

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

2023
No.917

7

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和5年7月15日発行 ISSN0371-0718



—未来をカタチに変える創造力—



コンクリート用化学混和剤

フローリック

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

◆ AE減水剤（高機能タイプ）

フローリック SV10シリーズ

◆ AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）

フローリック SL20S・R

◆ 高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

◆ 乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード

◆ 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ（標準形・遅延形）

フローリック SF500SK・RK

◆ 高性能減水剤

フローリック VP900シリーズ

 日本製紙グループ
株式会社フローリック

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

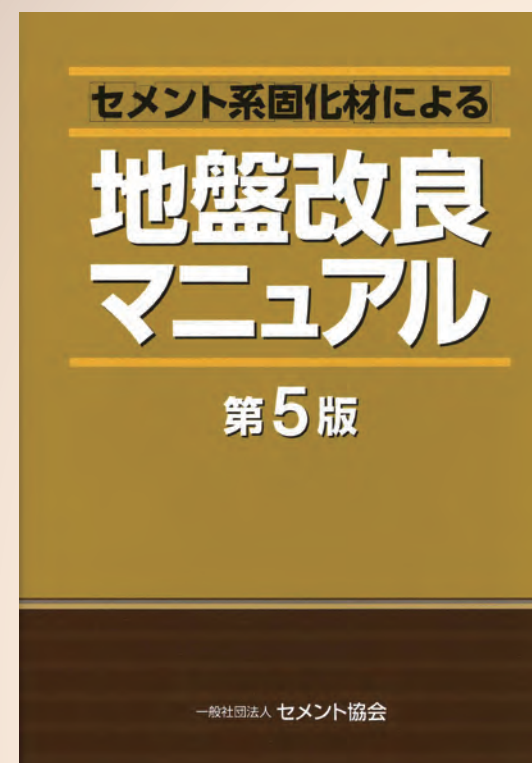
コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック 検索

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

セメント協会の出版物

セメント系固化材による 地盤改良マニュアル



**最新第5版
発刊しました。**

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

第5版改訂のポイント

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

**A5判 502頁
税込定価 6600円**

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

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで

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

セメント・コンクリート 7

CEMENT & CONCRETE
2023 No.917

もくじ

- | | | |
|----|---|----------------------|
| 02 | JCA Report
2022年度のセメント生産および操業の概況 | … (一社)セメント協会 生産・環境部門 |
| 06 | セメント・コンクリート分野におけるCO ₂ 削減
～建築基準における課題と方策～ | … 鹿毛 忠継 |
| 14 | 国道185号呉市安浦町地内におけるコンクリート舗装修繕工事 | … 惣中 英章 |
| 18 | 押し架設工法で石狩川を渡河する妹背牛橋の施工 | … 中村 雅樹ほか |
| 24 | ずいそう
酒と料理とインフラと | … 中島 良光 |
| 26 | β -C ₂ Sの炭酸化によるCO ₂ 固定
～「カーボフィクス®セメント」のCO ₂ 固定化機構の解明に向けて～ | … 扇 嘉史ほか |
| 32 | 調査・製造管理データを用いた機械学習によるコンクリート圧縮強度の予測 | … 赤羽根 駿之介 |
| 38 | シリーズ／セメント系固化材 その特性と広がる可能性⑥
セメント改良技術の適用事例・深層混合処理工法 スラリー攪拌工(CDM工法) | … 徳永 幸彦 |
| 46 | シリーズ／セメント系固化材 その特性と広がる可能性⑦／最終回
セメント改良技術を取り巻く海外事情 | … 北詰 昌樹 |
| 50 | シリーズ／セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード
CO ₂ とケイ素化合物からポリカーボネートやポリウレタンの原料を合成 | … 深谷 訓久ほか |
| 56 | TOPICS
第77回セメント技術大会を開催 | |
| 60 | セメスタグラム／コンクリートに魅せられて
日本水準原点標庫 | |

13,45 外国雑誌の記事情報

62 EVENT GUIDE

64 セメント・データファイル

66 主要建設工事・資材統計

68 8月号予告



今月の表紙

押し架設工法で施工された妹背牛橋 左上：押し全景、右上：主桁製作ヤード内での作業、下：片持ち架設部との主桁連結完了[北海道／提供：日本高圧コンクリート(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

2022年度のセメント生産および 操業の概況

(一社)セメント協会 生産・環境部門

1. 生産

2022年度のセメント生産量(輸出用クリンカー等を含む)は51,482千t、前年比92.4%と減少しました(表1、図1)。

ポルトランドセメントは36,820千t(前年比96.0%、構成比77.8%)、混合セメントは10,337千t(前年比88.9%、構成比21.9%)、その他のセメントは143千t(前年比93.7%、構成比0.3%)となり、ポルトランドセメントの構成比が前年度より1.3%増加し、混合セメントの構成比が前年度より1.3%減少しました。輸出用クリンカー等は4,182千t(前年比74.3%)と減少しました。

ポルトランドセメントの種類別の構成比をみると、前年度に比較し、中庸熟ポルトランドセメント、耐硫酸塩

表1 種類別生産量

種類		2022年度		2021年度		2022/2021 (%)
		数量 (千t)	構成比 (%)	数量 (千t)	構成比 (%)	
ポルトランドセメント	普通	32,850	69.4	34,298	68.4	95.8
	早強・超早強	2,915	6.2	3,002	6.0	97.1
	中庸熟	843	1.8	809	1.6	104.3
	低熱	207	0.4	225	0.4	92.1
	耐硫酸塩	2	0.0	1	0.0	125.8
	その他	3	0.0	3	0.0	86.6
	小計	36,820	77.8	38,338	76.5	96.0
混合セメント	高炉	9,518	20.1	10,380	20.7	91.7
	シリカ	0	0.0	0	0.0	—
	フライアッシュ	33	0.1	36	0.1	91.8
	その他	786	1.7	1,207	2.4	65.1
	小計	10,337	21.9	11,623	23.2	88.9
その他のセメント		143	0.3	153	0.3	93.7
計		47,300	100.0	50,114	100.0	94.4
輸出用クリンカー等		4,182	—	5,627	—	74.3
合計		51,482	—	55,741	—	92.4

Statistical summary of Cement Production in JAPAN
2022(JCA)

ポルトランドセメントは増加しましたが、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント、その他のポルトランドセメントは減少しました。

一方、混合セメントは、高炉セメント、フライアッシュセメント、その他の混合セメントともに前年度より減少しました。

なお、シリカセメントは、2010年度以降生産はありません。

2. 操業

2-1. 操業実績※1

2022年度のクリンカ生産量は43,650千t、前年比92.2%となりました。

製造様式別の生産量で見ると、NSP(新サスペンションプレヒーター付キルン)による生産は前年度より2,588千tの減少、SP(サスペンションプレヒーター付キルン)による生産量は前年度より1,100千tの減少となりました(表2)。

2022年度のクリンカ製造能力の53,202千tに対し、クリンカ生産量が43,650千tであったことから、稼働率は82.0%となりました(表3)。

なお、2023年4月1日現在の回転窯(キルン)基数はNSP41基、SP8基の計49基で、クリンカ製造能力は51,098千tです。

※1 表1の「その他のセメント」の生産に伴うものは含まれていない。

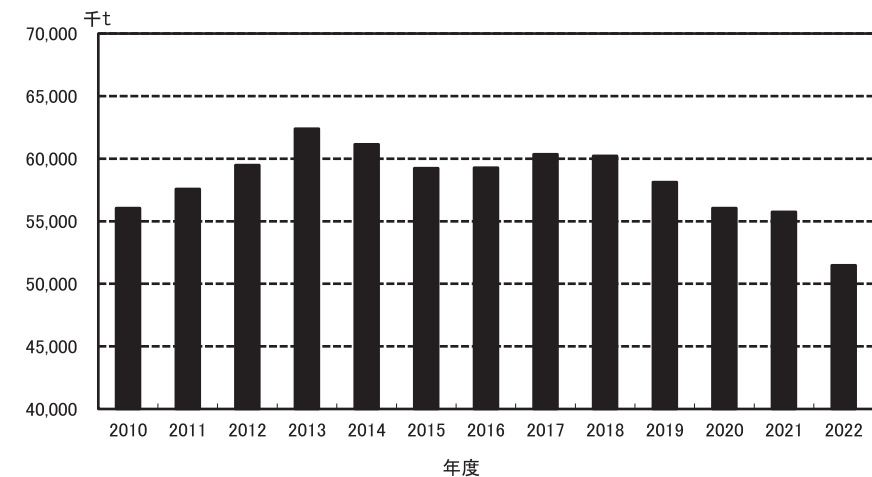


図1 会計年度セメント生産(クリンカ出荷を含む)対比
(2010-2022年度)

表2 製造様式別クリンカ生産量

製造様式		2022年度		2021年度		2022/2021 (%)
		数量 (千t)	構成比 (%)	数量 (千t)	構成比 (%)	
乾式	新サスペンション (NSP)	38,647	88.5	41,235	87.1	93.7
	サスペンション (S P)	5,003	11.5	6,103	12.9	82.0
合計		43,650	100.0	47,338	100.0	92.2

(注) 本表には表1の「その他のセメント」の生産に伴うものは含まれていない。

表3 クリンカ製造能力と稼働率

単位:千t, %

年度	元号	ｸﾘﾝｶ製造能力 (A)	ｸﾘﾝｶ生産量 (B)	稼働率 (B／A)
2000	平成12	87,223	74,542	85.5
2001	平成13	83,309	71,519	85.8
2002	平成14	80,278	68,046	84.8
2003	平成15	78,496	66,510	84.7
2004	平成16	74,247	65,137	87.7
2005	平成17	70,213	67,137	95.6
2006	平成18	70,233	65,461	93.2
2007	平成19	69,783	59,885	85.8
2008	平成20	68,134	55,647	81.7
2009	平成21	63,441	49,195	77.5
2010	平成22	61,477	47,279	76.9
2011	平成23	55,826	48,884	87.6
2012	平成24	54,761	49,883	91.1
2013	平成25	54,951	52,105	94.8
2014	平成26	55,955	51,573	92.2
2015	平成27	56,387	50,307	89.2
2016	平成28	55,962	50,436	90.1
2017	平成29	55,172	51,351	93.1
2018	平成30	55,526	50,979	91.8
2019	令和1	54,589	49,293	90.3
2020	令和2	54,279	47,522	87.6
2021	令和3	53,724	47,338	88.1
2022	令和4	53,202	43,650	82.0
2023	令和5	51,098	－	－

(注) 本表には表1の「その他のセメント」の生産に伴うものは含まれていない。

表４ 原料およびエネルギー消費量												
種類		年度		2022年度			2021年度			2022/2021		
				数量	構成比 (%)	原単位 (kg/t,kwh/t)	数量	構成比 (%)	原単位 (kg/t,kwh/t)		(%)	
原料	クリンカー 原料	石灰石類	(千t)	54,360	77.4	1,206	58,794	77.3	1,200	92.5		
		粘土類	(千t)	11,238	16.0	225	12,217	16.1	226	92.0		
		珪石類	(千t)	3,172	4.5	70	3,497	4.6	71	90.7		
		鉄原料	(千t)	1,477	2.1	30	1,547	2.0	29	95.5		
		その他	(千t)	1	0.0	0	2	0.0	0	76.4		
		計	(千t)	70,248	100.0	1,531	76,056	100.0	1,525	92.4		
	石こう	天然石こう	(千t)	29	1.7	1	51	2.6	1	57.9		
		化学石こう	(千t)	1,696	98.3	36	1,895	97.4	38	89.5		
		計	(千t)	1,725	100.0	36	1,946	100.0	38	88.7		
	合計			(千t)	71,973		1,567	78,002		92.3		
エネルギー	熱エネルギー	品目別	石炭	(千t)	5,285	67.2		5,910	69.6		89.4	
			石油コークス	(千t)	730	11.9		749	11.2		97.5	
			重油	(千kl)	36	0.7		40	0.8		89.6	
			その他	(千kl)	983	20.2		984	18.5		99.9	
			計(石炭換算)	(千t)	7,600	100.0		8,314	100.0		91.4	
	用途別		セメント製造用(石炭換算)	(千t)	5,761	75.8	112.2	6,241	75.1	112.3	92.3	
			発電用(石炭換算)	(千t)	1,839	24.2		2,073	24.9		88.7	
			計(石炭換算)	(千t)	7,600	100.0		8,314	100.0		91.4	
	電力エネルギー	供給別	購入	(百万kWh)	2,340	39.2		2,290	36.5		102.2	
			自家発電	(百万kWh)	3,637	60.8		3,977	63.5		91.5	
			計	(百万kWh)	5,978	100.0		6,267	100.0		95.4	
		用途別		セメント製造用	(百万kWh)	5,620	94.0	109.5	5,955	95.0	107.1	94.4
				セメント製造以外	(百万kWh)	357	6.0		312	5.0		114.6
計				(百万kWh)	5,978	100.0		6,267	100.0		95.4	

- (注)
1. 本表には表1の「その他のセメント」の生産に伴うものは含まれていない。
 2. 原料
消費量は水分を含む値。原単位は水分を除いた値で算出。
 3. 熱エネルギー
①石炭にはセメント製造用原料も含まれている。
②「その他」は廃油、廃タイヤ、廃プラスチック、木くず等のエネルギー代替廃棄物を重油換算した値である。
③石炭換算は、石炭、石油コークス、重油、その他を発熱量 25.95MJ/kgの石炭に換算し合計した値である。
④発電用は売電用に使用した分も含む。
⑤セメント製造用熱エネルギー原単位は、エネルギー代替廃棄物を含む値である。
 4. 電力エネルギー
自家発電量は売電分を除いた値である。

2-2. 原料使用状況※1

2022年度の原料使用量は、合計で71,973千t、前年比92.3%となりました(表4)。

2-3. 熱エネルギー使用状況※1

2022年度の用途別の熱エネルギーは、セメント製造用が石炭換算(25.95MJ/kg)で5,761千t、前年比92.3%と減少しました。自家発電用は石炭換算で1,839千t、前年比88.7%と減少しました。

この結果、総熱エネルギー使用量は石炭換算で7,600千t、前年比91.4%と減少しました。

総熱エネルギー使用量を種類別構成比で見ますと、

石炭67.2%(前年度69.6%)、石油コークス11.9%(同11.2%)、重油0.7%(同0.7%)、その他(エネルギー代替廃棄物)20.2%(同18.5%)となりました(表4)。

セメント製造用熱エネルギー原単位は石炭換算で112.2kg/tとなり、前年度より0.1kg/t減少しました。なお、エネルギー代替廃棄物を除くセメント製造用熱エネルギー原単位については前年度より減少しました(図2)。

2-4. 電力エネルギー使用状況※1

2022年度のセメント製造用電力エネルギーの使用量は5,620百万kWh、前年比94.4%となり、前年度より減少しました。また、セメント製造用電力エネルギー原

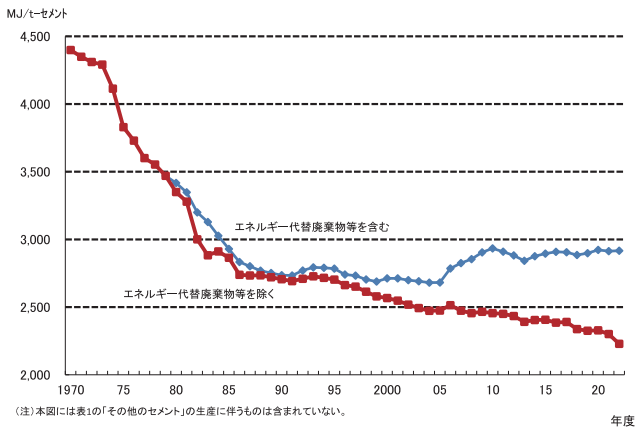


図2 セメント製造用熱エネルギー原単位の推移

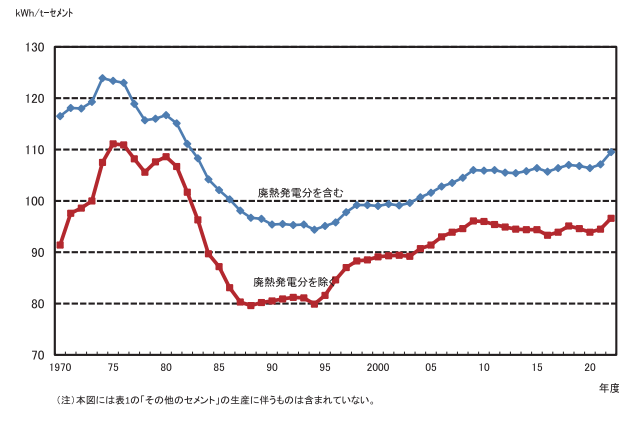


図3 セメント製造用電力エネルギー原単位の推移

表5 廃棄物・副産物使用量推移

種 類	主な用途	1990年度	2000年度	2010年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
石炭灰	原料,混合材	2,031	5,145	6,631	7,600	7,597	7,750	7,681	7,593	7,286	7,450	6,893
高炉スラグ	原料,混合材	12,213	12,162	7,408	7,301	7,434	7,398	7,852	7,430	6,981	6,939	6,519
汚泥,スラッジ	原料	341	1,906	2,627	2,933	3,052	3,255	3,267	3,091	2,950	2,904	2,864
副産石こう	原料(添加材)	2,300	2,643	2,037	2,225	2,149	2,179	2,229	2,091	2,032	2,098	2,000
燃えがら(石炭灰は除く)、ばいじん,ダスト	原料	468	734	1,307	1,442	1,534	1,524	1,530	1,554	1,482	1,471	1,534
建設発生土	原料	—	—	1,934	2,278	1,850	1,823	1,531	1,214	1,241	1,159	946
廃プラスチック	熱エネルギー	0	102	445	576	623	643	718	746	746	774	784
非鉄鉱滓等	原料	1,559	1,500	682	722	757	795	811	740	725	708	612
製鋼スラグ	原料	779	795	400	395	405	374	387	441	364	439	388
木くず	熱エネルギー	7	2	574	705	642	543	517	450	437	400	379
鋳物砂	原料	169	477	517	429	409	446	455	407	336	379	365
廃油	熱エネルギー	90	120	275	293	324	314	335	322	245	302	273
廃白土	原料,熱エネルギー	40	106	238	311	287	287	264	260	260	267	272
再生油	熱エネルギー	51	239	195	179	195	209	223	236	282	236	256
ガラスくず等	原料	0	151	111	129	141	130	152	165	154	151	142
肉骨粉	原料,熱エネルギー	0	0	68	57	57	59	60	63	71	71	80
廃タイヤ	原料,熱エネルギー	101	323	89	57	69	63	70	65	69	68	68
RDF, RPF	熱エネルギー	0	27	48	37	35	37	40	46	46	34	39
ボタ	原料,熱エネルギー	1,600	675	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	—	14	253	408	382	438	502	459	506	447	445	462
合計	—	21,763	27,359	25,995	28,053	27,997	28,332	28,583	27,422	26,155	26,294	24,878
セメント生産高		86,849	82,373	55,903	59,074	59,114	60,202	60,074	57,978	55,894	55,588	51,339
セメント1t当たりの使用量(kg/t)		251	332	465	475	474	471	476	473	468	473	485

注1.「建設発生土」は2002年度以降調査を開始。 2.「汚泥・スラッジ」は下水汚泥を含む。 3.「ガラスくず等」「RDF, RPF」はその他より独立。 4.「廃プラスチック」にはシュレッグーダストを含む。
5.「石炭灰」は電力業界以外の石炭灰を含む。 6.「その他のセメント」用は含まれていない。

単位は、109.5kWh/tと前年度より増加しました(表4、図3)。

使用電力に占める廃熱発電の割合は11.0%、廃熱発電以外の自家発電の割合は49.8%、購入電力の割合は39.2%でした。

3. 廃棄物・副産物使用状況※1

2022年度の廃棄物・副産物使用量の合計は、前年度より減少の、24,878千t(前年比94.6%)となりました。また、セメント1t当たりの使用量は485kgとなり、前年度より増加しました(表5)。

セメント・コンクリート分野におけるCO₂削減 ～建築基準における課題と方策～

Reducing CO₂ Emissions in the Cement and Concrete Sector
- Problems and measures in building standards -

鹿毛 忠継

1. はじめに

令和2年10月26日にグリーン社会の実現のために、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050年カーボンニュートラル」が宣言された。コンクリートに使用されるセメントは、その製造過程で地球温暖化の主要因である二酸化炭素(CO₂)を多く排出する。その量は、(一社)セメント協会の調査によると年間4000万tを超え、国内産業部門では電力、鉄鋼、化学に続く第4位の排出源であり、コンクリート分野におけるCO₂削減への対応は喫緊の課題となっている。

近年では、セメントを使用せずに、セメント・コンクリート系廃棄物を原材料とした新たな(いわゆる)コンクリートを製造する技術が提案されるなど、コンクリート分野でもセメントの使用削減に向けた研究開発がなされている。しかし、それらを適用するための技術基準(仕様、設計・施工規準、性能評価手法など)の標準化に関しては、建築では時間がかかる。そのため、建築のコンクリート分野にカーボンニュートラルを早期に実現するためには、現行のルールを変更する、または、

ルールの解釈を変更するなどの方法も一つの方策であると考えられる。

一方、既存建築物、例えば分譲マンションストックは、令和2年末時点で約675.3万戸、そのうち、築30年超が約231.9万戸、築40年超は約103.3万戸あり、築40年超のマンションは10年後に約2.2倍、20年後に約3.9倍となる見込みである。持続型社会の形成という観点から、これらのストックを長期に供用し続けるためには、コンクリートによる鉄筋の保護効果を高めて鉄筋腐食を防ぐ必要がある。そのためには、仕上材によりコンクリートを保護するなどして、CO₂や塩分が浸透しないような措置をとることも重要である。

本稿では、セメント・コンクリート分野におけるCO₂削減について、現行の建築基準の現状と課題について考察する。また、建築研究所および国土技術政策総合研究所が取り組むCO₂削減に寄与する方策についても紹介したい。

2. 建築基準の現状と課題

2-1. コンクリートの強度に関する規定(単位セメント量の削減に関する検討)

(1) コンクリートの調合に関する規定

建築分野におけるコンクリートの調合設計について、日本建築学会「コンクリートの調合設計指針・同解説」(以下、調合指針と称す)¹⁾では、構造設計や耐久設

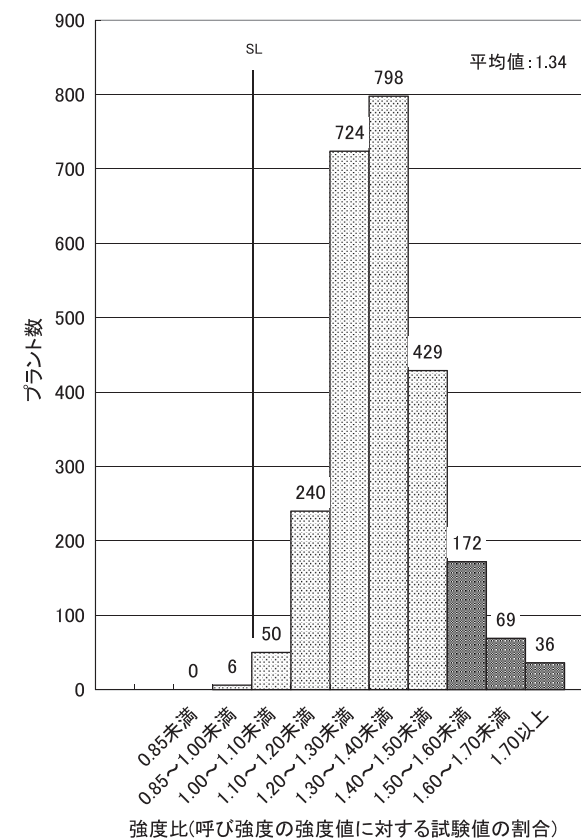


図1 令和3年度圧縮強度の適合性³⁾

計に必要な基準強度(設計基準強度F_cや耐久設計基準強度F_d、および品質管理強度F_q)を確保するために、構造体強度補正值(S値)やばらつき(標準偏差または変動係数)などを考慮し、調合強度を定めとしている。その場合、一定の不良率(試験値が調合管理強度F_m(F_q+S)やF_qを下回る確率)は許容されることが前提であるが、試験値が圧縮強度の最小限界値(調合管理強度F_m×0.85、一般的には短期許容応力度以上)以下となる確率がほとんど0になるようにも調合強度を定めている。また、日本建築学会「建築工事標準仕様書 鉄筋コンクリート工事(JASS 5)」(以下、JASS5(2022)と称す)²⁾では、構造体コンクリート強度の検査における供試体採取の考え方を2つの方法(A法およびB法)から選択できるようになった。A法は、構造体コンクリート強度の検査のための供試体と受入れ時の強度の検査における供試体とを併用する方法であり、B法は、2018年版までのJASS 5の構造体コンクリート強度の検査方法に準じるものである。ただ、A法の合否判定基準は、1回の試験結果がF_m以上である

こととしており、呼び強度の85%以上100%未満であっても不合格となり、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)(以下、JIS A 5308と称す)における強度の検査基準よりも厳しい条件を要求している。

次に、JIS A 5308における強度の検査、すなわちコンクリートの受入れ時の検査に関する箇条(10.2.1)では、強度試験の材齢において、①1回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の85%以上でなければならない、②3回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上でなければならない、の2つの条件が規定されている。すなわち、(推奨しているわけではないが、)1回の試験結果は呼び強度の強度値を下回ることを許容している。しかし、実際の検査において1回の試験結果が呼び強度の強度値を下回ること、すなわち、JASS 5(2022)におけるA法において不合格になるような場合は、皆無といってよい。

図1には、令和3年度全国統一品質管理監査結果³⁾におけるコンクリートの強度比(呼び強度の強度値に対する試験値の割合、N=2,524)を示す。これより、



かげ ただつぐ / KAGE Tadatsugu
(国研)建築研究所 材料研究グループ グループ長 Ph.D.

