

CEMENT & CONCRETE

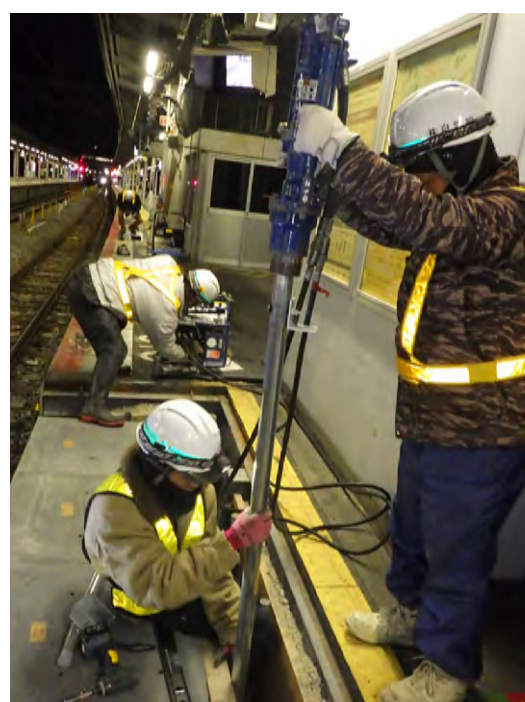
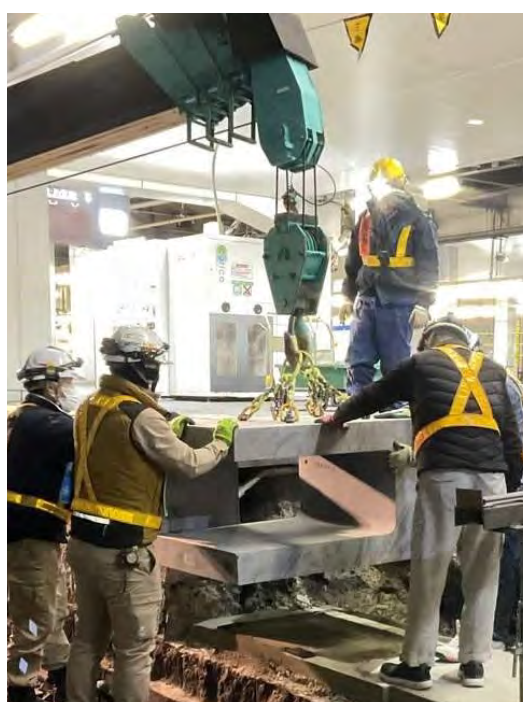
セメント・ コンクリート

令和6年7月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.929

7

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



第10回 セメント協会主催 フォトコンテスト

フォト部門

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

フォトエッセイ部門

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

#セメント協会フォトコン2024



セメント協会
公式Instagramはコチラ



セメント協会 HP
応募フォームはコチラ

テーマ **私たちの安全・安心を支えているコンクリート**

私たちの安全・安心・快適な生活の営みを支えているコンクリート構造物。
日常生活の中で「セメント・コンクリート」を通して安全・安心を感じる写真をご応募ください。

締切 **2024年8月31日(土)** 発表 **2025年1月31日(金)**

未来をカタチに変える創造力

AE減水剤（高機能タイプ）
フローリック SV10シリーズ
AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）
フローリック SL20S・R

高性能AE減水剤
フローリック SF500シリーズ
乾燥収縮低減剤
シュリンクガード/チズミガード/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

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

コンクリート用化学混和剤

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

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2024 No.929

7

もくじ

02	JCA Report 2023年度のセメント生産および操業の概況	… (一社)セメント協会 生産・環境部門
06	北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の構造物の概要	… 宮川 直也ほか
13	高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価	… 佐川 孝広
20	すいそう 大名行列から個食へ	… 西山 峰広
22	超高強度繊維補強コンクリートを用いた 盛土式ホームにおけるホーム柵の基礎	… 石丸 篤ほか
28	ボックスカルバートにグリッドメタルを用いた 接着剤塗布型低弾性PCM補強技術	… 新田 裕之ほか
36	TOPICS 第78回セメント技術大会を開催	
40	セメスタグラム／コンクリートに魅せられて 来島海峡大橋	
42	AIを用いたコンクリート配合導出技術の開発	… 中西 縁ほか
47	ICCC2023 世界のセメント・コンクリート研究の動き④完	… 高橋 恵輔ほか
55	高強度埋設型枠の微細ひび割れ抑制に関する実験的研究	… 秋山 五郎ほか

63	EVENT GUIDE
65	セメント・データファイル
66	主要建設工事・資材統計
68	8月号予告



今月の表紙

盛土式ホームにおけるホーム柵を支える超高強度繊維補強コンクリート(UFC)ブロックの施工[兵庫県／提供：西日本旅客鉄道(株)]

2023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

2023年度のセメント生産量(輸出用クリンカ等を含む)は47,177千t、前年比91.6%と減少しました(表1、図1)。

ポルトランドセメントは33,896千t(前年比92.1%、構成比78.2%)、混合セメントは9,348千t(前年比90.4%、構成比21.6%)、その他のセメントは128千t(前年比89.2%、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0.4%増加し、混合セメントの構成比が前年度より0.3%減少しました。輸出用クリンカ等は3,806千t(前年比91.0%)と減少しました。

表1 種類別生産量

年度		2023年度		2022年度		2023/2022 (%)
種類		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	30,196	69.6	32,850	69.4	91.9
	早強・超早強	2,729	6.3	2,915	6.2	93.6
	中庸熟	793	1.8	843	1.8	94.0
	低熟	175	0.4	207	0.4	84.4
	耐硫酸塩	2	0.0	2	0.0	98.2
	その他	2	0.0	3	0.0	51.5
	小計	33,896	78.2	36,820	77.8	92.1
混合セメント	高炉	8,614	19.9	9,518	20.1	90.5
	シリカ	0	0.0	0	0.0	—
	フライアッシュ	37	0.1	33	0.1	111.2
	その他	697	1.6	786	1.7	88.7
	小計	9,348	21.6	10,337	21.9	90.4
その他のセメント		128	0.3	143	0.3	89.2
計		43,371	100.0	47,300	100.0	91.7
輸出用クリンカ等		3,806	—	4,182	—	91.0
合計		47,177	—	51,482	—	91.6

(注) 四捨五入のため計が合わないことがある。

ポルトランドセメントの種類別の構成比をみると、前年度に比較し、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントは増加しました。

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

なお、シリカセメントは、2010年度以降生産はありません。

2. 操業

2-1. 操業実績^{※1}

2023年度のクリンカ生産量は40,316千t、前年比92.4%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1,948千tの減少、SP(サスペンションプレヒーター付キルン)による生産量は前年度より1,386千tの減少となりました(表2)。

2023年度のクリンカ製造能力の51,098千tに対し、クリンカ生産量が40,316千tであったことから、稼働率は78.9%となりました(表3)。

なお、2024年4月1日現在の回転窯(キルン)基数はNSP41基、SP8基の計49基で、クリンカ製造能力は49,943千tです。

※1 表1の「その他のセメント」の生産に伴うものは含まれていない。

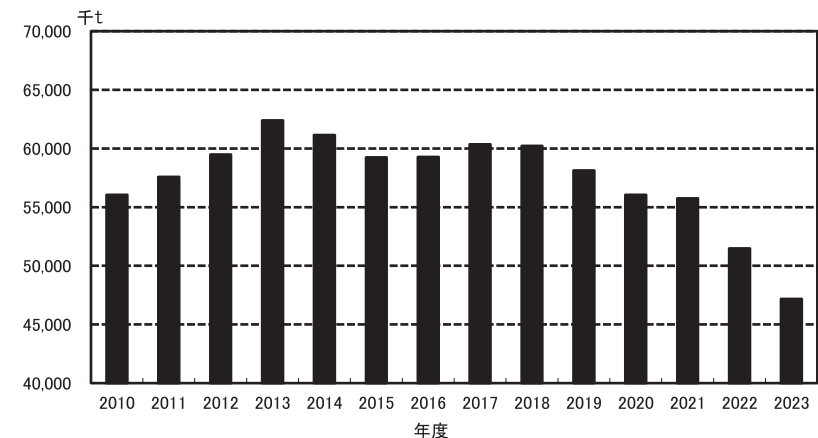


図1 会計年度セメント生産(クリンカ出荷を含む)対比
(2010-2023年度)

表2 製造様式別クリンカ生産量

製造様式		2023年度		2022年度		2023/2022 (%)
		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)	36,699	91.0	38,647	88.5	95.0
	サスペンション (S P)	3,617	9.0	5,003	11.5	72.3
合計		40,316	100.0	43,650	100.0	92.4

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

表3 クリンカ製造能力と稼働率

単位: 千t, %				
年度	元号	クリンカ製造能力 (A)	クリンカ生産量 (B)	稼働率 (B/A)
2000	平成12	87,223	74,542	85.5
2001	平成13	83,309	71,519	85.8
2002	平成14	80,278	68,046	84.8
2003	平成15	78,496	66,510	84.7
2004	平成16	74,247	65,137	87.7
2005	平成17	70,213	67,137	95.6
2006	平成18	70,233	65,461	93.2
2007	平成19	69,783	59,885	85.8
2008	平成20	68,134	55,647	81.7
2009	平成21	63,441	49,195	77.5
2010	平成22	61,477	47,279	76.9
2011	平成23	55,826	48,884	87.6
2012	平成24	54,761	49,883	91.1
2013	平成25	54,951	52,105	94.8
2014	平成26	55,955	51,573	92.2
2015	平成27	56,387	50,307	89.2
2016	平成28	55,962	50,436	90.1
2017	平成29	55,172	51,351	93.1
2018	平成30	55,526	50,979	91.8
2019	令和1	54,589	49,293	90.3
2020	令和2	54,279	47,522	87.6
2021	令和3	53,724	47,338	88.1
2022	令和4	53,202	43,650	82.0
2023	令和5	51,098	40,316	78.9
2024	令和6	49,943	—	—

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

表 4 原料およびエネルギー消費量											
年度			2023年度			2022年度			2023/2022		
			数量	構成比 (%)	原単位 (kg/t,kwh/t)	数量	構成比 (%)	原単位 (kg/t,kwh/t)			
種類											
原料	クリンカー原料	石灰石類	(千t)	49,930	77.1	1,196	54,360	77.4	1,206	91.9	
		粘土類	(千t)	10,442	16.1	227	11,238	16.0	225	92.9	
		珪石類	(千t)	2,976	4.6	71	3,172	4.5	70	93.8	
		鉄原料	(千t)	1,395	2.2	30	1,477	2.1	30	94.4	
		その他	(千t)	3	0.0	0	1	0.0	0	251.7	
		計	(千t)	64,747	100.0	1,523	70,248	100.0	1,531	92.2	
	石こう	天然石こう	(千t)	30	1.9	1	29	1.7	1	101.0	
		化学石こう	(千t)	1,551	98.1	36	1,696	98.3	36	91.5	
		計	(千t)	1,581	100.0	36	1,725	100.0	36	91.6	
	合計		(千t)	66,327		1,559	71,973		1,567	92.2	
エネルギー	品目別	石炭	(千t)	4,584	61.3		5,285	67.2		86.7	
		石油コークス	(千t)	809	14.3		730	11.9		110.8	
		重油	(千kl)	37	0.8		36	0.7		102.3	
		その他	(千kl)	1,125	23.6		983	20.2		114.4	
		計(石炭換算)	(千t)	7,194	100.0		7,600	100.0		0.0	
	用途別	セメント製造用(石炭換算)	(千t)	5,549	77.1	118.0	5,761	75.8	112.2	96.4	
		発電用(石炭換算)	(千t)	1,644	22.9		1,839	24.2		0.0	
		計(石炭換算)	(千t)	7,194	100.0		7,600	100.0		0.0	
	電力エネルギー	供給別	購入	(百万kWh)	2,296	41.2		2,340	39.2		98.1
			自家発電	(百万kWh)	3,277	58.8		3,637	60.8		90.1
			計	(百万kWh)	5,573	100.0		5,978	100.0		93.2
		用途別	セメント製造用	(百万kWh)	5,248	94.2	111.6	5,620	94.0	109.5	93.4
セメント製造以外			(百万kWh)	325	5.8		357	6.0		90.9	
		計	(百万kWh)	5,573	100.0		5,978	100.0		93.2	

- (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。

2-2. 原料使用状況※1

2023年度の原料使用量は、合計で66,327千t、前年比92.2%となりました(表4)。

2-3. 熱エネルギー使用状況※1

2023年度の用途別の熱エネルギーは、セメント製造用が石炭換算(25.95MJ/kg)で5,549千t、前年比96.4%と減少しました。自家発電用は石炭換算で1,644千t、前年比89.5%と減少しました。

この結果、総熱エネルギー使用量は石炭換算で7,194千t、前年比94.7%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61.3%(前年度67.2%)、石油コークス14.3%(同11.9%)、重油0.8%(同0.7%)、その他(エネルギー代替廃棄物)23.6%(同20.2%)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118.0kg/tとなり、前年度より5.8kg/t増加しました。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は前年度より減少しました(図2)。

2-4. 電力エネルギー使用状況※1

2023年度のセメント製造用電力エネルギーの使用量は5,248百万kWh、前年比93.4%となり、前年度より減少しました。また、セメント製造用電力エネルギー原

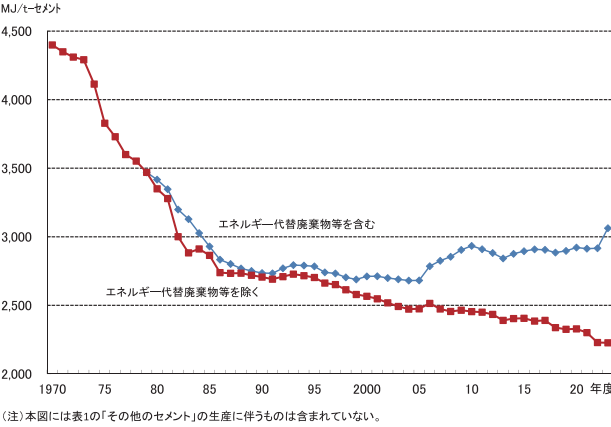


図 2 セメント製造用熱エネルギー原単位の推移

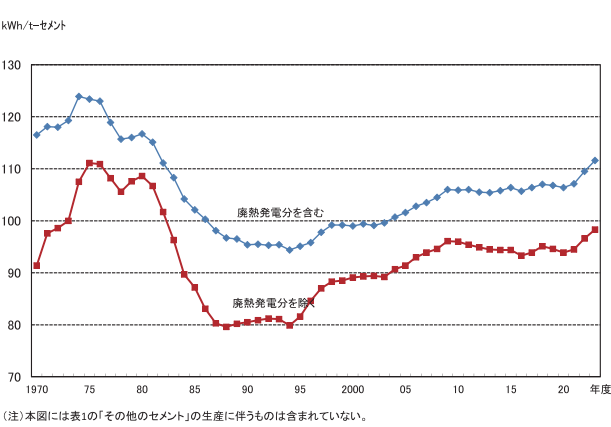


図 3 セメント製造用電力エネルギー原単位の推移

表 5 廃棄物・副産物使用量推移

種 類	主な用途	1990年度	2000年度	2010年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2022年度	2023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	6,893	6,893	6,294
高炉スラグ	原料,混合材	12,213	12,162	7,408	7,301	7,434	7,398	7,852	7,430	6,981	6,939	6,519	6,519	5,420
汚泥,スラッジ	原料	341	1,906	2,627	2,933	3,052	3,255	3,267	3,091	2,950	2,904	2,864	2,864	2,653
副産石こう	原料(添加材)	2,300	2,643	2,037	2,225	2,149	2,179	2,229	2,091	2,032	2,098	2,000	2,000	1,764
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	1,534	1,534	1,418
建設発生土	原料	—	—	1,934	2,278	1,850	1,823	1,531	1,214	1,241	1,159	946	946	963
廃プラスチック	熱エネルギー	0	102	445	576	623	643	718	746	746	774	784	784	794
非鉄鉱滓等	原料	1,559	1,500	682	722	757	795	811	740	725	708	612	612	539
木くず	熱エネルギー	7	2	574	705	642	543	517	450	437	400	379	379	406
製鋼スラグ	原料	779	795	400	395	405	374	387	441	364	439	388	388	385
銲物砂	原料	169	477	517	429	409	446	455	407	336	379	365	365	351
廃白土	原料,熱エネルギー	40	106	238	311	287	287	264	260	260	267	272	272	291
再生油	熱エネルギー	51	239	195	179	195	209	223	236	282	236	256	256	266
廃油	熱エネルギー	90	120	275	293	324	314	335	322	245	302	273	273	257
ガラスくず等	原料	0	151	111	129	141	130	152	165	154	151	142	142	162
肉骨粉	原料,熱エネルギー	0	0	68	57	57	59	60	63	71	71	80	80	62
廃タイヤ	原料,熱エネルギー	101	323	89	57	69	63	70	65	69	68	68	68	62
RDF,RPF	熱エネルギー	0	27	48	37	35	37	40	46	46	34	39	39	51
ボタ	原料,熱エネルギー	1,600	675	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	—	14	253	408	382	438	502	459	506	447	445	462	462	440
合計	—	21,763	27,359	25,995	28,053	27,997	28,332	28,583	27,422	26,155	26,294	24,878	24,878	22,579
セメント生産高		86,849	82,373	55,903	59,074	59,114	60,202	60,074	57,978	55,894	55,588	51,339	51,339	47,049
セメント1t当たりの使用量(kg/t)		251	332	465	475	474	471	476	473	468	473	485	485	480

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」にはシュレッダーダストを含む。
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。

単位は、111.6kWh/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47.6%、購入電力の割合は41.2%でした。

3. 廃棄物・副産物使用状況※1

2023年度の廃棄物・副産物使用量の合計は、前年度より減少の、22,579千t(前年比90.8%)となりました。また、セメント1t当たりの使用量は480kgとなり、前年度より減少しました(表5)。

Overview of the structure of the Hokkaido Shinkansen (Shin-Hakodate Hokuto and Sapporo)

1. はじめに

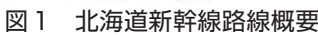
北海道新幹線は、図 1 に示す通り青森市から函館市付近を経て札幌市に至る路線である。このうち、新青森・新函館北斗間は2016(平成28)年3月に開業しており、現在は、新函館北斗・札幌間を建設中である¹⁾。新函館北斗・札幌間は、3市10町1村を通る延長約212kmの路線である。

本稿では、北海道新幹線プロジェクトの概要、主要構造物、セメントコンクリート系材料の選定と設計の考え方などについて述べる。

2. 北海道新幹線路線概要

2-1. プロジェクト概要

北海道新幹線は、1973(昭和48)年に整備計画決



定された路線の一つである。北海道新幹線（新函館
北斗・札幌間）（以下、新函館北斗・札幌間と称す）
には、既設の新函館北斗駅を除いて新八雲（仮称）
駅、長万部駅、倶知安駅、新小樽（仮称）駅、札幌
駅の5駅が建設される。工事は2012（平成24）年6月
の認可を受け、2014（平成26）年8月に村山トンネル（計
画変更により渡島トンネルと一本化）の掘削を開始した。
現在、トンネルを除く橋りょう、高架橋、土構造等（以下、
明かりと称す）区間の主な工事事も着手しており、令和6
年度から明かり構造の建設も本格化している。新函館
北斗・札幌間の主な適用基準は表1の通りである。

2-2. 路線の特徴

(1) 環境条件

気象環境的特徴は、路線全体が寒冷地に当たり、

表1 新函館北斗・札幌間の主な適用基準

鉄道構造物等設計標準	コンクリート構造物 (H16) 【RC 標準】
鉄道構造物等設計標準	耐震設計 (H24)
鉄道構造物等設計標準	基礎構造物 (H24)
鉄道構造物等設計標準	土構造物 (H19) 【土構造標準】
山岳トンネル設計施工標準・同解説	(H20)

表2 主なトンネルと橋りょう

構造物	名 称	延長	工 法	備 考
トンネル	渡島トンネル	32.7km	NATM	北斗市～八雲町
	立岩トンネル	17.0km	NATM	八雲町～長万部町
	内浦トンネル	15.6km	NATM	長万部町～蘭越町
	昆布トンネル	10.4km	NATM	蘭越町～ニセコ町
	羊蹄トンネル	9.7km	SENS	ニセコ町～倶知安町
	ニツ森トンネル	12.7km	NATM	倶知安町～赤井川村
	後志トンネル	18.0km	NATM	赤井川村～小樽市
札幌トンネル	26.2km	シールド	小樽市～札幌市	

構造物	名 称	延長	上部工構造
橋りょう	砂蘭部川橋りょう	188m	3径間連続PC箱ラーメン橋
	遊楽部川橋りょう	217m	3径間連続PC箱ラーメン橋
	第5国経築道橋	135m	2径間連続PC下路ラーメン橋
	長万部架道橋	120m	2径間連続PC下路ラーメン橋
	長万部川橋りょう	180m	3径間連続PC箱形ラーメン橋
	南別登山川橋りょう	150m	2径間連続PC箱形ラーメン橋
	凡別川橋りょう	267m	3径間連続鋼合成箱形橋

中でも倶知安地区では10年確率の積雪深が2.0mを超える。また、最低気温についても-20℃を下回ることがあるような極寒冷地である。整備新幹線としては、北陸の山間部で豪雪地域の経験はあるが、本工区のような極寒豪雪地の経験はない。

また、明かり区間の約半分を占める長万部地区では、内浦湾（噴火湾）沿いの限られた平地部を通り、全域が塩害地区に相当する。

(2) 構造物構成

整備新幹線の構造物種別ごとの割合を図2に示す。

新函館北斗・札幌間は、これまでの整備新幹線に比べてトンネル区間の割合が大きく、総延長の約80%に及ぶ。トンネルの内訳は、山岳工法(NATM)によるトンネルがトンネル区間の約9割を占め、その他のトンネルは、札幌トンネルでシールド工法および開削工法を採用しており、羊蹄トンネルでSENSを採用している。

明かり区間の割合は小さいが、延長は40km強と他の整備新幹線と比較しても短くない。橋りょうは、適用頻度が高い10m～45mまでは5mごとに標準桁を準備して現地の状況に合わせて配置しており、10m～20mまでをRC桁、20～45mまでをPC桁としている。また、

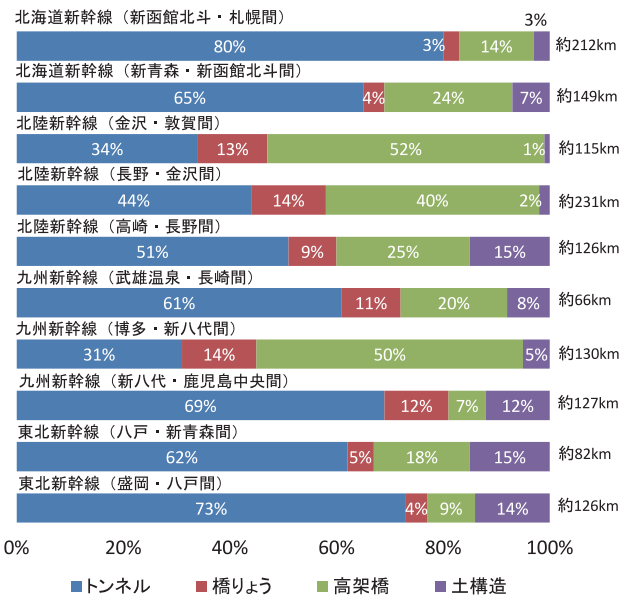


図2 整備新幹線の路線別構造割合

他の桁としては、PC連続桁、鋼合成桁、SRC桁、PC-GRS一体橋²⁾があり、PC連続桁の中には、整備新幹線で初めて張出し架設を採用する予定の2径間連続PC下路ラーメン橋があるなど、特殊橋も多く存在する。**表2**に新函館北斗・札幌間の主要なトンネルと橋りょうを示す。

(3) 高速化

従来、整備新幹線では260km/hを設計最高速度として設計、建設してきたが、新函館北斗・札幌間ではJR北海道からの要望を受け、320km/hとし、走行安全性、乗り心地を満足するような構造物設計を行うとともに、騒音、振動や、トンネル進入時に発生する微気圧波などの検討を行っている。

3. 主要構造物

3-1. 橋りょう・高架橋

新函館北斗・札幌間の橋りょう・高架橋の特徴として、「省力化への取組み」「極寒豪雪への取組み」「高速化への取組み」「寒冷地への取組み」「塩害への取組み」があげられる³⁾。

(1) 省力化への取組み

従来、桁長45m以下のPC桁では現場施工のT形

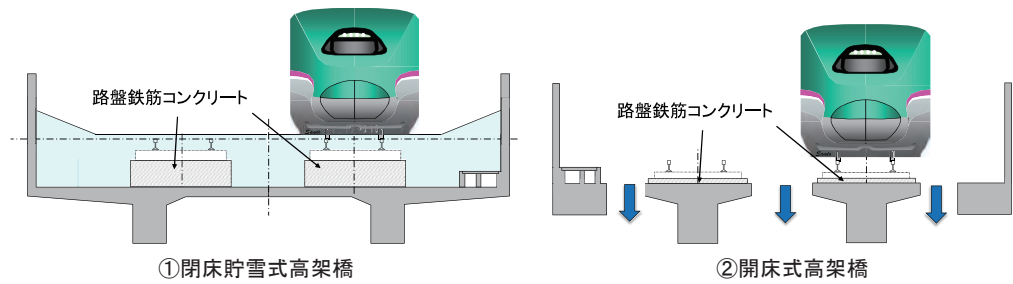


図3 高架橋の形式と雪害対策



写真1 吊下げ式防音壁の試験状況

桁を採用していたが、新函館北斗・札幌間では、桁長25～35mのPC桁の標準設計に工場製作のセグメントU形桁を採用して、現場施工の省力化を図っている⁴⁾。

(2) 極寒豪雪への取組み

整備新幹線として、これまでにない極寒豪雪地域を走行することに配慮する必要があった。具体的には**図3**に示すように①床板からレールまでの高さを高くして貯雪量を確保した貯雪式高架橋、②床板を開口して降雪や列車走行に伴う雪を高架下へ落とす開床式高架橋の二つのタイプがある。

