

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

2023
No. 9 19

9

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和5年9月15日発行 ISSN0371-0718



—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—
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

検索

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

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2023 No.919

9

もくじ

02	JCA Report JIS R 5202 セメントの化学分析方法への ICP発光分光分析の適用に関する検討	… (一社)セメント協会 セメント化学専門委員会
06	土木学会「2022年制定コンクリート標準示方書」の概要	… 二羽 淳一郎ほか
16	品川駅改良・品川駅周辺開発プロジェクトおよび関連するコンクリート構造物	… 檜垣 敬真ほか
22	ずいそう インドカレーの作り方	… 玉井 真一
24	壁高欄と床版に膨張コンクリートを用いた実大規模の実験と試設計	… 神頭 峰磯ほか
32	生コンクリート製造工程検査の自動化に関する取り組み	… 村上 利憲ほか
42	セメスタグラム／コンクリートに魅せられて 東京都慰霊堂	
44	各種セメント硬化体の炭酸化反応によるCO ₂ 吸収と生成物の変化	… 梅津 真見子ほか
50	モルタルの物性変化に及ぼす化学混和剤への熱刺激効果に関する研究	… 瀧川 瑞季ほか
54	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 γ-C ₂ S	… 森 泰一郎ほか

15 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

61 外国雑誌の記事情報

63 EVENT GUIDE

65 セメント・データファイル

66 主要建設工事・資材統計

68 10月号予告



今月の表紙

駅改良と周辺開発の進む品川 [東京
都／提供：東日本旅客鉄道(株)]

JIS R 5202 セメントの化学分析方法への ICP 発光分光分析の適用に関する検討

(一社)セメント協会 セメント化学専門委員会

1. はじめに

ICP 発光分光分析は、セメント分野での利用実績としては、セメント協会標準試験方法JCAS I-14(セメント製造用原料の化学分析方法)とJCAS I-53(セメント中の微量成分の定量方法)で分析方法の一つとして規定されており、利用されている。

セメント化学専門委員会では、2018年に実施したJISの定期見直し調査のためのアンケートにおいて、JIS R 5202へのICP 発光分光分析の適用に関して要望があったことから、ICP 発光分光分析による定量方法について検討を行った。なお、検討した定量方法の妥当性を確認するため、複数の試験所による共同試験を実施した。今回、それらの結果を取り纏め、セメント化学専門委員会報告C-13(JIS R 5202 セメントの化学分析方法へのICP 発光分光分析の適用に関する検討)として発行したことから、本稿ではその概要を報告する。

Study on application of ICP atomic emission spectroscopy for chemical analysis of cements
by The Technical Committee on Cement Chemistry

セメント化学専門委員会

委員長	高橋智彦	[UBE三菱セメント(株)]
委員	堀田卓秀	[(株)トクヤマ]
	細川佳史	[太平洋セメント(株)]
	安藤克美	[デンカ(株)]
	金井謙介	[住友大阪セメント(株)]
事務局	早川友幸, 水野哲成	[(一社)セメント協会]

2. 実験方法

JIS R 5202に規定されている化学成分のうち、酸化アルミニウム、酸化鉄(III)、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、三酸化硫黄、酸化ナトリウム、酸化カリウム、酸化チタン(IV)、酸化りん(V)および酸化マンガ(II)の10成分について検討を行った。

定量方法は、JIS R 5202:2015への追加となることから、従来の吸光光度法やフレイム原子吸光法で適用されている「検量線法」とした。検量線の作成に用いる検量線溶液のマトリックス(カルシウム)の影響について確認した結果、カルシウム濃度の調整の有無で得られる発光強度に差が認められたため、カルシウムおよび酸の濃度を試料溶液に合わせて検量線溶液を調製した。なお、カルシウムの濃度は、試料の酸化カルシウム含有率を60%(普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の間程度)と仮定したときに相当する濃度とした。また、希釈した試料溶液を測定に用いる場合は、検量線溶液のマトリックスは希釈した試料溶液に合わせることにした。

検量線の濃度は、セメントの常識(セメント協会編)に記載されているセメントの化学分析結果の例などを参考に、なるべく試料溶液を希釈せずに測定ができるように考慮して検量線の範囲を決定した。

定量値の確認には、セメント協会で頒布している、化学分析用セメント標準物質211Sおよび蛍光X線分

表1 測定が可能と判断した主な測定波長と検量線の範囲

化学成分	試料溶液			主な測定波長 [nm]	検量線の範囲 [mg/L]
	種類	希釈	希釈倍率		
Al ₂ O ₃	(A)	無	---	236.705, 394.401	0 ~ 250
	(A)	有	5 倍, 10 倍	237.312, 394.401	0 ~ 50
Fe ₂ O ₃	(A)	無	---	218.719	0 ~ 200
	(A)	有	10 倍	234.349, 259.940	0 ~ 20
MgO	(A)	無	---	202.582	0 ~ 200
	(A)	有	10 倍	202.582, 279.806	0 ~ 20
Na ₂ O	(A)	無	---	568.820, 818.326	0 ~ 20
K ₂ O	(A)	無	---	769.896	0 ~ 20
	(A)	有	10 倍	766.490, 769.896	0 ~ 2
TiO ₂	(F)	無	---	323.904, 338.376	0 ~ 30
P ₂ O ₅	(A)	無	---	213.618	0 ~ 30
MnO	(A)	無	---	257.610, 294.920	0 ~ 20

※試料溶液の種類は、JIS R 5202 の分析に用いる試料溶液(A)または試料溶液(F)を示す

析用認証標準物質CRM-2(酸化マグネシウムのみ)を用いた。測定に用いる試料溶液は現行のJIS R 5202の規定に従って調製を行った。

測定の観測方向はアキシアル測光(軸方向)とし、各化学成分について複数の波長の測定を行い、検量線の直線性および定量値の確認を行った。

3. 実験結果

検量線の直線性および標準物質の標準値と検量線から求めた定量値との差を確認した結果、酸化アルミニウム、酸化鉄(III)、酸化マグネシウム、酸化ナトリウム、酸化カリウム、酸化チタン(IV)、酸化りん(V)および酸化マンガ(II)の8成分にICP 発光分光分析法が適用できると判断した。なお、酸化カルシウムは含有率の高い化学成分であることから、試料溶液の希釈倍率を大きくしなければならず、定量値のばらつきが大きいため適用は難しいと判断した。また、三酸化硫黄は標準値に対して定量値が低くなる傾向が認められたため、検量線法による定量方法の適用は難しいと判断した。

実験結果から測定が可能と判断した主な測定波長と検量線の範囲を表1に示す。

4. 共同試験

3.で示した、ICP 発光分光分析が適用可能であると判断した8つの化学成分について、6試験所で共同試験を行った。

試料は211S(普通ポルトランドセメント)およびCRM-2(高炉セメントB種)を用いた。なお、CRM-2の認証値は強熱試料に対する値のため、見掛けの強熱減量を用いて未強熱試料に対する値を計算し、比較を行った。

共同試験の結果を表2, 3に示す。なお、表に示す値は併行2回の試験の平均値である。各試験所が測定に用いた波長、試料溶液の希釈倍率は報告書に記載している。

共同試験の結果、酸化鉄(III)、酸化マグネシウム、酸化ナトリウム、酸化カリウム、酸化チタン(IV)、酸化りん(V)および酸化マンガ(II)の7成分については、

表2 普通ポルトランドセメント(211S)の共同試験結果

[単位：％]

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
標準値	5.53	2.51	1.26	0.27	0.40	0.30	0.14	0.05
A	5.44	2.51	1.26	0.25	0.40	0.29	0.13	0.05
B	5.48	2.49	1.24	0.27	0.40	0.29	0.13	0.05
C	5.44	2.52	1.27	0.27	0.40	0.29	0.13	0.05
D	5.37	2.53	1.30	0.28	0.38	0.31	0.14	0.05
E	5.60	2.54	1.28	0.29	0.42	0.30	0.14	0.06
G	5.51	2.49	1.25	0.27	0.40	0.29	0.13	0.05
平均	5.47	2.51	1.27	0.27	0.40	0.30	0.13	0.05
標準偏差	0.078	0.021	0.022	0.013	0.013	0.008	0.005	0.004
最大	5.60	2.54	1.30	0.29	0.42	0.31	0.14	0.06
最小	5.37	2.49	1.24	0.25	0.38	0.29	0.13	0.05
範囲	0.23	0.05	0.06	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01

※Al₂O₃の標準値は試料中の酸化亜鉛の含有率で補正した値

表3 高炉セメントB種(CRM-2)の共同試験結果

[単位：％]

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
認証値	8.90	2.07	3.04	0.23	0.31	0.50	0.07	0.15
A	8.57	2.04	2.99	0.21	0.32	0.48	0.07	0.15
B	8.76	2.01	2.99	0.23	0.32	0.49	0.07	0.14
C	8.67	2.07	3.04	0.23	0.32	0.49	0.07	0.15
D	8.57	2.06	3.14	0.24	0.30	0.53	0.08	0.16
E	9.00	2.10	3.08	0.24	0.35	0.52	0.07	0.16
G	8.77	2.03	3.02	0.24	0.32	0.49	0.07	0.15
平均	8.72	2.05	3.04	0.23	0.32	0.50	0.07	0.15
標準偏差	0.161	0.032	0.058	0.012	0.016	0.020	0.004	0.008
最大	9.00	2.10	3.14	0.24	0.35	0.53	0.08	0.16
最小	8.57	2.01	2.99	0.21	0.30	0.48	0.07	0.14
範囲	0.43	0.09	0.15	0.03	0.05	0.05	0.01	0.02

※認証値は見掛けの強熱減量(0.47％)で補正した値

試験所間の定量値のばらつきは小さく、ICP発光分光分析を適用できることを確認した。ただし、酸化アルミニウムについては、試験所間の定量値のばらつきが大きいことから、今回検討した検量線法によるICP発光分光分析を適用することは難しいと判断した。

5. 混合標準液

4.で示した、ICP発光分光分析が適用可能と判断した化学成分のうち、同じ試料溶液を用いる酸化鉄(Ⅲ)、酸化マグネシウム、酸化ナトリウム、酸化カリウムおよび酸化マンガン(Ⅱ)について、混合標準液の適

用が可能か検討を行った。この5成分は、現在、フレーム原子吸光法による定量方法が規定されており、これらの標準液を適宜、組み合わせて混合標準液を調製してもよいことになっている。なお、酸化りん(V)については、JIS R 5202ではりん酸二水素カリウムから標準液を調製する方法が規定されており、市販の標準液にもカリウム塩、ナトリウム塩を用いたものがある。それらのカリウム、ナトリウムの濃度は保証されていないため、検討の対象としなかった。

標準液は10倍希釈した試料溶液を測定することを想定し、各化学成分の濃度を決定した。なお、標準液のマトリックスは、カルシウムおよび酸の濃度を10倍希釈した試料溶液に合わせて調製した。

測定は化学成分ごとに調製した標準液を用いた検討と同じ条件で行い、定量値の確認を行った。定量値の確認には211Sを用いた。

211Sの標準値と検量線から求めた定量値との差を確

認した結果、酸化鉄(Ⅲ)、酸化マグネシウム、酸化ナトリウム、酸化カリウム、および酸化マンガン(Ⅱ)の5成分について混合標準液を適用できることを確認した。

6. おわりに

本稿では、JIS R 5202へのICP発光分光分析の適用に関する検討結果について概説した。本稿の詳細な検討結果については、セメント協会のホームページ(https://www.jcassoc.or.jp/kenkyuujo/04_shikenkenkyu/0403_iin_kaihoukoku.html)で報告書が公開されているので参照されたい。

今回の検討結果を踏まえ、酸化鉄(Ⅲ)、酸化マグネシウム、酸化ナトリウム、酸化カリウム、酸化チタン(Ⅳ)、酸化りん(V)および酸化マンガン(Ⅱ)の7成分に対して、ICP発光分光分析を新たに採用し、今年度、JIS R 5202を改正する予定である。

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。

sementokai@jcassoc.or.jp 一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



土木学会 「2022年制定コンクリート標準示方書」の概要

Overview of the Revision of the JSCE Standard Specifications for Concrete Structures 2022

二羽 淳一郎 丸屋 剛 石田 哲也 濱田 秀則 中村 光 小林 孝一

1. はじめに

これまで、コンクリート標準示方書は5年毎に改訂されてきた。前回の制定版から5年が経過したことから、コンクリート標準示方書の改訂に着手した。2019年7月に、コンクリート委員会(委員長：下村匠教授(当時))に設置された示方書改訂小委員会では、運営部会と、改訂を行う5編をそれぞれ担当する5つの部会を設置し、改訂作業を開始した。先行して、基本原則編、設計編、維持管理編の3編を刊行し、その後半年時期をずらして、施工編とダムコンクリート編を刊行することとした。

前回の改訂で持ち越しになった事項や、その後の研究や技術の発展を考慮することに加えて、今回の改訂では、新設されるコンクリート構造物だけでなく、改築も視野に入れた内容を充実させることとした。社会

状況の変化にともなって、コンクリート構造物が新設されるだけでなく、適切な維持管理を行いつつ、様々な理由から改築される事例が増加していくことが予想されたためである。本稿では、基本原則編、設計編、維持管理編の概要を紹介する。

2. 基本原則編の概要

コンクリート標準示方書の全体像と基本的な考え方を明確に示す新たな編として、2012年に[基本原則編]が制定された。その内容は、コンクリート構造物に期待される役割と性能、その実現に向けたコンクリート標準示方書の役割、さらに、コンクリートに携わる技術者の役割と責任等を中心に記述している。

2017年のコンクリート標準示方書の改訂では、[基本原則編]の本質部分は不変であるべきこと、また上

記の課題に関する議論の蓄積が十分でないことから改訂は見送られた。今回の改訂では、[2012年制定 基本原則編]に記述されているコンクリート構造物およびコンクリート標準示方書の目的と役割、コンクリート標準示方書の体系と各編の関係、コンクリート構造物が有すべき性能を確保するための仕組み、コンクリート技術者が果たすべき役割・責任・権限、持続的発展を可能とする社会構築に向けたコンクリート構造物の建設における「環境」への考え方等は、変更せず維持することを基本とし、社会や人々の暮らしの変化や関連する最新情報を踏まえて改訂を進めた。

2-1. 「1章 総則」の概要

今回、構造物の所有者や管理者が設定する「設計供用期間」において、構造物の「設計耐用期間」を設定する枠組みを明確にした。構造物の重要度や利用状況によっては供用を停止するという事例もあり、構造物の寿命に関わる設計耐用期間とは別に、構造物が所定の機能を維持することを期待する期間としての設計供用期間が必要になったことが背景にある。

構造物に対して社会から要求される目的について、機能および要求性能を設定したうえで、設計耐用期間において適切に性能評価を行い、必要に応じて対策を行うことで、構造物を使い続けることを基本原則として示した。性能評価では、新設、既設によらず全ての構造物に対して、任意の時点での余裕の程度を明らかにできる枠組みを構築していくことが重要であることを明記した。

2-2. 「2章 コンクリート構造物の性能確保」の概要

従来までは安全性、使用性、復旧性等が主体であったが、新たに持続可能性に関する性能を規定し、必要に応じて社会的側面、環境的側面、経済的側面で社会の要求を満足させることとした。

性能評価に当たっては工学的な指標によって行うことを原則とした。新設構造物の場合には、設計限界値と設計応答値との比較により、既設構造物の場合に

は、管理限界に対して保有する性能を求めることにより性能評価を行うことを基本としつつも、評価に際して必要となる評価式は、設計段階や維持管理段階において適切に設定することとした。

2-3. 「3章 コンクリート構造物の性能確保のための情報伝達」の概要

コンクリート構造物の性能を確保した状態で供用するためには、設計段階、施工段階だけでなく維持管理段階でも必要な情報を取得し、これらの情報を供用期間にわたって適切に伝達することが重要である。従来は情報伝達として設計段階と施工段階を対象とした記述であったが、今回、維持管理段階を対象とした記述を追加した。これは、設計、施工、維持管理段階の一連の情報伝達をシームレスに行い、供用時に有益な情報として活用することや、新設構造物から既設構造物までの性能確保を統一的な手法により行うことを意識したためである。また、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling)等の情報伝達ツールの活用を積極的に行うことを示した。

2-4. 「4章 コンクリート構造物に携わる技術者の役割」の概要

今回の改訂では、契約と密接に関連する責任技術者は「土木構造物共通示方書」に委ねることとし、コンクリート構造物に携わる技術者について、求められる能力と役割について見直しを行った。

コンクリート構造物の計画、建設および管理の各段階において、必要な素養を有する者として、技術者/Engineer、専門家/Specialist、技能者/Technicianを設定した。技術者は各専門家と各技能者の中心に位置し、計画の決定と実施を総括する責任者である。計画段階では、各専門家が専門知識を提供し、技術者がそれらを統合して計画を決定する。一方、決定した計画を実施するのは技能者の役割であり、計画実施能力のある多種類の技能者を束ね、計画を完遂するのが技術者の役割となる(図1)。



にわ じゅんいちろう / NIWA Junichiro
(株)高速道路総合技術研究所
フェロー 工学博士



まるや つよし / MARUYA Tsuyoshi
大成建設(株)
エグゼクティブフェロー 博士(工学)



いしだ てつや / ISHIDA Tetsuya
東京大学
教授 博士(工学)



はまだ ひでのり / HAMADA Hidenori
九州大学
教授 博士(工学)



なかむら ひかる / NAKAMURA Hikaru
名古屋大学
教授 博士(工学)



こばやし こういち / KOBAYASHI Koichi
岐阜大学
教授 博士(工学)

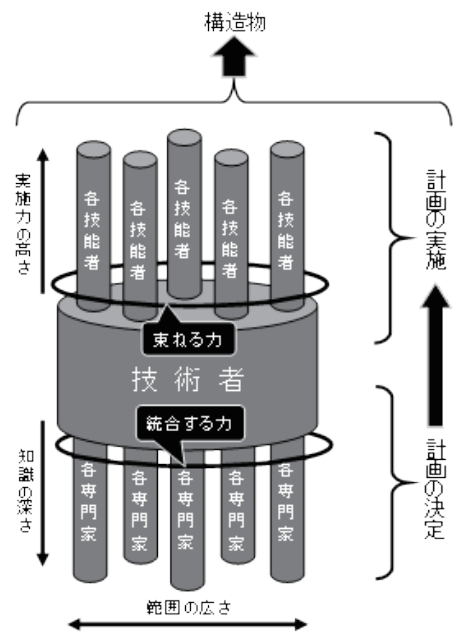


図1 技術者、専門家、技能者の位置づけ・素養・役割

コンクリート標準示方書は、土木構造物の設計、施工または維持管理の計画決定に際しての標準的な規定を各編の「標準」において述べたものであるが、多様な用途や自然条件への立地が想定される土木構造物においては、標準の条件を想定して定められている規定を絶対視することは、経済性等の観点から適切でない場合があり得る。したがって、そのような場合には、十分な知識と経験を有する技術者が「基本原則編」やその他の編の「本編」の趣旨を理解したうえで技術的判断を行い、コンクリート標準示方書の規定によらなくてもよいことを明記した。また、コンクリート標準示方書の記述は、設計、施工および維持管理の実施に必要な全知識を網羅したものではないため、コンクリート標準示方書の適用範囲外の事象に対応するためには、十分な知識と経験を有する責任者としての技術者が、当該分野の専門家の知識を踏まえ、技術的検討を行った上で計画を決定する必要があるとした。

3. 設計編の概要

「設計編」は、2017年制定版と同様に、コンクリート構造物に要求される性能、それらを満たす構造物を建

造するための構造計画、およびその設計・照査の基本を示している「本編」、これらの複数の要件を達成するための標準的な方策を技術の進展にあわせて具体的に提示している「標準」、および「本編」や「標準」を使用するにあたり参考となる事例や、改訂で新たに導入した技術事項に関連する事項などを示している「付属資料」で構成した。

今回の改訂では、既設構造物も適用範囲とする、偶発作用として地震動だけでなく、衝突や津波・洪水も対象とする、高強度鉄筋を含めた鉄筋強度の適用範囲を変更する、設計と施工・維持管理の連携をよりスムーズにする、技術の発展に伴う各編の技術内容を充実するなど、構造物に関わるさまざまな状況への対応に努めた。誌面の都合上、個別の内容を具体的に紹介することはできないので、主な改訂点を項目ごとに説明するとともに、今回の改訂で新たに設けた既設構造物にかかわる標準の内容について説明する。

3-1. 主な改訂項目

(1) 既設構造物への適用

新設構造物に加えて既設構造物も適用範囲とした。適用範囲を拡張するにあたり、「本編」に既設構造物に関連する用語である補修・補強・改築の定義を加えるとともに、既設構造物に適用する場合の配慮事項を追記した。さらに、「標準」に「12編 既設構造物の性能評価と補修、補強、改築設計の基本」を新設した。「付属資料」には、標準12編に基づく既設構造物の改築設計例を示した。

(2) 地震動以外の偶発作用の考慮と偶発作用全般を扱う照査体系の構築

2011年東北地方太平洋沖地震の津波や令和2年7月豪雨によるコンクリート構造物の被害などに鑑み、地震動以外の偶発作用を考慮するため、これまでの耐震設計および耐震性に関する照査の枠組みを拡張した。具体的には、レベル2地震動に加え、津波や洪水、衝突を偶発作用と定義し、それらに対する性能照査を可能にする体系を提示した。これにより2017年

制定の「標準」「5編 耐震設計および耐震性に関する照査」を「5編 偶発作用に対する計画、設計および照査」に改めている。あわせて、「本編」「6章 作用」に衝突荷重を、「11章 復旧性の照査」に衝突および津波・洪水に関する記述を加えた。また、断層変位についても、作用のモデル化や応答値の算定の考え方を付属資料で示した。

(3) JIS規格「鉄筋コンクリート用棒鋼」の改正への対応

鉄筋コンクリートに用いられる棒鋼のJIS規格が2020年に改正され、従来よりも高強度の鉄筋が含まれるようになった。改正されたJIS規格を満たした鉄筋を使用できるように、「標準」「7編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目」をはじめ、関連する箇所での記述の記載方法を適宜変更した。例えば、鋼材は引張降伏強度の特性値が685N/mm²までとし、ただし、せん断補強鉄筋の場合は785N/mm²までの鋼材を適用範囲とするなど、照査式の適用範囲に応じて、鉄筋の強度範囲を適宜記載する形とした。また、鉄筋の曲げ内半径では、スターラップおよび帯鉄筋に対しては、SD785Rまでの条件を追加した。

(4) 設計と施工の連携、施工への情報伝達

コンクリート標準示方書では、設計段階で設定した材料の特性値を設計図に記載し、施工段階へ情報を伝達することで、その特性値を満足するコンクリートなどの品質を施工時に確保する体系としている。今回は、施工において守らなければならない条件とする項目と変更が可能である参考値とする項目を区別し、設計の意図を施工の技術者等に伝達することの重要性を「本編」「4章 4.8 設計図」に明記した。なお、セメントの種類と最大水セメント比を条件とする場合には、これらをコンクリートの特性値の代替指標として扱ってよいとした。また、「付属資料」「2編 設計図に記載する設計条件表の記載項目の例」でコンクリートの記載項目を特性値、配合条件、参考値に区別した例を示した。

(5) プレキャストコンクリートの内容の充実

2017年版で「標準」に9編プレキャストコンクリートが

新設された。2021年にコンクリートライブラリー 158:「プレキャストコンクリートを用いた構造物の構造計画・設計・製造・施工・維持管理指針(案)」が発刊されたことを受け、編の内容を充実させた。具体的には、プレキャストコンクリートの製造、貯蔵、運搬過程での留意点を精査し、項目の追加を行った。また各種の接合方法の整理を行うとともに、可とう性接合のような場合にも対応できるように拡充を行った。一方、従来から記載されていた「プレキャストコンクリートの最小かぶりの表」を削除した。なお、コンクリート標準示方書が主に対象とするものが、柱、はり、スラブのような比較的大型の部材から構成される構造物であることを明記するとともに、蒸気養生を行った場合に物性値に関して留意することの必要性をコンクリート標準示方書全般にわたって記載した。

(6) 特性値と材料物性の設計値の意味の明確化

「本編」「5章 材料」で、設計値の節に先立ち新たに特性値の節を設けて、特性値と材料物性の設計値の関係を理解しやすいように記述の追加を行った。材料物性の特性値では、用語の定義を一部修正し、試験値がそれを望ましくない側に下回るだけではなく、対象にとっては上回る場合の確率も考慮して設定することとした。また、コンクリート強度の特性値に関して、試験値がコンクリートの圧縮強度の特性値を下回る確率は5%と想定すること、JIS A 5308に適合するレディーミクストコンクリートを用いる場合には、使用するレディーミクストコンクリートの呼び強度の強度値を圧縮強度の特性値 f_{ck} もしくはそれ以上とすることを原則とすることを条文に明記した。

(7) 耐久設計および耐久性に関する照査で用いる安全係数の導入

耐久設計および耐久性に関する照査で用いる安全係数について、「標準」「2編 耐久設計および耐久性に関する照査」の「2章 耐久設計の基本」で、構造物係数 γ_i 、設計応答値の不確実性を考慮した安全係数 $(\gamma_w, \gamma_{cb}$ あるいは $\gamma_{cl})$ 、コンクリートの材料係数 γ_c 、特性値の設定に関する安全係数 γ_k 、材料物性の予測値

の精度を考慮する安全係数 γ_p の位置付けを明確にするとともに、「標準2編 3章 耐久性に関する照査」において、事象ごとの安全係数の扱いが統一になるように整理した。また、特性値の設定に関する安全係数 γ_k では、材料物性がばらつきにより特性値を望ましくない側に外れる確率として50%以外の値を設定することを可能とした。

(8) 塩化物イオン拡散係数の時間依存性の考慮
コンクリートの塩化物イオン拡散係数は時間の経過とともに減少するという知見が示されている。この知見に鑑み、[標準]「2編 耐久設計および耐久性に関する照査」「3章 耐久性に関する照査」の「3.1.4塩害環境下における鋼材腐食に対する照査」にて、設計耐用年数に応じた見掛けの拡散係数を算出する式を新たに提案し、より合理的な設計が可能となるように改訂した。また、試験方法(環境条件)によるデータの中央値の差を、安全係数を用いて考慮できるようにした。

(9) 温度ひび割れに対する照査内容の修正
セメントの水和に起因するひび割れに係する[本編]「12章 初期ひび割れに対する照査」ならびに[標準]「6編 温度ひび割れに対する照査」の記述内容の修正を行った。温度応力解析によって照査を行う場合に加えて、既往の実績に基づく照査に関する記述を拡充した。また、温度応力解析を行う場合の内容に関しては、ひび割れ発生確率を再定義し正規分布に従うとした場合の式を提示し、変動係数を考慮できるように変更した。構造物中のコンクリートの引張強度は、圧縮強度からの割裂引張強度の推定式をコンクリートの材料係数で除して算出することとし理論的な根拠が明確なものに修正した。加えて、圧縮強度発現式に高炉セメントC種を追加、有効ヤング係数の材料係数に関する考え方の追記等を行った。

(10) 生産性向上を目指した構造細目の修正
[標準]「7編 鉄筋コンクリートの前提」では、コンクリートライブラリー No.148「コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案」に記載されている提案のうち、前回改訂で対応できていない項目

に関する対応や(3)で述べた異形鉄筋のJIS改正に伴う対応を行った。生産性向上に資する内容では、面部材でのスターラップおよびせん断補強鋼材の配置に関して、壁やカルバートの頂版、底版における配力鉄筋を拘束するようにせん断補強鉄筋を配置する例やスターラップの配置例を示した。ラーメン構造の接合部に関しては、これまでの規定に加え、接合部の破壊の照査に関する記述を追加した。機械式定着に関しては、積極利用を促すために、機械式定着に関する規定をまとめて使いやすいようにするとともに、鉄筋定着・継手指針[2020年版]を参考に、定着体が標準フックと同等以上の特性を有することを確認することで標準フックの代替として扱い、定着部を含む構造物の性能照査を行う方法を適用した。さらに、将来的な構造細目の性能規定化に向けて、鉄筋に関する細目の確認方法として、微細要素を用いた構造解析を追記した。

(11) 付属資料の改訂
[付属資料]では、[本編]や[標準]での偶発作用や既設構造物に関する内容の追加に伴い、「3編 断層変位に対する照査」、「8編 改築設計例」を新設した。また、「4編 構造種別とコンクリートの品質の参考例」では設計と施工・維持管理の連携の観点から、設計段階で配慮すべき事項や施工への情報伝達に関する記述を充実し、スランブを大きくするのがよい場合の構造条件の目安や海洋コンクリートに関する記載を追加した。

3-2. [標準]「12編 既設構造物の性能評価と補修、補強、改築設計の基本」の概要

従来の設計編は、構造物を新設する際の設計について規定されており、既設構造物の性能評価、補修や補強などの対策については、維持管理編にて規定されていた。しかしながら、既設構造物を長寿命化するためには、構造物としての性能評価結果に基づき、適切な対策を行うことが求められる。また、既設構造物の目的や機能を変更しながら使用を継続する改築例も多くなっている。