表1 単位セメント量およびCO₂削減に関する試算

W/C	σ28 ^{*1}	σ28 ^{*2}	C (W185)	差	C (W175)	差
25	60.9	—	740	—	700	—
30	56.6	—	617	123	583	117
35	53.4	—	529	88	438	83
40	—	50.0	463	66	438	63
45	—	43.0	411	51	389	49
50	—	37.5	370	41	350	39
55	—	32.9	336	34	318	32
60	—	29.2	308	28	292	27

*1：σ28＝34.72＋6.55C/W（W/C40%以下）

*2：σ28＝－12.51＋25.08C/W（W/C40～60%）

Fn	W/C ^{*3}	C (W185)	差	C (W175)	差
60	40.4	458	—	433	—
55	43.1	429	29	406	27
50	46.2	400	29	379	27
45	49.8	372	28	351	28
42	52.2	354	18	335	16
40	54.0	343	11	324	11
36	57.9	320	23	302	22
33	61.2	302	18	286	16

*3：W/C＝51/（F/K＋0.31）、セメント強さ K＝63N/mm²

強度比の平均値は1.34であり、強度比1.0を下回るもの(この場合は、前述の②の条件)は6件(0.2%程度)である。すなわち、不合格とならないためには、呼び強度(＝調合管理強度Fm)の1.3～1.4倍の強度値が必要であったことがわかる。これは、例えば、呼び強度27のコンクリートの場合、実際の強度値の平均値(＝調合強度)は36N/mm²以上(3ランク上の強度)であったといえる。一方、強度比1.5を上回るもの(全国統一品質管理監査における減点対象)は277件(11%)あり、コンクリートの調合設計の実態としては、適切な安全率が設定されていると考えられるが、過大(過剰)な安全率が設定されている場合もあることがわかる。

表1に単位セメント量およびCO₂削減に関する試算結果を示す。**表1**(上段)は、調合指針¹⁾に示される材齢28日のコンクリート強度(標準養生)の算定式により、あるW/Cにおいて単位水量Wを185および175kg/m³とした場合の単位セメント量Cを試算したものである。これより、W/Cが大きくなると単位セメント量Cは小さくなり、例えば、品確法の等級1(黒枠)、2(青枠)、3(緑枠)および長期優良住宅法(赤枠)で要求されるW/Cの範囲では、W/Cを5%増加させるとセメント量は27～

表2 昭和56年建設省告示第1102号におけるコンクリート強度に関する規定(抜粋)

設計基準強度との関係において安全上必要なコンクリート強度の基準等を定める件(昭和56年建設省告示第1102号) 建築基準法施行令(昭和25年政令第338号)第74条第1項第二号の規定に基づき、設計基準強度との関係において安全上必要なコンクリートの強度の基準を次の第1のように定め、同条第2項の規定に基づき、コンクリートの強度試験を次の第2のように指定する。 第1コンクリートの強度は、設計基準強度との関係において次の各号のいずれかに適合するものでなければならない。ただし、特別な調査又は研究の結果に基づき構造耐力上支障がないと認められる場合は、この限りでない。 一 コンクリートの圧縮強度試験に用いる供試体で現場水中養生又はこれに類する養生を行ったものについて強度試験を行った場合に、<u>材齢が28日の供試体の圧縮強度の平均値が設計基準強度の数値以上</u>であること。 二 <u>コンクリートから切り取ったコア供試体又はこれに類する強度に関する特性を有する供試体について強度試験を行った場合に、材齢が28日の供試体の圧縮強度の平均値が設計基準強度の数値に7/10を乗じた数値以上</u>であり、かつ、材齢が91日の供試体の圧縮強度の平均値が設計基準強度の数値以上であること。 三 コンクリートの圧縮強度試験に用いる供試体で標準養生(水中又は飽和蒸気中で行うものに限る。)を行ったものについて強度試験を行った場合に、<u>材齢が28日の供試体の圧縮強度の平均値が、設計基準強度の数値にセメントの種類及び養生期間中の平均気温に応じて次の表に掲げる構造体強度補正値を加えて得た数値以上</u>であること。(表(略)) 第2(略)
--

51kg/m³削減(約20～39kg-CO₂)されることがわかる。

表1(下段)は、同様にJASS 5(2022)²⁾に示されるコンクリート強度の算定式により試算した結果であり、呼び強度Fnの強度値を3N/mm²低下させるとセメント量で16～18kg/m³の削減、5N/mm²低下させると27～29kg/m³の削減となり、発注の強度ランクを1つ下げるとセメント量は16～29kg/m³削減(約12～22kg-CO₂)されることがわかる。なお、この試算は単純計算に基づくものであり、実際には、強度レベルによって選定される混和剤(AE減水剤または高性能AE減水剤の使用)が異なることも考慮しておく必要がある。

(2) コンクリートの基準強度に関する規定

建築基準法施行令の第74条(コンクリートの強度)において、国土交通大臣が安全上必要であると認めて定める基準(建告第1102号)が、**表2**のように示されている。なお、本告示は昭和56年(今から40年以上前)に規定され、当時からその内容はとんど変更されていない。

建設材料としてのコンクリートの代表的な特徴(特性)の一つは、強度発現性である。すなわち、強度発現が、材齢と養生に依存していることである。JASS5(2022)における「構造体コンクリート強度」の定義は、“構造体コンクリートが発現している圧縮強度。構造体から採取したコア供試体、構造体と同時に打ち込まれ同じ養生が施された模擬部材から採取したコア供試

表3 平成13年国土交通省告示第1346号「日本住宅性能表示基準」別表一(新築住宅に係る表示すべき事項等)の抜粋

項目	表示すべき事項	説明する事項	説明に用いる文字
3 劣化の軽減に関すること	3-1 劣化対策等級(構造躯体等)	劣化対策等級(構造躯体等)	構造躯体等に使用する材料の交換等大規模な改修工事が必要とするまでの期間を伸長するため必要な対策の程度
		等級3	通常想定される自然条件及び維持管理の条件の下で3世代(おおむね75～90年)まで、大規模な改修工事が必要とするまでの期間を伸長するため必要な対策が講じられている
		等級2	通常想定される自然条件及び維持管理の条件の下で2世代(おおむね50～60年)まで、大規模な改修工事が必要とするまでの期間を伸長するため必要な対策が講じられている
		等級1	建築基準法に定める対策が講じられている

体、もしくはこれと類似の強度発現特性を有する供試体の圧縮強度で表す。”であり、「使用するコンクリートの強度」は、“コンクリートが保有するポテンシャルの強度で、標準養生した供試体の材齢28日における圧縮強度で表す・・・(略)・・・比較的、強度の発現が遅いセメントを用いたコンクリートにあっては、28日を超え91日以内の材齢における圧縮強度で表すことがある。”である。このように、いずれも構造設計に必要な材料の基準強度、すなわち安全上必要なコンクリート強度を定めるためには、基準となる材齢と養生方法(あるいは状態)を規定する必要があることがわかる。

一方、使用材料や養生条件にもよるが、一般にコンクリートの強度発現は、ここに示す基準材齢以降も一定程度継続することも、多くの長期材齢の強度試験結果等からわかっている。また、鉄筋コンクリート造(以下、RC造と称す)の許容応力度計算において、長期許容応力度は基準強度×1/3、短期は基準強度×2/3(長期×2)であり、残りの1/3は余力(?)として考えられている。さらに、終局耐力の計算において、JISに適合する鋼材は、終局時には降伏強度を1.1倍できるが、コンクリートの場合はこのようなことはできない。もちろん、コンクリートと鋼材の強度－ひずみ関係の違いや品質のばらつき等が考慮された結果であると理解できるが、コンクリートの強度が活用される余地もあるとも考えられる。

現在、製造されているセメントは製品としての品質は安定しており、ここに示したコンクリートの調合や強度に関する規定について、再度検討を行うことで、コンクリートに用いるセメント使用量を減じる可能性はあると考えられる。

2-2. 混合セメントあるいは混和材料に関する規定(混合セメントあるいは混和材料の積極的活用に関する検討)

(1) 混合セメント等および仕上に関する規定

混合セメントあるいはこれに用いられる混合材(混和材料)(以下、混合セメント等と称す)を用いたコンクリートは、促進試験(いわゆるJIS A 1153(コンクリートの促進中性化試験方法))で、一般に普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートより中性化の進行が速いと評価される。

一方で、コンクリートの実環境下における中性化の進行やこれに起因する鉄筋腐食に関しては不明な点も多いが、混合セメント等は、その供給などの課題を除けば、中性化の進行が速いため、RC造建築物の上部構造で使用されることが少ないと考えられる。

2000年4月に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(以下、品確法と称す)では、コンクリートの材料の性能(品質)に関係する「劣化の軽減」に関する性能等級と評価基準が示されている。また、2009年6月に施行された「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」(以下、長期優良住宅法と称す)では、長期使用構造等とするための措置および維持保全の方法の基準が示された。

品確法⁵⁾や長期優良住宅法における具体的な「評価基準」は、一般的な材料・施工の条件と維持管理が行われることを前提に、RC造の場合、等級(**表3**)ごとに、要求される耐久性(中性化抵抗性)に応じて、水セメント比(例えば、劣化対策等級3では50%以下)と最小かぶり厚さの組合せが示されている(**表4,5**)。ここで、高炉セメントやフライアッシュセメントに関しては「ただし書き」があり、水セメント比(W/C)の算出に当たっては、フライアッシュセメントを使用する場合は、混合物を除いた部分を、高炉セメントを使用する場合は、混合物の10分の3を除いた部分をその質量(すなわち、高炉スラグの分量に0.7を掛けてセメント量に換算する)として用いることが規定されている。すなわち、混合セメントあるいは混和材を結合材として用いるコンクリートを

表4 平成13年国土交通省告示第1347号「評価方法
基準」における表示すべき事項の評価基準の抜粋

3 劣化の軽減に關すること

3-1 劣化対策等級（構造躯体等）

ハ 鉄筋コンクリート造等

① 等級3

次に掲げる基準に適合していること。

ア セメントの種類

鉄筋コンクリート造等の部分に、日本産業規格 R5210 に規定するポルトランドセメント、日本産業規格 R5213 に規定するフライアッシュセメント又は日本産業規格 R5211 に規定する高炉セメントが使用されていること。

イ コンクリートの水セメント比

コンクリートの水セメント比が、次の (i) 又は (ii) のいずれか（中庸熱ポルトランドセメント又は低熱ポルトランドセメントを使用する場合にあっては (ii) に適合していること。ただし、フライアッシュセメントを使用する場合にあっては混合物を除いた部分を、高炉セメントを使用する場合にあっては混合物の10分の3を除いた部分をその質量として用いるものとする。）

(i) 最小かぶり厚さが次の表の (イ) 項に掲げる部位に応じ、(ロ) 項 (イ) 項に掲げるものである場合においては、水セメント比が50%以下（軽量コンクリートにあっては45%以下）であること。

表（略）

(ii) 最小かぶり厚さが (i) の表の (イ) 項に掲げる部位に応じ、(ロ) 項 (ロ) 項に掲げるものである場合においては、水セメント比が55%以下（軽量コンクリートにあっては50%以下）であること。

ㄐ（略）

② 等級2（略）

③ 等級1（略）

使用する場合、品確法や長期優良住宅法にて等級2以上を取得するためには、セメント量を確保する、あるいはW/Cを小さくする必要がある。

また、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説(2016)」⁴⁾では、RC造建築物の耐久設計の方法として、「性能検証型一般設計法」および「標準仕様選択型設計法」が示されており、前者において、下記に示す中性化速度式が示されている。すなわち、中性化深さC(式(1))を求めるためには、係数A(式(2))を決定すればよい。

[illegible]

$$A = k \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \dots \cdot \dots \cdot (2)$$

ここに、 A ：中性化速度係数($\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$)， α ：中性化速度に関する定数($\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$)，岸谷式では17.2，白山式では14.2となる係数(ただし，17.2を標準とする)， a_1 ：コンクリートの種類(骨材の種類)による係数， a_2 ：セメントの種類による係数， a_3 ：調合(W/C)による係数， β_1 ：気温による係数， β_2 ：湿度およびコンクリートに作用する水分の影響による係数， β_3 ：二酸化炭素濃度(CO_2 濃度)による係数

このように、中性化の進行はW/Cにより評価されることが示されており、品確法や長期優良住宅法における評価基準の技術的根拠となっている。

また、RC造建築物には、その表面に仕上材が施さ

表5 長期優良住宅法における要求性能と認定基準

性能項目等	求めるべき性能	認定基準案
劣化対策 (耐久性)	数世代にわたる住宅の構造躯体が使用できること ・通常想定される維持管理条件下で、構造躯体の使用継続期間が少なくとも100年程度となる措置 ・適切な維持管理により150～200年における使用継続を期待	劣化対策等級3に加えて構造ごとに以下の措置を講じること RC造：次のいずれかとする ①水セメント比を45％以下 ②水セメント比を50％以下かつ、かつり厚を1cm増す

表6 混合セメントのセメント、CO₂削減に関する試算

セメント	種類	混合材分量 (wt.%)	セメント ¹⁾ 削減量 (kg)	CO ₂ 削減量 (kg)
高炉	A 種	5< ≤30	17.5～105	13～80
	B 種	30< ≤60	105～210	80～161
	C 種	60< ≤70	210～245	161～187
フライ アッシュ	A 種	5< ≤10	17.5～35	13～27
	B 種	10< ≤20	35～70	27～54
	C 種	20< ≤30	70～105	54～80

*1：単位セメント量 350kg/m^3 として試算

れることも多い。そのため、品確法や長期優良住宅法における「評価方法基準」でも、外壁の屋外に面する部分にタイル張、モルタル塗り、外断熱工法による仕上げ、その他これらと同等以上の性能を有する処理（以上、耐久性上有効な仕上げと称す）が施されている場合にも「ただし書き」があり、この場合、屋外側の部分に限り、かぶり厚さを1cm減ずることができるとしている。すなわち、混合セメント等を使用する場合にも、耐久性上有効な仕上げを施せば、その適用範囲が拡大することも考えられる。

表6は、普通セメントを混合セメントに置換した場合のセメントおよびCO₂削減に関する試算(黒枠)である。ここで、単位セメント量を350kg/m³とし、全量を高炉セメントに置換するとセメント量で17.5~245kg/m³(約13~187kg-CO₂)の削減、フライアッシュの場合には、17.5~105kg/m³(約13~80kg-CO₂)の削減となることがわかる。

(2) プレキャスト(PCa)コンクリートに関する規定

建築分野におけるプレキャストコンクリート(以下、PCaと称す)部材に使用されるコンクリートは、法37条(建築材料の品質)の適用が除外されている。ここでは、混合セメント等と同様な考え方として、屋外側(RC部材の外殻:型枠としても併用)をPCa(普通ポルトランドセメント等の使用を想定しているが、PCaの調合設計では、要求される設計基準強度にもよるが、多くの場合、脱型時強度の確保が求められ、調合強度も脱型時強度

表7 リサイクル材の利活用(建告第1446号の改正)

材料告示の改正	JIS A 5308 等の改正
建告第 1446 号改正 (H28.6)	エコセメント (JIS R 5214 (2002 制定), JIS A 5308 (2003) で規定)
建告第 1446 号改正 (H28.6)	再生骨材 H (JIS A 5021 (2005 制定), JIS A 5308 (2009) で規定)
建告第 1446 号改正 (H30.6)	回収骨材 (JIS A 5308 (2014) で規定) H29 年度基整促 (S26 : 建築材料における回収骨材の使用に関する検討)

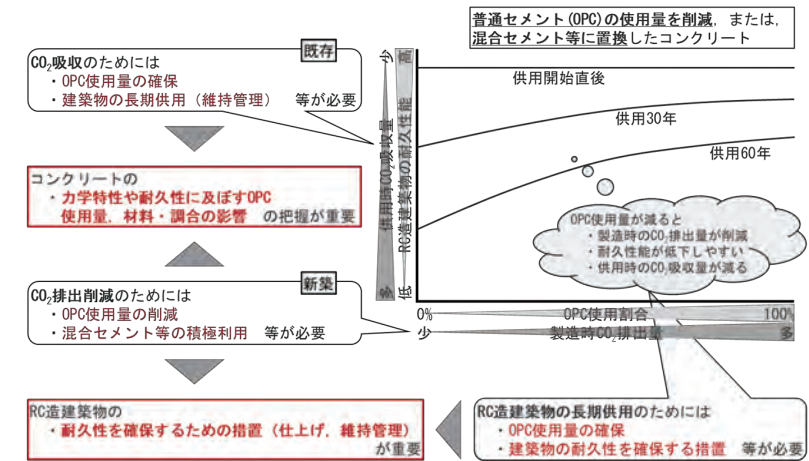


図2 CO₂排出量の削減に寄与するコンクリートに関する研究(建研)

で決定されるために、W/Cは小さくなる場合が多い」とし、屋内側を現場打ちコンクリート（混合セメント等を使用）としたRC部材、すなわちPCa複合コンクリートとして、混合セメント等の積極的活用も考えられる。なお、PCa部と後打ち部の一体性、後打ち部の充填性等、耐久性上の問題も指摘されているが、日本建築学会「プレキャスト複合コンクリート施工指針・同解説」⁶⁾では一体性、充填性確保に向けた方策が整理されており、耐久性の高いコンクリート系材料をPCa型枠として用いることで、ハーフプレキャスト部材としての耐久性を確保する手法も検討されている。さらに、近年ではPCa部を3Dプリンタにより作製し、後打ちコンクリートとして環境配慮型コンクリート（耐久性上不利）を用いることで、耐久性とCO₂排出削減を両立させる工法も検討されている。ただし、このPCa部分が建築基準法における「かぶり厚さ」として考慮できるか否かは検討が必要である。

直し、②リサイクル材の利活用、③製造の合理化、④試験方法の合理化、⑤製品検査の合理化、⑥使用者への情報提供の合理化・効率化、国際規格(ISO 22965)との整合化、⑦カーボンニュートラルへの対応、とのことである。また、セメントJISでは、普通ポルトランドセメント中の少量混合成分の増加によるクリンカの削減(現状5%→将来10%)等が検討されている。これらのうち、建築研究所および国総研におけるセメント・コンクリート分野でのCO₂削減に関する取組みとして、「リサイクル材の活用」と「カーボンニュートラルへの対応」について紹介する。

3-1. リサイクル材の活用

表7に示すように、JIS A 5308におけるリサイクル材の規定への追加に伴い、建告第1446号(材料告示)が改正されていることがわかる。なお、現在、建築基準法における再生骨材コンクリートの標準化についての検討を行っている。令和5年度建築基準整備促進事業において、「S43再生骨材コンクリートの利用に向けた基準整備に関する検討」として、再生骨材MおよびLを用いた再生骨材コンクリートについて、法37条に適用する際に必要となる条件について検討し、基準整備

3. 建築研究所および国土技術政策 総合研究所(国総研)における取り組み

JIS A 5308の次回(2024年度予定)改正のポイント
は、①レディーミクストコンクリートの種類及び区分の見



深化できるものと述べている。

微生物を利用した鉄鋼スラグへのCO₂固定によるセメント混和材製造に関する研究

Xiao Xhang, ほか

Construction and Building Materials

326 論文 No.126864 (2022)

微生物が種々の酵素生産することは広く知られており、その中でも炭酸脱水酵素 (carbonic anhydrase) と呼ばれる酵素は、二酸化炭素と水から重炭酸イオンと水素イオンへの迅速な変換を助ける働きをするとして知られる。本研究ではBacillus mucilaginousと呼ばれる、炭酸脱水酵素を生成し、アルカリ環境でも生息可能な微生物を用いて、鉄鋼スラグへの効率的なCO₂固定を検討した。さらに、CO₂固定後の鉄鋼スラグをセメント混和材 (SCM) として利用した場合の曲げおよび圧縮強さ挙動を調査している。

その結果、微生物を用いた場合ではスラグの炭酸化が促進され、CO₂固定量が増加した。スラグの炭酸化によって、スラグ中のフリーライムが炭酸カルシウム生成によって消費され、膨張原因となるフリーライムが減少する。その結果、硬化体の寸法安定性が向上することも確認された。また、圧縮強さ試験の結果では、スラグを添加すると無添加と比較して強度発現が71.5%にとどまるのに対し、微生物を用いた炭酸化処理後のスラグを添加した場合は87.1%と、強度低下が低減される結果となった。この結果に対して著者らは、水和初期ではナノサイズの微細な炭酸カルシウムが核生成サイトとしての役割を果たして水和反応を促進、後期ではこの炭酸カルシウムがアルミネートや水酸化カルシウムと反応して安定性の高いモノカーボネート相を生成することや、非晶質シリカゲルがボゾラン活性による反応を示すことで強度に寄与したと考察している。微生物を利用したこの技術は、比較的低いCO₂濃度環境における効率的なCO₂固定を可能にするものとして期待されると著者らは述べている。

(45ページに続く)

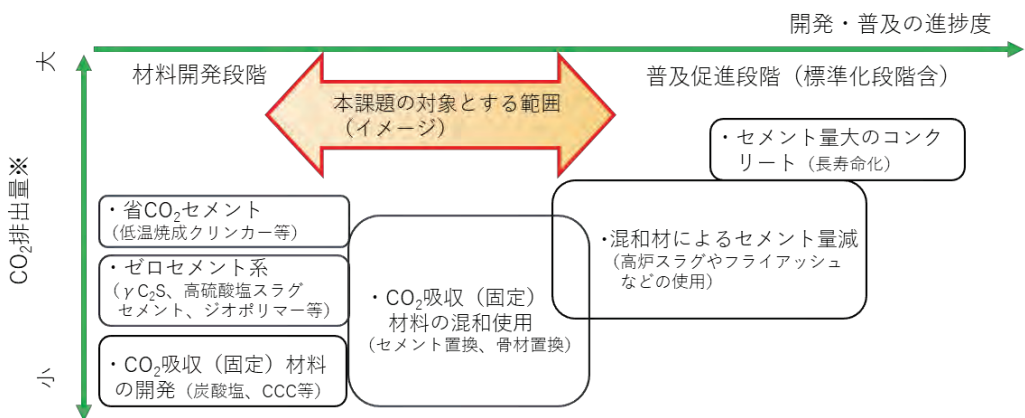


図3 コンクリート系新材料の研究開発動向(2022.4調べ)

に資する技術的資料をまとめる予定である。

め、各材料のCO₂削減量あるいはCO₂吸収量による大まかな分類である。

3-2. カーボンニュートラルへの対応

建築研究所では、令和4年度より「CO₂排出量の削減に寄与するコンクリートに関する研究」として、図2に示す課題を設定している。すなわち、RC造建築物の長期使用のために、耐久性を確保しつつ、CO₂排出量の削減にも寄与するコンクリートあるいはRC造建築物の実現性に関して、本稿のこれまでの議論も含め検討を行っている。なお、建築研究所では、これまでも混合セメントを用いた建築物や部材を対象とし、その物理的耐用年数を変数としてCO₂削減に関する環境負荷を試算する手法を提案し、いくつかのケーススタディとパラメトリックスタディの結果、セメント種類、仕上材、維持管理周期などが環境負荷に与える影響について試算している⁷⁾ので参考にされたい。また、令和5年度からは、セメントJIS改正への対応として、「少量混合成分を増量した普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの性能評価」を行い、関連するコンクリートの技術基準への影響を検証する予定である。

国総研では、「省CO₂に資するコンクリート系新材料の建築物への適用のための評価指標に関する研究」として、現状のルールでは判断できない(新しい)セメント・コンクリート系材料を対象に、その標準化に向けた検討(図3参照)をはじめており、両機関で相互に連携しながら課題に取り組んでいる。なお、図3におけるCO₂排出量の大小は、評価方法が確立していな

4. まとめ

最後に今後の課題を以下にまとめる。

- (1) 材料告示(建告1446号)など、建築基準において、従来のコンクリートとは構成材料・構成比率、品質などが大きく異なる材料の取り扱い
- (2) 調合設計における単位セメント量の削減のための具体的な方策の提案
- (3) 耐久性確保の観点からコンクリートに要求されるW/Cに関する規定の見直し(例えば、W/Cの規定から強度規定への変更、耐久性確保のための仕上材等の活用(品確法)など)
- (4) CO₂排出量あるいは吸収量の標準的かつ定量的評価手法の開発・提案

【参考文献】

- 1) 日本建築学会／コンクリートの調合設計指針・同解説、2015.2
- 2) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鉄筋コンクリート工事)、2022.11
- 3) 令和3年度 全国統一品質管理監査結果の概要、全国生コンクリート品質管理監査会、令和4年4月
- 4) 日本建築学会／鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説、2016.7
- 5) 日本住宅性能表示基準・評価方法基準 技術解説(新築住宅) 2022、工学図書、令和5年1月
- 6) 日本建築学会／プレキャスト複合コンクリート施工指針・同解説、2019.10
- 7) 松沢見一、鹿毛忠継他／日本建築学会技術報告集、Vol.28、No.70、pp.1113～1119、令和4年10月

国道185号呉市安浦町地内における コンクリート舗装修繕工事

Pavement repair work from asphalt to concrete in Yasuura district of Route 185

惣中 英章

1. はじめに

国内のコンクリート舗装の割合は、1950年代には道路総延長の30%程度あったが、現在は5%程度まで減少している¹⁾。コンクリート舗装は初期コストが高く、維持修繕が困難であるため、アスファルトによる舗装に置き換わってきた。しかし、近年では耐久性の高い舗装を採用することで、舗装を長寿命化し、ライフサイクルコスト削減を図ることができる一つの解として、コンクリート舗装が見直されている。広島国道事務所管内では、トンネルの全区間(管理区間に占める約10%)に、コンクリート舗装による施工を行っているところである。

広島国道事務所管内は、広島市中心部のデルタ地帯(写真1)や年間を通じて晴天が多い瀬戸内海、冬期に寒冷となり降雪量が多くなる中国山脈へ至る山間部の多岐にわたる地域が存在している。本事務所には、約240kmの路線を事務所と4箇所の出張所により管理している(図1)。路線としては、山陽地方の東西交通の骨幹を担い、最大10万台/日程度の交通量がある国道2号、降雪量が多く山陽地方と山陰地方を結んでいる国道54号、広島市と呉市の都市間交通を担う国道31号、災害時に国道2号のバイパス的な役割



写真1 広島湾よりデルタ地帯を望む



図1 広島国道事務所管内図

を持ち、瀬戸内海を望む観光道路としての役割も担う国道185号と、それぞれ特性が異なっている。

本稿は、日本で初めて製作されたコンクリート船「武智丸」で知られる呉市安浦町地内において実施した、コンクリート舗装修繕工事の結果を報告するものである(図2)。



そうなか ひであき / SONAKA Hideaki
国土交通省中国地方整備局
広島国道事務所 管理第二課



図2 施工箇所



写真2 施工前状況(広島市方面を望む)

2. 施工箇所の選定

コンクリート舗装を実施する箇所の選定においては、以下の3点を考慮した。

- ① 現道交通への影響が少ない区間であること
- ② 電線共同溝や占用物件等の埋設(予定を含む)されていない区間であること
- ③ 降雪が少ない区間であること

広島国道事務所管内において、交通量の多い国道2号や降雪量が多い国道54号はコンクリートの養生に期間を要するため施工が困難と判断した。

また、規制の難しい自動車専用道路や埋設物(電線共同溝、占用物件等)による掘り返しが想定される市街地もコンクリート舗装の施工には不向きである。

選定した国道185号呉市安浦地区は、交通量が

1万台/日程度であり、現道交通への影響が比較的小さい。コンクリートの養生期間が必要となるため、終日片側交互規制を余儀なくされるが、交通が少なく規制に伴う現道交通への影響が少ない。路面下に占用物件もないため、今後の掘り返しによる影響も予定されていない区間である。

また、使用する機械によりコンクリート舗装はアスファルト舗装の施工に比べ工事中の騒音も大きくなる。近隣に家屋が少ないため騒音被害の影響も生じにくいことから、コンクリート舗装の施工箇所として当地区を選定した。

当該地区は片側1車線の現道区間である。そこで今回、「令和2年度国道185号安浦地区舗装修繕工事」にて、施工延長L=1,200mのコンクリート舗装を行った(写真2)。

