	-	

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)										(2020年平均＝100)
	総平均	セメント	生コンクリ ート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機 械	
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2021年平均(C.Y.)	104.6	100.5	101.4	101.9	140.9	102.5	123.0	120.3	101.5	100.1	
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3	
2021年度平均(F.Y.)	107.0	100.6	102.1	102.4	156.9	102.8	130.9	129.0	103.3	100.2	
2022年6月	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6	
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4	
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105	
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6	
10	118.1	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	159.7	159.7	117.3	106	
11	119.1	120.4	115.2	114.3	153.8	109.8	159.3	161.8	118.1	106.2	
12	119.8	120.4	115.9	115.3	152.7	109.8	159.3	161.4	118.7	106.2	
2023年1月	119.9	120.4	116.1	115.7	148.8	109.8	158.6	162.8	120.2	106.8	
2	119.5	120.4	116.6	116.1	145	111.4	158.9	164	120.6	106.9	
3	119.6	122.9	118.2	118	142.1	111.4	158.9	165.2	120.9	107	
4	120.1	142.5	121.2	119	140	112.2	160.4	167	121.6	107.4	
5	119.3	143.5	126	119.9	137.2	113.1	160.4	167.3	122.8	107.9	
6	119.2	144	129.5	121.3	135.1	114.6	160.3	167.5	122.9	109.2	
7	119.4	144	132.9	122.2	134.2	115.2	161.1	167.6	123.8	110.6	
8	119.7	147	133.4	123.4	131.7	116.1	160.8	167.6	124.3	110.5	
9	119.3	147	133.4	124.3	131.5	116.1	160.7	167	124.2	109.5	

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(出所:経済産業省)					
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック (千個)	護岸用 コンクリートブロック (t)	道路用 コンクリート製品 (t)
		管 (t)	ボール (t)	パイプ (t)			
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604	223,770
2021年12月		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364	185,559
2022年6月		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521	145,665
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719	138,948
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945	132,354
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124	146,645
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892	158,515
11		12,286	34,069	123,269	5,527	38,818	176,626
12		10,631	30,719	112,858	5,281	42,085	158,413
2023年1月		8,970	27,442	108,222	4,048	42,004	151,189
2		10,034	27,960	128,634	4,946	46,654	157,334
3		11,700	29,855	120,571	4,994	49,803	156,257
4		8,772	30,350	115,374	5,492	41,064	132,293
5		6,875	29,277	93,186	4,758	36,905	123,773
6		7,195	31,183	99,105	5,125	30,947	134,161
7		8,181	30,567	100,016	4,935	28,988	130,856
8		8,943	28,951	89,328	4,351	29,403	118,155

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年12月		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年6月		16,974	49,821	2,695	107,363
7		13,715	41,894	2,593	103,755
8		12,408	35,475	2,538	100,701
9		13,947	42,105	2,648	112,161
10		11,097	33,241	2,422	117,669
11		8,850	29,573	2,588	117,623
12		10,593	29,525	2,498	114,000
2023年1月		6,847	21,091	2,183	92,185
2		9,203	18,687	2,336	92,707
3		14,809	22,255	2,681	103,964
4		5,632	19,199	2,168	95,468
5		6,709	45,189	2,044	93,704
6		10,324	37,255	2,361	105,765
7		9,303	35,009	2,406	107,173
8		9,461	23,850	2,175	103,574

