

CEMENT & CONCRETE

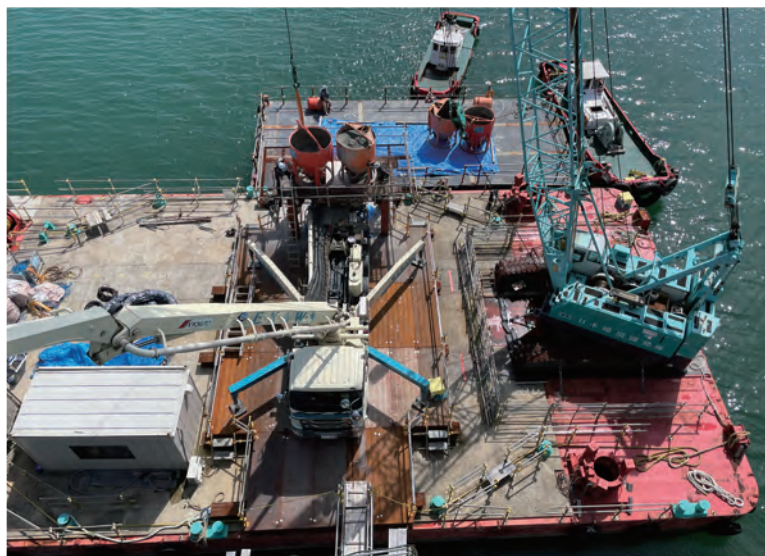
セメント・ コンクリート

令和4年12月15日発行 ISSN0371-0718

2022
No.910

12

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO

ケミカルで社会インフラの発展を支える

KAO

きれいを ところに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

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

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 02NL

収縮低減剤 ヤマソー DS100

AE減水剤 (高機能タイプ・ブリーディング低減型) ヤマソー 16NB

AE剤 ヴィンソル

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 09NL

AE減水剤 (耐寒促進剤 タイプ1) ヤマソー ウィン

高性能AE減水剤 (収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

減水剤 (遅延形) ヤマソー R

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020

あした
明日へ繋げる

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



 **山宗化学株式会社**
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

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

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

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2022 No.910

12

もくじ

- | | | |
|----|--|----------|
| 2 | インターロッキングブロック用コンクリートの
すり減り抵抗性における骨材粒度の影響 | …高橋 悠ほか |
| 10 | 国道10号花見地区コンクリート舗装修繕工事
- ライフサイクルコスト低減に向けた取り組み - | …谷口 廉宏 |
| 16 | 少量混合成分を増量したセメントの強さに及ぼす C_3A の影響 | …吉田 友香ほか |
| 22 | ずいそう
古事記にまつわる話 | …須田 久美子 |
| 24 | 一般国道42号新宮紀宝道路・熊野川河口大橋(仮称)のコンクリート施工 | …弓家 猛ほか |
| 30 | フェロクロムスラグをコンクリート用骨材へ
- その有効活用に向けた基礎性状の把握 - | …宮里 心一 |
| 36 | 超速硬型の超高性能繊維補強セメント系複合材料の
橋梁床版上面増厚への適用 | …富井 孝喜ほか |
| 42 | 第50回(2022年度)セメント協会論文賞・受賞論文
セメントおよび高炉セメント硬化体の乾湿繰り返しによる微細構造変化 | …金 志訓ほか |
| 48 | シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード
アンモニア混焼セメントキルンの技術開発 | …末益 猛ほか |

21,55 外国雑誌の記事情報

35 今月の推薦図書

56 EVENT GUIDE

58 セメント・データファイル

60 主要建設工事・資材統計

62 1月号予告

63 令和4(2022)年 表紙・目次一覧



今月の表紙

建設の進む熊野川河口大橋(仮称)
[和歌山県・三重県/提供:大成
建設(株), 前田建設工業(株)]

インターロッキングブロック用コンクリートのすり減り抵抗性における骨材粒度の影響

Influence of particle size of aggregate on abrasion resistance of interlocking block concrete

高橋 悠 石田 征男 石井 祐輔 福田 康昭 小須田 和貴 天野 重治

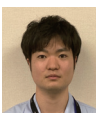
1. はじめに

インターロッキングブロック舗装(以下、ILブロック舗装と略)は、プレキャスト無筋コンクリートブロックであるインターロッキングブロック(以下、ILブロックと略)を表層に用いる舗装構造である。図1にILブロック舗装の主要構成材を示す¹⁾。ILブロック舗装は、交通荷重を受けた際にILブロック同士が相互に噛み合い、敷砂、目地砂および端部の拘束が一体となることで路盤や路床へ荷重分散効果を発揮する。また、ILブロック舗装は、ブロックの敷設パターンの組合せによって、周辺環境に調和した舗装面を形成すること、視認性の高さから運転者への注意が喚起され、車両の走行速度低減による交通安全の確保に寄与するといった特徴を有している。

図2に日本国内におけるILブロックの利用用途を示す²⁾。ILブロックの利用用途は、歩道・自転車道や広場への適用が全体の9割を占めており、自動車が乗り

入れる駐車場や車道、産業ヤードへの適用は1割程度である。一方、インターロッキングブロック舗装技術協会(以下、JIPEAと称す)では、車道用途として開発した「IL4推奨ストレート型ILブロック」(以下、車道統一型ILブロックと称す)に対して、公道での供用性調査を実施している。写真1に車道統一型ILブロックの形状を示す。80mm厚のストレート型である車道統一型ILブロックは、交通量区分N3程度の道路に適用した場合、従来から車道での実績がある波形型や100mm厚のストレート型ブロックと同等の供用性能を有することが確認されている¹⁾。今後、ILブロック舗装の車道用途での普及拡大を図る場合、交通量の多い箇所での適用も求められることから、ILブロックに高い耐摩耗性を付与することが必要になると考えられる。

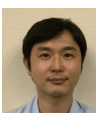
そこで本検討では、ILブロック用コンクリートの耐摩耗性の確保を目的として、使用する骨材の粒度に着目した検討を実施した。



たかはし はるか / TAKAHASHI Haruka
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
コンクリートソリューションチーム



いしだ まさお / ISHIDA Masao
同上
コンクリートソリューションチーム
リーダー 博士(工学)



いしい ゆうすけ / ISHII Yusuke
同上
コンクリートソリューションチーム



ふくだ やすあき / FUKUDA Yasuaki
太平洋セメント(株)
セメント事業本部 技術グループ
サブリーダー



こすだ かずき / KOSUDA Kazuki
同上
技術グループ



あまの しげはる / AMANO Shigeharu
太平洋セメント舗装ブロック工業会
企画情報委員会
委員長

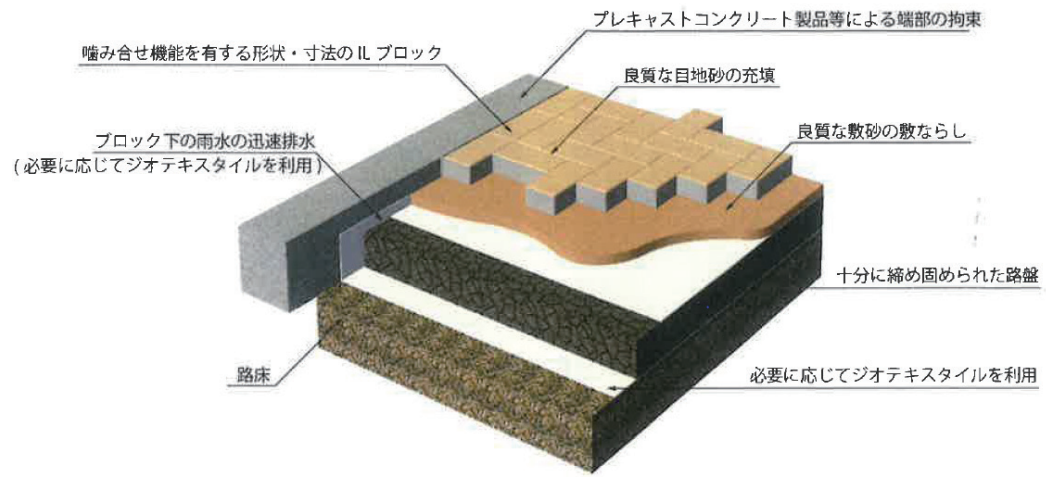


図1 ILブロック舗装の主要構成材¹⁾

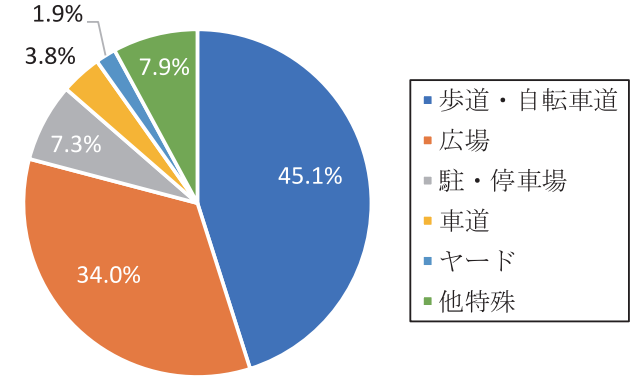


図2 ILブロックの利用用途(2020年度)²⁾



写真1 車道統一型ILブロックの形状¹⁾

表1 使用材料

材料名	種類	密度* (g/cm ³)	記号	概要
練混ぜ水	上水道水	1.00	W	—
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	C	—
骨材	珪砂5号	2.63	SS	粗粒率: 1.97
	中目砂	2.64	MS	分級無し, 粗粒率: 2.37
			MS-A	1.2mm ふるいに留まる
			MS-B	1.2mm を通過し, 0.3mm ふるいに留まる
			MS-C	0.3mm ふるいに留まる
			MS-D	0.3mm ふるいを通過
	粗目砂	2.65	CS	粗粒率: 3.05
	砕石7号	2.71	G7	粗粒率: 4.94
	砕石6号	2.63	G6	粗粒率: 6.45
	高性能減水剤	—	SP	ポリカルボン酸系

*骨材は、表乾密度を記載

2. 実験概要

2-1. 使用材料および配合

表1にコンクリートの使用材料を示す。セメントは、普

通ポルトランドセメントを使用した。骨材は、粒度が異なる骨材として珪砂、中目砂、粗目砂、砕石7号および砕石6号を使用し、骨材の組合せや使用割合を変更することで、粗粒率(以下、FMと称す)を1.97～5.51に調

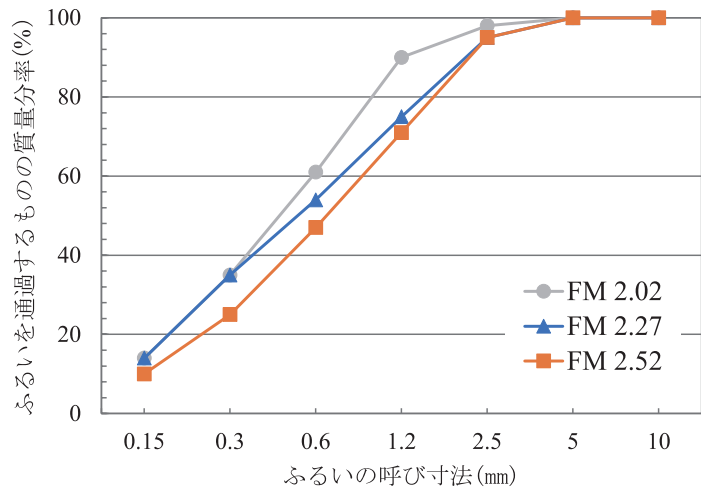


図3 中目砂の粒度調整後の骨材粒度分布

表2 ILブロック用コンクリートの試験水準

水準名	W/C (%)	骨材割合 (%)								
		SS	中目砂*					CS	G7	G6
			MS	MS-A	MS-B	MS-C	MS-D			
FM1.97	30	100	—	—	—	—	—	—	—	—
FM2.02		—	—	10	55	—	35	—	—	—
FM2.27		—	—	—	—	65	35	—	—	—
FM2.52		—	—	—	—	75	25	—	—	—
FM3.05		—	—	—	—	—	—	100	—	—
FM3.80		—	45	—	—	—	—	—	55	—
FM4.03	20	—	50	—	—	—	—	—	25	25
FM4.82		—	5	—	—	—	—	—	95	—
FM5.51		5	—	—	—	—	—	—	47.5	47.5

*ふるい分けによりそれぞれ粒度調整

表3 ILブロック用コンクリートの配合

水準名	W/C (%)	単位量(kg/m³)										
		W	C	SS	MS	MS-A	MS-B	MS-C	MS-D	CS	G7	G6
FM1.97	30	125	417	1954	—	—	—	—	—	—	—	—
FM2.02		125	417	—	—	195	1080	—	686	—	—	—
FM2.27		135	450	—	—	—	—	1241	668	—	—	—
FM2.52		150	500	—	—	—	—	1370	457	—	—	—
FM3.05		175	583	—	—	—	—	—	—	1699	—	—
FM3.80		115	383	—	908	—	—	—	—	—	1138	—
FM4.03	20	110	367	—	1022	—	—	—	—	—	523	508
FM4.82		80	400	—	106	—	—	—	—	—	2043	—
FM5.51		80	400	100	—	—	—	—	—	—	1024	994

整した。なお、中目砂に関しては、分級・混合することにより、FMを2.00、2.25および2.50付近の3水準に調整した。図3に粒度調整後の中目砂の粒度分布を示す。

表2にILブロック用コンクリートの水準を、表3にILブロック用コンクリートの配合を示す。ILブロック用コンクリートの配合は、ILブロックの製造工場にて実績のある配合

表4 アスファルト混合物の配合

水準名	アスファルト種類	骨材割合(%)					アスファルト量 (%)	空隙量 (%)
		6号 碎石	7号 碎石	砕砂	中砂	石粉		
密粒度アスファルト	ストアス 60/80	34.0	22.5	18.5	18.5	6.5	5.5	3.6
ポーラスアスファルト	ポリマー改質H型	86.0	—	—	9.0	5.0	4.8	20.5

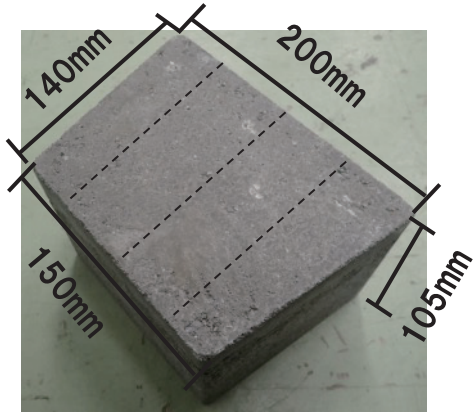


図4 試験体の外観および寸法

を参考にした。以降、各コンクリートの水準名は、使用した骨材の組合せや割合を変更して調整したFMで示す。FM4.82およびFM5.51は、透水性ILブロックを想定した水準である。コンクリート試験体の品質は、ILブロックの曲げ強度にて確認し、車道用途の規定値5.0N/mm²以上を目標とした。また、本検討では、比較対象としてアスファルト試験体の耐摩耗性についても併せて評価した。表4にアスファルト混合物の配合を示す。アスファルト混合物の種類は、密粒度アスファルト(以下、密粒度Asと略)およびポーラスアスファルト(以下、ポーラスAsと略)とし、いずれも施工実績のある配合を用いた。

2-2. 試験体の作製および養生方法

コンクリートの練混ぜは約15℃の試験室内で実施した。練混ぜ後の試料を、ILブロック成形機を用いて高振動加圧即時脱型方式により試験体を成形した。図4に試験体の外観および寸法を示す。耐摩耗性を評価するためのラベリング試験体の形状はコンクリート、アスファルト混合物のいずれも台形とし、寸法は上底150mm、下底200mm、高さ140mm、厚さ105mmとした。コン



写真2 ラベリング試験の実施状況

クリートの曲げ強度を評価するための試験体は、寸法100×200×80mmのILブロックとした。FM1.97～3.05の試験体は、FM3.80の基層上に厚さ20mmで各FMのコンクリートを打ち込む2層仕上げとした。FM3.80～FM5.51の試験体は、1層仕上げとした。また、試験体の成形後は、20±2℃の室内にて気中養生を行った。

2-3. 実験項目

2-3-1. ILブロックの曲げ強度試験

ILブロックの曲げ強度の測定は、JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」に準拠し、材齢14日に実施した。

2-3-2. ラベリング試験

ラベリング試験は、日本道路協会舗装調査・試験法便覧B002「ラベリング試験方法」に準拠し、回転スパイクチェーン型の方法にて実施した。写真2にラベリング試験の実施状況を示す。試験は、円形の回転テーブルの上に試験体を設置し、スパイクチェーンを装着したタイヤが試験体上を回転走行することで、摩耗作用を与えた。試験環境の温度は、コンクリート試験体は20℃、アスファルト試験体は0℃にて実施した。試験の開始後、

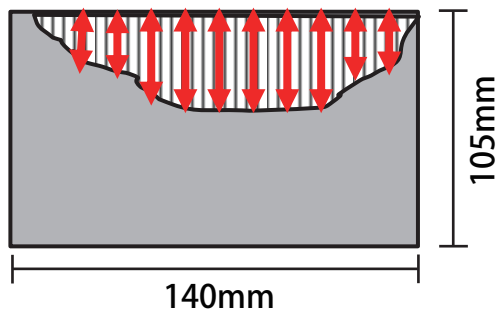


図5 摩耗深さの測定概要

表5 ILブロックの充填率および曲げ強度

水準名	充填率(%)	曲げ強度(N/mm ²)
FM1.97	90.9	7.64
FM2.02	92.0	8.32
FM2.27	92.1	7.98
FM2.52	91.9	8.28
FM3.05	92.6	8.49
FM3.80	93.1	8.46
FM4.03	93.0	8.48
FM4.82	85.1	7.19
FM5.51	85.8	7.30

スパイクタイヤの回転数が4000, 8000, 10000, 20000および30000回の時点にて走行を停止し、摩耗深さを測定した。図5に摩耗深さの測定概要を示す。摩耗深さは、ノギスを用いて図4に示す破線上を200mmの辺から10mmピッチで各10点ずつ測定し、計30点の摩耗深さの平均値を算出した。

2-3-3. すべり抵抗性試験

すべり抵抗性の測定は、日本道路協会舗装調査・試験法便覧S021-2「振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法」に準拠して実施した。

写真3にすべり抵抗性試験に用いた試験器(ポータブルスキッドレジスタンステスター)を示す。試験は、散水した測定面に振り子を接触させ、通過後に振り子が振れた最大高さを示す目盛(以下、BPNと称す)を読み取った。BPNは、試験体の表面温度を用いて、前述の試験方法に規定される式(1)にて補正した。測定は、ラベリング試験の開始前および30000回転後に実



写真3 ポータブルスキッドレジスタンステスター

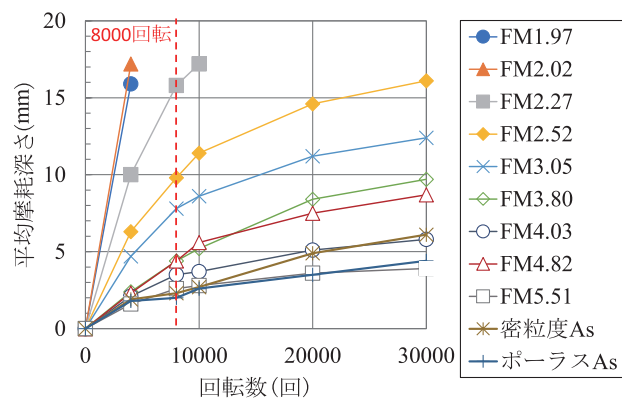


図6 摩耗深さとラベリング試験における回転数の関係

施し、ラベリング試験の摩耗作用を受けた試験体表面のすべり抵抗性を確認した。

$$C20=0.0074t^2+0.0052t-3.064+C_t \cdots \cdots (1)$$

ここで、C20: 20℃補正したBPN, C_t : 路面温度t℃の時のBPN, t: 路面温度(℃)

3. 実験結果

3-1. 曲げ強度

表5にILブロックの充填率および曲げ強度を示す。材齢14日における曲げ強度は、いずれの水準もインターロッキングブロック舗装設計施工要領に記載の目標値5.0N/mm²を上回り、十分な強度を有していることを確認した。

3-2. 耐摩耗性

図6に摩耗深さとラベリング試験における回転数の関

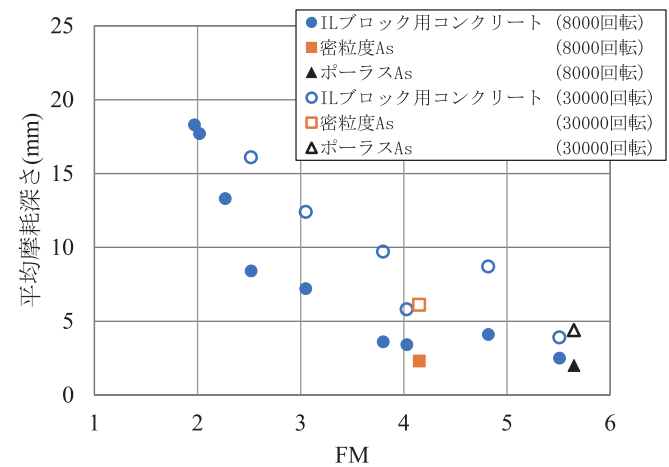


図7 摩耗深さと骨材のFMの関係

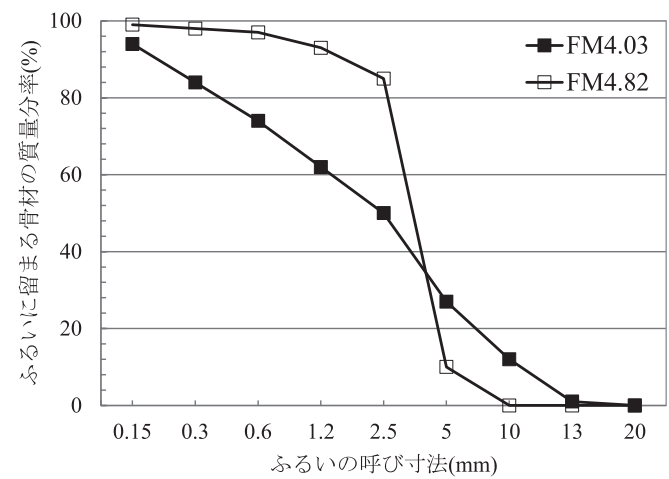


図8 FM4.03およびFM4.82に使用した骨材の粒度分布

係を示す。全ての水準で、回転数の増加に応じて、摩耗深さは大きくなり、FMが小さい水準では、試験開始直後から顕著な摩耗深さの増大が認められた。また、FMが3.80以上の水準では、8000回転を境に傾向が異なることを確認した。すなわち、8000回転まではFMが3.80以上の水準において摩耗深さの差は小さいものの、8000回転以降は徐々に摩耗深さの差が大きくなる結果となった。そこで、摩耗深さの測定結果を8000および30000回転時のそれぞれに区分して整理した。

図7に8000回転時および30000回転時における摩耗深さと骨材のFMの関係を示す。8000回転時点では、骨材のFMが3.80を境に異なる傾向が認められ、FM3.80未満ではFMが大きくなるほど摩耗深さが小さく、FM3.80以上では、FMの違いによる差はほとんど

認められなかった。また、FM3.80以上の摩耗深さは、アスファルト試験体と同程度であった。30000回転時点では、FMが大きくなるほど摩耗深さは小さくなる傾向はあるものの、FM4.82の摩耗深さについてはFM4.03と比べて大きくなった。また、FM4.03およびFM5.51は8000回転から30000回転までの摩耗深さの増加量が小さかった。FM3.80以上の水準では、7号砕石を使用しており、特にFM4.03およびFM5.51の水準は6号砕石も使用していることから、骨材粒度が耐摩耗性に影響したと考えられる。そこで、耐摩耗性に及ぼす骨材粒度の影響を確認する目的で、FM4.03とFM4.82の骨材の粒度分布を比較した。

図8にFM4.03およびFM4.82に使用した骨材の粒度分布を示す。FM4.82に使用した5mmふるいに留ま

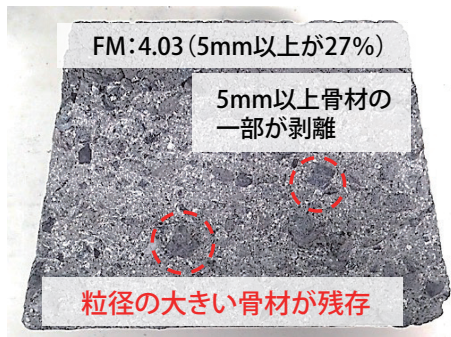


写真4 ラベリング試験後の表面状態(FM4.03)

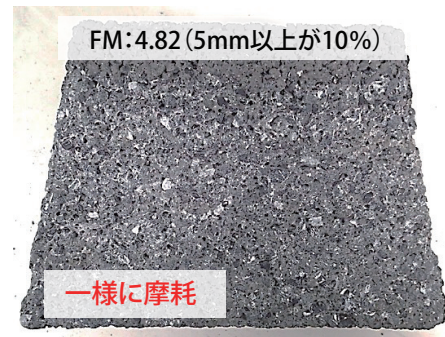


写真5 ラベリング試験後の表面状態(FM4.82)