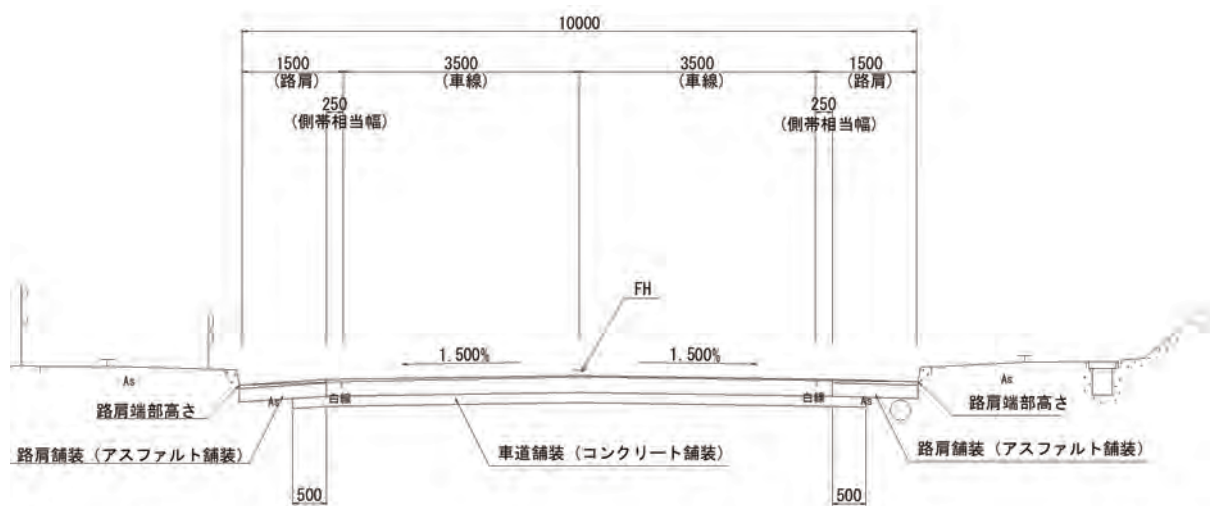


図3 標準断面図



写真3 コンクリートスプレッダー



写真4 コンクリートフィニッシャー、レベラー

3. 施 工

3-1. 工法選定

コンクリート舗装の工法として、普通コンクリート舗装や連続鉄筋コンクリート舗装等が挙げられる。

普通コンクリート舗装は、コンクリート版にあらかじめ目地を設け、ある程度膨張、収縮、およびそりを発生させることにより、不規則なひび割れを防ぐ工法である。一方連続鉄筋コンクリート舗装は、横方向のひび割れを縦方向の鉄筋で分散させることにより、横目地を省略した工法である。

図3に本工事の標準断面図を示す。本施工区間は、短区間ごとの施工になり、施工コストの観点から連続鉄筋コンクリート舗装は適さないことが推察された。よって比較検討の結果、普通コンクリート舗装により施

3-2. 施工方法

普通コンクリート舗装の打設には、セットフォーム工法とスリップフォーム工法が適用可能である。セットフォーム工法は、スリップフォームペーパーと呼ばれる施工機械を使用しコンクリートの敷均し、締固め、成型、および平坦仕上げまでの作業を一連して施工する。一方セットフォーム工法は、多くの作業機械もしくは人力によりそれぞれの作業を行う工法である。本工事では施工延長が約1,200 mと長く、付近に代替路線（迂回路）がないため、付近の交通への影響を考慮し、規制を最小限とする必要があった。よって本工事におけるコンクリート舗装の施工は、セットフォーム工法による機械施工により実施した。打設に使用した作業機械を写真3,4に示す。



写真5 施工直後の状況
[広島市方面を望む]



写真6 3年経過した施工箇所の現状
[広島市方面を望む]

使用するコンクリートは、曲げ強度4.5 N/mm²、スランプ6.5±1.5 cm、使用セメントは高炉セメント(B種)以上とした。本工事区間は迂回路の設定が困難であることから、交通規制は片側交互通行とし、施工中の現道交通への影響を低減した。また規制延長等を考慮し、夏季施工と冬季施工の2期に分けて施工を行った。

4. まとめ

コンクリート舗装を適用するためには、①現道交通への影響が少ない、②占用物件等の埋設物がない、③雪が少ない等の制約条件がある。今回はそのような中でコンクリート舗装への修繕が適切と考えられる国道185号呉市安浦地区を選定し、コンクリート舗装での修繕工事を行った。施工中の交通渋滞も発生せず、冬期の施工では降雪の影響を受けることなく無事に工事を完了することができた(写真5)。また、工事完了から3年が経過するが、令和5年3月現在において、舗装修繕や占用工事等における掘り返しも発生していない。路面も良好な状態を維持している(写真6)。このことから適切な施工区間の選定や、工事受注者による良好な施工が行われたと考えられる。

現在広島国道事務所では、G7広島サミットの開催やサッカースタジアム建設に向けて、多くの箇所での舗装修繕工事を行っている。また、東広島バイパス供用に

向けた新規舗装工事も鋭意実施中である。

現在、建設資材の価格が高騰している中で、コンクリート舗装は、アスファルト舗装と比較して寿命が長く、ライフサイクルコストの面で利点を有している。しかしながら、供用期間中に補修や占用工事等による掘り返しが発生するとアスファルト舗装に比べコストが増大し、こうした利点を損なうおそれがある。今回紹介した箇所については、先述した選定条件を満足する箇所であった。適用に当たっては、路線や箇所の特性を十分に検討した上で、アスファルト舗装とコンクリート舗装の適切な使い分けが重要である。

本報告が今後のコンクリート舗装活用の上で、少しでも参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 道路統計年報／国土交通省(建設省)

*

*

*

押出し架設工法で石狩川を渡河する 妹背牛橋の施工

Construction of the Moseushibashi Bridge across the Ishikarigawa River
using the extrusion erection method.

中村 雅樹 阿部 光昭 澤田 敦 大河内 和之 鶴見 浩次郎

1. はじめに

妹背牛橋は北海道増毛郡増毛町を起点とし、深川市音江町稲田とを結ぶ一般道道増毛稲田線のうち、一級河川石狩川を渡河する橋梁である。1958(昭和33)年に供用された現橋は、幅員が5.5mと狭小で車両のすれ違いが困難であるとともに歩道もないため、歩行者の通行時には危険を伴っていた。また、上部工の経年劣化の進行や下部工の河床洗掘も見られ、橋梁の安全性も懸念されていた。そこで現在の道路規格に

なかむら まさき / NAKAMURA Masaki
日本高圧コンクリート(株)
PC事業部札幌支社
工事副部長

あべ みつあき / ABE Mitsuaki
同上
工事課長

さわだ あつし / SAWADA Atsushi
同上
工事副部長

おおこうち かずゆき / OKOCHI Kazuyuki
同上
工事課長

つるみ こうじろう / TSURUMI Kojiro
同上
工事課長

表1 工事概要	
工 事 名	道道増毛稲田線 妹背牛橋架替 (上部工)工事1工区
工 期	令和2年10月13日 ～ 令和4年6月15日
発 注 者	北海道 空知総合振興局
構 造 形 式	PC7径間連続1室箱桁橋
道 路 規 格	第3種 第3級, N5交通, V=60km/hr
橋 長	580.000m
支 間	51.900m+52.000m+60.000m+ 84.000m+140.000m+130.000m+59.000m
全 幅 員	12.000m
幅 員 構 成	4.0m(車道)+4.0m(車道)+3.0m(歩道)
施 工 範 囲	A1-P3径間(L=183.272m)

適合し、地域の生活道路や物流経路の確保を目的に新橋に架け替えることとなった。新しい妹背牛橋は、橋長580.0m、全幅員12.0mのPC7径間連続1室箱桁橋で「押出し工法」と「片持ち架設工法」の異なる架設工法を併用して架橋するものである。

本稿では押出し工法により主桁架設を行ったA1-P3間(L=183.272m)について、生産性と安全性向上を目的とした主桁架設の報告を行う。

2. 工事概要

妹背牛橋の事業概要および本工事の施工範囲を表1に示す。また、橋梁位置を図1、橋梁上部工の断面図を図2、側面図を図3に示す。

A1-P3径間の押出し工法の施工手順は、A1橋台



図1 工事位置図

図2 断面図

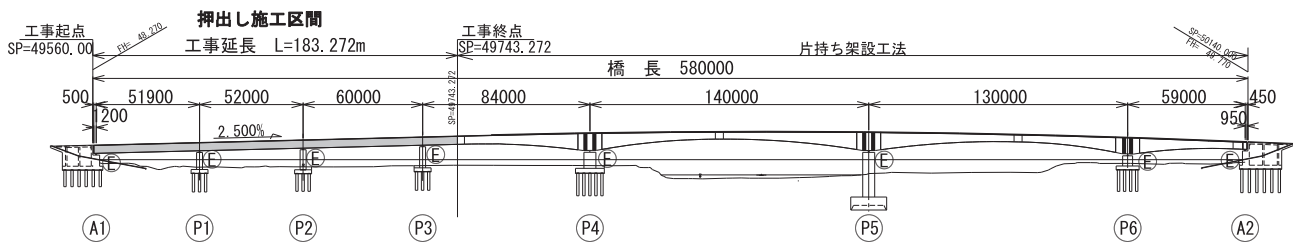


図3 側面図

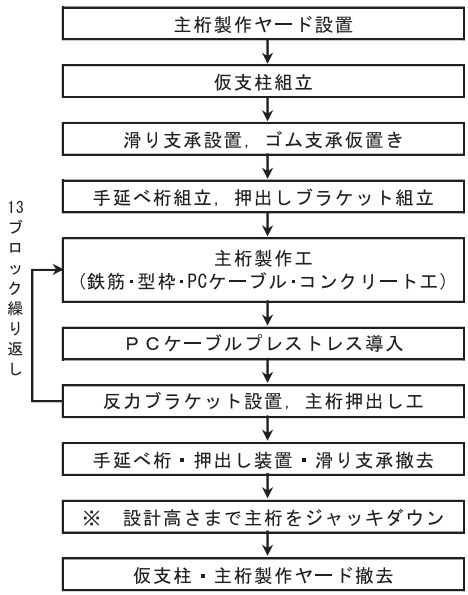


図4 押出し施工フローチャート

後方に主桁製作ヤードを設置する。この主桁製作ヤードにて1ブロックの主桁(標準ブロックL=14.0m)を製作後、油圧ジャッキを用いて主桁を前方に移動させる。主桁の移動後、次のブロックの主桁を製作し、再び主桁を前方に移動させることを繰り返し、主桁架設を行う工法である。押出し工法は、主桁押出しの方法の違いにより「反力集中方式」と「反力分散方式」に分けられるが、本橋は下部工の1箇所に押出し用油圧ジャッキを設置する「反力集中方式」にて施工を行った。押出し

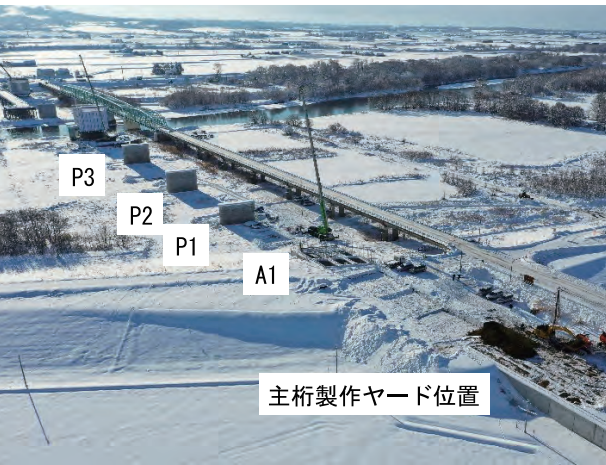


写真1 工事着手時全景

工法の架設フローチャートを図4、工事着手時の橋梁全景を写真1に示す。

3. 主桁押出し装置の検討

「反力集中方式押出し工法」は、一般的に下部工に主桁押出し用ブラケット(以下、押出しブラケットと称す)、主桁底面に押出し用反力ブラケット(以下、反力ブラケットと称す)を設置し、押出しブラケットに取り付けた油圧ジャッキでPC鋼材を引っ張ることで主桁の押出しを行う。本橋はA1-P3径間の縦断勾配が2.500%、A1

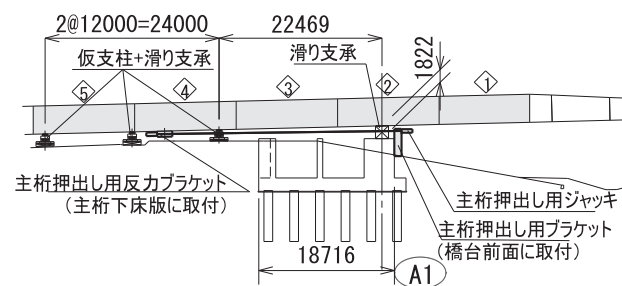


図5 底面反力ブラケット押し施工図

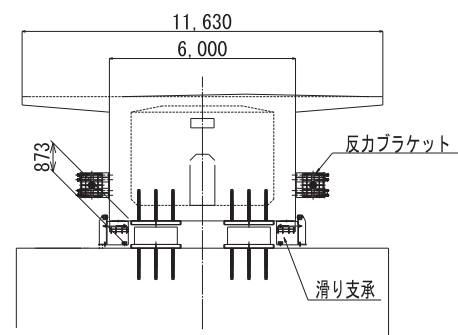


図7 主桁押し計画図

橋台の橋軸方向長さが18.716mの箱式橋台であるため、これらの構造条件や主桁底面の反力ブラケットの設置スペースを考慮すると図5に示す通り、下部工の天端から約1800mmの高さで押し施工を行う必要がある。

この高さで最終ブロックまで主桁の押しを行った後、設計高さまで油圧ジャッキを用いて約950mmの主桁降下を行い、あらかじめ仮置き済のゴム支承と主桁に埋込み済の支承ソールプレートとをボルト接合し、支承を一体化させた後、支承モルタルの施工を行う。油圧装置による主桁降下は、A1、P1、P2およびP3の各支点到1支点左右あたり4台の5,000kN油圧ジャッキ・ポンプ(以下、油圧装置と称す)を使用し、主桁降下を行う必要がある。しかし、国内で16台の油圧装置を調達することは不可能であった。

このため、調達可能であった4台の油圧装置を使用し、主桁への影響がないようP3⇒P2⇒P1⇒A1⇒P3⇒の順序で1支点左右あたり40mmずつ、各支点を移動しながら徐々に主桁を降下する方法を検討したが、主桁を設計高さまで降下させるには、油圧装置の支点左右移動が70回程度必要であった。工程管理上、揚重作業や付帯作業を含めると設計高さまでの主桁降下に14日程度の必要であるとともに、油圧装置1台の重量

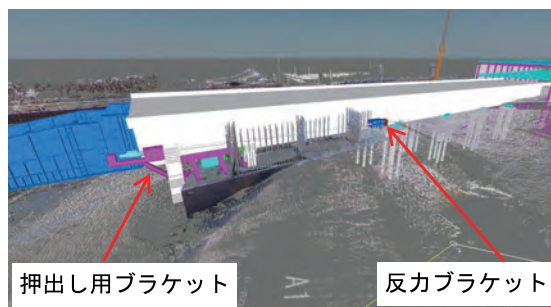


図6 側面反力ブラケット計画図

が530kgであるため、支点左右移動時の作業負荷も大きく、生産性の低い施工方法であった。加えてこれらの作業時に人的過誤による主桁転倒事故や作業時に手指を挟むなどの労働災害発生リスクも高まることから、主桁の押し施工方法について生産性と安全性向上への対策が求められた。そこで本工事では、これらの課題を解決するため反力ブラケットを主桁底面ではなく、主桁側面に設置する反力集中方式押し工法を提案した(図6)。本工法は主桁底面に反力ブラケットを設置しないことから、高さを抑えた押し施工が可能となる。本橋では主桁縦断勾配やA1橋台が箱式橋台であることなどの構造的な条件を考慮したうえで主桁設計高さである下部工天端から約870mmの高さで押し施工を行う計画とした(図7)。この結果、図4に示した「設計高さまで主桁をジャッキダウン」の工程が不要となり、主桁押し施工における生産性の低下を防止するとともに主桁ジャッキダウン中の労働災害発生リスクの低減が期待できる。

4. 側面ブラケットによる押し施工

4-1. 製作ヤード、仮支柱・滑り支承の設置

A1橋台後方に主桁製作ヤードを設置し、A1橋台までの区間に主桁押し用仮支柱の組立を行った。その後、橋脚(台)や仮支柱(以下、仮支点左右部と称す)に滑り支承を設置し、下部工にゴム支承の仮置きを行った。側面ブラケットによる押し施工図を図8、仮支柱部の状況を写真3、滑り支承設置・ゴム支承仮置き状況を写真4に示す。

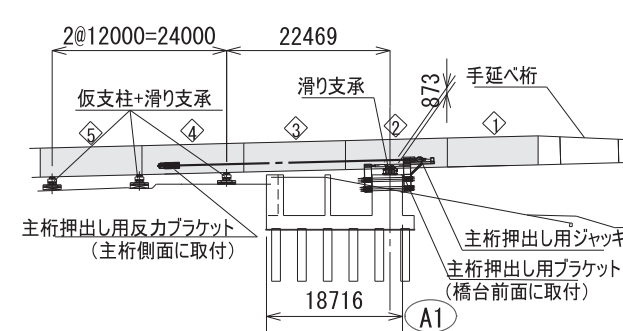


図8 側面ブラケット押し施工図



写真4 滑り支承設置・ゴム支承仮置き

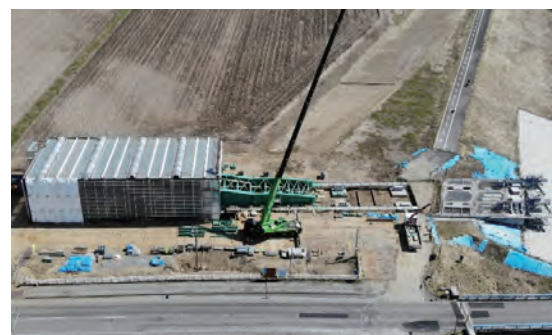


写真6 製作ヤード全景

4-2. 手延べ桁、押し装置の組立

主桁製作ヤード、仮支柱および滑り支承の設置後、A1橋台に押し用ブラケットを設置し、主桁製作ヤードとA1橋台間にて手延べ桁の組立を行った。押し用ブラケット設置を写真5、手延べ桁を含む製作ヤード付近の全景を写真6に示す。

4-3. 主桁の押し施工

本橋は、フレッシュ工法外ケーブルEシステム油圧ジャッキTC-410-300型を押し用ブラケットに取り付け、主桁側面に設置した反力ブラケットをPC鋼より線19S15.2で引っ張り、主桁押しを行った。本工事の1ブロックあたりの主桁押し長は、標準部で14.0mで



写真3 仮支柱部組立状況



写真5 A1橋台押しブラケット設置

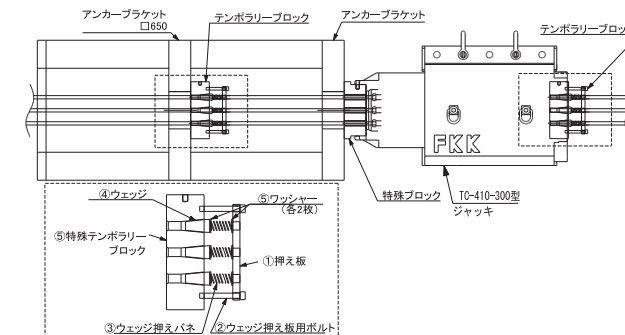


図10 盛替え用特殊テンポラリー定着具構成図

あるが、油圧ジャッキのストローク長が300mmであるため、1ブロックの押し施工あたり50回程度のジャッキストローク盛替えが必要である。この手順は300mmの主桁押し後、テンポラリーウェッジを打ち込みPC鋼より線を定着し、主桁を固定する。その後、油圧ジャッキを減圧後、再度PC鋼より線を引っ張り、主桁を押し出す作業を繰り返す。このジャッキストローク盛替えのうち、テンポラリーウェッジの打込みは狭隘部での人力作業となり、時間を要するとともに不確実な施工を行った場合、主桁転倒事故の可能性も考えられ、施工効率化と確実な施工が求められた。そこで本工事では、テンポラリーウェッジを自動で確実に打込む「盛替え用特殊テンポラリー定着具(図10)」を使用した。この特殊定

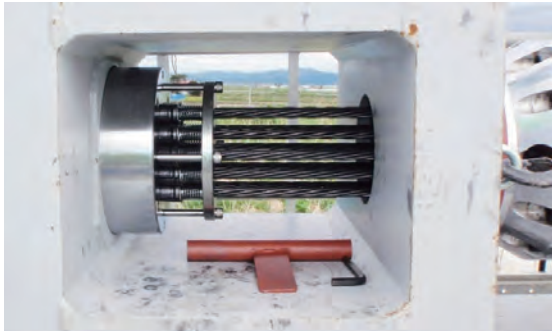


写真7 盛替え用特殊テンポラリー定着具使用状況



写真9 押出し施工全景

着具の使用状況を写真7に示すが、主桁押出し時にウェッジ押さえバネの反力でテンポラリーウェッジが自動定着される仕組みとなっている。この特殊定着具の自動定着機能により、テンポラリーウェッジの打ち込みが不要となり、施工効率が向上するとともに人的過誤リスクが回避され、安全性も向上したと考える。この特殊定着具を使用した主桁押出し状況を写真8、主桁押出し全景を写真9に示す。

4-4. ICT 技術を活用した主桁押出し時の安全確保

主桁の押出し作業中は、仮支点部と主桁に囲まれた桁下狭隘部で主桁押出し状況の監視を行わなければならない。その際、支点部の滑り支承の転倒や押出し用油圧ジャッキが故障し、主桁転倒などの事故発生リスクがあるため、定期点検や日常点検、押出し施工前の施工周知会や日々のRKYなどの活動により事故発生リスクは大幅に低減できる。しかし、万が一事故が発生した場合、監視者の挟まれや墜落・転落災害の可能性があり、労働災害発生リスクの更なる低減対策の提案が求められた。そこで本工事では、桁下狭隘部に遠隔監視カメラを設置し、監視者は当該箇所から離

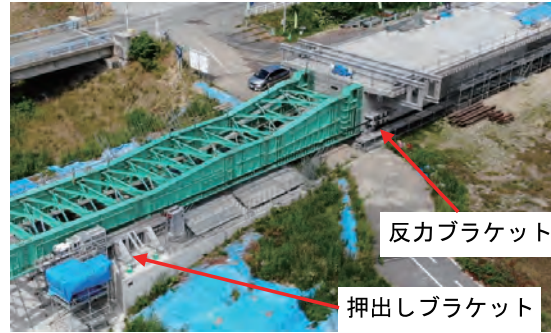


写真8 主桁押出し状況

れた安全な場所でカメラ映像にて主桁押出し状況を監視するモバイルライブカメラシステムを採用した。本システムは、主桁押出し状況をモニター監視するだけでなく、カメラにズーム機能や回転機能を有しているため、注視したい部分の拡大確認も容易なシステムである。また、現場事務所など遠隔地でも同時視聴が可能であるため、熟練技術者から若手技術者へのOJTにも活用した。本システムの使用状況を写真10に示すが、ICT技術を活用し、主桁押出し状況の監視を行う仕組みを構築することで確実な施工と監視者の労働災害リスク回避を実現した。

5. コンクリート品質管理の省力化

本工事は、冬期には最低気温が-15℃を下回ることもある積雪寒冷地において通年施工で主桁製作を行った。冬期の主桁製作においては、コンクリートの打込み後、ジェットヒーターを用いた温風給熱養生により、初期凍害の影響を受けない強度に達するまで5℃以上を保つ必要がある。ジェットヒーターの故障などにより5℃を下回ると初期凍害の発生やコンクリート強度の増進が見込めないなどの品質低下を招く恐れがある。これを防止するため、従来はコンクリートの打込み後の定期的な現場巡回・点検による管理を行っていた。しかし、労働時間延長や人員の増員を伴うため、この管理手法の改善が課題であった。そこで本工事では、寒中コンクリートの管理業務の省力化を目的としてモバイル式コンクリート養生管理システムを採用した(写真11)。

本システムは、コンクリート温度や雪寒施設内部温度



写真10 モバイルライブカメラによる監視



写真12 妹背牛橋 主桁連結完了

を計測し、計測データがクラウドサーバー上に自動保管される。このため、現場に出向かなくともパソコンやスマートフォンで温度データをリアルタイムで確認することが可能である。またジェットヒーターの故障などにより温度管理値を下回った場合、担当者に警報メールが配信されるため、現場点検は警報メール配信時のみとなる。さらに温度データはCSV形式で保存可能であり、温度管理表やグラフなどの帳票作成も容易となる。本システムを採用することで寒中コンクリート温度管理の省力化が実現したものと考ええる。

6. おわりに

本工事では、押出し施工時の主桁高さを低く抑えるために押出し装置を主桁側面に設置するとともに主桁押出し時は、「盛替え用特殊テンポラリー定着具」を採用することにより、主桁押出し施工システムの生産性・安全性向上の仕組みを構築した。また、主桁押出し時の監視業務は従来、滑り支承近傍で目視確認を行って



写真11 寒中コンクリート打設、温度測定

いたが、本工事ではモバイルライブカメラシステムを採用することにより遠隔監視を行うことで監視者の安全確保や若手技術者へのOJTにも寄与したものと考ええる。

主桁コンクリートの寒中施工では、離れた場所から温度のリアルタイム確認が可能であり、管理基準温度を下回った場合には警報メールが配信されるシステムを利用することで寒中コンクリートの品質確保と管理の省力化を実現した。

本工事は2022(令和4)年6月に無事故無災害で竣工し、別工事であるP4～A2径間の片持ち架設工法による主桁製作工事において、同年9月にP3-P4中央連結が完了した(写真12)。今後、橋面工事を行い、令和5年度に新しい妹背牛橋が供用を開始する予定となっている。

最後に本工事の計画・施工にあたり、ご指導ご支援を賜りました関係各位にこの場をお借りして深く感謝の意を表すとともに本報告が同種工事の参考になれば幸いである。

酒と料理とインフラと

中島 良光

初対面で自己紹介をすると、「なんか凄い経歴ですね」と驚かれたり呆れられたり？することが多い。平成元年入社のパブル社員として社会人をスタートしてからはや34年。まあ忙しいキャリアではあると自分でも思う。

大学生のころは交通工学を専攻していたので、コンクリートに関しては全くの素人がなぜかゼネコンに入社し、技術研究所の土木材料研究室に配属された。普通のコンクリートがどんなものかも知らないままに、高流動コンクリートの研究に携わってしまったものだから、それが普通かと勘違いをしていた。

当時の研究室はとにかく酒を飲む機会が多く、学生時代から料理が好きだったこともあり、いろんなお店を捜し歩くのも好きで、職場の宴会係を長く仰せつかっていたが、おかげでお店探しに鼻が利くようになり、今の人生にも活きていると思う。

そうこうしているうちに、ある日上司から、「ベトナムの水力発電所工事で現地生コンプラントの技術指導をしてこい」と言われ、出張のつもりで行った挙句、結局転勤になってしまい、2年間ベトナムで勤務した。仕事は大変だったが、多くのベトナムの若者をスタッフとして生コンの製造・運搬や品質管理のマネジメントをしつつ、ともに

お酒を飲んだり、ローカル食堂で様々なベトナム料理を食べたり、一緒にビリヤードをしたりと充実した海外生活だったと、今は懐かしく思い返すことができる。おかげで今もベトナム料理は大好きである。

日本に戻ってしばらくしてから、国内の橋梁現場に3年ほど赴任し、自己充填型高強度高耐久カラーコンクリートという特殊すぎるコンクリートとUSD785でD51という、これまた特殊すぎる高強度鉄筋を用いた橋脚の施工を経験した。当時の上司は仕事には非常に厳しく、残業も毎晩深夜まで続いたが、深夜一緒に事務所兼宿舍の食堂でお酒を飲みながら、仕事の心構えを伝授して頂いたのはキャリア形成の上では非常に大きな財産だったと思っている。

その後、再び技術研究所に戻ったものの、今度はスリランカでの水力発電所工事での技術サポートを任された。何度かの出張で生コンプラントや試験室の体制構築とローカルスタッフ育成、コンクリートの配合試験などを指導しているうちに、こちらも結局転勤となり、スリランカで4年間で過ごすこととなった。プラントおよび品質管理、斜坑工事、地下発電所工事のマネージャを歴任し、最後は副所長として大統領を来賓に発電所の開所式を迎え、盛大な竣工パーティの後、

日本に帰国した。スリランカではカレーが主食であるが、さすがに日本人スタッフには毎日3食がカレーという食生活は耐えられない人が多かったので、日本人宿舎でローカルのコックに和食や中華の調理を指導し、自分でもちよくちよく食事を作っていた。日本人宿舎には20人近くと同僚がおり、鍋パーティや餃子パーティで大量の食事を作っていたので、当時の隠れた肩書は「総料理長」である。