貯雪式高架橋は、東北新幹線や北陸新幹線のような積雪地域において採用した構造である。維持管理の作業において、床版上からレール上への昇降が必要になることが想定されるため、床板上で軌道を支持する路盤鉄筋コンクリートの高さの上限を895mmとしている。このため、施工基面内の貯雪量は路盤鉄筋コンクリートの高さによって決定するため、貯雪量にも上限が存在する。設計積雪深がその上限を超える場合は、従来、本州の線区では、散水消雪が可能であったが、新函館北斗・札幌間では、散水を行うと凍結してしまうため、散水消雪を採用することができない。

必要な貯雪量が確保できないため、その他の対策の一つである開床式高架橋として、路盤鉄筋コンクリート両脇に開口を設けることで、排雪した雪をそのまま下に落とす構造を採用している。開床式高架橋は、北海道新幹線の新青森・新函館北斗間の一部区間で施工実績がある。従来、開床式高架橋は、設計積雪深が深いところに対応できるが、騒音の影響が拡大することを考慮し、騒音対策が不要な箇所での使用に限られた。しかし、都市部でも開床式高架橋を採用する必要が生じたため、騒音については開床部分に吊下げ式防音壁を採用することで対策を行っている。**写真1**は吸遮音性能のある吊下げ式防音壁の騒音低減効果を確認する実験を行った際のものであり、設置により低減効果を確認している。吊下げ式防音壁を使用することで、通常の生活を保全する必要がある類型指定区間でも開床構造の適用を可能とした。

(3) 高速化への取組み

高速化を実現させるため、設計上、構造物の安全性(走行安全性)や使用性(乗り心地)に対し、より厳しい制限値を満足させる必要があった。さらに高速走行に伴う騒音にも配慮する必要があるため、260km/h走行の整備新幹線の橋りょう、高架橋区間では最大R.L(レールレベル)+3.5mの高さであった防音壁を320km/h走行に対応するため、最大R.L+4.5mまで高くした⁵⁾。防音壁の構造例を**図4**に示す。ここで示す半雪覆型は直型よりも施工基面内に貯まる雪を減らせるが、底上に積もった雪が底に沿って施工基面外に落雪しても問題が生じない道路交差部以外に適用している。

(4) 寒冷地への取組み

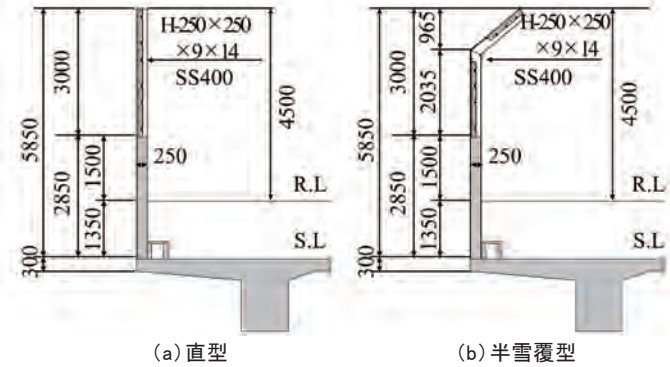


図4 防音壁構造

表3 鉄筋コンクリート構造物ごとの配合表

構造物種別	設計基準強度	部材名称	粗骨材の 最大寸法	スランプの 範囲	空気量の 範囲	最大水セメント比 (%)		単位水量の上限値 (kg/m ³)
	(N/mm ²)		(mm)	(cm)	(%)	普通	高炉	
ラーメン高架橋								
ラーメン高架橋	27	スラブ、上層梁、柱、中層梁	25	12±2.5	5.5±1.5	53	45	175
		地中梁			4.5±1.5	55	55	175
		フーチング	40	8±2.5		55	55	165
桁関係								
RC桁	27	ポストテンション方式桁	25	12±2.5	5.5±1.5	53	45	175
PC桁	30～50					50	－	
橋脚・橋台								
一般的な橋脚・橋台 ラーメン式橋脚	27	く体	25	8±2.5	5.5±1.5	53	45	175
		桁受け梁部		12±2.5				
		フーチング	40	8±2.5	4.5±1.5	55	55	165
杭土圧構造物								
耐震橋台・各種擁壁 ボックスカルバート	27	く体	25	12±2.5	5.5±1.5	53	45	175
		フーチング	40	8±2.5	4.5±1.5	55	55	165

表4 構造物ごとの塩害対策

構造物種別	部材名称	セメントの 種類※3	一般環境		塩害区分A※1,3		塩害区分B※2,3	
			最大W/C※4	設計かぶり	最大W/C	設計かぶり	最大W/C	設計かぶり
ラーメン高架橋	スラブ、上層梁、中間梁	N(BB)	53%(45%)	60mm	45%	100mm	45%	80mm
	柱	N(BB)	53%(45%)	70mm	45%	100mm	45%	80mm
	地中梁、フーチング	N(BB)	55%(55%)	50mm	55%	50mm	55%	50mm
RC桁	主桁※5	N(BB)	53%(45%)	60mm	45%	100mm	45%	80mm
	スラブ(上面、下面)※5	N(BB)	53%(45%)	60mm	45%	100mm	45%	80mm
PCT桁	桁本体	H	50%	50mm	40%	90mm	45%	80mm
	スラブ(上面、下面)	H	50%	50mm	40%	100mm	45%	90mm
PCU桁※5	主桁	H	50%	50mm	40%	50mm	40%	50mm
	スラブ(上面、下面)	H	50%	50mm	40%	50mm	40%	50mm
一般的な橋脚、 橋台 ラーメン式橋脚	く体、桁受け梁	N(BB)	53%(45%)	70mm	45%	100mm	45%	80mm
	フーチング	N,BB	55%	50mm	55%	50mm	55%	50mm

※1塩害区分Aとは海岸線からの距離250～500m未満を指す

※2塩害区分Bとは海岸線からの距離500～1000m未満を指す

※3一般環境では、PC桁を除き同単価である場合のみBBとし、塩害環境下ではBBを指定する

※40内の数値はセメント種BBに対応する

※5塩害区分A,Bにおいてエポキシ樹脂塗装鉄筋を採用することを標準とする

柱から上の構造物のコンクリートの配合は従来までの寒冷地を踏襲するものとし、**表3**に示す各構造物の標準的な配合条件のように空気量は4.5±1.5%から5.5±1.5%に高め、水セメント比を2%低減し、鉄筋かぶりを10mm増やす対策を行っている。また、これまでにない過酷な寒冷地を通過するには水中凍結融解試験法(A法)を改良し、-25度まで低下させる試験を行

い、性能を確認している⁶⁾。

(5) 塩害への取組み

新函館北斗・札幌間の中で長万部地区が塩害対策区間であり、RC標準⁷⁾で塩害対策が必要と定められているS1地域に該当している。RC構造物の塩害対策は、**表4**に示すように海岸線からの距離に応じて2区分とし、それぞれに対策を定めている。具体的な

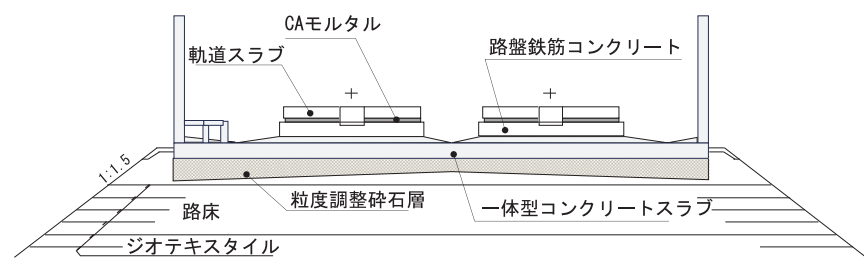


図5 一体型路盤構造の例

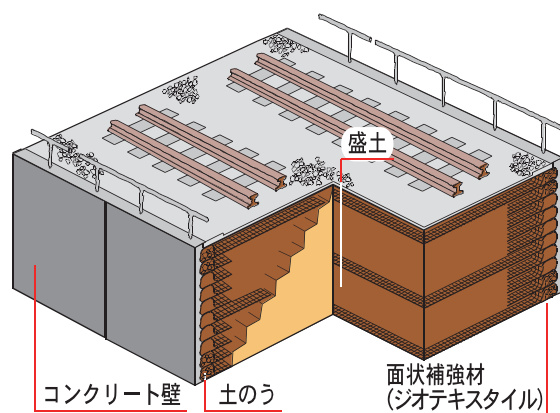


図6 盛土補強土擁壁

対策としては、高炉セメントの使用、最大水セメント比の低減および鋼材のかぶり増によることを基本としているが、使用性のひび割れの照査で部材が決定する断面や、鋼材かぶり増による対応が著しく不経済となる場合はエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いている。なお、PCU形桁については塩害対策の有無で桁の断面を変えた場合、工場製作上の型枠転用面で優位性を欠くため、塩害対策を講じた桁については設計段階でPEシースを適用している⁴⁾。

3-2. 土構造物

九州新幹線のような温暖地の整備新幹線では、軌道を支持するコンクリートスラブは、線路方向に連続した上下線で分離しており、両者の間や外側は水路を目的としたコンクリートまたはアスファルトで覆った構造であるが、本工区のような地盤の凍上の可能性のある地域では地盤内への水の浸透を抑制し、冷気が地盤まで到達しづらくすることも目的として図5に示すような一体型のコンクリートスラブを採用している。

盛土構造では、既設線区と同様にジオテキスタイル

と呼ばれる合成繊維の面状補強材を盛土材やセメント改良土の中に敷設した補強盛土を採用している。土構造標準⁸⁾では、整備新幹線の本線盛土(性能ランクI)としてのり面勾配を1:1.8としているが、新函館北斗・札幌間では、面状補強材の敷設効果による盛土の安定性の評価ならびに累積沈下量の低減効果を評価することにより、1:1.5としている。

また、道路、在来線や河川が近接し、用地に課題がある場合には、図6に示す盛土補強土擁壁を採用している。盛土補強土擁壁は、盛土内に敷設された面状補強材とコンクリート壁を一体化することで、盛土のり面を鉛直にすることができる工法である。

盛土は高架橋より経済的となる場合もあるが、鉄道盛土によって地域が分断される他、高盛土となると周囲に圧迫感を与えるために適用されないこともある。また、鉄道盛土の支持地盤によっては地盤改良が必要となり、経済的に不利になることも多い。新函館北斗・札幌間では、長万部地区のほか、延長は短いですが、各トンネルの出入り口部で採用している。

3-3. トンネル

NATMは地山の有する支保能力を最大限に活用しつつ、地山の補強を目的に鋼製支保工を建て込み、吹付けコンクリートやロックボルトを打設して地盤の安定を確保しながらトンネルを掘進する工法である。地山が安定した後に、トンネル形状の型枠であるセントルを用いて覆工コンクリートを打設するが、その際に整備新幹線トンネルでは、品質および防水性の向上を目的に背面平滑型トンネルライニング工法(FILM)を採用している。当工法は、図7に示す通り、トンネル形状の型枠

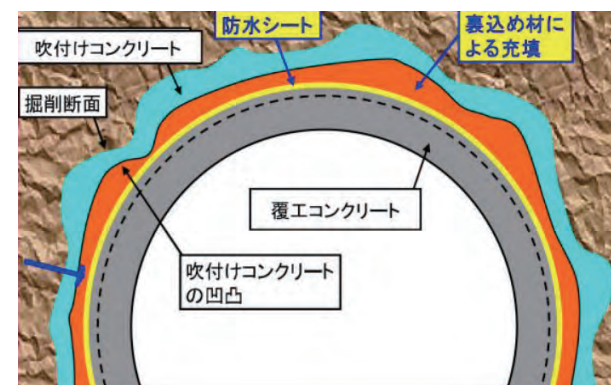


図7 FILM 概要



写真2 SENS掘削マシン

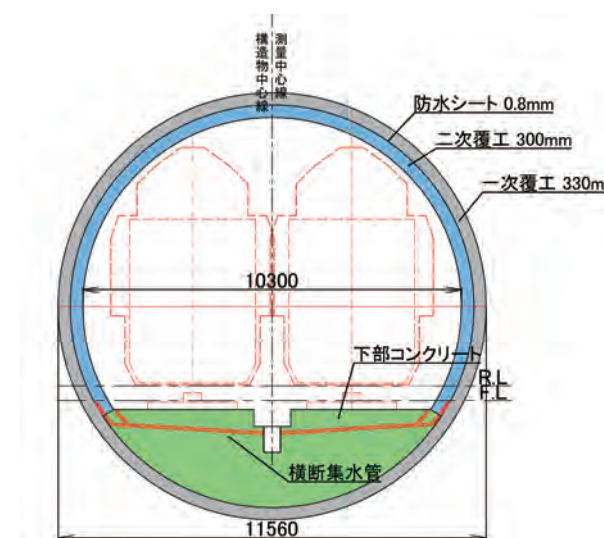


図8 SENSトンネル 横断面図

外周面に防水シートを貼り、吹付けコンクリートの凹凸部と防水シートとの空隙に裏込め材(モルタル)を充填することで覆工コンクリート背面を平滑なトンネル形状に仕上げる工法である。特徴としては、吹付けコンクリートやロックボルトの凹凸が原因となる防水シート破損の大幅な減少を図ることである。また、覆工背面の凹凸による覆工コンクリート充填不良の発生を大幅に低減するほか、覆工厚が均一になることで覆工コンクリートにおける応力集中や圧縮などの現象を抑制する⁹⁾。

新函館北斗・札幌間でNATM以外を採用している工区としては、札幌トンネルではシールド工法を、羊蹄トンネルではSENSを採用している。そのうち、羊蹄トンネルで施工しているSENSは、含水未固結地山を対象として開発された工法であり、現在施工中の工事を含めこれまでに新幹線、在来線で5件の施工事例がある。初めて採用されたのは東北新幹線の三本木

原トンネルで、新幹線では、北海道新幹線の津軽蓬田トンネルに続き3例目である。シールド(写真2)を用いて掘削することにより、NATMと比較して地山のゆるみを抑制し、切羽の安定を確保しながら掘削する。羊蹄トンネルの断面図を図8に示す。覆工にはNATMの考え方を導入し、一次覆工に工場製品であるセグメントではなく、場所打ちコンクリートを用いることにより、一次覆工にセグメントを使用するシールド工法に比べ経済性向上を目指している。このため、SENSは、NATMの適用地山としてはやや固結度が低く、シールド工法の適用区間としては硬固な地山に適用されている。

SENSは、掘進と一次覆工の施工が同時に行われる。一次覆工は、コンクリートを打設する際の周辺地山に対する安定性と、トンネル完成後の永久構造物としての構造安定性との両面で検討する必要がある。

高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価

Evaluation of hydration of cement with ground glanulated blast furnace slag

佐川 孝広

1. はじめに

わが国のコンクリート産業において、1970年代の第一次石油危機、1980年代のアルカリ骨材反応の顕在化、1997年のCOP3京都会議などの社会情勢を背景として、副産物の有効利用、コンクリートの高性能化、CO₂排出量の削減などを目的に、セメント生産量に占める高炉セメントの比率は、1970年代での5%程度以下から近年では20%程度まで増大している¹⁾。さらに近年では、2020年のわが国の2050年カーボンニュートラル(CN)宣言、2021年の2030年度温室効果ガス削減目標の引き上げ等を背景に、いわゆる低炭素コンクリート、実質のCO₂排出量をゼロ以下とするようなCNコンクリートに関する研究、技術開発が加速しており、たとえば本誌の2022年2月号(No.900)では、『カーボンニュートラルとセメントのこれから』、と題した特集号が発刊されている。

これら低炭素コンクリート、CNコンクリートを実現する基盤技術は、ポルトランドセメントに混和材を大量置換したコンクリートである。混和材は、フライアッシュを使用した場合は反応メカニズムの上で大量使用は難しく、わが国のエネルギーミックスの再考からコンクリート



さがわ たかひろ / SAGAWA Takahiro
前橋工科大学工学部
環境・デザイン領域
准教授 博士(工学)

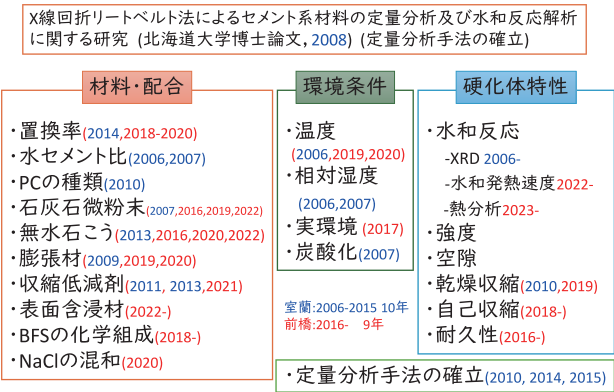


図1 筆者が行った高炉セメント、高炉スラグ微粉末に関する一連の研究

用フライアッシュ入手への懸念もあり、高炉スラグ微粉末の使用が好適である。高炉スラグ微粉末を用いたセメントに関する研究は古くより行われており、たとえば近藤連一による一連の研究や²⁾、第10回セメント協会論文賞を受賞した田中らの研究を挙げることができる³⁾。また筆者は、2005年に北海道大学の社会人博士課程に入学してから今日まで、高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応に関する研究を進めてきた(図1)。本稿では、研究に至る背景や、これまでの高炉セメント、高炉スラグ微粉末に関する一連の研究の概要、および今後の課題や展望について概説する。

2. 水和反応の評価と分析技術

コンクリート構造物の構造性能や耐久性能を評価・予測するには、経験式を用いたり、把握している諸現

表5 SENS一次覆工の要求性能

流動性	フレッシュ保持性	強度発現性		ポンプ圧送性	材料分離抵抗性	水中不分離性	
練上り時 650±50mm	4時間後における50cmフロー 到達時間26.3秒以上180秒以下		圧縮強度	3インチ配管で30mの 距離に5m ³ /hを打設可能に	圧送および充填性に 材料分離を生じない	ph値 12.0以下	懸濁物質量 500mg/l以下
		24時間	15N/mm ²				
		28日	30N/mm ²				

表6 SENS一次覆工の配合例

W/C (%)	s/a (%)	水(W) (kg/m ³)	セメント(C) (kg/m ³)	細骨材(S) (kg/m ³)	粗骨材(G) (kg/m ³)	増粘剤(V) (W×%)	高性能減水剤(C×%)	分散剤(C×%)	消泡剤(V×%)
42.9	55	216	503	834	697	10.8kg/m ³	10.0kg/m ³	6.5kg/m ³	8.1kg/m ³
						5.0%	2.0%	1.3%	75.0%

羊蹄トンネルの一次覆工コンクリートの要求性能は表5のとおりである¹⁰⁾。

流動性は、充填性、ポンプ圧送性や打設圧低減等を目的としており、所要の粘性は、水中不分離性や材料分離抵抗性ならびに切羽へのコンクリートの回り込み防止等に必須の項目である。

フレッシュ保持性は掘進や配管清掃等を円滑に行うことを目的としており、所要の強度性状は施工効率を高めるために必要である。

一次覆工コンクリートの設計においてフレッシュ保持性と強度性状は相反する要求性能であり、これらの両立を考慮したうえで、温度等の環境の変化に対しても安定した性能を発揮し、所要の耐久性を有するコンクリートとしなければならない。

羊蹄トンネルで使用している一次覆工コンクリートの配合例を表6に示す。

4. 今後の展望

新函館北斗・札幌間の開業により、新幹線沿線および北海道全体の発展に寄与するため、今後も鉄道・

【参考文献】

- 岡田良平／北海道新幹線(新青森・新函館北斗)間の概要、セメント・コンクリート、2016.1
- 進藤良則、齋藤真秀、玉井達樹／長スパン化に適用したPC構造GRS一体橋梁の設計・施工、橋梁と基礎、2022.11
- 南邦明、磯谷篤実／北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の橋りょう・高架橋の構造計画、橋梁と基礎、2024.1
- 朝長光、池端文哉、河内和樹／北海道新幹線へのPCaセグメント桁(PCU形桁)の適用、セメント・コンクリート、2024.1
- 齋藤真秀、進藤良則、朝長光、徳永宗正、石川太郎／北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)における防音壁の設計、土木学会第25回鉄道工学シンポジウム論文集、pp.97～103(2021.7)
- 石井秀和、進藤良則、井上翔、朝長光／-20℃を超える寒冷地におけるコンクリートの品質確保の検討、土木学会第72回年次学術講演会、pp.957～958、2017.9
- (公財)鉄道総合技術研究所／鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)、2004.4
- (公財)鉄道総合技術研究所／鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物)、2007.1
- (独)鉄道・運輸機構／山岳トンネル設計施工指針、2023.3
- (独)鉄道・運輸機構／シールドを用いた場所打ち支保システムの設計施工指針(案)、2016.12

お知らせ

複写についてのご願い

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

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

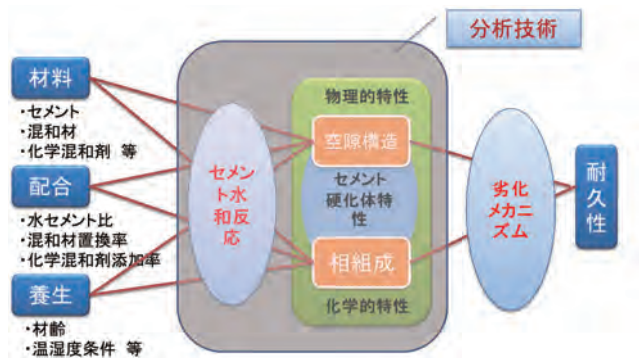


図2 セメント硬化体の物理的・化学的性質に基づいた耐久性評価⁵⁾

象を工学的に要約・簡略化して行われる場合が多い。しかし、混和材料など使用材料の多様化に伴って従来の水セメント比を主軸とした評価手法や、セメント種類の予測式での対応は困難である。高炉スラグ微粉末を用いたセメントの品質に影響を及ぼす要因として考えられるものを列記すると、置換率、化学組成（塩基度）、ベースセメントの種類、少量混合する石こうや石灰石微粉末の影響など多岐にわたる。現在でも、これら各種の影響要因が体系的に理解されているとはいいがたく、加えて高炉セメントの硬化特性は、養生温湿度等の環境条件にも強く左右され、諸現象の解明は現在でも十分とはいえない。これらコンクリートの性能を把握するためには、強度発現や硬化体の緻密化といった現象の最上流にある水和反応を理解することが肝要であり、高炉スラグ微粉末を混和した影響の把握が重要となる。高炉スラグの潜在水硬性によって、セメント硬化体の空隙構造（物理的性質）や水和物相組成（化学的性質）はポルトランドセメントのみを使用した場合とは変化し、コンクリートの強度、耐久性を左右すると考えられる。このような現象の解明、ならびにモデル化には、的確な実験事実を取得するための分析技術が必要となる⁴⁾。図2には、以上のセメント硬化体の物理的・化学的性質に基づいた耐久性評価の概念を示す⁵⁾。

以降では、筆者らが提案している分析手法である粉末X線回折（XRD）/リートベルト法による高炉セメントの水和反応解析⁶⁾にて得られた結果を中心に、「材料・配合」（置換率、化学組成）、「環境条件」（温度）、

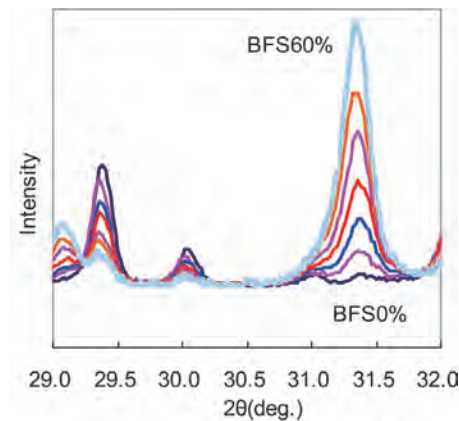


図3 加熱試料の高炉セメントのXRD プロファイル¹²⁾

「硬化体特性」（強度、空隙、自己収縮）に関する研究結果を紹介する。

3. 高炉スラグを用いたセメントの水和反応

3-1. 水和解析と空隙率の測定

リートベルト法は、元来粉末多結晶物質の結晶構造の精密化のために考案された手法であり、実測のXRDプロファイルと計算したプロファイルの残差自乗和を最小にする1組の可変パラメーターの組み合わせを非線形最小二乗法により決定するパターンフィッティング法の一種である。対象試料に複数の鉱物が含まれていて、それぞれの相について結晶構造を精密化した場合、リートベルト解析を行った結果としてそれぞれの鉱物の質量分率を求めることができる。リートベルト法によるセメント系材料の定量分析は、セメント鉱物の定量では1990年代より^{7,8)}、セメント鉱物の反応率や水和生成物量の定量といったポルトランドセメントの水和反応解析へは2004年にそれぞれ報告されている^{9, 10)}。

XRDは本来、結晶性化合物を対象とした分析手法であるが、一方で高炉スラグはほぼ100%が非晶質である。しかし筆者らは、高炉スラグは900℃程度に加熱すると結晶化する原理を利用して、リートベルト法により高炉セメント中のスラグ混合率を精度よく測定できることを示した¹¹⁾。

図3には、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微

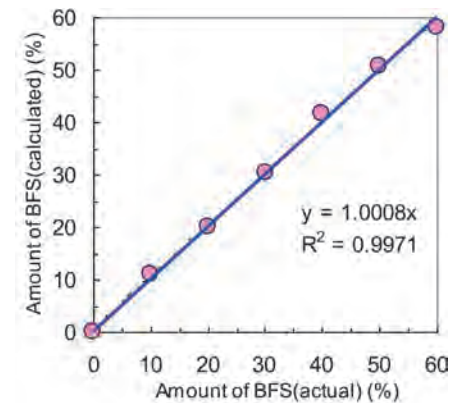


図4 高炉セメントのスラグ混合率の実際の値と測定値との関係¹²⁾

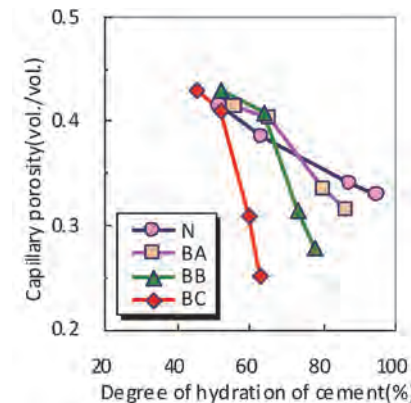


図6 セメント反応率と毛管空隙量との関係¹⁸⁾

粉末を0～60 % 混合した試料を加熱処理し、XRDの測定を行った結果を、図4には、スラグ混合率の実際の値とリートベルト法による測定結果との関係をそれぞれ示す¹²⁾。高炉スラグは非晶質であるが、加熱処理することでMelilite（Gehlenite-Akermanite固溶体）へ結晶化することが知られており、図3に示すようにスラグ混合率が増すごとに31.4deg.付近のMeliliteのピークが増大し、29.4deg.付近のC₃Sの単独ピークが減少する傾向が認められた。また、図4より、高炉セメントのスラグ混合率の実際の値と測定値はほぼ一致しており、本手法により高炉セメントのスラグ混合率をきわめて正確に測定できた。なお、当該手法以外では、結晶構造モデルを必要としない定量法（PONKCS, Partial Or No Known Crystal Structure）¹³⁾を用いて、高炉スラグ量を定量した事例も報告されている^{14,15)}。その他、リートベルト法を用いたコンクリート系材料の定量分析に関し、概説も執筆しているのでそちらも参照されたい¹⁶⁾。