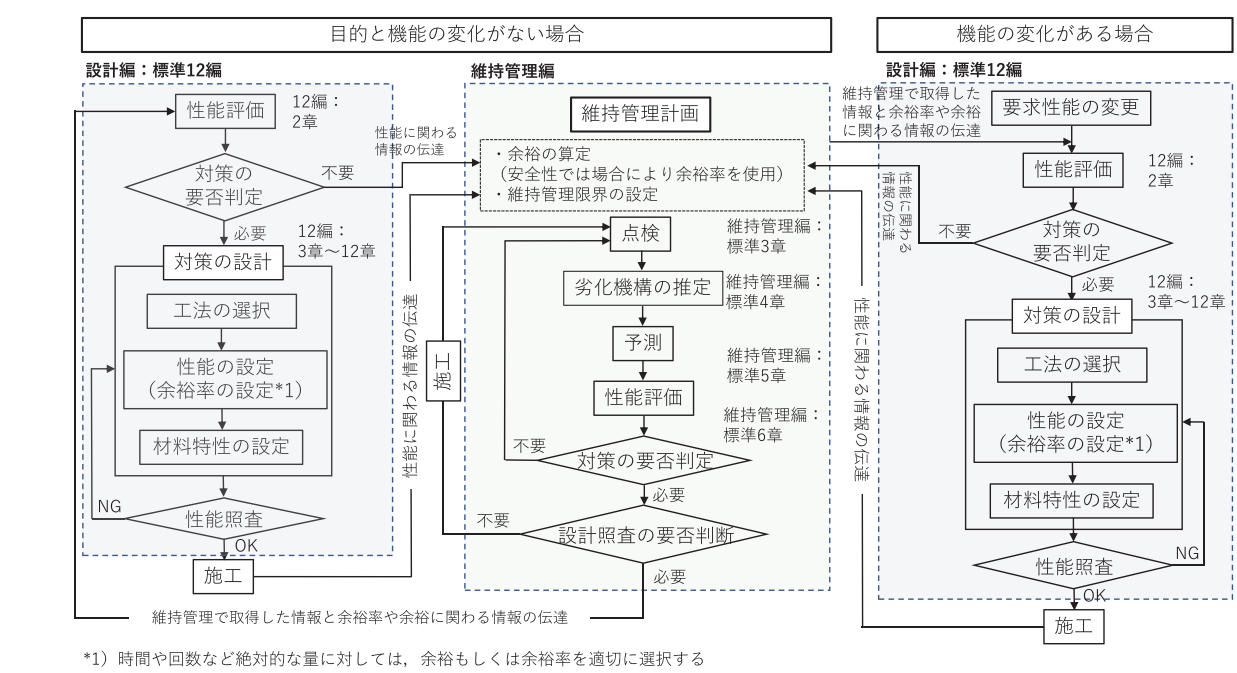


図2 既設構造物の評価、補修、改築フロー

このような状況に鑑み、設計編に既設構造物の性能照査を組み込み、新設構造物の設計と既設構造物の評価をシームレスに結び付けられるようにすることを目的として、設計編の中に既設構造物の性能評価や補修、補強設計に関する標準を新設した。

編の構成は、本編と同様とし、新設設計と異なる扱いとなる既設構造物の性能評価や補修、補強、改築設計を行う場合の考え方を主に記載している。なお、具体的な照査方法の記載はしていない。これは、既設構造物の設計・施工時期はそれぞれで異なるため、構造細目などの詳細がまちまちであること、材料の劣化の程度や構造物の状態は多種多様であること、また、補修、補強には様々な工法が提案・開発されていることから、個別具体的な手法を全て網羅することが困難であったためである。

図2に維持管理編と設計編の役割と関係を明確にした既設構造物の評価、補修、改築フローを示す。維持管理段階で構造物の目的、機能、要求性能の変化が無い場合(補修・補強)は、この編の基本的な考え方に基づく[維持管理編:標準]6章に従い性能評価が行われる。維持管理における性能評価の結果、対策が必要と判断され、かつ、補修設計と補強

設計に設計照査が求められる場合には、この編に従い、維持管理から伝達される性能に関わる情報を活用し、既設構造物の性能評価、さらには、想定する工法に必要な情報を調査等により入手し、目標とする余裕率を設定した上で、対策後の構造物の性能照査を行う。対策後は、設計時に設定した性能に関する情報を維持管理側に伝達し、[維持管理編]に従った管理を行うことになる。構造物の機能の変化がある場合(改築)には、一般的に、部材を新設する等の規模の大きな変更が加えられることから、どのような場合であっても、この編に基づき、対策前の構造物の性能評価、ならびに、対策後の構造物の設計と性能の照査を行い、性能に関する情報を維持管理側に伝達することとした。

4. 維持管理編の概要

コンクリート標準示方書の1分冊として、[維持管理編]が2001年に初めて制定された。これは土木コンクリート構造物の維持管理における嚆矢であったと言える。維持管理区分、点検の流れ、劣化予測および評価判定、対策といった維持管理に関する基本的な考

え方やプロセスが初めて提示，整理された。以来，改訂は今回で4度目となるが，その時点での最先端の内容を取り込みながらも，常に〔維持管理編〕の読者は維持管理に関わる実務者が主たる読者であることを意識した改訂がなされてきた。今回も〔維持管理編〕の内容のさらなる定着も意識しつつ，以下に示すような改訂を行った。

4-1. 定期の診断の位置付けの見直し

コンクリート構造物は決してメンテナンスフリーではなく，日常点検と定期点検を実施し，その結果をもとに劣化機構の推定，予測，性能評価までの一連の行為を行う「定期の診断」を適切に実行することが極めて重要であることは，論を俟たない。一方，ここに列挙した行為にはさまざまなレベルのものが存在する。点検には目視のみで行うものから最先端の機器を用いるものまで存在し，性能評価にもあらかじめ定められたマニュアル等と外観の変状とを照らし合わせて簡易的に行うものから，大量のデータを非線形数値解析のインプット情報とするものまで，さまざまである。今回の改訂では，実務上の定期の診断の実態に鑑みて，定期の診断はルーチンワークであり，その主目的は構造物があるべき状態，もしくは予測した状態にあるか否かをチェックすることである，と定義した。一次スクリーニングと言い換えてもよい。ただし，それは必ずしも目視による調査で得られた外観変状の状況のみから実施するとは限らない。例えば維持管理限界を鉄筋発錆とする場合には，それ以前には外観に変状は認められない。その場合には，維持管理計画内にて実施を予定する標準調査の項目として，かぶりコンクリート中の塩化物イオン濃度の分布を調査すること等が必要である。

2018年版までの〔維持管理編〕では，標準調査の結果を用いて性能評価（2018年版までは単に「評価」）を行った結果，構造物に変状が確認され，劣化機構の推定や予測，評価および判定のためにより詳細な情報が必要と判断された場合には，引き続き定期の診断の一環として詳細調査を追加で実施することとしてい

た。一方，今回の改訂では，定期の診断の目的を上記のように変更した。日常点検や定期点検により確認された変状の程度が想定以上であったり，原因が不明であったりして，さらなる調査が必要となる場合は必ず生じる。維持管理の実務上では，点検から得られる情報が不十分であると判断された場合には，新たに予算措置を講じた上で，機会を改めて点検を実施するはずである。そのため，このような場合には定期の診断は終了し，改めて臨時の診断を実施することとした。臨時の診断は，これまでは災害や事故が発生した場合に実施されていたが，それに加え，このように維持管理計画内で想定していたものと異なる変状が生じた場合にも実施することとした。臨時の診断を実施する理由が2つ存在することになるが，いずれが理由であっても実施する行為には違いがないため，両者を臨時の診断として統合することとした。

4-2. 初期の診断と維持管理計画の策定

上述のように，定期の診断の目的を見直したため，そこで行われる判定のための基準として「事前に予測した構造物の状態」が必要となる。であれば，構造物の供用開始時点での構造物の状態を初期値として把握した上で，あらかじめ構造物の状態の経時的な変化を想定し，さらには，その変化を適切に把握するための方法を定めておくことが，極めて重要となる。そのため，維持管理計画に関する事項について大幅に加筆を行った。

4-3. 性能評価

過去2回の改訂では，構造物の性能評価に関する記述の充実化を図ってきた。これは今回の改訂でも同様で，設計編部会との連携を密に行いながら改訂作業を行った。なお，前述した臨時の診断の可否の判定を行うためにも，性能評価は必要である。一方，構造物を新設する設計の際に用いる評価式による性能評価，あるいは非線形有限要素解析を用いた性能評価も手法として存在する。すなわち，性能評価には様々

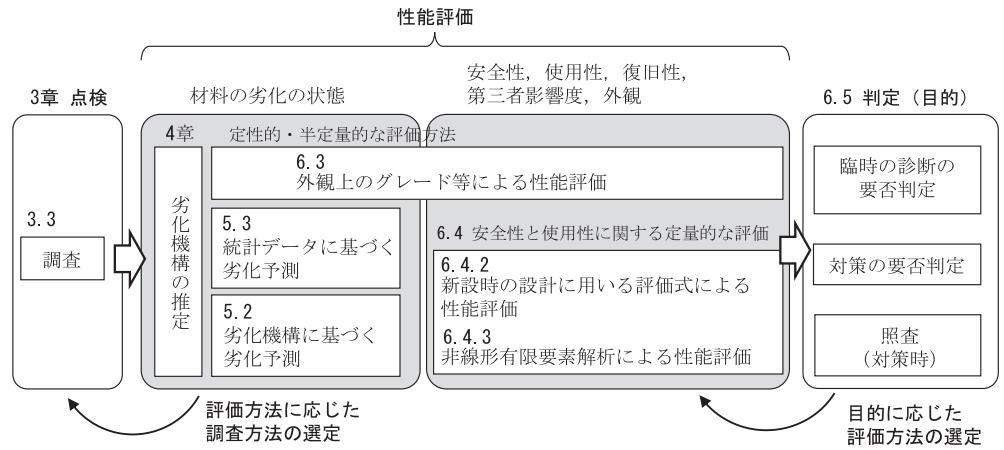


図3 性能評価の目的と性能評価および点検の相互関係

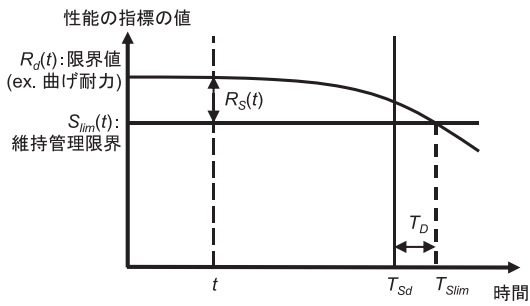


図4 安全性の評価における対策が必要となるまでの年数と設計耐用期間の関係

なレベルのものが存在するが（図3），可能な限り定量的に評価するということが必ずしも最善ではなく，目的に応じて性能評価の方法を適切に選定し，それらを使い分ける必要がある。そのため，条文レベルで各手法の留意点を記すこととした。

また，構造物を維持管理する目的は，その構造物が設計耐用期間にわたって必要な機能，求められる性能を保持するようにすることである。そのための基本的な考え方を，〔標準附属書〕2編「既設構造物の性能の確保」として新たに書き起こした。維持管理計画の策定から対策の設計までにおいて参考とできるよう，〔標準〕の条文としては記述が難しいものを取りまとめたものである。図4は〔標準〕にも掲載されたものだが，安全性の余裕 $R_s(t)$ ，および，性能確保における時間に対する余裕，すなわち耐久性に関する余裕である T_D の定義を説明している。

なお，2018年版で補強の設計から維持管理までを記していた「要求性能レベルの変更」の章は，〔設計編：標準〕12編の新設に伴い，削除した。

4-4. 〔標準附属書〕1編「劣化機構」

大きな変更点は，以下の3つである。

(1) 2章「作用」の新設

これまで〔標準〕の各章に分散していた各種作用，とりわけ水の作用に関する記述を集約することにより，作用の把握が劣化機構の推定や劣化機構を踏まえた維持管理の実施にとって重要であることを明示した。作用は劣化機構そのものではないが，劣化機構の解明，点検箇所で見つかるべき箇所の選定，対策方法の選定等，維持管理の多くの場面で役立つため，〔標準附属書〕1編の中に2章として配置している。

この章の後半では，2.3.2「水の作用」として，水の作用に関する共通事項を集約している。水の作用はコンクリート構造物の複数の劣化機構に関わり，かつ劣化への影響の程度も大きいことから，コンクリート構造物の維持管理では水の作用に着目することが重要である。2018年版では水に関する記述が各所に分散していたため，今回の改訂では水の作用について取り纏める2.3.2を設け，その重要性を伝えるとともに，読者に

読みやすくなるようにした。

(2) 3章「中性化および水の浸透に伴う鋼材腐食」
従来の「中性化」を改題した。2017年版[設計編]から中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食を照査するという考え方が取り入れられ、2018年版[維持管理編]でも、水の供給状態を考慮して発錆限界となる中性化残りの大きさを与えていたが、今回の改訂ではさらに中性化の進行に加えて水の浸透を加味した劣化予測式を提示した。具体的には鋼材腐食の進行予測、腐食ひび割れの発生予測、剥離・剥落の発生予測をする式であり、いずれも点検により得られたかぶり、中性化深さ、水の浸透速度、水掛かりの状況等の情報を必要とする。またこれらの式の提示は、剥離・剥落といった現象の発生を許容するメッセージと捉えられるのではなく、劣化リスクのおおよその状況を知るために活用されることを意図している。

(3) 10章「複合劣化」
実構造物では複数の劣化機構が複合することで、単独劣化の場合より劣化速度の加速や劣化程度の拡大事例が見られる。これに対応することは過去の改訂でも検討されてきたが、今回、初めて章として提示することができた。さまざまな劣化機構同士の組み合わせのうち、塩害と中性化、塩害と凍害、塩害とASR、

凍害とASRの4つを対象とし、複合劣化が生じた場合の構造物の維持管理に有用となる事項を紹介している。他の単独の劣化機構を取り扱った章については、[標準]とその章を組み合わせることによって一通りの維持管理サイクルが完結するようになっているが、この章では複合劣化特有の留意事項を抽出して、まとめて示すに留め、劣化機構が複合することで何が起こるのかを分かりやすく説明するため、時系列の劣化進行過程の代表例をフローチャートで示し、標準的な対策工法を表形式で示している。

4-5. その他

[標準]3章「点検」の後半に掲載されていた個別の調査項目についての記述を独立させ[標準附属書]3編「調査」を新たに設けた。そこには、同じく点検の章に掲載されていた目視による調査におけるひび割れ、鋼材腐食に関する留意事項も移設している。

また対策は、性能を意識した目的別に分類しなおした。[標準]のみならず、[標準附属書]内の対策に関する記述も全てこれに追従して修正している。

以上、誌面の都合上、改訂内容のごく一部しか解説できていないため、詳細はぜひ[維持管理編]および改訂資料を実際に手にとって確かめられたい。

英文パンフレット

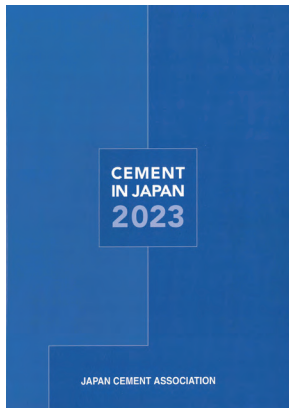
“CEMENT IN JAPAN 2023”をお頒けします

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



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

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

品川駅改良・品川駅周辺開発プロジェクト および関連するコンクリート構造物

The Development Project Surrounding Shinagawa Station and its Related Concrete Structures

檜垣 敬真 醍醐 宏治 谷野 良輔 佐々木 尚美

1. はじめに

品川駅は1872(明治5)年の鉄道開業(新橋～横浜駅間)とともに開業した歴史ある駅である。品川駅周辺では、明治末期から昭和にかけて海面の埋め立てが進み、さらなる鉄道整備等を経て、1945～1955年(昭和20～30年)頃には6代目品川駅および旧品川車両基地が概成したと言われている。品川車両基地は、かつては機関区や客車区など多数の現業機関を集積する車両基地だったが、寝台列車の需要低下等の社会情勢および運行体系の変化・設備老朽化等に伴い、車両基地全体の利用効率が低下していた。

そこで当社では、1992(平成4)年頃から品川駅を



写真1 品川構内の全景(2009年9月時点)

含む車両基地全体の見直し検討に着手し、輸送障害時の対応強化・車両基地設備の見直しによるスリム化を行うことで、将来の開発関連用地(約13ha)の創出を図ることとした。合わせて、山手線で約49年ぶりとなる新駅(高輪ゲートウェイ駅)の整備を進めることとした。

本稿では、品川駅改良・品川駅周辺開発プロジェクトおよび関連するコンクリート構造物について紹介する。

2. これまでの品川駅改良工事

2009年9月時点の品川構内の全景を写真1に示す。品川車両基地(約22ha)は、品川駅の北方に位置し、留置線群、田町車両センター合わせて87線、約1,000両の収容規模を誇る設備であった。本車両基地は、戦前より東海道線を中心とする車両の収容・検修



写真2 品川構内の全景(2020年3月時点)



図1 エキマチー体の53 Playable Park¹⁾

を担っていたが、設備の老朽化や旧来の客車時代に合わせた配線形となっていたため、利用効率が低下していた。将来の運行・車両体系に適した車両基地に改良するとともに、東北縦貫線(上野東京ライン)の東海道線乗り入れにあたり、輸送力調整機能として品川駅に折り返し設備を確保し、輸送障害時の対応を考慮した駅設備の改良を行うこととした。

2008年秋の旧品川車両基地の一部撤去工事着手以降、品川車両基地の再編(I期工事)、山手線・京浜東北線線路移設・新駅(高輪ゲートウェイ駅)整備・品川駅山手線外回り～京浜東北線(北行)同一ホーム化(II期工事)まで計8回の切換工事を経て、約13年をかけて、2021年12月に品川駅改良工事(I・II期)が完了した。

新駅(高輪ゲートウェイ)整備工事は、2016年9月に工事着手し、2020年3月に暫定開業した。2020年3月時点の品川構内の全景を写真2に示す。写真左上の白い上家が高輪ゲートウェイ駅である。現在はデッキ部分を施工しており、本格的な開業は、まちびらき・「TAKANAWA GATEWAY CITY」¹⁾の開業に合わせた2025年3月を予定している(図1)。



図2 まちづくりの骨格イメージ図⁴⁾

3. 品川駅周辺の基盤整備事業

品川駅周辺における各種インフラの整備は、「品川駅・田町駅周辺まちづくりガイドライン2020」²⁾、「品川駅 えきまちガイドライン」³⁾等に基づき進められている。これらのガイドラインに示されているまちづくりの方向性を具体化するため、品川駅北周辺地区まちづくりガイドライン運用委員会において、「品川駅北周辺地区まちづくりガイドライン2021」⁴⁾(以降、本ガイドラインと称す)を改定している。本ガイドラインの中では、「東西軸」「南北軸」「結節空間」の3つの「まちづくりの骨格」が定められている。

3-1. まちづくりの骨格

まちづくりの骨格イメージ図⁴⁾を図2に示す。まちづくりの骨格のうち1つ目の「東西軸」は、鉄道によって分断されていた東西方向を歩行者ネットワークや道路ネットワークで周辺地域と街をつなぐものである。当社では、高輪ゲートウェイ駅と芝浦水再生センター地区を結ぶ東西の歩行者ネットワークとして、「新駅東側連絡通路(鋼製橋りょう)」の新設工事を進めている。



ひがき ゆきまさ / HIGAKI Yukimasa
東日本旅客鉄道(株)
東京建設プロジェクトマネジメントオフィス
企画戦略ユニット(開発調査)
指導係 修士(工学)



だいご こうじ / DAIGO Koji
同上
品川プロジェクトセンター
副長(チーフ) 修士(工学)



たにの りょうすけ / TANINO Ryosuke
同上
品川プロジェクトセンター
副長(チーフ) 修士(工学)



ささき なおみ / SASAKI Naomi
同上
品川プロジェクトセンター
マネージャー(総括) 博士(工学)

○現道重複部における工事（JR東日本在来線直下）

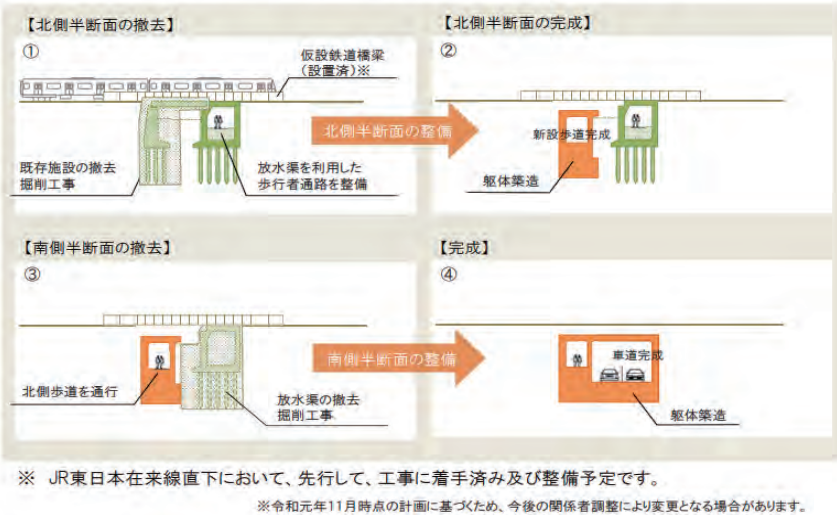


図3 第二東西連絡道路の概要断面図⁵⁾

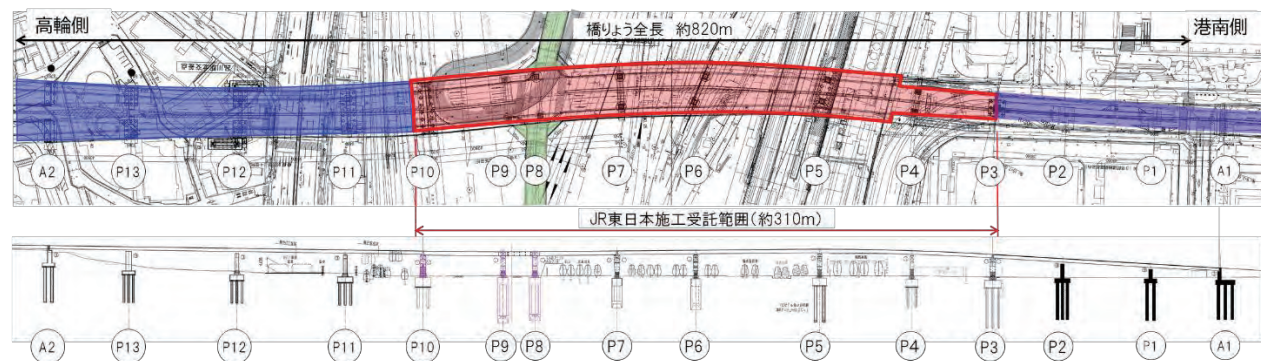


図4 環状第4号延伸部 橋りょう平面図・断面図

道路整備による東西のつながりとしては、高輪ゲートウェイ駅より北側は、現在の高輪橋架道橋下区道（通称：おぼけ道路、歩道・車道1線（車道は一方通行で、現在車両通行止））に代わる、歩道・車道2線の「第二東西連絡道路」をUR都市機構が施行する土地区画整理事業にて整備する。当社では、その一部を委託され施工している。「第二東西連絡道路（RCボックスカルバート）」の概要断面図⁵⁾を図3に示す。現在の歩行者通路を切り回しながら、歩道・道路を構築していく。高輪ゲートウェイ駅より南側は、国道15号（第一京浜）より港南側（海側）への環状第4号線の延伸が都市計画決定されている。当社では、延伸区間のうち、JR品川駅周辺の線路上空を横断する延長約310mの区間を東京都より委託され、その区間（鋼製橋りょう部）の工事を行っている（図4）。

まちづくりの骨格のうち2つ目の「南北軸」は、南北をつなぐ骨格的な軸をつくる目的で、高輪ゲートウェイ駅・品川駅と街の南北をつなぐデッキを中心とした歩行者ネットワークをつくるものである。

まちづくりの骨格のうち3つ目の「結節空間」は、東西のつながりと南北の軸が交差する結節空間をつくるものである。当社では、駅を中心とした結節空間として、「北口広場（人工地盤：約1.6万m²）」の整備工事をUR都市機構施行の土地区画整理事業と一体で行っている。2023年6月時点の品川駅付近の航空写真を写真3に示す。写真右（緑色部）が品川駅駅舎とホーム上家である。ホーム上家端部から左側（青色部）が北口広場である。現在は、人工地盤構築中であり、柱・梁の架設・合成床版の架設・スラブコンクリートの構築を順次行っている。



写真3 品川駅付近の航空写真（2023年6月時点）

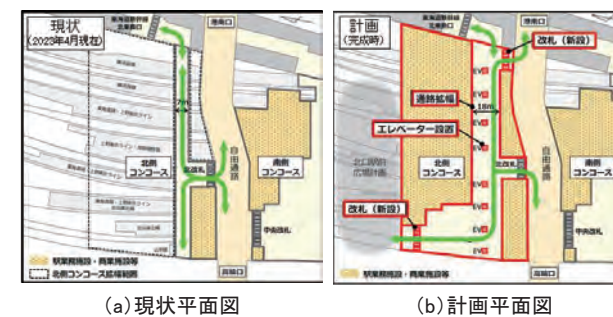


図5 品川駅北口コンコースの計画概要

4. これからの品川駅改良工事

まちづくりガイドラインが示される中、当社では、「品川駅北口駅改良・駅ビル工事」を進めている。品川駅北口コンコースの計画概要を図5に示す。図5(a)に現状平面図、図5(b)に計画平面図を示す。線路上空に新たに約1.2万m²の人工地盤を構築し、現状約7mの連絡通路幅を約16m～20mに拡幅するとともに、北側および港南口側に改札を新設することで、コンコースや自由通路の混雑緩和と利便性向上を図る。また、バリアフリールート拡充のためにコンコースと各ホームを接続するエレベーターを増設する。

駅ビルの概要断面図を図6に示す。図に示すように、人工地盤上には駅ビルを新設し、線路直下には

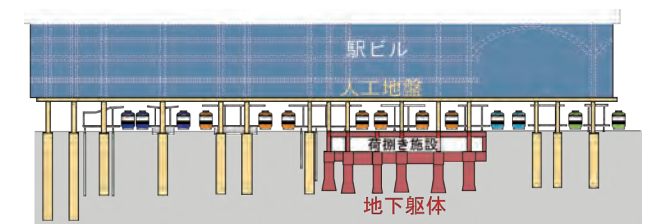


図6 駅ビルの概要断面図

駅改良に伴う物流機能を確保するため、約2,700m²の荷捌き施設を有する地下く体（SRC構造物）の構築を行う。

5. マスコンクリートの施工

前述のとおり、当社で進めているプロジェクトにおいて、主なコンクリート構造物は、第二東西連絡道路および北口駅改良部の地下く体等である。現在施工している箇所において、く体部分は施工中またはこれから構築していく状況であることから、本稿では、環状第4号線鋼製橋りょうのフーチング（マスコンクリート）施工について、紹介する。

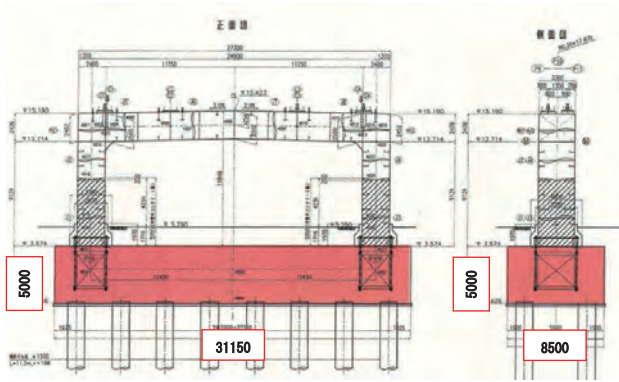


図7 構造概要図

5-1. 構造物概要

構造概要図を図7に示す。構造は鋼製門型橋脚のフーチングであり、フーチングの寸法は、橋軸方向8.5m、橋軸直角方向約31.2m、高さ5.0mである。今回、このマスコンクリート(約1,300m³)を1日で打込む計画とした。施工に当たっては、温度ひび割れを抑制する対策を講じる必要があり、さらに、打込み時期が8月となり日平均気温が25℃を超えるため、暑中コンクリートとしての対策も必要であった。本フーチングのコンクリート施工にあたり、実施した主な対策を以降に述べる。

5-2. ひび割れ抑制対策

ひび割れ抑制対策は、過去に実施した類似形状の構造物における2次元解析の結果を参考にした。セメントの種類による大きな差がみられない結果であったため、コンクリートは普通ポルトランドセメントを使用することとし、表1に示す配合を採用した。また、ひび割れ発生確率が高いと推定されたフーチング側面にひび割れ制御鉄筋を追加して配置した。さらに、表面の急激な乾燥を防ぎ温度上昇を緩和するため、通常の湛水養生に加え養生シートの上に遮熱性シートを敷くこととした。

5-3. プラント選定とコンクリート材料供給管理

コンクリートの初期温度を低くするため、コンクリートの材料(水・骨材)を冷却することができ、運搬時間が30分以内となるプラントを選定した。さらに、運搬中のコンクリートの温度上昇を抑制するため、遮熱塗装し