その後、2016年に愛知県での道路コンセッション事業の開始に合わせて愛知県の知多半島に赴任し、コンセッション事業の立ち上げから有料道路運営や道路構造物の維持管理を担当し、3年半ほど愛知に住んだ。未経験の分野の仕事は大変ではあったが、これまでの国内外の経験で培われた生存力で何とか乗り切ってきたと思う。知多半島は食べ物もお酒も非常に美味しく、単身赴任生活の中で、月に一度数人の同僚を自室に招いて手料理を振る舞う部屋飲み会を開催していたが、24時間365日休まずに稼働する道路インフラの管理という激務に耐えられたのは、これらのお酒と食事のおかげであると信じている。

現在はICI総合センターという部署（元技術研究所）に勤務しているが、コンクリートから離れ、老朽化したインフラ全体について、さらには地域活性化やスーパーシティといった都市運営にと業務範囲を大きく広げている。学生時代の交通工学を専攻していた頃の思いや夢が、今になって叶っているのかもしれない。

これまでの勤務で趣味の料理や酒についても以下のような多くの学びを得ることができた。

①「コンクリートの研究開発」は料理の基本であ



る「分量（配合）の大切さ」を教えてくれた。

②「海外勤務」は「酒や料理の幅広さと奥深さ」を教えてくれた。

③「インフラ運営」は料理や酒と健康の関係、すなわち「食事（普段の維持管理）が体（インフラ）を健康にする」、「過剰な酒（過積載）が体（インフラ）を痛めつける」ことを教えてくれた。

これからも料理と酒を楽しみつつ、人生を謳歌しようと思う。

[なかじま よしみつ / 前田建設工業(株) ICI総合センター ICIテクノロジーセンター インフラ運営グループ長 博士(工学), 技術士(建設部門)]

イラスト・タイトル 宮島幸次

β -C₂Sの炭酸化によるCO₂固定

～「カーボフィクス®セメント」のCO₂固定化機構の解明に向けて～

Study on CO₂ binding by carbonation of β -C₂S
Toward understanding CO₂ binding mechanism of CARBOFIX® CEMENT

扇 嘉史 小林 和揮 橋本 真幸 細川 佳史

1. はじめに

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で行われている。わが国において、セメント産業は温室効果ガス総排出量の約4%を占めるCO₂排出量の多い産業であることから¹⁾、当社では、「カーボンニュートラル戦略2050」を公表し²⁾、2050年におけるサプライチェーン全体でのカーボンニュートラルの実現に向けた技術開発を行っている。具体的には、ガス焼成技術や低CO₂セメントの開発といった「既存技術」を応用・発展させたものに加えて、セメントキルン排ガスからCO₂を分離回収し³⁾、さらに、回収したCO₂を新たに資源として活用するCCU (Carbon dioxide Capture Utilization) 技術等の「革新技术」

の開発を推進している。回収CO₂の活用として、廃コンクリートへのCO₂固定化およびセメント原料・建設資材としての利用技術、コンクリートスラッジへのCO₂固定化技術、コンクリートおよびコンクリート二次製品へのCO₂固定化技術の開発に取り組んでいる⁴⁾。

上記のCCUに関わる技術のうち、将来セメントキルン排ガスから回収されるCO₂をコンクリートに固定化させる技術として、CO₂吸収・硬化セメント「カーボフィクス®セメント」を開発した⁵⁾。カーボフィクス®セメントはCO₂を吸収する性質があり、カーボフィクス®セメントを用いて製造したコンクリート製品は、CO₂を充填した密閉容器内で養生することで、CO₂と化学反応して硬化する。

カーボフィクス®セメントは、 β -C₂Sを主要鉱物として、アルミネート相を含む材料である。一般的なポルトランドセメントよりもCaO含有率が低く、基材クリンカを低温で焼成できるため、製造時のCO₂排出量が削減できる。また、カーボフィクス®セメントの基材クリンカは、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、さらに、リサイクル材料を従来以上に原料として活用できるように設計されており、CO₂排出量の削減のみならず、サーキュラーエコノミーの構築にも貢献する材料である。

既報では、カーボフィクス®セメントの製造にかかるCO₂排出量、カーボフィクス®セメントを用いたモルタルやコンクリートを炭酸化養生した場合の強度、およびCO₂固定量等について、その一例を報告した^{5,6)}。こ

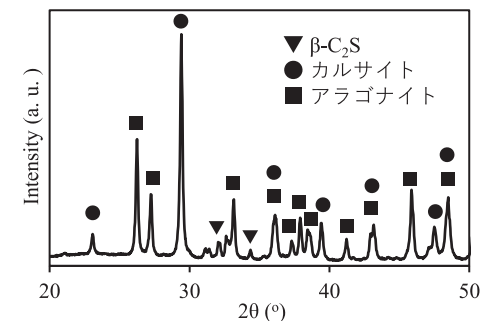


図1 炭酸化 β -C₂SのXRDパターン

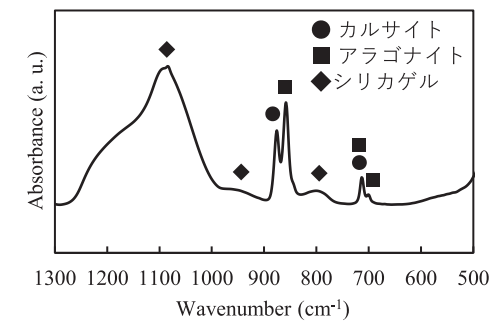


図2 炭酸化 β -C₂Sの赤外吸収スペクトル
[1080cm⁻¹付近にはカルサイト・アラゴナイトによる吸収もわずかにある]

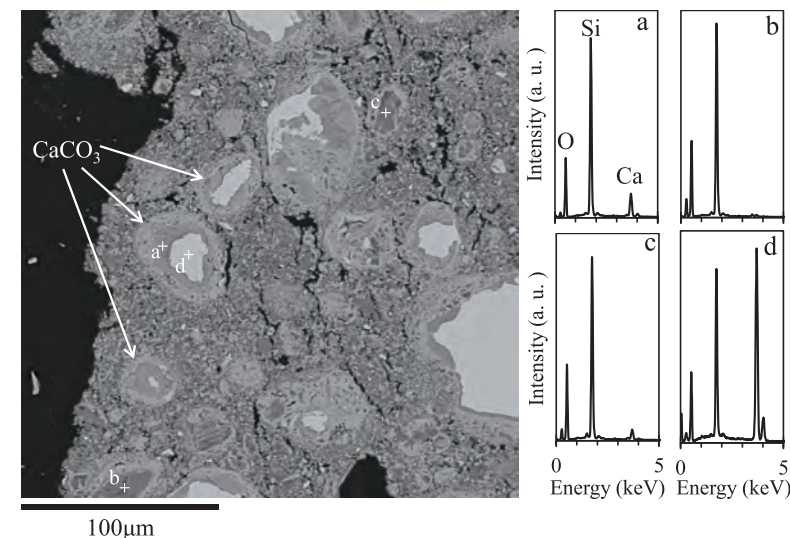


図3 炭酸化 β -C₂Sの反射電子像と分析点のEDS定性分析チャート

した特性に加えて、カーボフィクス®セメントがカーボンニュートラルを実現する材料となる上で、CO₂がどのような形態で固定化されるか等のCO₂固定化機構の解明が重要であると考えられる。本稿では、カーボフィクス®セメントの主要鉱物の一つである β -C₂Sに着目し、その炭酸化に伴う反応について当社で行った研究を紹介する。

2. β -C₂Sの炭酸化反応で生成する相⁷⁾

試薬を用いて β -C₂Sを合成し、これを炭酸化反応させた後、各種分析によって構成相を明らかにした。次に炭酸化反応の詳細を説明する。

粉末状の β -C₂Sの質量に対して、10mass%の水を添加し、ペレット状に加圧成型し、これを温度30℃、R.H.80%、CO₂濃度80%の環境で7日間養生した。養生後に取り出し、試料を振動型ディスクミルで粉碎した。続いて、この粉碎物の質量に対して10mass%の水を

添加し、ペレット状に加圧成型し、先に示した環境下で7日間養生した。さらに、炭酸化を進めるために、このサイクルをもう一度繰り返した。すなわち、温度30℃、R.H.80%、CO₂濃度80%での養生期間は、合計で21日として、 β -C₂Sが十分に炭酸化反応するようにした。以降、このように作製した試料を炭酸化 β -C₂Sと呼ぶ。

炭酸化 β -C₂Sの構成相は、粉末X線回折(XRD)、フーリエ変換赤外分光(FTIR)やエネルギー分散型X線分析装置を搭載した走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)によって分析した。

図1に炭酸化 β -C₂SのXRDパターンを示す。カルサイト、アラゴナイト、 β -C₂Sに対応する回折ピークが認められた。図2に炭酸化 β -C₂Sの赤外吸収スペクトルを示す。XRDパターンで存在が確認できたカルサイトやアラゴナイト以外に、シリカゲルに対応する吸収が認められた。図3に炭酸化した β -C₂Sの研磨面の反射電子像を示す。EDSによる分析点(a～d)と、この



おうぎ よしふみ / OHGI Yoshifumi
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



はしもと まさゆき / HASHIMOTO Masayuki
同上
コンクリートソリューションチーム



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)

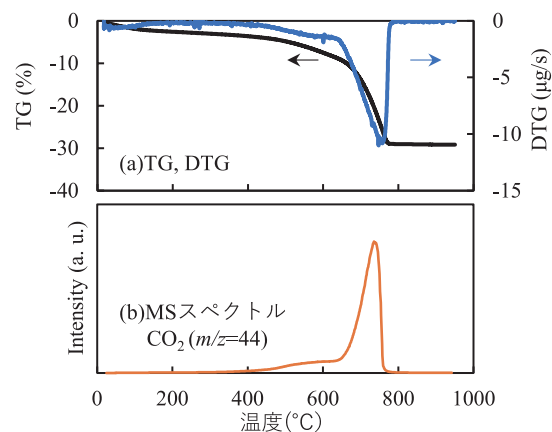


図4 TG-MS分析結果
〔(a)TGおよびDTG, (b)CO₂(m/z=44)に対応するMS曲線〕

分析点に対応するEDSの定性分析チャートをあわせて示す。反射電子像中には、炭酸カルシウムの組成を持つ領域があり、このような領域の一部には「CaCO₃」と説明を加えた。 β -C₂S(分析点dに対応)の周囲に、SiO₂が主成分であり、CaOを少量含む組成(分析点aに対応)の層が見られ、さらにその周囲に炭酸カルシウムが存在していることが確認できた。 β -C₂Sが見られない粒子(分析点bやcに対応)では、Siに対するCaのX線強度が低くなっており、特に分析点bではCaのX線強度が非常に低くなっている。分析点a～cは、その組成から、赤外吸収スペクトルで確認されたシリカゲルに対応すると考えられ、シリカゲルのCaOとSiO₂の比は一様ではないことが確認できた。

上記のとおり、 β -C₂Sの炭酸化によって、炭酸カルシウム(カルサイト、アラゴナイト)とCaOを少量含むシリカゲルが生成したことが確認できた。 β -C₂Sの炭酸化に関する既往の研究では、生成する炭酸カルシウムの多形に違いがあるものの、炭酸カルシウムとCaOを含むシリカゲルが生じることが報告されており^{8,9)}、これまでに説明した結果と合致する。ただし、生成する炭酸カルシウムの多形については異なる部分もあるため考察を行った。次にこの考察を示す。

β -C₂Sの炭酸化反応で生成する炭酸カルシウムについて、AshrafとOlek⁹⁾は本研究と同様にカルサイトとアラゴナイトが生成したことを報告している。一方で、後藤ら^{10,11)}は、 β -C₂Sの炭酸化反応で生じる炭酸カルシ

ウムは、大部分がアラゴナイトであったと報告した。Liuら¹²⁾は、カルサイトとバテライトが生成し、カルサイトが大部分を占めたと報告し、Shtepenکوら¹³⁾はカルサイトが主成分であり、アラゴナイトやバテライトは生成していなかったことを示した。カルシウムシリケート相の炭酸化反応において、物理的な条件(試験体のW/C、温度等)や細孔溶液の組成が炭酸カルシウムの多形の生成に影響することが指摘されている¹³⁾。細孔溶液の組成についていえば、 β -C₂Sに固溶した微量成分の影響も受けると考えられる。したがって、本研究と既往の研究との間で炭酸化によって生成した炭酸カルシウムの多形が異なることに関し、試験体のW/C、炭酸化養生の条件(温度、相対湿度、CO₂濃度)や β -C₂Sの固溶成分の違いがその一因と考えられた。

3. 炭酸化 β -C₂Sの加熱による脱炭酸挙動⁷⁾

3-1. 炭酸化 β -C₂Sの低温領域からの脱炭酸

炭酸化した β -C₂Sに関する既往の研究では、通常炭酸カルシウムの脱炭酸温度領域よりも低温の400°C付近からCO₂が発生したため、この脱炭酸は非晶質ケイ酸カルシウム炭酸塩水和物に由来すると示唆された^{10,11)}。ここで、**2.**で評価を行った炭酸化 β -C₂Sを対象として、熱重量・質量分析(TG-MS)を行った結果を図4に示す。600°C～800°C付近の温度域での脱

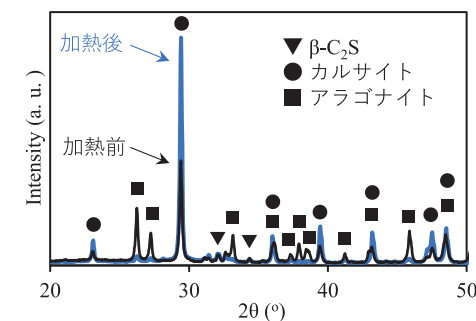


図5 加熱前後の炭酸化 β -C₂SのXRDパターン

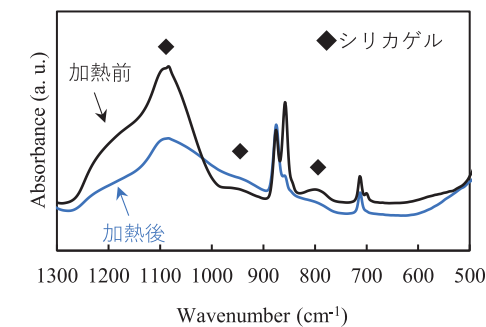


図6 加熱前後の炭酸化 β -C₂Sの赤外吸収スペクトル

炭酸は炭酸カルシウムに由来すると考えられるが、上記で述べた既往の知見と同様に、それ以下の低温領域(約400°C～600°C)からも脱炭酸が確認された。ただし、今回対象とした炭酸化 β -C₂Sでは、XRDパターンおよび赤外線吸収スペクトルにおいて、未同定のピークは認められず、非晶質ケイ酸カルシウム炭酸塩水和物を含まないと判断された。したがって、低温での脱炭酸が生じる原因は明確ではないため、 β -C₂Sの炭酸化によるCO₂固定化機構を考える上で、その原因を解明する必要があると考えられた。これを受けて行った、加熱による脱炭酸挙動の検討を次に説明する。

約400°C～600°Cの低温領域における反応を調査するため、炭酸化 β -C₂Sを550°Cで加熱した試料について分析を行った。550°Cとしたのは、600°C以上の温度域で生じる炭酸カルシウムの脱炭酸の影響が小さく、その温度領域以下で生じる脱炭酸の影響を大きく受けた試料を作製できると考えたためである。

図5に加熱前後の炭酸化 β -C₂SのXRDパターンを示す。加熱によって、アラゴナイトに対応する回折強度が低くなり、カルサイトに対応する回折強度が高くなっており、アラゴナイトからカルサイトへの熱的相転移が

生じたと考えられた。加熱後の炭酸化 β -C₂SのXRDパターンにおいて、アラゴナイト、カルサイト、 β -C₂S以外の鉱物相は認められなかった。

加熱によって生成した相を確認する目的で、サリチル酸メタノール処理を実施した。炭酸化 β -C₂Sと550°Cで加熱した炭酸化 β -C₂Sのサリチル酸メタノール処理による不溶残分率は、それぞれ93%と82%であった。サリチル酸メタノールで炭酸カルシウムはほぼ溶解せず、主に溶解する成分はC₃S、C₂SやC-S-H等のカルシウムシリケート相である¹⁴⁾。炭酸化 β -C₂Sの不溶残分率が加熱により低くなったことから、加熱によってカルシウムシリケート相が生成し、これがサリチル酸メタノールで溶解した可能性が考えられた。

図6に加熱前後の炭酸化 β -C₂Sの赤外吸収スペクトルを示す。加熱によって、シリカゲルに対応するピークは低くなっており、さらに900から1000cm⁻¹付近の赤外線の吸収が大きくなっていた。900から1000cm⁻¹付近の赤外線の吸収は、著者らの別の研究¹⁵⁾から、カルシウムシリケート相に対応すると考えられ、加熱によってカルシウムシリケート相が生成したこと裏付けとなる。

以上より、炭酸化 β -C₂Sでは、加熱によってシリカゲ

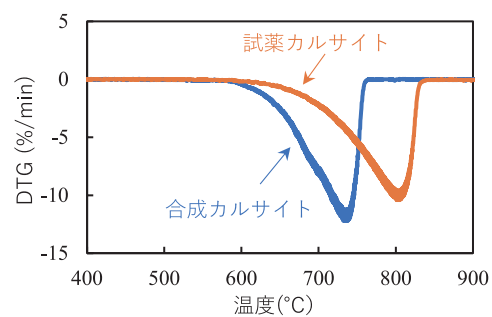


図7 カルサイト単独のDTG

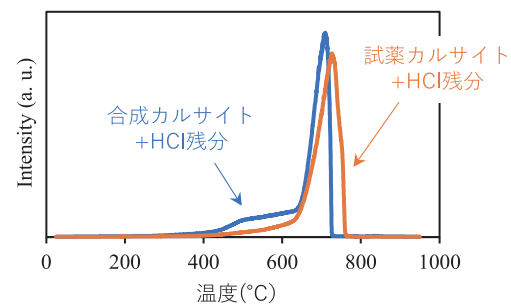


図8 CO₂の発生挙動

〔CO₂に対応するMS曲線〕

ルが減少し、カルシウムシリケート相が生成したと考えられた。アラゴナイト、カルサイト、 β -C₂Sは化学組成としてCaOを多く含む。これらの相のいずれかがシリカゲルと反応して、カルシウムシリケート相を生成した可能性があるが、CO₂の発生が生じていたことから、アラゴナイトあるいはカルサイトが低温領域で脱炭酸の後、シリカゲルと反応したと考えた。なお、加熱によって生成したと考えられたカルシウムシリケート相は、図5で示したXRDパターンにおいて、回折ピークが確認されていないため、非晶質相として存在していたと推測された。

3-2. 炭酸カルシウムとシリカゲルの共存

3-1.で述べたように、炭酸カルシウムがシリカゲルと共存する場合に、低温で脱炭酸する可能性が考えられた。次に、その可能性を検証した結果を説明する。

シリカゲルは、2.で評価を行った炭酸化 β -C₂Sから抽出した。すなわち、炭酸化 β -C₂Sを塩酸で処理し、塩酸に溶解しない残分を回収し、乾燥させた。この残分はFTIRによる分析等から、シリカゲルと同定された。以降、このようにして得られた残分を、HCl残分と呼ぶ。

カルサイトは、関東化学社製の試薬(試薬カルサイト)

および筆者らが合成したもの(合成カルサイト)を用いた。合成カルサイトは、バテライトを合成した後、これを加熱して作製した。これらカルサイト単独の熱重量分析(TG)の結果を図7に示す。いずれも約600℃以降で質量減少(脱炭酸)が認められた。

上記で示した2種類のカルサイトそれぞれとHCl残分を質量比で1：1となるように混合した。これら試料のTG-MS分析結果を図8に示す。試薬カルサイトおよび合成カルサイト単独の場合は、いずれも約600℃以降で脱炭酸が認められたが、HCl残分(シリカゲル)との混合物は約400℃付近から脱炭酸が生じた。すなわち、炭酸カルシウムとシリカゲルが共存する場合に、低温で脱炭酸することが確認された。

炭酸化 β -C₂S中には、炭酸カルシウムとしてカルサイトおよびアラゴナイトが存在した。これらのうち、いずれの相が低温で分解してCO₂を発生するかは明らかにならず、これは今後検討すべき事項である。ただし、バテライトを熱的転移させた合成カルサイトを用いた場合に、低温における脱炭酸が顕著であったため、同じく準安定相であるアラゴナイトからの脱炭酸の寄与が大きい可能性が考えられた。シリカゲルについて、本研究で

使用したHCl残分とSEM-EDSで確認されたCaOを少量含んだシリカゲルとは化学組成が厳密には異なると考えられる。炭酸カルシウムの低温での脱炭酸を促すシリカゲルの組成に関しては、今後の検討課題である。

4. おわりに

本稿では、 β -C₂Sに着目し、その炭酸化に関する研究を紹介した。本研究の範囲では、炭酸化によって、カルサイト、アラゴナイト、Caを少量含んだシリカゲルが生成することが明らかになった。こうした構成相から成る、炭酸化した β -C₂Sは熱分析の過程で、400℃程度という低温度領域から脱炭酸することが確認された。これに関し、各種分析から、炭酸カルシウムとシリカゲルが共存する場合に、炭酸カルシウムが低温で脱炭酸する可能性があることが判明した。すなわち、 β -C₂Sの炭酸化反応によってCO₂は炭酸カルシウムの形態で固定化され、この炭酸カルシウムはシリカゲルと共存するため、熱分析において低温から脱炭酸すると考えられた。したがって、 β -C₂Sを主要鉱物として含むカーボフィクス®セメントでも、吸収したCO₂は主に炭酸カルシウムの形態として固定化されると推測され、一度吸収されたCO₂は気中に放出されることなく、長年に渡り安定的に存在することが期待できる。

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2022”をお頒けします

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

ご希望の方には無料でお届けいたします。
申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

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

【参考文献】

- 1) (一社)セメント協会／“カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン”，2022 https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/220324_01.pdf (20230519アクセス)
- 2) 太平洋セメント(株)／“TAIHEIYO CEMENT NEWS LETTER. 2022年3月24日” https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/220324_1.pdf (20230519アクセス)
- 3) 一坪幸輝他／セメントキルン排ガスからのCO₂分離回収技術，セメント・コンクリート，pp.46～53，No.911，2023
- 4) 川之上太志他／太平洋セメントのカーボンニュートラルに向けた技術開発，コンクリートテクノ，pp.62～67，Vol.42，No.3，2023
- 5) 橋本真幸他／CO₂吸収・硬化セメント「カーボフィクス®セメント」の開発，セメント・コンクリート，pp.10～16，No.906，2022
- 6) 扇嘉史他／CO₂吸収・硬化セメント「カーボフィクス®セメント」の強度発現およびCO₂固定化，太平洋セメント研究報告，pp.43～54，No.183，2022
- 7) 扇嘉史他／ β -C₂Sの炭酸化によるCO₂の固定に関する研究，太平洋セメント研究報告，pp.55～67，No.183，2022
- 8) Warda Ashraf; Jan Olek／Elucidating the accelerated carbonation products of calcium silicates using multi-technique approach, Journal of CO₂ Utilization, pp. 61～74, 23, 2018
- 9) Warda Ashraf; Jan Olek／Carbonation behavior of hydraulic and non-hydraulic calcium silicates: potential of utilizing low-lime calcium silicates in cement-based materials, Journal of Materials Science, pp.6173～6191, 51(13), 2016
- 10) 後藤誠史他／カルシウムシリケート化合物の炭酸化による硬化，無機マテリアル，pp.22～27，5(272)，1998
- 11) Seishi Goto et al.／Calcium Silicate Carbonation Products, Journal of the American Ceramic Society, pp.2867～2872, 78(11), 1995
- 12) Songhui Liu et al.／Revealing the Microstructure Evolution and Carbonation Hardening Mechanism of β -C₂S Pastes by Backscattered Electron Images, Materials, e1561, 12(9), 2019
- 13) Olga Shtepenko et al.／The effect of carbon dioxide on β -dicalcium silicate and Portland cement, Chemical Engineering Journal, pp.107～118, 118(1-2), 2006
- 14) 近藤連一，大沢栄也／高炉水砕スラグの定量およびセメント中のスラグの水和反応速度に関する研究，窯業協会誌，pp.39～46, 77(882)，1969
- 15) 扇嘉史，細川佳史／C-S-Hの炭酸化および加熱によるCO₂の挙動，第77回セメント技術大会講演要旨，pp.30～31，2023



調合・製造管理データを用いた機械学習による コンクリート圧縮強度の予測

Prediction method of compressive strength of concrete by machine learning using formulation and manufacturing control data

赤羽根 駿之介

1. はじめに

近年では、ChatGPTに象徴される人工知能(AI)や仮想現実(VR)、メタバース、ブロックチェーン、量子計算技術など、多くの新しいデジタルテクノロジーの登場により、様々な分野でデジタルトランスフォーメーション(DX)が推進されている。建設分野でも、様々なシーンでDXによる革新的な取組みが行われている^{例えば1, 2)}。

コンクリートの分野でも、デジタルテクノロジーを活用した取組みの報告数は増加しており、コンクリートの製造・品質管理や現場における検査および施工の合理化につながるDX化の動きが広まっている。例えば、i-Constructionの一環として、生コン伝票の電子化についての取組みが実施され、製造・運搬・打込みのクラウド上でのリアルタイムでの管理を可能にする技術的な検討³⁾が実施されている。また、2024年3月末からは、生コンの生産者から購入者に提出される配合計画書と納入書が紙媒体以外でも可能になるなど、JIS A 5308の改正も予定されており⁴⁾、今後の活用が期待される。

ところで、コンクリートの品質管理は、スランプ、空気量、温度、塩化物量および圧縮強度を対象に、工

程検査や製品検査(工場が実施)、受入検査(施工者が実施)によりなされているが、現状は人手がかかり、非常に手間がかかるものとなっている。

そこで、生コンの製造時の調合・製造管理データの電子情報をもとに、コンクリートの品質予測を行えないかについて検討することとした。もし、高い精度の予測が行えるようになれば、検査を大幅に省略して、生産性向上を図れる可能性がある。また、それにより連続的な管理が行えるようになり、品質の変動が小さくできれば、より経済的で環境にやさしい調合設計にもつながると考えられる。

本稿では、生コン製造時の電子情報の取得が可能であったプレキャストコンクリート工場のコンクリート製造を対象に、機械学習の手法を用いて、コンクリートの圧縮強度の予測について検討した結果について紹介する。

2. 検討の概要

2-1. 対象としたコンクリートおよび試験データ

(1) 使用材料および調合

年間を通して製造された2つのコンクリート調合(41N, 29N)を対象とした。使用材料の一覧を表1に、コンクリートの調合を表2に示す。

(2) 品質試験データ

品質試験データは、プレキャストコンクリート工場での調合につき、1日に1回試験されたスランプ・スランプフ

表1 使用材料の一覧

記号	種類	物性他
C	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
S	混合砂	表乾密度 2.56g/cm ³
G	碎石	表乾密度 2.65g/cm ³
SP1 SP2	高性能減水剤	カルボキシル基含有 ポリエーテル系 (SP1:41N SP2:29N)
AE	AE剤	ポリオキシエチレン系

