

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和4年7月15日発行 ISSN0371-0718

2022
No.905

7

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



—未来をカタチに変える創造力—



コンクリート用化学混和剤

フローリック

時代を見据え、より高く、より強くありたい—
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

◆ 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>

つくっているのは、
未来です。

小さな頃に思い描いていた未来がある。
映画やアニメで観たような風景。
みんなが笑顔で暮らす、
人にも環境にもやさしい街。
そんな希望にあふれる世界をカタチにしたい。
そこで暮らす一人ひとりに想いをはせて。
私たちは確かな技術と豊かな創造力で、
新しい未来をつくっていきます。



人と技術で、未来に挑む。



**SUSTAINABLE
DEVELOPMENT GOALS**
安藤ハザマは持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています。

セメント・コンクリート 7

CEMENT & CONCRETE
2022 No.905

もくじ

2	JCA Report 2021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
6	CO ₂ を削減しつつ、残コン・戻りコンをゼロにする新たな方策	… 野口 貴文ほか
12	社会環境材料としてのセメント系材料の使命と脱炭素社会構築に向けた動向	… 大宅 淳一
18	ダム再開発工事における洪水吐および減勢工コンクリートの改造 ー浜田川総合開発事業浜田ダム再開発工事からー	… 沼本 仁志ほか
25	TOPICS 第76回セメント技術大会を開催	
28	ずいそう 新型コロナ禍の今とこれからの世界	… 魚本 健人
30	セメント産業の廃棄物受入れが最終処分場の残余年数に及ぼす影響	… 新見 龍男ほか
36	異なる試験条件(材料, 暴露環境, 試験方法)による 塩化物イオン拡散性状の比較ー海外と国内の比較例ー	… 山路 徹ほか
46	透水による固化処理土の強制的な変質促進への取り組み	… 高橋 英紀ほか
52	調査診断事例報告書データベースの構築と整備活用	… 三浦 雅仁
57	HOT NEWS	
58	外国雑誌の記事情報	
60	EVENT GUIDE	
62	セメント・データファイル	
63	主要建設工事・資材統計	
65	8月号予告	



今月の表紙

浜田川総合開発事業浜田ダム
再開発工事[島根県／提供：
鹿島建設(株)]

2021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

2021年度のセメント生産量(輸出用クリンカー等を含む)は55,741千t、前年比99.4%と減少しました(表1、図1)。

ポルトランドセメントは38,338千t(前年比103.1%、構成比76.5%)、混合セメントは11,623千t(前年比96.6%、構成比23.2%)、その他のセメントは153千t(前年比96.4%、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1.1%増加し、混合セメントの構成比が前年度より1.1%減少しました。輸出用クリンカー等は5,627千t(前年比86.5%)と減少しました。

表1 種類別生産量

年度 種類		2021年度		2020年度		2021/2020 (%)
		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	34,298	68.4	33,263	67.1	103.1
	早強・超早強	3,002	6.0	3,035	6.1	98.9
	中庸熱	809	1.6	825	1.7	98.0
	低熱	225	0.4	231	0.5	97.5
	耐硫酸塩	1	0.0	1	0.0	111.7
	その他	3	0.0	1	0.0	389.7
	小計	38,338	76.5	37,356	75.4	102.6
混 合 セ メ ン ト	高炉	10,380	20.7	10,835	21.9	95.8
	シリカ	0	0.0	0	0.0	—
	フライアッシュ	36	0.1	46	0.1	78.5
	その他	1,207	2.4	1,153	2.3	104.7
	小計	11,623	23.2	12,034	24.3	96.6
その他のセメント		153	0.3	158	0.3	96.4
計		50,114	100.0	49,548	100.0	101.1
輸出用クリンカー等		5,627	—	6,505	—	86.5
合計		55,741	—	56,053	—	99.4

Statistical summary of Cement Production in JAPAN
2021 (JCA)

ポルトランドセメントの種類別の構成比をみますと、前年度に比較し、普通ポルトランドセメント、耐硫酸塩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増加しましたが、早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、低熱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、その他の混合セメントは前年度より増加しましたが、高炉セメント、フライアッシュセメントは減少しました。

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}

2021年度のクリンカー生産量は47,338千t、前年比99.6%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194千tの増加、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378千tの減少となりました(表2)。

2021年度のクリンカー製造能力の53,724千tに対し、クリンカー生産量が47,338千tであったことから、稼働率は88.1%となりました(表3)。

なお、2022年4月1日現在の回転窯(キルン)基数はNSP42基、SP9基の計51基で、クリンカー製造能力は53,202千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。

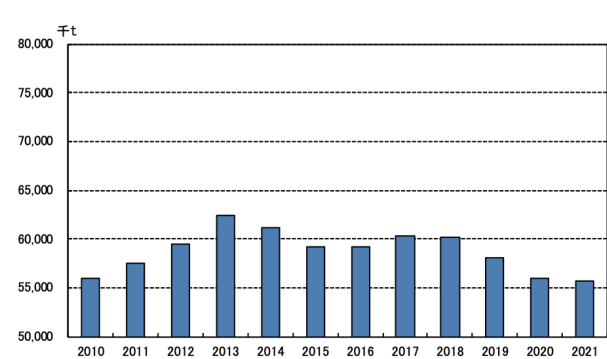


図1 会計年度セメント生産(クリンカー出荷を含む)対比
(2010-2021年度)

表3 クリンカー製造能力と稼働率

単位：千t、%				
年度	元号	クリンカー製造能力 (A)	クリンカー生産量 (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	-	-

(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。

2-2. 原料使用状況^{※1}

2021年度の原料使用量は、合計で78,002千t、前年比99.7%となりました(表4)。

2-3. 熱エネルギー使用状況^{※1}

2021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6,241千t、前年比99.2%と減少しました。自家発電用は石炭換算で2,073千t、前年比96.3%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

表2 製造様式別クリンカー生産量

製造様式		2021年度		2020年度		2021/2020 (%)
		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)	41,235	87.1	41,041	86.4	100.5
	サスペンション(SP)	6,103	12.9	6,481	13.6	94.2
合計		47,338	100.0	47,522	100.0	99.6

(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。

8,314千t、前年比98.4%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70.1%(前年度70.1%)、石油コークス10.8%(同10.8%)、重油0.7%(同0.7%)、その他(エネルギー代替廃棄物)18.4%(同18.4%)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112.3kg/tとなり、前年度より0.3kg/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も前年度より減少しています(図2)。

年度				2021年度			2020年度			2021/2020 (%)		
				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)	58,794	77.3	1,200	58,957	77.2	1,201	99.7		
		粘土類	(千t)	12,217	16.1	226	12,195	16.0	222	100.2		
		珪石類	(千t)	3,497	4.6	71	3,698	4.8	75	94.6		
		鉄原料	(千t)	1,547	2.0	29	1,485	1.9	27	104.2		
		その他	(千t)	2	0.0	0	1	0.0	0	184.0		
		計	(千t)	76,056	100.0	1,525	76,336	100.0	1,525	99.6		
	石こう	天然石こう	(千t)	51	2.6	1	79	4.1	2	64.3		
		化学石こう	(千t)	1,895	97.4	38	1,841	95.9	38	102.9		
		計	(千t)	1,946	100.0	38	1,920	100.0	39	101.3		
	合計			(千t)	78,002		1,563	78,255		1,564	99.7	
	エネルギー	熱エネルギー	品目別	石炭	(千t)	5,910	70.1		6,059	70.1		97.5
				石油コークス	(千t)	749	10.8		736	10.8		101.7
重油				(千kl)	40	0.7		37	0.7		107.5	
その他				(千kl)	984	18.4		996	18.4		98.8	
計（石炭換算）				(千t)	8,314	100.0		8,446	100.0		98.4	
用途別		セメント製造用（石炭換算）	(千t)	6,241	75.1	112.3	6,294	74.5	112.6	99.2		
		発電用（石炭換算）	(千t)	2,073	24.9		2,152	25.5		96.3		
		計（石炭換算）	(千t)	8,314	100.0		8,446	100.0		98.4		
電力エネルギー		供給別	購入	(百万kWh)	2,290	36.5		2,218	35.5		103.2	
			自家発電	(百万kWh)	3,977	63.5		4,037	64.5		98.5	
			計	(百万kWh)	6,267	100.0		6,255	100.0		100.2	
		用途別	セメント製造用	(百万kWh)	5,955	95.0	107.1	5,947	95.1	106.4	100.1	
	セメント製造以外		(百万kWh)	312	5.0		308	4.9		101.3		
計	(百万kWh)	6,267	100.0		6,255	100.0		100.2				

- (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。

2-4. 電力エネルギー使用状況※1

2021年度のセメント製造用電力エネルギーの使用量は5,955百万kWh、前年比100.1%となり、前年度より増加しました。また、セメント製造用電力エネルギー原単位は、107.1kWh/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11.2%、廃熱発電以外の自家発電の割合は52.3%、購入電力の割

合は36.5%でした。

3. 廃棄物・副産物使用状況※1

2021年度の廃棄物・副産物使用量の合計は、前年度より減少の、26,294千t(前年比100.5%)となりました。また、セメント1t当たりの使用量は473kgとなり、前年度より増加しました(表5)。

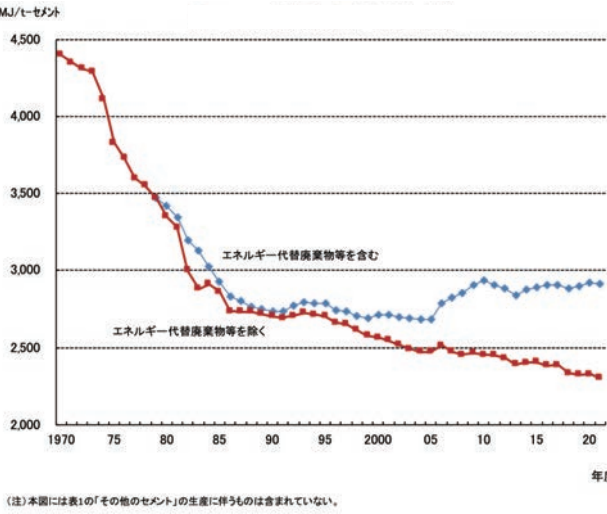


図2 セメント製造用熱エネルギー原単位の推移

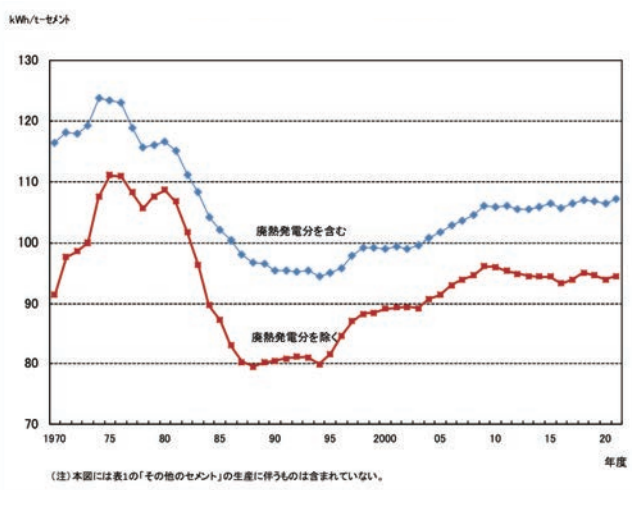


図3 セメント製造用電力エネルギー原単位の推移

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
石灰灰	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
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
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
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
燃えがら(石灰灰は除く)、 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
建設発生土	原料	—	—	1, 934	2, 278	1, 850	1, 823	1, 531	1, 214	1, 241	1, 159
廃プラスチック	熱エネルギー	0	102	445	576	623	643	718	746	746	774
非鉄鉱滓等	原料	1, 559	1, 500	682	722	757	795	811	740	725	708
製鋼スラグ	原料	779	795	400	395	405	374	387	441	364	439
木くず	熱エネルギー	7	2	574	705	642	543	517	450	437	400
鋳物砂	原料	169	477	517	429	409	446	455	407	336	379
廃油	熱エネルギー	90	120	275	293	324	314	335	322	245	302
廃白土	原料、熱エネルギー	40	106	238	311	287	287	264	260	260	267
再生油	熱エネルギー	51	239	195	179	195	209	223	236	282	236
ガラスくず等	原料	0	151	111	129	141	130	152	165	154	151
肉骨粉	原料、熱エネルギー	0	0	68	57	57	59	60	63	71	71
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	101	323	89	57	69	63	70	65	69	68
RDF、RPF	熱エネルギー	0	27	48	37	35	37	40	46	46	34
ボタ	原料、熱エネルギー	1, 600	675	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	—	14	253	408	382	438	502	459	506	447	445
合計	—	21, 763	27, 359	25, 995	28, 053	27, 997	28, 332	28, 583	27, 422	26, 155	26, 294
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
セメント1 t 当たりの使用量 (kg/t)		251	332	465	475	474	471	476	473	468	473

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」にはシュレッターダストを含む。

5. 「石灰灰」は電力業界以外の石灰灰を含む。 6. 「その他のセメント」用は含まれていない。

CO₂を削減しつつ、残コン・戻りコンをゼロにする新たな方策

Proposal for novel system to diminish waste fresh concrete and to achieve low carbon footprint at construction site

野口 貴文 坂田 昇 池上 徹 藤井 成厚

1. はじめに

地球温暖化が世界的な課題となっており、最近の異常気象もそれによるものであると言われている。昨年イギリスで行われたCOP26(国連気候変動枠組条約第26回締約国会議)では、石炭火力発電所の稼働を2030年までに制限することなどが議論された。大気中のCO₂を増やさないためには、このようにCO₂の排出を抑制するとともに、CO₂を人工的に固定化することも望まれている。

セメントは製造時に大量のCO₂を排出する¹⁾ため、そのセメントを使って造られるコンクリート構造物も造れば造るほどCO₂を排出していることになる。政府が主導するグリーンイノベーション基金による環境負荷低減技術開発が今年から始まり、環境配慮型コンクリートの

技術開発が加速化するものと考えられる。図1に示すとおり、久田らは環境配慮型コンクリート技術²⁾を①セメントを置換する材料技術、②骨材や粉体にCO₂を固定化してコンクリートに混入する技術、③コンクリートがCO₂を吸収する技術の3つに分類している。コンクリートでCO₂を低減していくためには、これらの技術を駆使し、また今後新たな技術を開発することが必要であり、①と②を用いた技術、①と③を用いた技術、①②③すべてを用いた技術を適材適所に使うことで、i-Constructionが目指す省人化・自動化とCO₂削減を同時に解決することが考案され^{3,4)}、実用化に向けて検討されている。

このような技術開発により、将来的に、コンクリートがCO₂を排出する悪者からCO₂を吸収する良者になってしまうことが期待されているが、現状のコンクリートですぐにそのようなことを実現するのは難しい。まずは、できる限り効率的にコンクリートを活用していかなければならない。コンクリートにおいて最も無駄となるのが、残コンクリート(以下、残コン)、戻りコンクリート(以下、戻りコン)である。残コン・戻りコンを少しでも減らすために、生コンクリート協同組合のなかには、戻りコンの有償化を打ち出しているところもある。また、学協会では、戻りコンが出ないように、コンクリート打設量を正確に計測して生コンクリートを注文することを建設会社に促している。しかし、残コン・戻りコンが思うように減らないのが実状である。本稿では、考えられる原因について解説

のぐち たかふみ / NOGUCHI Takafumi
東京大学 大学院工学系研究科 教授 博士(工学)

さかた のぼる / SAKATA Noboru
鹿島建設(株) 執行役員
土木管理本部土木技術部長 博士(工学) 博士(農学)

いけがみ とおる / IKEGAMI Toru
(株)安藤・間 取締役副社長

ふじい しげあつ / FUJII Shigeatsu
生コン・残コンソリューション技術研究会 事務局長

① セメントを置換する材料技術

セメントの一部または全部を、産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュに置き換えることで、計算上のCO₂排出量を低減したコンクリート



② 骨材や粉体にCO₂を固定化する技術 (CCU材料技術)

廃コンクリート等の廃棄物由来のCaにCO₂を反応・吸収させて、炭酸カルシウム(CaCO₃)の微粉末や骨材を製造し、それらを材料として練り混ぜることでCO₂を固定化したコンクリート



CCU : Carbon Capture and Utilization

③ コンクリートにCO₂を吸収させる技術

CO₂と反応する材料を配合して炭酸化養生を行うことで、実際にコンクリート中にCO₂を吸収し、炭酸カルシウム(CaCO₃)として固定化することができるコンクリート



CO₂と反応して硬化する特殊な粉体 VC-5

図1 環境配慮型コンクリートの全体像



図2 年度別残コン・戻りコンの発生比率の推移(湘南生コンクリート協同組合)⁵⁾

するとともに、建設現場で発生した残コン・戻りコンをCO₂を削減しながら処理することで残コン・戻りコンをゼロとするための新たな方策について述べる。

2. 残コン・戻りコンがなくなる理由

図2に湘南生コンクリート協同組合管轄内の残コン・戻りコン発生比率の年度別推移を示す⁵⁾。2013年度から2021年度までの9年間で2~3%の範囲にあり、直近の2021年度は増加傾向にある。また、図3に全国生コンクリート工業・協同組合連合会が調査した1工場あたりの残コン・戻りコンの発生量を示す⁶⁾。残コン・戻りコンの発生量は僅かながら増加傾向にある。

残コン・戻りコンがなくなる理由として、現状の建設現場では残ったコンクリートを処理することができな

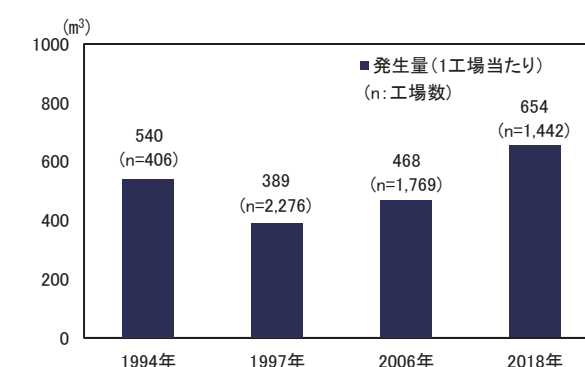


図3 1工場あたりの残コン・戻りコンの発生量(全生連)⁶⁾

いことがある。また、そもそも建設現場でコンクリートが残ってしまう理由の一つとして、施工者が型枠内の寸法を正確に測ってコンクリートの容積を算出したとしても誤差が生じることがある。例えば、コンクリートの空気量の基準値は4.5%±1.5%であり、最大3%の誤差が生じることになる。生コン工場によっては、容積保証として出荷するコンクリート量を少し多めにしている場合もある。また、注文するコンクリート量のミスや、施工中のトラブルなどが原因で残コンが発生する場合があるほか、建設現場においてポンプ圧送してコンクリートを打設する場合に、コンクリートの品質を確保するためにポンプに先送りされるモルタルはすべて生コン工場に戻されている。

これらに加えて、品質確保の観点で、打設の最後にコンクリートが不足することを避けるため、施工者があえ

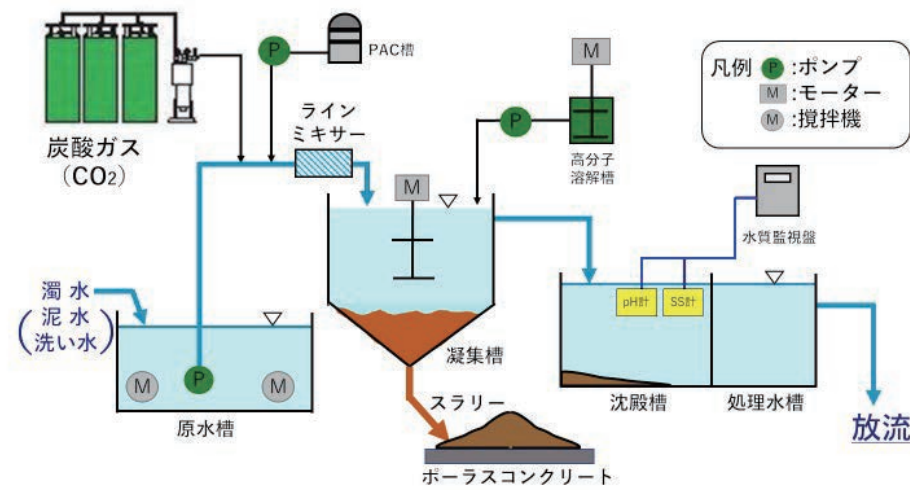


図4 濁水処理装置の処理フロー

て余裕を持たせてコンクリートを注文することが残コンの発生につながることもある。土木構造物では、コンクリート示方書で求められる100年の耐久性を確保するためコンクリートの表層品質が極めて重要となる。建築物でもJASS 5で求める計画供用期間の級が長期の場合や、住宅性能表示制度における劣化対策等級3の場合および長期優良住宅である場合には、100年程度の耐久性を確保するためにコンクリートの表層品質が重視される。コンクリートの表層部分は通常、打設の最後の方となるため、ここでコンクリートが不足すると、重要な表層品質に問題が生じることになりかねない。仮に、表層部分に未充填やコールドジョイントを発生させてしまうと、発注者によってはすべて壊して作り直しを求める場合も少なくない。また、壊すところまで行かなくとも、100年程度に及ぶ将来的な品質を保証しなければならないケースもある。このようなことから、施工者は、表層部分の打設時にコンクリートが足らなくなってコールドジョイントのような品質不良を起こさないためにも、コンクリートを多めに注文する傾向がある。たとえ、アジテータ車1台分(4.5m³)の生コンクリートを余らせて、かつ戻りコンの補償をしたとしても、施工したコンクリート構造物を造り直すよりも遥かに安くなるケースが多いのである。

また、打設の最後に1m³など少量のコンクリートを注文すると、その品質が低下することが考えられる。なぜなら生コン工場のパッチャープラントでは一般的に2～3バッチのコンクリートを練り混ぜ、前後のアンペアメー

タなどの負荷値によってコンクリートのスランプを調整しているため、少量を注文するとその調整ができず、どうしても品質がばらつく要因となるためである。以上のような様々な事情から、残コン・戻りコンが減らないものと推察する。

3. 建設現場で残コン・戻りコンを処理する方法

建設現場において残コンが発生したとしても、その残コンを建設現場内で処理することができれば、残コン・戻りコンは発生しないことになる。残コン・戻りコンを建設現場内で処理するため、比較的大規模な建設現場では、一般的に行われている濁水処理の装置を活用する方法が考えられる。建設現場では、図4に示す濁水処理装置を用いて、泥水やコンクリートの洗い水などの濁水をCO₂で中和し、凝集剤で濁度を下げたうえで、その処理水を排出している。写真1に濁水処理装置の全景を示す。この濁水処理装置を応用して、残コンを建設現場で処理する方法を考案した。その全体システムを図5に示す。

まず、アジテータ車に残ったコンクリートに超遅延剤を添加し、適量の水を加えて高速攪拌する。その後、アジテータ車から流動性の高いコンクリートを振動式ふるい投入到。コンクリートは散水装置が付いた振動式ふるいの上を通過して、ふるい前面に、写真2に示すように、分離して洗われた粗骨材が排出される。建設現場でア

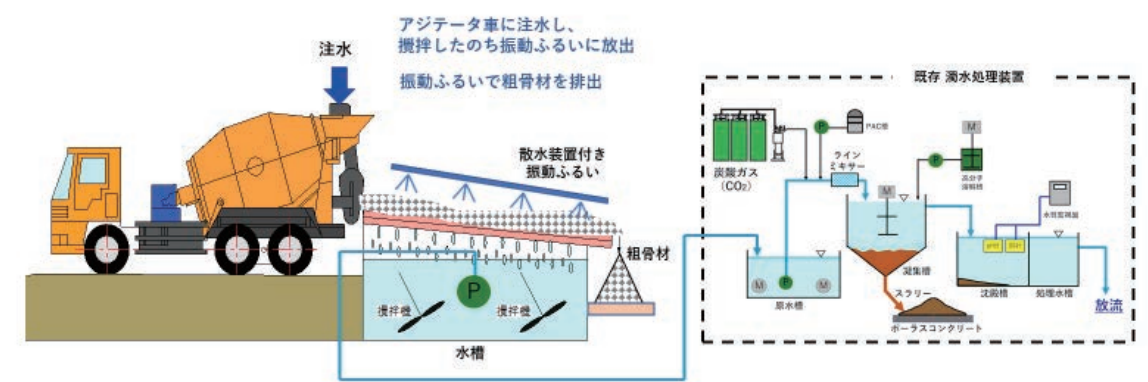


図5 建設現場での残コン処理システムの全体フロー



写真1 濁水処理装置の全景



写真2 散水装置付き振動ふるいの稼働状況



写真3 アジテータ車からコンクリートを散水装置付き振動ふるい投入到している状況

ジテータ車に残ったコンクリートを振動式のふるいに入れている状況を写真3に示す。写真に示すとおり、ふるい分けされた粗骨材は、洗浄された状態で前面の容器に排出される。

モルタル分は振動式ふるいの下にセットした水槽に落ちる。水槽内に落ちたモルタル分は、水槽内に取り付けた攪拌装置で攪拌し、懸濁水状になったものを既存の濁水処理装置に送り込み、CO₂で中和する。それにより高アルカリ成分が炭酸化するため、生成される炭酸カルシウムや骨材は一般残土として処理が可能となる。



写真4 炭酸カルシウムと細骨材の混合物

濁水処理装置内で、炭酸ガスを吸収・固定して生成された処理土を写真4に示す。この処理土は炭酸カルシウムと細骨材の混合物であり、将来的に法規制を変えることができれば、この処理土を現場内で使うことも可能となる。

処理された水は、pHと濁度が基準値以内であることを確認して河川などに放流する。放流水のpHの確認状況を写真5に示す。また、今回の施工実験において、ふるい直下の水槽、原水槽、中和ボックス、沈殿槽および場外排出口の各場所でのpHの経時変化を図6に



写真5 放流前の処理水のpHの確認

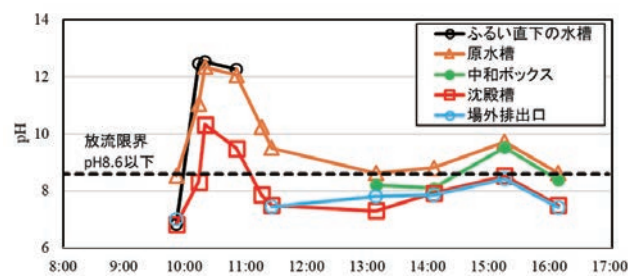


図6 各場所でのpHの経時変化

残コン・戻りコン処理ステーション

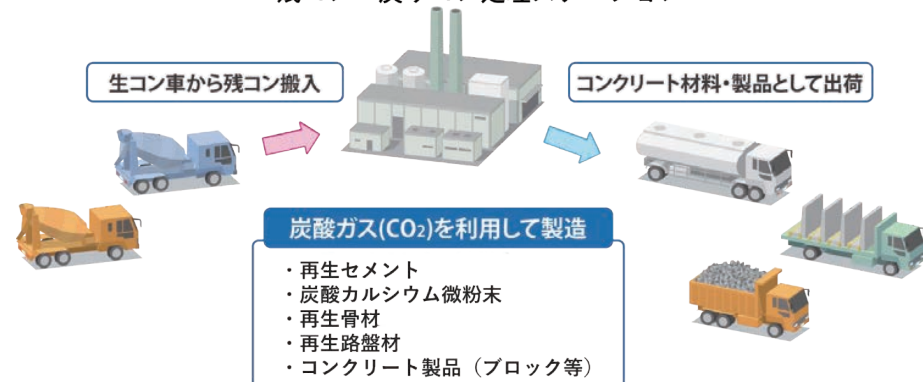


図7 RRCSが提案する残コン・戻りコン処理ステーション

示す。図に示すように、全ての場所でのpHは処理開始から8時間後に基準値であるpH8.6以下になった。

一方、この工程によって残コン・戻りコンにCO₂を吸収させることができるため、その値を定量的に評価すれば、現場においてCO₂の削減に寄与することも可能である。将来的には、濁水処理装置で使用するCO₂として建設現場で排出される重機などの排ガスを用いることができれば、建設現場から排出されるCO₂も削減できるようになる。今回の施工実験では、コンクリート1m³当たり約10kgのCO₂を固定化できた。

