

CEMENT & CONCRETE

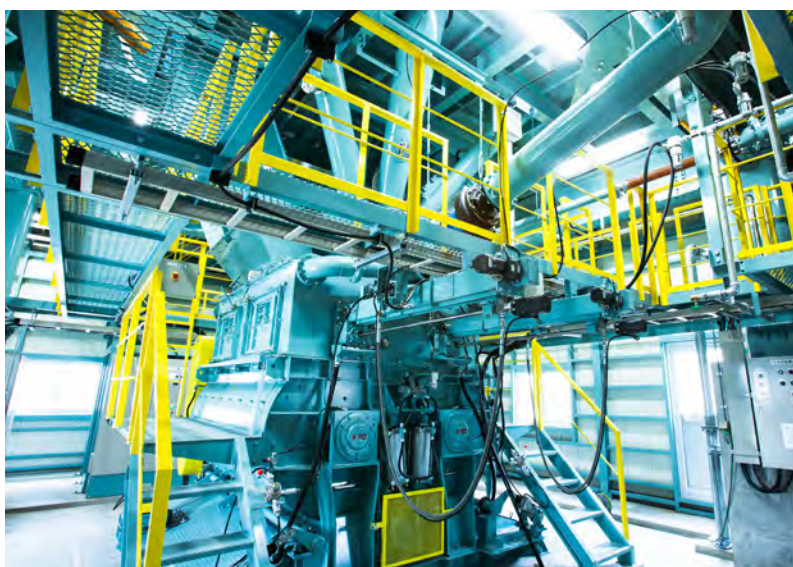
セメント・ コンクリート

令和4年8月15日発行 ISSN0371-0718

2022
No.906

8

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



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

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 02NL

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤 (耐寒促進剤 タイプ1) ヤマソー ウィン

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

減水剤(遅延形) ヤマソー R

収縮低減剤 ヤマソー DS100

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

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。



 **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/>

コンクリートの品質管理に、マルイの試験機

全自動圧縮試験機 Hi-ACTIS [ハイアクティス]

高強度コンクリートに
対応する高剛性設計



- 最大容量4種の幅広い
ラインナップ
(500/1000/2000/3000kN)
- 高剛性設計フレーム
(一般仕様品の2倍)
- 表示は目盛盤と黒板
で切替可能
- タッチパネルで簡単
操作

型式:MIE-732-I-45/01/02/03

CO₂固定化・炭酸化養生
実験に最適な高濃度仕様

小型 / 標準型 高濃度 中性化促進試験装置

- CO₂濃度設定は0～
90%まで可能
- 試験時は扉を自動
ロック、試験終了時は
強制排気機構により
設定CO₂濃度まで下
がれば扉ロック解除
- 装置外部にも酸素濃
度計を装備、試験の
安全性を確保

型式:MIT-639-3-I8/52



総合試験機のメーカー

株式会社 **マルイ**

本社・大阪営業所 〒574-0064 大阪府大東市御領1丁目9-17 TEL:(072)869-3201 FAX:(072)869-3205
東京営業所 〒130-0002 東京都墨田区業平3丁目8-4 TEL:(03)5819-8844 FAX:(03)5819-6260
名古屋営業所 〒468-0015 名古屋市天白区原2丁目1322 TEL:(052)809-4010 FAX:(052)809-4011
九州営業所 〒812-0878 福岡市博多区竹丘町2-1-20 TEL:(092)501-1200 FAX:(092)501-1277

クリップボードの コンクリート化学編 出ました。

セメント協会の出版物



ブルーのカバー

e³ (シースリー)
クリップボード

コンクリート化学編

A4判・123頁・3,080円



グリーンのカバー

e³ (シースリー)
クリップボード

セメント化学編

A4判・134頁・3,080円

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

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

お求め・お問い合わせは…一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで

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

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2022 No.906

8

もくじ

- | | | |
|----|--|----------|
| 2 | セメント製造における廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標 | …河合 研至 |
| 10 | CO ₂ 吸収・硬化セメント「カーボフィクス®セメント」の開発 | …橋本 真幸ほか |
| 18 | 第50回(2022年度)セメント協会論文賞の選考経過と推薦理由 | …橘高 義典 |
| 21 | 論文賞を受賞して | |
| 24 | すいそう
近況報告～復興の街で | …木村 整 |
| 26 | 戻りコンクリートを再利用したコンクリート(エコクリートR ³)の適用事例 | …巴 史郎ほか |
| 34 | 全面的SB工事を行った都市型生コン工場の新しいカタチ
～新関西菱光・大阪工場～ | …下臺 勝ほか |
| 40 | TOPICS
第71回セメント安全衛生大会を開催 | |
| 42 | 東京駅北通路拡幅と新たな駅空間の創出～レンガアーチ・盛土からRCへ～ | …野間 修一ほか |
| 50 | シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する
放射線・原子力分野での活用 その2 放射性廃棄物の処理・処分 | …蔵重 勲 |

17 第37回(2023年度)
セメント協会研究奨励金テーマ募集のご案内

23 HOT NEWS

58 EVENT GUIDE

60 外国雑誌の記事情報

62 セメント・データファイル

63 主要建設工事・資材統計

65 9月号予告



今月の表紙

新関西菱光(株)・大阪工場の
全景とその最新設備[大阪府/
提供:新関西菱光(株)]

■セメント協会ホームページ <https://www.jcassoc.or.jp> ■本誌への広告申込みはセメント協会 広報部門 TEL.03-5540-6175

セメント製造における廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標

An environmental index showing the recycling of wastes and byproducts in cement manufacturing

河合 研至

1. はじめに

セメント製造にともなうCO₂排出量が極めて多いことは、コンクリート技術者・研究者に限らず、大半の土木技術者が知っているといっても過言ではないと思われる。それほどまでに知れ渡っている。しかしその一方で、セメント製造においては、原燃料として多量の廃棄物・副産物が活用されており、年間の使用量は国内における資源循環量の約11%にも達していることは、コンクリート技術者・研究者の中でも知っている人は意外と少ない。

混和材を利用し、ポルトランドセメントの使用量を削減することによって、CO₂排出量の削減を図る取組みが数多く見られる。しかし、ポルトランドセメント使用量の削減は、上述のとおり、廃棄物・副産物使用量の削減にもつながってしまうのである。環境は多面性を有している。地球温暖化対策は紛れもなく地球規模の喫緊の課題であるが、国土が狭隘なわが国では、廃棄物処分場の逼迫も極めて重要な問題である。地球温暖化に限らず、環境の多面性を正しく評価するためには、環境に影響を及ぼす要因それぞれについて、定量的な評価を行う必要がある。

本稿では、廃棄物・副産物の有効活用が資源循環

に貢献している側面を定量的に表現する試みとして実施している、セメント製造における廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標について概説する。

2. 廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標

土木学会コンクリート委員会では、2009年度～2010年度に、九州大学・濱田秀則教授を委員長として、環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会を組織し、環境に調和したコンクリートに関する多角的な議論が行われた¹⁾。この委員会では、環境調和型コンクリートを「地域で産出する材料を最大限に有効利用し、地球環境、地域環境に最大限に配慮した結果、最小の負荷で生産された材料で構成するコンクリート」と定義し、コンクリートの環境調和の程度を示す指標として環境調和指標を提案している。この環境調和指標では、地域での生産(地産地消)を表現する代表として輸送距離、地球環境を表現する代表として温室効果ガス、地域環境を表現する代表として廃棄物を取り上げ、地産地消、地球環境、地域環境のそれぞれを指標化して統合化することにより環境調和指標を構成している。この中で、地域環境を指標化した廃棄物に関わる指標は、以下のような式で表されている。

$$I_w = \frac{\text{リサイクル資源使用量} \ominus \text{廃棄物発生量} C}{\text{バージン資源使用量} + \text{リサイクル資源使用量}}$$

ただし、リサイクル資源使用量 < 廃棄物発生量のとき、 $I_w = 0$

表1 各種セメントにおけるリサイクル資源の使用量とリサイクル率(1996年度、2011年度データ)²⁾

	リサイクル資源の使用量 (kg/t-cement)						リサイクル率 (%)	
	PC	BB	FB	PC	BB	FB		
	1996年度	1996年度	1996年度	2011年度	2011年度	2011年度	1996年度	2011年度
高炉スラグ	0.0	426.0	0.0	0.0	426.0	0.0	100	100
フライアッシュ (混合材)	0.0	0.0	155.0	0.0	0.0	155.0	100	100
石炭灰	34.6	19.9	29.3	115.8	66.5	97.8	70	98
汚泥、スラッジ	9.6	5.5	8.1	46.4	26.7	39.2	38	78
副産石こう	26.2	15.0	22.1	37.5	21.5	31.7	100	100
建設発生土	0.0	0.0	0.0	33.8	19.4	28.6	32	88
燃えがら、ばいじん、ダスト	4.6	2.6	3.9	24.2	13.9	20.5	2	24
非鉄鉱滓等	14.8	8.5	12.5	11.7	6.7	9.9	79	92
木くず*	0.0	0.0	0.0	10.2	5.8	8.6	22	79
鋳物砂*	4.5	2.6	3.8	9.1	5.2	7.7	—	—
廃プラスチック	0.0	0.0	0.0	7.6	4.4	6.4	24	54
製鋼スラグ	12.9	7.4	10.9	7.7	4.4	6.5	91	98
廃油	1.3	0.8	1.1	4.6	2.6	3.9	30	39
廃白土*	0.7	0.4	0.6	4.3	2.5	3.6	—	—
再生油*	1.4	0.8	1.2	3.3	1.9	2.8	—	—
廃タイヤ	2.7	1.5	2.3	1.3	0.7	1.1	91	90
肉骨粉*	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	0.9	—	—
ボタ*	18.4	10.5	15.5	0.0	0.0	0.0	—	—
その他**	3.4	1.9	2.9	10.5	6.0	8.9	37	52
合計	135.1	503.6	269.2	329.3	615.0	433.2		
バージン資源使用量	1,520.9	873.0	1,285.2	1,326.8	761.6	1,121.1		

PC:ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種(混合率42.6%), FB:フライアッシュセメントB種(混合率15.5%)

*:リサイクル率のデータが公表されていないため、廃棄物指標の計算には「その他」のリサイクル率を使用

** :品目が特定できないため、リサイクル率には産業廃棄物全体のリサイクル率を与えている

この式は、バージン資源の使用を抑えて廃棄物を排出させず、リサイクル資源を多く活用することに力点を置き、現状でコンクリート塊やアスファルト・コンクリート塊のリサイクル率が数値上は100%に近いことから、DtT法(目標値に対して現在の数値がどの程度であるかを示す方法)は適用せず、100%リサイクル資源使用で廃棄物を排出しない場合に1となるよう、資源投入量に対するリサイクル資源使用量を指標化したものである。

この考え方をベースとして、廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標の検討を行った。

上記の指標では、リサイクル資源に関して、その種類に関係なく一様な取扱いがなされている。しかし、副産物と廃棄物では明らかにリサイクルのしやすさは異なり、また、同じ廃棄物であっても処理の困難さは異なる。処理困難なリサイクル資源ほど高く評価される指標とすることが、廃棄物・副産物全体の資源化を考える上では妥当ではないかと判断し、ここでは処理の困難さを表現する数値としてリサイクル率を活用した。これにより、廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標を次のように定義した。C

$$I_w = C \frac{\sum (\gamma_k \times w_k) - C_w C}{U_v + U_r C}$$

ここで、

I_w : 廃棄物指標

γ_k : リサイクル資源 k の未利用率

(小数, $= 1 - RC/100$)

R_k : リサイクル資源 k のリサイクル率 (%)

w_k : リサイクル資源 k の使用量 (kg/t)

C_w : 廃棄物発生量 (kg/t)

U_v : バージン資源使用量 (kg/t)

U_r : リサイクル資源使用量 (kg/t, $= \sum w_k$)

3. セメント産業における指標の妥当性

各種セメントに対して、**2.**で定義した環境指標を適用し、指標の妥当性を検討した。

セメントとして、ポルトランドセメント(PC)、高炉セメントB種(BB)、フライアッシュセメントB種(FB)を対象とし、高炉セメントB種、フライアッシュセメントB種における高炉スラグ、フライアッシュの混合率は、それぞれ42.6%、15.5%と仮定した。各種セメントにおけるリサイクル資源の使用量、リサイクル率のデータには1996年度、2011年度のデータ(表1)を使用し、異なる年度を対象とすることでリサイクル率が指標に及ぼす影響につ



かわい けんじ / KAWAI Kenji
広島大学 大学院先進理工系科学研究科 教授 工博

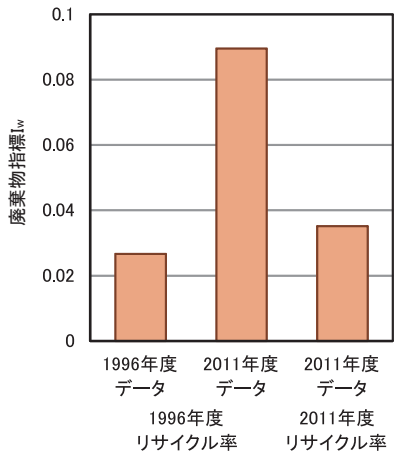


図1 ポルトランドセメントにおける廃棄物指標の比較

いても検討した。

図1に、ポルトランドセメントについて、1996年度のリサイクル率を用い1996年度におけるリサイクル資源の使用量から試算した廃棄物指標、ならびに2011年度におけるリサイクル資源の使用量に対して1996年度、2011年度のリサイクル率を用い試算した廃棄物指標の数値を示す。1996年度のリサイクル率を用い、リサイクル資源の使用量として1996年度、2011年度のデータを使用した場合の数値を比較すると、リサイクル資源の使用量の増加が廃棄物指標を増大させていることがわかる。さらに、1996年度から2011年度にかけて、リサイクル資源の使用量は2.4倍となっているのに対して、廃棄物指標の数値は3.4倍となっていることから、リサイクル率の低い資源の使用量の大幅な増加が廃棄物指標の数値の増大に反映されていることが示されている。一方、2011年度におけるリサイクル資源の使用量に対して、1996年度、2011年度のリサイクル率を用いた場合の数値を比較すると、各リサイクル資源のリサイクル率の大幅な向上を反映して、2011年度のリサイクル率を用いた廃棄物指標の数値は、1996年度のリサイクル率を用いた数値よりも大きく低下していることがわかる。

図2には、各種セメントの廃棄物指標を比較した結果を示す。ここでは、1996年度のリサイクル資源の使用量には1996年度のリサイクル率を、2011年度のリサイクル資源の使用量には2011年度のリサイクル率を

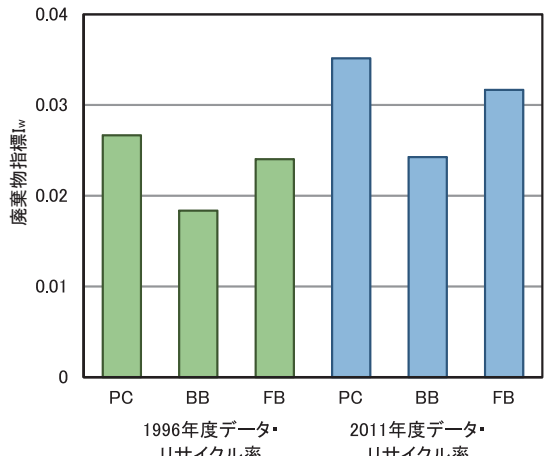


図2 各種セメントにおける廃棄物指標の比較

用いている。いずれのセメントに関しても、1996年度より2011年度の方が廃棄物指標の数値は増大しており、1996年度から2011年度にかけて、各リサイクル資源のリサイクル率は大幅に向上しているものの、それ以上にリサイクル資源の使用量の増加が大きく反映されていることを示すものと思われる。また、セメントの種類で比較すると、廃棄物指標の数値はポルトランドセメントで最も高く、次いでフライアッシュセメントB種、高炉セメントB種の順となっており、クリンカーの使用量が多いほど、すなわち、リサイクル率の低い資源の使用量が多いほど、廃棄物指標の数値が高くなることを表している。

以上の試算結果から、ここで定義した廃棄物指標は、セメント産業における廃棄物・副産物の資源化を表す指標となっているのではないかと判断された。この指標を用いる場合に、用いるリサイクル率のデータが古いものであると、最新のデータを用いた場合との間で結果の逆転が起こりかねないのではないかと考えたことが当初懸念されたが、用いるリサイクル率の年度が異なっても、指標の数値そのものの大きさには影響を及ぼすものの、比較対象間での逆転は起きえないものと考えられた。

4. 指標の客観的な妥当性

ここで示した指標の客観的な妥当性を検討するた

表2 LIMEによる評価に用いた各種セメントのインベントリデータ(2011年度データ)

区分と品目			単位	PC	BB	FB	LIME による評価における品目
エネルギー	天然燃料（焼成、乾燥、自家発電用の合計）	石炭	kg/t	98.99	56.82	83.65	石炭
		石油コークス	kg/t	12.26	7.04	10.36	石油コークス
		重油	L/t	0.87	0.50	0.74	C 重油
	その他	L/t	0.01	0.01	0.01	その他石油製品・石炭製品	
購入電力		kWh/t	30.60	21.68	27.35	系統電力	
原料	天然原料	石灰石	kg/t	1115.11	640.07	942.27	石灰石
		粘土	kg/t	4.10	2.35	3.46	粘土
		珪石	kg/t	60.27	34.59	50.93	けい石
		その他	kg/t	4.31	2.47	3.64	けい石
添加材	天然原料	石こう	kg/t	0.19	0.11	0.16	その他窯業原料
		石灰石	kg/t	30.68	17.61	25.92	石灰石
廃棄物・副産物			表 1 のとおり			表 3 のとおり	
環境負荷物質	CO ₂ （石灰石脱炭酸起源、化石エネルギー起源、廃棄物等燃焼起源および焼却不要による削減分の合計）		kg/t	764.4	438.8	645.9	CO ₂ （化石資源由来）
	CH ₄		kg/t	0.035	0.020	0.030	CH ₄
	N ₂ O		kg/t	0.031	0.018	0.026	N ₂ O
	SO _x		kg/t	0.049	0.028	0.041	SO _x
	NO _x		kg/t	1.337	0.767	1.130	NO _x
	ばいじん		kg/t	0.029	0.017	0.025	PM10

表3 LIMEによる評価における廃棄物の扱い

品目	LIMEによる評価における扱い
石炭灰	産業廃棄物(燃え殻)
汚泥, スラッジ	産業廃棄物(汚泥)
建設発生土	一般廃棄物(覆土)
燃えがら, ばいじん, ダスト	産業廃棄物(燃え殻)
非鉄鉱滓等	産業廃棄物(鉱さい)
木くず	産業廃棄物(木くず)
鋳物砂	産業廃棄物(鉱さい)
廃プラスチック	産業廃棄物(廃プラスチック類)
製鋼スラグ	産業廃棄物(鉱さい)
廃油	産業廃棄物(廃油)
廃白土	産業廃棄物(鉱さい)
再生油	産業廃棄物(廃油)
廃タイヤ	産業廃棄物(廃プラスチック類)
肉骨粉	産業廃棄物(動植物性残渣)
ボタ	産業廃棄物(鉱さい)
その他	産業廃棄物(種類不明)

め、セメント製造の環境影響評価を日本版被害算定型影響評価手法(LIME)により実施し、上記の指標との比較を行った。LIMEは、LCA国家プロジェクトとして国内で開発された環境影響評価手法であり、国内の環境事情や社会条件などを考慮し、自然科学的知見を取り入れるとともに社会科学的な分析結果に基づいて、様々な環境被害を単一指標まで統合化した手法である。なお、ここでは、LIMEの第二版であるLIME2を計算に用いた。

LIMEによる評価に用いた各種セメントのインベントリデータを表2に示す。LIMEでの評価には、2011年度のデータを使用した。ここでの評価範囲は、セメントの製造工程(原料工程・焼成工程・仕上工程)とし、工程内で消費する天然原燃料、使用電力、発生する環境負荷物質、受入廃棄物について評価を行った。また、LIMEによる評価における廃棄物の取扱いを表

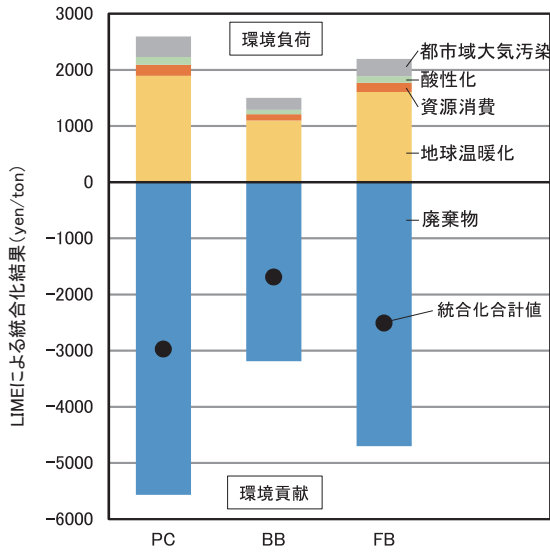


図3 各種セメントのLIMEによる統合化結果

3に示す。LIMEにおいて、廃棄物に該当する項目の被害は、最終処分を行うために空間を占有することによる環境負荷、すなわち、埋立処分による環境負荷として扱われることから、廃棄物に分類される品目は、本来埋立処分されることによって発生した環境負荷を、セメントが受け入れることによって回避したとみなし、マイナスの環境負荷を与えることで評価している。副産物に分類される品目(ここでは、高炉スラグ、フライアッシュ(混合材)、副産せつこうと仮定)では、元々廃棄されるものではなく、製品として消費されることが前提と考えられることから、環境への影響はないものとして扱っている。

図3に、各種セメントについてLIMEを用いて環境

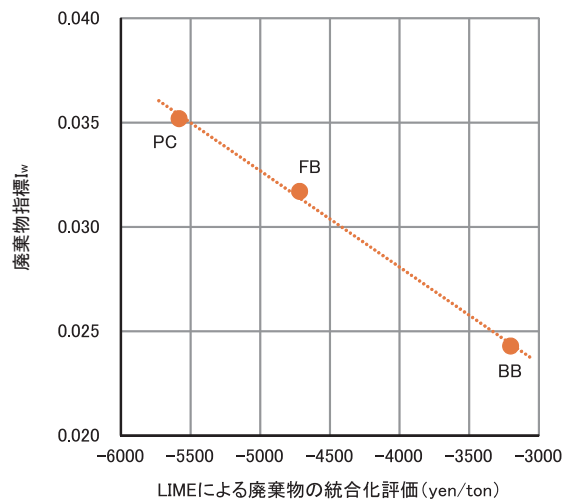


図4 各種セメントにおけるLIMEによる廃棄物の統合化評価と廃棄物指標との関係²⁾

影響評価を行った統合化結果を示す。図中縦軸の正は環境負荷を、負は環境貢献を示している。ここでは、環境負荷として、廃棄物、地球温暖化、光化学オキシダント、資源消費、酸性化、オゾン層破壊、富栄養化、生態毒性(大気)、生態毒性(水圏)、生態毒性(陸域)、土地利用、都市域大気汚染、室内空気汚染、人間毒性(大気)、人間毒性(水圏)、人間毒性(陸域)、騒音などが考慮されているが、それらのうちで、地球温暖化、都市域大気汚染、資源消費、酸性化への影響が大きいことがわかる。なかでも、地球温暖化への影響が突出している。ただしその一方で、埋立回避に伴う、マイナスの環境負荷としての廃棄物利用の影響は、それ以上に大きいことが示されている。その結果として、環境影響を統合化した合計値では、いずれのセメントもマイナスとなり、環境貢献の方が大きいという結果となった。セメントの種類で比較すると、ポルトランドセメントの絶対値が最も大きく、次いでフライアッシュセメントB種、高炉セメントB種の順となり、ポルトランドセメントの環境貢献が最も大きいことを示している。

LIMEによる廃棄物の統合化評価と廃棄物指標との関係を各種セメントについて図4に示す。両者には高い相関が認められ、ここで示した廃棄物指標は、廃棄物・副産物の資源化を表す指標として、客観的にも妥当性があることが示された。

5. 他産業への指標の適用性

以上のことから、廃棄物指標がセメント産業において廃棄物・副産物の資源化を表す指標として妥当性を有することは示されたものの、他産業に対しても共通して適用可能か否かを検討するため、鉄鋼業、製紙業を対象として試算を行った。鉄鋼業、製紙業は、セメント産業と並んで循環利用量の多い素材産業であり、セメント産業、鉄鋼業、製紙業がそれぞれ、2018年度の国内における循環利用量の11.4%、11.1%、10.5%を担っている⁴⁾。

ただし、ここでは、廃棄物指標として、**2.**で定義した式ではなく、次式を用いた。C

$$I_w = \sum (\gamma_k \times w_k) - \sum (\gamma_j \times c_j)$$

ここで、

I_w : 廃棄物指標

γ_k : リサイクル資源 k の未利用率

(小数, =1-RC/100)

R_k : リサイクル資源 k のリサイクル率(%)

w_k : リサイクル資源 k の使用量(kg/t)

γ_j : リサイクル資源 j の未利用率

(小数, =1-RC/100)

R_j : リサイクル資源 j のリサイクル率(%)

表4 各産業におけるリサイクル資源使用量⁵⁾

	リサイクル資源使用量 (kg/t)		
	セメント産業	鉄鋼業	製紙業
高炉スラグ	140.7	0.0	0.0
フライアッシュ	3.5	0.0	0.0
石炭灰	113.2	0.0	0.0
汚泥	52.0	0.0	0.0
副産せっこう	37.6	0.0	0.0
建設発生土	33.9	0.0	0.0
ばいじん	24.3	0.0	0.0
非鉄鉱滓等	11.8	0.0	0.0
木くず*	10.2	0.0	0.0
鋳物砂	9.2	0.0	0.0

表5 各産業におけるリサイクル資源発生量⁵⁾

	リサイクル資源発生量 (kg/t)		
	セメント産業	鉄鋼業	製紙業
燃えがら	0.0	1.0	9.7
汚泥	0.0	23.8	1048.9
廃油	0.0	2.2	0.6
廃酸	0.0	3.0	0.1
廃アルカリ	0.0	1.3	0.5
廃プラスチック	0.0	0.8	15.0
紙くず*	0.0	0.0	21.1

c_j : リサイクル資源 j の発生量(kg/t)

ここで分母を削除したのは、**2.**で定義した式を用いた場合、廃棄物指標が正の場合には分母が小さいほど評価が良くなるが、負の場合には分母が小さいほど評価は悪くなるといった逆転が生じてしまうためである。セメント産業では、セメント製造時に廃棄物が発生しないため、**2.**で定義した式で負となることは生じ得なかったが、鉄鋼業、製紙業では、製造時に発生する廃棄物量によりその可能性が否定できないため、分母を削除した。また、製鉄、製紙の過程から発生する廃棄物に関しても、リサイクルする廃棄物・副産物と同様の考え方を適用して、処理困難さによって重みを付けることとし、廃棄物発生量にリサイクル率を乗じている。

試算に用いた、各産業におけるリサイクル資源使用量、リサイクル資源発生量をそれぞれ**表4**、**5**に示す。セメント産業では、各種セメントをすべて含めた統計値をデータとして使用し、鉄鋼業では、高炉、転炉、電炉における銑鉄および鉄鋼生産を対象にデータを収集している。鉄鋼業、製紙業では、産業全体を網羅的にまとめたデータが入手できなかったため、複数の文献から収集したデータを使用している。

また、ここでは、リサイクル率の定義に関しても、あわせて検討を行った。**表4**、**5**に示すリサイクル資源の

中には、**図5**に示すように減量化量が非常に多いリサイクル資源が含まれている。このとき、次のどの式をリサイクル率として使用するかによって、廃棄物指標の数値は大きく変化してしまう。C

$$\textcircled{1} \frac{\text{再生利用量C}}{\text{再生利用量} + \text{減量化量} + \text{最終処分量}} \times 100$$

$$\textcircled{2} \frac{\text{再生利用量} + \text{減量化量C}}{\text{再生利用量} + \text{減量化量} + \text{最終処分量C}} \times 100$$

$$\textcircled{3} \frac{\text{再生利用量C}}{\text{再生利用量} + \text{最終処分量C}} \times 100$$