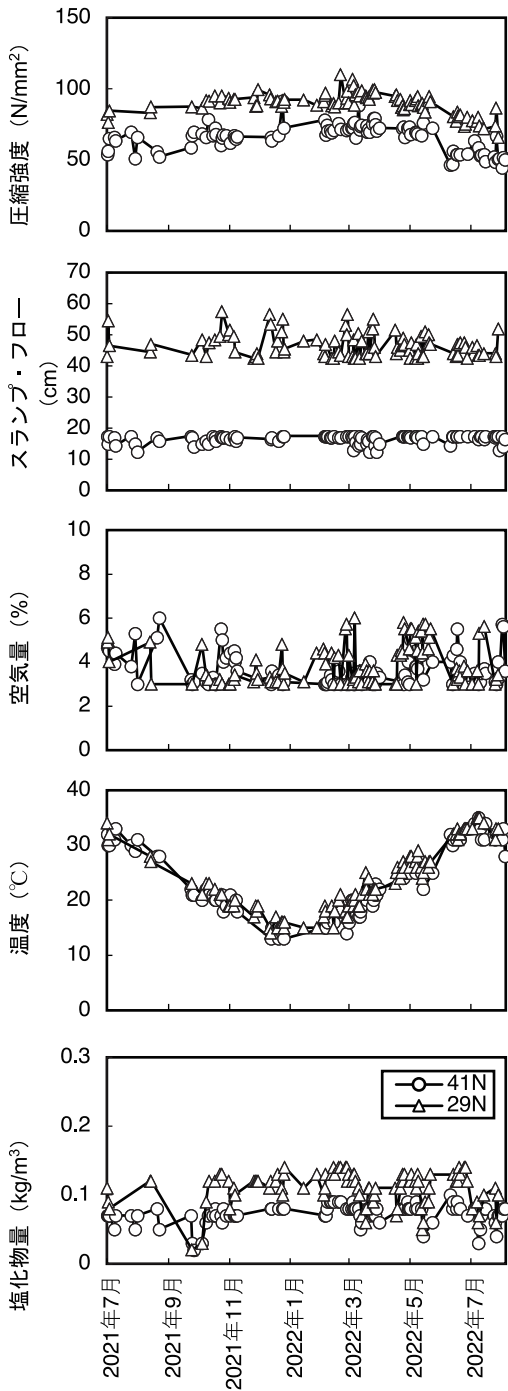


図1 試験データ

ロー、空気量、コンクリート温度、塩化物量、脱型時の供試体重量および圧縮強度(材齢28日)であり、期

表2 調合

記号	スランプ, スランプフロー (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	S	G
41N	15	4.5	41.0	160	391	827	972
29N	50	4.5	29.0	165	569	745	915

表3 予測に用いた特徴量の一覧

i - 製造記録		ii - 試験記録
単位粗骨材量	ミキサの負荷値	スランプ
単位細骨材量	細骨材表面水の	スランプフロー
単位セメント量	差分	空気量
単位水量	平均気温	コンクリート温度
単位高性能減水剤量	降水量の合計	塩化物量
単位AE剤量	日照時間	脱型時の供試体重量
m ³ あたり粗骨材計量値	平均風速	
m ³ あたり細骨材計量値		
m ³ あたり練混水計量値		
セメント水比		

間は2021年7月~2022年8月を対象とした。試験データは図1に示すとおりである。プレキャストコンクリート工場では、年間を通して同じ調合であり、脱型時強度を重視して決定した調合となっているため、材齢28日の標準養生強度は、夏期が低く、冬期が高くなる傾向となっている。

2-2. 予測手法

(1) 予測に用いる特徴量

コンクリート強度の予測に用いた特徴量を表3に示す。データ群iは、製造記録であり、プラント操作盤から出力する電子情報(印字記録のほか、ミキサ負荷値と細骨材表面水の差分)、気象庁による気象情報の特徴量とした。それぞれの概要について、次に示す。

・印字記録

印字記録関連の特徴量は、練混ぜ量、粗骨材、細骨材、練混ぜ水のm³あたりの計量値と、設定した表面水を加味して算出した各材料の単位量とセメント水比とした。

・ミキサの負荷値

ミキサの負荷の特徴量は、コンクリートの練上り時のミキサの負荷値とした。ただし、図2に示すように、練混ぜ量の影響を受けることから、練混ぜ量の乗数の関数と仮定し、調合ごとに式(1)で計算した最終負荷値を特徴量とした。なお、式中の係数aは練混ぜ量とミキサの最終負荷値の相関係数である式(2)が最小となる



あかばね しゅんのすけ / AKABANE Shun-nosuke
清水建設(株) 技術研究所
研究員 修士(工学)

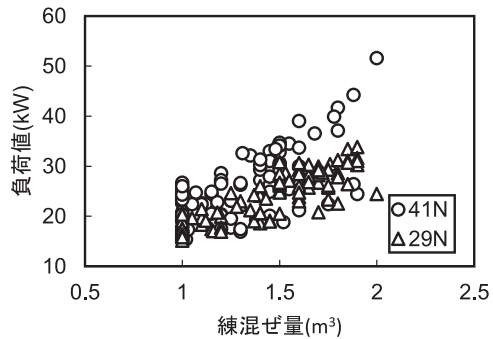


図2 練混ぜ量と負荷値の関係

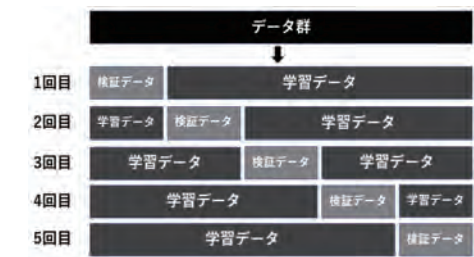


図3 交差検証法による予測値算出の概要

値である。41Nの調査では $a=0.814$ 、29Nの調査では $a=0.818$ となり、これを用いた。

$$f = \frac{w}{M^a} \dots\dots\dots (1)$$

$$r = \left| \frac{\frac{1}{n} \sum (f_i - \bar{f})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (f_i - \bar{f})^2} \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum (M_i - \bar{M})^2}} \right| \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 f 、 w 、 M 、 r 、 n はそれぞれミキサ負荷値の関数、ミキサの最終負荷値、練混ぜ量、ミキサ負荷値の関数と練混ぜ量の相関係数、データ数を示す。

・細骨材表面水の差分

細骨材の表面水に関する特徴量は、細骨材の表面水率の設定値とRI水分計により自動測定した値との差分を m^3 あたりに換算した値とした。

・気象データ

気象データに関する特徴量としては、気象庁HPより、プレキャストコンクリート工場から最も近い気象観測点の製造日の日平均気温、降水量の合計、日照時間、平均風速のデータを用いた。

また、データ群iiは、一般的なコンクリートの試験項目であり、特徴量としては、スランプ・スランプフロー、空気量、コンクリート温度、塩化物量、および脱型時の供試体重量を加えたデータを用いた。

(2) データの変換

表4 機械学習手法の特徴

予測手法	特徴
Ridge Regression	線形回帰手法の一種であり、通常の回帰に正則化と呼ばれる過度な学習を防ぐために用いられる数式が導入されたもの。多重共線性に強く、特徴量同士の相関が高いデータセットに対して安定性の高い手法である。
Elastic-Net Regression	Ridge Regressionに、さらに別の正則化に用いられる数式が導入された手法で、特徴量の多いデータの学習に有効である。
Random Forest	樹形図のように分類や回帰を行う決定木と呼ばれるアルゴリズムを並列に組み合わせた手法で、単体の決定木よりも精度よく予測ができる。特徴量が多い場合や、学習データが少ない場合にはうまく学習できないこともある。
Gradient Boosting Tree Regression	Random Forestのように、複数の決定木等の学習機をつないで学習するアルゴリズムだが、並列ではなく直列につないで精度を高める特徴がある。誤学習したデータではなく、全体の残差に重点をおいて学習する。

機械学習では、様々な特徴量を扱うが、特徴量によってデータのスケールが異なるため、扱いやすいものに整える正規化を行うことが一般的である。代表的な手法として、最小値0～最大値1にスケーリングする「Min-Max normalization」と、平均0、分散1にスケーリングする「Z-score normalization」の2つがあるが、本稿では後者によりデータ変換を行って、単位や平均値などが異なるデータ同士を比較できるようにした。

(3) 予測手法

本稿においては適切な推定手法の模索のため、既往の文献^{5~7)}でコンクリートの圧縮強度予測に用いられた機械学習手法である、Ridge regression⁸⁾、Elastic-Net Regression⁹⁾、Random Forest¹⁰⁾、Gradient Boosting Tree Regression¹¹⁾について検討した。これらの手法の特徴は、表4に示すとおりである。

(4) 予測値の算出

予測値の算出には、交差検証法¹²⁾の手法を参考とした。交差検証法は、データ群を5分割し、8割の学習データをモデルに学習させ、2割の検証データの箇所の実測値がどのような値かを予測するという手順を、学習データと検証データの箇所を変更して繰り返す手法である。本検討では、図3に示すように、学習データと検証データを5回分割し、検証データ部を予

表5 各データ群による予測結果の評価

予測手法	データ群 i				データ群 i + ii			
	41N		29N		41N		29N	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Ridge regression	0.471	4.56	0.000	4.75	0.668	3.57	0.439	3.49
E-Net Regression	0.536	4.28	0.110	4.53	0.653	3.65	0.378	3.68
Random Forest	0.501	4.41	0.115	4.49	0.643	3.72	0.562	3.20
Gradient Boosting Tree Regression	0.540	4.21	0.168	4.39	0.665	3.61	0.635	2.91

測した値をすべて予測値として取り扱うことにした。

(5) 予測精度の評価方法

予測結果の精度については、R²(決定係数)、RMSE(平方平均二乗誤差)を用いて評価することにした。それぞれの評価関数の式を式(3)および式(4)に示す。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 y_i 、 $(\hat{y}_i)$ 、 $\bar{y}$ は、それぞれ実測値、予測値、実測値の平均値を示す。R²は基本的に0-1の値を取り、実測値と予測値の乖離が少ないほど値が大きくなる関数であり、RMSEは実測値と予測値の乖離が少ないほど値が小さくなる関数である。

(6) 特徴量の有用性評価

各予測結果について、有用な特徴量をPermutation Importanceの手法¹³⁾により算出した。この手法は、教師データがある予測モデルにおいて、どの特徴量が予測において最も重要であるかを理解するために使われる手法である。この手法では、教師データセットの準備と予測モデルの構築を行い、下記のような手順で特徴量の評価を実施する。

- ① 教師データセットを用いて予測モデルを訓練・構築し、予測精度を評価する。
- ② データセット中の特徴量の一つを選び、その特徴量の値をランダムに並び替える。
- ③ ある特徴量がランダムなデータセットを使って再度予測を行い、予測精度を評価する。
- ④ ①の予測精度および③の予測精度の差を計算する。並び替えた特徴量が重要であるほどこの差

は大きくなる。

- ⑤ 全ての特徴量に対して上記の手順を繰り返し、それぞれの特徴量の予測精度の差を計算して、差の大きいもの、すなわち重要度が高いものを抽出する。

本検討では、上記手順により算出した重要度が大きい順に抽出した5つの特徴量について、その相対値Permutation Importance(%)を特徴量の有用性として示すことにした。

3. 圧縮強度の予測

3-1. データ群の違いによる予測結果の比較

データ群iおよびデータ群i+iiを用いて各手法により圧縮強度を予測した際のモデルごとの評価結果を表5に示す。また、各調査およびデータ群において、最もRMSEが小さくなった予測手法での予測値と実測値の比較を図4に示す。

表5から、データ群iのみを用いて予測した場合、41Nでは全てのモデルでR²は0.47以上である一方で、29Nでは、最も予測精度がよかったGradient Boosting Tree Regressionでも、R²は0.17以下となっており、圧縮強度の予測精度が極めて低いことが確認された。

一方、データ群i+iiを用いて予測した場合、41Nでは全てのモデルで決定係数が0.64以上、RMSEも3.56～3.72となり、データ群iのみよりも予測精度が向上した(図4参照)。データ群iのみでは予測精度が極めて低い29Nにおいても、Gradient Boosting Tree Regression

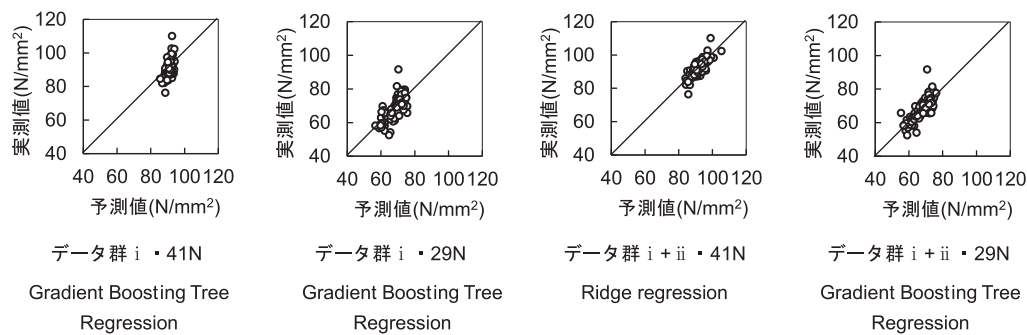


図4 圧縮強度の予測値と実測値の関係

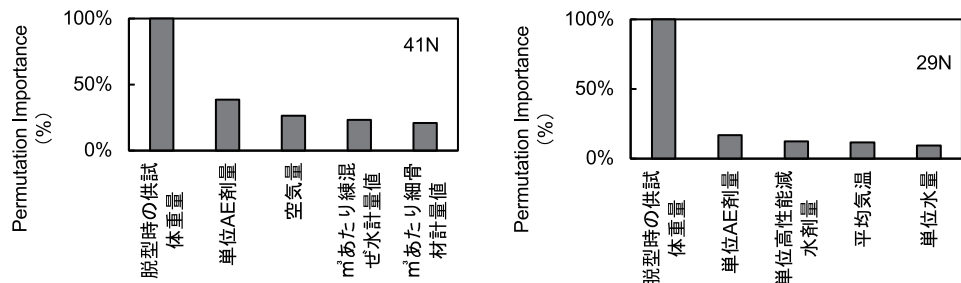


図5 データ群i+iiによる予測時に有用な特徴量

を用いたケースで、 R^2 は0.635まで向上し、RMSEも2.91と、予測精度が大きく向上させることができた。

データ群i+iiを用いて予測したほうが、予測精度が向上した理由としては、試験の結果のデータという有効な特徴量の数が増加したことに加え、3-2.に示す有用性の高い脱型時の供試体重量のパラメータが追加されたことが考えられる。

予測手法の比較では、全体的にGradient Boosting Tree Regressionで精度が高かった理由は、Ridge RegressionやElastic-net Regressionが、基本的に線形回帰であることに対し、Gradient Boosting Tree Regressionは非線形に属するため、より適合性の高い予測モデルを生成できたためと考えられる。また、非線形であるRandom Forestよりも優れていたことに関しては、Random Forestが並列して様々な手法で学習した学習機の平均を予測値とするのに対し、Gradient Boosting Tree Regressionは直列に学習するという相違が、コンクリートの強度予測には適しているのではないかと考えられた。

3-2. 予測の際に有効な特徴量

データ群i+iiによる予測で、最も予測精度が高かつ

たモデルでの特徴量のPermutation Importance (%)を調査ごとに図5に示す。

いずれの調査についても、最も有用な特徴量は脱型時の供試体重量であり、それに続いて単位AE剂量であることが共通した。脱型時の供試体重量と圧縮強度との関係を図6に、単位AE剂量と圧縮強度との関係を図7に示す。脱型時の供試体重量は供試体の緻密性と関連の深い指標であることから、圧縮強度の予測に大きく寄与していることがわかる。

3-3. 外れ値について

今回の予測結果では、データ群の圧縮強度の実測値が平均値から大きく外れたものを含む場合に、予測値と実測値との乖離が大きくなる傾向がみられた。機械学習の手法では、こういった外れ値は分析精度の低下を引き起こすため、平均値付近の予測精度を向上させるためには、これらの値を除外して予測することでRMSEを小さくすることができると考えられる。

しかし、予測結果を異常値の検知などに用いる場合には、こういった外れ値の把握が重要であり、なぜ平均値から大きく外れたのかの原因究明が必要となる。

今回のケースでは、圧縮強度の平均値から大きく外れ

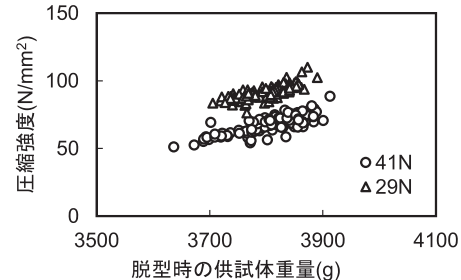


図6 脱型時の供試体重量と圧縮強度の関係

た値について、取得したいずれの特徴量からも異常なデータは見られなかった。このため、セメントの性能のばらつきや管理方法など、計測していない項目でイレギュラーが起こった可能性があると考えられる。予測精度をさらに高めるための検討を行う必要がある。

4. おわりに

本稿では、生コン製造時の調査・製造管理データを収集・整形し、機械学習にかけて、コンクリートの圧縮強度の予測を行った結果について紹介した。検討の結果、製造記録に加え、試験記録データを加えることで圧縮強度の予測精度を向上させることができることがわかった。しかしながら、いずれの予測手法も、分析するデータ数が十分ではなく、予測精度が高いとはいえない。予測精度を向上させるためには、さらに下記のような課題を検討する必要があると考えられる。

(1) ミキサ負荷値やRI水分計による細骨材表面水率を加えた製造記録以外にも、骨材の粒度、材料温度、実際の工場所在地の気象データ等のデータが有用と考えられ、それらの自動計測方法などを検討する必要がある。

(2) 機械学習に用いた試験記録データは、品質試験が毎バッチ行っているものではないこと、特に圧縮強度と最も相関が高かった脱型時の供試体重量は、製造の翌日に得られる情報であることから、製造段階において強度予測するためには入力値として用いることができない。脱型時の供試体重量に代わるデータとして、ミキサからアジータ車へ排出する前のコンクリートの容積と重量が挙げられ、それらの自動計測方法など

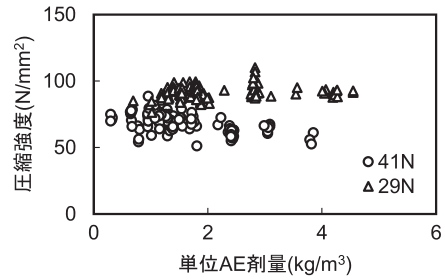


図7 単位AE剂量と圧縮強度の関係

の検討も必要だと考えられる。

(3) 精度を向上させることができた試験記録データは、自動計測されていないことから、手書きの試験データのcsvデータへの書換え、製造時の日時やバッチNo.との印字記録との紐づけ・照合などが必要であった。すべて自動計測でき、一元管理できれば、精度の高い連続的な管理が可能になるのではないかと考えられる。

機械学習によるコンクリート品質の予測をより進歩させ、コンクリートの各種試験にかかる手間を低減するだけでなく、コンクリートの品質変動が小さく、より経済的で環境にやさしい調査設計に貢献するために、今後も引き続き検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 木村嘉富／PRISMによるi-Constructionの推進～経済を成長させ、働きがいのあるコンクリート分野へ、コンクリート工学 60巻1号 pp.14～19, 2022.
- 2) 山崎明他／建物デジタルプラットフォーム「DX-Core(建物OS)」の開発、清水建設研究報告第99号, pp.23～28, 2021.
- 3) 大友健他／「生コン情報電子化」が打込み作業の生産性向上に及ぼす効果ーコンクリートの出荷～運搬～打込み／品質管理情報を電子化しクラウド上で共有する試みー、コンクリート工学57巻11号, pp.861～869, 2019.
- 4) 国土交通省HP, <https://www.mlit.go.jp/tec/>, 閲覧日2023/05/21
- 5) Prabhat Ranjan Prem, A.Thirumalaiselvi and Mohit Verma, Applied linear and nonlinear statistical models for evaluating strength of Geopolymer concrete, Computers and Concrete Vol. 24, No.1, pp.7～17, 2019.
- 6) Fur Qan Farooq et al. / A Comparative Study of Random Forest and Genetic Engineering Programming for the Prediction of Compressive Strength of High Strength Concrete (HSC), Green Concrete for a Better Sustainable Environment II. Vol.10, Issue 20, October 2020.
- 7) Tadesse Gameda Wakjira, Usama Ebead, M.Shahria Alam. / Machine learning-based shear capacity prediction and reliability analysis of shear-critical RC beams strengthened with inorganic composites.Case Studies in Construction Materials.Vol16 June 2022.
- 8) Hoerl, A.E. and Kennard, R.W. / Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems, Technometrics, 42, pp.55～67, 1970.
- 9) Zou, H. and T. Hastie, Regularization and variable selection via the elastic net. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Vol. 67, No. 2, pp. 301～320, 2005.
- 10) Breiman, Leo. "Random Forests." Machine Learning Vol.45., pp.5～32, 2001
- 11) Jerome H. Friedman, Stochastic gradient boosting, Computational Statistics & Data Analysis. Vol.38, Issue 4 pp.367～378, February 2022.
- 12) Stone, M. / Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions (with discussion), Journal of the Royal Statistical society B. 36, pp.111～147
- 13) Aaron Fisher, Cynthia Rudin, Francesca Dominici, All Models are Wrong, but Many are Useful: Learning a Variable's Importance by Studying an Entire Class of Prediction Models Simultaneously, Journal of Machine Learning Research 20 (177), pp. 1～81, 2019.

セメント改良技術の適用事例・深層混合処理工法 スラリー攪拌工(CDM工法)

Cement Deep Mixing Method

徳永 幸彦

1. はじめに

CDM工法は、原位置の軟弱な粘性土や砂質土にスラリー化したセメント系固化材(本稿では安定材と称す)を注入しながら攪拌翼の回転で混合攪拌し、化学的に固結させて強固な地盤を形成する工法である。攪拌翼を取り付けたロッドを地中深く(陸上施工の場合最大45m程度)まで到達することができ、セメント系固化材を用いることから『セメント系深層混合処理工法』と名付けられている。また、安定材にスラリーを用いることにより、海上、河川などの水域での施工が可能であり、一回の施工で攪拌翼の回転軌跡に応じた改良杭が形成されるため、品質はもとより出来形への信頼性も高い。

港湾、空港、道路、河川、都市などのインフラ施設を対象に、各種構造物の基礎、すべり防止、沈下対策、液状化対策、耐震補強などあらゆる分野の軟弱地盤対策に適用されてきたが、近年、香港国際空港拡張工事、インドネシアパティンバン新港開発工事(写真1)など海外の大型工事でも採用され、施工件数で5,428件、処理土量の累計で9,710万m³(2023年3月末現在)の施工実績を積み重ねてきた。

開発当初は、防波堤や岸壁、護岸などの重量物を軟弱地盤上に構築する際に地盤を強固にする方法として用いられてきたが、現在では盛土の安定確保や沈下対策、矢板や土留めの前面改良による水平抵抗力の増大、地中埋設物の周辺改良による安定化、地震時の液状化防止などの目的でも多用されている。

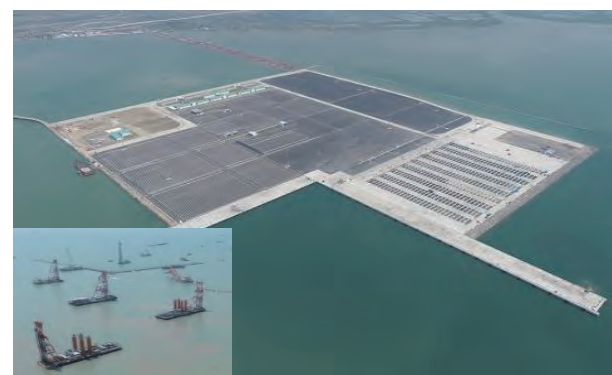


写真1 インドネシアパティンバン新港建設工事

本稿では、CDM工法の概要に加え、生産性向上、新しい用途への取組みについて紹介する。

2. CDM工法の概要

CDM工法の固化のしくみは、2種類の反応からなっている。まず、セメントと水の水和反応にまずセメントと水の水和反応によって針状結晶のエトリンガイトが生成され、次に材齢が進むにつれて水和生成物が粘土鉱物とポズラン反応を起こし、板状結晶が多く認められるようになる。セメント系固化材および普通ポルトランドセメントを用いた場合の水和生成物の模式図を図1に示す。

2-1. CDM工法の特徴

CDM工法の特徴を以下に述べると、

- ① 短期間(1ヶ月程度)で所要強度が確保できる。
- ② 変形(沈下)が微少で上部工に影響を与えない。
- ③ 耐震性・遮水性にすぐれている。

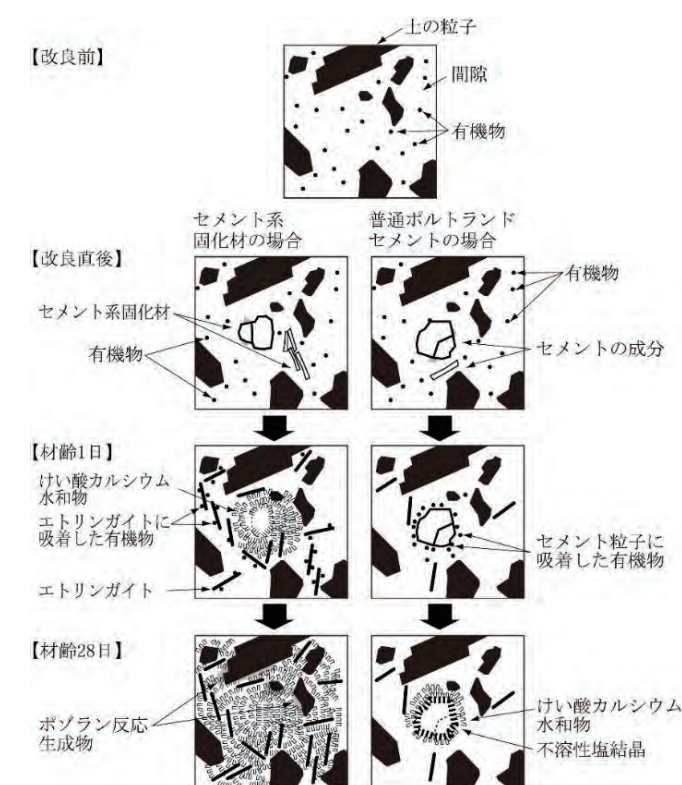


図1 セメント系固化材による固化の原理(模式図)¹⁾



写真2 CDM機(海上・陸上・台船方式)

- ④ ブロック式、壁式、格子式、杭式、接円式など用途に応じた形式の改良地盤が形成できる。
 - ⑤ 確実な施工管理ができる。
 - ⑥ 騒音・振動が小さく、周辺への影響が少ない。
- などが挙げられるが、海上工事では、他工法に比べて処分土が少ないというのも採用されている理由の1つである。

2-2. 施工機械

CDM工法は海上CDMと陸上CDMに大別されるが、河川等の狭隘な場所では台船に陸上機を搭載し

たCDM-FLOAT工法が用いられる(写真2)。CDM工法の分類については、参考文献²⁾またはCDM研究会ホームページ(<http://www.cdm-gr.com>)をご参照願いたい。

施工機械は、陸上機の場合、処理機と安定材供給機に分かれる。処理機は、攪拌軸、攪拌翼、モータ、ベースマシン、バックホウからなり、安定材供給部は、サイロ、ミキシングプラント、グラウトポンプ、施工管理装置を設置する管理室などから構成される。バックホウは整地、盛り土の処理を行うために配置する。なお、ベースマシン内に施工管理装置を搭載している