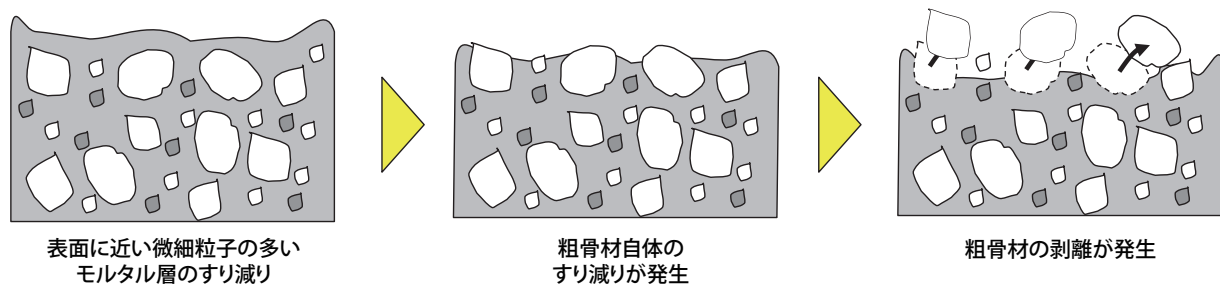


図9 コンクリートの摩耗の進行と骨材状態のイメージ

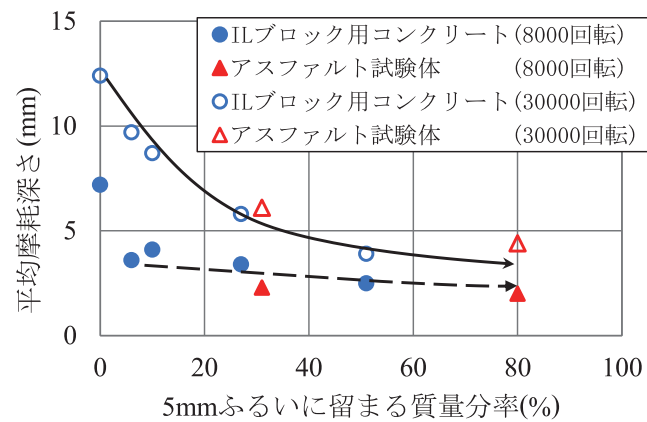


図10 摩耗深さと5mmふるいに留まる骨材割合の関係

る骨材の質量分率が、約10%であったのに対し、FM4.03では、約27%であることが確認された。

写真4にFM4.03の試験体表面の状態を、**写真5**にFM4.82の試験体表面の状態を示す。試験体表面の観察結果から、FM4.82の場合は、回転数によらず一様に摩耗が進行していたのに対して、FM4.03の場合は、8000回転後では粒形5mm以上の骨材が残存しており、30000回転後では粒径5mm以上の骨材が一部剥離し、粒径が比較的大きい骨材が残存していることを確認した。既往の報告によると、コンクリートの摩耗は、進行度により3つの段階に分類できるとされている。

図9にコンクリートの摩耗の進行と骨材状態のイメージを示す。まず初めに、表面のモルタル部分の摩耗が発生し、その後、粗骨材が露出し粗骨材の摩耗が生じる。さらに摩耗が進行した場合、粗骨材の剥離が発生するとされている³⁾。これより、8000回転時点までは、主にモルタル層の摩耗が進行するため、5mmふるいに留まる骨材の有無が耐摩耗性に大きく影響し、8000回転以降では、5mmふるいに留まる骨材の割合を多くすることによって耐摩耗性が向上すると推察した。**図10**に摩耗深さと5mmふるいに留まる骨材の割合の関係を示す。8000回転時点では、5mmふるいに留まる骨材の割合

表6 すべり抵抗性試験結果

水準名	BPN	
	ラベリング試験前	ラベリング試験 30000回転後
FM1.97	79	71
FM2.02	87	64
FM2.27	74	65
FM2.52	82	70
FM3.05	81	74
FM3.80	80	72
FM4.03	84	77
FM4.82	79	73
FM5.51	75	70
密粒度 As	85	77
ボース As	84	84

が0%(FM3.05)の場合、摩耗深さが7.2mmであるのに対し、5mmふるいに留まる骨材の割合が6%(FM3.80)の場合では3.6mmとなった。また、5mmふるいに留まる骨材の割合が6%より大きい水準では摩耗深さが2.5mm～4.1mmと大きな差は認められなかった。一方、30000回転時点では、5mmふるいに留まる骨材の割合が多いほど摩耗深さが小さくなった。**図10**中にはアスファルト試験体の結果も示すが、ILブロック用コンクリート試験体(20℃環境)とアスファルト試験体(0℃環境)は同一の関係で表せることがわかる。これよりILブロックに使用する骨材は、5mmふるいに留まる骨材の割合を調整することで、0℃環境におけるアスファルト混合物と同等の耐摩耗性を確保可能と考えられる。

3-3. すべり抵抗性

表6に20℃補正したBPNを示す。ラベリング試験前のBPNは、全ての水準で80程度あり、高いすべり抵抗性を有していた。30000回転後のBPNは、全ての水準でインターロッキングブロック舗装設計施工要領¹⁾に記載のILブロックを車道へ適用した場合のBPN維持管理基準値である60BPN以上を満足していることが確認された。したがって、ラベリング試験を実施することで、ブロック自体のすべり抵抗性は小さくなるものの、一定以上の品質を満足できることを確認した。

4. まとめ

本検討では、ILブロック用コンクリートの耐摩耗性に及ぼす骨材粒度の影響を評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) ILブロック用コンクリート試験体の曲げ強度は、使用した骨材の粒度分布に関わらず、目標値5.0N/mm²以上を満足した。
- (2) ILブロック用コンクリートの摩耗深さは、使用する骨材の粗粒率が高くなるほど、小さくなる傾向が認められ、骨材の粗粒率を3.80以上とすることで、一定の耐摩耗性を確保可能であることを確認した。
- (3) ILブロック用コンクリートの耐摩耗性は、5mmふるいに留まる骨材の割合が大きいくほど向上した。
- (4) ILブロック用コンクリートのラベリング試験後におけるすべり抵抗性は、すべての水準で、インターロッキングブロック舗装設計施工要領¹⁾における維持管理基準値を満足した。

【参考文献】

- 1) (一社)インターロッキングブロック舗装技術協会／インターロッキングブロック舗装設計施工要領、平成29年3月
- 2) (一社)インターロッキングブロック舗装技術協会／(一社)インターロッキングブロック舗装技術協会HP、"ILブロック施工実績", <https://www.jipea.or.jp/> (参照2022.8.19)
- 3) 堀口敬／コンクリートの摩耗に関する研究の現状、コンクリート工学, Vol.31, No.10, pp.17～27, 1993.10

国道10号花見地区コンクリート舗装修繕工事

－ ライフサイクルコスト低減に向けた取り組み －

Concrete pavement repair work in the Hanami district of Route 10
－Efforts to reduce life cycle costs－

谷口 廉宏

1. はじめに

国内における道路舗装では、建設時の初期コスト・維持管理の容易性・騒音低減効果などの汎用性などから、道路延長に占めるアスファルト舗装の割合は約90%を占め非常に多用されている(図1)。

近年、限られた道路の維持修繕費の中で舗装の長寿命化を考慮した場合、コンクリート舗装は「耐流動性」「耐久性」「耐熱性」などを有し、かつアスファルト舗装に比べライフサイクルコストが安価という大きなメリットがある。

交通量が多い直轄国道でも約50年間大規模補修なしという実績もあることから、舗装の長寿命化、老朽化対策として有効と考えられる(図2,3)。

また、施工に当たって使用するコンクリートは特殊なコンクリートを使用することはなく、安定的な供給が可能である。

さらには、ヒートアイランド現象の原因や影響は未解明な部分もあるが、夏季の路面温度は60℃を超える状態となり、舗装などによる地面を覆い隠すことがヒートアイランド現象の原因のひとつであると指摘されている。このためコンクリート舗装の明色性により温度低減効果も期待されているところである。

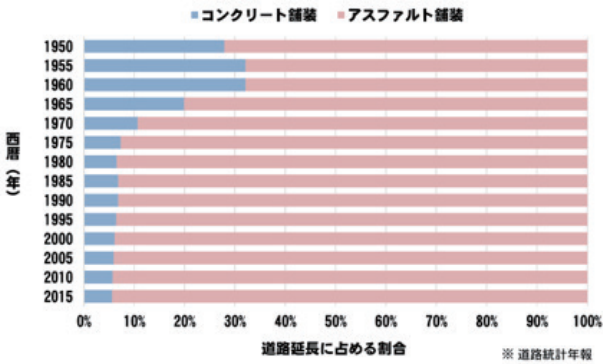


図1 道路延長に占める割合
〔道路統計年報より〕

国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務所では、ライフサイクルコスト低減に向けた取組みとして今回、九州初となる供用中の国道でコンクリートによる舗装修繕工事を実施した。

また、施工後にアスファルト舗装とコンクリート舗装の路面表面温度の違い、低減効果についても捕らえることができた。

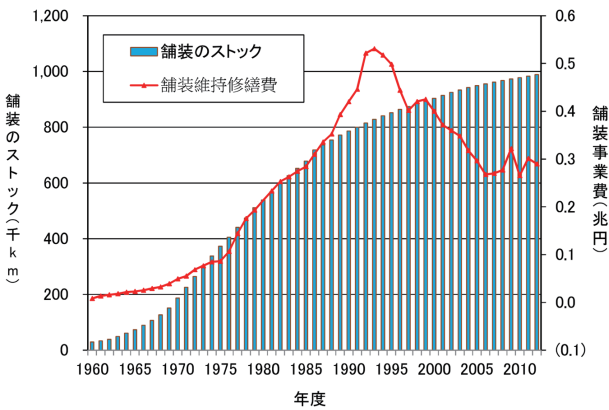
本稿は、供用中の道路におけるコンクリート舗装を行うまでの経緯と結果について取りまとめたものである。

2. 概要

2-1. 宮崎河川国道事務所の現状

管理延長約220kmのうち、一部トンネル区間を除くほとんどをアスファルト舗装で供用中である。

舗装修繕事業は舗装点検結果や道路巡回、地域か



舗装のストック量と舗装維持修繕費の推移(全道路)

図2 舗装のストック量と舗装維持費の推移
〔道路統計年報より〕

らの要望等を踏まえ、限られた予算内で毎年優先順位をつけ実施中である。管内では供用中のアスファルト舗装の塑性変形による流動化やわだち掘れ、劣化等によるポットホール補修などの応急処理を年間約1,800件程度実施している現状から、耐久性やライフサイクルコスト低減を兼ねた取組みとしてコンクリート舗装の採用を検討した。

2-2. 施工個所の選定

供用中の道路でコンクリートでの舗装修繕を実施するにあたり施工個所の選定を行った。

選定条件は、①不等沈下等の発生リスクのない良好な地盤条件であること。②施工中は全面通行止を前提として迂回路の設定が可能であること。理由としては、国道の役割・機能として県庁所在地と重要都市間を効率的、効果的に連絡することであり、長期におよぶ通行止は地域の社会、経済活動に大きな影響をおよぼすことが予想されるため。③車道部直下に水道やガス等の占用物件がないこと。理由としては、現在、国道においては頻繁な掘削工事は道路の著しい損傷を招くため、いわゆる「掘り返し規制」を設けており、アスファルト舗装の場合5年、コンクリート舗装の場合7年として設定している。道路はその性質上、上下水道やガス等の公益事業者による占用物件が数多くあり、管路の交換やメンテナンスが行われるため、車道直下に占用物件のない個所を選定の条件とした。④沿道に住居や

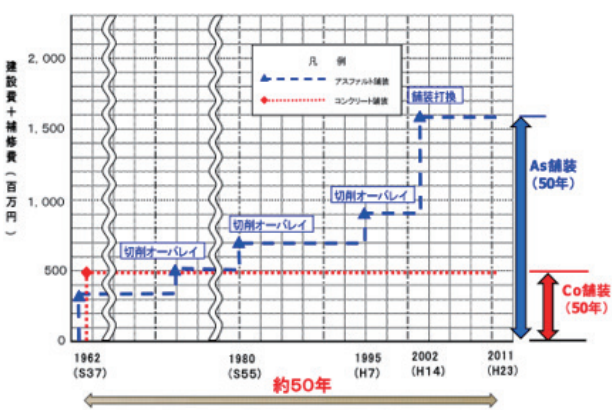


図3 ライフサイクルコスト集計表

店舗、商店がないこと。理由としては、コンクリートによる舗装修繕工事のため長期間にわたる通行止めは避けられず、生活や集客・売りにげに大きな影響を与えるため。⑤コンクリート舗装の耐久性がより発揮される大型車交通量が多い区間。

上記を踏まえた管内の舗装修繕工事対象個所から、開通後約14年経過しているが舗装修繕工事の実績がなく現状の劣化が著しい、『国道10号花見バイパス区間(342.700kp～343.900kp)』のうち、緩やかな丘陵地を切土により道路構築された区間を施工個所として選定した。

- ・道路修繕延長：1,300m
- ・コンクリート舗装修繕延長：500m
- ・修繕車線：2車線(幅員3.5m×2車線)
- ・コンクリート舗装修繕面積：3,500m²

また、施工区間を含む本バイパスを全面通行止めにし、平行する旧国道を長期間にわたり迂回路として使用できることが今回のコンクリートによる舗装修繕工事の大きなメリットになった(図4,写真1)。

3. 工事着手に至るまでの経緯

3-1. 工法の選定

コンクリート舗装には『普通コンクリート舗装』『連続鉄筋コンクリート舗装』『転圧コンクリート舗装』などさまざまな工法がある。設計段階からそれぞれの工法の特徴・施工性・施工日数・交通規制の規模・維持管理面・経済



たにぐち やすひろ / TANIGUCHI Yasuhiro
国土交通省九州地方整備局
宮崎河川国道事務所 道路管理第二課長

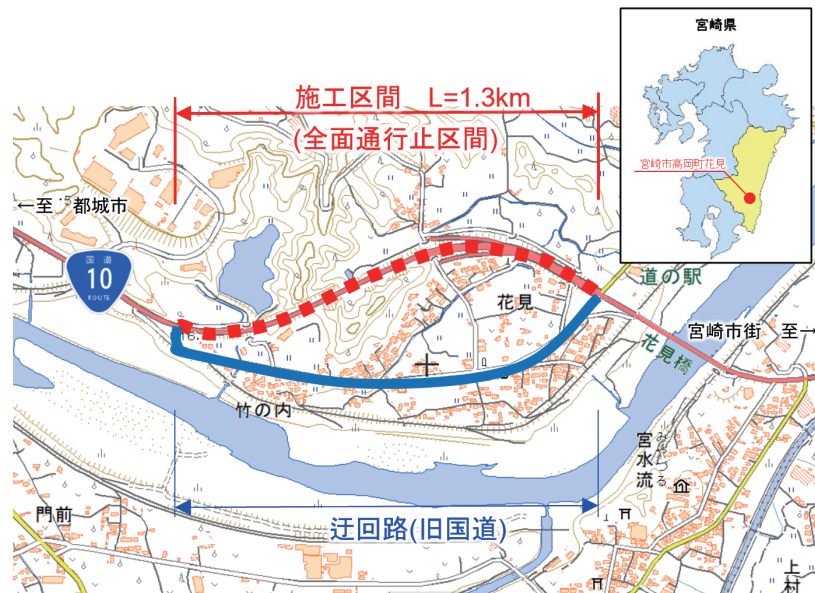


図4 施工箇所位置図



写真1 着手前の状況



写真2 鉄筋配置状況

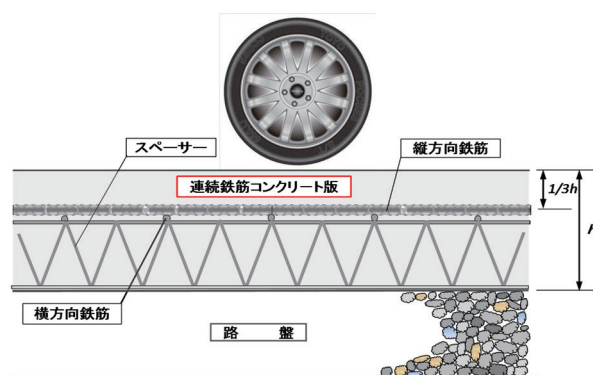


図5 鉄筋配置イメージ(縦断面図)

性などを比較し『連続鉄筋コンクリート舗装』を採用した。

3-2. 工法の特徴

連続鉄筋コンクリート舗装は、縦方向鉄筋を連続配置することにより、収縮ひび割れを分散して発生させた

3-3. コンクリート

事前の試掘や室内試験結果から設計CBR12を確認できたため、さらに工期短縮と工事に係るコスト削減を

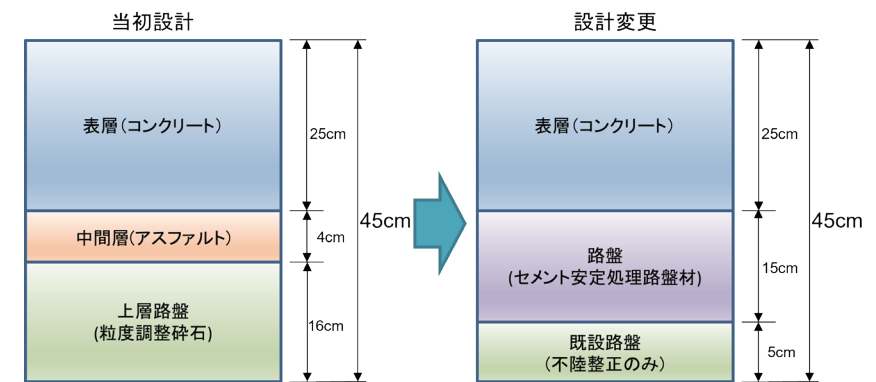


図6 舗装構成



写真3 コンクリート打設状況



写真4 スリップフォーム足場位置

検討し、当初設計から下記のとおり舗装断面の変更を行った(図6)。

使用するコンクリートは、曲げ4.5N/mm²、スランプ35cm±1.5、使用するセメントは高炉セメントB種以上とした。

施工はスリップフォームペーバに併走するアジテータ車からコンクリートを供給し、敷均し・締め固め・成形等の一連の作業を実施するためおおむね2車線分の施工幅が必要となる。また、舗設後、養生期間として最低でも14日程度設ける必要があった(写真3)。

4. 施工に係る工夫

4-1. 舗設機械の安全確保

施工箇所は供用区間で路肩側溝が設置済である。また、当初設計は路肩までの全幅員をコンクリート舗装になるよう設計していた。

このためコンクリート打設時に使用する機械を配置すると、路肩側溝だけに舗設機械の荷重が載ることにより

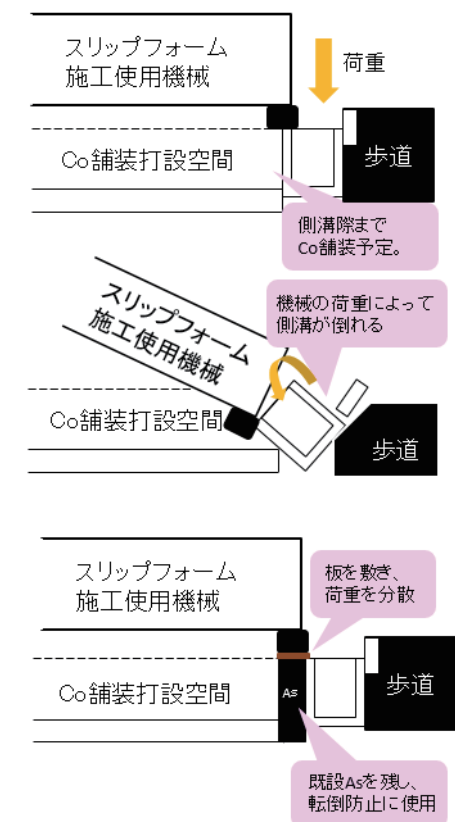


図7 側溝転倒対策(イメージ図)

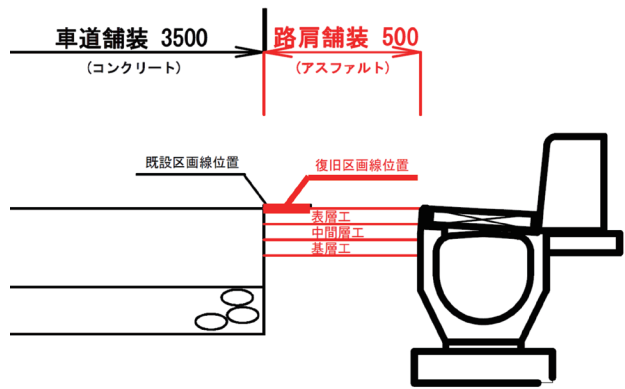


図8 路肩部舗装構成

既設側溝が転倒・倒壊・沈下する懸念があった。検討の結果、既設路肩舗装を50cm残し路肩側溝と併せて機械足場とすることにより既設側溝の転倒・倒壊・沈下の防止対策を図った(写真4, 図7)。

4-2. 区画線設置の工夫

コンクリート舗装の特徴である明色性は、夜間や雨天時に視認性が高くなる反面、昼間は太陽光を反射するため区画線全般、特に白色の外側線が見えづらくなる懸念があった。今回、コンクリートで舗装修繕を行ったが、従来どおりの区画線の視認性を確保するための検討を行った。これまでアスファルト舗装により黒色で容易に視認できた区画線を道路利用者が違和感なく安全に走行できることを課題とした。

路肩部50cmについては、アスファルト舗装による仕上げとし外側線(白線)を塗布した(図8)。

これにより従来と遜色なく外側線が確認することができるよう工夫した(写真5)。

4-3. 関係機関協議や地域との調整

道路は、物流・防災・経済活動・生活等あらゆる面で重要な役割を担っており、交通管理者である警察をはじめとする関係機関との調整が必要となる。また、バス会社・タクシー協会、トラック協会等を通じて規制に係る迂回路や予定規制期間を含む事前情報の提供やラジオによる道路交通情報への告知依頼、HPやTwitter等も利用し、広域的かつ積極的に情報発信を行った。



写真5 外側線塗布状況



写真6 現場見学会の様子

また、事業活動アピールの一環として地域住民向けの現場見学会を開催した。舗装の種別、コンクリート舗装修繕を実施する目的とその期待する効果等を現場の施工状況を見ながら説明を行った。参加した地元住民にとって初めて見るコンクリート舗装機械や施工の様子だったため好評であった(写真6)。

4-4. 路面温度低減効果

一般的にコンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて最大10℃程度の低減効果が得られると言われており、今回路面温度を測定し効果を確認した(写真7,8)。

測定日時は下記のとおり、

測定日：令和4年8月26日

測定時間：13:30～14:00

天候：晴れ

気温など：気温30.1℃ 湿度：69%

なお、測定は携帯型サーモカメラで撮影、専用ソフト

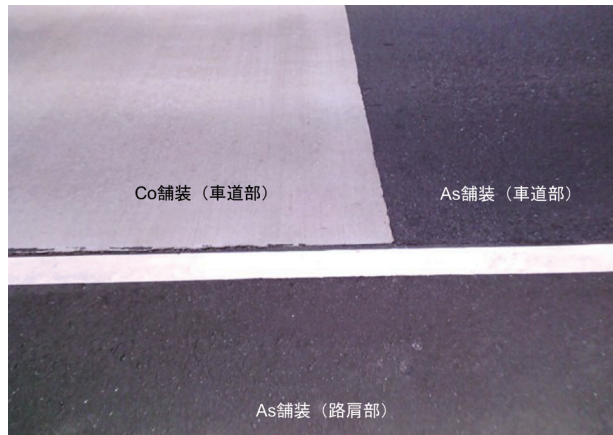


写真7 測定部の舗装構成

により画像表示させたものである。

この結果より、コンクリート舗装(48.3℃：平均)の路面温度は、アスファルト舗装(54.3℃：平均)と比較し約6℃と大きく低減したことがわかった。

5. まとめ

今回施工したコンクリートによる舗装修繕区間(写真9)は完成後、今冬でおおむね2年を迎える。

コンクリートで舗装修繕工事を実施したのは今回が初めての試みで、かつ、長期間に渡り迂回路を設定した全面通行止を前提とした工事であったため、通常の舗装修繕工事と比較し、工事着工前の協議や調整期間が多岐にわたった。

その後、騒音および振動、区画線等の走行安全性に係る苦情や行政相談等もなく道路利用者に対して従来同様、安全な交通環境が提供できている。

また、現在までシール材での補修や注入等が必要な大きなひび割れ等の発生もなく維持的な補修も実施していない。受注者の十分な検討や丁寧な施工がこの結果に繋がっているものと考えている。

今回施工区間におけるライフサイクルコスト低減について、引き続き注視し継続的に検証していくとともに、コンクリートによる舗装の維持・修繕に係る新たな材料や施工方法等の有用な技術開発等、さまざまな試みにも期待する。

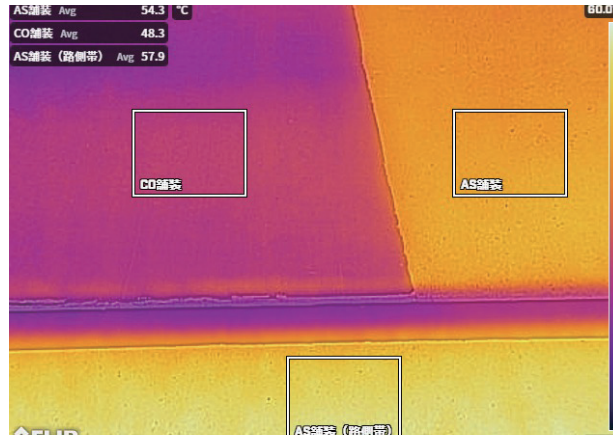


写真8 サーモカメラによる解析



写真9 施工個所の現状

国土交通省では「舗装の構造に関する技術基準(平成13年6月29日 国土交通省都市・地域整備局長、道路局長通達)」に従い舗装構造の検討がなされている。

これに伴い、新設の高規格幹線道路の一部や地域高規格道路の一部でコンクリート舗装が採用されている。行政機関として公共財のライフサイクルコスト低減は喫緊の大きな課題である。

当事務所管内でも新設はもとより修繕対象個所についてライフサイクルコスト低減を念頭に引き続き検討を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 舗装の長寿命化・LCC縮減に向けて～コンクリート舗装の特徴を生かした活用がカギ～／国土交通省 道路局、国土交通省 国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人 土木研究所