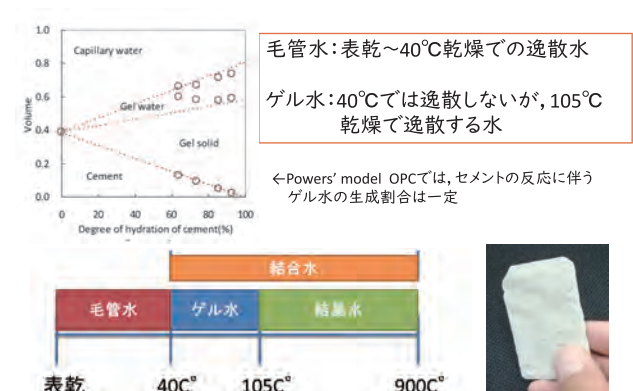


図5 セメント硬化体中の水分と空隙の定義

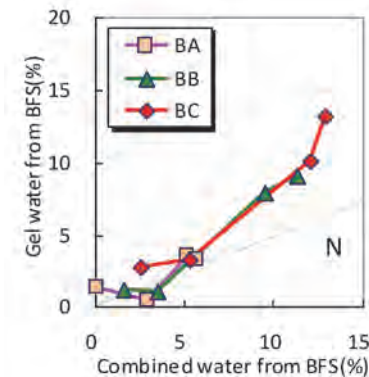


図7 スラグの水和により生成する結合水とゲル水量との関係¹⁸⁾

さらに、XRD/リートベルト法を高炉セメントの水和反応解析に適用し、微細空隙構造との関係について検討した結果を紹介する¹⁷⁾。ここで、セメント硬化体中の水分と空隙は図5のように測定、定義した。セメントペースト硬化体は、図中のような薄板状に作製し、水中養生を行った。所定の材齢にて試料の表乾質量と40℃および105℃の24時間乾燥質量をそれぞれ測定し、毛管水は表乾から40℃乾燥での逸散水、ゲル水は40℃乾燥では逸散しないが105℃乾燥で逸散する水と定義し、毛管水、ゲル水の体積を毛管空隙、ゲル空隙量とした。簡便な測定手法であり、厳密さを欠く部分もあるが、図示される通り水セメント比50%の普通ポルトランドセメントを用いた測定結果では、毛管空隙、ゲル空隙量はPowers' modelでの算定結果と比較的よく一致した。

図6には、普通ポルトランドセメント（N）、高炉セメントA種（BA）、B種（BB）ならびにC種（BC）を用いた

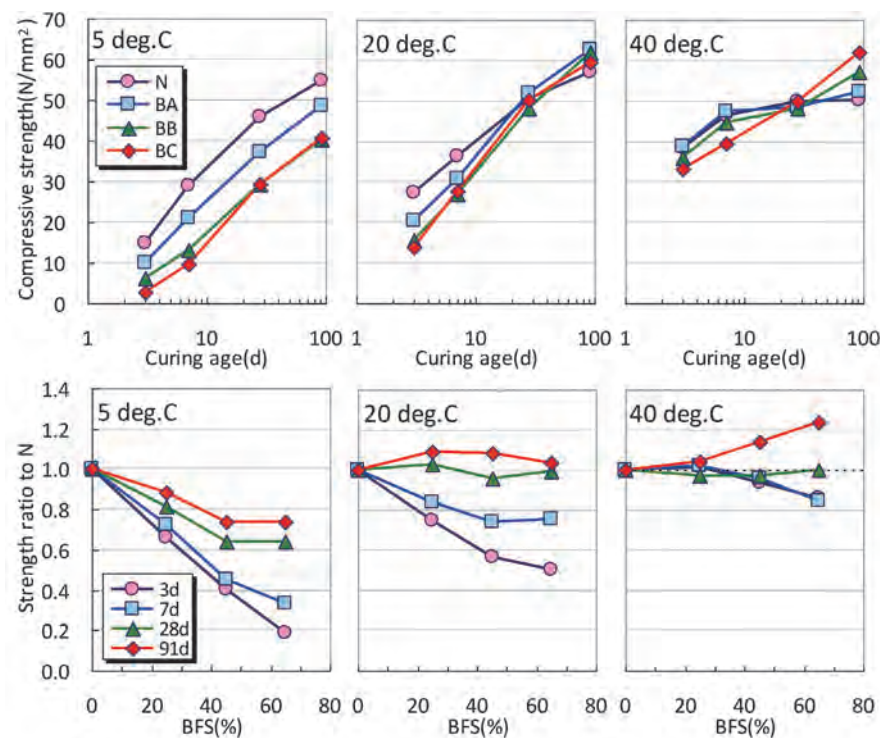


図8 モルタル圧縮強度および圧縮強度比²¹⁾

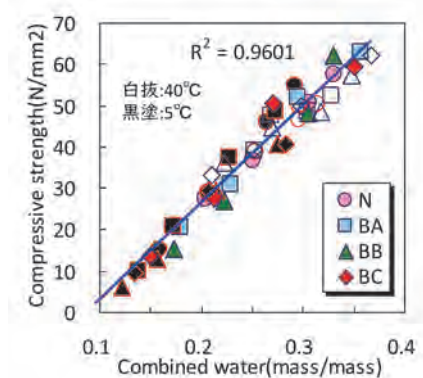


図9 結合水量と圧縮強度との関係²¹⁾

セメント硬化体のセメント全体としての反応率と毛管空隙量との関係を示す¹⁸⁾。Nでは、セメントの水和反応の進行に伴い毛管空隙は直線的に減少するのに対し、高炉セメント系では、材齢7日以降でセメント水和反応のわずかな進行で毛管空隙は著しく減少し、その傾向はBA、BB、BCとスラグ置換率が増すほど顕著となった。

図7には、スラグ水和由来の結合水量とゲル水量との関係を示す¹⁸⁾。図中にはNでの双方の関係を併せて示すが、スラグはNと比較してゲル水の生成が多い傾向を示した。この結果は、高炉セメントの水和反応が硬化体特性に及ぼす影響を評価する上で重要な知

見である。高炉セメントの水和反応と空隙構造の形成との関係は、ポルトランドセメント単体の系とは大きく相違し、長期材齢においてゲル水量は著しく増大し、このゲル水量の増大はC-S-Hの保有するゲル空隙量の増大に起因すると考えられる。なお、高炉セメントの水和反応-微細構造形成と強度発現に関する研究は、以前本誌に掲載した¹⁹⁾。

3-2. 養生温度、置換率の影響

高炉スラグの水和反応は、ポルトランドセメントと比較して温度依存性の高いことはこれまでも指摘されてきた²⁰⁾。図8には、N、BA、BBおよびBCを用いたJISモルタルの5、20、40 °Cでの圧縮強度およびNと比較した圧縮強度比をそれぞれ示す²¹⁾。図示される通り、高炉セメントの強度発現はスラグ置換率および養生温度で大きく相違し、総じてスラグ置換率が高いほど強度発現に及ぼす温度依存性は高くなった。

図9には、結合水量とモルタル圧縮強度との関係を示す²¹⁾。高炉スラグの置換率や養生温度を問わず、結合水量とモルタル圧縮強度には高い相関が認められた。結合水量はセメントや高炉スラグの水和反応の進

表1 高炉スラグの化学組成(%)および塩基度

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	CMA/S
A	33.16	15.23	0.45	42.09	7.12	0.82	1.94
B	32.66	15.50	0.79	42.56	6.61	0.75	1.98
C	35.55	13.31	1.33	43.13	5.07	0.58	1.73
D	33.58	14.63	0.59	43.74	5.53	0.50	1.90
E	34.53	15.17	0.39	41.65	6.36	0.60	1.83
F	32.26	14.84	0.73	43.67	6.98	0.45	2.03

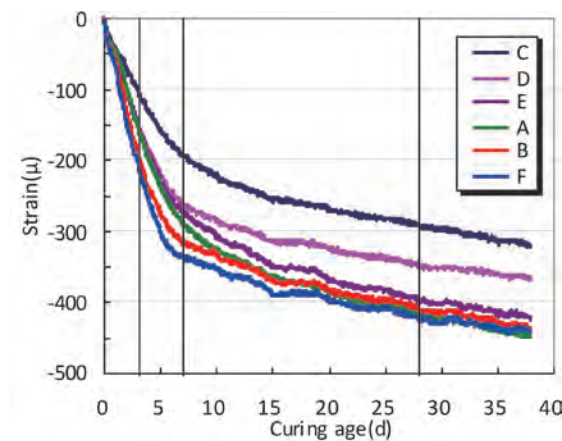


図10 自己収縮測定結果²⁴⁾

行程度を表す物理量であり、水セメント比が同一であれば、材料や養生条件に関わらず結合水量の値にて硬化体の圧縮強度が定まることが考えられた。

3-3. 高炉スラグの化学組成の影響

高炉セメントに用いる高炉スラグの水和活性は、一般にJIS A 6206に定められる活性度指数にて強度発現が評価され、化学組成に基づく指標は、塩基度 $(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ (CMA/S、以下JIS塩基度と称す)が用いられている。しかしながら、同一JIS塩基度であっても活性度指数が異なる場合もある等の指摘もあり、JIS塩基度以外の指標に関する検討も報告されている²²⁾。これまでの研究での主たる検討は強度発現に関するもので、高炉スラグの化学組成が硬化体の自己収縮特性や耐久性に及ぼす影響についての報告は少ない。ここでは、表1に示す粉末度が $4,300\text{cm}^2/\text{g}$ 程度でJIS塩基度が1.73-2.03の範囲の6種類の高炉スラグ微粉末を用いて高炉セメントB種を作製し、JISモルタルの圧縮強度、水セメント比35%

のモルタルの自己収縮ならびにセメント水和反応解析を実施した結果を報告する^{23,24)}。

JISモルタルの材齢3-28日の圧縮強度は、前述のJIS塩基度式を $(\text{CaO}+0.063\text{MgO}+0.185\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ と修正することで、塩基度と圧縮強度との相関の寄与率が最大となった。したがって、高炉セメントの強度発現に及ぼす高炉スラグの化学組成の影響はCaO、MgO、Al₂O₃で等価ではなく、CaOの寄与が大きいと考えられる。

図10には、自己収縮の測定結果を示す²⁴⁾。凡例は、材齢28日での自己収縮量の順に並び変えた。図示されるように、高炉スラグの化学組成に依存してモルタルの自己収縮量は異なった。

表2には、材齢28日での自己収縮量と高炉スラグの化学組成および水和解析や圧縮強度試験で得られた各種特性値との相関をとった際の寄与率(R²)を示す²⁴⁾。自己収縮量は正の値とし、表中の青字は逆相関、赤字は正相関で寄与率が高かったものである。高炉セメントの自己収縮は、高炉スラグの化学組成ではSiO₂、Al₂O₃、MgO量との相関が高かった。一方でCaO量との相関は認められなかった。そのため、JIS塩基度(CMA/S)よりもCaOの項を含まない $(\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ (MA/S)とで相関が高くなった。したがって、Al₂O₃、MgOが多く、SiO₂の少ない高炉スラグの組成で自己収縮が大きくなる可能性が示唆された。また、モルタル圧縮強度と自己収縮量の間には相関は認められなかった。

水和反応解析結果と自己収縮量との関係をみると、高炉スラグの反応率(DOH)やエトリンガイト(Aft)、

表2 材齢28日自己収縮量との寄与率²⁴⁾

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CMA/S	MA/S	SO ₃ /Al ₂ O ₃ (mol/mol)	Strength (28d)	AFm (7d)	HT (28d)	Aft (7d)	DOH (28d)
R ²	0.66	0.84	0.13	0.93	0.68	0.95	0.84	0.33	0.77	0.55	0.15	0.06

C-S-H生成量との相関は認められないが、モノサルフェート(AFm)およびハイドロタルサイト(HT)生成量との間に相関が認められた。セメント硬化体の自己収縮に影響を及ぼす要因として、AFtからAFmへの転化時に大きく体積減少することが指摘されており、そのためAFm生成量が多いと自己収縮が大きくなると考えられる。したがって、本実験の範囲でAl₂O₃、MgO量の多いスラグはAFm、HT生成量が多くなるために自己収縮が大きくなると推察される。

4. おわりに

本稿では、筆者らがこれまで行ってきた高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応を評価し、空隙構造形成、強度発現、自己収縮といった硬化体特性に及ぼす材料・配合条件、環境条件等の影響に関する一連の研究の一部を紹介した。誌面の都合もあり十分な記述となっていない部分もあるが、詳細は引用元の文献等を参考にされたい。

コンクリートの性能の把握には、諸現象の最上流にある水和反応の理解が重要であり、的確な実験事実を取得する分析技術が必要と考えている。ただし、水和反応の理解は目的ではなくコンクリートの性能を把握したり、現象を説明できるメカニズムを解明したりするための手段であることを肝に銘じ、今後も研究に取り組んでいきたい。

なお、本稿のはじめにも記述したように、CNコンクリートを実現するための基盤技術として、高炉スラグを大量に利用したコンクリートへの関心が近年急速に高まっている。しかし、2050年脱炭素社会の実現という現在の流れは、今後の社会情勢の変化で方向転換されないとも限らず、たとえば現状の脱炭素政策の弊害の顕在

化を指摘し、CO₂排出総量の目標を置かないようなエネルギー政策も提言されている²⁵⁾。低エネルギー(≒低CO₂)でコンクリート構造物を建造できることが素晴らしいことは論を俟たない。ただし環境負荷の低減のみならず、本稿ではあまり紹介できなかったが、高炉スラグを用いたコンクリートは、一般に長期強度発現性や塩化物イオンの固定化能力に優れ、アルカリシリカ反応の抑制に有効であり、コンクリートの高性能化、高耐久化を実現する材料でもある。したがって、CNばかりに囚われず、建設材料としての高炉セメント・高炉スラグ微粉末についての研究を継続することが肝要と考えている。

【参考文献】

- 鉄鋼スラグ協会／鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用(2024年度版)、p.85, 2024
- 近藤連一先生追悼記念誌、1981
- 田中弘文、戸谷陽一、齊藤豊／ガラス状高炉スラグおよび合成スラグの水和、セメント技術年報、No.35, pp.53～56, 1981
- 土木学会コンクリート技術シリーズ74、混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333委員会)報告書ならびにシンポジウム講演概要集、2007
- 蔵重勲他／セメント硬化体の総組成を考慮した耐久性能評価技術の現状と課題、電力中央研究所報告、調査報告N05061、2006
- 佐川孝広／ X線回折リトベルト法によるセメント系材料の定量分析及び水和反応解析に関する研究、北海道大学博士論文、2008
- J. C. Taylor and L. P. Aldridge／ Full profile Rietveld quantitative XRD analysis of Portland cement／ Standard XRD profiles for the major phase tricalcium silicate, Powder Diffr., Vol.8, No.3, pp.138～144, 1993
- 吉野亮悦、住田守／ Rietveld法によるセメント鉱物の定量、セメント・コンクリート論文集、No.53, pp.89, 1999
- K. Scrivener et al.／ Quantitative study of Portland cement hydration by X-ray diffraction /Rietveld analysis and independent method, Cem. Concr. Res., Vol.34, No.9, pp.1541～1547, 2004
- 佐川孝広他／セメント鉱物の反応率に及ぼす水セメント比と養生条件の影響、セメント・コンクリート論文集、No.58, pp.23～30, 2004
- 佐川孝広、名和豊春／リトベルト法及び選択溶解法による高炉スラグの反応率測定、コンクリート工学年次論文集、Vol.28, No.1, pp.209～214, 2006
- T. Sagawa and T. Nawa／ Quantitative Determination of Blast Furnace Slag Content in Cement by Novel Heat-treated XRD/Rietveld method, 第64回セメント技術大会講演要旨、pp.240～241, 2010
- N. V. Y. Scarlett and I. C. Madsen／ Quantification of phases with partial or no known crystal structures, Powder

Diffract. Vol.21, pp.278～284, 2006

- M. Yamashita and H. Tanaka／ Determination of Slag Content in Blended Cement by XRD/Rietveld Method without Adding Internal Standard, 13th Int. Congr. Chem. Cem, 2011
- R. Snellings, A. Salze and K. Scrivener／ Use of X-ray diffraction to quantify amorphous supplementary cementitious materials in anhydrous and hydrated blended cements, Cem. Concr. Res., Vol.64, pp.89～98, 2014
- 佐川孝広／粉末X線回折/リトベルト法によるコンクリート系材料の定量分析、コンクリート工学、Vol.56, No.5, pp.448～453, 2018
- 佐川孝広、石田哲也、Yao Luan、名和豊春／高炉セメントの水和物組成分析と空隙構造特性、土木学会論文集E、Vol.66, No.3, pp.311～324, 2010
- 佐川孝広、門間永悟／高炉セメントの水和物組成と空隙構造特性に及ぼすスラグ置換率の影響、第72回セメント技術大会講演要旨、pp.70～71, 2018
- 佐川孝広、石田哲也、Yao Luan、名和豊春／高炉セメントの水和

パンフレット・セメントの底力

セメントはわが国の防災インフラ整備を支えています

セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本

大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの

自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット（A4判・16ページ）を作成しました。

様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・渇水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03－5540－6181

セメント規格がわかる本

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

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

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

反応-微細構造形成と強度発現に関する研究、セメント・コンクリート、No.776, pp.7～15, 2011

20) 佐川孝広、名和豊春／リトベルト法による高炉セメントの水和反応解析、コンクリート工学論文集、Vol.17, No.3, pp.1～11, 2006

21) 佐川孝広、田中拳太郎／スラグ置換率と養生温度が異なる高炉セメントの強度発現と水和反応、第75回セメント技術大会講演要旨、pp.194-195, 2021

22) 伊藤貴康、三隅英俊、高橋俊之／ CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO系スラグの活性度指数に及ぼす化学成分の影響、セメント・コンクリート論文集、Vol.70, pp.222～229, 2016

23) 佐川孝広／高炉スラグ微粉末の水和活性と体積変化に及ぼす化学組成の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.41、 No.1, pp.131～135, 2019

24) 佐川孝広、山本真奈海／高炉スラグの化学組成が高炉セメントの硬化体特性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.43, No.1, pp.107～112, 2021

25) 杉山大志他／エネルギーミナンス 強く豊かな日本のためのエネルギー政策(非政府の有志による第7次エネルギー基本計画)、2024



大行列から 個食へ

西山 峰広

コロナ以前、2019年末まで、私の研究室では毎週土曜日朝9時からゼミを行っていた。土曜日は出張も、学内会議もないので時間を気にせず、思いっきり議論できる。今から思うと学生にとっては大変迷惑なゼミだったと思う。発表する学生は、時間制限なしで針のむしろに座らされるわけである。午前中の議論を終え、お昼になると20人近くで大学の生協にご飯を食べに行く。大行列である。献立を選ぶのが速い人遅い人、食べるのが速い人遅い人、黙って食べる人しゃべりながら食べる人、様々である。全員食べ終わると食器を下げ、研究室に戻り、議論を続ける。さらに、月例会と呼ばれる飲み会が毎月研究室で行われていた。近所のスーパーマーケットでオードブルやビールを買ってきての懇親会である。そんなことが、コロナ前にはあった。

2020年春、コロナになってバラバラになった。学生とはオンラインでゼミや打合せを行う。土曜日のゼミもなくなった。学生は大学に来なく

なった。みんなでご飯を食べに行くこともなくなった。2023年5月8日に新型コロナの感染症法上の位置付けが5類感染症となり、コロナが終息したと見なされても、土曜日のゼミは復活しなかった。土曜日の休みの味を覚えてしまうと、もう土曜日には働きたくなくなってしまった。今土曜日はもっぱらテニスで汗を流している。土曜日の大行列どころか、平日のお昼ご飯もアクリル板に囲まれてひとりひとりで食べるようになった。さらにコロナを忘れるくらいになり、もうアクリル板も取り払われると、集団で生協食堂にお昼ご飯に来るグループを見かけようになった。そうすると少し大人数で食事に来ている集団を、ひとりで食事をする私は、とても邪魔に思うようになった。集団行動には何かと時間がかかる。コロナ前には自分たちが20人近くの大きな集団でご飯を食べに行っていたのに、今はそういう集団を見かけるとたとえ数人の小さな集団でも嫌悪してしまう。勝手なものである。

‘24

食事もひとりでとるようになり、学生との対話がなくなるとそれはそれで自由になった。もともと学生とは世間話をしにくい。世代が大きく異なるので話が合わないのはもちろんだが、こちらが話題を振ったり、質問したりするばかりでそれに対して学生が答えると一旦会話が終わる。学生側は会話を続けようという気はないので会話が途切れる。最近のニュースをふっても、知らないということもある。どうも新聞を読んだり、ニュースを見たりしていないようである。そのうち面倒くさくなって両方とも黙ってしまう。こうなるとひとりでご飯を食べる方が気楽である。

ただ、最近学生から「昭和の飲み会というのはどのようなでしたか?」と問われたことがある。私は見たことはないが、「昭和のダメおやじが令和にタイムスリップ!」というドラマの影響らしい。昭和60年あたりに学生時代を過ごした我々にとって、飲み会とは酒池肉林、修羅場であった。よく死人がでなかったものだと思う。飲んで吐いても夜通し飲み続けるのは当たり前、宴会芸はここには書けないような下品なものも多かった。

さらに、自分が学生の頃、先生との関係はどうだったか振り返ってみる。宴会では騒ぐがそんなに対話の機会はなかったように思う。恩師であった六車熙先生は気さくな方であったが、教授室と研究室は別棟であり、廊下ですれ違うことも多くはなかった。ただ、午後5時



を過ぎると研究室に来られ、学生たちを引き連れて雀荘に向かわれることがしばしばあった。私は麻雀をしないので、幸か不幸かそのような機会に恵まれることはなかったが。

〔にしやま みねひろ／京都大学 大学院
工学研究科 教授 博士(工学)〕

イラスト・タイトル 宮島幸次

超高強度繊維補強コンクリートを用いた盛土式ホームにおけるホーム柵の基礎

Foundation of Platform Doors on a Station Platform Constructed with an Embankment Using Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete

石丸 篤 青木葉 隆典 近藤 政弘 倉田 知幸 荒巻 智

1. はじめに

駅ホームにおける安全性の向上は、高齢者や視覚障害者を含むすべてのお客様にとって重要な課題である。ホーム柵は、ホームにおける転落・接触事故やそれに伴う列車遅延を減少させる効果を有するとともに、お客様の安心感の向上にも寄与する。西日本旅客鉄道(株)(以下、JR西日本と称す)では、国土交通省の交通政策基本計画に基づき、平均利用者数が10万人以上／日の駅とホームからの転落事象や列車との接触事象の多い駅から順次ホーム柵の整備を進めている。なお、扉式の可動式ホーム柵(写真1)や異なる扉枚数の列車に対応できるロープ式の昇降式ホーム柵(写真2)などがある。JR西日本では2024年3月末までに在来線の15駅(42のりば)に設置を完了している。既設駅のホームにはさまざまな構造があるが、大きく分



写真1 可動式ホーム柵



写真2 昇降式ホーム柵



写真3 盛土式ホーム



写真4 桁式ホーム

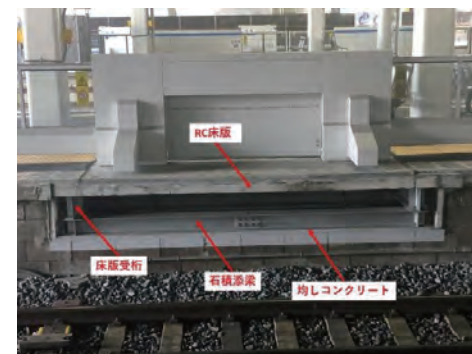


写真5 従来のホーム柵基礎

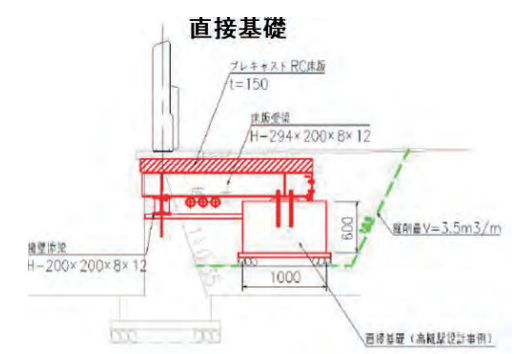


図1 直接基礎

ので、その開発概要と実工事の適用に向けた施工の取組みを報告する。

2. 開発経緯

2-1. 従来構造における技術的課題

盛土式ホームのホーム柵は、杭基礎や杭基礎や直接基礎の上に梁鋼材を井桁に組み、さらにRC床版を載せる複合構造が採用されていた(写真5, 図1, 2)。杭基礎である鋼管回転圧入杭の施工では、盛土内に支障物や礫等が介在している場合、施工が困難となり時間を要する。また、杭と梁の接合部は、杭ごとに施工誤差に合わせた加工が必要であり、測量、加工作業が発生する。RC床版は1t／枚を超える重量物であるため、運搬、据付には重機が必要となり作業時間の制約を受け、早期にホーム柵を整備していくうえで課題となっている。