表1 コンクリートの配合

kg/m ³					
セメント	混和材	水	細骨材	粗骨材	混和剤
333	0	170	860	948	3.66

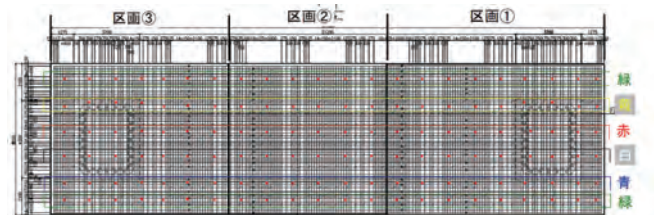


図8 塩ビレジャーの配置イメージと区画分け

たトラックアジテータ車を使用した。

材料供給は、プラントを終日貸し切り、余裕を持ったトラックアジテータ車の台数(50台)を確保し、現場には最大20台のトラックアジテータ車の待機列を確保できるようにした。当日は、配車管理をする要員(3~4名)を現場に配置してプラントとのやり取りを行うことで、コンクリートの供給スピードの管理を行った。

5-4. 打込み準備

コンクリートの打込みを効率よく行うため、コンクリートポンプ車のホース筒先配置(打込み)箇所をあらかじめ決めておき、そこに塩ビレジャー(φ200×Φ125mm)とサニーホース(5インチ、Φ125mm)を連結したものを設置した。塩ビレジャーの配置イメージを図8に示す。塩ビレジャーは、約1.0~2.0m間隔に配置し、色分けしたビニールテープを巻いた。これにより打込み箇所をわかりやすくし、コンクリートポンプ車の筒先を塩ビレジャーに挿入した状態でコンクリート圧送を行うことができ、打込み箇所を盛り替える際のコンクリートポンプ車の動作を最小限にするように計画した。

5-5. コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは、区画を大きく3区画(図8)に分け、作業班を3班体制とした。コンクリートポンプ車は、各班1台、予備車を1台待機させることとした。コンクリートの打込みは、暑中コンクリートの許容打ち重



写真4 塩ビレジャーの配置



写真5 サニーホースの設置状況(軀体内部)



写真6 コンクリートポンプ車の筒先挿入状況



写真7 コンクリート打込み状況(途中段階)

ね間隔が2時間以内であることを踏まえ、1層(500mm程度)当たり1時間を目安としてコンクリートを打込めるようにした。具体的には、1時間当たり、ポンプ車1台につきトラックアジテータ車12台となる体制を整えた。

養生は、湛水養生を5日以上行うこととした。

5-6. 施工実績

施工状況写真を写真4~8に示す。当日は、降雨により作業を一時中断したが、約16時間で打込みを完了した。

また、打込み完了後は、約3ヵ月にわたり、く体上面の表面状態の観察を行ったが、0.2mmを超えるような耐久性に影響を与えるひび割れは確認されなかった。

6. おわりに

2022年には鉄道開業150年を迎えた。品川駅周辺ではTAKANAWA GATEWAY CITYのみならず、環状第4号線整備、リニア中央新幹線品川駅新設、京浜急行本線連続立体交差事業、国道15号品川駅



写真8 コンクリート打込み状況(完了間近)

西口基盤整備、東京メトロ南北線延伸、高輪側・港南側の開発事業など、様々な事業が計画・実施されており、品川駅の国際交流拠点としての位置づけは今後さらに高まっていく。

今後も鉄道の安全・安定輸送を確保しつつ、品川駅周辺の基盤整備事業や駅改良工事などの各プロジェクトを確実に進めていくよう取り組んでいく。

【参考文献】

- 1) JR東日本ニュース(2023年5月16日)、JR東日本ホームページ、https://www.jreast.co.jp/press/2023/20230516_ho02.pdf
- 2) 品川駅・田町駅周辺まちづくりガイドライン【概要版】2020、東京都市整備局ホームページ、https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/seisaku/guideline2020/pdf/siryo_10.pdf?202204=
- 3) 品川駅 えきまちガイドライン(2021年3月30日、都市整備局)、東京都ホームページ、<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2021/03/30/35.html>
- 4) 品川駅北周辺地区まちづくりガイドライン2021、JR東日本ホームページ、https://www.jreast.co.jp/company/csr/pdf/shinagawa_guide.pdf
- 5) 第二東西連絡道路整備工事説明会資料、東京都港区ホームページ、<https://www.city.minato.tokyo.jp/dobokukeikaku/documents/setsumeisiryou.pdf>

インドカレーの作り方

玉井 真一

1990年、まだ経済自由化していないインドに新婚旅行に行きました。インドを選んだ理由は、今後おそらく最も行く機会が少ない国だろうということでした。

その時に食べたインド料理のおいしさに刺激され、帰国後すぐに東京の大崎でレヌ・アロラさんという方が開いていた半日インド料理教室に行き、インド料理の基本を学びました。

本日は、皆さんに私の簡単なインド(風)カレーの作り方を紹介します。

まず、カレーの基本はタマネギを炒めてカレーベースを作ることです。これに肉でも野菜でも具を入れ、スパイスで味付けしたものがカレーになります。中華鍋にクミンシード(種のままのクミン)とサラダ油を入れて熱します。そこにみじん切りにしたタマネギを入れて炒めます。最初は中火で水分を飛ばし、途中から弱火でじっくりと炒めます。最後に缶詰のトマトを加えて更に炒めて完成です。この工程が一番大変で1時間ぐらいかかります。油煙で顔がテカテカになります。インド料理店に行くと料理人がつやのある肌をしています、毎日この作業をするためだと思います。

代表的な具は、皆さんもインド料理店でおなじみの鶏肉。カレーベースに鶏肉とスパイスを加え、水を適当に入れて30分ぐらい煮込めば完成です。

さて、スパイスですがよく「スパイスを買い集めるのが大変でしょう」と聞かれるのですが、私はそんなに凝らないのでスーパー(成城石井など)で売っている瓶詰の、クミンシード(粉)、コリアンダーシード(粉)、ターメリック(うこん)、カイエンペッパー(赤とうがらし)を使っています。量は適当です。コリアンダー 2、クミン1、ターメリックとカイエンペッパーが1/2ずつ程度の割合で、4人分で小皿に山盛りになる程度を入れています。さらに香り付けとして、クローブやカルダモンを入れれば本格的な味わいになります。

カレーよりも豪華なメニューが欲しい時はやはり「タンドリーチキン」です。家庭でもオーブンで十分にできます。味付けはやはりカレーと同じようなスパイスでよいのですが、私は横着したいのと、実はこちらの方がおいしいので市販のタンドリーチキンパウダーを使っています。ヨーグルトにタンドリーチキンパウダーとニンニク

のすりおろしを混ぜたもので鶏肉(唐揚げ用が良い)を数時間漬け込み、オーブンで15~20分焼きます。正確にはこのメニューは「チキンティッカ」といいます。

さて、最後は盛り付けです。私はインド出張の際にターリ(定食)用のステンレスの食器セットを買ってきました。日本でも手に入りますが、デリーでは3人分が2,000円程度で買えました。

写真はある日のメニューで、下から時計回りに、ご飯(色付けは、本当はサフランですが、ターメリックでOK)、チキンティッカ、キュウリのライタ(塩味のヨーグルト和え)、大根とピーマンのサブジ(カレー味の蒸し煮)、キュウリとタマネギのサラダです。



今後おそらく最も行く機会が少ないはずだったインドですが、2015年からインド高速鉄道プロジェクトが始まり、私も2016年にJICAのインド高速鉄道技術基準/設計支援委員会のメンバーに加えていただくことになりました。その後4回インドに出張しましたが、そのたびにインド料理をたくさん食べて太って帰ってきます。

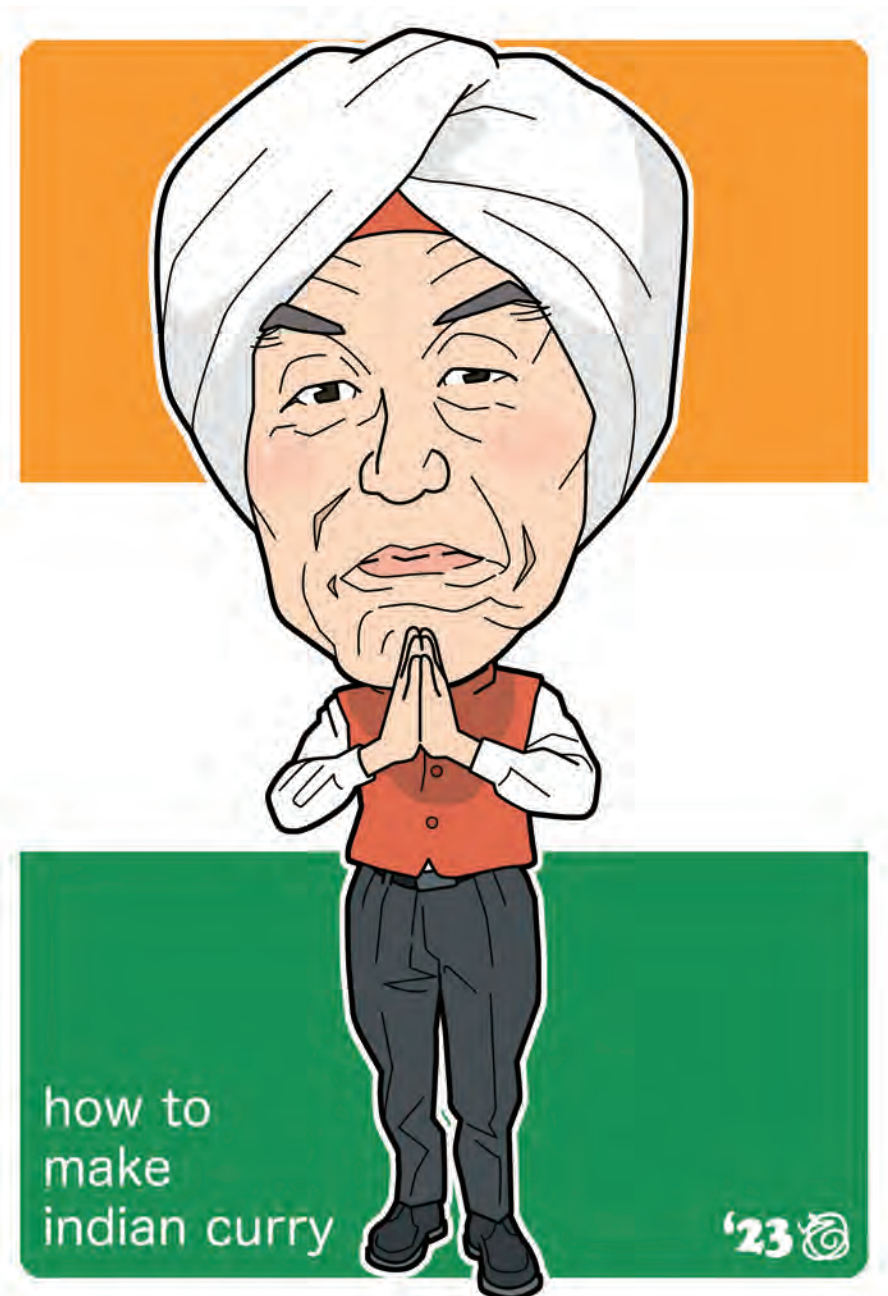
今のインドは経済も自由化して、普通の国

になってしまったようで、多少のがっかり感はあるのですが、今後のインドの行方には大変興味があるところです。

[たまい しんいち /

鉄道・運輸機構 審議役 博士(工学)]

イラスト・タイトル 宮島幸次



壁高欄と床版に膨張コンクリートを用いた 実大規模の実験と試設計

Full-scale experiment and trial design using expansive concrete for wall fences and slabs

神頭 峰磯 前田 拓海 辻 幸和

1. はじめに

膨張コンクリートは、コンクリート構造物のひび割れ抑制のために多く用いられており、膨張材の使用により構造物内にケミカルプレストレスが導入され、引張応力度と相殺することによって、ひび割れを抑制する。このケミカルプレストレスは、構造物内に一様に分布するのではなく、構造物の形状や鉄筋の配置などの拘束条件の影響を受ける。そのため、既往の研究では、膨張コンクリートの仕事量一定の仮定¹⁾を用いることで、JIS A 6202に規定される一軸拘束膨張試験体(以下、JIS試験体と称す)の膨張率から、鋼コンクリート合成床版の拘束を模擬した試験体に導入される膨張ひずみとケミカルプレストレスを定量的に評価することが示された。また、このケミカルプレストレスをコントロールして、ひび割れ抵抗性を高めることにより、ひび割れの

発生を抑制してきた事例もこれまでに報告した^{2~4)}。この事例は、対称軸のある構造物の場合であるが、対称軸のない構造物、および打込みを分けた構造物に対しては、実橋を模擬した実大規模の床版および壁高欄(以下、実橋試験体と称す)を分割して施工する方法で作製し、膨張ひずみの計測結果、および仕事量一定の仮定を用いて、JIS試験体の膨張率から、実橋試験体の膨張ひずみの推定値を算出した結果を報告してきた^{5~7)}。

本報では、実橋試験体の計測した膨張ひずみの実測値(以下、実測ひずみと称す)と、対称軸のない断面に仕事量一定の仮定を用いた推定方法によって算出した膨張ひずみの推定値(以下、推定ひずみと称す)との整合性を検証した結果を報告する。また、実際の道路橋の壁高欄に膨張コンクリートを適用するにあたって、試設計を実施した結果についても報告する。

2. 対称軸のない場合の膨張ひずみと ケミカルプレストレスの推定方法

図1に示す壁高欄のように、膨張コンクリートと鉄筋の配置が対称軸のない断面形状の場合では、既報において提案した推定方法⁸⁾を用いて、鉄筋に導入される膨張ひずみ、および膨張コンクリートに導入されるケミカルプレストレスを推定できる。また、施工順序によって、既設部材が膨張コンクリートの外部拘束体として

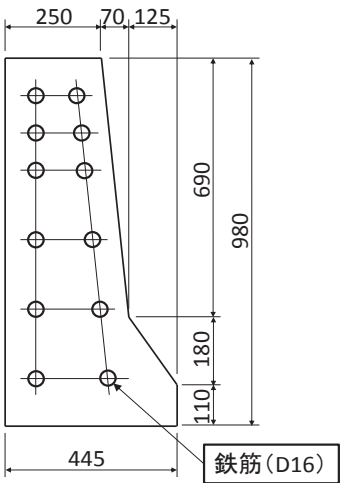


図1 壁高欄の例(左右非対称な断面形状)

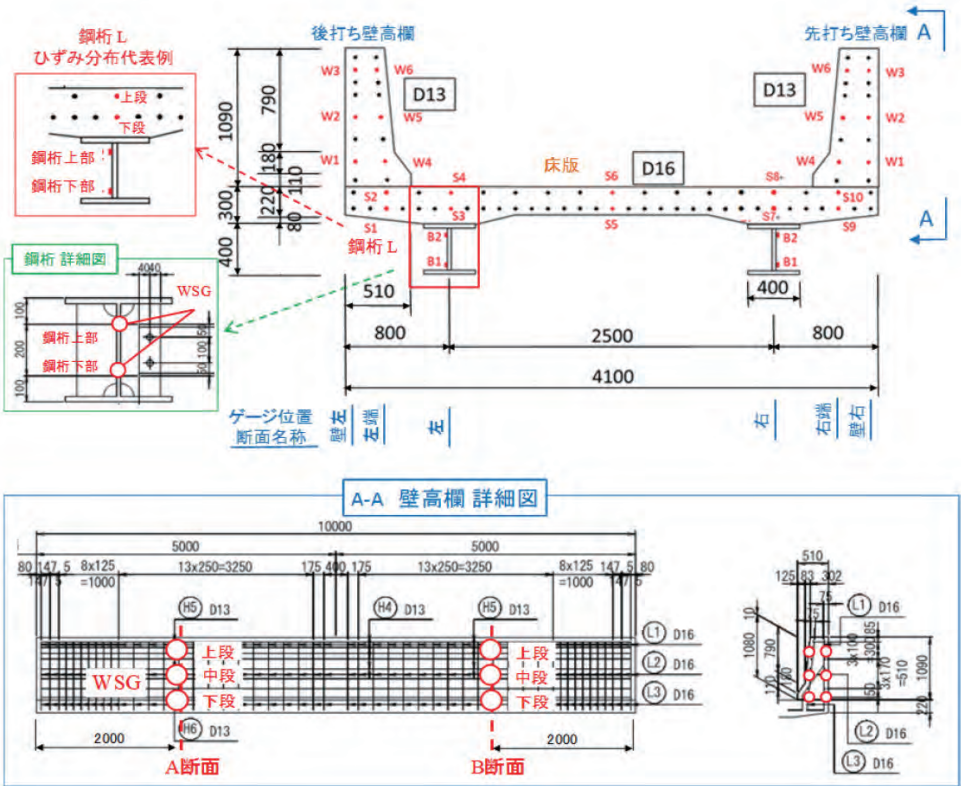


表1 コンクリートの配合と硬化性状									
	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					圧縮強度 (N/mm²)	B 法膨張率 (×10 ⁻⁶)
			W	C	Ex	S	G		
床版 I	57.0	45.7	170	298	0	820	1000	27.5	0
床版 II	57.0	45.7	170	273	25	820	1000	30.0	200
壁先 I	52.5	44.3	172	301	27	780	1010	31.2	390
壁先 II	52.5	44.3	172	293	35	780	1010	34.1	580
壁後 I	52.5	44.3	172	328	0	780	1010	40.8	-10
壁後 II	52.5	44.3	172	301	27	780	1010	36.6	380

下、壁後と称す)を打ち込んだ。なお、壁後の打込みは冬季となったため、保温シートとブルーシートを伴う湿布養生とした。試験体は、14日間養生を行い、その後外気に曝した。

実橋試験体のひずみは、床版端面からそれぞれ2mの位置の断面(A断面およびB断面)の鉄筋に、ゲージ長が6mmのワイヤストレインゲージを設置し、橋軸方向のひずみを計測した。また、実橋試験体の作製時にJIS試験体とφ100mm円柱の管理用の供試体(以下、管理用供試体と称す)を同一配合、同一養生条件で作製した。また、JIS試験体にもワイヤストレインゲージを設置して、ひずみを計測した。

3-2. コンクリートの配合と硬化性状

実験に使用したコンクリートの配合と材齢28日の管理用供試体における硬化性状を表1に示す。コンクリートの使用材料は、普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm³)、骨材には愛知県額田郡産の砕砂、および碎石を用いた。また、膨張材は、エトリンガイト・石灰複合系の20型膨張材(密度：3.10g/cm³)とした。単位膨張材量(Ex)はセメントと置換し、床版では0kg/m³(床版I)と25kg/m³(床版II)の2水準、壁高欄には0kg/m³、27kg/m³、35kg/m³の3水準とした。

圧縮強度は、床版が27.5N/mm²、30.0N/mm²、壁高欄は31.2～40.8N/mm²であった。なお、設計基準強度は、床版コンクリートが24 N/mm²、壁高欄コンクリートが27 N/mm²である。また、壁高欄のJIS試験体の膨張率は、380～580×10⁻⁶であった。

フレッシュ性状は、スランプが12.0±2.5 cm、空気量が4.5±1.5%の範囲内であった。

4. 実橋試験体のひずみの経時変化

実橋試験体の床版、壁先、壁後の各部材に導入されたひずみの経時変化を図3に示す。各部材は、形状と拘束の影響として対称軸の有無、既設部材による外部拘束、施工方法などの条件についても記した。

4-1. 床版のひずみの経時変化

床版の上段と下段の鉄筋ひずみ、および鋼桁の上部と下部のひずみの経時変化を図3(a),(b)に示す。なお、床版Iの膨張コンクリートのExは、0kg/m³、床版IIは25kg/m³である。

床版I(a)では、膨張材を混和していないため、ひずみはほとんど生じておらず、床版II(b)では、膨張材を25kg/m³混和しているため、床版の鉄筋に150～200×10⁻⁶程度の膨張ひずみが導入されている。この床版II(b)に導入された膨張ひずみは、材齢経過後も持続している。また、上段鉄筋のひずみは、床版が鋼桁上のスタッドジベルと結合しているため、鋼桁の拘束の影響を下段鉄筋ほど受けず、上段鉄筋の膨張ひずみが下段鉄筋より大きくなった。

4-2. 壁高欄のひずみの経時変化

経時変化に対する壁高欄の上段、中段、下段の鉄筋ひずみを図3(c)～(f)に示す。Exは、壁先I、壁

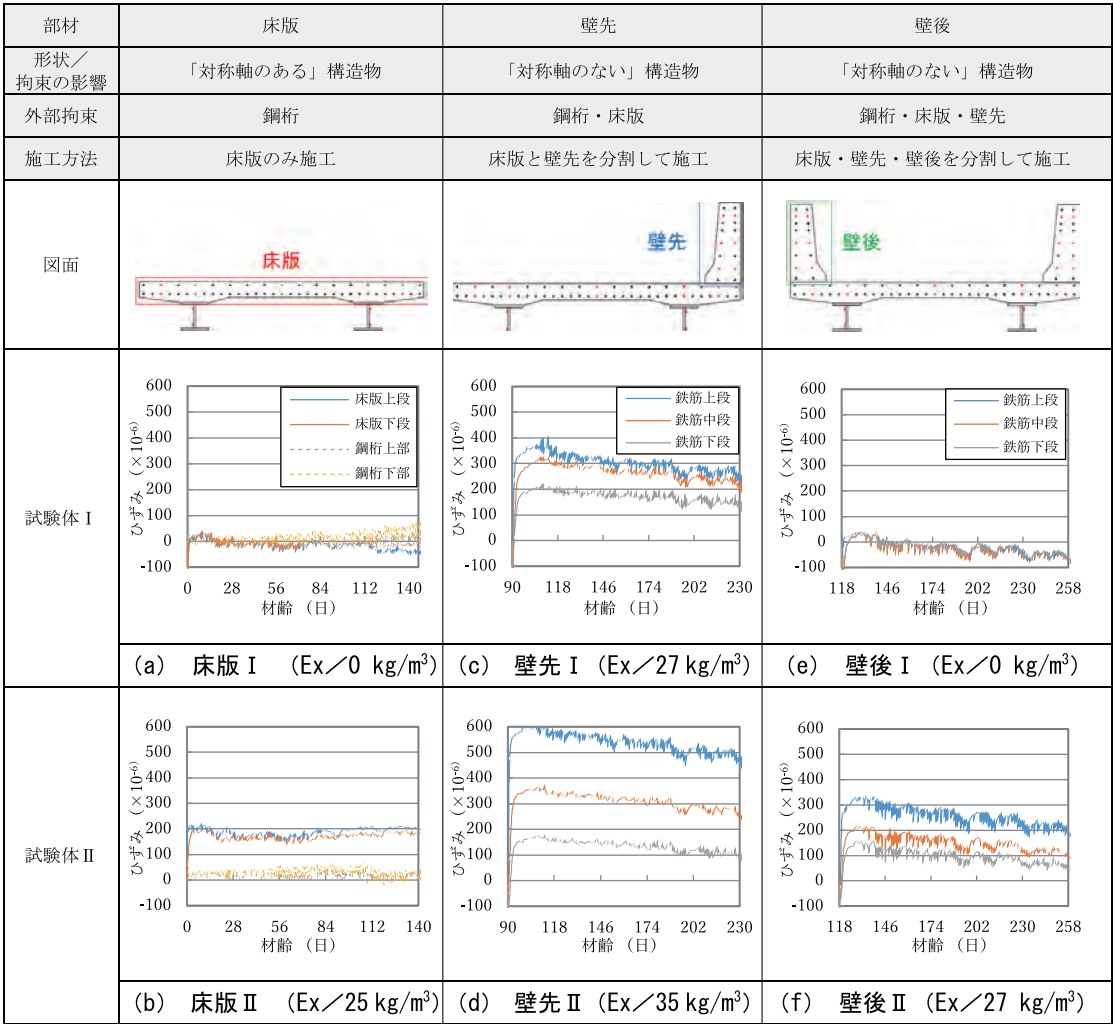


図3 実橋試験体のひずみの経時変化

先II、壁後I、壁後IIに対して、それぞれ27kg/m³、35kg/m³、0kg/m³、27kg/m³である。

壁先I(c)と壁先II(d)および壁後II(f)は、膨張材が混和されており、膨張ひずみは鉄筋上段、鉄筋中段、鉄筋下段の順番で小さくなっている。この傾向は、壁先の場合、既設部材の床版と鋼桁の拘束を受けるためであり、壁後の場合は、床版、鋼桁と先に打ち込まれた壁先の拘束を受けて膨張するためである。なお、壁後I(e)では、膨張材を混和していないため、ひずみはほとんど生じていない。

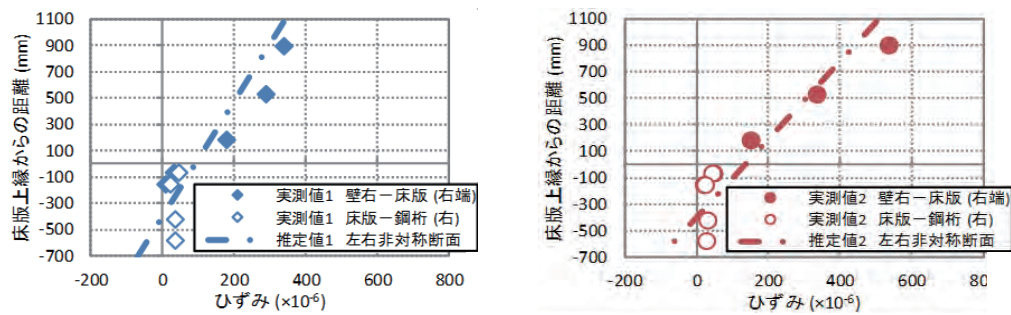
5. 断面高さ方向のひずみの実測値と推定値

5-1. 壁先の断面高さ方向のひずみ分布

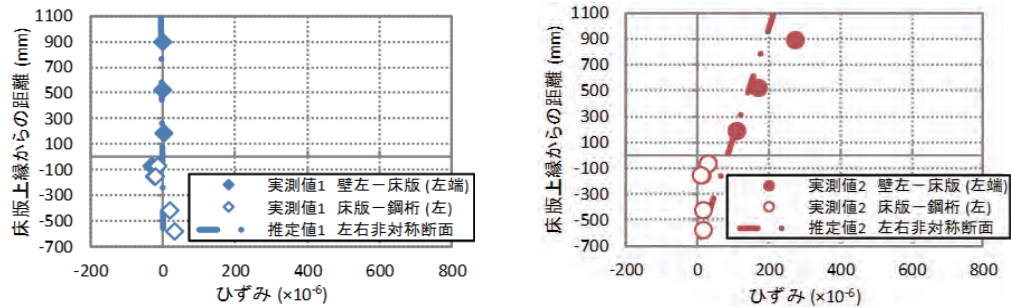
壁先を打ち込んだ後の断面高さ方向における実測ひずみと推定ひずみの分布を図4に示す。なお、壁先の状態は、鋼桁と床版が外部拘束となるため、「対称軸のない」構造物となる。

この時の壁高欄の実測ひずみの分布は、試験体I a)と試験体II b)の両方ともに、鉄筋の拘束および床版と鋼桁の外部拘束のため、膨張ひずみは線形性を有している。これは、壁高欄の底面と床版の上面が一体になって膨張していることを示している。また、この線形性は、単位膨張材量(以下、Exと称す)が多くなると強くなる傾向があり、試験体II b)のExが35kg/m³(JIS試験体の長さ変化率：580×10⁻⁶)の場合においても、線形性は変わらず、平面保持が成立していることがわかる。

壁高欄の推定ひずみは、実測ひずみよりも少し小さ



a) 先打ち壁高欄（床版Ⅰ） 打込み 28 日後 b) 先打ち壁高欄（床版Ⅱ） 打込み 28 日後



c) 後打ち壁高欄（床版Ⅰ） 打込み 28 日後 d) 後打ち壁高欄（床版Ⅱ） 打込み 28 日後

図4 壁高欄を含めたひずみの高さ方向の分布

く推定されているが、おおむね一致しており、 E_x が多い試験体Ⅱb)の場合も、実測ひずみは推定ひずみの傾向と同様である。一方、図中○◇として示す鋼桁の実測ひずみは、推定ひずみと少し離れる傾向を示しており、壁高欄と床版のひずみを延長した直線に比べて膨張側に生じている。今回の実験では、壁高欄の外部拘束の影響が小さいことが原因と考えられるが、この事象については今後の検討課題である。

この時の実測ひずみは、推定ひずみに比べて少し大きくなっている。これは、今回実測したひずみが、床版端面からの位置が2mと近かったため、床版端部の拘束状態が実測値に影響を生じた可能性が考えられる。今後は、床版端部との測定位置について検討を行い、推定精度を上げて行きたい。

6. 実橋試験体の乾燥収縮ひび割れ

壁高欄は、乾燥収縮を受けさせるため、材齢14日から暴露した。そのため、床版と鋼桁の外部拘束を受ける壁高欄下縁には、大きな引張応力度が作用して、乾燥収縮ひび割れが発生しやすくなる。実橋試験体では、乾燥収縮ひび割れの発生を誘発させるため、壁高欄の橋軸方向中央位置には、断面欠損率を66%としたVカットの収縮目地を設置した。床版I上の E_x が 0kg/m^3 の後打ちした壁高欄には、材齢224日目に収縮目地近傍に、図5に示すような長さ160mmの乾燥収縮ひび割れが発生した。なお、膨張材を用いた他の壁高欄には、図5に示したひび割れの発生から120日経過した後でも生じていない。これは、膨