少量混合成分を増量したセメントの強さに及ぼすC₃Aの影響

Effect of high C₃A and minor additional constituents on strength of cement

吉田 友香 後藤 卓 山下 牧生

1. はじめに

地球温暖化防止の観点から、2050年までに二酸化炭素(CO₂)排出量実質ゼロ(カーボンニュートラル)の実現を目指す動きが世界で加速している。図1に示すように、近年では日本のセメント産業は年間約4000万tのCO₂を排出しており、国内のCO₂排出量の約4%を占める¹⁾。これは、主としてセメントの中間製品であるクリンカの製造工程で、高温で原料を焼成するため多量の熱エネルギーを要することや、この工程で主原料である石灰石が脱炭酸する(CaCO₃→CaO+CO₂)ためである。非エネルギー起源(石灰石の脱炭酸由来)のCO₂排出量はセメント産業全体のCO₂排出量の約6割となっている¹⁾。セメント産業におけるCO₂削減対策では、高効率クリンカクーラーの導入など設備の省エネルギー化の推進や、エネルギーの低炭素化(バイオマス・エネルギー代替としての廃棄物の利用)、クリンカ

比率の低減、石灰石代替(脱炭酸された廃棄物・コンクリートのリサイクル)の利用拡大、CO₂分離・回収・利用・貯留(CCUS)や新材料の開発など様々な検討がなされている²⁾。

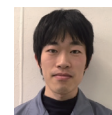
クリンカ比率の低減策の一つとして、普通ポルトランドセメント(N)中の少量混合成分の上限を現行の5%から10%に引き上げる試みがある。少量混合成分とは、JIS R 5210において、ポルトランドセメントに最大5%まで添加が認められている石灰石、高炉スラグ、フライアッシュ(I種またはⅡ種)およびシリカ質混合材といった4種類の混合材のことである。上記のような少量混合成分の増量は、相当分のクリンカ比率の低減につながり、生産量が最も多いNに適用すればCO₂削減量は大きい。さらに大きな設備変更を伴わないなど導入の障壁は比較的低く、早期に実現可能なCO₂削減対策として重要であると考えられる。

一方で、少量混合成分の増量(クリンカ比率の低減)による強さ発現性の低下など品質面での課題が懸念される。また、セメント産業では、多くの廃棄物・副産物をクリンカの原料代替および焼成時の熱エネルギー代替として使用しているが、クリンカ比率を低減すると主に原料・熱エネルギー代替として使用される廃棄物・副産物の処理量も減少してしまうといった課題もある。

本稿では、CO₂削減と廃棄物原単位維持の両立を目的として、少量混合成分を増加させつつ、クリンカ中のC₃Aを高めたセメントについての研究動向を紹介する。



よしだ ゆか / YOSHIDA Yuka
UBE 三菱セメント(株) 研究所



ごとう すぐる / GOTO Suguru
同上 研究所 博士(工学)



やました まきお / YAMASHITA Makio
同上 研究所 博士(工学)

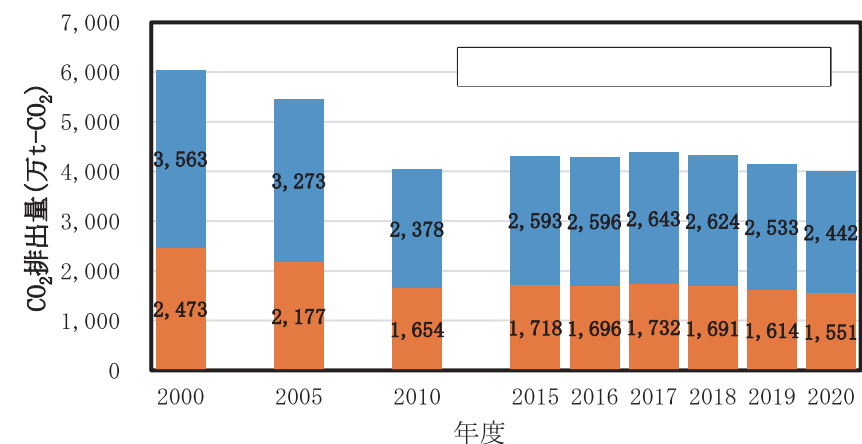


図1 セメント産業におけるCO₂排出量の推移¹⁾

表1 既往の文献の基材セメントの情報⁷⁾

Cement	Bogueの式による鉱物組成(%)				比表面積値 (cm ² /g)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
(A)	60.4	15.8	9.0	9.0	3340
(C)	61.9	14.2	8.9	8.7	3530
(F)	61.9	12.4	10.9	7.9	3540
(G)	60.4	14.0	11.0	8.2	3360
(H)	59.7	14.8	11.0	8.3	3270
(I)	60.0	15.3	10.0	8.7	3310

2. 少量混合成分増量と廃棄物原単位維持

セメント産業で処理されている廃棄物・副産物は、石炭灰、高炉スラグ、ばいじん、建設発生土等であり、天然原料に比較してAl₂O₃含有量が高い。そのため、セメント中のクリンカ比率を減らしつつも、廃棄物・副産物の使用量を維持するためには、クリンカ中のAl₂O₃すなわち、アルミネート相(C₃A)およびフェライト相(C₄AF)の量が高める必要がある。丸屋らは、廃棄物使用量の増加とCO₂排出量削減を同時に行える配合設計を試算し、クリンカの間隙相量を2~3%増大し、かつ混合材量を10%とすることを提案した³⁾。

現状の品質維持のために、2種類以上の少量混合成分を組み合わせる方法が複数の研究グループにより報告されている^{4~11)}。

三隅らは、少量混合成分として石灰石と高炉スラグを含量で10%としたセメントについて、C₃Aを2~3%もしくはC₃AとC₄AFを含量で1~3%高めることでコンク

リートの物性(フレッシュ性状、強度および耐久性)が基準セメントと同等となることを報告している^{4,5)}。また、C₃A量の増加および少量混合成分の種類と組合せが発熱特性に及ぼす影響についても調査しており、セメントの水和熱は20℃一定条件では、少量混合成分の種類の影響は小さく、C₃A量の増加とともに高くなることを示した。一方で断熱条件での発熱性状は、C₃A量増加の影響は小さいことも報告されている⁶⁾。

中口らはクリンカの鉱物組成およびブレン空気透過法による比表面積値(以下、比表面積値と称す)の異なるセメントに少量混合成分を10%まで添加したセメントの各種の物性を調査している⁷⁾。表1に基材セメントの性状を、図2に試験結果の一部を示す。少量混合成分を単体もしくは組み合わせて10%使用した際に、基材セメントのC₃Aを高めるだけで比表面積値やC₃S量を増加しない場合でも基準セメントと同等の圧縮強さが得られることが報告されている。また、少量混合成分を組み合わせ使用した場合、少量混合成分の特

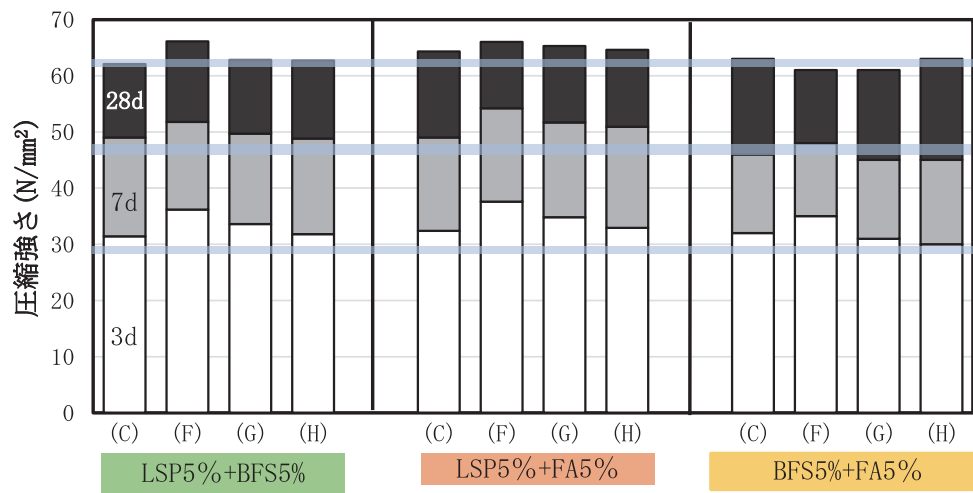


図2 少量混合成分を増量したセメントの強さ⁷⁾

微的な物性が相乗または相殺し、圧縮強さ増進や水和熱低減などの品質改善効果があると報告している。

これらの研究により、CO₂排出量の削減、セメント品質の維持および廃棄物使用量の増加が同時に成立し得ることが示されている。現行の品質を維持するための最適な少量混合成分としては石灰石とフライアッシュや石灰石と高炉スラグといった副産物との組み合わせが提案されている。しかし、二酸化炭素排出量削減の要請から石炭火力発電の縮小によるフライアッシュの減少や粗鋼の生産能力抑制による高炉スラグの発生量減少の恐れがある。

一方で、石灰石は国内で安定的に自給できる鉱物資源である。そこで、著者らは石灰石に着目し、少量混合成分の上限を10%と拡大した場合の普通ポルトランドセメントの品質設計について検討している。

3. 石灰石を添加したセメントの強さに及ぼすC₃Aの影響¹²⁾

セメントの強さに及ぼす石灰石添加の影響は、ベースセメントのC₃SやC₃Aなどの鉱物組成の影響を受けることがわかった。従来の研究の多くは、ベースセメントに市販のセメントを使用している場合が多く、クリンカの鉱物組成を単独で変化させた場合の影響を検討したものが少ない。そこで、実験室で作製したC₃A量を

系統的に変化させたクリンカを使用して、C₃A量が石灰石添加によるセメントの強さに及ぼす影響について検討した。また、従来の研究ではセメントに石灰石粉を添加した場合の影響を調べているものが多いが、ここではセメント工場の仕上げミルでの製造を想定して、クリンカと石灰石をミル内で混合粉碎してセメントを調製している。具体的には、クリンカは工場原料精粉に試薬を添加して組成調整した原料を成型後、電気炉にて1000℃で60分間焼成、1450℃で60分間焼成して作製した。作製したクリンカ、所定量の石灰石およびセメント中のSO₃量が2.6%となる二水石膏をボールミルに投入して粉碎し、所定比表面積値となるように調整した。

表2に試験水準を示す。図3に各材齢における石灰石添加量とセメントの圧縮強さの関係を示す。各材齢で、石灰石量の増加に伴い、圧縮強さは直線的に低下した。これは主としてクリンカ量の低減によるものと考えられる。また、クリンカと石灰石を混合で粉碎することにより、主として被粉碎性の高い石灰石が優先して粉碎され、クリンカの粉末度が相対的に低下したことも影響していると考えられる。C₃A=10%の水準が他の水準と比較して、石灰石添加割合の増加に伴う強さ低下が大きくなった。

石灰石添加による強さ低下の割合は、クリンカのC₃Aを高めるほど緩慢となり、石灰石とC₃Aとの交互作用が認められた。特に材齢3日および7日では、石灰

表2 試験水準¹²⁾

試料	クリンカ鉱物組成(%)				セメント 石灰石(%)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
C ₃ A10-L00	60.4	15.9	10.4	9.7	0
C ₃ A10-L05	60.4	15.9	10.4	9.7	5
C ₃ A10-L10	60.4	15.9	10.4	9.7	10
C ₃ A12-L00	60.1	14.0	12.5	9.8	0
C ₃ A12-L05	60.1	14.0	12.5	9.8	5
C ₃ A12-L10	60.1	14.0	12.5	9.8	10
C ₃ A14-L00	60.5	12.0	14.3	9.7	0
C ₃ A14-L05	60.5	12.0	14.3	9.7	5
C ₃ A14-L10	60.5	12.0	14.3	9.7	10

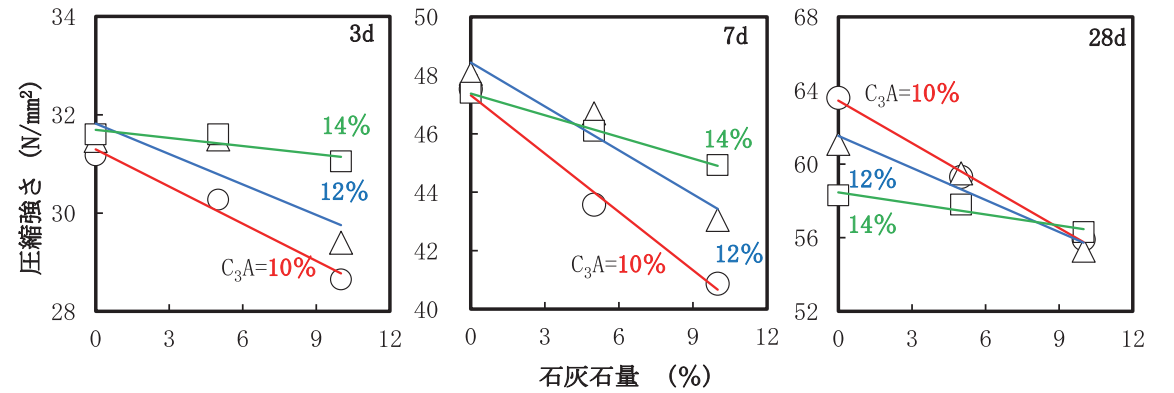


図3 C₃A量の異なるクリンカを使用した圧縮強さの試験結果(石灰石10%添加)¹²⁾

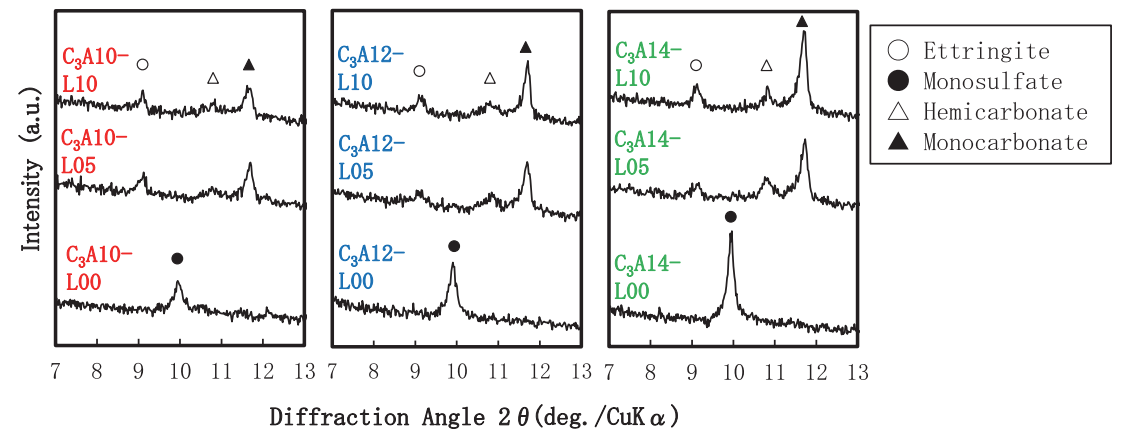


図4 セメントペースト硬化体のXRD測定の結果(材齢28日)¹²⁾

石添加量が5あるいは10%にて、C₃Aが増えると強さが増加した。これは石灰石とC₃Aとが反応して生成した水和物が初期の強さに寄与したためと考えられる。材齢28日でもC₃Aと石灰石の作用は認められるが、無添加におけるC₃A増加による強さの低下が影響し、いずれの水準でも現行品の強さに及ばなかった。比表面積

値を高めることやセメントのSO₃を調節すること¹³⁾で28日の強さを維持できる可能性がある。

図4に、各硬化体ペーストの材齢28日における粉末X線回折(XRD)プロファイルを示す。石灰石無添加の系では、主な結晶相はモノサルフェートであり、C₃Aの増加とともにこれが増加した。既往研究¹⁰⁾と同

様に石灰石を添加すると、エトリンガイト、ヘミカーボネートおよびモノカーボネートの生成が確認された。また、石灰石およびC₃Aの増加に伴い、カーボネートの生成量が増加した。クリンカ比率低減による強さ低下が、石灰石とC₃Aの反応生成物によって緩和されたものと考えられる。

4. おわりに

本稿では、ポルトランドセメントの少量混合成分を現行の5%から10%に引き上げた際のセメントの性状、廃棄物使用量の維持と強さなどの品質を一定とする考え方などを紹介した。また、国内資源が豊富である石灰石のみを少量混合成分として使用した場合の影響やベースセメント中のC₃Aの影響を系統的に示した。その結果、クリンカ中のC₃Aを増やすことで石灰石添加による強さ低下を緩和できることを確認した。実現に向けた今後の課題としては、JIS規格化に向けて、コンクリートの流動性、圧縮強度に加えて収縮など耐久性に及ぼす影響評価などが挙げられる。

CO₂排出量削減の要求は今後ますます高まると見込まれる。そうした状況の中で、セメント産業でカーボンニュートラルを目指すにはCO₂排出量削減効果が大きいCCUSやコンクリートへのCO₂吸着など革新的な技術が要求される。一方で、本稿で示したような足元の

CO₂削減対策として、少量混合成分の増量は重要であり、早期に実現すべきであろう。

【参考文献】

- 1) セメント協会／セメント協会HP、重工業研究会及び業界紙との定例懇談会を開催(2021)、1.セメント産業の循環型社会構築への貢献とカーボンニュートラルに向けた取組み、p.7、https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/211028_01.pdf
- 2) セメント協会／カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン、<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/220324.html>
- 3) 丸屋英二他／廃棄物使用量の増大とCO₂排出量削減に向けたセメントの材料設計、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.20(1)、pp.1～11、2009
- 4) 三隅英俊他／高C₃A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.66、pp.353～358、2012
- 5) 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
- 6) 三隅英俊他／C₃A量と混合材と共に増量した高間隙相型混合セメントの水和発熱特性、セメント・コンクリート論文集、Vol.68、pp.133～139、2014
- 7) 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
- 8) 門田浩史他／少量混合成分を10%含む高C₃Aセメントの圧縮強さに及ぼすベースセメントの仕様の影響、第73回セメント技術大会講演要旨、pp.238～239、2019
- 9) 門田浩史他／少量混合成分を10%まで増加させたセメントの圧縮強さに及ぼすベースセメントのC₃Sの影響、第74回セメント技術大会講演要旨、pp.186～187、2020
- 10) 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
- 11) 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.74、380～387、2020
- 12) 吉田友香他／クリンカ中のC₃A量が石灰石を10%添加したセメントの強さに及ぼす影響、第76回セメント技術大会講演要旨、pp.204～205、2022
- 13) 原田匠他／クリンカの高C₃A・SO₃化によるセメントの諸物性への影響、セメント・コンクリート論文集、Vol.71、pp.204～209、2017



キルン排ガスバイパス冷却装置の工業利用と発展

Ma Jiaomei, ほか

ZKG Cement Lime ／ Gypsum

75[2]62～67(2022)

セメント製造におけるCO₂の排出量削減には代替燃料の使用量増加が重要である。しかし、代替燃料に含まれる塩素等の有害な揮発性物質がキルン系内を循環し、設備へのコーチングの原因となることが問題となる。その対策としてバイパスシステムの導入が有効である。

バイパスシステムでは高温のキルン排ガスの一部を抽気し、冷空気と混合することで急冷し、有害な揮発元素が濃縮した粒子をバグフィルターで捕集して系外に排出する。従来型のバイパスシステムはエジプトや中国の工場などで導入されているが、冷却室が大型であるために既存の工場への設置が困難であることが課題であった。

新たに開発したバイパスシステムでは、冷却室が内／外筒、排ガス抽気口および冷却空気注入口から構成され、沈降管で窯尻部分に接続される。冷却空気は内筒と外筒の間に吹き込まれ、沈降管を通じて抽気される排ガスに対して逆行することで混合が強化される仕組みとなっている。その結果、冷却部の短縮が可能となり、同様の運転条件下で従来型よりも冷却室の容積が75%削減され、既存工場への導入が容易となった。また、沈降管内のガス流速を10m/s以下に制御することで抽気排ガス中に含まれる大量の粗粒子をキ

ルン内に戻し、塩素に富む微細な粒子を選択的に取り込む設計としている。その結果、抽気ダスト中の塩素は原料よりもおよそ6倍濃縮され、80%以上の塩素除去率となることを確認した。

石灰石セメントを用いたコンクリートの耐久性

Neal S.Berke.h, ほか

Concrete international

44[1]34～39(2022)

Portland Limestone Cement (PLC)はセメントの5～15%を石灰石微粉末に置換した混合セメントであり、ASTMでTypeILに規定されている。PLCは、二酸化炭素排出量の削減の観点から北米で使用される主要なセメントになりつつある。既往の研究では、コンクリートに用いた場合、硫酸塩劣化やアルカリシリカ反応に対して良好な耐性を有していることが示されている。本稿では、長期の耐用年数を実現するために、PLCにClass Fのフライアッシュ(FA)を混合したコンクリートに対して、塩化物イオンの浸透性や凍結融解抵抗性を評価し、OPCを用いた場合との比較を行っている。

標準養生を行ったコンクリート試験体を用いて電気泳動による促進塩分透過性試験を行った結果、PLCを用いたコンクリートの塩化物イオン透過量は、OPCを用いた場合よりも小さかった。また、PLCを用いたコンクリートの空気量および気泡間隔係数はOPCの場合と同様であり、水準によらず安定的な値を示していた。なお、凍結融解試験300サイクルでの相対動弾性係数は96.5%であった。

以上のことより、PLCにFAを混合したコンクリートが塩化物イオン浸透抵抗性や耐凍害性に優れることを示している。このコンクリートは、太平洋岸北西部の大規模な鉄道建設への適用が提案されており、さらなる利用の拡大が見込まれると著者は述べている。

(55ページに続く)

セメント規格がわかる本

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

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



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

古事記にまつわる話

須田 久美子

茨城県石岡市で生まれ育ちました。「石岡のお祭りバカ」と近隣から公然と揶揄されても、石岡人にはむしろ誇らしく思える愛称です。私も、お祭りの太鼓の音に血が騒ぎ、お祭りのある9月の3日間はお囃子にうっとりしながら山車の綱を引いて市内を練り歩くのが毎年の習いでした。大人たちは、なんやかんや言いながら一年中お祭りの打合せをしていたように記憶しています。今から思えば年番の年だったのかもしれませんが。毎週のように町内の人が夜になると集まってきました。お祭りが終わった翌日から「お祭りまであと何日」のカウントダウンが始まるのも恒例でした。

お祭りの正式名称は「常陸國總社宮例大祭(ひたちのくにそうしゃぐうれいたいさい)」, 創建千年を誇る古社・常陸國總社宮の最も重要なお祭りです。雨まつりという異名をもつほど、雨に見舞われやすい石岡のお祭りですが、中止になったのはたった1度、日露戦争の時だけだそうです。台風でも新型コロナでも、獅子舞・山車・供奉行列・相撲など規模や行事の内容を見直し、神事は続けられてきました。

社伝によれば、常陸國總社宮の創建は天平年間(730年頃、奈良時代)とも言われ、国内の神々を一同に集め祀ったのが始

まりです。境内には日本武尊(やまとたけるのみこと)の腰掛石があります。現在の祭神は、伊弉諾尊(いざなぎのみこと)、大國主尊(おおくにぬしのみこと)、素戔鳴尊(すさのおのみこと)など六柱です。伊弉諾尊は、「古事記」には、伊邪那岐命・伊邪那岐神と表記されて、伊邪那美命(いざなみのみこと)とともに国々や山川草木や万物を司る神々を生み、最後に天照大御神(あまてらすおおみかみ)、月読命(つくよみのみこと)、須佐之男命(すさのおのみこと)を生んで、それぞれに治めさせる国々を定めた男神です。大國主尊は、「古事記」には大國主命、大國主神、大穴牟遲神(おおなむぢのかみ)、大名持神(おこなもちのかみ)、葦原色許男神(あしはらしこのおのかみ)、八千矛神(やちほこのかみ)、宇都志国玉神(うつしくにたまのかみ)など、沢山の名前で登場します。現代では大黒様(だいこくさま)の方がなじみ深いと思いますが、須佐之男命の厳しい指導を受けて様々な学問・技術を身に付け、国づくりを行った神様です。

祖母の膝に腰かけて2階の窓からお祭りの行列を眺めていると、山車のてっぺんに飾られている大きな人形が、威厳に満ちた神様に見えてきました。彫刻刀一本で父が大

黒様を彫り上げている様子を傍らで眺めていると、まるで大黒様が木の中に元々おいでになったように感じました。お祭りを通して神様を身近に感じて育ったようです。

縁あって、2018年から一般社団法人土木技術者女性の会の有志で、「新釈古事記伝」(阿部國治著・栗山要編)の朗読会をはじめました。新型コロナ禍を経てWEB形式で「弥栄(いやさか)の会」と称する月1回の恒例イベントになりました。「新釈古事記伝」は、古事記の研究に情熱を注いでこられた阿部國治先生が、古事記の味わい方について現代人にもわかる平易な言葉で肝となる部分を選んで執筆した原稿を、弟子の栗山要先生が7冊の本に編纂されたものです。全員で交代しながら2時間ほど朗読し、印象に残った箇所を出し合いながら、各々の気付きや感想を語り合う気楽な会です。何回も読み返しているのに、その都度新たな気付きがあるのも楽しみの一つになっています。私のお気に入り、第三集「少彦名(すくなさま)」の中の第7章「おまつり」です。大國主命は、国づくりに精を出して多くの事柄で成果を上げているのに、「みんなの様子にどこかしら不満足なところがあって、そのためにみんなの目に光がないのはいったいどうしたことだろうか」と思い煩いの末に、いるかないかわからないほど小さな少彦名のお供になり、たくさん持っていた名前を捨てて国づくりの仕上げをして回ります。お祭りもその一つ。お祭りを始めてから、みんな満足して、自分の仕事と生活を楽しむようになりました。



お祭りの本来の意味を味わう機会を得て、石岡のお祭りが懐かしく思い出され、何か地元の役に立つことはできないかと思いを巡らすなか、高校の出前授業の講師をしたり、コンクリート橋のセルフインフラメンテナスを小中学生に体験してもらったりイベントを企画したりして、細々と石岡市とのつながりを続けています。

[すだ くみこ／
鹿島建設(株) 土木管理本部土木企画部
人事・教育グループ 専任部長
(一社)土木技術者女性の会 運営委員
建設産業女性定着支援ネットワーク 幹事長]