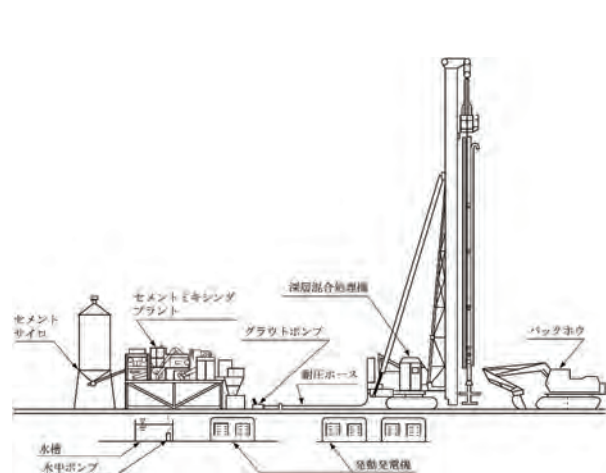


図2 陸上CDM機の基本構成³⁾

場合は、管理室を省略することができる。施工機械の基本構成を図2に示す。一般には、海上CDMおよびCDM-FLOATの場合、バックホウを除くすべての機械設備を船上に搭載している。

2-3. 施工手順

CDM工法の一般的な施工手順は、図3に示すように、①処理機を所定の位置にセットし、②攪拌翼を回転させて掘削しながら安定材の吐出と攪拌を同時に行い、処理機を所定深度まで貫入させ、③先端部分を改良したのち、④処理機を引抜きながら攪拌を行い、⑤地表面あるいは所定の深度までの改良を完了する。

安定材の吐出方法は、攪拌翼貫入時(②)に行う貫入時吐出と引抜き時(④)に行う引抜き時吐出があり、それぞれに有利点と不利点がある。貫入時吐出は、改良杭の接合性と攪拌混合性能で有利であるが、貫入時に処理機のトラブルが発生した場合に、処理機内の安定材や地盤と攪拌混合された安定材が固結することで、処理機自体の保全やその後の施工に障害となって安全上不利となる場合もある。一方、引抜き時吐出による施工では、改良杭の接合性と攪拌混合性能に不利な点があるが、貫入時に処理機にトラブルが発生しても安定材を吐出していないため、処理機の保全、安全面では有利である。一般に、海上CDMでは5.7m²級、4.6m²級で引抜き時吐出で、2.2m²級で貫入時吐出で施工されることが多い。また、陸上

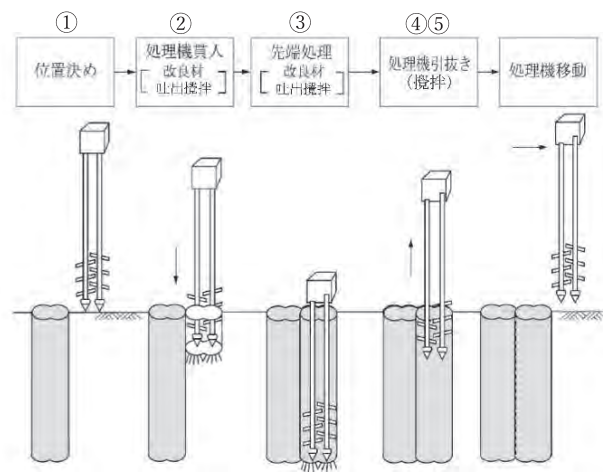


図3 施工手順

CDMでは一般に貫入時吐出で施工されるが、地盤が不均質で硬い地層が介在する場合や大深度の場合には引き抜き時吐出で施工されることもある。なお、周辺地盤の変位を低減させるために事前に排土させる変位低減型のCDM-LODIC工法では引き抜き時吐出で施工される。

2-4. 施工管理

CDM工法では、改良体造成中に、管理計器による施工状況データをリアルタイムに把握し、品質・出来形の管理基準をはずした場合には、即時に警報を発して修正作業をうながすとともに、打設記録の出力機能等を組み込んだ管理システムを導入している。施工管理システムの全体構成を図4に示す。

CDM工法の施工管理には、図5に示すように品質管理と出来形管理がある。品質管理では、所定量の安定材が攪拌・混合されているかを確認するために、スラリー流量計や処理機昇降速度、攪拌翼の回転数などを監視、制御する。攪拌混合の程度を羽根切り回数で管理し、CDM工法の場合には改良1m当たり350回を標準としている。

一方、出来形管理では、所定位置と深度に造成していることを確認するために、処理機の深度、攪拌翼の回転トルクやモータの負荷などを監視、制御している。貫入到達付近では、攪拌翼の段数分に相当する長さの攪拌回転が不足するため、処理機を上下させ

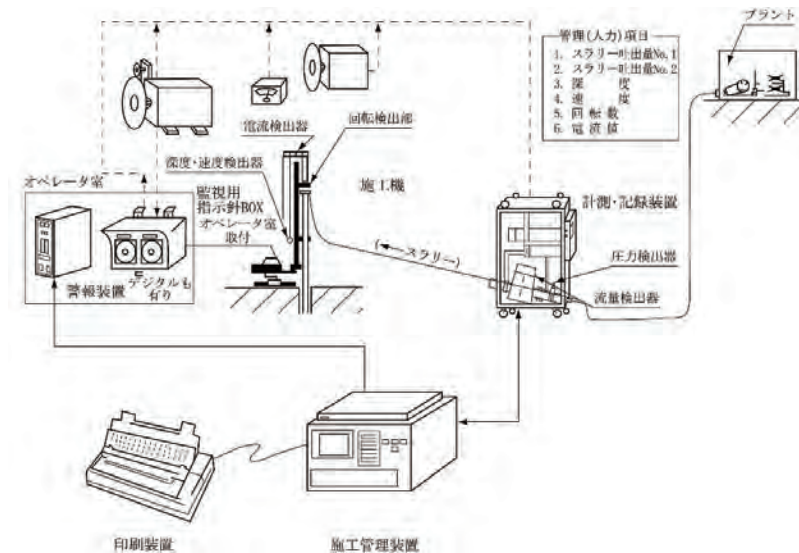


図4 施工管理システムの全体構成³⁾

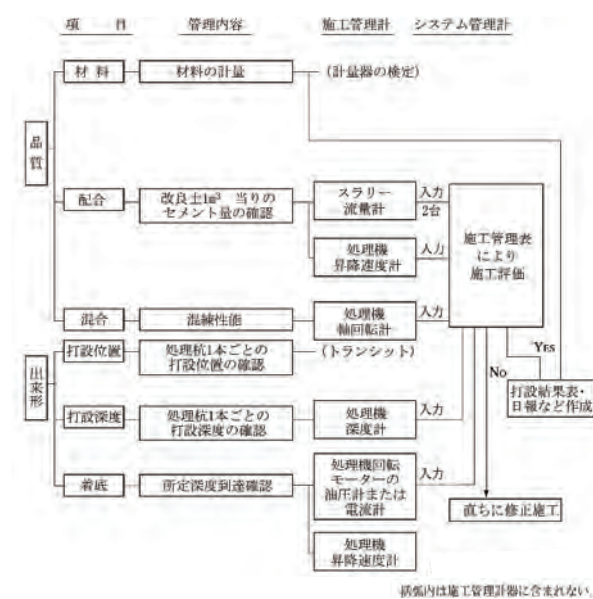


図5 CDM工法の施工管理項目¹⁾一部加筆

るなどの工程を行うことで、改良下端の先端処理を行い、安定した品質の改良杭を造成している。

3. CDM工法の発展技術

CDM工法の生産性向上、コスト縮減に向けた様々な取り組みを行ってきたが、そのいくつかを紹介したい。

3-1. CDM-EXCEED工法 (NETIS登録番号 CBK 190001-A)

CDM-EXCEED工法(次世代型大口径深層混合処理工法)は、改良径φ1,600mm×2軸式の大口径化

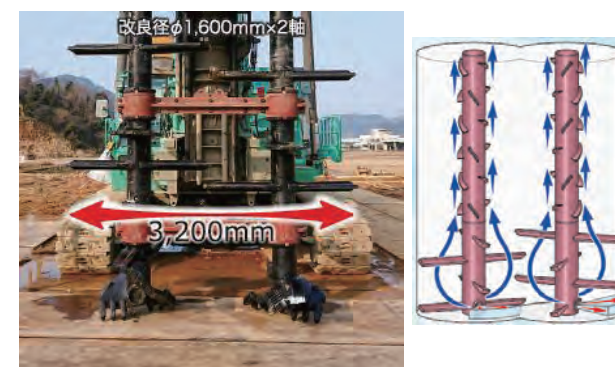


写真3 CDM-EXCEED機と内圧緩和翼

により、打設長15mの場合、最大約25%のコスト削減、最大約50%の工期短縮を可能としている(写真3)。本工法の最大の特長は、攪拌軸に地中内圧を解放する内圧緩和翼を取り付けるエア併用削孔方式により、施工速度を低下させることなく大口径の改良体が造成できることである。実施工時に行った地中変位測定計測では、変位量が極めて少ない結果となったことから、内圧緩和翼が削孔補助として使用するエアの内圧解放のみならず、スラリー吐出による圧力解放にも貢献し、図6に示すように周辺地盤への影響が少ない低変位工法であることが確認された。

3-2. ICT活用技術

CDM工法では、1994年の開発当初より専用の施

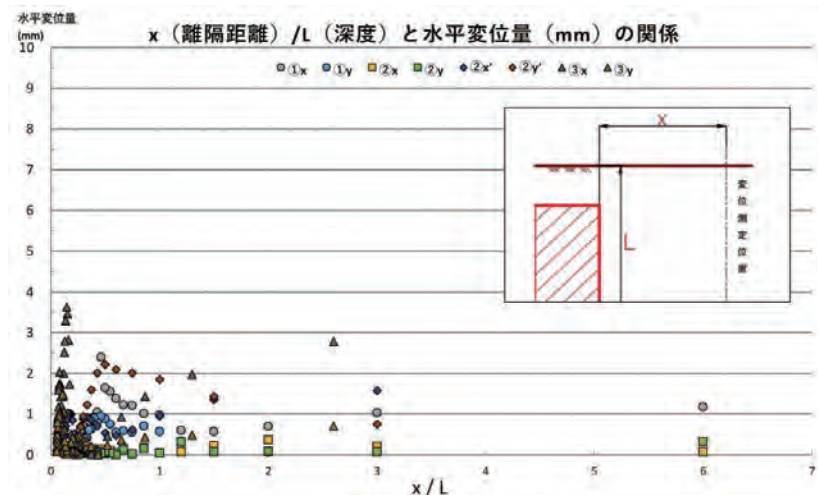


図6 地表面変位計測結果⁴⁾



図7 CDM-ICTシステム構成

工管理装置を導入，施工管理をシステム化し業務の効率化を図ってきた。当時，画期的と言われたこの施工管理システムを，さらに時代のニーズに対応し改善を重ね，**図7**に示すCDM-ICTシステムを開発した。これは，以下の2つのシステムで構成されている。

(1) 施工機誘導システム(CDM-Navigate)

施工機誘導システムは，施工管理装置に新たに開発したICT対応プログラムおよびGNSSアンテナを導入することにより，改良杭の位置決めから，施工深度，施工速度，それに伴う安定材スラリーの吐出量管理，支持地盤への着底管理等の一連の管理を可能にしたものである。地盤改良機のオペレーターが画面に表示される指示に従うことによってNavi感覚で正確な位置にスムーズに移動することができる。誘導人員が不要となり，接触災害の削減が大いに期待できる。

(2) CDM施工情報管理システム(CDM-Si)

地盤改良機のオペレーターのモニター画面には，施工に必要な一連の情報がリアルタイムに表示されている。

CDM施工情報管理システムは，同一の情報をネットワークで接続された複数の管理者で共有することで，現場内外の離れた事務所などでも確認することを可能としたものである。深層混合処理工法で造成した改良体の施工記録(深度，スラリー量，電流値等)をクラウド等に保存して2次元および3次元で可視化することができ，あらかじめ記憶させた地盤改良設計データと照合することで，改良杭の施工情報および合否判定が分かりやすく容易に示せるようになった。

4. 新しい用途

国内の社会資本整備そのものは減少しており，それに併せて深層混合処理工法の施工量も鈍っているの

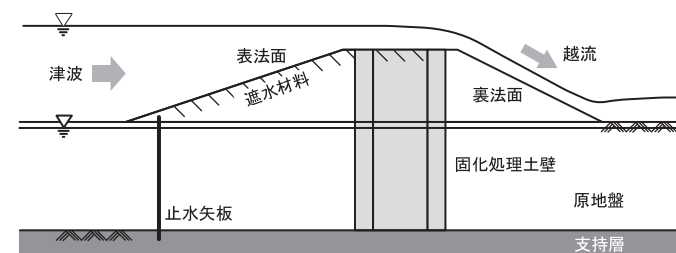


図8 CDM工法による堤防の補強⁵⁾一部加筆

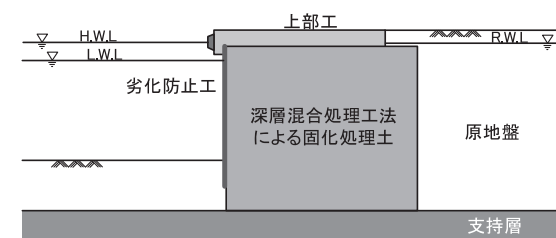


図9 CDM工法による岸壁構造⁶⁾一部加筆

が現状である。施工機の有効活用や施工単価の維持，技術伝承の観点から，新たな需要を出すという喫緊の課題に取り組むべく，CDM研究会は港湾空港技術研究所と5ヶ年にわたり「深層混合処理工法の有効活用技術に関する共同研究」を実施してきたので，本稿にてその成果の一部を紹介したい。

4-1. 堤防DM補強工法

軟弱な地盤上に構築された堤防は，津波に先行する地震動によっても変形・破壊し，特に液状化が発生すると津波が来襲する前に天端が大きく沈下することが想定され，地震と津波の複合災害に対処できる経済的で粘り強い構造形式の開発が望まれている。揺れによる液状化や津波の複合災害に対応可能な粘り強い海岸堤防の具体策として，優れた靱性を有する鋼材料を活用した二重鋼矢板構造が着目され実施に至っている。天端高さを保つ材料として，鋼材の代わりに安価な固化処理土も候補として考えられる。堤防中央部に液状化対策に多くの実績を有するCDM工法で格子状の固化処理土壁を構築し，地震動や津波越流が作用しても液状化を防止し，かつ天端高さを保てる「堤防DM補強工法」を開発した(**図8**)。

本工法は，①堤体全体を構築するような大掛かりな施工は不要で，堤防の地盤を改良するために高価な

施工材料も不要など優れた経済性を有し，②裏法面が崩れても固化処理土壁が天端高さを保持し性能を粘り強く発揮でき，③豊富な施工実績がある深層混合処理工法を利用するため，施工の信頼性が高く，④堤防内部の地盤への水の侵入を防ぐことでより合理的な設計が可能，などの特徴を有している。

4-2. CDM工法による岸壁構造

わが国で用いられている岸壁の構造形式は，一般的に重力式，矢板式，栈橋式の3つに大別される。栈橋式は大水深の岸壁に用いられることが多く，小～中規模の岸壁には重力式か矢板式が用いられることが多い。重力式や矢板式の岸壁では，岸壁本体工は陸側では背後地盤の土留めを行うとともに，海側では船が接岸できるように垂直な壁面となっている必要がある。CDM工法によってブロック状に地盤を改良し，その改良体を岸壁本体工とする技術である。改良体が背後地盤に対する土留めとなり，海側では垂直な壁面を成すことができる。重力式の岸壁構造に断面形状は似ているが，重力式のように重量物で土留めを行うのではなく，所定幅の改良体を根入れすることで土留めとしての抵抗力を増すという，重力式や矢板式とは異なる全く新しい概念の岸壁構造である(**図9**)。コンクリート構造物や鋼構造物ではないために，一般的な岸壁構造に

比べて経済的に岸壁を構築することができる。特に、既設構造物の更新工事では、既存の構造を残したまま地盤を改良し、その後に既存の構造を撤去することができ、経済的な更新を行うことができる。近年、重量物を取り扱う洋上風力発電施設の建設・維持管理のための岸壁にも本構造の利用が検討されている。

これらの新しい適用については、それぞれ設計・施工マニュアル(案)を発刊しており、CDM研究会ホームページ(<http://www.cdm-gr.com>)より申請すれば、無償でPDFをダウンロードすることができる。

5. おわりに

CDM工法は開発されて46年が経過し、構造物の大型化、大深度、急速施工に対応可能なしかも環境への影響が少ない地盤改良工法として、国内はもとより海外のインフラ整備にも重要な役割を担ってきた。今

後は、保有技術をさらに発展させ老朽化する社会インフラの延命化、補強技術を開発するとともに、デジタル技術を活用した生産性向上、サステナブル社会に向けたSDGs(持続可能な開発目標)や脱炭素などの社会ニーズへの対応などの課題にも取り組んでいきたい。

【参考文献】

- 1) 土木研究センター／陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル(増補版)、2022
- 2) 北詰昌樹／セメント・コンクリートNo.737、p.23、2008
- 3) CDM研究会／セメント系深層混合処理工法、設計と施工マニュアル、1991
- 4) <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/dtprint?regNo=CBK-190001>
- 5) CDM研究会編／堤防DM補強工法設計・施工マニュアル(案)、p.2、2022
- 6) CDM研究会編／深層混合処理工法による岸壁構造設計・施工マニュアル(案)、p.2、2022



とくなが さちひこ / TOKUNAGA Sachihiko
CDM研究会 事務局
事務局長

セメント系深層混合処理工法 CDM工法

海に陸に河川に活躍する環境に優しい地盤改良工法



スラリー化したセメント系固化材を注入しながら攪拌翼の回転で軟弱地盤を攪拌・混合し、化学的に固結させて強固な地盤を形成する工法です。

- ◆施工実績:海上陸上合わせて9,700万㎡を突破(R.5.3月現在)
- ◆技術資料:当研究会では種々の技術資料を作成しております。詳しくは下記HPをご参照ください。

CDM研究会

○特別会員：6社
○正会員：20社
○賛助会員：22社
(R.5.4現在)

【事務局】
〒101-0031
東京都千代田区東神田1丁目11番4号
東神田藤井ビル10F

TEL.03-5829-8760
FAX.03-5829-8761
URL : <http://www.cdm-gr.com>
E-mail:cdm-office@takenaka-doboku.co.jp



外国雑誌の 記事情報

低品質フライアッシュ粉砕粒子のセメント系複合材料 への物理的・化学的寄与の検討

Meenakshi Sharma, ほか

Advances in Cement Research

[34] 379～387 (2022)

クリンカの一部代替として混和材(supplementary cementitious materials: SCMs)を利用することは、セメント生産に伴う二酸化炭素排出量とエネルギー必要量を削減する最も有効な方法とされている。フライアッシュ(FA)はSCMsの1つとされている。他方で、粒径が大きい(場合によっては600 μ m以上)または、結晶相を多く含む(最大80%以上)低品質FAは、モルタルやコンクリートの強度低下を引き起こすことが知られており、適用性が限られている。

本稿では、低品質FAのコンクリートへの利用を改善するための解決策として、FAの粉砕がセメントペーストおよびモルタルの水和および微細構造特性に及ぼす影響について調査するために、ビッカース硬度測定を行った。その結果、粉砕により大きなセノスフェア粒子を破碎し、FAのかさ密度と比表面積を増加させることで、フィラー効果が高くなり、セメントの水和速度が向上して強度発現に寄与することが明らかになった。石英混合ペーストとFA混合ペーストの強度を比較すると、FAのボズラン反応は強度発現にわずかに寄与していることがわかった。粉砕粒子の主な影響は、骨材近傍の領域で見られた。FAの粉砕は、骨材近傍における微小硬度を著しく上昇させた。これは主に、遷移帯(interfacial transition zone)に微細な粒子が容易に充填されるためと思われるが、これらの粒子の反応が速いことも一因となっていると著者らは考えている。骨材近

傍領域はモルタルやコンクリートの破壊に直接影響を与えるため、FA混合モルタルの強度は、基準となる普通ポルトランドセメントを用いたモルタルと同程度に改善された。この結果から低品質FAを粉砕することにより、その適用性が大きく改善することを示している。

未来は低炭素

Michele Di Marino, ほか

International Cement Review

[7] 45～47 (2022)

セメント業界では持続可能な社会を目指し、CO₂排出削減に関する研究開発が行われている。Cementir社はセメントの原料に石灰石煅焼粘土を用いたFUTURECEMというセメントを世界で初めて開発した。これは、普通ポルトランドセメント(OPC)中のクリンカの35%以上を石灰石煅焼粘土に置換したもので、OPCと比べCO₂排出を最大30%削減し、且つ強度と品質を維持できる。本セメントは、石灰石煅焼粘土セメントとして初めて工業化され、2021年にデンマークで販売後、ベルネルクスやフランスにも市場を拡げている。

FUTURECEMの特長として、コンクリートのコンシステンシーのばらつきを抑制でき、さらにポンプ圧送性が向上する。また、一般的なコンクリート床に使用した場合、OPCと比較して7.8kg/m²のCO₂削減が可能となる。Unicon社ではFUTURECEMを全面的に採用し、CO₂削減型生コンクリートの利用促進を進めており、2022年に全ての生産をFUTURECEMに転換する計画としている。その他、デンマークのコンクリートプレキャストメーカー数社ではパイロット生産を通じてFUTURECEMをプロセスに導入している。以上のように、多くの実績からFUTURECEMは国際エネルギー機関や欧州セメント協会でCO₂削減効果やクリンカ削減の解決技術として認められている。

Cementir社はFUTURECEMの今後の世界的な市場拡大として、ホワイトセメントや超高強度コンクリートへの適用に向けた検討を行っており、2024年までにCO₂50%削減(OPC比較)に向けてプロジェクト活動を進めている。

セメント改良技術を取り巻く海外事情

Overseas circumstances of the cement stabilization technology

北詒 昌樹

1. はじめに

これまで6回に渡って、わが国のセメント改良技術が地盤の安定、地盤沈下の抑制、液状化防止など、様々な分野で用いられていることを紹介してきた。さて、海外に目を向けると、深層混合処理工法は欧州、米国、アジアで広く用いられている。一方、中層混合処理工法は、表層～中層混合処理工法の一つであるMass Stabilization 工法(後述、写真2参照)がフィンランドで、また、浚渫土のセメント改良が米国で行われている。

本稿では、深層混合処理工法を中心に海外でのセメント改良技術を取り巻く動きを簡単に紹介し、シリーズの結びとしたい。

2. 世界のセメント改良技術

2-1. 固化材

日本では普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種が広く用いられている。それ以外に、有機質土や高含水比の土などの場合にはセメント系固化材も広く用いられている。米国やアジア、中欧地域では、有機質土や火山灰質土の改良は少ないためかこれまでのところ普通ポルトランドセメントやスラグセメントが広く用いられている。一方、スウェーデンをはじめとする北欧では有機質土が広く堆積しており、その安定処理に長年苦勞してきている。スウェーデンでは1970年代に深層混合

処理工法が開発されて以降、改良目的が小規模な盛土の沈下対策であったために道路盛土での改良土の設計一軸圧縮強度は120kPa以下に規定されており、生石灰が主に用いられてきた。しかし、対象土質の多様化と用途の多様化に伴い、より高強度を発揮できる固化材が必要になっている。最適な固化材と配合を得るために、多くの現場において、セメント、石灰、石こうなどを10種類程度に配合・調合して室内配合試験を実施している。

北欧の知人に尋ねると、「欧州のセメントメーカーは日本のセメント系固化材に相当する固化材の開発に興味がないために、地盤工学の技術者自身が調合をせざるを得ない」、「土質特性にあったセメント系固化材が準備されている日本が羨ましい」と言う。環境面での適用に関しては米国や欧州ではヒ素や重金属などで汚染された土壌の不溶化や封じ込めのための新しい固化材のニーズが高まっている。しかし、全般に海外のセメントメーカーの対応は鈍く、わが国の優れたセメント系固化材を望む声は大きい。

2-2. 室内配合試験法

わが国では深層混合処理工法をはじめ、ほとんどのセメント改良技術で固化材の配合は地盤工学会¹⁾、セメント協会規定の室内配合試験²⁾を行って決定している。そのため、試験手順によるばらつきは少なく、直接試験結果を比較することができる。さらに、わが国では試験結果を学会や業界誌などに公表しているた



写真1 Vane Penetration Testの羽根

め、知見や経験が一種のデータベース化しており、新規の建設プロジェクトであってもデータベースを基にある程度の配合が可能である。

一方、海外について見ると、欧州でEuroSoilStabで室内試験法を簡潔に規定している³⁾。また、米国のFHWAのマニュアルでは室内試験法を付録として紹介している⁴⁾。しかし、それ以外の地域では、各機関、各現場で独自の方法で試験を行っている。特に、試料の作製方法(主として改良土のモールドへの詰め方)が大きく異なっている。作製方法は改良土の強度と単位体積重量に大きな影響を及ぼすため⁵⁾、各自独自に行った試験結果を直接比較することはできない。さらに、多くの国と地域では、社会全体で情報を共有する、社会に還元すると言った感覚に乏しいために試験結果を社会で共有するには至っていない。

2-3. 品質検査法

セメント改良土の強度は土の種類、攪拌・混合の機械と方法、養生条件などに大きく影響されるために、現地で造成されたセメント改良土の強度は、事前の室内配合試験での強度と大きく異なることが多く、そのために造成後には強度を確認し、品質を確認することが必要である。わが国では固結した改良土をコアボーリングをして一軸圧縮試験を行い、検査する方法が広く行われている。さらに、初期強度の確認などのために未固結状態の改良土を特殊なサンプラーを用い

て地中から採取し、室内でモールドに詰め、養生した後に一軸圧縮試験を行う試験(ウェットグラブサンプリング法)も一部には行われている。

海外の多くの地域でもコアボーリング試料の一軸圧縮試験が一般的に行われている。しかし、コアボーリングの技術が不十分なためか、また改良土の品質が不十分なためか、採取されたコアサンプルには多くのクラックが含まれることが多く、一軸圧縮試験用のサンプルを確保することが難しいケースも多い。最近では攪拌・混合直後の未固結状態の改良土を採取するウェットグラブサンプリング法も採用する現場も見られている。

一方、北欧では非常に特殊な方法で改良土の品質を検査している。造成直後の改良土杭に写真1に示すようなベーン状の羽根を押し込み、その押し込み力から強度を推定する方法が広く行われている(Vane Penetration Test)。これは、北欧の深層混合処理工法の主な目的が地盤沈下対策であるため、原地盤よりも多少良質で低強度の改良土を造成してきたためと思われる。このベーン貫入試験は原地盤の強度測定にも用いられており、改良後と比較することで直接改良効果を調べることに用いられている。

2-4. 欧州規格

1970年代にわが国と北欧で開発された深層混合処理工法は、アメリカ、アジアを含め世界各国で急速に適用が進んでいる。このような動きにあわせるように、



写真2 フィンランドでのMass Stabilization工法

欧州連合では同工法の施工技術ならびに施工管理に関わる規格化が進められた。規格委員会は欧州9カ国の委員によって構成され、2000(平成12)年に活動を開始し2005(平成17)年に最終基準が策定された⁶⁾。委員会では多様化する類似技術をどこまでこの規格でカバーするのか、また国によって改良目的や改良規模が大きく相違するにもかかわらず品質確認のための調査、試験の手法や頻度を統一する必要があるのか、の2点が主な争点であった。

まず前者では、フィンランドで最近使われ始めたMass stabilization工法とドイツを中心として用いられているCSM工法(Cutter Soil Mixing工法)が争点になった。Mass stabilization工法(写真2)は、日本のヘドロ等の表層改良に使われている工法と類似し、軟弱地盤表層に改良土のスラブ版を形成するもので、施工機械、施工プロセス、施工管理方法が深層混合処理工法とは大きく異なる。多くの議論の後、両工法とも本文には含めないものの付属文書に類似工法として記載する決着となった。