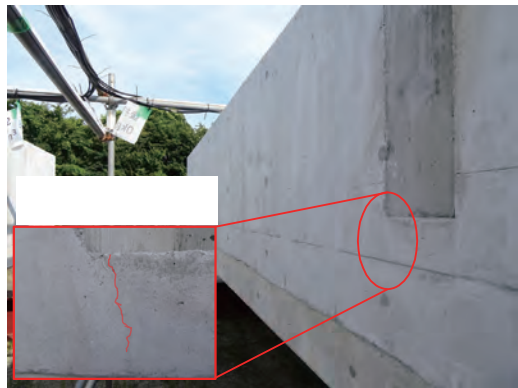


図5 膨張材を使用しない壁高欄のひび割れ

表2 コンクリートの配合(24-12-25N)

Case	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					
			W	C	E_x	S	G	Ad
1	55.0	45.1	166	282	20	802	1009	3
2	54.9	45.0	166	280	22.5	799	1009	3
3	55.0	45.0	166	277	25	799	1009	3

表3 試験練りの結果

		スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm^2)	B法 膨張率 ($\times 10^{-6}$)	割裂引張強度 (N/mm^2)
単位膨張材量	20kg/m^3	14.0	5.1	34.5	245	2.6
	22.5kg/m^3	13.5	5.1	33.5	358	2.8
	25kg/m^3	12.0	4.5	34.5	455	2.6

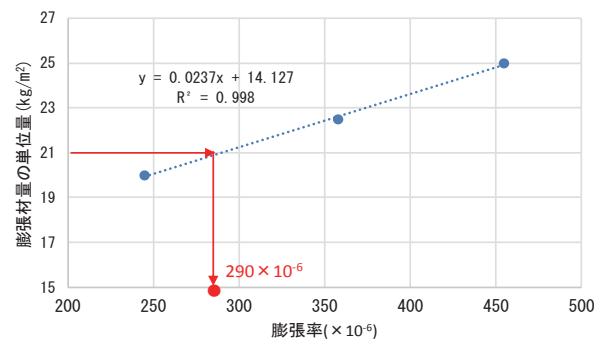


図6 一軸拘束膨張率と単位膨張材量の関係

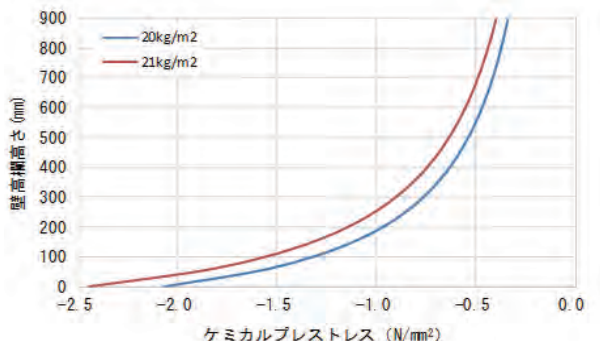


図7 ケミカルプレストレスの解析結果

張コンクリートが効果的に使用されている一例と言える。

7. 実道路橋の試設計

7-1. 検討概要

試設計で対象とする道路橋は、橋長193m、幅員9.22m、床版厚23cmの連続合成鈑桁橋である⁹⁾。本橋の壁高欄は、膨張コンクリートを適用し、その E_x は、ケミカルプレストレスの解析から求め、ひび割れ抵抗性を検討して決定した。

7-2. 試験練り

壁高欄の試験練りの配合を表2に、試験練りの結果を表3に示す。コンクリートの呼びは、24-12-25Nであ

り、 E_x は一般的な単位量の 20kg/m^3 と、 22.5kg/m^3 、 25kg/m^3 の3配合とした。このコンクリートの一軸拘束膨張率は 245×10^{-6} から 450×10^{-6} であり、過膨張による圧縮強度の低下は見られなかったが、膨張率の上限を 300×10^{-6} までとして、 E_x を決定した。

7-3. ケミカルプレストレスの検討

図6には、 E_x と一軸拘束膨張率の関係を示す。この図から求められる線形近似式より、 E_x は 21kg/m^3 とした。また、このときの膨張率は 290×10^{-6} となる。

膨張材の E_x が一般的な 20kg/m^3 の場合と 1kg/m^3 を増加した 21kg/m^3 の場合について、解析によって得られたケミカルプレストレスの計算結果を図7に示す。縦軸に壁高欄の高さ、横軸にケミカルプレストレスの分

表4 ひび割れ抵抗性の検討結果

		引張強度 (N/mm ²)	引張 応力度 (N/mm ²)	ケミカル プレストレス (N/mm ²)	補正後 応力度 (N/mm ²)	ひび割れ 指数	ひび割れ 発生確率 (%)
膨張材 単位量	0kg/m ³	2.64	3.68	0.00	3.68	0.72	94.5
	20kg/m ³			-2.07	1.61	1.64	8.0
	21kg/m ³			-2.45	1.23	2.15	2.6

布を示している。ケミカルプレストレスは、床版の拘束
が大きい壁高欄下端から高さ方向に向けて徐々に小さ
くなる。壁高欄下端におけるケミカルプレストレスは、Ex
が20kg/m³の場合が-2.07N/mm²、Exが21kg/m³の
場合が-2.45N/mm²となった。この結果からExを一般
的な量より1kg/m³増量することにより、18%程度ケミカル
プレストレスが増加し、壁高欄に作用する引張応力度を
大きく相殺することができる。

7-4. 膨張材の効果の定量評価

土木学会コンクリート標準示方書によるひび割れ対
策レベルを参考に、算出したケミカルプレストレスを使用
してひび割れ抵抗性の比較を行った。表4は、Exご
とにひび割れ発生確率を求めたものである。壁高欄に
発生する引張応力度は、膨張材によって導入されるケ
ミカルプレストレスによって相殺されるため、ひび割れ発
生確率は、膨張材の単位量を増すごとに94.5%、
8.0%、2.6%と小さくなる。この検討結果から、膨張材
を使用しない壁高欄は、ひび割れ抵抗性が非常に低く
なるが、膨張材を一般的な20kg/m³使用することによ
り、ひび割れ発生確率を1/10程度以下まで抑制する
ことができる。さらに、表5に示すように、膨張材の単
位量を20kg/m³から1kg/m³増量することにより、ひ
び割れに対する対策レベルのランクが1つ向上する。
これは、膨張材がもたらす効果について、今回の試設
計で定量評価した結果である。

8. まとめ

施工過程において対称断面を持たない構造物であ
る道路橋の壁高欄に、膨張コンクリートを適用して、ひ

表5 ひび割れ対策レベルの区分

対策レベル	ひび割れ 発生確率	ひび割れ 指数	備考 (今回の結果)
ひび割れを防止したい場合	※5%	1.85以上	21kg/m ³
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15%	1.40以上	20kg/m ³
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が 過大とならないように制限したい場合	50%	1.0以上	

び割れ抑制効果の定量化を図るために、実橋を模擬
した実大規模の床版および壁高欄を有する実橋試験
体を分割して施工した実験結果を報告した。そして、
実橋試験体で実測した膨張ひずみと、仕事量一定の
仮定を用いた対称軸のない構造物の推定膨張ひずみ
と対比し、その推定方法の適用性について検討した
結果についても報告した。また、実際の道路橋の壁高
欄に膨張コンクリートを適用するに当たって試設計を実
施した結果についても報告した。このようにケミカルプレ
ストレスを定量評価することにより、壁高欄のひび割れ
抑制効果の見える化が可能となる。

【参考文献】

- 辻幸和／ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法、コンクリート工学、Vol.19, No.6, pp.99～105, 1981
- 栖原健太郎、神頭峰磯、平井吉彦、呉承寧／膨張コンクリートを用いた合成床版のケミカルプレストレスの評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.37, No.1, pp.223～228, 2015
- 神頭峰磯、木村潤市／ケミカルプレストレスの定量化による合成床版のひび割れ抵抗性の管理、第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.47～52, 2016
- 神頭峰磯、松永誠／ケミカルプレストレスを活用した鋼コンクリート合成床版の耐久性向上に関する取り組み、令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会、VI-1055, 2019
- 前田拓海、伊藤慎也、神頭峰磯、辻幸和／膨張コンクリートを用いたRC床版におけるケミカルプレストレスの推定手法の検討、土木学会 全国大会第75回年次学術講演会、VI-43, 2020
- 李春鶴、前田拓海、神頭峰磯、辻幸和／壁高欄に膨張コンクリートを用いた実橋床版における使用効果の推定手法、プレストレストコンクリート工学会 第29回シンポジウム論文集、pp.301～306, 2020
- 神頭峰磯、前田拓海、五十嵐数馬、栖原健太郎、李春鶴、辻幸和／実大規模の道路橋の床版および壁高欄試験体に膨張コンクリートを用いた膨張・収縮性状、土木学会論文集 E2, Vol.78, No.1, pp.62～71, 2022
- 栖原健太郎、辻幸和、李春鶴、西崎辰治、五十嵐数馬、神頭峰磯／膨張コンクリートを用いた対称軸の無いCPC部材の膨張ひずみ分布の推定方法、土木学会論文集 E2, Vol.77, No.2, pp.25～36, 2021
- 山田真衣、神頭峰磯、小出英司／膨張コンクリートを用いた壁高欄のひび割れ抵抗性の定量化の検討、令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会、VI-1011, 2022



「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

「セメントの常識」おすすめです。
緑の表紙の常識、新版出ました！

セメントの常識

INTRODUCTION TO
CEMENT & CONCRETE

一般社団法人
セメント協会

生コンクリート製造工程検査の自動化に関する取り組み

Automated quality measurement with process management during ready-mixed concrete

村上 利憲 田中 利光

1. はじめに

生コンクリートを製造する時の工程管理はJIS Q 1011 規格「A.3 製造工程の管理」に準じて多くの生コン工場で実施されているのが現状である。この規格は将来開発される新しい管理手法、あるいは、試験方法などを念頭に規格化されている。例えば、本文中に「JIS規格の試験方法によるか、又はこれに代わる合理的な試験方法による」ことが明記されている^{1,2)}。

現代社会では高度な技術を有するセンサの時代と称されるように、様々な分野で人に代わってセンサが正確、かつ精度の良い計測作業を行える時代に突入している。

そこで著者等は、「生コンクリート製造時の工程管理」にセンサ機器を使用して合理的、かつ測定信頼性を向上させる管理手法の開発に着手した。2015年11月末からセンサ機器として「RI計測機器 CONG-II」および「RI計測機器 NACOM」を導入し、骨材の表面水率および生コンクリート中の単位水量を自動計測できる仕組みおよびシステムを構築するとともに、これらのシス

テムが持続可能であることを検証した。

その後、「熱電対形式のLiB-TMI」を導入して練り混ぜられた直後の生コンクリートの温度を自動計測できる仕組みおよびシステムを構築した。

更に「レーザー距離計測器の測域センサ (LiDAR)」を導入し、容積、単位容積質量および空気量の品質を測定できる仕組みとシステムを構築した。

これらの自動計測した各品質は、品質管理用システムへ連動するとともに自動管理できるシステムの開発も併せて行い、7年間にわたる一連の検証を踏まえて2022年8月にJIS登録認証機関から新しい「生コンクリート製造時の工程管理」の承認を得て、同年10月1日から運用を開始している。なお、表1には既存JIS社内規格と提案するJIS社内規格の比較を示している。

2. 各センサの設置状況

製造する生コンクリートの品質が安定した状態を確保するためには図1の概要図に示すとおり、各製造段階で必要な品質に対してセンサ計測機器を用いて製造するたびに継続的な測定を可能とするような設置が肝要である。生コン工場のバッチャープラント (BP) は写真1に、操作盤は写真2に、各センサ計測機器は写真3～5にそれぞれ示す。

最初に、各骨材の表面水率をリアルタイムで計測する「RI計測機器 CONG-II」は写真3に示すとおり、各

表1 既存JIS社内規格と提案するJIS社内規格の比較

工程名	既存JIS社内規格			提案するJIS社内規格(変更後)		
	管理項目又は品質特性	管理方法及び検査頻度		管理方法及び検査頻度		JIS Q 1011 測定方法の規定
		検査方法	検査頻度	検査方法	検査頻度	
1 配合	e) 細骨材の表面水率	JIS A 1111	1 回以上/(午前,午後)	RI法 (CONG-II)	1 秒毎	連続測定が可能な 簡易試験を方法
	f) 粗骨材の表面水率	JIS A 1803	必要の都度			
	h) 単位水量	高周波加熱乾燥法	1 回以上/日	パッチ式RI法 (NACOM)	1 回以上/日	JISに代わる 合理的な 試験方法
3 練混ぜ	3 1) 強度	JIS A 1107 JIS A 1132	代表的な配合 1 回以上/日	実績推定式 (非破壊試験)	代表的な配合 1 回以上/日	
	3) 空気量	JIS A 1128	1 回以上/(午前,午後)	2D測域センサ (単位容積質量)	1 回以上/(午前,午後)	
	5) 容積	目視確認	全パッチ	2D測域センサ (容積測定)	1 回以上/(午前,午後)	
	6) コンクリート温度	JIS Q 1156 ガラス棒状温度計	1 回以上/(午前,午後)	JIS Q 1156 熱電温度計(熱電対)	1 回以上/(午前,午後)	

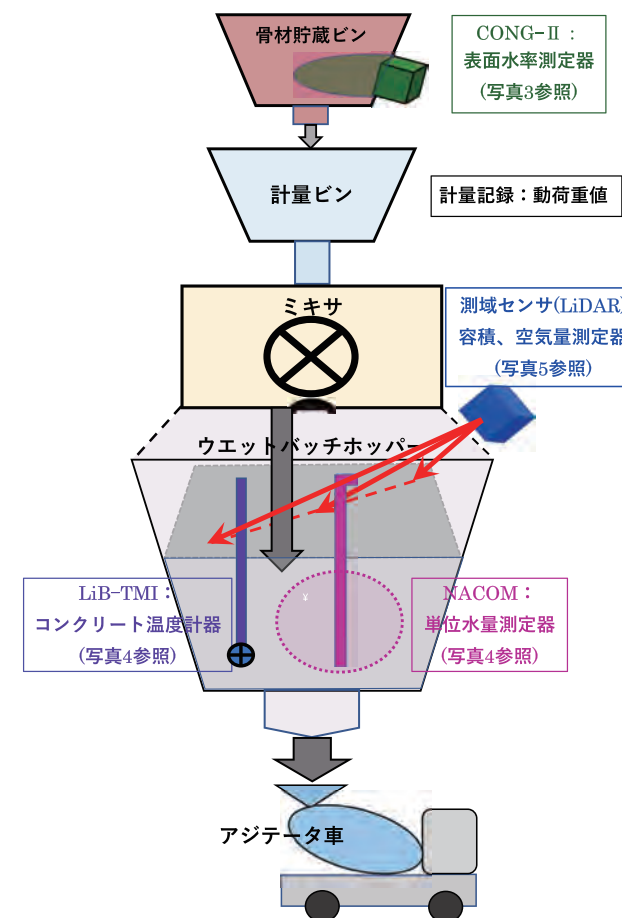


図1 各センサ取付位置の詳細

骨材貯蔵ビン鋼板の外側に設置する。その設置場所は骨材の排出時に流れが良く、多くの骨材が計測対象になる場所が最適である。

次に、練り混ぜ直後の一時保管場所であるウェットパッチホッパー内でコンクリート中の水量およびコンクリート温度を計測する「RI計測機器 NACOM」および



写真1 (株)作販コンクリート東浜工場のBP

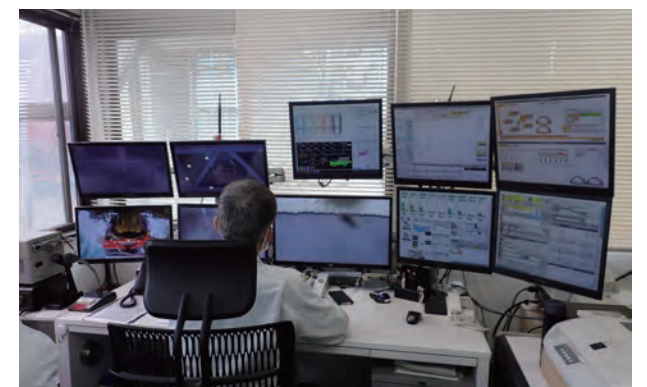


写真2 事務所の一角にある操作盤

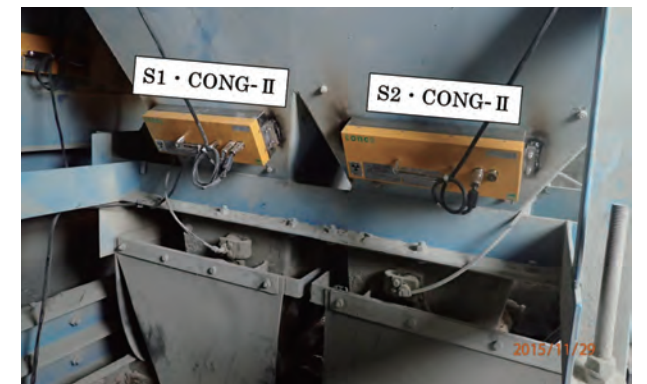


写真3 骨材貯蔵ビンのCONG-II



むらかみ としのり / MURAKAMI Toshinori
(株)リパティ
PNS研究室
室長 博士(工学)



たなか としみつ / TANAKA Toshimitsu
UMETANI GROUP
((株)梅谷商事, (株)梅谷コンクリート, (株)作販コンクリート)
常務取締役 技術部長

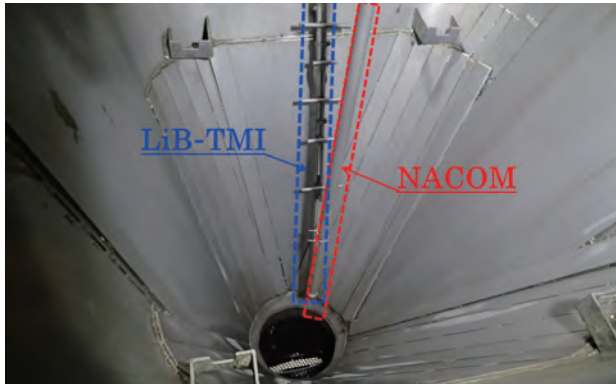


写真4 ホッパー内のNACOMとLiB-TMI



写真5 のぞき窓に設置した測域センサ

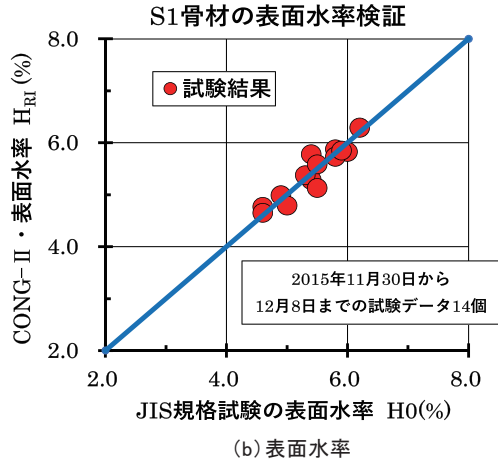
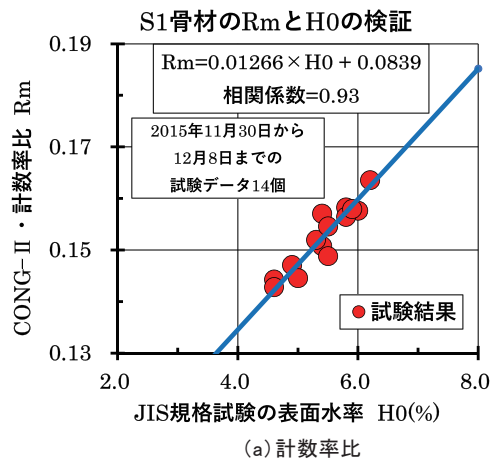


図2 S1 骨材貯蔵ビンに設置したCONG-IIの表面水率校正式検証結果

「熱電対 LiB-TMI」は写真4に示すとおり、NACOMを排出口の近傍で鉛直方向に、LiB-TMIを容積棒に沿わせて鉛直方向にそれぞれ設置する。最後に、ウェットバッチホッパー内に放出後の「静置した生コンクリート天端」の鉛直高さを計測する「測域センサ」は写真5に示すとおり、「のぞき窓に設置したアナログカメラのカバー上部」に設置する。

3. 品質の評価手法

3-1. CONG-II表面水率

RI法のCONG-IIによる計測は、水(H₂O)の水素元素(H⁺)に反応して計測される計数率比(Rm)と計測した領域の試料を採取してJIS規格の試験に基づく表面水率(H0)を関連付けるものであり、その関係の一例が図2(a)に示す関係式であり、この関係式によりCONG-IIが計測した計数率比Rmから図2(b)に示す

表面水率をリアルタイムで評価するものである。このような手法によって各骨材の表面水率算定用の校正式を評価した結果は図3に示す「生コンクリート製造日の各骨材の表面水率挙動」として把握できる。特に、骨材の品質変動などが顕著に確認されるような場合、この校正式を見直し、精度の良い表面水率を算出することが管理にとって重要である。

3-2. NACOM単位水量

バッチ式RI法によるNACOM計測の単位水量も、CONG-IIと同様の仕組みで水量を評価するものの、NACOMが計測した計数率比Rmには骨材の吸水量、GM計数管の数え落としおよびガイド管の摩耗にともなう影響などが含まれているために、それらの影響を水量として補正する必要がある^{3,4)}。

この骨材の吸水量は配合の骨材量に応じて異なるものの、その差は極めて少ないので、検証当時の補正

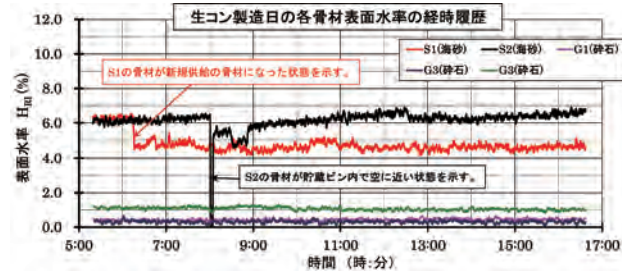


図3 各骨材の表面水率挙動

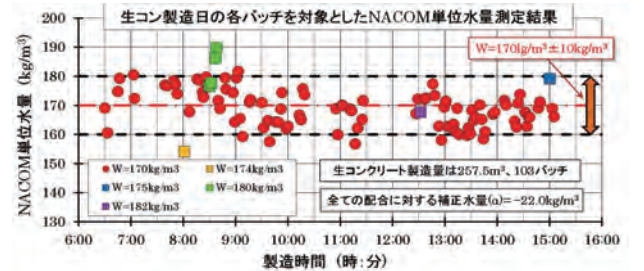


図4 各バッチのNACOM計測の単位水量

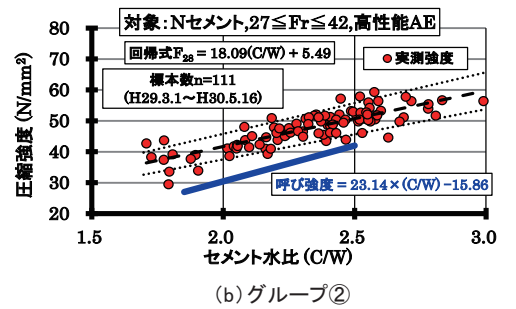
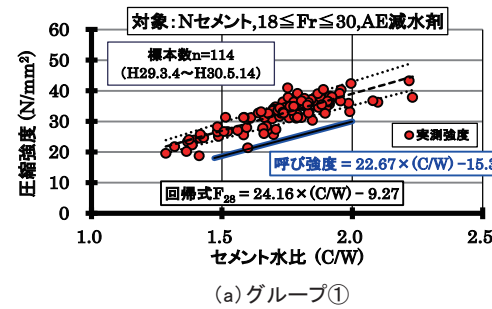


図5 材齢28日の圧縮強度とセメント水比の関係

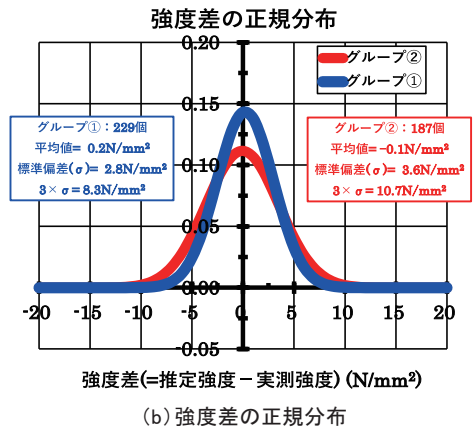
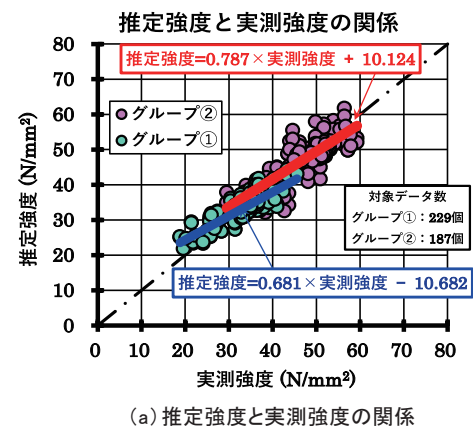


図6 各グループの強度と強度差の関係

値は「-22.0kg/m³」の一定値とした。

図3の表面水率計測日と同日の生コンクリート製造時におけるNACOM単位水量試験結果は図4に示すとおり。製造日における生コンクリートの設計単位水量はほとんどがW=170kg/m³であった。同図で目標とする±10kg/m³を超えるバッチも散見されるものの、1アジテータ車の積載量(等分割した2バッチ構成)の生コンクリートでは目標の単位水量以内の製造が確認された。このように安定したNACOM単位水量が確認された要因の一つとしては図3でリアルタイムに計測した表面水率の値を計量配合時の表面水率に活用していることによるものと判断する。

3-3. 所定材齢時の推定強度

所定材齢時に発現する強度は年間を通して、「3-2. NACOM単位水量と動荷重の単位セメント量に基づくセメント水比(C/W)」と「同じ生コンクリートから採取した工程管理および製品管理の圧縮強度」の関係を分析し、圧縮強度(F₂₈)とセメント水比(C/W)の関係式を検証する。

2017(H29)年3月1日から2018(H30)年5月18日までのデータ(標本数=4,510)に基づいた「圧縮強度と水セメント比の関係」は図5(a), (b)に示すとおりである。生コン工場の工程管理用生コンクリートは「呼び強度が24のNセメントでAE減水剤」配合である。その

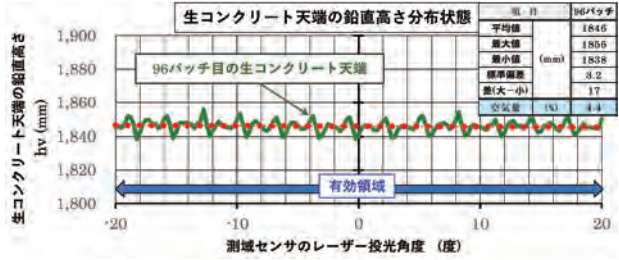


図7 生コンクリート天端の有効領域鉛直高さ分布



図9 排出ゲートロック時間と計測容積の関係

ことを考慮して、グループ①が呼び強度 $18 \leq Fr \leq 30$ のAE減水剤とグループ②が呼び強度 $27 \leq Fr \leq 42$ の高性能AE減水剤の二つに分けて分析した。同図からいずれのグループも、実測強度の単位水量は計画水量に対して増減しているものの、実測強度は購入者の要求強度(呼び強度Fr)を上回っていることが確認できた。この分析による各回帰式の強度(以下、推定強度と称する)は、試料採取、供試体製作および圧縮試験などのばらつきを含んだ平均的な強度であり、安定した強度であるものと判断できる。推定強度と実測強度の相関関係はいずれのグループも、図6(a)および図6(b)に示すとおり低強度で推定強度の方が 5N/mm^2 程度高く、高強度で推定強度の方が 5N/mm^2 程度低く、その差はおおむね $\pm 5\text{N/mm}^2$ の強度差であることが確認できた。

一方、この推定強度から3倍の標準偏差(3σ)を差し引いた強度(以下、保証強度と称する)は購入者が要求した強度(呼び強度)を100%保証できるものであり、生コンクリートの出荷前に保証強度を確認できることは工程管理の重要な管理項目であるものと判断する。

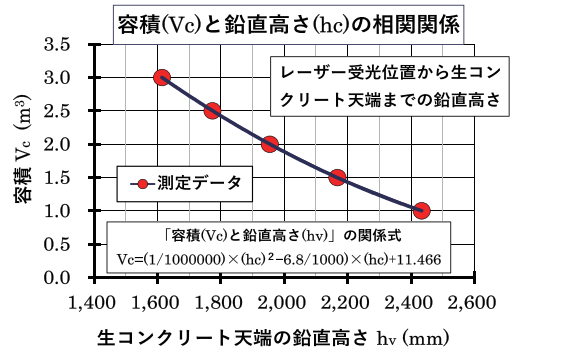


図8 容積(Vc)と鉛直高さ(hc)の関係式

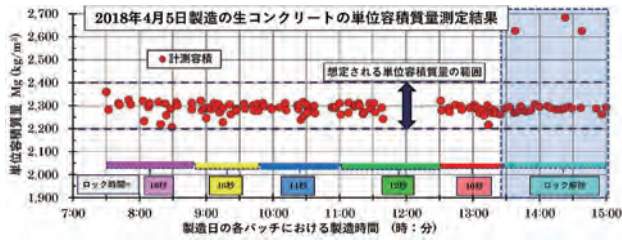


図10 排出ゲートロック時間と単位容積質量の関係

3-4. 測域センサの容積および単位容積質量

測域センサによる計測は、ウェットバッチホッパーに放出され、かつ静置状態の生コンクリート天端を対象に直線的な有効領域(レーザー照射角度 ± 20 度)の距離を計測するものである⁵⁾。

生コンクリート天端の鉛直高さは、有効な領域の計測距離を鉛直方向の距離に変換し、それらの鉛直距離を平均化して算出する。その一例を図7に示す。同図から平均化して算出された鉛直高さは骨材の最大粒径の半分に相当する高さ変動していることを確認できた。

一方、生コンクリートの容積と鉛直高さの関係は、建設当初の設計図面(容積棒のレベル詳細など)と測域センサ設置位置の関係から求められる方法に加えて、ウェットバッチホッパー内に所定量(所定の容積)の水を貯め込んだ水面を計測して鉛直高さを評価する方法によって精度を検証する。その検討結果は図8に示す「容積と鉛直高さの関係式」として評価した。

測域センサが計測する距離の信頼性は、計測の間、生コンクリートが静置された状態を維持していることが前提である。そのためには排出ゲートを閉鎖してい

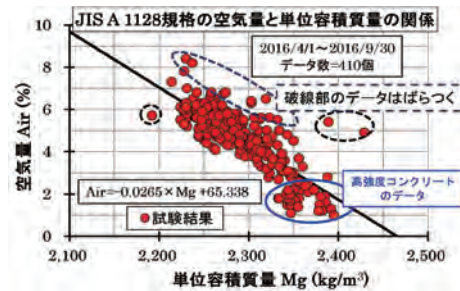


図11 空気量と単位容積質量の関係

る時間(ロック時間)によって容積がどのように変動するのかを検証した結果は図9に示すとおり。同図中のロック時間、つまり、ミキサゲート開放から排出ゲートが開放されるまでの時間は最低でも10秒以上確保できていれば、安定した計測が可能であることを確認した。

一方、この排出ゲートの開放をオペレーターの采配に一任すると同図に示すように、生コンクリートが排出されている状態の天端を計測している結果が散見され、計測した容積が過小評価する結果となり、計画容積よりもかなり少なくなっていることが確認できた。このことからセンサを用いた計測では生コンクリートの製造作業、特に、生コンクリートを静置した状態で維持させるために必要な一部の工程を制御することが重要であると判断する。

次に、単位容積質量(Mg)は、生コンクリートに用いる各材料を計量した「動荷重値」の総重量(Wt)を前述の容積(Vc)で除した値として算出することができる。その検証結果は図10に示すとおり。前述の排出ゲートのロックを解除すると、計測データに異常な単位容積質量の算定結果が散見される。このことより前述同様に測定データの信頼性を確保するため、排出ゲートを強制的に所定の時間ロックすることが肝要である。

3-5. 測域センサの空気量

測域センサが計測した距離から求める空気量の算出方法としては、生コン工場の既存データ、つまり、JIS A 1128規格の試験に基づいたデータを分析して、「空気量(Air)と単位容積質量(Mg)の関係式」を事前に検証し、この関係式の単位容積質量に3-4.

