

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和6年6月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.928

6

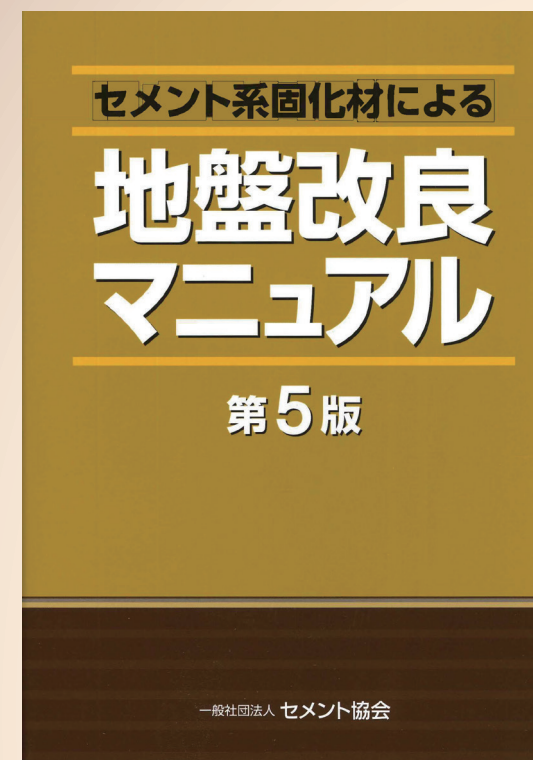
一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



セメント系固化材による 地盤改良マニュアル

最新第5版
発刊しました。

1985年に初版を発刊し、以降ほぼ9年ごとに改訂を重ねてきた本書の第5版が完成しました。災害からの強化復旧、大規模災害への対策、ICTの活用、最新技術データ・指針類の反映など、頁数・図表数を増やしての改訂です。



第5版改訂のポイント

- ① 最新の技術データ・指針類を用いて全章の内容を見直し。
- ② セメント系固化材の特徴と固化の原理をよりわかりやすく解説。
- ③ 浅層改良および深層改良に加えて、近年使用実績が増えている中層改良についても記述。
- ④ 大規模災害におけるセメント系固化材の活用方法やその適用について新章を設けて解説。
- ⑤ 実施例をすべて刷新。15 事例を紹介。

A5判 502頁
税込定価 6600円

1. セメント系固化材とその適用
2. セメント系固化材による地盤改良の原理と改良土の特性
3. 地盤改良にあたっての事前調査および試験
4. 浅層改良・中層改良
5. 深層改良
6. 建築物のための地盤改良
7. 発生土の改良
8. 環境と固化処理
9. 災害に強いセメント系固化材 **新章**
10. 実施例

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

第3回 セメント協会主催 フォトコンテスト

フォト部門

日常生活の中で「セメント・コンクリート」を通して安全・安心を感じる写真をご応募ください。

フォトエッセイ部門

とっておきの写真に、エピソードを添えて…
思い出の場所や思い入れのある構造物、未来への
願いや将来の夢など個人の想いを写真とともに、
エッセイで綴ってください。

#セメント協会フォトコン2024



セメント協会
公式Instagramはコチラ



セメント協会 HP
応募フォームはコチラ

テーマ **私たちの安全・安心を支えているコンクリート**

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。
日常生活の中で「セメント・コンクリート」を通して安全・安心を感じる写真をご応募ください。

締切 2024年8月31日(土) 発表 2025年1月31日(金)

ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO®

ケミカルで社会インフラの発展を支える

KaO
きれいを ところに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

東京 〒131-8501 東京都墨田区文花2-1-3
大阪 〒550-0012 大阪市西区立売堀1-4-1
URL <https://chemical.kao.com/jp/>
E-mail chemical_eif@kao.com

コンクリート専門 コンサルタント

●フレッシュコンクリート

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

●硬化コンクリート

強度・耐久性試験 熱特性試験
打継ぎ部の一面せん断 橋梁・トンネル関連試験

●コンクリート材料・建設材料

骨材・セメントの物理試験 補修材の性能評価
鉄筋・繊維補強材の物性試験

コンクリート 試験

構造物 調査診断

- 一般建築構造物
採取コアによる試験 非破壊検査
- ダム・河川・橋梁・上下水道
劣化度調査 耐久性調査
- トンネル・洞道
ひび割れ調査 空洞調査
- 原子力施設
健全性評価 現地調査 室内試験

化学分析

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

High
Technology
and
Creative
Challenge

建設コンサルタント

HCC 株式会社 八洋コンサルタント

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

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 02NL

減水剤(遅延形) ヤマソー R

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤 (耐寒促進剤タイプ) ヤマソー ウィン

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

AE減水剤(高機能・高保持タイプ) ヤマソー 22NEX

あした
明日へ繋げる

コンクリートという無機質の中から
人々が理想とする安心・安全・快適さを実感できる、
より良い街づくりのお手伝いをします。

AE減水剤(高機能タイプ・ブリーディング低減型) ヤマソー 16NB

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 09NL

高性能AE減水剤(収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020

収縮低減剤 ヤマソー DS100



クリップボードの コンクリート化学編 出ました。

セメント協会の出版物



ブルーのカバー

e3 (シースリー)
クリップボード

コンクリート化学編

A4判・123頁・3,080円



グリーンのカバー

e3 (シースリー)
クリップボード

セメント化学編

A4判・134頁・3,080円

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

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

山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

本社 ●〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-25-5 ☎03-3552-1341 (代)
東京営業部 ●☎03-3552-1261
支店 ●大阪/☎06-6353-6051 福岡/☎092-483-8567 札幌/☎011-662-5552
営業所 ●広島/☎082-237-3083 仙台/☎022-224-0321 北陸/☎0776-28-2566
出張所 ●静岡/☎054-202-5111 高松/☎087-863-7565
事務所 ●平塚/☎0463-23-5536

<https://www.yamaso-chem.co.jp/>

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

もくじ

02	JCA Report 2023年度セメント需給と今後の展望	… (一社)セメント協会 調査・企画部門
05	JCA Report 2023-0C セメント共同試験 結果と最近10年間の推移	… (一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ
11	埼玉コンクリートインフラの現状と予防 ～地域特性から見たこれからの維持管理の形～	… 横関 康祐
18	ICCC2023 世界のセメント・コンクリート研究の動き③	… 佐藤 正己ほか
23	信濃川発電所第3期真人沢水路橋におけるAEコンクリートの品質調査	… 高山 充直ほか
31	ずいそう 神保町いまむかし	… 丸屋 剛
33	早期交通開放型コンクリートを用いた 連続鉄筋コンクリート舗装の現場施工試験と追跡調査	… 時政 右京ほか
39	大深度円形立坑用RC連壁のコンクリート品質向上に対する取り組み	… 山口 哲司ほか
46	表面仕上げ材によるコンクリート構造物の 耐久性向上効果の検証と高耐候性クリヤ塗料の適用事例	… 植松 俊幸ほか
52	シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード 鉱物化とセメント・コンクリートへの活用	… 小西 正芳ほか

10	「2024-0C セメント共同試験」参加募集
22	HOT NEWS
59	EVENT GUIDE
61	セメント・データファイル
63	主要建設工事・資材統計
65	7月号予告



今月の表紙

大深度円形立坑用RC連壁
の施工[東京都／提供：東
海旅客鉄道(株)]

2023年度セメント需給と 今後の展望

(一社)セメント協会 調査・企画部門

1. はじめに

1-1. 概 況

2023年度のわが国経済は、コロナ禍を乗り越え、緩やかな回復基調となりました。企業の好調な業績や高い投資意欲など、経済には前向きな動きが見られる一方で、これが賃金や投資に十分に結び付かず、内需は力強さを欠いています。

そのため、政府はデフレ脱却のための一時的な措置として国民の可処分所得を下支えするとともに、構造的賃上げに向けた労働市場改革、国内投資の拡大支援、そして国土強靱化、防災・減災など国民の安全・安心を確保する「デフレ完全脱却のための総合経済対策」を策定、その裏付けとなる令和5年度補正予算を編成しました。

こうした中で、実質成長率は+1.2%となる見込みです。セメント関連項目については、公共投資は伸び率+4.1%、民間住宅投資は同+0.6%、民間設備投資は同+0.4%と見込まれます(内閣府 2024年5月16日公表)。

1-2. セメント需給(図1,表1)

(1) 国内需要

2023年度のセメント国内需要は3,458万t、前年と比較すると270万t減、前年比92.7%と5年連続のマイナスとなりました。このうち輸入は1.5万t(前年比

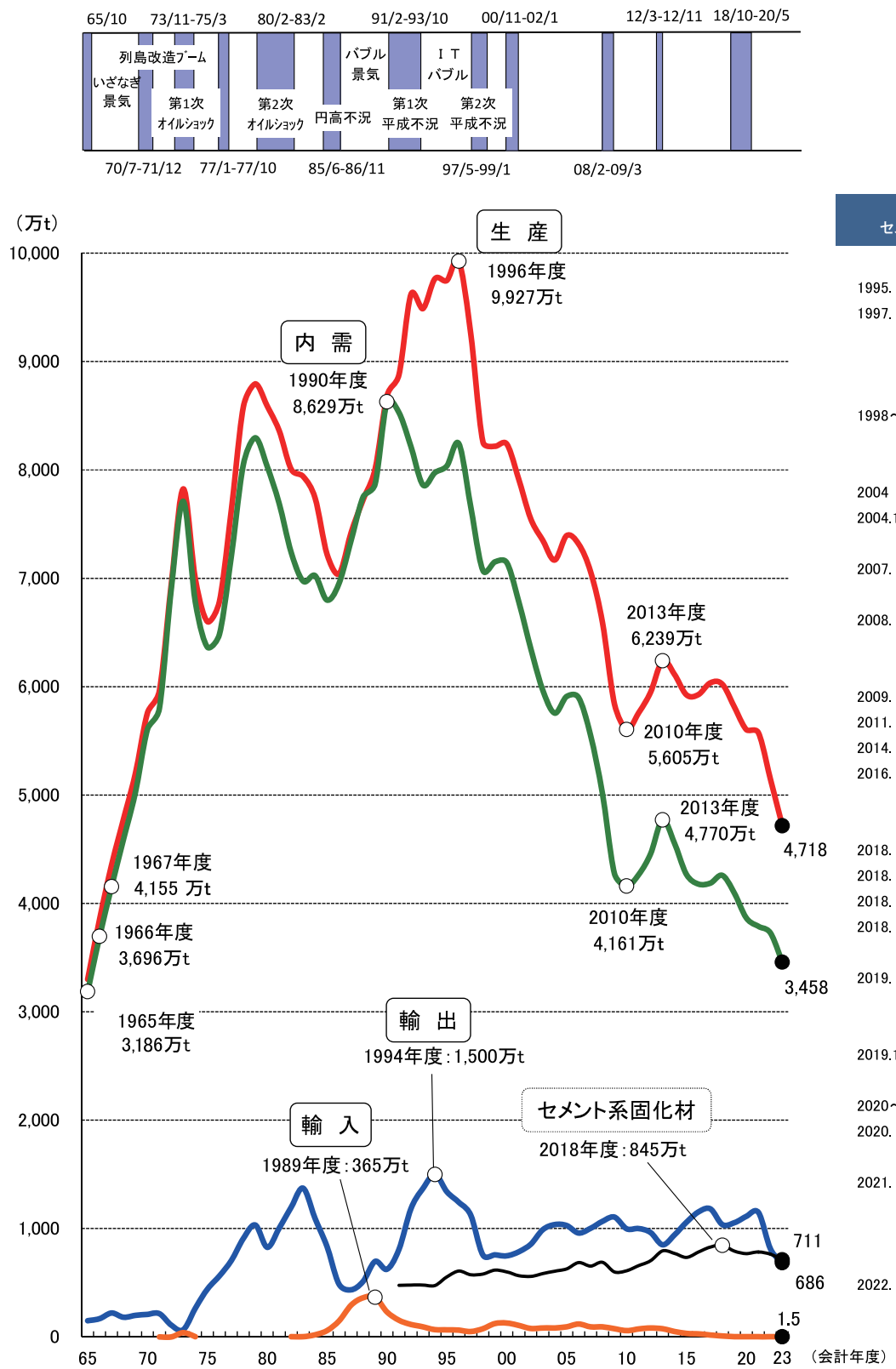
94.9%、シェア0.0%)で、全量韓国からのものです。

地区別にみると、沖縄は前年並み、その他の地区は前年比マイナスとなりました。慢性的な人手不足を背景とした工期の長期化や建設コストの上昇などにより、セメント需要の減少が続いています。

セメント需要は官需が主に減少してきましたが、2023年度には民需も前年比マイナスとなりました。官需は、2023年度国の公共事業当初予算は補正予算と合わせて金額ベースでは増額となったものの、労務費や資材費の高騰が続き金額当たりのセメント使用量が減少したこと、時間外労働の上限規制への対応前倒しにより、更なる工期の長期化や計画の先送りが発生したことなどからマイナスとなりました。また民需も、建設現場の人手不足や資材費高騰により、設計変更や建設計画を見直す動きによって工事遅れが相次ぎ、都市部を中心に落ち込みました。

(2) 輸 出

2023年度の輸出は686万t、前年比84.2%と2年連続のマイナスとなりました。アジア向けが395万t、同80.3%と全体の57.7%を占めました。エネルギー価格高騰による原価高の影響により、近隣輸出競合国との競争が激化したことに加え、アジア経済の先行きが不透明なことから、主要な輸出先であるシンガポールでは130万t、同67.6%となりました。また、オーストラリアについても181万t、同87.1%となりました。



(注) 1. 1992年度以降の生産には輸出用クリンカ等を含む
2. 2006年度以降エコセメントを含む
3. セメント系固化材は1991年度より調査開始

図1 セメント需給の推移

1995年以降のセメントに関わる主な出来事

1995. 1 阪神・淡路大震災
1997. 4 消費税率3%→5%

1998～ 累次に亘る経済対策

2004 台風10個上陸
2004.10 新潟県中越地震

2007. 6 改正建築基準法

2008. 9 リーマンショック

2009. 9 民主党政権誕生
2011. 3 東日本大震災
2014. 4 消費税率5%→8%
2016. 4 熊本地震

2018. 6 大阪北部地震
2018. 7 西日本豪雨
2018. 9 台風21号上陸
2018. 9 北海道胆振東部地震

2019. 6～10 前線、台風による爆風雨・豪雨 (台風15号、19号他5個上陸)
2019.10 消費税率8%→10%

2020～ 新型コロナウイルス感染拡大
2020. 7 令和2年7月豪雨

2021. 7～8 東京オリンピック・パラリンピック開催
石炭価格の上昇

2022. 2 ロシアのウクライナ侵攻
石炭価格の高騰

表1 地区別販売高

項目		2023年度		2022年度		前年比
		(A)	構成比	(B)	構成比	
北海道		164	4.8	173	4.6	95.0
東北		251	7.3	290	7.8	86.6
関東	一区	862	25.0	885	23.7	97.5
	二区	315	9.1	363	9.7	86.9
	計	1,177	34.1	1,247	33.5	94.4
北陸		140	4.0	151	4.0	92.6
東海		416	12.0	438	11.8	94.9
近畿		504	14.6	541	14.5	93.2
四国		110	3.2	126	3.4	87.3
中国		210	6.1	220	5.9	95.5
九州		408	11.8	465	12.5	87.8
沖縄		76	2.2	76	2.0	100.0
国内計		3,456	100.0 (83.4)	3,726	100.0 (82.1)	92.7
(内 需)		3,458		3,728		92.7
輸 出		686	(16.6)	814	(17.9)	84.2
合 計		4,142	(100.0)	4,540	(100.0)	91.2

2. 今後の展望

(1) 2024年度セメント需要見通し

2024年度の国内需要は3,500万t、前年比101.2%と見通しました。官需は、2024年度公共事業予算は当初と補正(防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策)でそれぞれ前年度から微増しており、防

衛関連工事の本格化も予定されています。一方、労務費上昇などの下押し要因があることから、前年並みと見通しました。民需では、住宅投資は建設コストの高止まり、住宅ローン金利の上昇から減少すると予想しました。設備投資は、建設・物流業における時間外労働の上限規制への対応は下押し要因になりうるものの企業の投資マインドは旺盛、また、都市部の再開発工事が引き続き堅調なこと、事務所や半導体・EV関連投資がけん引する工場建設も見込まれることから、前年度を若干上回る水準になると見通しました。

同輸出は830万t、前年比121.1%と見通しました。引き続き、世界情勢の不安定要素が多く厳しい輸出環境にあるものの、エネルギー価格は安定してきており、主要マーケットを中心に積極的に輸出を進めると想定されます。

(2) 中期的なセメント需要見通し

都市開発事業、防災・減災及および国土強靱化対策、リニア中央新幹線沿線地域での直接・間接投資、企業の国内投資回帰の動きによる設備投資の増加、防衛関連工事の増加などが見込まれ、中期的には一定水準の需要は維持するものと期待されます。一方で、建設・物流業において時間外労働の上限規制が適用されるなど、人手不足や働き方改革推進による工期の長期化や、労務費、資材価格の上昇などのマイナス要因が懸念されます。

セメント規格がわかる本

2015年3月20日にJIS R 5201およびJIS R 5203が改正されたことに伴い、これら試験方法規格に関する「セメント規格がわかる本」を改訂しました。今回の規格改正において変更や追加された点について詳しく解説するとともに、試験を行う上で不可欠な知識やノウハウを理解しやすい内容となっています。

JIS R 5203：2015「セメントの水和熱測定方法（溶解熱方法）」編 A4版・60ページ・3740円（税込）・送料実費	JIS R 5201：2015「セメントの物理試験方法」編 A4版・135ページ・5500円（税込）・送料実費
---	--



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

2023-OCセメント共同試験 結果と最近10年間の推移

(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ

1. はじめに

セメント協会は、セメント試験技術の維持・向上を目的として、全国のセメントおよびコンクリート関係の試験所・研究所等を対象に共通試料によるセメント共同試験を毎年実施している。この共同試験は10月に行うことからOC (October)セメント共同試験と称しており、1948年から2023年まで74回実施した。

本稿では、2023年10月に実施した「2023-OCセメント共同試験」の結果を紹介する。

2. セメント共同試験の概要

参加した試験所は、セメント協会の会員(セメントメーカー関連の試験所・研究所)36試験所、セメント協会の会員外(生コンクリート工業組合、民間企業、海外の試験所など)55試験所の計91試験所であった。最近10年間の参加試験所数の推移を表1に示す。

試験に使用した試料は、普通ポルトランドセメント1試料である。実施した試験項目は次の通りである。

- (1) 日本産業規格(JIS)に規定された化学分析、物理試験、水和熱試験、蛍光X線分析
- (2) セメント協会標準試験方法(JCAS)に規定されたエア・ジェット式ふるい装置による粉末度、45μm網ふるいによる粉末度、遊離酸化カルシウムの定量
- (3) 米国試験(ASTM)に規定された凝結、安定性、圧縮強さ

本稿では(1)および(2)の試験結果の概要について報告する。

3. 日本産業規格(JIS)による 試験結果の概要

(1) JIS R 5202による化学分析結果
参加試験所は43試験所(会員27、会員外16)であった。化学分析結果(規格本体)を表2に、最近10年間の化学分析結果(規格本体)の標準偏差の推移を表3に示す。

(2) JIS R 5201による物理試験結果
参加試験所は79試験所(会員32、会員外47)で

表2 化学分析結果(規格本体)

項 目		会 員						会員外					
		平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数	平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数
						(%)						(%)	
強熱減量 (ig.loss)	(%)	2.46	2.71	2.40	0.060	2.4	27	2.47	2.58	2.27	0.085	3.4	16
不溶残分 (insol.)		0.14	0.19	0.08	0.027	19.3	18	0.16	0.20	0.10	0.044	27.5	7
二酸化けい素 (SiO ₂)		20.69	20.84	20.54	0.083	0.4	16	20.48	20.73	19.88	0.282	1.4	7
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)		5.20	5.34	5.13	0.048	0.9	16	5.24	5.43	5.03	0.160	3.1	6
酸化鉄(Ⅲ) (Fe ₂ O ₃)		3.06	3.11	3.00	0.031	1.0	15	3.07	3.21	2.85	0.120	3.9	6
酸化カルシウム (CaO)		63.87	64.16	63.67	0.143	0.2	16	63.64	64.31	60.92	1.208	1.9	7
酸化マグネシウム (MgO)		0.94	1.00	0.90	0.027	2.9	15	0.98	1.10	0.89	0.068	6.9	7
三酸化硫黄 (SO ₃)		1.99	2.10	1.92	0.037	1.9	18	1.97	2.07	1.92	0.043	2.2	10
酸化ナトリウム (Na ₂ O)		0.39	0.40	0.37	0.007	1.8	15	0.37	0.39	0.36	0.010	2.7	7
酸化カリウム (K ₂ O)		0.34	0.36	0.31	0.014	4.1	15	0.33	0.36	0.32	0.016	4.8	7
酸化チタン(Ⅳ) (TiO ₂)		0.31	0.34	0.30	0.010	3.2	16	0.29	0.31	0.24	0.028	9.7	5
酸化りん(Ⅴ) (P ₂ O ₅)		0.48	0.50	0.46	0.009	1.9	16	0.49	0.56	0.43	0.048	9.8	5
酸化マンガン(Ⅱ) (MnO)		0.08	0.08	0.07	0.004	5.0	15	0.08	0.08	0.08	—	—	2
塩素 (Cl)		0.022	0.027	0.020	0.0014	6.4	19	0.021	0.023	0.017	0.0019	9.0	8

表3 最近10年間の化学分析結果(規格本体)の標準偏差の推移

項 目		種別	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
強熱減量 (ig.loss)	(%)	会 員	0.037	0.046	0.031	0.046	0.035	0.053	0.044	0.077	0.034	0.060
		会員外	0.127	0.124	0.073	0.079	0.060	0.145	0.196	0.194	0.134	0.085
不溶残分 (insol.)		会 員	0.033	0.030	0.033	0.038	0.033	0.031	0.030	0.024	0.027	0.027
		会員外	0.038	0.042	0.032	0.040	0.086	0.027	0.031	0.061	0.063	0.044
二酸化けい素 (SiO ₂)		会 員	0.087	0.054	0.072	0.067	0.071	0.152	0.087	0.074	0.050	0.083
		会員外	0.329	0.279	0.347	0.127	0.233	0.336	0.289	0.135	0.303	0.282
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)		会 員	0.048	0.050	0.044	0.074	0.043	0.050	0.062	0.027	0.039	0.048
		会員外	0.103	0.332	0.138	0.093	0.179	0.155	0.226	0.090	0.123	0.160
酸化鉄(Ⅲ) (Fe ₂ O ₃)		会 員	0.021	0.030	0.023	0.035	0.041	0.028	0.065	0.036	0.021	0.031
		会員外	0.045	0.078	0.046	0.048	0.097	0.053	0.070	0.060	0.027	0.120
酸化カルシウム (CaO)		会 員	0.115	0.109	0.131	0.159	0.146	0.135	0.263	0.148	0.144	0.143
		会員外	0.173	1.268	0.226	0.345	0.259	0.139	0.397	0.282	1.065	1.208
酸化マグネシウム (MgO)		会 員	0.020	0.026	0.023	0.024	0.032	0.037	0.055	0.028	0.034	0.027
		会員外	0.110	0.304	0.083	0.063	0.056	0.096	0.166	0.147	0.056	0.068
三酸化硫黄 (SO ₃)		会 員	0.026	0.033	0.025	0.021	0.032	0.019	0.028	0.020	0.032	0.037
		会員外	0.106	0.045	0.032	0.057	0.056	0.226	0.082	0.070	0.036	0.043
酸化ナトリウム (Na ₂ O)		会 員	0.011	0.009	0.007	0.013	0.011	0.016	0.007	0.009	0.015	0.007
		会員外	0.015	0.025	0.014	0.032	0.013	0.013	0.025	0.017	0.012	0.010
酸化カリウム (K ₂ O)		会 員	0.012	0.012	0.016	0.030	0.017	0.016	0.013	0.010	0.015	0.014
		会員外	0.021	0.051	0.016	0.034	0.016	0.030	0.020	0.023	0.022	0.016
酸化チタン(Ⅳ) (TiO ₂)		会 員	0.008	0.008	0.011	0.015	0.007	0.007	0.007	0.006	0.011	0.010
		会員外	0.038	0.052	0.011	0.014	0.022	0.000	0.046	0.010	0.019	0.028
酸化りん(Ⅴ) (P ₂ O ₅)		会 員	0.007	0.008	0.009	0.012	0.020	0.006	0.010	0.006	0.009	0.009
		会員外	0.015	0.039	0.006	0.010	0.016	0.021	0.061	0.009	0.011	0.048
酸化マンガン(Ⅱ) (MnO)		会 員	0.005	0.005	0.006	0.003	0.006	0.005	0.003	0.006	0.007	0.004
		会員外	0.012	0.025	0.008	0.005	0.013	－	0.000	0.000	－	－
塩素 (Cl)		会 員	0.0010	0.0009	0.0007	0.0011	0.0011	0.0021	0.0008	0.0008	0.0006	0.0014
		会員外	0.0031	0.0024	0.0012	0.0023	0.0018	0.0021	0.0011	0.0021	0.0022	0.0019

表1 参加試験所数の推移

種別 \ 年度		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
		37	37	37	37	36	38	37	36	36	36
会員外	国内	57	57	50	52	51	49	48	48	54	50
	国外	5	6	8	5	6	5	8	6	5	5
	計	62	63	58	57	57	54	56	54	59	55
合計		99	100	95	94	93	92	93	90	95	91

表4 物理試験結果(規格本体)

項 目			会 員							会員外					
			平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数	平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数	
							(%)						(%)		
密 度			(g/cm ³)	3.15	3.17	3.14	0.006	0.2	23	3.15	3.16	3.14	0.009	0.3	20
粉末 度	比表面積		(cm ² /g)	3121	3220	3020	34	1.1	31	3132	3310	2980	81	2.6	19
	標準網ふるい 90 μ m残分		(%)	0.7	0.9	0.3	0.17	24.3	22	1.4	7.4	0.2	2.43	173.6	8
凝 結	水 量		(%)	27.6	28.4	26.2	0.39	1.4	32	28.0	30.0	27.2	0.67	2.4	27
	始 発		(h-min)	2-38	3-0	2-15	0-11.6	7.3	32	2-36	3-5	1-50	0-18.3	11.7	27
	終 結		(h-min)	4-9	4-55	3-50	0-14.6	5.8	32	3-52	4-25	3-5	0-20.4	8.8	27
強 さ	圧縮 強さ	3日	(N/mm ²)	27.9	29.1	26.4	0.75	2.7	26	27.9	33.5	26.0	1.60	5.7	47
		7日		44.6	46.8	43.1	0.91	2.0	26	44.1	49.1	40.9	1.47	3.3	47
		28日		61.6	63.9	58.1	1.22	2.0	26	60.8	64.6	55.1	1.89	3.1	47
	曲げ 強さ	3日	(N/mm ²)	5.8	6.4	5.3	0.24	4.1	20	5.9	7.0	5.2	0.42	7.1	34
		7日		7.5	8.0	5.6	0.52	6.9	20	7.6	8.6	6.8	0.47	6.2	34
		28日		9.0	9.8	8.2	0.38	4.2	20	9.2	10.9	8.4	0.54	5.9	34
フ ロ ー			(mm)	201	213	186	10.0	5.0	8	179	199	157	12.3	6.9	8