一般国道42号新宮紀宝道路・熊野川河口大橋(仮称)のコンクリート施工

General National Route 42 Shingu Kiho Road
Concrete work for the Kumano River Bridge

弓家 猛 山口 卓 川口 達也 袋井 孝洋

1. はじめに

一般国道42号新宮紀宝道路は、和歌山県新宮市から三重県南牟婁郡紀宝町に至る延長2.4kmの自動車専用道路として2013(平成25)年に事業化され、現在開通に向け工事が進捗している。同事業の一部である熊野川河口大橋(仮称)は、県境を流れる一級河川熊野川に橋長821mのPC7径間連続箱桁橋を架橋するものである(図1)。当該橋梁は南海トラフ地震発生時の緊急避難場所としても計画されており、開通後は道路としての利便性のみならず防災設備としての役割も期待されている。

上部工の建設工事は、本橋の中央で二分する分割発注とされ、右岸側(和歌山県側)3.5径間分を大成

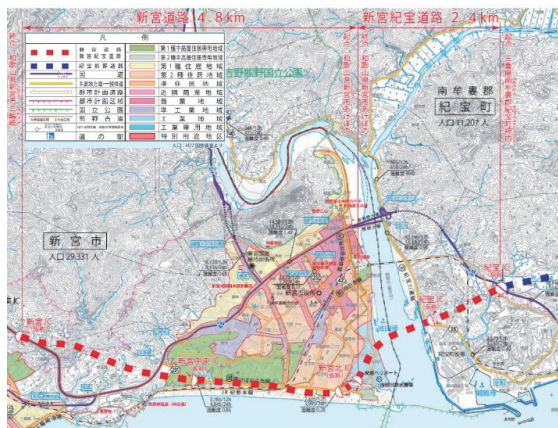


図1 位置図

建設(株)、左岸側(三重県側)3.5径間分を前田建設工業(株)が施工している。P1～P6間は各橋脚を起点として張出架設工法にて構築し、中央閉合により主桁を連結する施工方法である。両工区とも河岸に近接するP1、P6橋脚は陸上からの施工が可能だが、P2～P5橋脚は河川内に位置するため、台船を用いた水上施工となる(図2)。水上施工では、鉄筋やPC鋼材等の建設資材をすべて台船で運搬することになるが、特にコンクリートは運搬中の性状変化が懸念されるため、施工方法や配合、品質管理に至るまで陸上施工にはない配慮が求められる。

本稿では、上部工コンクリートの台船を用いた水上施工について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の概要を表1に示す。

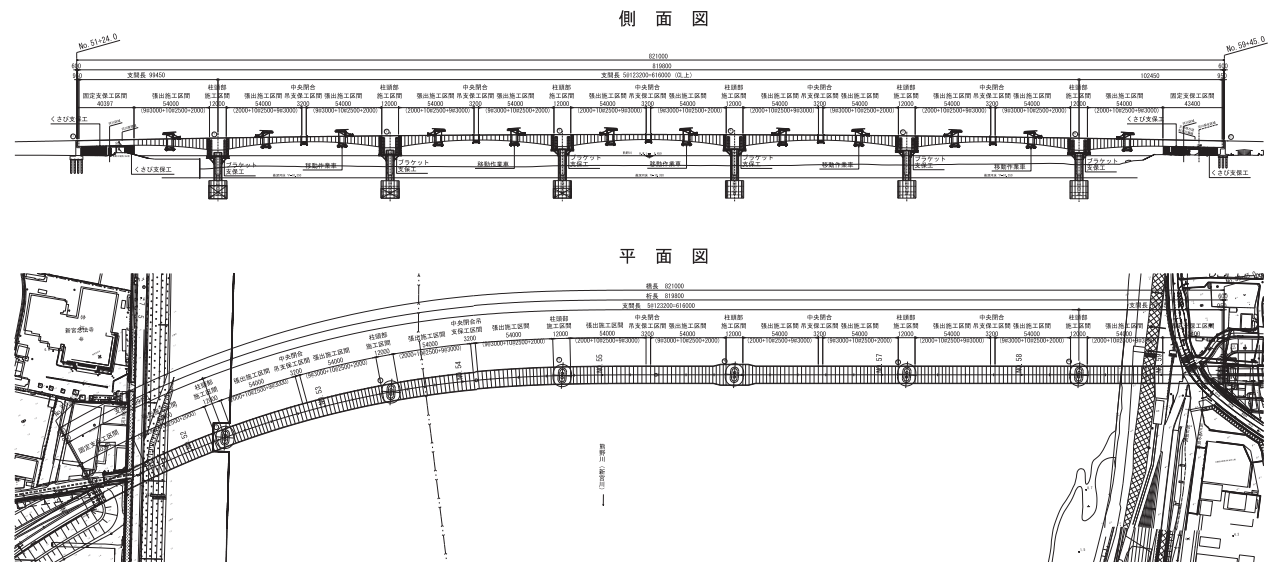


図2 全体一般図

表1 橋梁概要

橋名	熊野川河口大橋(仮称)
路線名	一般国道42号 新宮紀宝道路
発注者	近畿地方整備局 紀南河川国道事務所
受注者	(P1～P3工区)大成建設株式会社 (P4～P6工区)前田建設工業株式会社
工事場所	(自)三重県南牟婁郡紀宝町鶴殿地先 (至)和歌山県新宮市あけぼの地先
構造形式	(上部工)PC7径間連続箱桁橋 (下部工)逆T式橋台、壁式橋脚(小判型) (基礎工)A1,A2橋台:鋼管ソイルセメント杭 P1～P6橋脚:ニューマチックケーソン
架設工法	張出架設(側径間:支保工架設)
橋長	821.0m
支間長	99.45m+5@123.20m+102.45m
ブロック割	20ブロック
桁高	3.5m～8.5m
全幅員	W=12.65m(標準部) W=15.15m(非常駐車帯部)
平面線形	R=700m～A=300～R=∞
縦断勾配	上下2.000%
コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ (上部工、橋脚:上部工施工) $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ (壁高欄・中央分離帯)

3. 水上施工

3-1. 背景

熊野川は、その源を山上ヶ岳(標高1,719m)として、大小の支川を合わせながら熊野灘に注ぐ、流域面積2,360km²、幹川流路延長183km、和歌山県、三重県、奈良県の三県にまたがる紀伊半島最大の一級河川である。

熊野川の豊かな水と自然は、紀南地方の社会、経済、文化などの基盤となっている。ただし、熊野川は大きな恩恵を授けるだけでなく、度々、流域に大水害をもたらしてきた。特に2011(平成23)年の台風12号では、一部地域

で雨量が2,000mmを超えるなど記録的な豪雨に見舞われ、「紀伊半島大水害」と称される甚大な被害が発生した。河川では、出水期(川が増水しやすい期間)と非出水期(出水期以外の期間)に分類される。河川内の施工は一般的に非出水期に行われる。出水期に施工を行わないのは、河川内に工事用の架設設備を設置することにより河川阻害率が高くなり、増水時に流域に水害を発生させる可能性があるためである。熊野川の出水期は、6月15日～10月31日である。熊野川河口大橋の下部工工事は、非出水期に施工が行われた。一方、熊野川河口大橋PC上部工工事は、1年間を通して施工を行う「通年施工」で計画された。構築物である橋梁上部躯体が水面から8.0m以上の高さにあること、また、資機材の運搬を船舶により行うことで、水の流れを阻害せずに施工が可能と考えられたためである。「通年施工」をすることにより、大幅な工期の短縮、工事費の削減が可能となった。

3-2. 水上施工の課題

出水期の施工は、河川の異常出水により工事で使用する資機材が河川あるいは海に流出するリスクを抱えることになる。資機材の流出が発生した場合、機械類の油分流出による汚濁、漁場への被害、航行船舶への障害等の周辺社会に影響を及ぼす可能性があることから、河川管理者は、「絶対に流出事故を起こさない対策」を強く要望した。そこで、下記の①および②の課題について対策を講じるようになった。



ゆげ たけし / YUGE Takeshi
大成建設(株) 関西支店
作業所長



やまぐち たかし / YAMAGUCHI Takashi
同上
現場代理人



かわぐち たつや / KAWAGUCHI Tatsuya
前田建設工業(株) 関西支店
課長



ふくろい たかひろ / FUKUROI Takahiro
同上
主任

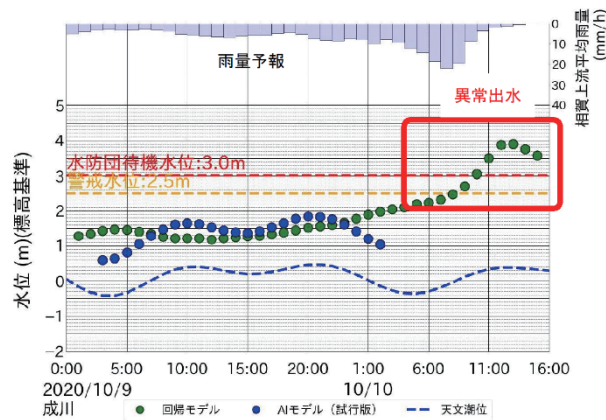


図3 出水警報システム

- ① 異常出水による河川敷に仮置きした資機材の流出
- ② 異常出水による資機材の運搬に使用している船舶関連の流出

3-3. 課題への対策

流出対策は、異常出水時の影響範囲から、流出の危険が生じる前に速やかに資機材を撤去することが重要と考えた。

関係各署と協議のうえ、前述の①および②の課題に対する対策を以下の通りに行った。

① 河川敷の仮置き資材

河川水位の予測を行い、異常出水を事前に察知して資機材を安全な場所に移動させる対策を講じた。

施工中は、工事に必要な資機材を河川敷に仮置きする必要がある。これらの資機材を異常出水前に適切なタイミングで撤去するためには、河川水位の予測を行う必要がある。気象情報は、様々な機関から入手できるが、それらの情報だけでは河川の水位予測を的確に行えない。そこで、工事地点の水位を定量的に予測することができる河川出水警報システム(T-iAlert[®]Rever¹⁾)を導入した。この河川出水警報システムは、気象庁から公表される降雨予測値と熊野川の流域面積等のデータ解析を行い、熊野川の水位をリアルタイムで予測することができる。約40時間先までの水位を予測することが可能で(図3)、工事位置の水位が上昇する予報が発令された時点で、河川敷に仮置きしていた資機材を高所の異常出水時の影響範囲外へ移動させることができた。



写真1 船舶使用状況

② 資材運搬用の船舶

船舶関係は、河川の外に移動させる計画を立案した。船舶関係が流出するような過去の気象条件は、梅雨や秋口の長時間の降雨に台風が到来した場合である。台風は発生から4日～6日程度で、日本へ接近することが多く、台風が接近する前に船舶関係を速やかに河川外に移動させる必要がある。それぞれの工事で使用していた船舶関係は、引き船が3隻、クレーン付台船が2隻、組立台船が2隻である(写真1)。組立台船は、解体・陸揚げし、高所へ移動した。当初はクレーン付台船も組立台船を利用する予定であったが、短時間でのクレーンの解体が不可能であること、組立台船の構造が波浪に弱いことから、鋼台船に変更した。つまり、退避時は引き船とクレーン付台船を河川外の港に移動することとした。

これらの対策を講じることにより、現在に至るまで、異常出水が生じた場合でも資機材の流出事故は発生していない。

4. コンクリート配合

4-1. 課題

河川内の工事では、仮栈橋等を設置して構築位置まで資機材を運搬するのが一般的な方法である。しかし、本橋は、「通年施工」を実施するため、河川を阻害する仮栈橋等の設置をすることができない。したがって、P2～P5施工時に必要な資機材は、船舶を利用し



写真2 圧送試験状況

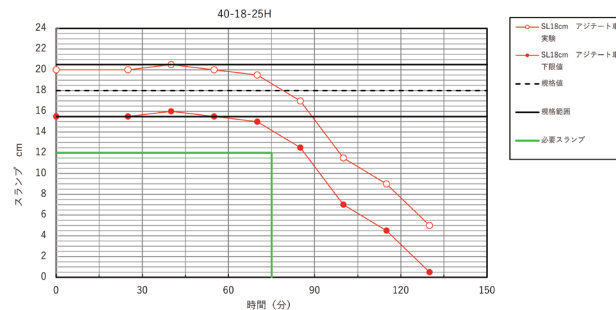


図5 スランプ18cm配合の経時変化

て運搬する必要があった。通常と比較して、船舶への載せ替え、船舶での運搬という作業が増えることになる。生コンクリートの運搬は、ワーカビリティの低下が考えられたため、試験練りを実施して配合の事前検討を行った。対象となるコンクリートは、脚頭部と柱頭部に使用する普通ポルトランドセメント、張出施工部に使用する早強ポルトランドセメントだが、ここでは、張出施工部に使用した早強ポルトランドセメントについて述べる。

4-2. 事前検討

コンクリート標準示方書(施工編)²⁾に準ずれば、躯体に打ち込む際のスランプは12cmが必要である。そこで、練り混ぜ完了から打ち込みまでのスランプロスを把握するために、スランプの経時変化を測定した。荷下ろし時のスランプの設定は、15cm, 18cm, 21cmの3種類とした。また、張出施工部に使用するコンクリートは、張出先端まで配管を利用して圧送するため、圧送によるスランプロスも把握するため、実施工と同等の水平換算距離でコンクリートを圧送し、スランプの確認を行った(写真2)。

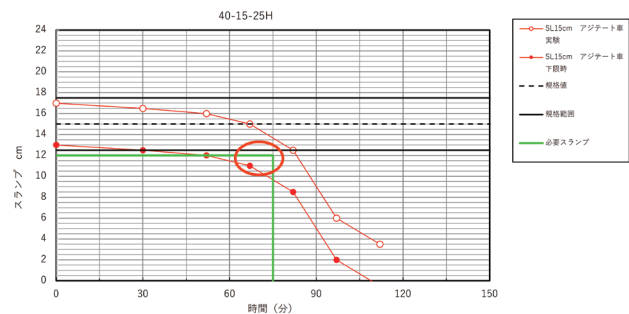


図4 スランプ15cm配合の経時変化

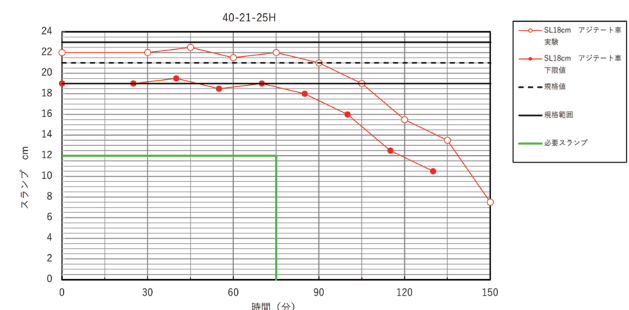


図6 スランプ21cm配合の経時変化

右岸と左岸では運搬距離が異なるため台船での運搬時間は異なるが、右岸側の練り上がりから圧送完了までの各経路で要する時間は次の通りである。

経路1 プラント～河川敷 35分

経路2 河川敷～台船に載替え～当該橋脚 25分

経路3 台船～コンクリートポンプ車投入 10分

経路4 コンクリート圧送 5分

以上の4経路の時間を合計すると、約75分となる。

4-3. 確認結果

① スランプロス試験

図4～6に3配合(スランプ15cm, 18cm, 21cm)の試験結果を示す。グラフの縦軸はスランプ値、横軸は経過時間である。グラフには実験値と各配合のスランプの規格値と規格範囲を示す。グラフに示す必要スランプは、75分経過時に必要となるスランプ値12cmを示している。

試験結果から、本橋では40-18-25Hを採用した。75分後にスランプ12cm以上を確実に確保できる配合は40-18-25Hおよび40-21-25Hであるが、40-21-25Hはスランプ値が大きすぎ、ワーカビリティに難があった。

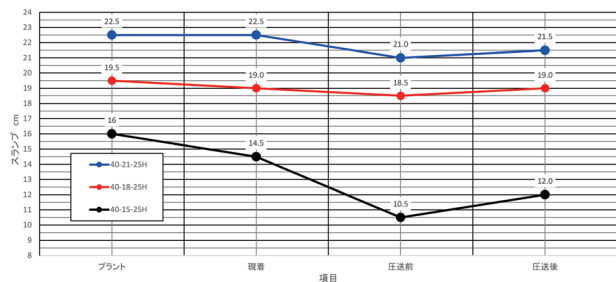


図7 圧送試験結果

表2 主要打設機材

場所	名称	規格・寸法	数量
基地台船	鋼台船	15m×35m	1隻
	クローラークレーン	70～80t吊	1台
	コンクリートポンプ車	10t	1台
資材台船	組立台船	90t積	2隻
	コンクリートバケット	容量2.0m ³	4基/1隻
仮設岸壁	ラフタークレーン	50t吊	1台

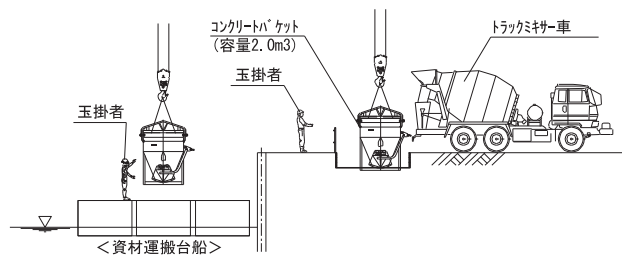


図8 補充作業の模式図

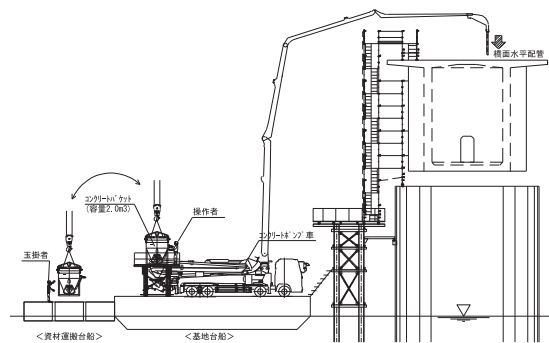


図9 台船打設の模式図



写真3 水上打設のステップ

40-15-25Hは何らかの要因で出荷時のスランプ値が規格値の下限に振れると、75分経過時に必要スランプが確保できない可能性があった。

② 圧送ロス試験

図7は、プラント出発時、現地到着時、配管圧送前および配管圧送後におけるスランプ値を示している。

各配合において、圧送によるスランプロスは認められなかった。ただし、気温や湿度等の条件により、状態変化も予想されたことから、特に夏季の施工時では継続的に現場でコンクリートの状態を監視した。

5. 打設方法

5-1. 打設計画

本橋は通年施工を行うため、夏季も河川内でコンクリート打設を行う。したがって、練り混ぜ開始から打込完了までが90分以内となるように計画を立てた。

水上打設のステップを写真3に示す。

生コンクリートは、トラックミキサー車の積載量が1車当り4m³のため、容量2.0m³のコンクリートバケットを4基使用し、合計8m³の生コンクリートを積んだ資材台船を2隻で交互に運搬した。コンクリートバケットを増やし、1隻当り12m³積も検討したが、1隻当りの打設時間が長く、スランプロスが顕著になったため、1隻当り8m³とした(表2)。

台船1隻分(8m³積)の生コンクリートをコンクリートポンプ車に投入し、圧送完了までで15分、次の生コンクリートを積載した台船の入れ替えに15分を要することから、打設位置における台船1隻当りのサイクルは30分となる。つまり、時間あたりの打設量は16m³、1日の打設量は約120m³となる。

5-2. 仮設岸壁での作業

台船の発着場となる仮設岸壁では、コンクリートバ

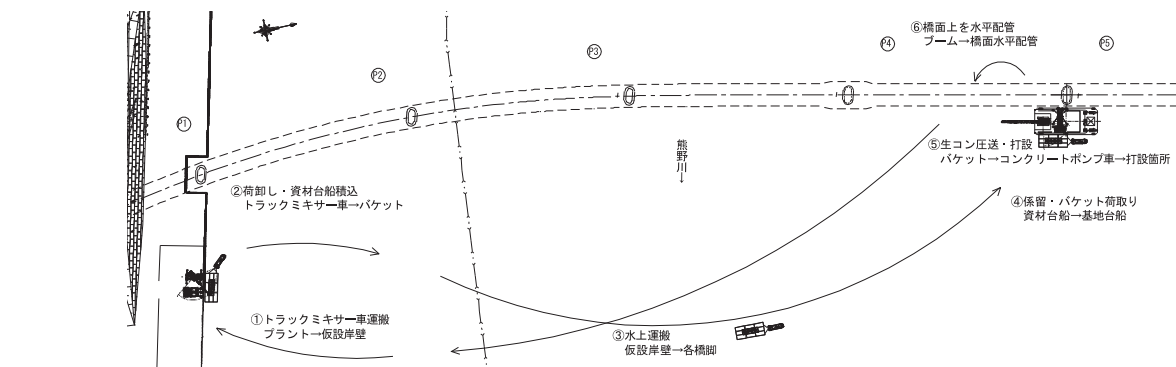


図10 コンクリートの運搬経路

ケットへ生コンクリートの補充を行った。空になったコンクリートバケットは資材台船から50t吊りラフタークレーンで陸上に引き揚げて生コンクリートの補充を行った。陸上に引き揚げたバケットは、地盤を1m程度掘り下げたピットに置き、トラックミキサー車のシュートから生コンクリートを直接投入した(図8)。

生コンクリートをバケットに投入する作業と、補充が完了したバケットを資材台船へ揚重する作業を交互に行うことで、補充時間の短縮を図ることができた。

5-3. 基地台船

基地台船では、コンクリートポンプ車を設置し、同じ台船上に配置したクローラークレーンでコンクリートバケットを揚重して、シュートを備えた投入架台からコンクリートポンプ車に生コンクリートを供給した(図9)。水上運搬によるスランプロスが著しい場合、コンクリートポンプ車の配管が閉塞する懸念があった。そのため、バケットからコンクリートポンプ車へ供給する生コンクリートについては、仮設岸壁での積込時から著しい性状変化が生じていないか、常時監視しながら圧送を行った(図10)。

脚頭部および柱頭部は、コンクリートポンプ車のブームで型枠内に直接打設した。張出架設部は、左右張出のバランスを保つ必要があるため、橋面上に配管を設置し、生コンクリートを水平圧送して両側のブロックを同日中に打設した。

6. おわりに

熊野川河口大橋は、防災面、経済活動の活性化、緊急時のルート確保等、様々な分野で地域に貢献できることを期待された橋梁である。河川内の通年施工、海域の近傍の厳しい条件下で現在も施工中であるが、発注者をはじめ、関係諸官庁、地域の協力者の助言により、これまで順調に建設を進めることができている。関係者の皆様には、御礼申し上げる。

【参考文献】

- 1) 河川工事の安全管理に用いる「出水警報システム」の長期適用と予測精度の向上に関する検討 河川技術論文集、第24巻、2018.6
- 2) コンクリート標準示方書(施工編)2017年制定

フェロクロムスラグをコンクリート用骨材へ

-その有効活用に向けた基礎性状の把握-

Ferrochrome slag as aggregate for concrete
-Understanding of basic properties for effective utilization-

宮里 心一

1. はじめに

地球上においてコンクリートは、水の次に多量使用される材料である。また、水、セメント、骨材および混和材料を混練して製造する複合材料である。したがって、各種の副産物を多量に有効活用でき得る可能性を秘めている。例えば土木学会では、副産物を混和したコンクリートの性能を評価し、有効活用が適すると判断されたものに対しては、表1に示す指針をコンクリートライブラリーとして発刊してきた。今後も地産地消の観点から、副産物の有効利用に関しては、全国一律ではなくても地域で検討されるであろう。そのひとつとして、富山県射水市で副産される未利用物のフェロクロムスラグ(以下、FCSと略す)骨材に関して検討してきたので、本稿で概説する。

低炭素フェロクロムは、航空機、発電用エンジンタービン、自動車用エンジンの部品を製造するため、ステンレス精錬の最終工程で使用される資材である。日本では唯一、クロム系合金鉄メーカーであるJFEミネラル(株)で製造されている。ただし、その工程で副産されるFCSの有効活用は課題であり、地元の2大学(金沢工業大学と富山県立大学)でコンクリート用骨材への適

表1 土木学会で指針化された副産物

副産物	No ^注
高炉スラグ微粉末	63, 86, 151
高炉スラグ骨材	76, 135
フェロニッケルスラグ骨材	78, 91, 146
シリカフェューム	80
銅スラグ細骨材	92, 147
フライアッシュ	94
電気炉酸化スラグ骨材	110
電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材	120

注：コンクリートライブラリーのNo

表2 FCS粗骨材の物性

表乾密度 (g/cm ³)	2.52~2.65
絶乾密度 (g/cm ³)	2.43~2.55
吸水率 (%)	2.02~3.71



写真1 FCS粗骨材の外観

用可能性の評価に取り組んだ。このうち本稿では、耐久性に関する成果の一部を紹介する。なお、誌面が限られるため、文献^{1~6)}を参考にされたい。

2. FCS骨材の概要

表2にFCS粗骨材の物性を示す。また、骨材表面には、写真1に示すとおり、多くの空洞が存在する。

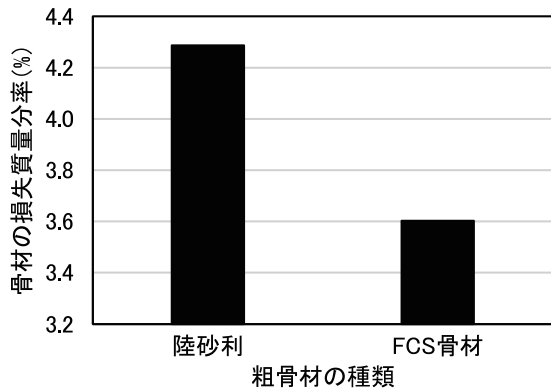


図1 粗骨材の損失質量分率(JIS A 1122)