このため、生産性を向上させてコスト削減および早期整備を可能とし、かつ将来的な維持管理の省力化を目指した新たなホーム柵の基礎構造について、JR西

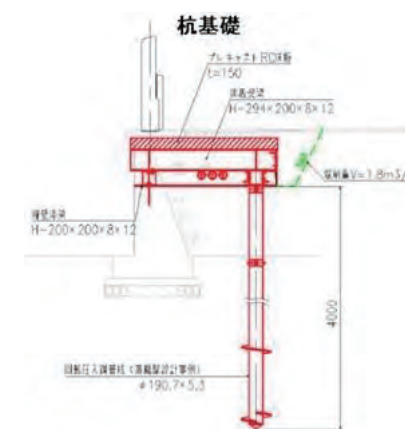


図2 杭基礎

類すると、盛土によって造られた盛土式ホーム(写真3)と、桁と床版で構成された桁式ホーム(写真4)がある。特に盛土式ホームにおけるホーム柵は、支持力を確保するための基礎を施工する必要がある、基礎構造の簡素化等によって、設置の際の施工に係る負担を軽減するとともに、将来的な維持管理の省力化を図ることができる基礎構造が望まれていた。本稿では、これらの課題に対応できるホーム柵の基礎構造を開発した



いしまる あつし / ISHIMARU Atsushi
西日本旅客鉄道(株) 近畿統括本部
バリアフリー推進部(計画)
課長代理



あおきば たかのり / AOKIBA Takanori
大鉄工業(株)
土木本部土木技術部
担当部長



こんどう まさひろ / KONDOU Masahiro
ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)
取締役兼執行役員
土木設計本部 本部長 博士(工学)



くらた ともゆき / KURATA Tomoyuki
ベルテクス(株)
中日本開発営業部
リーダー



あらまき さとし / ARAMAKI Satoshi
西日本旅客鉄道(株)
鉄道本部 構造技術室
課長 博士(工学)

日本(発注者兼維持管理者)、大鉄工業(株)(施工者)、ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)(設計者)、ベルテクス(株)(メーカー)の4者で共同開発を行った。

2-2. 新たな基礎構造の開発の方向性

新たな基礎構造の開発にあたり4者で開発WGを開催し以下のステップで開発を進めた。

第一ステップは、従来の基礎構造の設計手法や施工状況等の情報を整理することによって、下記に示すホーム柵の基礎構造の要求性能を定めた。

- ・本体機械からの要求として、ホーム柵の筐体下部に配線および作業スペースを確保する

- ・施工者からの要求として、盛土内の支障物に干渉するリスクを低減するために、基礎サイズを最小化するとともに、掘削などホーム深さ方向の作業を軽減する

- ・発注者からの要求として、低コスト・工期短縮を目指し、積層構造を排除するユニット化(2次製品化)により構造を単純化する

- ・維持管理者からの要求として、鋼材等の将来メンテナンスが必要な部材を低減する

第二ステップは、上記、ホーム柵の基礎構造の基本的な要求性能を踏まえうえて、従来のホーム柵の筐体が適用できるように、新たな構造の開発に着手した。

第三ステップは、さらなる高性能化を目指して、以下に示す付加する機能の検討を進めた。

- ・基礎自体の耐候性と耐久性の向上

- ・運搬・設置時の重機(軌陸両用車)の使用低減を目的とした人力運搬を可能にする軽量化

- ・工期短縮を目指した基礎設置時の精度緩和

3. 軽量プレキャスト C型コンクリート基礎構造の開発

3-1. 基礎構造の形状等

ホーム柵の筐体下部に配線および作業スペースを確保するために、基礎構造を「C」のような形状であるC型コンクリート基礎構造(以下、C型ブロックと称す)とした。

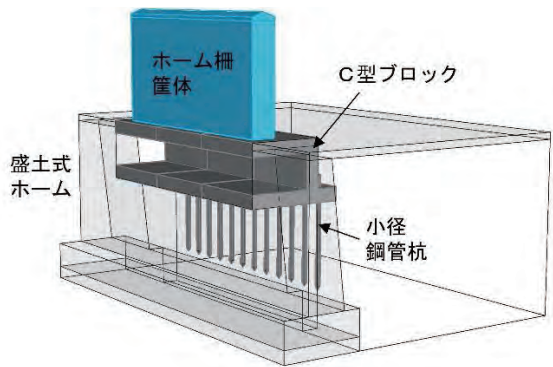


図3 C型ブロックを用いたホーム柵構造

また、これまでに設置されているホーム柵の筐体を改良することなく使用可能とするために、基礎とホーム柵の筐体をボルトで接合できる構造とし、従来のプレキャストRC床版+床版受梁+擁壁添梁という複合構造を解消した。

3-2. 補助工法の検討

C型ブロックは、筐体接合および配線と作業スペース確保のため、部材厚とホーム上の設備等を考慮すると、そのサイズを奥行き1.0m、高さ0.7m程度に制限する必要があった。線路方向の長さを1.0mとした場合、机上の検討では直接基礎としての安定性能の確保は困難であった。このため、C型ブロック背面側に短い小径杭を併用した基礎構造とすることにより、安定性能を満足させた。なお、小径杭の設計は、ホーム路盤のN値等に基づき行うこととしているが、材料や締固め状態などが一般的な基礎地盤よりばらつくため、最終的な杭径や杭長は、現地で引抜き試験を行ったうえで決定することとしている。

3-3. C型ブロックの検討

C型ブロックは、現場での運搬、据付を鑑みて、プレキャストコンクリート材料の採用を検討した。また、ホーム柵筐体固定のためのコア削孔が任意の位置で実施可能となることや、塩害環境下での耐候性を主眼に置いて検討を進めた結果、無筋の超高強度繊維補強コンクリート(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete: 以下、UFCと称す)の採用に至った。構造計算を実施し、部材厚を100mmに設定し、図3に示す構造とする



写真6 施工性の確認試験の状況(基礎設置, 杭打設)

ことで設計上必要とする部材の要求性能、安定性能を満足させた。なお、この材料は超高強度のため無筋構造化が可能となり、さらに鉄筋のかぶり厚さが不要になるため、部材厚を1/3とすることができて軽量化が図れた。その結果、C型ブロックは、サイズによるが380〜770kg/基の重量となり、500kg/基程度であれば軌陸両用車を使用することなく、駅のエレベータを使用してホームへの運搬が可能となった。

3-4. 実物大模型実験による構造および施工性の検証

構造計算上は、上述の諸性能を満足し、施工性も問題ないと考えられたが、これらを検証するために、使用停止中の駅ホームにて実物大模型による施工性の確認および載荷実験等を実施した。

(1) 施工性の確認

施工性は、実物大模型(C型ブロックを3個製作し並べて鋼板とボルトで連結したもの)にて検証を行った(写真6)。施工時間、据付精度は実ホームで施工し計測した。C型ブロックの設置は、軌陸バックホウ(クレーン仕様)を用いて施工し、設置時間は1基10分程度、また据付精度は基準から誤差1mm程度で設置できることを確認した。小径鋼管杭(φ48.6mm、根入れ長1.0m)は、各ブロックに2本ずつ小型油圧杭打機を使用し施工を行った。打設時間は30秒/本程度の短時間で打設でき、C型ブロック設置後に既設の孔(φ100mm)へ問題なく施工できることを確認した。これによって杭の位置出しや杭高さの管理も簡略化でき、施

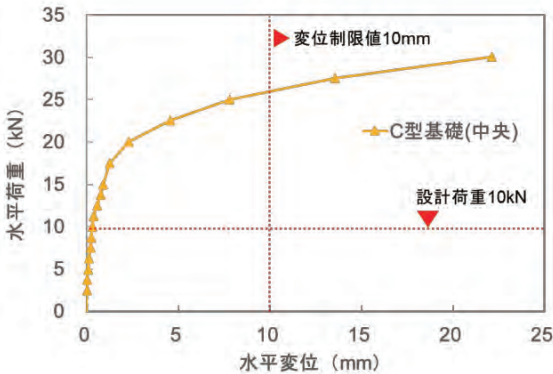


図4 水平荷重と水平変位の関係

工時間が短縮できた。

(2) 水平載荷試験^{1〜3)}

水平載荷試験は、3基連結したC型ブロックに強化特殊単管杭(L=1.0m、1ブロック当たり2本×3基=計6本)を組み合わせた構造であり、中央のブロックにホーム柵筐体に見立てたH鋼支柱を建て、作用する風荷重を模して油圧ジャッキで水平一方向に載荷し、基礎の挙動を確認した。載荷試験結果を図4に示す。設計で考慮している風荷重(10kN)を載荷したときは、基礎の挙動は少なく、目視では確認できないほどの動き(水平変位0.3mm程度)であり、荷重に対して十分な耐力を有していることがわかった。全体的な挙動は、水平荷重8kN付近から基礎が回転し始め、17kNを超えた付近でさらに変位が増加し、水平変位の制限値である10mmに達したのは25kN付近であった。この結果から基礎構造として想定される風荷重に対して、十分な耐力を保持していることが確認された。試験後に試験体を確認したが、C型ブロックに目視で確認できる損傷はなく、また杭および杭との接合部にも損傷がないことを確認した。

4. 軽量プレキャスト C型コンクリート基礎の製造

C型ブロックに用いるUFCは「ダクトル」(太平洋セメント(株)製)である。主となる結合材は、ダクトルプレミックス(低熱ポルトランドセメントを主成分として、シリカフューム等の反応性微粉末と粒径1mm程度の珪砂な

表1 ダクタルの標準配合

設計基準強度 (N/mm ²)	フロー値※1 (mm)	ダクタル [®] レミックス (kg/m ³)	鋼繊維 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	減水剤※2 (kg/m ³)
180	280±20	2212	157	180	17

※1 JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の箇条 12（フロー試験）による。ただし、突き棒による突き固めを行わない。また、フロー値は、0 打フローとする。
※2 減水剤の添加量は水に含まれるものとする。



写真7 C型ブロック

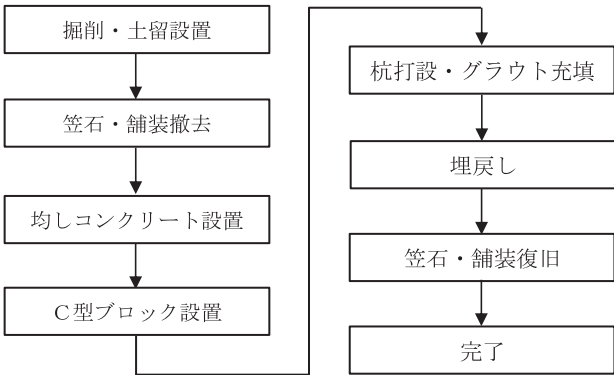


図5 施工手順

どから構成された混合物)を使用している。なお、補強用繊維はダクトル専用鋼繊維を使用している。標準配合を表1に示す。なお、養生は、次の蒸気養生を施すことを原則としている。

- ・1次養生：昇温勾配：15℃/h 以下，最高温度：40℃以下－10時間以上
- ・2次養生：昇温勾配：15℃/h 以下，最高温度：90℃以下－48時間以上

ダクトルの特徴は次のとおりである。まず、圧縮強度の設計基準強度が180N/mm²であるほか、引張強度についても設計上考慮することが可能である。そのため、基礎を薄くでき、軽量化を図ることができる。また、水結合材比を10%程度と低く抑えており、非常に緻密であることから、中性化や塩害の進行が抑制され、長期耐久性に優れている。なお、無筋コンクリートであることから削孔の際にRC構造と比較して鉄筋切断のリスクが回避できる。一方で、安価である粗骨材は用いられておらず、多量の反応性粉体と鋼繊維が配合されていることから材料単価は鉄筋コンクリートと

比較すると高価である。写真7にC型ブロックを示す。

5. 実施工の取組み

5-1. 実施工の状況

これまで説明してきた軽量プレキャストC型コンクリート基礎を京都駅2番線・5番線ホームのホーム柵設置工事に採用した。ホーム柵基礎の施工手順は図5に示すとおりである。駅構内でエレベータと台車を使用して人力運搬している状況を写真8に、軌陸クレーンを用いて、C型ブロックを据え付けている状況を写真9に、小径杭の打設状況を写真10に、ホーム柵設置状況を写真11に示す。

5-2. 従来構造との比較

従来構造と京都駅での実施工との比較を行った結果を表2に示す。その結果、軽量プレキャストC型コンクリート基礎構造の採用によって、生産性向上、コスト削減とも図ることができ、盛土式ホームに対して有効な



写真8 C型ブロックの運搬状況(エレベータを使用)



写真11 ホーム柵設置状況

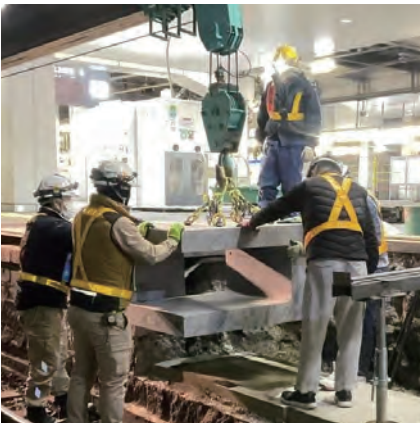


写真9 軌陸クレーンを用いたC型ブロックの据付状況



写真10 小径杭の打設状況

表2 従来構造とC型ブロックとの比較

	工程	経済性	備考
	1 筐体あたりの施工日数 (日)	1 筐体あたりの直工費 (千円)	
従来構造 (杭基礎)	9.2	5,300	他駅
C型ブロック	6.3 (0.68)	3,960 (0.75)	2 番線平均

※（ ）は、実績／計画

ホーム柵基礎構造であることが確認できた。

6. 今後の課題

本構造は、生産性向上、コスト削減に対して有効であることが確認できたが、ホーム柵の整備を早期に進めていくためには、さらなる改善が必要である。そのためには、どのホームにおいても駅構内のエレベータを確実に使用することができるようにC型ブロックのさらなる軽量化を図ること、また、軌陸両用車を使用せずにホーム上から安全に据付作業が可能な施工機械を開発することが重要な課題であると考えている。

7. おわりに

今回開発した軽量プレキャストC型コンクリート基礎

構造を用いて現場に応じた施工を計画し、生産性の高いホーム柵の工事施工を実現することができた。今後は、基礎形状、機械化施工および施工計画についてさらなる深度化を図り生産性向上に取り組んでいく。これによって、早期にホーム柵設置を進めて、高齢者、障害者等すべてのお客様の安全に寄与していきたい。

【参考文献】

- 1) 近藤政弘，宮脇知美，石丸篤，吉岡延明，清水隆弘，青木葉隆典／併用基礎を適用したホーム柵基礎の水平載荷試験，第56回地盤工学研究発表会，2021.7
- 2) 吉岡延明，石丸篤，宮脇知美，清水隆弘／土工ホームにおけるホーム柵基礎構造についての検討，日本鉄道施設協会誌，Vol.59，pp.601～602，2021.8
- 3) 清水隆弘，石丸篤，近藤政弘，倉田知幸／新たな盛土式ホームのホーム柵基礎構造の開発，土木学会第76回年次学講演会概要集，Vol.76，VI-771，2021.9

ボックスカルバートにグリッドメタルを用いた 接着剤塗布型低弾性PCM補強技術

Reinforcement technology for box culverts using
adhesive-applied low-elasticity type PCM and grid metal

新田 裕之 阿部 忠 吉岡 泰邦 塩田 啓介

1. はじめに

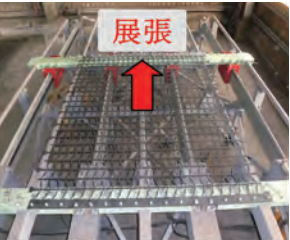
近年、シェッドやボックスカルバート等の老朽化が進み、その補修・補強対策が課題となっている。そこで、道路橋カルバートの補強技術として、カルバートの内側にグリッドメタルを配置し、カルバート表面と補強面との付着性を高めるために付着用接着剤を塗布したPCM吹付け補強法を提案し、静荷重実験における耐荷力性能を評価した。実験供試体には3/5モデルとしたカルバートを用いて静荷重実験を行い、同一寸法の無補強カルバートの最大耐荷力を基準に、補強したカルバートの最大耐荷力から補強効果を検証した。この実験済み無補強カルバート供試体を2年間暴露したのちにひ



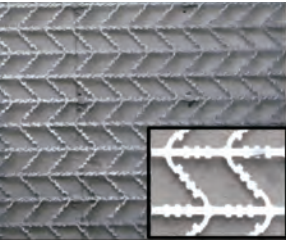
(1) レーザー加工



(2) スリット挿入



(3) 展張加工



(4) 展張筋

写真1 グリッドメタル(展張筋)の製作方法

び割れ補修を行い、グリッドメタルを用いて接着剤塗布型低弾性PCM吹付け増厚補強を施し、静荷重実験により補強効果の検証を行った。また、本提案の補強法による施工例を施工フローと共に示す。

2. グリッドメタルの製作方法

グリッドメタルの鋼材には縞鋼板および一般鋼板が用いられ、鋼種はSS400およびSM490Aの使用が可能である。また、板厚は16mmまで適用可能である¹⁾。グリッドメタルの製作方法は写真1に示すように鋼板の軸方向にレーザーでスリットを挿入し、軸直角方向にジャッキで展張して格子状に一面加工する。展張後は必要



にった ひろゆき / NITTA Hiroyuki
東栄コンクリート工業(株)
代表取締役 博士(工学)



あべ ただし / ABE Tadashi
日本大学名誉教授 博士(工学)



よしおか やすくに / YOSHIOKA Yasukuni
JFEシビル(株)
社会基盤事業部 博士(工学)



しおた けいすけ / SHIOTA Keisuke
同上
技術開発研究センター 技術士

表1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)		鉄筋 (SD295A)			
		使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
Aタイプ	Bタイプ				
52.8	47.1	D13	360	496	200
		D10	363	494	

表2 グリッドメタルの材料特性値

断面	格子間寸法 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
主筋 配力筋	100×100	299	461	200

表3 低弾性PCMの配合条件

項目	単位量 (kg/m ³)			水結合比 (%)
	プレミックス粉体 結合材	その他	繊維 水	
低弾性PCM	750	1125	Premix 300	40.0

表4 付着用接着剤および浸透性接着剤の特性値

項目	付着用接着剤	浸透性接着剤	備考
外観	主剤	白色ペースト状	無色液状
	硬化剤	青色液状	無色液状
混合比	5 : 1	10 : 3	重量比
硬化物比重	1.42	1.2	JIS K 7112
粘度	500～1,000mPa・s	100～200MPa・s	JIS K 7233
圧縮強度	102.9N/mm ²	104.4N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3,976N/mm ²	3,172N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ	41.6N/mm ²	92.8N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	14.9N/mm ²	58.2N/mm ²	JIS K 6850
コンクリート 付着強さ	3.7N/mm ² 以上 ^{注1)} または母材破壊	2.6N/mm ²	JIS A 6909

注1) 3.7N/mm² 以下の場合は母材コンクリートで破壊

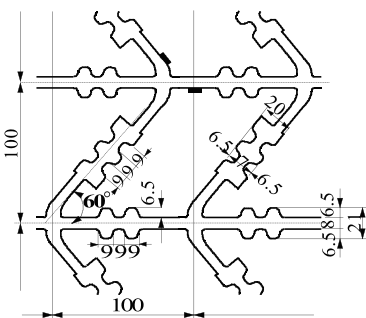


図1 グリッドメタルの寸法

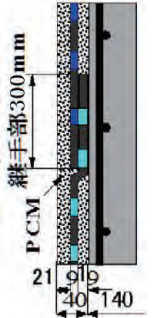


図2 継手部

に応じて、防錆処理としてエポキシ系の防錆材あるいは溶融亜鉛メッキを行う。

3. 使用材料およびカルバート供試体寸法

(1) カルバートの使用材料

カルバートのコンクリートには、普通ポルトランドセメントを用い、骨材には砕石と砕砂を用いた。次に、使用鉄筋はSD295、D13およびD10を用いた。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表1に示す。

(2) グリッドメタル

カルバートの補強に用いるグリッドメタルには、材質SS400材、厚さ9mmの一般鋼板を用いた。ミルシートより材料特性値を表2に示す。軸方向筋(主筋)および軸直角方向筋(配力筋)の降伏強度は299N/mm²、引張強度は461N/mm²である。

(3) グリッドメタルの寸法

カルバートに用いるグリッドメタルの寸法および形状を図1に示す。格子間寸法は100×100mmとし、主筋の

寸法は9.0×8.0mm(断面積72.0mm²)、配力筋の寸法は9.0×7.0mm(断面積63.0mm²)とした。また、グリッドメタルには一般鋼板を用い、突起を設けて、付着力を高める形状としている。よって、主筋には幅9.0mm、突起高6.5mmを2カ所、配力筋には幅9.0mm、突起高6.5mmを3カ所設けた。また、継手部構造は図2に示すように重ね継手構造とした。

(4) 低弾性PCM

カルバートの増厚補強には、市販の普通コンクリートの静弾性係数と同等の低弾性ポリマーセメントモルタル(以下、低弾性PCMと称す(リフレモルセットSP))を用いる。この低弾性PCMにはひび割れ抑制のためビニロン繊維が配合されている。配合条件を表3に示す。

(5) 付着用接着剤

既設コンクリート面とPCMとの付着性を高めるために付着用のエポキシ系樹脂接着剤(以下、付着用接着剤と称す)を用いる。コンクリートとの付着強度は表4に示すように3.7N/mm²が確保されており、引張試験では母材コンクリート側で破壊することを確認している。

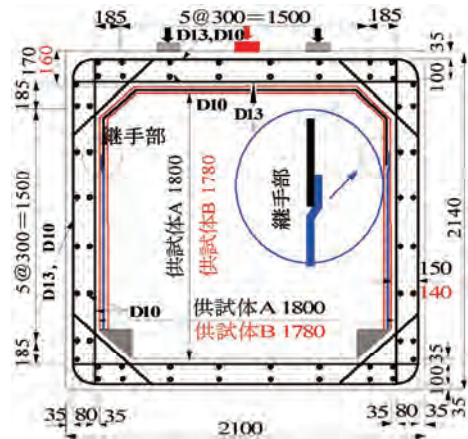


図3 供試体寸法およびグリッドメタルの配置

4. 供試体寸法および補強法

(1) 無補強カルバート

無補強のAタイプ供試体の寸法は、図3に示すように、幅2100mm、高さ2140mm、奥行き2000mmとし、頂版の厚さを170mm、側壁の厚さを150mmとした。側壁の鉄筋配置は内側にはD10を120mm間隔、外側にはD13とD10を120mm間隔で交互に配置した。配力筋はD10を300mm間隔で配置した。主鉄筋中心までの位置は35mmである。次に、頂版鉄筋の配置は、内側の主鉄筋にはD13を120mm間隔で配置した。外側の主鉄筋にはD13とD10を交互に120mm間隔で配置した。配力筋は側壁同様にD10を300mm間隔で配置した。なお、主鉄筋位置は側壁同様35mmである。

(2) 補強用カルバート

補強用のBタイプ供試体は、内側コンクリートを10mm程度切削することを考慮し、図2に示すように供試体製作時にかぶりを21mmとした。よって、図3に示すように頂版の厚さは160mm、側壁の厚さは140mmとした。補強部のグリッドメタルの厚さは9.0mmであり、継手部は重ね継手とするため厚さ18.0mmとなる。グリッドメタルは界面から10mm離して設置した。したがって、補強部の厚みは10mm厚の切削を考慮すれば、スラブ厚は30mm増となる。

(3) カルバートのPCM補強法

低弾性PCMの吹付け補強法は、「ポリマーセメント

モルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル(案)²⁾」に準拠する。

カルバート供試体の内側をディスクサンダーで切削し、切削面をブラスト研掃する。表面処理後、10mmの隙間を取り、グリッドメタルを設置する。次に、低弾性PCMとの付着性を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤と称す(KSボンド))を0.9kg/m²で全面に吹付けする。1層目のPCM吹付けは20mm程度とし、8時間養生終了後、2層目のPCMを吹付けする。2層目のPCM吹付け終了後、表面仕上げを行い養生した。この補強法はグリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法とする。

5. 静荷重実験方法

最大載荷能力5,000kNの構造物試験機を用いて静荷重実験を行った。ここで、荷重載荷位置を図3に示す。本供試体は3/5モデルとした試験体であることから、荷重載荷板は道路橋示方書・同解説(道示)³⁾の基準に準拠した荷重状態とし、これをモデル化して載荷板を300×120mmとした。実験はタンデム式の中軸・後軸間を想定した2点載荷と中央のみの1点載荷による実験を行った。

6. 結果および考察

(1) 最大耐荷力

Aタイプの供試体の2点載荷実験は、荷重400kNまで載荷した。その後、1点載荷による荷重載荷を行った。1点載荷による最大耐荷力は456.6kNであり、破壊は軸方向に発生したひび割れが進展し、曲げ破壊となった。一方、補強したBタイプ供試体の2点載荷は、荷重500kNまで載荷した。その後、1点載荷に移行した荷重載荷の最大耐荷力は760.7kNであり、破壊は押抜きせん断破壊となった。無補強のAタイプ供試体に比して1.66倍の耐荷力が向上する結果となった。

(2) 荷重とたわみの関係

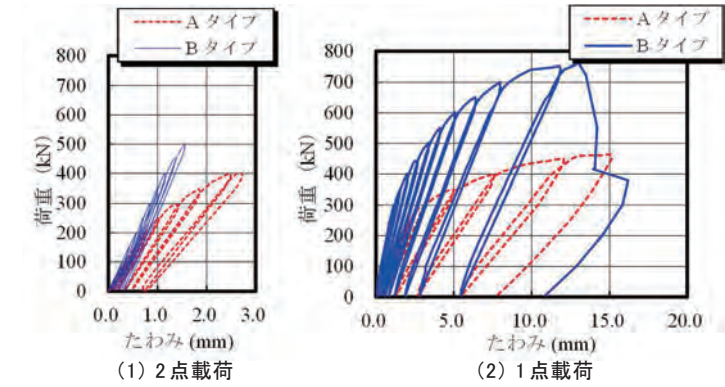


図4 荷重とたわみの関係

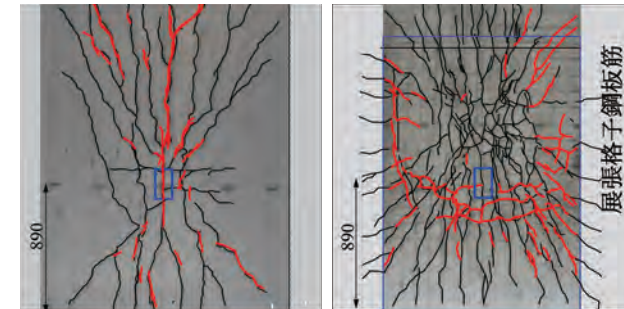


図5 破壊時のひび割れ状況

Aタイプ供試体の2点載荷による荷重とたわみの関係は、図4より、最大荷重456.6kN時のたわみは15.8mm、荷重除荷時の残留たわみは8.5mmである。一方、補強したBタイプ供試体の最大荷重760.7kN時のたわみは13.4mmである。