その影響を把握するため、リサイクル率として①～③のそれぞれを用いた結果を比較した。なお、前章までの議論では、リサイクル率として①を用いている。

図6～8に、リサイクル率としてそれぞれ①～③を用いた試算結果を示す。それぞれの図において、(a)はセメント産業、鉄鋼業、製紙業の廃棄物指標の数値の比較を表しており、(b)はLIMEによる廃棄物の統合化評価と廃棄物指標との関係として各産業を表している。セメント産業では、リサイクル率としていずれの式を用いた場合でも、廃棄物指標の数値が正の値を示すのに対して、鉄鋼業ではいずれのリサイクル率でも負の値を示し、製紙業ではリサイクル率として①、③を用い

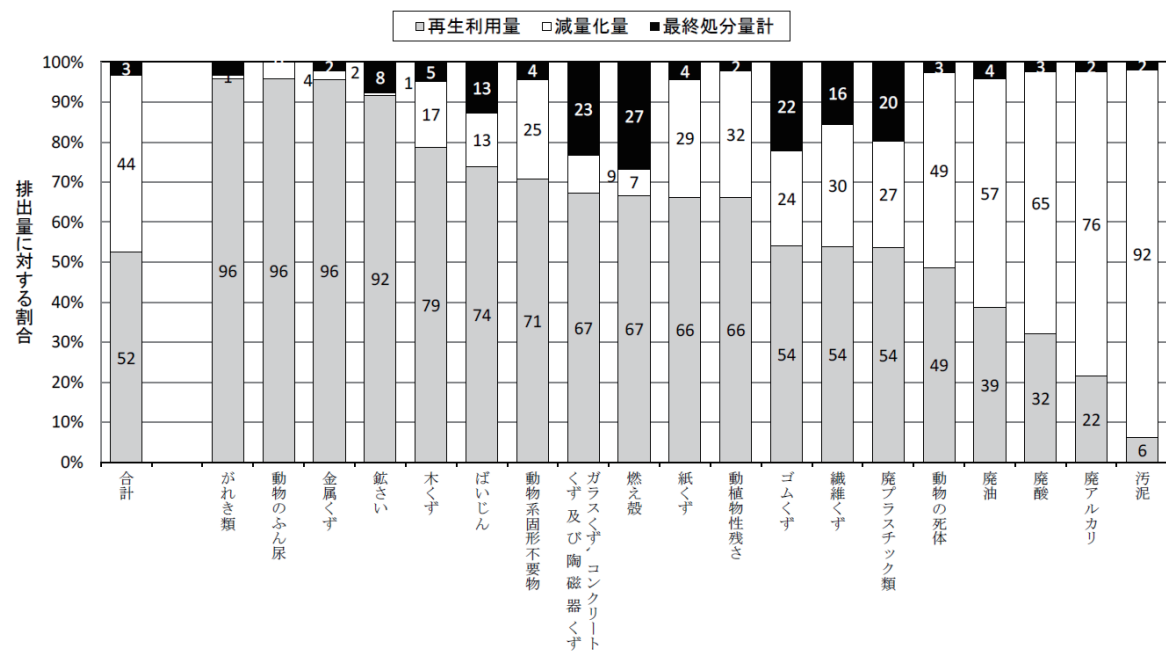


図5 産業廃棄物の種類別の処理状況⁶⁾

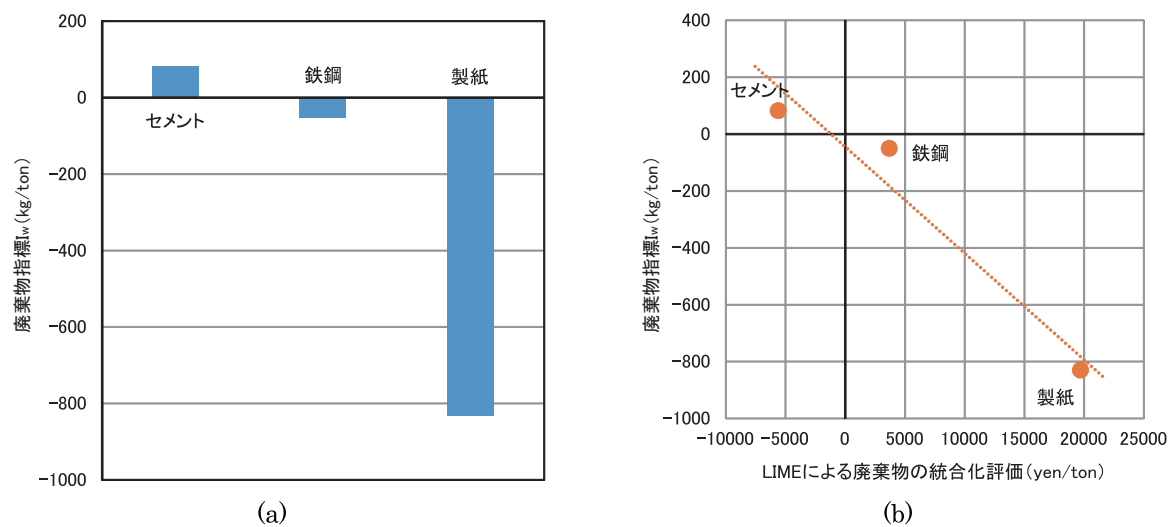


図6 各産業における廃棄物指標の比較(リサイクル率として①を使用した場合)⁵⁾

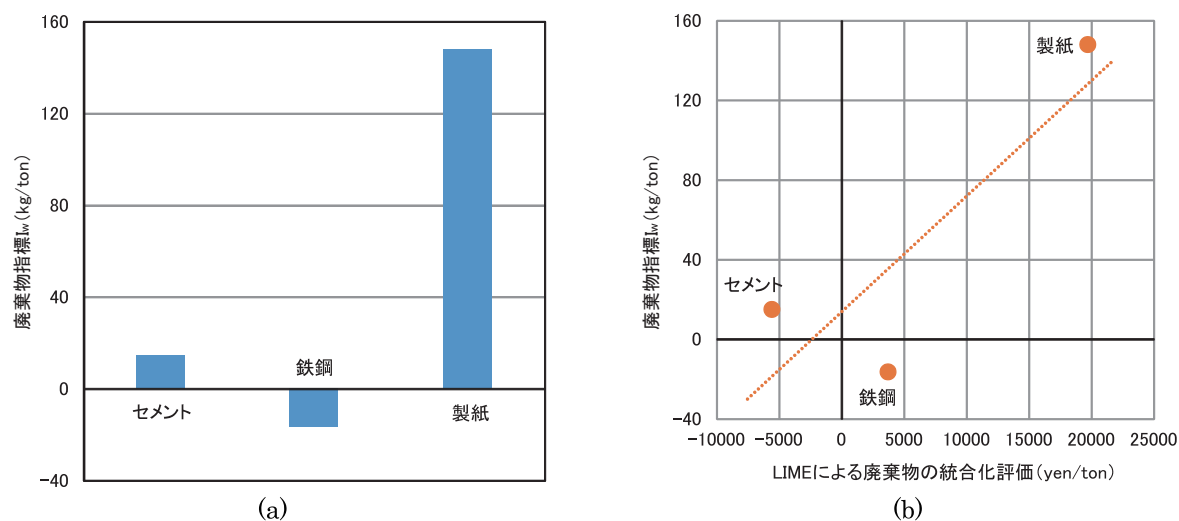


図7 各産業における廃棄物指標の比較(リサイクル率として②を使用した場合)⁵⁾

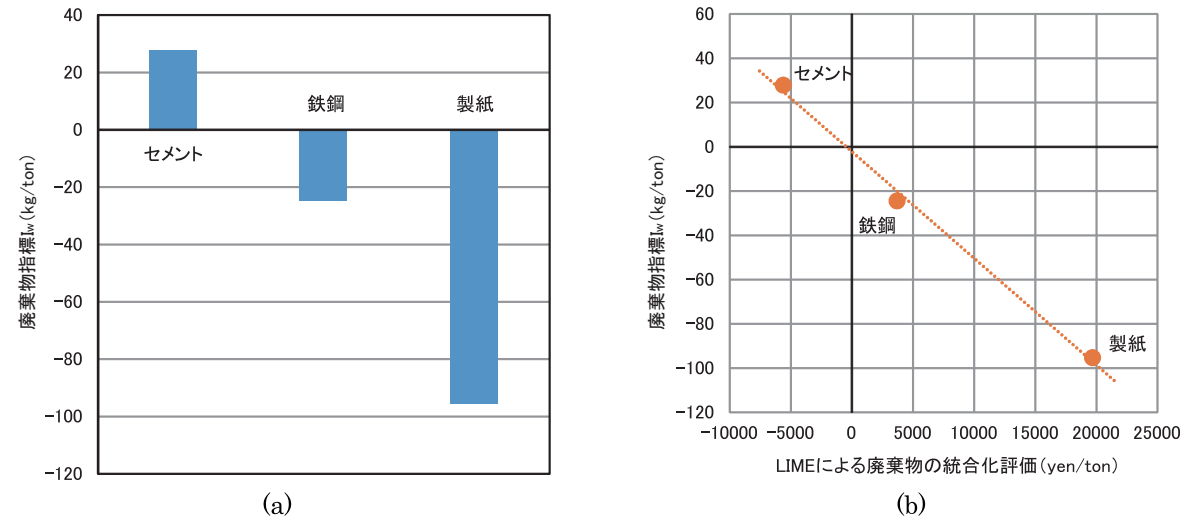


図8 各産業における廃棄物指標の比較(リサイクル率として③を使用した場合)⁵⁾

た場合には大きな負の値、リサイクル率として②を用いた場合には大きな正の値を示した。これは、製紙業では廃棄物として汚泥が多量に発生していることに起因するものであり、リサイクル率の定義が、産業によっては結果に大きな影響を及ぼすことを表している。また、リサイクル率として①あるいは③を用いた場合には、LIMEによる廃棄物の統合化評価と廃棄物指標との関係において、セメント産業、鉄鋼業、製紙業の間にある程度の相関性が認められる。

最終処分量が0となったとき、②と③ではリサイクル率が100%となるのに対して、①では最終処分量も減量化量も0でない限りリサイクル率は100%とならない。しかし、②や③でリサイクル率が100%となるリサイクル資源の資源化(処理困難さ)が、高炉スラグ、フライアッシュ、副産せっこうなどの副産物のリサイクル率100%と同じとは考え難い。本稿で検討しているように、リサイクル率を用いて処理の困難さを表現しようとする観点からは、①で表現されるリサイクル率が最も妥当な指標を与えられるように考えられる。

6. おわりに

冒頭で述べたとおり、環境は多面性を有している。本稿で示すように、廃棄物・副産物の資源化を表す指標が仮に提示できたとしても、それは環境の一側面

に過ぎない。環境への影響を包括的に評価するためには、それぞれの環境側面をさらに統合化して示せなければならない。ここで取り上げているCIMEは環境影響を統合化して評価する代表的なツールの一つであるが、計算の煩雑さから利用が敬遠されることがあるようである。廃棄物・副産物の資源化について簡便に、しかし定量的に評価できる(見える化できる)ことを目指して本稿の環境指標を検討してきているが、これを例えばCO₂などの温室効果と統合する際に課題となるのが、環境側面それぞれに対する重みの付け方である。いかに客観性のある重み付けができるかが、この指標の有用性ともつながり、今後検討を要するところとなってくる。

【参考文献】

- 1) 土木学会／コンクリート技術シリーズ96 環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会成果報告書、153p、2011
- 2) 星野清一、河合研至、久保田修、平尾宙／セメントの廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標による各種セメントの評価、セメント・コンクリート論文集、Vol.69、pp.679～686、2016
- 3) 久我龍一郎、平尾宙、田中敏嗣、河合研至／ポルトランドセメント製造による廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標に関する検討、セメント・コンクリート論文集、Vol.68、pp.510～515、2015
- 4) 環境省環境再生・資源循環局／令和3年度廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書(廃棄物等循環利用量実態調査編)、p.67、2022
- 5) 柴崎悠吾、河合研至、桐野裕介、新見龍男／廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標による資源循環型産業の評価、セメント・コンクリート論文集、Vol.73、pp.394～400、2020
- 6) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部／平成25年度事業 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成23年度実績(概要版)、p.30、C2014C

CO₂吸収・硬化セメント 「カーボフィクス[®]セメント」の開発

Development of CO₂ absorbing and hardening cement *CARBOFIX[®]CEMENT*

橋本 真幸 小林 和揮 扇 嘉史 細川 佳史

1. はじめに

地球温暖化の原因は二酸化炭素(CO₂)やメタン、代替フロンなどの温室効果ガスといわれており、このうち温室効果ガスの多くを占めるCO₂の削減に向けた取り組みが世界中の各産業分野にて行われている。わが国では2020年10月の政府によるカーボンニュートラル宣言¹⁾以降、各産業分野におけるCO₂排出削減に向けた動きが本格化している。とりわけ、コンクリート分野におけるCO₂の排出削減対策としては、高濃度のCO₂との接触(炭酸化養生)によってコンクリート中にCO₂を固定化させる方策がとられている。そのような中で、CO₂を吸いこみカーボンネガティブとなる環境配慮型コンクリートも開発されており、コンクリート製品を中心として実用化²⁾も進んでいる。



はしもと まさゆき / HASHIMOTO Masayuki
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 セメント化学チーム



こばやし かずき / KOBAYASHI Kazuki
同上



おうぎ よしふみ / OHGI Yoshifumi
同上



ほそかわ よしふみ / HOSOKAWA Yoshifumi
同上
セメント化学チームリーダー 博士(工学)

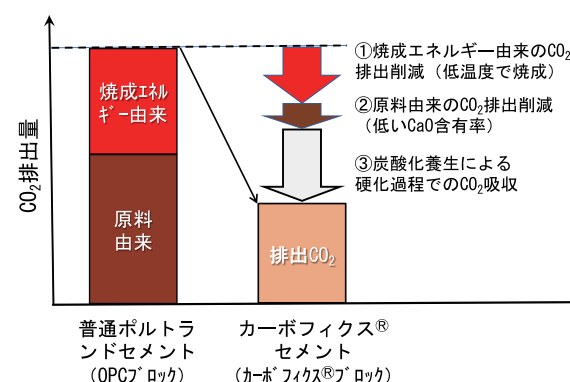


図1 カーボフィクス[®]セメントのCO₂排出量削減の概略図

当社では、CO₂を吸収しコンクリートに固定化させることができるCO₂吸収・硬化セメントである『カーボフィクス[®]セメント』をこのたび開発した。カーボフィクス[®]セメントは、CO₂と化学反応して硬化する特徴を持ち、CO₂排出量の抑制と廃棄物活用を両立した材料である。現行の普通ポルトランドセメントよりもCaO含有率が低く、より低温度で焼成できる低炭素型のセメントであり、炭酸化養生との組み合わせにより、通常のコンクリートよりも大幅にCO₂排出量の削減が可能となる。図1に、カーボフィクス[®]セメントのCO₂排出量削減の概略図を示す。

本稿では、この『カーボフィクス[®]セメント』の概要を解説し、コンクリート製品への適用事例について紹介する。

2. 開発の経緯

当社では、2050年におけるカーボンニュートラルに向

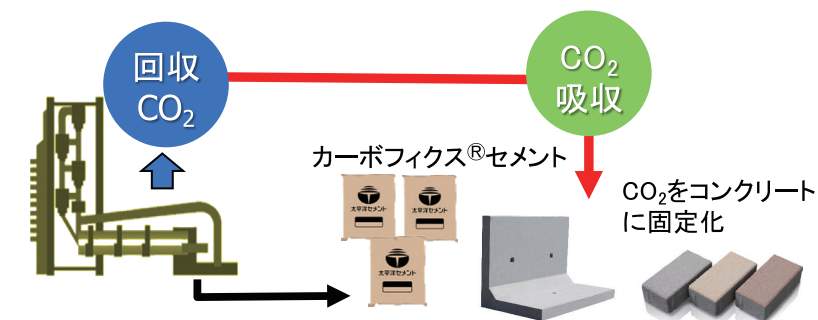


図2 回収CO₂のコンクリート製品への適用

表1 クリンカのモジュラス(例)

セメント種類	HM	SM	IM
カーボフィクス [®] セメント	1.29	2.57	2.08
普通ポルトランドセメント	2.11	2.60	1.71

けた革新技術によるCO₂削減の施策として、セメントキルン排ガスからCO₂を分離・回収する技術開発^{3,4)}を行っている。並行して、その後回収したCO₂を新たに資源として活用する「カーボンリサイクル」(CCU: Carbon dioxide Capture and Utilization)に関わる技術開発にも着手している。具体的には、廃コンクリートを活用し、炭酸塩(CaCO₃)の形で回収CO₂を固定化し、セメント原料として再利用する技術⁵⁾、コンクリートスラッジ、生コンクリートおよびコンクリート二次製品への回収CO₂の固定化の技術開発⁶⁻⁹⁾である。その中で、カーボフィクス[®]セメントは、将来回収されるCO₂をコンクリートに固定化させるため、当社CCU技術の一環として開発に着手したセメントである(図2)。

3. カーボフィクス[®]セメントの概要

3-1. 特徴

カーボフィクス[®]セメント(CARBOFIX[®]CEMENT)は、Carbon dioxideとFixを略した二酸化炭素を固定するセメントとして名付けた。その名のとおり、CO₂を固定化する性質を有しており、CO₂を充填した密閉槽内でコンクリート製品を養生することにより、CO₂と化学反応して硬化する。すなわち、セメントキルン排ガスから分離・回収したCO₂を使用することで、セメント製造時に発生するCO₂をコンクリート中に固定化させ、CO₂を

資源ととらえ再利用する「カーボンリサイクル」の一翼を担ったセメントである。

カーボフィクス[®]セメントは、コンクリートとして使用されることを想定して、CO₂の排出量に対する削減効果が最大化するように設計した。すなわち、CO₂吸収の側面だけでなく、製造時に排出されるCO₂量の削減まで考慮したものである。後者に関し、カーボフィクス[®]セメントは、普通ポルトランドセメントと比べてCaO含有率が低く、クリンカーの焼成温度を1450℃から約100℃低減できる特長を有する。このことから、製造時の脱炭酸およびエネルギー消費に伴うCO₂排出量を大幅に削減でき、これまで当社が蓄積してきたクリンカー焼成技術を応用してできたセメントである。さらに、これまで以上に廃棄物の活用も可能な設計としており、「カーボンリサイクル」への貢献のみならず、循環型社会へ広く貢献する材料である。

3-2. 製造

カーボフィクス[®]セメントの基材クリンカは、普通ポルトランドセメントと同様の現有設備のロータリーキルンで製造可能であり、リサイクル材料を原料の一部として有効活用して製造するものである。そのカーボフィクス[®]セメントの主要基材クリンカのモジュラス(質量比: HM=CaO/(SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃), SM=SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃), IM=Al₂O₃/Fe₂O₃)を表1に示す。表では普通ポルトラン

表2 CO₂吸収型コンクリートと一般的なコンクリートの違い

項目	CO ₂ 吸収型コンクリート	一般的なコンクリート
セメント	カーボフィクス [®] セメント	ポルトランドセメント 混合セメントなど
硬化反応	CO ₂ による炭酸化反応	セメントと水の水和反応
養生方法	高濃度のCO ₂ 養生	水中養生、気中養生
養生装置	炭酸化養生装置が必要	不要



写真1 炭酸化養生したILブロック外観写真
[カーボフィクス[®]セメント使用]

ドセメント用クリンカのモジュラスも記載した。カーボフィクス[®]セメントの主要基材クリンカは、CaOの量が少なくかつ廃棄物をクリンカ原料として使用できるように普通ポルトランドセメント用クリンカよりもHMが低く、IMが高い組成としている。

カーボフィクス[®]セメントは、流し込み後のコンクリートが翌日に脱型ができるよう化学組成を調整した「一般用」が主要になるが、本稿で紹介するコンクリート製品には、開発初期に完成した「即脱製品用」のカーボフィクス[®]セメントを適用した。なお、この2種類のセメントの化学組成に大きな違いはない。

3-3. カーボフィクス[®]セメントを用いたCO₂吸収型コンクリートと一般的なコンクリートとの違い

カーボフィクス[®]セメントを使用したCO₂吸収型コンクリートと一般的なコンクリートの違いを表2に示す。カーボフィクス[®]セメントの特徴は、通常の水和反応による硬化ではなく、CO₂と化学反応して炭酸化によって硬化することである。炭酸化¹⁰⁾とは、CO₂が水に溶解して生成した炭酸イオン(CO₃²⁻)と、C-S-Hや水酸化カルシウム(CH)等の酸化カルシウム(CaO)を含むセメント水和物から供給されたCaイオンとが反応することで炭酸カ

ルシウムが固相として析出する反応である。カーボフィクス[®]セメントは、CO₂と積極的に反応し化学的に安定した炭酸カルシウムを生成し、その炭酸化反応によって、微細組織の緻密化を促すことにより、コンクリートの高強度・高耐久化を実現させる材料である。

4. カーボフィクス[®]セメントのコンクリート製品への適用事例

4-1. インターロッキングブロックへの適用

ここでは、コンクリート製品として写真1に示す即時脱型が可能な道路舗装用のインターロッキングブロック(以下、ILブロックと称す)を対象とし、「即脱製品用」のカーボフィクス[®]セメントを用いて炭酸化養生したILブロックの硬化性状およびCO₂削減効果を紹介する。ILブロックを対象物としたのは、①コンクリートが適度な空隙を有しているため、炭酸化が進行しやすく強度発現促進効果が期待できること、②無筋コンクリートのため炭酸化養生に伴うセメント硬化体中のpH低下により内部の鋼材が腐食¹¹⁾することが避けられること、③炭酸化養生が、美観上の悪影響要素であるエフロレッセンスの発生(道路舗装表面の色むらの原因)を防ぐ効果

表3 ILブロックの配合

ILブロック種類	セメント種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				SP (C×%)
				W	C	S	G	
カーボフィクス [®] ブロック	カーボフィクス [®] セメント	24.5	60	101	413	1180	822	0.1
OPCブロック	普通ポルトランドセメント	29.4	60	119	405	1154	804	0.1

表4 養生条件

ILブロック種類	温度(℃)	湿度(RH%)	CO ₂ 濃度(%)	期間(日)
カーボフィクス [®] ブロック	30	60	80	1, 3, 7
OPCブロック	外気温	湿潤	大気	



写真2 特殊中性化促進試験装置(室内試験)

があること、などがその理由である。

4-2. 室内試験

(1) 作製方法

表3に示す配合のコンクリートを練り混ぜた後、高振動加圧成型機にてILブロック(縦100mm×横200mm×厚さ80mm)を即脱成型した。成型後、結合材に普通ポルトランドセメントを使用したILブロック(OPCブロック)とカーボフィクス[®]セメントを使用したILブロック(カーボフィクス[®]ブロック)をそれぞれ表4に示す条件で養生した。なお、炭酸化養生におけるCO₂濃度では、将来的に炭酸化養生のCO₂源として工場排ガスからの高濃度回収CO₂ガスを再利用¹²⁾することを想定していることから、本検討ではCO₂濃度を80%とした。室内試験でのCO₂養生には写真2に示すマルイ社製の特殊中性化促進試験

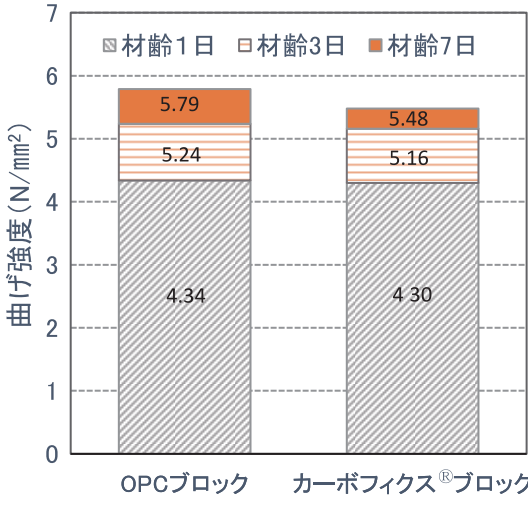


図3 ILブロックの曲げ強度

装置(型式：MIT-639-3-16)を用いた。

(2) 試験方法

材齢1日、3日および7日間炭酸化養生を行った後、JIS A 5371に準拠して曲げ強度試験を実施した。その後、ILブロックの破断面に1.0%フェノールフタレイン溶液を噴霧し炭酸化の状況を観察した。観察後のILブロックは、フェノールフタレイン溶液噴霧部を切除後、厚さ1cmほどの試験片を切り出し、真空乾燥器で乾燥後、粉碎した試料を用いて、HORIBA社製の炭素・硫黄分析装置(EMIA-Step)によって全炭素分析を実施した。CO₂固定量は、全炭素量として定量された値をCO₂量に換算して求めた。

(3) 室内試験結果

各養生期間後のILブロックの曲げ強度を図3に示

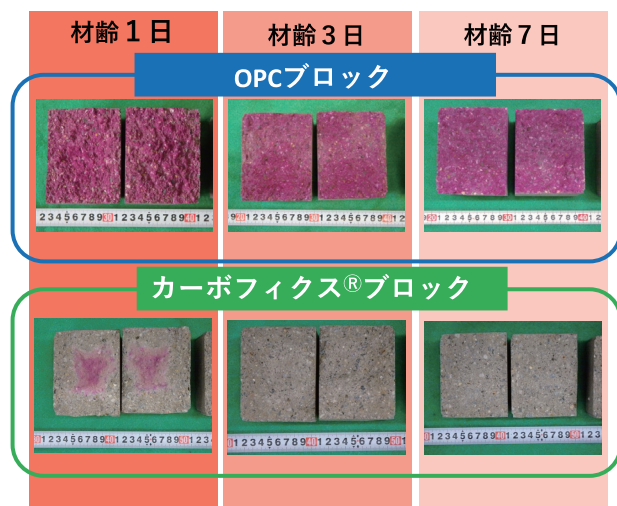


図4 ILブロックの炭酸化状況



写真4 実機製造ILブロックの敷設状況

す。カーボフィクス®ブロックの曲げ強度は炭酸化養生の材齢の進行に伴い増進し、いずれの材齢においても湿潤養生したOPCブロックの曲げ強度とほぼ同等の値となった。特に、材齢7日におけるカーボフィクス®ブロックの曲げ強度は、JIS A 5371の車道用ILブロックのJIS規格値である曲げ強度 $\geq 5\text{N/mm}^2$ を満たす結果が得られた。

ILブロックの炭酸化状況を図4に示す。炭酸化状況の観察では、材齢7日のカーボフィクス®ブロックの破断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧してもほとんど呈色せず、カーボフィクス®ブロックの炭酸化養生では、ブロック内部までほぼ炭酸化が進行したものと判断された。炭素分析の結果、カーボフィクス®ブロックのCO₂固定量は80kg/m³(図1③)となった。JIS R 0303を参考に求めたカーボフィクス®セメント製造時のCO₂排出量原単位から、カーボフィクス®ブロック1m³製造時における



写真3 大型炭酸化養生装置(実機設備)

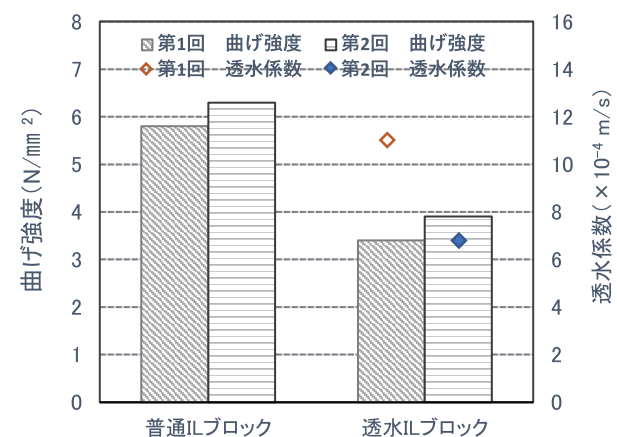


図5 実機製造ILブロックの曲げ強度および透水試験結果

セメント起因のCO₂排出量を算出した。さらにOPCブロック1m³製造時におけるセメント起因のCO₂排出量に対するCO₂排出削減量を計算した結果、97kg/m³(図1①+②)と算出された。したがって、製造時のCO₂排出削減量とCO₂固定量を合算したカーボフィクス®ブロックのCO₂排出削減量は177kg/m³(図1①+②+③)であり、これはOPCブロック製造時のCO₂排出量の約57%に相当する。

4-3. 実機設備による適用事例

カーボフィクス®セメントを使用した普通ILブロックおよび透水ILブロックの2種類のカーボフィクス®ブロックを対象に、実際のコンクリート製品工場の実生産ラインのミキサ、加圧振動成型機等を用いて製造した。養生は生産ラインとは別に、高濃度のCO₂環境で養生ができる大型炭酸化養生装置(写真3)を工場に新たに導入し、