後者の議論では、施工管理、現場処理土の調査試験について方法や頻度、管理値などをどこまで具体的に・定量的に記述するかが主な争点であった。まず、施工管理に関しては、わが国の場合には各団体によって施工管理項目や管理基準などが詳細に定められているが、欧州ではほとんどなく、個々の施工会社委ねられている。また、施工後の管理としてわが

国ではコアボーリング試料の一軸圧縮試験が広く行われている。一方、北欧では一軸圧縮試験はほとんど行われておらず、前出のVane penetration test試験(写真1)で強度確認が行われている。これらは、各国それぞれの技術の歴史や施工環境を踏まえて工法が適用されており、多くの点で相違するところが多い。そのため、利害の調整とも言えるが、結論としては基本的な項目のみを本文に記載し、付属文書で各種施工法の特徴や設計に関する基本的な考え方や事例を紹介することで決着となった⁷⁾。

本基準は欧州基準であるために、現時点でわが国に直接影響はないと思われるが、将来ISOに格上げされる可能性もあり、留意が必要である。また、現在、本基準の改定作業が進んでいる。現時点では、小さな改訂に留まりそうであるが今後の議論の動きに注意が必要である。

また、最近香港でも深層混合処理工法の施工と施工管理・品質管理に関する基準の策定が進められている。

3. おわりに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、東北地方だけでなく千葉県浦安市など震源から遠く離れた地域にも液状化による大きな被害が発生した。セメントやセメント系固化材を用いた地盤改良工法は、多種多様な施工機械の開発も相まって、液状化対策や地盤安

定対策、既存構造物の耐震補強技術、災害によって発生した廃棄物の処理などのさまざまな分野・用途に用いられ、常時だけでなく地震時でも非常に高い改良効果を示すことが明らかになった。このように、今や、セメント系固化材を用いた地盤改良工法は、さまざまなインフラ施設の整備に必要な不可欠な技術となっている。

一方で、コンクリートとは異なりセメント改良土は一種のオーダーメイドの人工の土であるため、事前に強度推定をすることは未だに困難で、その配合設計、施工・施工管理には多くの経験とノウハウが必要不可欠である。近年著しい発達を遂げているAI技術を活用した配合設計、施工管理なども期待される。

最近頻発する大地震災害や集中豪雨による土砂災害などの強化復旧事業、今後の災害に備えた耐震補強事業や防災事業などにセメント改良技術が適用され、大地震や土砂災害などに対しても強靱なインフラ施設の整備に活用されることを期待している。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会／安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS T 0821-2009)、地盤工学会基準、pp. 1156、2009。
- 2) セメント協会／セメント系固化材による改良体の強さ試験方法、JCAS L-1: 2006、2006。
- 3) EuroSoilStab: Soft Soil Sabilization Design Guide, Development of design and construction methods to stabilise soft organic soils. , 94p., 2002.
- 4) Federal Highway Administration: Federal Highway Administration Design Manual, Deep Mixing for Embankment and Foundation Support, 2013.
- 5) 北詰昌樹、前田達矢、高橋英紀、P.Lindh, M. Holmén, Y. Rogbeck, A.A.S. Correia, P.J.V. Oliveira, J.A.V. Ortega, I.P. Marzano／固化処理土の室内配合試験に関する国際共同研究、日本材料学会、第14回地盤改良シンポジウム、pp. 195～200、2020。
- 6) CEN EN 14679 : 2005 : Execution of special geotechnical works -Deep mixing, 2005.
- 7) 北詰昌樹／CDN/TC288/WG10, WG11における活動、地盤工学会、土と基礎、第51巻 第7号、2003。



きたづめ まさき / KITAZUME Masaki
北詰ジオテクニクス 代表 博士(工学)

お知らせ

改良地盤の震災・適用調査報告書 無料ダウンロードできます。

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



① 東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書



② 大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割



③ 防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良



④ セメント系固化材の拡がる用途と役割

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

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

CO₂とケイ素化合物からポリカーボネートやポリウレタンの原料を合成

Synthesis of raw materials for polycarbonates and polyurethanes from CO₂ and silicon compounds

深谷 訓久 崔 準哲

1. はじめに

化石資源の燃焼に伴う二酸化炭素(CO₂)排出削減に向け、CO₂を炭素資源として回収し、さまざまな有用製品として再利用する「カーボンリサイクル」に向けた技術開発が重要視されている。筆者らの所属する産業技術総合研究所では、2021年11月に資源循環利用技術における最終目標を達成するために必要な要素技術と、それぞれの開発目標値および達成時期を設定したスベックロードマップを策定・公開した¹⁾。図1には、この中の「炭素循環技術」に関連する部分のロジックツリーを示した。CO₂は枯渇の恐れのない資源であり、低毒性かつ安価・豊富である観点から、魅力的な有機化合物の原料である。CO₂を資源として利用する際の変換ルートは、電解あるいは水素との化学反応による「還元的変換」と、還元工程を伴わずに有用物へ変換する「非還元的変換」に大別される。還元的変換では、メタンや液体燃料の他、メタノール・エタノール等のアルコール類などの基幹原料を製造し、それら原料としてエチレン、プロピレンなど基礎化学品に誘導して汎用プラスチックへ変換するなど、市場規模の大きい有用製品が対象とできる一方で、グリーン電力やCO₂フリー水素の確保が前提となり、CO₂変換工程以外の部分で制約条件が大きくなっている。これに対して非還元的プロセスでの化学品への変換では、ウレタン樹脂やポリカーボネート樹脂といった機能性化学品がターゲット製品となる。これらの材料は、市場規模としては燃料や汎用プラスチック等の基礎化学品ほどは大きな

く、量の視点ではCO₂固定化ポテンシャルに制限があるが、還元反応を経ることなく変換できるため、グリーン水素・電力を前提とせずにCO₂の有用製品への変換が可能である。この点は、コンクリート・セメントなどへの吸収によるCO₂の固定化と同様の特徴である。現在の工業的プロセスでは、ウレタン樹脂やポリカーボネート樹脂は、化石資源由来のホスゲンから製造されており、この代替としてCO₂が利用できれば、化学プロセスの環境負荷低減・リスク低減・製造コスト削減に繋がる可能性がある。一方、CO₂は、炭素が最も酸化された安定な化合物であるため、その変換反応には反応物質や生成物・反応系の選択などが重要である。筆者らは、上記の観点からCO₂を原料とする有機合成としてカーボネート類やウレタン類の合成に着目して研究を続けている。経済産業省・資源エネルギー庁で取りまとめられた「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2019年6月策定、2021年7月改定)²⁾でも、CO₂の化学品への利用例として、ウレタンやポリカーボネートといった「含酸素化合物(酸素原子を含む化合物)」が想定されている。

2. ポリカーボネート・ポリウレタンの合成プロセス

ポリカーボネート(PC)は、透明で衝撃に強く、低温～高温(-40～-125℃)まで安定した特性を示す、熱可塑性の代表的なエンジニアリングプラスチックの一つである³⁾。透明性と高い寸法安定性を活かしてCDやDVDなどのディスクなど材料としても用いられているほか、高

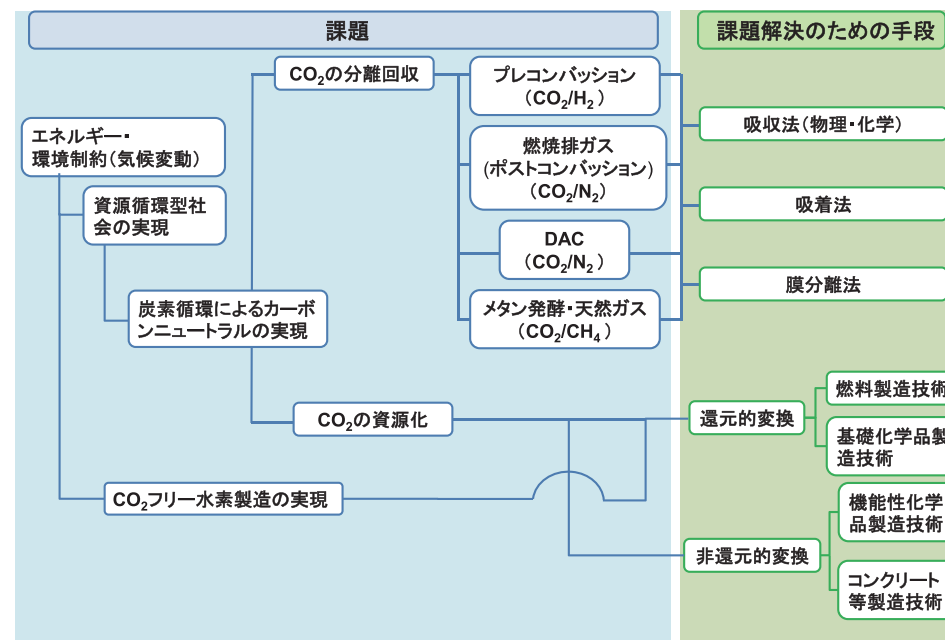


図1 CO₂の分離回収・資源化技術におけるロジックツリー

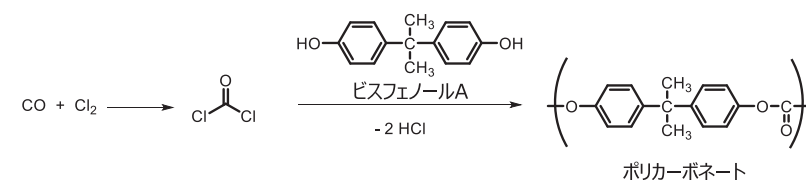


図2 ポリカーボネートの現行製造方法

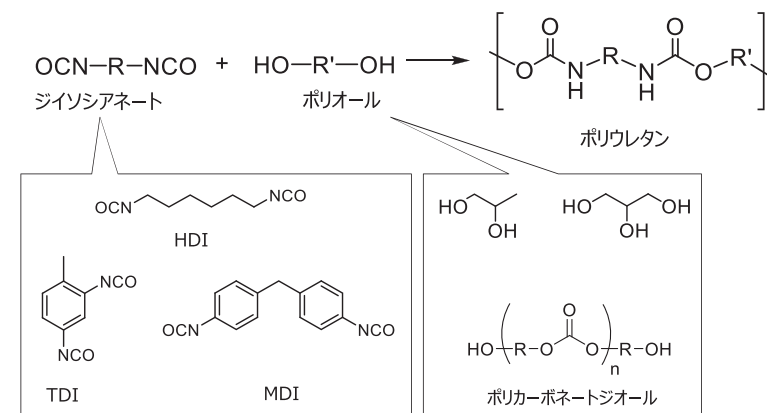


図3 代表的なポリウレタン原料

強度であることから自動車・機械などの部材やゴーグル、ヘルメットなどの保安・安全製品などへも活用され、幅広い用途を有する。PCを工業的に製造する代表的な方法は、ビスフェノールと毒性かつ腐食性のホスゲンを反応させるものである。また反応にともなって塩化水素も副生することも課題となっており、環境負荷の低いPC製造プロセスへの転換が求められている(図2)。

一方、ポリウレタン(PU)は、建築資材、自動車部

品、塗料などとして幅広く利用されている機能性熱硬化性樹脂である。PUは原料モノマーであるイソシアネート化合物とポリオール類の重合によって合成される。またこの重合の過程で、水やCO₂などを発泡剤として用いて発泡させつつ硬化させたものは、ポリウレタンフォームとよばれ、優れたクッション性や断熱性などの特性から幅広い応用分野を有する⁴⁾。図3には、代表的なポリウレタン原料の構造を示した⁵⁾。構造式に

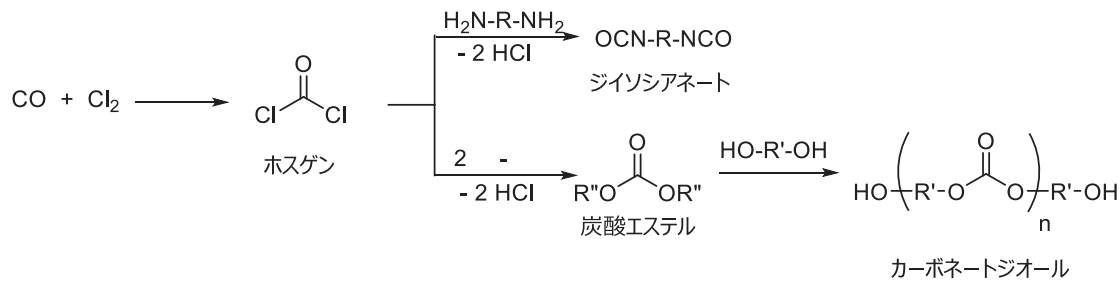


図4 ポリウレタン原料の現行製造法

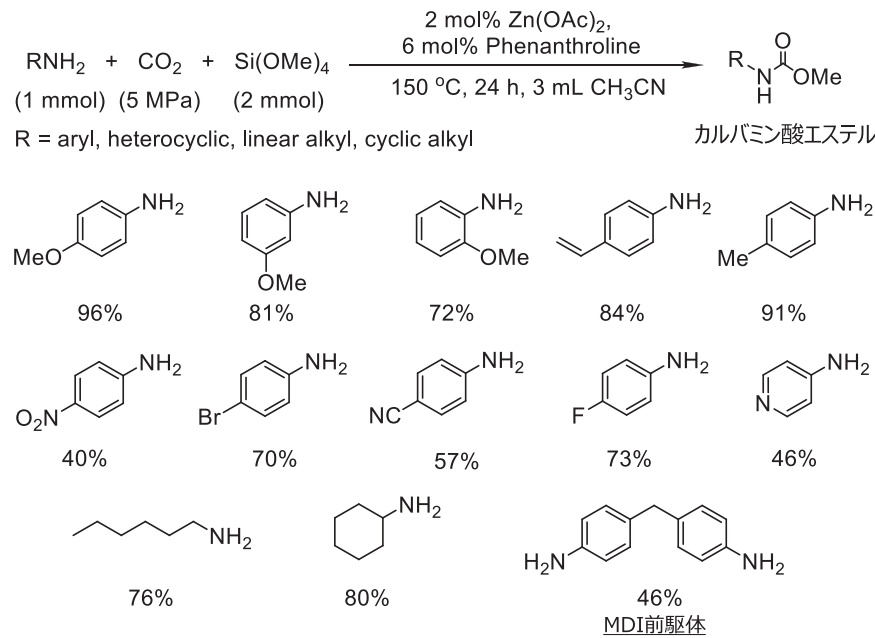


図5 亜鉛触媒を用いた二酸化炭素を原料とするカルバミン酸エステル合成

図示した3種のヘキサメチレンジイソシアネート(HDI)、トルエンジイソシアネート(TDI)、ジフェニルメタンジイソシアネート(MDI)のうち、MDIはイソシアネート類の中で最も多く生産されているウレタン原料で、イソシアネート全体の7割程度を占めるとされている⁶⁾。

また、これらのポリウレタンの原料のうちイソシアネート類、およびポリオール類のうちポリカーボネートジオールは、先のポリカーボネートの場合と同様、ホスゲンを出発原料として製造されている。したがってPCと同様に、環境負荷の低いPU製造プロセスへの転換が求められている(図4)。

一方、イソシアネート類はカルバミン酸エステルの熱分解により得ることが可能であるため、ホスゲンを用いないポリウレタン合成ルートの中間原料として、新しいカ

ルバミン酸エステル合成法の開発が進んでいる⁷⁾。筆者らは、亜鉛触媒を用いた二酸化炭素とアミンおよびケイ素化合物を利用するカルバミン酸エステル合成について報告している(図5)⁸⁾。この反応では、脂肪族アミンにとどまらず、反応性が低く従来の方法ではCO₂からの直接合成が困難であった芳香族アミン由来も含めて、図示した様々なアミンを原料として、カルバミン酸エステルを合成できる特徴を有する。ウレタン原料として重要なMDIの前駆体となりうる骨格を有するカルバミン酸エステルも合成可能である。また、2021年には本反応の反応機構の詳細な解明に基づいた反応条件の最適化により、反応圧力の大幅な低減を実現し、1気圧のCO₂でも反応が進行することを報告している⁹⁾。

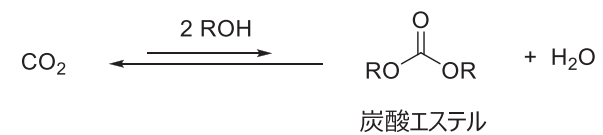


図6 CO₂を原料とする炭酸エステル合成

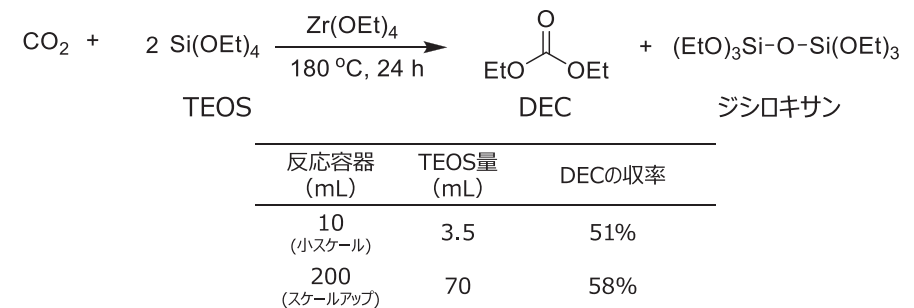


図7 CO₂とTEOSとの反応によるDEC合成

3. CO₂を原料とする炭酸エステル合成

炭酸エステルは、上述のポリカーボネート、ポリウレタンの原料の製造工程におけるホスゲンを代替できる出発物質となるほか、リチウムイオン電池の電解液、塗料や接着剤用の溶媒として幅広く活用されている有用化学品であり、低環境負荷・省エネルギープロセスを実現する上で、鍵化合物の一つである。炭酸エステルは、原理的にはCO₂とアルコールから合成可能であり、この反応は、副生成物が水のみという環境調和性の高い反応であり、理想的な合成法といえる(図6)。

しかし、このCO₂とアルコールからの反応では、副生した水による目的物の加水分解(逆反応)の進行による化学平衡が制約になってしまうため、転化率が極端に低いことが課題である。またこの副生する水によって、CO₂分子を活性化するために必要な触媒が加水分解を受け、失活してしまうことも課題となる。例えば、CO₂とメタノールを用いた炭酸ジメチル(DMC)合成では、メタノールの転化率は数%以下である。そのため、脱水を行うことで平衡制約を克服する必要があるが、反応混合物から水を効率よく取り除くことは容易ではない。

筆者らは、炭酸エステル的一种である炭酸ジエチル(DEC)の原料として合成する際にCO₂と組み合わせる原料として、アルコール(エタノール)ではなく、水を副生しないテトラエトキシシラン(Si(OEt)₄、TEOS)を用

いる方法を考案し、さらにこの反応に有効な触媒を見いだして、製造プロセスの低コスト化を実現しうる合成方法を開発した¹⁰⁾。

4. CO₂とTEOSとの反応によるDEC合成プロセス

CO₂とTEOSを原料とし、触媒としてジルコニウムエトキシド(Zr(OEt)₄)をTEOSに対して7mol%用いて、DECの合成を行った。10mLの反応容器中に室温で圧力5MPaのCO₂を充填したのち、温度180℃で24時間反応を行うと、TEOSを基準として51%の収率でDECが生成した。また、この反応を200mLの反応容器を用いて20倍にスケールアップして行った時のDECの収率は58%であり、小スケールの場合と同等以上の反応効率で目的物が得られることを確認した。この反応の副生成物はTEOSが二量化したジシロキサンのみであり、水は全く副生しないことが特徴である。さらに、触媒寿命の評価を目的として触媒の添加量を30分の1に低減し、72時間反応を行う対照実験を行ったところ、収率は低下(21%)するものの、触媒寿命の指標であるTONは43回となった。この値はこれまでに文献で報告されているDEC合成反応用触媒のなかで最も高い。この触媒寿命の大幅な向上は、水が副生しないため、触媒の加水分解が起こらない反応系を設計できたことによって達成できたと考えられる(図7)。

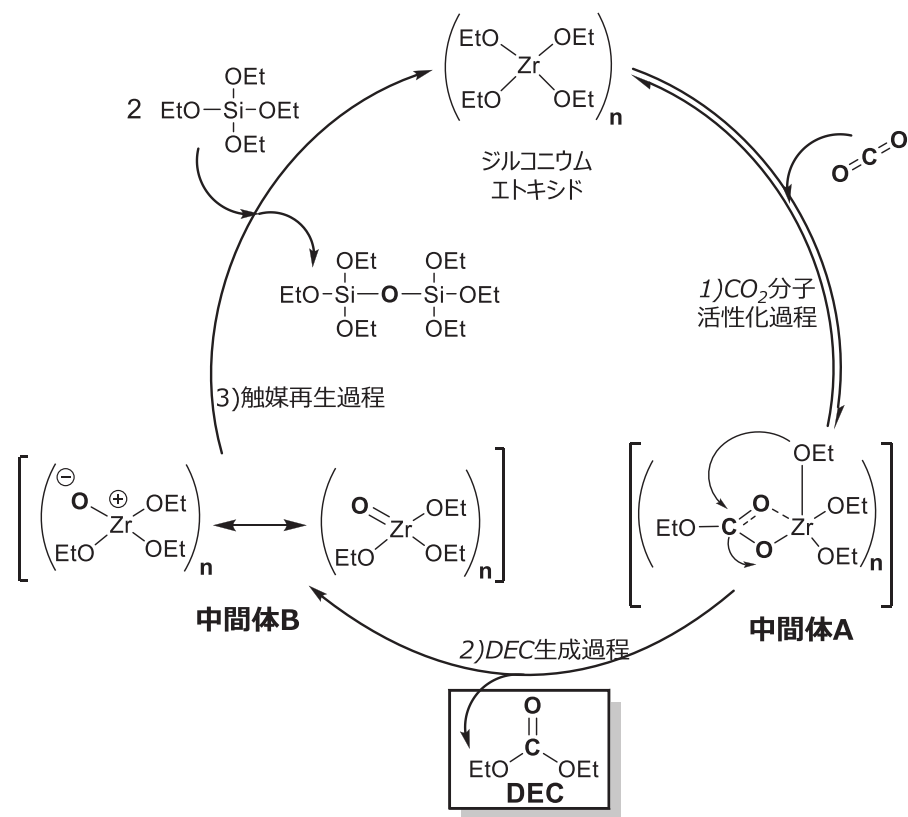


図8 推定反応機構

5. DEC 合成の反応機構

このジルコニウムエトキシドを触媒として、CO₂とTEOSとの反応によってDECが生成する反応の機構は、図8に示す通りと推定される。第一段階として、ジルコニウムエトキシドのZr-O結合に、CO₂分子が挿入して、中間体Aが生成する(CO₂分子活性化過程)。この中間体Aから分子内求核的エトキシ化反応を経て、ジルコニウム上のエトキシ基(EtO-)がCO₂のカルボニル炭素上に供給され、目的物であるDECが脱離する(DEC生成過程)。この時ジルコニウムエトキシドは、エトキシ基の少ない不安定な中間体B([ZrO(OEt)₂])を与えると推定される。この中間体Bに対してTEOSからEtO基が供給され、触媒であるジルコニウムエトキシドが再生し、TEOSは副生成物であるジシロキサンへと変換される(触媒再生過程)。実際に筆者らは¹³C NMRによる分光学的手法で、中間体AのCO₂挿入後のカルボニル炭素と帰属されるピー

クを観測しているほか、¹⁸O同位体でラベルされたC¹⁸O₂を用いた実験によって、CO₂の一つの酸素が生成物であるDECに、もう一つの酸素が副生成物であるジシロキサンに存在していることを確認しており¹⁰⁾、これらの実験結果は、図8に示した推定機構の合理性を示している。

6. 副生成物の再生

この反応では、TEOSは反応後に2量体であるジシロキサンへと変換される。反応プロセス全体の有用性を高めるため、副生成物であるジシロキサンの再生についても検討した。これまでに産業技術総合研究所が開発し、報告してきたSiO₂からTEOSを合成する反応¹¹⁾と同様の条件を適用し、水酸化カリウム(KOH)を触媒とし、モレキュラーシーブ(MS)を脱水剤として用いてジシロキサンとエタノールを反応させたところ、ジシロキサンは高い収率でTEOSに再生で

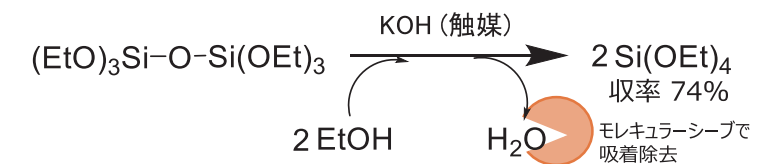


図9 ジシロキサンの再生

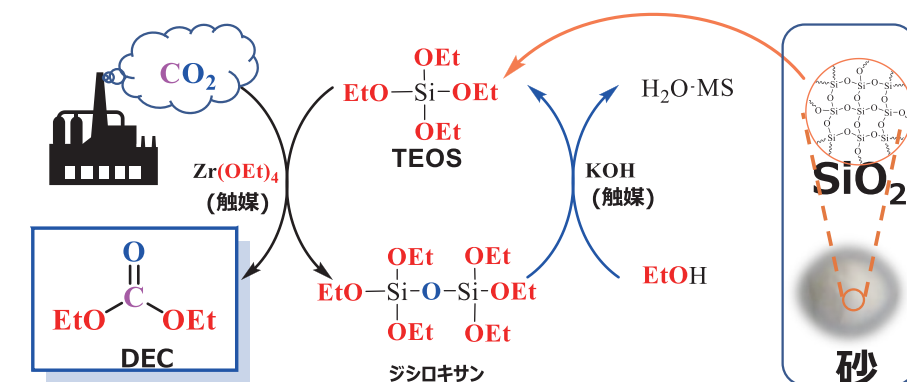


図10 持続可能なプロセスによるDEC合成

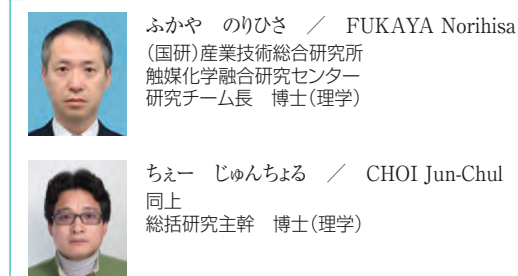
きることがわかった(図9)。

したがって、CO₂とTEOSを原料に、廃棄物のない持続可能なプロセスでDECの合成が可能である。今回の技術と、以前から筆者らが独自に取り組んでいる「砂からTEOSを合成する技術」と組み合わせることで、CO₂と砂という実質的に無尽蔵ともいえる資源から有用化学品を製造する可能性を拓くものである(図10)。

改良を行う。またスケールアップの検討など、実用化に向けて必要な技術課題の解決に取り組み、2030年頃までの実用化を目指している。

7. おわりに

本研究は、東ソー(株)との共同研究によって行われたものである。今後は、より低コストで省エネルギーな製造方法の確立を目指し、反応条件や触媒のさらなる



ふかや のりひさ / FUKAYA Norihisa
(国研)産業技術総合研究所
触媒化学融合研究センター
研究チーム長 博士(理学)



ちえー じゅんちよる / CHOI Jun-Chul
同上
総括研究主幹 博士(理学)