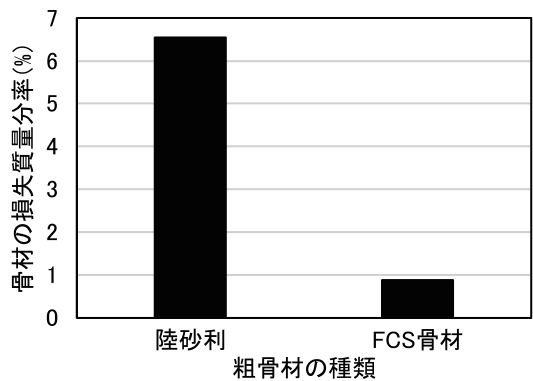


図2 粗骨材の損失質量分率(片平法)

表3 材料物性値

種類			物性値
結合材	普通ポルトランドセメント	N	密度 3.16g/cm ³
			比表面積 3250cm ² /g
	高炉セメント B 種	BB	密度 3.04g/cm ³
			比表面積 3620cm ² /g
細骨材	陸砂 (庄川産)	S	表乾密度 2.58g/cm ³
			吸水率 1.83%
			F.M.2.63
粗骨材	陸砂利 (庄川産)	G _N	表乾密度 2.62g/cm ³
			吸水率 1.26%
			F.M.6.91
	FCS 粗骨材	G _F	表乾密度 2.58g/cm ³
			吸水率 2.02%
			F.M.6.61

表4 コンクリートの配合と実験ケース

実験ケース	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	N	BB	S	G _N	G _F
N0	50	45.1	168	336	0	792	979	-
N50							490	482
N100							-	964
B0				0	336	787	973	-
B50							487	479
B100							-	958

そのため、人工軽量骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性が低い⁷⁾ことを鑑みると、FCS骨材を用いたコンクリートの耐凍害性や物質透過抵抗性は低いことが懸念された。

そこで、粗骨材の安定性および耐凍害性を、JIS A 1122と片平らにより提案された方法^{8~9)}により評価した。粗骨材の損失質量分率の結果を図1,2に示す。これらによれば、FCS骨材の損失質量分率は、陸砂利よりも少ないことが認められる。

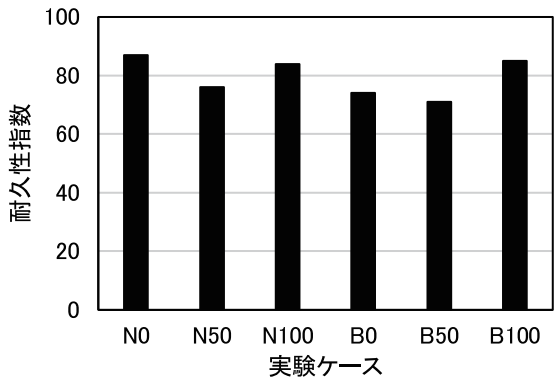


図3 コンクリートの耐久性指数

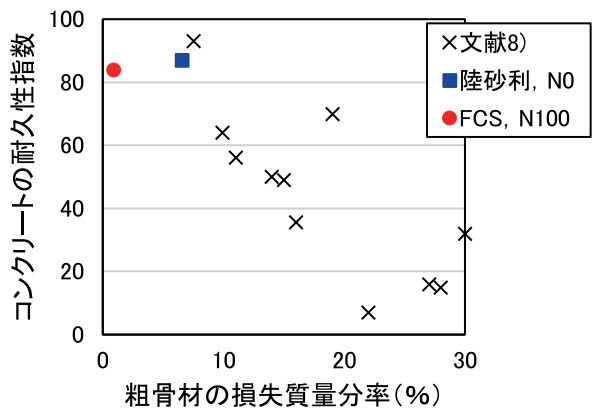


図4 損失質量分率に関する既往データとの比較(片平法)

3. 凍結融解抵抗性

表3に示す材料を用いて、スランブは12±2.5cm、空気量は4.5%±1.5%のコンクリートを作製した。配合と実験ケースを表4に示す。

JIS A 1148のA法による、コンクリートの耐久性指数を図3に示す。これによれば、普通ポルトランドセメントを用いた場合(Nシリーズ)、FCS骨材のみを用い



みやざと しんいち / MIYAZATO Shinichi
金沢工業大学
工学部環境土木学科
教授 博士(工学)

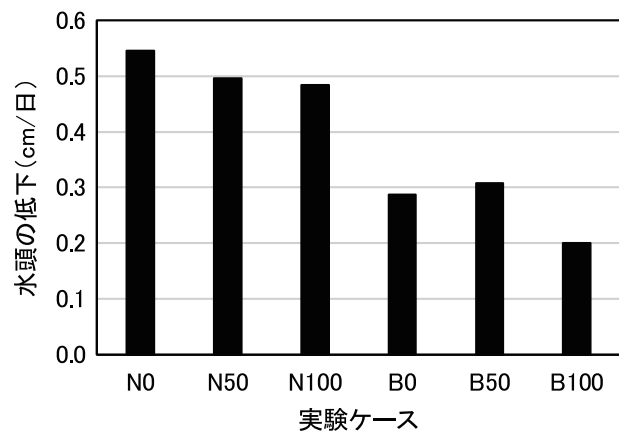


図5 コンクリートの透水量

たN100, 陸砂利のみを用いたN0, および両骨材を混合使用したN50の耐久性指数は同等であることを確認できる。また, 高炉セメントを用いた場合(Bシリーズ)も, B100, B0およびB50の耐久性指数は同等である。したがって, FCS骨材コンクリートと陸砂利コンクリートの耐凍結融解抵抗性は, 混合使用した場合も含めて, 同等であると判断できる。これについて, 図4に, 既往の研究⁸⁾で示された砂利に対する損失質量分率とそれを用いたコンクリート(W/C=55%, W=165 kg/m³)の耐久性指数の関係に加えて, 本研究の片平法で得られた結果もプロットした。これによれば, FCS骨材および陸砂利の損失質量分率は相対的に少なく, またFCS骨材コンクリートであるN100および陸砂利コンクリートであるN0の耐久性指数は相対的に高いことが読み取れる。以上のことから, FCS骨材では陸砂利と同等に, コンクリート用粗骨材としての十分な耐凍害性を有すると判断できる。

4. 遮水性

3章と同様なコンクリートを用いて, JSCE K571の③透水量試験により, 遮水性を評価した結果を図5に示す。この図では, 縦軸に示す水頭の低下量が少ないほど遮水性は高いことを意味する。これによれば, 普通ポルトランドセメントを用いた場合(Nシリーズ), FCS骨材のみを用いたN100, 陸砂利のみを用いたN0, および両骨材を混合使用したN50の水頭の低下量は

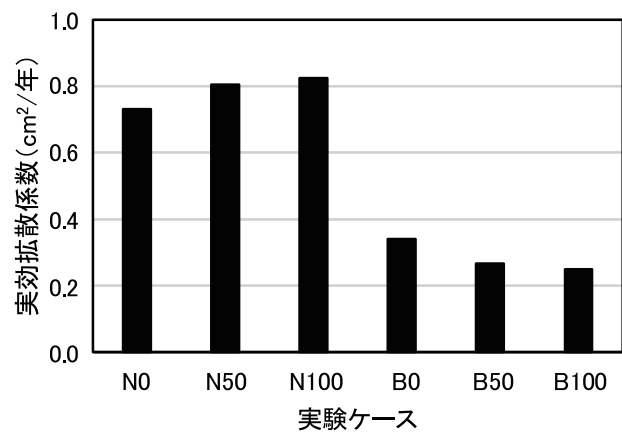


図6 コンクリートのCl⁻実効拡散係数

同等であることを確認できる。また, 高炉セメントを用いた場合(Bシリーズ)も, B100, B0およびB50の水頭の低下量は同等である。ここで, 骨材の吸水率が5%を超えると, 吸水率が高いほどコンクリートの透水係数は増加するが, 4%以下では透水係数は増加しないことが指摘されている¹⁰⁾。したがって, FCS骨材の吸水率は2.02%であることから, コンクリートの透水性を増加させなかったと考えられる。以上のことから, FCS骨材コンクリートと陸砂利コンクリートの遮水性は, 混合使用した場合も含めて, 同等であると判断できる。

5. 遮塩性

3章と同様なコンクリートを用いて, JSCE G 571および浸漬法により, 遮塩性を評価した。後者に関しては, φ10×20cmの円柱供試体の中央部から高さ5cmの試験体を切断し, 側面と底面をエポキシ樹脂により被覆後, 8週間にわたり3.0wt%のNaCl水溶液に20℃環境下で浸漬した。その後, 試験体を割裂し, NDIS 3437に準じて, 0.1Nの硝酸銀水溶液を噴霧し, 銀白色に呈色した深さを測定した。

コンクリートの塩化物イオンの実効拡散係数の結果を図6に示す。これによれば, 普通ポルトランドセメントを用いた場合(Nシリーズ), FCS骨材のみを用いたN100, 陸砂利のみを用いたN0, および両骨材を混合使用したN50の実効拡散係数は同等であることを確認できる。また, 高炉セメントを用いた場合(Bシリーズ)

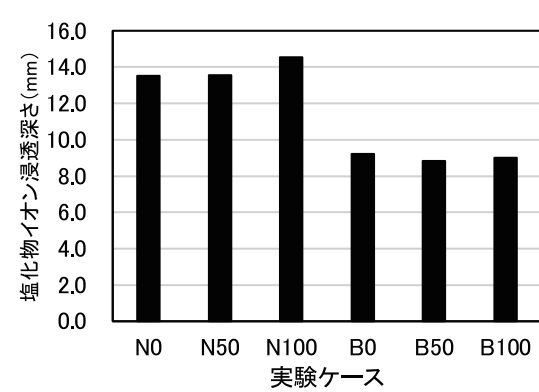


図7 コンクリートのCl⁻浸透深さ

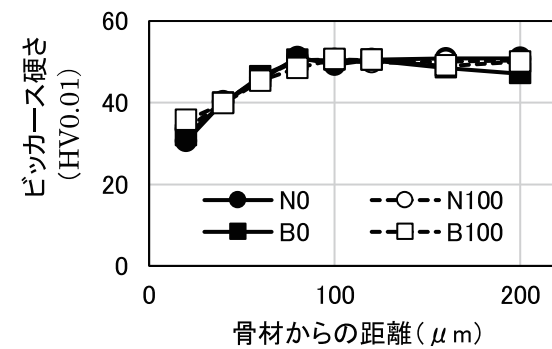


図8 ビッカース硬さの比較

も, B100, B0およびB50の実効拡散係数は同等である。ここで, 骨材の吸水率が10%を超えると, 吸水率が高いほど, コンクリートの塩化物イオン拡散係数は増加するが, 5%以下では拡散係数は増加しないことが指摘されている¹⁰⁾。したがって, FCS骨材の吸水率は2.02%であることから, コンクリートの実効拡散係数に影響しなかったと考えられる。

コンクリートの塩化物イオン浸透深さの結果を図7に示す。これによれば, 普通ポルトランドセメントを用いた場合(Nシリーズ), FCS骨材のみを用いたN100, 陸砂利のみを用いたN0, および両骨材を混合使用したN50の塩化物イオン浸透深さは同等であることを確認できる。また, 高炉セメントを用いた場合(Bシリーズ)も, B100, B0およびB50の塩化物イオン浸透深さは同等である。ここで, FCS骨材コンクリートの塩分浸透状況を写真2に示す。これによれば, FCS粗骨材の内部や周囲の界面において, 特に銀白色の呈色が目立たないことを確認できる。したがって, FCS骨材の内部やセメントペーストとの界面を塩化物イオンが浸透し



写真2 Cl⁻の浸透経路(N100の例)

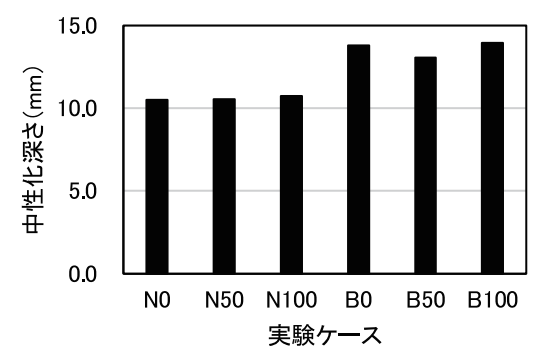


図9 コンクリートの中性化深さ

やすいことは認められなかった。

骨材とセメントペーストの界面性状を把握するため, FCS混合率が0%と100%のコンクリートに対して, ビッカース硬さ試験を行った。その結果を図8に示す。ここで, 硬さ記号HV0.01は試験荷重0.01gfを意味する。これによれば, FCS粗骨材下面のビッカース硬さと陸砂利下面のビッカース硬さは同等であることを確認できる。したがって, FCS骨材とセメントペーストとの界面は塩化物イオンの容易な浸透経路にはならないことを確認できた。以上のことから, FCS骨材コンクリートと陸砂利コンクリートの遮塩性は, 混合使用した場合も含めて, 同等であると判断できる。

6. 中性化抵抗性

JIS A 1153による, コンクリートの中性化深さの結果を図9に示す。なお, 試験体の準備方法は5章の浸漬法と同様であり, 暴露期間は8週間とした。この図によれば, 普通ポルトランドセメントを用いた場合(Nシ

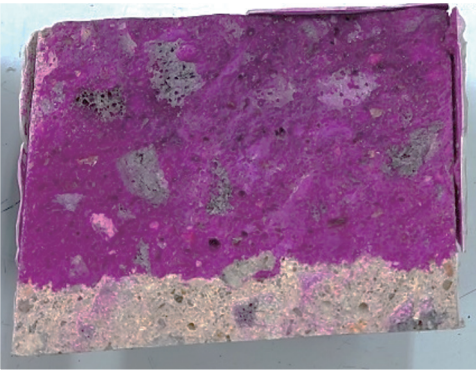


写真3 CO₂の侵入経路(B100の例)

表6 モルタルの配合と実験ケース

結合材	FCS 混合率 (%)	質量 (g/バッチ)					
		W	N	BB	FA 注	S _N	S _F
N	0	250	500	0	0	1500	0
	25					1125	375
	50					750	750
	75					375	1125
	100					0	1500
BB	0		0	500	0	1500	0
	25					1125	375
	50					750	750
	75					375	1125
	100					0	1500
FA 混和	0	400	0	100	1500	0	
	25				1125	375	
	50				750	750	
	75				375	1125	
	100				0	1500	

注：フライアッシュ（七尾産Ⅱ種）

リーズ）、FCS骨材のみを用いたN100、陸砂利のみを用いたN0、および両骨材を混合使用したN50の中性化深さは同等であることを確認できる。また、高炉セメントを用いた場合（Bシリーズ）も、B100、B0およびB50の中性化深さは同等である。ここで、FCS骨材コンクリートの中性化進行状況を写真3に示す。これによれば、FCS粗骨材の内部や周囲の界面において、特に非呈色部分が目立たないことを確認できる。したがって、FCS骨材の内部やセメントペーストとの界面を二酸化炭素が浸透しやすいことは認められなかった。ここで、水セメント比が50%以下では、骨材の吸水率に拘わらず、コンクリートの中性化速度係数は小さいことが指摘されている¹⁰⁾。したがって、本研究で用いたコンクリートの水セメント比は50%であることから、FCS骨材コンクリートと陸砂利コンクリートの中性

表5 使用した細骨材

種類	物性値	
陸砂（庄川産）	S _N	表乾密度 2.58g/cm ³
FCS 細骨材	S _F	表乾密度 2.57g/cm ³

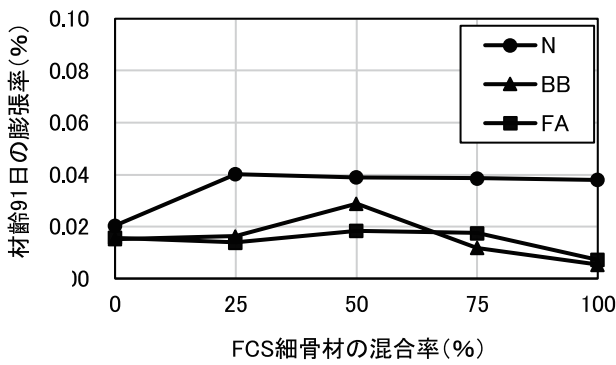


図10 材齢91日目における膨張率

化深さは同等になったと考えられる。以上のことから、FCS骨材コンクリートと陸砂利コンクリートの中性化抵抗性は、混合使用した場合も含めて、同等であると判断できる。

7. ASR 抵抗性

使用した細骨材を表5に、モルタルの配合と実験ケースを表6に示す。また、北陸地方で最も汎用的な飽和NaCl溶液浸漬法（デンマーク法）を用いて実験した¹¹⁾。

材齢91日目における膨張率の結果を図10に示す。これによれば、N、BBおよびFA混和のいずれの結合材を用いたモルタルも、膨張率は極めて小さいことを確認できる。また、FCS細骨材の混合率が膨張率に及ぼす影響は小さいことも認められる。以上のことから、FCS骨材モルタルと陸砂モルタルのASR抵抗性は、混合使用した場合も含めて、同等であると判断できる。

8. まとめと展望

低炭素フェロクロムの製造工程において、富山県射水市で副産されるFCSを有効利用すべく、FCS骨材を

用いたコンクリートやモルタルの耐久性について、普通骨材を用いた場合と比較した。その結果、普通骨材の全量(100%)をFCS骨材に置換した場合、およびFCS骨材と普通骨材を混合使用した場合、凍結融解抵抗性、遮水性、遮塩性、中性化抵抗性、およびASR抵抗性は、普通骨材を用いた場合と同等であることが明らかになった。これは、FCS粗骨材の内部や、セメントマトリックスとの界面は物質透過の経路になりやすくないためと考察された。

副産物の活用は、地産地消が適すると考えられ、今後は富山県内のコンクリートの一部に対して、FCS骨材を活用できる「ことづくり」への展開が望まれる。特に富山県内の一部の普通骨材は、ASR反応性を有するので、その抑制を期待できる副産物の利用が進みやすいと期待される。

【謝辞】FCS骨材は、JFEミネラル(株)から提供された。また研究を推進するにあたり、東京工業大学の長瀧重義名誉教授に御指導を、富山県立大学の伊藤始教授、日本コンクリート技術(株)の篠田佳男氏、(株)八洋コンサルタントの高田誠氏、ならびに本学の元学生

達に協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 宮里心一、土屋慶悟、片山太貴、花岡大伸／フェロクロムスラグ粗骨材を用いたコンクリートの耐久性評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.43、No.1、pp.53～58、2021
- 2) 浅田博樹、山城圭一、伊藤始、俵瑞貴、篠田佳男、宮里心一／フェロクロムスラグ粗骨材の骨材物性とコンクリートのフレッシュ性状に関する基礎的検討、土木学会第76回年次学術講演会概要集、V-02、2021
- 3) 俵瑞貴、伊藤始、浅田博樹、山城圭一、篠田佳男、宮里心一／フェロクロムスラグ粗骨材を用いたコンクリートの強度特性に関する基礎的検討、土木学会第76回年次学術講演会概要集、V-03、2021
- 4) 大熊見平、宮里心一／フェロクロムスラグ骨材を用いたコンクリートの付着強度とビッカース硬度の評価、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、V-02、2022
- 5) 岡野悠人、宮里心一／フェロクロムスラグ骨材を用いたモルタルのASR評価、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、V-03、2022
- 6) 俵瑞貴、伊藤始、浅田博樹、山城圭一、篠田佳男、宮里心一／フェロクロムスラグ骨材の基礎的物性と骨材を混合したコンクリートの強度特性との関係、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、V-01、2022
- 7) 小林一輔／人工軽量骨材コンクリートについて-現状と問題点-、生産研究、Vol.19、No.5、pp.134～139、1967
- 8) 伊佐見和大、片平博、渡辺博志／コンクリート用骨材の簡易な耐凍害性評価手法、土木技術資料、Vol.52、No.2、pp.22～25、2010
- 9) 片平博、渡辺博志、山田宏／粗骨材の耐凍害性評価指標の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.1072～1077、2014
- 10) 日本コンクリート工学協会／骨材の品質と有効利用に関する研究委員会報告書、pp.141～148、2007
- 11) 鳥居和之、友竹博一／アルカリシリカ反応によるモルタルの膨張挙動に及ぼすセメントと反応性骨材の組み合わせの影響、土木学会論文集、No.739、V-60、p.4、2003

今月の推薦図書

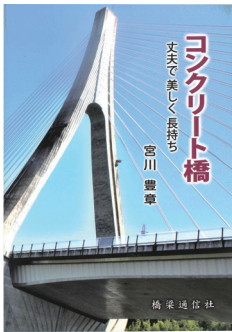
コンクリート橋 丈夫で美しく長持ち

宮川豊章 著

2022年9月発行／A5版223頁

発行：橋梁通信社（東京都千代田区神田神保町1-64）

税込定価：2500円



本書のサブタイトル「丈夫で美しく長持ち」を見て著者の宮川先生を思い浮かべる本誌読者も多いと思われる。事あるごとに目に耳にする先生の名キャッチフレーズだ。

そのキャッチフレーズを纏った新刊が先頃発刊された。発行元の橋梁通信誌に載った2頁のインタビュー記事を担当した編集者が、先生の半世紀にわたる研究への取組みに興味を持ったことから企画がスタート。その後先生からも本づくりへのアイデアが出る中、関わった報告書や基準類に関係者らのコメントを多数揃めた一風変わった「技術書」が出来上がった。先生のおっしゃる「極私的な耐久性能史」の内容は、現在でも各所で研究が続けられているものがほとんどで、コンクリートに携わる方なら大変興味深い貴重な資料であり、また構成と読みやすさから、コンクリートという材料を中心に広がるさらなる可能性を想起させてくれるおすすめの一冊といえよう。

超速硬型の超高性能繊維補強セメント系複合材料の橋梁床版上面増厚への適用

Application of ultra-fast setting type Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement-based Composite to thickening the upper surface of bridge slabs

富井 孝喜 青木 峻二 玉滝 浩司 相本 正幸

1. はじめに

高架橋の床版補修・補強として、鋼繊維を添加した超速硬性のコンクリート(Steel Fiber Reinforced Concrete：以下、SFRCという)による上面増厚工法が実施されているが、SFRCと既設床版の一体化不足による再劣化や上部工の荷重増加による下部工基礎の照査が必要になるなどの課題があった。今回、既設床版の耐荷性能や疲労耐久性の向上を目的として、床版増厚に使用可能な超速硬型の超高性能繊維補強セメント系複合材料(Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement-based Composite：以下、UHPFRCという)「スティフクリート™」を開発し、実橋梁へ適用した内容について紹介する。



写真1 床版上面の劣化状況

2. 超速硬型UHPFRC概要

2-1. 床版上面増厚材料開発の経緯

床版の劣化要因としては、通行車両の荷重・台数の増加による疲労劣化の他に、凍結防止剤散布や凍結融解作用による床版上面の浮き、はく離、土砂化がある(写真1)。床版の劣化が床版上面に限定される橋梁に対しては、曲げ耐力や押抜きせん断耐力を向上させるため、床版上面を増厚する「床版上面増厚工法」が多く採用されている。また、床版の劣化が著しく進行している場合には、既設床版を撤去し、プレキャスト床版へ取り替える工事が行われるが、床版取替工事では、上下線のどちらかを対面通行にして一方を全面通行止めにしている事例も多く、交通規制にともなう

とみい たかよし / TOMII Takayoshi
(株)大林組

あおき しゅんじ / AOKI Shunji
同上

たまたき こうじ / TAMATAKI Koji
UBE三菱セメント(株)

あいもと まさゆき / AIMOTO Masayuki
大林道路(株)

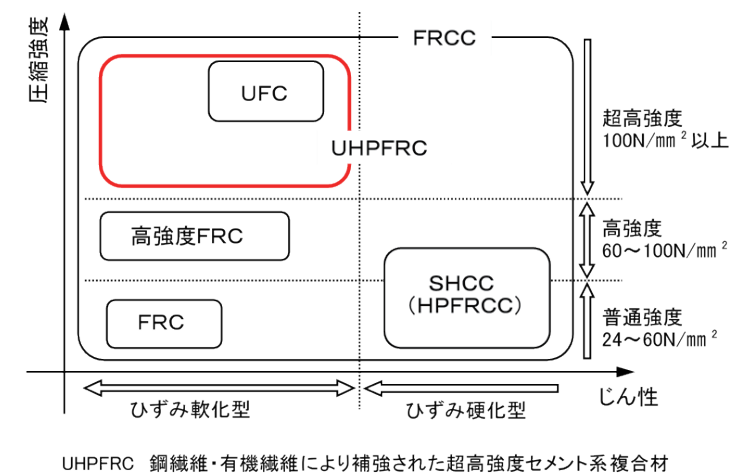


図1 UHPFRCの分類¹⁾

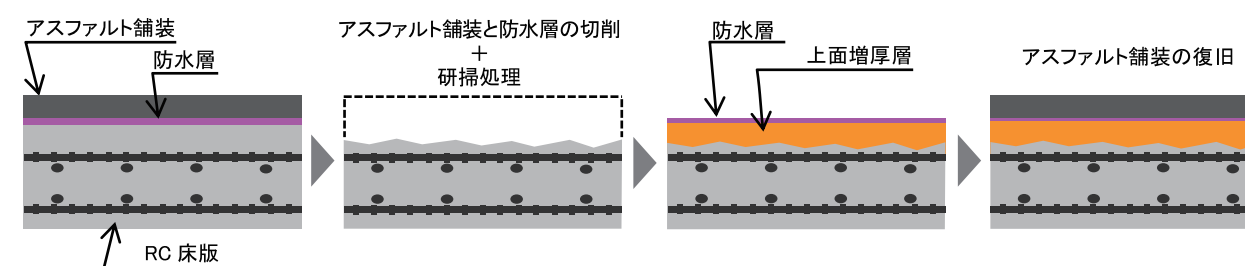


図2 上面増厚工法概要

渋滞や事故の発生が大きな問題となる。

このため、特に都市部近郊の重交通区間では社会的影響を最小限にする取り組みに時間を要するため、工事発注が大幅に遅延するケースが散見される。このため、床版の劣化が軽微な場合には、床版上面増厚工法が採用されることもある。