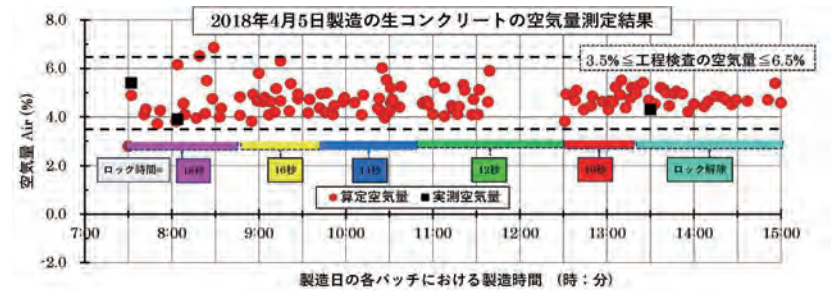


図12 製造日の各バッチにおける空気量の測定結果

で求められた単位容積質量を置き換えて算出する⁵⁾。

その検証結果は図11に示すとおり。同図の対象コンクリートは、普通コンクリート、高強度コンクリート(国土交通大臣認定の高強度コンクリートも含む)に加えて混和材にFaを使用した普通コンクリートも含んでいる。この関係式は試料採取のばらつきおよび試験に伴う人的なばらつき等を含んでいるものの、平均的に安定した性能を評価できるものと判断するとともに、高強度コンクリートはこの関係式を若干下回っていることが確認できる。

この関係式に基づいて全てのバッチを対象に計測した空気量の検証結果は図12に示すとおり。同図中には工程検査で実施したJIS A 1128規格の試験結果(図中の■印)も併せて示す。同図中の1バッチの空気量が工程管理の目標を逸脱していても、1アジテータ車の生コンクリート積載量(等分割した2バッチ構成)に対する空気量は2バッチの各空気量を平均した空気量として評価でき、工程管理の目標範囲内であった。特に、1バッチ目の生コンクリート製造では、ミキサの側壁やブレード等の設備にモルタル分が付着するために計測した容積が少なくなり、その影響を受けて空気量が減少傾向を示している。

3-6. LiB-TMIセンサのコンクリート温度

フレッシュコンクリート温度の測定方法はJIS A 1156規定によるとフレッシュコンクリートに挿入して両者が熱平衡に達した後に温度計の示度の読み取りを行うことと規定されているとともに、熱電温度計としてJIS C 1602(熱電対)などに規定された熱電対を使用できるこ

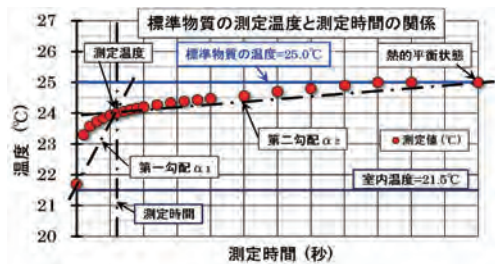


図 13 標準物質の測定温度と測定時間の関係

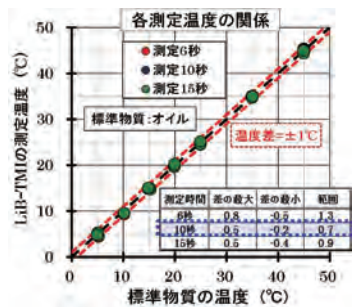


図 14 測定温度と標準物質温度の関係

とも併せて規定されている。

そこで、熱電対のLiB-TMIセンサが測定した温度と両者が熱的平衡状態に至る温度の関係を標準物質（オイル）で検証した模式図を図13に示す。標準物質は常時一定の温度であり、同図の測定時間までの温度上昇を第一勾配とし、測定時間を超え熱的平衡状態に至るまでの温度上昇を第二勾配とし、その関係は標準物質の温度に5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、35℃、45℃の7種類、測定時間に6秒、10秒、15秒の3種類をそれぞれ選定して検証を行った。この第一勾配と第二勾配の関係から第一勾配が測定できると、熱的平衡状態の温度が算出できることになる。その検証結果は図14に示すとおり。同図からLiB-TMIセンサ測定の温度は標準物質の温度を適切に測定できていることが確認された。また、いずれの測定時間も同じ温度を推定できていることが確認できた。なお、JIS規格による温度の表示は四捨五入した整数値であるので、温度差として±1℃の差が生じるものと推察する。

この温度測定の手法を用いて生コンクリートの温度を測定する場合、計測時間は生コンクリート製造に影響を及ぼさない時間10秒に設定する。この時間はNACOM単位水量および測域センサによる距離の計

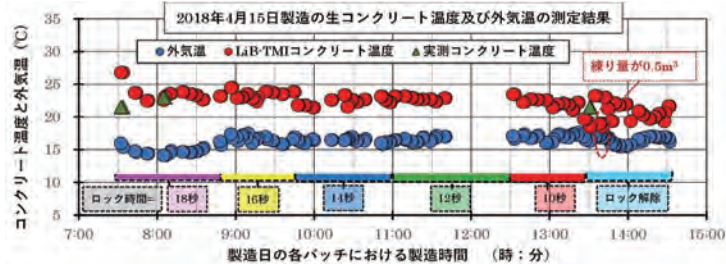


図 15 製造日のコンクリート温度と外気温の測定結果

測時間内である。

生コンクリートの温度測定結果は図15に示すとおり。図中の実測コンクリート温度（図中の▲印）は工程検査におけるJIS A 1156規定のガラス製棒状温度計による測定結果である。製造日最初の生コンクリートを対象に測定したコンクリート温度は両者の温度に差が生じているものの、それ以降製造した生コンクリートのコンクリート温度は安定した温度を測定している。また、測定時間を確保するために生コンクリート排出ゲートをロックする時間は18秒から10秒まで2秒ごとに変化させたものの、最低10秒を確保できていれば適切にコンクリート温度を測定できることを確認できた。

4. 自動計測結果の表示と管理手法

各センサを用いて生コンクリートの品質を評価した結果は、品質管理用システムとの連動により自動管理が可能となり、図16,17に示すようにリアルタイムで品質値一覧と品質ごとにグラフ表示される。

この管理の特徴のひとつに、生コンクリート製造関係者（試験担当者、出荷担当者、製造担当）一同にリアルタイムで製造した生コンクリートの品質が共通認識されることであり、「生コンクリートの製造状態が安定した製造状態であること、あるいは、次に練る生コンクリートの性状を改善する状態にあること」が容易に判断できることにある。改善対策のひとつに空気量の調整があり、次に練り混ぜる生コンクリートの空気量の調整剤量を瞬時に算出し、計量に反映させることが容易に可能であるとともに、適切な空気量の生コンクリート製造が



図 16 2023年2月2日製造生コンの品質管理システムによる自動管理

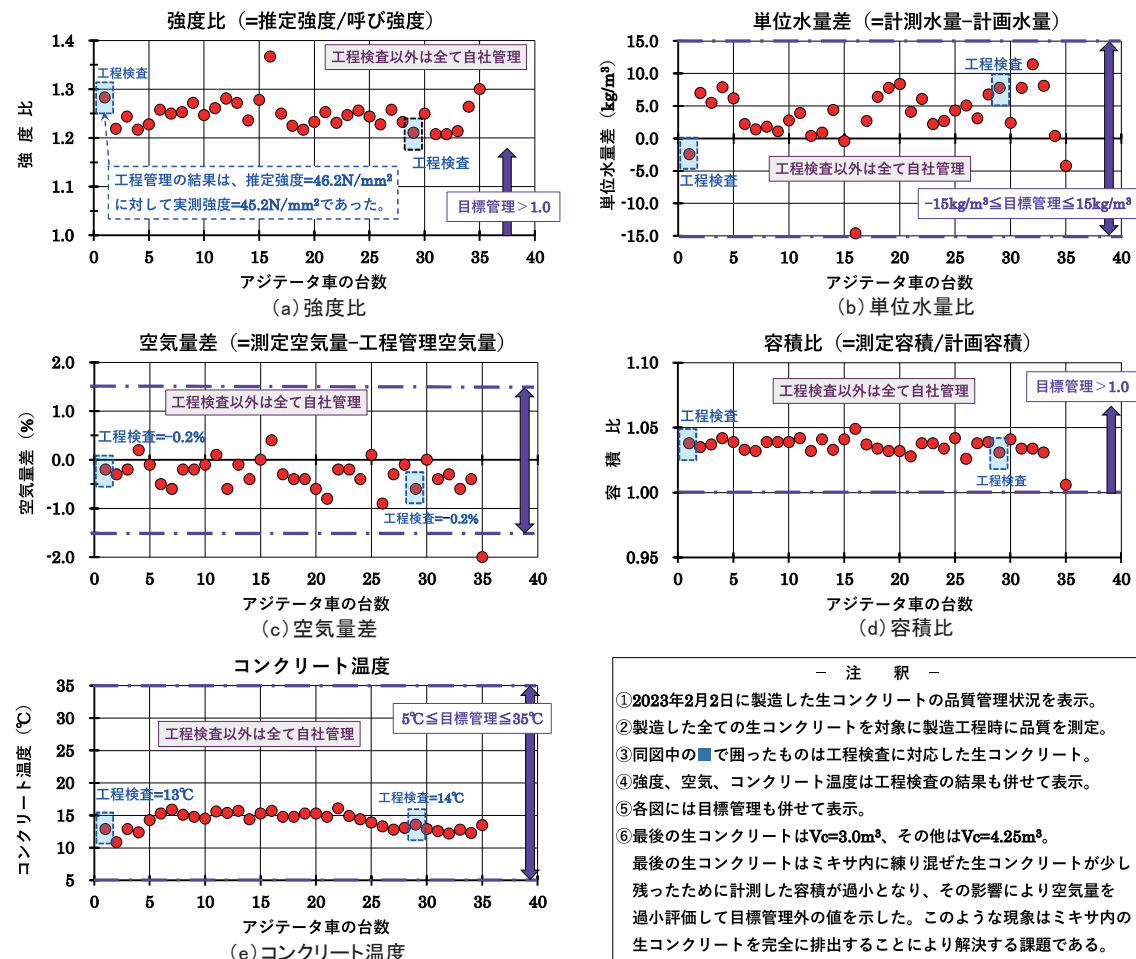


図 17 図 16の品質管理システムで表示される各品質挙動

可能となる。

当該生コン工場では、JIS規格の午前、および午後一回実施する工程管理の頻度に加えて、残りの全ての生コンクリートを対象として生コンクリートの品質を自主的に自社管理する。その管理から製造した生コンクリートの品質が購入者の要求する品質を満たしていることを確認するとともにその記録も保管管理するものである。

5. まとめ

生コン製造時の工程管理にセンサ機器を使用して合理的、かつ、測定の信頼性を向上させる生コンクリートの品質計測および管理手法は、センサ機器の測定環境条件を適切に維持管理できれば、適切な品質が計測され、かつ、持続可能なシステムおよび仕組みであることが検証された。

また、本システムのセンサ機器が自動連続測定した「生コンクリートに使用する骨材の表面水率、および、生コンクリートの品質（強度、単位水量、容積、空気量、コンクリート温度、単位容積質量）」はJIS社内規格の検査頻度による工程検査に加えて、製造する全ての生コンクリートを対象に品質管理が可能であり、特に、購入者の要求性能が100%保証されたことを確認できるものである。

6. 今後の課題

工程検査のうち、スランプはJIS A 1101規格の試験により求められるコンクリート天端の落下高さであり、この落下高さを生コンクリートの実機製造の工程管理でセンサを用いて計測することは極めて困難である。

そこで、生コンクリート製造工程においてスランプ性状の支配的な要因である粘性を対象にセンサ機器を用いて計測する。この粘性特性と代表的なJIS規格の試

験によるスランプを関連付けることによって、生コンクリート製造工程時にセンサ機器が計測した粘性特性から「スランプを測定するシステム」を考案し、その妥当性を様々な観点から検証中である。

〔謝辞〕本開発は、実機製造の生コンクリートを対象に様々な検証を実施し、各センサ計測の品質に関する有効性と持続可能なシステムであることを評価した。

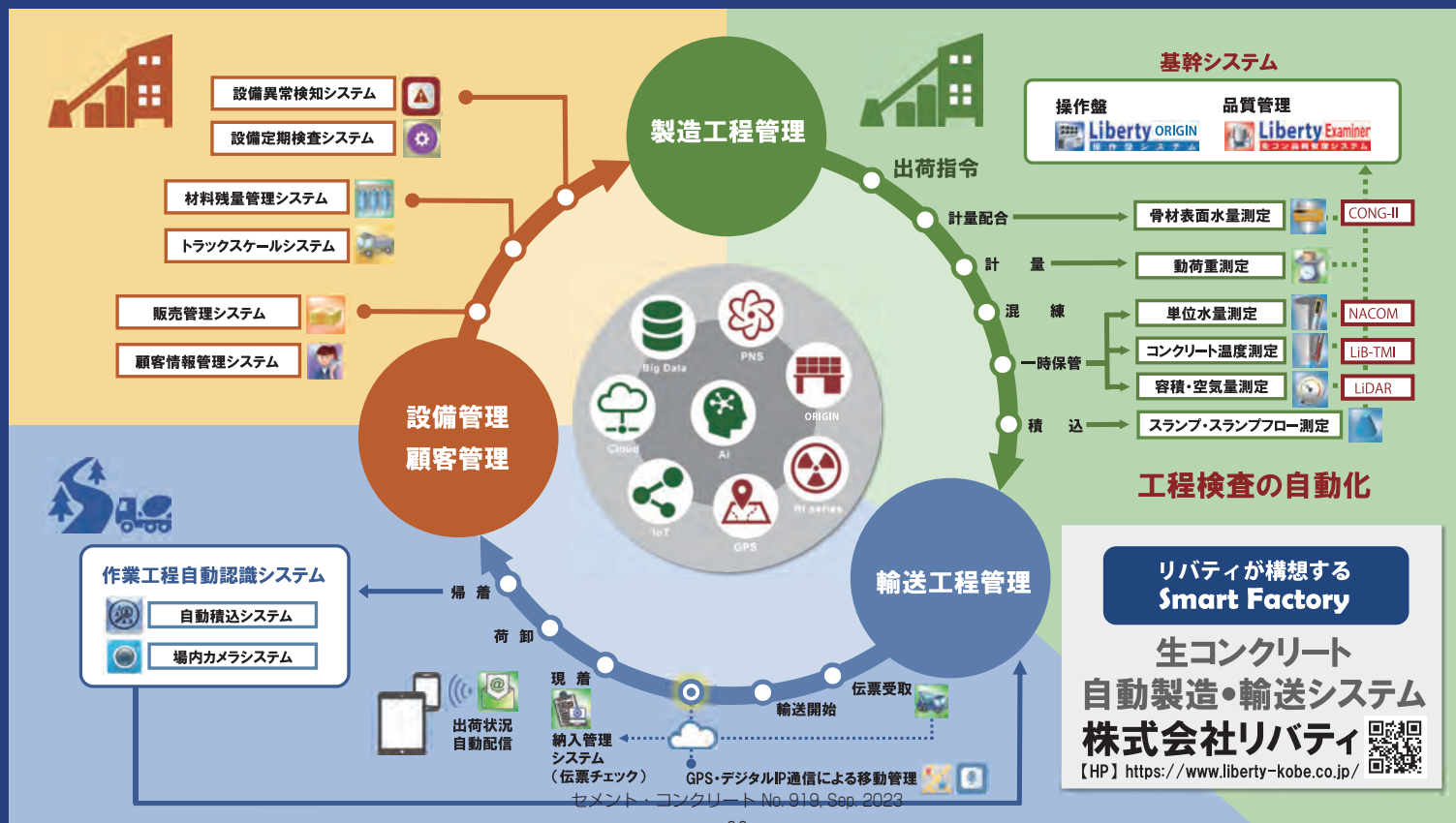
（株）作販コンクリート東浜工場の関係者の方々には、生コンクリート製造時に多大なご支援を賜りましたこと、本誌面をお借りして感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 日本工業(産業)規格 JIS A 5308：2019 レディーミストコンクリート(解説収録)
- 2) 日本工業(産業)規格 JIS Q 1011：2019 適合性評価-日本工業規格への適合性の認証-分野別認証指針(レディーミストコンクリート)(解説収録)
- 3) 伊藤大輔, 草本喜男, 砂田栄治, 吉井博, 池永太一/プラント設置型RI生コンクリート単位水量計の開発, 第15回生コン技術大会, 研7, pp.43~48, 2009
- 4) 「RI計器で土の密度・水分量をはかるしくみ(測定原理と校正曲線の作成)」, 日本道路公団試験所, pp.1~173, 昭和59年3月
- 5) 桑田岳治, 池永太一, 村上利憲/ LiDARを用いたレディーミストコンクリートの空気量測定手法の検証, 土木学会第76回年次学術講演会講演集, VI-472, 2021

Quality leads to all

LIBERTY



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

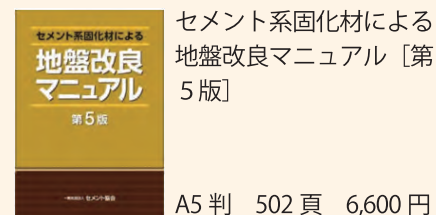


本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

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

◆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



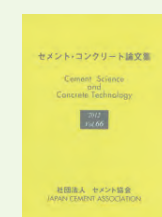
コンクリート夜話 (山田 順治著)

A5 判 261 頁 2,200 円



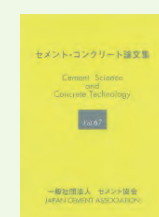
セメント・コンクリート 論文集 (No.65 2011)

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、送料は当協会でご負担いたします。 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/>



慰霊堂は、向拝・本堂・翼堂・塔の4つで構成されており、向拝や本堂などの外観は神社仏閣様式のようにも見えるが、三重塔は中国やインド風の様式を取り入れた独特な折衷寺院建築である。
1999(平成11)年には東京都復興記念館とともに、東京都選定歴史的建造物に指定された。

緩む心のねじをまけ

関東大震災100年

現在の横網町公園一帯にはかつて旧陸軍被服廠があつたが、移転に伴い、跡地は払い下げられ、東京市が公園などの造成を進めていた。その最中の、1923(大正12)年9月1日11時58分、関東地方南部を震源とするM(マグニチュード)7・9と推定される巨大地震が発生した。

地震後の旧東京市内では同時多発的に出火。人口密度が高く、木造家屋も密集していたことや丁度昼時で食事の準備に火を使う人が多かったこと、停滞していた台風の影響による強風などにより瞬く間に延焼。死者・行方不明者推定10万5千あまりの甚大な被害をもたらした。

そのような中、被服廠跡の空き地には多数の人が避難していたが、各所で発生した火災はやがて強風にあおられ、炎が四方から迫り、運び込まれた家財道具などに火の粉が燃え移って広がった。激しい炎は1日の夕刻に巨大な火災旋風を巻き起こし、人々を二気に飲み込み、大多数が逃げる間もなく犠牲になり、この地だけで3万8千人以上もの尊い命が失われた。

関東大震災では火災による被害に加え、津波による被害も大きかったことを忘れてはならない。また被災地域の広大さや、本震と続けざまに発生した、いわゆる「三つ子地震」の他にも、M7クラスの地震も数回、M6クラスの地震も多数発生していることも特筆すべき事項である。

東京市では、これらの遭難者の霊を供養するとともに、東京を復興させた大事業を記念するため、当地に「大正震災記念公園」と仮称された公園を整備し、1930(昭和5)年には、震災記念堂(現：東京都慰霊堂)や鐘楼、日本庭園等が、市民や皇室などからの尊い寄付を受けて完成し、9月1日、横網町公園として開園した。翌年には、東京都復興記念館も完成し、ほぼ現在の横網町公園の形が出来上がった。



東京都慰霊堂

とう きょう と い れい どう

東京都墨田区
1930(昭和5)年4月30日竣工

鉄骨鉄筋コンクリート造
慰霊堂：地上1階/地下1階、高さ21m
慰霊塔：地上4階、高さ41m
設計者：建築家 伊東忠太らによる

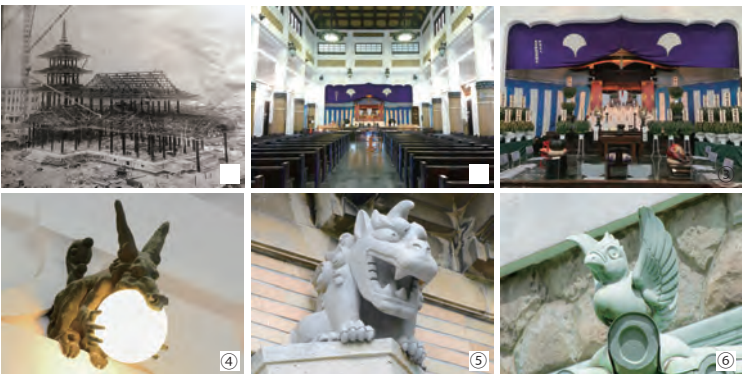
◀今年2023(令和5)年は、関東大震災が発生してから丁度100年。改めてこのことをお知らせするために、慰霊堂正面に垂れ幕が設置されている。



▲三重塔の基部は納骨堂になっている。



▲「東京空襲犠牲者を追悼し平和を祈念する碑」上部の花壇は、都内の小・中・高校生が描いたデザインを基に制作されている。2023(令和5)年8月現在のデザインは、江戸川女子中学校の生徒によるもので、テーマは「花火」。



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。どうぞご期待ください。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/



セメント協会 Instagram
東京都慰霊堂

https://www.instagram.com/p/CiRexZ-ROMBc/?img_index=1



セメント協会 Instagram
東京都復興記念館

https://www.instagram.com/p/CijJTpp-PoYY/?img_index=1

東京は関東大震災から見事に復興を果たしたかに見えたが、それも束の間、太平洋戦争下における空襲による都内犠牲者の数は、死者・行方不明者を合わせて10万人をはるかに超えた。中でも1945(昭和20)年3月10日未明の東京大空襲は、特に大きな被害をもたらした。

1951(昭和26)年、東京空襲遭難者の仮埋葬遺骨の改葬が終了し、身元不明者10万5千人を震災記念堂に合祀することとなった。これによって、震災遭難者約5万8千人と合わせて16万3千人の遺骨を祀ることとなり、名称も東京都慰霊堂と改称した。

現在は毎年、3月10日と9月1日に遭族をはじめ、皇族方のご臨席を仰ぎ、関係各方面から来賓の参列を得て、春秋の慰霊大法要を開催している。

横網町公園には他に、震災遭難児童弔魂像、幽冥鐘と鐘楼、朝鮮人犠牲者追悼碑、石原町・緑町震災戦災追悼碑、永田秀次郎・東京市長の句碑などがある(順不同)。

写真・文 井川幹雄(セメント協会)

各種セメント硬化体の炭酸化反応によるCO₂吸収と生成物の変化

CO₂ Absorption and Products in Various Carbonated Cements

梅津 真見子 黒川 大亮 森 泰一郎 坂井 悦郎

1. はじめに

カーボンニュートラルと関連して、セメント系材料がCO₂を吸収し、炭酸塩として固定化する特性が改めて注目されている^{1, 2)}。従来、炭酸化反応によるセメント・コンクリートのCO₂吸収量は、熱重量示差熱分析(TG-DTA)を用いて、カルサイトの脱炭酸温度での質量減少量を定量することで評価されてきた。しかし、炭酸カルシウムにはカルサイトの他にアラゴナイトやバテライトの結晶多形、および非晶質炭酸カルシウムが報告されている³⁾。また、炭酸化したセメント硬化体には、炭酸カルシウム以外にも炭酸イオンを含むゲル状水和物(C_{0.96}SA_{0.05}C̄_{0.21}H_{2.35}やC_{0.77}SA_{0.04}C̄_{0.15}H_{2.18})の存在も報告されており⁴⁾、従来の方法ではCO₂吸収量が小さく

見積もられている可能性がある。

本研究は、CO₂濃度5%、温度20℃、相対湿度60%の促進炭酸化養生による、各種セメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化について検討した^{5, 6)}。また本稿では、固体燃焼式炭素分析(TOC)から全CO₂吸収量を、TGから炭酸カルシウム結晶によるCO₂吸収量を、それらの差分からゲル状水和物によるCO₂吸収量を求めた結果について報告する。

2. 硬化体の調製

研究対象とした普通ポルトランドセメント(N：密度3.15g/cm³、粉末度3290cm²/g)、中庸熱ポルトランドセメント(MPC：密度3.22g/cm³、粉末度3240 cm²/g)、低熱ポルトランドセメント(LHC：密度3.25 g/cm³、粉末度3340cm²/g)、および高炉セメントB種(BB：密度3.05g/cm³、粉末度3720cm²/g)の化学組成を**表1**に示した。NとBBにはあらかじめ少量混合成分として石灰石微粉末(LSP)が添加されている。また、BBの高炉スラグの置換率は40～45mass%である。フライアッシュセメント(FA)は、**表1**に示したNと静電ベルト式分級装置により未燃炭素を除去したフライアッシュ⁷⁾(FT：密度2.22g/cm³、粉末度3680cm²/g、強熱減量0.97%)を、N：80mass%、FT：20mass%の割合で混合した。HVBFSCは**表1**に示した普通PC(OPC：粉末度3310cm²/g、密度3.16g/cm³、少量混合成分無

表1 各材料の化学組成(maas%)

材料		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl
N		2.3	20.8	5.6	3.2	64.0	1.2	2.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.03
MPC		1.0	23.0	3.9	4.2	63.0	1.1	2.0	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.01
LHC		0.8	26.3	2.8	3.0	63.3	0.6	2.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.01
BB		1.4	25.4	8.1	2.2	55.8	2.8	2.6	0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0.02
FT		1.0	67.9	21.9	3.7	1.2	0.5	0.3	0.3	0.3	1.2	0.3	0	0
HV-BFSC	OPC	0.9	20.6	5.1	3.2	64.3	1.9	2.2	0.4	0.4	0.3	0.6	0.1	0.02
	BFS	+0.26	34.0	12.7	0.3	43.7	6.4	-	0.2	0.4	0.6	0.01	0.3	0.01
	Anhydrite	1.2	0.5	0.2	0.1	40.5	0	57.7	-	-	-	-	-	-