ただし、前述のように、この方法が適用できるのは比較的大規模で、濁水処理装置が設置されている建設現場に限られることが課題である。

4. 残コン・戻りコンをゼロにする処理ステーションの提案

通常、例えばピザなどの食品を店内で食べるのではなく、デリバリーまたはテイクアウトした場合、食べ残したからといって、店は残ったピザを引き取ってくれない。

コンクリートも生ものであり、一度買った以上、残りを店に返すという行為は、通常概念に照らし合わせた場合、本来おかしい話である。したがって、残コン・戻りコンを生コン工場に戻すことができないルール作りが必要である。そうなれば、施工者が自らの責任で残コン・戻りコンを処理しなければならない。

もし、残コン・戻りコンを生コン工場が受け取らないというルールになると、前述の濁水処理装置を有する比較的大規模な建設現場では、現場内で残コンを処理することが進むと思われる。しかし、濁水処理装置がない建設現場では、残コンを処理するすべがない。そこで、「生コン・残コンソリューション技術研究会(RRCS)」では、図7に示すような構想により、建設現場で発生した残コン・戻りコンを一括して処理するステーションを構築する案を打ち出している⁷⁾。その具体的な内容は、以下のとおりである。

1) 生コンクリートの配送状況・利用状況(発注場所・発注量、既打設場所・既打設量、必要場所・必要量、残余場所・残余量など)の一元管理と残コンの配送指示

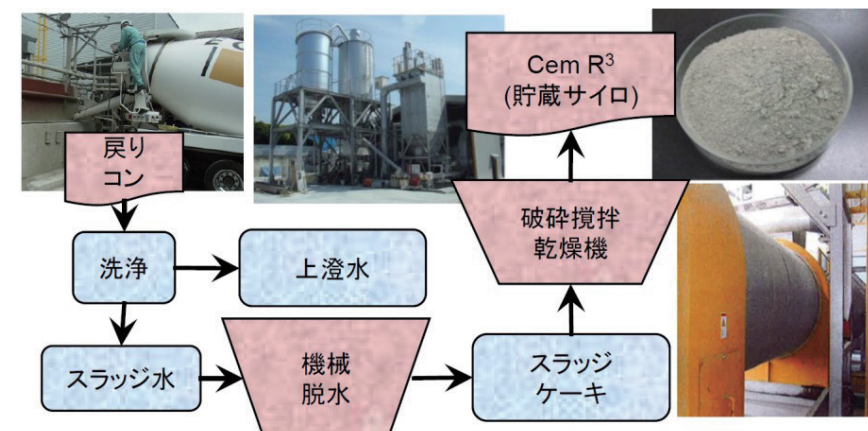


図8 戻りコンから再生セメントCemR³を製造するプロセス⁹⁾

2) 残コン・戻りコンを用いた、再生セメント、炭酸カルシウム微粉末、コンクリート用再生骨材、路盤材、および土留めや仕切り用のブロックの製造・出荷・利用

このように、残コン・戻りコンを専用施設で処理することができれば、コンクリート材料やコンクリート製品としてのリサイクルも可能となる。これは、前述の建設現場ではできないことである。例えば、簡易なプロセスのリサイクルで残コン・戻りコンを粒状化した後に炭酸化してコンクリート用再生骨材や再生路盤材を製造するシステム⁷⁾が考えられているが、このシステムを図7の残コン処理ステーションに組み込むことが可能である。

また、図8に示すような再生セメントを製造するシステム^{8,9)}の組み込みもできる。このような残コン処理ステーションをまずは大阪万博2025の建設工事に適用することが検討されている。その後、全国に展開されるようになれば、将来的には日本中の残コン・戻りコンはほとんど無くなるうえに、CO₂が削減でき、かつ様々な用途へ再利用できるようになる。さらに、残コン・戻りコンだけでなく、廃コンクリートから炭酸カルシウムコンクリートを製造する技術¹⁰⁾が開発されれば、この残コン処理ステーションで、コンクリート構造物を解体して発生したコンクリートガラなども、CO₂を吸収させてコンクリート材料やコンクリート製品として再利用が可能となる。そのような未来を実現するためには、コンクリートに関わってきた官学民の技術者が力を合わせて、様々なハードルを越えて頑張っていく必要があると著者らは強く思う。

5. おわりに

コンクリートはこれまで膨大な量のCO₂を排出してきている。コンクリート関連技術によってCO₂削減を目指そうとした場合、品質確保のみの観点に立った現状の規格では実現が極めて難しい。必要な品質を確保すべきことは当然であるが、日本のコンクリートに対する現状の規準・基準には過剰な制約が多く、このことが環境負荷低減にも大きな足かせになっている。今後、コンクリートの品質を確保しつつ、CO₂削減に寄与する技術の導入の足かせにならないような規準・基準の改定・制定が求められる。

【参考文献】

- 野口貴文／巻頭論説カーボンニュートラルの時代に向けて／セメントへの期待、セメント・コンクリート、No.900, pp.4～9, 2022.2
- 久田真、宮里心一／カーボンネガティブコンクリートの社会実装に向けてーCO₂の受け皿となるコンクリートを目指すー、土木施工、Vol.62, No.11, pp.22～25, 2021.11
- 坂田昇、村上陸太／i-Constrictionによる省人化と環境配慮型コンクリートによるカーボンネガティブを同時に達成する技術、コンクリートテクノ、Vol.41, No.2, pp.56～60, 2022.2
- 坂田昇、村上陸太／i-Constrictionの実現に寄与する環境配慮型コンクリートの活用に関する提案、建設機械施工、Vol.74, No.2, pp.18～21, 2022.2
- 湘南生コンクリート協同組合HP／<http://www.shonan-kyoso.or.jp/info/30sonota.html>
- 全国生コンクリート工業組合連合会／生コン業界のカーボンニュートラルに向けた課題、セメント・コンクリート、No.900, pp.51～53, 2022.2
- 野口貴文／CPコンクリートによるCO₂吸収に対するRRCSの取り組み、セメント・コンクリート、No.900, pp.46～50, 2022.2
- 関田徹志他／残コン・戻りコンから作り出す再生セメント「CemR³」製造システムとそのCO₂削減効果、コンクリートテクノ、Vol.41, No.5, pp.21～25, 2022.5
- 関田徹志他／戻りコンクリート起源の乾燥スラッジ再生混和材の品質管理指標の提案およびその物理的背景、日本建築学会技術報告書、第27巻、第65号, pp.1～6, 2021.2
- 野口貴文／NEDOムーンショット型研究開発「C'S研究開発プロジェクト」の現状と展望、セメント・コンクリート、No.900, pp.40～45, 2022.2

社会環境材料としてのセメント系材料の使命と 脱炭素社会構築に向けた動向

Mission of cement-based materials as social environment materials and Trends
for building a decarbonized society

大宅 淳一

1. はじめに

本稿では、2022年3月15日に開催されたセメント協会研究所講演会での講演内容に沿って、ポルトランドセメントやセメント系材料の社会環境材料としての面と、直面している課題などを中心について解説させていただいた。なお、地球温暖化対策として検討・計画されている内容については、今まさに実証実験も含め検討されているものであるため、あくまで執筆段階における公開情報をもとにした解説であることをお含みおきたい。

2. セメント産業の現状 ～社会環境材料としてのセメント～

(1) 製造工程等の概要

ポルトランドセメントの製造工程については、セメント協会のホームページをはじめとして、ポルトランドセメントやコンクリートの教科書^{1～4)}などでも説明されているが、改めて確認してみる。例えば、図1⁵⁾のように、大きく3つのプロセスを経て製造されている。

①「原料工程」

②「焼成工程」

③「仕上げ工程」

①の「原料工程」では、主原料である石灰石をはじめ、粘土、けい石や鉄原料などを粉碎、乾燥、混合することで粉体原料とする。

②の「焼成工程」では、①で作られた粉体原料がプレヒーターで仮焼ののち、ロータリーキルン炉(“回転がま”とも呼ばれる)で焼かれる。ロータリーキルン炉での焼成温度は1450℃以上になり、焼成後、「クリンカー」と呼ばれる黒い塊状の物質となり、これを一気に冷却する。

③の「仕上げ工程」では、②で冷却されたクリンカーの粉碎やセッコウの添加などを行い、工業製品である“ポルトランドセメント”となる。なお、混合セメントの場合は、この工程で高炉水砕スラグやフライアッシュなどの混合材を添加する。

(2) 副産物などの利用状況～社会環境材料として～
ポルトランドセメントは、石灰石をはじめとして粘土、けい石、鉄原料などの天然原料のほかに、多くの廃棄物・副産物を熱エネルギーや原料の代替として利用している。図2⁶⁾に示したように、石炭灰、焼却灰、下水汚泥など多くの他業種の廃棄物・副産物を受け入れている。このようにさまざまな廃棄物・副産物を利用できる要因として“ポルトランドセメントの成分”がカギとなる。ポルトランドセメントは、酸化カルシウム(CaO)が65%程度、二酸化ケイ素(SiO₂)が20～25 %程度、酸化アルミニウム(Al₂O₃)が5.0%程度、酸化鉄(Fe₂O₃)も

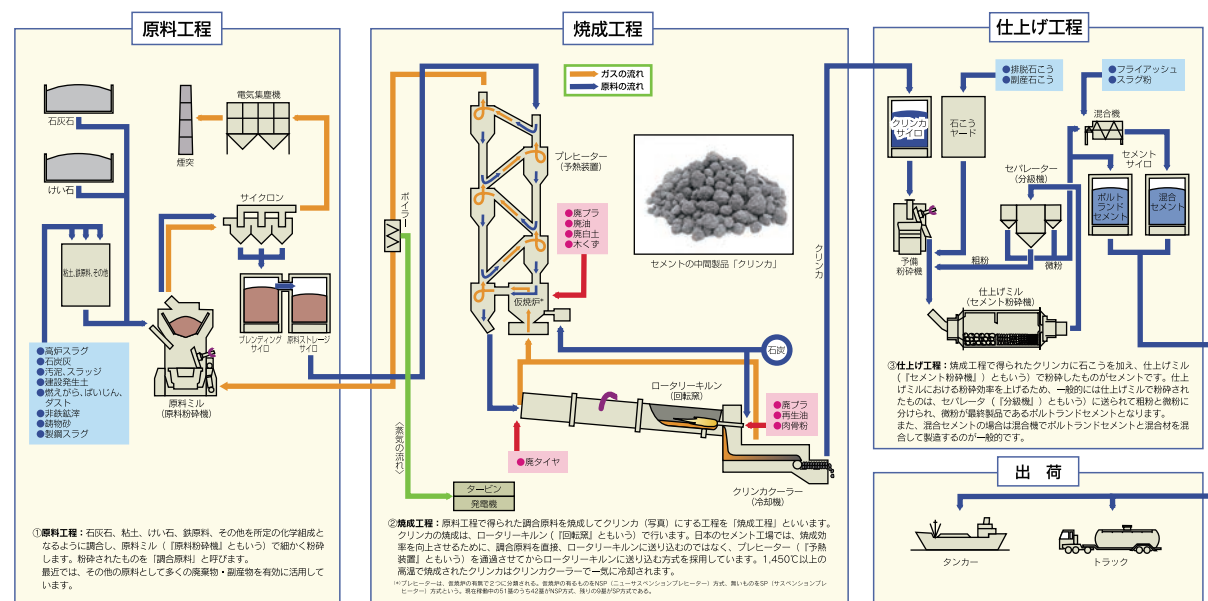


図1 ポルトランドセメントの製造工程⁵⁾



図2 セメント工場の副産物・廃棄物の受け入れ状況⁶⁾

5.0%程度であるが、これらをすべて1450℃以上で焼成して製造する。このため、ある程度前述の成分を含む物質であれば天然原料の代替として利用できる。特に、天然原料である粘土は二酸化ケイ素や酸化アルミニウム、酸化鉄を含むため、これらの成分を多く含む石炭灰や焼却灰、下水汚泥などを代替として利用する。

ここで、セメント産業の副産物・廃棄物利用量の統計データ⁷⁾を図3に示し、確認してみる。1990年度から2020年度までの副産物・廃棄物利用量の合計データを比較すると、2000年度以降で2,700万t以上に達しており、約20年間でその利用量に大きな変化はない。

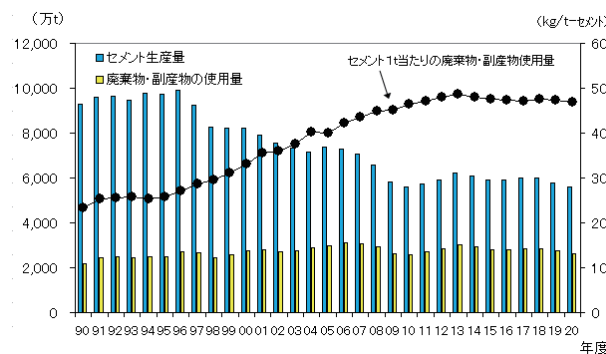


図3 ポルトランドセメントの生産量と
廃棄物・副産物使用量の推移⁷⁾

ただ、セメント1t当たりの使用量で考えると1990年度では約250kg/tであったものの、2000年度で約330kg/t、2010年度以降では約470kg/tとなっており、セメント1tを製造するにあたって利用される副産物・廃棄物の利用量が増加していることがわかる。

続いて、日本国内の資源循環の状況を図4⁸⁾に示した。国内におけるマテリアルフローでは、2018年度では、資源等の総物質投入量が廃棄物などの含水等および経済活動に伴う土砂等の随伴投入を含めると約18億tで、廃棄物等の発生量が約5.5億t、このうち循環利用量は約2.4億tとなっている。なお、参考までに2000年度では、資源等の総物質投入量は約24億tで、廃棄物等の発生量が約6.0億t、循環利用量は約2.1億tなので、循環利用量は増加しており、環境負荷低減を図る「循環型社会」の形成のための取り組みが進められて



おおや じゅんいち / OHYA Junichi
日本大学 理工学部 一般教育 准教授 博士(工学)

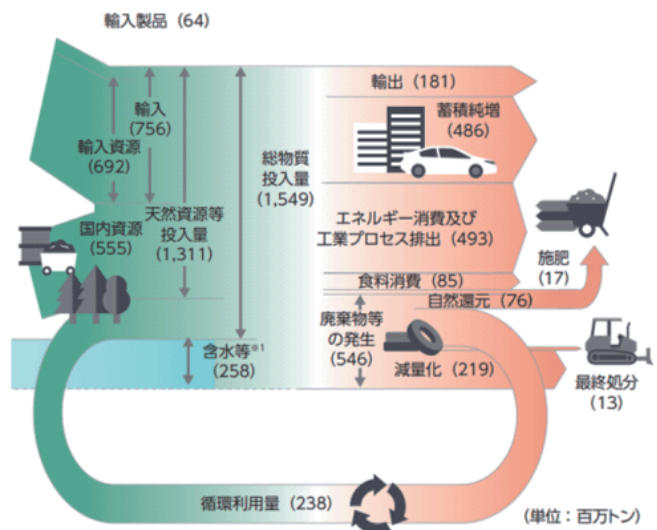


図4 日本の物質フロー（2018年度）⁸⁾

いることが確認できる。一方、セメント産業では、2000年度で約2,700万t、2018年度で約2,800万tの副産物・廃棄物を利用しており、循環型社会構築のために貢献していることがうかがえる。また、廃棄物の最終処分場の残余年数を延命する効果⁹⁾ももたらしている。

このように、セメント産業では、他業種の副産物や廃棄物を多く利用してポルトランドセメントを製造しており、このため、日本の循環型社会の構築の一助となっている。

(3) セメント産業の二酸化炭素排出量に関して

世界的な気候変動に対する世論の高まりをうけ、地球温暖化の主因とされている二酸化炭素を削減することが急務とされている。セメント産業では、ポルトランドセメントの製造にあたり、二酸化炭素の発生の起源としては、①石灰石脱炭酸起源、②化石エネルギー起源、③廃棄物等焼却起源の3つがあげられる。

このうち、①は、ポルトランドセメントの原料の一つである石灰石が、焼成された際に石灰石の主成分である炭酸カルシウム(CaCO₃)が



のように反応することにより二酸化炭素が発生する。化学式より炭酸カルシウム約100gから二酸化炭素が約44g発生することを意味する。つまり、石灰石を原料とし、焼成することによって発生してしまう。この石灰石の焼成によって発生する二酸化炭素の排出量は“非エネルギー

起源CO₂排出量”と示されることもある。

②は、化石エネルギー起源の通り、石炭・石油などの化石エネルギーの消費によって発生する二酸化炭素である。

③は、化石エネルギーの代替として利用される木くず、再生油、廃油などの廃棄物や副産物を利用した材料の燃焼にともなって発生する二酸化炭素である。なお、他業種で発生した廃棄物を天然原料・熱エネルギー源の一部代替で使用しているため、③の二酸化炭素についてはセメント製品のインベントリとしてカウントすべきでない¹⁰⁾と説明されている。

セメント業界のLCAデータ(2019年度)¹⁰⁾では、2018年度の①の石灰石脱炭酸起源による二酸化炭素発生量がポルトランドセメントの1tの製造あたりで約480kg、②の化石エネルギー起源の同発生量が約280kg、③の廃棄物等燃料起源の二酸化炭素発生量が約64 kgとなっている。このため、ポルトランドセメント1tの製造の際に発生した二酸化炭素が約760kgとなる。そのうち6割以上が①の石灰石の脱炭酸起源によるものである。この石灰石の脱炭酸起源による二酸化炭素排出量は、セメントの生産量が1990年代後半から2000年代にかけて減少傾向であったが、2011年度から2019年度では、5000～6000万tとなっており、ポルトランドセメントの生産量によって増減する傾向¹²⁾を示す。一方、②の化石エネルギー起源の二酸化炭素発生量については、図5¹¹⁾のようにCO₂排出量の削減および排出原単位の減少が2000年度以降も進められている。また、③廃棄物等焼却起源の二酸化炭素については、図6¹¹⁾のようにエネルギー代替廃棄物の使用割合および使用量とともに増加傾向を示している。

(4) セメント製造における環境評価

セメント産業の資源循環の効率的な実現に向けた取り組みに関して、定量的な評価^{13～15)}が検討されており、例えば、リサイクル率を反映した環境への貢献を評価するとポルトランドセメント>フライアッシュセメントB種>高炉セメントB種の順になる¹⁴⁾。日本のセメント産業では製造工程で多くの廃棄物を活用しており、これ

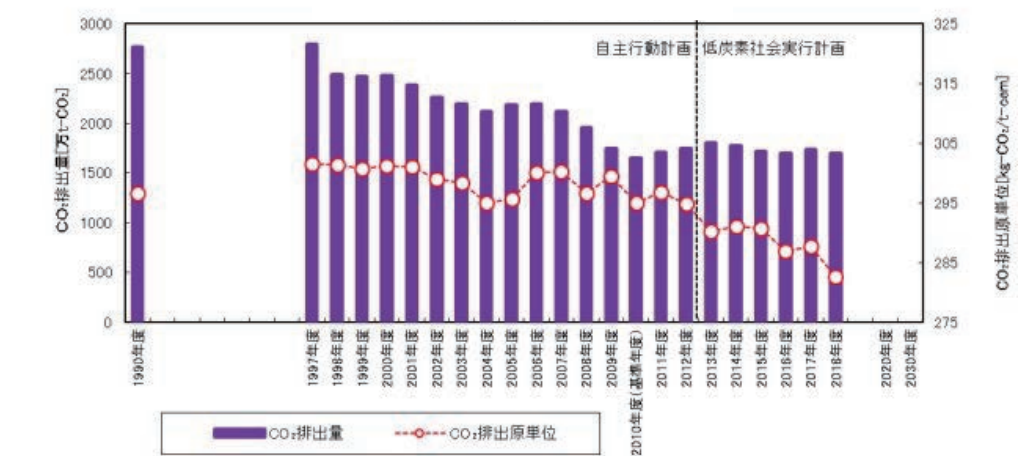


図5 セメント産業のエネルギーに係るCO₂排出量および排出量原単位の推移

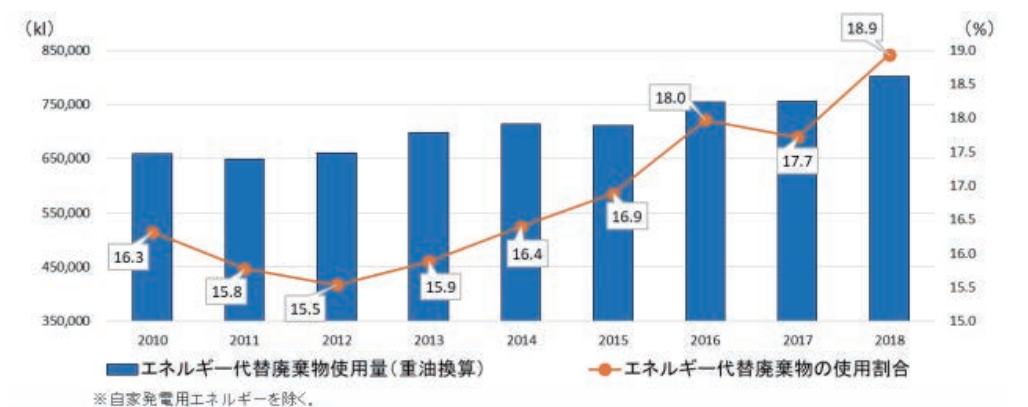


図6 セメント産業のエネルギー代替廃棄物使用量および使用割合の推移

は他の国では見られない特徴であることも示されている。近年は地球環境問題としては、どうしても気候変動にかかわる“脱炭素”の動きに目が向きがちであるが、資源循環も環境問題の一つであり、セメント産業が大きな役割を果たしていることを定量的に示すことは非常に重要といえる。

3. 脱炭素社会に向けての取り組み

世界的な地球温暖化などの気候変動に対する世界的な世論の高まりを受け、地球温暖化対策計画を2016年に閣議決定し、2013年度比で2030年までに26%減、2050年までに80%減とする目標を掲げた。そして、2021年にはこの目標よりもさらに高い目標として、2030年までに46%減、2050年には排出実質を0にとの計画も立てられた¹⁶⁾。この地球温暖化対策計画の目標設定に関しては、セメント産業では、(1)省エネルギー設

備の導入、(2)エネルギー代替廃棄物の使用拡大、(3)セメント製造プロセス低温焼成関連技術、(4)混合セメントの普及促進などによって進めていくこと¹⁷⁾が環境省より削減量の根拠として示されている。

(1)の省エネルギー設備の導入は、基本的に高効率化などの効率改善のための設備の更新によるエネルギー効率化を図ったもので、これはセメント製造工程で排出された熱による発電や原料乾燥なども含んでいる。ただし、図7¹⁸⁾で各国のセメントクリンカー生産当たりの熱投入量で比較すると日本の熱投入量が少なく省エネルギー化が進んでいることがわかる。このため、日本の場合は他の国と比較して省エネルギー設備の導入の効果が小さいものと思われる。また、2010年度の時点ではあるものの(2)に該当するエネルギー代替廃棄物の割合が比較して少ない。2010年以降はそれら代替廃棄物の利用量が増加しており、今後もその利用量の拡大が予想される。なお、エネルギー代替廃棄

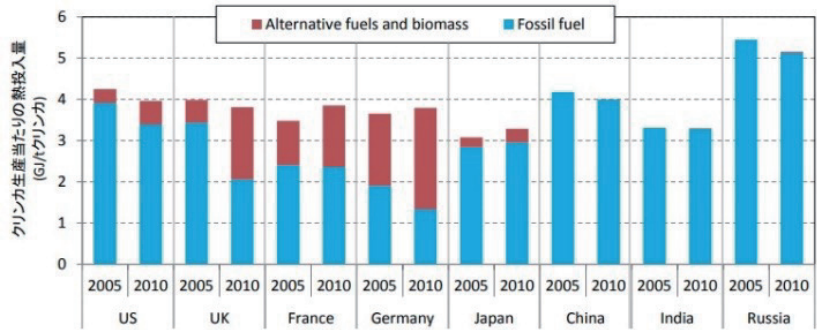


図7 2005年および2010年度の各国セメント産業のクリンカー生産あたりの熱投入量

物の利用量を増加させると、廃棄物に含まれている水分によってエネルギー効率が下がること、およびクリンカー中のアルカリ含有量が増えることが指摘されている。

一方、(3)のセメント製造プロセス低温焼成関連技術¹⁹⁾としては、①CaF₂やCaSO₄などの鉱化剤を利用することによってセメントの焼成温度を下げることにによりエネルギー原単位の削減を図る^{20~22)}。②鉱物組成の調整によってクリンカー焼成温度を下げ、エネルギーの削減を図る^{23, 24)}。③廃棄物処理、品質確保およびCO₂削減の観点からOPCと比較してアルミネート相(C₃A)量を増やすものの、10%程度の混合材を添加することで製造エネルギーの削減を図る^{25~35)}。なお、ポルトランドセメントの少量混合成分はJIS規格では上限が5mass%なので、廃棄物使用量を維持しながら、クリンカー量の削減によって製造エネルギーを削減することを考慮する選択肢として少量混合成分の規格の変更等も必要である。④主要鉱物以外の鉱物であるアウイン(C₄A₃SO₃)を利用することにより製造時の熟原料単位の減少だけでなく、利用するカルシウム量を8割程度に減少させることで石灰石由来の二酸化炭素の発生の削減を図る^{36, 37)}などがある。

(4)混合セメントの利用は、高炉水砕スラグやフライアッシュなどの混合材の利用は、セメントに使用されるクリンカー量を削減することで製造エネルギーを削減する選択肢といえる。ただし、混合セメントは、初期強度が小さい、低温条件での水和活性が小さいなどのデメリットがあり、この点を改善する視点として、基材セメントの活性を上げる、混合材の活性を上げる検討などが多くされている。

基材セメントの活性を上げる方法としては、セメント中のエーライト量やフリーライム量を増大させたもの^{38~43)}や硬化促進剤である亜硝酸カルシウムを促進剤として適用したもの^{44, 45)}、粉砕助剤として知られているアルカノールアミンを添加についての検討^{46, 47)}、混合材の活性を上げる方法としては、高炉水砕スラグを粉砕によるものだが、微粉末でも粒度分布やブレン値はほぼ同様でもBET比表面積の小さいものを使用することでモルタル硬化体の乾燥収縮や自己収縮を改善すること⁵⁰⁾があり、粉砕方法によっては粉末度の調整により耐久性に問題ないことが確認されている。

4. 最後に

本稿では、セメント産業の資源循環への貢献と脱炭素という直面する課題の検討を紹介した。この他にも、コンクリートやセメントへの二酸化炭素の固定量を計測・評価方法の標準化の検討、カーボンリサイクル技術として廃コンクリート等を利用しての二酸化炭素回収技術の開発等など⁵¹⁾も進められている。

カーボンリサイクル関連技術では、廃コンクリートなどをカルシウム源として資源循環させることを図っており、天然の石灰石の使用量を減らす可能性の面で検討する価値は十分にあるものと思われる。

以上のように、セメント産業では今後もさらに資源循環への貢献を進めながら、2050年度までに“二酸化炭素の排出量が実質0”の目標への一助となるために、多様な研究を進めて、選択肢を増やす必要があるものと思われる。