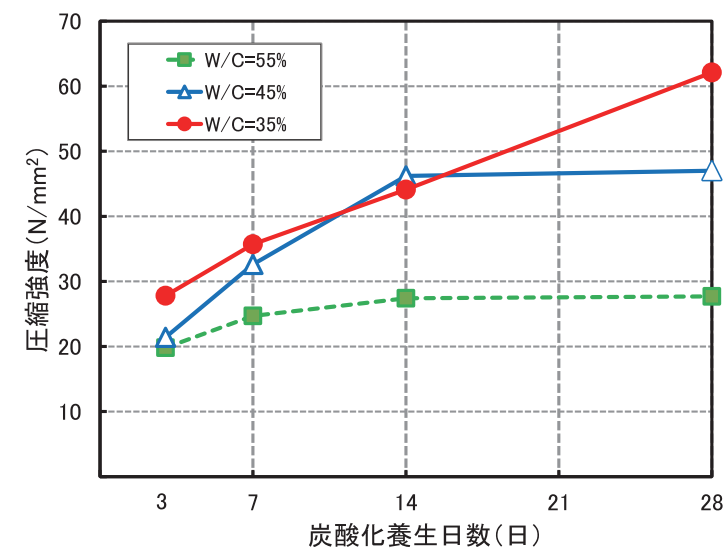


図6 カーボフィクス®セメントを使用したコンクリートの圧縮強度

炭酸化養生を実施した。装置の内容積は約10m³(奥行3.12m×幅1.52m×高さ2.13m)で、1回の養生で324個のILブロックを製造可能である。炭酸化養生は温度30℃、相対湿度80%およびCO₂濃度80%の条件にて6日間実施し、各ILブロックを製造した。製造したILブロックは当社セメント工場敷地内の駐車スペースに敷設した。敷設状況を写真4に示す。なお比較対象として市販品のILブロックも同スペースに併せて敷設した。

曲げ強度および透水試験の結果を図5に示す。普通ILブロック、透水ILブロックともに2回に分けて製造し、それぞれ約600個を製造した。普通ILブロックについて第1回、第2回の製造品の平均曲げ強度がそれぞれ5.8N/mm²、6.3N/mm²であり、車道用ILブロックの規格強度 $\geq 5.0\text{N/mm}^2$ を満足した。透水ILブロックの第1回製造品、第2回製造品の平均曲げ強度はそれぞれ3.4N/mm²、3.9N/mm²であり、JIS A 5371の歩道用ILブロックの規格強度 $\geq 3.0\text{N/mm}^2$ を満足した。また、透水係数は第1回製造品、第2回製造品についてそれぞれ11.4×10⁻⁴m/s、6.6×10⁻⁴m/sとなり、規格値である $\geq 1 \times 10^{-4}\text{m/s}$ を満たす結果となった。供用後の舗装の調査においても、特に問題がないことが確認できた。

炭素分析の結果、カーボフィクス®セメント1tあたりのCO₂固定量は、普通ILブロックおよび透水ILブロッ

クのそれぞれに対し243kg/t-cem., 236kg/t-cem.(図1③)となった。カーボフィクス®セメントの製造時のCO₂排出削減量(ポルトランドセメント比)とCO₂固定量を合算したカーボフィクス®セメントのCO₂排出削減量は、普通ILブロックで508kg/t-cem., 透水ILブロックで501kg/t-cem.(図1①+②+③)となり、普通ポルトランドセメント製造時のCO₂排出量に対して約61%削減できることが確認された。

5. カーボフィクス®セメントを使用したコンクリートの圧縮強度

「一般用」のカーボフィクス®セメントを使用して、水セメント比が35%、45%および55%のコンクリートを練混ぜた。コンクリートのスランブは12±2.5cmに、空気量は4.5±1.5%に調整し、練混ぜ後は、φ100×200mmの軽量モールドに流し込み、20℃環境下に静置して24時間後に脱型した。その後、特殊中性化促進試験装置(写真2)にて、温度30℃、相対湿度60%、CO₂濃度80%の環境下で炭酸化養生日数3日、7日、14日および28日まで炭酸化養生を行い、養生後JIS A 1108に準拠し圧縮強度試験を行った。

カーボフィクス®セメントを使用したコンクリートの圧縮強度を図6に示す。炭酸化養生日数28日の圧縮強度

に着目すると、W/C=35%のコンクリートで62.1N/mm²の圧縮強度が得られた。一方、W/C=45%で47.0N/mm²、W/C=55%で27.7N/mm²の圧縮強度であった。W/C=45%および55%のコンクリートでは、14日の時点でφ100×200mm試験体の全面が炭酸化したことから、14日以降での圧縮強度はほぼ一定となった。

6. おわりに

カーボフィクス[®]セメントは、セメント工場のキルン廃ガスから回収されるCO₂をコンクリートに固定化させるCCU技術の一環として開発した。このセメントを用いたコンクリートは、高濃度のCO₂と接触させる炭酸化養生によりCO₂を吸収・固定化できるだけでなく、セメント製造時に排出されるCO₂量の低減まで考慮したものである。このため、カーボフィクス[®]セメントを使用したコンクリートのCO₂排出量は、従来のセメントを用いた場合に比べて大幅に削減が可能である。カーボフィクス[®]セメントの今後の実用化を見据えると、新たな装置の導入やCO₂供給に関わるインフラ整備等が必要になる課題もあるが、脱炭素社会を背景に今後の普及拡大が期待される。

現状、カーボフィクス[®]セメントの適用先については、炭酸化反応によって中性化したコンクリート中の鉄筋が腐食する懸念があることから、ILブロックといった無筋プレキャストコンクリート製品に限定される。来るべき2050年のカーボンニュートラル社会実現のためには、CO₂吸収型コンクリートをより市場の大きい現場打ちコンクリートや鉄筋コンクリートなどへ適用先を広げていく必要がある。そのためにも、打設現場でのCO₂養生方法や炭酸化による鉄筋腐食防止技術など、今後も研究開発を推進していく必要があると考えている。

さらなるカーボンニュートラル化の取り組みとしては、従来の石灰石原料に替えて、脱炭酸によるCO₂排出を伴わない廃棄系Ca原料等を用いてカーボフィクス[®]セメントの試製造を検討している。セメント製造時の原料由来のCO₂排出量を大幅に削減でき、炭酸化養生によ

るCO₂固定の組合せによってカーボフィクス[®]セメントのCO₂排出量ゼロを可能とする。本技術の確立が将来のカーボンニュートラル社会の実現に向けた一助になると期待している。

【謝辞】 実機設備による適用事例の成果については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP20013)の結果により得られたものです。

【参考文献】

- 1) 経済産業省／2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略、2021.6.18
- 2) 取達剛，森泰一郎，河内友一，藤本昭宏／CO₂固定型カーボンネガティブコンクリートCO₂-SUICOMの開発と今後の展開，セメント・コンクリートNo.900，2022
- 3) 星野清一，平尾宙，林康太朗，野村幸治，上野直樹／2050年カーボンニュートラルに向けた取り組み／太平洋セメント，セメント・コンクリートNo.900，2022
- 4) 中村充志，千葉裕巳，一坪幸輝，上野直樹／炭素循環型セメント製造技術の開発(その1)化学吸収法によるセメント排ガスからのCO₂分離・回収技術の開発，第76回セメント技術大会講演要旨集，2022
- 5) 瀧澤洸，杉澤建，一坪幸輝，大和田秀二／炭素循環型セメント製造技術の開発(その3)廃コンクリートからのセメント原料回収技術の開発，第76回セメント技術大会講演要旨集，2022
- 6) LE THITHIENLY，井川義貴，桐野裕介，兵頭彦次／炭素循環型セメント製造技術の開発(その4)生コンスラッジの湿式炭酸化とその反応メカニズムに関する検討，第76回セメント技術大会講演要旨集，2022
- 7) 佐々木幸一，阿武稔也，田場弘道，早 隆之／炭素循環型セメント製造技術の開発(その5)生コンクリートへのCO₂固定化技術の開発，第76回セメント技術大会講演要旨集，2022
- 8) 小林和揮，橋本真幸，細川佳史，一坪幸輝／炭素循環型セメント製造技術の開発(その7)低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発，第76回セメント技術大会講演要旨集，2022
- 9) K Kobayashi, T Baba, M Hashimoto, Y Hosokawa and K Ichitsubo / Carbonation - cured Concrete , INTERNATIONAL CEMENT REVIEW, pp.40～41 , MARCH 2022
- 10) 兵頭彦次，星野清一，平尾宙，野村幸治／炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定，太平洋セメント研究報告 第179号，2020
- 11) (社)日本コンクリート工学協会／炭酸化研究委員会報告書，コンクリートの炭酸化に関する研究の状況1993年
- 12) 太平洋セメント(株)／セメントキルン排ガスを対象として，国内春のCO₂分離・回収試験を実施，太平洋セメントニューズレター，2018-12-25.

お知らせ

第37回(2023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(2022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。

2022年9月1日(木)～11月18日(金)必着

※ 期日を過ぎて到着したものは受け付けません。

研究奨励金審査委員会により審査

2023年3月下旬 ※ 申請者へ結果を通知

2023年4月以降 ※ 全額一括支給

※ 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。

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

第50回(2022年度)セメント協会論文賞の 選考経過と推薦理由

セメント協会論文賞選考委員会 委員長 橋高 義典



セメント協会論文賞選考委員会は、2021年12月から2022年2月にかけて3回の委員会を開催し、慎重に論文賞の選考を行いました。

本選考委員会は、「セメント・コンクリート論文集」Vol.74(2020年度)およびVol.75(2021年度)に掲載された論文のうち、すでに受賞した論文を除いた116編の中から、学術的・実用的価値が高く、かつ独創的・先端的研究であると認められた2件を論文賞候補としてセメント協会に推薦いたしましたところ、2022年3月度理事会で承認され、第50回セメント協会論文賞が授与されることになりました。

論文賞の表彰式は本年5月18～20日にかけて赤坂インターシティ AIRで開催された第76回セメント技術大会の2日目席上にて、不死原会長から受賞者各位に賞状および賞牌が授与されました(本誌No.905, 2022年7月号, p.25)。

以下に、受賞論文2件の推薦理由を紹介します。なお、本選考委員会は以下に示す15名の委員で構成されています。

セメント協会論文賞選考委員会(敬称略)

委員長	橋高 義典	東京都立大学			
副委員長	三五 弘之	日本大学			
委員	福田功一郎	名古屋工業大学	委員	濱 幸雄	室蘭工業大学
委員	新 大軌	島根大学	委員	山田 義智	琉球大学
委員	宮川 豊章	京都大学	委員	加藤 弘義	(株)トクヤマ
委員	宮澤 伸吾	足利大学	委員	森 泰一郎	デンカ(株)
委員	河合 研至	広島大学	委員	小田部裕一	住友大阪セメント(株)
委員	久田 真	東北大学	委員	五十嵐浩行	宇部興産(株)
委員	野口 貴文	東京大学			

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

東京工業大学／梅津 真見子 太平洋セメント(株)／黒川 大亮
デンカ(株)／森 泰一郎 東京工業大学／坂井 悦郎

政府のカーボンニュートラル宣言を受け、セメント・コンクリート分野でもサプライチェーン全体を通じたCO₂排出量の削減が求められている。従来より提案されてきたセメント中のクリンカー含有量低減に加え、新たにコンクリート製造時、または供用過程での炭酸化を通じたCO₂固定化も注目され始めている。しかし、特に供用過程を想定した低CO₂濃度下において、炭酸化によるセメント硬化体の相組成変化を検討した事例は少ない。

本研究では、20℃、相対湿度60%、CO₂濃度5%の促進炭酸化におけるセメント硬化体のCO₂吸収量と生成物の組成変化について検討を加えている。実験では、普通、中庸熱、そして低熱セメントからなる各セメント硬化体を所定材齢の間に炭酸化させた後、炭酸化部と未炭酸化部のそれぞれについて、エーライトとビーライトの反応率、生成物、そしてCO₂吸収量を分析・解析している。加えてSEM-EDSによる微細組織の組成分析を通じて、Si/Ca比とAl/Ca比からゲル状水和物の組成推定が試みられている。

一連の試験結果として、炭酸化を受けた硬化体は、セメント種類によらず、カルサイト、バテライト、そしてSiを主とするゲル状水和物の生成を通じてCO₂を固定化することなどを明らかにしている。この時、生成するゲル状水和物のSi/Ca比は大きく、かつ広く分布しており、普通セメントに比べてSO₃/Al₂O₃比が高い中庸熱セメントと低熱セメントでは、このゲル状水和物とSO₃成分の反応よりAFtが再生成することが推定されている。そして、固体燃焼式炭素量測定法熱重量分析(TC)法より求まるCO₂吸収量は、熱重量分析(TG)法より炭酸カル



梅津氏



黒川氏



森氏



坂井氏

シウム由来として同定されたCO₂量よりも大きくなる傾向を示し、その10～20%が炭酸カルシウム以外の水和物や未水和セメントに固定化されていることについても言及している。

本研究の成果は、ポルトランドセメントの種類によって、炭酸化による水和物の変化が異なることを示した点が評価される。特に実用面では、低CO₂濃度下でのセメント・コンクリートによるCO₂固定化に関する理論的な根拠としての活用が期待される。一方、従来用いられてきたTG法ではCO₂吸収量が過小評価されることが示され、新たに提案されたTC法を通じてより信頼性の高いCO₂吸収量を測定できる点で実用的価値を認める。

よって本論文はセメント協会論文賞に該当する。

セメントおよび高炉セメント硬化体の乾湿繰り返しによる微細構造変化

セメント・コンクリート論文集 Vol.75 pp.181～187

室蘭工業大学／金 志訓 伊達市役所／山 寄 悠
北海道大学／北 垣 亮馬 室蘭工業大学／濱 幸雄

セメントはその水和過程でカルシウムシリケート水和物(C-S-H)を生成する。C-S-Hはセメント硬化体の物性に最も強く影響を及ぼす水和物であり、養生過程における温湿度変化の外的要因の影響を受けやすく、それに伴う構造変化は硬化体全体の空隙変化に影響を与えて物性を変化させる。

コンクリート構造物の凍害や中性化などの劣化には、コンクリートの細孔構造が大きな影響を及ぼすことが知られており、乾燥および乾湿環境下でセメント硬化体の毛細管空隙の粗大化によって耐久性が低下することが知られている。

本論文では、ポルトランドセメントのみから形成された硬化体とポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混入して形成された硬化体、すなわち、Ca/Siの異なるC-S-H、および異なるAl/Siからなる硬化体が、乾燥および乾湿繰り返しを受ける環境下でC-S-Hの鎖長および細孔構造といったミクロな組織の変化をNMRおよびMIPによって測定し、マクロな硬化体の性質の変化に結び付けようとしている。特に、C-S-H形成層であるC-S-Hレイヤー間の水分の移動から細孔構造の粗大化と再形成について探求している。

考察では、普通ポルトランドセメントのみで形成された硬化体では、乾燥により水和物間の気孔が大きくなり、毛細管細孔の増加と粗大化を誘発すること。また、乾湿繰り返しによる再湿潤において、C-S-Hレイヤーはある程度回復するが、毛細管細孔は回復しにくいとしている。また、高炉スラグ微粉末を混入した硬化体では、普通ポルトランドセメントと同様に乾燥により毛細



金氏



山寄氏



北垣氏



濱氏

管細孔の増加を確認できるが、その程度は普通ポルトランドの場合より小さく、乾湿繰り返しによる再湿潤では、水分が再供給されることでC-S-Hレイヤーはほぼ回復し、毛細管細孔の少量の回復が認められるとしている。

本研究の成果は、微細組織に生じる変化に基づき、コンクリート構造物の表面部に生じる劣化現象である凍害や中性化に及ぼす乾燥および乾湿繰り返しの影響の解明につなげたことである。さらに研究を進め、コンクリート構造物への微細組織の影響を明確にし、凍害・中性化を科学的にコントロールする理論を確立されることを期待したい。

よって本論文はセメント協会論文賞に該当する。

論文賞を受賞して

東京工業大学 梅津 真見子
太平洋セメント(株) 黒川 大亮
デンカ(株) 森 泰一郎
東京工業大学 坂井 悦郎

このたびは、論文「セメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化」に対して、第50回という歴史と名誉のあるセメント協会論文賞を賜りましたこと、大変光栄に存じます。ご推薦いただきましたセメント協会論文賞選考委員会の委員各位、ならびに(一社)セメント協会の関係各位に心より感謝申し上げます。

本論文は、2017～2021年度に開設されました東京工業大学次世代セメント材料共同研究講座の最終年に執筆したものです。また、本講座で同時期に研究を行っていました元東京工業大学の松澤一輝助教らによる「100PC化」の論文が第49回セメント協会論文賞を受賞し、本講座としましては2年連続の受賞となりました。大変名誉なことであり、重ねて御礼申し上げます。

セメントは製造時にCO₂を排出しますが、コンクリートの炭酸化から空気中の二酸化炭素を吸収するため、これを加味すると、供用時と最終段階までにCO₂吸収が23%程度になるとの報告もあります。しかし、セメント硬化体のCO₂固定量や生成物の組成などを検討した例は少なく、ライフサイクルを考慮したコンクリート構造物や廃棄物のCO₂固定量と関連して、セメント硬化体の炭酸化メカニズムやCO₂固定量について再整理する必要があります。そこで、筆者らは、温度20℃、相対湿度60%、CO₂濃度5%の促進炭酸化養生を行い、普通(N)、中庸熱(MPC)および低熱(LHC)ポルトランドセメント(PC)硬化体の水和生成物の組成変化とCO₂

固定量について検討しました。

水和したPC硬化体のC-S-HのCa/Si比は、N、MPCおよびLHCで1.65、1.63および1.57であり、炭酸化反応後、カルサイトとバテライトおよびSi/Ca比が広く分布したSi主体のゲル状水和物が生成されたことがわかりました。カルシウムアルミネート系水和物に関しては、SO₃/Al₂O₃比がNより大きいLHCやMPCでは、炭酸化によりAFtが分解しても、生成したゲル状水和物とSO₃成分との反応からAFtが再度生成したと解釈しました。さらに、PC中のビーライトの反応は炭酸化により促進されたと考えられます。

また、筆者らはセメント硬化体のCO₂固定量を正確に把握するため、固体燃焼式炭素量測定装置から全CO₂固定量を、熱重量分析から炭酸カルシウムによるCO₂固定量を、それらの差分からゲル状水和物によるCO₂固定量を算出する試みを行いました。この結果、すべてのPC硬化体において、全CO₂固定量は炭酸カルシウムとして固定されたCO₂量より大きな値を示し、硬化体の質量の10～20 mass%程度が炭酸カルシウム以外の化合物としてゲル状水和物中に固定化されていることを明らかにしました。今後、炭酸カルシウムだけでなく、ゲル状水和物に固定化されたCO₂を考慮することで、より信頼性の高いコンクリート構造物や廃棄物におけるCO₂固定能の評価に繋がることを期待しています。

本論文は東京工業大学、太平洋セメント(株)、デンカ(株)による共同研究講座の成果をまとめたものであり、関係者の方々に深く感謝いたします。また、東京工業大学の宮内雅浩教授、山口晃助教、高橋茂助教には、実験方法や論文内容について多くのご助言とご協力を賜りました。この場をお借りして心より御礼申し上げます。

(梅津 真見子)

室蘭工業大学

伊達市役所

北海道大学

室蘭工業大学

金 志訓

山 寄 悠

北垣 亮馬

濱 幸雄

このたびは、著者らの論文「セメントおよび高炉セメント硬化体の乾湿繰り返しによる微細構造変化」に対し、栄誉あるセメント協会論文賞を賜り、誠に光栄の至りです。まず、本論文の査読してくださいました先生方より、貴重なご指摘をいただいたことで、論文の完成度を上げることができたと感じております。この場をお借りして感謝申し上げます。さらに、ご推薦いただきましたセメント協会論文賞選考委員会の委員各位、ならびにセメント協会の関係各位に感謝申し上げます。

この研究は、室蘭工業大学の濱幸雄教授の研究室で行われてきた研究をスターティングポイントとして、新しい観測方法・分析方法を用いて新しい視点からアプローチしたものです。また、共同著者である山寄氏が室蘭工業大学4年生在学中に行った研究の一部であり、卒業論文に含まれたデータに基づいて、私が追加的な分析と考察を行った論文です。学部4年生の研究として、限られている時間で様々な測定および観測を行い、難しいところが多かったと思いますが、最後まで頑張っていたいただいたおかげで、セメント協会の論文賞受賞まで辿り着くことができたと思います。

本論文は、「セメント水和物は、複雑な相互作用によって生成され、その微細構造は継続的に変化して行く。」という文章から始まります。セメントの歴史は100年

を超えており、現在までも世界的に多くの研究者たちがその微細構造に関する研究を行っておりますが、いまだ未知の領域が存在していると思っております。また、最近は脱炭素を始め、環境負荷低減を目指して産業副産物を用いたセメント系材料への要求も増えており、その未知の領域もますます広がっております。さらに、セメントの微細分析に活用される装置に対しても、日ごとに新しい開発や発展が行われており、それに合わせた新しい観点からの考察も必要になり、私たち研究者の役割も増えていると思います。このような状況で、本研究は厳しい乾燥および乾湿繰り返し環境下での普通ポルトランドセメント硬化体と高炉セメント硬化体の微細構造変化挙動に注目しております。このような試験体を用いた変化挙動において、現在も多くの研究が行われておりますが、その巨視的な変化に対応する微視的な領域の観測、すなわち水分の移動挙動を観測して考察したのが、本研究の特徴だと考えております。

最後に、この論文の共同著者である北垣亮馬教授には、博士課程から現在まで、研究に向き合う姿勢や視点に多くのご指導をいただいております。いつも感謝の気持ちを持っています。また、共同著者である濱幸雄教授には、研究の方向性や学生指導に関して多くのご指導をいただいております。本研究においても、濱研究室で行われた研究を背景として、私の分析方法を繋げる方向性を提案してくださることで良い研究ができたと考えております。私はまだ研究者として不足なところが大変多い者ですが、今回の受賞に安住せず、これからも社会に貢献できる研究を行いたいと思います。

(金 志訓)

お知らせ

複写についてのお願い

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

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

HOT NEWS

第76回セメント技術大会／優秀講演者決まる

セメント協会は、第76回セメント技術大会(2022年5月18～20日)で優秀な講演を行った15名の講演者を表彰した。

2002年から行っている本表彰は、大会全体の活性化と若手研究者・技術者(35歳以下)の研究奨励を目的としており、①講演要旨の分かりやすさ、②プレゼン資料の表現、③発表の方法、④発表時間の分配の適切さ、⑤発表時間、⑥質問に対する回答の適切さ、⑦発表態度、⑧研究内容のレベル、について審査を行い、特に優秀と認められた講演者に対し授与している。今年度は選考対象97名のうち、表に示した15名を優秀講演者とし、表彰状と記念品を授与した。

講演番号	講演者 (敬称略)	所 属	講演題目
1102	梅木 翔太	名古屋大学	k-means クラスタ分析を用いたフライアッシュ反応率の定量手法の開発
1118	鈴木 一帆	新潟大学大学院	A1 が水和時の高 Ca/Si 比 C-S-H の構造と再生サイクルに及ぼす影響
1203	原田 奏也	UBE 三菱セメント株式会社	アルカリ刺激材とせっこうの配合量を変えたスラグ高含有セメントの反応性に及ぼす亜硝酸カルシウム併用の効果
1304	橋本 涼太	熊本大学大学院	高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの曲げ応力下におけるひび割れ抵抗性に関する研究
1316	田中 将平	UBE 三菱セメント株式会社	早期交通開放型コンクリート舗装のスリップフォーム工法への適用性の配合検討
2104	七尾 舞	太平洋セメント株式会社	炭素循環型セメント製造技術の開発 (その 2) 廃コンクリートへの CO ₂ 固定化技術の開発
2303	橋田 美知花	群馬大学	火害を受けた Jute 繊維混入型 PC はりの耐荷性能の評価
3103	湯屋 蓮	芝浦工業大学大学院	複数の改質方法による低品質再生骨材コンクリートの強度や耐久性発現メカニズムの検討
3113	吉田 亮佑	島根大学	炭酸ナトリウムと亜硝酸カルシウムを併用した高炉スラグの水和反応解析
3116	多田 真人	太平洋セメント株式会社	低温環境下におけるモルタルの初期強度発現性に及ぼすアルミネート結晶の大きさと含有量の影響
3118	目黒 貴史	太平洋セメント株式会社	ガラス粉を混和材として用いたモルタルの強度特性および ASR 膨張抑制効果に関する検討
3207	比嘉 龍一	琉球大学大学院	機械学習を用いた高流動コンクリートの材料分離抵抗性の予測
3304	近藤 祥太	新潟大学大学院	煅焼アロフェンをを用いた新たなセメント系材料の設計に関する検討
3311	佐藤 賢之介	山梨大学大学院	ASR 生成物の形成挙動における影響要因に関する検討
3314	後藤 悠太	群馬大学	高温環境下におけるポリマーセメントモルタルで補修された RC はりの爆裂性状評価

近況報告～復興の街で

木村 整

セメント新聞社を退社して1年超、故郷の宮城県女川町に戻って10カ月近くが経過した。37年ぶりに故郷での生活を始めたが、当初は天気予報を見ると、東京の天気がまず気になったものだ。それが宮城県の天気が目が行くようになったのはいつ頃のことだったか。この冬の寒さ、雪の多さは上京する以前の18年間には記憶にないものであった。それが天気予報の見方に変化をもたらしたのかもしれない。

寒さとともに3月16日には大きな地震にも遭遇した。一晩中、津波注意報が発令され眠れない夜を過ごした。現在、住んでいるところは12年前の大震災でも無事だったところで、しかも部屋は2階。とはいえ、あの震災で大きな被害が発生した地での大きな地震は自分でも予想していないほど、恐怖を感じさせるものだった。山が近いせいか、地震の前には何とも不気味な地鳴りが聞こえる。それがまた恐怖心を増幅させた。

一方、日常の生活は高校時代に帰ったような毎日となっている。石巻市の日和山にある職場には列車で通い、母校である石巻高校の前を歩いていく。毎朝、坂道を歩くおかげで、腹囲はいくらか細くなった。昨年秋には、

赤とんぼの群れに遭遇し、中学・高校時代の部活を思い出した。

この坂道の思い出といえば、高校に入ってから、朝昼放課後に校歌・応援歌の練習があり、毎朝、上級生の指示で駅から高校まで走らされたことだ。商業高校との定期戦に備えてのことで、昼休みの練習時間を十分に確保するために早弁をするようにも言われた。男女共学となった現在も定期戦は続いている。あの練習はどうなったか……。

女川駅は石巻線の終着駅。朝夕でも1時間に1本しか走らないため、高校時代には毎朝乗る列車が同じで、座席も決まっていた。職場から帰る列車には多くの高校生が乗り合わせる。その高校生たちは、私が高校生時代の友人たちと比べると非常におとなしい。しかしそれが良いことなのかどうか。

この地域では震災もあって、ひとり親という世帯が少なくない。子どもたちから気をつかうことに慣れてしまっていて、それが外見적으로는おとなしいと見えているのかもしれない。

震災から11年が経過し、ハード面の復興はかなり進んだ。とくに女川駅周辺は土木学会のデザイン賞を受賞するなど、復興のモデル的存在となっている。いまでも休日には多く

の観光客が訪れる。ただ、今年5月に宮城県が発表した新たな津波浸水被害想定では、新設した町役場まで津波が到達する可能性があるとされている。いまさら建て直すわけにもいかず、いかに逃げるかを常に考えておかねばならなくなった。

平日は実に静かな町だ。過疎化と高齢化が進展している。かつてはさんまの町として栄えたが、近年のさんまの不漁も大きな影をおとしている。

隣の石巻市は東北地方でも人口流出がトップクラス。震災以前に市町村合併で面積が広がり、震災では津波によって大きな被害が出た地区と、ハード面での被害が小さかった地区を抱え、復興のかじ取りが難しかったと思われる。石巻駅周辺は、甚大な被害を受けた女川駅とは異なるため大規模な復興事業が行いにくかったようだ。