表5 最近10年間の物理試験結果(規格本体)の標準偏差の推移

項 目			種別	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023						
密 度		(g/cm³)	会 員	0.010	0.007	0.007	0.006	0.007	0.008	0.012	0.009	0.007	0.006						
			会員外	0.008	0.008	0.007	0.007	0.011	0.009	0.011	0.008	0.010	0.009						
粉末 度	比表面積		(cm²/g)	会 員	37	34	35	35	27	40	42	53	39	34					
				会員外	112	62	105	48	72	106	59	56	115	81					
標準網ふるい 90 μ m残分		(%)	会 員	0.13	0.10	0.10	0.16	0.08	0.19	0.38	0.12	0.13	0.17						
			会員外	0.24	0.20	0.22	0.19	0.19	0.43	0.60	0.28	0.51	2.43						
凝 結	水 量		(%)	会 員	0.38	0.43	0.38	0.47	0.40	0.41	0.45	0.34	0.36	0.39					
				会員外	0.39	0.68	0.30	0.59	0.78	0.30	0.82	0.80	0.53	0.67					
	始 発		(h-min)	会 員	0-08.4	0-13.9	0-07.7	0-9.9	0-12	0-9.3	0-11.9	0-12.8	0-10	0-11.6					
				会員外	0-09.9	0-14.2	0-07.7	0-10.4	0-14.1	0-11.9	0-12.4	0-11.3	0-10.3	0-18.3					
	終 結		(h-min)	会 員	0-10.5	0-11.9	0-12.1	0-12.1	0-20.3	0-11.1	0-15.9	0-14.6	0-14.4	0-14.6					
				会員外	0-16.7	0-15.6	0-12.3	0-17.3	0-19.6	0-15.6	0-17.1	0-19.2	0-14.4	0-20.4					
強 さ	圧縮 強さ		3日	(N/mm²)	会 員	0.61	0.68	0.88	0.79	0.93	0.55	0.99	1.11	0.66	0.75				
					会員外	1.04	1.23	0.94	0.83	0.96	1.35	1.15	0.98	1.28	1.60				
					会 員	0.86	1.16	0.96	0.83	0.98	0.82	0.99	1.11	0.95	0.91				
					会員外	0.98	1.75	1.07	0.98	1.21	1.40	1.33	1.49	1.60	1.47				
	28日				会 員	0.79	1.41	1.19	1.04	1.17	1.03	1.06	1.22	1.37	1.22				
					会員外	1.71	2.64	1.62	1.36	1.61	1.63	1.58	1.63	1.64	1.89				
					曲げ 強さ		3日	(N/mm²)	会 員	0.26	0.24	0.26	0.25	0.31	0.32	0.35	0.29	0.21	0.24
									会員外	0.27	0.30	0.28	0.37	0.33	0.37	0.31	0.31	0.38	0.42
	会 員	0.35	0.34	0.37					0.36	0.34	0.32	0.49	0.31	0.30	0.52				
	会員外	0.36	0.42	0.45					0.37	0.42	0.38	0.41	0.34	0.44	0.47				
	28日				会 員	0.40	0.29	0.31	0.31	0.33	0.45	0.41	0.39	0.34	0.38				
					会員外	0.48	0.52	0.47	0.51	0.38	0.41	0.46	0.46	0.54	0.54				
フ ロ ー					(mm)	会 員	-	-	-	-	-	-	-	12.3	11.1	10.0			
						会員外	-	-	-	-	-	-	-	10.5	11.4	12.3			

あった。物理試験結果(規格本体)を表4に、最近10年間の物理試験結果(規格本体)の標準偏差の推移を表5に示す。材齢28日の圧縮強さの分布を図1に示す。

(3) JIS R 5203による水和熱試験結果
参加試験所は15試験所(会員14、会員外1)であった。水和熱試験結果を表6に、最近10年間の水和熱試験結果の標準偏差の推移を表7に示す。

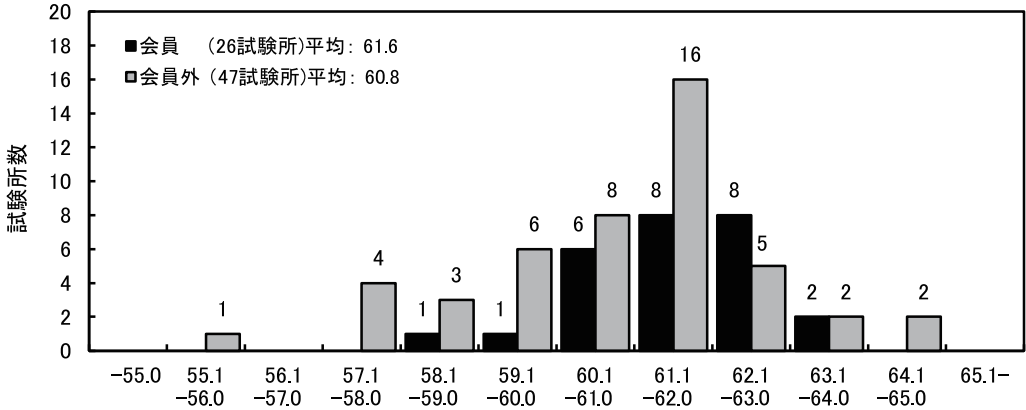


図1 材齢28日の圧縮強さの分布

表6 水和熱試験結果

項 目			会 員						会員外					
			平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数	平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数
熱 容 量		(J/K)	1715	1738	1697	11.5	0.7	14	1719	-	-	-	-	1
未水和セメント の溶解熱		(J/g)	2491	2500	2486	4.2	0.2	14	2484	-	-	-	-	1
水 和 熱	7日	(J/g)	325	333	316	4.8	1.5	14	318	-	-	-	-	1
	28日		384	391	377	3.7	1.0	14	375	-	-	-	-	1

表7 最近10年間の水和熱試験結果の標準偏差の推移

項 目			種別	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
水和熱	7日	(J/g)	会 員	4.8	5.6	3.7	4.9	4.5	3.9	4.0	3.8	18.3	4.8
			会員外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28日	(J/g)	会 員	5.0	4.5	2.3	5.5	4.4	4.8	3.7	3.7	18.7	3.7
			会員外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表8 蛍光X線分析結果

項 目			会 員						会員外					
			平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数	平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数	試験 所数
							(%)						(%)	
強熱減量		(ig.loss)	2.46	2.54	2.41	0.031	1.3	24	2.46	2.47	2.45	-	-	2
二酸化けい素		(SiO ₂)	20.62	20.73	20.44	0.066	0.3	25	20.72	20.79	20.65	-	-	2
酸化アルミニウム		(Al ₂ O ₃)	5.18	5.25	5.10	0.032	0.6	25	5.10	5.11	5.08	-	-	2
酸化鉄(III)		(Fe ₂ O ₃)	3.09	3.12	3.06	0.017	0.6	25	3.14	3.14	3.13	-	-	2
酸化カルシウム		(CaO)	63.92	64.15	63.56	0.160	0.3	25	66.59	69.12	64.06	-	-	2
酸化マグネシウム		(MgO)	0.95	1.00	0.92	0.017	1.8	25	0.89	0.97	0.81	-	-	2
三酸化硫黄		(SO ₃)	1.97	2.03	1.84	0.038	1.9	25	2.08	2.19	1.96	-	-	2
酸化ナトリウム		(Na ₂ O)	(%) 0.38	0.42	0.34	0.021	5.5	25	0.39	0.39	0.38	-	-	2
酸化カリウム		(K ₂ O)	0.34	0.36	0.30	0.015	4.4	25	0.36	0.37	0.35	-	-	2
酸化チタン(IV)		(TiO ₂)	0.31	0.31	0.29	0.006	1.9	25	0.30	0.32	0.28	-	-	2
酸化りん(V)		(P ₂ O ₅)	0.50	0.51	0.48	0.009	1.8	25	0.51	-	-	-	-	1
酸化マンガン(II)		(MnO)	0.08	0.08	0.07	0.002	2.5	25	0.08	-	-	-	-	1
酸化ストロンチウム		(SrO)	0.04	0.05	0.04	0.005	12.5	12	-	-	-	-	-	0
塩素	(Cl)	ガラスビード法	0.022	0.025	0.019	0.0020	9.1	5	-	-	-	-	-	0
		ブリケット法	0.023	0.026	0.020	0.0020	8.7	9	-	-	-	-	-	0

表9 エア・ジェット式ふるい装置および45μm網ふるいによる粉末度

項 目			会 員						会員外					
			平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数 (%)	試験 所数	平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数 (%)	試験 所数
エア・ジェット式 ふるい装置 による 粉末度残分	10 μ m	(%)	71.1	72.4	68.9	1.52	2.1	4	－	－	－	－	－	0
	16 μ m		53.3	54.4	50.2	1.76	3.3	5	－	－	－	－	－	0
	20 μ m		43.8	45.1	40.7	2.09	4.8	4	－	－	－	－	－	0
	32 μ m		23.2	24.1	18.9	1.38	5.9	12	－	－	－	－	－	0
網ふるい残分	45 μ m		11.0	11.8	10.0	0.64	5.8	12	15.1	－	－	－	－	1

表10 遊離酸化カルシウムの分析結果

項 目			会 員						会員外					
			平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数 (%)	試験 所数	平均	最大	最小	標準 偏差	変動 係数 (%)	試験 所数
遊離酸化 カルシウム	A法	(%)	0.4	0.5	0.3	0.07	17.5	14	0.5	0.8	0.2	0.31	62.0	3
	B法		0.3	0.5	0.2	0.09	30.0	18	－	－	－	－	－	0

表11 最近10年間のB法による遊離酸化カルシウムの標準偏差の推移

項 目			種別	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
遊離酸化カルシウム	B法	(%)	会 員	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.12	0.16	0.09	0.14	0.09
			会員外	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

(4) JIS R 5204による蛍光X線分析結果

参加試験所は27試験所(会員25, 会員外2)であった。蛍光X線分析結果を表8に示す。

4. セメント協会標準試験方法(JCAS)による試験結果の概要

参加試験所は、JCAS K-03による「エア・ジェット式ふるい装置による粉末度」が12試験所(全て会員)、JCAS K-02による「45μm網ふるいによる粉末度」が13試験所(会員12, 会員外1)、JCAS I-01による「遊離酸化カルシウムの定量」は、A法(エチレングリコール法)が17試験所(会員14, 会員外3)、B法(グリセリン-アルコール法)が18試験所(全て会員)であった。エア・ジェット式ふるい装置および45μm網ふるいによる粉末度を表9に、遊離酸化カルシウムの分析結果を表10に、また最近10年間のB法による遊離酸化カルシウムの標準偏差の推移を表11に示す。

5. おわりに

正しい試験結果を得るためには、当該試験の規格や解説書をもとに定められた試験条件の遵守、試験機器の整備、試験技量の習得が重要である。

試験結果の確認には、当協会で販売しているセメント強さ試験用標準砂をはじめ、装置の校正用標準物質、試験の技能確認用標準物質、蛍光X線の検量線作成に用いる標準物質、検量線の検定に用いる認証標準物質をご参考にして頂きたい。

共通試料による共同試験への参加は、自己の試験操作や試験結果等を客観的に比較・考察できる貴重な機会であり、本試験が各試験所の試験技術向上の一助となれば幸いである。

今年も10月に「2024-OCセメント共同試験」の実施を予定している。参加募集についての詳細は次ページ、またはセメント協会ホームページをご覧ください。

お知らせ

「2024-OCセメント共同試験」
参加募集

セメント協会は、セメント試験技術の維持・向上のため、1948年より「共通試料によるセメント共同試験」を実施しております。昨年は国内外のセメント・コンクリート関係91ヶ所の試験所・研究所よりご参加をいただきました。

今年も10月に、日本産業規格(JIS)、セメント協会標準試験方法(JCAS)、米国試験(ASTM)を対象とする共同試験を実施いたしますので、ふるってご参加ください。詳細はセメント協会ホームページをご覧ください。

・名 称 2024-OCセメント共同試験

・参加申込み 下記の[OCセメント共同試験]の参加申込より「申込み」をクリックし、必要事項をご入力ください。入力が完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報が送信されますので内容をご確認ください。

セメント協会ホームページ

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

[トップページ]>[イベント・募集]>[OCセメント共同試験]

・参 加 料 金 17,050円(消費税10%を含む)
※セメント協会会員会社は11,000円(消費税10%を含む)
※国外の参加料金は別途送料

・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 OCセメント共同試験 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

・試 験 日 程 申込み締切日 2024年 6月28日(金)
参加料金振込期限 2024年 8月31日(土)
試験開始予定日 2024年10月 1日(火)
試験結果の報告期限 2024年12月 2日(月)
報告書送付 2025年 3月下旬

埼玉コンクリートインフラの現状と予防 ～地域特性から見たこれからの維持管理の形～

Current status and prevention of Saitama concrete infrastructures
～ Future of maintenance considering from regional characteristics ～

横関 康祐

1. はじめに

わが国では、1999年の福岡トンネル剥落事故、2012年の笹子トンネル事故をはじめ、数多くの大震災や風水害などをきっかけに、インフラの老朽化が叫ばれて久しい。現在は、定期点検要領に基づく橋梁などのインフラストラクチャーの点検が2巡目に差し掛かっており、構造物の老朽化の実態がつまびらかになってきていると言いたいところではあるが、実態はつかみどころがない。一般論としては、インフラの維持管理は全国的に喫緊の課題となっているが、どこへ行ってもヒト、モノ、カネの問題が立ちはだかる。この解決策としてi-ConstructionやデジタルトランスフォーメーションDXが有効と言われている。イメージとしては確かに夢のある話に感じるが、インフラの課題は正しく把握できているのか、また課題に対する対策は合理的なものであるのだろうか、さらには、それぞれの自治体ごとに問題意識や状況は異なるのではないかとおぼろげながら考える。

筆者は、社会人になってから30年以上日本全国の数多くのコンクリートインフラに携わってきた。新設の大規模構造物の設計や施工に関する仕事が多く、既存構造物では、塩害や硫酸劣化など厳しい環境の下で

早期に劣化が進んでいる場合の補修や補強に携わった。一方、青森県のブリッジマネジメントシステム¹⁾に携わってから、市町村が管理するような小規模の施設について考えるようになった。また、筆者は東京在住であるが、4年前に埼玉に赴任することになった。ほんのすぐ近くにある地域であるのに改めて知らないことばかりだということに気づかされた。そこで、埼玉のインフラがどのような状況にあるのかを知りたいと思うようになり、いくつかの検討を行った。本稿では、埼玉地域のインフラ維持管理の現状を解説するとともに、予防保全の方法、地域特性を鑑みた維持管理のあり方について論じることとする。

2. 埼玉県インフラの現状

構造物の状況は、施工時期、施工方法、環境条件、社会的要請などにより各地域で異なるのは言うまでもない。埼玉県は、日本の中でも比較的温暖な地域にあり、海にも面していない環境にある。およそ西側半分が山岳地域に位置し、東側には河川が多く平野が広がっている。これに伴い、熊谷に代表されるように、夏には日本の中でも最も高い気温を記録し、冬はやや寒くなるといった特徴がある。ただ、構造物の劣化環境として、日本の中では比較的マイルドな地域に属していると考えられる。さらには、一部凍害や凍結防止剤による塩害は生じているものの、アルカリシリカ反応による劣化事



よこぜき こうすけ / YOKOZEKI Kosuke
東洋大学理工学部都市環境デザイン学科
教授 博士(工学)

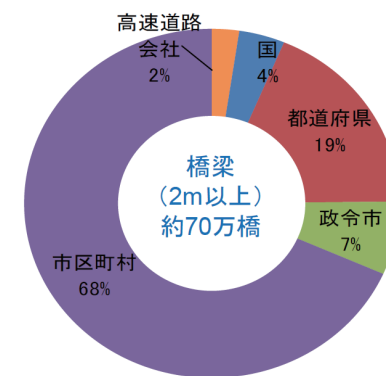


図1 道路管理者別ごとの橋梁数³⁾

例はほとんどない。また、インフラは、都市圏に近いため比較的早い段階で整備されており、数多くの古い構造物が存在するとともに、首都圏と地方をつなぐ要所となる高速道路や主要幹線道路が張り巡らされ、慢性的な渋滞や多くの過重な交通量による疲労現象が問題視されている²⁾。

一方、現在埼玉県内に市町村は63あり、1位の北海道(179)、2位の長野県(77)に次ぐ多さである。さらに、埼玉県内の市の数は40と日本で一番多く、2位は愛知(38)、3位は千葉(37)となっている。橋梁数で言うと、埼玉県は約2,600橋を管轄しているのに対し、埼玉県内の市町村では約16,000橋を供用、管理している。すなわち、市町村ごとに平均250橋もの管理が必要となっている。図1に示すように日本全国では約70万の橋梁があり、盛んに床版取換え工事などが進められているが、そのほとんどは、国や高速道路会社の大規模な橋梁である³⁾。90%以上を占める地方自治体が管理する中小規模の橋梁をいかに維持管理していくかが重要であることは明白である。この市町村が管理する橋梁の多くは、橋長15m以下、特に2～5mの短い橋梁がほとんどであり、古くから使用され生活に密着している。

埼玉の人口は、734万人と日本の中でも5番目に多く、維持管理に携わる人材や予算も他地域に比べれば比較的多いと考えられる。人口が多ければ予算や管理する側の人材もある程度は備わっているものの、上述したように市町村数や橋梁数が多く、費用も人材も十

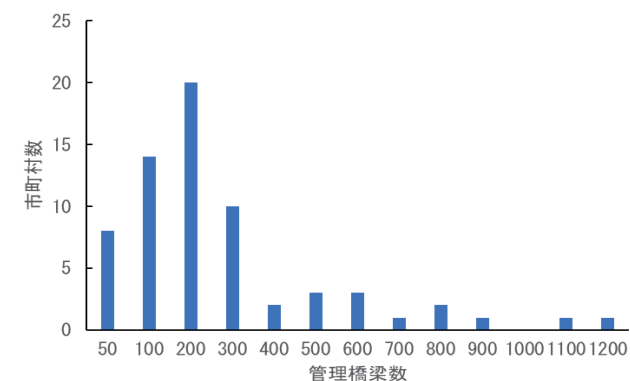


図2 管理橋梁数⁴⁾

分でない地域が存在する。

平成22年に実施された埼玉県内市町村道路橋の維持管理状況アンケート調査結果⁴⁾を紹介する。70市町村のうち、66市町村の回答に基づくものである。図2に管理橋梁数を示す。市町村の大小はあれども、数百～千橋もの管理をしていることが分かる。これらのうち、コンクリート橋と鋼コンクリート複合橋を合わせて56%、橋長15m未満が87%となっている。また、課題についての回答として、①予算措置(庁内の合意が得られない、財政的に厳しい)39%、②人手が足りない27%、③計画策定手順が分からない16%、④劣化予測システムが分からない15%と、カネ、ヒト、モノが問題点として挙げられている。

このアンケートより10年以上が経過し、現時点で、各市町村が長寿命化計画を公表しているかどうかについてホームページ検索により調査を行った。その結果、長寿命化計画を公表している市町村は全体の92%、そのうち劣化曲線を示しているのは17%に留まるが、67%がライフサイクルコスト評価結果を示している。調査・点検は全面的に普及したことが分かったが、最も重要な診断、対策に関する検討がまだまだ十分ではないと感じられた。

3. 川越市のインフラの 予防保全と劣化予測

東洋大学理工学部が所在する川越市は、江戸時



写真1 川越市旧市街



写真2 二枚橋(1924年竣工)



写真4 浅山橋(1974年竣工)



写真3 田谷橋(1935年竣工)



写真5 新霞橋(2008年竣工)

代には川越藩の城下町として栄え、近年も「こえど」と呼ばれ**写真1**に示すように観光地として人気を博している。なお川越市は、埼玉県内でさいたま市、川口市に次ぐ3番目の人口を有する市である。

さて、この川越市の橋梁についての維持管理の状況を紹介する。川越市には全部で583の橋梁が存在する。そのうち、375橋がコンクリート橋、ボックスカルバート橋が150橋ある。完成年次不明が304橋もあることには驚かされるが、1970年代から1990年代に約200橋が施工されている。

川越は、その名のとおり、河川が多く、多くの街道は河川をまたぐ必要がある。したがって、おのずと橋

梁の数も多くなっていったと考えられる。その中には、1924年あるいは1935年に建設されたとされている**写真2,3**に示す橋梁がいまだ美しく健全な姿をとどめている。これら橋梁の現在の劣化度は、二枚橋のみが劣化度I、その他はすべて劣化度IIである。90～100年経過した構造物でも、施工・環境条件、および補修により、100年の耐用年数を維持できる証明とも言える。一方、**写真4**は、現在老朽化の目安とされている50年を経過した橋梁である。この橋梁はPC橋梁としてはかなり古い部類に属するが、部分的にたわみが大きくなっている。さらに、**写真5**は、今から15年ほどしか経過していない新しい橋梁である。水害が原因で急

表1 コンクリート標準示方書の最小かぶり(mm)

制定年(年)	版	梁	柱
1931	10	15	20
1977			
1980			
1986	25	30	35
1991			
2012	35	40	45
施工誤差	±5	±10	±15

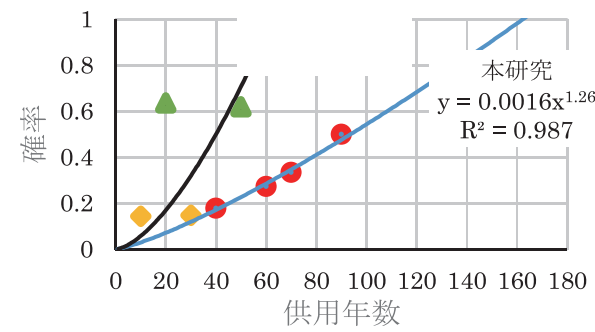


図4 劣化度II以下に低下する劣化確率⁵⁾

速施工により架け替えられたと聞いているが、ここも劣化度IIである。以上のように構造形式が多少異なるものの、橋長としては概ね15m以下の橋梁が、100年という時間の中で我々の生活を支え、活き続けている。しかし、設計や施工条件が原因で劣化の速度が異なることを改めて考えさせられた。

表1に土木学会コンクリート標準示方書に規定されている最小かぶりを示す。示方書が初めて制定された1931年から1980年までの約50年間、床版の最小かぶりは10mm、柱は20mmと、現在では考えられないほど小さい値となっている。その後、1986年に大改訂があり、順次大きくなってきていることが分かる。先に紹介した**写真3**の田谷橋の床版かぶりは10mm程度であった。当時の示方書に従っているとはいえ、対策が必要なのは言うまでもない。1985年より前に完成した構造物の多くは、かぶりが非常に薄いことを前提に維持管理を行う必要がある。また、耐震や疲労設計もこの頃に大きな改定がなされており、1985年以前の構造物は、現在では既存不適格となるため随時更新や補修を進めていくことが望ましいと考える。

図4に川越市が管理する橋梁のうち、劣化度II以下の橋梁の劣化確率を示す。ここで、供用年数20年代

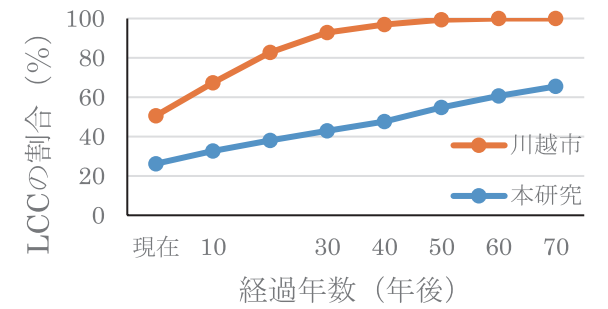


図5 LCC算出結果⁵⁾

は**写真5**のような水害に伴う急速施工が原因で劣化が生じ始めていると考えられる。一方、供用年数50年代(1970年代)は高度経済成長によって多量の構造物が急速に施工されたことと、現行の設計に照らしてかぶりの設定が小さくなっており、初期不良の構造物が多く生産された可能性がある。

川越市の作成した劣化曲線では、上記のような特異な事例が含まれており、劣化確率0.5、すなわち劣化度IからIIに推移する平均寿命は40年、劣化確率1.0、すなわち全ての橋梁が劣化するまでの寿命は60年となる。一方、特異な事例を除いた本研究の曲線では平均寿命90年、最長160年となる。本研究と川越市の劣化確率・寿命には2～3倍の差が生じる。現在、コンクリート橋は100年使用できるように設計・施工されるが、劣化要因の少ない埼玉県では劣化が発生しづらく、現行規定よりも小さなかぶりで設計施工されていたとしても、十分に長寿命であるとも伺える。

次に、ライフサイクルコストLCCの算出結果を**図5**に示す。ここでは70年後の川越市の総補修費を100として割り戻したLCCの割合を示した。その結果、川越市は多くの橋梁を早い段階で補修する必要があるのに対し、本研究では、毎年の補修橋梁数は少なく、

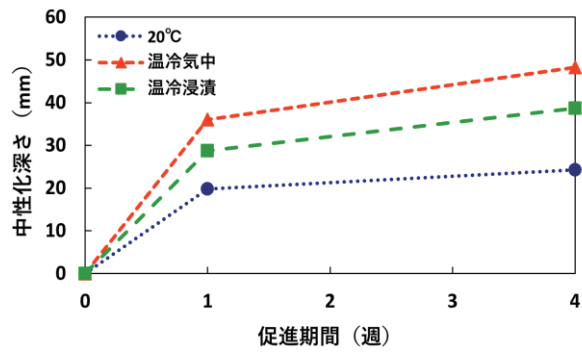


図6 試験室供試体中性化深さ⁶⁾

平準化して継続的に補修することで、補修コストを40%程度安価にできることが分かった。以上より、点検結果に基づき、維持管理計画を策定する際に、地域の状況を加味して進めることで、計画の合理化が可能になると考えられる。

4. 外気温変動に伴う耐久性への影響

先に触れたように、埼玉は比較的温暖な地域ではあるものの、熊谷や川越に代表されるように夏場は気温が高く、冬場は気温が低くなる特徴を有している。コンクリート構造物にとっては、古くから、せいぜいが10～20℃の温度変化に伴う凍結融解作用が問題視されている。また、コンクリート表面部において温度差に伴う内部応力を制御することが求められている。一般に、100μもしくは150μのひずみが生じるとコンクリートにはひび割れが生じるとされているが、このひずみを生じさせるには10～15℃の温度差があればよい。このような温度差は、全国各地で毎日のように起こっているが、それらがコンクリートの耐久性にどのように影響を与えているかは、未解明な事項が多いと感じている。

図6に温度作用を受けた試験体の促進中性化試験の結果⁶⁾を示す。繰返し温度差(10⇔50℃)を材齢5週から4週間与えた後、20℃、50% RH、CO₂濃度20%の条件で促進中性化試験を4週間行った。20℃水中に対して、温冷気中では中性化深さが促進4週で1.98倍となった。また、温冷浸漬は1.59倍となり、温冷気中、温冷浸漬共に繰返し温度差による中性化促

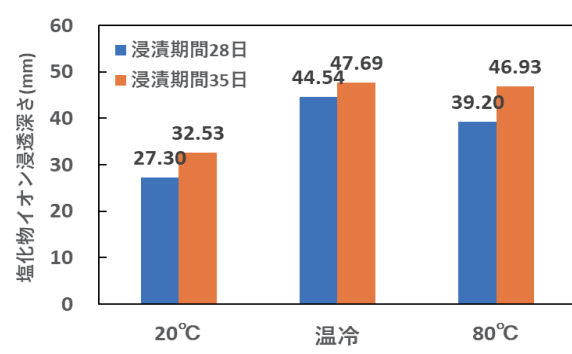


図7 塩化物イオン浸透深さ⁷⁾

進への影響を確認した。

さらに、図7に10%のNaCl溶液に1か月程度浸漬後の硝酸銀溶液噴霧法による塩化物イオン浸透深さを示す。浸透深さは、20℃一定よりも80℃一定が大きく、温度の影響により1.4倍大きくなった。一方、平均温度が55℃の温冷繰返し(40⇔70℃)は、これらよりも浸透深さが大きくなり、20℃の約1.5倍となった。以上より、繰返し温度差による塩化物浸透への影響を確認した。