【参考文献】

- セメント協会／“セメントの常識”，pp.3～6，2020
- 大門正機編訳／“セメントの科学－ポルトランドセメントの製造と硬化－”，pp.5～16
- 荒井康夫著／“セメントの材料化学”改訂第2版，pp.3～14，大日本図書，2006
- 笠井芳夫編著／“コンクリート総覧” pp.6～9，技術書院，1998
- 環境にやさしいセメント産業 セメント協会ホームページ https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_01.pdf(2022年6月1日閲覧)
- セメント製造における廃棄物・副産物の受け入れ状況(2020年度)／セメント協会ホームページ <https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>(2022年5月9日閲覧)
- セメント協会ホームページ表1-1 セメント業界の廃棄物・副産物使用量の推移より抜粋 <https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>より(2022年5月9日閲覧)
- 環境省／令和3年度版環境白書・循環型社会・生物多様性白書(2018年度版)，p.184より
- セメント協会／“セメントの常識”，pp.57～63，2020
- セメント協会／“セメントのLCIデータの概要”，p.7，2021
- 経団連／“低炭素社会実行計画2019年度フォローアップ結果 個別業種版(セメント協会)”，pp.6～11
- 環境省／“2020年度(令和2年度)温室効果ガス排出量(確報値)について”，p.10
- 久我龍一郎他／ポルトランドセメント製造による廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標に関する検討，セメント・コンクリート論文集，Vol. 68，pp. 510～515，2014
- 星野清一他／セメントの廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標による各種セメントの評価，セメント・コンクリート論文集，Vol. 69，pp. 679～686，2015
- 中口歩香他／セメント製造における多様は環境影響の評価，Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan，29，pp.175～180，2022
- 環境省／“地球温暖化対策計画(令和3年10月22日閣議決定)”，pp.11～12，2021
- 環境省／“参考資料：地球温暖化対策計画における対策の削減量の根拠”，pp.24～26，128～129，2021
- 経済産業省／自主行動計画の総括的な評価に係る検討会(第2回)，資料4-1，地球環境産業技術研究機構 説明資料(2)，p.7，2014
- 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課他／革新的セメント製造プロセス基盤技術開発の概要，2015
- 吉川知久／鉱化剤を用いたセメントクリンカーの低温焼成，Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan，Vol.18，pp. 20～24，2011
- M. Yamashita et al.／Low temperature burnt Portland cement clinker using mineralizer, Cement Science and Concrete Technology，Vol.65，pp.82～87，2011
- 上河内貴他／鉱化剤使用によるセメントクリンカーの低温焼成，第68回セメント技術大会講演要旨，pp.208～209，2014
- 茶林敬司他／鉱物組成の調整によるクリンカー焼成温度低減に関する検討，セメント・コンクリート論文集，Vol.66，pp. 217～222，2012
- 茶林敬司他／低温焼成型クリンカーの実機キルン焼成試験結果および試験セメントの物性，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，pp. 124～130，2015
- 安藝朋子他／省エネルギー型汎用セメントの開発，セメント・コンクリート論文集，Vol.68，pp.103～109，2014
- 安藝朋子他／小規模プラントによる省エネルギー汎用セメントの試製造，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，pp.131～138，2015
- 寺内貴史他／少量混合成分を増量したセメントを用いたコンクリートの基礎物性，セメント・コンクリート論文集，Vol.72，pp. 412～417，2018
- 松澤一輝他／少量混合成分を増量したセメントの水和に及ぼす分散剤少量添加の影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.72，pp. 404～411，2018
- 中口歩香他／少量混合成分を増量したセメントの品質評価，セメント・コンクリート論文集，Vol.72，pp.389～395，2018
- 中口歩香他／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その1 セメントの品質評価～，セメント・コンクリート論文集，Vol.73，pp.429～435，2019
- 松澤一輝他／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その2 セメントペーストの反応性～，セメント・コンクリート論文集，Vol.73，pp.436～442，2019
- 松澤一輝他／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その3 セメントペーストの反応性～，セメント・コンクリート論文集，Vol.73，pp.443～450，2019
- 松澤一輝他／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その4 少量混合成分と水和生成物の関係～，セメント・コンクリート論文集，Vol.75，pp.380～387，2020
- 平野輝子他／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その5 セメントの水和熱とコンクリートの熱特性における関係解析～，セメント・コンクリート論文集，Vol. 75，pp.388～395，2020
- 三隅英俊他／高間隙相型混合セメントのコンクリート物性，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp.290～295，2013
- 林建佑他／普通ポルトランドセメント代替を目指した ビーライト-アウインセメントの開発，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，pp.725～732，2015
- 山上晃一他／セメントキルンでのコーチング生成を抑制することを目的とした ビーライト-アウインセメントの開発，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，pp.733～740，2015
- 谷田貝敦他／鉱物組成を調整したクリンカーを用いた高炉セメント A種の特性，セメント・コンクリート論文集，Vol.66，pp.338～345，2012
- 谷田貝敦他／高 C₃S クリンカーを用いた高炉セメントの諸特性に及ぼす高炉スラグ微粉末の比表面積の影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp. 296～303，2013
- 新杉匡史他／混合セメントにおける高エーライトクリンカーの利用，セメント・コンクリート論文集，Vol.68，pp.212～217，2014
- 中川裕太他／高エーライト系混合セメントの水和に及ぼす遊離石灰および混合材の影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，pp.17～22，2015
- 安藝朋子他／基材に用いたセメントの特性がフライアッシュセメントの強度発現性に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.70，pp. 32～39，2016
- 安藝朋子他／高エーライトセメントを用いたフライアッシュセメントの基本特性，セメント・コンクリート論文集，Vol.71，pp.10～16，2017
- 坂井悦郎他／亜硝酸カルシウムを添加した高炉スラグ高含有セメントの水和，セメント・コンクリート論文集，Vol.71，pp.62～67，2017
- 大崎修也他／高炉スラグの水和反応に及ぼす各種カルシウム塩添加の影響，Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan，28，pp.253～258，2021
- 坂井悦郎他／高炉スラグ高含有セメントの水和に及ぼす亜硝酸カルシウムとアルカノールアミンの影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.73，pp.52～58，2019
- 宋玄眞他／フライアッシュセメントの初期水和反応に及ぼすアルカノールアミンの影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.73，pp.59～64，2019
- 三浦智哉他／コンクリートの自己収縮に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響，コンクリート工学年次論文報告集，17，1，pp.359～364，1995
- 小亀大佑他／高炉スラグ微粉末とシリカフェュームを用いた高強度コンクリートの自己収縮について，コンクリート工学年次論文報告集，38，1，pp.183～188，2016
- 藤原了他／シングルミクロン高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの収縮特性の改善セメント・コンクリート論文集，72，1，pp.122～128，2018
- 資源エネルギー庁製造産業局／“カーボンリサイクル関連プロジェクト(コンクリート・セメント分野)の研究開発。社会実装の方向性”，2021

ダム再開発工事における洪水吐および減勢工コンクリートの改造

－浜田川総合開発事業浜田ダム再開発工事から－

Construction of Spillway and Downstream structure in the Upgrading Dam

沼本 仁志 坂井 吾郎 船水 雄太

1. はじめに

本事例は、島根県が県西部の浜田市において、浜田川総合開発事業浜田ダム再開発工事で既設の重力式コンクリートダムを再開発した際の施工実績である。既存ダムを補強や改造することで、機能の増強、効率化や長寿命化を図っている。再開発工事では、運用中のダムの機能を維持しながら、コンクリートの一部を取壊し、既設ダムとの一体化を図りながらコンクリート打設工事を進める事例が多い。また、大型のダム工事では現場付近に原石山を開発し、コンクリート製造設備を設置して長時間で大量の施工を行ってきたが、一方で小型のダムや近年増えているダム再開発工事などでは、社会的環境やコストの問題から現場周辺の生コン工場からコンクリートを購入するケースも多く、本工事も購入コンクリートでの施工であった。

本稿では、再開発工事として大雨の時に大量で流



図1 位置図・流域図

速が速い洪水が流れる洪水吐や洪水の流速を抑えるための減勢工の改造工事を施工した実績について報告する。

2. 工事概要

浜田川総合開発事業は、既設浜田ダムの再開発と第二浜田ダムの新設により、2つのダムを一体的に整備することで洪水調節容量を事業開始前の約4倍の量を確保するとともに河川の安定した流水の確保を図るものである。位置図・流域図を図1に示す。



写真1 既設浜田ダム（再開発前）

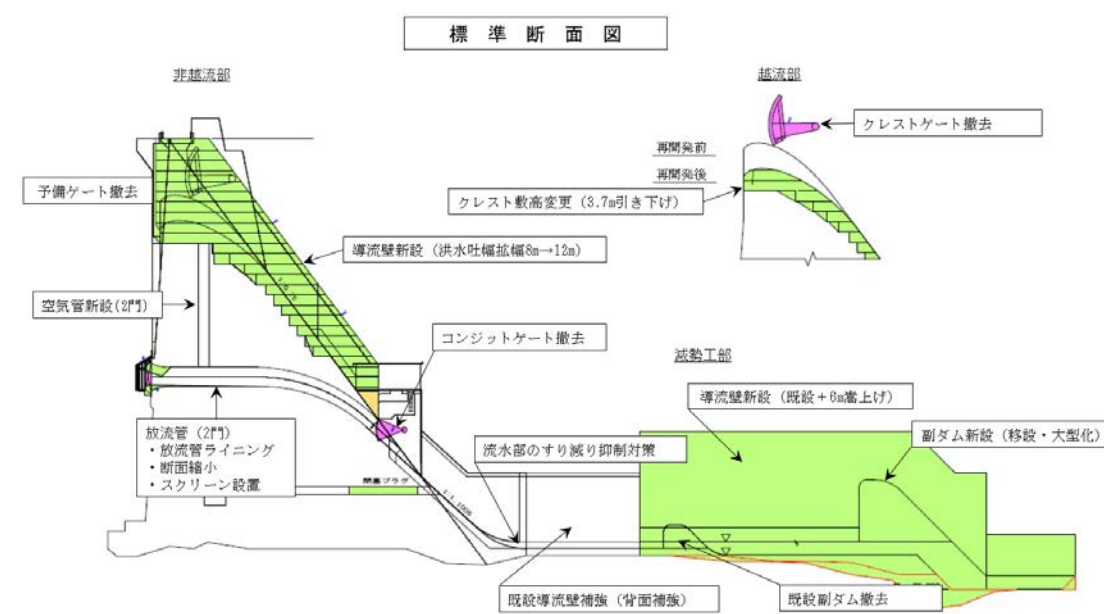
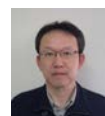


図2 再開発の主な工事内容

既設浜田ダム（写真1）は、洪水調節および発電を目的とした多目的ダムであったが、再開発工事により洪水調節をゲート操作によらない流水型の治水専用ダムとした。これにより洪水時にはダム堤体内に設置された管路式の洪水吐に土砂を含む放流水が流下するため、洪水吐より下流の構造物にすり減り抑制対策を行った。また、設計洪水流量の見直し（552m³/s→850m³/s）により、堤体頂部の洪水吐の越流幅を8mから12mに拡幅し、越流天端を3.7m低くするために既設コンクリートを一部取り壊し、堤体導流壁を新設するとともに、減勢工導流壁の改造、減勢工最下流に副ダムを新設するなど放流設備を再開発した。再開発工事の主な内容を図2に示す。

3. 減勢工の改造

設計洪水流量の増大に伴い、既存の構造物を最大限に活用しながら、副ダムは位置の変更と大型化を行い、導流壁は一部を取り壊し、水流がぶつかる右岸曲線部の嵩上げを行った（図3）。また、流速が速く、耐磨耗性が特に要求される部分にすり減り抑制対策のためにライニングを行った。減勢工水叩き面で高速流が流れる範囲はステンレス鋼によるライニング、導流壁面は既設構造物への設置の容易さを考慮してUFC（超高強度繊維補強コンクリート）パネル、その他の流水部は比較的低コストである高強度コンクリートが採用された。以下に施工時の課題とその解決方法を報告する。



ぬもと ひとし / NUMOTO Hitoshi
鹿島建設（株） 土木管理本部土木工務部ダムグループ 担当部長



さかい ごろう / SAKAI Goro
同上 技術研究所 主席研究員



ふなみず ゆうた / FUNAMIZU Yuta
同上 中国支店小田川付替えJV工事事務所

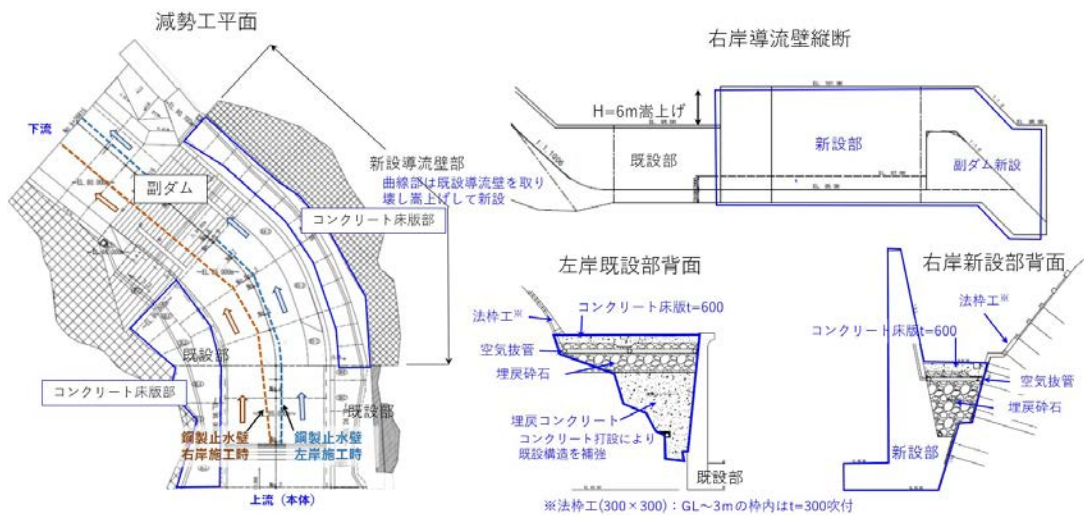


図3 減勢工平面図・縦断面図

表1 減勢工コンクリート数量一覧

配 合	50 [※] -8-40L5	50 [※] -60-20L5	24-8-40N	18-8-40BB
打 設 場 所	導流壁・副ダム・水叩き	ライニング下部	新設導流壁	導流壁背面・置換
数 量 (m ³)	6,265	232	1,509	3,013

※ 配合強度を表示

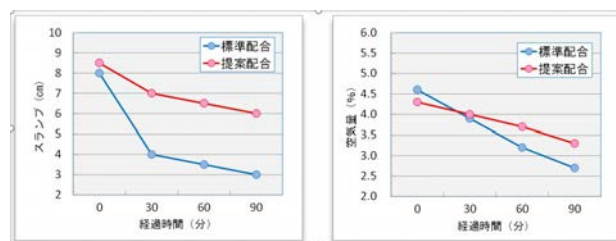


図5 フレッシュ性状確認試験

3-1. 高強度コンクリートの配合の検討

減勢工に打設したコンクリートの配合と数量を表1に示す。

配合欄に記載の強度50N/mm²※の2配合が高強度コンクリートであり、すり減り抑制対策に使用された。高強度コンクリートの強度は、「既往文献の圧縮強度とすり減り係数の関係(図4)より、圧縮強度が40～50N/mm²程度ですり減り係数の増加量が小さくなる」¹⁾ことから配合強度50N/mm²が選定された。

また、当初計画の配合は、ダム工事で一般的に使用される中庸熟フライアッシュセメント(以下、MFと称す)で計画されていた。MFを使用するコンクリートは時

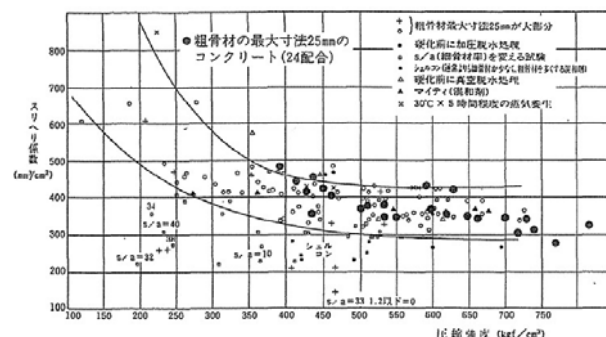


図4 圧縮強度とすり減り係数の関係

表2 高強度コンクリート配合

	水セメント比	セメント kg	水 kg	細骨材 kg	粗骨材 20-5 kg	粗骨材 40-20 kg	混和剤 kg
50 [※] -8-40L5	50.0	314	157	749	606	497	3.77
50 [※] -60-20L5	40.7	430	175	893	812	-	8.60

※：配合強度を示す

間経過に伴うスランプおよび空気量のロスが大きいことが一般的であり、生コン工場から40分程度運搬して打設する工事には不向きであることが室内予備試験でも確認された(図5)。また、MFは受注生産で限られた工場で生産され、長期間で少量しか使用しない工事では調達が難しい。そこで水和発熱による温度上昇量が小さく、長期材齢強度発現性に優れ、かつ時間経過に伴う性状変化が小さい「低熱高強度ポルトランドセメント(以下、L5と称す)」を採用した。高強度コンクリートの配合表を表2に示す。L5の使用は、地域でも需要があり生コン工場への負担はかからなかった。



写真2 水叩き部打設前(差し筋・チップング)

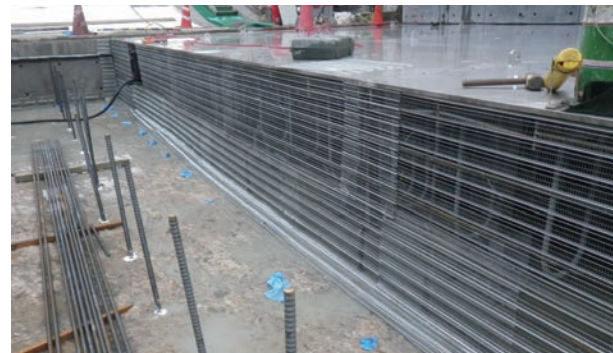


写真4 金網型枠設置状況

3-2. 水叩き部・副ダム部の施工

水叩き部、副ダム部のコンクリートはコンクリートポンプ車を使用して1m厚さで打設した。既設コンクリートに打ち足す箇所は、表面をチップング、差し筋にて一体化を図り(写真2)、岩盤面への打設は、打設前に入念に浮石の除去と清掃を行った。

3-3. ステンレスライニング部の施工

ステンレスライニング部の施工では、水平に設置されたライニング下部へのコンクリートの充填性とライニング下部の高流動コンクリートと一般部のスランプ8cmのコンクリートの異種配合を1回の打設で打込む際の施工性が懸念された。

コンクリートの充填性を確保するため、ライニング材の表面に空気抜きを兼ねて確認孔を設けた(写真3)。また、ライニング材裏面の補鋼材にも流動時の空気抜き孔を設けた。表面の確認孔は、ライニング材とコンクリートの間に空隙ができた場合に注入ができる構造とし、コンクリート硬化後に水押試験を実施したが貫通箇所は確認できなかった。



写真3 ライニング材据付状況

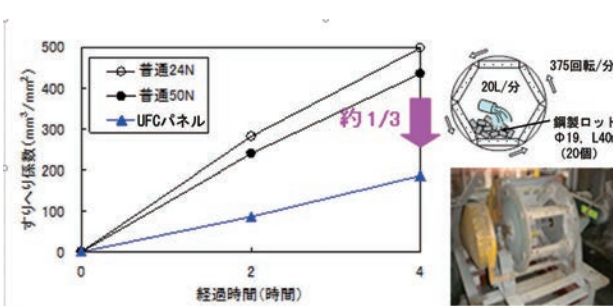


図6 すり減り抵抗性の評価結果
(電力中央研究所 奥田式)

異種配合を打設する工夫として、配合境界部に高流動コンクリート専用の金網型枠を設置し(写真4)、一体化が図れるように差し筋を配置して打設した。

3-4. UFCパネルの性能の確認

既設導流壁面の水叩きから2mの高さには、施工性がよく、経済性もステンスライニング等より優れ、圧縮強度が150N/mm²以上あるUFCパネルが採用され、当工事ではエトリングイト生成系超高強度繊維補強コンクリート(以下、AFt系UFCと称す)製を採用した。AFt系UFCパネルは、橋梁本体、プレキャスト床版、埋設型枠などでの施工実績はあったが²⁾、ライニング材としてダムの減勢工に適用するのは、本工事が初めてであった。そこで、AFt系UFCパネルを使用するにあたり、要求性能であるすり減り抵抗性と繰返し作用する荷重や衝突に対して、背面の部材から剥がれることなく長期間存置される性能について確認した。

すり減り抵抗性を評価した実験結果を図6に示す。AFt系UFCのすり減り量は、設計基準強度50N/mm²



写真5 UFCパネル背面コッター



写真6 UFCパネル設置状況



写真7 UFCパネル施工状況



写真8 堤頂部改造概要

の高強度コンクリートの1/3程度となっており、土砂混じりの水流に対して優れた抵抗性を有することが分かる。また、長期間にわたるパネルの残置性能を高めるため、パネル背面がコッター形状(長方形の凹形、深さ9mm、有効パネル厚50mm)のものを採用した(写真5)。この背面形状は、繰り返し荷重を受けた場合でも背面部材との一体性が低下せず、高い残置性を有することが確認されている²⁾。

3-5. 既設導流壁部(UFCパネル)の施工

UFCパネルは、高さ2.0m×幅1.0m×厚さ59mm(凹部9mmを含む)を標準とし、曲線部を含めて設置した(写真6)。UFCパネルの設置には、既設堤体への堅固な固定による一体化構造と流れを乱さない滑らかな仕上がり形状が求められた。

UFCパネルの設置は、既設コンクリート面を高圧洗浄した後、パネルをアンカーで固定し、パネルと既設堤体の空隙を無収縮モルタルで充填して一体化させた(写真7)。製作過程での凹凸はほぼ無く、慎重に設置し、パネル間の空隙は高強度モルタルで平滑に仕

上げることで、パネルの設置誤差は1mm程度に収まり、放流管の水路面の溶接精度と同等の高い精度で設置することができた。

4. 堤頂部(非常用洪水吐)の改造

浜田ダムは再開発によりゲートレス化するため、堤頂部のゲート関連設備を撤去し、既設コンクリートを取り壊して、設計洪水流量の増大のため、洪水吐の幅を8.0mから12.0mに拡幅し、越流頂を3.7m下げる構造に改造した(写真8)。

4-1. コンクリート取壊しの施工

運用中のダムでのコンクリート取壊し工は、施工時の振動の影響でダムの機能に支障が出ることが懸念され、振動規制値2kineが示されていた。これに対して堤体部の取壊しは、無振動であるワイヤーソー工法を主体とし、無筋コンクリートの範囲についてはバースター(割岩)工法を併用し、堤体への影響を排除した。また、自走式で出力の大きい大型ワイヤーソー(写真9)



写真9 大型ワイヤーソー施工状況

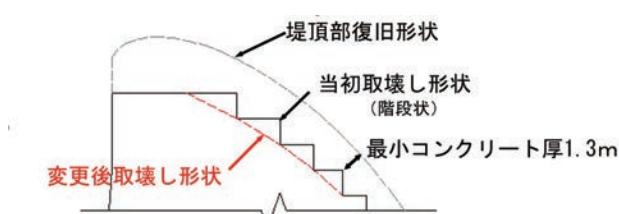


図7 堤頂部取壊し形状

の採用による施工効率の向上と、施工単価が安いバースター工法を極力使用することでコストダウンが図れた。

また、堤頂部コンクリートの当初の取壊し形状は階段状で、越流頂付近の打設厚さは最小1.3mで計画されていて、コンクリート厚さが薄く、構造的に隅角部からひび割れを誘発する可能性が高くなることが懸念された。取壊しおよびコンクリート数量増となるが、打設するコンクリートの品質向上を目的に、隅角部を取り除き、断面の急激な変化を設けない形状に変更した(図7)。

4-2. 堤頂部コンクリートの配合の検討

堤頂部は、打ち込み個所が堤体導流壁、橋台など鉄筋コンクリート構造が主体の部分とクレスト部や非越流部のマスコンクリートとなる部分が共在し、大型のダムではそれぞれ別の配合を打設する計画になるが、当ダムの規模では富配合である水セメント比55%以下の構造用コンクリート1配合が採用されている。温度応力の影響を軽減するため、当初計画の比較的発熱量が大きい高炉セメントB種(以下、BBと称す)に代えて、水和発熱による温度上昇量が小さく、自己収縮ひずみ・乾燥収縮ひずみの小さい「低熱高炉セメントB種(以下、LBBと称す)」を採用した。構造用コンクリートの必要強度を確保し、水セメント比55%以下という条件を

表3 堤頂部コンクリート配合比較

	セメント種類	水セメント比 %	セメント kg	最大骨材 mm
計画配合	BB	53.8	288	40
採用配合	LBB	54.9	270	40

守りながら、生コン工場での配合試験を実施した結果、単位セメント量の低減にもつながった。表3に配合比較表を示す。堤頂部コンクリートの施工期間は、減勢工コンクリートの施工期間と重複し、生コン工場で追加のセメントサイロが確保できないため、別の生コン工場からの出荷となった。

4-3. 堤頂部コンクリートの施工

堤頂部コンクリートの打設は、低標高部から頂部まで左右岸にある幅2.0mの導流壁構造が主体であり、高所作業での安全性が懸念された。また、ダム工事ではコンクリートの打込み温度を25℃以下で規制するケースもあり、当工事でも極力準じるように指導された。

コンクリートは、縦型バケット(水平積込型2.0m³)を使用して打ち込んだ(写真10, 11)。このバケットは、仮設構台上で架台の使用や構台の加工無しで生コン車からコンクリートを排出し、施工性、安全性を向上させた。

低標高部は、LBBの採用と初冬での施工が重なり養生に時間がかかったこと、新旧コンクリート一体化のための差し筋、ひび割れ防止鉄筋や既設堤体の縦継目の表面処理など品質面を配慮する工種を追加したこと、堤頂部付近のコンクリート取壊し形状の変更による取壊しと打込みの数量増により、当初リフトスケジュール

第

76 回セメント技術大会を開催



写真 10 コンクリート積替状況



写真 11 堤頂部コンクリート施工状況



写真 12 完成全景

より1か月程度延伸し、最終打設が7月初旬になった。これによりコンクリートの打込み温度が25℃を超えることが予想された段階で、生コン工場の貯水槽にチラー（冷却設備）を持ち込み、冷却水での練り混ぜを行って打込み温度規制を遵守した。当ダムの天端は一般道となっているため、堤頂部コンクリートの施工後に洪水吐上部にPC橋梁を架設して施工を完了した(写真12)。

5. おわりに

本工事では、ダムの洪水調節機能を維持しながら、不要設備の撤去、コンクリートの取壊しからコンクリート打設までの一連の作業を、既設堤体に損傷を与えることなく、新設コンクリートの施工品質を確保して施工を完

了した。ダム再開発は、現場ごとに工事内容が違い、様々な施工条件や課題がある中で、現場で新しいことに取り組んだり、改善することでそれらを克服しながら工事を進めていく面白さがある。ダム工事では、ダムサイトでコンクリートを製造することがメリットであるが、生コン工場でコンクリートを製造することをメリットとして、材料を工夫した事例も記載した。協力いただいた地元の生コン工場には感謝申し上げる。この報告が他の工事の参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 島根県／浜田川総合開発事業(浜田ダム再開発工事)実施設計業務委託 報告書、2012.12
- 2) 渡邊、柳井ら／超高強度繊維補強コンクリート「サクセム」の耐久性と最近の適用事例、鹿島技術研究所年報第 58 号、2010.9

セメント協会は、5月18日(水)から20日(金)の3日間、赤坂インターシティコンファレンス(東京・港区)において、オンライン併用によるハイブリット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76回目。一昨年は新型コロナウイルス感染症拡大のため中止。昨年は感染症対策としてオンライン形式とし、会場での開催は三年ぶりとなった。