ハードよりも難しいのがソフト面での復興だろう。人口減少、高齢化、ひとり親世帯、老々介護、就労場所が少ないなど、女川町や石巻市が抱える課題は東北地区全体で共通といえる。この地方の最大の懸案は震災の記憶の風化とみられる。人々の関心が薄れたとき、いま以上に人口流出・過疎化が進展するだろう。市や町そのものが無くなってしまうかもしれない。

石巻市周辺では多くのNPO法人が活動している。行政では手が届かない面が多いからともいえる。しかしNPO法人が運営の拠り所としている助成金・補助金は震災から10年



以上経過し、なくなるものが多い。寄付、とくに企業の支援に期待したいところだが……。

新型コロナから逃げ出すように東京を離れ、故郷に戻ったものの、厳しい現状を目の当たりにしている。多くの地方都市がこうした現状にあるのだろう。50代半ばが「若い人」と呼ばれるようでは、これからどうなっていくのだろうか。身の丈に合った、息長く続けられる取り組みが重要だと感じている。

〔きむら ひとし／NPO法人職員〕

戻りコンクリートを再利用した コンクリート(エコクリートR³)の適用事例

The Application example of The Eco-CreteR³ which Concrete
made by reusing The Waste Concrete

巴 史郎 閑田 徹志 百瀬 晴基 石関 浩輔

1. はじめに

レディーミクストコンクリート(以下、生コンと称す)のうち建設現場で使われなかったものは、出荷量の1～2%に及ぶといわれており¹⁾、使用されなかったアジテータ車に残ったコンクリートは残コン、荷降ろしされずにプラントへ戻されたコンクリートを戻りコンと呼んでいる(以下、総称して戻りコンと呼ぶ)。

プラントでは戻りコンから砂利や砂を回収し(写真1)、残ったセメント分は脱水してスラッジケーキとし(写真2)、そのほとんどが産業廃棄物として処分されている。主成分がセメントのスラッジケーキの廃棄は、製造時のCO₂排出量の多いセメントを十分に活用していないと考えられるため、戻りコンの縮減は大きな課題となっている。



写真1 骨材回収



写真2 スラッジケーキ

この課題を解決するため、著者らは戻りコンを原料とする混和材「CemR³」(セムアールスリー)とそれを使用したコンクリート「エコクリートR³」²⁾を開発した。

2. 環境配慮型コンクリート

表1に当社の主な環境配慮型コンクリートの一覧を示す。それぞれのコンクリートには適した用途があり、適材適所で組み合わせて使用することで、建物全体

表1 鹿島の環境配慮型コンクリート一覧

環境配慮型コンクリートの種類	適用部位	高炉スラグ含有率(%)	適用コスト	CO ₂ 排出量削減率
エコクリートR ³ 高含有タイプ	PCa	0～65	一般的コンクリートの3～5倍	90%
エコクリートR ³ 低含有タイプ	生コン 地上躯体、PCa	0	一般的コンクリートとほぼ同等	20%
エコクリートBLS	地上躯体 (壁・スラブ)	20～30	膨張コンクリート 以下普通コン並み	25%
エコクリートKKC	地上躯体 (CFTコンクリート)	40～45	中庸熱コンクリート と同様	40%
エコクリートECM	地下躯体 (マスコンクリート)	60～70	中庸熱コンクリート 以下	65%
CO ₂ -SUICOM	主にPCa部材	0～40	一般的コンクリートの3～5倍	100%≦
再生骨材コンクリート	地上・地下躯体	—	—	— (省資源)

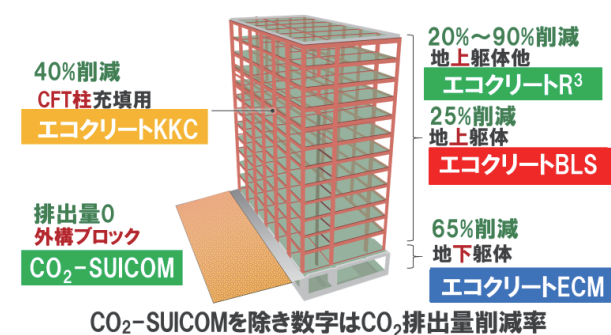


図1 環境配慮型コンクリートの適用箇所



図2 CemR³の製造工程

表2 エコクリートR³の種類

	CemR ³ 含有率	セメント使用量	高炉スラグ微粉末	フライアッシュ	配合例	用途	適用例	建設材料技術性能証明による制限
高含有タイプ	30%以上	10%以下	50%以下	10%	普通セメント 10% 高炉スラグ 30% CemR ³ 50% フライアッシュ 10%	PCa限定	PCa部材	Fc36N/mm ² 以下 柱・梁以外のPCa部材に限る
低含有タイプ	30%以下	70%以上	無し	無し	普通セメント 80% CemR ³ 20%	生コン・PCa	生コン	Fc36N/mm ² 以下

のCO₂排出量の削減が可能となる(図1)。

「エコクリート®」シリーズは高炉スラグなどでセメントを置換することでCO₂排出量を削減する。CO₂-SUICOMは、CO₂排出量の削減に加えてCO₂をコンクリートに固定することで、CO₂排出量ゼロ以下(削減率100%以上)を実現しており、現状では無筋のブロックを中心に適用されている。一方、エコクリートR³は、セメント分を再生利用する技術であり、高炉スラグ微粉末などに比較して、普通鉄筋が利用しやすい特徴をもっている。

3. エコクリートR³の概要

図2に混和材「CemR³」の製造工程を示す。このCemR³を用いたコンクリート「エコクリートR³」は表2に示す2タイプがあり、目的や用途によって使い分けることができる。低含有タイプは汎用性が高いことが大きな特徴であり、普通強度(Fc36N/mm²以下)のコンクリートが適用できるほとんどの用途に使用でき、同じ強度である同単位セメント量のコンクリートに比較して



ともえ しろう / TOMOE Shiro
鹿島建設(株) 技術研究所 上席研究員



かんだ てつし / KANDA Tetsushi
同上 副所長



ももせ はるき / MOMOSE Haruki
同上 上席研究員



いしぜき こうすけ / ISHIZEKI Kousuke
同上 主任研究員



写真3 附属棟打設状況



写真4 附属棟壁出来型



写真5 施工状況



写真6 建物外観の一部



写真7 施工状況



写真8 耐圧版打設後

CO₂排出量を20%程度削減することができる。

一方、高含有タイプはCemR³を用いてセメントの30～50%を置換し、加えて高炉スラグなどの副産物混和材を使用し、セメントの使用量を10%以下としたコンクリートである。セメントを置換しないコンクリートに比較し、CO₂排出量を最大90%削減することができる。

高含有タイプは、強度発現の遅い混和材が結合材の大部分を占めるため、強度を確認し出荷できるプレキャストコンクリート部材で適用することを基本としている。本稿では、エコクリートR³の適用事例を、生コンとプレキャストコンクリートに分けて報告する。

4. エコクリートR³低含有タイプ生コン

4-1. 物流施設への適用事例

本事例では、物流施設(神奈川県海老名市)の事務所棟の仮設コンクリートとなるレベルコンクリートに、低含有タイプの生コンを適用した。具体的には2016年10月～12月に、呼び強度18、スランプ15cmのコンクリートを約160m³適用した。

エコクリートR³の施工性は普通コンクリートと大差無く、良好な施工性が実現できた。

同じ物流施設の附属棟の躯体へ呼び強度27、スランプ15cmのエコクリートR³を適用した。これは2017年4月に、附属棟の基礎耐圧盤および壁、合わせて約140m³をエコクリートR³の低含有タイプで打設したものである。打設状況を写真3に示す。打設直後の

ひび割れもなく良好な施工を行うことができた。壁部は、密実なコンクリートを施工するため、薄い壁部材の締固めに適した細径の棒状バイブレータを用いて施工を行った。壁の出来形を写真4に示す。脱型後の躯体は、充填不良などなく、良好であることが確認できた。完成後の色合いも普通コンクリートと遜色ない結果となった。

4-2. 公共施設での適用事例

初めての大規模適用物件^{3,4)}となった公共施設の例を示す。前述の物流施設での良好な結果を受け、神奈川県藤沢市の公共施設の新築工事にエコクリートR³の適用を提案した。神奈川県内の戻りコンを原料とするため、地産地消の考え方でコンクリートの廃棄量を縮減できること、セメントを削減することで建設時のCO₂を削減できること、神奈川県内の企業が開発した技術の普及促進と地域の活性化に繋がること、適用に際し大きなコスト増がないことなどのメリットを市の関係者に説明し、建物躯体に計6000m³を使用する初の本格適用となった。

6000m³の使用により、工事期間中に藤沢市で発生する戻りコンの廃棄量を約600t、コンクリート製造時のCO₂排出量を普通コンクリートに比べ約480t³⁾削減し、建築物の環境性能評価(CASBEE)にも大きく寄与することができた。写真5に施工状況を、写真6に建物の正面ファサードのコンクリート部分を示す。建物の顔となるファサードの施工も良好な出来型となった。

表3 エコクリートR³の適用物件一覧

コンクリート	建物用途	所在地	コンクリート供給工場	適用時期	部位	適用数量(m ³)		呼び強度	圧縮強度比	標準偏差
低含有生コン	流通施設	神奈川県海老名市	神奈川県藤沢市	2016年～2017年	レベルコン付属棟(床壁)	300	160	18	1.81	1.89
							140	27	1.25	0.89
低含有生コン	公共施設	神奈川県藤沢市	神奈川県藤沢市	2017年～2018年	全躯体の約6割(地下・地上)	6000	800	30	1.43	2.66
							4200	33	1.44	3.2
							1000	36	1.49	2.95
							940	30	1.31	2.11
低含有生コン	生産施設	神奈川県藤沢市	神奈川県藤沢市	2018年	スラブ	1000	60	27	1.24	—
低含有生コン	流通施設	神奈川県川崎市	神奈川県川崎市	2019年	外構	150	940	30	1.31	2.11
							100	30	1.34	—
低含有生コン	オフィスビル	東京都品川区	東京都	2020年～2021年	地下躯体、地上躯体	1400	1000	33	1.27	2.36
							300	36	1.26	—
低含有生コン	発電施設	神奈川県川崎市	神奈川県川崎市	2021年	土間スラブ	20	20	27	1.34	—
高含有PCa	研究施設	東京都文京区	埼玉県本庄市	2018年	屋上設備基礎部材	2	2	36	1.49	—

圧縮強度比は呼び強度に対する材令28日標準養生圧縮強度との比

4-3. 都内オフィスビル

2020年9月から打設を行った都内のオフィスビルの物件で、地下・地上躯体に呼び強度30～36のエコクリートR³を神奈川以外で初適用した。写真7,8に地下の耐圧版の施工状況とコンクリート打設後の状況を示す。JISマーク付きのエコクリートR³を出荷できる体制を整えた都内のプラントで初の都内物件向けの出荷であり、施工結果も良好であった。ニーズの高い東京での適用

は、神奈川以外での出荷可能性を確認できたことに加え、全国的な展開の可能性を示唆する第一歩となった。低含有タイプの生コンは、表3に示す物件に適用され、その後着実に件数を増やしている。

4-4. 生コンプラントの拡大

エコクリートR³低含有タイプのJISマーク付き生コン出荷可能範囲を図3に示す。東京都の南西部および神



図3 JISマーク付エコクリートR³出荷可能範囲



写真9 積みブロック外観



写真10 模擬部材試験体

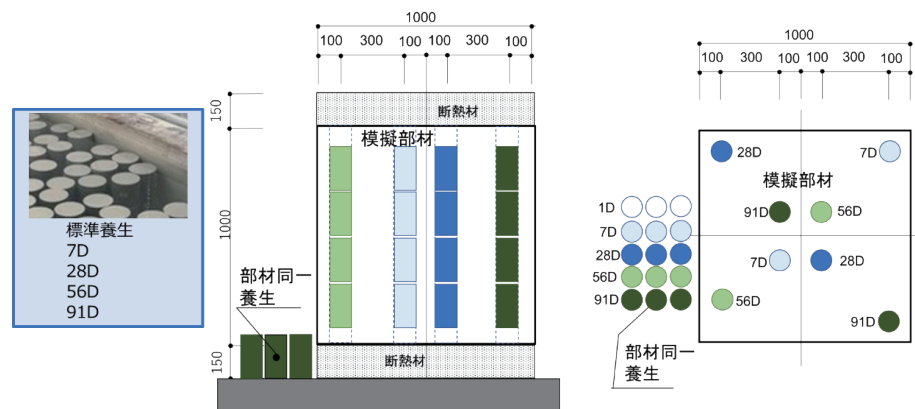


図4 強度確認試験概要

奈川県内の主要都市(横浜市, 川崎市, 藤沢市)のプラントでJISマーク付きの生コンが出荷可能である。

4-5. 低含有タイプのプレキャスト製品

低含有タイプエコクリートR³製の積みブロックを写真9に示す。積みブロックは神奈川県内の工場で、JIS製品の製造が可能である。

新たに適用範囲の拡大を目指して、建築用のプレキャスト部材への適用検討を進め、構造部材でよく用いられるFc60N/mm²までの強度確認実験を行った⁶⁾。実験は、夏期と標準期で行い、標準養生、部材同一養生(脱型時材齢16時間を含む)、模擬部材コア強度について材齢7, 28, 56, 91日で強度を確認した。図4に試験の概要を、写真10に模擬部材の外観を、

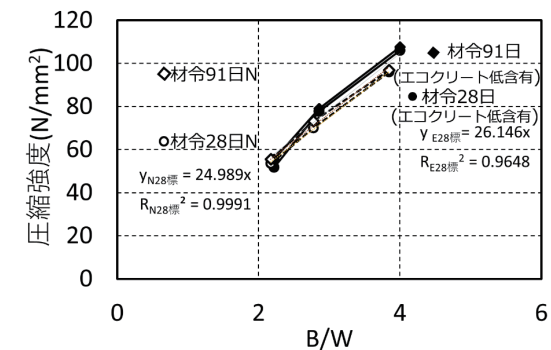


図5 標準養生強度圧縮試験結果(夏期)

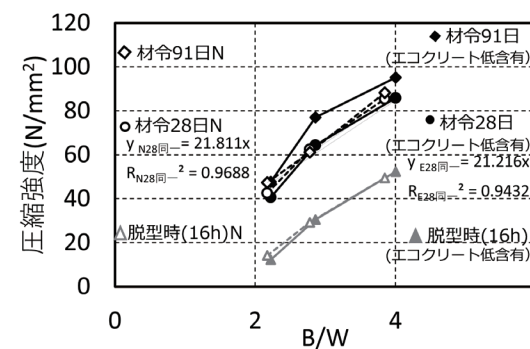


図6 部材同一養生圧縮強度試験結果(夏期)

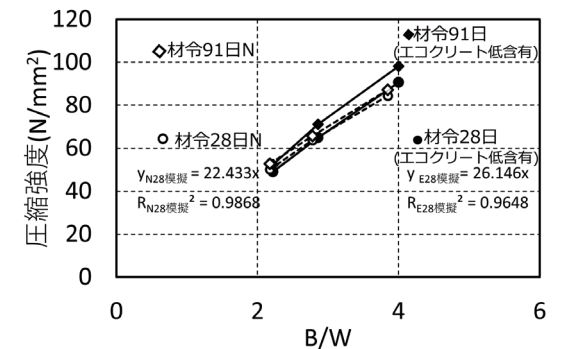


図7 模擬部材圧縮試験結果(夏期)

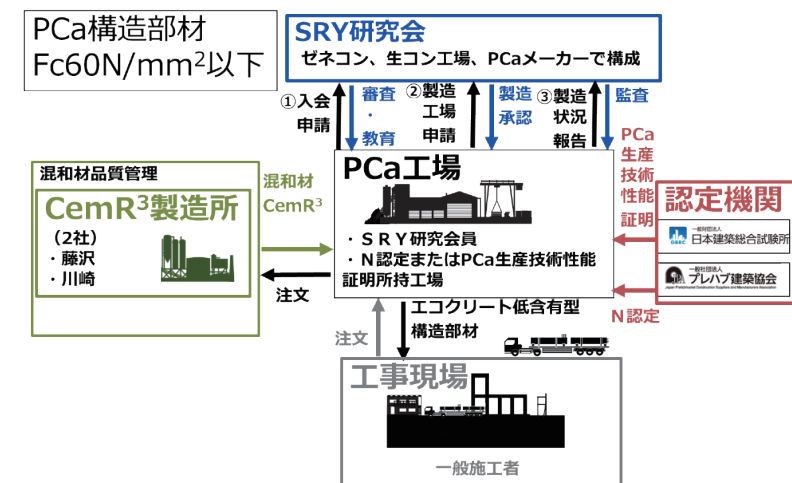


図8 60N/mm²まで構造部材を製造できる条件

図5～7に夏期の材齢28日, 91日の養生別圧縮試験結果を示す。近似式は原点を通る直線で回帰し, 図中に28日強度の近似式と決定係数を示した。実験からエコクリートの強度発現は普通コンクリートと大差がない結果が得られ, エコクリートR³低含有タイプを用いて, 建築用のFc60N/mm²の部材の製作が可能となった。なお, 図8に示すように, Fc60N/mm²の部材を製作するには, (一財)日本建築総合試験所の認定するプレキャスト生産証明または日本プレハブ建築協会の認定するN認定を取得している工場で作することが条件となる。

5. エコクリートR³高含有タイププレキャスト部材

5-1. 高含有タイプの中性化速度

高含有タイプの中性化速度を把握するためJIS A 1153に準じた, 促進中性化試験を行った。図9に, W/Bごとの促進材齢(週)の平方根と中性化深さの関係を示す。中性化速度係数は, 原点を通る近似直線として図中に示した。図9より, エコクリートR³のW/B=35%は, W/B=45%の普通コンクリートと同等の中性

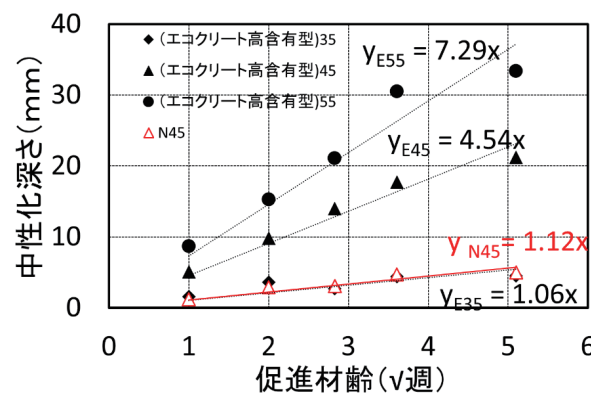


図9 中性化速度試験結果

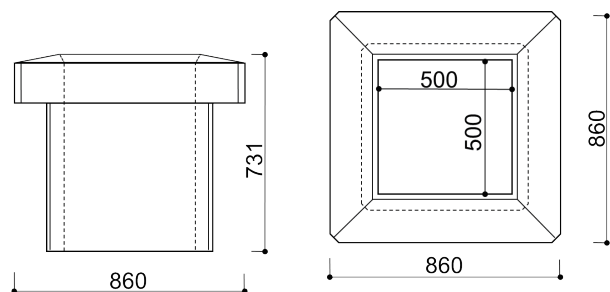


図10 部材形状

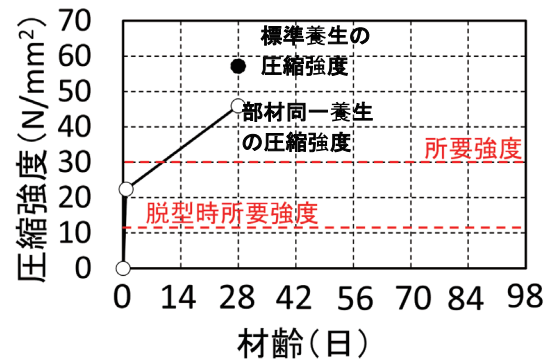


図11 圧縮試験結果



写真11 部材設置状況



写真12 部材外観

化速度係数であることを確認した。

5-2. 実建物への適用

5-2-1. 調査と管理材齢の決定

都内の研究施設で、屋上に設置する設備基礎の一部となるプレキャスト部材に適用した(図10)⁶⁾。前述の中性化速度係数から調査を決定し、製造時の強度発現を確認する目的で製造開始前に強度確認試験を実施した。調査は、W/B=35%とし、脱型時強度15N/mm²以上、部材同一養生材齢28日で30N/mm²

以上、ポテンシャル強度として標準養生材齢28日で42N/mm²以上を目標とした。圧縮試験結果を図11に示す。脱型時強度20N/mm²以上、28日材齢の部材同一養生40N/mm²、標準養生が57N/mm²となり十分な強度発現となった。

実部材製造は3日間で行い、いずれの製造日の圧縮強度も所定の圧縮強度を満足した。

5-2-2. 施工および仕上がり

施工は夏期(8月)に行った。写真11に施工状況を、

写真12に施工後の外観を示す。近傍に普通コンクリートを使用した同形状の部材が設置されてあったが、色調などを比較しても普通コンクリートと同等となった。

6. おわりに

原料となる戻りコンクリートは安定的に発生するものではないため、CemR³は安定供給が大きな課題となる。安定供給には、製造拠点を増やしCemR³のストック量を増やすことが必要となる。現在神奈川県藤沢市および川崎市の2か所にCemR³の製造拠点があるが、県内の戻りコンクリートの回収拠点整備を通して、製造設備と製造量の増強を図る予定である。

設備の増強には、実績を増やしていく必要があり、そのために神奈川県以外での製造拠点の確立および

生コンの適用範囲の拡大を考えている。今後さらなる研究と実績の蓄積により、資源循環型社会の形成に貢献するため、エコクリートR³のさらなる展開を図る所存である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省総合政策局／残コン・戻りコンの発生抑制，有効利用に関するアンケート調査，平成18年
- 2) 鹿島建設プレスリリース／戻りコンを再びコンクリートに，究極の資源循環を実現，2016.11.24
- 3) 鹿島建設プレスリリース／環境配慮型コンクリート，「エコクリート®R³」，初の大規模適用，2019.1.17
- 4) 百瀬晴基他，乾燥スラッジ微粉末を混和材として用いたレディーミストコンクリートの適用事例，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，2018.7
- 5) 巴史郎他／乾燥スラッジ微粉末を混和材として大量に使用した再生コンクリートのプレキャスト部材への適用事例，日本建築学会大会学術講演梗概集，2019.9.
- 6) 巴史郎他／乾燥スラッジ微粉末を混和材として用いたプレキャストコンクリート部材の開発，鹿島技術研究所年報，第69号，2021.12

わたしたちの暮らしのサポーター

セメント 安全で快適な暮らしを支えています。

日々の生活の安心・安全を支え、省エネ、省資源で環境貢献をしているセメント産業について、一般・小・中学生向けにわかりやすく解説したパンフレットを作成しています。

大人から子供たちまで、あらゆる世代の方々にご理解いただける内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会

広報部門 FAX 03-5540-6181



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



全面的SB工事をを行った 都市型生コン工場の新しいカタチ ～新関西菱光・大阪工場～

New urban ready-mixed concrete plant that underwent a full scrap-and-build project
/ Shinkansairyoko corporation Osaka plant

下臺 勝 児玉 寛

1. はじめに

UBE三菱セメントグループ(旧三菱マテリアルグループ)の新関西菱光株式会社(本社・兵庫県尼崎市、山下茂義社長)大阪工場は、1961(昭和36)年に操業を開始し、これまで60年間にわたり大阪市内を中心に、主に建築用の生コンクリートを供給してきた。大阪市港区の尻無川沿いに立地し、東西に200m、南北に25mと細長い長方形の敷地で約5,200m²の広さを有している。このほど約30年ぶりにスクラップアンドビルド(以降、SBと称す)を行い事務所およびプラント設備を全面的に一新した(写真1)。設備の安全、品質の安定を最優先に老朽化した設備を最新鋭機種に更新し、多種多様な生コンクリート品種への対応力を強化した。また、工場の運営は、当時の三菱マテリアルグループの事業運営の優先順位SCQDEに則って実施している。SCQDEとは、①Safety&Health(安全・健康最優先)、②Compliance&Environment(法令遵守、公正な活動、環境保全)、③Quality(顧客に提供する製品・サービス等の品質)、④Delivery(納期遵守)およ



写真1 工場全景

び⑤Earnings(適正利益)の頭文字を取ったものである。「S→C→Q→D→E」を業務を行う上での判断の優先順位と定め、利益よりも安全、法令遵守・環境保全、品質を優先し、その次に納期遵守、これらをすべて満足させたいと、適正利益を確保するといった方針である。

本稿では、今回、当大阪工場が全面的SB工事をを行った背景、新プラントでの出荷再開後の状況および事業運営の優先順位の中で「S・C・Q」への取り組みについて紹介する。

2. SB工事の背景と目的

全面的SB工事に着手した背景として、設備の老朽化が一番の要因であるが、その解消とあわせてSCQDEの運営方針に則り、設備の安全性、環境対策、品質確保対策等の強化を目指して実施した。大阪工場は、

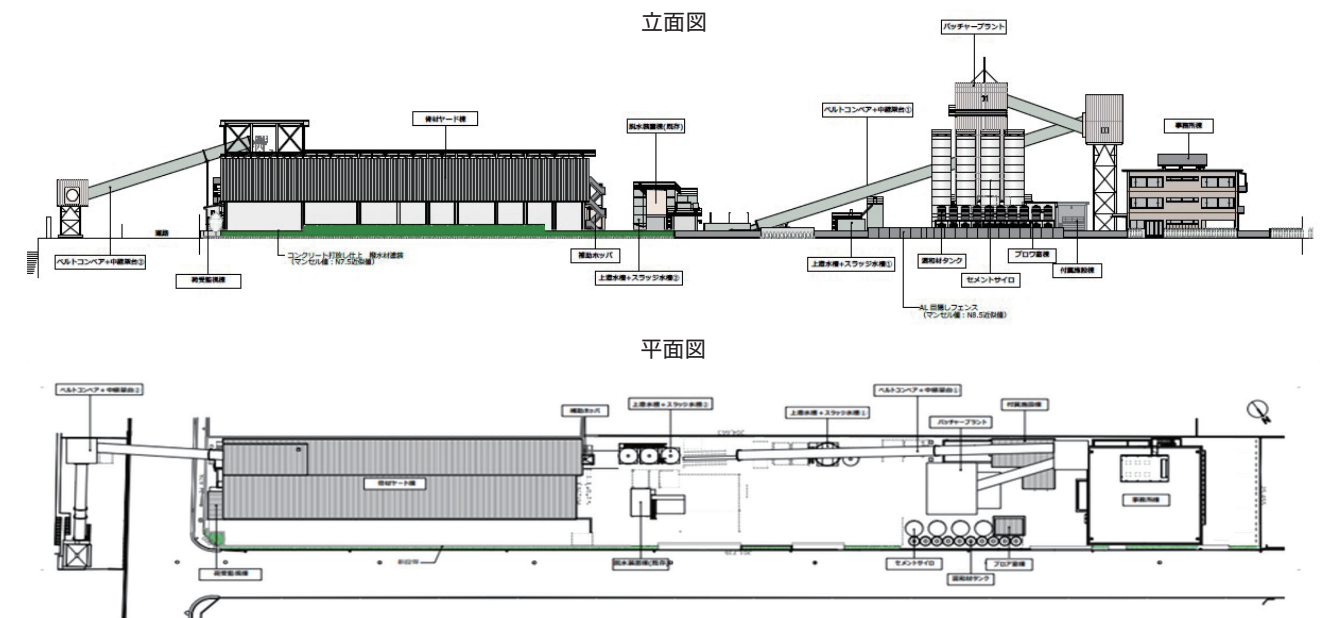


図1 SB工事後の大阪工場(全景)

これまでJISコンクリートのみでなく、高い技術力を要求される大臣認定コンクリートの出荷で実績を重ねており、2011年にはあべのハルカスに設計基準強度150N/mm²の超高強度コンクリートを納入している。

今後も大阪中心部の大型プロジェクトにおいて高強度コンクリートの使用が計画されており、高強度コンクリートをはじめとする様々なコンクリートの大量供給に対応できる最新設備の導入が必要と判断された。また、2025年に開催予定である大阪国際万博やIR関連工事など、近々の需要動向を考慮すると、全面的なSB工事を行うのであれば、このタイミングしかなく、しかも中長期的な経営基盤の強化に繋がるとの経営判断により、早急に着手すべきであるとの決断に至った。