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

小堺 規行 住友大阪セメント(株) 常務執行役員 セメント・コンクリート研究所長

委員

石橋 忠良	J R 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括
伊藤 智章	UBE三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長
内田 俊一郎	太平洋セメント(株) 中央研究所 研究開発推進部 部長
浦野 真次	清水建設(株) 技術研究所 建設基盤技術センター 主任研究員
河村 直彦	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)
岸 利治	東京大学 生産技術研究所 教授
黒岩 秀介	大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)
古賀 裕久	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員
小林 竜平	竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー
坂井 悦郎	東京工業大学 名誉教授
坂井 吾郎	鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員
棚野 博之	(国研)建築研究所 材料研究グループ 客員研究員
流 龍成	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー
野口 貴文	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
平田 隆祥	(株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師
平本 真也	日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー
前田 禎夫	麻生セメント(株) 品質技術部 部長
森川 嘉之	(国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
山路 徹	(国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長
窪木 康雄	(一社)セメント協会 セメント系固硬化材普及専門委員会 委員長
宮脇 賢司	(一社)セメント協会 セメント系固硬化材技術専門委員会 委員長
大石 英男	(一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事
廣川 誠一	(一社)セメント協会 常務理事
吉田 雅彦	(一社)セメント協会 研究所長

ODEFとASRの組織観察による判別

○JCI「コンクリート圧送工法指針2023」-その概要と今後の展開-

○土木学会「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案)」の概要

○CO₂排出量と六価クロム溶出量を低減させる地盤改良材「バ イプロジオ™」

○既設アスファルト打ち換えにおけるコンクリート舗装の適用

-天王山古戦橋(京都府)での試験施工調査結果-

○各種シラン系表面含浸材の塩害環境下での適用効果に関する暴露試験

○シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード 鉱物化とセメントコンクリートへの活用

○海中環境において40年供用された根固めブロックの分析と評価

○第51回セメント協会論文賞 受賞論文/煅焼アロフェンを用いた新たなセメント系材料の設計

○ずいそう(黒田泰弘) ほか

バランスドアーチ橋のアーチリブ張出し架設におけるコンクリート施工
-新東名高速道路 河内川橋(仮称)セメント・コンクリート No.921 11月号
2023(令和5)年11月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者 乾 敏一
 編集者 小宮山 慎一郎
 発行所 一般社団法人 セメント協会
 〒104-0041 東京都中央区新富2-15-5
 RBM築地ビル2階
 電話 03-5540-6171 (代表)
 03-5540-6175 (広報部門/出版担当)
 03-5540-6173 (図書販売)
 FAX 03-5540-6181
 研究所 〒114-0003 東京都北区豊島4-17-33
 電話 03-3914-2691 (代表)
 FAX 03-3914-2690

○予約購読のご案内/予約購読をご希望の方は1年分 11,000円(税込み/送料当協会負担)を「振替」または「現金書留」で直接当協会にお申込み下さい。

○本誌への広告申込みはセメント協会広報部門/出版担当 ☎ 03-5540-6175へ

○セメント協会加盟会社の購読料は会費に含まれます。

本誌へのご意見、ご感想、ご要望、送付先の変更などは、セメント協会ホームページまたは出版担当直通までEメールでお寄せください。

メールアドレス(出版担当)

cemecon@jcassoc.or.jp

ホームページ

https://www.jcassoc.or.jp

セメント協会ホームページ



一般社団法人 セメント協会加盟会社

八 戸 セ メ ン ト (株)	敦 賀 セ メ ン ト (株)
日 鉄 高 炉 セ メ ン ト (株)	(株) デ イ ・ シ イ
日 鉄 セ メ ン ト (株)	デ ン カ (株)
東 ソ ー (株)	麻 生 セ メ ン ト (株)
(株) ト ク ヤ マ	U B E 三 菱 セ メ ン ト (株)
琉 球 セ メ ン ト (株)	明 星 セ メ ン ト (株)
荻 田 セ メ ン ト (株)	日 立 セ メ ン ト (株)
太 平 洋 セ メ ン ト (株)	住 友 大 阪 セ メ ン ト (株)

神殿？ いいえ、防災施設です。

埼玉県春日部市の地下50メートルに現れた巨大神殿。

これは「首都圏外郭放水路」という防災施設で、
同県東部の浸水被害を軽減し、首都圏の安全を
守るためにつくられた世界最大級の地下放水路です。

こうした防災インフラに欠かせない素材がセメント。

もしものときも防災機能が発揮されるよう、
セメントの強さで施設そのものを守っています。

セメントが、日本をまもる。

一般社団法人セメント協会

セメント協会

検索