床版上面増厚工法の材料としては、SFRCが多く実施されてきたが、既設床版との一体化不足による浮きやはく離などが報告されている。そこで、耐久性向上を目的として床版上面増厚に使用可能な超速硬型UHPFRCを開発した。

2-2. UHPFRCによる床版上面増厚工法概要

UHPFRCは、超高強度の材料であり、ひび割れに対する抵抗性が大きく、ひび割れが発生してもひび割れ幅が大きくなりません。特性があることから、従来のSFRCに比較して、ひび割れ進展による耐力低下や表層の土砂化などの劣化が生じにくい材料である(図1)。また、UHPFRCは、透水係数の小さい緻密な

材料であるため塩化物イオンや水などの浸透が表層に限定されることから、防水層の省略、または、防水層のグレード変更、もしくは防水性の高いグースアスファルトとの併用が選択肢になる可能性がある。防水工の省略、簡素化は、従来の規制時間内での作業工程を減らし、工事による規制時間の短縮を図ることができる可能性がある。

SFRCによる床版上面増厚工法は、既設の床版上面を10mm程度切削・研掃して、その上にSFRCを50mm以上増厚する工法である。UHPFRCによる床版上面増厚では、同様の施工方法ではあるが、超高強度材料という特性と粗骨材が不要となることから、SFRCより薄層での補強が可能となり、長期耐久性にも優れている(図2)。

2-3. UHPFRCの配合および仕様

開発したUHPFRCの配合を表1に示す。構成材料は、「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」²⁾(以下、UFC指針という)に準拠した材料

表1 UHPFRCの配合

プレミックス材 (kg/m ³)	急硬材 (kg/m ³)	膨張材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	高性能減水剤 (kg/m ³)	遅延剤 (kg/m ³)	超高強度繊維 (vol%)
2004	140	20	210	8～30	4～10	2.0

専用プレミックス材料：常温硬化型結合材
急硬材：市販の粉体急硬材
膨張材：JIS A 6202 エトリンガイト石灰複合系低添加型膨張材
超高強度繊維：長さ 13 mm，直径 0.16 mm，アスペクト比 81.25

表2 UHPFRCの目標性能

材料名		UHPFRC (材齢)	
項目		目標値	実測値
モルタルフロー (mm)	JIS R 5201 (静置)	150～280	185
空気量 (%)	JIS A 1128	4.0 以下	3.0
圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 1108	24.0 (3 時間)	34.8 (3 時間)
		130 (28 日)	150 (28 日)
静弾性係数 (kN/mm ²)	JIS A 1149	—	44.3
接着強度 (N/mm ²)	JIS A 1171	1.0 (3 時間)	1.5 (3 時間)
		1.5 (28 日)	2.7 (28 日)
ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	JIS A 1113	6.0	9.25
長さ変化	試験法 439	250 μ 以下	211 μ 膨張
中性化 (mm)	試験法 439	—	0
塩化物イオンの 見かけの拡散係数 (cm ² /年)	JCSE-G572 および JCSE-G574	—	0.032

を改良し、早期開放を目的とした超早強材料は粉体系の急硬材を使用する。

UHPFRCの目標性能と実測値を**表2**に示す。

(1) モルタルフロー

モルタルフローは、施工部の勾配に合わせて調整するため、150～280mmと幅を設けており、勾配が大きいほどフローを小さく設定することで、実橋では5%、試験では10%程度の勾配に対応できた。また、モルタルフローの調整は、5～40℃の環境温度ごとに、高性能減水剤と遅延剤の添加量を設定し、調整した。

(2) 圧縮強度

各高速道路会社の構造物施工管理要領³⁾(以下、管理要領という)では、床版上面に用いるSFRCの圧縮強度の管理基準値として、所定材齢(通常3時間)で24N/mm²以上と定められており、本材料もその性

能を満足した。また、材齢28日の圧縮強度は、目標値の130N/mm²を満足した。

(3) 接着強度

超速硬型UHPFRCの接着強度は2.7N/mm²と高い値を示した。床版上面増厚工法では、床版の耐荷性能を回復・向上させるため、既設部と増厚部の一体性が重要である。管理要領の床版上面における断面修復では、コンクリートと補修材との付着強度は1.5N/mm²以上と規定されており、それと比較して十分な付着強度を有していることがわかった。

(4) ひび割れ発生強度

材齢28日における割裂ひび割れ発生強度の平均値は9.25N/mm²であり、UFC指針で示される平均値11.7N/mm²よりも低い値を示した。ひび割れ発生強度は、材料マトリクスに依存すると考えられる。本材料の圧縮強度は130～150N/mm²程度であり、UFC指針に示される圧縮強度の平均値194N/mm²よりも低い値であった。そのため、割裂ひび割れ発生強度もやや低い値を示したと考えられる。

(5) 長さ変化率および質量変化率

長さ変化率および質量変化率の測定結果を**図3**に示す。長さ変化率は材齢28日で211μ膨張であった。管理要領では、床版上面における断面修復の寸法安定性は250μ以下と定めており、その基準値を満足した。

(6) 促進中性化深さ

CO₂濃度5%環境での促進期間52週における中性化深さは、0mmであり、中性化は認められなかった。

(7) 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

10%NaCl溶液に52週間浸漬した場合の塩化物イオンの見掛けの拡散係数は0.032cm²/年であり、UFCの見掛けの拡散係数(0.0019cm²/年)と比較すると大きな値であるが、一般的なコンクリートの見掛けの拡散

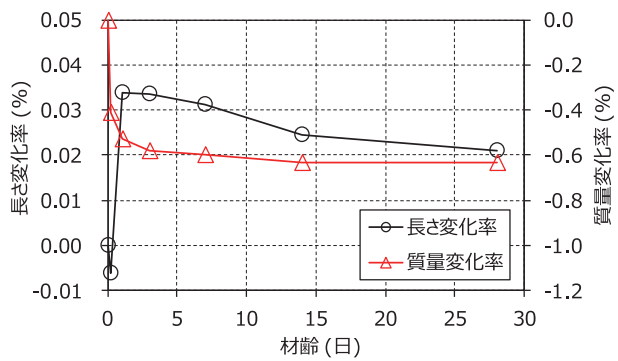


図3 長さ変化率および質量変化率

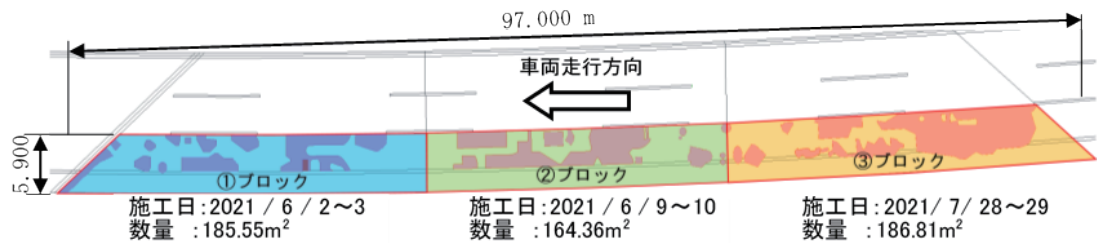


図4 施工平面図

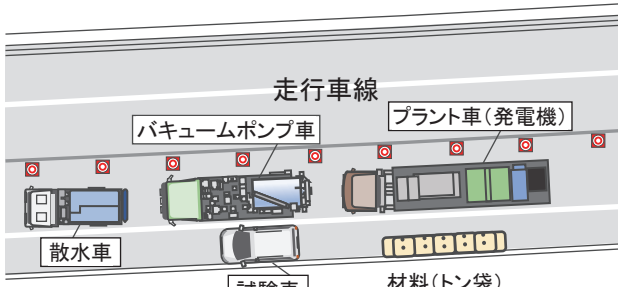


図5 機械配置概要図

係数(0.14～0.9cm²/年)と比較して小さい値を示した。

3. 現場適用

今回対象とした鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版という)は、昭和40年代に建設された後、平成12年にSFRCによる大規模な床版上面増厚が行われたものである。しかし、その後も経年劣化(交通荷重、雨水の浸透等)により床版上面増厚の変状に起因する舗装路面のポットホールが頻繁に発生し、さらに床版下面の変状も顕在化してコンクリート片が剥落する事象が発生した。2019年に、対象RC床版における上面の打音調



写真2 車上プラント配置状況

査を行った結果、既設床版全面に浮き(上面増厚床版と既設床版との界面)などの劣化が確認された。そこで、床版の劣化部分の補修として、路肩を含む第1走行車線の3連1径間において、試験的に超速硬型UHPFRC(536.7m²)を適用することになった(**図4**)。

3-1. 使用機械および施工目地

機械配置概要図を**図5**に示す。機械配置は、舗装切削研掃、劣化部除去完了後に行った。ミキサーや発電機等は車上プラントとし、使用材料は0.5m³に計量したフレコンパックを使用し、ユニック車のクレーンで吊り込める範囲に配置した(**写真2**)。製造設備は、



写真3 大型エンジンスクリード使用

既存の現場施工用の超高強度繊維補強コンクリート用の練混ぜ装置を使用した。実機での練混ぜ試験において、UHPFRCの練混ぜ時間は20分程度であるが、超速硬であることから毎バッチミキサー洗浄を実施しなければならず、製造サイクルが毎バッチ40分程度になることがわかった。このことから、バッチごとに仕切りの型枠を設け、ブロックごとに施工目地を設けることとした。施工目地部の処理は、鉛直継目に速硬化型2液混合エポキシ樹脂系接着剤を塗布することで対応した。

3-2. 施工方法

施工は、舗装切削研掃、劣化部除去・充填、UHPFRCによる床版増厚の順に行った。舗装撤去後にRC床版上面の打音調査を行った。調査で判定した浮きや剥離等の劣化部は、人力はつりにてすべて撤去し、先行してUHPFRCにて断面修復(穴埋め・充填)した。今回の施工箇所は横断勾配が5%あり、隣接車線の交通振動の影響を受けるため、増厚部の材料の変形が懸念された。UHPFRCは打込み厚さの違いにより表面部の変形性能が変化するため、打設厚さを均一化して、表面の変形を防止した。なお、既設床版とUHPFRCの界面には全面に接着剤を塗布した。

今回の施工箇所は、一車線規制の狭隘な作業帯であったことから材料運搬には手押し車を使用した。締固めには電動振動コテと大型スクリード(写真3)を使用した。打込み順序は、事前の施工試験結果により

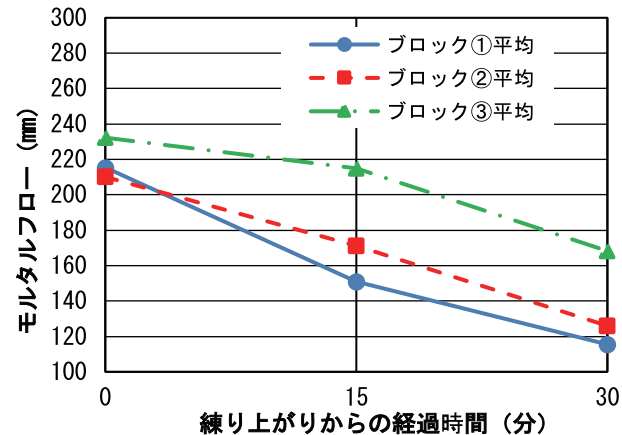


図6 モルタルフロー経時変化

打込み時の変形性状を考慮して、勾配の高い方から低い方に向けて打設した。特に施工ブロックの外周部には電動振動コテにて入念に締固めを行った。仕上げの養生材には、アスファルト舗装との接着性を阻害しない仕上げ助剤を使用し、打設直後からアスファルト舗装までの間にはシート養生を行い、表面の乾燥を防止した。アスファルト舗装前に表面観察を行ったが、ひび割れが確認されず良好な状態であった。

3-3. フレッシュ性状

増厚部も含めた混練り直後のUHPFRCのフロー値は220mm程度と安定していた(図6)。また、高性能減水剤や遅延剤の添加量の調整により、外気温によらず、混練り完了から30分程度までは、振動コテで締固め・仕上げができる状態であった。

今回の施工方法では、練り混ぜ完了から打設・仕上げ完了までの施工時間は、各ブロックとも10分程度であった。直射日光を受ける時間帯でフローの低下が若干早くなる傾向ではあったが、施工への影響もなく順調に施工が完了した(写真4)。

3-4. 強度試験結果

現場でテストピースを採取して圧縮強度を確認した。圧縮強度試験結果を図7に示す。材齢3時間で24N/mm²以上、材齢7日で約100N/mm²の強度を発現し、さらに、材齢28日で140N/mm²となり目標強



写真4 施工完了全景

度(130N/mm²)を確保した。コンクリートとの付着強度についても、施工箇所での建研式付着強度試験の結果、材齢3時間で1.0N/mm²以上となることを確認した。

3-5. 出来形管理結果

出来形測定は、3Dレーザースキャナを併用して測定した。計画高さに対して、±10mm以内に出来形管理ができていた。設計厚さ30mmに対して、平均厚さは35.6mmとなり、今回の施工方法での施工精度は良好であった。

4. まとめ

超速硬型UHPFRCは、床版上面に使用される断面修復の付着強度や寸法安定性の基準値を満足することや、中性化深さや塩化物イオンの見掛けの拡散係数が小さく、一般的なコンクリートやSFRCよりも高い耐久性を有することを確認した。

超速硬型のUHPFRCの現場適用事例から供用中の高速道路上において、車線規制内で施工を完了可能なこと、外気温に合わせた配合の調整により、施工に適したフレッシュ性状を管理できることを確認した。

これらより、超速硬型UHPFRCを床版上面増厚工法に使用されるSFRCに代替することで、効果的な補修が可能だと考える。

UHPFRCは、設計施工指針類の整備が進められ

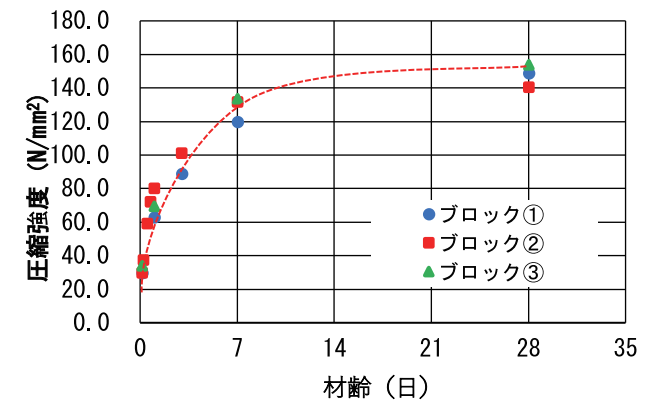


図7 圧縮強度試験結果

ている段階であり、現状では明確な設計手法がないため、今後、土木学会の委員会等による規準類の制定が望まれる。超速硬型UHPFRCについては、輪荷重走行試験等を実施し、高い引張強度を活かした疲労耐久性や既設床版との一体性等の評価を行っている。

また、本施工は、既存の製造設備にて製造を実施していたため、練り混ぜ時間の長いUHPFRCでは、SFRCと比べて施工時間が大幅に長くなった。大規模修繕に対応するには現状の製造設備では対応できないことから、効率の高い製造設備の開発が不可欠であり、その製造能力に合致した運搬および敷設機械等の開発も重要である。材料開発を含め、規制期間の短縮も視野に入れた総合的な開発を今後も進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会コンクリート委員会／繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会(第2期)委員会報告繊維補強コンクリートの構造設計とその課題, 1-7, 図1.1.1
- 2) 土木学会／超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004
- 3) 高速道路総合技術研究所／構造物施工管理要領, 2020

第50回(2022年度)セメント協会論文賞・受賞論文

セメントおよび高炉セメント硬化体の 乾湿繰り返しによる微細構造変化

Microstructure changes of portland cement and blast furnace slag cement
in repeated dry and wet conditions

金 志訓 山 嵯 悠 北 垣 亮 馬 濱 幸 雄

1. はじめに

セメント水和物は、複雑な相互作用によって生成され、その微細構造は継続的に変化して行く。その中でカルシウムシリケート水和物(C-S-H)は、セメント硬化体の物性に最も影響を及ぼす水和物であり、養生過程で温湿度のような外的要因から影響を受けやすく、それによるC-S-Hの構造変化は硬化体全体の空隙変化にも影響を与えて物性を変化させる。そこで、実環境下において、乾燥状態と湿潤状態の繰り返しによる温湿度の変化はコンクリート表面の劣化を引き起こす可能性がある。本研究はその関係性を異なる種類のC-S-Hを用いて探究したものである。

まず、本研究の背景となる1番目の質問は「コンクリート

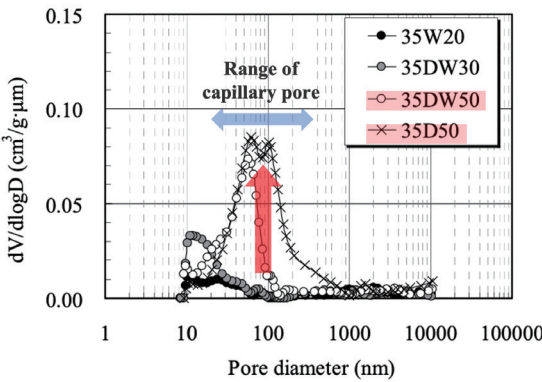


図1 50℃乾燥／乾湿による細孔変化¹⁾

構造物の物性に対する乾湿繰り返し環境の影響は?」である。この質問に対しては、以前から多くの研究が行われているが、注目している変化はセメントペーストでのゲル細孔の減少と毛細管細孔の増加である。図1¹⁾に示すように、50℃の厳しい乾燥および乾湿環境を受けることで直径20～500nmおよび10～100nmの細孔がドramaチックに増加し、相対的にゲル細孔は減少していることがわかる。この結果に基づいた2番目の質問は「乾燥／乾湿環境でセメントペーストの毛細管細孔が増加する理由は?」である。この質問に対して既往研究では、細孔構造の変化がC-S-Hの結合・構造変化に起因すると考察している。乾燥および乾湿環境下でC-S-Hでの脱水縮合により重合度が変化し、それに対してC-S-Hが凝集構造の形成することから毛細管細孔が増加するメカニズムを提案している。

次の質問はこのような「毛細管細孔の増加がコンクリートマトリックスに及ぼす影響は?」である。この質問に

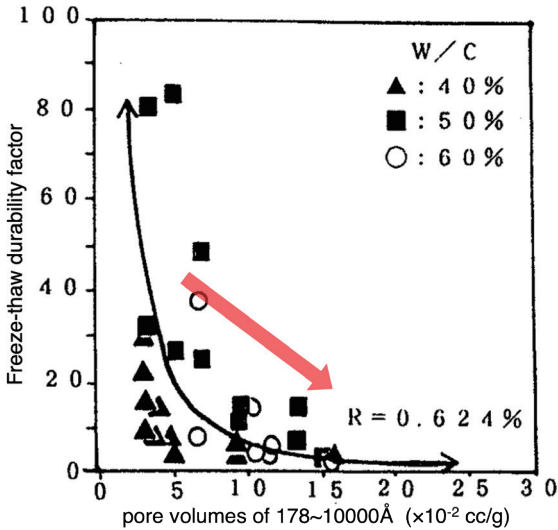


図2 毛細管細孔量と凍結融解抵抗性の関係²⁾

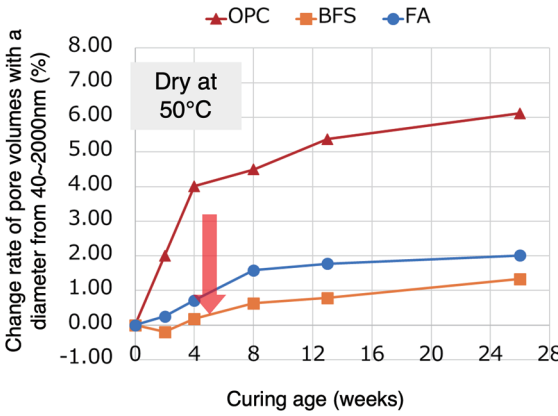


図3 各セメントの乾燥による毛細管空隙変化³⁾

表1 実験配合

Sample	W/B	Mix design (wt%)		Measurements
		wPC	BFS	
N	0.5	100	-	²⁹ Si MAS NMR
B45		55	45	MIP ¹ H NMR

対して、コンクリートの耐凍害性に及ぼす細孔構造の役割が議論されており、毛細管細孔の増加が凍結融解抵抗性に直接影響を及ぼすことが報告されている(図2²⁾)。そこで、寒冷地である北海道ではコンクリートの耐凍害性に関する研究に対して、乾燥による毛細管細孔の変化を重要な要因として評価している。その研究の中で、図3³⁾に示す普通ポルトランドセメントと混合セメントを用いたコンクリートの50℃乾燥による毛細管細孔の変化程度を見ると、普通ポルトランドセメントと比べて高炉セメントやフライアッシュセメントの方はその増加率が低い結果が確認される。この結果は本研究の重要な出発点であり、普通ポルトランドセメントと混合セメントの化学組成やクリンカーの違いによって生成されるC-S-HのCa/Siなど構成・構造にも影響を及ぼすことから、C-S-Hの違いが乾燥・乾湿環境での毛細管細孔の変化にも関係する可能性に着目した。

以上のことから、本研究はC-S-Hの組成の違いが乾燥と乾湿繰り返しによる微細構造変化に及ぼすメカニズムを明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要および結果

2-1. 実験概要

表1に試験体の調査および乾燥・乾湿繰り返しの条件を示す。セメントはNMR測定を行うため、Fe₂O₃の含有量が少ないホワイトセメント(wPC、密度3.05 g/cm³、比表面積3,440 cm²/g)を用いた。混合セメントは、高炉セメントB種を想定し、JIS A 6206規格値を満たすコンクリート用高炉スラグ微粉末(BFS、密度2.91 g/cm³、比表面積4,050 cm²/g)を用いた。

全てのペースト試験体は20℃実験室環境下で、水セメント比0.5で作製した。試験体は3分間練り混ぜた後、ブリージング水の影響を減らすため練り混ぜ開始から約5時間まで30分ごとに練返しを行った。その後、φ8mmの円筒型型枠に流し込み、20℃封緘養生で成型し、材齢1日で脱型した。

脱型した試験体は、乾燥および乾湿繰り返しを与える前に、4週間水中養生を行った(①pre_4w)。乾燥や水分の再供給による変化を比較するため、乾湿繰



きむ じふん / KIM Jihoon
室蘭工業大学大学院 工学研究科
もの創造系領域 博士(工学)



やまざき ゆう / YAMAZAKI Yu
伊達市役所健康福祉部
保険医療課 保険医療係 学士



きたがき りょうま / KITAGAKI Ryoma
北海道大学大学院
工学研究院 建築都市部門 博士(工学)



はま ゆきお / HAMA Yukio
室蘭工業大学大学院 工学研究科
もの創造系領域 博士(工学)

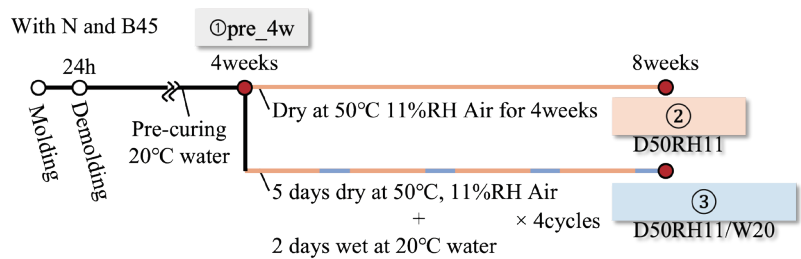


図4 乾燥／乾湿プロセス

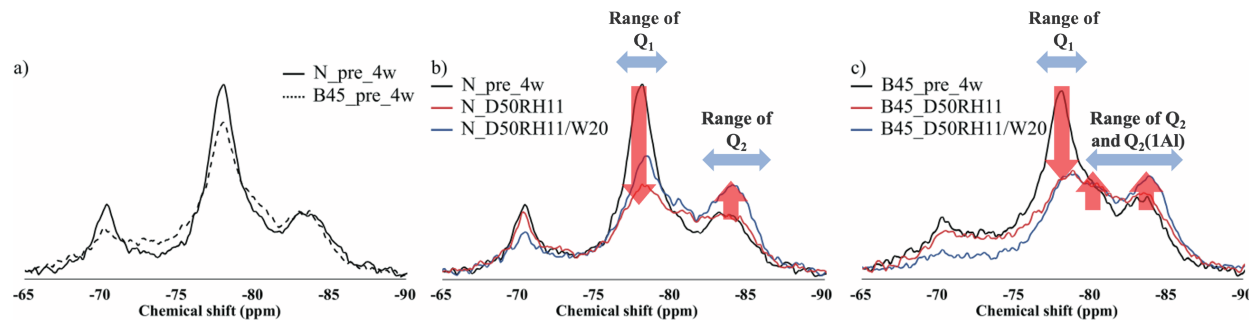


図5 ^{29}Si MAS NMRの結果_ケミカルシフト

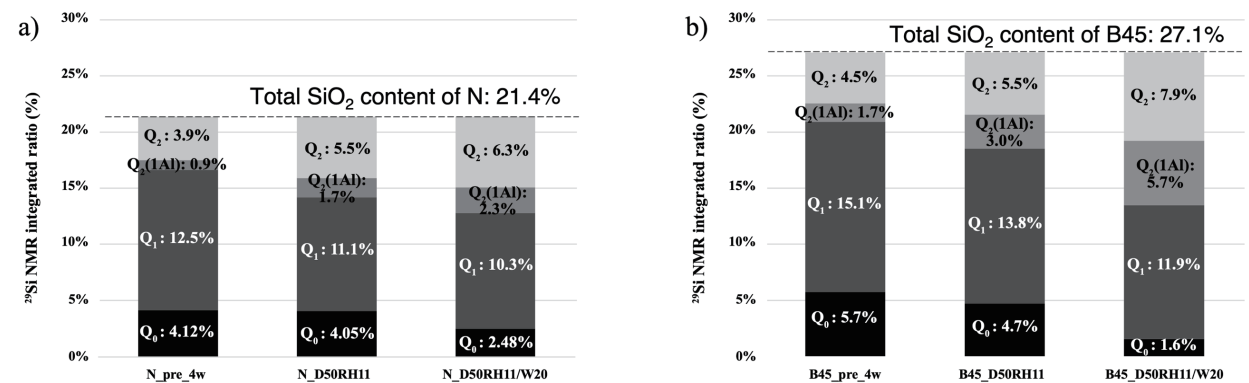


図6 ^{29}Si MAS NMRの結果_各ピークの積算面積

表2 C-S-Hの平均鎖長およびAl四面体とSi四面体の比率

	N			B45		
	CL	CL _{Si}	Al[4]/Si	CL	CL _{Si}	Al[4]/Si
pre_4w	2.83	2.58	0.025	2.93	2.54	0.039
D50RH11	3.59	2.92	0.050	3.46	2.66	0.068
D50RH11/W20	3.88	3.00	0.060	4.76	2.89	0.112