3. 工事概要

SB工事を実施するにあたり、限られた敷地面積の中で建築基準法をはじめとする各法令および条例に則り、安全かつ機能的な設備配置という観点で設計を行った(図1)。工事施工会社は、三菱マテリアル社の協力のもと、設計は竹島設計事務所、施工は事務所が五洋建設、骨材ヤードがピーエス三菱、土木工事が西部建設、またプラント設備工事は光洋機械産業

で行い、限られた工場休止期間内で効率的にスピーディーに工事を行うこととした。

SB工事は、敷地面積2,000m²を超える大規模建築物確認申請を必要とする工事であったため、まず土壌調査、地盤調査が必要となった。生コン工場の場合、セメントに含まれる六価クロムが土壌汚染の調査対象の化学物質となる。この調査には敷地を所定の間隔でメッシュ状に区切り、50個所以上の地点から土壌を採取し含有量検査を実施した。その結果、基準値を超える六価クロムは検出されなかったため計画通り2020年3月末に工場操業を休止し、本格的な解体工事に着手した。また、解体工事でも構築物のアスベストやPCB含有物の事前調査を実施し適切に廃棄処理を行った。解体期間に約7か月を要し、その後杭打ち工事、基礎工事、躯体工事、プラント設備設置工事で10か月を要し、2021年7月下旬に竣工を迎えることができた。

4. SCQDEへの取り組み

優先度の高い「S・C・Q」について、SB工事を含めた内容で取り組み状況を紹介する。



しもだい まさる / SHIMODAI Masaru
新関西菱光(株)
大阪工場 工場長



こだま ひろし / KODAMA Hiroshi
同上
本社 取締役技術部長兼試験研修センター長



写真2 骨材ヤード下通路

4-1. S(Safety&Health)

安全・健康最優先に関しては、グループ会社を横断したゼロ災推進委員会の開催やメール配信により、災害発生時の迅速な情報共有と是正対策の水平展開を図っている。その中で、生コン工場のような製造業では、安全対策が十分でない場合、「巻き込まれ・挟まれ」および「墜落・転落・転倒」といった基本行動型労働災害が重篤な災害となるケースがある。

このような点を踏まえ、巻き込まれ・挟まれ防止対策は、プーリーやVベルト周囲の回転部への保護カバーの設置、保護柵の設置、ベルトコンベアでは、引き綱スイッチによる非常停止装置を全面に張り巡らせ安全対策を行っている。また、パッチャープラント内のミキサには、点検扉に開閉センサーを設置し、ミキサ起動中に点検扉を開くと非常停止するシステムを採用するなど、あらゆる個所で安全対策の強化を図った。

墜落・転落・転倒災害の防止対策としては、手摺の設置、開口部の閉塞、安全ブロック設置、階段等への滑止めテープの設置等により安全対策を講じた。

設備歩廊、タンク天端の外周など安全基準を満たす適切な高さの手摺りの設置、床面や様々な設備間隔に生じる開口部の閉塞、転落防止のための安全ブロックの設置、各階段や生コン車のステップへの滑り止めテープの設置などを実施している。

高所作業では、独自の「安全作業マニュアル」に則り、フルハーネス型墜落制止用器具の着用、または必要個所にセーフティーブロックを導入し「墜落・落下防止」の対策を徹底している。

この他に作業環境の充実にも力を入れている。骨材ヤード地下通路やベルトコンベア円筒の歩廊には十分な作業スペースを確保した(写真2)。また、骨材ヤード監視室には、遠隔操作システムを導入し作業の省力化を図った。場内およびプラント内部の16個所に設置した監視カメラによるモニタリングでは、出荷室より集中管理しトラブル発生などを即座に発見し、スピーディーな対応をとるために場内全域を監視できるようカメラを設置した。また、事務所・試験室での照度の確保。熱中症予防対策として全社員への空調服の配布、WB GT計の使用による連続作業時間の制限、朝礼時の体調確認などを行っている。このようにミキサだけでなく付帯設備全般についても目を配り、最新型の設備を導入し安全対策の徹底を図った。

4-2. C(Compliance&Environment)

法令遵守、公正な活動、環境保全については、建築基準法や公害防止条例、騒音・振動規制法、水質汚濁防止法、大気汚染防止法等特定施設に関する届け出も必ず守らなくてはならないものである。

環境保全に関し大阪工場は細長い敷地(面積約5,200m²、東西に200m、南北に25m)の中で動線を確保した設備配置が必要とされ、工場操業に最適なレイアウトについて検討を重ねた。建物全体の形状についても、工場全体として、景観に配慮し、調和のとれた色彩を選定した。また、敷地面積の3%以上を緑地化することとし、敷地北面の道路沿いに緑地帯を設け、植栽・壁面緑化などを行った。

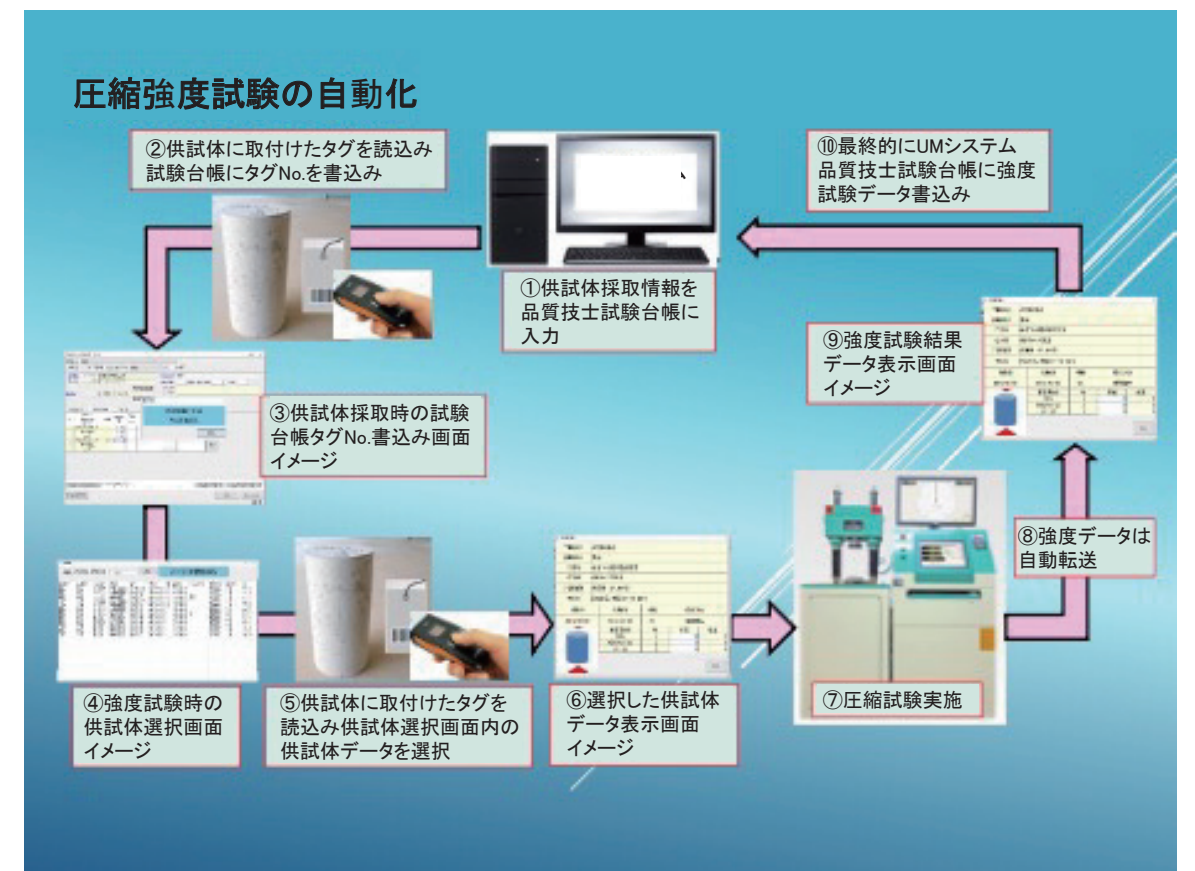


図2 圧縮強度試験の自動化フロー図

コンプライアンス関係では、不正行為およびヒューマンエラー防止を目的に品質管理試験の自動化に取り組んでいる。具体的には工程検査のすべての結果をタブレット端末で即座に入力でき、圧縮強度試験時には、圧縮試験機から品質管理システムへ直接データ転送できるシステムを導入した。これにより、各工程での試験値がダイレクトに品質管理システム用のパソコンに入力され、データの転記が不要な仕様になっている。テストピースの管理には、テストピース作製後、養生中および圧縮試験時にバーコードリーダーを用いて識別している(図2)。その際、データ入力者の管理制限を設け、入力作業に間違いがないよう二重の承認が必要となっている。なお、このシステムは試験結果を容易にトレースできることも大きな特徴である。さらにタブレットと連動し、現場での各種試験結果を即時入力することができるため、書き写し作業(手書入力)が省略される。本体のシステムとリンクさせることでヒューマンエラー防止と作業効率の省力化に繋がっている。

4-3. Q(Quality)

『顧客』に提供する製品・サービス等の品質は、JIS A 5308およびJIS Q 1011に基づいて定められた検査・試験を実施することにより品質が保証される。生コン工場では、JIS認証機関による3年ごとに実施されるサーベイランスのほか、全国統一品質管理監査、協同組合による独自監査など常に第三者による監査が実施されている。大阪工場はこの他、ISO9001を1999年に取得し、2019年にマネジメントシステム永年登録特別表彰を受けた。こうした製品の品質確保には人材育成が重要であり、社員の資格取得を奨励している。また品質マネジメントシステム(QMS)にも教育関連に力を入れており、管理責任者が安全衛生・環境・資格取得といった年度計画の策定を行っている。その結果、コンクリート主任技士の有資格者が16名となるなど、確実に成果が出ている。



写真3 事務所全景



写真5 ミキサ(メビウス)

5. 従来との比較

事務所は、地上3階建てとし、延床面積は約1,200m²である(写真3)。1階に試験室(144m²)と養生室(30m²)、2階に事務所と出荷室を配置し、3階に会議室を設けた。出荷室および試験室は大幅に拡張し、試験室には、既存の島津社製3000kN対応の圧縮試験機に加え、2000kN対応の「マルイ社製ハイアクティス2000」を導入した(写真4)。供試体養生水槽は5×5mで供試体を最大3500本保管できる。パッチャープラントの設備については、光洋機械産業社製の鉄骨ラーメン構造の建屋とした。高さは地上約30mであり、プラント上部から骨材およびセメント貯蔵ビン、計量室、ミキサ、積み込みホッパ、生コン車積み込み口となっている。原材料の貯蔵については、従来より品種を増加させ生コン品種のバリエーションの幅を広げ、顧客の要求に対応できるよう増強を図った。また、セメントサイロは2層式のものを採用し、狭小スペースでの効率化を進めセメント5種と



写真4 試験室(圧縮試験機)

混和材2種への対応が可能となった。さらに練混ぜ水の貯蔵には、コンクリート製の地下水槽(工業用水50t+上澄水冷却水50t)を設置した。混和剤タンクは、鉄骨造の架台を設置し、2段置きで最大20本設置できるスペースを確保した。その他、インバーターコンプレッサの設置、LED照明および人検知センサーの採用により省電力に努めている。

6. 特徴的な設備の紹介

6-1. ミキサ

新プラントのミキサには、優れた練混ぜ性能を有する光洋機械産業社製の「メビウス」を導入した(写真5)。生コンの練混ぜの能力は、公称で264m³/h(メーカ発表値)である。このミキサは、新開発の混練パドルが採用され、パドルの内周面多角形化により変則的な乱流を発生させ、材料移動およびせん断と攪拌性能を高めた2軸ミキサとなっている。超高強度から硬練りコンクリートまで広範囲に適用でき、高い生産能力を発揮する。また、アームの配置間隔を広げアーム本数を削減、形状も流線型に変更し、曲面化することにより、生コンの付着要因が減少し、洗い作業の省力化が可能となった。

6-2. 骨材貯蔵設備

骨材貯蔵設備については、屋根付きオープンヤード(9区画)で合計容量は5,500tである。普通コンクリート用の骨材3種類(赤穂産碎石・砕砂、UBE三菱セメ



写真6 洗車場

ント社九州工場産石灰砕砂)と、高強度コンクリート用の骨材2種類(千葉縣市原市産山砂・砕砂)を常時保管している。骨材ヤード横には、モニターと制御盤を備えた監視棟を設け、公道を挟んだ岸壁での受入れ状況の監視が可能になっている。

6-3. 洗車設備

洗車設備は、全自動運転化されており合計3台まで同時洗車が可能である(写真6)。トラックアジテータが現場納入後、工場へ帰着すると入車センサーにより水中ポンプが自動昇降後起動し、原水層に循環水を供給し、洗車シュートを循環させる。それと同時にトロンメル(骨材分級装置)も始動し洗車準備が整うシステムとなっている。また、最終工程でもボタン一つで洗車設備に係る全部分のスラッジ水を洗い流した後、循環水槽の水をスラッジタンクに切り替え自動で終了させることができる。これにより、通常では1時間程度かかる作業が自動で行われ、作業効率が大幅に向上している。なお、当工場のコンクリートは富配合のものが多く、スラッジ水のセメント濃度が高いことから、スラッジタンク3基(合計容量150t)を設置している。3基のスラッジタンクによるパッファ機能を生かし、洗車後のスラッジ水は1～2日貯留させたのちに脱水処理を行い、脱水機のフィルター劣化を抑えている。

6-4. その他の設備

付帯設備のコンプレッサーやセメント搬送ルーツプロアは2基ずつ設置し、設備故障による工場稼働停止の

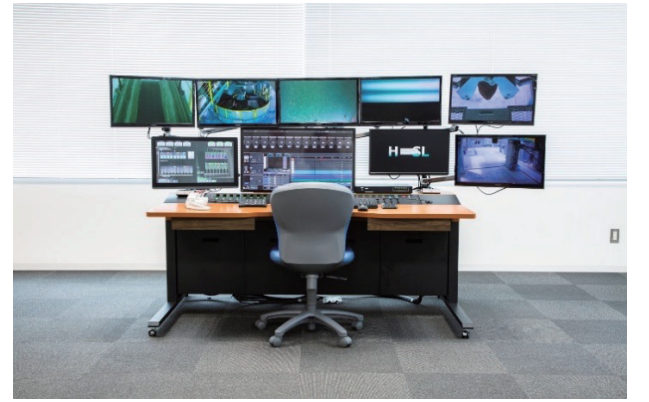


写真7 計量制御・操作盤「H-WX」

リスク低減を図った。

事務所内に出荷室に設置している計量制御・操作盤は、ハカルプラス社製の「H-WX」に更新し、米山電気社製のタッチパネル式セメント・骨材制御盤と組み合わせた(写真7)。出荷指示計量画面は従来比1.5倍の32インチ大型モニターを採用し、視認性を高めた。製造操作(計量、練り混ぜ、積み込み、発車ベル)も取扱いやすいように特注のスイッチコントローラーに集約させた。

7. 竣工から約1年経過後の感想

事務所、設備とも一新され特に良かったと感じる点は、事務所が非常に大きくなり、デスクワークスペースはもちろんであるが会議スペースも格段に広がった。また、リモート会議対応のWi-Fi環境も整備され、本社・尼崎工場とのコミュニケーションがいつでも手軽にとれるようになった。2021年9月よりJIS認証品の出荷を開始しており、2022年2月からは、大臣認定品などの高強度コンクリートの出荷もできるようになった。

今後の需要動向としては、周辺では大阪国際万博を中心に、新駅の設置、高速道路の整備など、多くのプロジェクトが進行中である。さらに、IR(統合型リゾート施設)の大阪・夢洲への誘致が実現した場合、民間事業でのホテルやレストラン、ショッピングモール、エンターテインメント施設、国際会議場・展示場、カジノ等の施設を一体的につくり運営する一大プロジェクトも見込まれており、将来的な安定出荷および顧客要求へ

の対応といった観点から顧客からの期待もますます上がっているように感じる。今後も当社の高い技術力を生かし高品質な生コンクリートを提供していくことが責務であると考えている。

8. 今後の展開や展望

近年、地球温暖化や都市化の影響によりコンクリート温度が上昇傾向にある。そこで追加の設備投資でチラー(冷却水循環装置)を導入し、今年の暑中期から本格稼働させる予定である。チラーにより練り混ぜ水の温度を2℃程度まで下げることが可能となり、荷下ろし時のコンクリート温度を抑えることが可能となる。特に

セメント量の多い高強度コンクリートではこの効果が期待される。

一方、今後の課題としてクリアしていかなければならない低炭素社会、天然材料の枯渇、リサイクル材料の活用など環境負荷低減に向けた取り組みも必須となってくる。また、技術力の維持・伝承の観点から若年層の人材不足、人材育成なども重要な課題である。

このように様々な課題に対応しながら、生コン産業の飛躍に向けた取組みを継続的に進めなければならない。テクノロジー面では、AI技術の活用およびセンシング技術の活用を積極的に行い、各工程での効率化、生産性向上を進め、新しい生コン産業のカタチを提案していきたい。

TOPICS

第71回セメント安全衛生大会を開催

セメント協会は6月9日～10日の2日間、東京証券会館ホール(東京都中央区)で161名が参加し「第71回セメント安全衛生大会」を開催した。

新型コロナウィルス感染拡大防止対策を徹底したうえで3年ぶりの会場開催となった。大会初日、冒頭挨拶に立った不死原文会長は、新型コロナウィルス感染症の影響を受け、会場でご挨拶をさせていただくのは3年ぶりである。全国から多数で参集いただき、大会がこのような盛大に開催できることを大変喜ばしく思っている、と述べた上で、セメント業界の労働災害について、2021年度は工場従業員、協力会社あわせて22件発生した。しかしながら、2019年から死亡災害は発生していない。これを続けていくためにも、引続き協力会社も含めた総合的な安全対策を一層推進する必要があると考

えている、と語った。

続いて、起塚岳哉安全衛生対策委員長による2021年度委員会活動報告およびセメント業界の安全衛生概況の報告、さらに来賓の釜石英雄厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課長と竹越徹中央労働災害防止協会理事長が祝辞を述べた。その後、



会場の様子



不死原文
会長



起塚岳哉
安全衛生対策委員長



釜石英雄
厚生労働省労働基準局
安全衛生部安全課長



竹越徹
中央労働災害防止協会
理事長



表彰式



UBE三菱セメント(株)
宇部セメント工場・齊藤信之工場長による謝辞

2021年度安全・衛生優良事業場の表彰式を執り行った。

安全部門では大賞が、UBE三菱セメント(株)宇部セメント工場、住友大阪セメント(株)栃木工場の2工場、優秀賞が、住友大阪セメント(株)岐阜工場の1工場、優良賞は、UBE三菱セメント(株)伊佐セメント工場、デンカ(株)青海工場、UBE三菱セメント(株)青森工場、東ソー(株)南陽事業所、(株)トクヤマ南陽工場、太平洋セメント(株)上磯工場、UBE三菱セメント(株)荻田セメント工場、明星セメント(株)糸魚川工場、住友大阪セメント(株)高知工場の9工場が受賞した。

衛生部門では大賞が琉球セメント(株)屋部工場の1工場、優秀賞が日立セメント(株)日立工場の1工場、優良賞が(株)トクヤマ南陽工場、荻田セメント(株)荻田工場、(株)デイ・シイ川崎工場、UBE三菱セメント(株)岩手工場の4工場が受賞した。各工場の代表者には不死原会長から表彰状が手渡さ

れ、受賞者代表のUBE三菱セメント(株)宇部セメント工場の齊藤信之工場長が謝辞を述べた。式の締めくくりには「みんなの思いを一つに繋いで 築こう「安全・健康・快適」職場!」をスローガンとする大会宣言が新井一雄衛生部会長より発表され、満場の拍手を得て承認された。

続いて行われた第二部では、(株)感性リサーチ代表取締役の黒川伊保子氏を講師に招き「職場のトリセツ ～組織力アップ講座～」と題して特別講演が行われた。

翌2日目は第三部として衛生部会4件、安全部会4件の研究発表が行われた。セメント産業の安全衛生向上のため日頃研究された成果が発表され活発な質疑応答もあり、大会は成功裡に終了した。

なお、会場ロビーでは(公社)日本保安用具協会の協力により、墜落制止用器具(安全帯)、CO₂濃度測定器、耳栓・ヘルメット、熱中症予防対策用品が両日にわたり展示され好評であった。

東京駅北通路拡幅と新たな駅空間の創出 ～レンガアーチ・盛土からRCへ～

Widening of Tokyo station north passage and creating new space in the station
～ Brick and banking structure change to RC structure～

野間 修一 小泉 秀之 陣野 真弘

1. はじめに

東京駅は一日約46万人(2019年度乗車人員)にご利用頂いている当社を代表する大規模ターミナル駅である。北通路拡幅工事前の2010年当時、駅改札内には、地上1階レベルに北通路(幅員6.7m)、中央通路(同25m)、南通路(同15m)があり、この中で北通路は、既存のレンガ構造物に挟まれた既設桁下空間を通路として使用しており、幅員等に課題があった。さらに上野東京ライン開業(2015年3月)による混雑緩和も必要だったため北通路の拡幅が求められた(図1)。

線路下に新たな空間を創出する場合、工事期間中も安全な列車運行を維持することを優先し、軌道を仮受けする工事桁工法を用いるのが一般的である。工事桁で軌道を仮受け後、工事桁下の土砂を掘削し、その空間にRC高架橋を構築する(図2)。大規模ターミナル駅では、必然的に仮受けする工事桁の線数・延長とも多

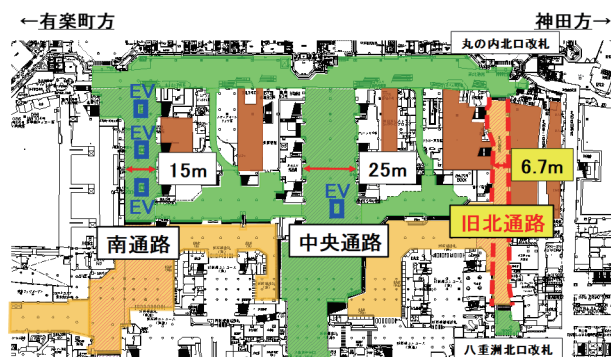


図1 東京駅構内の地上1階通路(施工前)

くなる特徴がある。また東京駅の特徴として、1914年12月に旧日本鉄道の上野駅と旧国鉄の新橋駅を結ぶ「東京中央停車場駅」として開業して以来、断続的に改良が進められており、現在の旅客サービス機能を確保しつつ新たな駅空間の創出には既存構造物を活用する必要がある。

本稿では、鋼製工事桁を本設利用化するにあたり、コンクリートを巻きたてる際のコンクリート打設計画ならびに既設鋼ラーメン高架橋の耐震設計を満足させるために実施した柱部のCFT化施工事例を紹介する。

2. 鋼製工事桁の本設化

従来の工事桁工法では、高架橋の構築後に鋼製工事桁を撤去しバラスト軌道に戻すのが一般的であるが、本工事では鋼製工事桁に埋設型枠を設置し、コンクリートで巻き立てる本設利用を採用した。

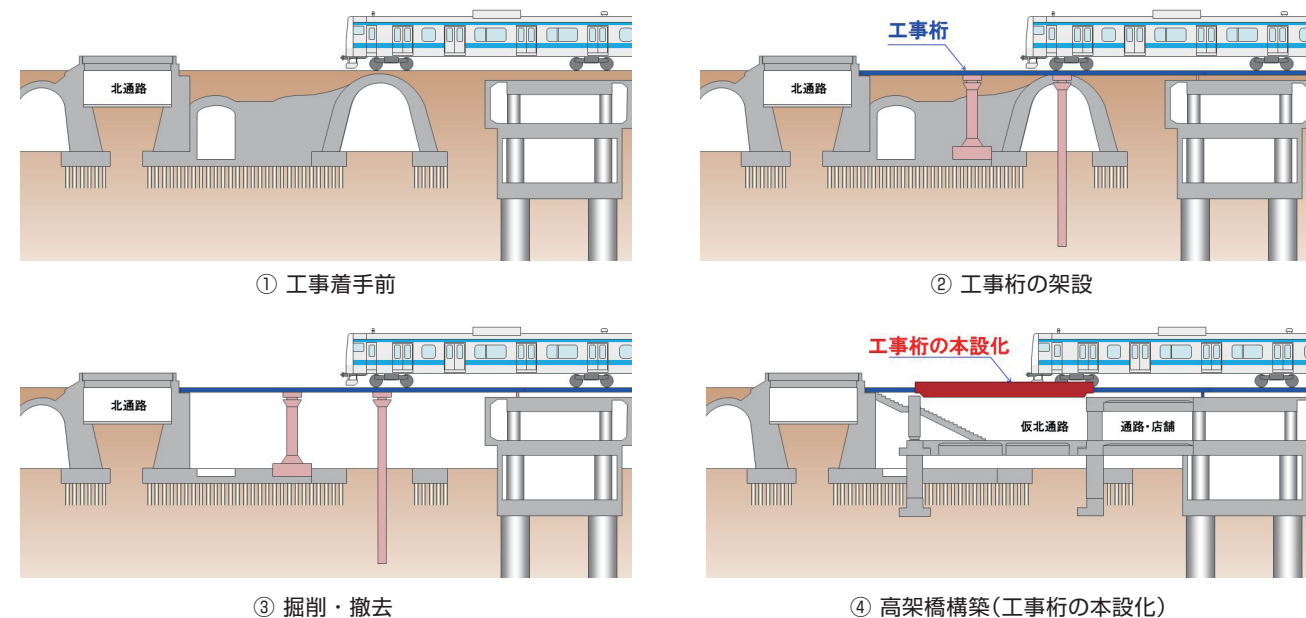


図2 工事順序図

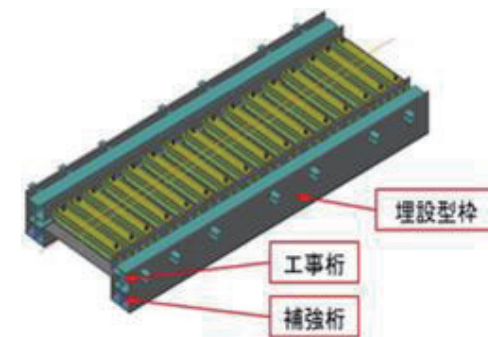


図3 工事桁本設化の構造図

工事桁の本設利用は、供用後の列車振動に伴う軌道の沈下を防止し、軌道整備等のメンテナンスを簡素化できるメリットがある。一方で、本設化作業は、夜間の列車が運行していない線路閉鎖(以下、線閉という)の時間内でコンクリート打込みを完了させる必要があることから、効率良く各種の作業を行う必要がある。

2-1. 工事桁本設化工事の概要

工事桁本設化の概要を図3および図4に示す。工事桁は、主桁・補強桁および横桁から構成されており、1連の長さは約15m、幅は約4.5mである。この外周に埋設型枠を設置してコンクリートを充填することで本設化する。1連あたりのコンクリート数量は約22m³(中間スラブ11m³、主桁外側6m³、主桁上部5m³)である。コンクリートの打込み口が限定されること、鋼材や埋設型枠

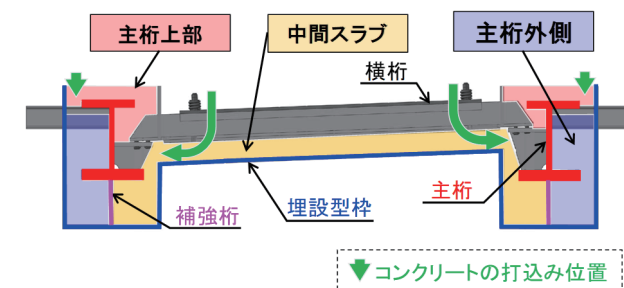


図4 工事桁本設化の断面図

に囲まれた狭い空間内に充填させる必要があることから、自己充填性を有する高流動コンクリートを採用した。

2-2. コンクリート施工における制約条件

一般に、コンクリートの練混ぜから打ち終わるまでの限度時間は120分である(外気温が25℃未満の場合)。本工事の場合、夜間に供給可能な生コン工場は遠方しかなく、運搬時間が約45分(高速道路利用)であった。また、施工個所にはアジテータ車やコンクリートポンプの駐車スペースがなく、最大200mの長距離圧送を行う必要があり、圧送に約30分を要する。さらに、後続のアジテータ車を待機させるスペースがなく、アジテータ車の入れ替えに5～10分を要する。このため、実際にコンクリートの打込みに費やせる時間は約35分となる。施工個所が狭い線路内であるため、短時間に大量のコンク