一般研究発表は130件であり、大会2日目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、山地憲治氏((公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)理

事長・研究所長)による特別講演が行われた。また講演後には懇談会も開催した。なお、今大会には1,023名の参加申込みがあった。

一般研究発表

130件の一般研究発表のうち、「セメント」は「環境・リサイクル」のセッションで、また「コンクリート」は「高流動コンクリート」「試験方法」「コンクリート舗装」「耐久性(塩害・鋼材腐食)」のセッションで最も多くの研究発表があり、各会場にて最近の社会的なニーズを反映した研究の成果報告と活発な議論が行われた(表1)。

セメント技術大会は、毎回若手研究者・技術者が多いことが特徴であり、今大会では講演者の約8割が35歳以下であった。セメント技術大会全体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もとにセメント技術大会企画専門委員会が選考し、後日、本誌および当協会のウェブサイトで公表する。

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)代表取締役社長)より挨拶があった。挨拶では、

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		2
	クリンカー・鉱物		3
	種々のセメント	混合セメント	5
		混合材	5
		特殊セメント	4
	セメント系新材料		7
	セメント系固化材		4
	セメント系補修材		2
	セメントの水和		4
	C-S-Hの長期安定性		1
	セメント、モルタルの性質と物性		7
	分析技術		5
	環境・リサイクル		23
コンクリート	材料	混和材	4
		骨材	3
	フレッシュコンクリート	流動性	3
		高流動コンクリート	5
	コンクリートの試験方法（含む分析技術）		5
	コンクリート製品		2
	コンクリートの施工		3
	コンクリート舗装		5
	特殊コンクリート	繊維補強コンクリート	3
		ボースコンクリート	1
	物性	膨張・収縮	2
		ひび割れ	1
		一般	2
		塩害・鋼材腐食	5
	耐久性	中性化	1
		ASR	1
		化学的侵食・溶脱	3
		凍結融解	3
		一般	4
	コンクリートの診断・補修		2
合計			130



不死原会長



橋高論文賞選考委員長



一般会場



表彰式



論文賞受賞者



特別講演の山地氏



特別講演会場

今年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」について「このビジョンに掲げた施策を実現するためには、非連続なイノベーションが不可欠であり、グリーンイノベーション基金をはじめとした国の支援等を受け、業界をあげて、研究開発に取り組んでいる状況にあります。簡単な途ではありませんが、皆様方のご支援を得ながらセメントのカーボンニュートラルを最重要課題と位置づけ、業界の叡智を結集しつつ着実に対応を進めてま

いる所存です」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最も優れた論文に授与しており、今回の第50回では116編の中から2論文に授与された(表2)。論文賞選考委員会の橋高義典委員長(東京都立大学 教授)より選考理由が紹介された後、不死原文会長より賞状ならびに賞牌が受賞者へ授与された。その後、受賞者による記念講演が行われた。

表2 第50回(2022年度)セメント協会論文賞

セメント硬化体のCO2吸収と生成物の変化 セメント・コンクリート論文集 Vol. 75 pp. 34-41	東京工業大学 太平洋セメント株式会社 デンカ株式会社 東京工業大学	梅津真見子 黒川大亮 森泰一郎 坂井悦郎
セメントおよび高炉セメント硬化体の乾湿繰り返しによる微細構造変化 セメント・コンクリート論文集 Vol. 75 pp. 181-187	室蘭工業大学 伊達市役所 北海道大学 室蘭工業大学	金山志訓 北寄悠 濱垣亮 濱幸馬雄

特別講演

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE) 理事長・研究所長 山地憲治氏より「脱炭素社会実現に向けたイノベーションと社会実装」と題して特別講演を開催し、311名が聴講した。講演では「RITEによる2050年カーボンニュートラル(CN)シナリオ分析の結果、省エネ・再生エネ・原子力・CCS・水素／アンモニア・大気からのCO₂削減等、あらゆる技術を総動員しなければCNは実現できない」と述べ、また、「IoT、AI、Big Data等の発展により社会システムのイノベーションを起こし、その結果、物質需要減少や行動変化等によるエネルギー節約は重要である」と強調された。

懇談会

懇談会は、新型コロナウイルス感染症対策を十分に講じた上で、ANAインターコンチネンタルホテル東京にて開催した。西元央セメント技術大会企画専門委員会委員長(住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所)の進行により、諸橋央典技術委員長(住友大阪セメント(株)代表取締役社長)の主催者挨拶に続き、論文賞選考委員会橋高義典委員長の乾杯で開宴した。その後、和やかな雰囲気の中、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。

[(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ]

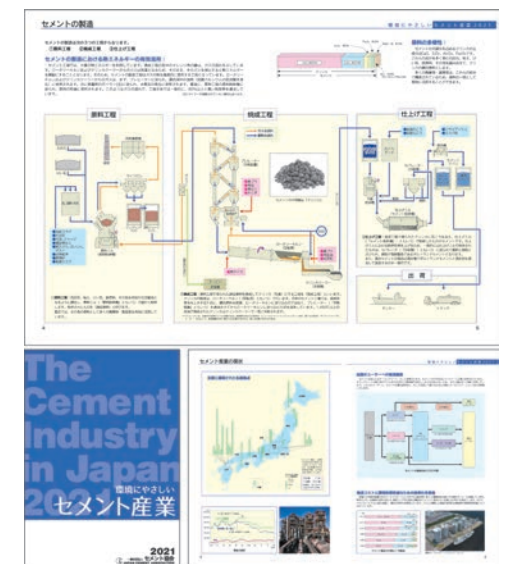
A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2021

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。このほど2021年版を発行、図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には送料で負担(着払い)でお届けいたします。

部数と送付先を明記の上、下記までファックスでお申込下さい。

〔一社〕セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

〔主な内容〕セメント産業の現状、セメントの製造、脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン、カーボンニュートラル行動計画



新型コロナ禍の今と これからの世界

魚本 健人

私は今まで大学教育・研究など土木分野の科学・技術に関する様々なことをやってきましたが、定年を迎え生活が一変しました。特に、2019年から2021年にかけては新型コロナ禍の影響が様々な面で大きな影響を及ぼしていました。

例えば、大学の入学式や卒業式、運動会や旅行など学生達が楽しみにしていたイベントが中止になり、場合によっては新しい大学に入学したにもかかわらず、大学にも行けず自分の仲間が誰かもわからないなどの問題も生じているようです。勿論、このような状況は定年を迎えた私達年配者にも生じており、皆で集まる各種イベントや新年会、送別会、忘年会などが中止になってしまったため、情報の伝達などは今までとは全く違ったものになっています。電話、メール、テレワークでの連絡は実施できますが、直接会って話をすることができないため、常日頃の接触がない人とはどうしても細かいニュアンスまではうまく伝わりません。

このような気が滅入るようなコロナ禍において、ようやく2021年にオリンピックとパラリンピックが東京で開催されました。私が高校生の時に体験した1964年の東京オリンピック・パラリンピック時と大きく異なるのは、コロナ感染防止のため1年延期されたことと、競技会場は基本的に無観客だったことです。しかし、テレビによる観戦は当時より

はるかに充実しており、初めて見たスポーツも多数ありました。また、幸いなことにオリンピック・パラリンピックばかりでなくその他のスポーツ競技等も私にとっては新鮮で、気が滅入るようなコロナ禍の暗い気持ちを吹き飛ばしてくれました。結果的に、これらの競技が行われている間はテレビを通じて楽しい時間を過ごすことができました。きっと皆さんも同じ思いではなかったかと思います。

私が今まであまり知らなかった新しい競技などを見ると、国籍を問わず十代の若い選手がはつらつとプレイし、世界でトップクラスの成績を上げていることがわかります。彼らを見ていると若い選手は意気込みも高く、失敗を恐れず積極的に競技しています。日本選手も、十代前半から半ばの選手達の活躍が目立っており、自分独自のやり方で準備をしていることがうかがえました。きっとこれからは運動以外の分野でも若手が新しい分野を切り開くようになるのではないのでしょうか。

このような傾向は「ゆとり教育」と呼ばれる教育法の結果なのかもしれません。その詳細についてはよくわかりませんが、私が気に入ったのは、現在人気の高い将棋の藤井聡太竜王や米国プロ野球(MLB)で二刀流として頑張っているエンゼルスの大谷翔平選手です。彼らはそれぞれの分野で素晴らしい成績を上げているばかりでなく、

30歳以下とは思えないほどしっかりしています。私などは彼らの足元にも及びません。マスコミ関係者とのインタビューでのやり取りや、普段の生活でどのようなことに気を配っているかが報道されると、彼らの素晴らしさがより明確になってきます。彼らは年配者と比較しても何ら見劣りすることなく、既に自己を確立させており、これからの世界を背負っていると思われます。

彼らのような若い人たちが次々と育ってくればこれからの世界も一気に変化するのではないのでしょうか。しかしこの場合、我々年配者が注意しなければならないのは、若い人達に新しいことに積極的にチャレンジしてもらえるように配慮することです。どうしても私を含め、年配者が「若いのにまだ早いよ」とか「新しい方法は必ずしも

うまくいかないからやめておきな」というようなマイナス発言で行動を抑えることが多く、若手がやろうと思っている新しい方法を実行させないことが多いと思います。しかし、大谷選手の例のように、本人がやりたいと思う新しいことをやらせてみて、それを支持または応援するという方法が大切ではないかと思います。

欧米では若い時から新しいことにチャレンジさせる文化が広がっていますが、日本でもこのような若手の育成が大切だと考えています。先ほど述べた大谷選手の例で言えば、私が驚くのは「オールスター競技のルールを一部変更してでも選手の活躍を引き出せる方法で競技を実施」したり、「選手の評価をする際によくも全員一致して大谷選手を



アメリカンリーグのMVPと評価」したりしたものだと思います。米国での対応を見ると「さすがに開拓者魂の強い米国だな」と感心すると同時に、これからはこの例のように若手が新たに考案・計画したことをうまく応援することが新しい分野を開拓・広げる上で大切な事項だと思います。

以上、私の勝手な意見を記述しましたが、これからの世界を発展させるためには、是非我々一人一人が自分で考えて、新しいことに挑戦できるような世界になると良いと思います。

[うおもと たけと／東京大学名誉教授 工博]

セメント産業の廃棄物受入れが 最終処分場の残余年数に及ぼす影響

Effect of waste use by the cement industry on the remaining life of final disposal sites

新見 龍男 桐野 裕介 加藤 弘義 河合 研至

1. はじめに

わが国では戦後の経済発展に伴い多くの廃棄物や副産物が排出されるようになった。最終処分場の残余容量が逼迫する中、いかにして最終処分量を減らすかが社会全体の問題となっている。

セメント産業は、セメント製造時に他産業で発生する廃棄物・副産物を大量に受け入れており、処理が困難な大量の産業廃棄物をクリンカー焼成工程にて活用することで、資源循環型社会を支えるとともに最終処分場の延命に大きく貢献している。セメント協会は、環境省が報告する最終処分場の残余年数を基にセメント産業による最終処分場の延命効果を簡易的に算出している¹⁾。しかしながら、最終処分場の種類が考慮されていないこと、無価値な不要物で埋め立てられるだ

表1 各最終処分場の残余容量

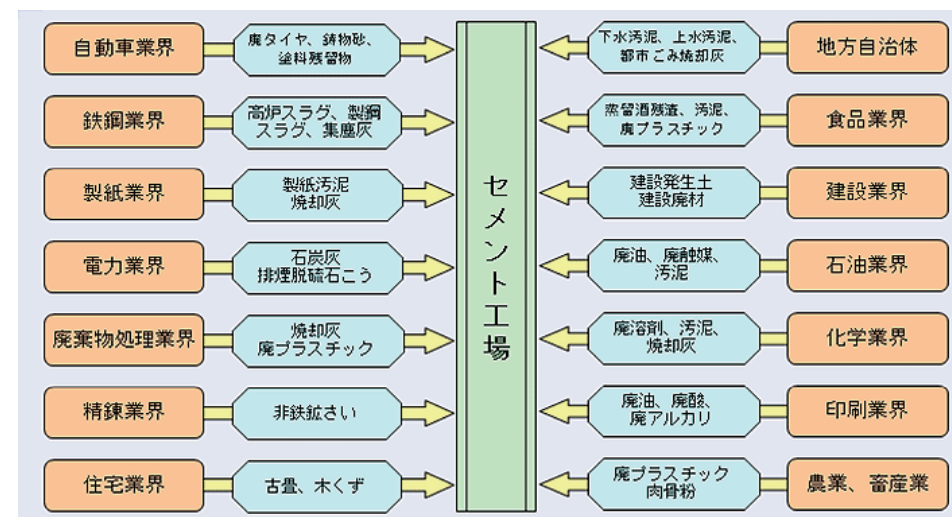
最終処分場		単位	2019年 4月1日現在
遮断型		千m ³	30
安定型	総数	千m ³	57,345
	うち海面埋立	千m ³	101,275
管理型	総数	千m ³	35,359
	うち海面埋立	千m ³	35,359
計		千m ³	158,649

けの「廃棄物」と例えば混合材のように有価で取引されている「副産物」とを同等に扱っていることなど、延命効果が明確になっているとはいえない。

本稿では、セメント産業が及ぼす最終処分場の延命効果について詳細に試算することで、セメント産業による資源循環への多大な貢献の評価事例について紹介する。

2. 最終処分場の概要

わが国における産業廃棄物の最終処分場は「安定型」、「管理型」、「遮断型」に分類される。「安定型処分場」は、そのまま埋め立てても分解せず安定した産業廃棄物を埋立処分することが認められている処分場である。「管理型処分場」は、有機物の分解や金属の溶出など汚染物質が生じる廃棄物を埋め立てる処分場である。「遮断型処分場」は、有害物質が基準を超えて含まれる産業廃棄物を埋め立てる処分場である。表1に2019年4月1日現在の各最終処分場の残余容量²⁾を示す。



セメント協会 HP から抜粋

図1 セメント産業が受け入れる廃棄物・副産物

3. セメント製造における 廃棄物・副産物の活用

セメント産業は、セメント製造時に天然原料や焼成時の熱エネルギーの代替として他産業で発生する廃棄物・副産物を大量に活用している(図1)。これらの中には再生処理が難しくリサイクル率が低い廃棄物も含まれる。本来は最終処分場に埋め立てられるものを資源として活用していることから、セメント産業は資源循環の面で環境に貢献している。

ここで、「廃棄物」と「副産物」の違いについて記述する。セメント産業では天然資源の代替として廃棄物・副産物を活用しているが、「廃棄物」と「副産物」は混同される場合が多い。しかしながら、「廃棄物」とは無価値な不要物であり埋立処分により最終処分場の残余年数に影響を及ぼすが、「副産物」とは有価の製品として市場に流通することが前提であることから最終処分場への影響は無いものと考えられる。

4. セメント協会が試算した 最終処分場の延命効果

表2にセメント協会が公表するセメント産業の廃棄物受入れによる最終処分場の延命効果の試算値を示す。

表2 セメント協会が公表する最終処分場の延命効果の試算値

		単位	2019年 4月1日現在
(A)	産業廃棄物最終処分場残余容量	千m ³	158,650
(B)	産業廃棄物最終処分場残余年数	年	17.4
(C)	産業廃棄物の年間最終処分量試算値 C=A/B	千m ³ /年	9,118
(D)	セメント工場が1年間に受入れている廃棄物・副産物等の容積換算試算値	千m ³ /年	19,858
(E)	セメント工場が受入処理しなかった場合、 最終処分場の残余年数試算値 E=A/(C+D)	年	5.5
(F)	セメント工場が廃棄物等を受入処理することによる最終処分場の延命効果試算値 F=B-E	年	11.9

セメント工場が1年間に受け入れている廃棄物・副産物等の容積換算試算値(D)は、産業廃棄物の年間最終処分量試算値(C)の2倍以上であり、国内の廃棄物処理システムはセメント産業による廃棄物処理に依存していることを示している。その結果として、セメント産業による最終処分場の延命効果は2019年4月1日現在において約12年と試算しており、セメント産業による廃棄物受入れが最終処分場の延命に大きく貢献していることが示されている。

しかしながら、この試算値は前述したように最終処分場の分類がなされていないことや「廃棄物」と「副産物」を同等に扱っていることから、最終処分場の残余年数やセメント産業による延命効果の試算値を正確に表しているとはいえない。



しんみ たつお / SHINMI Tatsuo
(株)トクヤマ セメント開発グループ



きりの ゆうすけ / KIRINO Yusuke
太平洋セメント(株) 中央研究所 博士(理学)



かとう ひろよし / KATO Hiroyoshi
(株)トクヤマ セメント開発グループ兼環境開発グループ
リーダー 博士(工学)



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

表3 国内の廃棄物排出量，最終処分量および処分場の分類

	排出量 (千t)	最終処分		換算係数 (t/m ³)	最終処分量 (千m ³)	処分場の 分類
		処分率(%)	処分量(千t)			
燃えがら	2,423	18	440	1.14	386	管理型
汚泥	166,921	1	1,860	1.10	1,691	管理型
廃油	3,086	3	54	0.90	60	管理型
廃酸	2,782	2	44	1.25	35	管理型
廃アルカリ	2,307	3	58	1.13	51	管理型
廃プラスチック類	7,154	15	1,099	0.35	3,140	安定型
紙くず	1,090	3	38	0.30	127	管理型
木くず	7,681	3	263	0.55	478	管理型
繊維くず	78	16	12	0.12	100	管理型
動植物性残さ	2,426	2	42	1.00	42	管理型
動物系固形不要物	68	3	2	1.00	2	管理型
ゴムくず	17	34	6	0.52	12	安定型
金属くず	7,129	2	174	1.13	154	安定型
ガラスくず、コンクリートくず 及び陶磁器くず	9,065	16	1,457	1.00	1,457	安定型
鉱さい	13,923	6	775	1.93	402	管理型
がれき類	56,953	3	1,630	1.48	1,101	安定型
動物のふん尿	81,079	0	45	1.00	45	管理型
動物の死体	123	2	2	1.00	2	管理型
ばいじん	15,448	7	1,149	1.26	912	管理型
合計	379,753		9,152		10,197	

5. 最終処分場の分類を考慮した 残余年数の試算

5-1. 試算方法

基準年を2019年度とし，2019年度以降の最終処分場の残余容量から残余年数を算出した。2019年度の残余容量は環境省の報告値の2019年4月1日現在の値²⁾を用い，2020年度以降の最終処分場の残余容量は下記の方法で算出した。なお，最終処分場の新設は考慮しなかった。

環境省が報告する2019年度の産業廃棄物の最終処分量³⁾から，環境省が示す「産業廃棄物の体積から重量への換算係数⁴⁾」を用いて各廃棄物の最終処分量を体積換算した。廃棄物ごとに処分先を「安定型」と「管理型」に分類し，それぞれの総処分量を算出した。

表3に2019年度における国内の廃棄物排出量³⁾，最終処分量³⁾，体積換算した最終処分量および処分場の分類を，**表4**に安定型処分場および管理型処分場への処分量の算出結果を示す。なお，2020年度以降の産業廃棄物最終処分量は2019年度と同量と仮定した。2019年度の安定型および管理型処分場の残余容量から，算出したそれぞれの処分場への処分量を差し

表4 安定型処分場および管理型処分場への最終処分量

	最終処分量(千m ³ /年)
安定型	5,864
管理型	4,333

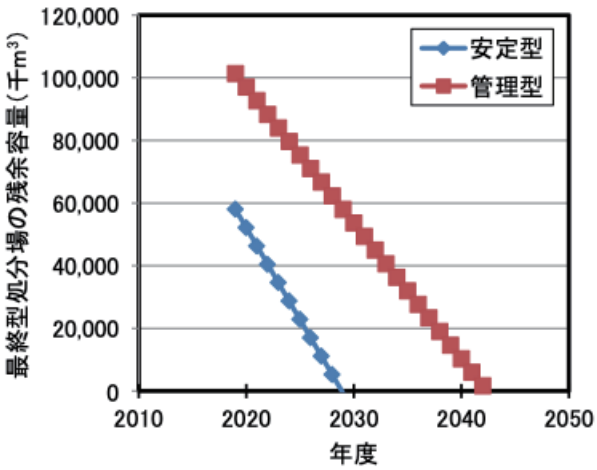


図2 安定型および管理型処分場の残余容量の推移

引き，2019年度から残余容量が負の値となるまでの年数を残余年数とした。なお，管理型処分場の残余容量には海面埋立てが含まれるが，本検討では埋立て場所の分類はせず管理型処分場全体の値を用いた。

5-2. 試算結果

安定型および管理型処分場の残余容量の推移を**図2**

表5 各処分場の残余年数の試算結果

	残余年数(年)	
	試算値	環境省
安定型	10	17
管理型	24	

表6 セメント産業が受け入れる廃棄物量，副産物量および廃棄物の分類

	主な用途	使用量			廃棄物の分類	処分場の 分類
		(千t)	換算係数 (t/m ³)	(千m ³)		
石炭灰	原料、混合材	7,593	1.14	6,661	燃えがら	管理型
高炉スラグ	原料、混合材	7,430	－	－	－	－
汚泥、スラッジ	原料	3,091	1.1	2,810	汚泥	管理型
副産石こう	原料、(添加材)	2,091	－	－	－	－
燃えがら(石炭灰は除く)、ばいじん、ダスト	原料	1,554	1.14	1,363	ばいじん	管理型
建設発生土	原料	1,214	1.8	674	－	管理型
廃プラスチック	熱エネルギー	746	0.35	2,131	廃プラスチック類	安定型
非鉄鉱滓等	原料	740	1.93	383	鉱さい	管理型
木くず	熱エネルギー	450	0.55	818	木くず	管理型
製鋼スラグ	原料	441	1.93	228	鉱さい	管理型
鍾物砂	原料	407	1.93	211	鉱さい	管理型
廃油	熱エネルギー	322	0.9	358	廃油	管理型
廃白土	原料、熱エネルギー	260	1.1	236	汚泥	管理型
再生油	熱エネルギー	236	0.9	262	廃油	管理型
ガラスくず等	原料	165	1	165	ガラスくず、コンクリートくず及び陶磁器くず	安定型
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	65	0.52	125	ゴムくず	安定型
肉骨粉	原料、熱エネルギー	63	1	63	動物の死体	管理型
RDF、RPF	熱エネルギー	46	1	46	その他	管理型
ボタ	原料、熱エネルギー	0	－	－	－	管理型
その他	－	506	1	506	その他	管理型
合計	－	27,422		17,042		

に，各処分場の2019年度からの残余年数の試算結果を**表5**に示す。安定型処分場の残余年数の試算値は10年，管理型処分場については24年となった。この結果は最終処分場の新設を考慮しない推測値ではあるが，残余年数はいずれの処分場でも長くはなく，特に安定型処分場で残余年数が逼迫していることがわかる。

6. セメント産業による最終処分場の 延命効果

6-1. 試算方法

5.で試算した各最終処分場の残余年数を用いて，セメント産業による最終処分場の延命効果について試算した。セメント産業が1年間に受け入れている廃棄物・副産物等の容積換算試算値はセメント協会が示しているものの，その中には有償で取引される高炉スラグおよび副産石こうといった副産物も含まれており，最終処分場の残余年数の試算に含めることは適切ではない。

そこで，セメントハンドブックに記載の2019年度における「セメント業界の廃棄物・副産物使用量」の値から，副産物である高炉スラグおよび副産石こうを除いたものが本来埋立て処分されるものと仮定し，「産業廃棄物の体積から重量への換算係数⁴⁾」を用いて安定型処分場および管理型処分場への処分量を算出した。

なお，石炭灰については，セメント産業は火力発電所から発生した廃棄物に分類されるものを直接受け入れるため，分級等の処理でJISに適合する製品となり有償で取引されるフライアッシュとは異なる扱いとした。建設発生土，一般廃棄物および熱エネルギー代替廃棄物についても最終処分場に直接埋立てされると仮定した。建設発生土の単位体積質量は1.8t/m³を用いた⁵⁾。

表6にセメント産業が受け入れる廃棄物量および廃棄物の分類を示す。また，**表7**にセメント産業が受け入れる廃棄物量および**表4**に示す値との和であるセメント産業が廃棄物を受け入れない場合の総処分量を示す。

表7 セメント産業が受け入れる廃棄物量および廃棄物を受け入れない場合の総処分量

	(千m ³)	
	セメント産業が受け入れる廃棄物量	セメント産業が廃棄物を受け入れない場合の総処分量
安定型	2,421	8,285
管理型	14,621	18,954

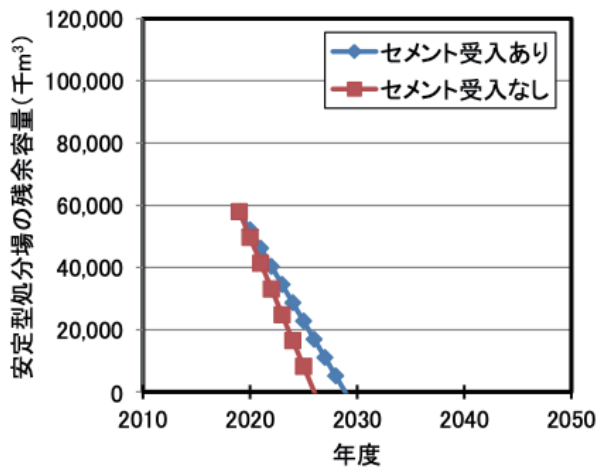


図3 セメント産業が廃棄物を受け入れない場合の安定型処分場の残余容量の推移

表7に示す総処分量を各最終処分場の残余容量からそれぞれ引くことで、セメント産業が廃棄物を受け入れない場合の各最終処分場の残余年数を算出した。この残余年数の算出値と5.で算出した各最終処分場の残余年数の差分を、セメント産業による最終処分場の延命効果の試算値とした。

6-2. 試算結果

表6、7より、セメント産業が受け入れる廃棄物は管理型処分場へ処分されるものが著しく多いことがわかる。また、セメント産業が廃棄物を受け入れない場合、廃棄物の最終処分量は安定型処分場で約1.4倍、管理型処分場では約4.4倍多くなることが試算され、最終処分量のみからでもセメント産業が最終処分場の延命に貢献していることが推測できる。

セメント産業が廃棄物を受け入れない場合の安定型および管理型処分場の残余容量の推移を図3、4に、残余年数および各最終処分場の延命効果の試算結果

表8 セメント産業の廃棄物受入れによる最終処分場の残余年数の延命効果の試算結果

	残余年数(年)		延命効果(年)
	あり	なし	
安定型	10	7	3
管理型	24	6	18

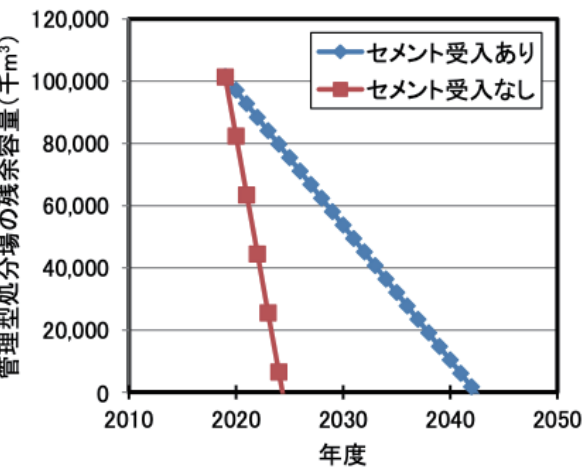


図4 セメント産業が廃棄物を受け入れない場合の管理型処分場の残余容量の推移

表8に示す。セメント産業が廃棄物を受け入れない場合、安定型および管理型処分場の2019年度からの残余年数の試算値はそれぞれ7年および6年となった。安定型処分場の延命効果は3年ではあるものの、残余年数の試算値が10年と短かったことから、セメント産業による処分場の延命効果の影響は比較的大きいと考えられる。一方、管理型処分場の延命効果は18年と著しく大きい。これは、前述したようにセメント産業が受け入れる廃棄物はほとんどが管理型処分場に処分されるためであり、管理型処分場の延命に著しく貢献していることがわかる。