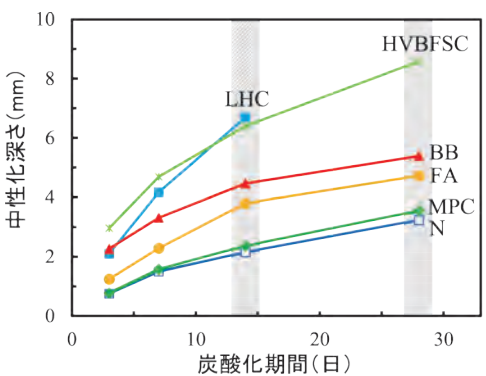


図1 中性化深さ

表2 XRDから同定されたCa-Al系水和物
[▲：わずかに生成]

試料	未中性化部			中性化部	
	7d	21d	35d	21d	35d
N	AFt, ▲HC, MC	AFt, ▲HC, MC	AFt, ▲HC, MC	▲AFt, ▲MC	なし
MPC	AFt, ▲HC	AFt, ▲MC	AFt, ▲MC	AFt	AFt
LHC	AFt, ▲HC	AFt	AFt, ▲MC	AFt	AFt
FA	AFt, HC, ▲MC	AFt, HC, MC	AFt, HC, MC	▲AFt, ▲HC	なし
BB	AFt, AFm, HC	AFt, AFm, HC, ▲MC, ▲HT	AFt, AFm, HC, ▲MC, ▲HT	なし	なし
HVBFSC	AFt, AFm	AFt, AFm, ▲HT	AFt, AFm, ▲HT	なし	なし

添加)と無水セッコウ(Anhydrite：粉末度3880cm²/g、密度2.90g/cm³)、および高炉スラグ微粉粉末(BFS：粉末度4280cm²/g、密度2.98g/cm³)を、OPC：30 mass%、Anhydrite：5mass%、BFS：65mass%の割合で混合した。

水セメント比は0.5とし、2×2×8cmの試験体を成形した。材料分離を防止するため増粘剤(ビスコトップ)を2mass%添加した。養生方法は、湿空養生3日後脱型、さらに4日間湿空養生した後、炭酸化養生を28日間行った。炭酸化条件はCO₂濃度が5%、温度が20℃、相対湿度が60%である。また、**図1**に示したフェノールフタレイン溶液を用いた中性化深さの測定を行い、材齢21日と35日(炭酸化期間14日と28日)の試料において、

フェノールフタレイン溶液で無着色であった部分を切り出して中性化部(21日と35日)として実験対象とした。さらに、養生方法を湿空養生のみとした、材齢21日と35日の試料を未中性化部として比較対象とした。

3. 実験結果と考察

3-1. Ca-Al系水和物と炭酸化後の生成物

粉末X線回折(XRD、線源CuKα)の結果から、未中性化部の水和生成物は主にCa-Al系水和物、CH、およびC-S-Hと推定した。各種セメント硬化体のCa-Al系水和物を**表2**に示した。未中性化部において、NとFAではエトリンガイト(AFt)とモノカーボネート



うめつ まみこ / UMETSU Mamiko
大成建設(株)技術センター
社会基盤技術研究部 材工研究室
博士(理学)



くろかわ だいすけ / KUROKAWA Daisuke
太平洋セメント(株) 中央研究所
セメント・コンクリート研究部 固化・不溶化技術チーム
博士(工学)



もり たいいちろう / MORI Taiichiro
デンカ(株) 青海工場
青海サステナビリティー推進部
グループリーダー 技術士(化学)



さかい えつお / SAKAI Etsuo
東京工業大学
名誉教授 工博 技術士(化学)

表3 分析結果の一覧

試料	エーライトの反応率 (mass%)					ビーライトの反応率 (mass%)					CH量 (mass%)					カルサイトとバテライトの 相対面積比		C-S-Hの組成		
	未中性化部			中性化部		未中性化部		中性化部			未中性化部		中性化部			中性化部		未中性化部		
	7d	21d	35d	21d	35d	7d	21d	35d	21d	35d	7d	21d	35d	21d	35d	カルサイト	バテライト	Ca/Si	Al/Si	Ca/(Si+Al)
N	85.17	86.40	89.19	90.34	94.64	15.31	12.72	20.56	54.27	56.75	22.24	22.20	22.93	13.21	13.65	1.14	0.56	1.65	0.07	1.54
MPC	86.49	90.31	93.32	92.81	95.23	15.47	21.00	30.67	56.73	49.80	16.61	21.55	24.09	11.72	12.24	0.80	0.67	1.63	0.07	1.52
LHC	86.88	88.40	91.86	96.90	95.75	12.54	24.90	27.68	58.93	55.77	12.39	17.61	16.29	8.60	8.74	1.35	0.42	1.57	0.07	1.47
FA	85.68	91.22	95.46	95.15	98.30	14.47	20.99	21.34	54.89	-	17.77	20.08	19.98	10.18	10.84	0.84	0.48	1.39	0.09	1.28
BB	87.91	97.59	96.55	97.61	100	16.07	23.77	32.63	52.60	-	11.53	11.55	13.33	6.91	6.79	0.53	0.64	1.42	0.08	1.32
HVBFSC	73.00	84.30	81.28	94.70	95.74	-	-	-	-	-	4.86	5.64	5.18	3.96	3.05	0.21	0.56	1.33	0.11	1.19

(MC)，およびヘミカーボネート(HC)が生成していた。

MPCとLHCでは主にAFtが生成し、BBではAFt、モノサルフェート(AFm)、HC、およびハイドロタルサイト(HT)の生成が確認された。なお、MCとHCの生成は、少量混合成分として添加されているLSPの主成分である炭酸カルシウムとアルミネート相(C₃A)の反応によるものと考えられる。HVBFSCでは無水セッコウが添加されているため、C₃Aとセッコウの反応によりAFtが主に生成し、AFmとHTも生成している。

中性化部において、N、FA、BB、HVBFSCのCa-Al系水和物は全て炭酸化により分解し、ゲル状水和物と炭酸カルシウムに変化したと推定される。一方、MPCとLHCでは炭酸化後もAFtが残存する。AFtは炭酸化反応によりアルミナゲル、セッコウ、炭酸カルシウムに変化するとされているが⁸⁾、本研究で使⽤したMPCとLHCは、SO₃/Al₂O₃比が他のセメントと比べて大きいため、炭酸化でAFtが分解しても、分解して生成したゲル状水和物とSO₃成分との反応によりAFtが再生成したと解釈した。

3-2. エーライトとビーライトの反応率

エーライトとビーライトの反応率は内部標準法により定量した。XRD測定用試料には標準物質として酸化マグネシウム(MgO)が10mass%内割添加されている。また、ビーライトの対象となる2θ=31°にAFmのピークが重なるため、200℃で6時間熱処理をした試料を用いた。

表3に示したエーライトの反応率は全ての試料でほぼ等しいので、エーライトの含有量が多いNの水和物

量が最も大きい。一方、ビーライトの反応率は、未中性化部の21日と35日で20～30%の値を示すが、中性化部で50～60%とより大きな値を示し、炭酸化反応によりビーライトの反応が促進されたことがわかる。これは既報⁴⁾の結果と一致する。

3-3. 炭酸化によるCH量の変化

全ての試料の未中性化部でCHのXRDピークが同定され、中性化部で小さくなる傾向にあった。また、表3に示したCH量は、TG(昇温速度10℃/min、流入ガス窒素)のDTG曲線の分解開始と終了温度から脱水温度を決定し、その温度での減量から求めた。NのCH量(mass%)は、未中性化部で22.20と22.93であり、中性化部では13.21と13.65となり、それぞれ8.99と9.28がCO₂との反応に消費されたと考えられる。他のセメントも同様に考えると、MPCでは9.83と11.85、LHCでは9.01と7.55、FAでは9.90と9.14、BBでは4.64と6.54、HVBFSCでは1.68と2.13のCH(mass%)が炭酸化に利用されたと推定される。炭酸化に利用されたCH量は混合セメント硬化体ではPCに比べて小さい傾向にあった。

3-4. 生成した炭酸カルシウム結晶の種類

全ての試料の中性化部において、炭酸カルシウムの結晶多形であるカルサイトとバテライトのXRDピークが同定された。これらの回折強度比はセメントの種類により異なっていたため、標準物質であるMgOのXRDピーク面積を1とした時のカルサイト(2θ：29.4°)とバテライト(2θ：24.9°)の相対面積比を表3に示した。PCとFA

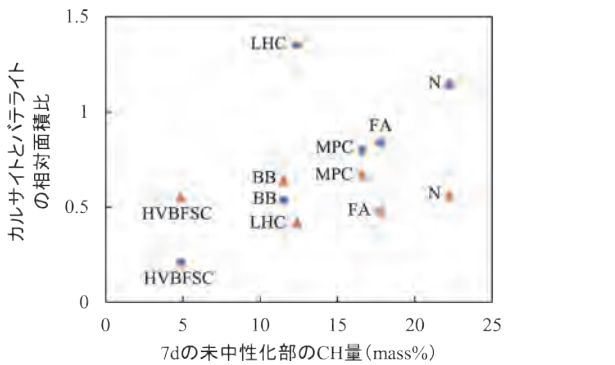


図2 カルサイト(青●)とバテライト(オレンジ▲)の相対面積比と未中性化部のCH量の関係

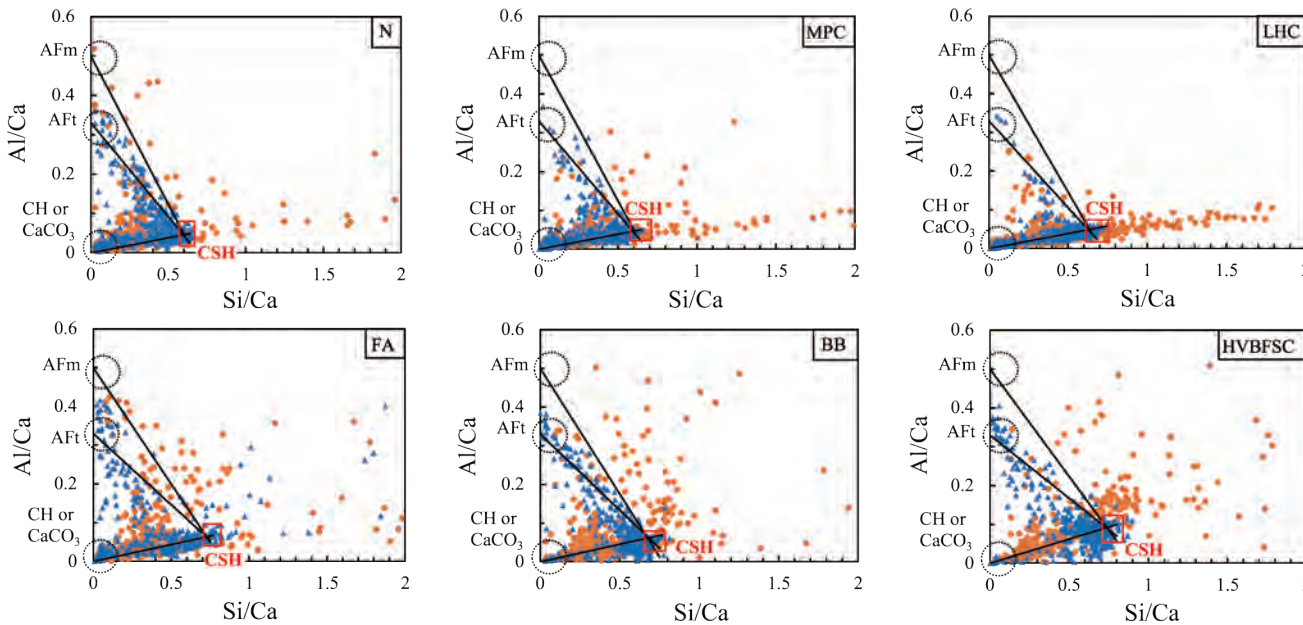


図3 SEM-EDSによる未中性化部(青▲)と中性化部(オレンジ●)のSi/Ca比とAl/Ca比の関係

では、バテライトよりカルサイトの相対面積比の方が大きいのに対し、BBとHVBFSCではバテライトの方が大きい傾向を示した。この結果は、高炉スラグを混和したセメント硬化体の方が炭酸化によりバテライトの生成が増加するとした従来⁹⁾の報告と一致する。

カルサイトとバテライトの相対面積比と、7日の未中性化部のCH生成量の関係を図2に示した。炭酸化前に生成したCH量が多いとカルサイトの生成量が多い傾向を示すが、バテライトとの相関は低い。これはCHの炭酸化によりカルサイトが生成されやすいためと考えられる。一方、バテライトは低Ca/Si比のC-S-Hの炭酸化から生成されやすいとの報告もあるが⁹⁾、水分の影響やより安定なカルサイト相への転移なども含めて、さらに詳細な検討が必要である。

3-5. ゲル状水和物の組成

図3に水和物の多点分析に基づく、未中性化部と中性化部のSi/Caモル比とAl/Caモル比(以下、Si/Ca比、Al/Ca比)の関係を示した。測定はエネルギー分散型X線分光分析器付電子顕微鏡(SEM-EDS(KEYENCE社製VE9800およびEDAX社製genesis-XM2)、加速電圧15kV、観察倍率1000倍)を用い、未反応粒子を避けて行った。また、傾向線は宮原の方法に準じた¹⁰⁾。一般に未炭酸のセメント硬化体の解析では、AFm相とC-S-Hの混合相が生成するが、本研究では少量混合成分としてLSPと添加材として無水セッコウが添加されていることや、MPCとLHCではSO₃/Al₂O₃比が大きいことから、主にAFtとMCが生成している。AFtはSi/Ca=0、Al/Ca=0.33付近に分布する。本研究では

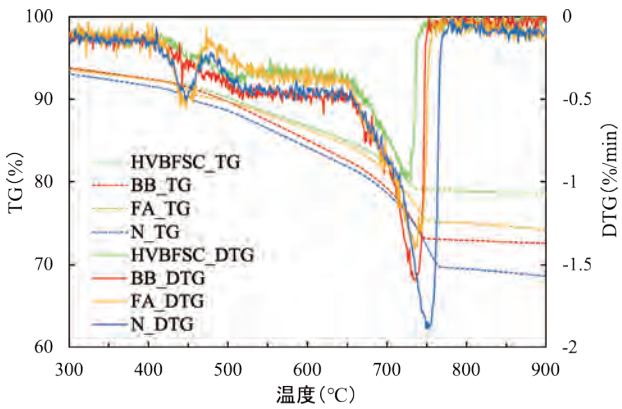


図4 中性化部のTGとDTG曲線

CHとAFtから未中性化部の測定点(図3青▲)にそって傾向線を引き、交点の周辺から高Si/Ca比の測定点が一のC-S-H(C-A-S-H)の組成と考え、図中の四角く赤線で囲んだ測定点の平均をC-S-Hの組成とした。

表3に示した未中性化部におけるPC硬化体のC-S-HのCa/Si比は、Nが1.65、MPCが1.63、LHCが1.57であり、Al/Si比は0.07であった。一方、混合セメント硬化体のC-S-HのCa/Si比は、FAが1.39、BBが1.42、HVBFSCTGが1.33であり、PC硬化体より低い値を示した。Al/Si比は、FAが0.09、BBが0.08、HVBFSCTGで0.11であり、PC硬化体より高い値を示した。これは、混合材のFAやBBの反応により、C-S-H中のAlが増加したためと考えられる。

中性化部において、PC硬化体の中性化部の測定点(図3オレンジ●)は、未中性化部に比べてSi/Ca比が大きく、広く分布している。Si/Ca比が2～6を示す測定点も多くあり、Si主体のゲル状生成物が生成されたことがわかる。一方、混合セメント硬化体では、PC硬化体同様に高いSi/Ca比を示すが、Al/Ca比も大きく、広く分布している。これは混合材の反応により、SiとAlに富んだゲル状水和物が生成されたことを示唆する。このゲル状水和物は特定な組成の生成物ではなく、異なる組成の混合物と考えられる。

3-6. CO₂吸収量

図4にN、FA、BBおよびHVBFSCTGの中性化部のTGとDTG曲線を示した。本研究では、試料ごとに

表4 中性化部の各CO₂吸収量

試料	TG-CO ₂ 吸収量 (mass%)		TOC-CO ₂ 吸収量 (mass%)		TOC-TG (mass%)	
	21d	35d	21d	35d	21d	35d
N	16.80	17.72	30.67	37.35	13.88	19.63
MPC	13.11	14.83	26.05	28.95	12.94	14.12
LHC	14.51	15.10	24.97	28.86	10.46	13.77
FA	13.64	13.02	24.32	24.28	10.68	11.26
BB	11.73	14.88	24.55	25.36	12.82	10.48
HVBFSCTG	7.39	7.56	18.20	18.37	10.81	10.80

DTG曲線の分解開始と終了温度から脱炭酸温度を決定し、その温度での減量から求めたCO₂量を炭酸カルシウム結晶による吸収量(TG-CO₂吸収量)として表4に示した。例えば、NとBBの脱炭酸温度はそれぞれ654～781℃と640～770℃とした。なお、試料中の炭酸カルシウム結晶には、カルサイトの他にバテライトも含まれている。バテライトはカルサイトより低い温度(650℃付近)で分解するとの報告もある¹¹⁾。しかし、本研究の範囲では、バテライトを多く含むBBとHVBFSCTGの脱炭酸ピークはやや低温側にシフトするものの、カルサイトを多く含むNとFAのピークとはほぼ同様の温度範囲と形状を示しており、バテライトは測定中の昇温によりカルサイトに相転移したものと推定した。なお、非晶質炭酸カルシウムについては、測定中の加熱により250℃付近で結晶化し、カルサイトに変化するとの報告もあり³⁾、より詳細な検討が必要である。

また、DTG曲線には、炭酸カルシウムの脱炭酸による減量の温度と考えられる640～781℃のピークの他に、480～640℃付近にブロードのピークが確認された。TG-MSクロマトグラムから400～750℃の低い温度から炭酸ガスが発生していることや^{12,13)}、炭酸イオンを含むゲル状水和物(C_{0.96}SA_{0.05}C_{0.21}H_{2.35}やC_{0.77}SA_{0.04}C_{0.15}H_{2.18})が報告されており⁴⁾、炭酸カルシウム結晶以外のCO₂化合物の存在が示唆される。そこで本研究では、TOC分析(固体燃焼式炭素量測定装置SHIMADZU CORPORATION TOC-5000A、流入ガス酸素、燃焼温度900℃)から全無機炭素量を測定し、全CO₂吸収量(TOC-CO₂量)を求めた。Nの全CO₂吸収量(mass%)は30.67～37.55、MPCでは26.05～28.05、LHCでは

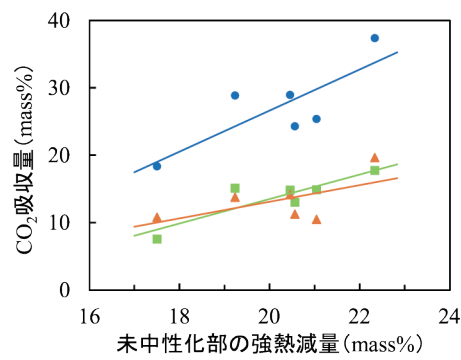


図5 未中性化部の強熱減量とCO₂吸収量との関係
[●全CO₂吸収量、■炭酸カルシウム結晶によるCO₂吸収量、
▲ゲル状水和物によるCO₂吸収量]

24.97～28.86であったが、FAでは24.28～24.32、BBでは24.55～25.36、HVBFSCTGでは18.20～18.37となった。

また、TOC-CO₂吸収量とTG-CO₂吸収量の差(TOC-TG)は、炭酸カルシウム結晶以外のゲル状水和物などに吸収されたCO₂量と考えられる。ゲル状水和物によるCO₂吸収量(mass%)は、Nでは13.88～19.63、MPCでは12.94～14.12、LHCでは10.46～13.77であるのに対し、FAでは10.68～11.26、BBでは10.48～12.82、HVBFSCTGでは約10.80であった。つまり、10～20 mass%のCO₂がC-S-H等のゲル状水和物に吸収されていると推定される。また、BBとHVBFSCTGでは生成されるCH量が少ないことから炭酸カルシウム結晶によるCO₂吸収量は低いものの、ゲル状水和物によるCO₂吸収の割合が大きい傾向にある。

図5に未中性化部の強熱減量と、セメント硬化体による全CO₂吸収量、炭酸カルシウム結晶の生成に利用されたCO₂量、および、ゲル状水和物に吸収されたCO₂量の関係を示した。パラツキはあるものの、強熱減量が大きくなると各CO₂吸収量も増加する傾向にある。未中性化部の強熱減量は水和物量を間接的に示すと考えられ、水和物量が多いことがCO₂吸収に有利に働くものと推定される。

4. おわりに

本稿は、各種セメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化について検討し、①炭酸化反応によりビーライトの

反応が促進されること、②カルサイトとバテライトが生成され、セメントの種類でその比率が異なること、③未炭酸のセメント硬化体によるC-S-Hの組成(Ca/Si比:N 1.65、MP1.63、LHC1.57、FA1.39、BB1.42、HVBFSCTG1.33、Al/Si比:PC0.07、混合セメント0.08～0.11)、④炭酸化反応後にPCではSi/Ca比、混合セメントではSi/Ca比とAl/Ca比が広く分布したゲル状水和物が生成されること、⑤18～38 mass%のCO₂がセメント硬化体に吸収され、その内10mass%程度が炭酸カルシウム結晶以外のゲル状水和物に吸収されていることを報告した。しかし、ゲル状水和物によるCO₂の具体的な吸収形態や、吸収したCO₂の長期的な安定性の評価に関する課題も残されている。本研究がセメント・コンクリートのCO₂吸収・固定化性能のさらなる理解に繋がれば幸いである。

【謝辞】本研究は東京工業大学次世代セメント材料共同研究講座の活動の一環として実施したもので、関係各位に感謝致します。

【参考文献】

- 1) P-C. Chiang, S-Y. Pan / Carbon Dioxide Mineralization and Utilization, Ed. by Springer, 2017
- 2) セメント協会／カーボンニュートラルとセメントのこれから、セメント・コンクリート, No. 900, 2022
- 3) 安江任他／非晶質炭酸カルシウムの合成と性質, 日本化学会誌, No. 7, pp. 1107～1113, 1984
- 4) 坂井悦郎他／低熱ポルトランドセメント硬化体の炭酸化反応, J. Ceram. Soc. Japan, Vol. 107 (6) pp. 561～566, 1999
- 5) 梅津真見子他／セメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, pp. 34～41, 2021
- 6) 梅津真見子他／混合セメント硬化体の二酸化炭素吸収と生成物, J. Soc. Inorganic Materials, Japan, Vol. 29, pp. 315～321, 2022
- 7) 坂井悦郎他／静電ベルト式分級装置により未燃カーบอนを除去したフライアッシュの性質, セメント・コンクリート論文集, Vol. 73, pp. 65～70, 2019
- 8) 金尚奎他／エトリンガイトの炭酸化反応, Gypsum & Lime, No. 237, pp. 85～91, 1992
- 9) 豊村恵理, 伊代田岳史／異なる二酸化炭素濃度環境下における炭酸化メカニズムに関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No.1, pp. 769～774, 2013
- 10) 宮原茂禎, 坂井悦郎／解説SEM-EDSによるC-S-H(C-A-S-H)の組成分析技術, セメント・コンクリート, No. 892, pp. 22～27, 2021
- 11) D. Wang et al. / Changes in mineral composition, growth of calcite crystal, and promotion of physico-chemical properties induced by carbonation of β -CaS, Journal of CO₂ Utilization, Vol. 34, pp. 149～162, 2019
- 12) セメント協会 セメント化学専門委員会／セメント硬化体の炭酸化, セメント・コンクリート, No. 574, pp. 26～32, 1994
- 13) S. Goto et al. / Calcium silicate carbonation products, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 78, Issue 11, pp. 2867～2872, 1995

モルタルの物性変化に及ぼす 化学混和剤への熱刺激効果に関する研究

Study on Properties of Mortar on The Effects of Thermal Stimulation on Superplasticizers

瀧川 瑞季 伊達 重之

1. はじめに

コンクリートの練混ぜにはセメント、水、骨材のほかに混和材料を添加することで流動性・施工性の向上や硬化後の性能向上を図るケースが多い。この混和材料の一つに化学混和剤があげられ、コンクリート打設時の施工性や品質の確保をするうえで欠かせない存在となっている。その中でも高性能減水剤・高性能AE減水剤は単位水量を減らしながら流動性と材料分離抵抗性を両立させることが可能である。特に、ポリカルボン酸を主原料とする化学混和剤は優れた分散性能とスランプ保持性を有していることから広く使用される一方で、保管環境・期間に応じて基本性能が変化することが経験的に知られている。またそれによりコンクリート施工の不具合などが生じることが確認されている。これは、化学混和剤を貯蔵しているタンクの温度変化によって化学混和剤の温度も変化したこと起因すると考えられる。しかし、この基本性能の変化について、化学混和剤そのものを高温環境下で貯蔵することでも、似たような変化が起こることはあまり知られていない。



たきがわ みずき / TAKIGAWA Mizuki
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所
研究員 博士(工学)



だて しげゆき / DATE Shigeyuki
東海大学
建築都市学部土木工学科
教授 博士(工学)

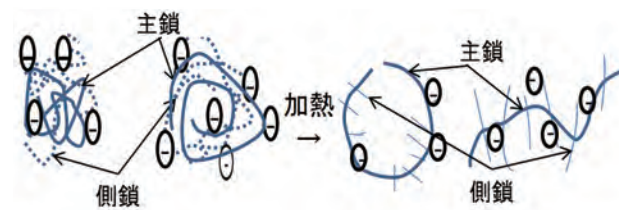


図1 熱刺激によるポリマーの形態変化のイメージ図¹⁾

筆者らはこれまで、ポリカルボン酸等を主原料とする化学混和剤に加熱処理を施すことによる基本性能の変化を確認した後、実際の施工環境を想定した場合の不具合について確認を行ってきた^{1,2)}。また、建設現場やプレキャスト製品工場への適用を想定した場合の検証を行ってきた^{3~6)}。本稿では、これまでの研究を通して得られた結果の一部について紹介する。

2. 熱刺激とは

図1に熱刺激効果によるポリマーの形態変化のイメージ図を示す。本稿で焦点としているポリカルボン酸を主原料とする化学混和剤の分散メカニズムは立体障害効果で説明することができるといわれている。これは、化学混和剤中に含まれているポリマーがセメント粒子に吸着することで凝集しにくくなり、セメント粒子の分散を安定させるものである。また、ポリマーは複雑な立体構造をしており、ポリマー同士の距離が近いと絡まりやすいと考えられる。

そこで、練混ぜ水に添加する前の化学混和剤に熱

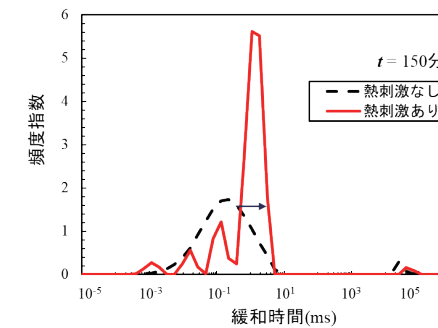


図2 熱刺激効果による見かけ上の分子サイズの変化¹⁾

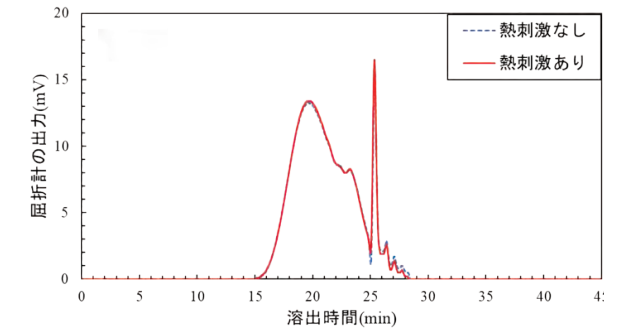


図3 熱刺激効果による分子量の変化¹⁾

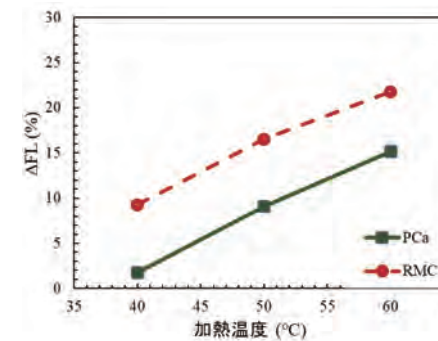


図4 加熱温度とフロー値の変化量¹⁾

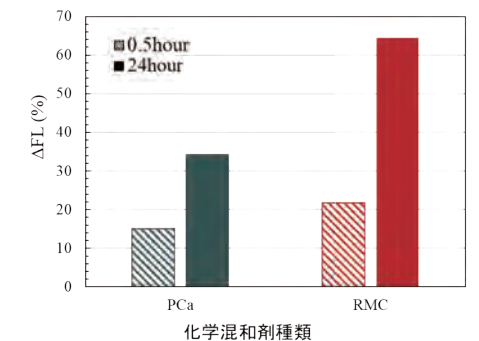


図5 加熱時間とフロー値の変化量¹⁾

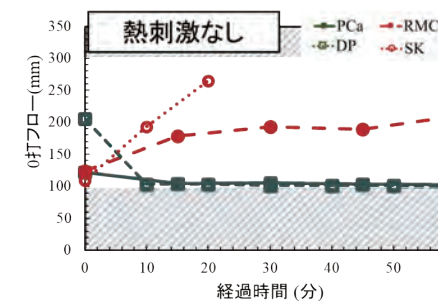


図6 0打フローの経時変化(熱刺激前)¹⁾

による刺激を受けることで、化学混和剤中に含まれているポリマーが解砕・伸展し、セメント粒子表面へ吸着する面積の増加をもたらす。これにより、モルタル/コンクリートの流動性に変化が現れるという仮説(今回は化学混和剤を加熱することを「熱刺激」とし、これによって得られる効果を「熱刺激効果」とした)を立てた。