これから耐久性に及ぼす温度の影響は大きく、埼玉は他地域よりも過酷な環境である可能性があるため、今後も継続して研究を行う必要があると考える。

5. 橋長15m未満の橋梁の対策

地方自治体が管理する50万を超える橋梁は橋長15m以下であり、その多くは鉄筋コンクリートで作られている。埼玉において、最も大きな劣化原因は、かぶり不足による鉄筋腐食、剥離・剥落などが挙げられる。凍結防止剤の影響も多少あるものの、中性化による鉄筋腐食が多く発生している。また、他の地域に比べて古い構造物が数多くあること、水路上で狭隘な補修しづらい環境にあること、予算がひっ迫しており、できる限り低コストで対応可能であること、繰返しの補修を避けること、環境に配慮することなどが要求事項として挙げられる。

筆者らは、劣化の程度、予算、耐用年数などを考えた対策として、無機系表面被覆材材料、環境配慮CLSMを用いた床版橋の研究を行っている。

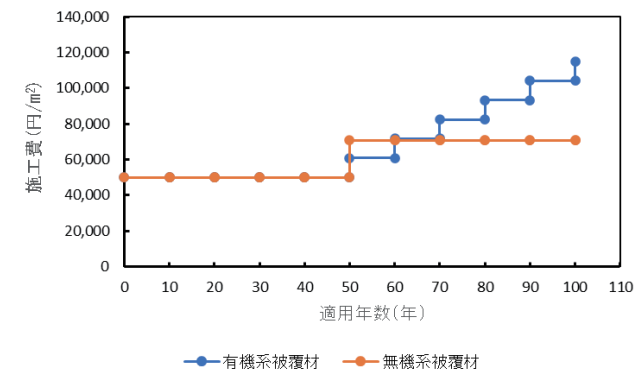


図8 ライフサイクルコストの試算結果⁸⁾

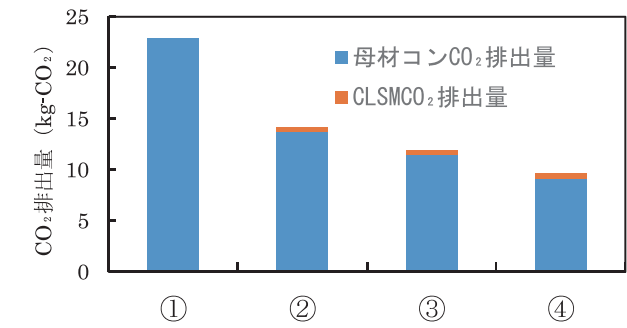


図10 CO₂排出量の試算結果
①: 普通1.0, ②普通0.6+CLSM
③普通0.5+CLSM, ④普通0.4+CLSM

図8は、10年に一度塗り替えを必要とする有機系表面被覆材と筆者らが開発したポリマーセメントを用いた無機系表面被覆材のライフサイクルコストを比較した結果である⁸⁾。ここから100年で約40%のコスト低減が見込まれる。初期費用は高くてもライフサイクルを考慮すればトータルコストは低減できる事例である。また、かぶり不足の構造物への対策に適していると考えられる。

次に、コンクリートスラッジに二酸化炭素を固定して製造された軽質炭酸カルシウムを大量使用したCLSM(Controlled Low Strength Material, 圧縮強度12N/mm²)を普通コンクリートのハーフプレキャスト上部に打ち継いだ重ね梁の載荷試験を行った⁹⁾。ひび割れ発生状況の一例を図9に示す。CLSMを用いた重ね梁は、断面の有効高さを普通コンのみ(180mm)に比べて、わずか30～60mm大きくするだけで低強度の材料を使用しているにも関わらず、降伏・終局荷重がむしろやや増加し、たわみも設計値を満足することを確認した。ひび割れの発生状況は、普通コンとCLSM重ね梁ともに分散された曲げひび割れが生じており、ほとんど差が

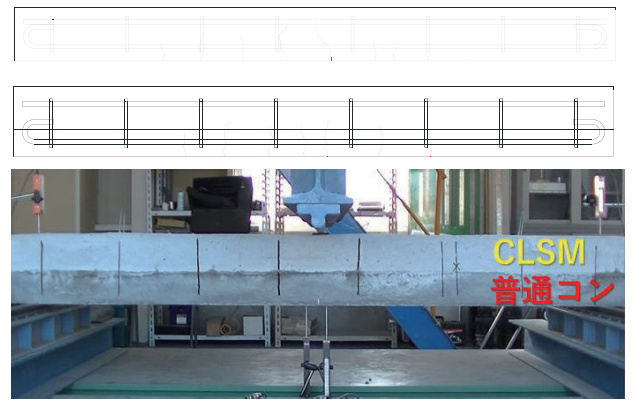


図9 降伏時のひび割れ発生状況
[上：普通コン, 下：普通+上部CLSM]

ないことが分かった。

この部材に使用した材料由来のCO₂排出量を試算した結果、図10に示すように普通コンクリートに比べて60%以上のCO₂排出量の削減が可能であることが分かった。母材コンにも対策を施すことでカーボンニュートラルに限りなく近い付加機能を持った維持管理手法であると考えられる。

この他、昨今のヒートアイランド現象の抑制やライフサイクルコスト削減には、アスファルト舗装の代わりにコンクリート舗装を活用することが望ましいと言われている。これについても、材料、施工などの観点から合理的な方法の研究を進めている。

6. 埼玉コンクリートインフラ研究会

6-1. 研究会の概要

埼玉県産官学を中心とし、最新のコンクリート技術、インフラに関する課題の整理、分析、対策案の検討などに関する勉強、研究を目的とした「埼玉コンクリートインフラ研究会」を発足し、地域や企業を含めた社会貢献に資する取組みを開始した。

現時点のメンバーは、会長：横関(東洋大学)、副会長：上石(ホクエツ)、約20の個人・法人会員で構成されている。本研究会では、年間1～2回のミーティングで、維持管理やコンクリートの関連情報、技術紹介などを行い、地域に役立つ施策を皆様と一緒に考えながら課題解決に導くきっかけにできればと考えている。

6-2. ワークショップ

埼玉コンクリートインフラ研究会では、2023年9月の第一回会合で、埼玉のインフラの課題についてワークショップを行った。参加者は100名を超え、様々な意見が寄せられた。インフラの課題は、人材不足に代表されるヒトの問題、財政に関するカネの問題、点検・対策方法など技術に関するモノの問題に大別できる。ここでは、何よりもカネの問題が大きいと感じられた。カネの問題とは、予算が不足していることだけでなく、LCCの考え方や予防保全の考え方が予算に反映されづらく、良いモノ(技術)がうまく活用できていないというジレンマが感じられ、今後の仕組み作りが重要であると感じた。

7. おわりに

コンクリートが社会インフラに幅広く使われ始めたのは戦後のことであり、いまだ80年足らずである。しかし、わが国は世界にもまれにみる経済復興により、社会イン

フラの発展も世界有数である。数が多いだけでなく、メンテナンスが行き届いた耐久的で美しいインフラがわが日本の誇りである。今後、これらのインフラを地域の実情に合わせて合理的に維持管理することを尚一層考えていく必要がある。

【参考文献】

- 1) 青森県／橋梁アセットマネジメント計画, https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kendo/doro/files/aomori_kyoryo_kihon.pdf (2024.1.31 確認)
- 2) NEXCO 東日本／高速道路の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料, <https://www.e-nexco.co.jp/pressroom/committee/> (2024.1.31 確認)
- 3) 国土交通省／予防保全の取り組み, https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf (2024.1.31 確認)
- 4) 埼玉県／県内市町村道路橋の維持管理状況アンケート調査結果, https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/3881/413698_1.pdf (2024.1.31 確認)
- 5) 金丸, 横関, 高橋, 横川／川越市の橋梁についての劣化曲線に関する研究, 土木学会年次学術講演会, V-665, 2023
- 6) 山本, 馬場, 金丸, 横関, 柳井, 芦澤, 向／コンクリート表層熱による劣化に関する研究, 土木学会年次学術講演会, V-266, 2023
- 7) 遠藤, 山本, 横関／温度差の繰返しを受けたコンクリートの塩害劣化の評価に関する研究, 土木学会関東支部発表会, 2024
- 8) 玉木, 横川, Fatma, 横関／無機系表面被覆材の施工性向上と性能評価に関する研究, 土木学会関東支部発表会, 2024
- 9) 金丸, 小林, 横川, 横関, 樋川／軽質炭酸カルシウムを用いた CLSM 重ね梁供試体の力学性能評価, 土木学会関東支部発表会, 2024



ICCC2023 世界のセメント・コンクリート 研究の動き③

16th International Congress on the Chemistry of Cement in Thailand

6. 混和材とレオロジーに関する新たな知見

New findings in admixture & rheology (by SATO Masaki)

佐藤 正己

1. はじめに

本セッションは、化学混和剤および混和材(SCM)やこれら材料を結合材に使用した材料のレオロジーや硬化体物性に関わる内容を扱っていた。筆者の集計に基づく、基調講演が1件、15か国から合計50件の投稿があった。

本セッションは、主に①レオロジー、②混和材(SCM)、③焼成クレイセメント(以下、LC³と称す)、④その他としてアルカリ活性材料(AAM)、低温度焼成セメント、3Dプリンティング技術などに分類された。全体を通じて化学混和剤とレオロジーを関連させた投稿が18件と多く、続いて混和材(SCM)に関するものが8件、焼成粘土と石灰石を組み合わせたLC³に関する投稿が7件と多かった。

2. 基調講演

Robert J.Flattらにより、「From physics to chemistry of fresh blended cements」との講演タイトルで基調講演が行われた¹⁾。近年の鉱物結合材は、ボル

ランド・クリンカ以外の鉱物粉末の割合が増加している。このことは、フレッシュ状態の特性を含め、様々な特性に影響を与える。その影響は体積駆動効果(物理的変化)、表面駆動効果(物理化学的変化)、初期の水和速度論(化学的変化)に分類される。それらの独立性、相互作用について考察し、混合セメントのフレッシュ特性を理解するための重要な研究課題と必要性について解説されていた。

3. 論文概要

前述の分類ごとの概要を説明する。

3-1. 化学混和剤とレオロジーに関する研究

化学混和剤とレオロジーに関する報告は、投稿論文数が最も多く(1)化学混和剤の成分・構造変化に伴うフレッシュ性状の改善、(2)化学混和剤の成分・構造変化に伴うセメントの水和の変化、(3)その他、に分類された。各項目の詳細は、(1)、(2)では、ポリカルボン酸エーテル(PCE)系化学混和剤の成分・側鎖長、結合モノマーなどの変化に伴うレオロジー特性、水和

第31回プレストレストコンクリート建築技術講習会

開催日：2024年7月12日(金)13:00～17:00

会場：建築会館大ホール(東京都港区芝5-26-20)オンライン・オンデマンドあり

定員：会場200名、オンライン1000名、オンデマンド100名

参加費：無料

プログラム：①琉球ホテル&リゾート名城ビーチ「大宴会場からチャペルまでバリエーション豊富なPC技術」((株)国建 岡田佳那氏ほか)
②彦根総合スポーツ公園陸上競技場(平和堂HATOスタジアム)「過去と未来の「架け橋」となる競技場」((株)佐藤総合計画 大野竜也氏ほか)
③ニコン本社／イノベーションセンター「光と風を取り込む執務空間に採用したハーフPCaPC鋼コンクリート合成スラブ」((株)三菱地所設計 沼田祐子氏ほか)
④某研究施設「可変性確保大スパンPCaPC構造とBCP対応免震構造の融合」(プラナス(株) 柴川義智氏ほか)

申込・問合せ：プレストレスト・コンクリート建設業協会 建築委員会建築部会建築広報推進小委員会
メール：pc-kosyu@bizgroup.co.jp

速度，生成水和物の変化に関する論文が多かった。

3-2. 混和材 (SCM) と化学混和剤に関する研究

石灰石微粉末，高炉スラグ微粉末，フライアッシュ，シリカフェームなどの混和材 (SCM) を普通ポルトランドセメント (OPC) に混和した低体積炭素コンクリートに成分の異なる化学混和剤を使用しレオロジー特性の改善，初期水和・強度発現性の改善を試みた論文が多かった。

3-3. 焼成クレイセメント (LC³) と化学混和剤に関する研究

3-2.とも重複する部分もあるが，焼成粘土，石灰石微粉末を OPC に混和した焼成クレイセメント (LC³) に関する内容で，世界中の研究者が注目しているテーマであると思われた。ここでは，化学混和剤の成分・構造変化に伴う LC³ の (1) フレッシュ性状の改善，(2) 水和促進・初期強度発現性の改善，(3) その他に分類された。(1) では，LC³ は，比表面積が大きく化学混和剤の吸着量の多い焼成粘土を混和しているため，化学混和剤の添加量が増大，フレッシュ性状の可使時間が短くなる課題がある。そのため，LC³ に適した化学混和剤の成分・構造に関する論文が多かった。(2) では，3-2.とも重複するが，混和材 (SCM) の増加は初期強度発現性に不利である。そのため，促進剤による初期水和の促進を試みた論文があった。(3) では，焼成カオリナイトペーストのひずみ-掃引モードによる動的レオメトリー測定，電位差滴定と電気泳動測定を用いた表面電荷の特性評価，原始モデルの枠組みでモンテカルロ (MC) シミュレーションを用いた粒子間相互作用に着目した論文があった。

3-4. その他

アルカリ刺激硬化体 (AAM) と化学混和剤に関する研究では，OPC ベースのコンクリートと比べて，様々な材料の組み合わせがあり，また各材料の変動も大きい。そのため，AAM に適した化学混和剤の成分・構造

の検討に関する論文があった。3D プリンティング技術の開発では，3D プリンティングに使用するモルタルのポンピング性，急結剤と形状の安定性，粒子の変形防止，チキソトロピー性，各層の一体化，強度発現性，収縮抑制について検討していた。

4. まとめ

化学混和剤は，現在のコンクリート材料で欠かせない材料の一つとなっている。かねては，骨材品質の低下からより減水性能の高い減水剤が頻繁に使われるようになった。

本セッションでは，カーボンニュートラルに向けた社会情勢の変化に応じた混和材 (SCM) の多量使用，LC³ や低焼成クリンカセメント，アルカリ刺激硬化体 (AAM) などを適切な性能で使用するためのレオロジー特性の把握，減水剤の開発に関する論文が非常に多くなっていると感じた。

また，3D プリンティング技術に伴う，施工性の向上も急務であり，これらの報告も見られた。



さとう まさき / SATO Masaki
日本大学理工学部土木工学科
教授 博士(工学)

【参考文献】

- 1) Robert J. Flatt, Nicolas Roussel, Hela Bessaies-Bey, Laura Caneda-Martínez, Marta Palacios, Franco Zunino / From physics to chemistry of fresh blended cements, Cement and Concrete Research, Vol.72, 107243, 2023.10

*

*

*

7. 高性能コンクリートの新技術

New Technology for quality concrete (by MITANI Yuji)

三谷 裕二

1. はじめに

本セッションでは，基調講演2件，一般講演19件，ポスター6件の発表があった。“新技術”ということもあり，内容は多岐に渡っていたが，3D プリンティング，焼成粘土，軽量・高性能，自己修復，ひび割れ抑制に関しては複数の報告が見られた。

2. 基調講演

Stacia Van Zetten (カナダ) はコンクリート工事における管理技術として，マスコンクリート内部の温度やひずみをリアルタイムでモニタリングするデバイスを紹介し，使用による省力化・コスト削減の効果を提示した。また，Sui Tongbo と Tong Rui (中国) は中国におけるスマートセメント工場のデジタル化と題し，統合ロボット，情報プラットフォーム，人工知能，高度プロセス制御などの技術実装により，自己学習と全体最適化の機能を兼ね備えたセメント工場について紹介した。デジタル化の推進により，セメント工場で消費するエネルギーを2～5 % 節約し，労働力を20 % 削減できることを示した。

いずれの講演も当該技術に関連する研究のレビューがほとんどなく，各講演者が所属する民間会社の製品や技術の紹介に特化しており，基調講演としてはやや物足りない内容であった。また，コンクリート内部の温度を計測し，マチュリティを用いて脱型可能時期を評価することやコンクリート強度を予測することなどは，既に日本をはじめ様々な国に存在する技術であり，目新しさは感じられなかった。

3. 一般講演

以下に一般講演の中からいくつかピックアップして概要を記す。はじめに，3件の報告があった3D プリンティング技術関連の研究について紹介する。Rijiao Yang (中国) らは，3D プリントされた押出成形フィラメントに含まれるガラスマイクロファイバー (繊維) の空間分布および配向を X 線コンピュータ断層撮影により追跡した。観察により，繊維が押出成形中に不均一なせん断力を受けて層間領域へ徐々に移動し，繊維のないマトリックスが生じること，繊維含有量が多く，流動速度が小さい状態で大きなせん断力を受けると，繊維がプリント方向に対して垂直に曲がることを明らかにした(図1)。

E. Keita (フランス) らは，3D プリンティングコンクリート (3DPC) のひび割れに関する検討をしている。本研究では，押出積層造形された3DPC 内部を X 線コンピュータ断層撮影し，得られた画像にデジタル画像相関を適用することにより局所的な収縮とひび割れを定量化した。検討の結果，型枠による保護がなく，表面積体積比が大きい3DPC では，乾燥による収縮ひび割れが他の要因によるひび割れより卓越することを示している。また，3DPC には長手方向の拘束に伴うひび割れと微細ひび割れの双方が認められ，それらのひび割れが応力作用時の破壊ひび割れを伝播させることにより，製品の強度を低下させる可能性があると考えられている。

本大会では LC³ 関連で3つのセッションが設けられ，約40件の発表が行われたが，新技術に関連する本セッションにおいても，焼成粘土・LC³ を活用した研究が3件報告された。J.K. Das (インド) らは，焼成粘土の置換率が高性能コンクリートに及ぼす影響について検討している。その結果，焼成粘土を置換したものの流動

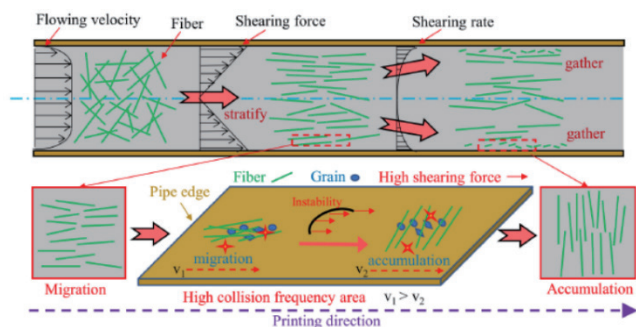


図1 フィラメント内の繊維分布の模式図¹⁾

性および圧縮強度はシリカフェームを用いた場合より低下し、置換率が大きいほどその傾向は顕著であるものの、その低下量は小さく、焼成粘土は強度120MPa程度の高性能コンクリートに対しても利用可能なSCMsであると主張している。A. Alchaar (UAE)らは、一般的にチタン酸ジルコン酸鉛と普通ポルトランドセメントでできているセメントベース圧電複合材料(CPC)について、石灰石焼成粘土セメント(LC³)を使用した場合の特性を評価している。LC³を用いたCPCは従来品と比較して、誘電損失は同程度であるものの、比誘電率がかかなり小さくなり、その要因は硬化後の内部湿度が低いこと、および電極表面に不規則な凹凸が生じることと推察している。

軽量・高強度コンクリートに関する研究では、Y. Jeong (韓国)らが、普通ポルトランドセメント、シリカフェーム、シリカ粉末を用いた結合材と中空微小球および軽量細骨材を組合せた検討を行い、1.53 g/cm³の密度で100 MPa超の圧縮強度を得た結果を示した(図2)。また、J. Yang (韓国)らは、中空ガラス微小球(HGM)を用いた軽量高性能コンクリートの研究を報告している。表面改質した疎水性HGMを用いた軽量高性能コンクリートは、通常のHGMを用いた場合より、流動性が大幅に向上し、圧縮強度も増加する結果を提示している。

コンクリートのひび割れに関する研究は、依然として世界的に取り組まれており、本セッションでは前述した3DPCの評価に加え、自己修復技術に関連した報告が3件あった。J.L. Li (中国)らは、MgO膨張剤をベ-

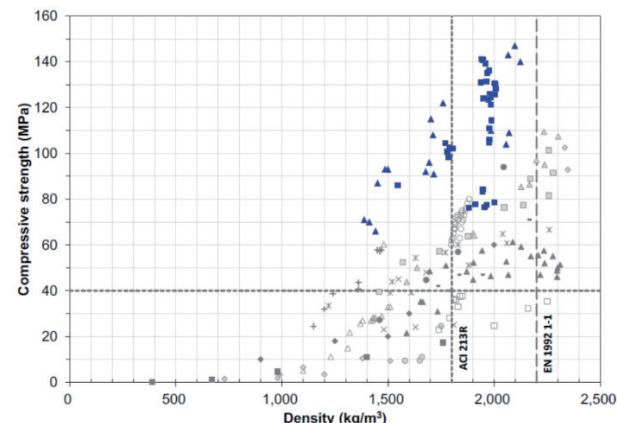


図2 コンクリート密度と圧縮強度²⁾

スにした無機カプセルを作製し、それをコンクリートに添加した場合のひび割れ修復効果を検討している。SEM/EDS分析により、ひび割れの自己修復能力を向上させた要因は、無機カプセルがブルーサイト、ネスケホナイト、ハイドロマグネサイトおよびカルサイトの生成を促進したことであることを示した。なお、筆者らもひび割れに関連して、東南アジア諸国などの熱帯環境下におけるマスコンクリートを対象に、フライアッシュセメントが温度ひび割れやDEFひび割れの抑制・低減に有効であることをThermal-Stress Testing Machineや独自のDEF促進試験の結果を基に提示した。

その他、舗装用の超速硬コンクリート、フライアッシュ中空パラフィンを用いたセルフレベリング材、ガラス気泡断熱材、ジオポリマーセメントとリサイクル銅スラグ骨材を組み合わせたコンクリート等に関する報告があった。

4. さいごに

冒頭でも述べたとおり、コンクリートの新技術に関連する本セッションでの報告内容は多岐にわたっていたが、軽量・高強度コンクリートの研究は興味深く拝聴した。それは、筆者が数年前のシンガポール赴任中に、PCa用途での軽量かつ高強度なコンクリートに対するニーズを幾度か聞いていたためである。その目的は、建築物の高層化・長スパン化および高耐久化のみならず、作業員の削減やタワークレーンをはじめとする重

機の小型化などの省力化・低コスト化の双方を達成することである。コンクリート性能の二律背反と考えられている高強度と軽量の両立を図ることは極めて難しいものの、このような技術は今後世界的に求められる可能性が高いと思われる。わが国がこれまでに培った超高強度コンクリートや軽量骨材等に関する知見・実績を活かし、世界をリードする研究を進めることに期待したい。

HOT NEWS

大門正機先生を偲ぶ会～『社会環境材料』の今後を考える 開催

5月11日、学士会館(東京・神保町)にて昨年8月17日に逝去された東京工業大学名誉教授の大門正機先生を追悼する「大門先生を偲ぶ会」が開催され、国内外のセメント・コンクリート関係者ら約120名が参集し先生の功績を偲ばれた。大門先生はセメント化学分野での世界的権威の一人としてわが国のみならず、国際的にも広く活躍され、また多くの後進の指導に当たられた。

続いて5月13日には同会の一環として、東京都北区のセメント協会研究所で『社会環境材料』の今後を考える」と題して講演形式の会が開催された。

冒頭、後藤誠史先生(山口大学名誉教授)による開会の挨拶に続き、かつて先生の薫陶を受けその後も常に最前線での活躍されている9名の研究者・技術者が登壇し、それぞれ先生との思い出を交えながら以下の各テーマについて話題提供を行った(敬称略)。

①エントロピーと熱力学第2法則を考える／斎藤豪(東京大学)、②石灰石微粉末を活用した混合セメントについて／細川佳史(太平洋セメント)、③高炉水砕スラグ微粉末を使用したセメント・コンクリートについて／井元晴丈(ボゾリスソリューションズ)、④高炉スラグ微



みたに ゆうじ / MITANI Yuji
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 海外技術チーム
主席研究員 博士(工学)

【参考文献】

- 1) Rijiao Yang, Qiang Zeng and Zhendi Wang / Gradient distribution of slender glass microfibers in 3D printed cementitious filaments, Conference Proceedings of the 16th ICCI, Vol.III, pp.145~148
- 2) Y. Jeong, J.-I. Suh, J.H. Kim, Y.Cho, S. Jung and C.-W. Chung / New trend line of compressive strength and unit volume weight of cement composites: Lightweight and high-strength at the same time, Conference Proceedings of the 16th ICCI, Vol.III, pp.161~164

粉末の性能改善について／二戸信和(デイ・シイ)、⑤混和材を大量利用したコンクリート／宮原茂禎(大成建設)、⑥副産物を用いた環境配慮コンクリート／渡邊賢三(鹿島建設)、⑦カルシウムアルミネートの水和系水和物の安定性／大宅淳一(日本大学)、⑧長寿命なコンクリート構造物を構築するための耐久性を巡る課題への取り組み／吉田夏樹(大阪大学)、⑨社会環境材料を想う／新大軌(島根大学)

約40名が参加した会場では、かつて大門先生が中心となって行われた「セメントフォーラム」や「クリンカサロン」「近藤・大門賞」のような参加者との自由な議論も行われるなど終始和やかな雰囲気が進められ、最後に坂井悦郎先生(東京工業大学名誉教授)による挨拶で幕を閉じた。



討論の様子(5月13日)

信濃川発電所第3期真人沢水路橋における AEコンクリートの品質調査

Investigation of AE Concrete at the Third Mattosawa Aqueduct bridge
of the Shinanogawa Power Plant

高山 充直 塚原 高志 千頭 啓司

1. はじめに

AE 剤によりコンクリート中へ連行された微細な空気泡は、ワーカビリティの改善や水密性の向上のほか、特に耐凍害性など耐久性の向上に効果的であることが知られている。日本では1950(昭和25)年に国鉄信濃川発電所(以下、信濃川発電所と称す)と日本発送電の平岡発電所で初めてAE剤が使用されているが、長期間の効果検証は実施されていない。そこで、AE剤を使用し70年以上経過した水路橋においてコンクリートの耐久性や品質を調査することとした。

信濃川発電所の建設に当たっては、構造物の品質向上に熱心で、コンクリートに関しても日本で最初のバイブレーターの使用、プロジェクト全体での容積配合から重量配合への変更を実施するなど力をいれてきた。最初にAE剤を使用したのは新潟県小千谷市に位置



写真1 第3期真人沢水路橋全景

する山本調整池連絡水槽の溢流堤頂通路橋と扶擁天端の一部であることが記録されている¹⁾が、これらは改良工事ですでに撤去されている。

そこで、最初の使用から翌年の1951(昭和26)年に施工された第3期真人沢水路橋(以下、水路橋と称す)に関してAEコンクリートの品質の調査を行うこととした。本稿では、特に耐凍害性に関する調査結果を報告する。