7. おわりに

セメント産業は多量の廃棄物を受け入れてセメントを製造することで、国内の廃棄物処理システムの中で大きな役割を果たしている。

一方、近年は脱炭素社会の達成を目的として混合

セメントの利用拡大等によるCO₂排出量の削減が図られている。しかしながら、これら検討においては最終処分場の残余年数やセメント産業による処理困難な産業廃棄物の処理量へ及ぼす影響が考慮されているとは言い難い。

持続可能な社会の構築は特定の環境側面の課題解決だけで達成されるものではなく、関連するものやトレードオフとなるものなど、多様な環境側面を同時かつ総合的に考慮し、最適な課題解決方法を探索することが望ましいと考えられる。

【参考文献】

- 1) セメント協会／持続可能社会の構築に向けた取り組み、<https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>, 2021
- 2) 環境省／産業廃棄物処理施設の設置、産業廃棄物処理業の許可等に関する状況(平成30年度実績), 2021
- 3) 環境省／産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 令和元年度速報値(概要版), 2021
- 4) 環境省／産業廃棄物管理票に関する報告書及び電子マニフェストの普及について(通知), 環廃産発第061227006号, 2006
- 5) 兵庫県／建設副産物の処理ならびに受入価格, 2020

お知らせ

第29回プレストレストコンクリート 建築技術講習会

主 催	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会
後 援	(公社)プレストレストコンクリート工学会ほか
開 催 日 時	2022年7月29日(金) 13:00 ~ 17:00
受 講 方 法	建築会館(港区田町)での対面方式(東京会場)とオンラインシステム「Zoom ウェビナー」の併用
受 講 資 料	PC建協のホームページよりダウンロード
定 員	200人(東京会場),オンラインシステム 2000人(いずれも事前登録制)
参 加 費	無料
演題(敬称略)	①「神戸市西区総合庁舎」『PC-S工法によるフレキシブルな執務空間の実現』(株)昭和設計 久保 岳ほか ②「岩国市立東小・中学校」『PCaファイレンディール架構でつくる光あふれる教室』(株)石本建築事務所 中山 貴ほか ③「名古屋造形大学」『アウトフレーム型ハイブリッド格子壁の実現』(株)山本理顕設計工場 玉田 誠ほか ④「嘉麻市庁舎」『意匠・構造・設備の融合による機能的な市庁舎』(株)久米設計 永野孝之ほか
連 絡 先	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 建築委員会 建築部会 建築広報推進小委員会 委員長 興津 宏尚((株)富士ピー・エス) TEL: 03-5858-3164 FAX: 03-5858-3165 E-mail: okitsu@fujips.co.jp

異なる試験条件(材料, 暴露環境, 試験方法)による塩化物イオン拡散性状の比較

～海外と国内の比較例～

Comparison of chloride ion diffusion properties under different test conditions
(material, exposure environment, test method)
～ Comparison of overseas and Japan ～

山路 徹 西田 孝弘

1. はじめに

海外でコンクリート構造物を施工する場合、現地の材料を用い、現地で標準的に行われている各種試験で性能を確認しつつ、現地の基準類に基づき設計・施工が行われることが主と想定される。ここで、対象国で行われている各種の手法が、日本での手法と大きく異なる場合もあり得る。この際に、海外の材料、試験方法、照査方法の特徴を把握しつつ、日本との違いも把握しておく必要がある。

著者らは、文献1, 2)に記載されている、北アフリカ地域での海洋コンクリート構造物の耐久性、特に塩化物イオンの拡散性状に関する検討に関わった。ここで、塩化物イオンの拡散性状に関して、対象国では、「電気泳動試験(非定常方式)^{3, 4)}」により性能の確認が行われ、所定の値を満足することを確認する方法が採用されていた。一方、日本の港湾構造物の場合、塩化物イオン拡散係数を設定し、鉄筋位置の塩化物イオン濃度を計算・予測する手法^{5, 6)}が採用されており、電気泳動試験(非定常方式)による評価・解釈が困難な状

況であった^{7, 8)}。そこで、日本国内において長期暴露された試験体を活用し、電気泳動試験(主に非定常方式)と長期暴露試験結果の比較を行った^{9, 10)}。また、北アフリカ地域で作製されたコンクリートを当研究所内の暴露施設に設置し、実環境下およびNaCl溶液中での塩化物イオン拡散性状の評価を開始した(現在も継続中)²⁾。

なお、日本国内において、塩化物イオン拡散性状に関する試験方法は様々な手法が検討されており、特に、各種の室内試験と実環境暴露との比較例が少ないことが指摘されている⁷⁾。そこで、上述の試験結果に加え、主に港空研関わった試験結果や国内外の既往の知見との比較を行いつつ、塩化物イオン拡散性状の評価手法に関する整理を試みた。また、日本国内での塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査時に算定される塩化物イオン拡散係数と、ある海外で設定されている、拡散係数の目標値(コンクリートの要求性能として設定されたもの)との比較を試みた。

2. 試験概要

2-1. 試験ケース

国内3例、海外1例の計4事例を用い、塩化物イオン拡散性状に関する調査結果の整理を行った。コンクリート配合および試験項目をまとめたものを表1に示す。以下概要を説明する。なお、試験項目については2-2.で説明する。

表1 コンクリート配合および試験項目

ケース		W/C	単位量(kg/m ³)							試験項目					
			W	C	BFS	F	S		G	浸漬			電気泳動		RCPT
							天然	CUS		実環境	室内	NaCl	定常	非定常	
1	B0-50	0.50	160	320	0		857		995	○ 海中 (水槽)				○	
	B20-50		160	256	64		808							○	
	B40-50		160	192	128		802								
	B50-50		160	160	160		800							○	
	B60-50		160	128	192		797								
	B80-50		160	64	256		792								
2	BB-40	0.4	170	425			794		915	○ 干満帯		○ 10%			○
3	0-47N	0.47	166	353			764		1029				○		
	30-48N	0.48	167	348			550	322	1007				○		
	100-45N	0.45	170	380				1043	990				○		
	100F-43N	0.43	163	280				1008	990				○		
	0-45B	0.45	164	364			735		1042				○		
	30-47B	0.47	163	347			552	322	1004				○		
	100-43B	0.43	163	380		100		1050	990				○		
	100F-42B	0.42	160	280		100		1008	990				○		
4	Mo-36	0.36	144		400		853		1030	○ 海中 (水槽)	○ 自然 海水	○ 3%		○	
	Mo-39	0.39	137		350		870		1048					○	
	Mo-46	0.46	135		300		836		1183					○	

表2 コンクリート性能の目標値(北アフリカ地域での一例)^{2, 4)}

試験項目	目標値(上限値)
多孔性(%)	11
ガス透過率 (10 ⁻¹⁸ m ²)	150
塩化物イオン 拡散係数D _{hssm} (10 ⁻¹² m ² /s)	3

(1) ケース1：高炉スラグ微粉末添加率を変化^{8, 11)}普通ポルトランドセメント(以下、Nと記載)に対し、高炉スラグ微粉末の置換率を0, 20, 40, 50, 60, 80%で変化させた。W/Cは0.5とした。

(2) ケース2：中流動コンクリート¹²⁾高炉セメントB種(以下、BBと記載)、W/C=0.4である。なお、目標スランプフローは500mmである。

(3) ケース3：銅スラグ細骨材を用いたコンクリート¹³⁾セメントはN、BBで、一部にはフライアッシュ(以下、FAと記載)を添加している。W/Cは0.43～0.48の範囲で変化させた。また、銅スラグ細骨材を0, 30, 100%の割合で混入している。なお、初期塩分量を測定しており、見かけの拡散係数D_{ap}の算出の際は、初期塩分量を除去して評価した。

(4) ケース4：北アフリカ地域で作製されたコンクリート²⁾北アフリカ地域の材料を用い、現地で作製された。セメントはOPC：BB：FA=6：2：2の混合セメント(CEM Vに分類)である。W/Cは0.39, 0.43, 0.46の

3種類である。なお、対象国ではフランスの基準^{2, 4)}を準用しており、厳しい環境に用いるコンクリートに対し、表2の3項目で性能が規定されている。

2-2. 試験項目

(1) 屋外暴露試験

自然海水を貯留させた屋外水槽中に、ケース1では7.9年、ケース2では10年、ケース4では1.5年、一方、ケース3では実環境(小名浜港)の干満帯に1年間暴露させた後、塩化物イオン濃度分布を求め、D_{ap}を求めた。

(2) 浸漬試験

ケース3に対し、JSCE-G 572-2003に準拠して実施した。10%NaCl溶液に0.5および1年間浸漬させた後、塩化物イオン濃度分布を求め、D_{ap}を求めた。なお、1年暴露の際、一部の試験体では表層部での濃度低下が見られたが、この値は回帰計算には用いなかった。

ケース4では、実環境暴露との比較を行うため、室内水槽に貯留した自然海水中、濃度を自然海水と同程



やまじ とおる / YAMAJI Toru
港湾空港技術研究所 材料研究グループ長 博士(工学)



にしだ たかひろ / NISHIDA Takahiro
静岡理科大学 理工学部 土木工学科 教授 博士(工学)

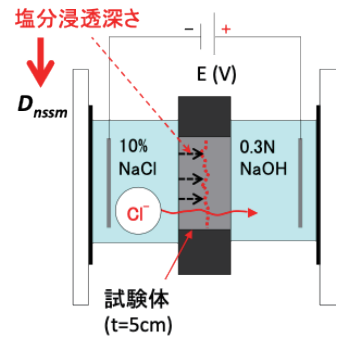


図1 電気泳動試験（非定常方式）

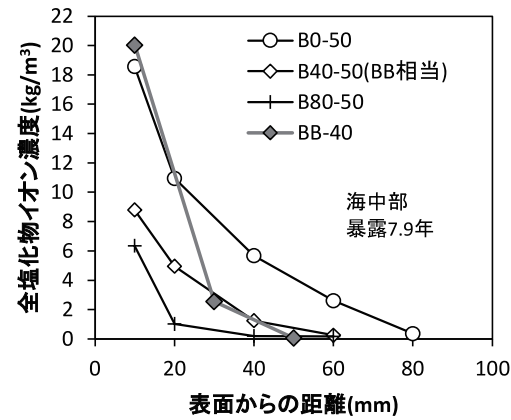


図2 塩化物イオン濃度分布例

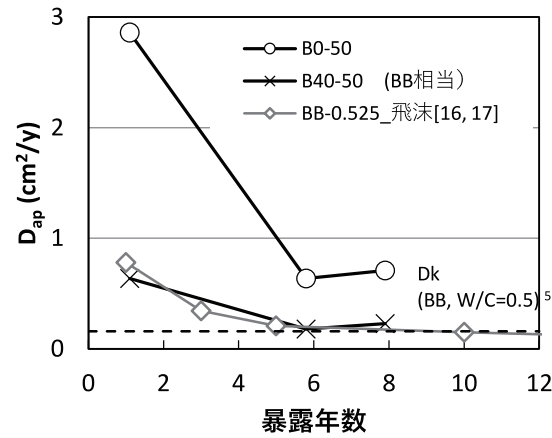


図3 屋外海中での D_{ap} の経時変化例

度とした3%NaCl溶液中の2環境に浸漬させた。いずれも浸漬期間は1年間である。

(3) 電気泳動試験

電氣的駆動力により、塩化物イオンの移動を促進させ、拡散性状を評価する手法である。図1はii)非定常方式の電気泳動試験のイメージであるが、基本的な方法はi), iii)も同様である。

i) 定常方式

ケース3に対し、JSCE-G 571-2003に準拠して実施した。通電時にコンクリートを透過した塩化物イオンの流束から実効拡散係数 D_e を求めるものである。なお、試験実施時の材齢は打設後28～67日の範囲である。

ii) 非定常方式

ケース1, 4に対し、Nordtest³⁾に準拠して実施した。通電時に塩化物イオンが浸透した深さから拡散係数(この場合は D_{nssm})を求めるものである。なお、ケース1については、長期暴露試験後の試験体と、その後に同じ配合で再作製した試験体の両者で実施した。

iii) 急速塩化物イオン浸透試験(RCPT)

ケース2に対し、AASHOTO T277-83¹⁴⁾に準拠して実施した。この試験は、試験体に60Vの電圧を印加した状態で6時間通電し、その際の積算電流量により、性能を評価するものである。結果の評価方法については後述する。

3. 試験結果

3-1. 実環境暴露および各種溶液中における塩化物イオン濃度分布と D_{ap} の経時変化

(1) 屋外海中での経時変化の調査例(ケース1および2)

ケース1および2における塩化物イオン分布を図2に示す。高炉スラグ微粉末の置換率が増えたと内部の濃度が減っている。高炉スラグ微粉末が添加されると、一般にClの移動は抑制される。この理由として、コンクリート中の細孔径(文献15)によれば平均細孔径が小さくなり、イオンの移動が阻害され、Clが浸透しにくくなることが考えられている^{例えは11, 15)}。また、B40-50

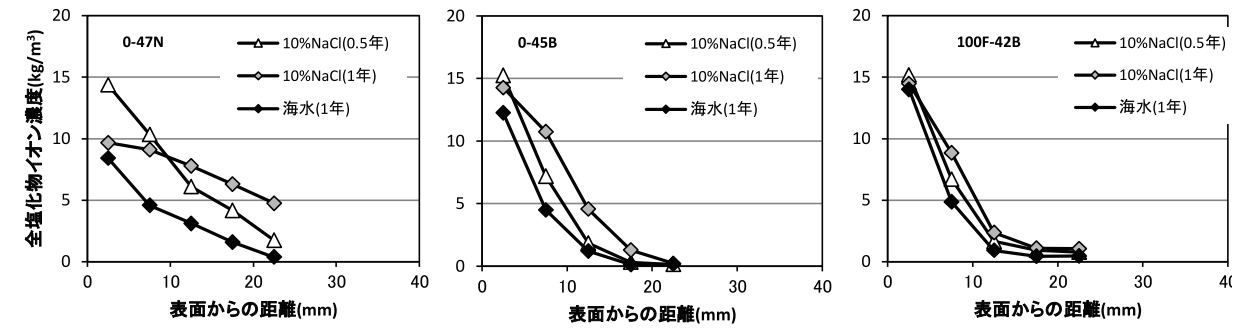


図4 実環境および10%NaCl溶液中の塩化物イオン濃度分布の一例

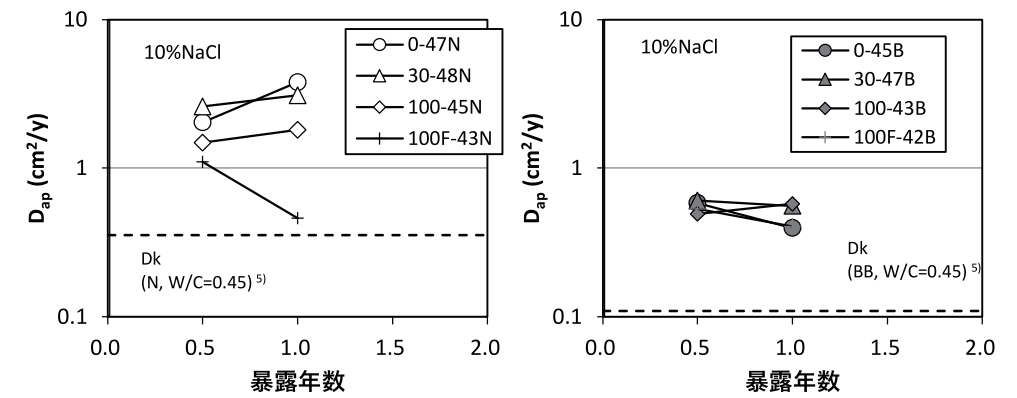


図5 10%NaCl溶液の場合の D_{ap} の経時変化

(ケース1)とBB-40(ケース2)を比べると、W/Cの小さいBB-40の場合に内部への浸透量が減少していた。

図2の濃度分布から求めた見かけの拡散係数 D_{ap} の時間変化を図3に示す。なお、文献16, 17の結果も併記した。干満帯や飛沫帯の場合だと5年程度で定常値に収束するという知見が多い。なお、定常時の値はコンクリート標準示方書(以下、示方書と略)の拡散係数の特性値 D_k (W/C=0.50の場合)⁵⁾と同程度であった。

(2) 溶液種類の影響(ケース3および4)

・ケース3

図4に実海域の干満帯および10%NaCl溶液に暴露後の塩化物イオン濃度分布例を示す。Nの場合に溶液の差が明確に現れており、NaCl溶液の場合に内部の濃度が明らかに増加している。NaCl溶液の場合、Cl濃度が10%と自然海水より高いため、コンクリート表層部の濃度が高くなるのは自明である。ただし、後述するように、拡散係数が大きくなっており、内部への浸透速度も早い(拡散係数が大きい)ようである。

一般に、表層部の濃度が高いと C_0 が大きくなり、回帰計算で求められる D_{ap} は小さくなる傾向にある。一方、今回の場合、 D_{ap} は大きくなっている。コンクリート内部への移動速度が早い理由については、外部溶液の濃度の問題ではなく、溶液組成による影響が現れていると考える。

図5に10%NaCl溶液の場合の D_{ap} の経時変化を示す。一般に、自然海中の場合、図3のように D_{ap} は時間とともに低減する傾向にあるが、今回、明確な低減傾向はみられなかった。なお、文献18)においても、NaCl溶液の場合に0.5～1年の期間では明確な低減は生じていなかった。

・ケース4

図6に実環境、室内自然海水および3%NaCl溶液中における塩化物イオン濃度分布を示す。3%NaClの場合に、屋外海中と比較して、内部の濃度が若干大きくなっている。文献19)においても、人工海水や異なる溶液と比較した結果、同様な現象が確認されている。人工海水の場合に内部の濃度が低くなる理由としては、

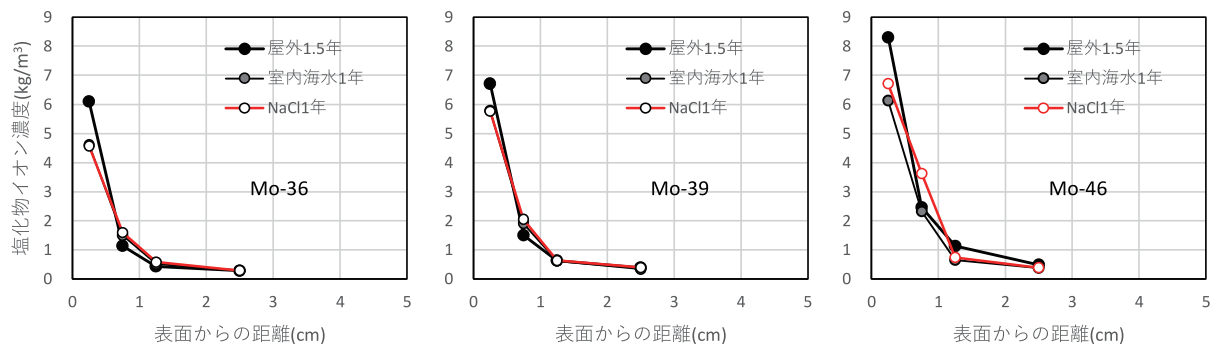


図6 実環境、室内自然海水および3%NaCl溶液における塩化物イオン濃度分布

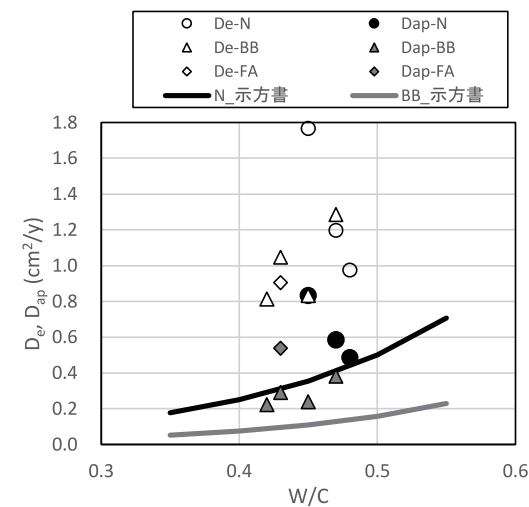


図7 電気泳動試験より得られた D_e および D_{ap}

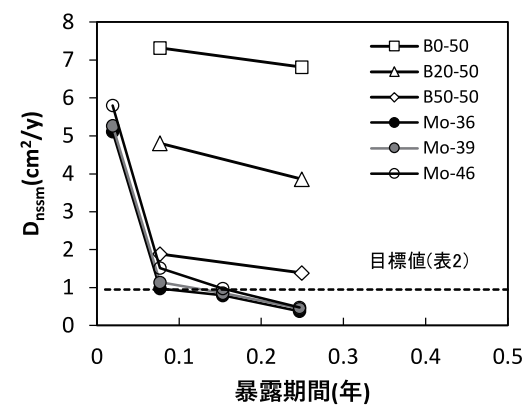


図8 D_{nssm} の経時変化例

ブルーサイトが生成した影響としている¹⁹⁾。文献20)においてもブルーサイトの生成による塩分浸透の抑制を指摘している。

3-2. 電気泳動試験結果

(1) 定常方式

定常方式での試験結果 D_e を W/C との関係として図7に示した。また、示方書で用いられている係数 k_1k_2 で補正して求めた D_{ap} の値も示した。 D_{ap} の値は示方書の D_k 値(図中曲線)と同程度あるいは若干大きい値を示した。

(2) 非定常方式

非定常方式での試験結果 D_{nssm} を経時変化として図8に示した。特に初期材齢時に時間とともに大きく減少している。28日以降の変化はいずれも比較的穏やかであった。また、図中の目標値は、表2に示した要求性能の上限値である。ケース1のB50-50(BB相当)では

満足しておらず、この目標値はかなり厳しい条件であることが分かる。

3-3. 拡散係数の比較

(1) D_{ap} に及ぼす溶液種類の比較

図9はNaCl溶液の場合の D_{ap} と自然海水中の場合の D_{ap} を比較したものである。Nのデータ数が少ないが、NとBBで傾向が明確に異なる。多数のBBの事例を比較した文献21)では、NaCl(暴露期間は0.5年)の場合で両者の比が0.5程度であった。今回もおおむね同様な傾向であり、NaCl溶液の方が拡散しやすい結果となった。自然海水の場合、表層にブルーサイトなどの被膜が生成されるため^{19, 20)}、この影響も含まれていると考える。また、 D_{ap} は回帰計算による値であり、試験期間が短期間の場合、 D_{ap} に及ぼす表層の影響がより顕著に表れている可能性もある。

一方、Nの場合、データが少ないが、自然海水の

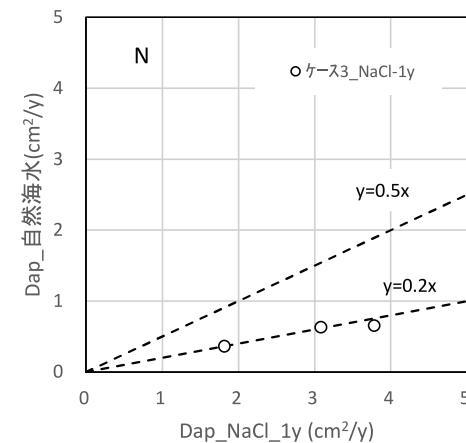


図9 NaCl浸漬試験による D_{ap} と自然海水暴露による D_{ap} の比較

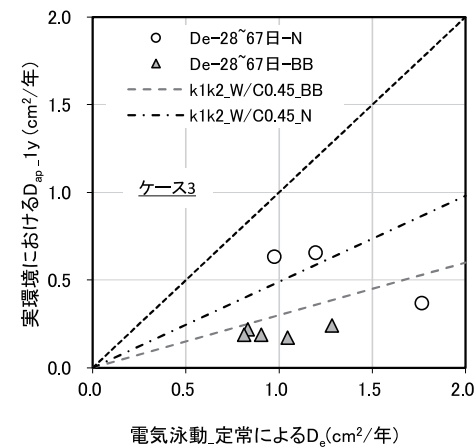
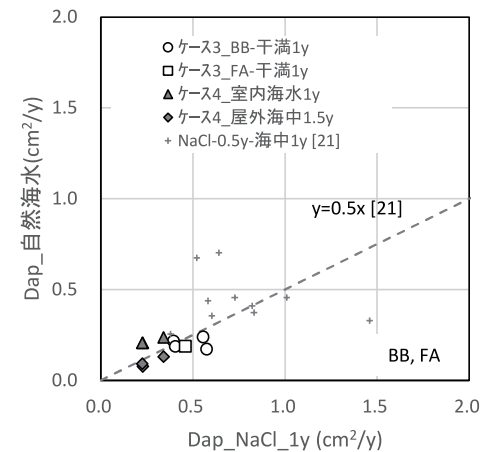


図10 D_e と D_{ap} の比較

D_{ap} はNaClの場合の0.2程度となっていた。Nの方が、NaCl溶液となった時にClが浸透しやすかったということになる。Nの場合、溶液が変わった際の影響がより表れやすいことを示唆している。

なお、文献8)には浸漬試験に関する今後の課題として「濃度依存性の検討とともに、比較的短期間で見かけの拡散係数を求められる方法の開発が必要である」と記載がある。

(2) 電気泳動試験による拡散係数と実海水暴露による拡散係数の比較

1) 試験方法ごとの比較

図10に D_e (28日)と実環境の D_{ap} (1年程度)との比較を示す。図中には示方書の係数 k_1k_2 ($W/C=0.45$ の場合)も示した。文献22)には電気泳動試験(定常方式)に関する今後の課題として、「係数 k_1k_2 については理論的根拠が必ずしも十分でないため、さらなる今後の検討が必要である」と記載されている。

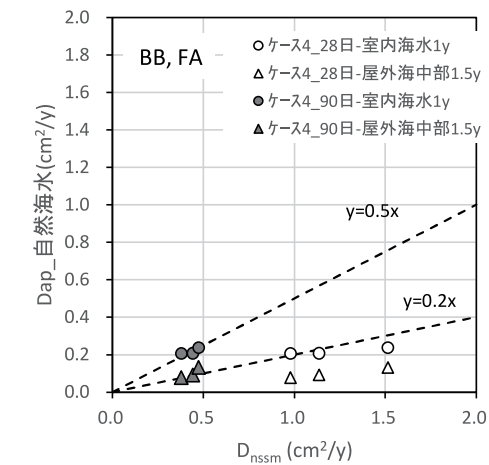
図11a)に D_{nssm} と実環境の D_{ap} (1年程度)の比較を示す。28日の場合で0.2程度、90日の場合で0.4程度であった。次に、図11b)の D_{ap} :長期(7.9年)の場合、両者の比は28日の場合で1/10.7(0.09)程度、90日の場合で1/9.5(0.11)程度とさらに小さくなった。なお、図中の点線は海外の例²³⁾であり、材齢半年後の D_{nssm} と暴露10年後(環境は海中)での D_{ap} を比較したものである。

D_e 、 D_{nssm} いずれも、一般に D_{ap} より大きい値を示す。電気的な駆動力が作用すると、濃度拡散よりも移動が早くなるためと考えられる^{例えば24)}。なお、前述のように、時間の経過とともに各々の値が小さくなるので、材齢によって比が若干変わる。