【参考文献】

- 1) 産業技術総合研究所, 循環型社会実現に向けた技術のスペクトロードマップを策定, https://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr20221121.html (2023年4月19日)
- 2) 資源エネルギー庁, 「カーボンサイクル技術ロードマップ」を改訂, <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.html>, 1 (2023年4月19日)
- 3) 青木育朗博/ペトロテック, 40, 922, 2017
- 4) 松本明博/ペトロテック, 40, 838, 2017
- 5) J. O. Akindoyo, M. D. H. Beg, S. Ghazali, M. R. Islam, N. Jeyaratnam, A. R. Yuvaraj / RSC Advances, 6, 114453 (2016).
- 6) ウレタン総合サイト | PU Portal (運営者 長瀬産業株式会社), <https://pu-portal.com/blog/1291/> (2023年4月19日)
- 7) O. Kreye, H. Mutlu, M. A. R. Meier / Green Chem., 15, 1431, 2017
- 8) Q. Zhang, H.-Y. Yuan, N. Fukaya, H. Yasuda, J.-C. Choi / ChemSusChem, 10, 1501, 2017
- 9) K. Takeuchi, M.-Y. Chen, H.-Y. Yuan, H. Koizumi, K. Matsumoto, N. Fukaya, Y.-K. Choe, S. Shigeyasu, S. Matsumoto, S. Hamura, J.-C. Choi / Chem. Eur. J., 27, 18066, 2021
- 10) W. S. Putro, A. Ikeda, S. Shigeyasu, S. Hamura, S. Matsumoto, V. Y. Lee, J.-C. Choi, N. Fukaya / ChemSusChem, 14, 842, 2021
- 11) N. Fukaya, S. J. Choi, T. Horikoshi, S. Kataoka, A. Endo, H. Kumai, M. Hasegawa, K. Sato, J.-C. Choi, New J / Chem., 41, 2224-2226, 2017

第77回セメント技術大会を開催

セメント協会は、5月17日(水)から19日(金)の3日間、昨年に続き、赤坂インターシティコンファレンス(東京都・港区)において、オンライン併用によるハイブリッド形式でセメント技術大会を開催。本大会は1947(昭和22)年より開催し、今回で77回目。2019年以来、四年ぶりに新型コロナウイルス感染予防対策による制約をほぼ受けずに開催することができ、会場は以前の活気を取り戻した。

今大会には1,160名の参加申込みがあり、一般研究発表は157件であった。大会2日目の午前に着倉宏史氏((国研)国立環境研究所 資源循環領域

表1 講演分類と投稿件数

大分類	中分類	小分類	投稿件数
セメント	製造技術		5
	種々のセメント	混合セメント	9
		混合材	5
		特殊セメント	3
	セメント系新材料		4
	セメント系固化材		4
	セメント系補修材		1
	セメントの水和		5
	C-S-Hの長期安定性		4
	セメント、モルタルの性質と物性		9
	分析技術		6
	環境・リサイクル		19
コンクリート	材料	混和材	9
		骨材	3
	フレッシュコンクリート	流動性	4
		高流動コンクリート	1
	コンクリートの試験方法(含む分析技術)		7
	コンクリート製品		3
	コンクリートの施工		4
	コンクリート舗装		4
	特殊コンクリート	高強度コンクリート	1
		ポーラスコンクリート	2
	物性	クリープ	2
		一般	5
	耐久性	塩害・鋼材腐食	5
		中性化	2
		ASR	3
		化学的侵食・溶脱	2
		凍結融解	8
		一般	5
	コンクリートの診断・補修		4
	環境・リサイクル		9
合計			157

試験評価・適正管理研究室 室長)より基調講演が行われた。また、同日の午後には協会長挨拶、セメント協会論文賞の表彰式ならびに論文賞受賞者による記念講演に続き、坂井悦郎先生(東京工業大学 名誉教授)による特別講演が行われた。また特別講演後には、懇談会を開催した。

一般研究発表

一般研究発表157件は昨年より2割程度多く、発表は3会場で行われた。セッション別にみると、社会的なニーズを反映し、特に「環境・リサイクル」、「耐久性」の発表が多く、次いで環境負荷低減材料に関わる「混合セメント」、「混合材」の研究、「セメント、モルタルの性質と物性」の基礎的研究であった。各会場では、研究成果の発表に続き活発な質疑応答が行われた(表1)。

セメント技術大会は、毎回若手研究者・技術者の発表が多いことが特徴であり、今大会では講演者の約7割が35歳以下であった。大会の活性化ならびに若手研究者・技術者への研究奨励を目的に、今回も例年同様、若手講演者を対象とした「セメント技術大会優秀講演者賞」を7月に授与する予定。「講演要旨のわかりやすさ」「発表内容」等、座長による採点結果を踏まえてセメント技術大会企画専門委員会にて選考し、後日、本誌および当協会のウェブサイトで公表する。



不死原会長



三五論文賞選考委員長



一般会場



表彰式



論文賞受賞者



坂井氏(特別講演)



着倉氏(基調講演)



特別講演会場



小山技術委員長



懇談会場

表2 第51回(2023年度)セメント協会論文賞

コンクリートの火害におけるセメント水和物の炭酸化メカニズムの解明		
セメント・コンクリート論文集 Vol.75 pp.58-65	(一財)日本建築総合試験所	吉田 夏樹
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.356-364	島根大学	新 大軌
	(一財)日本建築総合試験所	木野瀬 透
	(株)トクヤマ	安達 丈
煅焼アロフェンを用いた新たなセメント系材料の設計		
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.561-569	新潟大学 大学院	近藤 祥太
	新潟大学	斎藤 豪
	新潟大学 大学院	鈴木 一帆
	UBE三菱セメント(株)	伊藤 貴康
赤外分光法を用いた大気二酸化炭素濃度下におけるセメント硬化体表面の炭酸化反応の湿度依存性に関する分析		
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.36-44	東京大学 大学院	佐伯 直彦
	東京大学 大学院	栗原 諒
	東京大学 大学院	
	名古屋大学 大学院	丸山 一平

協会長挨拶, セメント協会論文賞表彰式および論文賞受賞者記念講演

表彰式に先立ち、不死原正文会長(太平洋セメント(株)取締役社長)より挨拶があった。挨拶では、昨年3月に公表した「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」に関し、「現在、セメント各社は総力を挙げてCO₂削減の基礎研究から実用的なセメント製造技術に至るまで、プロセスごとに焦点を絞り、多角的に取り組んでいます。カーボンニュートラルを達成するためには、我々業界が長期に亘り努力を継続することは当然ではありますが、なによりも関係者の皆様方との連携がこれまで以上に必要となっており、引続きご支援・ご協力の程、お願い申し上げます」と述べた。

セメント協会論文賞は、当協会発刊のセメント・コンクリート論文集に掲載された過去2年分の論文の中から特に優れた論文を選定して授与しており、第51回となる今回は132編の中から3論文が受賞した(表2)。論文賞選考委員会の三五弘之委員長(日本大学 教授)より選考理由が紹介された後、不死原会長より受賞者に賞状ならびに賞牌が授与され

た。その後、受賞者による記念講演が行われた。

基調講演

(国研)国立環境研究所 肴倉宏史室長より「セメント等粉体系材料の“環境安全品質”」と題して講演が行われ、273名が聴講した。講演では、環境安全品質評価の考え方に関する最新の情報が解説され、JCI「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」の成果も紹介された。この委員会報告では、セメント等の粉体系材料の環境安全品質は、ライフサイクルを通して十分に確保されており、ただちに環境安全品質の規格をJISとして導入する必要はないと結論付けている。一方で、六価クロムの水質基準改正に伴い、土壤環境基準値も規制強化が想定されるが、その前に、材料や製品、利用プロセスの特徴を踏まえた合理的な評価方法・判断基準の構築を議論する必要があるとの考えが示された。

特別講演

東京工業大学 名誉教授 坂井悦郎先生より「脱炭素への移行とセメント化学」と題して講演が行われ、

466名が聴講した。講演では、セメント産業のカーボンニュートラル・脱炭素への移行に際し、当面(2020年代)実施すべきセメント化学的な課題を中心に説明された。その中で、普通ポルトランドセメントの少量混合成分を現行の5%以下から10%以下に増量することは、セメント産業が取り得る確実なCO₂低減策の一つであるが、その場合のセメントの材料設計ならびにセメント水和物への影響について技術的に整理しておく必要があるという見解が示され、10%化に関する既往の研究や環境影響(CO₂排出量と廃棄物利用量への影響)評価が紹介された。

講演後の質疑応答では、活発な討議が行われた。

懇談会

懇談会は、ANAインターコンチネンタルホテル東京にて開催し、125名が参加した。茶林敬司セメント技術大会企画専門委員会委員長((株)トクヤマ)による進行のもと、小山誠技術委員長(UBE三菱セメント(株)取締役社長)の主催者挨拶に続き、論文賞選考委員会 三五委員長の乾杯で開宴した。和やかな雰囲気の中で交流、懇談が行われ、セメント協会乾敏一専務理事の中締め挨拶の後、閉会した。

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

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

[一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181](#)



セメント規格がわかる本

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

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

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





日本水準原点および 日本水準原点標庫

現在の測量法は1949(昭和24)年6月3日に公布され、1989(平成元)年に満40年を迎えたことを機会に、測量の意義と重要性に対する国民の理解と関心を高めるため、6月3日に「測量の日」が設けられた。

その記念行事の一つとして、年に一度日本水準原点の一般公開を行っており、今回見学の間機会を得たので、ここに紹介したい。

日本水準原点とは、我が国の土地の高さ(標高)を測定する基準となる点で、測量法および同施行令により、東京湾の平均海面を0mとして定義されている。

しかし海面は、潮の干満や風、気圧変化などの影響によつて絶えず変動しているため、長い期間の平均をとつて一定の高さとしている。これを平均海面と呼ぶ。

東京湾の平均海面は、隅田川河口に位置した霊岸島量水標における、1873(明治6)年から1879(明治12)年までの6年間の潮位の平均から決定された。

標高はこの平均海面を0mとして、そこからの高さで表すが、実用的には地上のどこかに標高の基準となる点を表示しておく必要がある。

このため、1891(明治24)年5月、当時の陸地測量部では庁舎敷地内(旧彦根藩井伊家上屋敷跡)に石造の標庫を造り、その中に日本水準原点を設置し、霊岸島からこの地までの高さの観測水準測量結果を用いて、水晶板目盛りの0表示の高さを、東京湾平均海面上24・5000mと定めた。

余談だが、設置したのが明治24年5月だったの、標高24・5mとしたという都市伝説的な逸話も残されている。



日本水準原点標庫

にほん すい じゅん げん てん ひょう こ

東京都千代田区永田町(国会前庭北地区)

日本水準原点：コンクリート基礎
日本水準原点標庫：石造

設計者：佐立七次郎(さたちしちろう)

1891(明治24)年5月竣工
2019(令和元)年12月27日、国の重要文化財(建造物)に指定
2019(令和元)年度土木学会選奨土木遺産に認定

日本水準原点標庫は、ドーリス式ローマ神殿形式の古典的建築で、工部大学校造家学科(現東京大学工学部建築学科の前身)第一期生の1人である、佐立七次郎の設計で、高さは約4mとそれほど大きなものではないが、現存する都内最古の近代洋風建築として、歴史的、建築学的にも貴重なものである。

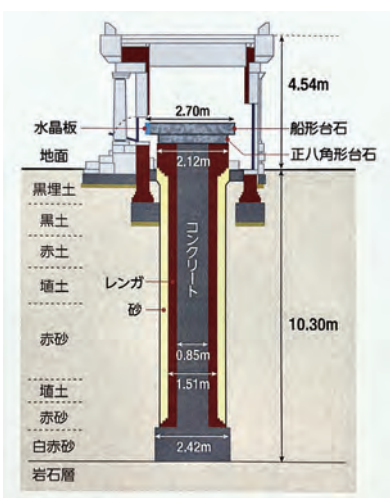
造家学科の教授はイギリス人建築科ジョサイア・コンドルで、第一期生として、片山東熊、佐立七次郎、曾禰達蔵、辰野金吾の4名が教えを受けた。

標庫の中の水準原点は、長く標高の基準とするため、地震時の上下変動を最小限に抑え、水平変動を減少させ、温度、雨、露などによる風化を考慮した構造としている。

これらを満足するため、地下10mを超える固い岩盤の上にコンクリートの基礎部がある。

外側を煉瓦積、内側をコンクリート詰めにした塔状の基礎が築かれており、煉瓦積と周囲の地盤の間には細砂が充填されている。

基礎上部には堅硬緻密な花崗岩でできた正八角形の台石があり、その上に甲州産の水晶板がはめ込まれた船形台石が設置されている。



写真では分かりにくいですが、水晶目盛板には、1m置きに赤い目盛りが上下10cmずつふられており、数字は水準儀で覗いたときのことを考え、上下逆さまに描かれている。

石と水晶板との間には水分等が染み込み部分的に汚れているが、今まで度も掃除をしたことがないという。外して原点がズレることを心配しての配慮とのこと。

建物や水準原点ばかりに目が行きがちで、地中深くの基礎に使われたコンクリートはなかなか話題に挙がることも少ないと思われるが、実際に設置以来130年以上にわたって、原点を守り続けている、文字通り縁の下の力持ち、影の功労者だと思ふ。

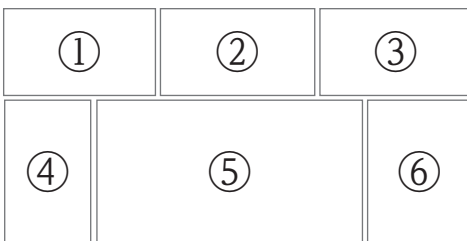
セメントに携わる者としては、誇らしさとともにこの明治時代のセメントやコンクリートがどのようなものなのか、興味深いところでもある。

日本水準原点のすぐ近くには、電子基準点「東京千代田」が設置されている。

電子基準点は、全国約1300か所に約20km間隔で設置されていて、我が国の準天頂衛星システム(みちびき)や米国のGPSなどの衛星測位システム(GNSS)の信号を常時受信し、地球上の正確な三次元位置を計測・モニタリングする施設である。

2018(平成30)年3月26日、新たな電子基準点を千代田区永田町に設置することで、都心で電子基準点を用いる測量の観測時間を半減でき、測量が大幅に効率化されている。(以上出典：国土地理院公式サイト、パンフレット、現地案内看板等)

写真・文 井川幹雄(セメント協会)



- ① 正面扉を開けたところ。中央の白い長方形が水晶製目盛板。
- ② 船形台石の裏側には建設時期と関係者5名の氏名が刻まれている。
- ③ 測量の日の記念行事の一つとして、一般公開をしている様子。
- ④ 電子基準点「東京千代田」も併せて一般公開された。
- ⑤ 水準原点の近くには、「甲、乙、丙、丁、戊」と名付けられた一等水準点が5点ある。
- ⑥ 目盛板中央の0表示位置が標高24.3900m。

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



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



セメント協会 Instagram (日本水準原点標庫)
<https://www.instagram.com/p/CtFpAC8yWz6/>

第8回 土木史サロン 宝ものは土木の歴史にある

開催日： 2023年7月20日(木)
会場： 土木学会講堂(東京都新宿区)
参加費： 無料
定員： 90名(先着申込順)
申込方法： 土木学会HPより申込み
問合せ： 土木学会事務局研究事業課(担当：小澤)
電話： 03-3355-3559

第4回 建築ドローンシンポジウム
建築×ドローン2023

～ドローン技術が拓く学際研究の未来～

開催日： 2023年8月4日(金)
会場： 建築会館ホール(東京都港区)
参加費： 会員3,000円、後援団体会員4,400円、
会員外5,500円、学生会員1,500円、学生
会員以外1,650円
定員： 150名(申込先着順)
申込方法： 日本建築学会HPより申込み
問合せ： 日本建築学会事務局 事業グループ(担当：及川)
電話： 03-3456-2057

第37回 コンクリート構造の設計・施工・維持管理の
基本に関する研修会

開催日： [第I部]2023年10月3日(火)

[第II部]2023年10月4日(水)
会場： 御堂会館 4階 Aホール(大阪府大阪市)およ
びオンライン(Zoom)
参加費： [第I部]会員11,000円、学生会員3,300円、
会員以外22,000円
[第I・II部 通し]会員16,500円、学生会員
5,500円、会員以外33,000円
[テキスト代]7,700円(税込)※参加費には含
まれていません
定員： [対面]各回70名
[オンライン]300名(申し込み先着順)
締切： 2023年9月26日(火)
申込方法： 土木学会関西支部HPより申込み
問合せ： 土木学会関西支部「コンクリート研修会」係
電話： 06-6271-6686

日本建築仕上学会 2023年大会学術講演会
(第34回 研究発表会)

開催日： 2023年10月26日(木)～27日(金)
会場： 東京大学 山上会館 大会議室(東京都文京区)
参加費： 正会員2,000円、準会員無料、会員以外
7,000円
申込方法： 日本建築仕上学会HPより申込み
問合せ： 日本建築仕上学会
電話： 03-3798-4921

お知らせ

第50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」

日時： 2023年8月31日(木)9:30～16:40
会場： オービックホール
〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町4丁目2-3 オービック御堂筋ビル2F
CPD： 土木学会認定CPD プログラム(申請中)
(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させていただきます
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： インターネット：https://jcafukyu.jp/ よりお申込みください。
[会場受講]入金確認後、受講券がメール送付されますので当日受付にお渡しください。
ご欠席の場合は、テキストの郵送をもって代えさせていただきます。
※新型コロナウイルス感染症(COVID-19)への対応のため、感染状況によっては
オンラインでの受講に変更となる可能性がございます。
[オンライン受講]お申込みの前に以下URLより事前接続テストをお願いいたします。
(URL：https://www.webex.com/ja/test-meeting.html)
入金確認後、会場URL を記載した「参加の手引き」をメールにてお送りいたします。
問合せ： (一社)セメント協会・普及部門 TEL.03-5540-6180

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載頁
第5回「i-Construction」の推進に関するシンポジウム	2023年 7月19日	オンライン	土木学会 研究事業課 建設マネジメント委員会 担当事務局	momoi@jsce.or.jp	5月号 p.54
第8回 土木史サロン 宝ものは土木の歴史にある	2023年 7月20日	東京都	土木学会 研究事業課 (担当：小澤)	03-3355-3559	本号 p.62
第26回 橋梁等の耐震設計シンポジウム	2023年 7月26日～27日	東京都 および オンライン	土木学会 事務局研究事業課 (担当：佐々木)	ssk@jsce.or.jp	6月号 p.59
第4回 建築ドローンシンポジウム 建築×ドローン2023 ～ドローン技術が拓く学際研究の未来～	2023年 8月4日	東京都	日本建築学会事務局 事業グループ(担当：及川)	03-3456-2057	本号 p.62
第50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	2023年 8月31日	大阪府	(一社)セメント協会 普及部門	03-5540-6180	本号 p.62
令和5年度 全国大会 第78回年次学術講演会	2023年 9月11日～15日	広島県	土木学会事務局総務課 全国大会係	03-3355-3442 office2@jsce.or.jp	4月号 p.60
2023年度日本建築学会大会(近畿) 学術講演会、建築デザイン発表会	2023年 9月12日～15日	京都府 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	4月号 p.60
第37回 コンクリート構造の設計・施工・維持管理の 基本に関する研修会	2023年 10月3日～4日	大阪府 および オンライン	土木学会関西支部 「コンクリート研修会」係	06-6271-6686	本号 p.62
POWTEX 2023 国際粉体工業展大阪2023	2023年 10月11日～13日	大阪府	日本粉体工業技術協会	075-354-3581	5月号 p.54
	2023年 9月27日～11月10日	オンライン			
第23回 コンクリート構造物の 補修、補強、アップグレードシンポジウム	2023年 10月12日～13日	京都市	日本材料学会 「コンクリート構造物の補修、 補強、アップグレード論文 報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	2月号 p.22
日本建築仕上学会 2023 年大会学術講演会 (第34回 研究発表会)	2023年 10月26日～27日	東京都	日本建築仕上学会	06-3798-4921	本号 p.62
第32回 プレストレストコンクリートの発展に関する シンポジウム	2023年 10月26日～27日	福島県	プレストレストコンクリート 工学会 シンポジウム係	03-3260-2521	5月号 p.54
第10回 構造物の安全性・信頼性に関する 国内シンポジウム	2023年 10月25日～27日	東京都	土木学会 JCOSSAR2023 事務局	jcossar2023 @ml-jsce.jp	3月号 p.62
第35回 日本道路会議	2023年 11月1日～2日	東京都 および オンライン	日本道路協会 第35回日本道路会議事務局	dourokaigi @road.or.jp	6月号 p.59
第16回日本地震工学シンポジウム	2023年 11月23日～25日	神奈川県	日本地震工学会事務局	03-5730-2831	4月号 p.60

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

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

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

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

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

生産

(単位:千t, %)

種類 \ 項目		23年		23年	
		3月	前年比	4月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,701	94.8	2,338	88.8
	早強・超早強	308	95.6	179	88.9
	中庸熱	61	66.5	45	76.5
	低熱	15	77.3	12	134.2
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	1	-	0	-
	小計	3,086	94.0	2,619	88.6
混合セメント	高炉	849	94.6	667	91.2
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	4	99.9	2	136.3
	その他	64	52.0	37	43.1
小計		918	89.5	706	86.2
その他のセメント		12	73.3	13	112.7
計		4,016	92.8	3,339	88.2
輸出用クリンカ等		195	35.4	259	75.3
合計		4,211	86.4	3,597	87.1

販売

(単位:千t, %)

地区	23年			23年		
	3月	前年比	構成比	4月	前年比	構成比
北海道	101	105.4	3.1	109	92.3	3.9
東北	210	94.3	6.5	204	89.2	7.3
関東一	799	97.7	24.7	702	90.7	25.0
関東二	318	92.9	9.8	272	90.7	9.7
北陸	120	89.5	3.7	111	89.7	3.9
東海	383	99.7	11.8	331	95.1	11.8
近畿	517	108.3	16.0	424	96.0	15.1
四国	111	96.1	3.4	86	90.3	3.1
中国	195	89.6	6.0	170	87.8	6.1
九州	409	95.7	12.6	336	89.8	12.0
沖縄	69	93.5	2.1	66	98.8	2.3
計	3,233	97.7	100.0	2,811	91.7	100.0

輸出

(単位:千t, %)

地域・仕向地		23年	23年
		3月	4月
アジア	韓国	25	52
	中国	0	0
	台湾	38	27
	香港	89	73
	フィリピン	23	104
	シンガポール	155	51
	マレーシア	0	0
	小計	330	307
その他	大洋州	147	180
	中南米	0	0
	小計	147	180
合計		477	487

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

セメントハンドブック 2023年度版 インターネットからご覧下さい

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

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



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



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

セメント協会の出版物

セメントの常識

INTRODUCTION TO
CEMENT & CONCRETE



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

A 4 版・オールカラー 72ページ 定価2200円(税込)
(月刊セメント・コンクリート定期購読者は1割引)

お求め・お問い合わせは…

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

緑の表紙の常識、新版出ました！
「セメントの常識」おすすめです。

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

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

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)								(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)
		計	製造業	計	国の機関				
2021年度	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497
2022	165,377	116,357	32,673	37,045	25,000	112,943	52,434	113,603	-
2022年2月	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	201,369
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288
7	9,176	6,529	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222
8	10,334	8,302	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166
9	21,617	13,586	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186
10	10,520	7,331	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	208,774
11	9,636	6,849	1,908	2,121	1,590	6,736	2,900	5,906	206,833
12	17,593	14,275	5,184	3,208	1,707	13,048	4,544	14,299	207,841
2023年1月	10,021	6,986	1,556	2,452	1,782	6,867	3,154	6,992	207,251
2	14,867	9,285	1,928	5,010	3,207	9,662	5,204	11,344	209,850
3	27,481	18,606	4,053	7,409	5,081	17,187	10,294	19,983	214,894
4	10,993	8,354	2,034	2,003	1,250	7,807	3,186	7,488	-

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)								(2020年平均＝100)	
	総平均	セメント	生コンクリート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機械
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2021年平均(C.Y.)	104.6	100.5	101.4	101.9	140.9	102.5	123.0	120.3	101.5	100.1
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3
2021年度平均(F.Y.)	107.0	100.6	102.1	102.4	156.9	102.8	130.9	129.0	103.3	100.2
2022年2月	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.7	102
3	111.4	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.5	101.6
4	113.3	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101
5	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8
6	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6
10	118.1	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	159.7	159.7	117.3	106
11	119.1	120.4	115.2	114.3	153.8	109.8	159.3	161.8	118.1	106.2
12	119.8	120.4	115.9	115.3	152.7	109.8	159.3	161.4	118.7	106.2
2023年1月	119.9	120.4	116.1	115.7	148.8	109.8	158.6	162.8	120.2	106.8
2	119.5	120.4	116.6	116.1	145	111.4	158.9	164	120.6	106.9
3	119.6	122.9	118.2	116.3	142.1	111.4	158.9	165.2	120.8	107
4	119.9	142.5	121.2	117.3	139.7	112.2	160.2	167	121.5	107.3
5	119.1	142.5	121.2	118.2	138.5	112.2	160.2	167.3	122.1	107.5

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(出所:経済産業省)				
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック (千個)	護岸用 コンクリートブロック (t)
		管 (t)	ボール (t)	パイプ (t)		
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年12月		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年2月		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
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892
11		12,286	34,069	123,269	5,527	38,818
12		10,631	30,719	112,858	5,281	42,085
2023年1月		8,970	27,442	108,222	4,048	42,004
2		10,034	27,960	128,634	4,946	46,654
3		11,700	29,855	120,571	4,994	49,803
4		8,772	30,350	115,374	5,492	41,064

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年12月		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年2月		15,218	43,062	2,474	91,643
3		20,647	56,579	2,758	103,188
4		15,969	51,271	2,527	98,544
5		14,242	40,732	2,338	91,205
6		16,974	49,821	2,695	107,363
7		13,715	41,894	2,593	103,755
8		12,408	35,475	2,538	100,701
9		13,947	42,105	2,648	112,161
10		11,097	33,241	2,422	117,669
11		8,850	29,573	2,588	117,623
12		10,593	29,525	2,498	114,000
2023年1月		6,847	21,091	2,183	92,185
2		9,203	18,687	2,336	92,707
3		14,809	22,255	2,681	103,964
4		5,632	19,199	2,168	95,468

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

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

委員

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

○発生土の有効活用について

○持続可能な社会の実現に貢献する化学混和剤「マスターライフ SRA900」「マスターエックスシード 150JP」

○AI技術を活用したレディーミクストコンクリートと材料の品質予測

○第10回セメント・コンクリート国際会議と中国のセメント・コンクリート技術動向

○35℃を超える暑中コンクリートへのスランプ保持型混和剤の適用に向けた検討

○壁高欄と床版に膨張コンクリートを用いた実大規模の実験と試設計

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

○第51回(2023年度)セメント協会論文賞の選考経過と推薦理由/論文賞を受賞して

○ずいそう(福留和人) ほか

設計熱伝導率という新しい概念を!
未利用熱エネルギーの活用に資する高熱伝導コンクリートセメント・コンクリート No.917 7月号
2023(令和5)年7月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

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

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

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

○セメント協会加盟会社の購読料は会費に含まれます。

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

メールアドレス(出版担当)

cemecon@jcassoc.or.jp

ホームページ

https://www.jcassoc.or.jp

セメント協会ホームページ



一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

神殿？ いいえ、防災施設です。

埼玉県春日部市の地下50メートルに現れた巨大神殿。
これは「首都圏外郭放水路」という防災施設で、
同県東部の浸水被害を軽減し、首都圏の安全を
守るためにつくられた世界最大級の地下放水路です。
こうした防災インフラに欠かせない素材がセメント。
もしものときも防災機能が発揮されるよう、
セメントの強さで施設そのものを守っています。

セメントが、日本をまもる。

一般社団法人セメント協会

セメント協会

検索