(3) 破壊状況

カルバートの破壊はAタイプ、Bタイプの供試体ともに荷重載荷直下で破壊に至っている。ここで、破壊時のひび割れ状況を図5に示す。無補強のAタイプ供試体カルバートは、荷重456.6kNで曲げ破壊となった。

一方、グリッドメタルを配置し、40mm厚のPCM吹付け補強したBタイプ供試体カルバートは、最大荷重760.7kN載荷後、押抜きせん断破壊となった。増厚層はグリッドメタルを配置したことからダウエルの影響を受ける荷重載荷位置から45度下面の範囲ではく離が発生している。

以上より、グリッドメタルを配置し、接着剤塗布型低弾性PCM補強法は耐荷力性能の向上を図ると同時

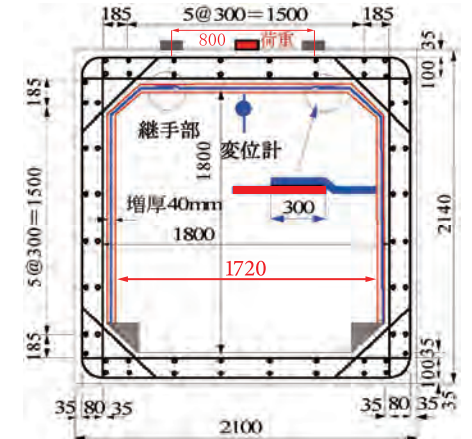


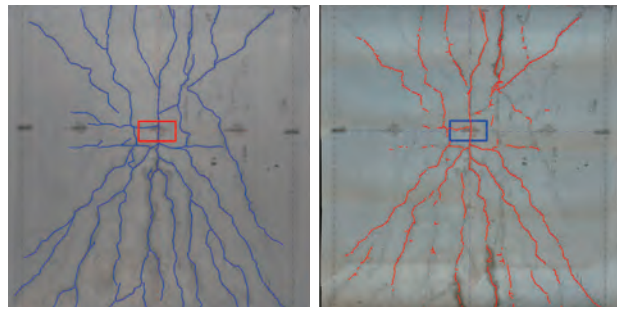
図6 供試体寸法およびグリッドメタルの配置

に、破壊時でも補強部が完全に押し抜かれることなく、形状を維持している。

7. 破壊後の補強カルバート供試体の概要

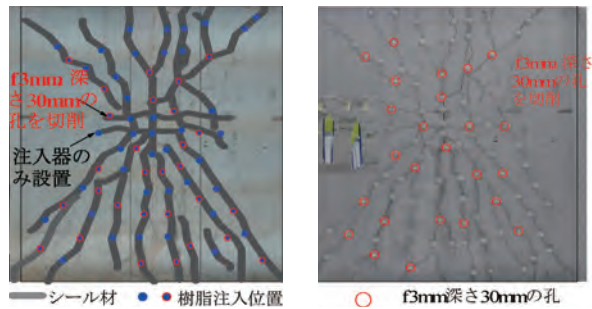
無補強カルバートの静荷重実験を行った結果は、最大耐荷力が456.6kNであった。この実験済みの無補強カルバートA供試体にひび割れ補修を行い、グリッドメタルを用いて接着剤塗布型PCM吹付け増厚補強を施し、静荷重実験により補強効果の検証を行った。

補強厚寸法は図6に示すように、コンクリート表面から40mmのPCM吹付け増厚補強を施す。なお、グリッドメタルの継手部について、本補強法では頂版部に継手部を設ける方法とした。また、グリッドメタルの格子間寸法は補強カルバートB供試体と同様に100×100mmとし、主筋寸法は9.0×8.0mm(断面積72.0mm²)、配力筋寸法は9.0×7.0mm(断面積63.0mm²)を用い、防錆として溶融亜鉛メッキを施した。



(1) ひび割れ発生状況 (2) 0.1mm以上のひび割れ

図7 カルバートのひび割れ状況



(1) 注入器具取り付け位置 (2) φ3mm深さ30mmの孔

図8 ひび割れ樹脂注入器具取り付け位置

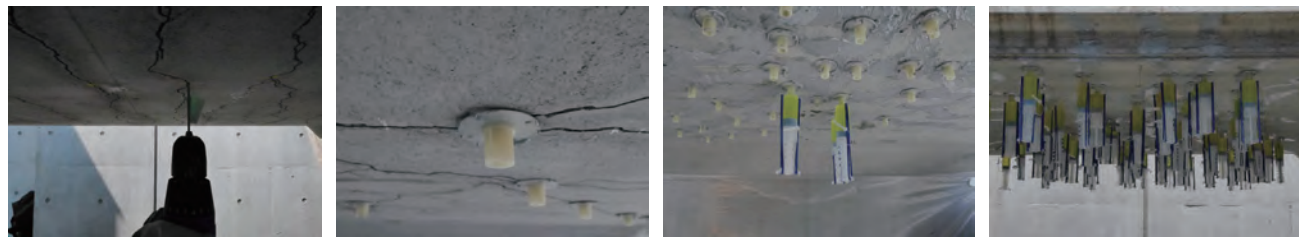
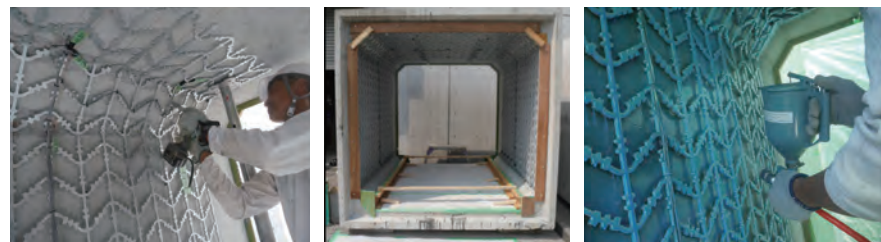


写真2 ひび割れ補修用樹脂の注入手順



(1) 展張筋設置 (2) 設置終了 (3) 接着剤塗布

写真3 補強用グリッドメタルの設置状況



(4) PCM吹付け (5) コテ仕上げ (6) 完成

写真4 カルバートのPCM仕上げ状況

8. ひび割れ補修方法

(1) ひび割れ発生状況

無補強カルバートA供試体の静荷重実験によるひび割れ発生状況を図7に示す。ひび割れ補修における浸透性接着剤(浸透性KSプライマー)の材料特性値を表4に併記した。注入位置を図8に示す。本供試体は静荷重実験により破壊したカルバートであり、ひび

割れが多いため、150mm～200mmの間隔で樹脂を注入した。注入手順を写真2に示す。浸透性接着剤は毛細管現象により0.05mm以上のひび割れに浸透する接着剤である。

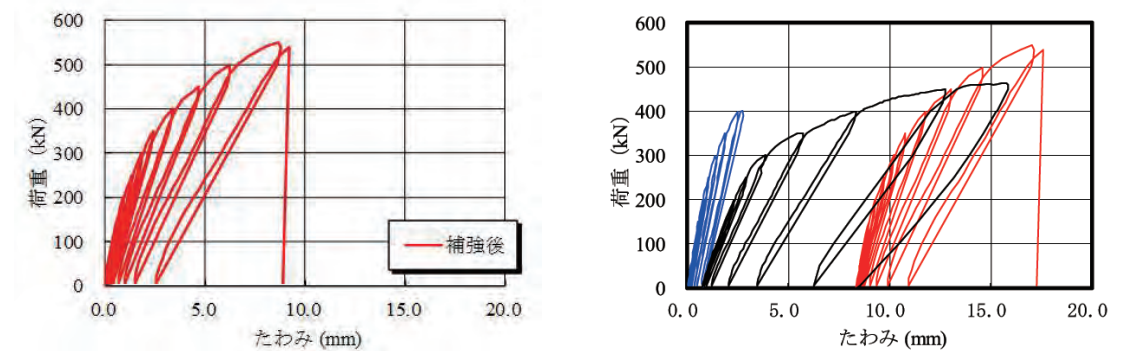
9. 破壊したカルバートの補強方法

カルバートの補強手順を写真3,4に示す。



(1) 実験装置 (2) 荷重載荷版

写真5 載荷能力5,000kN試験機



(1) 補強後の荷重とたわみ (2) 荷重と累積たわみ

図9 荷重とたわみの関係

10. 静荷重載荷実験

(1) 実験方法

静荷重実験における実験状況を写真5に示す。荷重載荷位置およびたわみの計測位置は図6に示す荷重の載荷位置直下とする。載荷板は写真5(2)に示すように道路橋示方書に規定するT荷重の設置面積を3/5モデル化した載荷板寸法とした。

荷重載荷位置は、無補強カルバートA供試体の1点荷重載荷位置と同様とし、図6に示した。本実験におけるたわみおよび鉄筋、グリッドメタルのひずみの計測は荷重載荷位置とした。たわみの測定位置は、載荷点直下のスパン中央部とした。

(2) 最大耐荷力

カルバート頂版のひび割れに浸透性接着剤を注入補修した後、グリッドメタルを用いた接着材塗布型低弾性PCM吹付け増厚補強を施したカルバートA供試体の1点載荷による静荷重実験における最大荷重は550.3kN

であった。補強前の最大荷重は456.6kNであり、補強することで最大耐荷力が1.21倍に向上した。よって、荷重100kNを考慮したB活荷重にも対応可能な補強法であり、損傷を受け健全度の判定区分Ⅳのカルバートにおいても、グリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法を適用することで、内部空間および建築限界を確保しながらの補修・補強が可能であると考えられる。

(3) 荷重とたわみの関係

補強後のカルバート供試体の荷重とたわみの関係を図9(1)に示す。また、無補強カルバートA供試体の2点載荷、1点載荷による静荷重実験の残留たわみを考慮した荷重とたわみの関係を図9(2)に示す。補強前の最大荷重456.6kN時のたわみは5.1mmである。その後の荷重増加でたわみの増加も大きくなり、最大耐荷力550.3kN時のたわみは8.7mmで押抜きせん断破壊であった。

(4) 荷重とグリッドメタルひずみの関係

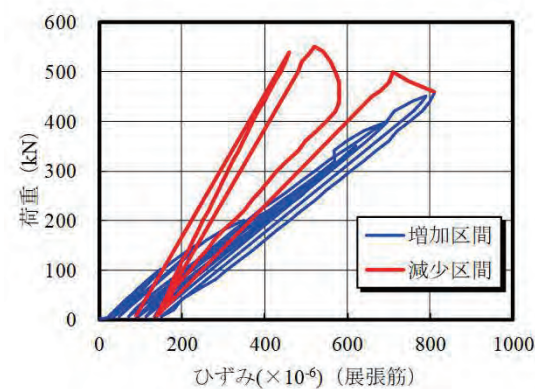


図 10 荷重とグリッドメタルひずみの関係

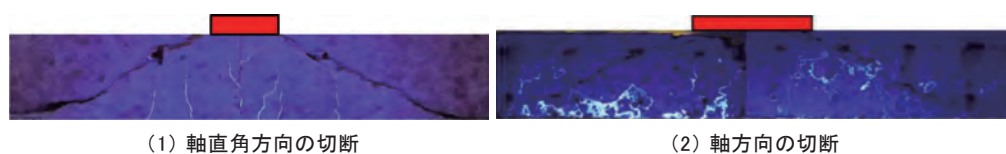


写真6 ひび割れ補修による接着剤の浸透状況

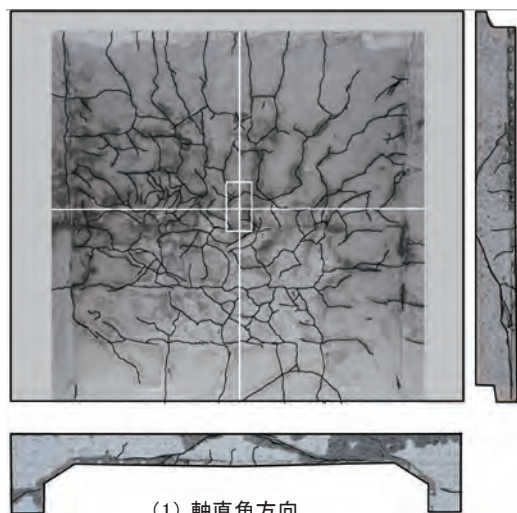


写真7 破壊時のひび割れ状況

荷重とグリッドメタルひずみの関係を図10に示す。なお、ひずみが増加している部分を青線、減少している部分を赤線として示した。荷重454kN付近までは線形的に増加している。その後の荷重増加、すなわち補強前の破壊荷重付近からひずみの増加は見られず徐々に減少し始めている。この付近から荷重載荷位置付近のコンクリートが押抜きせん断破壊へと移行したものと考えられる。また、カルバートを2方向に切断し蛍光塗料を混入した浸透性接着剤の浸透状況の確認を写真6に示す。カルバート頂版下面のひび割れ状況は写真7に示す。

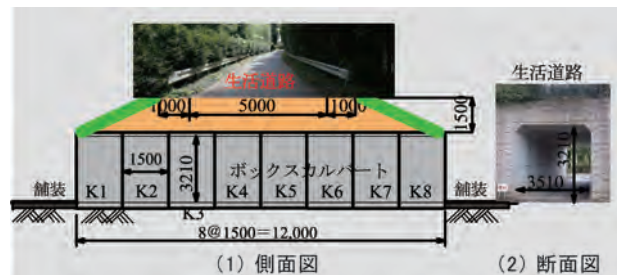


図 11 損傷したボックスカルバートの概略

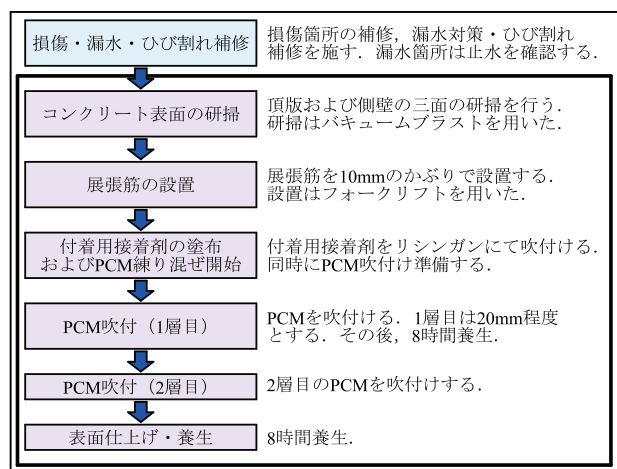


図 12 施工フロー

11. 施工計画および施工事例

ここで、図11に示す地震動等により損傷した3500×3500×1500mmのプレキャストカルバートを例に、グリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法に



写真8 カルバートの施工手順

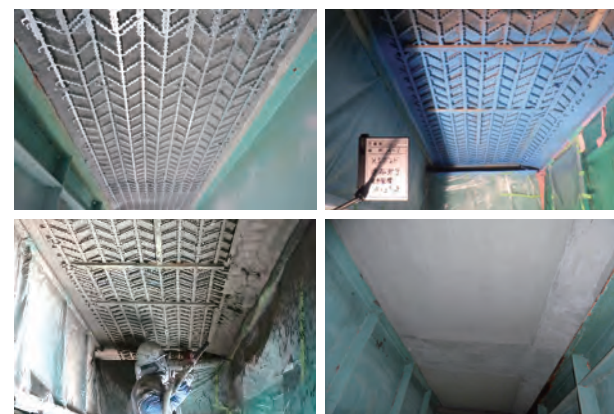


写真9 橋梁下面増厚の施工事例

よる施工フローを図12に、施工手順を写真8に示す。また、その他の補強事例として橋梁に用いた下面増厚工法の施工例を写真9に、上面増厚工法を写真10に示す。

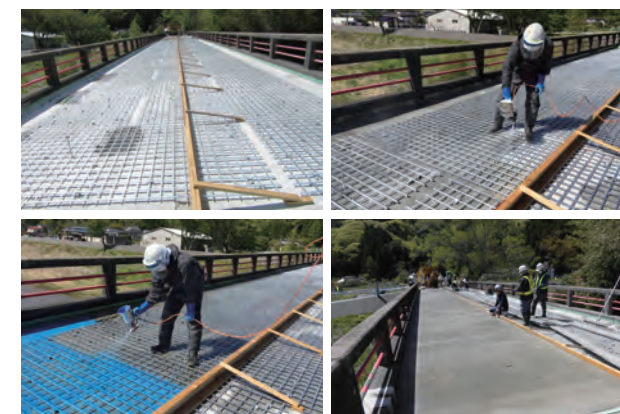


写真10 橋梁上面増厚の施工事例

ると共に、橋梁RC部材にも有効な工法であると考えられる。

12. まとめ

グリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法はカルバートの補修・補強に有効な補強工法であ

【参考文献】

- 1) 阿部忠, 塩田啓介, 吉岡泰邦, 今野雄介 / 2タイプの鋼板格子筋を用いたRCはりのPCM増厚補強における補強効果の検証, セメントコンクリート論文集 Vol.69, pp.634~641, 2016
- 2) RC構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会 / ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル(案), 2011.7
- 3) 日本道路協会 / 道路橋示方書・同解説I, II, 1994.2

第 78 回セメント技術大会を開催

セメント協会は、5月15日(水)から17日(金)の3日間、昨年に続き、赤坂インターシティコンファレンス(東京都・港区)にてセメント技術大会を開催。この大会は1947(昭和22)年より開催し、今回で78回目。

昨年は会場とオンラインを併用したハイブリッド形式で行ったが、今回はコロナの影響がほぼ払拭されたことから、一般研究発表など全てのプログラムを会場にて実施し、その様子をライブ配信した。984

名の参加申込みがあり、各会場では一般研究発表後に活発な質疑応答が交わされ、また、セッション終了時には発表者と参加者が意見交換する場が多くみられ、コロナ前の活気を取り戻した大会となった。

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、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事 弓取修二氏による特別講演が行われた。また、特別講演後に懇談会を開催した。

表1 講演分類と投稿件数

大分類	中分類	小分類	投稿件数
セメント	製造技術		5
	種々のセメント	混合セメント	6
		混合材	6
		特殊セメント	2
	セメント系新材料		6
	セメント系固化材		5
	セメント系補修材		1
	セメントの水和		5
	C-S-Hの長期安定性		4
	セメント, モルタルの性質と物性		6
コンクリート	分析技術		8
	環境・リサイクル		21
	材料	化学混和剤	1
		混和材	6
		骨材	1
	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		2
	コンクリート舗装		9
	特殊コンクリート	高強度コンクリート	2
		マスコンクリート・低発熱コンクリート	1
	物性	膨張・収縮	1
		ひび割れ	2
		一般	13
		塩害・鋼材腐食	4
	耐久性	中性化	1
		A S R	1
		化学的侵食・溶脱	2
		凍結融解	3
		一般	6
	環境・リサイクル		14
合計			151



不死原会長



三五論文賞選考委員長



表彰式



一般会場



論文賞受賞者



弓取氏(特別講演)



特別講演会場



小山技術委員長



懇談会場

表2 第52回(2024年度)セメント協会論文賞

β-C₂SおよびC-A-S-Hの炭酸化における二酸化炭素固定化機構の解析			
セメント・コンクリート論文集 Vol.77 pp.53-61	太平洋セメント(株)	扇	嘉史
セメント・コンクリート論文集 Vol.77 pp.71-79	太平洋セメント(株)	細川	佳史
気泡の分布と凍害保護範囲を考慮した凍害抵抗性のメカニズムの解明			
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.211-219	金沢大学大学院	大山	和哉
セメント・コンクリート論文集 Vol.77 pp.240-247	鉄建建設(株)	上原	典香
	金沢大学	田邊	駿
	金沢大学	五十嵐	心一
機械学習を援用した高流動コンクリートの目視材料分離判定とレオロジー定数の予測			
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.410-418	琉球大学	東舟道	裕亮
セメント・コンクリート論文集 Vol.77 pp.394-402	琉球大学	比嘉	龍一
	琉球大学	山田	義智
	(株)フローリック	平野	修也

一般研究発表

一般研究発表は、3日間とも3会場で行い、合計151件の発表があった。セッション別にみると、「環境・リサイクル」が35件、「コンクリートの耐久性」が17件、「コンクリートの物性」が16件で、環境負荷低減に向けた積極的な取り組みや重要な基礎研究に関する発表が多かった(表1)。

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

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(太平洋セメント株式会社 取締役会長)より主催者挨拶があり、「昨年度のセメントの国内需要は、当初見込みを大きく下

回り、いま暫くは厳しい状況が続くものと予想されますが、セメント業界は、国土強靱化に不可欠なセメントを安定供給するとともに、大量の廃棄物・副産物を受け入れて循環型社会に貢献するという社会的使命を果たし続けなければなりません」と述べられ、続いて「セメント協会では2050年カーボンニュートラル実現への第一歩として、現在、普通ポルトランドセメントに添加する少量混合成分を増量することによるCO₂削減に取り組んでいます」と紹介された。

セメント協会論文賞は、当協会発刊のセメント・コンクリート論文集に掲載された過去2年分の論文の中から特に優れた論文を選定して授与しており、第52回となる今回は140編の中から3論文が受賞した(表2)。セメント協会論文賞選考委員会の三五弘之委員長(日本大学 特任教授)より選考理由が紹介された後、不死原正文会長より受賞者に賞状が授与された。その後、受賞者による論文賞受賞者記念講演が行われた。

特別講演

(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事 弓取修二氏より「カーボンニュートラル実現に向けたグリーンイノベーション基金事業の取組」と題し

た特別講演が行われ、332名が聴講した。講演では、2050年カーボンニュートラルの重要性、脱炭素社会の実現に向けた国内外の動向等について解説があった。その中で、近年、期限付きカーボンニュートラル目標を表明する国地域が急増し、そのGDP総計は世界全体の約94%を占め、環境対応の成否が、企業・国家の競争力に直結していくと述べられた。また、グリーンイノベーション基金事業で取組んでいるプロジェクトとして「セメント・コンクリート分野でのカーボンリサイクル」が紹介され、セメント・コンクリート分野のCO₂の回収・固定技術やコンクリートのCO₂固定量評価の標準化などの研究開発の社会実装計画および進捗状況について説明があった。最後に『「カーボンニュートラルへの挑戦こそが、日本に次の成長をもたらす原動力」との言葉を皆さんと共有したい』と述べられ、講演を締

めくった。

懇談会

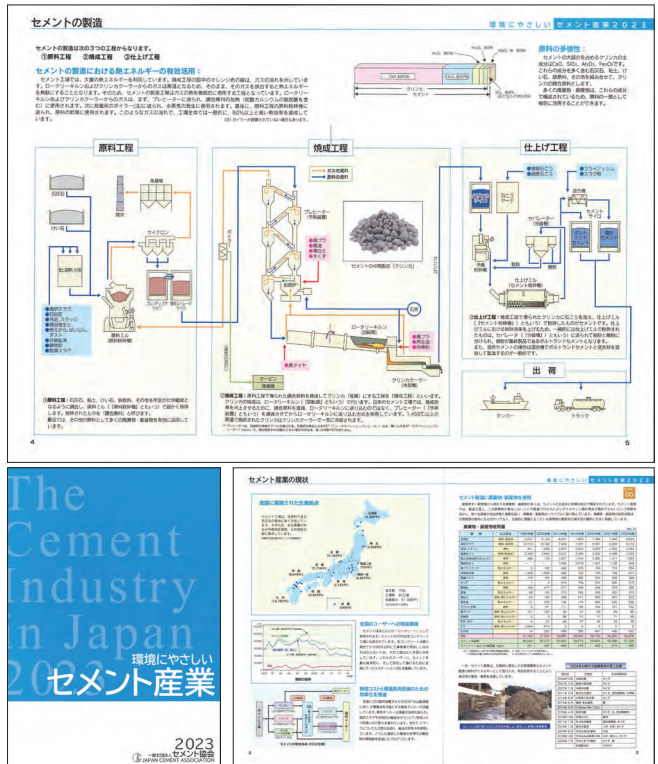
懇談会は、海運クラブ(東京都・千代田区)に会場を移して開催し、153名が参加した。冒頭、小山誠技術委員長(UBE三菱セメント(株) 取締役社長)より主催者挨拶があり「大学等の教育機関においてセメント化学を学ぶ機会は減少傾向にあります。このような中、技術委員会は研究開発の支援を目的とした事業として、若手・中堅の先生方の研究活動をサポートさせて頂いており、今後もこれらを重要な事業として継続して参ります」と述べられ、続いてセメント協会論文賞選考委員会 三五委員長の乾杯で開宴した。和やかな雰囲気の中で交流、懇談が行われ、セメント協会乾敏一専務理事の中締め挨拶の後、閉会した。

A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2023

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは、部数と送付先を明記のうえ、下記までファックスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

[主な内容]セメント産業の現状,セメントの製造,カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン,カーボンニュートラル行動計画の概要,2050年に向けた対策





▲亀老山山頂から望む来島海峡大橋

来島海峡に架かる世界初の三連吊橋 ～瀬戸内しまなみ海道開通25周年～

「瀬戸内しまなみ海道」の愛称で親しまれている西瀬戸自動車道は、本州四国連絡橋3ルートの一番西側に位置し、広島県尾道市と愛媛県今治市を結ぶ全長約60kmの自動車専用道路で、1999(平成11)年5月1日に開通し、このたび25周年を迎えました。これを記念し、「海を越えて、世代を超えて」のキャッチコピーのもと、様々な催しが企画・実施されています。