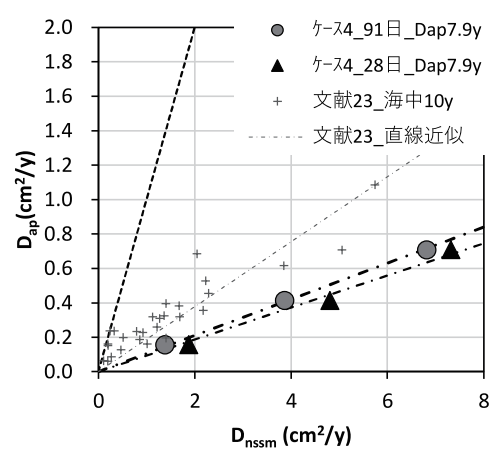
図12に急速塩化物イオン浸透試験により得られる積算電流量と D_{ap} の関係を示す。国内での検討例²⁵⁾も併せて示した。この積算電流量による評価方法はアメリカやカナダで採用されている。カナダでは積算電流量1500(C)を、ある状態における目標値としている²⁶⁾。日本のBB- $W/C=0.4$ の例はこの目標値を満足しておらず、かなり厳しい条件であることが分かる。なお、文献8)では、この試験方法にはいくつかの問題があることが指摘されている。

2) 国内の予測式との比較

自然海水中的での D_{ap} (ケース3, 4)、電気化学的に促進させた試験結果 D_{nssm} (ケース1, 4)について、 W/C との関係で整理したものを図13に示す。なお、示方書⁵⁾および文献6)の算定式も示した D_{nssm} の試験値は



a) D_{ap} : 1年程度



b) D_{ap} : 長期(7.9年)

図 11 D_{nssm} と D_{ap} の比較

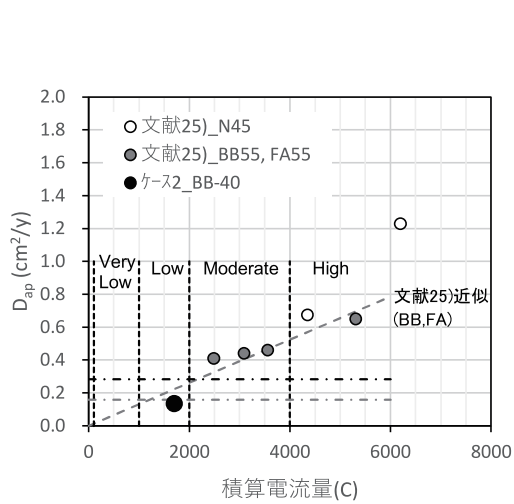


図 12 積算電流量と D_{ap} の関係

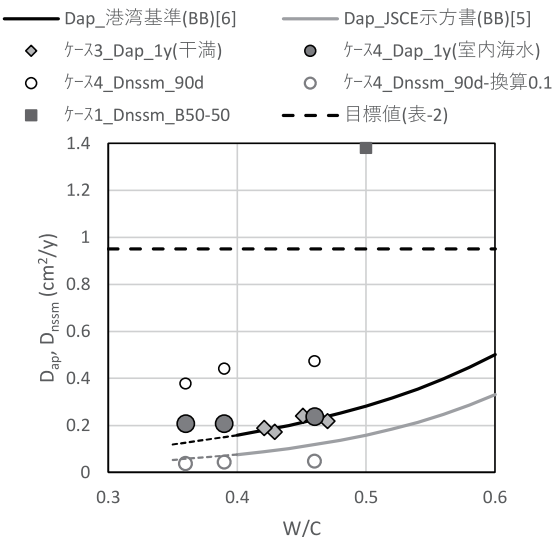


図 13 W/C と D_{ap} , D_{nssm} の関係

いずれも示方書式よりかなり大きい。仮に、この試験値から予測計算に用いる拡散係数を求める場合、前述の D_e の場合と同様に、換算が必要であることを示唆している。ここで、図 11b)の結果を基に、両者の比率を0.1として換算すると、示方書式と同等あるいはそれ以下となっている。

3-4. 国内での拡散係数の算定値と海外での拡散係数の目標値との比較

日本国内の基準類の方法^{5,6)}で算定された拡散係数と、表2の拡散係数の目標値との比較を行う。また、この拡散係数を用いて、鉄筋位置の塩化物イオン濃度の試算も行う。

(1) 国内での拡散係数の算定方法

日本では、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査^{5,6)}において、式(1)を用いて鉄筋位置の塩化物イオン濃度を求め、設計供用期間中に限界濃度を超えないことを確認する方法が採用されている。ここで、塩化物イオン拡散係数の設計値 D_d の算定時には、式(2)第2項として曲げひび割れの影響が考慮されている。

$$C_d = \gamma_{cl} C_0 \left(1 - \text{erf} \left(\frac{0.1c}{2\sqrt{D_d t}} \right) \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$D_d = \gamma_c D_k + \lambda \left(\frac{w}{\ell} \right) D_0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$w/\ell = (\sigma_{se}/E_s + \epsilon'_{csd}) \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 γ_{cl} : 鋼材位置の塩化物イオン濃度の設計値 C_d のばらつきを考慮した安全係数。 C_0 : コンクリート表面における塩

表 3 計算条件

拡散係数に関する条件	品質	セメント種類	BB	
		コンクリートの材料係数 γ_c	1.0	
		W/C	0.5	
		拡散係数の特性値 D_k	港湾[6], 示方書[5]	
	ひび割れ	ひび割れの影響を表す定数 $D_0(\text{cm}^2/\text{y})$	400	
		係数 γ	1.5	
		鉄筋のヤング係数(N/mm ²)	200,000	
		ϵ'_{csd}	0.0001[6], 0.00015[5]	
塩化物イオン濃度の試算に関する条件		鉄筋応力の増加量 $\sigma_{se}(\text{N/mm}^2)$	101.11[28]	27.9[27]
		ひび割れ幅とひび割れ間隔の比 w/l	0.000606	0.000240
		設計供用期間(年)	50	
		鉄筋位置における塩化物イオン濃度の設計用値のばらつきを考慮した部分係数 γ_{cl}	1.3	
		$C_0(\text{kg/m}^3)$	15.1(文献6)最大値)	
		かぶりの期待値 $c(\text{mm})$	70	

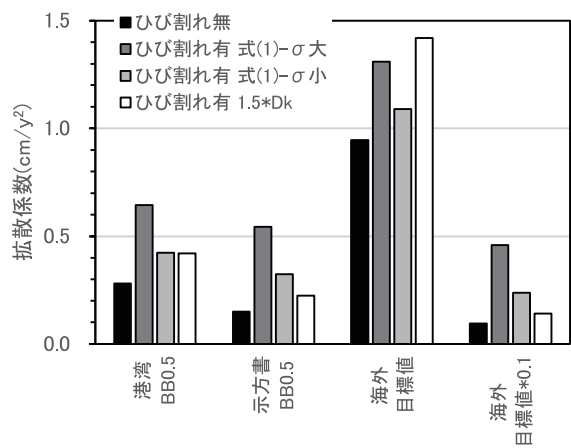


図 14 拡散係数の比較

化物イオン濃度(kg/m³), c : かぶりの設計値(mm), D_d : 塩化物イオンに対する設計拡散係数(cm²/y), t : 設計供用期間(y), erf : 誤差関数, γ_c : コンクリートの材料係数, D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値(cm²/y), λ : ひび割れの存在が拡散係数に及ぼす影響を表す係数(一般に1.5), D_0 : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数(一般に400 cm²/y), w/l : ひび割れ幅とひび割れ間隔の比, σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量(N/mm²), E_s : 鉄筋のヤング係数(N/mm²), ϵ'_{csd} : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値, である。

ひび割れの影響に関して、示方書では、当初は D_k を1.5倍することから始まり、その後は理論的な検証を行い、式(2)が導出されている²²⁾。今回の試算において、このひび割れの影響についても確認を行う。なお、文献⁶⁾では示方書の方法を踏襲している。

(2) 拡散係数の試算結果

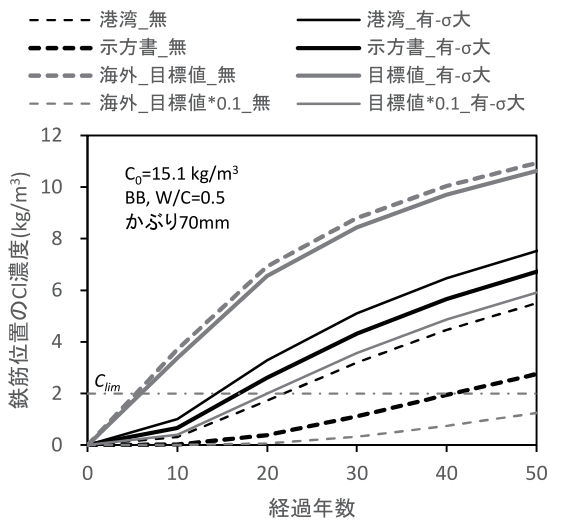


図 15 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の予測例

ここでは、1) D_k を1.5倍した場合、2)最新の基準(示方書=港湾⁶⁾)の2ケースに対し、それぞれ w/l 中のパラメータである σ_{se} を大小2種類^{27, 28)}変化させ、計4ケースで検討する。ひび割れを考慮した際の拡散係数を算出するためのパラメーター一覧を表3、得られた拡散係数を図14、その場合の鉄筋位置の塩化物イオン濃度の試算結果を図15に示す。

ひび割れ無しの場合、表2の拡散係数 D_{nssm} の目標値は、日本の港湾の場合の一般的な配合(0.5)で得られる拡散係数の値よりもかなり小さい値が設定されている。しかし、この値をそのまま用いて試算を行うと、鉄筋位置の塩化物イオン濃度は非常に大きい値となり、何らかの換算が必要であることが示唆される。

ひび割れ有りの場合、日本の照査方法だと、拡散係数 D_k が小さい場合ほど、式(2)におけるひび割れの項(第2項)の影響が相対的に大きくなる。なお、 σ_{se} によっ

でも大きく変化する。 σ_{se} が大きいとひび割れ幅が大きくなり、この場合、コンクリート自体の性能の差が表れにくくなる。すなわち、コンクリート以外の観点で、耐久性を向上させる必要が生じる(結果として対策の実施が促される)。

ひび割れの項の影響については、ひび割れ部での拡散メカニズムが不明確なこともあり、課題は残されている。また、拡散係数の設定および予測計算の際に、構造設計の検討結果を反映させる必要も生じる。ここで、今回の**表2**のように、コンクリート品質に目標値が設定された場合だと、ある試験により性能を確認(照査)するのみであり、比較的簡便である。ひび割れ幅の制御は別で実施し、コンクリートについては品質のみで検討し、それを実験で確認するという方法も選択肢としてはあり得る

と考える。ただし、自由度が無いという欠点がある。

4. おわりに

本稿では、主に港空研が関わった試験結果や国内外の既往の知見との比較を行いつつ、塩化物イオン拡散性状の評価手法に関する整理を試みた。また、日本国内での塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査時に算定される塩化物イオン拡散係数と、ある海外で設定されている、拡散係数の目標値(コンクリートの要求性能として設定されたもの)との比較を試みた。

本文の内容が、海外でのインフラ整備の際、あるいは日本における塩化物イオン拡散性状を検討する際の参考資料となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 山路徹, 宮田正史, 熊谷健蔵, 岩波光保, 高山知司, 久田成昭／消波ブロックに用いられたコンクリートの耐久性に関する実態調査と海外適用における課題, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.75, No.2, pp.I_869～I_874, 2019.
- 2) 滝泰臣, 大内久夫, 飯干富広, 吉塚尚純, AAL Mohamad AIT EL , Ouali Abdellah ／アフリカ北部沿岸域へのRC製消波ブロックの適用に向けたコンクリートの諸性能に関する検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.77, No.2, pp.I_535～I_540, 2021.
- 3) Nordtest NT BUILD 492, "Chloride Migration Coefficient from Non-steady State Migration Experiment", Nordtest, Finland, 1999.
- 4) Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) ／Maitrise de la durabilite des ouvrages d'art en beton LCPC2010, 2010.
- 5) 土木学会／コンクリート標準示方書[設計編], 2019.
- 6) 国土交通省港湾局監修／港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2019.
- 7) 中村英佑, 皆川浩, 宮本慎太郎, 久田真, 古賀裕久, 渡辺博志／通電後の塩化物イオン浸透深さをを用いたコンクリートの遮塩性能の評価, 土木学会論文集 E2, Vol. 72, No. 3, pp. 304～322, 2016.
- 8) (公社)日本コンクリート工学会／電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会報告書, JCI-C96, 2018.
- 9) 山路徹, 与那嶺一秀, 審良善和／長期暴露されたコンクリートにおける非定常電気泳動試験による拡散係数および見かけの拡散係数の比較 セメント技術大会講演要旨, Vol.71, 2017.
- 10) 山路徹, 与那嶺一秀／非定常法電気泳動試験および実環境での長期暴露試験により得られた塩化物イオン拡散係数の比較, セメント技術大会講演要旨, Vol.73, 2019.
- 11) 与那嶺一秀, 山路徹, 加藤絵万, 川端雄一郎／長期海洋暴露試験および実構造物調査に基づくコンクリートの塩化物イオン拡散性状に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1339, 2018.
- 12) 山路徹, 内藤英晴, 羽瀧貴士, 末岡英二, 清宮理／海洋環境における中流動コンクリートの長期耐久性に関する研究, 港湾空港技術研究所, No.1245, 2011.
- 13) 山路徹, 審良善和, 大里睦男, 森晴夫／異なる試験方法により求めた銅スラグ細骨材コンクリートの塩化物イオン拡散係数の比較, 土木学会コンクリート技術シリーズ No.86, pp.433～440, 2009.
- 14) AASHOTO T277-83, "Standard Method of Test for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration", 1982.
- 15) 合田義, 岩浅瑛大, 名和豊春／高炉スラグ添加セメント硬化体における塩化物イオンの拡散モデル, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.390～397, 2013.
- 16) 山路徹, 与那嶺一秀, 審良善和, 浜田秀則／海洋暴露試験に基づくコンクリート中の塩化物イオン拡散性状の時間依存性に関する検討, 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 Vol.14 pp.213～220, 2014.
- 17) Yamaji, T., Yonamine, K. and Kawabata, Y. ／Long-term Behavior of Various Elements in Concrete under Marine Environments, The 3rd International Symposium on Concrete and Structures for Next Generation, 2018.9.
- 18) 藤原斉, 堀光紀, 細谷多慶, 藤本昭宏／高炉スラグがコンクリートの塩分浸透性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, pp.757～762, 2017.
- 19) 直町聡子, 加藤佳孝／海水中の多種イオンを考慮したセメント硬化体の塩化物イオンの浸透性状, 土木学会論文集 E2, Vol.77, No.3, pp.78～91, 2021.
- 20) 岩波光保, 横田弘, Buenfeld Nick R. ／ひび割れを含むコンクリート中の塩分移動に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.917～922, 2006.
- 21) 審良善和, 山路徹, 岩波光保, 横田弘／高炉セメントB種を用いた港湾コンクリートの塩化物イオン拡散係数および表面塩化物イオン濃度について, コンクリート工学年次論文集, pp.1033～1038, Vol.31, 2009.
- 22) 土木学会／2012年制定コンクリート標準示方書改訂資料, コンクリートライブラリー 138号, 2013.
- 23) Tang, L. ／Chloride ingress in concrete exposed to marine environment: Field data up to 10 years exposure, p.30, SP Report 2003:16, SP Swedish National Testing and Research Institute, 2013.
- 24) 金沢貴良, 菊地道生, 佐伯竜彦, 斉藤豪／セメント系硬化体の空隙表面の電氣的性質がイオン拡散性状に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.67, pp.378～385, 2013.
- 25) 笹谷輝彦, 鳥居和之, 佐藤健一, 川村満紀／海洋環境下におけるコンクリートへの塩化物イオン浸透性の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.571, V-36, pp. 91～104, 1997.
- 26) Ozyildiri, C. ／HPC Bridge Deck in Virginia, Concrete International, February, pp.59～60, 1999.
- 27) 沿岸技術研究センター／港湾構造物設計事例集(平成30年改訂版), 沿岸技術ライブラリー No.52, 2019.
- 28) 土木学会／土木学会コンクリート標準示方書に基づく設計計算例[栈橋上部工編]/2001年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]に基づくコンクリート構造物の維持管理事例集(案), コンクリートライブラリー 116号, 2005.

お知らせ

令和4年度 第44回「セメント若手の会」夏季セミナー

セメント若手の会では、セメント・コンクリートに関わる産学の若手の勉強および交流を目的として、セミナーを開催しております。本年度は、2022年9月2日(金)にオンラインにて講師の先生方をお招きし、ご講演頂きます。ふるってご参加頂けますようお願い申し上げます。

主 催	セメント若手の会
後 援	(公社)日本セラミックス協会セメント部会, (一社)セメント協会
日 時	2022年9月2日(金)
開 催 方 法	オンライン
参 加 費 用	(PDFテキスト送付) 一般5,000円, 学生無料 (PDF+印刷テキスト [*] 送付) 一般7,000円, 学生2,000円 ※印刷テキストは事後送付
申 込 締 切	2022年8月22日(月)(定員100名)
演 題 (仮題/順不同・敬称略)	1. セメント・コンクリート業界でのカーボンニュートラルの取り組み／野口貴文(東京大学教授) 2. CO ₂ を測定するための測定装置およびその測定原理／講演者未定((株)島津製作所) 3. CO ₂ 固定型カーボンネガティブコンクリートCO ₂ -SUICOMの開発と今後の展開／向 俊成(鹿島建設(株)) 4. 高炉スラグの特性とその先端分析手法～ XAFS等を用いた高炉スラグの六価クロム溶出抑制能の評価／平本真也(日鉄高炉セメント(株)) 5. ジオポリマー技術の進展と実用化への展望／李 柱国(山口大学教授) 6. セメント化学の立場から脱炭素化社会に向けたセメント業界の在り方／名和豊春(元北海道大学教授)
申 込 方 法	E-mailまたはFAXにて、氏名(ふりがな), 所属, 連絡先住所, TEL, E-mailアドレスをご記入の上, 下記申込先宛にお送り下さい。領収書が必要な方は、お申し出下さい。
参加申込先	〒755-8633 山口県宇都市大字小串字沖の山1-6 UBE三菱セメント(株) 研究所 セメント研究室 後藤 卓(第44回セメント若手の会夏季セミナー代表幹事) TEL0836-22-6186 FAX0836-22-6176 E-mail suguru.goto@mu-cc.com

透水による固化処理土の強制的な 変質促進への取り組み

Study on forced deterioration of cement treated soil by using water percolation

高橋 英紀 後藤 友亮

1. はじめに

剛性と強度の増加や汚染物質の封じ込めを目的として、セメントによる土の固化処理技術を利用することが増えている。一方で、固化処理土は長期的には暴露面から変質して強度が低下することも知られている。変質のメカニズムとしては、暴露面からの拡散によって間隙水でのカルシウムイオン濃度が低下し、化学的に安定な状態を保つために、構造骨格を補強していたセメント水和物等からカルシウムが間隙水へ自発的に供給され、セメント水和物が壊れることによって力学的に変質すると考えられている(図1)。変質特性を把握した上で現場にて固化処理技術を利用することが重要である。試験室において水や土への暴露による変質の観察は長期間に及ぶことから、その検討事例は限られているが、例えば文献^{1~10)}が挙げられる。これらの研究では、現場で打設した固化処理土の劣化深さを調べたり、試験室で水や土に長期間暴露して固化処理土の変質特性を調べたりしている。これらによって、固化処理土の強度が低下したり、カルシウムが溶脱して変質が進んだり

していることが明らかとなっている。

上記のような水や土への暴露による固化処理土の変質の検討には年単位の期間が必要であり、何らかの方法で変質を促進して短期間で変質特性を把握できれば有用である。特に、現場で固化処理土を利用する前に数年をかけて変質特性を把握することは難しく、固化処理土の変質促進による試験が必要になってくる。コンクリート分野では変質を促進することは検討されており、①浸漬法、②通水法、③電気的手法といった方法が利用されてきた。①の浸漬法は、固化した試料をイオン交換水などの溶液に暴露する方法である。実現象に近い変質過程を観察することは可能であるが、変質の進行は非常に遅い。②の通水法は、固化した試料にイオン交換水などの溶液を通水して、セメント水和物を溶解させて、変質させる方法である。透水経路付近の変質を急速に進めることが可能であり、比較的短期間に変質を行えるメリットがある。ただし、選択的に透水経路が生じて不均質に変質が進展する可能性があったり、移流と分散、拡散が同時に生じるために、変質に対する解釈が複雑であったりする。③の電気的手法は、固化した試料の両端から通電することによって電気的に溶存イオンを移動させることで、変質させる方法である。短期間に固化した試料を変質させられるが、この方法においても通水法と同様なデメリットがある。

著者らの研究グループでは、コンクリート分野で提案されている②通水法と同様の方法によって固化処理

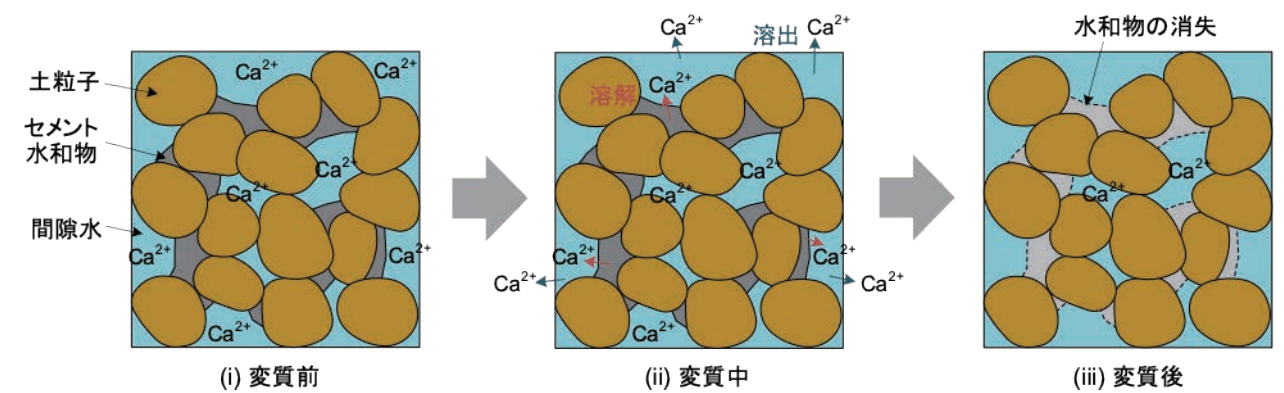


図1 固化処理土の変質メカニズムの概念図

土を強制的に変質させることに取り組んでいる^{11~13)}。固化処理土はある程度の間隙水を有しており、一般的にはコンクリートよりも透水量が大きく、②通水法が最適と考えた。固化処理土に透水することによって移流と分散が生じ、間隙水でのカルシウムイオン濃度が急激に低下し、セメント水和物等からカルシウムが間隙水へ供給され、固化処理土の強度が低下すると考えられる。拡散に比べて移流と分散は大きく卓越するため、変質が促進されることになる。研究の初期段階では、透水方法や用いる土の種類、透過させる液体の種類などの検討で試行錯誤を続けた。試験方法を確立できた後も、固化処理土を変質させるための透水時間が分からず、さらなる試行錯誤を続け、最終的には透水による排液の化学特性から変質の兆候を把握できるようになり、確実に変質させられるようになった。本稿では、試験方法の概要と得られた試験結果の例を紹介する。

2. 試験条件

2-1. 試験結果

研究対象としている土は粘性土であり、その透水係数は比較的小さいが、セメント固化処理を行うことでさらに透水係数は小さくなる¹⁴⁾。このため、固化処理土に透水を行うには、上流側の水圧を高めて加圧透水することが必要である。透水装置の概略図を図2に示す。供試体の寸法は直径50 mm×高さ30 mmの円筒形とした。上面に水圧を作用させて下方へ透

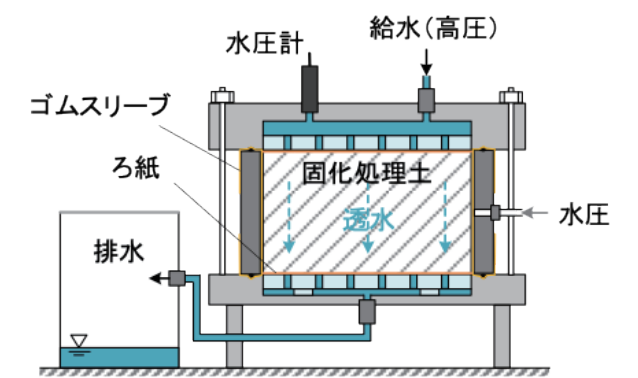


図2 透水試験機の概略図

水を行うが、供試体側面での水漏れを防ぐために、ゴムスリーブを介して上面での水圧よりも大きい側方拘束圧を供試体に作用させた。供給した水は純水である。供試体の下面は、供試体の乾燥を防ぐために水に浸る構造として、大気圧下で配管から水を溢れさせて、その排液を回収した。定期的に排液を回収し、それに対して化学分析(pH, Na⁺濃度, Ca²⁺濃度, 電気伝導率)を実施した。また、所定の期間にわたって透水した後に、試験装置から供試体を取り出し、力学試験(一軸圧縮試験, 針貫入試験)を実施した。透水した供試体は小さいために、15 mm×15 mm×30 mmに切り出した供試体に対して一軸圧縮試験を行った。力学試験に加えて、走査電子顕微鏡(SEM)によって固化処理土断面の観察を行った。なお、本試験方法には適用範囲がある。側方拘束圧や水圧を加えるために低強度の固化処理土に対しては試験を行えない。また、透水して間隙水を入れ替える必要があるため、セメント添加量が大きく間隙水を有さない固化処理土や透水係数が著しく小さい固



たかはし ひでのり / TAKAHASHI Hidenori
国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
グループ長 博士(工学) 技術士(建設部門)



ごとう ゆうすけ / GOTO Yusuke
国土交通省四国地方整備局(前・港湾空港技術研究所)
係長 修士(工学)

表 1 試験ケース

ケース名	母材	セメント	セメント添加率	養生期間	透水期間	加えた水圧
A10-1	川崎粘土	早強ポルトランドセメント	10%	約50日	21日	400kPa
A10-2					44日	
A10-3					64日	
A10-4					64日	
B10-1					50日	
B10-2					114日	
B6-1			6%		35日	200kPa
B6-2					64日	
C10-1			10%	約1年	141日	400kPa
C6-1			6%		106日	200kPa
D10-1			10%		55日	400kPa

化処理土には適用できない。ただし、現場で一般的に用いられる固化処理土（一軸圧縮強さが数100～2000 kN/m²程度）のものには本試験の適用は可能である。

2-2. 試験に用いた供試体

試験に用いた固化処理土の母材は川崎港で採取した海成粘土であり、早強ポルトランドセメントで固化したものである。試験ケースの一覧を**表 1**に示す。自然含水比が50～60％程度の粘性土に加水して、その含水比を80％に調整した。水セメント比をW/C＝0.8とし、土に対する乾燥重量比6％と10％のセメントを添加・攪拌した。粘性土とセメントの攪拌後、一軸圧縮試験用のプラモールドに詰めて、約20度に保った恒温室にて水中で封緘養生を行った。養生期間については、短期間と長期間の2種類とした。短期間とは固化処理土の強度増加率が低減する約50日程度であり、長期間とは約1年以上である。これらの期間で養生した後に、固化処理土に透水を行った。透水装置へ設置する供試体（高さ100 mm）をプラモールドから取り出し、2000 kN/m²の供試体を切り出し、透水に供するものと引き続き水中で封緘養生するものと分けた。透水を終了した際に、両者に対して力学試験とSEMによる観察を行い、両者を比較して変質特性を把握した。

3. 固化処理土の変質特性

3-1. 排液の化学特性

透水中に固化処理土に対して直接的に力学試験を実施できないため、透水によって生じる排液を化学分析することで変質状況を推測した。排液は固化処理土の間隙水を代表しており、間隙水のpHやカルシウム濃度などの状態を教えてくれる。また、排液に含まれるカルシウム量を累積することで、固化処理土から溶脱したカルシウムの総量を知ることができ、変質の程度を推定できると考えた。