のま しゅういち / NOMA Shuuichi
東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所
東京ターミナル 主席



こいずみ ひでゆき / KOIZUMI Hideyuki
同上 グループリーダー



じんの まさひろ / JINNO Masahiro
(株)大林組 東京駅土木工事事務所 監理技術者



写真1 施工実験後の試験体の外観

リートを打ち込むことはできないため、アジテータ車の積載量を少量にすることで、ようやく練上がりから120分以内に打ち終えることが可能となる。

一方、営業線の線閉時間は、山手線の場合、午前1時過ぎから4時過ぎの約3時間である。この時間内に、測量、準備工、先送りモルタルの圧送、高流動コンクリートの打込み、横桁および主桁上面の型枠設置、片付け・清掃作業などを行う必要があり、列車運行の遅延による線閉開始の遅れや、施工時に何らかのトラブルが生じた場合には、コンクリートの打込みが完了できない恐れがあった。

2-3. 高流動コンクリートの目標性能・配合

コンクリート打込みに対する確実性を高めるためには、打込みに必要な流動性や自己充填性を確保できる時間を延長させることが効果的であり、特殊混和剤(主成分：ポリカルボン酸系、JIS A 6204規格適合品)を用いることとした。

(1) 作業サイクル計画のための目標性能の設定
コンクリート打込み個所(筒先)で必要となる流動性を把握するために、実物大模擬部材を用いて施工実験を実施して(写真1)、以下の結果を得た¹⁾。

- ① 圧送にとまなうスランプフローの低下は約10cm。
- ② コンクリートの打込み速度は約7.5分/m³とし、通常の積載量(4m³)のアジテータ車1台の荷卸し30～40分程度の時間におけるスランプフローの低下も見込んでおく必要がある。本工事では5cmの

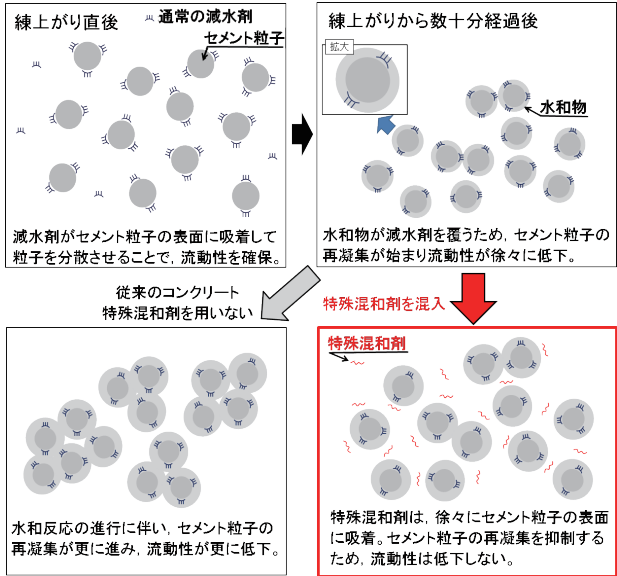


図5 特殊混和剤による流動性保持の概念図

低下を見込むこととした。
③ 打込み個所でスランプフローが50cm以上であれば、コンクリート自体の流動性により型枠内を容易に流動して充填できる。

上記の結果を踏まえて、荷卸し個所における高流動コンクリートの目標性能を、スランプフロー 65cm以上、自己充填性30cm以上(障害条件：ランク1)に設定した。

(2) 高流動コンクリートの配合選定

本工事で用いた特殊混和剤²⁾による流動性の保持の概念図を図5に示す。汎用的に使用されているコンクリートにはAE減水剤や高性能AE減水剤などの減水剤が用いられる。練上がり直後は、これらの減水剤がセメント粒子の表面に吸着して、セメント粒子を分散させることで所要の流動性を確保している。しかしながら、時間経過とともに、セメントの水和反応の進行にともない水和物が減水剤を覆い、セメント粒子同士が凝集するため流動性が徐々に低下してしまう。

一方で、この特殊混和剤は、添加直後は急激にはセメント粒子に吸着しないため、セメント粒子の分散が生じにくく流動性の変化は小さい。その後、特殊混和剤が徐々にセメント粒子の表面に吸着し、セメント粒子同士の凝集を抑制することで、長時間にわたり同じ流動性を保持することができると考えられている。添加方法は、従来の流動化剤と同様で、アジテータ車のホッ

表1 高流動コンクリートの配合

自己充填性の ランク	目標 スランプ フロー (mm)	目標 空気量 (%)	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m³)								
					W	B		S			G		混和剤 SP
						C	EX	S1	S2	S3	G1	G2	
ランクⅠ	700	4.5	30.0	50.5	170	546	20	242	442	121	324	486	7.92

※C：普通ポルトランドセメント、EX：膨張材、S1：砕砂、S2：石灰砕砂、S3：砂、G1：砕石2010、G2：砕石1505、SP：高性能AE減水剤

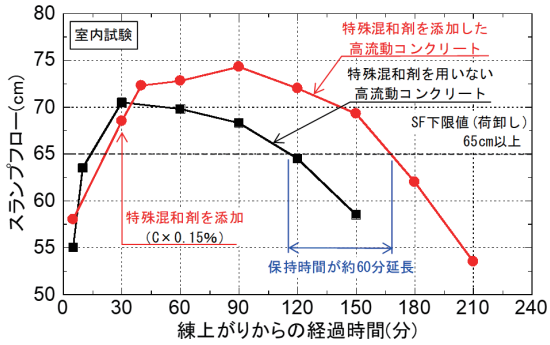


図6 スランプフローの経時変化(室内試験)

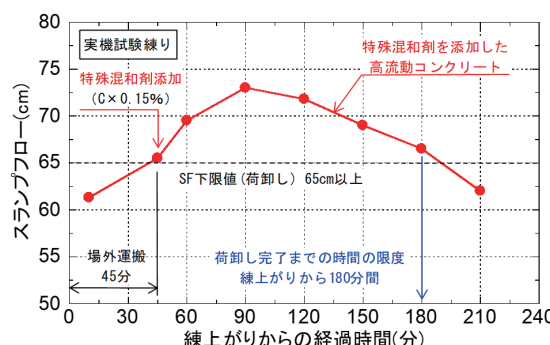


図7 スランプフローの経時変化(実機試験)

表2 作業サイクルタイム

		時刻	所要時間	0時	1時	2時	3時	4時
線路閉鎖時間(山手線内回り・外回り)		1:15 ~ 4:20	185分					
コンクリートの運搬・荷卸し 【運搬時間】 45分(高速道路利用) 【打込み量】 10.8m ³ 【練上がりから荷卸し完了までの時間】 180分				1・2台目(4.0m ³ /車) 3・4台目(4.0m ³ /車)	運搬(45分) 配置	荷卸し可能時間 95分		
作業項目					運搬(45分) 入替	荷卸し可能時間 95分		
測量	1式	1:15 ~ 1:20	5分					
準備工	1式	1:15 ~ 1:35	20分					
先送りモルタル	1式	1:35 ~ 1:45	10分					
コンクリートの圧送、打込み(打込み速度: 7.5分/m ³)	10.8m ³	1:45 ~ 3:15	90分			5.0m ³	5.8m ³	
車両の入れ替え	1回							
横桁上面の型枠設置	24箇所	2:10 ~ 3:40	90分(3分/箇所)					
主桁上面の型枠設置	1式	3:15 ~ 3:35	20分					
配管解体～清掃	1式	3:15 ~ 4:05	50分					
								線路閉鎖解除までの余裕時間 15分

パから投入し、ドラムを高速回転するだけである。本工事で用いた高流動コンクリートの配合を表1に示す。自己充填性のランクや目標スランプフローの中心値は、指針³⁾を参考に構造物の構造条件(鋼材のあき)から設定した。

特殊混和剤の添加量は、予備検討により単位セメント量の0.15%とした。室内試験における特殊混和剤の有無によるスランプフローの経時変化を図6に示す。特殊混和剤を用いない場合、練上がりから90分程度を超えると、荷卸し個所での目標スランプフロー(65cm)を下回る結果になった。一方で、特殊混和剤を用いた場合には、練上がりから150分以上まで目

標スランプフローを確保でき、練上がりから荷卸しまでの時間の限度を60分間延長できることを確認した。さらに、実施工を模擬して実機ミキサで高流動コンクリートを製造し、練上がり45分後(現場到着時を想定)にアジテータ車に特殊混和剤を後添加してスランプフローの経時変化を測定した。結果を図7に示す。練上がりから180分後まで荷卸し個所での目標スランプフローを確保できる結果が得られた。また、180分後において、充填高さ(ランク1)も30cm以上を満足できることを確認した。

(3) サイクルタイム
試験練りの結果を踏まえた作業サイクルを表2に示



写真2 施工状況

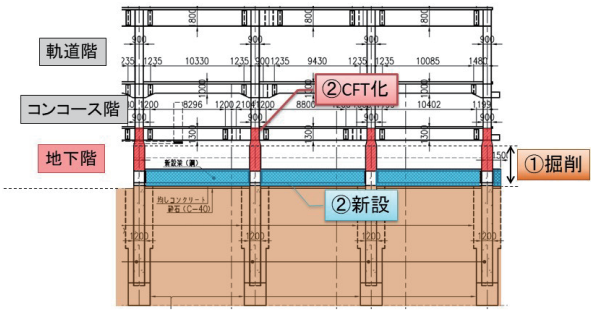


図8 駅改良断面図

す。荷卸し完了までの時間を180分とすることで、アジテータ車1台当たりの積載量を増加させることが可能となり、入れ替えに要する時間を低減できた。また、荷卸し可能時間を大幅に延長できたため、施工途中でトラブルが発生した場合でも、余裕を持って対処できるサイクルとなった。

2-4. 施工状況

高流動コンクリートは、施工場所から約200m離れた位置までアジテータ車にて運搬し、特殊混和剤をアジテータ車のホッパから投入して、ドラムを60秒間高速攪拌した。その後、高流動コンクリートの品質確認試験を行い、コンクリートポンプにて施工箇所まで圧送し、コンクリートの打込みを行った。品質確認試験では、全21回ともに目標とする品質を満足できた。

コンクリートの打込み施工状況を**写真2**に示す。作業箇所が狭く、かつ打込み口も限定されるため打込み作業には時間を要したが、事前に実施した施工実験により打込み速度を把握し、作業サイクルに組み込んだことから、ほぼ想定通りの時間で打込み作業を行うことができた。施工完了後の外観を**写真3**に示す。充填不良は生じず良好な仕上がりであった。



写真3 施工完了後の外観

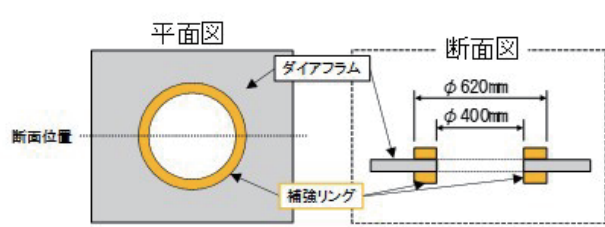


図9 補強リング構造図

3. 既設構造物のCFT化施工

駅改良では、既設構造物を利用した増改築も多く、荷重の増加や構造系の変化、あるいは設計規準類の改定(耐震設計)に伴い、既設部材の補強が必要となる。ここでは、当初設計ではCFT化を想定していない鋼製柱のCFT化に向けた施工試験および実施工について報告する。

3-1. 対象構造物

駅改良箇所の断面図を**図8**に示す。本改良工事は軌道階とコンコース階からなる既存高架橋のコンコース階以深を掘削し、新たに梁およびスラブを施工して地下階を増設する。増設する地下階の柱は、既設の鋼製柱を利用し、増設にともなう地震時の耐力および変形性能を確保するために、CFT構造とした。

しかしながら、既設の鋼製柱は、当初施工時にCFT構造を想定しておらず、柱側面にφ150mmの点検孔が存在するのみで、人が内部に入って充填作業を行うことが困難な構造であった。また、一部のダイアフラムには空気抜き役を担えるスカーラップが存在しないことや、ダイアフラムの開口下面に沿って補強リングが存

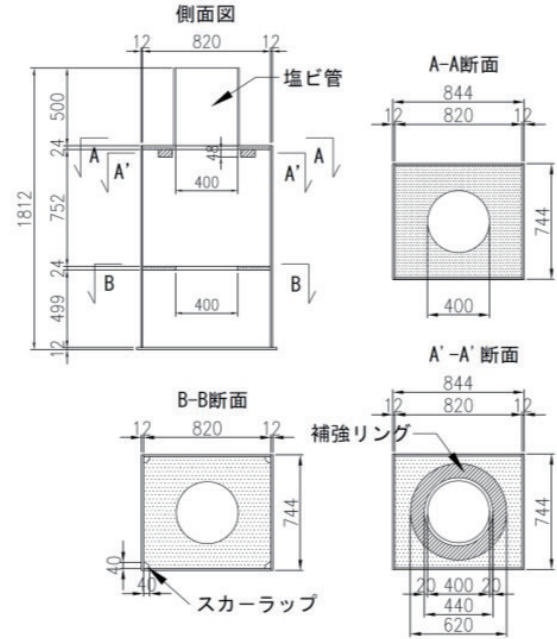


図10 試験体形状

表3 施工試験の諸元	
打設数量	0.82m ³
打設速度	0.018m ³ /min (打ち上げ速度 30mm/min)
配合	低発熱型無収縮モルタル：25kg 水：3.6L
Jロート試験値	9.65 秒

在することから(**図9**)、空気溜まりが発生し、設計指針⁴⁾に記載されているコンクリートと鋼材の隙間を1mm未満とする条件を満足できない可能性があった。そこで、CFT化に伴う鋼製柱内部への充填性を検証するために、既設の柱を再現し、実大試験体を用いた施工試験を実施した。

3-2. 施工試験

制作した試験体の形状を**図10**に示す。各種寸法およびダイアフラムの補強リングの形状やスカーラップの有無等、実際の鋼製柱内部を再現した。型枠材料に木製を使用していることから空気漏れが懸念されたため、型枠内部に塗装を施し、鋼に近い表面状態とした。一般的な充填材として高流動コンクリートが用いられるが、投入箇所(点検孔φ150mm)の制約により落とし込み打設とせざるを得ない施工環境から、ノンブリーディ

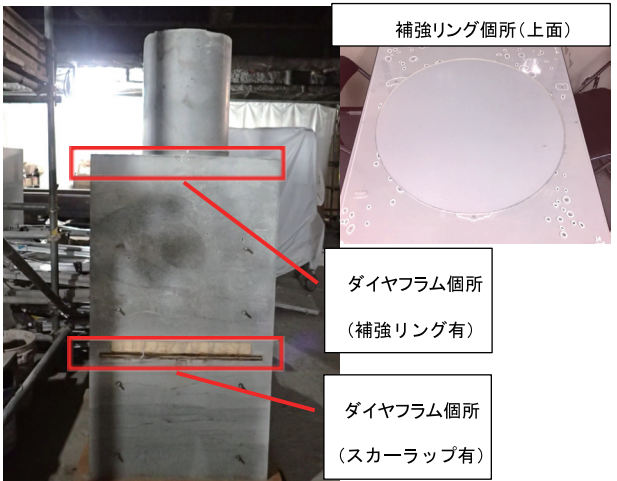


写真4 脱型後の試験体

表4 空隙測定結果	
最大空隙深さ	5mm
空隙率	6.2% (空隙面積：0.018m ²) (ダイアフラム面積：0.289m ²)
換算深さ	0.3mm<1mm (設計指針) (5mm×6.2%)

ング材料を使用した無収縮モルタルを採用することで所定の品質確保を図った。

実施工を想定して、施工試験の諸元は**表3**に示す値とした。施工管理項目として、打設速度、配合のほかに充填材の粘性が充填性に大きく影響するため、Jロート試験による粘性の確認を行った。また、リング裏に充填材を回りやすくするために、打止め位置は、設計上必要な位置(ダイアフラム)より500mm高い位置とした。

3-3. 試験結果と考察

脱型後の試験体状態を**写真4**に示す。試験体表面を目視にて確認した結果、スカーラップ有(試験体下部)の箇所では、スカーラップが空気孔の役割を果たしたことにより空隙は見られなかった。また、当初懸念していた補強リング周辺でも、小さな空隙程度で大きな未充填



写真5 充填材打設状況

個所はみられなかった。これは、流動性の高い無収縮モルタルを使用し、かつ打ち上げ高さを所定の位置より500mm 高くしたことによる圧力の効果によるものと考えられる。

次に補強リング裏の充填性を確認するために空隙深さおよび空隙面積を測定した。測定結果を表4に示す。最大空隙深さは5mm、空隙率は6.2%であった。これらをもとに換算深さ(深さ5mmの空隙をダイアフラム面積(開口・補強リング除く)で平均化した深さ)を算出した結果、0.3mmとなり設計指針に基づく1mm未満の基準値を満足する結果を得られた。これらの試験結果に基づき、管理値を設定し実施工へ適用した。

3-4. 実施工への反映

施工試験の結果を踏まえ、実施工では以下の管理を行うことで品質の確保を行った。まず、Jロート試験値は、施工試験に基づき 9 ± 1 secとした。さらに、充填材打設時に打設状況が目視できないことから、ホース先端に設置したカメラにより打設状況の確認を行い、あらかじめ印をつけた打設用のホースを用いて打設の高さ管理を行った。また、一部の施工個所では、夜間短時間での作業となる区画があったため、万が一に連続打設ができなかった際の充填不良を防ぐため、充填不良リスクが想定される個所(ダイアフラム付近)で打止めとならないよう、当夜のリスク管理を考慮したサイクルタイムを設定した。充填作業の様子を写真5に示す。事前の施工試

験を踏まえた施工管理により、計画通りに充填作業が完了した。

駅改良工事では、夜間短時間での作業条件・作業環境や既設構造物の活用といった条件下で設計・施工計画を満足させなければならない。駅改良のニーズは今後も続く中で、本稿が類似工事の参考となれば幸いである。

4. おわりに

【参考文献】

- 倉岡希樹, 陣野真弘, 田中将希/営業線内における工事術本設化コンクリート工事の施工管理, 土木学会第71回年次学術講演会, VI-233, pp.465~466, 2016.9
- 桜井邦昭, 平田隆祥/生コンの鮮度を保ちコールドジョイントを防止する「フレッシュキープ工法」の開発, セメント・コンクリート, No.829, pp.39~45, 2016.3
- 土木学会/高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版], コンクリートライブラリー136, pp.26~35, 2012
- (社)日本建築学会/コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 1997.12

*

*

*

セメント・コンクリート

お得な年間購読

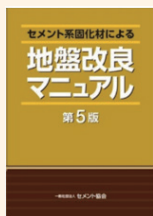


本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

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



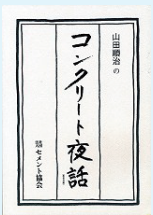
C3 クリップボード [セメント化学編]

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、送料は当協会が負担いたします。 3. お支払いは銀行振込でお願い申し上げます。 4. 恐れ入りますが、銀行振込の振込手数料は購入者のご負担でお願い申し上げます。 5. 提供いただいたお客様の個人情報は、お申し込みいただいた月刊誌・書籍の発送や案内、およびそのために必要な情報確認以外に使用することはありません。

その他、単行本や資料集など、各種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/>

シリーズ

セメントコンクリートを「科学」する

放射線・原子力分野での活用 その2 放射性廃棄物の処理・処分

*Cement and Concrete, Essential Materials for
Utilization of Radiation and Nuclear Energy
Part 2: Cementitious Materials for Radioactive Waste
Management (by KURASHIGE Isao)*

藏重 勲

1. はじめに

放射線や原子力の分野において活用されるセメント・コンクリートでは、構造体としてだけではなく、様々な機能が要求される場合がある。放射線の遮蔽機能については、前稿「その1」¹⁾で紹介したが、その他にも原子力発電で発生する放射性廃棄物の処理や処分、ならびに使用済燃料の中間貯蔵などでも欠くことのできない材料として活用されている。本稿「その2」では、これらの用途で要求される機能と技術的要件や研究・開発課題などを概説する。加えて、原子力利用に関連するセメント・コンクリート技術として発電所解体廃棄物の有効利用技術、放射線照射によるコンクリートの放射化や劣化の評価・対策技術について触れる。

東北地方太平洋沖地震による事故を受けて決定された福島第一原子力発電所の廃止措置（一般には「廃炉」とも称される）、ならびに新規制基準に則った原子力規制委員会による審査への不適合や施設改善対策の断念から選択された廃止措置、さらには施設の老朽化により決定された廃止措置など、今後多くの原子力発電所の解体が計画されている。これらの解体作業で発生

する各種の放射性廃棄物を、安全かつ合理的に処理・処分する技術の早急な整備が望まれている。このような廃止措置事業は、今後数十年以上にわたって対応が必要となる国家的課題であり、継続的な研究・開発の実施や知見・技術の継承、ならびに人材の育成が肝要である²⁾。

他方、エネルギーの自給率や、カーボンニュートラルなどのSDGs観点、ならびに国際情勢等の諸条件を考慮したわが国のエネルギーセキュリティ政策は、2021年10月22日に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画³⁾」として発表されている。そこでは、再生可能エネルギーの最大限の導入を進めるとともに、安全性の確保を大前提に一定程度の原子力を継続活用する方針が示されている。したがって、原子力発電所の廃止措置事業のみならず、原子力発電の継続活用も含め、関連する様々なセメント・コンクリート技術の更なる進化・発展が必要とされている。

2. 放射性廃棄物の処理・処分における活用

2-1. 放射性廃棄物の種類と処分方法の概要

原子力関連施設や研究施設等で発生する放射性廃棄物は、バーゼル条約⁴⁾(廃棄物の越境を規制)、ロンドン条約⁵⁾(廃棄物の海洋投棄を規制)、および南極条約⁶⁾(南極地域の平和的利用・領有権凍結等に関する締約)などの国際条約の遵守の下、発生者責任の原則に基づき、適切な方法によって処理・処分されなければならない。**表1**は、わが国における放射性廃棄物の種類や形態とその発生源、ならびに廃棄物に含まれる主な放射性核種や処分方法について、概要をまとめたものである。

高レベル放射性廃棄物については、2001年にフィンランドが世界に先駆けて処分地(オルキルオト、オンカロサイト)を決定し、2016年から処分場の建設が進められている。同国では使用済燃料の直接処分方式が採用されており、対象となる高レベル放射性廃棄物は使用済燃料である(その他、米国、カナダ、スウェーデン、

表1 わが国における放射性廃棄物の種類と処分方法の概要^{7,8)}を参考に作成

廃棄物の種類			廃棄物の形態例	発生源	主な放射性核種	処分の方法
高レベル放射性廃棄物			ガラス固化体	再処理施設	^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{243}Am , ^{237}Np , ^{99}Tc , ^{135}Cs	地層処分
低レベル放射性廃棄物	原子炉施設から発生する廃棄物	放射能レベルの比較的高い廃棄物 (L1 廃棄物)	運転廃棄物 (制御棒等) や解体廃棄物 (炉内構造物)	原子力発電所等の原子炉施設	^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Tc , ^{152}Eu , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am	中深度処分
		放射能レベルの比較的低い廃棄物 (L2 廃棄物)	濃縮廃液, フィルター, 樹脂, 焼却灰, 金属廃材等			ピット処分
		放射能レベルの極めて低い廃棄物 (L3 廃棄物)	雑固体廃棄物, 施設の解体・改造に伴うコンクリートや金属の廃材			トレンチ処分
	T R U 廃棄物 (Trans-Uranic Waste : ウランより重い元素を含む放射性廃棄物)		使用済燃料集合体処理廃材 (ハル, エンドピース等), ヨウ素吸着材, 濃縮廃液等	再処理施設, MOX 燃料加工施設		地層処分
			濃縮廃液, フィルター, 樹脂, 焼却灰, 金属廃材等			中深度処分
			濃縮廃液, 雑固体廃棄物, 施設の解体・改造に伴うコンクリートや金属の廃材等			ピット処分
	ウラン廃棄物		濃縮廃液, フィルター, 樹脂, 焼却灰, 金属廃材, 施設解体廃材等	ウラン濃縮, 燃料加工施設		^{238}U , ^{235}U およびそれらの娘核種 (壊変後の核種)
研究施設等廃棄物		使用済線源材, 実験・医療廃棄物等	放射性物質利用研究・医療施設等	^{137}Cs , ^{60}Co , ^{153}Gd , ^{192}Ir , ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{125}I , ^{252}Cf , ^{241}Am	トレンチ処分やピット処分	
放射性物質として扱う必要のないもの			施設の解体で発生する廃棄物の大部分	上記のいずれにおいても発生	—	—

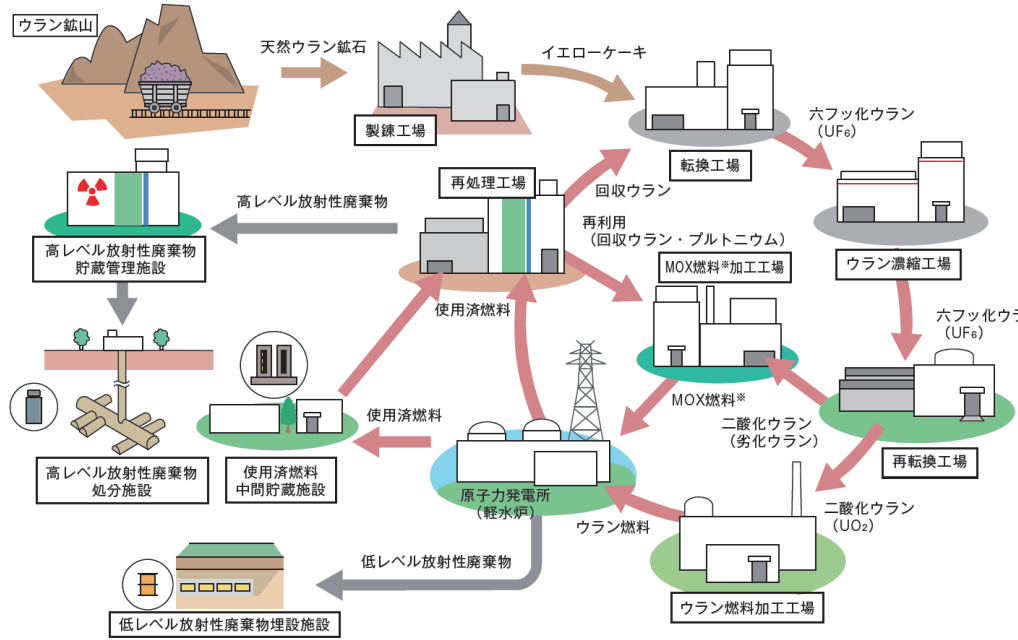


図1 わが国の原子燃料サイクルと発生する放射性廃棄物の概要⁹⁾

ドイツなども直接処分を計画)。一方、ウラン資源を輸入に頼らざるを得ないわが国では、使用済燃料の再処理・リサイクル方式が選択され、原子炉で生成されるプルトニウムや残存するウランを回収・処理し、再利用するといった原子燃料サイクル(図1)が構築されてきた(現状、わが国以外で再処理政策を進めている主な国はフランス、英国、ロシア、中国である)。したがって、わが国で対象となる高レベル放射性廃棄物は、使用

済燃料の再処理工程で発生する廃液を溶融ガラスで固化したもの(ガラス固化体)であり、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に則って原子力発電環境整備機構(NUMO)が実施主体となり、地下300mより深い地層への処分(地層処分)の実現に向けて鋭意検討が進められている¹⁰⁻¹²⁾。