この仮説をもとに、化学混和剤への熱刺激効果によってポリマーの見かけ上のサイズや分子量に変化が現れるかの確認を行った。この結果を図2および図3に結果を示す。これらから、化学混和剤への熱刺激効果によって、化学混和剤中のポリマーの分子量は変わらず、見かけ上の分子サイズが大きくなることが確認された。このことから、セメント粒子が化学混和剤中の

ポリマーと吸着する面積が増えることにより、セメントの分散性が向上すると考えられる。それだけでなく、分散メカニズムである立体障害効果の最大化も図ることが可能であるとも考えられる。

3. モルタルの施工性に及ぼす 化学混和剤への熱刺激効果

上記の仮説について、実際にポリカルボン酸を主原料とする化学混和剤の中でもプレキャストコンクリートの製造で使用されているもの(以下、図中ではPCaと称す)と現場施工向けで使用されているもの(以下、図中ではRMCと称す)を対象に熱刺激効果による施工性への影響について確認を行った。はじめに、熱刺激を与えることでモルタルの流動性に影響が現れるかについて、JIS R 5201に準拠し、モルタルフロー試験を行った。併せて、保持効果への影響を確認するために経時的に流動性の確認を行なった。図4~6にそれぞれの結果を示す。これらの結果より、化学混和剤の加熱温度が高いほど、流動性が向上することが確認された。これら

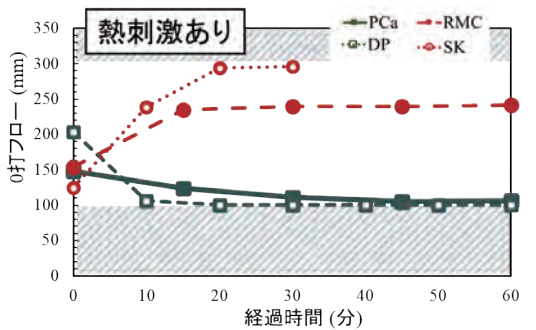


図7 0打フローの経時変化(熱刺激後)¹⁾

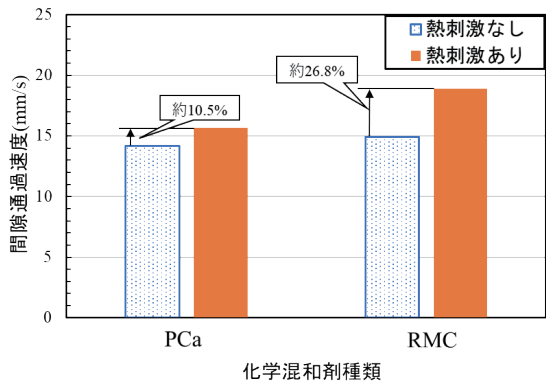


図9 化学混和剤種類と熱刺激効果における間隙通過速度の変化²⁾

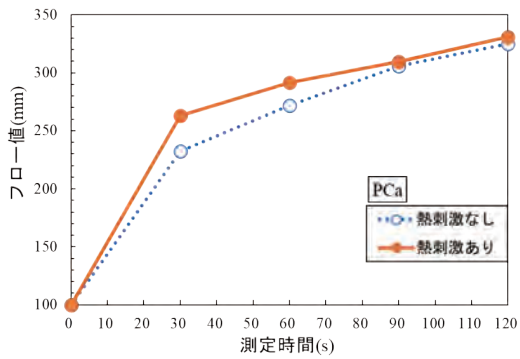


図10 フロー値に及ぼす熱刺激効果の影響(PCaタイプ)⁶⁾

の結果から、化学混和剤の加熱温度が高く、加熱時間が長いほど、熱刺激効果による流動性の向上がより顕著となることが確認された。一方、練上がり後のスランプ保持性には特段の影響を与えないことも確認されている。

また、モルタルの塑性粘度と充填性の確認を行うために羽根沈式粘度測定試験⁷⁾と間隙通過速度試験を行った。この結果を図8,9に示す。これらの結果から、熱刺激効果によってセメントの分散性が向上することから、塑性粘度が低減され間隙通過速度が速くなり、施工性が向上することが確認された。

このほかにコンクリートの練混ぜのしやすさの程度に

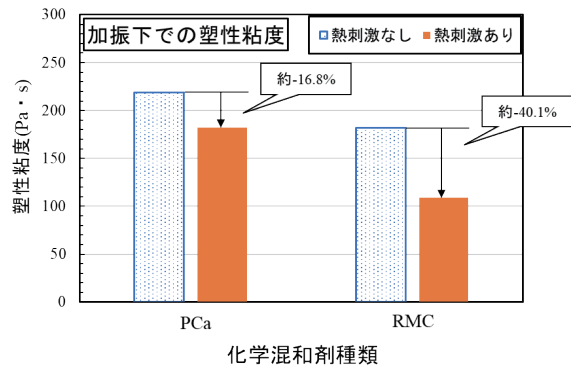


図8 化学混和剤種類と塑性粘度の関係²⁾

表1 練混ぜ瞬発性に及ぼす熱刺激効果の影響⁶⁾

		熱刺激		熱刺激効果による練混ぜ時間削減率(%)
		なし	あり	
PCa	Mmax ^{*1} (s)	44.0	32.0	27.3
	A ^{*2} (A)	6.98	5.71	18.2
RMC	Mmax (s)	70.0	46.0	34.3
	A (A)	5.60	5.49	1.96

※1：最大電流到達までの所要時間(s)

※2：最大電流(A)

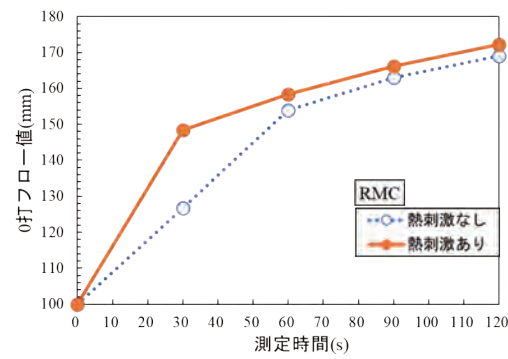


図11 フロー値に及ぼす熱刺激効果の影響(RMCタイプ)⁶⁾

ついて、練混ぜ時にかかるミキサへの負荷を確認するために練混ぜ時のミキサ電流の測定^{8,9)}を行った。一般に、ミキサ電流は練り混ぜ開始直後から増加し、一度ピーク値を示したのち徐々に減少してゆく。練混ぜが速い場合はそのピークに到達するまでの所要時間が短いと考え、その差異によって練混ぜのしやすさ、いわゆる“練混ぜ瞬発性”を評価した。また、練混ぜ過程における流動性の変化をフローにて評価した。

この結果を表1, 図10, 11に示す。これらの結果より、熱刺激効果によって練混ぜ時の電流が低減していることが確認された。また、熱刺激効果によって、セメ

表2 熱刺激の効果一覧

施工性に関わる評価	熱刺激効果
流動性	向上
スランプ保持性	悪影響なし
塑性粘度	低減効果あり
充填性	間隙通過速度が向上
練混ぜのしやすさ	ミキサにかかる負荷の低減

ントと効率よく吸着したことで、分散効果が発揮されるまでの時間が短くなり、より早い段階で所定の流動性が確保できるようになることが確認された。

5. おわりに

本稿で紹介した範囲において、化学混和剤への熱刺激効果の概要を表2にまとめる。今回の結果で注目していることは化学混和剤の添加量が同じ場合において、熱刺激効果による流動性の向上によって、作業性が向上するだけでなく、塑性粘度の低減効果によって振動締固め性が向上することから、施工スピードの向上が期待される。また、熱刺激効果によりコンクリート製造時間の削減も見込まれ、それにより実際の施工現場での生産性向上も図られる。それだけでなく、熱刺激効果による化学混和剤の基本性能の変化を見越し、化学混和剤の使用量削減も可能となると考えている。

以上、メリットばかりを述べてきたが、いくつか留意点があることもすでに確認されている。その一つがすべての化学混和剤に熱刺激効果が適応されるわけではない、というものである。図12にその結果を示す。

これはポリカルボン酸を主原料とする化学混和剤のほかに、リグニンスルホン酸を主原料とする化学混和剤(図中、LSC)、メラミンスルホン酸を主原料とする化学混和剤(図中、MSN)に熱刺激をあたえ、モルタルの流動性への影響を、モルタルフロー試験で確認した。その結果、リグニンスルホン酸を主原料とする化学混和剤とメラミンスルホン酸を主原料とする化学混和剤にはポリカルボン酸を主原料とする化学混和剤と同等の流動性の向上効果は確認されなかった。これは化学混和剤中に含まれているポリマーの構造とセメントの分散機構が異なることが理由であると推察している。ま

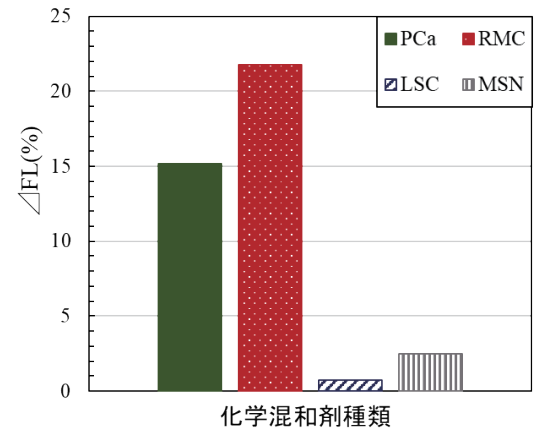


図12 化学混和剤中のポリマーの違いと熱刺激効果³⁾

た、筆者らもこれまでの研究・予備試験で様々な化学混和剤を用いて同様の検討を行ってきたが、同じポリカルボン酸を主原料とする化学混和剤であっても、流動性の向上効果に差があることを確認している。そのため、実際にこの結果を現場で適応する際には十分に予備試験並びに検討を行う必要がある。

今後は様々な結合材やリサイクル素材への適応方法を追求することで、熱刺激技術の利用促進が可能となると期待される。こうした検討を継続して行うことで実際の施工現場ならびにプレキャスト製品工場で熱刺激技術を導入しやすくなり、作業の合理化が実現されると考える。

【参考文献】

- 1) 瀧川瑞季他／モルタルの流動性におよぼす化学混和剤への熱刺激に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.1、pp.225～230、2018
- 2) 瀧川瑞季他／モルタルのフレッシュ特性におよぼす化学混和剤への熱刺激効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.41、No.1、pp.1139～1144、2019
- 3) Mizuki Takigawa et al.／Effect of thermal stimulation on various characteristics of superplasticizer, International Journal of Engineering and Technology, Vol.11, No.4, pp.262～266, 2019
- 4) 瀧川瑞季他／化学混和剤の性能変化に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.42、No.1、pp.155～160、2020
- 5) Mizuki Takigawa et al.／Effectiveness of Thermal Stimulation of Superplasticizers on Fresh Properties of Cement Mortar, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, Vol.46, pp.2765～2775, 2022
- 6) 勝岡夏那他／化学混和剤の各種性能におよぼす熱刺激の効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.44、No.1、pp.190～195、2022
- 7) 室賀陽一郎他／モルタルの粘性評価試験装置の開発、土木学会第55回年次学術講演会、V-406, pp.814～815, 2000
- 8) 立山創一他／ミキサ負荷電流による高流動コンクリートの製造管理、コンクリート工学年次論文集、Vol.17、No.1、pp.41～44、1995
- 9) 森本和雅他／硬練りコンクリートの練混ぜ量の違いがミキサの負荷に及ぼす影響、平成21年度日本大学理工学部学術講演会予稿集、B-23, pp.135～136、2009

γ -C₂S

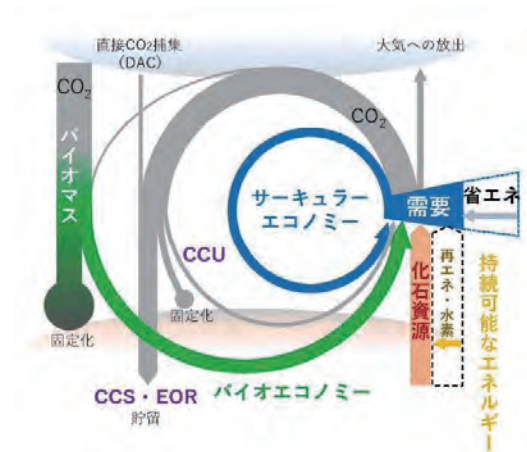
Series/Cement industry Key words for a decarbonized, low-carbon society: γ -C₂S

森 泰一郎 宇城 将貴

1. はじめに

世界規模での気候変動の顕在化を受け、温室効果ガスの中でも地球温暖化への影響が最も大きい二酸化炭素(CO₂)の削減に向けた取り組みが加速している。脱炭素社会の実現に向けて、2020年10月、わが国政府は「2050年カーボンニュートラル宣言」を発表し、2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする目標を宣言した。これまでにカーボンニュートラルを表明した国・地域は、日本も含めた154国・地域にも及び、世界GDPの約90%を占める規模となっている¹⁾。脱炭素化社会に向けた国際連携は、単に気候変動への取り組みだけでなく、新たな経済価値の創出や自国産業の競争力強化など、言わば世界経済のゲームチェンジに向けた市場競争の側面も帯びてきている。

二酸化炭素(CO₂)の削減に向けては、図1に示される炭素循環から見た社会システムの概念²⁾が示されている。エネルギー需要部分のCO₂排出量に対し、従前より取り組まれてきた省エネルギー化の推進に加え、再生可能エネルギー、水素などCO₂フリー燃料等の利用促進により、化石燃料の使用量を削減することでCO₂排出量を低減させる。そのうえで排出されるCO₂は、分離回収のうえCCS(CO₂回収・貯留：Carbon dioxide Capture and Storage)やEOR(石油増進回収法：Enhanced Oil Recovery)により地中に貯留させつつ、CO₂回収・利用(Carbon Capture and Utilization)を促進する。このような物質資源の循環利用を推進するサーキュラーエコノミー等を社会

図1 炭素循環から見た社会システムの概念図²⁾

システムとして実現していくことが、CO₂削減に効果的である。CCUのうち、CO₂を素材や燃料に再利用するカーボンリサイクルが想定され、このうちコンクリートの炭酸化によるCO₂固定化技術が先行して実用段階にある。

筆者らの研究グループは、早くからセメント・コンクリート分野でのカーボンリサイクルの可能性に着目し、水和活性を示さず、CO₂とは積極的に反応する特徴を有する γ -ベーライト(γ -2CaO·SiO₂／以下、 γ -C₂Sと称す)を主成分とした炭酸化混和材を開発・実証してきた^{3,4)}。すでに当該混和材の炭酸化反応を活用することでセメント単位量を削減させ、高炉スラグ微粉末などの組み合わせからコンクリート製品の出荷時までCO₂排出量を大幅に削減させたCO₂吸収型コンクリート⁵⁾などが実用化している。本稿では炭酸化混和材の開発・実証、そして炭酸化養生との組み合わせで得られる特徴など、これまで得られた知見を記す。

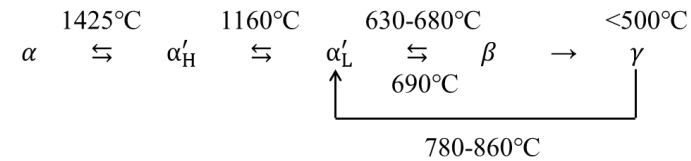
図2 C_2S の多形の転移関係⁶⁾

図3 自発的に粉化する現象(ダスティング)

2. γ -C₂Sを主成分とする炭酸化混和材の開発と実証製造

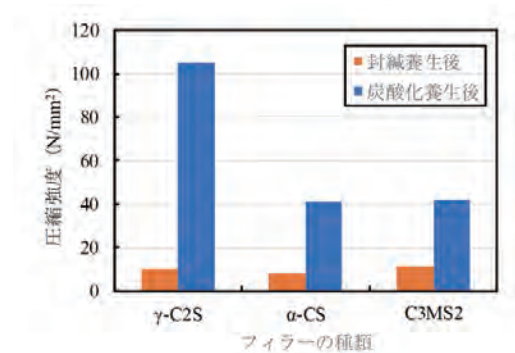
2-1. 開発前史

ポルトランドセメント(以下、セメントと称す)クリンカの主要構成鉱物の一つであるビーライト相は、2CaO·SiO₂に近似した化学組成を示す。2CaO·SiO₂には結晶構造の違いから5種類(α , α'_{H} , α'_{L} , β , γ)の多形が存在し(図2⁶⁾)、このうち唯一の常温安定相である γ -C₂Sは水和活性を示さない。その理由として、鶴見らはカルシウムイオンに作用する電界差によるものと明らかにしている⁷⁾。したがって、セメントとして利用するには水和活性に富む高温安定相(主に β 相)が必要とされ、ポルトランドセメントの品質上、 γ 相は不適當である。加えて γ -C₂Sの生成時、自発的に粉化する現象(ダスティング)を呈するため(図3)、 γ 相は古くはセメントクリンカの製造プロセスで忌み嫌われてきた鉱物である。

一方、 γ -C₂Sを含む転炉スラグが炭酸化反応性を有すること⁸⁾、また、特定の湿度環境下で γ -C₂Sをバインダーとして用いた場合、セメント、あるいはC₃Sや β -C₂Sなどに比べて高い炭酸化反応性を有することなどが知られていた^{9,10)}。

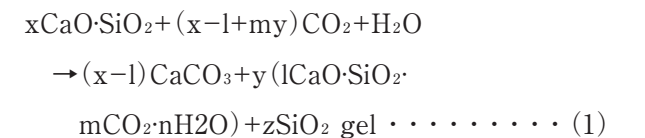
2-2. 炭酸化混和材の開発

2-1.で述べたように非水硬性を有する γ -C₂Sだが、

図4 各種フィラーを混和させたモルタル圧縮強度¹¹⁾

CO₂と積極的に反応する特徴を活用するべく、今から20年以上も前、筆者らの研究グループはセメント・コンクリート向け特殊混和材(以下、炭酸化混和材と称す)としての開発検討に着手した。

CaO-SiO₂系二成分化合物にはポルトランドセメント中にも含まれるC₃S、C₂Sに加え、C₃S₂やCSが存在する。いずれも炭酸化することによって、式(1)に示すようにCaO成分がCaCO₃となると考えられている。



まず、 γ -C₂Sと同じく非水硬性で炭酸化反応を呈する可能性を有し、かつ、クラーク数が上位10位内の元素から構成される鉱物を満たす α -CaO·SiO₂(α -CS)、3CaO·2MgO·SiO₂(C₃M₂S)と併せて圧縮強度を比較評価した¹¹⁾。図4に示すように、封緘養生後の圧縮強度は、いずれの化合物でも10N/mm²程度であり、大きな差は見られなかった。しかし、その後に促進炭酸化養生を経ると、いずれの化合物とも強度増進を確認できた。特に γ -C₂Sの水準は、ほか2種に比べて2倍以上の強度増進が得られることがわかった。 γ -C₂Sは炭酸化反応よりCO₂を吸収・固定化しつつ、強度増進に寄与する性質を持つことを意味する。

表1 炭酸化混和材の密度、比表面積、化学組成の一例

密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学組成 (mass%)							
		L.O.I.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
3.00	2,010	0.05	33.54	0.33	1.16	64.58	0.01	0.06	0.01

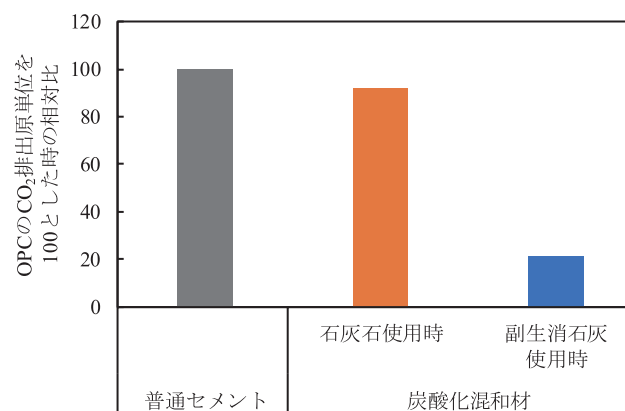
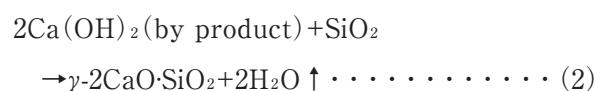


図5 CO₂排出量原単位の比較¹⁾を基に筆者ら作成

2-3. 環境負荷低減を目指した炭酸化混和材の設計と実証製造

γ -C₂Sを工業的に製造しようとした場合、CaO原料には石灰石、すなわち炭酸カルシウムを使用することが一般的である。しかし、石灰石は焼成時に脱炭酸反応を生じるため、原料由来のCO₂が排出されてしまう。そこで、 γ -C₂Sを主成分とする炭酸化混和材の製造に係るCO₂排出量削減、および産業副産物の有効利用を目的として、CaO原料に化学工場内で副生する水酸化カルシウムから炭酸化混和材を設計し、工業化検討を加えた^{3,4)}。式(2)に副生消石灰から γ -C₂Sが生成する場合の理論反応式を示す。



焼成の際、水酸化カルシウムの脱水は石灰石の脱炭酸よりも低い温度で起こるため、燃料の使用量削減、すなわちエネルギー由来CO₂排出量の削減にも繋がっている。

工業原料を用いた場合、 γ -C₂Sの生成阻害となるAl₂O₃やFe₂O₃などの混入が無視できない。そこで、珪石はじめ原料の厳選や操業方法の最適化などか

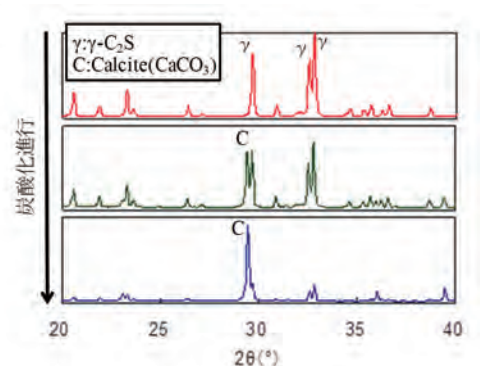


図6 炭酸化養生にともなう炭酸化混和材の相組成変化

ら、1,450～1,500℃のロータリーキルン焼成で γ -C₂Sを主成分とする炭酸化混和材が得られた。表1に焼成した炭酸化混和材の化学成分(一例)を示す^{4,12)}。遊離CaOは0.18%、不溶解残分(insol.)は0.08%とわずかで、焼成反応が十分に進行したことが伺える。また、粉末XRDより化合物としては γ -C₂Sが主成分であった。このように、副生消石灰を原料にしても γ -C₂Sの製造が可能であることを確認できた。

図5⁴⁾を基に筆者ら作成に工業原料を用いて炭酸化混和材の製造とCO₂排出を検討した際、セメントのCO₂排出量原単位を100とした時の相対比を示す。CaO原料に一般的な石灰石を用いて炭酸化混和材を製造した場合、焼成時に石灰石の脱炭酸化反応が生じるが、セメントのCO₂排出量原単位に対して約10%の削減となった。一方、CaO原料に副生の水酸化カルシウム(CO₂排出量原単位を0kg-CO₂/tと見なす)を用いた場合、セメントに対して約80%の削減と試算された。

次に実証製造で得られた炭酸化混和材を40℃、相対湿度50%、CO₂濃度20%の環境下において促進炭酸化養生を実施した。水の補給は、炭酸化混和材に等量の水を加えて、さらに炭酸化養生の間に連日、炭酸化混和材と等量の水を補給した。図6に炭酸化反応前後のXRDの結果を、図7にSEMの結果を示す。

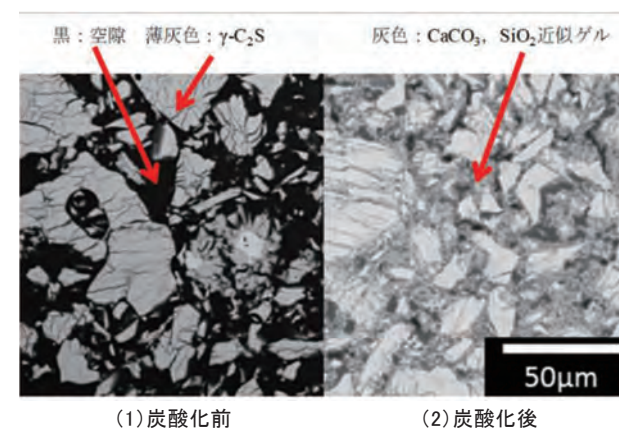


図7 炭酸化養生にともなう微細組織の変化

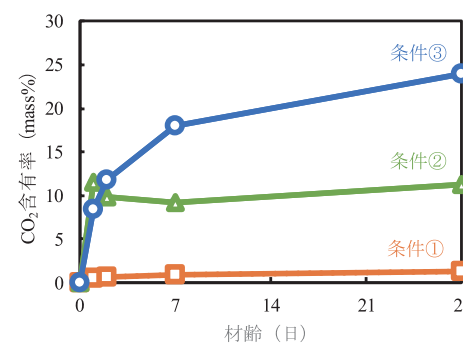


図8 炭酸化条件を変えた時のCO₂含有率の変化¹²⁾

XRDの結果より、炭酸化養生を施すことで、 γ -C₂SがCaCO₃(Calcite)に変化していく様子が認められた。また、炭酸化前後のSEM 反射電子像を確認すると、炭酸化前では空隙だった箇所が炭酸カルシウムやシリカ近似ゲルなどによって緻密化していることが分かる。

2-4. 炭酸化反応

2-3.にて、 γ -C₂Sは α -CSやC₃M₂Sに比べて高い炭酸化活性を示すことが分かった。このように非水硬性を示し、高い炭酸化活性を示す γ -C₂Sだが、その炭酸化反応の過程では水が重要な作用を持つことが示唆されている^{12,13)}。本項では、 γ -C₂Sの炭酸化反応に与える水の影響について説明する。

試験¹²⁾は、 γ -C₂Sを室温40℃、相対湿度50%、CO₂濃度20%の環境下に静置させ、28日間、促進炭酸化養生を実施した。水の影響を確認するため、次の3条件を比較した。① γ -C₂S単体で炭酸化養生、② γ -C₂Sに等量の水を加えて炭酸化養生、③ γ -C₂Sに等量の水を加えて、さらに炭酸化養生の期間間、連日、 γ -C₂S

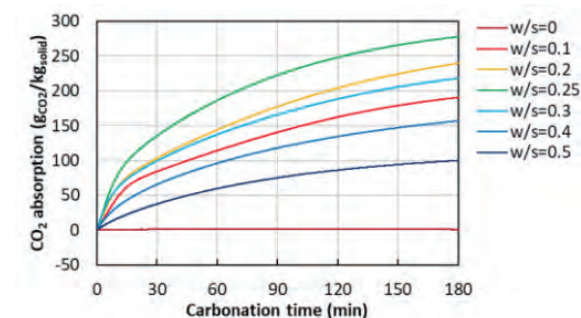
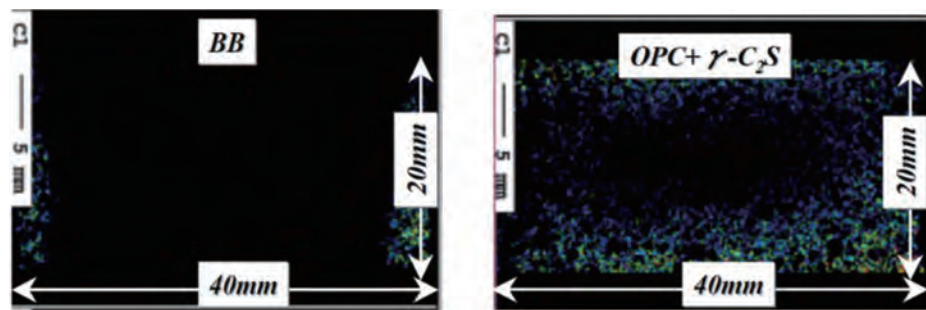