例としてケースA10-1とA10-2で計測したpHとNa⁺、Ca²⁺、電気伝導率の4種類の指標を**図 3**に示している。横軸は累積排水量であり、縦軸は各時点で回収した排液への化学試験結果である。全排液に対する化学試験結果ではないことに注意されたい。間隙水への供給源が無いNa⁺の濃度を見ると、初期の約1000 gの透水後には排出されなくなっている。用いた母材は海成粘土ということもあり、土に含まれていたNa⁺が流出したと言える。一方、Ca²⁺については排出が続いており、間隙水へのCa²⁺の供給源があることを確認できた。供給源としては、残留したセメント成分やセメント水和物と推測され、固化に必要なカルシウムが溶脱したことが分かる。これが固化処理土の強度を低下させると考えられる。また、透水量が増えると排液に含まれるCa²⁺の濃度は

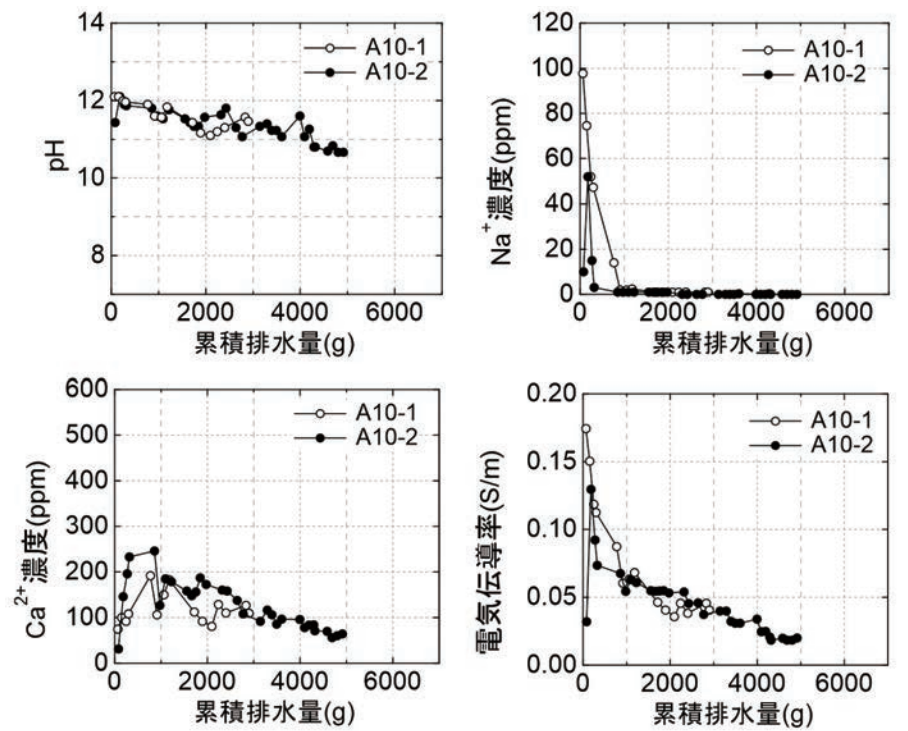


図3 排液の化学試験結果

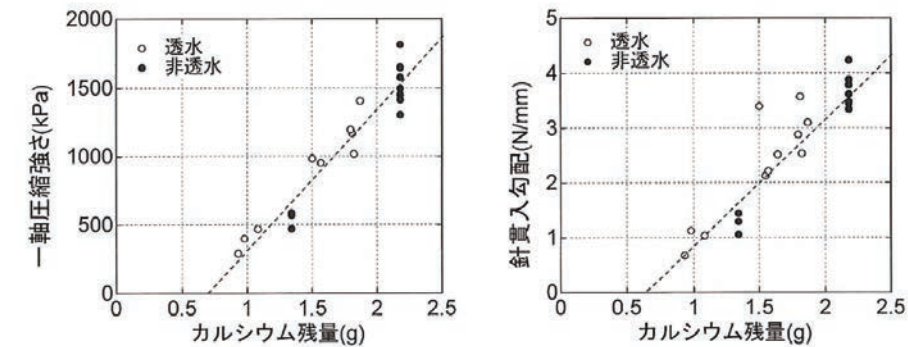


図 4 力学試験結果

低下する傾向も見られた。透水の初期段階では、残留したセメントや溶解しやすいCa(OH)₂などのセメント水和物によってCa²⁺が供給され、その後、溶解度が低いケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)からCa²⁺が供給されていると考えられ、その溶解度の低さによって排液でのCa²⁺濃度は低下したと推測される。

pHと電気伝導率については、透水量が増えると徐々に低下していた。ただし、pHは10以上の状態は保たれており、間隙水が中性にはならずアルカリ雰囲気が保たれていた。また、Na⁺やCa²⁺などのイオンが減少するので、電気伝導率が低下したと考えられる。他のケースでの結果の図示を省略するが、ケースA10-1とA10-2と同様の傾向であった。

3-2. カルシウム残量と強度低下

透水を止め、試験機から取り出した供試体と水中で養生しておいた供試体に対して力学試験を実施した。**図 4**に、一軸圧縮強さと針貫入勾配を示している。各供試体に対して複数回の試験を実施しており、その平均値を示している。横軸は、添加したセメントに含まれるカルシウム量から、排液のCa²⁺の濃度を累積して求めた総排出カルシウム量を引いた値を示している。

いずれの試験結果でも、固化処理土内に残留するカルシウム量が少ないほど強度が線形的に低下していた。これから、透水によって固化処理土の強度が低下することが確認できるとともに、残留カルシウム量によって強度低下率を表せることが分かった。図中には回帰直線

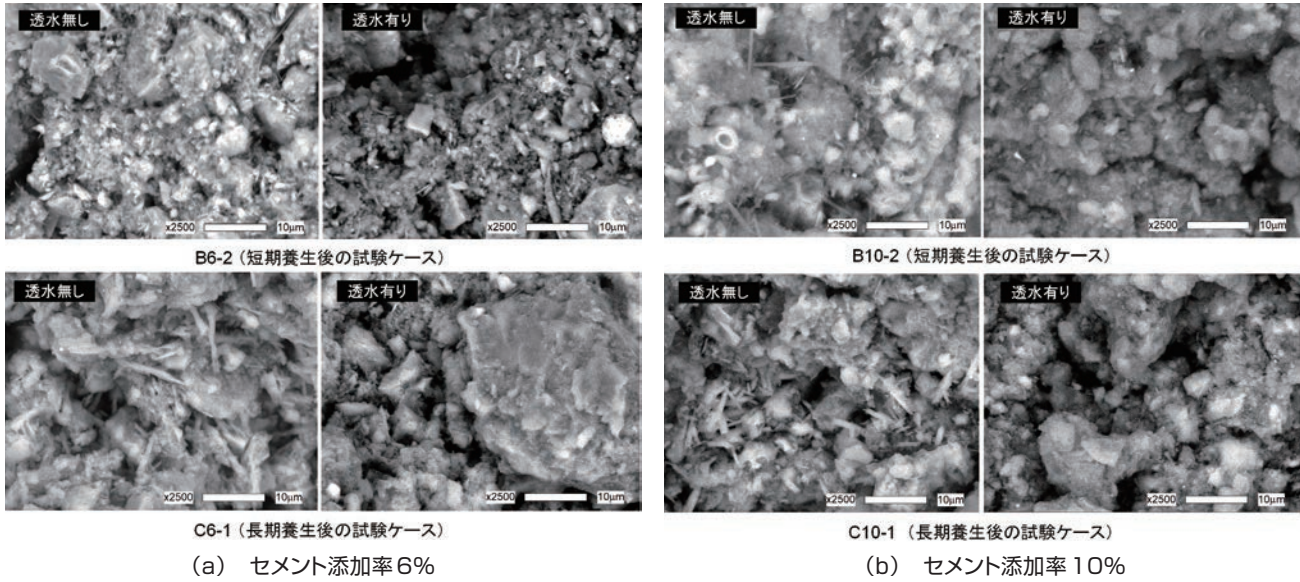


図5 SEMによる顕微鏡写真

を示しているが、その切片は原点ではなく、残留カルシウム量と強度は比例せず、固化処理土の強度を発揮するためのカルシウム量の限界点があることも確認された。また、固化処理土の特性として、添加するセメント量(つまりカルシウム量)に対してほぼ線形的に強度は増すが、透水によってカルシウムが溶脱する場合にも、残留するカルシウム量によって強度を説明できることを実証できた。なお、当初は透水した供試体と透水していない供試体の強度比で図を整理する予定であったが、ばらつきが大きく傾向を把握できなかったため、図4のように強度自体で図を整理した。実施した圧縮試験では高さ30mmと小さな供試体を使用し、針貫入試験も局所的な強度の測定であり、結果のばらつきが大きい試験である。このため、誤差が累積する比率での比較が難しかったと考えられる。試験結果のばらつきを減らすことは今後の課題である。

3-3. SEMによる観察

大まかな構造骨格の違いやセメント水和物の状況を確認するため、SEMによって固化処理土を観察した。撮影画像を図5に示している。図には、セメント添加量を6%と10%にした供試体に対して、短期養生後に透水したものと長期養生後に透水したものの顕微鏡写真を示している。また、それぞれについて変質していない固

化処理土の写真も併せて示している。なお、SEMによる撮影は局所的なものであり、実際には、様々な状況の写真が撮影できた。図には固化処理土の状況を代表している写真を示している。

図5(a)に、セメントを6%添加した固化処理土の顕微鏡写真を示しており、短期養生と長期養生の固化処理土に関わらず、透水によって大きな水ミチは発生していなかった。前節に示したように、透水によって固化処理土の強度は低下したが、この要因が透水によって水ミチが発生して構造骨格が変化したためではないことを確認できた。セメント水和物について着目すると、短期養生の固化処理土にはセメント水和物と考えられる物質を明確には確認できず、少量の針状の物質が確認できる程度であった。一方、長期養生の固化処理土にはセメント水和物と考えられる物質が多く形成されていた。透水によってこれらの物質が減る傾向にあった。図5(b)には、セメントを10%添加した固化処理土の顕微鏡写真を示しているが、添加率6%の固化処理土とはほぼ同様の変質特性が見られた。

4. おわりに

本稿では、著者らが取り組んでいる透水による固化処理土の変質促進試験の概要と固化処理土の変質特

性について紹介した。今後は、試験方法の改良に努めることと、並行している水中暴露試験の結果と対比し、透水による変質が水中暴露による変質とどのような関係にあるのかなどを検討していきたい。

【参考文献】

- 1) Kitazume, M., Nakamura, T., Terashi, M. and Ohishi, K. / Laboratory tests on long-term strength of cement treated soil, Proceedings of the 3rd International Conference on Grouting and Ground Treatment, Vol.1, pp.586~597, 2003.
- 2) Ikegami, M., Ichiba, T., Ohishi, K. and Terashi, M. / Long-term strength change of cement treated soil at Daikoku Pier, Proceedings of Soft Ground Engineering in Coastal Areas, pp.241~246, 2003.
- 3) Hayashi, H., Nishikawa, J., Ohishi, K. and Terashi, M. / Field observation of long-term strength of cement treated soil, Proceedings of the 3rd International Conference on Grouting and Ground Treatment, Vol.1, pp.598~609, 2003.
- 4) 中村健, 北詰昌樹 / セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験, 港湾空港技術研究所資料, No.1128, 13p., 2006.
- 5) Nakarai, K., Ishida, T. and Maekawa, K. / Multi-scale physicochemical modeling of soil-cementitious material interaction, Soils and Foundations, Vol.46, Issue5, pp.653~663, 2006.

- 6) セメント協会セメント系固化工材技術専門委員会 / セメント系固化工材を用いた改良体の長期安定性に関する研究-材齢22年試験結果報告-, セメント・コンクリート, No.804, pp.9~14, 2014.
- 7) 宮下千花, 大田孝, Sanjeevani Dayani, 山崎秀策, 根岸敦規 / 封緘, 水浸養生した改良土の力学特性に及ぼす物理, 化学的性質の影響, 第13回地盤改良シンポジウム, pp.271~276, 2018.
- 8) Takahashi, H., Morikawa, Y., Fujii, N. and Kitazume, M. / Thirty-seven-year investigation of quicklime-treated soil produced by deep mixing method, Ground Improvement, Vol.171, Issue3, pp.135~147, 2018.
- 9) 泉尾英文, 半井健一郎, 吉田雅彦, 清田正人 / 含水比の異なる周辺土との接触がセメント安定処理土の表層強度に与える影響, 地盤工学ジャーナル, Vol.14, No.4, pp.307~320, 2019.
- 10) 原弘行, 吉本憲正, 狩生卓玲 / 海水環境下におけるセメント処理土の劣化促進手法の拡張とその手法による強度・変形特性の再現性, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol.77, No.4, pp.325~333, 2021.
- 11) 高橋英紀, 上邨知輝, 森川嘉之, 中島啓太 / 透水によるセメント固化処理土の劣化促進試験, 地盤工学研究発表会講演集, pp.525~526, 2019.
- 12) 後藤友亮, 高橋英紀: 透水したセメント固化処理土の劣化状況の把握, 地盤工学研究発表会講演集, No.13-3-5-04, 2021.
- 13) Takahashi, H., Morikawa, Y. and Uemura, T. / Trial tests to promote degradation of cement treated soil by percolation technique, Proceedings of Deep Mixing 2021, Online, pp.1041~1049, 2021.
- 14) Takahashi, H. and Kitazume, M. / Consolidation and permeability characteristics on cement treated clays from laboratory tests, Proceedings of the International Symposium on Engineering Practice and Performance of Soft Deposits, pp.187~192, 2004.



わたしたちの暮らしのサポーター

セメント 安全で快適な暮らしを支えています。

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

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

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



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

調査診断事例報告書データベースの構築と整備活用

Construction and maintenance utilization of Investigation diagnosis case report database

三浦 雅仁

1. はじめに

社会インフラの整備においてコンクリート構造物を適切に維持管理するには、個々の構造物の現状把握を行うことが必要不可欠であり、それには適切な調査・診断が必要となる。調査・診断に求められる内容には、**表1**のようなものがあり、適切な調査・診断を行う上では、既往の調査診断事例が役立つ。しかし、そうした調査診断事例は、十分に整備されていないのが実情である。その理由は下記①～③のようなもので、社内においても、貴重な調査診断事例となるほど、特にその傾向が強い。

①【事例の秘匿性】 共有に値する調査診断事例は、事故・不具合・過失等が顕在化した場合も多く、一般的には秘匿しておきたい出来事である。

②【蓄積の格差】 診断経験は年数・機会に比して蓄積されるため、所属する組織によって所属員の構成は異なり、経験の蓄積に差異がある。

③【共有の難しさ】 稀有な課題解決にこそ類例が必要だが、必ず好例に辿りつける訳ではない。異なる組織では情報の横断が容易でない。

調査診断事例をデータベース(以下、DBと略)化するにあたっては、前述の課題を解決する必要がある。

みうら まさひと / MIURA Masahito
(株)コンステック 技術本部 調査技術部

表1 調査・診断の内容

項目	内容
劣化のメカニズム	中性化・塩害・ASR・凍害等の劣化機構に関する知識
調査・分析手法	劣化程度・原因の調査方法の選択と実施に関する知識
規準・指針	調査結果を照査する規準・指針の参照
原因推定・劣化予測	諸要素を考慮した原因推定と劣化の予測
対策の要否・計画	実効性のある対策(妥当性・効果・経済性)
診断経験	調査計画から報告書作成を業務として遂行した経験

しかし、組織により、共有情報の形態・人材と資源・情報活用の目的は多様であるのに対して、必要とするDBを構築する方法は、十分対処できるほど充実してはいない。また一般的でもないが、一例として当社における調査診断事例を対象としたDBの構築と整備活用の取組みについて紹介する。

インフラ分野のDX化が推進される今日、セメント・コンクリートに関する構造物と製品に関わる技術者にとっても、各種情報を蓄積し、共有する意義は大きいものと思われる。DBの形態はそれを必要とする組織により千差万別であるものの、参考となれば幸いである。

2. データベースの構築

2-1. 共有対象となる情報の整理

DB構築の手始めとして、共有化すべき社内情報について洗い出しを行った(**表2**)。社内情報について報告書以外は、案件ごとに情報の有無や水準の隔たりが

表2 社内情報と共有状態の関係

管理所有	社内情報	組織内の各部門			
		営業	工事	調査	構造
事業部	報告書	-	○	●	○
	計画書・要領書	-	◎	○	-
	仕様書・図面	-	○	-	○
	営業資料・業務収支	○	○	○	○
本社	台帳・予算管理	◎			
	顧客情報	◎			
	不具合事例	◎			

凡例：●DB構築により全社的に共有
◎全社的に共有
○事業部内で共有

表3 DB構築の利点

分類	項目	利点
向上	定型業務のレベル向上	・良い報告書を手本にできる ・事例閲覧による向上と補完
	非定型業務への対応	・特殊業務の事例検索と閲覧
活用	効率化	・定型業務報告書の標準化 ・類例調査の報告書利用
	情報共有	・過去の調査事例の検索 ・担当者の検索問合せ
記録	知的財産の蓄積	・調査診断は年間1,200件 ・全事業所の報告書を蓄積
	クラウドへのデータ保存	・データ消滅時の事業継続

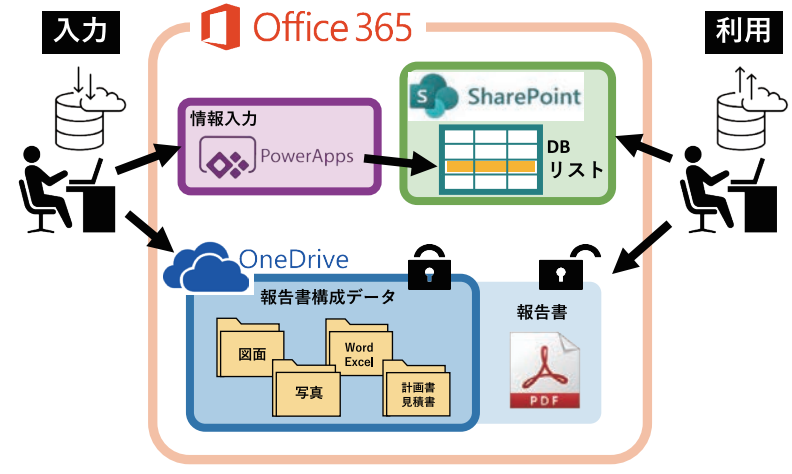


図1 構築したデータベースのイメージ

大きく、網羅的に収集しても蓄積する情報が適切に活用されない可能性があることや、共有化作業の労力に見合わないことが考えられたため、報告書のみを共有化の対象とした。

共有化する報告書は工事・調査・構造の各部門に属し、共有にはデータベース化が必要である。データベース化には、収集データをテーブル定義により検索可能な状態にする必要があったが、それには、紙媒体で保管されている報告書のデジタル化について対処する必要があった。結果的には建設現場の慣例で、紙媒体で提出・保管されている工事完了報告書のデジタル化には多大な作業を要するため、調査部門の報告書のみをデータベース化することとした。

2-2. 構築による利点

DB構築による利点を**表3**に示す。当社において享受できる利点は、向上・活用・記録といった要素であり、

向上については、データベース化により集約された情報へのアクセスによって、技術者の知識・知見と成果品の向上が期待された。活用では、定型業務報告書の標準化や類例調査の報告書利用・閲覧による効率化、過去事例と担当者の検索による情報共有が図れる。また、記録については、全事業所で日々作成される報告書の収集によって知的財産の蓄積が可能となり、クラウドストレージへの業務データ保存により、ある事業所のデータが消滅しても業務を継続できる、などの利点も挙げられた。

2-3. 構築したデータベースの概要

DBの構築は、要件を満たし最も費用が抑えられるOffice365を用いた(**図1**)。Office365は、マイクロソフト社が提供する製品ラインの定額制サービスであり、多様なアプリケーションをクラウドサービスとして利用できるもので、DBに必要な機能が備わっている。またアカウント

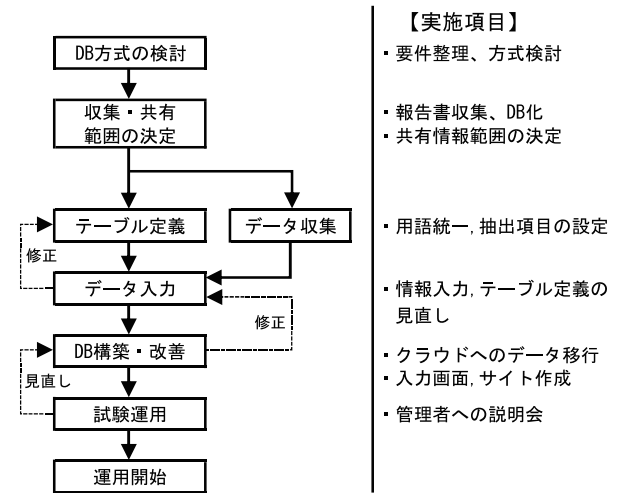


図2 データベースの構築から運用のフロー

表5 要件を満たすDB方式の検討

項目	主な検討要素	A SEによる構築	B DBソフト	C Office365
機能水準	・必要機能の有無 ・システムの水準	○ 高・任意構築が可能	△ 中・選択可能（製品選択）	✕ 低・制限あり
検索	①キーワード検索 ②全文検索 ③自然文検索 ④PDFのOCR処理	△ ①～②が可能	○ ①～④が可能	△ ①～②が可能
メンテナンス	・自社での修正 ・追加費用＊ ・年間保守費	✕ 自社修正不可	△ 機能変更と年間保守が必要	○ 自社修正可能、費用不要
導入期間	システム構築と導入に要する時間	✕ 6ヶ月以上	△ 3～6ヶ月	○ 1～3ヶ月
初期費用	・システム導入費 ・サーバー等設置	✕ 全て必要、かつ高額	△ 全て必要	○ 不要

※運用段階でのシステム変更による費用

IDごとに利用権限を設定できることが可能であり、情報管理においてこのような仕組みは必要不可欠である。

構築したDBの仕組みは、図書館に置き換えると理解が容易である。すなわち図書目録がSharePointのDBリスト、目録一行分の情報をPowerAppsで入力する。開架書架にある書籍がPDF報告書であり、このPDFファイルはOneDriveのアクセス権限が不要な領域に保存されている。一方、閉架書庫にあるのが写真・図面・PCファイル・計画書等の報告書構成データであり、この領域はアクセス権限を要する。

2-4. DB方式の検討から運用

DB構築から運用に至る過程は、図2に示す段階と実施事項による。各段階における実施事項の要点を以下に記載する。

表4 DBの要件

項目	内容
データ収集・管理	・クラウドによるデータ入力 ・将来のデータ移行
検索機能	・キーワード検索 ・選択肢のフィルタ検索
報告書の閲覧	・PDF報告書の閲覧
共有と情報管理	・所属職種に対応した権限設定 ・情報漏洩対策

表6 抽出項目と選択肢

抽出項目	選択肢または要素
業務概要	工事番号, 事業所, 工事名称, 業務の目的, キーワード, 対象名, 建設年
分野	建築, 土木, 環境
構造物の分類	教育, 庁舎, 共同住宅, 事務所, 医療, 宿泊施設, 福祉施設, 店舗, 公共施設, 工場, 倉庫, 駐車場, 他建築, 個人住宅, 歴史的建造物, 変電設備, 橋梁, トンネル, ダム, 擁壁, 下水道, 水路, 法面, 管渠・函渠, 棧橋, タンク槽, 護岸・岸壁, 道路, 他土木, 灯台, 煙突, 鉄塔, その他
構造種別	SRC, RC, S, W, 免震, CB, 煉瓦造, 石造, 免震
調査区分(建築)	ひび割れ調査, 劣化調査, 外壁調査, 躯体調査, 配筋調査, 赤外線調査, 火害, 塩害, 凍害, 化学的腐食, 漏水, アルカリ骨材反応, 沈下・変形, 耐震診断 図あり, 耐震診断 図なし, 構造・補強検討, 振動計測, 非構造部材調査, 耐力度調査, 被災度判定/調査, 材料試験, 設計・監理, 補修計画, 土質調査, ボーリング調査, 点検, 画像撮影調査, アスベスト調査, スリット調査, その他
調査区分(環境)	大気調査, 水質調査, 騒音調査, 振動調査, 土壌調査
目的	劣化・損傷, 欠陥検出, 診断・評価, 材料調査, 仕様調査, 原因推定, 対策, 瑕疵責任, 点検, 修繕計画立案, 再利用の検討, 資料収集, 補修要否, 補修案, 劣化数量, 補修費用, 耐震診断, 補強検討, 図面復元, 図面照合
コンクリート物性	圧縮強度(標準コア・小径コア), 反発度法(シュミット), 静弾性係数, 気泡間隔係数, 配合推定, 透気性, 透水・吸水性, アンカー引張試験, 音速の測定
劣化・損傷	中性化深さ(コア・研り・ドリル), 塩化物イオン量, 凍結融解試験, 硫酸塩の分析, 含水率測定, 残存膨張試験, ゲルの観察・分析, 岩種判定, 定量・定性, 表面観察, UVスペクトル法
鉄筋	配筋間隔, かぶり厚さ, 鉄筋径, 鉄筋本数, 定着長さ, 鉄筋腐食度(研り), 自然電位法, 分極抵抗法, 引張試験, 成分分析
鉄骨(鋼材)	引張試験, 超音波探傷試験, 厚さ測定, 引張強度の推定, ボルトの引張試験, ボルト軸力測定, 成分分析
赤外線法	はく離検出, 内部欠陥, 背面空洞, 漏水検出, 温熱・断熱環境, 筋交い調査
躯体・仕上	打診 目視, ひび割れ深さ, 欠陥の有無, 構造スリット調査, 杭の損傷確認, レベル測定, 傾斜量(壁・柱), 部材の変形量, 図面照合, 部材寸法, 開口寸法, 壁体区分(RC・CB), 付着力試験, シーリング試験, 材種判定, 成分分析, 目視調査, 防水層の試験
振動計測	居住性能評価, 補強効果の確認, 解析モデル検証, 固有振動数の測定, 常時微動測定
煉瓦・石	ウィンザービン, 圧縮強度試験, 曲げ強度試験, 引張強度試験, 密度・吸水試験, 要素圧縮試験, 要素引張試験, 要素せん断試験, 構造体での試験, アンカー引張試験, 目地の成分分析, 静弾性係数, 岩石試験
画像撮影調査	ファイバースコープ, 煙突撮影, ドローン撮影, 高精細カメラ
点検	定期点検, 臨時点検, 12条点検, 非構造部材の点検
アスベスト	吹付け材, 建材・保温材, 仕上げ塗材, スクリーミング調査
地盤・基礎	掘削調査, ボーリング調査, 地耐力の測定, 液状化判定, 土質試験, 埋設物探査, 土壌汚染調査
その他の調査	温湿度測定, 硫化水素ガス濃度, 水質検査, ビルグリーンシステム, アンケート調査, トレーサガス漏水検出, 施工記録の確認, 載荷試験, 設備機器

DB方式の検討では、まずシステムの要件整理を行い、収集・入力、検索、閲覧、共有と情報管理について必要とされる機能の洗出しと整理を行った(表4)。続いてDB方式の検討では、機能・水準、検索、メンテナンス、導入期間、初期費用などについて、要件を基に検討した。検討の結果、機能と検索に限界はあるものの、他の要件を満足していることからOffice365を採用した(表5)。テーブル定義については、用語の統一を行ったのち、各報告書から表6の用語を選択肢として抽出した。