低レベル放射性廃棄物は、表1に示すように、原子炉施設、再処理施設、燃料加工施設など様々な箇

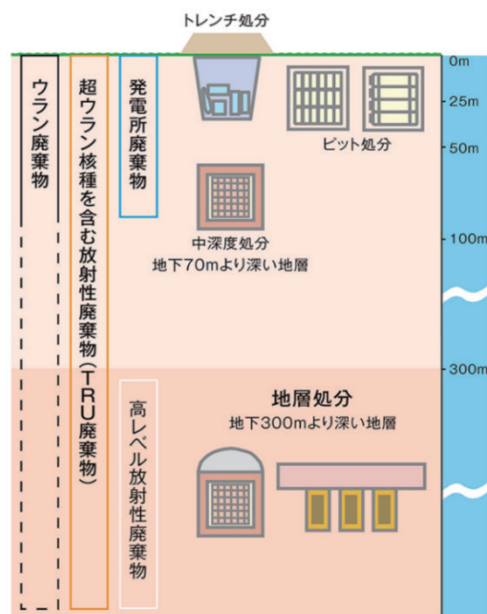


図2 わが国における埋設処分の方法²⁴⁾

所で発生し、その形態也多岐にわたる。原子力発電所等の原子炉施設で発生する低レベル放射性廃棄物は、放射能レベル(短寿命・長寿命放射性核種のそれぞれの濃度)に応じて施設形態や地下深度が異なるトレンチ処分、ピット処分、中深度処分といった方法でそれぞれ埋設される。このうちピット処分については、日本原燃(株)(JNFL)が青森県六ヶ所村に低レベル放射性廃棄物埋設センターを建設し、1992年より順調に操業を続けており、2022年5月末時点で33万本超のドラム缶廃棄体が受け入れられ、ピット内に埋設されている¹³⁾。現在、1、2号埋設設備が操業中であるが、2023年度の受入れ開始を目指し、3号埋設設備の建設工事が進められている。

この他、再処理施設等で発生する低レベル放射性廃棄物は、ウランより重い元素を含み、放射能レベルも原子炉施設から発生するものに比べて全般的に高い(TRU廃棄物¹⁴⁾)。中には、長寿命放射性核種の濃度が高い廃棄物が含まれている場合もあり、そのようなものは高レベル放射性廃棄物と同様な地層処分が検討されている¹⁵⁾。

なお、福島第一原子力発電所事故によって発電所内外で発生した放射性廃棄物の特徴やその処理・処分などは、誌面の制約から本稿では割愛するが、関

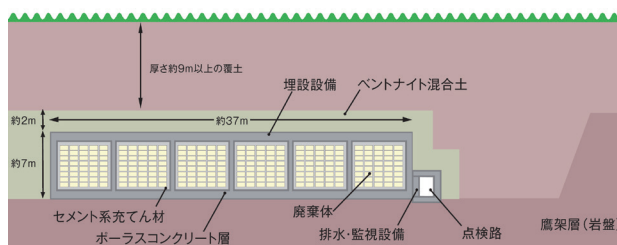


図3 低レベル放射性廃棄物埋設センター2号埋設設備の構造²⁶⁾

連資料を参照されたい^{16～23)}。

2-2. 処分施設に用いられるセメント系材料

図2は、表1で示した各種放射性廃棄物の処分方法を図示し、比較したものである。以下、それぞれの処分方法について、セメント系材料の活用概要をまとめる。

(1) トレンチ処分

トレンチ処分は、素掘り処分とも呼ばれ、コンクリートピットなどの人工構築物を伴わず埋設し、50年程度の管理期間が経過した後は一般的な土地利用が可能となる浅地中処分である。わが国の実施例としては、日本原子力研究開発機構(JAEA)が行った動力試験炉(JPDR：日本原子力研究所によって建設されたわが国初の発電用原子炉)の解体で発生した廃コンクリートの実地埋設試験がある²⁵⁾。

(2) ピット処分

原子炉施設から発生する低レベル放射性廃棄物のピット処分では、前述の日本原燃(株)低レベル放射性廃棄物埋設センターの2号埋設設備の例(図3)のとおり、鉄筋コンクリート製のピット内にドラム缶廃棄体を定置後、その間隙をモルタルで充填して、鉄筋コンクリートで蓋をするといった手順で埋設される。さらに、ピット内部に雨水等の浸入があっても早期に排水できるよう、ポラスコンクリート層と排水設備が設けられている²⁷⁾。

このように、ピットには放射性物質の閉じ込め機能が求められており、ひび割れの制御を含めた水密性の確保が重要となる。この他、短期的には放射線の遮蔽性が、長期的には放射性物質の漏洩に対する移行抑制として放射性核種の収着性や化学的変質に対する抵抗

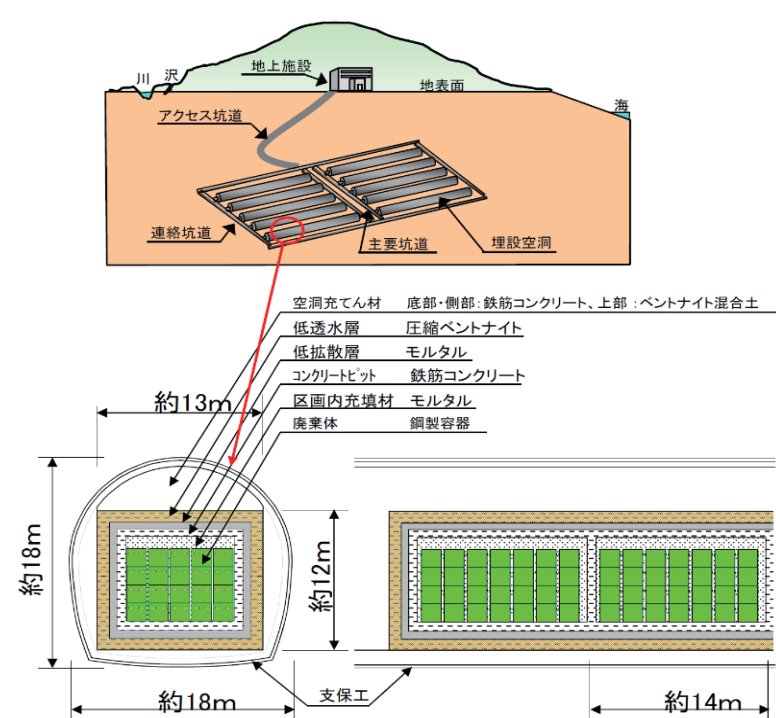


図4 中深度処分施設の検討例³³⁾

性も求められる。これらについては、文献^{28,29)}で詳述されているので参照されたい。このような観点から、結合材種類の工夫(中庸熱ポルトランドセメント・フライアッシュ混合系など)、膨張材の使用、ひび割れ制御鉄筋の配置などの改善対策について、埋設開始当初から継続的に検討されており、ひび割れ制御の信頼性向上につながっている³⁰⁾。

(3) 中深度処分

2011年以前に廃止措置認可を受け発電所の解体に着手している日本原子力発電東海発電所(2001年廃止措置着手)や中部電力浜岡原子力発電所1、2号機(2009年廃止措置着手)に加えて、東北地方太平洋沖地震によって発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、原子力安全に係わる規制強化によって廃止措置を申請する原子力発電所が多く出た。2022年6月時点で廃止措置が認可された原子炉施設の数、全原子炉60基(建設中の3基を含む)のうち24基に上る³¹⁾。廃止措置では、解体準備の第1段階(約7年)、周辺設備解体の第2段階(約12年)に続き、第3段階では約7年をかけて原子炉等の解体が行われ、最後の第4段階(約4年)で建屋等すべての施設が解体・撤去

される(計約30年)³²⁾。

第3段階で発生する炉内構造物の解体廃棄物の一部には、低レベル放射性廃棄物の中でも比較的放射能レベルが高いものがあり、図4に示すような地下深度70m以深といったより深い地層への処分(中深度処分)が計画されている。同処分施設では、空洞支保工、ピット、低拡散層、充填材など多くの部位へのセメント系材料の適用が検討されている。特に、低拡散層は、放射性物質の外部への漏洩を抑制する機能として放射性核種の低拡散性や収着性が求められており、地下水の動きを抑制する低透水層(圧縮ベントナイト)とともに重要な人工バリアとして位置付けられている。これらの機能が数千年以上の長期にわたって発揮されるよう長期耐久性も期待されており、人工バリアについて可能な限りの長期健全性を示す継続的な研究が必要とされている^{34～39)}。

(4) 地層処分

図2のとおり、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)については地層処分が計画されている。同様に、一部のTRU廃棄物も地層処分の検討が進められていることは前述のとおりである。これらの放射性廃棄物は放射

能の減衰に万年オーダーの長期を要するため、人間活動に有意な影響を及ぼさず、かつ人間による直接的な管理を必要としない地下深部に埋設処分することが、国際的に共通した考え方となっている。ただ、処分施設の詳細は、放射性廃棄物の特性、ならびに処分地の地理的条件や地質環境などに応じて、各国で異なる内容が検討されている⁴⁰⁾。

わが国における“高レベル放射性廃棄物の地層処分”では、ガラス固化体を封入したステンレス製容器(キャニスタ)を、地下水との接触を抑制するために金属製容器(炭素鋼やチタンなどが候補材となっている)でさらに覆ったものを天然の岩盤中に埋設し、緩衝材としてベントナイトを間隙に敷設する計画となっている。セメント系材料は、直接的なバリア機能を期待する材料としては位置付けられていないが、吹付けコンクリート、覆工コンクリート、力学プラグ(埋め戻し材の膨出を防ぐために坑道端部に設置されるプラグ)などに使用されるため、長期的な化学的変質の評価が課題となっている。特に、セメント系材料からの高アルカリ性浸出水によるベントナイトや岩盤の変質が懸念され、その分析・評価研究が継続的に実施され、低アルカリ性セメント(浸出液のpHが最大でも11.0程度のセメント)の開発や適用性検証が進められている^{12,41)}。

一方、わが国の“TRU廃棄物の地層処分”では、処分施設の構成が若干異なり、廃棄体容器を定置するための構造躯体(コンクリート)や、放射性物質の収着性を期待する廃棄体内外の充填材(モルタル)にセメント系材料を用いる計画が検討されている¹²⁾。収着性については、これまでに取得・報告されている各種材料の様々な核種の分配係数^{42~45)}が、JAEAのデータベースとして公開されている⁴⁶⁾。セメント系材料の収着性は、ピット処分や中深度処分でも期待されるバリア性能であり、セメント系材料の長期的な変質現象の把握とそれに応じて変化する可能性がある収着性の評価が、それぞれの処分で共通の課題となっている⁴¹⁾。

2-3. 低レベル放射性廃棄物の固型化

使用済燃料の再処理で発生する核分裂生成物や超ウラン核種を含んだ廃液(高レベル放射性廃棄物)は、耐熱性、耐水性、耐放射線などに優れたホウケイ酸ガラスを用いた溶融固化による安定化処理を施した上で、地層処分される計画である。低レベル放射性廃棄物についても、廃棄物の特性や必要に応じて焼却、蒸発濃縮、圧縮成形、加熱溶融等の方法で減容化された後、セメントやアスファルトなどを用いて固型化するという処理(廃棄体化)があらかじめ行われる^{47,48)}。

これらは、埋設処分されるまでの搬送性の確保や放射線の遮蔽対策に加えて、埋設処分された後も外的な荷重作用による変形や破損の防止を目的としたものである。また、固型化材のうち特にセメント系材料については、処理作業の簡便性や経済性の観点から広く利用される上、放射性核種の漏洩に対するバリア性能として収着性が期待されている。したがって、放射性廃棄物の特性(放射性核種の種類・濃度、廃棄物の形態など)や埋設処分や廃棄体の形態に応じた材料設計や長期的な化学安定性の評価に関する知見や技術の獲得と蓄積が、セメント系材料による固型化技術の発展とさらなる普及につながるものと思われる^{41,49)}。

3. 使用済燃料の中間貯蔵とコンクリート

原子力発電において発生する使用済燃料は、わが国では再処理を行う方針であることは前述のとおりである。従来、使用済燃料の再処理は英国やフランスに委託して行ってきたが、今後は日本原燃(株)によって青森県六ヶ所村に建設された再処理工場で行われる計画である。使用済燃料は、核分裂生成物を多く含み、強い放射線と多量の崩壊熱を放出することから、密封、遮蔽、除熱の十分な対策を講じて、再処理までの期間、安全に貯蔵することが必要となる。

使用済燃料は、原子炉近くに設けられた鉄筋コンクリート製プールの水中で通常冷却される(湿式貯蔵)。また、一部の発電所では、ある程度まで冷却された使

用済燃料をキャスクと呼ばれる頑丈な金属製容器に封入し、自然対流によって除熱しながら陸上保管するといった乾式貯蔵設備を設けているところもある。再処理工場の操業開始が当初の計画より遅延していることから、使用済燃料の貯蔵容量が逼迫している発電所も少なく、湿式貯蔵設備の容量増加対策などに加え、発電所敷地内外での乾式貯蔵設備の新設やその活用検討が進められている⁵⁰⁾。青森県むつ市に建設されたりサイクル燃料備蓄センターは、発電所敷地外に初めて設けられた乾式貯蔵設備であり、今後も同様の動きが増えるものと予想される。

わが国での乾式貯蔵は金属キャスクを用いたものであるが、米国などではコンクリートキャスクも実用化され、金属キャスクよりも普及している実状がある。わが国でも、コンクリートキャスクの実用化検討は古くから進められ⁵¹⁾、日本原子力学会標準⁵²⁾も制定されており、今後の普及が期待される。

4. 発電所解体コンクリート廃棄物の有効利用

原子力発電所の廃止措置に伴って発生する廃棄物のうち、質量割合で90%超は放射性廃棄物ではないものである。低レベル放射性廃棄物として取り扱う必要のあるものは全体の数%程度であり、この他、クリアランス制度にしたがって、放射能レベルが極めて低く、人の健康に対する影響を無視できるものとして認定されるものが数%程度含まれる⁵³⁾。

クリアランス制度は、放射性物質中の放射能濃度が原子力規制委員会の定める基準(クリアランスレベル)以下であることを、「測定・評価方法の認可」および「測定・評価結果の確認」の二段階によって確認するものであり、この認定を受けた物質は「放射線による障害の防止のための措置」を必要としないものとして取り扱うことができる(再生利用を行ったり、産業廃棄物として処分できる)。この制度は、資源循環型社会の形成、廃止措置の円滑化、放射性廃棄物の減量化などの観点から、2005年の「核燃料物質、核原料物質及び原子

炉の規制に関する法律」の改正によって導入された⁵⁴⁾。この制度によって認定・再生利用されたものとして、JAEAが約4,000tのコンクリートがらを同敷地内にて路盤材等に活用した例など多数挙げられる^{55~57)}。今後、本格化する各発電所の廃止措置においても、同様の適用例が増えるものと推察される。

一方、放射性廃棄物ではない90%超の解体廃棄物の大半はコンクリート廃棄物であり、標準的な大型原子力発電所1基あたり約50万tもの量が発生すると試算されている⁵⁸⁾。今後多くの発電所の廃止措置を控える状況から、これら解体コンクリートの実効的な活用方策の確立と運用が重要な課題となっており、セメント・コンクリート業界の知見や技術の活用が期待される^{59,60)}。

5. コンクリートに対する放射線の影響

5-1. コンクリートの放射化

放射化とは、中性子線等の照射によって、放射能を持たない安定同位体が放射性同位体に変化することである。自然界でも日常的に起こっている現象であり、地球に降り注ぐ宇宙線と大気との相互作用で生じた熱中性子が安定同位体である窒素¹⁴₇Nに照射されると、ある確率でその原子核から陽子が弾き出され、放射性同位体の炭素¹⁴₆Cに変化する。

原子力発電所や放射光施設における一部の部材では、供用期間中の被曝線量の低減や解体時に発生する放射性廃棄物⁶¹⁾の物量や放射能濃度の低減のため、設計時にあらかじめ放射化の計算を行って対策が講じられる場合がある。コンクリートの放射化で問題となる核種は、ナトリウムNa、コバルトCo、ユウロピウムEuなどであり、これらは骨材やセメント製造原料などに含まれる。したがって、コンクリートの低放射化対策では、多くの体積を占める骨材の選定が重要であり、上記核種が含まれないような純度の高い石灰石が用いられることが多い^{62~64)}。また、これに加え、セメントの改良を行った例⁶⁵⁾も見られ、関連技術の更なる発展・普及が期待される。

5-2. 放射線によるコンクリートの劣化

運転開始後30年を迎える原子力発電所では、経年劣化等の状況を把握し保全活動に反映する「高経年化技術評価」が事業者に求められ、その内容は原子力規制委員会により審査される⁶⁶⁾。この評価・審査は、その後10年以内ごとに繰り返され、安全かつ合理的な原子力発電所の運用に役立てられる。

重要な構造部材に多く用いられるコンクリートは当然のこととして評価の対象となるが、原子炉構造物については長期的な放射線や熱の作用による劣化も評価の対象として取り扱われる^{67,68)}。近年、国内外で関連した研究・調査が精力的に行われ、包括的なデータの収集や新しい知見の獲得が進んでおり、原子炉から発せられる放射線や熱によるコンクリートの変質機構の理解が深まっている^{69～72)}。

6. おわりに

本稿シリーズでは、放射線や原子力の利用において不可欠な材料であるセメント・コンクリートについて、活用の現状と今後の技術発展に向けた研究開発課題を概説した。特に原子力分野では、セメント・コンクリートの用途が多岐にわたる上、一般的な土木・建築構造物では対象とならないような機能や性能が要求されるものも多く、セメント・コンクリート分野に係わる一般の技術者や研究者には、馴染みの薄い対象であったかもしれない。

本稿で紹介した参考文献が非常に多数となつてしまったのは、このような背景に加え、2011年の東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所事故を境に大きく変わったわが国の原子力利用とその複雑性を受けたものであり、可能な限りの関連情報を提供できればとの考えによる。原子力利用に対する新しい規制とそれへの事業者の対応、福島第一原子力発電所を含む多くの発電所で決定された廃止措置の推進、放射性廃棄物の安全な処理・処分技術の確立、エネルギー安全保障の観点から一定程度の継続利用が見込まれる原子力発電所の安全な運用など、国家的な対応が必要となる課題が山積する。これらの解決には、分野を横断した技術・知見の集約・体系化を継続的に行い、世代を跨いでこれを共有・進化させていくことが必須となる。

このような課題にセメント・コンクリート分野が多分に係わっていることは、本稿で述べたとおりである。この課題解決には、セメント・コンクリート分野で保有する知見や技術ならびに研究・開発力の結集と継続的な発展が不可欠である。本稿が読者の関心の端緒となれば、望外の喜びである。

〔くらしげ いさお〕

（一財）電力中央研究所　サステナブルシステム研究本部
主任研究員　博士(工学)〕

【参考文献】

- 1) 蔵重勲／シリーズ セメントコンクリートを「科学」する：「放射線・原子力分野での活用－その1 放射線の遮蔽」、セメント・コンクリート、No.904、pp.51～56、2022
- 2) 内閣府原子力委員会／低レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関する考え方について（見解）、http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/211228_kenkai.pdf、2021.12.28(2022年7月10日確認)
- 3) 経済産業省／第6次エネルギー基本計画、https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf、2021.10(2022年7月10日確認)
- 4) 外務省／パーゼル条約、https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/-jyoyaku/basel.html、2019.12.13(2022年7月10日確認)
- 5) 外務省／ロンドン条約及びロンドン議定書、https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ge/page23_002532.html、2018.12.4(2022年7月10日確認)
- 6) 外務省／南極条約・環境保護に関する南極条約議定書、https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/s_pole.html、2019.12.6(2022年7月10日確認)
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁／放射性廃棄物について、https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo01.html(2022年7月10日確認)
- 8) 栃山修著・原子力環境整備促進・資金管理センター監修／放射性廃棄物処分の原則と基礎、ERC出版、2016
- 9) 日本原子力文化財団／原子力・エネルギー図面集7-2-1「原子燃料サイクル」、https://www.ene100.jp/zumen/7-2-1、2016.3.14(2022年7月10日確認)
- 10) 原子力発電環境整備機構／高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性－「処分場の概要」の説明資料－、https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/4alldl/tr0401all.pdf、2004.5(2022年7月10日確認)
- 11) 原子力発電環境整備機構／地層処分事業の安全確保(2010年度版)－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－、https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr1101_110926/tr1101_13.pdf、2011.9(2022年7月10日確認)
- 12) 原子力発電環境整備機構／包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－、https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html、2021.2(2022年7月10日確認)
- 13) 日本原燃(株)／低レベル放射性廃棄物埋設センターについて、https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/llw/summary/(2022年7月10日確認)
- 14) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構／TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ－、https://jopss.jaea.go.jp/-search/servlet/search?4055670、2005.9(2022年7月10日確認)
- 15) 原子力発電環境整備機構／地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性、https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr1101pdf/tr1101a.pdf、2011.1(2022年7月10日確認)

- 16) 技術研究組合国際廃炉研究開発機構／研究開発、https://irid.or.jp/research/(2022年7月10日確認)
- 17) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構／廃炉支援部門、https://www.dd.ndf.go.jp/(2022年7月10日確認)
- 18) 経済産業省／廃炉・汚染水・処理水対策ポータルサイト～福島第一原子力発電所の今とこれから～、https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osen-sui/index.html(2022年7月10日確認)
- 19) 環境省／放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト、http://shiteihaiki.env.go.jp/(2022年7月10日確認)
- 20) 東京電力ホールディングス／廃炉プロジェクト、https://www.tepco.co.jp/de-commission/(2022年7月10日確認)
- 21) 日本コンクリート工学会／「東日本大震災に関する特別委員会」報告書、2013.3
- 22) 日本コンクリート工学会／「放射性物質の封じ込めとコンクリート材料の安全利用調査研究委員会」報告書、2014.6
- 23) 山田一夫／放射性物質に汚染した廃棄物処分へのコンクリート技術の活用、セメント・コンクリート、No.829、pp.30～37、2016.3
- 24) 日本原子力文化財団／原子力・エネルギー図面集8-1-5「放射性廃棄物の種類と処分の概要」、https://www.ene100.jp/zumen/8-1-5、2017.9.26(2022年7月10日確認)
- 25) 日本原子力研究開発機構／放射性廃棄物の処分－埋設実地試験－、https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/backend/backend_01_04_01.html(2022年7月10日確認)
- 26) 日本原子力文化財団／原子力・エネルギー図面集8-2-1「低レベル放射性廃棄物埋設設備の構造と覆土」、https://www.ene100.jp/zumen/8-2-1、2016.3.14(2022年7月10日確認)
- 27) 田村明男、秋山吉弘／低レベル放射性廃棄物埋設施設で活用されるセメント・コンクリート－青森県六ヶ所村、セメント・コンクリート、No.620、pp.30～35、1998.10
- 28) 日本原子力学会／浅地中処分の安全評価手法：2016、AESJ-SC-F026:2016、2017.3
- 29) 日本原子力学会／ビット処分施設の施設検査方法：2010、AESJ-SC-F018:2010、2011.3
- 30) 工藤淳、矢ノ倉ひろみ、丸屋剛、辻幸和／浅地中処分施設における鉄筋コンクリート側壁のひび割れ制御の変遷、コンクリート工学、Vol.53、No.6、pp.535～541、2015.6
- 31) 電気事業連合会／原子力発電所の廃止措置、https://www.fepc.or.jp/nuclear/haishisochi/index.html(2022年7月10日確認)
- 32) 経済産業省資源エネルギー庁／第22回総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会資料「着実な廃止措置に向けた取組」、https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/gen-shiryoku/pdf/022_08_00.pdf、2021.3.22(2022年7月10日確認)
- 33) 原子力規制委員会／第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合資料2-1、原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について（電気事業連合会）、https://www.nsr.go.jp/-data/000096058.pdf、2015.2.12(2022年7月10日確認)
- 34) 庭瀬一仁、杉橋直行、辻幸和／低レベル放射性廃棄物処分の低拡散層に用いる高流動モルタルの室内配合選定、コンクリート工学論文集、Vol.21、No.3、pp.43～51、2010
- 35) 庭瀬一仁、杉橋直行、辻幸和／低レベル放射性廃棄物処分施設の低拡散層の実規模試験による初期性能の設定、コンクリート工学論文集、Vol.21、No.3、pp.53～62、2010
- 36) 武地真一、横関康祐、寺田賢二、秋山吉弘、矢田勲、辻幸和／放射性廃棄物の地下空洞型処分施設に用いるセメント系低拡散層の施工とその品質評価、土木学会論文集E2、Vol.70、No.1、pp.56～66、2014
- 37) 土木学会／余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方、2008.6.12
- 38) 土木学会／余裕深度処分における地下施設的设计、品質管理および検査の考え方、2009.7.31
- 39) 日本原子力学会／余裕深度処分施設の施設検査方法：2010、2011.5
- 40) 原子力環境整備促進・資金管理センター／諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について、https://www2.rwmc.or.jp/publications/hlwkj2020(2022年7月10日確認)
- 41) 日本コンクリート工学会／有害廃棄物・放射性廃棄物処分へのセメント・コンクリート技術の適用研究委員会報告書、2020.12.23
- 42) 日本原子力学会／収着分配係数の測定方法－浅地中処分のバリア材を対象としたパッチ法の基本手順：2002、AESJ-SC-F003:2002、2002.10
- 43) 日本原子力学会／収着分配係数の測定方法－深地層処分のバリア材を対象とした測定の基本手順：2006、AESJ-SC-F008:2006、2006.8
- 44) 日本原子力学会／標準委員会技術レポート：収着分配係数の測定方法－浅地中処分のバリア材を対象としたパッチ法の基本手順及び深地層処分のバリア材を対象とした測定の基本手順、AESJ-SC-TR001:2006、2006.10
- 45) N.D.M. Evans / Binding mechanisms of radionuclides to cement, Cement and Concrete Research、38、pp.543～553、2008

- 46) 日本原子力研究開発機構／地層処分システムの安全評価のための熱力学・収着・拡散データベース、https://migrationdb.jaea.go.jp/(2022年7月10日確認)
- 47) 原子力規制庁／廃棄物確認に関する運用要領、原管廃発第1402262号、https://www.nsr.go.jp/data/000028128.pdf、2014.2.26(2022年7月10日)
- 48) 長崎晋也、中山真一／放射性廃棄物の工学、pp.111～117、オーム社、2011.1.22
- 49) 吉川英樹／福島第一原子力発電所の廃炉に伴って発生する廃棄物の現状と今後～将来を見据えた取り組みと課題発見～「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」、原子力学会2020秋の大会バックエンド部企画セッション資料、https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2020/10/20200916gen-siryokugakkai.pdf、2020.9.16(2022年7月10日確認)
- 50) 電気事業連合会／使用済燃料貯蔵対策の取組強化について（「使用済燃料対策推進計画」）、https://www.fepc.or.jp/sp/chozo/method.html、2021.5.25(2022年7月10日確認)
- 51) 電力中央研究所／使用済核燃料貯蔵の基礎、pp.149～261、ERC出版、2014.4.20
- 52) 日本原子力学会／使用済燃料中間貯蔵施設用コンクリートキャスク及びキャニスタ詰替装置の安全設計及び検査基準：2007、AESJ-SC-F009:2007、2007.6
- 53) 経済産業省資源エネルギー庁／原子力発電所の「廃炉」、決まったらどんなことをするの？、https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/hairo.html、2019.3.15(2022年7月10日確認)
- 54) 経済産業省資源エネルギー庁／廃炉からのゴミをリサイクルでできるしくみ「クリアランス制度」、https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/clearance.html、2019.2.15(2022年7月10日確認)
- 55) 日本原子力研究開発機構／コンクリートのクリアランス、https://www.jaea.go.-jp/04/ntokai/backend/backend_01_01_03.html(2022年7月10日確認)
- 56) 日本原子力発電／東海発電所とリサイクル・クリアランス制度の適用について－、http://www.japc.co.jp/tokai/haishi/pdf/clearance.pdf(2022年7月10日確認)
- 57) 原子力規制委員会／クリアランス制度の実績（令和4年5月時点）、https://www.nsr.go.jp/activity/regulation/nuclearfuel/haiki4_jisseki.html(2022年7月10日確認)
- 58) 原子力規制委員会／第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合、配布資料2-1：原子力発電所の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について（電気事業連合会）、https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/hairo_kisei/20150212.html、2015.2.12(2022年7月10日確認)
- 59) 土木学会／コンクリートライブラリー 120：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)、2005.6.7
- 60) 小川秀夫他／電力原子力発電所の解体で発生するコンクリートのリサイクル、セメント・コンクリート、No.801、pp.9～16、2013
- 61) 多勢裕／原子力施設の解体技術動向－放射化鉄筋コンクリート部材の解体－、セメント・コンクリート、No.448、pp.2～7、1984.6
- 62) 金野正晴／低放射化コンクリートの開発の現況、コンクリート工学、Vol.42、No.6、pp.3～10、2004.6
- 63) 前川利雄他／低放射化コンクリートの14MeV中性子照射実験、セメント・コンクリート、No.719、pp.26～31、2007.6
- 64) 宮原正信他／低発熱・低放射化コンクリートの施工－大強度陽子加速器施設－茨城県、セメント・コンクリート、No.730、pp.31～41、2007.12
- 65) 一坪幸輝／低放射化セメントの開発－間隙質液相量を低減したセメント・クリンカーの特性－、セメント・コンクリート、No.741、pp.14～21、2008.1
- 66) 原子力規制委員会／実用発電用原子炉の規制－運転段階の安全規制「高経年化対策」、https://www.nsr.go.jp/activity/regulation/reactor/unten/unten3.html(2022年7月10日確認)
- 67) 日本建築学会／原子力施設における建築物の維持管理指針－同解説（第2版）、2015.12.15
- 68) 日本原子力学会／原子力発電所の高経年化対策実施基準：2021、AESJ-SC-P005:2001、2021.9
- 69) U.S.NRC／A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures、NUREG/CR-7031、https://www.nrc.gov/-reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7031/index.html、2010.12(2022年7月10日確認)
- 70) U.S.NRC／Review of Radiation-Induced Concrete Degradation and Potential Implications for Structures Exposed to High Long-Term Radiation Levels in Nuclear Power Plants、NUREG/CR-7280、https://www.nrc.gov/-reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7280/index.html、2021.7(2022年7月10日確認)
- 71) I. Maruyama / Special issue: Aging management of Concrete Structures in Nuclear Power Plants、Journal of Advanced Concrete Technology、Vol.14、SI-S211、2016.12.31
- 72) Y. L. Pape、et.al. / Aging Management of Concrete Structures in Nuclear Power Plants (Part II)、Journal of Advanced Concrete Technology、Vol.19、SI-S218、2021.8.19