2. 第3期真人沢水路橋

写真1に水路橋の全景を、**表1**に水路橋構造諸元を示す¹⁾。**写真2**のように壁高欄の壁面には、AE剤(VINSOL樹脂)の刻印があり、工事誌¹⁾には標準空気量4.0%に対して実測空気量は3.1%から5.3%であったことが記録されている。また、**図1**に水路橋の構造一般図およびコンクリートコア試験体(以下、コア試験体と称す)の採取箇所を示す。本水路橋では、基礎

表1 水路橋構造諸元

構造形式	開渠型4径間連続アーチ水路橋
桁長	90.5m
幅員	上縁:8.6m 下縁:9.4m
建設年度	1951年(昭和26年)5月
コンクリート配合	設計配合:不明(重量配合) 水セメント比(W/C):50% スランブ:7.5cm, 10cm, 12cm 標準空気量:4.0% 実測空気量:3.1%から5.3% 混和剤:AE剤(VINSOL樹脂)
設計	国鉄信濃川工事事務所



写真2 壁高欄壁面の刻印(VINSOL)

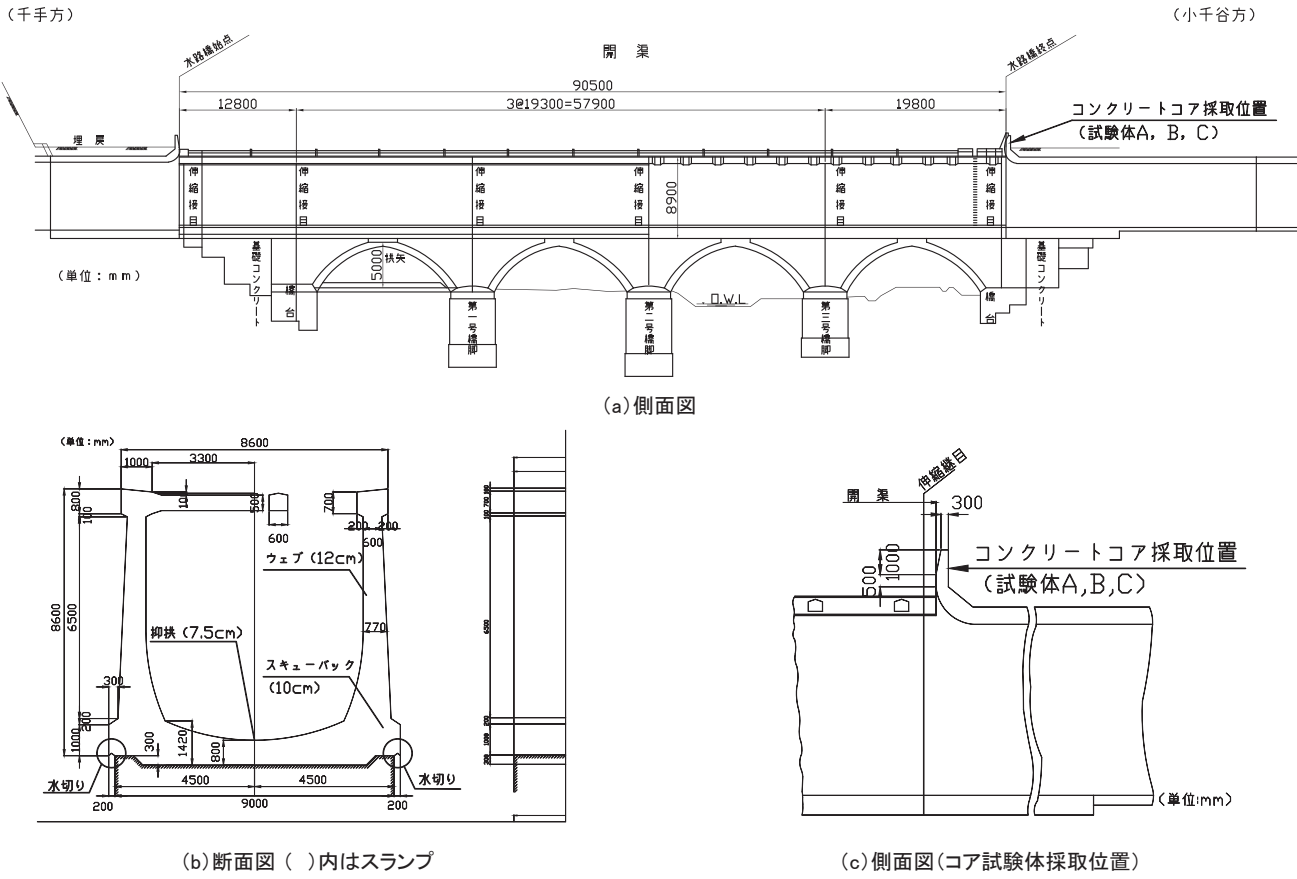


図1 第3期真人沢水路橋構造一般図

地盤を不静定アーチ基礎とすることで安全度の高い構造物とするため、構造形式は鉄筋コンクリート(以下、RCと称す)水路をRCアーチで支持する開渠型4径間連続アーチ水路橋が採用されている。コンクリート配合は、**表1**のとおりである。詳細な設計配合の記録は残されていないが、工事誌¹⁾によれば、従来の容積配合ではなく、重量配合が導入されている。すなわち、コンクリートの耐久性に影響する水セメント比(以下、W／

Cと称す)を固定し、必要なスランブや骨材の種類に応じたセメント、粗骨材・細骨材および水の量をその都度試験して決めることとしている。

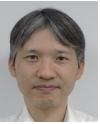
3. 調査

3-1. 調査概要

表2に調査項目を示す。調査は、机上調査、現地



たかやま みつなお / TAKAYAMA Mitsunao
東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター
副長(チーフ)



つかはら たかし / TSUKAHARA Takashi
同上
東北本部 仙台土木設備技術センター
副長



ちかみ けいし / CHIKAMI Keishi
同上
研究開発センター
副主幹

表2 調査項目	
机上調査	
気象環境	現地の気象観測値の分析
現地調査	
外観	ひび割れ等の発生状況 生成物の有無
コンクリートコア試験体による品質調査	
強度特性	圧縮強度・静弾性係数
耐凍害性	凍結融解試験（A法） 空気量測定（リニアトラバース法）
ひび割れ生成物の分析	エネルギー分散型X線分光器を付属した電子顕微鏡（SEM-EDS）

調査および水路橋から採取したコア試験体による品質調査を実施した。机上調査では、現地の気象観測値の分析を行った。現地調査では、外観目視にてひび割れ等の調査を行い、コア試験体による品質調査では、室内試験による強度特性と耐凍害性およびひび割れ生成物に関する試験を実施した。以下に調査概要を示す。

（1）気象環境の調査

水路橋が位置する新潟県小千谷市は、日本有数の豪雪地帯であり、冬季の外気温は氷点下13℃程度まで低下する。信濃川発電所で観測している雨量、外気温、湿度、降積雪量などの直近10年分の気象観測値を分析した。ここで、新幹線高架橋の凍害発生状況に関して、気象条件と実構造物から採取した硬化コンクリート中の空気量の状況からその原因と影響因子を分析した既往の基礎的研究²⁾によると、凍害は凍結融解作用の繰り返しによる影響が大きいが、特に、凍結時に低温環境であることの影響が大きく、低温が持続する影響を評価することでマクロ的な凍害発生の傾向を評価できる可能性があることを指摘している。本件では、同研究の知見を参考にして分析を行うこととした。

（2）現地調査およびコンクリートコア採取

現地調査を実施し、水路橋のひび割れや漏水・析出物の有無等を確認したほか、現場の作業環境を踏まえ、コンクリートコアを図1(a)(c)に示した位置から

表3 採取コア試験体の内訳		
試験体	試験項目	コア寸法 (mm)
A	空気量測定（空気泡観察）	φ75×180
B	凍結融解試験（A法）	φ100×250
C	圧縮強度・静弾性係数試験 ひび割れ生成物の分析	φ150×350

採取した。コア削孔は、断面修復などの補修が行われている可能性があるため、試験孔を行ったうえで実施した。表3に採取したコア試験体の内訳を示す。工事誌¹⁾より粗骨材の最大寸法は50mmであることを確認していたことから、強度特性に関係するコア試験体はφ150mmのコア試験体を採取し、耐久性試験用ではφ100mmとφ75mmのコア試験体を採取した。採取したコア試験体は、現場からの運搬準備が整うまでは水中養生とし、ラップフィルム等で封緘して試験室に運搬し必要な寸法に切断加工した。

（3）空気量測定

空気量測定では、試験体Aから試験片を切り出し、部材深さ方向の気泡測定を行い空気量や気泡の分布状況を確認した。試験体は長さ約200mmを3分割し、表面、中央(表面から95mm)、深部(表面から165mm)の3箇所を測定面とした。測定は、対象箇所の表面を鏡面研磨してリニアトラバース法(ASTM C 457)により実施した。なお、日本コンクリート工学会の調査³⁾によると、練り上がり時の空気量3%程度以上、気泡間隔係数300μm程度以下であれば耐凍害性が高い結果が得られている。また、気泡間隔係数は小さいほど耐凍害性が向上するとされており、Powers⁴⁾やBackstromらは、200μmから250μm以下であれば、優れた耐凍害性が期待できるとしている。

（4）耐凍害性

コンクリートの耐凍害性を評価するために、相対動弾性係数と耐久性指数および質量減少率、空気量と気泡間隔係数の測定を行った。相対動弾性係数と耐久性指数および質量減少率の測定試験は、「JIS A

表4 信濃川発電所管内気象観測分析				
項目	信濃川発電所観測点			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
冬季平均気温(℃)	1.8	1.8	1.9	2.6
凍結融解日数(日/年)	42.4	45.1	59.0	38.6
真冬日日数(日/年)	8.6	4.3	3.9	3.3
真冬日凍結融解日数(日/年)	0.1	0.0	0.0	0.0
真冬日平均気温(℃)	-2.3	-2.5	-2.3	-2.2

1148:2010 コンクリートの凍結融解試験方法」の水中凍結融解試験方法(A法)を実施した。試験体には試験体Bを3本使用し、試験前に1週間水中に浸漬した後に基調測定を行い、凍結融解試験を開始した。測定は30サイクルごとに行い、300サイクルで終了とした。JIS A 1148では、300サイクルまでに相対動弾性係数が60%以下になった場合はそのサイクルで終了とされているが、今回の試験体はひび割れの発生など特徴がみられたことから、推移を確認する目的で試験体の崩壊または、300サイクルまで試験を継続した。

ここで、相対動弾性係数から求められる耐久性指数は、一般的に60以上で耐凍害性のあるコンクリートと評価される⁵⁾が、JIS A 1148の凍結融解試験は、コンクリートの凍結融解抵抗性について直接的な評価を行うものではないことから、現地の凍害による劣化状況の実態や環境条件のほか、コンクリートの品質試験から耐凍害性に関する評価を行うこととした。

（5）強度特性

一般的にコンクリートにひび割れが発生すると、圧縮強度と比較して静弾性係数が低下する。そこでコンクリートの凍害によるひび割れを評価するために、試験体Cを用いて圧縮強度と静弾性係数を測定した。圧縮強度試験および静弾性係数の測定試験は、JIS A 1108およびJIS A 1149に準拠した。静弾性係数は、「JIS A 1149:2017 コンクリートの静弾性係数試験方法」に用いられる1/3割線弾性係数により算出した。このとき圧縮ひずみはひずみゲージを貼付けて測定した。

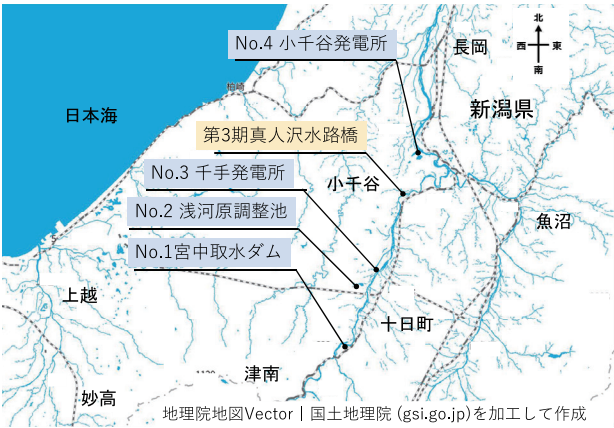


図2 信濃川発電所管内の気象観測点

（6）ひび割れ生成物の分析

コア試験体の外観を観察したところ、骨材周りにひび割れや白色生成物および反応環が確認されたことから、アルカリシリカ反応（以下、ASRと称す）による劣化が疑われた。そこで、試験体Cの試料片を再利用し、生成物の形態および化学組成を調べるために、エネルギー分散型X線分光器を付属した電子顕微鏡（以下、SEM-EDSと称す）を用いて、生成物の観察および化学組成分析を行った。

3-2. 調査結果

（1）気象環境

表4に信濃川発電所管内における気象環境分析結果を、図2に観測点の位置を示す。観測値は、2012年から2022年までの10年分を収集し、冬季(12月から3月)平均気温、凍結融解日数、真冬日日数、真冬日凍結融解日数、真冬日平均気温を整理した。ここで、凍結融解日数とは、コンクリート中の水分が凍結するときの最低気温が氷点下1.0℃以下、融解するときの最高気温が0℃以上とした時の日数であり、真冬日とは、最高気温が0℃未満となる日である。既往の研究²⁾より、コンクリートの表面温度は、真冬日であっても2時間以上の日射があることで0℃以上に上昇し、凍結融解が生じることが確認されており、凍結融解日数にこの影響を考慮したものを真冬日凍結融解日数としている。一般的に凍害の発生は凍結融解作用によるものではあるが、特に真冬日凍結融解日数と平均気温が凍害発生



写真3 水路橋側面のひび割れ状況

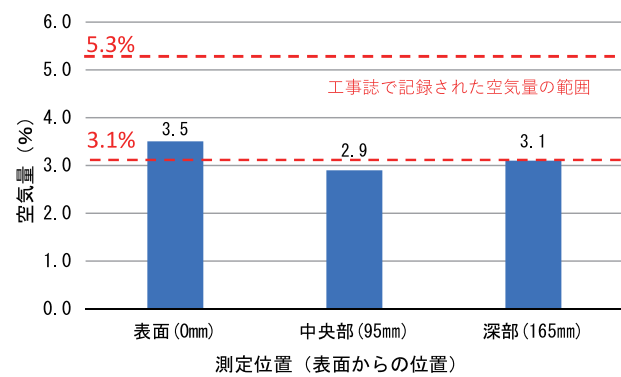


図3 空気量の測定結果

に影響するとされている。表4より、真冬日は年間3.3日から8.6日であり、真冬日の平均気温は氷点下2.3℃前後である。しかし、真冬日凍結融解日数は、多くても年間0.1日であった。このことから、信濃川発電所管内の凍害発生危険度は比較的軽微な環境にあることが推測された。

(2) 現地調査

現地調査では、全体的に写真3のような主桁のウェブ側面には、主に水平方向の打ち継ぎや微細なひび割れが認められたほか、白色析出物が確認された。また、壁部材には亀甲状のひび割れも散見されたことから、ひび割れの原因は凍害だけでなく、ASRによる可能性も考えられた。凍害によるスケーリング(表層の薄片状のはく離)等の損傷は、写真4のようなウェブ天端や横梁の隅部で確認されたが、大規模な変状ではなかった。時期は不明であるが断面修復による補修跡が確認できる。外観でみられる変状は主に水路橋の開渠部で生じており、アーチ部には見られなかった。これ



写真4 開渠天端

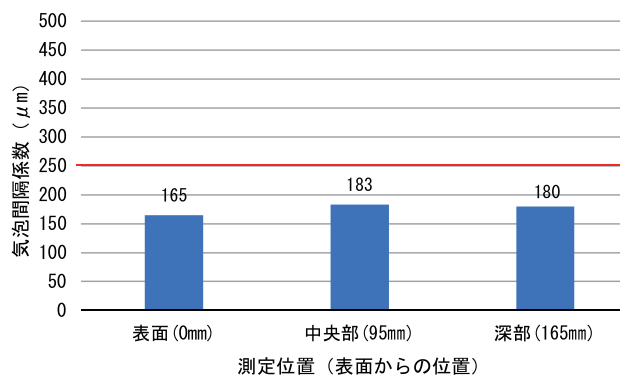


図4 気泡間隔係数の測定結果

は、図1(b)に示した開渠部のスキューバック側面に水切りが設けられており、アーチ部には雨垂れが及ばない工夫がされていることなどの効果と考えられる。

(3) 空気量測定

試験体Aで測定した空気量と気泡間隔係数をそれぞれ図3,4に示す。空気量は表面が3.5%で最も大きく、中央部(表面から95mm)は2.9%、深部(表面から165mm)は3.1%であった。気泡間隔係数は表面で165μm、中央部は183μm、深部は180μmであった。工事誌¹⁾より、施工時のフレッシュ時の空気量は3.1%から5.3%であった。空気量の測定方法の相違があるほか、打設作業により1%程度の空気量は低下することが考えられるため、測定された空気量は施工時の空気量に対して大きな差はないものとする。一般的に、コンクリート表面は施工時のブリーディングや粗大な空気泡が集まりやすいことから、コンクリートの組織が粗くなることが考えられるが、試験体Aは壁面から水平方向に削孔したコアであるため鉛直方向とは気泡分布が

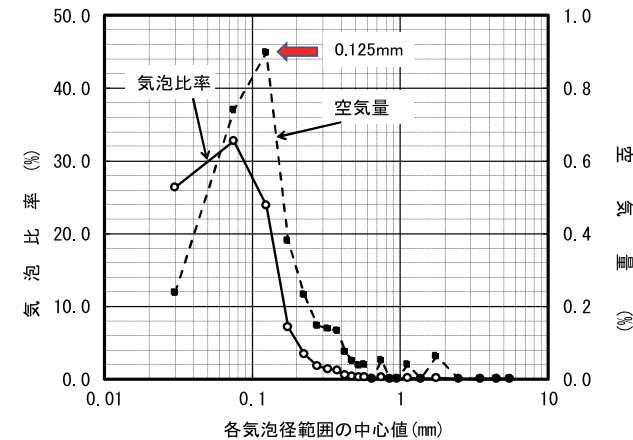


図5 各気泡範囲の空気量と気泡比率

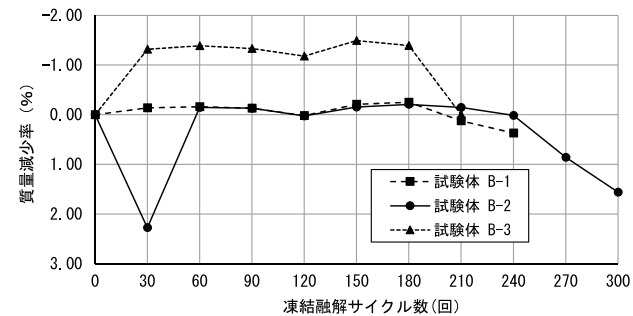


図7 凍結融解サイクルごとの質量減少率

異なると考えられ、表面の空気量が他と比べてやや高く、気泡間隔係数もやや小さいが、他の測点との優位な差は認められない。試験体研磨の際に深部ほど粗骨材寸法が大きくなっていたため、測定面の粗骨材量の違いが空気量や気泡間隔係数の結果に影響している可能性も考えられる。

図5は、試験体Aの表面における各気泡径範囲の空気量と気泡比率を示したものである。表面は平均気泡径0.125mm(0.1mmから0.15mm)の空気量が多いが、気泡比率から0.1mm以下の微細な気泡も十分に存在していることがわかる。そのため、気泡間隔係数が小さくなったことが考えられる。この結果から、測定数は少ないが、表面やそれ以深を確認しても耐凍害性として必要な気泡があることが確認された。

(4) 耐凍害性

図6に試験体Bによる凍結融解サイクルごとの相対動弾性係数(Pn)を示す。試験体B-1は60サイクル、B-2は120サイクル、B-3は30サイクルで相対動弾性係数が60%以下となった。また、耐久性指数の平均

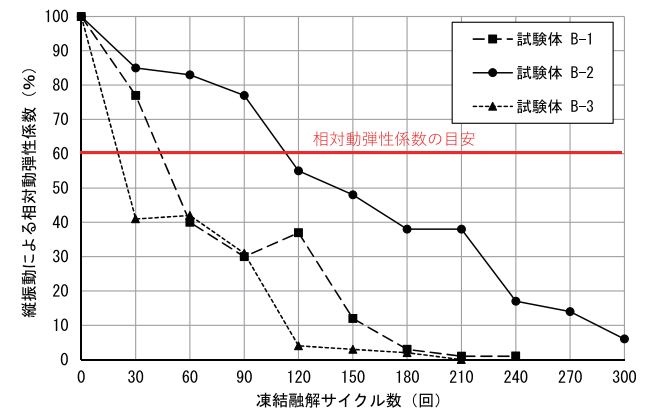


図6 相対動弾性係数の推移

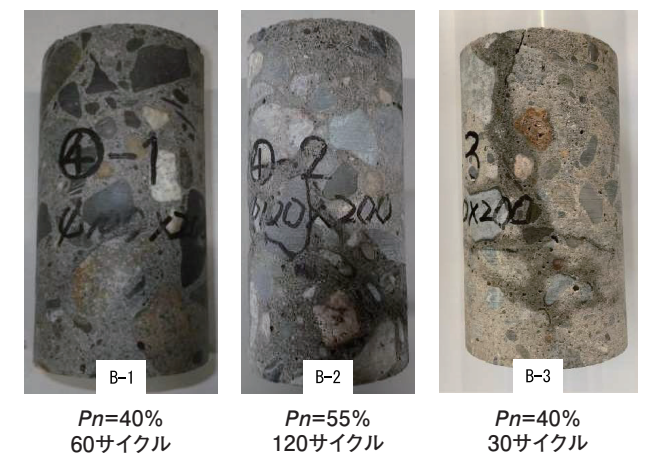


図8 試験体の状況
[相対動弾性係数(Pn)60%未満の状態]

値は11(B-1:8, B-2:22, B-3:4)となり、いずれの試験体も耐久性指数は60に満たなかった。図7に凍結融解サイクル毎の質量減少率を示す。質量減少率を見ると180サイクルまではほとんど質量減少していないことが分かる。図8に相対動弾性係数が60%未満となったサイクルでの各試験体の状況を示す。凍害によるスケーリングは発生していないことが分かる。

実構造物では未凍結層と凍結層との界面に生じるアイスレンズなどにより、スケーリングと直接関連しない大きなひび割れが生じることはあるが、一般的な凍結融解による凍害の進行は、最初に表層に軽微なひび割れが生じ、スケーリングが発生し、それが内部へ進展し損傷が生じる。そのため、一般的に凍結融解試験では表層のスケーリング、それに伴う質量減少が観察される。しかし、今回の試験では、スケーリングが発生せずに崩壊に至った。このことから、試験体に生じ

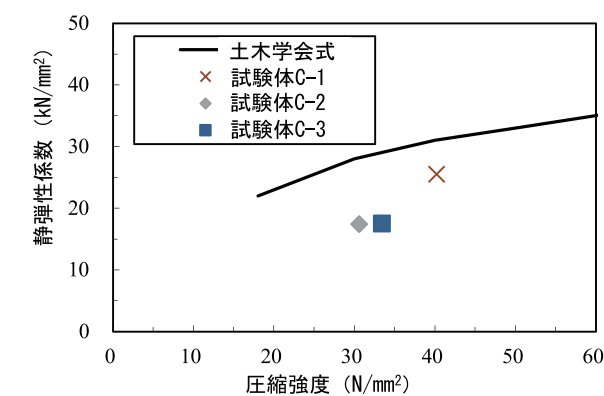


図9 圧縮強度と静弾性係数の関係図(試験体C)

ていたひび割れから水分が浸透し、凍結融解によるひび割れ進展を促進させたことが推察される。なお、試験体B-1は240サイクル、B-3は210サイクルで試験が継続できないほど試験体に崩壊が生じたため、打ち切りとした。

(5) 強度特性

図9に圧縮強度と静弾性係数の関係図を示す。詳細な設計基準強度は不明であるが、工事誌¹⁾に試験の記録があり、そこでは28日強度がおおむね30N/mm²であった。その値と比較すると試験体Cの圧縮強度範囲は30.6N/mm²から40.2N/mm²であり、いずれの試験体も30N/mm²より高い値を示した。また、「2022年度制定コンクリート標準示方書「設計編」」⁶⁾に示されている圧縮強度から求められる静弾性係数の値(土木学会式)との比較では、土木学会式より静弾性係数が低い領域に分布していた。コンクリートコア全体にひび割れが生じていたことで静弾性係数が低くなった可能性がある。

(6) ひび割れ生成物の分析

SEM-EDSによる観察結果を図10に示す。ASRに特有なアルカリシリカゲルが確認された。その組成は、図中右上に示すように、珪素(Si)に比べてカルシウム(Ca)は少なく、ナトリウム(Na)やカリウム(K)が一定量確認された。以上のことから、当該コンクリートではASRが生じていたことがわかった。本水路橋のウェブ外面には軽微であるが亀甲状のひび割れが確認されており、これらはASRによるひび割れと考えられる。

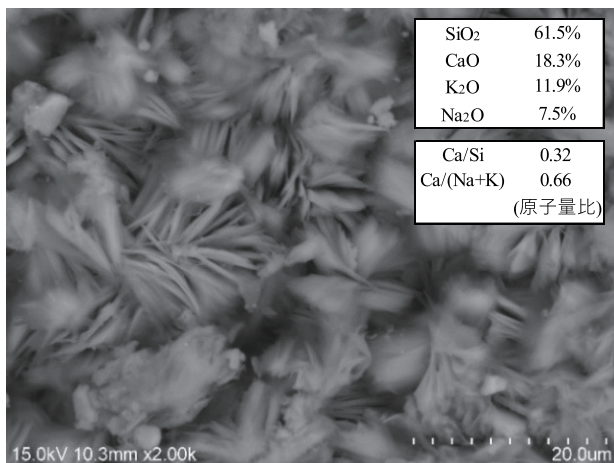


図10 SEM-EDSによる観察結果

ASRの発生は、開渠内の潤沢な水分供給などが影響していると考えられるが、現状ではASRによるひび割れから大きな問題が発生している報告は無い。ASRの将来的な膨張性は、残存膨張促進試験をすることで、ある程度推測できる場合もあるが、必ずしもそれだけで明確にはできない。また、本件の凍結融解試験結果は、ASRなどによるひび割れに水分が浸透した場合、凍結融解作用によって劣化が進行する可能性があることを示唆している。これらの因果関係を明確にして、今後の維持管理方針を検討する必要がある。

5. まとめ

本調査は、信濃川発電所の第3期工事における真人沢水路橋建設工事で使用された、AEコンクリートについて、70年以上が経過した現在の耐久性や品質を耐凍害性、強度特性等の観点から調査し、評価を行ったものである。調査から得られた知見を以下に示す。

- ・気象環境の分析から、信濃川発電所管内では、冬季の気温は低いものの真冬日の凍結融解日数は少なく、凍害発生の危険度が比較的小さい環境であると考えられる。
- ・圧縮強度は、30.6N/mm²から40.2N/mm²であり工事誌に記載のある30N/mm²よりも高い。一方、静弾性係数は土木学会式による標準的な値から低い値となった。これは、試験体に生じていたひび割

れが影響しているものと考えられる。

- ・JIS A 1148 (A法)に準じた凍結融解試験から、30サイクルから120サイクルで全ての試験体が相対動弾性係数60%を下回る結果となった。試験体に生じていたひび割れに水分が供給され、凍結融解により進展したためと考えられた。
- ・ASTM C 457リニアトラバース法で行った採取コア試験体による気泡測定から、空気量は3.5%から2.9%であった。また、耐凍害性に影響するといわれている気泡間隔係数は250μmよりも小さい。このことから、耐凍害性のあるコンクリートであると判定することができる。
- ・SEM-EDSによるコア試験体の観察から、ASRに特有なアルカリシリカゲルが確認された。このことから、ASRが生じているコンクリートであることがわかった。試験体に生じていたひび割れについてもASRによるものと考えられる。