表7 DBの問題点とその原因・対策

区分	ヒアリングの指摘事項	原因	改善・解決
入力作業	入力に多大な手間を要する	近因	入力情報・項目を過大に設定した 全文検索による入力作業の軽減
		遠因	運用途中の項目追加による手戻りを回避するため 今後の改善運用で収集情報の削減を検討
検索	検索結果に意図しないものが表示される	近因	機能上＊、熟語を最小単語に分割し処理されるため 検索記号(*/" ")を用いた検索
		遠因	汎用的なソフトをDBに特化して利用している DB向けの専用ソフト・システムの利用
報告閲覧	画面の視認性が低い。報告書の印刷が不可能。	近因	Office365の機能限界であり、DB方式選択のミス 100%の改善は、現状では困難
		遠因	汎用的なソフトをDBに特化して利用している DB向けの専用ソフト・システムの利用

※SharePointのワードブレイカーが機能する(例:“本社技術部”の文字列は、本社/技術/部 という最小の単語に分割し検索される)。

3. 今後の運用整備

3-1. 改善点

運用開始から9ヶ月を経過した時点で、利用状況や問題等についてアンケートを実施した。アンケートから抽出した問題点とその原因・対策を表7に示す。指摘された主な問題点は、入力作業、検索、報告書の閲覧に関する事項であり、その原因には近因と遠因とがある。近因とその改善では、Office365が持っている機能の範囲で改善を図る予定である。一方遠因は、システム構築を行ったOffice365の理解不足と、機能の限界である。この問題を改善するには、現状のシステムを刷新して、SEによる構築やパッケージソフトの導入による方法が挙げられるが、ここで熟慮を要するのが費用と効果のバランスである。

SEによる構築やパッケージソフトの導入は、要件を満たすシステム構築の自由度が高い反面、初期費用はSE構築で約700～800万円、パッケージソフトで200～300万円を要し、これに加え初期費用の5%～10%程度が年額のランニングコストとして必要になってくる。さらに、DBシステム用のサーバー購入費用や、運用中のシステム変更費を含めれば、5年間の合計費用は500～1,000万円となる。この規模の経費支出には、全社的な

要請や一定の営業成果が得られる等の理由を要する。

現状のDBは、主に調査部門の情報共有と効率化を目指したもので、計画している用途や役割のみで前述の費用を投入するには、費用対効果が小さい。

一方で、この点については、表1に示したように、社内で共有化が可能な情報は複数あり、DB化による情報の収集と共有化を、調査報告書に留まらず工事や構造部門にも広げ、“将来的”には費用に見合う効果を得られる枠組みへとシフトさせる方策があると考えている。

3-2. 整備と活用

運用開始後、一定期間が経過し利用者からの意見や運用上の課題も見えてきた。今後はそれらを改善・解決する取組みを行っていく計画である。さらに、その先の取組みとして、収集・蓄積した情報を「より良く使う」事が重要であり、データベースを発展と向上に役立て、組織の持続的成長に繋げるのがDB構築の最終目標である。このためには、運用側である筆者のみならず、個人・組織ともに以下の点に取組む必要があると考える。

(1) デジタル時代への準備

2008年の世界の時価総額トップ10企業は、石油・製造・通信・金融であったが、2018年には10社中6社をGAFAに代表されるデジタルプラットフォーム企業が占めた¹⁾。今後もデジタル技術を駆使する企業が、世界経済と人々に大きな影響を及ぼし続け、日本政府が呼び掛けるデジタルDXに取組む企業もある。ここで「わが社もこの動きに乗遅れないよう、多くの人・カネを投入すべき」というのは極端で、物事には“順序”と“身の丈”というものがある。まずは手近なことから算段を付けて成すのが中策と言える。具体的には『情報の三段活用』と称するが、下記を実践していくことである。

①【情報を道具として整える】 ➡必要な情報へ簡単・迅速にアクセス可能な仕組み作り。知識・知見の蓄積を図る。

②【使い方を身に着ける】 ➡スキル・リテラシーを養う

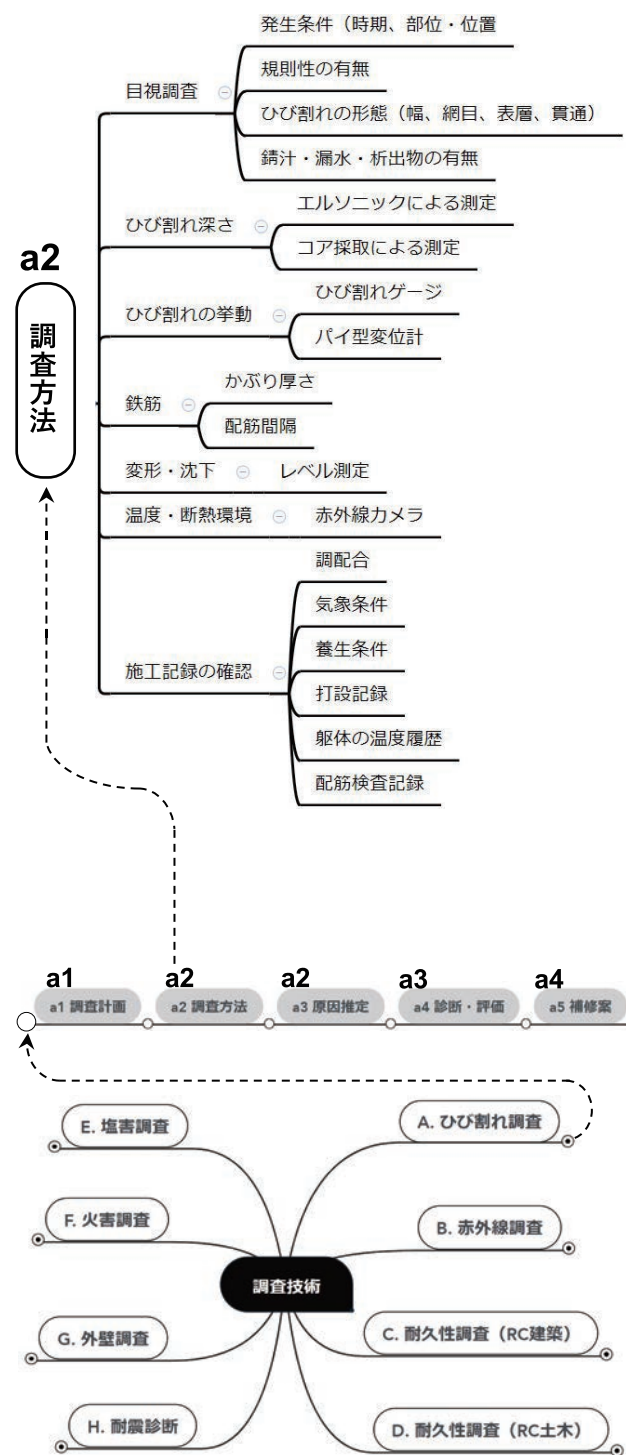


図3 調査マップのイメージ(ひび割れ調査の例)

(情報の活用力)

③【上手に使う】 ➡迅速な情報の検索・共有・提供、
情報を活用した創造的・開拓的な活動

①は言うまでもなく、データベースのようなシステムを構築し運用して行くことであり、その意義はこれまでに述べた通りである。知識・知見の蓄積は、知的財産の形

成に繋がる。

②について、情報は道具であり武器である。帯刀しても使えず・使わずでは飾りや重荷にしかならない。必要な情報を入手する方法をきちんと身に着けておくべきで、組織内のDBやサイトからの情報取得がそれに当たる。ネットの膨大な情報から必要とする情報を検索・収集できるスキルも必要である。

③は今後の整備次第ではあるが、調査・設計・工事・営業などのデータベースが整えば、各担当者が必要な情報に簡単・迅速・自由にアクセスできることとなる。そうなれば各人の資質や意欲次第で、業務水準の向上や効率化が可能である。また、蓄積した情報は、現在広がりを見せているAIや自動処理による、業務支援のシステム構築において教師データともなる情報である。

(2) 必要な情報へのアクセス

必要な情報の探し方には、a)必要情報の存在が分かっている探すか、b)膨大な情報から最適なものを選択する、の二つがあり、a)がキーワード・フィルタ検索、b)が閲覧による検索となる。

a)は、当社であれば調査や構造技術者が行うもので、現状のDBでも入力情報に関するキーワード・フィルタ検索は可能であるが、最適な検索機能を有していない。理由は、全文検索が一部のデータに留まっていることと、サーチエンジンや高度なデータベースで採用される自然文検索に対応していないためである。自然文検索とは、話し言葉のような文脈からキーワードを抽出し、これを検索したい情報との関連度順(検索スコア)に文書をランキングする機能である。

全文検索は自動化により全データを処理する予定であるが、自然文検索の導入は現状のシステムでは不可能であるため、システムの刷新が必要であり、その要否は今後の運用による。

b)は営業が顧客から提示された調査条件を元に、合致する事例を検索する場合が想定される。この場合、完全一致する事例は少なく、絞り込んだ複数の事

例から最適なものを選択するが、知らないものを探すのは難しく、検索に過大な時間を要するのであれば、そのシステムは利用されない。現状のシステムは、学術団体や政府機関が提供するようなインテリジェントな検索閲覧機能を有してはおらず、使いづらい。

これを補うものとして、図3に示す『調査マップ』を整備したいと考えている。これは路線図のように、調査種別の各段階と、関係要素との関係性を視覚的に配置したもので、感覚的・直観的に調査に関する要素を認識できる。この調査マップにDBの事例に関連付けることで、視覚的に配置された各要素を選択すると、必要な情報が抽出される仕組みが、アイデアの上ではできあがる。これが整備できれば有用な道具になると考えている。

HOT NEWS

「第15回北陸道路舗装会議」を開催

2022年5月31日と6月1日の両日、新潟市中央区のANAクラウンプラザホテル新潟において、第15回北陸道路舗装会議(主催：北陸道路舗装会議実行委員会)が、約800名の参加者を集め開催された。本会議は「積雪寒冷地における舗装技術の研鑽と向上」を目的として、産・官・学が一体となって取り組む舗装会議であり、1979(昭和54)年から3年ごとに開催され、昨年はコロナ禍のため一年延期をしての今回で15回目を迎えた。

開会式では、開会の挨拶、来賓からの祝辞の後、元タカラ物流システム(株)代表取締役社長・会長大谷将夫氏より、「働き方改革を成功させる意識改革と業務改革」と題した記念講演が行われた。

続いて、報文発表として口頭発表(4会場)とポスターセッション発表(1会場)に分かれ、報文件数68編について発表・討議が行われた。また、「舗装の点検・維持修繕」と「ICT舗装」に関する舗装技術の2テーマについて「討議セッション」を設け、活発な意見交換が行われた。

4. まとめ

調査診断業務に関する報告書を収集・整理・活用することで情報共有を図り、発展や向上へと繋げるため調査DBを構築した。現在のところ運用を開始し問題点が抽出され、目指すべき方向が見えてきた段階であり、調査DBが完成したとは言い難い状態にある。ある情報技術者によれば、データベースも人間と同じで、生まれた時に完成しているものではないそうである。今後も整備と活用について具体的な方策を実施し、データベースを有用な道具として、作り込んでいく必要がある。

【参考文献】

- 1) 高田祐一／デジタル時代において文化財専門家に求められること、奈良文化財研究所研究報告第27冊, p.3, 2021年



開会式の様子

会議2日目午後からのパネルディスカッションでは、「持続可能な社会へ向けた舗装業界のこれから～働き方改革、生産性向上、人材育成の現状と課題～」をテーマに、石川工業高等専門学校の西澤辰男名誉教授をコーディネーターに迎え、北陸地方整備局、ワーク・ライフバランスコンサルタント、(一社)日本道路建設業協会、建設業者の方々4名のパネリストとともに、それぞれの立場から「北陸の舗装業界におけるワーク・ライフ・バランスの現状や課題等」についての討議が行われ、働き方改革、DX, SDGsなどの取り組みや進捗状況等が紹介された。



超高性能コンクリートの強度予測のためのニューラルネットワークモデル
Joaquín Abellán-García,
ACI Materials Journal
118[4]35～38(2021)

超高性能コンクリート(以下、UHPC)は、緻密な構造と高い耐久性を特徴としており、要求性能に応じてシリカフェームやケイ酸アルミニウム等の様々な材料で構成されている。UHPCの材料構成の検討にあたり、実験では膨大なコストがかかり、既存の確率モデルでは各成分の相互作用等が不明であるため、UHPCの特性予測は困難である。

本稿では、ニューラルネットワークを用いてUHPCにおける材齢28日圧縮強度の予測手法を検討し、さらに圧縮強度に影響を及ぼす要因を評価している。

既往研究と実験から、計797の調査を学習データとし、各材料の単位容積や骨材径、理論上の充填密度等の17種類を要因として圧縮強度を予測した。また、ニューラルネットワークを構成する層間の接続の重みづけを算出することで、一般的に困難とされる出力値に影響を及ぼす要因の特定が可能となり、材料構成とその要因が圧縮強度に及ぼす影響を評価した。

その結果、100～200MPaの広範囲において、実測値からの誤差平均5.9%、かつ決定係数0.8で圧縮強度を予測できた。また、各材料が圧縮強度に及ぼす影響を定量的に評価でき、入力のうち最も圧縮強度を増大させる要因は理論上の充填密度となり、減

少の要因は水結合材比であった。

収縮、中性化および繊維補強の特性等を予測可能な手法についても検討が進められており、今後の材料構成の選定や最適な実験水準の決定に繋がることが期待される。

強度増進剤とCO₂削減
Laurent Guillot,
International Cement Review
[4]56～58(2021)

セメント産業は2050年までにカーボンニュートラルを達成するために様々な取り組みを行っている。セメント中のクリンカ含有量の低減はCO₂排出量削減に貢献する手段となり得るが、現在の技術ではセメント品質を確保した上で、クリンカ含有量のこれまで以上の低減は困難である。こうした中、CHRYSO社はセメントのCO₂排出量を削減する2つの技術(CHRYSO®AMA100ELおよびCHRYSO®ICARE)を発表した。これら技術はエネルギー消費量の抑制とともに、セメント中のクリンカ含有量の低減を可能とする。CHRYSO®AMA100ELに基づく強度増進用添加剤を粉砕時に使用すると、石灰石含有量が10%のセメント(CEM II/A-L42.5R)に対して石灰石含有量を7%増やしても、早期材齢から28日材齢までのセメント強さに影響がなく、クリンカ含有量を7%低減できる。

これにより、セメント1tあたり56kgのCO₂排出量削減が可能となる。一方CHRYSO® ICAREに基づく添加剤を粉砕時に使用すると、従来の粉砕助剤を使用した場合と比較して、粉砕効率が大幅に向上する。化石燃料に由来するエネルギーを使用する場合、エネルギー消費量の削減という点でCO₂排出量の削減が可能である。この技術を垂直ローラーミル等の省エネルギー型の装置に適用し、ポゾランセメントを製造し

た場合、セメント1t当たり31kgのCO₂排出量が削減できる。このように、CHRYSO社の新しい技術は、セメント産業のカーボンニュートラルへの取り組みを支援するものである。

廃コンクリートまたは廃ガラスを含むセメントペーストの活性評価
M.Frías, S.Martínez-Ramírez, ほか
Cement and Concrete Research
148, 論文NO, 106531(2021)

建設物の解体時に発生するガラスやコンクリートなどの建設廃材の有効活用に向けた基礎研究として、化学組成の異なる2種類の廃コンクリート粉末、および廃ガラスの計3種類の建設廃材をセメントに5～10%添加し、セメント水和に及ぼす影響や建設廃材の反応性をXRD, TG-DTA, 水和発熱速度測定により評価した。また、NMR, FT-IR, SEM-EDSにより生成した水和物の分析を行った。

結果より、石灰石を多く含むほど廃コンクリート粉末はフィラー効果によりセメントの初期水和を促進していることが確認された。長期材齢においては、普通ポルトランドセメントの場合と比較し、いずれの建設廃材を添加した場合でもCa(OH)₂量が減少したことから、建設廃材はポゾランとして働く可能性が示唆された。また、普通ポルトランドセメントの場合やCaO含有量の多い廃コンクリート粉末を添加した場合と比較し、SiO₂やAl₂O₃含有量の多い廃コンクリート粉末や廃ガラスを添加した場合は、C-S-HのCa/Si比が低くなることが確認された。

化学組成や鉱物組成の違いにより建設廃材の反応性やセメント水和への影響は異なることが確認されたものの、いずれの建設廃材を用いた場合でも、生成する水和物とその量は普通ポルトランドセメントの場合と

大きく変わりはなく、建設廃材はセメントに一部置き換えて使用できるものと著者らは考察している。

石膏系セルフレベリング材の原料
Andres Seifert,
ZKG Cement Lime/Gypsum
74[2]49～51(2021)

セルフレベリング材(SL材)は建築物の床仕上施工時に平滑な床下地を形成するために使用される材料である。石膏系SL材は従来のセメント系SL材と比較して流動性に優れ、広範囲に敷設可能であり、無収縮、高強度等の特性があるためドイツ国内で近年需要が高まっている。

石膏系SL材は(1)基材、(2)混合材、(3)混和剤および(4)骨材から成り、それぞれ次の原料が使用されている。(1)基材：天然無水石膏、 α 型半水石膏、排脱石膏やフッ酸石膏等、硫酸カルシウムが主成分である。(2)混合材：石灰石フィラーやフライアッシュ等のボゾラン。(3)混和剤：活性剤、遅延剤、高性能減水剤、安定剤をSL材自体またはSL材と水との混練時に5%未満添加される。(4)骨材：天然骨材。

石膏系SL材はドイツ国内で持続可能な建築材料として認証を取得しており、環境面においても優れた材料である。石膏系SL材は35mmの厚さでセメント系SL材45mmと同等の性能を得られ、材料の使用量を削減できる。材料使用量に加えて、SL材の製造や輸送過程等を考慮した、石膏系SL材使用時のCO₂排出量はセメント系SL材の半分である。最近ではドイツ連邦教育研究省によって、SL材を含む石膏建材の再利用に関する研究プロジェクトが開始されている。石膏は焼成と硬化を繰り返すことができ、理論上無限に再利用可能である。今後、天然資源の代わりに、建築廃材由来の石膏の利用拡大が期待される。

生産

(単位:千t, %)					
種類	項目	22年		22年	
		3月	前年比	4月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,850	99.9	2,684	97.9
	早強・超早強	322	92.2	202	97.4
	中庸熟	92	130.6	58	104.9
	低熟	20	98.5	9	58.1
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	1	143.4
	小計	3,283	99.7	2,955	97.8
混合セメント	高炉	898	96.8	731	92.2
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	4	92.7	2	55.9
	その他	124	110.1	86	83.4
	小計	1,026	98.2	819	91.1
その他のセメント		16	94.4	12	80
計		4,325	99.3	3,785	96.2
輸出用クリンカ等		551	113.3	343	103.9
合計		4,876	100.7	4,128	96.8

販売

(単位:千t, %)					
地区	22年	22年		22年	
	3月	前年比	構成比	4月	前年比
北海道	96	86.0	2.9	118	91.7
東北	223	85.8	6.7	229	88.3
関東一	818	99.8	24.7	774	99.7
関東二	342	107.7	10.3	300	103.1
北陸	134	92.5	4.1	123	89.0
東海	384	95.2	11.6	348	94.1
近畿	477	91.2	14.4	441	95.7
四国	115	95.6	3.5	95	90.5
中国	218	102.8	6.6	194	97.6
九州	427	104.2	12.9	374	99.3
沖縄	74	99.6	2.2	66	102.0
計	3,309	97.4	100.0	3,062	96.6

※単位は千t以下四捨五入したため、かゝらずしも統計に合致しない

輸出

(単位:千t, %)			
地域・仕向地	項目	22年	22年
		3月	4月
アジア	韓国	67	48
	中国	142	150
	台湾	45	7
	香港	158	90
	フィリピン	152	50
	シンガポール	279	168
	マレーシア	0	27
その他	小計	843	540
	大洋州	246	173
	中南米	50	0
合計		1139	713

需給

(単位:千t, %)													
項目		生産		販売						期末在庫		輸入	
		前年比	国内	前年比	輸出	前年比	合計	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	内需
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
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,332	96.4	20	90.0
	2021	55,741	99.4	37,872	98.0	11,484	103.3	49,356	99.2	4,347	100.3	10	52.0

セメントハンドブック 2022年度版
インターネットからご覧下さい

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

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



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



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

年月	建設工事受注動態統計(出典:国土交通省)						
	総数	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717
2021年4月	13,508	2,782	509	2,789	3,255	2,882	349
5	13,874	2,397	167	2,837	2,782	4,510	669
6	21,581	3,246	442	2,626	4,285	8,910	469
7	19,058	2,731	573	1,622	4,882	7,341	572
8	16,066	2,192	358	1,950	4,670	4,673	651
9	20,200	3,315	509	2,494	6,211	5,845	386
10	15,410	2,288	273	1,669	5,368	4,471	238
11	12,176	1,630	285	1,498	3,505	3,738	579
12	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655
4	13,561	3,979	276	2,292	3,043	2,333	341

年月	建築着工(出典:国土交通省)								
	統計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄骨造	コンクリートブロック造	その他	居住用	非居住用
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806
2021年4月	1,053	443	12	205	388	0.4	6	633	421
5	1,042	438	11	200	388	0.5	6	614	428
6	1,085	486	18	161	412	0.5	7	657	428
7	1,066	477	11	202	370	0.4	6	658	408
8	954	462	7	153	326	0.4	8	641	313
9	995	466	18	162	343	0.5	6	625	370
10	1,209	488	22	162	531	0.4	6	676	533
11	1,012	467	14	175	346	0.7	9	638	374
12	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486

※単位は万㎡以下四捨五入したため、かゝらずしも統計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出典:国土交通省)							
	統計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事
		計	製造業	計	国の機関			
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146
2021年4月	7,252	4,965	1,141	1,711	1,044	4,238	3,034	4,130
5	7,470	4,666	940	2,440	1,674	4,576	2,894	4,477
6	13,631	9,020	1,807	3,611	2,036	9,074	4,557	8,590
7	8,925	6,244	2,042	2,324	1,373	6,069	2,855	5,598
8	8,766	6,304	2,156	2,059	1,370	6,285	2,481	5,517
9	15,826	12,450	1,699	2,780	1,935	11,984	3,842	11,695
10	9,753	7,135	2,003	2,202	1,555	6,806	2,947	6,243
11	10,676	7,495	2,213	2,269	1,498	6,782	3,894	6,496
12	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341
4	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(日本銀行調べ) (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
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4月	102.7	100.5	100.8	101.8	110.5	102.1	113.4	111.7	100.1	100.5
5	103.4	100.5	100.9	101.8	124.2	102.1	115.5	115.4	99.9	99.3
6	104.2	100.5	101	101.7	143.5	102.3	123.2	119.1	100.1	99.8
7	105.4	100.5	101.3	101.9	157.5	102.3	125.8	123.1	101.5	100.2
8	105.5	100.5	101.8	102.3	163.4	103	129.6	126.4	101.8	100.2
9	106	100.5	102.1	102.2	169	103	131.6	128.2	102.4	99
10	107.5	100.5	102.1	102.1	170.1	103	133.6	130.3	103.4	99.7
11	108.2	100.5	102.3	102.2	169.9	103	137.4	133.7	104.5	99.5
12	108.4	100.5	102.6	102.3	169.5	103	138.5	136.6	105	99.5
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.1	101.6
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.6	102
3	111.3	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.4	101.6
4	112.8	106.6	103.7	103.7	165.3	104.6	150.4	148.9	108.4	101
5	112.8	106.6	103.7	104.1	165.7	104.6	155	153.9	109.4	101.8

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(経済産業省調べ)				
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞コンクリートブロック	護岸用コンクリートブロック
		管(t)	ボール(t)	パイプ(t)		
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年4月		8,771	36,053	130,227	6,324	39,889
5		7,419	34,256	115,640	5,215	30,549
6		9,699	39,098	137,448	5,699	31,022
7		9,551	38,510	106,324	5,198	32,456
8		8,048	34,922	81,217	4,646	29,695
9		10,623	38,849	106,581	5,247	34,553
10		11,770	39,770	112,008	5,755	42,042
11		12,691	42,554	108,094	5,708	47,180
12		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(経済産業省調べ)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板	気泡コンクリート製品
		はり・けた(t)	その他(t)		
2019年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年4月		12,884	41,403	2,646	95,735
5		7,358	34,817	2,249	81,549
6		10,439	36,530	2,675	97,276
7		9,869	37,805	2,655	106,963
8		7,888	27,448	2,429	93,426
9		10,495	38,030	2,742	109,780
10		11,778	50,928	2,745	117,155
11		14,667	45,639	2,847	115,458
12		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年1月		8,771	46,513	2,315	96,860
2		15,218	47,744	2,474	91,643
3		20,647	61,261	2,758	103,188
4		15,969	55,963	2,527	98,544

セメント・コンクリート編集委員会

顧問

長瀬 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

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

委員

石橋 忠良 J R東日本コンサルタンツ(株) 技術統括

伊藤 康司 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長

内田 俊一郎 太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副部長

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

河村 直彦 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)

岸 利治 東京大学 生産技術研究所 教授

黒岩 秀介 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)

黒田 泰弘 清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員

古賀 裕久 (国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

小西 正芳 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 技術参与

小林 竜平 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー

坂井 悦郎 東京工業大学 名誉教授

坂井 吾郎 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員

棚野 博之 (国研)建築研究所 材料研究グループ シニアフェロー

野口 貴文 東京大学 大学院 工学系研究科 教授

平田 隆祥 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師

平本 真也 日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー

前田 禎夫 麻生セメント(株) 品質技術部 部長

森川 嘉之 (国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長

山路 徹 (国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長

弓削 祐夫 U B E三菱セメント(株) 技術戦略部 部長

窪木 康雄 (一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長

野崎 隆人 (一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 委員長

大石 英男 (一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事

中山 英明 (一社)セメント協会 研究所長

一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

2022 No.906 CEMENT & CONCRETE

8月号予告 セメント・コンクリート

○セメント製造における廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標

○コンクリートの最適打込み計画支援システム「T-ConPAS®」の開発

○戻りコンクリートを再利用したコンクリート(エコクリートR®)の適用事例

○東京駅北通路拡幅と新たな駅空間の創出〜レンガアーチ・盛土からRCへ〜

○CO₂硬化型セメント「CARBOFIX CEMENT(カーボフィクスセメント)」の開発

○シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する 放射線・原子力分野での活用 その2

○第50回セメント協会論文賞／選考委員会の選考経過と推薦の理由・論文賞を受賞して

○ずいそう(木村 整) ほか



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

セメント・コンクリート No.905 7月号
2022(令和4)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	藤原 恵美／古屋 祐介
発行所	一般社団法人 セメント協会 〒104-0041 東京都中央区新富2-15-5 RBM築地ビル2階
電話	03-5540-6171 (代表) 03-5540-6175 (広報部門/出版担当) 03-5540-6173 (図書販売)
FAX	03-5540-6181
研究所	〒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



植物のようにCO₂を 吸い込むコンクリート。

「脱炭素」から、二酸化炭素を活かして使う「活性炭」社会へ。

CO₂-SUICOM (CO₂スイコム) は、植物のようにCO₂を吸い込んで固まるコンクリート。鹿島が世界で初めて実現したCO₂吸収型コンクリートで、中国電力・デンカ・ランダスの3社と共同で開発しました。いま日本では、コンクリートの製造で年間3,000万トンのCO₂が排出されています。CO₂スイコムは、セメントの一部を特殊な材料に置き換えることで、工場などから排出されるCO₂を吸収しながら固めることに成功。製造時におけるCO₂の総排出量は、1㎡あたりマイナス18kgになります。つくるたびに地球のCO₂を減らして、サステナブルな街づくりを。私たちも固い意思でCO₂スイコムをつくり続けていきます。



CO₂-SUICOM[®]

CO₂吸収型コンクリート

※写真の臼子川橋では、通常のコンクリートが使用されています。