講習会「わかりやすい地盤工学基礎シリーズ」 学生会員 3,000 円 学生会員外 4,000 円
開 催 日： 2022 年 9 月 9 日(金)
会 場： オンライン (Zoom)
参 加 費： 会員 7,000 円, 非会員 12,000 円, 学生 2,000 円
持 物： 関数電卓, 筆記用具
申込方法： 地盤工学会 HP より申込み
問 合 せ： 地盤工学会講習会係
電 話： 03-3946-8671

講習会「基礎からの防火材料－材料・工法で建築と人命を火災から守るために－」
開 催 日： 2022 年 9 月 14 日(水)
会 場： 建築会館ホール(東京都港区)およびオンライン
参 加 費： 会場…会員 8,000 円, 後援団体 10,000 円, その他 13,000 円
オンライン…会員 8,000 円, 後援団体 10,700 円, その他 13,700 円
申込方法： 日本建築学会 HP より申込み
定 員： 会場 50 名, オンライン無制限※申し込み先着順
問 合 せ： 日本建築学会講習会「基礎からの防火材料－材料・工法で建築と人命を火災から守るために－」係
電 話： 03-3456-2057

コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に関する研究委員会報告会
開 催 日： 2022 年 9 月 29 日(木)
会 場： ライブ配信
参 加 費： 正会員 5,000 円 名誉・終身・フェロー会員 3,000 円, 団体・後援団体 6,000 円 会員外 8,000 円
申込方法： 日本材料学会 HP より申込み
問 合 せ： 日本材料学会
電 話： 075-761-5321

第49回セメント系固化材セミナー 国土強靱化を支える地盤改良

「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」は、1985 年に初版を発刊して以来、建設技術者の手引書的な役割を担って参りました。第5版では、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、実務に役立つ情報を数多く記載しました。

本セミナーは、この改訂版をテキストとし、編集に携わった先生方による講演を行います。この機会に是非ともご聴講いただきますようご案内いたします。

主 催： 一般社団法人セメント協会 日 時：2022 年 9 月 9 日(金) 9:30～16:40
会 場： JA 共済ビル カンファレンスホール[〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-7-9]
C P D： 土木学会認定 CPD プログラム (JSCE22-0737 5.9 単位)
(オンライン受講の方)土木学会以外の団体に提出する場合の方法等は提出先団体に事前にご確認ください。他団体が運営する CPD 制度に関する内容については回答いたしかねます。
定 員： 【会 場】100 名 【オンライン】300 名※定員になり次第締切
受 講 料： 1 名当たり 12,000 円 (税込・テキスト代を含む)※お申込み後のキャンセルは、いかなる理由でも返金は致しかねますのでご了承ください。
申込方法： セメント協会ホームページから、[動画配信・セミナーのご案内／ <https://jcafukyu.jp/>]よりお申込みください。

申込方法： 日本コンクリート工学会 HP より申込み
申込締切： 2022 年 9 月 16 日(金)
定 員： 200 名※申し込み先着順
問 合 せ： 日本コンクリート工学会 「粉体系材料報告会」係(担当：岡田)
電 話： 03-3263-7204

アンボンドプレストレストコンクリート構造部材の曲げ挙動に関する研究委員会報告会

開 催 日： 2022 年 9 月 30 日(金)
会 場： ライブ配信
参 加 費： 正会員 6,000 円 名誉・終身・フェロー会員 3,000 円, 団体・後援団体 7,000 円 会員外 8,000 円
学生会員 3,000 円 学生会員外 4,000 円
申込方法： 日本コンクリート工学会 HP より申込み
申込締切： 2022 年 9 月 16 日(金)
定 員： 100 名※申し込み先着順
問 合 せ： 日本コンクリート工学会 「アンボンド PC 報告会」係(担当：綿貫)
電 話： 03-3263-7204

第8回材料WEEK

開 催 日： 2022 年 10 月 11 日(火)～ 14 日(金)
会 場： 京都テルサ(京都市南区)およびオンライン
参 加 費： 参加プログラムにより金額が異なります。詳しくは HP にて。
申込方法： 日本材料学会 HP より申込み
問 合 せ： 日本材料学会
電 話： 075-761-5321

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載号
インフラ学際研究シンポジウム	2022 年 8 月 31 日	オンライン	土木学会 研究事業課 (担当：岡崎)	okazaki@jsce.or.jp	7 月号 p.60
令和 4 年度 第 44 回「セメント若手の会」夏季セミナー	2022 年 9 月 2 日	オンライン	UBE 三菱セメント(株)研究所 セメント研究室 (代表幹事：後藤)	0836-22-6186	7 月号 p.45
研究会「再生可能エネルギーをめぐる景観」	2022 年 9 月 5 日	オンライン	日本建築学会事務局 (担当：中村)	03-3456-2057	7 月号 p.60
講習会「わかりやすい地盤工学基礎シリーズ」	2022 年 9 月 9 日	オンライン	地盤工学会講習会係	03-3946-8671	本号 p.58
第49回セメント系固化材セミナー 国土強靱化を支える地盤改良	2022 年 9 月 9 日	東京都 および オンライン	セメント協会・普及部門	03-5540-6180	本号 p.58
性能評価型耐震設計に用いるコンクリート構造物の 非線形モデル研究委員会報告会	2022 年 9 月 12 日	オンライン	日本コンクリート工学会 「非線形モデル報告会」係 (担当：清宮)	03-3263-7204	7 月号 p.60
講習会「基礎からの防火材料－材料・工法で建築 と人命を火災から守るために－」	2022 年 9 月 14 日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2057	本号 p.58
コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に 関する研究委員会報告会	2022 年 9 月 29 日	オンライン	日本コンクリート工学会 「粉体系材料報告会」係 (担当：岡田)	03-3263-7204	本号 p.58
アンボンドプレストレストコンクリート構造部材の曲げ 挙動に関する研究委員会報告会	2022 年 9 月 30 日	オンライン	日本コンクリート工学会 「アンボンド PC 報告会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	本号 p.58
構造ヘルスモニタリングと目視点検の融合」に関する 講習会	2022 年 10 月 6 日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 (担当：岡崎)	okazaki@jsce.or.jp	7 月号 p.60
第8回材料WEEK	2022 年 10 月 11 日～ 10 月 14 日	京都市 および オンライン	日本材料学会	075-761-5321	本号 p.58
第 40 回初心者のための疲労設計講習会	2022 年 10 月 12 日～	京都市 および オンライン	日本材料学会	075-761-5321	6 月号 p.57
第 22 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	2022 年 10 月 13 日～ 10 月 14 日	京都市 および オンライン	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	4 月号 p.37

※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	実施日	申込期間	会場名	定員	空き 状況	参加費	土木学会 CPD (単位)
コンクリート舗装の基礎知識 (約 33 分)	2021 年 3 月 1 日(月) 9:00～ 2022 年 9 月 30 日(金) 17:00	2021 年 3 月 1 日(月)～ 2022 年 9 月 30 日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	0.7
セメント系固化材の基礎知識 (約 45 分)	2021 年 3 月 1 日(月) 9:00～ 2022 年 9 月 30 日(金) 17:00	2021 年 3 月 1 日(月)～ 2022 年 9 月 30 日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	0.9
セメント系補修・補強材料の基礎知識 (約 29 分)	2021 年 3 月 1 日(月) 9:00～ 2022 年 9 月 30 日(金) 17:00	2021 年 3 月 1 日(月)～ 2022 年 9 月 30 日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	0.5
地盤改良に関する試験について (約 31 分)	2021 年 12 月 24 日(月) 9:00～ 2023 年 3 月 31 日(金) 17:00	2021 年 3 月 1 日(月)～ 2023 年 3 月 31 日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	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/>



エトリンガイトの遅延生成に関する文献調査：メカニ
ズム，影響因子および抑制方法
Yulu Zhang, ほか
Magazine of Concrete Research
73[7]325～342(2021)

エトリンガイトの遅延生成(DEF)はコンクリートの膨
張劣化の原因の一つである。その発生要因は様々で
あり，メカニズムも複雑である。著者らはDEFに関す
る過去の研究を調査し，設計段階でのDEFによる膨
張の抑制，膨張予測，既存構造物の性能評価につ
いて以下のようにまとめている。DEF膨張劣化は一般
的にマスコンクリートやPCa製品において，初期段階
で高温履歴を受けた場合に発生する。DEFの発生
メカニズムは，セメント鉱物のC3Aと二水せっこうの反
応により生成したエトリンガイトが，70℃以上の高温
により分解され，この成分がモノサルフェートと反応して
エトリンガイトが再生成することで説明される。DEFに
よる膨張メカニズムは，ペースト膨張説と結晶成長圧
説が提案されている。DEFの膨張に大きな影響を及
ぼす要因は，セメント特性，温度履歴，環境水分条
件などであるが，これらは複雑に相互に関連している。
各要因のしきい値を定量化するのではなく，硫酸塩含
有量，アルカリ含有量，セメントのブレン等の相乗効
果を調査することにより，DEFの膨張を抑制するた
めの温度履歴の制御が必要であるとしている。また，既
設構造物のDEF膨張を特定するためには，コア試験
片の残存膨張測定と微細構造観察が効果的としてい

るが，非破壊での長期モニタリング方法の必要性を示
している。また，DEF膨張予測と劣化評価として，化学・
力学的複合モデルは実構造物でも用いられており，有
効であると著者らは述べている。

セメント混合材としての石炭フライアッシュの代替利用
に向けたバイオマスフライアッシュの評価
Jan Fořt, ほか
Construction and Building Materials
271 論文No, 121544(2021)

本研究では，EUにおける石炭燃焼発電の減少に
よる石炭フライアッシュの将来的な利用可能量の減少
に対応するべく，石炭フライアッシュの代わりにバイオ
マスフライアッシュ(BFA)を利用してセメント混合材とし
ての性能を評価した。
実験では，バイオマス発電所からの木質BFAを用
いてポルトランドセメント(OPC)の10～70wt%を置換
して混合材として使用した。XRF，XRD，SEM等を用
いてBFAの品質解析や混合セメントとしての水和
解析を実施するとともに，モルタルでの活性度指数や
ポゾラン有効係数を置換率に応じて実験的に検証し
た。なお，ポゾラン有効係数は混合セメント中のOPC
基材によって発現した圧縮強さに対するBFAによって
発現した圧縮強さの比率である。

BFAは石炭フライアッシュよりクロムなどの有害元素
の含有率がはるかに低く，OPCと同程度の平均粒径
であったことから，前処理不要で使用できる利点があ
る。また，BFAを混合材としてOPCの10～30wt%
まで置換した際に，水和発熱速度の抑制効果とOPC
とほぼ同程度の空隙率・圧縮強度を示し，特に曲げ
強度は置換率による低下が緩やかだった。一方，
40wt%以上を置換した際には混合セメントの各種性能

が低減した。以上のことから，BFAはOPCに対して
最大30%程度までの置換率で，混合材として使用可
能であることが示唆された。

3Dプリンティング施工用の持続可能なセメント系材料
Shantanu Bhattacharjee, ほか
Cement and Concrete Composites
122 論文No, 104156(2021)

3Dプリンティング技術によりコンクリート構造物を施工
するさいに用いられるセメント系材料において，環境
負荷の観点から材料の持続可能性を評価した。材料
の製造・輸送・施工に至るまでのプロセスにおける
CO₂排出量ならびにエネルギー消費量から環境に与え
る影響を定量化し，既往文献で用いられているセメン
ト系結合材ならびに代替結合材を対象として調査を
行った。

3Dプリンティング材料として広く用いられている普通
ポルトランドセメント(OPC)は材料製造時に多量のCO₂
排出ならびにエネルギー消費をとまなうため，フライア
ッシュやスラグに代表される混和材(SCMs)や，環境負
荷の小さい再生骨材への代替により持続可能性が改
善される。結合材へのSCMsの代替使用は環境面の
改善に加えて，低コストであることや硬化体構造の緻
密化による耐久性の向上が期待される。また，他の
代替結合材の候補として，フライアッシュやスラグをアル
カリ活性剤により硬化させるジオポリマー，資源とし
て豊富に存在する石灰石を利用した石灰石焼成粘土
セメント(LC3)，CO₂排出量が従来セメントの半分で
あるスルホアルミン酸カルシウムセメント(CSA)を取り上
げており，各種配合に対して総CO₂排出量ならびに
総エネルギー消費量の比較検討を行っている。環境
面に加えてコスト面・資源面の観点から，本報告では

SCMsならびにジオポリマーがOPCに対する代替品と
なりうると主張している。

セメント混合材に用いる天然ポゾランの地球化学的評
価手法による同定
A.R. Pourkhorshidi, ほか
Advances in Cement Research
33[12]550～560(2021)

セメント製造による環境の汚染を防止するため，天然
ポゾランを混合材として用い，セメントの一部を置き換
える手法が注目されている。しかし，天然ポゾランは地域
により岩石の性状が大きく異なり，品質が安定しないこと
が課題の一つである。そこで本研究では，天然ポゾラ
ンの簡便な評価方法を検討した。筆者らは，セメント混
合材に用いられている世界各国の天然ポゾランについ
て，岩石種と化学組成，ポゾラン性能の関係を文献に
より調査した。

その結果，酸化カリウムおよび酸化ナトリウムの総量と
シリカの比がポゾラン活性と相関を有し，ポゾランのアル
カリ性が高すぎないほうがポゾラン活性は高いことを見
いだした。次に，酸化カルシウム，酸化カリウムおよび酸
化ナトリウムの総量とアルミナの比(アルミナ飽和度)が
0.5から1.5である岩石がポゾランに適する傾向を明らか
にした。さらに，シリカに対する酸化カルシウムの量をプロ
ットしたとき，CaO=40-1/2SiO₂という直線よりも下側に位
置する組成の岩石がポゾランに適することを見いだした。
上述の化学組成比を用い，イラン国内の種類の天然ポ
ゾランを評価すると，その結果はEN 196-5，および
ASTM C618に定められる天然ポゾランの評価結果と高
い一致を示した。筆者らは，本手法を用いることで天然
ポゾランの評価を上記の2規格よりも簡便，かつ低コスト
に実施することが可能であると主張する。

生 産

		(単位:千t, %)			
種類	項目	22年 4月	前年比	22年 5月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,684	97.9	2,737	92.9
	早強・超早強	202	97.4	222	103.8
	中庸熟	58	104.9	93	113.6
	低熟	9	58.1	22	84.2
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	1	143.4	0	-
	小計	2,955	97.8	3,075	94.1
混合セメント	高炉	731	92.2	744	97.9
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	2	55.9	7	458.1
	その他	86	83.4	19	18.1
	小計	819	91.1	770	89
その他のセメント		12	80	11	83.9
計		3,785	96.2	3,854	93
輸出用クリンカ等		343	103.9	701	106
合計		4,128	96.8	4,555	94.8

販 売

		(単位:千t, %)					
地区	22年 4月	前年比	構成比	22年 5月	前年比	構成比	
北海道	118	91.7	3.8	129	98.7	4.7	
東北	229	88.3	7.5	213	93.0	7.7	
関東一	774	99.7	25.3	669	100.2	24.1	
関東二	300	103.1	9.8	270	109.7	9.7	
北陸	123	89.0	4.0	116	92.8	4.2	
東海	348	94.1	11.4	319	98.7	11.5	
近畿	441	95.7	14.4	399	102.2	14.4	
四国	95	90.5	3.1	88	98.9	3.2	
中国	194	97.6	6.3	166	94.0	6.0	
九州	374	99.3	12.2	354	112.5	12.8	
沖縄	66	102.0	2.2	48	90.9	1.7	
計	3,064	96.6	100.0	2,772	100.9	100.0	

輸 出

		(単位:千t, %)	
地域・仕向地	項目	22年 4月	22年 5月
アジア	韓国	48	67
	中国	150	110
	台湾	7	25
	香港	90	181
	フィリピン	50	175
	シンガポール	168	203
	マレーシア	27	0
その他	小計	540	761
	大洋州	173	366
	中南米	0	0
合計		713	1127

需 給

(単位:千t, %)																
項 目		生 産		販 売						期末在庫		輸 入		内 需		固化材 原料他
				国 内	前年比	輸 出	前年比	合 計	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

セメントハンドブック 2022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2022年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf



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



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

年月	建設工事受注動態統計(出典:国土交通省)							(単位:億円)
	総数	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490	
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717	
2021年5月	13,874	2,397	167	2,837	2,782	4,510	669	
6	21,581	3,246	442	2,626	4,285	8,910	469	
7	19,058	2,731	573	1,622	4,882	7,341	572	
8	16,066	2,192	358	1,950	4,670	4,673	651	
9	20,200	3,315	509	2,494	6,211	5,845	386	
10	15,410	2,288	273	1,669	5,368	4,471	238	
11	12,176	1,630	285	1,498	3,505	3,738	579	
12	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456	
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141	
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552	
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655	
4	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	

年月	建築着工(出典:国土交通省)								(単位:万㎡)
	統計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋 コンクリート造	鉄筋 コンクリート造	鉄骨造	コンクリート ブロック造	その他	居住用	非居住用
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806
2021年5月	1,042	438	11	200	388	0.5	6	614	428
6	1,085	486	18	161	412	0.5	7	657	428
7	1,066	477	11	202	370	0.4	6	658	408
8	954	462	7	153	326	0.4	8	641	313
9	995	466	18	162	343	0.5	6	625	370
10	1,209	488	22	162	531	0.4	6	676	533
11	1,012	467	14	175	346	0.7	9	638	374
12	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392

※単位は万㎡以下四捨五入したため、かみらずしも統計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出典:国土交通省)								(単位:億円)
	統計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)
		計	製造業	計	国の機関				
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	-
2021年5月	7,470	4,666	940	2,440	1,674	4,576	2,894	4,477	186,330
6	13,631	9,020	1,807	3,611	2,036	9,074	4,557	8,590	187,713
7	8,925	6,244	2,042	2,324	1,373	6,069	2,855	5,598	188,502
8	8,766	6,304	2,156	2,059	1,370	6,285	2,481	5,517	187,949
9	15,826	12,450	1,699	2,780	1,935	11,984	3,842	11,695	190,553
10	9,753	7,135	2,003	2,202	1,555	6,806	2,947	6,243	190,874
11	10,676	7,495	2,213	2,269	1,498	6,782	3,894	6,496	191,232
12	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	194,534
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875	193,576
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341	202,497
4	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	-

※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(日本銀行調べ)									
	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.) 2020年度平均(F.Y.)	100 99.8	100 100.1	100 100.2	100 100.5	100 100.2	100 101.7	100 101.2	100 100.7	100 100	100 100.3
2021年5月	103.4	100.5	100.9	101.8	124.2	102.1	115.5	115.4	99.9	99.3
6	104.2	100.5	101	101.7	143.5	102.3	123.2	119.1	100.1	99.8
7	105.4	100.5	101.3	101.9	157.5	102.3	125.8	123.1	101.5	100.2
8	105.5	100.5	101.8	102.3	163.4	103	129.6	126.4	101.8	100.2
9	106	100.5	102.1	102.2	169	103	131.6	128.2	102.4	99
10	107.5	100.5	102.1	102.1	170.1	103	133.6	130.3	103.4	99.7
11	108.2	100.5	102.3	102.2	169.9	103	137.4	133.7	104.5	99.5
12	108.4	100.5	102.6	102.3	169.5	103	138.5	136.6	105	99.5
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.1	101.6
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.6	102
3	111.3	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.4	101.6
4	112.9	106.6	103.7	103.7	165.8	104.6	150.4	148.9	108.4	101
5	113	108.8	105	104.7	166.2	106.3	155	153.9	109.3	101.8
6	113.8	108.8	105	105	165.6	106.3	157.2	158.3	110.4	103.6

※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(経済産業省調べ)				
		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)	ポール (t)	パイル (t)		
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年5月		7,419	34,256	115,640	5,215	30,549
6		9,699	39,098	137,448	5,699	31,022
7		9,551	38,510	106,324	5,198	32,456
8		8,048	34,922	81,217	4,646	29,695
9		10,623	38,849	106,581	5,247	34,553
10		11,770	39,770	112,008	5,755	42,042
11		12,691	42,554	108,094	5,708	47,180
12		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(経済産業省調べ)			
		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)		
2019年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年5月		7,358	34,817	2,249	81,549
6		10,439	36,530	2,675	97,276
7		9,869	37,805	2,655	106,963
8		7,888	27,448	2,429	93,426
9		10,495	38,030	2,742	109,780
10		11,778	50,928	2,745	117,155
11		14,667	45,639	2,847	115,458
12		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年1月		8,771	46,513	2,315	96,860
2		15,218	47,744	2,474	91,643
3		20,647	61,261	2,758	103,188
4		15,969	55,963	2,527	98,544
5		14,242	45,414	2,338	91,205

セメント・コンクリート編集委員会

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) 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 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 セメント・コンクリート研究部 副部長

上村 豊 デンカ(株) エラストマー・インフラソリューション部門 セメント部技術課長

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)

黒田 泰弘 清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 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

小西 正芳 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 技術参与

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 シニアフェロー

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

弓削 祐夫 U B E 三菱セメント(株) 技術戦略部 部長

窪木 康雄 (一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長

野崎 隆人 (一社)セメント協会 セメント系固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

中山 英明 (一社)セメント協会 研究所長

一般社団法人 セメント協会加盟会社

八 戸 セ メ ン ト (株)

日 鉄 高 炉 セ メ ン ト (株)

日 鉄 セ メ ン ト (株)

東 ソ ー (株)

(株) ト ク ヤ マ

琉 球 セ メ ン ト (株)

苅 田 セ メ ン ト (株)

太 平 洋 セ メ ン ト (株)

敦 賀 セ メ ン ト (株)

(株) デ イ ・ シ イ

デ ン カ (株)

麻 生 セ メ ン ト (株)

U B E 三 菱 セ メ ン ト (株)

明 星 セ メ ン ト (株)

日 立 セ メ ン ト (株)

住 友 大 阪 セ メ ン ト (株)

2022 No.907 CEMENT & CONCRETE

9月号 予告 セメント・コンクリート

○JIS A 5308におけるコンクリートの圧縮強度の可否判定基準の意味と妥当性

○コンクリートの最適打込み計画支援システム「T-Con.PAS®」の開発

○シリカフェームプレミックスセメント(SFPC®)を用いた超高強度コンクリートの酷暑環境下における諸特性

○混合成分がセメントの水および水和物に及ぼす影響

○JR田沢湖線斉内川橋梁の架設—PRCランガーアーチ橋の横取り桁架設—

○ドローンによる建築物調査関連の法令・研究・民間の動向

OSDGsに合致した北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの地域実装の現状と展望

○シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する クリンカー化合物、水和物の組成、密度など・エピソードにかえて

○トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発

○ずいそう(岸 和博) ほか



国道18号妙高大橋架替における連続鉄筋コンクリート舗装の施工

セメント・コンクリート No.906 8月号
2022(令和4)年8月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者	乾 敏一
編集者	藤原 恵美／古屋 祐介
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 電話 FAX	〒114-0003 東京都北区豊島4-17-33 03-3914-2691 (代表) 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

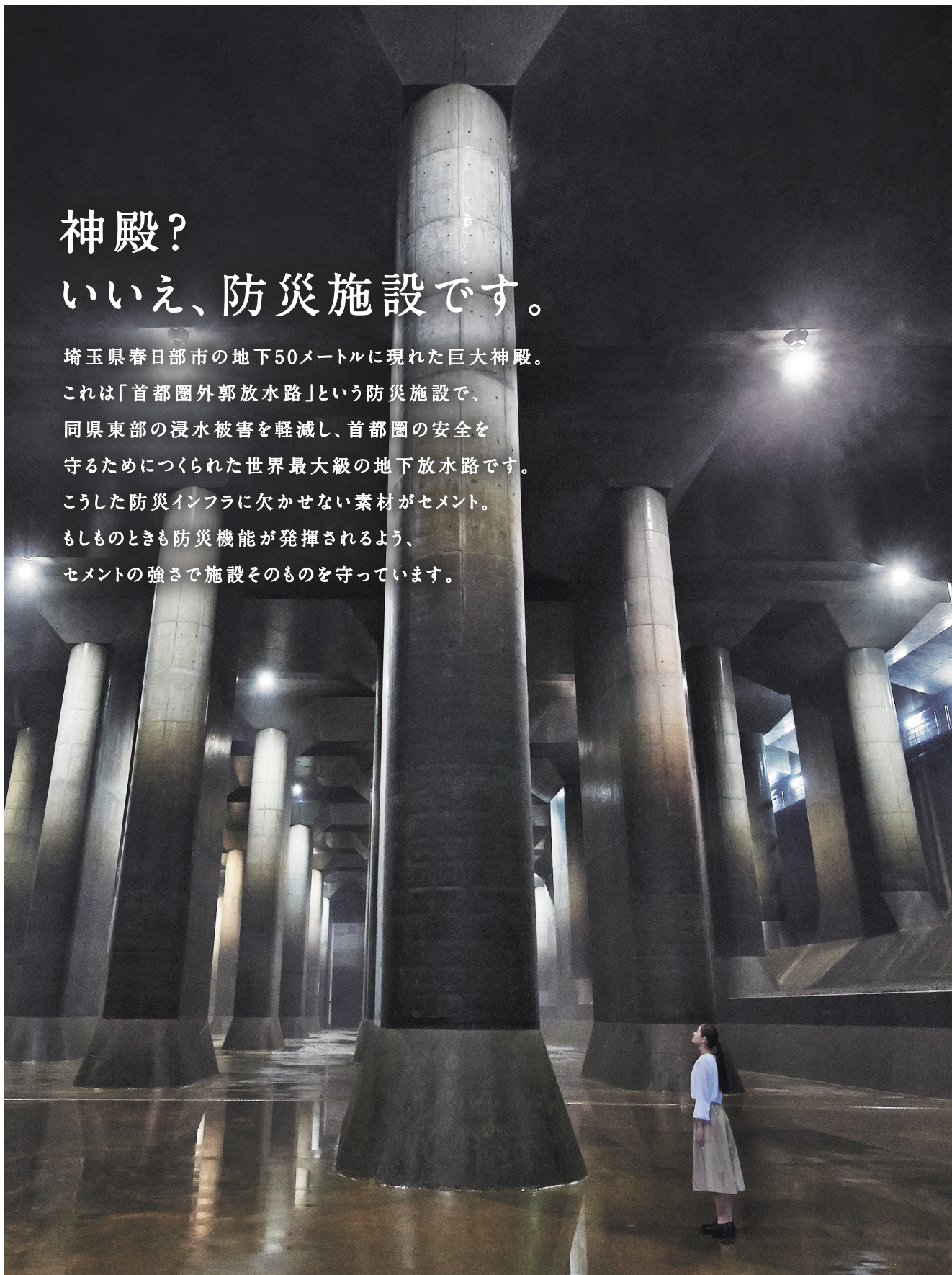
セメント協会ホームページ



セメント・コンクリート No.906 / 2022.8 令和4年8月15日発行

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

定価 1100 円 本体 1000 円 ⑩ 送料別