6. おわりに

第3期真人沢水路橋には耐凍害性のあるコンクリー

【参考文献】

- 1) 日本国有鉄道信濃川工事事務所／信濃川水力発電工事誌、pp.127～154、p.189、1952.3
- 2) 三浦秀一郎、高山充直／コンクリート鉄道構造物の凍害とその影響因子、セメント・コンクリート、No.850、2017.12
- 3) 濱幸雄、阿波稔、新大軌／コンクリートの凍害メカニズムと気泡の役割・制御、コンクリート工学、Vol.56、No.5、p.432、2018.5
- 4) T.C.Powers / THE AIR REQUIREMENT OF FROST RESISTANT CONCRETE, Highway Research Board Proceedings, 29, pp.184～211, 1949
- 5) 日本コンクリート工学協会／コンクリート便覧(第2版)、p.830、1996.2
- 6) 土木学会／2022年度制定コンクリート標準示方書「設計編」、p.45、2022.12

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

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

一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181





丸屋 剛

神保町デビューという言葉があるかどうかは定かではありませんが、それは今から50年くらい前のことであったと記憶しています。本を読むのが好きだった父に連れられ、当時はまだ都営新宿線の神保町駅がなくて、御茶ノ水駅から駿河台を下るとそこにはたしか3階建てくらいの巨大な三省堂書店がありました。そのころは東京の府中というところに住んでいましたが、駅の周辺には大きな書店があり、駅から離れたところでも商店街に小さな本屋さんがあったので、三省堂書店の大きさに圧倒されたことを覚えています。神保町には出版社が多くあり、そのうちの岩波書店という出版社のそばであったと記憶していますが、神保町交差点に岩波の本を取り揃えている1階と地下1階を店舗とした書店(信山社?)がありました。今思ってみると、三省堂は多くの本が所狭しに並んでいて本によって大衆文化を体現していた一方、岩波の本を扱う書店は全集本から文庫までが整然と並んでいて、その見た目からも出版社が醸し出す文化を物語っていたと言えそうです。もうひとつ、これは本のことでありませんが、キッチンカロリーという店に食事に行ったことも申し添えます。当時、ハンバーグなどまだま

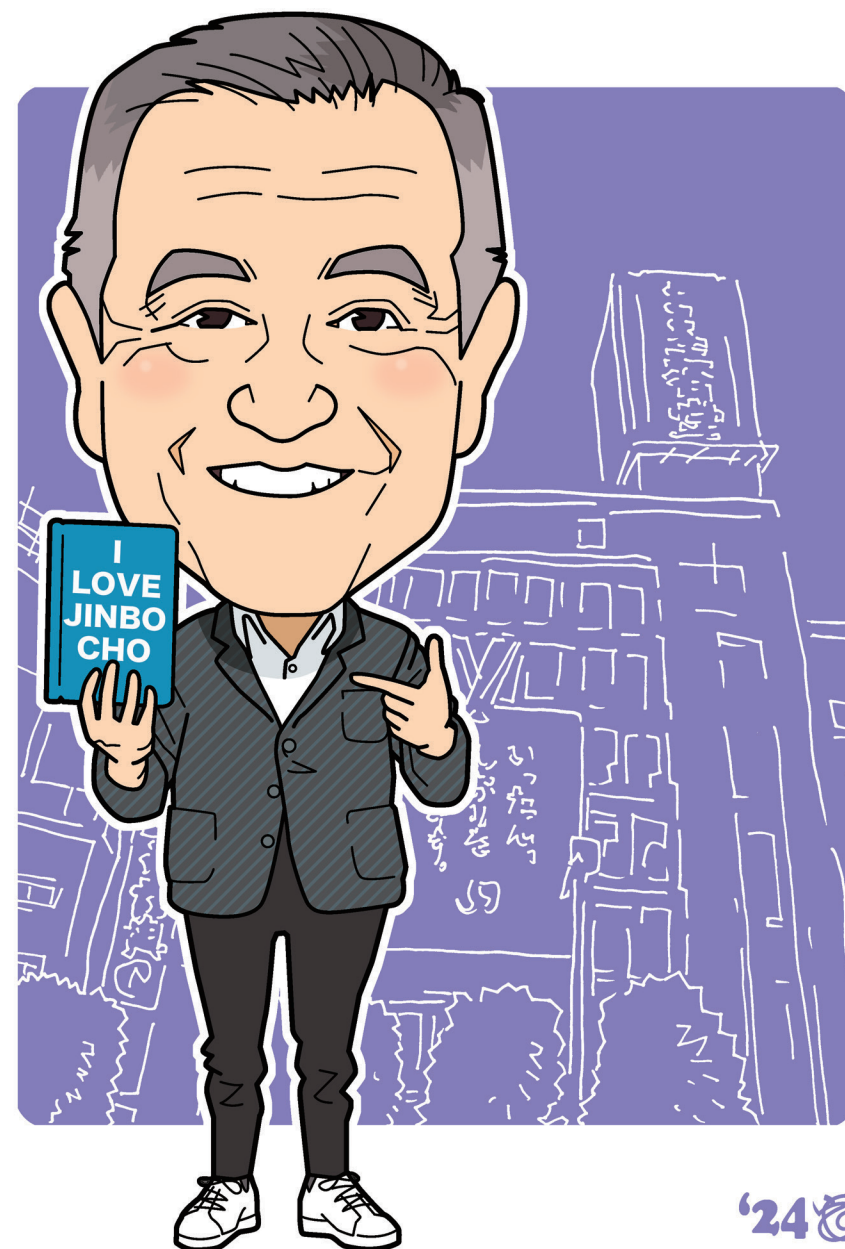
だそれほど食卓にあがることはありませんでしたので、その味とボリュームのインパクトが印象深く残っています。神保町といえば古本屋さんが軒を連ねる街であるのに、新刊本の書店や食事処の話ばかりして古本屋さんの話をしていませんが、その頃の古本屋さんの記憶がないので仕方ありません。そもそも、本を読むのが好きと言われれば嫌いな方だったのですっかり忘れてしまったのかもしれません。

つぎに神保町と再会するのは学生時代に入ってからです。大学生になり、どうしても欲しくてすでに絶版になっていた全集ものを買いに、アルバイトで貯めたお金を持って神保町の古本屋さんに行きました。これが何軒かの古本屋さんで売られていて、それぞれ微妙に値段が違っていたのと、見た目がきれいそうなものやぼろぼろのものがあって、どれにするかなかなか決まらず古本屋さんの間を行ったり来たりしましたが、どうも手持ちのお金では足りずあきらめかけていました。ところがある店で、おそらくしばらく本をながめていたからなのでしょう、店主の方が声を掛けてきましたので、ちょっと買うには足りませんのでまた来ます、と言うと、送料分はいらないよとのことで大きな

買い物ことができました。老年の夫婦お二人の店でその後も寄ることがありましたが、比較的早く店を閉じられたのは残念なことでした。

学生時代ということでは、大学4年のときに研究室にあった先生の個人所有の専門書等を整理する役割を与えられた際、研究室仲間と大量の専門書を車に積んで神保町の理系専門の古書店に売りに行ったこともありました。それまで買ったことはあれ売ったことはなく、二束三文であつたらどうしようなどの不安を抱きながらの商売でしたが思ったより高く売れました。今から思えば、自分で買っておけばその後に役立てられる本が多くあつたはずですが、またもや本のことから離れますが、すずらん通りにキッチン南海という店があり長年胃袋を満たしてくれました。数年前に閉店しましたが、長い間の人気は抜群でいつ行っても店の前に長い行列ができていたほどでした。

学生時代以来、神保町とは長い付き合いをしています。毎年10月下旬から11月上旬にかけて行われる古本まつりには行くことにしています。今から20、30年前はコートを着て寒空の中で露店を廻っていましたが、昨今ではむしろ少し暑いくらいで半袖も見かける古本まつりになっていて、これも地球温暖化が関係しているのかな、というようなことにまで思いいたりします。最近では神保町に行く頻度はめっきり少なくなりました。古本屋さんの数も減ってきていることもありますが、これまで頑固にマニアックなジャンルを扱っていた古本屋さんが少なくなってきたことも足が遠のい



‘24

た理由かもしれません。それもそのはず、今はネットの古本屋サイトで欲しい古書は何でも簡単に安く買うことができるので、古本屋さんも店頭で扱う本のジャンルを売れ筋に合わせてきているのでしょう。ところで、神保町の主である三省堂書店はいま建て替え中ですが、2026年の新装開店で神保町界隈がどのように活かえるのか今から楽しみです。

[まるや つよし/大成建設(株)技術センター
エグゼクティブ・フェロー 博士(工学)]

早期交通開放型コンクリートを用いた 連続鉄筋コンクリート舗装の 現場施工試験と追跡調査

Field Tests and Investigation on Continuous Reinforced Concrete Pavement Using 1DAY PAVE

時政 右京 片山 典信 牟禮 俊博 高橋 涼矢 道下 昭信 吉武 勇

1. はじめに

近年、長期耐久性に優れ、ライフサイクルコストを低く抑えられるコンクリート舗装が着目されている。しかしながら、現状の日本における道路舗装の割合はアスファルト舗装が約95%、コンクリート舗装が約5%となっており、依然としてアスファルト舗装が高い割合を占めている¹⁾。コンクリート舗装の適用が進まない原因として、ひび割れを制御するために目地を設けることによって走行性が劣る点や、養生期間を設けることから交通解放までに時間を要する点が挙げられる²⁾。

上記課題に対して、走行性を向上する技術として連続鉄筋コンクリート舗装(以下、CRCPと称す)がある。一般的にコンクリート舗装では鉄筋を使用しないが、CRCPは舗装縦方向に連続した鉄筋を有する。この舗装縦方向の鉄筋比を約0.6%となるように連続的に配

筋することで、コンクリート版に生じる横収縮ひび割れを短いひび割れ間隔に分散させ、ひび割れ幅が小さくなるよう制御することで、横目地の設置が不要となることが特徴である³⁾。CRCPはその特徴から、通常のコンクリート舗装と比べて乗り心地が良く、道路の周辺環境に及ぼす振動や騒音を軽減する効果が期待できる。近年、交通開放を早める技術として早期交通開放型コンクリート舗装(以下、1DAY PAVEと称す)が開発された。1DAY PAVEは、早強ボルトランドセメントおよび高性能AE減水剤を使用し、水セメント比の低いコンクリートを用いることで、1日の養生期間で交通開放を可能としたコンクリート舗装である⁴⁾。

このCRCPと1DAY PAVEを組み合わせたコンクリート舗装が実用化できれば、養生期間の大幅な短縮や走行性の向上といった大きなメリットを得られる可能性がある。特にCRCPにあらかじめ工場で溶接された



ときまさ うきょう / TOKIMASA Ukyo

(株)トクヤマ
セメント開発グループ



かたやま のりのぶ / KATAYAMA Norinobu

(株)藤崎商会
営業部 常務取締役



むれ としひろ / MURE Toshihiro

同上
工事部 部長



たかはし りょうや / TAKAHASHI Ryoya

山口大学
大学院創成科学研究科
博士前期課程



みちした あきのぶ / MICHISHITA Akinobu

(株)マテリアル・サービス
高田事業所 取締役事業所長



よしたけ いさむ / YOSHITAKE Isamu

山口大学
大学院創成科学研究科
教授 博士(工学)

表1 施工に使用したコンクリート

コンクリートの種類	W/C (%)	単位量(kg/m ³)							スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)
		W	C	S	G1	G2	Ad1	Ad2			
標準舗装Con	43	149	345	853	303	707	3.10	2.25	7.0	4.4	6.5 ^a
1DAY PAVE	35	165	471	692	306	714	3.77	2.83	17.0	5.0	5.2 ^b

a : 試験材齢28日, b : 試験材齢1日

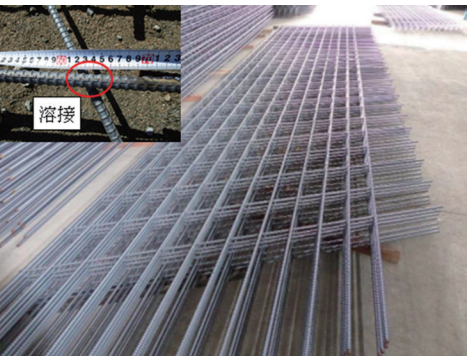


写真1 FKメッシュパネル

鉄筋(プレハブ式鉄筋メッシュパネル)を使用することで、工期短縮および作業人数の削減も可能となる⁵⁾。しかし、CRCPと1DAY PAVE用コンクリートを組み合わせる場合、コンクリートの強度が高ことから、過大なひび割れが発生するとともにひび割れ発生個所で鉄筋が降伏、最悪の場合は破断する恐れがある。仮に、1DAY PAVEを用いたCRCPでそのような事態となった場合、過大なひび割れの発生とともにCRCPの縦方向鉄筋の連続性が失われて、その機能が損なわれてしまう。この危険性から、CRCPと1DAY PAVEを組み合わせた舗装の現場実験や施工報告はほとんど行われていない。

そのような状況の中、このたび、(株)藤崎商会の自社工場内において、CRCPと1DAY PAVEを組み合わせたコンクリート舗装の実証実験を行う機会を得た。本稿では、CRCPと1DAY PAVEを組み合わせたコンクリート舗装がその機能を維持できるかどうか、施工から1年間の鉄筋ひずみとひび割れ状況について追跡調査を行った結果を報告する。

2. 施工の概要

2-1. 使用材料

本施工では表1に示す2種のコンクリートを使用した。

標準舗装コンクリート(以下、標準舗装Conと称す)はJIS A 5308に示される「曲げ4.5-6.5-20N」の一般的な舗装用コンクリートを使用し、1DAY PAVEはW/C35%の「曲げ4.5-18-20H」を使用した。

鉄筋は現場で結束する通常の鉄筋(以下、バラ鉄筋と称す)と(株)藤崎商会製のプレハブ式鉄筋メッシュパネル(以下、FKメッシュパネルと称す)を使用した。バラ鉄筋は、縦方向にD16を150mmピッチ、横方向にD13を600mmピッチで縦方向鉄筋に対して60°の角度をつけて設置した。鉄筋同士の組付けは鋼製の結束線にて行った。一方のFKメッシュパネルは、バラ鉄筋と同様の配筋としているものの、鉄筋同士の組付けは工場にて事前に溶接された工場製品であり(写真1)、組付けられた鉄筋パネルを現場にて敷設し、パネル同士を結束線で結合して設置した。

2-2. 舗装の概要

コンクリート舗装の上面図を図1に示す。実験は(株)藤崎商会の吉田工場東棟(広島県安芸高田市甲田町下小原)で行った。施工した舗装の長さは110m、幅は11.5mである。この施工範囲をエリア1~エリア4(長さ55m×幅5.75m×4範囲)に分けて施工を行った。各エリアの鉄筋の種類および舗装コンクリートの種類を表2に示す。

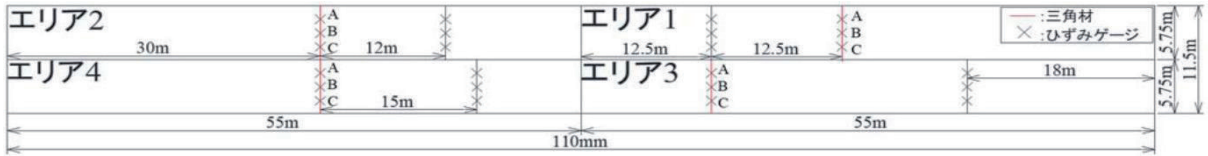


図1 舗装の上面図

表2 実験水準

	鉄筋の種類	舗装コンクリート
エリア1	バラ鉄筋	1DAY PAVE +CRCP
エリア2	プレハブ式鉄筋 メッシュパネル	1DAY PAVE +CRCP
エリア3	バラ鉄筋	標準舗装Con +CRCP
エリア4	プレハブ式鉄筋 メッシュパネル	標準舗装Con +CRCP

コンクリート舗装の厚さは200mmで、舗装表面から3分の1の高さにバラ鉄筋またはFKメッシュパネルを敷設した。舗装縦方向に隣接するエリアの鉄筋とプレハブ式鉄筋メッシュパネルは結束線で繋ぎ、横方向に隣接するエリアの不陸を抑制するためにタイバーを1m間隔で配置した。また、路盤上に三角柱形状の木材(幅70.7mm×高さ35.4mm)を図1に示す箇所に設置することで意図した位置でのひび割れを誘発し、同箇所上の鉄筋にひずみゲージを貼り付けることで鉄筋のひずみを測定した(写真2)。なお、舗装の両端部を固定せずに自由に収縮できる状態ではひび割れが発生しないことが予想されたため、既設のコンクリート版にホールアンカーを用いて鉄筋を設置し、その鉄筋に敷設したCRCP用の鉄筋を溶接することで両端部を固定した。

コンクリートの打込みはコンクリートポンプ車によって行い、棒状パイプレタにて振動締固めを実施した後、簡易コンクリートフィニッシャとコテで表面を均し、ほうき目をつけてから被膜型養生剤を散布した。打込み完了から約2時間経過した後に養生マットを敷きながら散水養生を行った。完成した舗装の状況を写真3に示す。

2-3. 調査項目

舗装の施工後、ひび割れ調査と鉄筋に貼り付けたひずみゲージによる鉄筋ひずみの計測を実施した。ひび割れ調査は、ひび割れ発生個所と材齢を記録し、

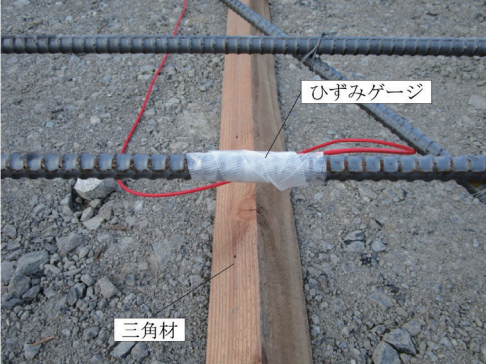


写真2 ひび割れ誘発材とひずみゲージ



写真3 舗装完成状況

クラックスケールを用いてひび割れ幅を測定した。鉄筋ひずみの計測では、図1のマーク位置の縦方向鉄筋に自己温度補償型のひずみゲージを貼り付けて、ポータブルデータロガーによって数値を読み取ることで鉄筋のひずみを調査した。なお、鉄筋ひずみの数値から鉄筋の降伏の有無を判断するために、施工で縦方向鉄筋に使用したD16の異形棒鋼の引張試験を行い、降伏時のひずみを測定した。

3. 追跡調査の結果

3-1. ひび割れ

(1) 1DAY PAVEと標準舗装Conの比較
材齢1年経過時の各エリアのひび割れ状況を図2に

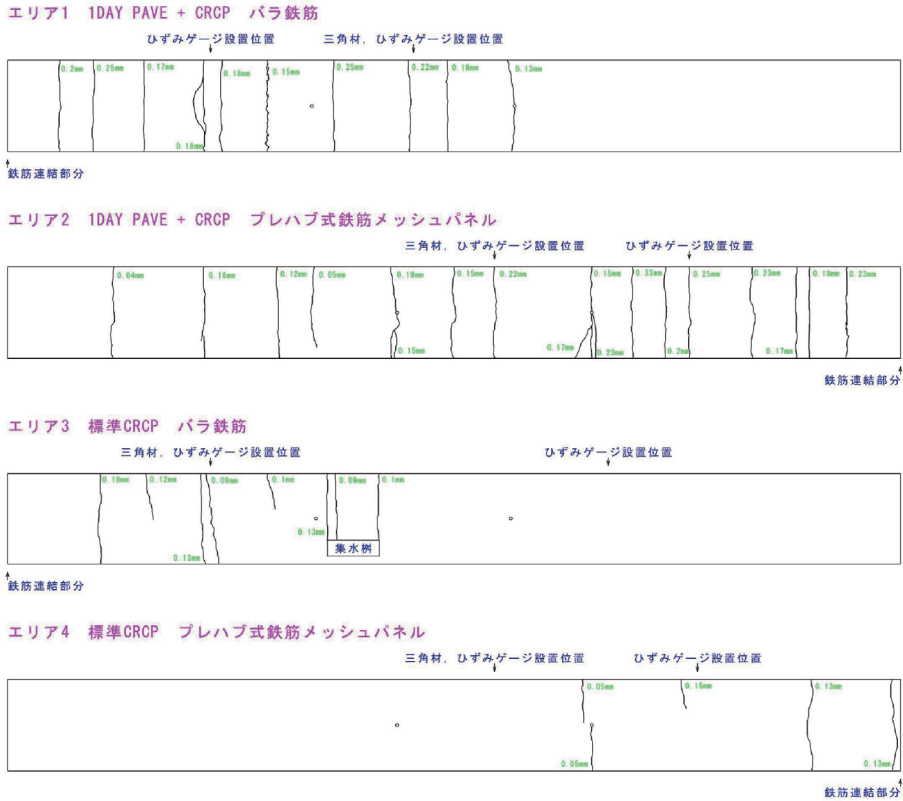


図2 各エリアのひび割れ状況

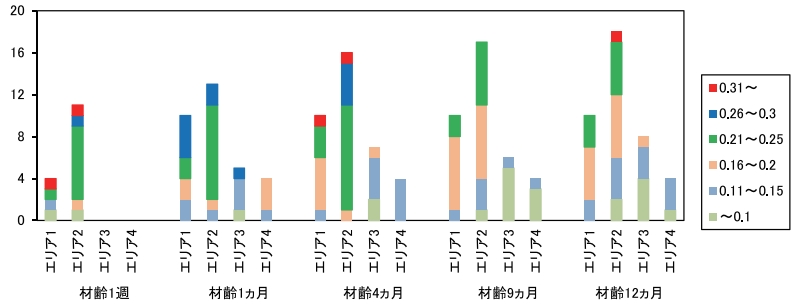


図3 各材齢のひび割れ幅ごとの本数

示す。また、各材齢のひび割れ幅ごとの本数をまとめたものを図3に示す。図2、3から、1DAY PAVEを使用したエリア1と2のひび割れ本数が標準舗装Conを使用したエリア3と4よりも多いが、ひび割れが特定箇所に集中せずに比較的分散して発生していることが分かる。

図3のひび割れ幅の分布に着目すると、標準舗装Conを用いたCRCPでは幅0.15mm以下のひび割れがほとんどを占めるのに対し、1DAY PAVEを用いた場合は0.15mm超のひび割れが6割以上を占めていることが分かる。また、いずれのエリアにおいても材齢の経過に伴って0.2mm以下のひび割れが占める割合が

増加する傾向であった。これは、材齢の経過に伴って舗装全体のひび割れ本数が増えたことにより、1つのひび割れに作用する引張応力が分散されたためと考えられる。

各エリアで計測された最大ひび割れ幅に着目すると、1DAY PAVEを用いたエリア1およびエリア2で0.3mmを超えるひび割れが計測され、材齢1年時点のエリア2では、本報告内で最大となる0.33mmのひび割れを観測した。このひび割れ幅は、土木学会舗装標準示方書内の規定であるCRCPの荷重伝達における限界値0.6mm⁶⁾以下であり、CRCPとしての機能を損なっていないものの、同示方書のかぶりに基づく

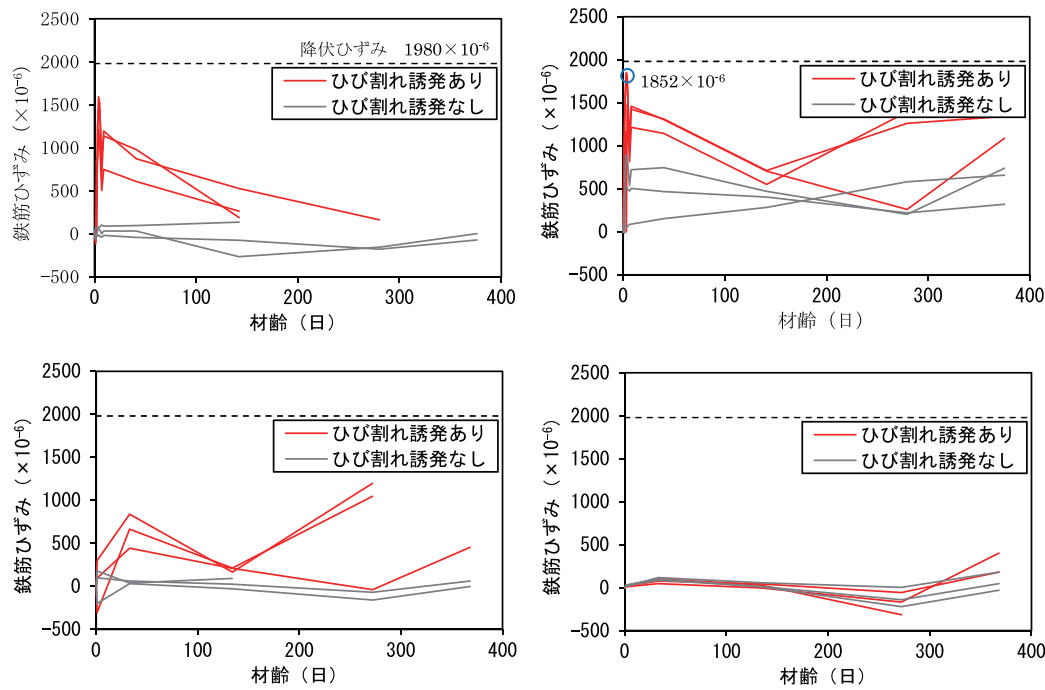


図4 各エリアの鉄筋ひずみ

鉄筋の腐食耐久性能により決まる限界値0.31mm⁷⁾より若干大きい。なお、ひび割れ幅は時間の経過に伴って変動しており、気温や交通状況によって影響を受けるため、今後も定期的な経過観察を行い、荷重伝達機能や鉄筋の腐食耐久性が低下していないか確認する必要がある。

以上の結果から、1DAY PAVEを使用したCRCPは標準舗装Conを用いた場合より、ひび割れ本数が多く、ひび割れ幅が大きくなる傾向にあるといえる。これは、1DAY PAVEが低水セメント比の配合で、収縮量が標準舗装Conよりも大きい⁸⁾こと、さらに、コンクリートの引張耐力が大きいため、ひび割れ発生時に鉄筋に作用する応力が大きいことなどが要因と考えられる。

(2) バラ鉄筋とFKメッシュパネルの比較

図2, 3から、FKメッシュパネルはバラ鉄筋と比較して、1DAY PAVEの場合ではひび割れ本数が多く、確認されたひび割れ幅の最大値は同程度であった。標準舗装Conの場合ではひび割れ本数が少なく、最大ひび割れ幅は小さかった。また、ひび割れが密集して発生することもなかった。これらのことから、FKメッシュパネルを用いると最大ひび割れ幅を小さく抑えられる可

能性があるものの⁵⁾、その原因については本検討の結果から考察することはできなかった。

3-2. 鉄筋ひずみ

(1) 1DAY PAVEと標準舗装Conの比較

各エリアの鉄筋ひずみの計測値を図4に示す。なお、材齢1年までの数値がない系は、途中で断線等により計測不能となったものである。ひび割れ誘発箇所上の鉄筋ひずみをエリアごとに比較すると、1DAY PAVEを用いたエリア1と2の鉄筋ひずみが標準舗装Conを用いたエリア3と4よりも大きかった。特に、エリア2の材齢3日の時点で測定された、1852×10⁻⁶の値はすべての計測結果の中で最大だった。このひずみの値は鉄筋の引張試験にて計測した降伏ひずみ1980×10⁻⁶よりも小さかったことから、舗装内部の鉄筋は降伏していないと推測される。ひび割れ調査の結果で、図3のように1DAY PAVEのひび割れ本数が多かったことから、1DAY PAVEを使用したCRCPではひび割れが分散し鉄筋に作用する応力も分散したため、鉄筋の降伏に至らなかったものと考えられる。