返し条件は次の2水準である。②D50RH11; 50℃11% RH 気 中 養 生 (4週), ③D50RH11/W20; 5日 間 50℃ 11% RH 気 中 養 生 後, 2日 間 20℃ 水 中 養 生 の 4 サ イ ク ル (4週) (図4)。

2-2. 実験結果

2-2-1. ^{29}Si MAS NMR

乾燥・乾湿によるC-S-H結合および重合度の変化

を確認するため、 ^{29}Si MAS NMRの測定を行った。

図5に ^{29}Si MAS NMRピークを示す。各ピークの積算結果による相対的なピーク面積比を図6に示す。また、得られたピーク面積比を用いてC-S-Hでの平均鎖長(CL), 純粋な SiO_4 のみを考慮したCLSiおよびC-S-HでのAl四面体とSi四面体の比率を示すAl[4]/Siを計算しており、その結果を表2に示す。

4週間水中養生を行った試験体では、普通ポルトラン

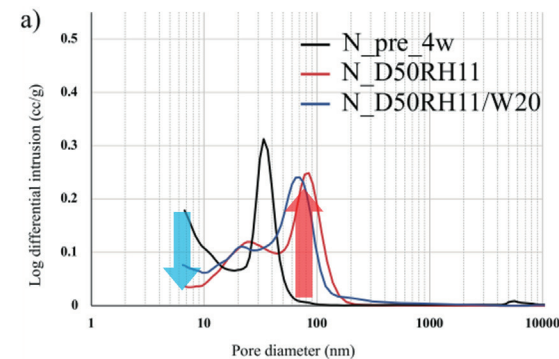


図7 MIPによる細孔分布

ドセメントと高炉セメントの比較でBFS添加により若干の差が見えるが、同じ水準の水和度を示している。

前養生後、乾燥のみ行った結果では、NおよびB45で Q_0 の減少は多くないが、 Q_1 の減少と Q_2 の増加が明確に確認される。これは既往研究で議論しているシリケートアニオンの脱水縮重合反応と一致する。ここで、相対的に Al_2O_3 の豊富なB45_D50RH11が、C-S-HでのAl[4]/Siが高いにも関わらず、N_D50RH11のCLが長くなり、CLSiでその差はもっと大きくなる。この結果から激しい乾燥条件でC-S-Hの変化は普通ポルトランドセメントペーストが影響を受けやすいと考えられる。

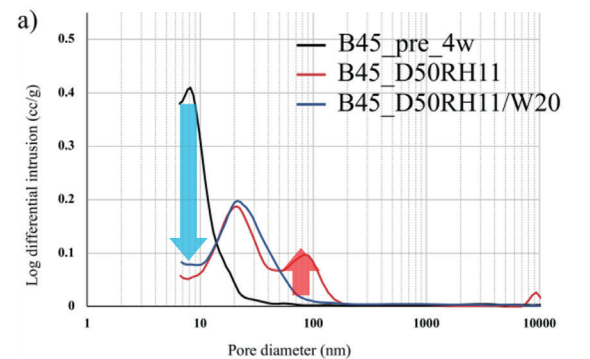
乾燥と湿潤を繰り返した試験体では、NとB45の両方とも水和反応の進行により Q_0 の減少が確認されており、その減少量はNよりB45が多い。また、 Q_0 の減少に従って Q_1 の減少と Q_2 の増加も確認されるが、乾燥のみのD50RH11とは少し異なる傾向を示す。

乾湿繰り返し環境下で、純粋Siを考慮したCLSiは乾燥のみと同じようにNの方が長くなるが、Al[4]/Siまで考慮するCLはB45の方がもっと長くなる。

この結果に対して、乾燥過程でのAl[4]/Siの増加はAFtの分解によると考えられ、混合セメントの場合は Al_2O_3 の含有量が多いことでその影響も増えることが考えられ、乾湿繰り返し試験体の結果から、乾燥により分解されたAFtのAlソースは再湿潤過程で AlO_4 としてC-S-Hに置換されていくことが考えられる。

2-2-2. MIP

図7にMIPを用いた細孔測定結果を示す。まず、pre_4w試験体の結果でNとB45は類似の累積細孔量



を示すが、その分布には差がある。Nの場合、 $\sim 33\text{nm}$ を中心とした20nmから70nm範囲の毛細管細孔の分布が主に確認されるが、B45では15nm以下の細孔が分布され、組成の違いにより細孔分布にも差が確認できる。

Nの乾燥による細孔の変化で、13nm範囲の細孔が減少するが、33nmを中心とした毛細管細孔は70 $\sim$ 80nmを中心とし、180nmまでの粗大化とともに累積細孔量の増加も確認される。また、乾湿繰り返しを通した試験体は、乾燥のみの試験体より若干小さい範囲で毛細管細孔のピークが検出され($\sim 140\text{nm}$)、再湿潤による毛細管細孔構造の回復が考えられるが、その差は大きくない。

B45の場合も乾燥による細孔分布の変化が確認されるが、その程度はNと比べて大きくはない。まず、pre_4wでほとんどの細孔量を占めた15nm以下の細孔は乾燥により減少し、20nmおよび70 $\sim$ 80nmを中心にした毛細管細孔が増加している。ここで、80nmの細孔はN_D50RH11で検出されるピークと一致しており、 ^{29}Si MAS NMRで確認されたようにB45でも激しい乾燥条件でC-S-Hの構造変化による毛細管細孔が増加していると考えられる。しかし、Nと比べてその量は小さく、累積細孔の増加量も大きくない。一方、乾湿繰り返しのB45_D50RH11/W20では80nmの細孔が検出されてないことから、B45では再湿潤による水分の再供給によって毛細管細孔構造が回復し、Nとは異なる挙動が考えられる。

2-2-3. ^1H NMR relaxometry

最近、 T_2 分布を活用してセメントペーストでの水分移

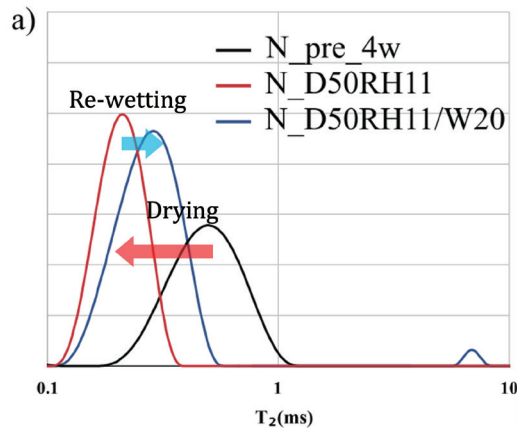
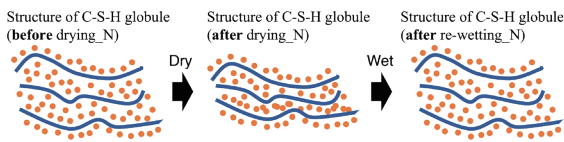


図8 ^1H NMRからの T_2 分布_普通ポルトランドセメント

動に関する多くの研究が行われている。図8と図9に ^1H NMRを用いた各試験体の T_2 分布を示す。本研究では、0.1～0.5msをC-S-H interlayerの水、～1msをgel細孔対応の水および～10msを毛細管細孔の範囲として水分子の変化を確認する。

まず、Nの測定結果pre_4wで検出される0.5～1ms範囲のピークは乾燥により左の方にシフトされる結果が確認される。この傾向は他の研究でも確認されており、乾燥によってC-S-Hレイヤーの間に存在した水分子がなくなることとともに、張力の作用によりC-S-Hレイヤーの幅が狭くなることで、gel細孔に対応する水からInterlayerの水にシフトされたピークが検出される。また、乾湿繰り返し条件では、乾燥後48時間水分の再供給を4回行っており、それに従って乾燥のみの試験体よりはC-S-Hレイヤーの幅が回復している結果が確認されるが、pre_4w水準までは回復しない。これは初期乾燥過程で水分子の減少と張力の作用によりC-S-Hが堅く積まれながら圧縮され、一部は歪曲によりgel細孔の空間が再形成され、再湿潤により供給される水分によって幅を少し回復し、gel細孔の範囲で乾燥前よりは小さい細孔構造を示しながら構造が再配列され则认为される。しかし、激しい乾燥条件により発生した毛細管細孔の変化は回復できない(MIPの結果により)。

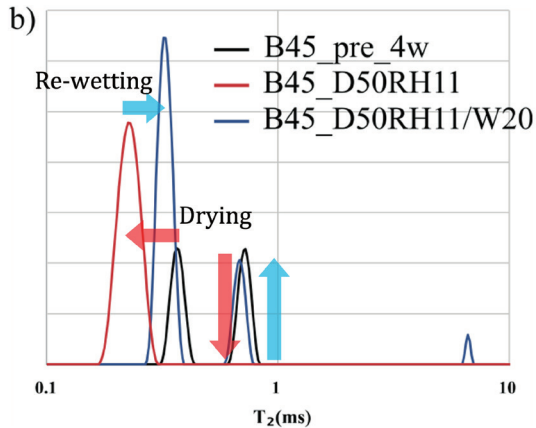
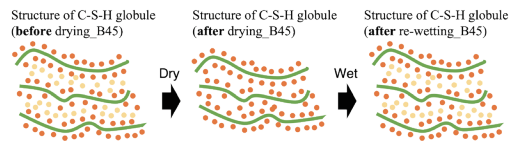


図9 ^1H NMRからの T_2 分布_高炉セメント

B45でも、pre_4wで検出されるピークが乾燥により左の方にシフトしており、C-S-Hレイヤー幅の変化からMIPで確認されるようにNと類似の毛細管細孔の形成が予想される。しかし、乾湿繰り返しの結果ではNとは違う傾向がみられる。まず、Interlayerの水分子に対応するピークの変更から、再湿潤によりpre_4wと似たような水準までC-S-Hレイヤーの回復が確認される。また、乾燥によって無くなったgel細孔対応の水分子範囲のピークも再湿潤により再び検出される。このような回復はMIPで確認された毛細管細孔の回復とも関係がある可能性が考えられる。

3. C-S-Hの組成の違いによるC-S-H中間層および内部水の乾燥／再湿潤プロセスの考察

以上の結果から、NとB45の乾燥と再湿潤による細孔構造の再配列は異なると考えられる。その違いについて、まず元々(乾燥前)の細孔分布に比較的大きな差があることにより、乾燥による細孔の変化自体がB45ではNより小さいことで、再湿潤による回復もしやすくなる可能性が考えられる。

また、相対的な Al_2O_3 含有量の違いがC-S-Hレイヤー幅の維持および回復に影響を及ぼす仮説も考えられる。

既往の研究では、Interlayer領域へのAlソース混入によりC-S-Hレイヤーの間隔が大きくなることを報告している。そこで、乾燥によるInterlayer領域での水分子の減少と張力の作用によるC-S-Hレイヤーの圧縮において、相対的に Al_2O_3 の量が多いB45ではInterlayer領域に存在するAlサイトおよびC-S-Hに置換されている AlO_4 が多くなり、NよりC-S-Hレイヤーの圧縮に対する抵抗性が高くなる可能性がある。続いて、再湿潤過程で、B45のC-S-Hでは持続的に AlO_4 が置換結合して行くことで、CLSiはNよりも短い、CLはB45がもっと長くなる。しかし、この仮説は Al_2O_3 の含有量が異なる試験群サンプルを用いて追加的な検証を必要とする。

4. まとめ

普通ポルトランドセメントペーストの場合、激しい乾燥条件によりC-S-Hレイヤーが圧縮され、水和物間の気孔が大きくなり、毛細管細孔の増加と粗大化を誘発する。

また、乾湿繰り返しによる再湿潤を通じて、圧縮して歪曲されたC-S-Hレイヤーの間に水分子が供給されC-S-Hレイヤーがある程度回復するが、毛細管細孔は回復しにくい。

高炉セメントペーストの場合も、普通ポルトランドセメン

トと同じように激しい乾燥条件でC-S-Hレイヤーが圧縮され、それに従う毛細管細孔の増加も確認できるが、その程度は普通セメントペーストより小さい。また、乾湿繰り返しによる再湿潤を通じて、C-S-Hレイヤーに水分子が再供給され、本来と類似な水準まで回復していき、毛細管細孔も少し回復する。この過程でC-S-HでのAl[4]/Si比率が相当増加し、C-S-HあるいはC-A-S-Hの平均鎖が長くなり、 AlO_4 の挙動は高炉セメントペーストの再湿潤過程での細孔構造の再配列に影響を及ぼす可能性がある。

【謝辞】本研究は、第35回セメント協会研究奨励金の研究助成支援から実施したものである。ここに深く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 青野義道他／乾湿繰り返しが及ぼすコンクリートの耐凍害性への影響とその劣化メカニズムに関する研究、日本建築学会構造系論文集、Vol.71, No.607, pp.15～22, 2006
- 2) 鎌田英治他／コンクリートの凍害におよぼす細孔構造の役割についての統計的解析、日本建築学会構造系論文集、Vol.61, No.487, pp.1～9, 1996
- 3) 松本皓太／異なるセメント種別における乾燥による細孔構造変化が耐凍害性および中性化に及ぼす影響、室蘭工業大学博士前期学位論文、2019

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2022”をお頒けします

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

ご希望の方には無料でお届けいたします。

申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

【主な内容】

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



アンモニア混焼セメントキルンの技術開発

Technological Development of Ammonia Co-firing Cement Kiln

末益 猛 伊藤 貴康 泉 達郎

1. はじめに

CO₂排出量を大幅に削減する低炭素社会実現には、再生可能エネルギーの大規模利用や水素エネルギーの普及が必要とされる。しかしながら、太陽光や風力などの再生可能エネルギーは生産地が一般には都市部など消費地の遠隔にあり、さらに時間や季節、天候によって得られるエネルギー量が大きく変動する。クリーンで、かつ量的なポテンシャルも備えている再生可能エネルギーを大規模に利用するためには、エネルギーを水素として含む化学物質(エネルギーキャリア)に変換し、これを消費地まで運搬して貯蔵し、必要な時に最適の形でエネルギーに戻すシステムの構築が必要となる。

ここで、水素は貯蔵や輸送に関して、技術的ハードルを多く抱えており、純水素を使用したシステムの構築は困難を伴う。一方、アンモニアは製造・輸送・貯蔵まで一貫した技術が十分に整備されており、次世代の低炭素社会を担うエネルギーキャリアとして直接利用することでCO₂フリーのエネルギー源としての活用が期待される。

アンモニア直接燃焼の可能性についてはガスタービン、レシプロエンジンおよび工業炉などを対象とした検討が行われ、実証試験も進められている¹⁾。本稿では小型炉にて重油-アンモニア混焼試験を行いアンモニアの基礎燃焼特性を把握するとともに、アンモニア混焼場でセメント原料であるクリンカを焼成し、その物性を評価した結果を記す。また、セメント製造プロセスへアンモニアを熱エネルギー源として活用した場合の影響を

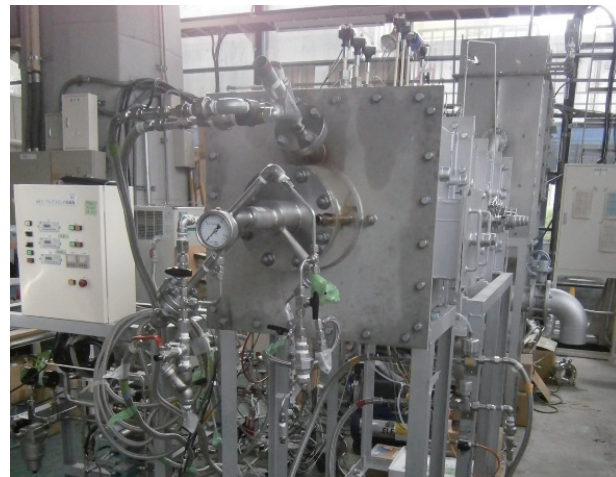


写真1 10kW小型工業炉

シミュレーションによって評価した結果を紹介する²⁾。

2. 小型工業炉でのアンモニア混焼基礎実験

2-1. 重油-アンモニア混焼試験

炉内寸法が300mm×300mm×1200 mmの小型工業炉(写真1)で10kW相当の重油専焼あるいは重油-アンモニア混焼運転を行い、炉内温度分布や炉出口におけるNO_x、CO、CO₂、O₂濃度を計測し、アンモニア混焼による影響を評価した。燃焼用過剰空気比は1.2とし、アンモニアはバーナーへの燃焼用空気に同伴させて吹き込んだ。この際、アンモニア混焼率は熱量基準で重油専焼となる0%からアンモニア専焼となる100%までの置換とした。

混焼率を変化させた場合の炉内温度分布を図1に示す。アンモニア混焼により炉内温度は低くなり、30%の混焼率でピーク温度は約30℃低下した。また、炉底

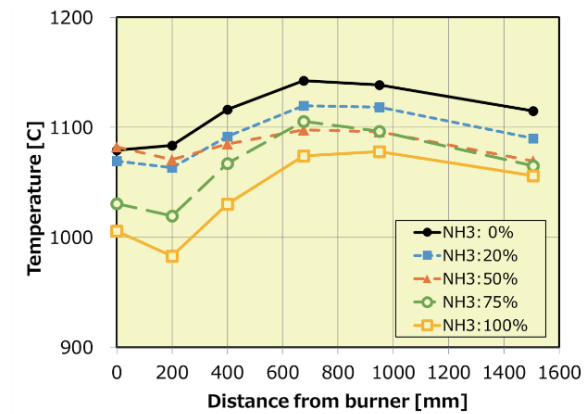


図1 重油-アンモニア混焼時の炉内温度分布

に設置されているふく射熱流束計の測定結果からアンモニア混焼率の増加とともに熱流束は低下することが明らかとなった。これらはアンモニアの断熱火炎温度の低さ(メタン:1970℃、水素:2120℃、アンモニア:1750℃)³⁾および燃焼排ガス中のCO₂濃度が減少することにより、ふく射能が低下する⁴⁾ことが要因と考えられ、セメント焼成プロセスでは、アンモニア混焼によって被加熱物の温度が上がりにくくなる可能性が示唆された。

アンモニアはNを含む物質であるため、燃焼時にはFuel NO_xの生成に留意する必要がある。図2にアンモニア混焼率を変化させた場合の排ガス中NO_x濃度を重油専焼時に対する相対比で示す。アンモニア混焼率を大きくするとNO_x排出量は増加し、50%混焼では重油専焼時に比べて約50倍のNO_x排出量となった。一方、50%以上の混焼率ではNO_x排出量は低下しているが、これは未燃アンモニアによる脱硝が生じてNO_xが低下したのではないかと推察される。炉出口でアンモニアは検出されず、炉内で燃焼もしくは脱硝により完全に消費されていることが確認されたものの、アンモニア混焼時にはバーナー構造やアンモニアの吹き込み方法を工夫して低NO_x化を図る必要があるものと思慮される。

2-2. 重油-アンモニア混焼解析(CFD)

アンモニア混焼した場合の炉内状況を把握するために、市販の熱流体解析(CFD; Computational Fluid Dynamics)ソフトであるANSYS® FLUENT® R17を用いた検討を実施した。

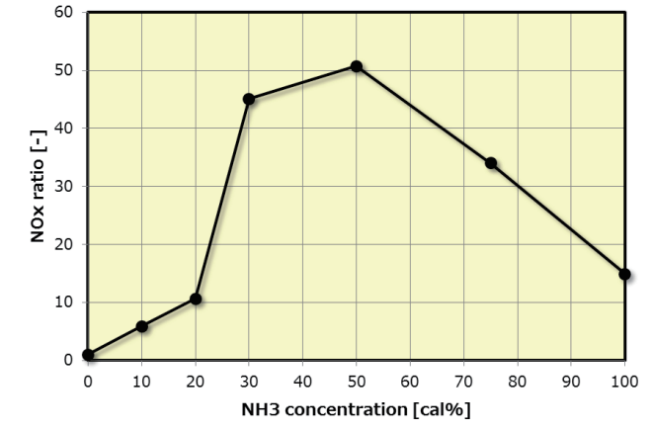
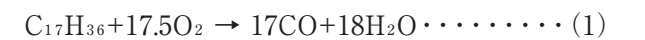


図2 アンモニア混焼率とNO_x排出比

10kW小型工業炉耐火物壁より内側の空間についてバーナー構造も含めた形状モデルを作成し、解析に供した。重油の物性は密度=840[kg/m³]、燃焼熱=37.2[MJ/L]を、アンモニアの燃焼熱には14.14[kJ/L]を用いた。燃焼モデルには化学反応時間を考慮せずに乱流混合のみで速度が決定される渦消散モデル⁵⁾を使用し、重油に関しては液滴燃焼機構を適用した。本検討では簡略化のためNO_x生成機構は考慮せず、CおよびHの燃焼のみを考える総括反応として取り扱った。

重油の総括反応式を式(1)、(2)に示す。



NO_x生成機構を考慮しない場合のアンモニア燃焼総括反応式を式(3)に示す。



バーナーへの重油、アンモニアおよび燃焼用空気流量を境界条件として設定して解析を実施した。

小型工業炉の垂直中心断面における温度およびCO₂濃度分布図を図3に示す。30%アンモニア混焼率時は重油専焼と比較してフレイムが細く、ぼやける傾向が見られ、全体的に温度が低くなる結果が得られた。CO₂はアンモニア混焼によって炭素量が減少するために生成量も減少した。炉内壁面温度の実験とCFD結果の比較を図4に示す。重油専焼および30%アンモニア混焼のいずれでも実験結果とCFD結果がおおむね一致する結果が得られ、アンモニア混焼時には炉内温度が低下

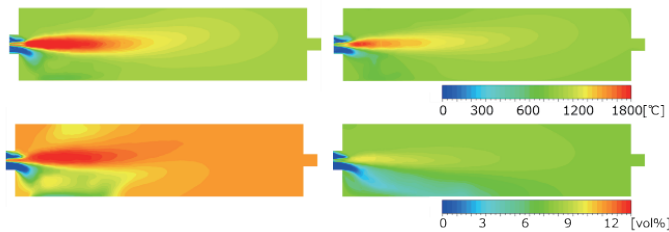


図3 小型工業炉における燃焼解析結果

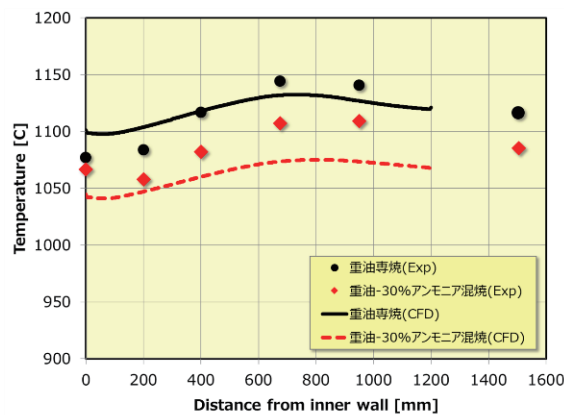


図4 炉内壁温度分布の実験とCFDの比較

する傾向が捉えられている。また、炉出口での排ガス組成も両方で近い値が得られており、CFDによりアンモニア混焼時の状況が再現できることが確認できた。

3. アンモニア混焼下でのクリンカ焼成実験

小型工業炉を利用してアンモニア混焼下でのクリンカ焼成実験を行い、得られたサンプルの物性解析や品質評価を行った。

石灰石、珪石、酸化鉄およびフライアッシュを調合した原料をペレット成型し、これを白金製トレイに載せて小型工業炉内へ設置した。重油専焼あるいは重油－アンモニア30%混焼の条件下で白金製トレイに接した熱電対の指示温度が1400℃になるように焚量制御を行い、30分間保持した後、冷却用空気を吹き込んで急冷して試料を取り出した。得られたクリンカの各種組成分析を行うとともに、JIS R 5201に準拠して、材齢3日、7日および28日のモルタル圧縮強さ測定を行った。

得られた試料の化学組成分析および物性評価の結果を表1に示す。化学成分および鉱物組成が同等の

表1 焼成クリンカの品質評価

焼成条件		重油専焼	30%-NH ₃ 混焼	JIS規格
化学組成分析 (wt%)	f.CaO	0.20	0.19	
	C ₃ S	55.7	56.2	
	C ₂ S	22.5	22.3	
	C ₃ A	10.3	10.3	
	C ₄ AF	9.5	9.4	
圧縮強度 (N/mm ²)	3日	28.4	28.1	≧12.5
	7日	44.6	44.5	≧22.5
	28日	63.6	62.8	≧42.5

クリンカを焼成した場合、アンモニアの混焼有無に関わらず、未反応原料の指針となるf.CaOは0.2wt%程度(目標値<1.0wt%)であり、焼成反応が十分に進行していることが確認できた。

圧縮強さの評価では、重油専焼とアンモニア混焼で差異は無く同等の結果が得られた。ここで示したのは従来と同様の普通ポルトランドセメントに利用できるC₃S(3CaO・SiO₂)量が多めの組成であり、強度発現を望める一方で焼成しにくいものであるが、焼成温度を確保すれば重油専焼とアンモニア混焼とで同等の結果を得られ、JIS規格を十分に満足するものが製造可能と確認できた。

4. 実スケールモデルでのセメントキルン製造シミュレーション

2-2.項では10kW小型工業炉における重油－アンモニア混焼解析を実施したが、ここでは実操業セメントキルンを対象として微粉炭専焼および微粉炭－アンモニア混焼におけるガス側の温度分布を比較し、操業への