この道路は、瀬戸内海に浮かぶ風光明媚な芸予諸島の島々を橋で結び、生活道路としての役割に加え、各橋には自転車・歩行者専用道路も整備されていて、特に多島美を愛でながらのサイクリングは、国内外から注目を集めるなど、人気のスポットになっています(新尾道大橋を除く)。

今回ご紹介する来島海峡大橋は、瀬戸内しまなみ海道の中で最も四国寄りの来島海峡に架かる総延長約4.1kmの3つの吊橋(来島海峡第一大橋・第二大橋・第三大橋)の総称です。来島海峡は昔から鳴門海峡、関門海峡と並び海の難所として有名で、狭い海域に複雑な地形が作る潮流は、速く複雑に変化していて、最大潮流速は10ノット(時速約18.5km)にも達します。

橋梁計画にあたっては、周辺島々などの自然環境の保全、船舶航行の安全性、車両の走行性などを考慮し、共有アンカレイジを2基設けた世界初の3連吊橋が採用されました。

余談ですが、今治市の全国的に有名なご当地キャラクターが頭にかぶっているクラウンは、来島海峡大橋をイメージしたものとのことです。

この橋では、海中にいくつもの基礎が設けられましたが、その多くに瀬戸大橋や明石海峡大橋で採用された設置ケーソン工法が採用され、従来よりもさらに低発熱型にしたセメントを用いた水中不分散性コンクリートが使用されました。

塔基礎やアンカーブロックの気中マスコンクリートも同様に、従来よりもさらに若齢期の発熱を抑え、硬化収縮量が小さい低発熱型セメントが使用されました。

写真・文 井川幹雄(セメント協会)

亀老山(きろうさん)展望公園

1994(平成6)年3月完成

大島南部に位置する亀老山(標高307.8m)山頂にある展望公園で、建築家隈研吾氏によって設計されました。

眺望は瀬戸内しまなみ海道随一と言われ、2017(平成29)年には「亀老山山頂から望む来島海峡」が四国八十八景に選定されています。

それ以前の山頂は、展望公園という形で地形がカットされていましたが、コンクリートで展望台の構造体を作り、その周辺に既存の地形に合わせるような形で土を盛り、木を植えることで、展望台を地形の中に埋蔵し、山頂を元の自然の地形に復元しました。



▲地形変化が最小限にできるトンネル式アンカーを採用した今治側10Aアンカレイジ。



▲規模の異なる3つの吊橋が一体となって見えるよう、6本の塔頂を結んで一つの滑らかな曲線になるように塔高を連続的に変化させている。



▲今治市内の大型造船群



▲今治市公会堂前にある世界最大級のコンテナ船のプロペラ(直径9m)



▲下田水漁港から来島海峡大橋を望む



▲上写真 来島海峡第三大橋の橋脚

▲下写真 馬島から見た来島海峡第三大橋



▲馬島にある7Aアンカーブロック。幅42m×長さ52m×高さ62m、使用コンクリート量約9万m³。側面に設置されたエレベーターは島内住民の他、一般の自転車や歩行者等も利用できる。

このコーナーはセメント協会公式Instagramに掲載された全国の個性あふれるコンクリート構造物のいろいろな情報を織り交ぜながら隔月で紹介しております。また、セメント協会公式Instagramでは、この他に数多くの構造物をアップしています。QRコードよりご覧いただけます。



セメント協会 Instagram 記事「来島海峡大橋」
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/



来島海峡大橋

くる しま かい きょう おお はし

愛媛県今治市

工事着工 1988(昭和63)年5月15日

供用開始 1993(平成5)年5月1日

車線数 車道4車線+原自歩道2車線

〔来島海峡第一大橋〕

形式 3径間2ヒンジ補剛箱桁吊橋

橋長 960m

塔高 149m(3P)

〔来島海峡第二大橋〕

形式 2径間2ヒンジ補剛箱桁吊橋

橋長 1,515m

塔高 184m(6P)

〔来島海峡第三大橋〕

形式 単径間2ヒンジ補剛箱桁吊橋

橋長 1,570m

塔高 184m(8P, 9P)

AIを用いたコンクリート配合導出技術の開発

Development of AI technology for deriving concrete mix proportion

中西 縁 磯部 亮汰

1. はじめに

近年、少子高齢化による労働人口の不足が社会的な問題となっており、各種産業において、若手人材の不足や技術者の高齢化のさらなる進行が懸念されている。中でも建設業界はその傾向が顕著であり、人手不足問題が深刻だといわれている。そのため業界内では、業務の省力化を目的として、ICTやAIを活用した技術開発が進められている¹⁾。

コンクリート業界では、生コンクリート工場の人手・労力不足が全国的に問題視されており^{2,3)}、生産性向上や業務省力化に向けた技術開発が積極的に行われている。例えば、生コンクリートの品質評価やフレッシュ性状の予測といったシステムが開発・検討されている^{4,5)}。

生コンクリート工場やプレキャストコンクリート製品工場において、コンクリートの配合設計およびこれに伴う配合決定の試し練り作業は、日常的に実施される作業ではないものの、骨材産地を変更する際などには数多くの配合を一度に設定し直す必要があり、多大な労力

が必要となる。

筆者らは、コンクリートの配合決定を目的とした試し練りで、目標性状のコンクリートを得るまでに要する試験練りバッチ数の低減および、これに用いる材料準備作業の軽減を目的に、AIを用いたコンクリートの配合導出技術を開発してきた。既発表⁶⁾ではAIを用いた導出配合を基に試し練りを行い、高い確率で目標どおりのスランブが得られたことを報告した。

本稿では、上記の既発表の概要を紹介するとともに、AIを用いた配合導出技術の実用性をより向上させることを目的に、新たに以下の配合調整機能を追加し、その導出精度を検証した内容を報告する。

- ① 目標スランブ以外に、粗骨材の割合や均一性等、数値化できないフレッシュコンクリートの状態に対し、技術者が求める性状のコンクリートが得られるよう、任意設定した細骨材容積比でも、目標スランブを得られる配合を導出する機能
- ② 試し練りで目標スランブの許容範囲から外れた場合、スランブ実測値を基に修正配合を導出する機能

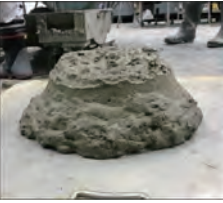
2. コンクリート配合導出技術の概要

本稿における「コンクリート配合導出技術」は、ニューラルネットワークを用いた技術である。ニューラルネットワークは、人間の脳の神経細胞(ニューロン)の接続を

表1 学習データの特徴量

材料物性	セメント : 品種
	粗骨材 : 最大寸法, 実積率
	細骨材 : 粗粒率, 微粒分量
	化学混和剤: 減水率
コンクリート性状	水セメント比, 目標スランブ, 空気量

表2 スランブ試験後のコンクリート性状

配合名	AI 導出配合	比較配合
Sf/SI	1.74	1.94
フレッシュ性状	良好	分離傾向
スランブ試験後		

模倣した機械学習の一種である。ニューラルネットワークは入力層、中間層、出力層で構成され、各層を接続する重みを調整することで予測モデルを構築することができる。重みを調整する過程を「学習」と呼び、入力データと、期待する正解データをセットとした大量のデータ(教師データ)を、それぞれ入力層と出力層に与えることで重みの最適化を行う。重みを最適化したニューラルネットワークモデルは、データを入力することで期待する結果を返すモデルとして、AIと呼ばれている。本検討では、このニューラルネットワークを使用して、コンクリートの配合を導出する機械学習モデルを構築した。**表1**に、学習に使用したデータの項目を示す。

入力項目とした骨材の4つの物性値(粗骨材の最大寸法と実積率、細骨材の粗粒率と微粒分量)は文献^{7,8)}を参考に、以下に示す配合設計の基本概念に基づいて選定した。

コンクリートの充填率に影響を及ぼす要因として、まずは粗骨材の最大寸法と実積率が挙げられる。また、骨材の粒形および粒度分布はコンクリートの分離抵抗性や流動性に影響を及ぼすことが知られており、ここでは細骨材の粗粒率に着目した。さらに、細骨材の微粒分量が過多の場合、微粒分による吸水などが原因

でコンクリートの単位水量に影響を及ぼすことは周知の事実である。これらを踏まえて、上記4つの物性値はコンクリート配合の導出時に検討が必要な事項として、学習データにて定義づけることとした。

この配合導出技術のプログラム上に、新規の材料データや目標のフレッシュ性状を入力することで、それらの条件に適切なコンクリート配合を導出することが可能なシステムを考案した。なお、この配合導出システムにて導出したコンクリート配合の検証結果は既発表にて述べたとおりであるが、一例として**表2**に検証結果を示す。AIを用いて導出した配合と比較用の配合を基に、一般的な材料を用いて試し練りを行い、フレッシュ性状の評価による検証を行った。フレッシュ性状は、スランブ試験のほか、練り上がったコンクリートを目視確認し、材料分離やコンシステンシーの不良の有無を確認した。さらに、フレッシュ性状を定量的に評価するため、目標スランブ18cmのコンクリートについて、スランブフロー(Sf)とスランブ(SI)から比率(Sf/SI)を求めて評価を行った。文献⁹⁾によると、スランブ18cm程度のコンクリートの場合は、Sf/SIが1.7近傍の値であれば適当なワーカビリティを有するコンクリートであると定義されている。**表2**の「AI導出配合」は、AIを用いて導出した



なかにし ゆかり / NAKANISHI Yukari
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所 コンクリート技術センター
センター員 修士(工学)



いそべ りょうた / ISOBE Ryota
同上
センター員 修士(工学)

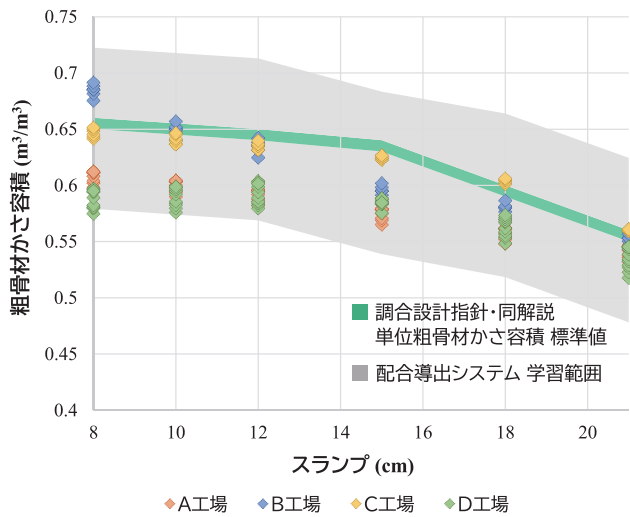


図1 単位粗骨材かさ容積とスランブの関係

配合を基に練り混ぜた結果を示し、「比較配合」は作為的に細骨材容積比を下げた配合を練り混ぜた結果である。AIを用いて導出した配合を基に練り混ぜたコンクリートは、Sf/Slが1.70近傍を示しており、スランブ試験後の写真からも、フレッシュ性状が良好なコンクリートであることがわかる。一方、比較配合を基に練り混ぜた結果は、Sf/Slが1.7よりも0.24大きく、スランブ停止時の形状が崩壊しており、一般的に扱いづらいとされるコンクリートとなっていることがわかる。

3. 導出配合 事後調整機能の検討

3-1. 検討概要

生コンクリート工場において、AIを用いた配合導出技術の実用性を評価いただいた結果、以下のような意見が挙がった¹⁰⁾。

- ① AIで導出された配合は一部を除き、工場で採用している配合や従来の方法で設計した配合と比べて、スランブや空気量の大きな違いはなかった。
- ② AIで導出された配合は、JASS5(2009年版)¹¹⁾やコンクリートの調合設計指針・同解説¹²⁾に記載の単位粗骨材かさ容積の標準値に近い値ではあったが、粗骨材が目立つ状態であった。
- ③ 試し練りによる測定結果やコンクリートの状態に応じて、配合修正を行える機能の追加が必要。

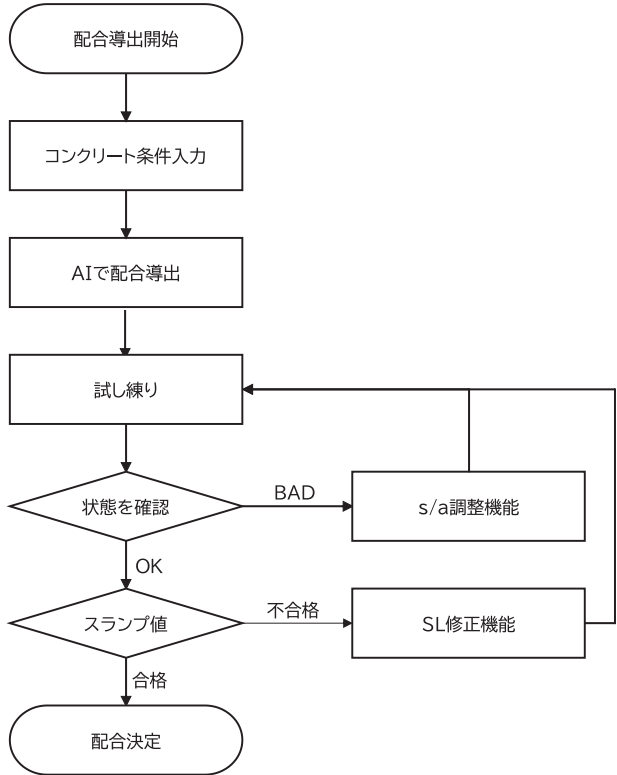


図2 配合調整機能 実施フロー図

AIを用いた配合導出技術は、学協会の指針等をベースとした教師データを多く引用しているため、これらに準じたコンクリート配合が導出される傾向がある。図1は、単位粗骨材かさ容積とスランブの関係を示したものである。このグラフから、生コンクリート工場ごとに単位粗骨材かさ容積の設計値は異なり、また、全ての工場が指針等に近い単位粗骨材かさ容積を採用している訳ではないことが分かる。なお、グラフ上の「調査設計指針・同解説 単位粗骨材かさ容積 標準値」は、普通ポルトランドセメントとAE減水剤、碎石20mmの粗骨材を用いる場合の標準値の範囲を示している¹²⁾。生コンクリート工場で標準化された配合は、使用材料はもとより、その工場で製造される生コンクリートの主な出荷先の条件(土木構造物・建築物の違い、打設部位の規模、打設方法等)に対し、適切になるように設計されていると考えられ、AIを用いた導出配合が全ての生コンクリート工場にとって最適に近い配合になるとは限らないことが分かる。

そこで筆者らは、AIで導出された配合を技術者が事後調整できる機能を追加することとした。なお、配合

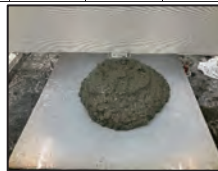
表3 検討したコンクリートの各種条件

水セメント比 (%)	55
目標スランブ (cm)	8 , 18
空気量 (%)	4.5
使用材料	普通ポルトランドセメント 砂岩碎石 陸砂+石灰砕砂 (7 : 3)

表4 配合調整内容とコンクリート性状(目標スランブ8cm)

配合名	目標スランブ 8cm									
	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					Ad (C×%)	実測スランブ (cm)
				W	C	S1	S2	G		
基準配合	55	4.5	45.0	154	280	587	254	1032	1.0	10.0
s/a 調整			47.0	157	285	610	263	986		9.0
性状	 									
	基準配合 s/a 調整									

表5 配合調整内容とコンクリート性状(目標スランブ18cm)

配合名	目標スランブ 18cm									
	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					Ad (C×%)	実測スランブ (cm)
				W	C	S1	S2	G		
基準配合	55	4.5	47.1	178	323	583	252	938	1.0	20.0
s/a 調整			49.3	181	329	605	261	892		21.5
スランブ調整			50.2	173	315	627	271	892		17.5
性状										
										
										
	基準配合 s/a 調整 スランブ調整									

の調整方法は土木学会コンクリート標準示方書[施工編：施工標準]の解説表¹³⁾を参考とした計算を、AIを用いた配合導出技術のプログラムに追加し、目標スランブを満足するだけでなく、より扱いやすく、出荷先の条件等に適合するコンクリートに調整することができるよう、システム改良を試みた。図2に、配合調整機能を追加した配合導出システムの検討実施フローを示す。

3-2. 検証方法

これまでの検証では使用実績のない骨材を用いたコンクリートの配合設計を、配合調整機能を加えたプログ

ラムを用いて求め、フレッシュコンクリートの状態を含めて適切な配合を得るまでに要する試し練りバッチ数がどの程度になるか検証した。使用材料は、セメント種は普通ポルトランドセメント(NC)、粗骨材は砂岩碎石を用い、細骨材は川砂(S1)と石灰砕砂(S2)の混合砂を使用した。また、化学混和剤はAE減水剤(高機能品)を使用した。表3に、試し練りに使用した材料と、検討したコンクリートの諸条件を示す。

3-3. 検証結果

表4,5に、試し練りの配合と、配合調整の変遷、

ICCC2023

世界のセメント・コンクリート

研究の動き④完



16th International Congress on the Chemistry of Cement in Thailand

8. 耐久性と物質移動

Durability & reactive transport (by TAKAHASHI Keisuke)

高橋 恵輔

1. はじめに

RWTH Aachen UniversityのFabien Georget

博士によるコンクリート中での塩化物イオンの拡散に関する基調講演があった。低炭素セメントの研究開発や利用が加速する昨今、塩化物浸入に対する低炭素セメントの耐久性を予測できるモデルの必要性が高まっている。同講演では、De Weerd教授らとGeorget博士が研究している塩化物プロファイルに関する現在の理解や工学的な利用について紹介された。

塩化物のコンクリート内部への浸入プロファイルは、液相に遊離した塩化物と水和物に物理的もしくは化学的に結合した塩化物の総量で表される。この総量の大部分は後者(水和物に固定される塩化物)であり、塩化物による水和物相の変化を理解する必要がある。加えて、ペーストの細孔構造と骨材との界面遷移帯も考慮する必要がある。塩化物の浸入は水酸化物イオンやカルシウムイオンの溶出と関係する。NaCl溶液とNaCl+KOH溶液にセメントモルタル硬化体を180日間浸漬した後、相組成の変化を比較すると、NaCl+KOH溶液に浸漬した場合は水酸化カルシウムの溶脱や塩化

物の浸入が1/3程度に抑制された。よって、塩化物の浸入しやすさは液相のpH低下に大きく依存する。この結果は、溶出／浸入するイオンの電荷と数が等しくなる、電気的中性の維持により説明できる。さらにpHが低下すると、塩化物固定相の分解に伴い、塩化物固定量は低下する。

低炭素セメントの場合、微細構造と塩化物固定能がポルトランドセメントとは異なるため、塩化物プロファイルも異なる。例えば、仮焼粘土やフライアッシュなどは系内でアルミナが増加するため、AFm相への硫酸イオンや塩化物イオン等の陰イオンの取り込みが多くなる。一方で、高炉スラグは系内に硫黄が十分にあれば、エトリンガイトを多く生成するため、塩化物の固定は少ないと考えられている。カルシウムアルミナシリケート水和物(C-A-S-H)も塩化物を弱く固定するが、低炭素セメントのC-A-S-HはポルトランドセメントのC-A-S-Hと比べて塩化物の固定量が少なくなる。

次に、ETH ZurichのUeli Angst教授による鉄筋コンクリートの腐食に関する基調講演があった。

低炭素セメントは炭酸化速度係数が高いことは周知の事実であるが、鉄筋コンクリートにおける中性化深さ

スランプ試験後のコンクリート性状を示す。目標スランプ8cmの場合、配合調整前にAIが導出した基準配合では若干粗骨材が目立つ質感であった。配合調整機能により細骨材容積比を設定した後、導出された配合のコンクリートはスランプの目標範囲に収まるとともに、均一かつ良好な状態であった。目標スランプ18cmの場合も、配合調整前にAIが導出した基準配合は若干粗骨材が目立つ質感であった。配合調整機能による細骨材容積比の調整後、導出された配合のコンクリートは均一かつ良好な状態であった。しかし、実測スランプが21.5cmと目標スランプの上限範囲を超過した。このため、実測スランプを基に、再度配合調整機能により配合を導出し直した結果、実測スランプ17.5cmとなり、所要の品質を有するコンクリートが得られた。本検証実験では、使用実績のない骨材でも1配合あたり2～3バッチの試し練りバッチ数で所要の性状を有するコンクリートが得られた。

4. 今後の展望、まとめ

本検討では、既発表のAIを用いた配合導出技術に対し、フレッシュコンクリートの性状や試し練りでの実測値を基に、配合を調整する機能を追加するとともに、この機能の実用性について、目標とする性状のコンクリートを得るのに要する試し練りバッチ数により検証した。使用実績のない骨材を用いた検証実験の結果、配合決定に要する試し練りの回数が減らせる可能性が示され、配合決定に要する材料準備や試し練り等、生コンクリート工場やプレキャストコンクリート製品工場での業務負担の軽減につながる事が期待される。さらに、配合調整機能の追加によって、均一性や粗骨材の割合など数値化できないフレッシュコンクリートの性状についても技術者が望むコンクリートの配合導出が可能となり、地域性や打設現場ごとの条件等にも柔軟に対応することが期待できる。

今後の展望として、適用可能な使用材料や配合の範囲の拡充を図るとともに、生コンクリート工場やプレ

キャストコンクリート製品工場での試験運用を重ねること、さらなる実用性の向上を図りたいと考えている。また、ICTやAI技術を、配合導出だけでなく、生コンクリート工場の操業維持や技術伝承のツールとして幅広く活用できるような技術開発をこれからも進めていく所存である。

【謝辞】宮澤陸様はじめ東宏生コンクリート工業(株)の皆様には、AIを用いた配合導出技術の実用性評価および、配合調整機能の追加に関する貴重なご意見をいただきました。ここに、謹んで感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省／最近の建設業を巡る状況について【報告】、2021
- 2) 伊代田岳史他／関東地区におけるレディーミストコンクリート工場の設備および人材確保・育成に関する実態踏査、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、2016
- 3) 新居宏美他／香川県の生コン工場における設備・資材・技術力等の現状、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、2016
- 4) 早野博幸／AI技術を適用したコンクリートの練混ぜ課程におけるスランプ予測手法の開発、日本建築学会技術報告集、第27巻、第65号、13-17、2021
- 5) 鹿島建設(株)広報室／動画像分析を活用したコンクリートの全量受入れ管理システムを開発、2019
- 6) 中西縁他／AIを用いたコンクリート配合導出技術の開発、月刊コンクリートテクノ、Vol.41、No.10、2022/10
- 7) 小林一輔／コンクリートの文明誌、岩波書店、2004
- 8) 日本建築学会／コンクリートの調査設計指針・同解説第4版、p.112、2015
- 9) 笠井芳夫他／コンクリートの試験方法(上)、技術書院、pp.144、1993
- 10) 宮澤陸／標準配合とAIによる導出配合の比較試験、住友大阪生コン会第14回技術報告会技術論文集、p.37、2023
- 11) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説JASS5 鉄筋コンクリート工事2009、p.237、2009
- 12) 日本建築学会／コンクリートの調査設計指針・同解説第4版、p.191、2015
- 13) 土木学会／2023制定コンクリート標準示方書[施工編]、p.66、2023

*

*

*

と鉄筋腐食の程度は一致しない。日本では2017年の示方書改定で、水の浸透の照査により、高炉セメントB種とフライアッシュセメントB種は普通ポルトランドセメントと同様のかぶり厚や水結合材比が適用された。一方、UK、スペイン、ポルトガルではクリンカ含有率の低い結合材に対して、ポルトランドセメントよりも深いかぶり厚や低水結合材比での施工を規定している。ドイツやスイスの規格においても、低炭素セメントを従来のポルトランドセメントと同様に使用することは現状認められていない。

Angst教授によれば、鋼材の物質移動、セメント相との相互作用、電気化学反応を全て考慮したモデルの構築が課題である。近年では、細孔中の水の移動やそれに伴うC-A-S-Hの動的な変化への理解から、水分移動を加味した鋼材の腐食モデルの改善が進んでいる。また、腐食への影響が大きいとされる鋼材とコンクリートの界面について、X線や中性子線によるマイクロ・ナノコンピュータ断層撮影を用いたイメージング技術により、水和物の微細構造における腐食生成物の分布に関する知見が得られている。

2. 一般講演

当セッションは大きく分けて、コンクリートの海水劣化と鋼材腐食(21件)、アルカリ骨材反応(ASR)と硫酸塩劣化(13件)、吸水抑制や溶脱等のその他耐久性に関する講演(22件)であった。

最初にコンクリートの海水劣化に関する講演について紹介する。PI0002では、水和物への吸着・結合が異なるセシウムイオンと塩化物イオンの浸透実験を濃度や細孔環境を変えて比較しており、イオン交換による水和物への固定・吸着はイオン浸透に影響しないが、不可逆なイオン吸着はイオン浸透を抑制することが示唆された。PI0007ではイオン交換であるがゆえに、AFmやC-S-Hに吸着した塩化物イオンが移動性であることが示された。PI0098では、C-S-H細孔構造の塩化物イオン移送に対する表面帯電の影響が測定され

た。PI0066やPI0091では、低炭素セメントにおける長期の塩化物イオンの浸透を迅速に評価する手法が提案された。

次に、鋼材腐食に関する講演をまとめる。PI0039では、鉄水酸化物の析出速度論に関するデータが示された。pH12以上の溶液中ではGoethiteに先立って結晶性の低い2-line ferrihydriteが急速に生成する。その後のGoethite生成は、この非晶相の再溶解が律速となる。これらの鉄水酸化物の存在を補完した熱力学的モデリングを構築することで構造劣化を正確に予測する必要があると考えられる。PI0061では、中性化したコンクリートを想定し、pH7-9溶液におけるFe(II)の酸化速度論について、分光光度法を用いて定量化した。PI0044では鋼材を浸漬させた炭酸溶液を攪拌しながら腐食速度を測ることで、攪拌により鋼材表面でのイオン種の拡散と交換が物理的に促進されて、鋼材の腐食が促進されたことが報告された。一方で、炭酸イオン濃度が腐食に及ぼす影響は不明瞭であり、継続した研究が予定されている。以上に述べた3講演はAngst教授の基調講演に関連した内容である。PI0008では、高炉スラグセメントに含まれる硫化物による鋼材の腐食挙動を調査した。PI0009では遷移帯における溶脱挙動をコンピュータ断層撮影による検証と併せてシミュレーション解析を行った。