また、エリアごとのひび割れ誘発の有無でひずみを比較すると、エリア1, 2, 3ではひび割れ誘発箇所の

方が大きなひずみを示し、エリア4では同等の値を示した。エリア3でひび割れ誘発なしの箇所のひずみが誘発箇所より小さいのは、ひずみゲージ直上にひび割れが発生しなかったためである。その一方で、1DAY PAVEを用いたエリア1と2では、ひび割れ誘発のないひずみゲージ上でひび割れが発生しているにも関わらず、同箇所のひずみはひび割れ誘発箇所より小さい傾向にあった。この原因について、今回の調査結果からは明確な結論は出せないものの、ひび割れ誘発箇所若材齢にひび割れが発生して鉄筋に応力が集中したのに対し、ひび割れ誘発のない一般部位でひび割れが発生した際はすでにひび割れ数が多く、応力が分散されたためと推察される。

(2) バラ鉄筋とFKメッシュパネルの比較

図4に示すバラ鉄筋とFKメッシュパネルの鉄筋ひずみを比較すると、1DAY PAVEを用いた場合はいずれも最大ひずみは同程度であった。標準舗装Conを用いた場合は、ひび割れ誘発有りでバラ鉄筋の方が小さい値を示したが、これはバラ鉄筋でひずみゲージの直上にひび割れが発生しなかったためであり、ひび割れ誘発無しではいずれも同等のひずみを示した。

4. まとめ

CRCPと1DAY PAVEを組み合わせたコンクリート舗装を実際に施工し、供用開始から1年までのひび割れおよび鉄筋ひずみについて調査を行った。本調査で得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 1DAY PAVEを用いたCRCPは、一般的な舗装コンクリートを用いたCRCPよりもひび割れ数が多く、ひび割れ幅も大きかった。ひび割れ幅は、舗装版の荷重伝達に関する限界値よりは小さかったが、鉄筋腐食に対する耐久性能に関する限界値よりは大きかったため、今後もひび割れ幅の計測を継続して耐久性の評価を行う必要がある。
- 2) 1DAY PAVEを用いたCRCPの鉄筋ひずみは、一般的な舗装コンクリートを用いた場合よりも大きな値を

示し、最大で1852×10⁻⁶の鉄筋ひずみを計測したが、この値は使用した鉄筋の降伏ひずみより小さいため、舗装内の鉄筋は降伏していないと推測される。

3) FKメッシュパネルを使用した舗装は、ひび割れ状態および鉄筋ひずみのいずれも通常のバラ鉄筋を使用した舗装と遜色ない結果を示した。

5. おわりに

本検討では、コンクリート舗装のより広い普及の一助となることを目指して、コンクリート舗装の課題点として挙げられる養生期間および走行性を改善するために1DAY PAVEを用いたCRCPの試験施工と調査を行った。今回の調査結果からは1DAY PAVEを用いたCRCPの鉄筋の降伏は確認されなかったものの、ひび割れ幅の制御が検討課題として挙げられた。その対策としては、①縦方向鉄筋の鉄筋比を増大する、②収縮・ヤング係数の小さい1DAY PAVEを用いて発生応力を小さくすることで鉄筋負担を低減するなどが考えられる。

コンクリート舗装は長寿命でライフサイクルコストに優れるなどいくつかの利点を有し、人手不足やインフラの維持補修費用の増大といった社会課題を改善できる可能性を有する。セメント・コンクリートに携わる立場として、少しでも社会貢献となるような技術開発を続けたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 道路局企画課／道路：道路統計年報，国土交通省，2023-7-28，<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html> (参照2024-2-1)
- 2) 宮島一郎／コンクリート舗装の今，(公社)日本コンクリート工学会，2024-2-7，https://www.jci-net.or.jp/j/concrete/technology/201604_article_2.html# (参照2024-2-8)
- 3) 福田正／連続鉄筋コンクリート舗装及びプレストレストコンクリート舗装，コンクリート工学，Vol.14，No.6，pp.41～45，1976
- 4) (一社)セメント協会／早期交通開放型コンクリート舗装製造施工マニュアル，p.1，2022
- 5) 片山典信他／斜交メッシュパネルを用いた連続鉄筋コンクリート舗装，月刊コンクリートテクノ，Vol.41，No.1，pp.62～67，2022
- 6) (公社)土木学会／舗装標準示方書，p.78，2023
- 7) (公社)土木学会／舗装標準示方書，pp.96～97，2023
- 8) 田澤栄一，宮澤伸吾／セメント系材料の自己収縮に及ぼす結合材および配合の影響，土木学会論文集，No.502，V-25，pp.43～52，1994

大深度円形立坑用RC連壁の コンクリート品質向上に対する取組み

Efforts to improve concrete quality of diaphragm walls for deep circular shafts

山口 哲司 河村 彰男 眞船 常雄 佐藤 嘉之 里見 賢 内藤 健人

1. はじめに

近年、リニア中央新幹線や東京外かく環状道路等の大深度トンネルプロジェクトが進行しており、シールド工事用の立坑として大深度の立坑が多く計画されている。

また、構造物の大型化・大深度化に伴い、建設コスト削減を目的として、仮設物であるRC地下連続壁（以下、RC連壁と称す）が薄肉化され、そのことによって、コンクリートが高強度化される傾向にあるが、本工事でも、壁厚1.3m、呼び強度70N/mm²の高強度コンクリートによるRC連壁が計画された。

一方、大深度や高水压下でのシールドの発進・到達では、仮壁撤去作業の省略と安全性の向上を目的に、直接切削工法が採用されるケースが多くなっており、本工事ではNOMST工法による直接切削が採用された。

本工事では、上述したような高強度のRC連壁では、シールドマシンによる直接切削の可不可や、温度ひび割れに伴う漏水に対して懸念があることから、RC連壁の設計および施工に関する合理化とコンクリートの品質向上を目的に、RC連壁に関する多数の取組みを行ったので、それら結果について報告する。

2. 工事概要

本工事は、東海旅客鉄道(株)が建設を進めている中央新幹線における非常口の新設工事で、RC連壁を仮設土留めとして、大規模かつ大深度の円形立坑を構築するものである。図1に立坑計画図を示す。

本立坑は、図1に示すように、連壁長124.0m、内径36.1m、連壁厚1.3m、掘削深度89.6mの円形立坑で、先行エレメント、後行エレメントともに1ガット1

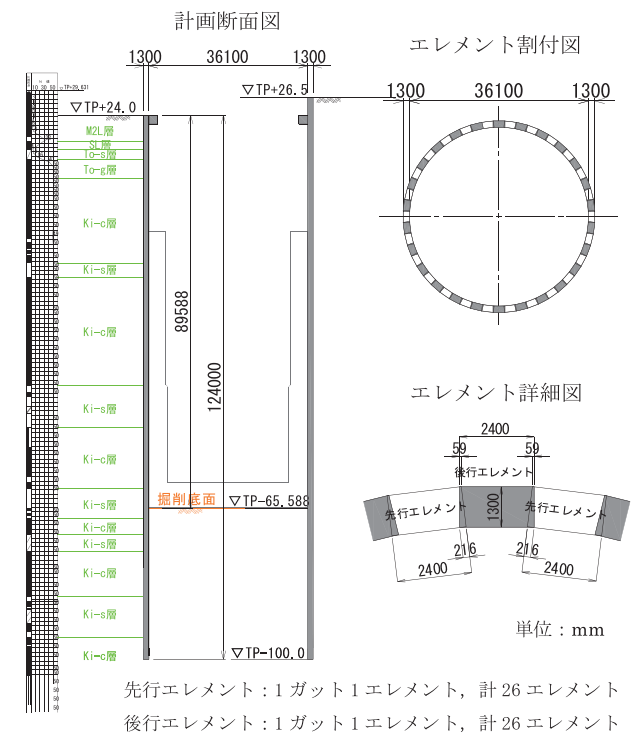


図1 立坑計画図

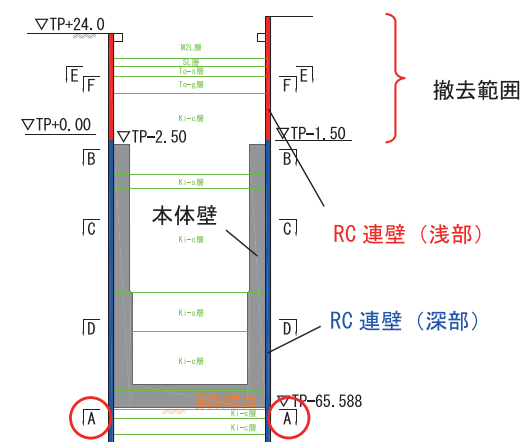


図2 2次元モデルの設計断面位置(A~F断面)

エレメント，合計52エレメントで構築され，エレメント間の継手はコンクリートカッティング工法が用いられた。

3. RC連壁コンクリートの課題

当初計画におけるRC連壁の設計基準強度および呼び強度、配合強度を表1に示す。『コンクリート標準示方書 施工編（以下、コンクリート標準示方書と称す）』¹⁾では、RC連壁に用いる水中コンクリートは、過去の実績から安定液中での打設時の強度を気中打設

表1 当初計画におけるコンクリート強度

設計基準強度	(N/mm ²)	49.0
呼び強度	(N/mm ²)	70.0
配合強度	(N/mm ²)	84.0
水中気中強度比		0.7

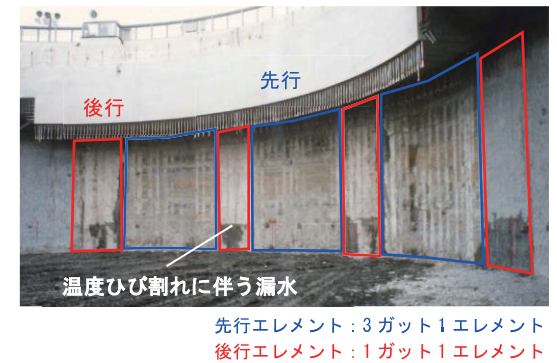


写真1 温度ひび割れに伴う漏水(事例)

時の強度の0.7倍程度としており、本工事でも設計基準強度49N/mm²の連壁コンクリートは、水中気中強度比（以下、気中強度比と称す）を考慮して呼び強度70N/mm²と計画され、その配合強度は84N/mm²と非常に高強度となった。また、青木ら²⁾は、本工事のような大深度立坑では、打設されたコンクリートは自重加圧によりさらに強度が増加すると報告しており、シールドマシンによる直接切削を行うトンネル開口部付近のコンクリート強度は100N/mm²を超えるものと想定された。

そこで、施工に先立ち切削実験を実施したところ、
圧縮強度が 70N/mm^2 のコンクリートは時間をかければ
切削可能であったが、 100N/mm^2 を超えるコンクリート
の直接切削は非常に困難であることが確認された。

また、RC連壁の後行エレメントは先行エレメントに拘束されるため、写真1に示すような水平方向の温度ひび割れに伴う漏水が発生しやすく、本工事では、先行エレメント、後行エレメントともに1ガット1エレメントの合計52エレメントで構築されるため、後行エレメントとなる26エレメントで温度ひび割れの発生が懸念された。

4. 設計・施工に関する合理化への取組み

4-1. 解析方法の見直し

図2に当初設計における設計断面位置を示す。一

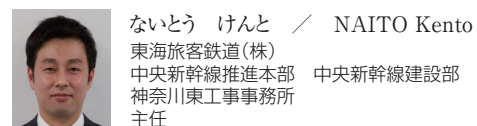
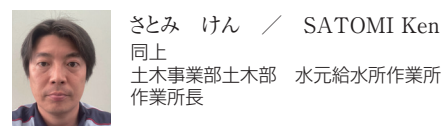
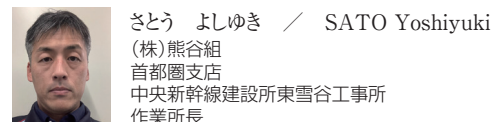
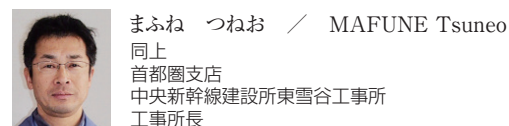
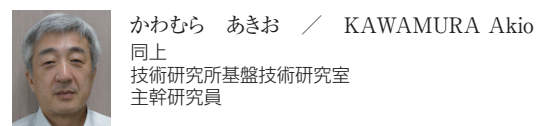
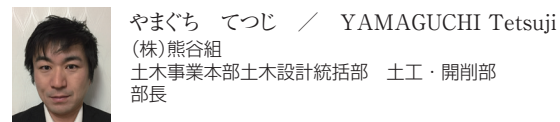


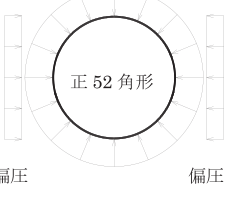
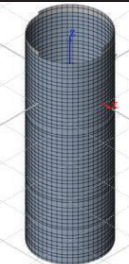
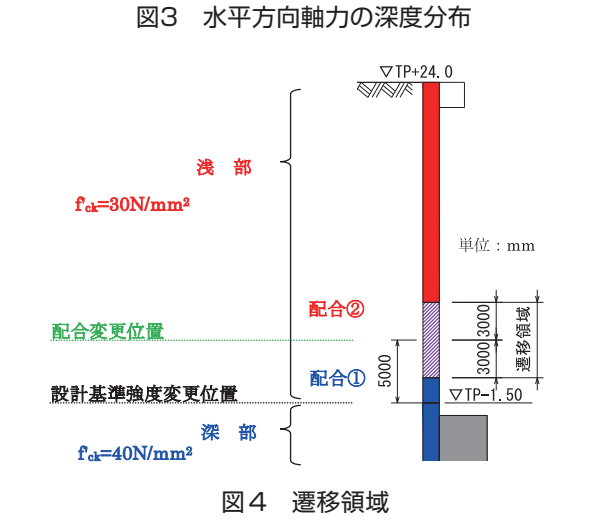
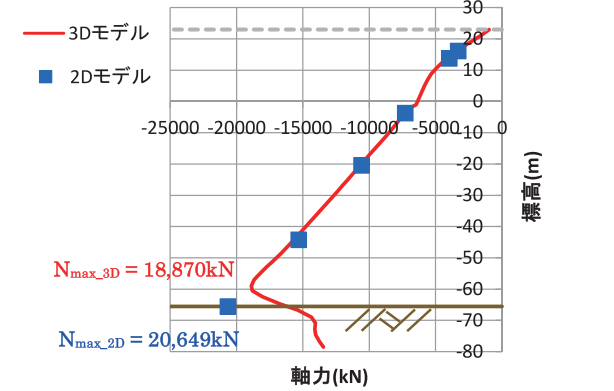
表2 解析モデルおよび必要強度		
	当初設計	変更
解析モデル	等圧（土圧＋水圧）  2次元モデル	 3次元モデル
設計基準強度	49 N/mm ²	40 N/mm ²

表3 深部と浅部の設計基準強度		
	深 部（配合①）	浅 部（配合②）
設計断面（深度）	TP-59.0m	TP-1.5m
発生軸力	18,870 kN	6,681 kN
設計基準強度	40 N/mm ²	30 N/mm ²

般的な設計では、2次元モデルで解析を行うため、主応力が発生する方向をモデル化することが多く、円形立坑では、円形状によるリング効果から水平方向のリングモデルで解析が行われる。本工事のRC連壁でも同様に、水平方向のリングにモデル化され、側圧が最も大きくなる床付け位置（A-A断面）でコンクリートの設計基準強度が決定された。

しかし、円形立坑の実挙動として、床付け位置では地盤の受働抵抗によって軸力が低減されるため、最大軸力は床付け面より浅い位置で発生する。そこで、これら特徴を解析に取込み合理的な設計を行うため、本工事では3次元FEMモデルを用いて修正設計を行った。

2次元モデルおよび3次元モデルの解析モデル図と各解析モデルより決定されるコンクリートの設計基準強度を**表2**に、2次元モデルと3次元モデルによる水平方向軸力の深度分布図を**図3**に示す。**図3**、**表2**に示すように、2次元モデルの最大軸力が20,649kNであるのに対し、3次元モデルの最大軸力18,870kNと約1,800kN低減され、また、偏側圧による曲げモーメントも根入れ地盤の拘束により小さくなることから、コンクリートの設計基準強度も49N/mm²から40N/mm²に低減された。



4-2. 浅深度でのコンクリート強度の変更

（1）浅深度でのコンクリートの必要強度

図3に示すように、RC連壁の水平方向軸力は深度に比例して大きくなり、それに伴ってコンクリートの必要強度も大きくなる。そのため、一般的に設計基準強度は深部の断面力が大きい断面で決定され、それが浅部まで適用される。しかし、本工事では次工事で立坑上部に建築物が構築され、その際に**図2**に示す範囲のRC連壁が一部撤去されることや、経済性を考慮して、浅部の設計基準強度を低減する計画とした。**表3**にRC連壁深部と浅部の設計基準強度を示す。

（2）遷移領域の設定

一般的にRC連壁のコンクリートは、トレミーを用いて打設され、打設途中でコンクリートを変更した場合、切替え位置で両者のコンクリートが混ざり合う遷移領域が生じると想定されるが、既往の報告³⁾によると遷移領域はトレミー下端から±3m程度とされている。そこで、本工事では、**図4**に示すように遷移領域を考慮して、設

表4 呼び強度が50N/mm²未満の普通コンクリートに対する気中強度比²⁾を抜粋

施工条件			施工修正係数 (気中強度比)
打込み時の状態	施工法、施工部位	打込み時の 泥水比重に 関する施工 管理条件	圧縮強度 引張強度 曲げ強度 支圧強度
水中 施工	・オールケーシング工法 ・自然泥水 ^{※1} またはCMC系安定液 ^{※2} を用いたリバース工法 およびアースドリル工法	泥水比重 1.04以下	0.8
		なし	0.7

※1 補助的にベントナイトを使用する場合でもベントナイト濃度が3%未満で、あれば自然泥水としてよい
 ※2 CMC (Carboxy Methyl Cellulose、ポリマー) を主成分とする安定液で、新液の状態でベントナイトの配合率が3%未満のもの

表6 設計基準強度と呼び強度、気中強度比の関係

		深 部	浅 部
安定液比重		1.10 以下	1.10 以下
設計基準強度		40 N/mm ²	30 N/mm ²
呼び 強度	気中強度比 0.7	58 N/mm ²	45 N/mm ²
	気中強度比 0.8	50 N/mm ²	38 N/mm ²

表7 コンクリートの配合表

呼び 強度	コンクリートの 種類	スラン プフロー cm	粗骨材 最大寸法 mm	セメント の種類	W/C %	空気量 %	細骨材率 %	単位重量 (kg/m ³)				
								水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
38	普通	55	20	M	45.4	4.5	51.8	168	370	912	868	5.37 (シーカメント1100NT V)
50	高強度	55	20	M	42.6	3.0	52.3	168	395	930	868	6.12 (シーカメント1100NT V)

計基準強度の変更位置から上方5.0mまでトレミーが引き上げられたことを確認してからコンクリートの仕様を変更した。

4-3. 水中気中強度比の見直し

（1）既往の指針による規定

RC連壁のコンクリートのように安定液中に打設されるコンクリートは、①自然地山を型枠とする、②締固めができない、③水中あるいは安定液中で施工する、④目視検査による確認ができない等の理由で、気中で打設されるコンクリートと比べて品質が劣るとされていることから、気中強度に対して強度低減する必要がある、『コンクリート標準示方書』¹⁾では0.7倍程度、『鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（以下、基礎標準と称す）』⁴⁾ではさらに細分化され、泥水（安定液）比重やコンクリートの種類、強度によっても気中強度比が規定されている。**表4**に呼び強度が50N/mm²未満の普通コンクリートに対する気中強度比を、**表5**に

表5 呼び強度が50N/mm²を超える高流動コンクリートに対する気中強度比²⁾を抜粋

(呼び強度：50N/mm ² を超え60N/mm ² 以下、スランプフロー：50～60cm)			施工修正係数 (気中強度比)
打込み時の状態	施工法、施工部位	打込み時の 泥水比重に 関する施工 管理条件	圧縮強度 引張強度 曲げ強度 支圧強度
水中 施工	・オープンケーソンの底スラブ ・オールケーシング工法 ・リバース工法 ・アースドリル工法	泥水比重 1.10以下	0.8
		なし	0.7

呼び強度が50N/mm²を超える高流動コンクリートの気中強度比を抜粋して示す。

（2）打設実験による水中気中強度比の確認

本工事では後述**5-1.**で述べるように、RC連壁コンクリートの品質向上を目的として、普通コンクリートでも、高流動化したスランプフロー 55cmのコンクリートの採用を試みた。**表6**に本工事で計画したRC連壁の設計基準強度と呼び強度、気中強度比の関係を示す。

安定液の比重を1.10以下で管理し、材料分離抵抗性が高く、自己充填性も高い高流動コンクリートを用いた場合、気中強度比を0.7とすることは過大と考えられ、また、過度にセメント量を多くすることは、温度ひび割れ等の品質低下を招く恐れがあった。

そこで**表7**に示す呼び強度38N/mm²および50N/m m²のスランプフロー管理のコンクリートが、気中強度比0.8を満足することを確認するために実施工を想定した現場打設実験を行った。現場打設実験では、**写真2**、**図5**に示すような実寸大の型枠内に比重



打設状況



打設完了

写真2 現場打設実験の状況

表8 圧縮強度試験結果一覧(材齢91日)

配 合		50 55 20 M				38 55 20 M			
設計基準強度		40 N/mm ²				30 N/mm ²			
管理材齢		91 日				91 日			
供試体(現場水中養生)		67.9 N/mm ²				58.3 N/mm ²			
コア供試体 (N/mm ²)		上	中	下	平均	上	中	下	平均
	No.1	61.6	55.7	65.8	61.0	41.8	51.4	57.1	50.1
	No.2	52.2	59.6	68.8	60.2	49.1	50.9	55.1	51.7
	No.3	63.7	58.1	63.0	61.6	38.8	48.6	56.8	48.1

1.10の安定液を満たし、トレミーによりコンクリートを打設した。

コア抜きによる供試体(以下、コア供試体と称す)採取位置を図5に、材齢91日の圧縮試験結果を表8に示す。表8に示すように、コア供試体の強度は、設計基準強度だけでなく呼び強度も上回っていることが確認できる。また、最下段で採取した供試体は他に比べて強度低下が小さい傾向にあるが、これは自重により締固められた影響と考えられる。反対に最上段では、トレミー先端をコンクリートに挿入できないことから、安定液を巻き込んでしまい、他に比べて強度低下が大きい箇所がある。

ただし、実施工では設計天端より600mm程度余盛りを行い、安定液混じりの脆弱なコンクリートをバキュームポンプで除去するため、上部の強度低下は発生しないものと考えられる。

次に、コア供試体と現場水中養生を行った供試体の強度比を図6に示す。前述したように最上段の安定液を巻き込んだ供試体は、他と比べて強度低下しているが、それらを含んだ平均値であっても気中強度比は0.8を上回っており、表5に示す基礎標準⁴⁾の適用範囲外でも、安定液比重を1.10以下で管理し、トレミーを用いて打設することによって、気中強度比を0.8とす

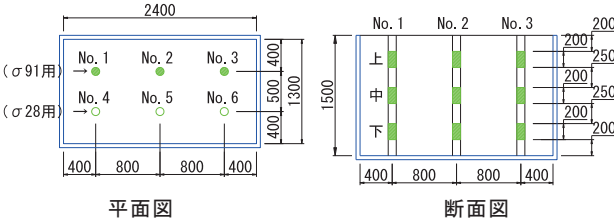


図5 型枠寸法および供試体採取位置図

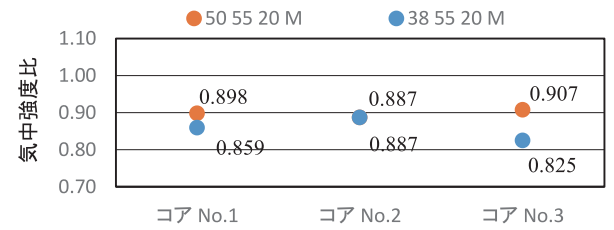


図6 気中強度比(材齢91日、平均値)

ることが可能であると考えられる。

5. コンクリートの品質向上に対する取り組み

5-1. フロー管理の普通コンクリートの採用

前述したように本工事においては、浅部の呼び強度38N/mm²の連壁コンクリートに高流動化したスランブフロー 55cmの普通コンクリートを採用した。気中強度比を過度に小さくしないことや、コンクリートの充填性確保、品質向上が主な目的であったが、背景として2019年JIS A 5308の改正に伴い、普通コンクリートにスランブフローが追加されたことを受けて、JISプラントであれば対応可能であったことから採用に至った。

打設実験の結果、図6に示すように呼び強度50N/m²の高強度の高流動コンクリートと比べて若干の強度低下は見られるものの、安定液中でも高品質なコンクリートを打設することが可能であることが確認できた。

5-2. 温度ひび割れ対策

(1) RC連壁の温度ひび割れ

一般的にRC連壁は、後行エレメントの温度降下時の収縮変形が先行エレメントに拘束されるため、写真

表9 本工事で採用した温度ひび割れ対策

	対策工	対策工の効果
対策1	設計基準強度、気中強度比の見直し	セメント量の低減
対策2	低発熱型セメントへの変更	水和熱の抑制
対策3	管理材齢(91日)の変更	セメント量の低減
対策4	補強鉄筋の追加	ひび割れ幅の抑制

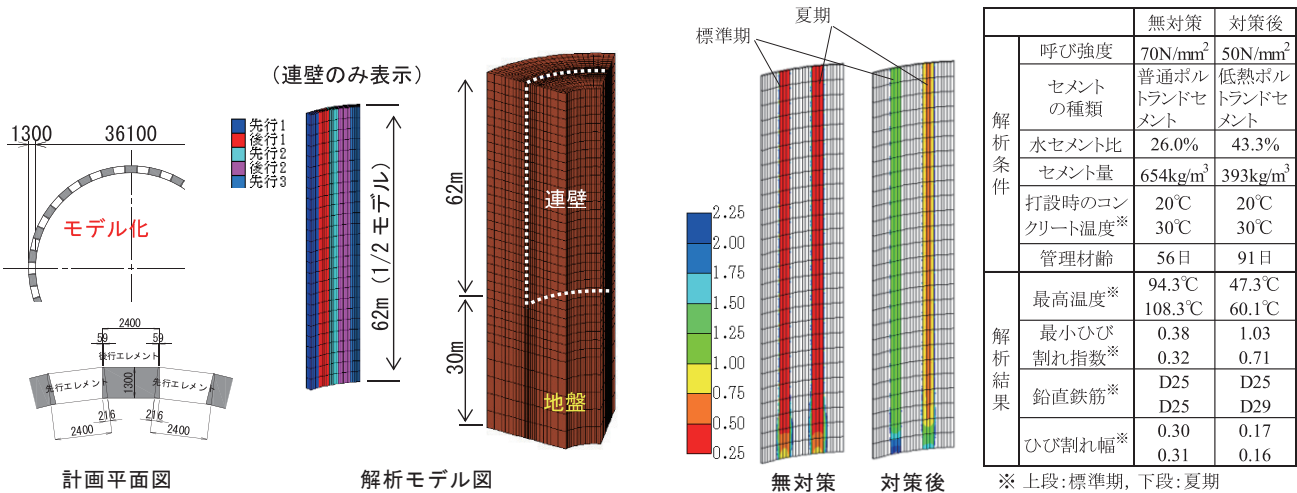


図7 解析モデル図

図8 温度応力解析結果(最小ひび割れ指数)