図9 CO₂吸収量に与える水粉体比の影響¹³⁾

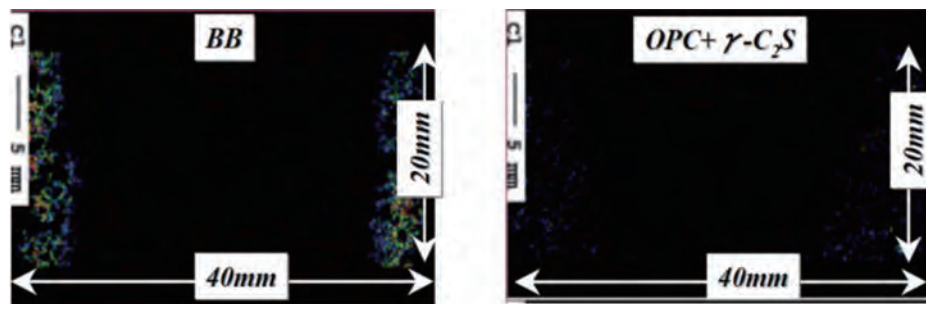
と等量の水を補給して養生、である。図8に炭酸化養生に伴うCO₂含有率を示す。水分供給がない状態の①では、炭酸化養生しているにも関わらず、CO₂含有率は1.3%にしか増加しなかった。粉末に等量の水を加えてから養生を行った②では、材齢1日までCO₂含有率が11.5%まで増加したものの、その後の伸びは認められなかった。一方、粉末に等量の水を加えてから養生を行い、更に連日水を添加した③では、材齢1日以降も炭酸化反応が進み、材齢28日で24.0%のCO₂を含有していた。 γ -C₂Sの炭酸化反応に水の存在が重要であることが分かる。理論的には、約33.8%のCO₂を含有することが可能なため、③の条件下では、材齢28日時点で約71%の γ -C₂SがCO₂と反応したこととなる。なお、最近得られた知見によると、図9に示すように水粉体比(W/S)を変化させた時、炭酸反応に最適な水粉体比の存在が示唆されている¹³⁾。

以上のように、 γ -C₂Sの炭酸化反応には水の供給が影響することが明らかになっているが、OPCと γ -C₂Sを併用した硬化体の炭酸化だと、水の供給なしでも γ -C₂S



(1) 高炉セメントB種 (2) 普通セメント+炭酸化混和材

図10 炭酸化養生なしで疑似海水浸漬後のEPMA図¹⁴⁾を基に筆者ら作成



(1) 高炉セメントB種 (2) 普通セメント+炭酸化混和材

図11 炭酸化養生ありで疑似海水浸漬後のEPMA図¹⁴⁾を基に筆者ら作成

は反応していた¹²⁾。その理由として、硬化体中の空隙に存在する細孔溶液が促進することに加え、セメント由来の水和生成物として共存する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ やC-S-Hが炭酸化で結合水が離脱し、それが $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ の反応を促進するものと考察している。

3. 炭酸化混和材と炭酸化養生の組合せによる高機能化

炭酸化混和材をセメント・コンクリートに配合させ、かつ、炭酸化養生を施すことにより、強度増進の効果以外にも様々な機能を付与することができる。以下、その一部を説明する。

3-1. 耐塩害抵抗性¹⁴⁾

図10に、炭酸化処理を行わずに疑似海水に浸漬したモルタルのEPMAの結果を示す。セメント(OPC)+ $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ と比べて高炉セメントB種(BB)の塩化物イオン浸透深さは小さくなっていた。これは、一般的にOPCよりもBBの方が耐塩害性に優れることなどの理由

による。一方、図11に炭酸化処理を施したモルタル供試体を疑似海水に浸漬した場合のEPMAの結果を示す。OPC+ $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ では塩化物イオンの浸透はほとんど認められなかった。炭酸化養生を行わなかった場合と炭酸化養生を行った場合を見比べるとBBでは、炭酸化を行わない方が塩化物イオンの浸透深さが小さい結果を示し、炭酸化を行うと塩化物浸透深さは大きくなった。OPC+ $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ は、炭酸化養生を行うことで塩化物イオンの遮蔽効果が発揮された。

3-2. 環境親和性¹⁵⁾

一般的なコンクリートのpHは12~13程度であり、植物の生育が困難な場合が多い。一方、炭酸化混和材を配合して炭酸化養生させたコンクリートは低アルカリ化しており、水浸漬時のpHは8~9程度とほぼ中性である。この特徴を活かして河川堤防や護岸など、コンクリートとしての品質要求を満たしつつ、周辺環境との調和が求められる用途にも適用可能となる。

4. 炭酸化混和材の用途展開事例



(a) 地先境界ブロック (b) インターロッキングブロック (c) 埋設型枠

図12 炭酸化混和材を配合したCO₂吸収型コンクリート製品の適用事例

炭酸化混和材と炭酸化養生を組み合わせCO₂吸収型コンクリートが実用化され、プレキャストコンクリートを主な用途対象としている。一例としてCO₂吸収型コンクリートは、強度発現性や耐久性を一般的なコンクリートと同等程度に留めつつ、CO₂吸収・固定化を通じてCO₂排出量削減を目指した技術である。この時、製造時にコンクリート全体を火力発電所や工場等から排出される高濃度CO₂ガスを用いて炭酸化養生している。炭酸化混和材はセメント単位量を大幅に削減し、一般的なコンクリートと同等以上の強度を実現している。図12にCO₂吸収型コンクリートの適用事例を示す。現状、低アルカリ性ゆえに無筋コンクリート製品への適用実績が中心であり、特に近年では建設工事での生産性向上を目的とした埋設型枠への適用検討が進められている¹⁶⁾。

5. おわりに

Innovation for Cool Earth Forum (ICEF) がCO₂有効利用に向けて策定したロードマップ¹⁷⁾によると、コンクリート、およびコンクリート用骨材に関する世界市場の規模は2030年頃に4,000億ドル/年まで成長拡大し、30億t/年のCO₂削減ポテンシャルを持つと言われている。新たな性能指標となるコンクリート中へのCO₂固定量を適正評価する分析技術も必要であり、すでに幾つかの検討が行われている^{18~20)}。また、CO₂吸収型コンクリートの普及拡大に向けては、サプライチェーン全体を通じた持続可能な製品設計と供給体制の構築、そしてLCCO₂の最適化などが不可欠であ

り、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)に造成されたグリーンイノベーション基金を基にした「革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び品質評価技術の開発」プロジェクトが新たにスタートしている²¹⁾。

最後に日本では古来よりモノを大切にし、そのモノが持つ能力を最大限に有効活用できるように努める「もったいない」精神が培われてきた。これまで生産活動の中で積極的に有効活用されず、眼に見えない存在として排気されていた二酸化炭素を用い、CO₂吸収・固定化からコンクリートに高機能化を付与する炭酸化混和材にもその精神は脈々と受け継がれている。資源循環とカーボンリサイクルを両立させた社会の実現に向けて、炭酸化混和材がその一助となれば幸いである。

【謝辞】炭酸化混和材の開発と実証化に際し、これまでデンカ(株)の盛岡実博士、山本賢司氏、樋口隆行博士はじめ、多くの関係諸氏が従事してきた。全ての開発従事者にこの場を借りて感謝の意を表する。



もり たいいちろう / MORI Taichiro
デンカ(株)青海工場
青海サステナビリティ推進部
グループリーダー 技術士(化学)



うしろ まさたか / USHIRO Masataka
同上
青海サステナビリティ推進部



【参考文献】

- 1) 経済産業省／GX実現に向けた基本方針(案)について～「成長志向型カーボンライジング構想」の実現・実行～，第10回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会，2023
- 2) (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター(TSC)，TSC Foresight 持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針2020，2020.2
- 3) 盛岡実他／工業原料を用いた γ -2CaO・SiO₂製造とその二酸化炭素排出量の評価，セメント・コンクリート論文集，Vol.64，No.1，pp.29～34，2010
- 4) 庄司慎他／副生の水酸化カルシウムを用いたC₂Sの製造とCO₂排出量原単位，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp.553～558，2013
- 5) 取達剛他／炭酸化養生を行ったコンクリートのCO₂取支ならびに品質評価，コンクリート工学論文集，Vol.35，No.1，pp.1405～1455，2013
- 6) H.F.W. Taylor ／Cement chemistry 2nd edition，Academic Press，1997
- 7) 鶴見敬章他／CaSiO₄の静電ポテンシャルの計算，セメント・コンクリート論文集，Vol.43，pp.2～7，1989
- 8) 近藤連一，阿曾良雄／転炉スラグの炭酸化による新材料，石膏と石灰，No.147，pp.61～65，1977
- 9) J. Bukowski，R. Berger ／Reactivity and strength development of CO₂ activated non-hydraulic calcium silicates，Cement and Concrete Research，Vol.9，Issue 1，pp.57-68，1979
- 10) 後藤誠史，中村明則，井奥洪二／カルシウムシリケート化合物の炭酸化による硬化，無機マテリアル，Vol.5，pp.22～27，1998
- 11) 盛岡実，奥山康二／中性化に対する自己防衛機能を持つセメント系材料に関する研究，土木学会コンクリート技術シリーズ，No.74，pp.Ⅱ.89～Ⅱ.96，2007
- 12) 宇城将貴他／ γ -C₂Sの炭酸化反応における水の影響とセメント水和物が共存したときの炭酸化挙動，セメント・コンクリート論文集，Vol.68，No.1，pp.186～191，2014
- 13) 高瀬美涼他／CO₂吸収型コンクリートのCO₂吸収のその場測定，速度解析と固定量評価，化学工学会 第88年会，PA174，2023
- 14) 盛岡実他／ γ -2CaO・SiO₂を混和して炭酸化養生を行ったモルタルの塩化物物遮蔽硬化，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.2079～2084，2004
- 15) 横関康祐他／ボラスコンクリートの植物生育能力向上に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.1405～1410，2012
- 16) 関健吾他／炭酸化技術によるガラス繊維補強埋設型枠の耐久性向上，コンクリート工学，Vo.54，No.6，pp.607～612，2016
- 17) The Innovation for Cool Earth Forum (ICEF) ／Carbon Dioxide Utilizaiton (CO₂U) – ICEF ROADMAP 1.0，pp.6～7，2016
- 18) 取達剛他／炭酸化したセメント系材料におけるCO₂固定量の評価手法および物性変化に関する研究，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)，Vol. 77，No.2，pp.37～54，2021
- 19) 梅津真見子他／セメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化，セメント・コンクリート論文集，Vol. 75，pp.34～41，2021
- 20) 安田僚介他／炭酸化を受けたセメント系材料中のCO₂含有率評価に向けた分析方法の検討，セメント・コンクリート論文集，Vol. 75，pp.442～447，2021
- 21) (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構，「グリーンイノベーション基金事業/CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」に係る実施体制の決定について，https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100241.html (2023.5.15閲覧)

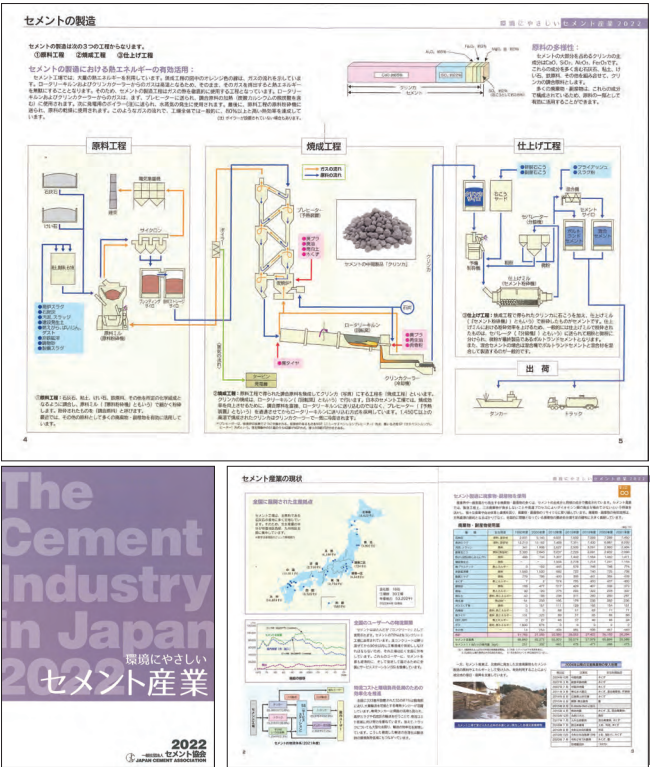
A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2022

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



石灰石粉末を多量に含むセメント：粉体の細かさが 充填密度，強度および水和挙動に及ぼす影響

Pengfei Zhu，ほか

Advances in Cement Research

34 [7] 311～323 (2022)

橋梁，港湾，ダムなどの土木工事では，多量のコンクリートが使用される。マスコンクリートのひび割れ抑制のために，施工初期に水和熱を低下させる必要がある。この問題解決として，石灰石粉末 (LP) の混合が有効であり，容易に入手可能で低コストの材料となる。既往の研究でLPのセメント置換は，充填密度がフレッシュおよび硬化したセメントペーストの両方の性能に大きな影響を与えることを示している。本稿では，粒度，比表面積 (SSA) の異なる3種のLP (LP1:D₅₀=11 μ m SSA=600m²/kg，LP2: D₅₀=15 μ m SSA=450m²/kg，LP3: D₅₀=45 μ m SSA=220 m²/kg) を，普通ポルトランドセメント (OPC) (D₅₀=22 μ m SSA=370m²/kg) に対して10wt%，30wt%，50wt%置換したセメントについて，充填密度，強度および水和挙動に及ぼす影響について検討している。

配合セメントの充填密度は，セメントをLPで置換する割合が増加するにつれて減少した。これは，LPの元々の充填密度がセメントの充填密度より小さいことが原因であると推定される。圧縮強さはLP1>LP2>LP3の順に大きくなる傾向にあった。これは，微細なLPは核生成のための表面積が増えるためであると推測される。さらに，モルタルの圧縮強さはLPの置換割合が増加するにつれて減少した。これは，LPによってセメント置換率が増加することで，空隙率が増加するだけでなく，LPは比較的不活性であるため，水和生成物の量が減少するためである。OPC系材料の水和プロセスは，溶解

期，誘導期，加速期，減速期，緩慢水和期に区別される。SSA の大きいLPを添加することで加速期間においてセメントの水和が促進されることがわかった。しかしながら，LPのSSAがセメントのSSAよりも小さい場合，LPを多量に添加すると，加速期間におけるセメントの水和が遅延することが判明した。

これらの結果より，LPの粒度がセメントの様々な物性に与える影響について明確になった。今後は環境負荷の観点から混合セメントの需要が大きくなると予想されることから，本稿の結果は混合セメントの物性把握の基盤技術になると考える。

天然ボズランおよび新規ボズランの特性評価および ボズラン反応性の定量化

Jinyoung Yoon，ほか

Cement and Concrete Composites

133 論文 No.104708 (2022)

本研究では，フライアッシュやスラグの将来的な利用可能量の減少に対応するべく，これらの代わりに天然および新規ボズラン (NNPs) のコンクリート混和材としての特性およびボズラン反応性を評価した。

検討対象として，焼成粘土，火山灰，粉碎ボトムアッシュ，流動床燃焼フライアッシュを含む11種のNNPsを用いた。NNPsのボズラン性混和材としての適合性を評価するために，ASTM規格に準拠して，化学性質・物理性質を評価した。さらに，迅速なボズラン反応性の評価試験として近年開発されたR³試験を行った。R³試験ではセメントを使用せず，NNPとKOH，K₂SO₄，Ca (OH)₂，CaCO₃と水を混合したペーストを用いて，7日間の累積発熱量等を測定した。また，NNPsの混合によって生成するコンクリート中の水和生成物を予測するために，R3試験のペーストを用いてXRDにより相組成を評価した。

概ねすべてのNNPsの化学性質と物理性質はASTM規格の要求事項を満たした。一方，SO₃含有量の多い流動床燃焼フライアッシュは要求事項を満たさなかった。R³試験では，すべてのNNPsは従来のフライアッシュと比べて同等またはそれ以上の値を示し，ボズラン反応性があることが示唆された。ただし，反応性

の低い試料に対してR³試験の精度が高くないことも判明した。また、NNPsのポズラン反応による生成物を評価した結果、燃焼粘土を除くすべてのNNPsではエトリンガイトが生成したが、モノサルフェートは生成しなかった。一方、燃焼粘土ではモノサルフェートが生成したが、エトリンガイトはほとんど生成しなかった。この違いは、燃焼粘土の高アルミナ含有に関連すると考えられた。コンクリート混和材としてNNPsを利用する際に、これらの生成物の違いがコンクリートの性能に与える影響を今後検討する必要があると考えられる。

煅焼炉の脱炭素への適応

Tahir Abbas, ほか

International Cement Review

[11] 67～69 (2022)

セメント工場の脱炭素化に向け、グリーン水素やプラズマ火炎をバイオマス燃料との混焼に利用する技術が研究されている。

キルンや煅焼炉へ水素を注入する際には、クリンカの生成反応、窒素酸化物や一酸化炭素排出等への悪影響を防ぐための検討が重要である。流体シミュレーション(MI-CFD)と実地試験の結果、キルンにおいては、多チャンネルバーナの天然ガスポートを通じて水素と天然ガスを混焼することで安定した火炎の形成を確認した。煅焼炉においては、特別に設計されたバーナを用いて、ガス温度ピークの抑制、水素と酸素の混合と完全燃焼を図る必要がある。また、ガス専焼の煅焼炉においては、吸熱脱炭酸反応による火炎の輻射熱伝達の低下を克服するために、4台以上のバーナを設置する。

他方、再生可能エネルギーによる発電の余剰電力を水素の製造ではなく、プラズマ火炎として利用する方法も研究されている。MI-CFDを用いた解析によると、プラズマ火炎では、最適化されていない条件下において局所的な高温スポットを生成することが課題となる。一方、プラズマ火炎は含水率の高い、より大きなサイズのバイオマス片の着火を補助することができる。したがって、実用的な観点からは、複数のプラズマバーナをカスケード状に設置し、着火せずに炉床に落下する代替燃料を燃

焼する方法が効果的である。また、プラズマバーナをより大きなバイオマス片のガス化に利用することもできる。

耐摩耗性に優れる再生ガラス骨材コンクリート

Matt Tomlinson, ほか

Concrete

Vol.56 [4] (2022)

一般的に再生ガラス骨材を使用したコンクリート(GAC)の圧縮強度は、通常のコンクリートに比べて低いことが知られており、あまり普及が進んでいない。しかし、浸食性の高い波浪に曝される護岸や消波ブロック、ダムの擁壁など圧縮強度よりも耐摩耗性が重視される環境では、GACが適用できる可能性がある。2018年の世界のガラス生産量は1.29億t、そのうちリサイクルされたのは2700万tである。ガラスは、製造時に1t当たり最大12tのCO₂を排出するなど環境負荷が高い。著者らは従来の骨材を再生ガラスに置き換え、コンクリートの耐摩耗性を向上させる持続可能な方法を検討している。

GACの圧縮強度は、石灰石粗骨材に対するガラスの置換率が増加するほど低下したが、多くの用途で必要とされる強度は有していることが確認された。一方で耐摩耗性に関しては、ガラス置換率が増加するほど向上した。ガラス置換率0%と100%の試料について、顕微鏡で破断面の観察を行ったところ、ガラス置換率0%の場合、骨材界面でペーストが深く浸透して骨材と化学反応を起こしていることが確認された。セメントペーストと骨材の間に強い結合を有するため、破断面においては結合部の前に骨材が破壊されたことが観察された。一方、ガラス置換率100%の場合、セメントペーストと骨材の界面に化学反応や結合は見られなかった。破断面において骨材はほとんど破壊されず、主にセメントペーストと骨材の界面が破壊されたことが観察された。

コンクリートの体積あたりのCO₂排出量を算出すると、ガラス置換率50%で約23.5kg CO₂/m³の削減となる。今後更なる検討を行い、摩耗の激しい環境においてガラス骨材が有用であると示すことができれば、例えば高速道路の舗装など他の用途にも活用できる可能性があり、CO₂排出量削減にも貢献できる、と著者らは述べている。

EVENT GUIDE イベントガイド

「2023年制定 コンクリート標準示方書(施工編・ダムコンクリート編・規準編)」発刊に伴う講習会

開催日：[東京会場]2023年9月26日(火)～27日(水)
[大阪会場]2023年10月10日(火)～11日(水)
会場：[東京会場]日本教育会館一ツ橋ホール
[大阪会場]大阪国際会議場(グランキューブ大阪)
参加費：会員57,000円、非会員79,000円、
学生46,000円※テキスト代込み
定員：[東京会場]800名、[大阪会場]1,000名
申込方法：土木学会HPより申込み
問合せ：土木学会事務局研究事業課(担当：佐々木)
電話：03-3355-3559

「地盤・構造物の非線形解析法の検証と妥当性確認の方法-ガイドラインとその実践事例-」に関する講習会

開催日：2023年10月19日(木)
会場：オンライン(Zoomウェビナー)及び27日まで録画版のVimio配信
参加費：会員8,800円、非会員11,000円※テキスト代込み
定員：100名
申込方法：土木学会HPより申込み
問合せ：土木学会事務局研究事業課(担当：佐々木)
電話：03-3355-3559

第19回 建築設備シンポジウム

「環境建築とヒト・まち・社会」

開催日：2023年10月13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：一般(会員)1,500円、後援団体2,200円、
学生(会員)1,000円、学生(会員外)1,100円
定員：300名※オンラインは無制限

締切：定員に達し次第締切
申込方法：日本建築学会HPより申込み
問合せ：日本建築学会
電話：03-3456-2051

講習会「石炭ガス化スラグ骨材を使用するコンクリートの調査設計・製造・施工指針」

開催日：2023年10月23日(月)
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：一般(会員)9,000円、後援団体11,000円、
一般(会員外)14,000円
定員：150名※オンラインは無制限
締切：定員に達し次第締切
申込方法：日本建築学会HPより申込み
問合せ：日本建築学会
電話：03-3456-2051

「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2022」講習会

開催日：2023年11月20日(月)
会場：北海道大学クラーク会館 講堂(札幌市北区)
北海道大学構内
参加費：正会員(個人)5,000円、名誉会員2,500円、
対象者：団体会員6,000円、会員外7,000円、
学生会員2,500円、学生会員外3,500円
定員：200名
締切：定員に達し次第締切
申込方法：日本コンクリート工学会HPより申込み
問合せ：日本コンクリート工学会「コンクリートのひび割れ
メール：調査、補修・補強指針講習会」係(担当：綿貫)
電話：03-3263-72041

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

Follow me



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/

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
令和5年度 全国大会 第78回年次学術講演会	2023年 9月11日～15日	広島県	土木学会事務局総務課 全国大会係	03-3355-3442 office2@jsce.or.jp	4月号 p.60
2023年度日本建築学会大会(近畿) 学術講演会、建築デザイン発表会	2023年 9月12日～15日	京都府 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	4月号 p.60
「微視的機構から内部膨張反応のリスクを考える」に関するシンポジウム	2023年 9月22日	東京都 および オンライン	日本コンクリート工学会 「ISR シンポジウム」係 (担当：宮光)	03-3263-7204	8月号 p.60
「2023年制定 コンクリート標準示方書(施工編・ダムコンクリート編・規準編)」発刊に伴う講習会	2023年 9月26日	東京都	土木学会事務局 研究事業課 (担当：佐々木)	03-3355-3559	本号 p.63
第37回 コンクリート構造の設計・施工・維持管理の基本に関する研修会	2023年 10月3日～4日	大阪府 および オンライン	土木学会関西支部 「コンクリート研修会」係	06-6271-6686	7月号 p.62
化学物質管理者専門的講習会(製造事業場12時間)	2023年 10月10日～11日	東京都	セメント協会労務担当	03-5540-6178	8月号 p.60
「2023年制定 コンクリート標準示方書(施工編・ダムコンクリート編・規準編)」発刊に伴う講習会	2023年 10月10日	大阪府	土木学会事務局 研究事業課 (担当：佐々木)	03-3355-3559	本号 p.63
POWTEX 2023 国際粉体工業展大阪2023	2023年 10月11日～13日	オンライン	日本粉体工業技術協会	075-354-3581	5月号 p.54
	2023年 9月27日～11月10日	大阪府			
第23回 コンクリート構造物の 補修、補強、アップグレードシンポジウム	2023年 10月12日～13日	京都市	日本材料学会 「コンクリート構造物の補修、 補強、アップグレード論文 報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	2月号 p.22
第19回 建築設備シンポジウム 「環境建築とヒト・まち・社会」	2023年 10月13日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	本号 p.63
「地盤・構造物の非線形解析法の検証と妥当性確認の方法-ガイドラインとその実践事例-」に関する講習会	2023年 10月19日	オンライン	土木学会事務局 研究事業課(担当：佐々木)	03-3355-3559	本号 p.63
講習会「石炭ガス化スラグ骨材を使用する コンクリートの調合設計・製造・施工指針」	2023年 10月23日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	本号 p.63
日本建築仕上学会2023 年大会学術講演会 (第34回 研究発表会)	2023年 10月26日～27日	東京都	日本建築仕上学会	06-3798-4921	7月号 p.62
第32回 プレストレストコンクリートの発展に関する シンポジウム	2023年 10月26日～27日	福島県	プレストレストコンクリート 工学会 シンポジウム係	03-3260-2521	5月号 p.54
第10回 構造物の安全性・信頼性に関する 国内シンポジウム	2023年 10月25日～27日	東京都	土木学会 JCROSSAR2023事務局	jcossar2023 @ml-jsce.jp	3月号 p.62
第35回 日本道路会議	2023年 11月1日～2日	東京都 および オンライン	日本道路協会 第35回日本道路会議事務局	dourokaigi @road.or.jp	6月号 p.59
「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	本号 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

※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/>

セメント・データファイル

生 産

種類		23年		23年	
		5月	前年比	6月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,581	94.3	2,641	94.3
	早強・超早強	204	91.7	178	91.7
	中庸熟	77	82.5	65	82.5
	低熟	16	73.3	22	73.3
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	0	-
	小計	2,879	93.6	2,907	93.6
混合セメント	高炉	657	88.3	722	88.3
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	4	50.4	5	50.4
	その他	55	294.3	69	294.3
小計		716	93	796	93.0
その他のセメント		8	79.2	11	79.2
計		3,602	93.5	3,713	93.5
輸出用クリンカ等		297	42.4	254	42.4
合計		3,900	85.6	3,968	85.6

販 売

地区	23年			23年		
	5月	前年比	構成比	6月	前年比	構成比
北海道	127	97.8	4.7	163	95.8	5.4
東北	222	103.9	8.1	248	87.3	8.1
関東一	660	98.7	24.3	751	95.0	24.7
関東二	246	91.1	9.0	276	83.6	9.1
北陸	112	96.7	4.1	135	91.7	4.4
東海	329	103.0	12.1	368	97.9	12.1
近畿	398	99.7	14.6	435	94.0	14.3
四国	88	99.7	3.2	94	86.2	3.1
中国	158	95.2	5.8	173	88.7	5.7
九州	322	90.7	11.8	345	84.8	11.3
沖縄	60	126.9	2.2	57	88.7	1.9
計	2,721	98.2	100.0	3,044	91.3	100.0

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。

※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

輸 出

地域・仕向地		23年	23年
		5月	6月
アジア	韓国	53	51
	中国	0	0
	台湾	27	27
	香港	88	35
	フィリピン	100	51
	シンガポール	128	27
	マレーシア	0	0
	小計	396	191
その他	大洋州	227	207
	中南米	0	0
	小計	227	207
合計		623	398

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4月	13,561	3,979	279	2,292	3,043	2,333	341	
5	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880	
6	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	

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	鉄筋	鉄骨造	コンクリート	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4月	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486	
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392	
6	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	

※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	
		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4月	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028	201,690	
5	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369	
6	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	-	

※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	
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4月	113.3	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101	
5	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8	
6	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	139.5	112.2	160.4	167	121.6	107.3	
5	119.3	143.5	126	119.9	136.7	113.1	160.4	167.3	121.9	107.5	
6	119.2	144	129.5	121.3	134.7	114.6	160.4	167.5	121.9	108.6	
7	119.3	144	129.5	121.1	133.4	114.6	160.4	167.6	122.3	109.8	

※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)
		管 (t)	ボール (t)	パイル (t)		
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年12月		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年4月		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892
11		12,286	34,069	123,269	5,527	38,818
12		10,631	30,719	112,858	5,281	42,085
2023年1月		8,970	27,442	108,222	4,048	42,004
2		10,034	27,960	128,634	4,946	46,654
3		11,700	29,855	120,571	4,994	49,803
4		8,772	30,350	115,374	5,492	41,064
5		6,875	29,277	93,186	4,758	36,905
6		7,195	31,183	99,105	5,125	30,947

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4月		15,969	51,271	2,527	98,544
5		14,242	40,732	2,338	91,205
6		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

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

- セメント分析技術としてのTMS法
- 地中既存杭の引抜孔処理におけるセメント系材料の活用
- 高機能養生剤「クリーンセイバー®」の基本特性
- 増粘性高分子によるコンクリートの加振変形性向上の検討
- 吹付けモルタルを用いた外殻先行型コンクリート構造物構築工法による施工の合理化
- 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 β -C₂S 一錯体重合法による高C/S比のC-S-Hの合成と高活性 β -C₂Sの作製—
- セメント系固化材で改良した火山灰質粘性土の長期強度発現性と変質の熱力学的平衡計算による検討
- 第51回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
- ラテックス改質速硬コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装の実橋における供用性評価
- ずいそう(前川宏一) ほか



「リフレドライショット工法」の小断面補修工事への適応事例

セメント・コンクリート No.919 9月号
2023(令和5)年9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)

セメント・コンクリート No.919 / 2023.9 令和5年9月15日発行

定価 1100 円 本体 1000 円 ⑩ 送料別

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