深海や油井などの特殊な環境に関する講演も複数あった。PI0006およびPI0057では、著者らが研究する深海底におけるセメント系材料の耐久性に関する研究レビューと最新の進捗について報告があった。PI0078では、油井条件を想定して、高温高压下での水和物構造の変化を測定した。80℃30MPa環境ではAFtやAFm相の分解が遅れる可能性が示唆された。

ASRについて、PI0017では冷水抽出による遊離アルカリ含有量の測定方法について紹介された。PI0023では、アルミニウム含有有無で合成したASRゲルの構造と膨潤性の違いを評価した。アルミニウムはASRゲル構造に取り込まれている可能性、ASRゲルの連結性を高める可能性(Q4ピークの増大)などが示

唆された。PI0050では、水分レベルがASR反応に及ぼす影響を実体顕微鏡分析による損傷評価指数と関連付けた。PI0056では、ASR反応への温度影響を評価した。高温環境ではアルカリが多いほど膨張したが、低温環境ではアルカリが少ないほど長期的に大きな膨張を示した。PI0031では焼成粘土を用いたアルカリ活性材料(AAM)のASR耐性が評価された。フライアッシュや高炉スラグ系のAAMと同様に焼成粘土でも高いASR耐性が得られる可能性が示唆された。PI0029では常温および低温環境での石灰石フィラーセメントの硫酸塩劣化は石灰石置換率の上昇ともに顕著になったことが報告された。PI0073ではASR抑制に対する新規SCMs利用に向けて、SCMsの反応率と膨張量の相関を示した。

硫酸塩劣化について、PI0048では一軸浸透による硫酸塩劣化の評価により、析出塩の結晶化圧による損傷が確認でき、実用的かつ再現性の高い評価手法となることが報告された。PI0037では格子離散粒子モデルを用いて、骨材の分布やサイズを変えて膨張挙動を解析した。PI0045では下水道低温環境での実曝露試験体の観察結果が報告された。

その他の耐久性に関する講演について、PI0004では、高炉スラグセメントやカルシウムサルフォアルミネートセメントの化学侵食性を評価した。PI0020では、リン酸カリウムマグネシウムセメントの中性・塩基性溶液中での溶脱挙動について評価した。PI0025では、給水管被覆に用いるセメント系材料の水道水へのイオン溶出挙動について評価した。I0034では、分子動力学シミュレーションによるC-S-Hの溶脱挙動を解析した。PI0040では、有機シロキサンを用いた撥水性セメントに関する実験が紹介された。PI0047では、水酸化カルシウム活性した高炉スラグ硬化体の塩化物浸入抵抗性の紹介があった。PI0049では、高炉スラグ高含有結合材の炭酸化挙動をフーリエ変換赤外分光法で評価した。PI0052では、カルシウムアルミノケイ酸ナトリウム水和物ゲルの水中安定性を評価した。ナトリウムは短時間でゲル構造から溶出することや浸漬によりゲルの

重合度が少し高まることが報告された。PI0070では、SCMsを用いたコンクリートの炭酸化に関する諸データの再解析がなされた。PI0086では、アルカリ活性スラグコンクリートの熱膨張係数を測定した。

3. まとめ

当セッションも他セッションと同様に低炭素を背景とした報告内容が大半を占めており、セメント・コンクリート材料の低炭素化に向けて、耐久性や物質移動に関する知見の拡充やモデルの改善・構築が着々と進んでいる印象を受けた。また、当セッションのプロシーディング論文は良質な内容が多く、本稿で取り上げた内容の詳細が気になった方は是非論文の方も読んでいただきたい。



たかはし けいすけ / TAKAHASHI Keisuke
香川大学・イノベーションデザイン研究所 特命教授
／UBE三菱セメント(株) 研究所 主幹 Ph.D

*

*

*

9. 循環型経済への貢献を目指す研究開発

Sustainability, circular economy, waste processing and recycling (by KOBAYASHI Mari)

小林 真理

1. はじめに

本トピックスに関する基調講演は2件であり、それぞれ、“Total recycling of concrete waste using accelerated carbonation”がDr. Chi Sun Poon（香港理工大学）により、“Recycled Concrete”がMr. Narong Wonggase（Thai Cement Manufacturers Association）により行われた。一般発表は80件であった。基調講演に関してはCement and Concrete Researchから論文が発表されており、詳細は参照されたい。本稿では基調講演の内容を中心に、著者の視点で内容を抜粋して報告する。

2. 炭酸化再生骨材

コンクリート構造物の解体によって発生する廃コンクリートは再生骨材へとリサイクルされる。しかし、コンクリート用骨材として利用されるものは限られ、多くは路盤材として“ダウンサイクル”されているのが現状である。その原因は付着モルタルおよび付着ペーストの増加に伴い、コンクリートの圧縮強さが低下することが挙げられる。この解決策を大きく分けると、i) 付着モルタルを除去し、品位の高い再生骨材を製造する、ii) 付着モルタル部分の性能改善（主に密度増加）を図る、となる。i) では多くのエネルギーを要するという課題がある。その一方で、ii) に関しては近年、付着モルタル分の多い再生骨材をペースト中に含まれる水酸化カルシウム（CH）の炭酸化によって緻密化させ、コンクリートの強度改善を図る研究が多く行われており、その手法は多岐にわたる。

セメントペーストの炭酸化に関する詳しい情報はM. Zajac et al.¹⁾を参照していただきたい。ポルトランドセ

メント（PC）の炭酸化が常に“緻密化”を引き起こすとは限らない。熱力学平衡計算結果からは、CHの炭酸化ではわずかに体積が増え、その後、カルシウムシリケート水和物（C-S-H）のdecalcification（カルシウム分が溶出すること）および炭酸化に伴って体積はわずかに減少する。実際にはペースト中の水分量も密度の増減に関与するため一概には言えないが、緻密化させるためには硬化体中のCH濃度を高め、炭酸化時により多くの炭酸カルシウムを析出させることが有効である。例えば、前処理として再生骨材をCH飽和水溶液に浸漬させたり、スラッジ水を噴霧したりしてから、炭酸化処理を行うことが検討されている²⁾。緻密化が達成された炭酸化再生骨材は、炭酸化未処理の再生骨材よりも吸水率が低下し、圧縮強さが改善されることが報告されている。加えて、割裂引張強度の改善、乾燥収縮率の低減、塩分浸透抵抗性の向上なども報告されている。

付着モルタル分の多い再生骨材を炭酸化することによって享受される利点は、付着モルタル部の緻密化による効果だけでは説明されない。B. J. Zhan et al.³⁾では、“フィラー効果”と同様のメカニズムによる遷移帯（ITZ）構造の緻密化が示唆されている。フィラー効果とは、石英や石灰石微粉など比表面積の大きい物質をセメントに添加すると、微粉の表面が水和物の核析出サイトとなり、水和が促進される効果である。中でも石灰石の場合は表面がCa²⁺との親和性が高いという性質もあって、石灰石表面で比較的高密度なC-S-Hゲルの生成が報告されている。炭酸化再生骨材では、骨材表面に微細な炭酸カルシウムが析出し、これが骨材表面でフィラー効果に等しい効果を発揮すると考えられる。結果として骨材表面で高密度C-S-Hゲルが生成し、新しく生成する遷移帯構造が微細化する可能

性がある。その結果、種々の効果が得られていると考えられる。

3. 廃コンクリートを原料とした“アップサイクル”

廃コンクリートの多くが再生骨材ではなく、路盤材に利用されるダウンサイクルであるのに対し、廃コンクリートを原材料として高付加価値な材料を製造する試み、すなわち、アップサイクルを目指すことも検討されている。炭酸カルシウムはカルサイト、アラゴナイト、バテライトなど、多型が存在することが広く知られる。高純度炭酸カルシウムの用途は多岐にわたり、タイヤなどのゴム製品への添加剤や、製紙、医薬品など、様々である。用途によっては炭酸カルシウムの形状によって機能の変化がもたらされるものも多く、昔から炭酸カルシウムの形態制御に関する研究が行われてきた。例えば、球状バテライトの析出が溶液中にアンモニウム塩が存在することで促進されることなどが挙げられる。これと同様の手法を用いて、廃コンクリート微粉を塩化アンモニウム溶液に投入し、炭酸化させることでバテライト生成を行うことが報告されている⁴⁾。この時、副産物として非晶質（アルミナ）シリカゲル（（Al-）Siゲル）が生成される。この非晶質（Al-）Siゲルは高いボゾラン反応性を有することが知られ、SCMsとしてセメント系材料に利用することが想定されている。課題としては、製造工程が多くなってしまうことや、最終的に炭酸カルシウム、非晶質（Al-）Siゲルの乾燥にエネルギーを要するため、環境負荷低減という観点からは理想的と言い難い点である。

4. 炭酸化再生骨材のビジネスモデルは描けるか

廃コンクリートにCO₂固定ポテンシャルがあることは周知の事実である。しかし、各地で少量ずつ発生する廃コンクリートをどこでどのように炭酸化再生骨材へと加工し、再びどこでコンクリートとして利用するのか。輸

送や製造工程などを含む全体でのCO₂排出量と、再生骨材へのCO₂固定量、およびその採算性に関する議論が不可欠である。

J. M. Torrenti et al.⁵⁾は「FastCarb」と呼ばれるフランスの炭酸化再生骨材に関するプロジェクトにおいて、廃コンクリートの解砕から炭酸化再生骨材プラントへの輸送、炭酸化処理、生コン工場への輸送、コンクリートとしての利用に至るまで、トータルで排出および固定されるCO₂量を試算している。例えば、廃コンクリートの輸送を30km、炭酸化再生骨材の輸送は20kmと仮定し、粗骨材の5割と細骨材の2割（EN206基準内）を炭酸化再生骨材で置換すると、コンクリート1m³あたり7.3kgのCO₂削減量となる。粗骨材を10割、細骨材を5割置換すると、17.4kgのCO₂削減量となる。ただし、この試算には天然骨材を使用することで発生するCO₂量2.6 kg/m³を削減分として加味されていることに注意されたい。この炭酸化再生骨材によるCO₂削減量を多いとみるか、少ないとみるか。今後、実装を踏まえた増々の議論が期待される。

5. おわりに

本稿では炭酸化再生骨材に関する報告となったが、本セッションではクリンカ製造への廃棄物利用に関する報告もあった。例えば、鉄鋼スラグを含む鉱さいなどの利用である。頃年はCO₂削減にとらわれがちだが、環境負荷低減や経済循環を考えれば、サステナビリティの重要性は高く、廃棄物利用に関する注目度も高いと感じる。したがって、日本のセメント製造のリサイクル技術はもっとアピールしてもよいのではと思わずにはいられない。島国ゆえ、国際学会への参加は他国よりもハードルが高いと感じられるかもしれない。しかし、各国の研究者がより積極的な研究成果を世界に向けて発信しようとする昨今、日本のプレゼンスをどのように示していけるかは我々の課題となるだろう。次回、2027年にインドで開催されるICCCにもぜひ参加できればと思う。



こばやし まり / KOBAYASHI Mari
UBE 三菱セメント(株)
研究所 セメント研究室 セメントグループ
Ph. D.

【参考文献】

- 1) M. Zajac et al. / Enforced carbonation of cementitious materials, Cem. Concr. Res., vol. 174 (2023), 107285.
2) X. Fand et al. / Enhancement of recycled aggregates and

concrete by combined treatment of spraying Ca²⁺ rich wastewater and flow-through carbonation, Constr. Build. Mater., 277 (2018), 122202.

- 3) B. J. Zhan et al. / Characterization of interfacial transition zone in concrete prepared with carbonated modeled recycled concrete aggregates, Cem. Concr. Res., vol. 136 (2020), 106175.
4) H. Mehdizadeh et al. / CO₂-fixing and recovery of high-purity vaterite CaCO₃ from recycled concrete fines, Resour. Conserv. Recycl., vol. 188 (2023), 106695.
5) J. M. Torrenti et al. / The FastCarb project: Taking advantage of the accelerated carbonation of recycled concrete aggregates, Case Stud. Constr. Mater., vol. 17 (2022), e01349.

10. セメント・コンクリートの標準化

Standardisation of cement and concrete (by MIZUNO Tetsunari)

水野 哲成

1. はじめに

本トピックスでは、基調講演が2件と一般発表が5件(ポスター発表含む)が行われた。一般発表では、欧州セメント規格の最近の進展に関する報告などがあり、日本からはコンクリート用火山ガラス微粉末の規格化のための研究について報告があった。ここでは、基調講演の内容について紹介する。なお、内容を補完するため、一部に意識が含まれていることをお含みおきいただきたい。

2. 基調講演①

L.L. Sutter博士(Sutter Engineering LLC / ミシガン工科大学)とR.D. Hooton教授(トロント大学)からは“Progress towards sustainability through performance-based standards and specifications”のタイトルで、仕様規定型から性能規定型の規格への移行の必要性とその課題、また最近のASTM規格の開発動向に関する内容の講演があった。

(1) 性能規定型の規格への移行とその課題

一般的にセメントを含めてコンクリートの材料の規格は、歴史的に仕様規定であり、材料の選択肢が限ら

れていた時代には適切であった。しかし、現在、CO₂排出量削減に向けた取組みとして、新しい補助セメント系材料(SCMs)の開発や新旧のSCMsの新しい組合せが検討されているが、新しい材料や組合せには制限がある。その結果、仕様規定が取組みの適用のための障害となっている場合があり、現在使用されている仕様規定型の規格を変えていく必要がある。

性能規定型の規格には新しい試験が必要である。現在の材料の標準仕様書は、経験的なものであり、ポルトランドセメントまたはポルトランドセメントをベースとしたコンクリートのために開発された試験方法に基づいている。既存の多くの性能関連の試験方法では、実際の現場のコンクリートの性能を正確に予想できない場合があるため、試験方法の修正、または新しい試験方法が必要である。例えば、SCMsの置換割合の大きいセメントを用いたコンクリートでは、材齢28日以降で最終的な性能が発現する(例えば、56日や91日)。

さらに、新しい材料に関しては、既存の試験方法により材料の性能を実証すること、それらの試験結果と現場での性能との相関関係を示すことが必要である。新しい材料の導入が急務の場合、既存の試験方法に必要な修正を加え、使用する必要がある。新たな試験方法を採用するためには、試験方法を開発し、次

に材料の性能を実証するという2つの段階が必要となり、さらに“機能的同等性(規格・基準が異なっても同じ目的を達成できること)”の実証のため、新しい材料の採用までに時間がかかる。ただし、既存の試験方法でも材料の特性評価が不十分であるため、すべての材料に新しい試験方法を採用する必要がある。

性能規定型の規格への移行の必要性は長い間議論されてきたが、その採用は進んでいない。例えば、1992年に性能規定型の規格としてASTM C 1157 (Standard Performance Specification for Hydraulic Cement)が制定されたが、北米の建設業界では受け入れられていない。その主な理由は、性能の要求事項が信用されていないこと、使用者はセメントの正確な化学成分を知りたいと考えていることである。

その他の障害としては、所有者の品質保証と品質管理は歴史的に仕様規定に基づいていること、材料使用者の負担がある。なお、使用者の負担としては、目標の性能を達成するための材料を組合せるコンクリートの設計の責任の増加、新しい試験への対応やコストの増加などがある。新しい材料および試験方法は、既存の建設インフラに容易に導入できることが必要である。

(2) 最近開発された規格

コンクリートの材料が仕様を満たしている場合でも、材料を組合せて使用した場合に予期しない性能(凝結の遅延、低い初期強度、空気量の変動など)が発現することがある。このような問題に対応するため、セメント、補助セメント系材料(SCMs)、化学混和剤を組み合わせたときの性能を適切に評価・予測するための試験方法が開発されている。例えば、セメントをSCMsおよび化学混和剤と組合せたときの初期水和速度を評価する方法としてASTM C1679が、SCMsの反応性を評価する方法としてR³ test¹⁾を標準化したASTM C1897が制定された。

また、非水硬性のセメントの規格も開発されており、CO₂と反応することで硬化するセメントの仕様および試験方法としてASTM C1905およびASTM C1910が、アルカリ活性セメントの試験方法としてASTM C1928

が開発された。

(3) 検討が行われている規格

ASTM C1697では、混合物として仕様を満たせば、仕様を満たしていないSCMsを材料として使えるように規格を変更することが検討されている。

ASTM C595では、新しい混合セメントの仕様“Type C”を追加することが検討されている。Type Cは、現在規定されているType IT(石灰石15%以下、ポゾラン40%以下、かつ、石灰石、高炉スラグおよびポゾランの合計が70%以下の三成分系のセメント)を超えるものとしている。

3. 基調講演②

Christoph Müller博士(VDZ)からは“How standards support sustainability of cement and concrete in Europe”のタイトルで、欧州における新しいセメント規格やコンクリートの耐久性についてのコンセプトであるExposure Resistance Classes (ERC)等に関する内容の講演があった。

(1) 新しいセメント規格

2021年にEN 197-5 (Portland-composite cement CEM II/C-M and composite cement CEM VI)、2023年にEN 197-6 (Cement with Recycled Building Materials)が制定された。

EN197-5では、クリンカー(50~64%)と2種類の混合材からなるCEM II/C-M、および50%未満のクリンカー(35~49%)、高炉スラグ(31~59%)ともう1種類の混合材からなるCEM VIが規定されている。いずれもクリンカー比率を低減した、三成分系のセメントとなっている。

EN 197-6では、再生コンクリート微粉末(Recycled Concrete Fines)を使用したセメントが規定されており、混合材の1つとして最大で35%まで使用することができる。再生コンクリート微粉末は、再生碎石を製造する工場等から得られる特別に選別、調製された鉱物材料と定義されており、全有機炭素(TOC)含有量、

硫酸塩含有量，およびメチレンブルー試験による粘土含有量に関して規定がある。

なお，これらの規格では混合材として使用する石灰石に関する要件がEN 197-1とは変更されており，炭酸カルシウムの含有率が40%以上，かつ，炭酸カルシウムと炭酸マグネシウムの含有率の合計が75%以上のものとなっている。

(2) Exposure Resistance Classes

ERCは，コンクリートの耐久性に関する新しいコンセプトで，鉄筋腐食に対する設計を目的として，中性化または塩化物の抵抗性を指標としてコンクリートを分類し，耐久性に必要な鉄筋の最小かぶり厚さを暴露クラスと設計耐用年数に関連付けたものである。中性化によるクラス分けの場合，基準条件下(20℃，相対湿度65%で400ppmのCO₂濃度の環境)において50年後

に想定される中性化深さから定義され，中性化抵抗性が低いと最小かぶり厚さは大きくなる。なお，ERCは，次のバージョンのEurocode2(EN 1992)に導入される予定である。



みずの てつなり / MIZUNO Tetsunari
(一社)セメント協会 研究所

【参考文献】

- 1) F. Avet et al. / Development of a new rapid, relevant and reliable (R³) test method to evaluate the pozzolanic reactivity of calcined kaolinitic clays, Cement and Concrete Research, Vol.85, pp.1~11, 2016



【おもな内容】セメントって知ってる？／みんなの安全なく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

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



高強度埋設型枠の微細ひび割れ抑制に関する実験的研究

Experimental Study on Micro-crack Control of High-Strength Mortar Pre-cast Embedded Form

秋山 五郎 西 祐宜 高橋 敏樹 川西 貴士 平田 隆祥

1. はじめに

近年，生産性向上，省力化を目的に，プレキャストコンクリート(以下，PCaと称す)の積極的な使用が進められている。PCaとして主にボックスカルバートや擁壁，ブロックなどが挙げられるが，昨今では，橋梁の橋脚などにPCa埋設型枠を使用して，施工期間の短縮を狙った事例が増加している。PCa埋設型枠には，耐久性の向上や早期脱型強度の発現，部材の薄肉化を目的に高強度モルタルの使用が求められるケースがある。一方で，高強度モルタルは水セメント比(以下，W/Cと称す)の低下によりセメントの水和に伴う自己収縮が増大する。また，部材の薄肉化により外部からの乾燥の影響を受けやすく，内部コンクリートによる埋設型枠への拘束応力により，微細なひび割れが発生することが懸念される。

土木学会「コンクリート標準示方書：設計編」では，過去にコンクリートの収縮ひずみの規定値(2007年版)が定められていた。現在では，コンクリートの収縮の特性値は，使用骨材，セメントの種類，コンクリートの配合等の影響を考慮して定めるとされている。加えて，実構造物が置かれる環境を想定した，温度履歴や部材の形状，乾燥開始材齢が収縮に及ぼす影響を把握することが重要である¹⁾。したがって，JIS試験値を基にコンクリート構造物の収縮ひずみを算定する際には，上記の影響を考慮する必要がある。

日本建築学会「膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調合設計・製造・施工指針(案)」²⁾では，収縮低減剤を使用した収縮抑制に関して整理されている。対象となる収縮は，乾燥収縮のみであるため，W/C=40%以上のコンクリートのみが対象である。既報³⁾では，自己収縮および乾燥収縮の低減を目的とし



あきやま ごろう / AKIYAMA Goro
(株)フローリック
技術本部 コンクリート研究所
研究員 学士(工学)



にし ひろのぶ / NISHI Hironobu
同上
所長 博士(工学)



たかはし としき / TAKAHASHI Toshiki
(株)大林組
生産技術本部 技術第一部
担当部長 修士(工学)



かわにし たかし / KAWANISHI Takashi
(株)大林組
技術研究所 生産技術研究部
上席研究員 博士(工学)



ひらた たかよし / HIRATA Takayoshi
同上
上級主席技師 博士(工学)

表 1 高強度モルタルの使用材料		
種類	記号	概要・主成分・物性値
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³
混和材	Ex	石灰系膨張材, 密度3.16g/cm ³
細骨材	S1	石灰砕砂, 表乾密度2.68g/cm ³ , F.M.:2.40, 吸水率:1.95%
	S2	石灰砕砂, 表乾密度2.64g/cm ³ , F.M.:3.11, 吸水率:0.60%
粗骨材	G1	石灰砕石150 ϕ , 表乾密度2.68g/cm ³ , 実積率:62.1%, 吸水率:0.58%
補強繊維	PP	ポリプロピレン繊維, 密度0.91g/cm ³
	NY	ナイロン繊維, 密度1.13g/cm ³
化学混和剤	SP	JIS A 6204 高性能減水剤 I 種(ポリカルボン酸系)
	AE	JIS A 6204 AE剤 I 種(樹脂酸塩系)
	SRA	グリコールエーテル系収縮低減剤

た収縮低減剤を用いた高強度モルタルの配合検討が行われている。W/C=28%のモルタルに対し、収縮低減剤の使用量を5～15kg/m³の範囲で添加し、圧縮強度、凝結時間に及ぼす影響と収縮ひずみについて検討している。W/C=28%においても、収縮低減剤の使用量に応じて、乾燥収縮ひずみおよび自己収縮ひずみが低減され、特に自己収縮ひずみの低減効果は顕著な結果であった。収縮低減剤の増加に伴い、圧縮強度は低下する傾向を示したものの、目標の圧縮強度を満たす結果であった。既報³⁾は、定められた配合条件に対して収縮低減剤の使用量を変化させ、その効果を実証している。さらに収縮低減剤の効能を活かすためには、収縮抑制の対象であるコンクリートの使用材料の選定、配合の最適化を行った上で、収縮低減剤を最適な使用量添加することが望ましいと考えられる。

本研究では、収縮低減剤を使用した高強度モルタルの配合検討を試み、併せて乾燥収縮・自己収縮ひずみの測定、圧縮強度などを確認した。また高強度モルタルを使用した埋設型枠の模擬体を作製し、上部に普通コンクリートを打継いだ際の、暴露試験および表面性状について観察を行った。併せて、養生方法の違いや、塗布型収縮低減剤(グリコールエーテル系誘導体高含侵タイプ)の適用におけるモルタルパネルの表面性状について検討した。

2. 実験概要

2-1. 埋設型枠用高強度モルタル

(1) 使用材料

表 2 高強度モルタル配合										
No.	W/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)							外割 (vol%)
			W	C	Ex	S1	S2	G1	SRA	
1	28.0	4.5	220	787	-	1302	-	-	10	1.0
2	28.0		215	768	-	-	1312	-	10	1.0
3	27.1		210	749	25	-	1320	-	10	1.0
4	28.0		230	821	-	-	1228	-	10	0.5
5	28.0		190	679	-	1032	-	442	10	0.3

表 1に埋設型枠用高強度モルタルの使用材料を示す。既報を参考に、収縮ひずみ低減を目的として、細骨材には石灰砕砂を使用し、グリコールエーテル系の収縮低減剤(以下、SRAと称す)を使用した。また、ひび割れ抑制を目的として、各補強繊維を配合している。PCaかつ高強度モルタルであるため、練混ぜにはJIS A 6204に適合する高性能減水剤を使用してフレッシュ性状の流動性を調整した。

(2) 配 合

表 2に高強度モルタルの配合を示す。目標とする圧縮強度は、標準養生の材齢28日で60N/mm²として、水結合材比(以下、W/Bと称す)を28%程度に設定した。ここで結合材Bはセメントと膨張材を合算した値を用いている。SRAの使用量は既報³⁾を参考に、圧縮強度に影響が少なく、十分な収縮低減効果が得られる10kg/m³で評価を進めた。SP、AEおよびSRAは単位水量の一部として計量している。見かけの粘性が低い場合や分散性が不足する場合には、W/Bを固定し目標の性状が得られる程度まで単位水量を調整した。従来検討してきた石灰砕砂S1とは別に、粗粒率(以下、F.M.と称す)の高い石灰砕砂S2を選定して比較した。総収縮量の低減を目的に膨張材を25kg/m³添加した水準を設けた。補強繊維の配合量を増加させ、フレッシュ性状やひび割れ抑制効果を確認した。モルタル量の減少による乾燥収縮量が低減することを期待し、粗骨材を配合したコンクリートを想定した水準も設けた。練混ぜには、公称容量55Lの強制2軸ミキサを使用し、練混ぜ容量は35Lとした。モルタルおよびコンクリートの練混ぜ時間は3分、補強繊維投入後さらに1分練混ぜ、各種試験に供した。環境温度は20℃、試料温度は20±2℃の条件である。