[先行エレメントは非発熱体としてモデル化]

表10 コンクリートの配合表

		呼び強度	コンクリートの種類	スランブフロー cm	粗骨材 最大寸法 mm	セメントの種類	W/C %	空気量 %	細骨材率 %	単位重量 (kg/m ³)				
										水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
無対策	—	70	高強度	60	10	N	26.0	4.5	43.1	170	654	655	885	12.75
対策工	先行エレメント	50	高強度	55	20	M	42.6	3.0	52.3	168	395	930	868	6.12
	後行エレメント	50	高強度	55	20	L	37.6	3.0	51.6	165	439	904	868	6.80

1に示すような漏水を伴う水平方向の貫通ひび割れが後行エレメントに発生しやすい。

また、本工事では、コンクリート打設時間の制約から、図1に示すように先行、後行エレメントともに1ガット1エレメントで計画されたため、全52エレメントの半数の26エレメントが後行エレメントとなり、広範囲に及ぶ温度ひび割れの発生が懸念された。

(2) 本工事における対策

施工に先立ち温度応力解析を実施したところ、後行エレメントの最小ひび割れ指数は0.32となり、1.0を大きく下回る結果となった。

そこで、本工事では前述した設計基準強度や気中強度比の見直しに加えて、低発熱型セメントへの変更、その他に表9に示す対策工を実施した。管理材齢の見直しに関しては、最終エレメントのコンクリートの

打設からRC連壁に側圧が作用する内部掘削開始までに、RC連壁構築設備撤去や頭部の補強リングの構築、掘削準備等で3ヶ月以上要することから、管理材齢を91日とすることでセメント量の低減を図った。また、低発熱型セメントに関しては、最初は先行エレメント、後行エレメントともに現場打設実験で用いた中庸熱ポルトランドセメントの適用を考えたが、温度応力解析結果を踏まえて、後行エレメントにはより水和熱の抑制効果が大きい低熱ポルトランドセメントを用いた。温度応力解析モデルおよび温度応力解析結果を図7,8に、配合表を表10に示す。

図8に示すように対策工によって、標準期においては、最小ひび割れ指数が0.38から1.03に改善され、夏期でも、鉛直方向の鉄筋をD25からD29に1ランクアップする程度でひび割れ幅を0.2mm以下に抑制すること

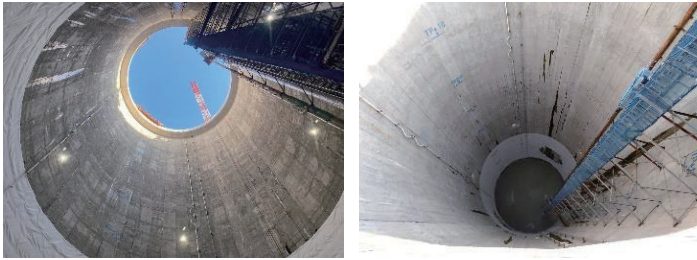


写真3 RC連壁全景

ができた。また、実施工では、目立ったひび割れは発生しておらず、本工事の温度ひび割れ対策は有効であったと考えられる。

6. おわりに

本工事ではRC連壁の設計・施工に関する合理化とコンクリートの品質向上を目的に様々な取組みを行った。本工事で得られた知見を以下に示す。

- (1) 大深度円形立坑用RC連壁の設計では、3次元モデルを用いることで、より合理的な設計を行うことができる。
- (2) 一般的にRC連壁の必要強度は、深部の側圧が大きい断面で決定されるが、浅部と深部でコンクリート強度を変更することによって、より経済的な施工が可能となる。また、遷移領域を設けることによってコンクリートの切替えに対する品質

上の問題はないものと考えられる。

- (3) 高流動化したスランプフロー管理の普通コンクリートに関し、本工事の配合では、安定液比重を1.10以下で管理することによって、気中強度比を0.8とすることが可能である。
- (4) 温度ひび割れ対策として、低熱ポルトランドセメントの使用や管理材齢を91日に変更することは有効であると考えられる。

【参考文献】

1) 土木学会／2017年制定 コンクリート標準示方書【施工編】，2018
2) 青木茂，三浦律彦，三浦尚／高強度連壁コンクリートの非排水三軸加圧下における強度性状，土木学会論文集，No. 571／V-36，pp.105～117，1997.8
3) 小林且典，深田敦宏，大隈充浩，柳井修司／大規模・大深度LNG地下タンクのコンクリートの施工，コンクリート工学，46巻3号，2008
4) 鉄道総合技術研究所／鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，2012

お知らせ

2024年度コンクリート技士・コンクリート主任技士試験のご案内

日時・方法：2024年11月24日(日)技士試験〔筆記試験(四肢択一式)〕13:30～15:30

主任技士試験〔筆記試験(四肢択一式および記述式)〕13:30～16:30

合否通知：2025年1月中旬(予定) 試験地：札幌，仙台，東京，名古屋，大阪，広島，高松，福岡，沖縄

受験料：技士試験 12,100円 主任技士試験 14,300円(いずれも税込み)

受験願書：1) 販売期間：2024年7月1日(月)～8月20日(火)消印有効

2) 代金：技士・主任技士とも1部1,000円(税・送料込み)

3) 提出期間：2024年8月1日(木)～9月2日(月)厳守(消印有効)

※いずれも郵送のみでの受付。別途上記の受験料が必要。

4) 請求および提出先：東京都千代田区麹町1-7相互半蔵門ビル12F

(公社)日本コンクリート工学会「コンクリート技士試験担当」

詳細は日本コンクリート工学会ホームページの受験案内にてご確認ください。

URL：https://www.jci-net.or.jp/j/exam/gishi/index.html

表面仕上げ材によるコンクリート構造物の 耐久性向上効果の検証と 高耐候性クリヤ塗料の適用事例

Verification of Durability Improvement Effect of Concrete Structure
by Finishing-Exposed Concrete, and Application Example of Highly Weather Resistant Clear Coating

植松 俊幸 酒井 正樹 神代 泰道

1. はじめに

コンクリート打放しは、コンクリートの素材感を活かしたデザイン性が設計者に好まれることから、あるいは、他の仕上げよりも低コストで施工できるという利点があることから、建築分野でも土木分野でも幅広く採用されている。

一般に、コンクリート打放しの壁面には、部材の耐久性向上や意匠性保持を目的として、含浸材やクリヤ塗料などの表面仕上げ材が施される。含浸材には、シラン系含浸材などの撥水材やけい酸塩系含浸材などのコンクリート改質材が用いられることが多い。また、クリヤ塗料は、透明あるいは半透明のものが用いられている。中性化の抑制対策の観点から、セメント使用量を低減した低炭素型のコンクリートへの適用の有効性も期待される。

しかし、それらの表面仕上げ材について、劣化因

子のコンクリートへの侵入抑制効果(保護効果)を比較検証したデータは少ない。また、表面仕上げ材は、コンクリートと比べて太陽光の紫外線や降雨などに起因する劣化の進行が速く、時間の経過に伴い中性化や塩分浸透の抑制効果に変化する可能性がある。既往文献^{例えば1～4)}では、材料劣化を考慮した保護効果の検討が行われており、実暴露の条件をより正確に再現し、かつ促進した試験方法の確立が課題である。

本稿では、筆者らが実施してきた表面仕上げ材によるコンクリート保護効果およびその持続性に関する検証^{5～8)}に加え、長期間の高い保護効果が期待できる高耐候性クリヤ塗料「シェルトクリヤ[®]」の適用事例について示す。

2. 表面仕上げ材のコンクリート
保護効果の検証

2-1. 試験の概要

(1) コンクリートの使用材料と調合

表面仕上げ材について、保護効果の程度を定量的に比較検証するために各種試験を行った。基材コンクリートの使用材料と調合を表1,2に示す。普通ポルトランドセメントを使用し、W/Cは60%とした。空気量は4.5%を目標値とした。

(2) 表面仕上げ材

表面仕上げ材を、表3に示す。シラン系含浸材は、アルキルアルコキシシロキサンなどを主成分としたもの



うえまつ としゆき / UEMATSU Toshiyuki
(株)大林組
技術研究所 生産技術研究部
副主任研究員



さかい まさき / SAKAI Masaki
同上
主任研究員 博士(工学)



こうしろ やすみち / KOUISHIRO Yasumichi
同上
上級主席技師 博士(工学)

表1 コンクリートの使用材料		
分類	概 要	
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
水	W	上水道水
細骨材	S	陸砂:表乾密度 2.59g/cm ³ , 吸水率 2.14% 粗粒率 2.50
粗骨材	G	砕石:表乾密度 2.71g/cm ³ , 吸水率 0.56% 粗粒率 6.60, 実積率 59.7%
混和剤	Ad	AE 減水剤

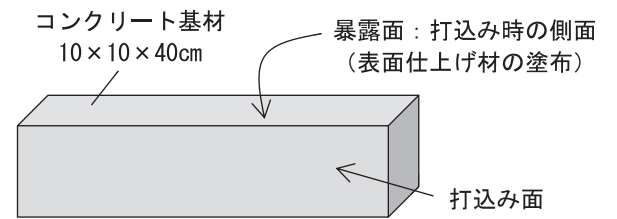


図1 試験体の概要

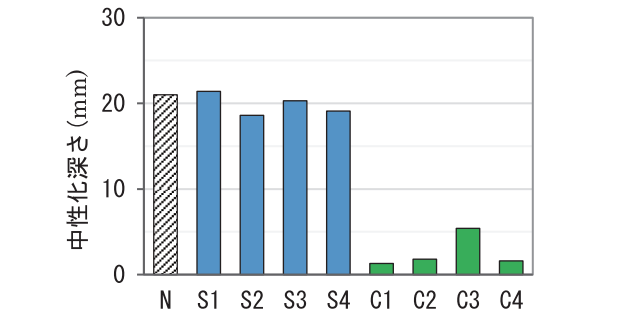


図2 中性化深さ(促進材齢52週)

(S1, S3, S4)とシランシロキサンを主成分としたもの(S2)を選定した。クリヤ塗料は水性塗料とし、アクリルシリコンを主成分としたもの(C1, C2)とフッ素樹脂を主成分としたもの(C3, C4)を選定した。

(3) 表面仕上げ材を施した試験体の概要

試験体の概要を図1に示す。コンクリート打込みの際の側面の1面を暴露面とした。暴露面に表面仕上げ材を塗布し、残り5面はエポキシ樹脂でシールした。

(4) 促進中性化試験と塩分浸透試験

促進中性化試験はJIS A 1153に準じて行い、中性化深さは、フェノールフタレイン溶液を噴霧して測定した。

塩分浸透試験はJSCE-G 572に準じて行い、塩分浸透深さは、硝酸銀溶液を噴霧して測定した。

表2 コンクリートの調査							
セメント種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (C×%)
			W	C	S	G	
N	60.0	48.0	183	305	846	948	1.0

表3 表面仕上げ材		
試験体記号	仕上げ種類	塗布量 (g/m ²)
N	無塗布	—
S1	シラン系含浸材	280 (350ml/m ² , 比重 0.80)
S2		200
S3		220 (250ml/m ² , 比重 0.88)
S4		528 (600ml/m ² , 比重 0.88)
C1	クリヤ塗料	下塗り 100,中塗り 130,上塗り 130
C2		下塗り 100,中塗り 130,上塗り 130
C3		下塗り 150,中塗り 125,上塗り 100
C4		下塗り 115,中塗り 115,上塗り 115

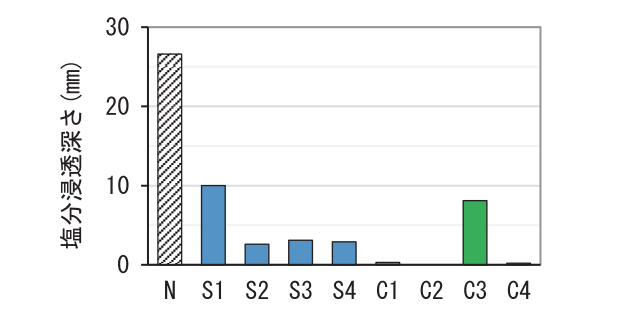


図3 塩分浸透深さ(塩水浸せき材齢52週)

2-2. 試験結果

(1) 促進中性化試験

促進中性化試験の試験結果を図2に示す。シラン系含浸材の試験体は、無塗布と同程度の中性化深さであり、中性化抑制効果が認められなかった。それに対し、クリヤ塗料は、銘柄によるバラツキはあるが、高い中性化抑制効果が認められた。

(2) 塩分浸透試験

塩分浸透試験の試験結果を図3に示す。シラン系含浸材は、銘柄によるバラツキはあるが、塩分浸透の高い抑制効果が認められた。クリヤ塗料も、銘柄によるバラツキはあるが、塩分浸透の高い抑制効果が認められた。

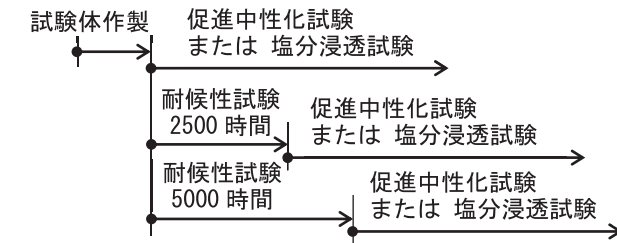


図4 試験の概略工程

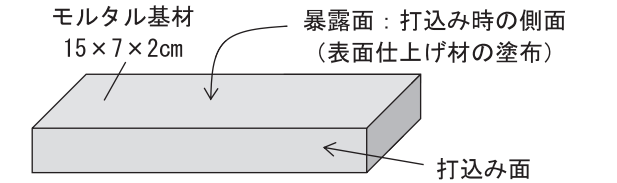


図5 試験体の概要

3. 経年劣化を考慮した保護効果の持続性の検証

3-1. 検証の目的

経年劣化を考慮した表面仕上げ材による保護効果の持続性を確認するため、図4に示すように耐候性試験と促進中性化試験または塩分浸透試験を組み合わせた試験方法を考案し、実施した。耐候性試験には、JIS K 5600-7-7(塗料一般試験方法-第7部 塗膜の長期耐久性-第7節 促進耐候性及び促進耐光性(キセノンランプ法))に規定されているキセノンウェザーメーターを用いた。

3-2. 試験の概要

(1) モルタルの使用材料と調査

試験体は、耐候性試験機に設置ができるように、厚さを2cmとし、粗骨材のないモルタルとした。基材モルタルの使用材料と調査を表4,5に示す。普通ポルトランドセメントを使用し、W/Cは65%とした。空気量は4.5%を目標値とした。

(2) 表面仕上げ材

表面仕上げ材は、表3の中から、中性化および塩分浸透双方に対して高い抑制効果が認められたクリヤ塗料C1, C2を選定した。C1, C2については、それ

表4 モルタルの使用材料		
分類	概 要	
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
水	W	上水道水
細骨材	S	陸砂:表乾密度 2.58g/cm ³ , 吸水率 2.35% 粗粒率 2.58
混和剤	AE	AE 剤

表5 モルタルの調査					
セメントの種類	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			AE
		W	C	S	
N	65.0	267	411	1439	1.5A



写真1 耐候性試験機キセノンウェザーメーター

ぞれの下塗り材をエポキシ樹脂のままとしたC1aとC2aに加え、下塗り材のみをアクリルシリコンに変更したC1bとC2bについても試験を行った。

また、耐候性試験の後に促進中性化試験を行う無塗布の試験体については、耐候性試験中にアルミ袋で封かんしないNaと封かんするNbの2種類で試験を行った。

(3) 表面仕上げ材を施した試験体の概要

試験体の概要を図5に示す。モルタル打込みの際の側面の1面を暴露面とした。暴露面に表面仕上げ材を塗布し、残り5面はエポキシ樹脂でシールした。

(4) 耐候性試験

耐候性試験は、写真1に示すキセノンウェザーメーターを用いて行った。

(5) 色差・光沢度の測定および拡大鏡観察

耐候性試験500時間ごとに、試験体暴露面の色差・光沢度の測定および拡大鏡観察を行った。明度L*, 色度a*, 色度b*を測定し、それぞれの初期値からの差ΔL*, Δa*, Δb*を求め、式(1)により色差ΔEを算出

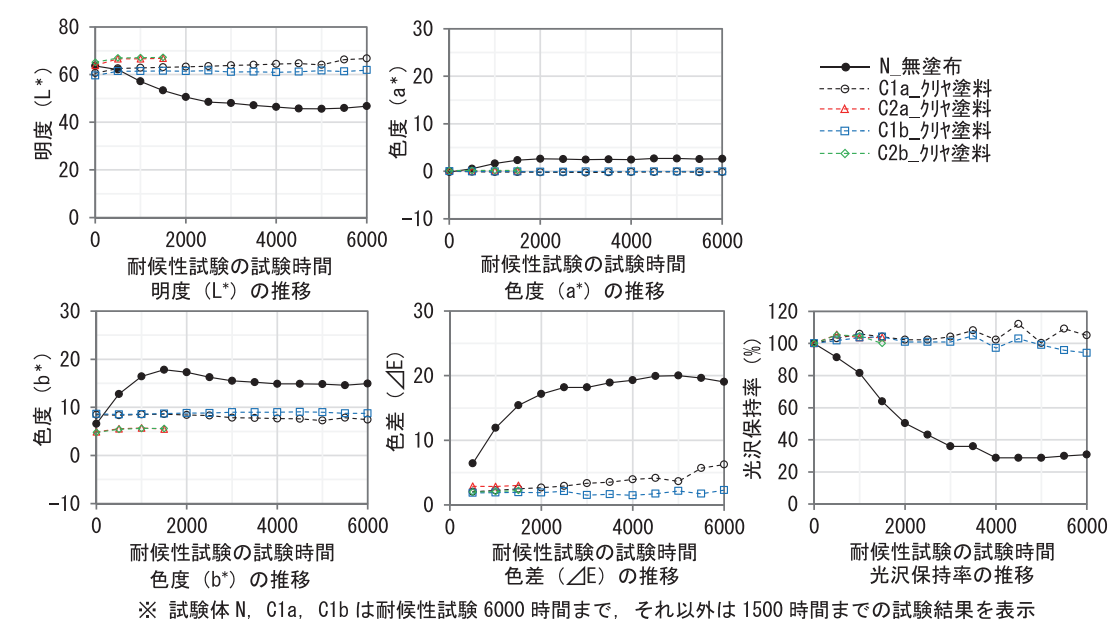


図6 耐候性試験による明度，色度，色差，光沢保持率の推移

表6 拡大鏡写真の一例

試験体記号と 仕上げ材の種類	低倍率			高倍率		
	耐候性試験の試験時間			耐候性試験の試験時間		
	0 時間	2500 時間	5000 時間	0 時間	2500 時間	5000 時間
N_無塗布						
C1a_クリヤ塗料						

した。L*は+側は白，-側は黒が強い状態を示す。a*は+側は赤，-側は緑が強い状態を示す。b*は+側は黄，-側は青が強い状態を示す。

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{0.5} \dots \dots \dots (1)$$

(6) 促進中性化試験と塩分浸透試験

耐候性試験を行わない試験体(耐候性試験0時間)，耐候性試験2500時間および5000時間が終了した試験体について，促進中性化試験または塩分浸透試験を行った。

3-3. 試験結果

(1) 色差・光沢度

暴露面のL*，a*，b*，ΔE，光沢保持率の推移を図6に示す。無塗布の試験体Nは，耐候性試験500

時間からL*が低下し始めた。試験サイクル中の散水によりモルタル試験体が吸水して濡れ色になったためと考える。試験体Nでは，色度b*の+側への変化も確認された。黄色く変化したのは，モルタルの細骨材に含まれる有機不純物などが，耐候性試験の紫外線照射により劣化して黄変したものと推察する。クリヤ塗料は，いずれの試験体もL*，a*，b*およびΔEの変化は小さかった。

無塗布の試験体Nの光沢保持率は，試験の進行に伴い顕著に低下した。クリヤ塗料では，大きな変化はなかった。

(2) 拡大鏡観察

耐候性試験後の暴露面の拡大鏡写真の一例を表6に示す。無塗布の試験体Nは，試験サイクル中の散

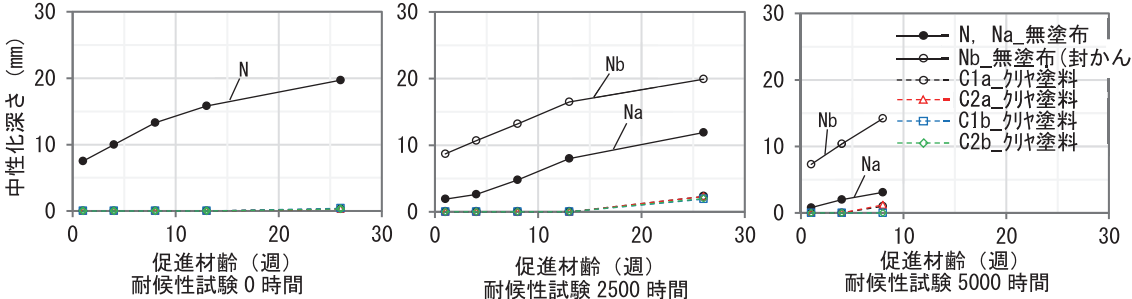


図7 中性化深さ

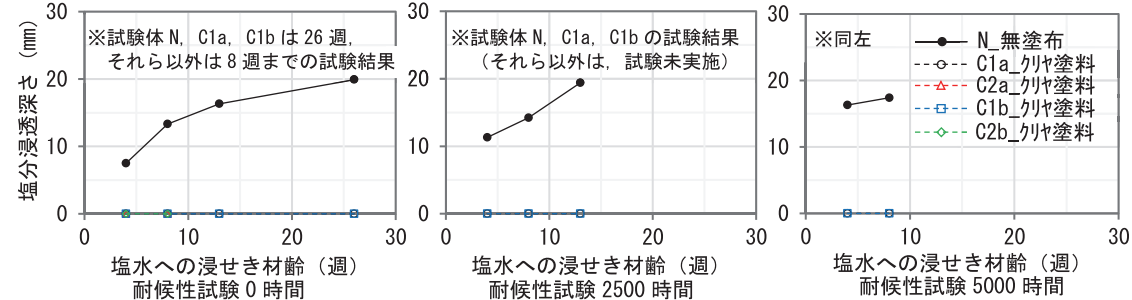


図8 塩分浸透深さ

水によって，モルタルのセメントペーストが洗い流され，細骨材が徐々に露出していく状態が観察された。クリヤ塗料の試験体には，外観変化は認められなかった。

(3) 促進中性化試験

促進中性化試験の結果を図7に示す。耐候性試験0時間では，クリヤ塗料の試験体の中性化深さは促進材齢26週で1mm以下であり，高い保護効果が確認された。耐候性試験2500時間および5000時間では，保護効果は少し低下しているものの，まだ高い状態にある。

(4) 塩分浸透試験

塩分浸透試験の試験結果を図8に示す。クリヤ塗料の試験体は，耐候性試験5000時間でも，浸せき材齢8週までの結果ではあるが，塩分浸透深さは0mmであり，高い保護効果およびその高い持続性が確認された。

4. 高耐候性クリヤ塗料「シェルトクリヤ」の適用事例

4-1. シェルトクリヤの概要

2,3章の試験結果より，クリヤ塗料をコンクリートの表面仕上げ材として用いると，中性化および塩分浸透

の高い抑制効果があるだけでなく，それらの効果の長期的な持続性も期待できることが確認できた。これらを受けて，打放し仕上げのコンクリート部材の耐久性や美観性の向上効果や，意匠性保持の効果をねらった高耐候性クリヤ塗料「シェルトクリヤ」が開発された。シェルトクリヤは，特殊な高耐候性アクリルシリコン樹脂系クリヤ塗料である。透明なクリヤ仕様と半透明のカラークリヤ仕様(顔料入り)の2種類があり，意匠性の保持や美観性の向上など，用途に応じて選択できる材料である。

4-2. 適用事例

(1) 建物概要

当該建物は，地上1階建ての新設構造物であり，外壁の仕様は，コンクリート打放しのクリヤ塗装仕上げである。外壁には，高炉スラグ微粉末を高含有した低炭素型のコンクリート「クリーンクリート®」が適用された。低炭素型のコンクリートは，アルカリを付与するセメント量が少ないため，中性化の進行が速い。そこで，中性化の高い抑制効果を期待して，シェルトクリヤが適用された。塗装仕様は，低炭素型のコンクリート特有の白さを活かすために透明なクリヤ仕様を選定された。

(2) 外壁塗装

鉱物化とセメント・コンクリートへの活用

Carbon dioxide mineralization and utilization in cement and concrete

小西 正芳 宮原 茂禎 菊池 定人 畑 明仁



写真2 クリヤ塗装の施工状況

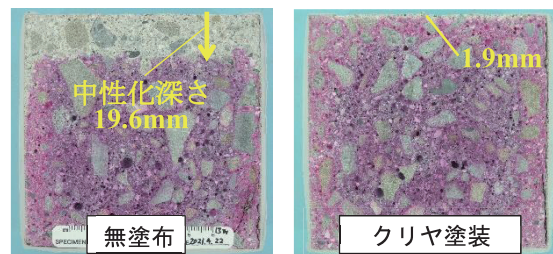


写真4 低炭素型のコンクリートの中性化深さ

コンクリート打込み後、乾燥期間を経て、クリヤ塗装が施された。塗装作業の状況を写真2、外壁仕上がり状態を写真3に示す。透明なクリヤ塗装を施した後も、低炭素型のコンクリートの白色をそのまま残した美しい仕上がりとなった。

4-3. クリヤ塗装による中性化の抑制効果

外壁に打込んだコンクリートから試料を採取し、角柱供試体を作製した。硬化後にクリヤ塗装を施した試験体を作製し、JIS A 1153に準じて促進中性化試験を実施した。

試験結果を写真4に示す。クリヤ塗装を施した場合の中性化深さは、無塗布の1/10程度であり、中性化の高い抑制効果が確認された。

5. 今後の展望

コンクリートの中性化や塩分浸透の高い抑制効果を長期間保持できるクリヤ塗料は、新設だけではなく既設構造物にも幅広く適用し、構造物の長寿命化を図る



写真3 クリヤ塗装の仕上がり状態

ことで、カーボンニュートラルに貢献できると考える。高耐候性クリヤ塗料シェルトクリヤは、建築物および土木構造物にも幅広く適用できる仕上げ材料である。

【参考文献】

- 1) 河野政典, 榊田佳寛, 落合亮太, 唐沢智之／仕上塗材の経年劣化を考慮した中性化抑制効果に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第584号, pp.15～21, 2004.10
- 2) 兼松 学, 李 佑真, 鶴木圭一, 長井宏憲他／紫外線照射による高分子系仕上材の中性化抑制効果の変化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1063～1064, 2009.8
- 3) 則竹慎也, 本橋健司, 濱崎 仁, 越中谷光太郎他／建築用外装仕上材の中性化抑制効果の評価方法および評価基準に関する研究(その1～その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.185～192, 2021.9
- 4) 堀 一夫, 深井 公, 杉山 雅／住宅基礎コンクリートの耐久性向上に関する基礎的研究(その21), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.203～204, 2022.9
- 5) 植松俊幸, 小林利充, 神代泰道／仕上材による中性化抑制効果およびその持続性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, 2020
- 6) 植松俊幸, 酒井正樹, 神代泰道／表面仕上げ材のコンクリート保護効果の持続性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, 2024
- 7) 植松俊幸, 小林利充, 堀田和宏, 神代泰道／コンクリート打放し仕上用に開発したクリヤ塗料の性能, 大林組技術研究所報, No.84, 2020
- 8) 植松俊幸, 堀田和宏, 小林利充, 神代泰道／コンクリート打放しの耐久性を向上する仕上げ材「シェルトクリヤ」の適用, 大林組技術研究所報, No.85, 2021

1. はじめに

周知のとおり、セメントは、多くの熱エネルギーを要すること、原料である石灰石の脱炭酸により、大量の二酸化炭素を排出していること、またコンクリートはそのセメントを利用すること、さらに使用される量が膨大であることから、環境負荷の高い製品であるとされている。

そのためセメント・コンクリートセクターの関係者は種々の手法を用い、排出削減への取組みを進めている。

セメントセクターでは、セメント製造設備の省エネ、代替燃料の積極利用などがなされ、今後も拡大させるとともに、石炭から天然ガス・アンモニアなどへの燃料転換の試みもなされている。

コンクリートセクターでは、混合セメントの利用など多くの試みを実施され、コンクリートの二酸化炭素排出量の低減検討がなされている。

しかしセメント・コンクリートセクターにおいてカーボンニュートラルを実現するためには、二酸化炭素の貯留などを含むCCUS技術が不可欠であると考えられている¹⁾。

本稿では、CCUS技術の中で、セメント・コンクリートに適用できる技術の一つである、二酸化炭素の鉱物化とその応用利用方法について述べる。

2. 二酸化炭素の鉱物固定化

二酸化炭素の削減に向けては、CCS技術の実証試

験・社会実装が先行しつつある現状だが、CCU技術も削減技術として大いに期待されている。

分離回収された二酸化炭素を利用して燃料・プラスチックなどを合成する分野がある一方、二酸化炭素をカルシウム・マグネシウムなどと反応させ、二酸化炭素を固定化する鉱物固定化も注目されている²⁾。

図1に鉱物化プロセスの概略を示した。Mgが例示されているが、Caの場合も同様である。

大気中の二酸化炭素を分離回収する技術(DAC)の開発会社であるクライムワークス社は、二酸化炭素を地中の岩石と反応させ貯留する技術を組み合わせた実証を行っている³⁾。

わが国は火山国であることから、二酸化炭素固定化に適した岩石が広く分布しているといわれており、鉱物固定による地下貯留のポテンシャルは高い³⁾。ただこれは地下に永久に固定してしまう手法であるため、CCUというよりはCCSに分類される。

一方、セメント・コンクリート分野では、二酸化炭素を鉱物化した後の炭酸カルシウム・炭酸マグネシウムなどをセメント・コンクリート原料として有効利用することが可能であることから、CCU技術として近年活発な技術開発が行われている。

例えば、日本コンクリート工業社は遠心成形コンクリート製品製造時に発生するスラッジと蒸気ボイラー排ガス中の二酸化炭素から非常に高純度な炭酸カルシウムを回収し、コンクリートの混和材料としての利用検討を進

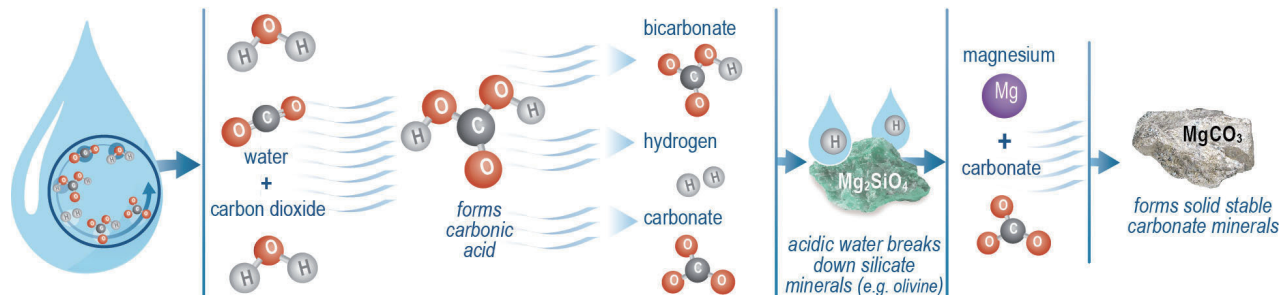


図1 二酸化炭素の鉱物化の概念図¹⁾

表1 グリーンイノベーション基金事業コンクリート・セメント分野のテーマ一覧

(1) コンクリート分野
 【研究開発項目 1】CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの開発
 【研究開発項目 2】CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

採択テーマ	実施先	
革新的カーボン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 研究開発	研究開発項目 1、2	鹿島建設株式会社 デンカ株式会社 株式会社竹中工務店
CO ₂ を高度利用した CARBON POOL コンクリートの開発と舗装および構造物 への実装	研究開発項目 1、2	株式会社 安藤・間 株式会社内山アドバンス 灰孝小野田レミコン株式会社 大阪兵庫生コンクリート工業組合 大成ロテック株式会社 一般財団法人電力中央研究所
コンクリートにおける CO ₂ 固定量評価の 標準化に関する研究開発	研究開発項目 2	国立大学法人東京大学

(2) セメント分野
 【研究開発項目 3】製造プロセスにおける CO₂回収技術の設計・実証
 【研究開発項目 4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

採択テーマ	実施先	
CO ₂ 回収型セメント製造プロセスの開発	研究開発項目 3	太平洋セメント株式会社
	研究開発項目 4	住友大阪セメント株式会社

めている⁴⁾。

また廃コンクリートなどを破砕し、そのセメント部分に残存している水酸化カルシウムなどと二酸化炭素を反応させ鉱物化させるとともに骨材としての物性を改善し、再度コンクリート用骨材として利用する検討なども行われている⁵⁾。

セメントは非常に長い期間で考えると空気中の炭酸ガスと反応して炭酸カルシウムを含むものへと反応が進んでいくが、含有するカルシウム全てを炭酸カルシウムに変化させることは非常に難しく、いかに効率的に炭酸化させるかが課題であること、またいかに高純度のものを回収するかが課題である。

3. 鉱物化の具体例

そのような中、経済産業省が開始したグリーンイノベーション基金事業において取り組まれているプロジェクトとして「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発」が2021年度より開始されている。

このプロジェクトでは表1に示すような4つのテーマが取り組まれており、二酸化炭素をコンクリート(カルシウム含有物)と反応させ、鉱物として固定するという、いわば鉱物化をコンクリートの分野でフル活用するテーマから、セメント分野では、鉱物固定した炭酸カルシウムをセメント原料に再利用することで脱炭酸による二酸化炭素を削減することを目指したテーマなどが実施されている。

ここでは廃棄物中のCaを抽出して、鉱物化した炭酸カルシウムについて紹介する。

廃棄物などからCaを抽出する方法は、図2に示す

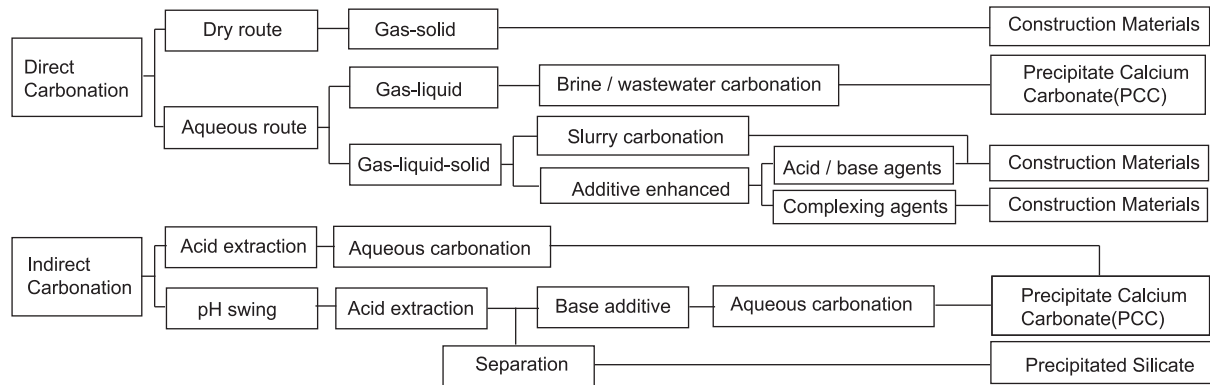


図2 種々のカルシウム抽出手法⁶⁾

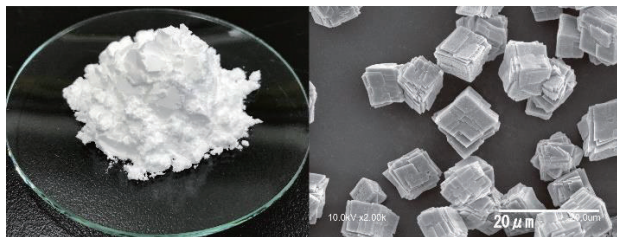


図3 酸抽出により得られた炭酸カルシウムの例

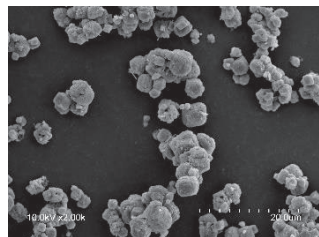


図4 石こう転化手法で得られた炭酸カルシウムの例

ように大別されるが、多くの手法が検討されている。それぞれ一長一短があり、いかに効率的に抽出するのか、またそのために必要なエネルギーはどうかなど、そのバランスが重要であると思われる。

その中の一手法として、酸で廃棄物中のカルシウムを抽出した溶液と、排ガス中の二酸化炭素をアルカリに吸収させ得た炭酸ソーダとを反応させることで鉱物化した炭酸カルシウムの例を図3に示す。

また同様に得た炭酸ソーダと石こうを反応させることで、炭酸カルシウムに転化することもできる。簡単な鉱物化反応であり、その例を図4および表2に示した。

いずれも、カルサイトであることがXRDにより確認されている。

これらの例は、湿式で合成することから、反応条件(温度、攪拌強度、転化速度など)を変化させることができ、粒度分布・炭酸カルシウムの結晶形態などをコントロールすることが可能であることも特徴である。

また、高純度の炭酸カルシウムを回収することができるとも特徴で、その利用用途に関して制限が少なく、有効利用しやすい形態である。

しかし利用用途によっては、純度などが低くても利用

できる用途もあることから、製造に要するエネルギーや経済性を考慮した最適な鉱物化方法を検討することが重要である。

4. セメント・コンクリートへの適用

4-1. 炭酸カルシウムの利用の現状と合成炭酸カルシウムの利用における課題

合成炭酸カルシウムの持続的な産業利用のためには、製造技術の開発だけではなく、資源循環システムに滞りがないように用途を確保する必要がある。

コンクリートは生コンクリートとして年間約8000万m³、二次製品用として約1500万m³が製造されている。大量に使用される材料であること、構造物として使用期間が長いこと、さらに解体後に再利用されても600℃程度以上の高温や酸に晒されない限り分解せずにCO₂を固定し続けることから、3.で紹介した様々な方法で合成された炭酸カルシウム(以降、合成炭酸カルシウムと称す)を材料として使用することで、大量のCO₂を長期に固定できると期待できる。また、現在、セメント原料やコンクリートに使用されている炭酸カルシ

表2 合成炭酸カルシウムの品質

項目	試験方法	規格値	試験値
ブレーン比表面積 (cm ² /g)	JIS R 5210	—	8,690
CaCO ₃ 純度 (%)		90 以上	93.9
酸化アルミニウム (%)		1.0 以下	0.40
湿分 (%)	JIS A 5041	1.0 以下	0.38
密度 (g/cm ³)		2.5 以上	2.60
フロー値比		90 以上	101
活性度指数 (%)		60 以上	72
150μm ふるい残分 (%)		5 以下	0
メチレンブルー吸着量 (mg/g)	JCAS-61	1.0 以下	0.53

ウムは鉱山から採掘，粉碎された石灰石骨材や石灰石微粉末であり，CCU 材料である合成炭酸カルシウムで代替することで，この有効利用と石灰石資源の保護にも貢献する。

既存の石灰石微粉末はセメントの少量混合成分や，材料分離抵抗性の向上や水和熱抑制を目的として高流動コンクリートの混和材などとして利用されている。JIS R 5210「ポルトランドセメント」では，セメントに5%以下の割合で添加することが認められている少量混合成分として，高炉スラグやシリカ質混合材，フライアッシュⅡ種と並んで，「炭酸カルシウムの含有率が90%以上，かつ，酸化アルミニウム含有率が1.0%以下の品質をもつ石灰石」が規定されている。一方，高流動コンクリートに使用する石灰石微粉末の品質は標準化されていないため，JCI-SLP「コンクリート用石灰石微粉末品質規格(案)」⁷⁾やJIS A 5008「舗装用石灰石粉」により管理される場合が多い。両規格ともに，石灰石は「石灰石を(微)粉碎したもの」と記載されており，液相合成などにより製造される合成炭酸カルシウムは合致しない。合成炭酸カルシウムを石灰石微粉末の代替として使用するにはJISの改定やコンクリート用混和材の品質規格が必要となる。

上述の通り，現状ではセメント・コンクリート分野での石灰石微粉末の用途はセメントの少量混合成分や高流動コンクリートなどに限られている。更なる利用拡大には少量混合成分の量を現在の5%から10%程度ま

で引き上げることが有効である。また，欧州のEN-197では最大で35%まで炭酸カルシウムを混合した石灰石フィラーセメントが規準化されており，日本でも混合セメントへの適用拡大が期待される。

4-2. 合成炭酸カルシウムのコンクリートへの利用

(1) 合成炭酸カルシウムを使用したコンクリートの品質⁸⁾
石灰石微粉末を添加したコンクリートの品質については，高流動コンクリートなどとして多くの結果が報告されている^{7,9)}。一方，合成炭酸カルシウムはまだ開発途上にあり，その品質やコンクリートに与える影響は明らかではないため，これからデータの蓄積が必要である。ここでは，合成炭酸カルシウムを利用したコンクリートの物性試験結果の一例¹⁰⁾を紹介する。

使用した合成炭酸カルシウムは廃石こうボード(CaSO₄)を原料とし，水中でNa₂CO₃と混合してCaCO₃に転化しものである(図4，表2)。液相中で析出するため，ブレーン比表面積が大きいことを特徴とする。表中の試験値はJIS R 5210の少量混合成分のほか，JCI-SLP，JIS A 5008，JIS A 5041「コンクリート用碎石粉」の該当項目の規格値を満足する。

合成炭酸カルシウムで普通ポルトランドセメントを0，5，10，25%置換し，それぞれ単位水量165kg/m³，水粉体比40，50，60%のコンクリートを製造した。使用した普通ポルトランドセメントにはあらかじめ石灰石微粉末が少量混合成分として5%含まれており，これを踏

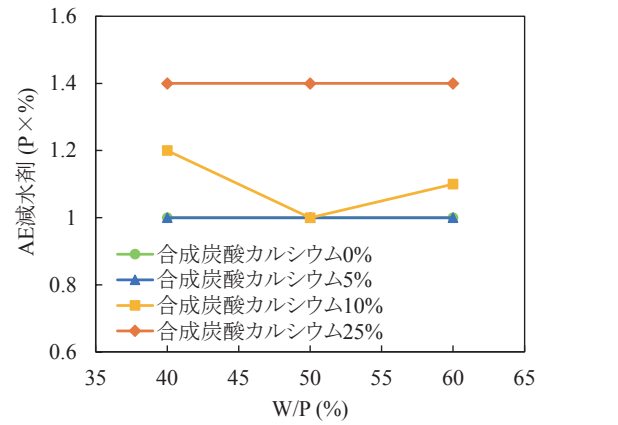


図5 化学混和剤の添加率とW/Pとの関係

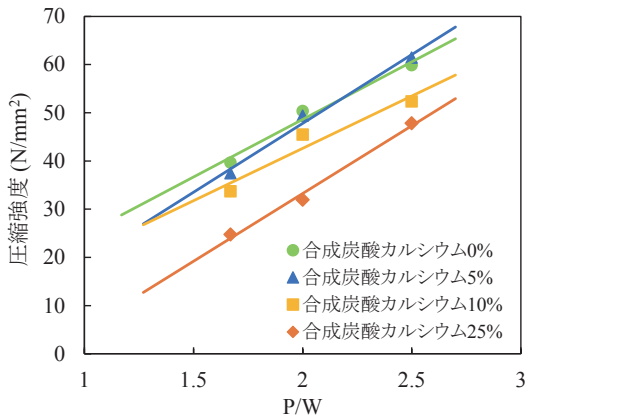


図7 粉体水比(P/W)と材齢28日の圧縮強度との関係

まえて置換率0%および5%は少量混合成分相当，10%および25%は石灰石フィラーセメント相当の置換率となるものとした。コンクリートのスランブを12±2.5cm，空気量を4.5±1.5%に調整したときのAE減水剤の添加量および凝結時間を図5，6に示す。合成炭酸カルシウムの置換率が10%までは，いずれの水結合材比でも所定のスランブを得るためのAE減水剤使用量はほぼ同一であり，25%で若干増加した。凝結の始発は置換率10%までは0%とほぼ同様，炭酸カルシウム添加量25%で1時間程度遅れる傾向にあった。AE減水剤の添加量の増加が影響したものと考えられるが，実施工ではほぼ問題のない範囲と考えられる。材齢28日における圧縮強度は合成炭酸カルシウムの置換率が10%以上では低下する傾向にあるが，いずれの置換率でも既往のコンクリートと同様に粉体水比と圧縮強度には線形関係が認められた(図7)。したがって，既往のコンクリート同様に水結合材により強度を任意に調整する

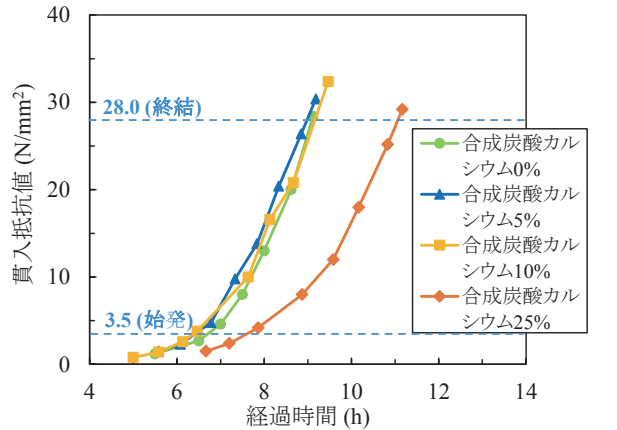


図6 凝結時間(水粉体比50%)

ことができる。

このように，合成炭酸カルシウムを少量混合成分や石灰石フィラーセメント相当の5～25%添加したコンクリートは，水セメント比40%程度以上の範囲では，フレッシュ性状や強度を通常のコンクリートと同様に調整することができた。収縮や耐久性は，現在検討を進めている。

本実験では各種の炭酸カルシウムの規格を満足する良質な合成炭酸カルシウムを使用した。当然ながら，合成炭酸カルシウムの品質により，コンクリートのフレッシュ性状や強度，耐久性に与える影響も変化すると考えられる。一方で，例えば不純物を多く含むなどの理由で他産業では利用できないものでもコンクリートであれば利用できる可能性がある。合成炭酸カルシウムの品質がコンクリートの品質に与える影響を明らかにしたうえで，より低エネルギーで製造した環境性能に優れた合成炭酸カルシウムの使用を許容する性能規定型の規準策定が期待される。

(2) 合成炭酸カルシウムを使用したコンクリートの試験適用

合成炭酸カルシウムの実用例として，コンクリート二次製品を製造し，現場適用した事例^{10,11)}を2件紹介する。1つ目の現場は秋田県で施工中の成瀬ダム原石山採取工事である。同工事では成瀬ダム建設に必要な材料供給を担う。作業エリア内の切盛り境に設置される排水溝として落蓋式U字側溝(3種，400A)を製作し，適用した。2つ目は大野油坂道路の荒島第2トンネルである。長野県松本市と福井県福井市を結ぶ中

表3 使用配合

適用現場	配合 No.	合成炭酸 カルシウム 添加率 (粉体内 割%)	W/B (%)	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
						水 W	粉体：P			細 骨 材	粗 骨 材	高性能 減水剤 P×%
							結合材：B		合成炭 酸カル シウム			
							普通ポ ルト ランドセメント	スラグ＋ 刺激材				
成瀬ダム	①	5	38.3	36.4	39.0	158	412	—	22	662	1059	0.84
	②	30	44.1	30.9		160	362	—	155	624	999	1.05
	③	43	51.0	29.0		174	341	—	260	576	922	1.62
	④	41	45.8	27.2		174	—	380	260	547	874	1.70
荒島第2 トンネル	①	5	35.7	33.9	38.0	158	443	—	23	647	1071	0.85
	②	30	40.1	28.1		169	421	—	181	563	985	1.21
	③	43	41.6	25.7		174	418	—	260	529	927	1.57
	④	37	39.9	25.0		174	—	436	260	524	958	1.80



練混ぜ



打込み



蒸気養生



脱型後

a) 成瀬ダム原石山採取工事における落蓋式字側溝製造状況



練混ぜ



打込み



締固め



脱型後

b) 荒島第2トンネルにおける縦壁付短形水路製造状況

写真1 合成炭酸カルシウムを使用したコンクリートによる二次製品の製造と現場適用

部縦貫自動車道の一部を構成する大野油坂道路に建設されたトンネルであり、トンネル内の道路脇に設置される縦壁付矩形水路として適用した。

両現場ともに使用した合成炭酸カルシウムは、廃石膏ボード(CaSO₄・2H₂O)を原料とした**表2**と同様のものである。

二次製品は4つの配合で製造した。コンクリートの配合を**表3**に示す。配合①および配合②は普通ポルトランドセメントに合成炭酸カルシウムをそれぞれ5%および30%(粉体内割)添加したもので、合成炭酸カルシウムを少量混合成分およびEN197に規定される石灰石フィラーセメント相当として使用した。配合③はコンクリートによるCO₂固定量を高めるために混和材として260kg/m³と大量に添加したもので、配合④は普通ポルトランドセメン

トの代わりに高炉スラグや刺激材を使用し¹²⁾、CO₂固定量とCO₂排出削減量の最大化を図ったものである。

製造は二次製品工場で行った。試験練りにより、所定の出荷強度が得られるように水結合材比を調整したうえで、通常の製品の製造と同様に練り混ぜ、ホッパにて打込み、振動締固め、蒸気養生、脱型の手順で製造した。脱型後は気中で保管し、約2週間で製品検査を行って出荷した。製造および脱型後の状況を**写真1**に示す。

製造や養生は通常の製品と同様の手順と工程で実施することができた。いずれの製品、配合においても外観、寸法、強度等、すべての検査項目を満足した。現場への運搬と設置も通常の製品と同様に実施し、ひび割れ等は生じなかった。以上から、合成炭酸カルシ

ウムを少量混合成分から混和材相当まで使用したコンクリートは、既存の工場設備で製造でき、従来製品と同等の要求性能を満足するものであった。

今後、設置した製品の耐久性の追跡調査を通して耐久性の確認を行う予定である。

【謝辞】3.4-2.節の成果は(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP21023)の結果得られたものです。関係各位に深く感謝致します。

【参考文献】

- 例えば欧州セメント協会，長期ビジョンなど
Cembureau, Cementing the European Green Deal, https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf
- ICEF, Carbon Mineralization Roadmap, November 2021, https://www.icef.go.jp/pdf/summary/roadmap/icef2021_roadmap.pdf
- Clime Works 社 HP, <https://climeworks.com/> (2023/8/10 確認)
- 佐々木猛，八木利之／二酸化炭素を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシウム，土木施工 p.87, No.11, Vol.62(2021)
- Blue Planet Systems 社 HP, <https://www.blueplanetsystems.com/technology>, (2023/8/10 確認)
- Pen-Chi Chiang, Shu-Yuan Pan ／Carbon Dioxide Mineralization and Utilization, Springer, 2017, p.73
- 日本コンクリート工学会／コンクリート用石灰石微粉末品質規格(案)，JCI-SLP, 1998.5.
- 梅津真見子他／リサイクル炭酸カルシウムを添加したコンクリートの基本性状，第78回土木学会年次学術講演会, V-588, 2023
- セメント協会／石灰石微粉末専門委員会報告書，2001.
- 荻野正貴他／リサイクル炭酸カルシウムを添加したコンクリートを用いた二次製品の製造(その1)，第78回土木学会年次学術講演会, V-589, 2023.
- 畑明仁他／リサイクル炭酸カルシウムを添加したコンクリートを用いた二次製品の製造(その2)，第78回土木学会年次学術講演会, V-590, 2023.
- 大成建設 HP ／<https://www.taisei.co.jp/portal/tech/commentary/02.html>(2023.03.31 確認)

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



こにし まさよし ／ KONISHI Masayoshi
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所
シニア・フェロー



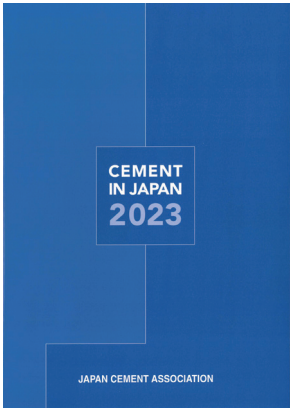
みやはら しげよし ／ MIYAHARA Shigeyoshi
大成建設(株) 技術センター
社会基盤技術研究部 材工研究室 材料化学チーム
チームリーダー



きくち さだと ／ KIKUCHI Sadato
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所
副主任研究員



はた あきひと ／ HATA Akihito
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
室長



顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

小堀 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
彌永 育代	麻生セメント(株) 品質技術部 セメント・コンクリート技術センター サブリーダー
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
金澤 智彦	日鉄セメント(株) 技術本部 製品開発部 上席研究員
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)
黒川 大亮	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 主席研究員
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
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
中村 明則	(株)トクヤマ セメント開発グループ 主席
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
平野 修也	(株)フローリック 技術本部 コンクリート研究所 主席研究員
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
清田 正人	(一社)セメント協会 セメント系固化工材普及専門委員会 委員長
宮脇 賢司	(一社)セメント協会 セメント系固化工材技術専門委員会 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

編集委員会の動き

本誌の編集企画にご尽力いただいた編集委員の小林竜平氏(竹本油脂), 平本真也氏(日鉄高炉セメント), 前田禎夫氏(麻生セメント), 窪木康雄氏(セメント協会セメント系固化工材普及専門委員会)は, 5月号をもって退任されました。ここにこれまでのご協力・ご支援に対し感謝の意を表します。

なお, 今月号より彌永育代氏, 金澤智彦氏, 中村明則氏, 平野修也氏, 清田正人氏が就任されました。

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)
苅 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)

- JCA Report/2023年度のセメント生産および操業の概況
- 韓国セメント産業のカーボンニュートラルの現況と今後の方案
- 高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価
- ボックスカルバートにグリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強技術
- ICCC2023 世界のセメント・コンクリート研究の動き④完
- 北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の構造物の概要
- AIを用いたコンクリート配合導出技術の開発
- 炭酸化したスラッジ再生セメントによるカーボンネガティブ結合材の開発
- 高強度埋設型枠の微細ひび割れ抑制に関する実験的研究
- ずいそう(西山峰店) ほか



超高強度繊維補強コンクリートを用いた盛土式ホーム柵の基礎

セメント・コンクリート No.928 6月号
2024(令和6)年6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



神殿？ いいえ、防災施設です。

埼玉県春日部市の地下50メートルに現れた巨大神殿。

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

こうした防災インフラに欠かせない素材がセメント。

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

セメントが、日本をまもる。

一般社団法人セメント協会

セメント協会

検索