表 3 試験項目の一覧		
試験項目	試験方法	備考
スランブフロー	JIS A 1150	目標値:550mm±75mm
空気量	JIS A 1128	目標値:4.5±1.5%、無注水法
圧縮強度	JIS A 1108	試験体寸法:φ100×200mm, 材齢7,28,91日
凝結時間	JIS A 1147	自動凝結試験機による
乾燥収縮	レーザー法	JIS A 1129を参考
自己収縮	埋め込み型ひずみ計	凝結始発時間より測定

表 4 普通コンクリートの使用材料

種類	記号	概要・主成分・物性値
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³
細骨材	S3	山砂, 表乾密度2.56g/cm ³ , F.M.:2.62, 吸水率:1.98%
粗骨材	G2	硬質砂岩砕石200 ϕ , 表乾密度2.65g/cm ³ , 実積率:60.0%, 吸水率:0.66%
化学混和剤	AD	JIS A 6204 AE減水剤 I 種(リグニンスルホン酸系+オキシカルボン酸系)
	AE	JIS A 6204 AE剤 I 種(樹脂酸塩系)

表 5 普通コンクリートの配合

No.	W/C (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S1	G
6	55	4.5	165	300	842	977

(3) 試験項目

表 3に試験項目の一覧を示す。スランブフローの目標値は550mm±75mm、空気量は4.5%±1.5%とした。目標値を満足した試料を対象に、圧縮強度、凝結時間、乾燥収縮および自己収縮試験を実施した。圧縮強度は標準養生(20℃、水中)にて保管し、各材齢で試験した。乾燥収縮試験は、JIS A 1129を参考に供試体(100×100×400mm)を作製および保管した。供試体の両端に10mm四方のセラミック板を接着し、レーザー変位計を用いて測定した。測定は打設日より7日間水中養生を行い、引き揚げた時点を基準とする。そこから1、4、8、13、26週に至るまで測定を行った。自己収縮試験は、日本コンクリート工学会の自己収縮研究委員会が提案している「セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法⁴⁾」に準拠した。**写真 1**に埋め込み型ひずみ計を配置した供試体型枠を示す。供試体寸法は乾燥収縮と同様であり、脱型後の水分逸散を防ぐため供試体表面をPTFEシート等で梱包し測定を行った。



写真 1 埋め込み型ひずみ計と供試体型枠

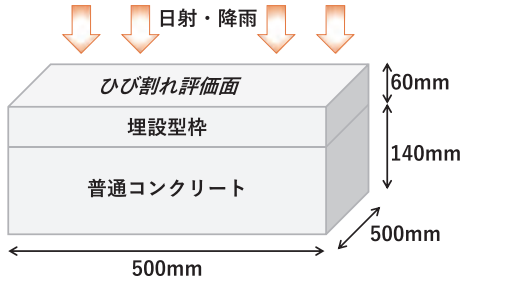


図 1 暴露供試体の概要

2-2. 普通コンクリート

表 4に普通コンクリートの使用材料、**表 5**に配合を示す。スランブの目標値は8cm±2.5cm、空気量は4.5%±1.5%とした。目標とする圧縮強度は、標準養生の材齢28日で30N/mm²とした。

2-3. 暴露供試体

図 1に暴露供試体の概要を示す。高強度モルタルを用いた埋設型枠部は、500×500×60mmの寸法である。PCaを想定して、モルタルを型枠に打設後すぐ、2時間前置き、40℃環境下で5時間の蒸気養生を行った。注水より24時間後に脱型し、普通コンクリート打継面をウォータージェットで目荒らし処理を行った。その後、材齢28日まで20℃±3℃環境の室内で保管した。埋設型枠の養生が終了した後に、内部コンクリートを模擬した厚さ140mmの普通コンクリートを打設した。

表6 暴露供試体の養生方法		
供試体No.	配合No.	備考
1	1	蒸気養生→28日室内保管→普通コン打設→24h後脱型, 屋外暴露
2	2	
3	3	
4	4	
5	5	
6	2	蒸気養生→28日水中養生→普通コン打設→24h後脱型, 屋外暴露
7	2	蒸気養生→養生剤塗布→28日室内保管→養生剤塗布→普通コン打設→24h後脱型, 屋外暴露

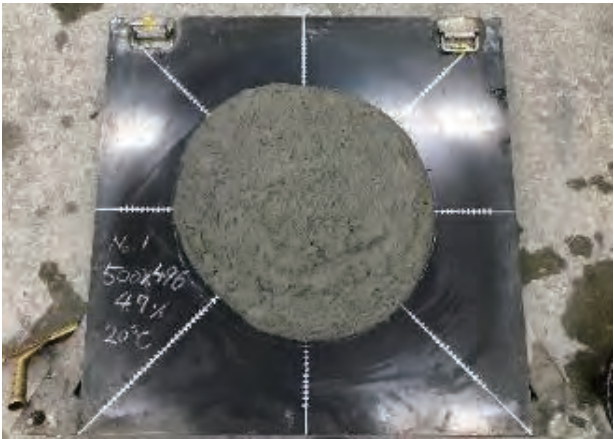


写真2 モルタル性状 (配合No.1)



写真4 普通コンクリート打設状況

翌日に脱型し、埋設型枠表面を残して、その他5面はアルミテープにより封緘した。暴露供試体は木製の角柱に載せ、地面から10cm程度離れた状態で、屋外に暴露した。その際、埋設型枠表面が上部になる様に配置し、乾湿、温度変化の影響を受けたモルタル表面の性状を確認した。暴露供試体の実ひずみを、貼り付け型および埋め込み型ひずみ計を用いて測定したが、既報⁵⁾にて報告されているため、本稿では割愛する。

2-4. 埋設型枠 養生・評価方法

表6に埋設型枠の配合および養生方法を示す。供

表7 埋設型枠のひび割れ評価方法					
評価	1	2	3	4	5
備考	ひび割れ無し	微細ひび割れ 0.05mm以下	微細ひび割れ 0.05mm以下 広範囲	ひび割れ 0.05mm以上	ひび割れ 0.05mm以上 広範囲
参考 写真					

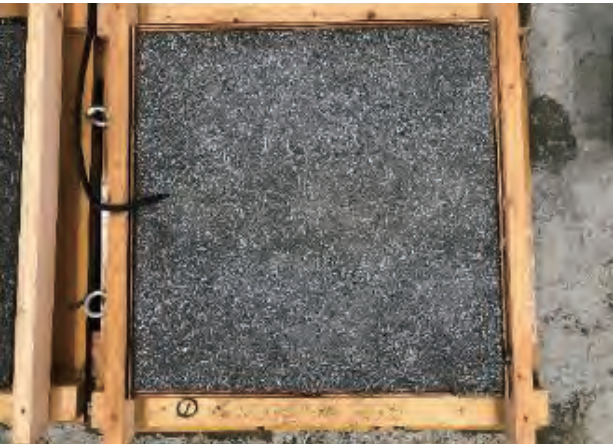


写真3 採取したモルタルパネル

試体No.1～5は表2に示す配合No.1～5を使用している。供試体No.6は配合No.2を使用し、蒸気養生後に材齢28日に至るまで20℃で水中養生した。

供試体No.7は蒸気養生後、塗布型収縮低減剤をモルタルパネル全面に100g/m²塗布した。普通コン打設前日にも同様に養生剤として、塗布型収縮低減剤を塗布し、暴露後の収縮ひずみへの影響とひび割れ抵抗性について検討した。

表7に埋設型枠のひび割れ評価方法を示す。供試体観察は晴れまたは曇りの日に実施した。ひび割れ評価面に霧吹きで精製水を噴霧し少し馴染ませた後に、表面の水を取り払う。乾き始めた時点で表面の観察を行い、ひび割れと思われる箇所をチョークで囲い、目立つひび割れはチョークで線を引き写真を撮影した。供試体暴露は4月より行い、8月まで観察を行った。

2-5. 暴露供試体 試験状況

写真2にモルタル性状 (配合No.1)、写真3に採取したモルタルパネル、写真4に普通コンクリート打設状



写真5 屋外暴露状況

表8 フレッシュ試験の結果										
配合 No.	SP (B×%)	AE (B×%)	スランプ フロー (mm)	フロー時間 (sec.)		Air (%)	C.T. (℃)	凝結時間 (h-m)		
				50cm	停止			始発	終結	
1	0.95	0.003	500	15.7	32.3	4.7	20	3-30	5-55	
2	1.10	0.003	550	7.3	35.4	3.7	20	3-25	5-35	
3	1.20	0.003	590	6.1	53.9	3.8	21	3-00	5-45	
4	1.15	0.003	515	-	27.8	4.1	21	3-40	6-15	
5	1.15	0.010	555	21.4	86.1	3.6	21	5-05	7-30	

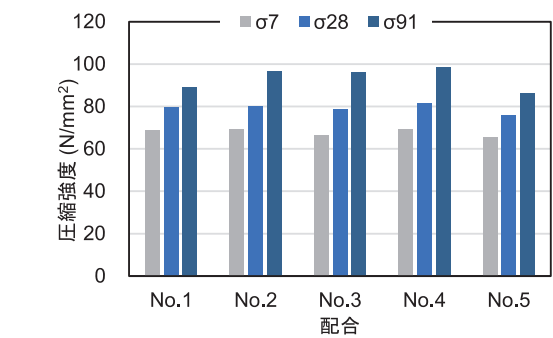


図2 圧縮強度試験結果

況、写真5に屋外暴露状況を示す。写真3に示すモルタルパネルは、各種養生した後、写真4に示す型枠を再度組み直し、目荒らし処理を施した箇所に表5に示す普通コンクリートを打設した。普通コンクリートは2層に分けて打ち込み、各層につき棒状パイプレタを挿入し、4か所の締固めを行った。

3. 実験結果および考察

3-1. フレッシュ試験

表8にフレッシュ試験の結果を示す。いずれのモル

タルおよびコンクリートも目標のフレッシュ性状を満足する結果となった。配合No.1とNo.2を比較すると、No.2の方が細骨材のF.M.が高く単位水量を減らすことが可能となった。結果として目標の流動性を得るためのSP添加率は増加したが、フロー時間を見ても粘性が高くなることはなく、必要なフレッシュ性状を担保できている。配合No.4は補強繊維を増加させたため、配合No.1より単位水量を10kg/m³増加させる必要があった。配合No.5はS2で検討していたが、粘性が低いため粗骨材が分離し、目標の流動性を満足できなかった。細骨材をS1に変更したところ、コンクリートの一体感が高まり、性状を満足することができた。モルタルの凝結始発時間は3時間程度、コンクリートは5時間で凝結始発を確認した。SRAを多量に添加しても凝結時間は大幅に遅延しないことが確認された。

3-2. 圧縮強度

図2に圧縮強度試験結果を示す。全ての配合で材齢28日の目標圧縮強度である60N/mm²を満足する結果が得られた。細骨材の種別、単位水量の増減や

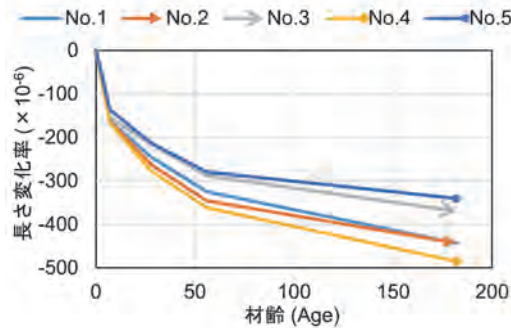


図3 乾燥収縮試験結果

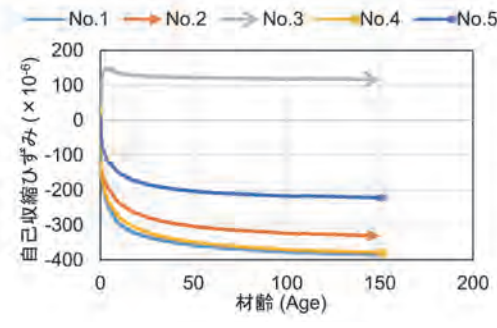


図4 自己収縮試験結果

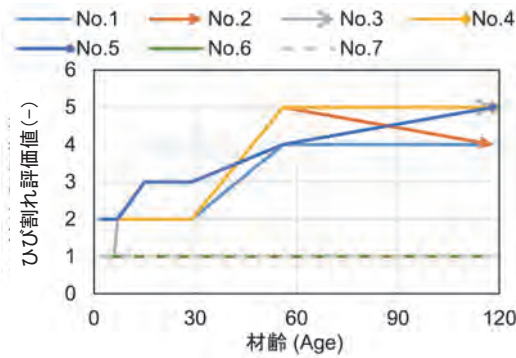


図5 暴露供試体の観察結果

膨張材の有無で圧縮強度に大きな差は確認されなかった。粗骨材を組成した配合No.5においては、モルタル分が減少した影響か、材齢91日における圧縮強度は若干低い結果であった。

3-3. 乾燥収縮試験

図3に乾燥収縮試験結果を示す。配合No.1とNo.2を比較すると、材齢8週まではNo.2の方が長さ変化率は若干大きく、26週で同等の結果となった。細骨材の変更により、単位水量が低減したことで乾燥収縮の低減を期待したが、今回の検討では差は見られなかった。配合No.4は補強繊維の増量により、単位水量を増加させた影響か、長さ変化率が最も大きくなった。配合No.3およびNo.5はほぼ同様の長さ変化率であった。膨張材と収縮低減剤を併用した際のコンクリートの拘束膨張率は、膨張材のみの水準より大きくなる結果が報告²⁾されている。配合No.3も同様の傾向であったと推察すると、今回の検討でも同様の現象が確認されたといえる。配合No.5は石灰碎石の適用による単位水量の減少、モルタル量の減少および骨材の弾性

係数が影響し、全水準の中で最も長さ変化率が小さい結果となったと考えられる。

3-4. 自己収縮試験

図4に自己収縮試験結果を示す。配合No.1に比べ配合No.2の方が、自己収縮ひずみが若干小さい結果となったが、骨材の違いが自己収縮ひずみに与える影響は小さい結果であった。配合No.4については、補強繊維の増量により、単位水量および総セメントペースト量が増加した影響か、自己収縮ひずみは配合No.1と同等となった。同様に粗骨材を適用した配合No.5は、自己収縮ひずみが小さくなる結果であった。配合No.3は膨張材を適用しており、材齢初期に膨張側のひずみ(+側)にシフトし、その後若干の自己収縮を示す傾向であった。母材としてのひび割れへの抵抗性は最も高いと考えられる。

3-5. 暴露供試体 観察結果

表7におけるひび割れ評価方法に従った暴露供試体の観察結果を図5に示す。なお、普通コンクリート



写真6 暴露供試体の観察結果

[供試体No.1, 暴露期間14日, 評価2]

のフレッシュ性状は、スランプ値が9.5cm、空気量が4.7%であった。圧縮強度は標準養生の材齢28日で、43.3N/mm²であった。

暴露から1週間程度観察したところ、供試体No.6およびNo.7を除き、微細なひび割れがひび割れ評価面に発生する結果となった。モルタルパネル全域ではなく、中心部から端部にかけて局所的にひび割れが観測された(写真6)。

暴露から2か月程度経過したところ、供試体No.1～5はひび割れ幅が目立つ結果となった。軽く散水し、強制的にひび割れを表出させたひび割れであるため、大きく美観を損ねる範囲ではないことを付記しておく。相対的に見ると、供試体No.6およびNo.7はひび割れも確認されず、美観に優れる結果となった。

供試体No.6はモルタルパネルへ精製水を噴霧した際の含侵が遅く、乾燥に時間がかかる傾向であった。モルタルパネルを水中養生した影響か、気中養生よりも緻密なモルタルが形成され、水分の含侵および逸散が抑制されていると考えられる。ひび割れへの抵抗性は比較的高いと予想されるが、PCa埋設型枠を想定しているため、長期間の水中養生は工場製作コストを上昇させてしまうことが課題である。

供試体No.7は脱型後と普通コンクリート打設前日に、塗布型収縮低減剤をモルタルパネルに塗布した。塗布型収縮低減剤は、無塗布の水準よりも水分逸散が抑制され、内部の相対湿度が高くなると考えられており、収縮ひずみおよび収縮速度が低下、保湿効果による圧縮強度の増進が期待できるとされている⁶⁾。今回の水準でも同様の傾向が得られており、結果として

水中養生(供試体No.6)と同程度の結果が得られた。PCaのひび割れ抑制として、気中養生における塗布型収縮低減剤の有効性が示唆された。

暴露供試体については、ひび割れ評価面を除いてアルミテープで封緘している。普通コンクリートからモルタルパネルへの水分移動や、降雨による水分供給により、内部で収縮差が生まれ、結果としてひび割れが発生すると考えていた。そのため、打継面に防水処理を施した水準も並べて評価したが、良好な結果が得られず今回は割愛している。本検討では、PCa埋設型枠であるモルタルパネルを適切に養生し、使用材料を選定することで、ひび割れ抑制を実現できることが示唆された。

3-6. 収縮低減剤の選定

埋設型枠の表面性状(美観)に及ぼす影響因子を抽出、対策を講じる上で収縮低減剤の使用を決定している。図1に示すように埋設型枠と普通コンクリートの境界は連続している。水分逸散は埋設型枠上面のみであり、普通コンクリートの水分移動も逸散面への一方向と考えられる。異なる硬化体構造、水分量および収縮特性のコンクリートを結合させているため、埋設型枠自体の変形は普通コンクリートの影響を無視することができない。すなわち、普通コンクリートに接触する埋設型枠は水分量が多く(収縮小)、解放面は乾燥の影響(収縮大)を受けることとなる。この変形の挙動差が埋設型枠の表面性状に影響を及ぼしていると推察できる。材齢初期の自己収縮挙動は、その後の乾湿条件で生じる体積変形に伴う表面性状の変化に影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、要因特定は困難なため、目視観察にてその影響を確認する以外にないと考えた。

自己収縮は、微細空隙内におけるメニスカスの形成による毛管張力を主の駆動力とする現象とされる。固相が完全に形成されると自己収縮は収束する。乾燥収縮は固相表面からの相互間力に起因する分離圧を主の駆動力とする⁷⁾。収縮低減剤を使用することで、

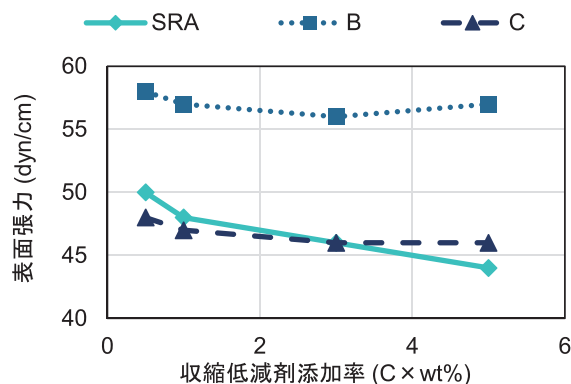


図6 収縮低減剤添加率と表面張力の関係(Wilhelmy法)

表面張力の低下により自己収縮を抑制し、分離圧差の低減および比表面積の変化等により乾燥収縮を抑制することができる。埋設型枠に収縮低減剤を添加し、自己収縮を抑制することで表面性状の変化を期待した。

図6に収縮低減剤添加率とWilhelmy法による表面張力の関係を示す。本報告で使用したSRAの重量平均分子量が最も小さく、B、Cの順に大きくなっている。一般的な使用量で収縮低減剤を使用した場合、液相中の収縮低減剤は臨界ミセル濃度(c.m.c)に達していると考えられる。表面張力の低下により自己収縮は抑制するが、メニスカスを形成する水分内に存在する必要があるため、実際には収縮低減剤の分子量や親水性によりその効果は変化する。比較的低分子であるSRAで、十分な表面張力低下能を有することが確認された。

4. まとめ

本稿では、埋設型枠の微細ひび割れ抑制を目的に、収縮低減剤を使用した高強度モルタルの配合検討や収縮特性の確認を行った。また埋設型枠を模擬したモルタルパネルを作製し、普通コンクリートを打ち込んだ際のモルタルの表面性状について確認した。得られた知見を以下に示す。

(1) 細骨材のF.M.の違い、補強繊維の増量、粗骨材の適用により、目標のフレッシュ性状を得るための単位水量は変更する必要があった。収縮低減剤の使

用により、凝結時間の遅延が懸念されたが、概ね問題ない結果であった。

(2) 配合No.1～5において、目標の圧縮強度 $60\text{N}/\text{mm}^2$ を満たすことができた。膨張材の有無、補強繊維の増量による圧縮強度への影響は小さい結果であった。

(3) 細骨材の産地による乾燥収縮への影響はほとんど確認されなかった。補強繊維の増量に伴う単位水量の増加により長さ変化率は大きくなった。

(4) 乾燥収縮、自己収縮において、配合No.3およびNo.5が良好であり、膨張材や粗骨材の適用により収縮ひずみが低減する結果であった。

(5) 供試体No.1～5でモルタルパネル表面に微細なひび割れを確認した。水中養生した供試体No.6と塗布型収縮低減剤を使用した供試体No.7が美観に優れる結果となった。

【参考文献】

- 1) 土木学会／コンクリート標準示方書〔設計編〕, 2022.12
- 2) 日本建築学会／膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調査設計・製造・施工指針(案)・同解説, 2017.2
- 3) 川西貴士, 平田隆祥, 高橋敏樹, 西祐宜／収縮低減剤を用いたプレキャストコンクリート用高強度モルタルの配合検討, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, V-493, 2019.9
- 4) コンクリート工学協会／コンクリートの自己収縮研究委員会報告書, pp.51～54, 2002.9
- 5) 高橋敏樹, 川西貴士, 東上床かよこ, 平田隆祥, 秋山五郎, 西祐宜／埋設型枠用高強度モルタルの収縮特性と暴露試験, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, V-39, 2021.9
- 6) 西祐宜, 佐川孝弘, 松沢友弘／塗布型収縮低減剤の養生効果, コンクリート工学, Vol.51, No.3, pp.251～258, 2013.3
- 7) 丸山一平, 岸直哉／収縮低減剤の作用機構, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 74, No.645, pp.1895～1903, 2009.11

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

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

委員

石橋 忠良	J R 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括
伊藤 智章	UBE三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会 技術部 技師長
彌永 育代	麻生セメント(株) 品質技術部 セメント・コンクリート技術センター サブリーダー
浦野 真次	清水建設(株) 技術研究所 建設基盤技術センター 主任研究員
金澤 智彦	日鉄セメント(株) 技術本部 製品開発部 上席研究員
河村 直彦	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会(ビーエス・コンストラクション(株))
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 構造研究室長
黒川 大亮	太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 主席研究員
古賀 裕久	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員
坂井 悦郎	東京工業大学 名誉教授
坂井 吾郎	鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員
棚野 博之	(国研)建築研究所 材料研究グループ 客員研究員
中村 明則	(株)トクヤマ セメント開発グループ 主席
流 龍成	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー
野口 貴文	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
平田 隆祥	(株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師
平野 修也	(株)フローリック 技術本部 コンクリート研究所 主席研究員
森川 嘉之	(国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
山路 徹	(国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長
清田 正人	(一社)セメント協会 セメント系固硬化材普及専門委員会 委員長
宮脇 賢司	(一社)セメント協会 セメント系固硬化材技術専門委員会 委員長
大石 英男	(一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事
廣川 誠一	(一社)セメント協会 常務理事
吉田 雅彦	(一社)セメント協会 研究所長

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	UBE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)

○3Dコンクリートプリンティングの現状と将来展望

○韓国セメント産業のカーボンニュートラルの現況と今後の方案

○早期交通開放コンクリートを用いたスリップフォーム工法の検討

○トンネル覆工コンクリートの全自動打設システムによる施工実績

○セメント系材料に吸収固定されたCO₂の定量手法確立への取り組みと今後の展望

○既存地下躯体の耐用年数評価取得による再利用—五反田JPビルディング—

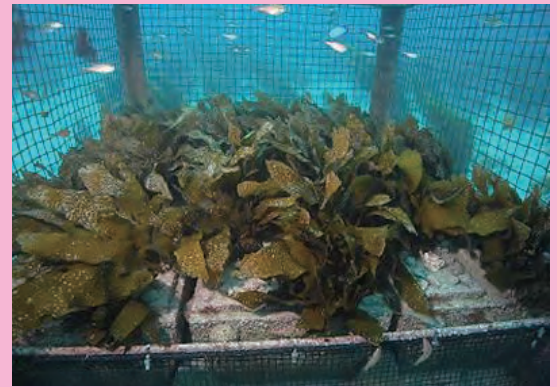
○炭酸化したスラッジ再生セメントによるカーボンネガティブ結合材の開発

○新東名高速道路 滝沢川橋(仮称)の施工

○セメント系材料のケイ酸構造解析のためのトリメチルシリル誘導体化法の活用

○第52回(2024年度)セメント協会論文賞の選考経過と推薦理由/論文賞を受賞して

○ずいそう(加藤敏明) ほか



コンクリート藻場増殖礁技術とブルーカーボン

セメント・コンクリート No.929 7月号
2024(令和6)年7月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

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

○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



閲覧
無料マルチデバイス対応
クラウド型で
専用ソフト不要

※画像はイメージです

好きな時にいつでも読める

月刊セメント・コンクリート 電子ブック版

2024年10月号 (No.932) よりスタート
毎月15日頃発行

ゲストとして電子ブック版を見る

電子ブック版 月刊セメント・コンクリート
※PC・モバイル端末共通 (ブラウザ)<https://cemecon.actibookone.com/>

おすすめ 無料ユーザー登録をして電子ブック版を見る

無料ユーザー登録をすることで
印刷・PDFのダウンロードが可能になります。<https://cemecon.actibookone.com/register/step01>

※サービス開始時期は告知日より前後する場合がございます。※本サービスの閲覧およびダウンロードのご利用には別途通信料がかかり、お客さまのご負担となります。※本サービスに関連するスマートフォンやタブレット、PCの操作や設定などに関するお問い合わせ・ご相談はお受けできません。※無料ユーザー登録の際にお預かりした個人情報、セメント協会ホームページに示しておりますプライバシーポリシーのに基づき厳正に管理いたします。※その他、月刊誌に関する詳細等はセメント協会ホームページをご覧ください。

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION電子版に関する
お問い合わせ一般社団法人セメント協会 広報部門 / 出版担当
TEL: 03-5540-6175