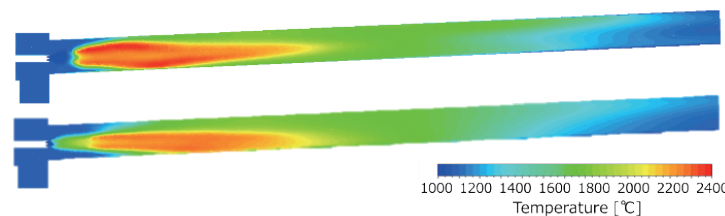


図5 キルン垂直中心断面における温度分布

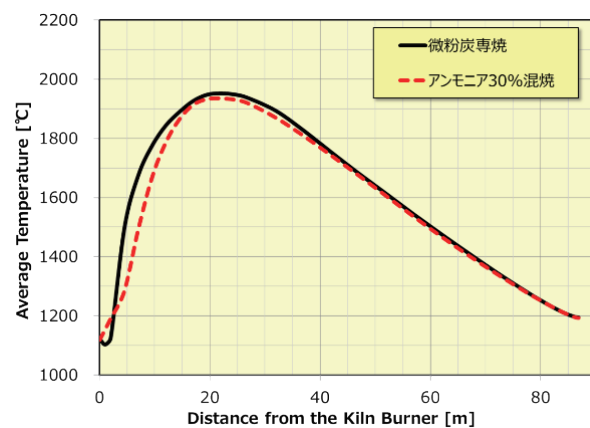


図6 キルン長手方向断面平均温度分布

影響を評価した。

当社宇部セメント工場のキルンおよびバーナーを詳細に再現した形状モデルを準備し、これに実操業風量条件や微粉炭焚き量などを指定して熱流体解析を実施した。アンモニアは微粉炭搬送流路へ搬送空気に同伴させて供給した。

微粉炭専焼およびアンモニア30%混焼のキルン垂直中心断面における温度分布を図5に、キルン長手方向に対する断面平均温度分布を図6に示す。

アンモニア混焼では微粉炭着火が遅く、バーナー側の温度立ち上がりが緩慢となり、火炎が下流側にシフトする傾向が認められた。これはアンモニアの燃焼がチャー燃焼よりも先に生じて酸素が一時的に不足して燃焼遅れが生じたものと考えられる。キルン内断面平均温度のピークはバーナー先端からおよそ20mの箇所位置しており、アンモニア混焼時は約20℃低下する

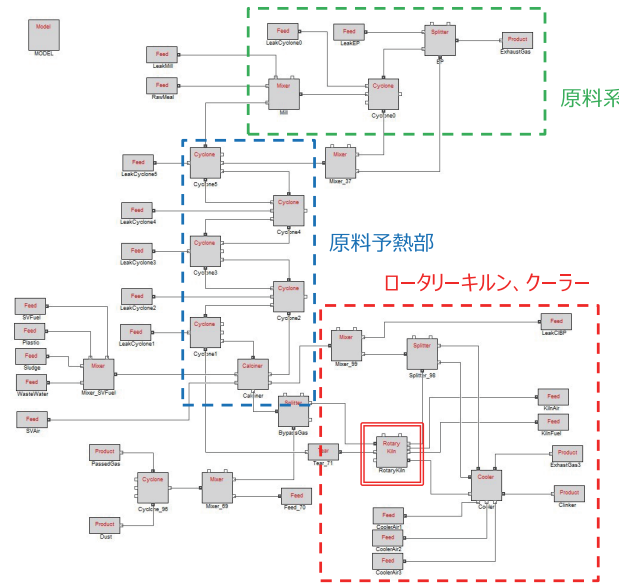


図7 KilnSimuモデル図

ことが確認された。

以上の結果は微粉炭専焼およびアンモニア混焼時のガス側温度への影響評価であったが、これだけではアンモニア混焼によりどのような焼成物が得られるかが不明である。そこで、キルン運転解析ソフトKilnSimu⁶⁾によりアンモニア混焼時の焼成物への影響を評価した。KilnSimuは一般的な化学プロセスシミュレータにあるようなサイクロンなどの単位操作ユニットに加え、ロータリーキルン特有の構造(径・傾斜角・回転数・保温材・レンガ厚み等)を反映させたキルン内の伝熱や滞留時間の推定機能を有している。ロータリーキルンは軸方向に分割し、その分割部分ごとに熱収支を計算しながら気相・固相平衡計算を行うとともに、プロセス全体の熱・物質挙動を解析し、焼成反応により得られるクリンカ組成を推算できるソフトとなっている。

KilnSimuで作成した宇部セメント工場モデルを図7

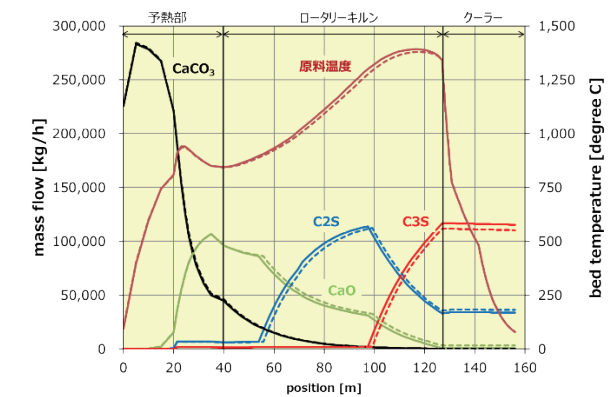


図8 キルン内鉱物組成変化のKilnSimu計算結果

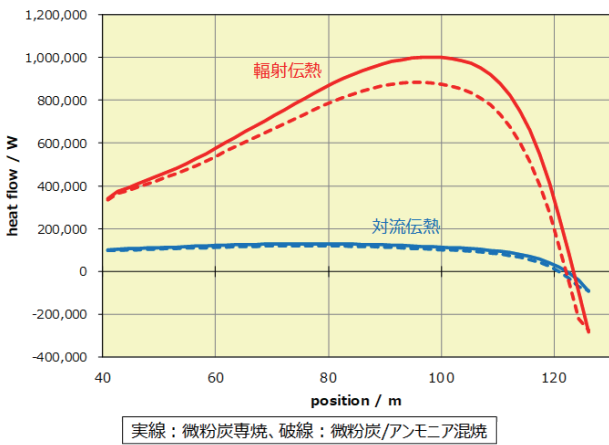


図9 KilnSimu 計算結果(熱流量)

に示す。一般的なプロセスシミュレータと同様の操作画面を有しており、キルンやサイクロンなどのブロックをストリームで接続してプロセスモデルを作成できる。本モデルにより、セメント焼成プロセス全体を対象とした解析を行った。

CFDにより得られた微粉炭専焼および30%アンモニア混焼でのガス温度分布を初期境界条件として、原料温度および鉱物組成をKilnSimuにより推算した。結果を図8および表2に示す。図8のグラフ横軸数値は、予熱部～キルン～クーラーにおける原料進行方向の位置を示しており、原料は原点側で送入され正の方向に移動する。

30%アンモニア混焼では、エーライト(C₃S)を生成する焼成反応が十分に進んでおらず、その結果、原料CaOの反応消費が不十分となり、キルン窯尻側(横軸右側、原料排出側)までCaOが残存することが示された。表2に示した最終的な生成物組成において、

表2 KilnSimu計算結果(焼成クリンカ組成)

化合物 (wt%)	微粉炭専焼	微粉炭・30% アンモニア混焼
C ₃ S	57.68	55.15
C ₂ S	16.91	18.17
C ₃ A	8.41	8.23
C ₄ AF	8.78	8.66
f.CaO	0.33	1.66

微粉炭専焼ではエーライト(C₃S)および未反応原料濃度の指標となるf.CaOがそれぞれ57.68%、0.33%であったのに対し、アンモニア混焼ではそれぞれ55.15%、1.66%であった。f.CaOはセメント品質や強度発現に影響を及ぼすため、その残存量を1%未満とすることがひとつの指標であるが、今回検討した30%アンモニア混焼ではこの指標を満足できないことが示された。

この原因として、アンモニア混焼では図6に示したようにキルン内ガス温度が低下するとともにガス組成が変化することでふく射伝熱が悪化し、原料に十分な熱エネルギーが供給できなかったことが考えられる。

KilnSimu計算にて得られた燃焼ガスから原料およびキルン内壁への熱流量を図9に示す。微粉炭専焼とアンモニア混焼で比較すると、対流による熱流量の変化がほぼ一定であるのに対し、ふく射による熱流量が大きく低下していることが分かる。

KilnSimuにおける混合ガスのふく射率 ε_g は次式(4)により与えられる。気体の中でも、強く放射を吸収・射出する成分であるCO₂、H₂Oをもとに算出されており、N₂など寄与の低いガスの影響は省略されている。

$$\varepsilon_g = (\varepsilon_{\text{CO}_2} C_{\text{CO}_2} + \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{H}_2\text{O}}) (1 - C_{\text{SO}}) \cdots \cdots (4)$$

ここで、 ε はふく射率、Cは圧力補正係数、C_{SO}は混合気体による補正係数であり、添字は各成分を表す。便覧⁷⁾に記載されている特性値を元にふく射率を概算すると、微粉炭専焼では $\varepsilon_g=0.293$ 、30%アンモニア混焼では $\varepsilon_g=0.268$ となりふく射率に差が見られており、アンモニア混焼における原料温

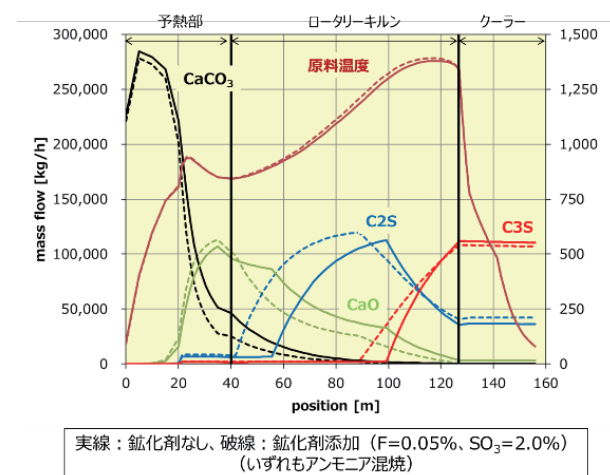


図10 KilnSimu 計算結果(鉱化剤添加)

度低下の一因となったものと考えられる。

図8の原料温度を見ると、キルン内を進むにつれて微粉炭専焼とアンモニア混焼とで開きが生じ、キルン内焼成帯に相当するx = 90～100(m)の付近では20℃程度の差があったが、その後、キルン出口(バーナー側)に向けて温度差は小さくなっていた。これは、クリンカ焼成反応(吸熱)の進行に伴って火炎から受け取った熱が反応熱として吸収され、原料温度の上昇に使われなくなるためと考えられる。微粉炭専焼および30%アンモニア混焼いずれの条件でもx=100(m)を超えた付近から反応が進行してC₃Sが生成し始めるが、その量は微粉炭専焼の方が多い。微粉炭専焼の方が火炎から原料への伝熱は良好と考えられるが、同時にC₃S生成反応量が多いことでこれが相殺され、結果的に30%アンモニア混焼条件との原料温度差が小さくなったと考えられる。

5. アンモニア混焼運転時の運転条件検討

アンモニア混焼での焼成温度低下に対して、セメントクリンカ品質の指標を満足させるための方策のひとつに鉱化剤添加により反応を促進させることが考えられる。当社では、過去に経済産業省補助事業に参画し、その中でF、SO₃系鉱化剤による熱量原単位削減検討に取り組んだ^{8,9)}。ここでは30%アンモニア混焼条件下でも、クリンカ品質を適合させるために鉱化剤が有

表3 KilnSimu計算結果(鉱化剤添加)

化合物 (wt%)	鉱化剤 なし	鉱化剤添加 (F=0.05%)	鉱化剤添加 (F=0.15%)
C ₃ S	55.15	52.49	51.74
C ₂ S	18.17	20.67	21.34
C ₃ A	8.23	8.91	9.10
C ₄ AF	8.66	8.56	8.49
f.CaO	1.66	0.16	0.09

効であるかどうかをKilnSimuにより予測した。
鉱化剤としてF=0.05%、SO₃=2.0%を添加した場合のプロセス内鉱物組成推移に関するKilnSimu計算結果を図10に示す。鉱化剤添加により、セメントクリンカ生成の主反応が低温でも進行するためにC₂SおよびC₃Sの生成位置がキルン窯尻側へシフトすることが示された。

鉱化剤を添加し、アンモニア混焼下で得られた焼成物の計算結果を表3に示す。鉱化剤添加条件の計算はF=0.05%、SO₃=2.0%とF=0.15%、SO₃=2.0%の2ケースを行った。鉱化剤が無い場合には焼成物組成のうちf.CaOが1.66%に留まり焼成不足となっていたものが、いずれのケースでもf.CaOは1%以下となっており、アンモニア混焼時の焼成不足を解消できる結果となった。

6. まとめ

アンモニア燃焼の工業炉分野への応用技術の開発として「アンモニア混焼セメントキルンの技術開発」に取り組み、以下の結果を得た。

- 1) 10kW小型工業炉を用いて重油とアンモニアとの混焼実験を行った。アンモニア混焼率を増やすと炉内温度および熱流束は低下した。また、アンモニア混焼によりNO_x排出量が増加するため、バーナー構造やアンモニアの吹き込み方法を工夫して低NO_x化を図る必要があるものと思慮された。

2) 小型工業炉を利用し、アンモニアと重油を混焼させた条件にてクリンカの焼成実験を行い、得られたサンプルの物性や品質評価を行った。重油専焼あるいは重油-アンモニア混焼により得られた試料の鉱物組成および圧縮強度は同等の結果が得られた。

3) アンモニア混焼条件下でのクリンカ製造シミュレーションを実施した。

(3-1) CFDでは微粉炭専焼と比較してアンモニア混焼の場合には微粉炭着火が遅く、火炎が下流側にシフトする傾向が認められた。また、ガス組成変化等により、全体的にガス温度が低下することが確認された。

(3-2) KilnSimuにより実操業キルンでアンモニア混焼運転を行った場合の焼成物への影響を評価した。30%アンモニア混焼条件ではクリンカの主要鉱物であるエーライト(C₃S)を生成する焼成反応が不十分となり、未反応原料(f.CaO)濃度が指標を満足できないことが示された。

(3-3) アンモニア混焼条件にてセメントクリンカ品質の指標を満足させるための方策のひとつとして、鉱化剤添加により反応を促進させることを検討した。鉱化剤添加により、セメントクリンカの主生成反応が早まり、未反応原料は指標を満足する結果となった。

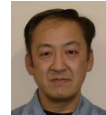
7. 今後の課題

セメント製造プロセスにおいて、石炭をアンモニアで置換することによるCO₂削減の可能性は示されたが、海外からの輸入や革新的アンモニア合成法の確立など

により、安価かつ大量のアンモニア供給が必要である。

本研究では小型工業炉を用いて重油とアンモニアとの混焼試験を実施したが、バーナーの構造は多岐に渡るため、装置ごとの最適なアンモニア供給方法や運転条件の確立が必須である。これらの指針を得るためにシミュレーションは有益なツールとなり得るが、大規模な工業炉におけるNO_x濃度の高精度な予測は未だ不十分であり、今後の技術進展や検証が望まれる。

また、本研究ではアンモニア混焼でも重油専焼と同等の特性を有するクリンカが得られることを確認できたが、バッチ焼成である実験炉に対して、実製造プラントは連続焼成炉であるため、昇降温速度や滞留時間は異なる。キルンシミュレーターによる検討は実施しているが、実製造装置における製品品質影響の確認も必須であると考える。



すえます たけし / SUEMASU Takeshi
UBE三菱セメント(株)
伊佐セメント工場 技術部 開発グループ
グループリーダー



いとう たかやす / ITO Takayasu
UBE三菱セメント(株)
技術戦略部 技術開発室 主幹



いずみ たつろう / IZUMI Tatsuro
UBE三菱セメント(株)
伊佐セメント工場 技術部 開発グループ
主査

【参考文献】

1) SIP戦略的イノベーション創造プログラム, エネルギーキャリア, <https://www.jst.go.jp/sip/k04.html>
2) SIP戦略的イノベーション創造プログラム, エネルギーキャリア, 宇宙興産終了報告書, <https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team6-6.pdf>
3) Eguchi, K., Kobayashi, H. / Hydrogen Energy System (in Japanese) 38 : pp.264~272, 2013
4) Hottel, H.C. and A.F. Sarofim / "Radiative Transfer", McGraw-Hill, 1967
5) B. F. Magnussen and B. H. Hjertager. / "On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion". In 16th Symp. (Int'l.) on Combustion. The Combustion Institute. 1976
6) VTT, "KilnSimu", <http://gtt.mch.rmth-aachen.de/kilnsimu>
7) 化学工学会, "改訂六版 化学工学便覧", 丸善
8) 経済産業省: 革新的セメント製造プロセス基盤技術開発プロジェクト中間評価検討会資料, 2012
9) 経済産業省: 革新的セメント製造プロセス基盤技術開発プロジェクト中間評価検討会資料, 2015



外国雑誌の 記事情報

ロータリーキルンにおける一次空気、二次空気の酸素
富化燃焼シミュレーション

Quanliang Li, ほか

ZKG Cement Lime / Gypsum

75[3]48~57(2022)

セメント産業は主要な石炭消費とCO₂排出源であるため、微粉炭の燃焼効率を向上させ、石炭消費量とCO₂排出量を削減することは、セメント産業の持続的発展に関わる課題である。

微粉炭燃焼および焼成過程では窒素の加熱に燃焼熱の一部が奪われることで熱損失が生じるため、燃焼用空気中の酸素濃度を高める酸素燃焼技術が燃焼効率の向上に有効となる。本研究では、CFDシミュレーションを用いて通常の空気燃焼に加え、一次空気および二次空気各々について酸素富化を考慮した条件の火炎形状やキルン内温度分布、NO_x発生量を比較した。なお、酸素のモル分率は一次空気酸素富化条件で0.3、二次空気酸素富化条件で0.217とし、いずれの条件においても全酸素量および一次空気流速は一定になるよう設定した。

火炎形状では水準間で顕著な変化は見られなかったが、酸素富化条件では微粉炭の燃焼速度が向上し、キルン内温度が全体的に上昇した。また火炎からキルン内壁面に伝わる放射伝熱量が上昇し、原料加熱に係るエネルギー低減や増産に寄与する可能性が示唆された。なお二次空気よりも一次空気に酸素富化を考慮した条件の方が温度や放射伝熱量の増加量が

大きかった。一方、酸素富化ではNO_x発生量が増加した。特に一次空気酸素富化条件で顕著であり、キルン出口におけるNO_x発生量は空気燃焼条件下で1099ppmであったのに対して1303ppmまで増加した。

結晶構造が異なるC₃Aの水和とペーストの流動特性
に及ぼすNaおよび石こうの結晶系の影響

José S. Andrade Neto, ほか

Cement and Concrete Research

151. 論文No.106639(2022)

市販セメント中のC₃Aの結晶構造は、Cubic(cb-C₃A)またはNaが固溶することで構造が変化したOrthorhombic(ort-C₃A)であることが知られている。既往の研究では、ort-C₃Aの水和活性はcb-C₃Aよりも高いことが報告されているものの、理由は明らかになっていなかった。また、結晶構造が異なるC₃Aに対し、二水および半水石こうの影響を比較した検討は非常に少なかった。そこで著者らは、二水または半水石こうを用い、cb-C₃AまたはNaを固溶させたort-C₃Aを水で練混ぜた場合と、cb-C₃Aを0.99M-NaOH溶液で練混ぜた場合(Na-cb-C₃A)の水和反応性を評価した。

この結果、水和活性はOrt-C₃A、Na-cb-C₃A、cb-C₃Aの順で高くなることが確認された。Ort-C₃Aに固溶しているNaは水和と共に徐々に溶解するため、Naが全て溶解しているNa-cb-C₃AよりもOrt-C₃Aでは材齢初期における液相のNaが少ないと推定される一方で、水和活性はOrt-C₃Aの方が高かったことから、細孔溶液中のNaよりもNa固溶による結晶構造の違いがC₃Aの水和活性に強く影響していると著者らは考察している。また、二水石こうを半水石こうに置換した場合、cb-C₃Aの反応へ影響は小さかったものの、ort-C₃Aでは反応が促進されていた。これら理由は不明であったため、液相組成の分析を含めた更なる検討が必要であると著者らは述べている。

セメント・コンクリート編集委員会

顧問		
長瀧 重義	東京工業大学	名誉教授
委員長		
小堀 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	UBE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	セメント系固材材技術専門委員会 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
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)

2023 No.911 CEMENT & CONCRETE

1月号 予告 セメント・コンクリート

- 高強度・高性能コンクリートの性能評価と品質管理方法に関する一連の研究
- 汎用性の高い環境配慮型コンクリートの開発ーH-BAコンクリート
- セメント硬化体の炭酸化反応に関する理論的解析
- 日をまたいで打ち重ねを行うことによるマスコンクリートの合理化施工
- カーボンニュートラルに貢献する高炉スラグ微粉末を用いた低炭素型セメント材料
- JCA REPORT / 高流動コンクリートのワーカビリティ評価試験に関する検討
- 耐硫酸コンクリート[T-Sulfatec®]の開発-下水道施設の長期メンテナンスフリーを実現-
- シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード「セメントキルン排ガスからのCO₂分離回収技術」
- 寸思寸言(渡邊 明)
- ずいそう(大内雅博) ほか



うめきた(大阪)地下駅におけるコンクリート品質向上の取り組み

セメント・コンクリート No.910 12月号
2022(令和4)年12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



2022年
3月号
No.901



2022年
2月号
No.900



2022年
1月号
No.899



目次
02 年頭ご挨拶 ...小野 康樹
08 新年度セメント技術大会・新年度講演 ...宮重 心一
16 コンクリート精選物の複合化 ...西野 友彦
18 ○○の街 ...
25 建設が進む新名神高速道路 (大津JCT(佐伯)～高槻JCT間) の橋梁工事 ...田中 重雄ほか
26 トネリ路線鉄筋コンクリートのスリッパフォームによる施工 (北河原駅南側(有馬線)～三ノ宮) ...三浦 伸也、後村 トシユキらの寄稿) ...田中 和雄ほか
34 教育今昔 ...渡邊 明
36 土木学会コンクリート委員会「コンクリート構造物の耐震性能確保に関する調査研究小委員会(959委員会)」の成果 ...林 大介ほか
46 昭和40～50年代に建設されたコンクリート橋梁の現状と今後の対応 ...橋本 隆雄ほか
モラル化
04 第70回セメント技術大会講演集の目次 ...
15-50 HOT NEWS
44 論文特集「セメント」のご案内 ...
51 EVENT GUIDE
52 外国産品の記事掲載 ...
54 国内産品の目次 ...
55 月別セメント・コンクリート900号 [2022年2月号] 予告 ...
57 セメント・テータファイル ...
58 主要建設工事・資料統計 ...
60 2月号予告 ...
26 2月の掲載 ...九州新幹線建設トンネル建設工事のスリッパフォーム工法による施工 [北河原・橋本・高槻・三ノ宮]

目次
02 900号発行にあたり ...岸 和雄
04 新年度セメント技術大会・新年度講演 ...宮重 心一
10 セメント産業のカーボンニュートラルに向けた取り組み ...野口 貴文
12 セメント産業のカーボンニュートラルに向けた取り組み ...星野 浩一ほか
18 カarbonニュートラルに向けた取り組みと技術開発の展開 / 半田 興隆
24 低炭素型セメントの技術動向 / 三菱マテリアル
30 2050年カーボンニュートラル達成への取り組み「SO ₂ CN2050」/ 住友大阪セメントグループ
36 カオウが夢の中でも追いつけて ...野崎 隆一
40 NPO法人「コンクリート環境」の活動 ...野口 貴文
46 CPコンクリートによるCO ₂ 削減に対するRCSの取り組み
51 生コン業界のカーボンニュートラルに向けた課題
54 スターアップ企業の動向 ...渡川 聖治ほか
56 エココンクリート(経費削減カルシウム)とその可能性
64 CO ₂ 削減型カーボナセグメントコンクリート ...取道 剛ほか
70 CO ₂ -SUICOMの開発と今後の展開 ...カーボナセグメントの開発
76 実現したTeConcrete / Carbon-Revoyleの開発 ...大島 英司ほか
低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」の開発と今後の普及展開 ...小島 正樹ほか
82 浮遊法による改良フライアッシュを使用したジオポリマーコンクリート二次製品の開発 ...高橋 孝二ほか
90 シリーズ●セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード「セメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離回収技術」 ...渡邊 明
37 EVENT GUIDE
59 今月の掲載記事 ...
93 セメント・テータファイル
94 主要建設工事・資料統計
96 3月号予告 ...
26 2月の掲載 ...九州新幹線建設トンネル建設工事のスリッパフォーム工法による施工 [北河原・橋本・高槻・三ノ宮]

目次
03 炭素性炭酸カルシウムの製造と特性 ...徳本 繁一ほか
09 建設用3Dプリンターに用いるセメント材料「デジミンクス」の開発 ...熊澤 真一ほか
18 イベント ...
22 セメント産業のカーボンニュートラルに向けた取り組み ...星野 浩一ほか
25 カarbonニュートラルに向けた取り組みと技術開発の展開 / 半田 興隆
30 低炭素型セメントの技術動向 / 三菱マテリアル
36 カオウが夢の中でも追いつけて ...野崎 隆一
40 NPO法人「コンクリート環境」の活動 ...野口 貴文
46 CPコンクリートによるCO ₂ 削減に対するRCSの取り組み
51 生コン業界のカーボンニュートラルに向けた課題
54 スターアップ企業の動向 ...渡川 聖治ほか
56 エココンクリート(経費削減カルシウム)とその可能性
64 CO ₂ 削減型カーボナセグメントコンクリート ...取道 剛ほか
70 CO ₂ -SUICOMの開発と今後の展開 ...カーボナセグメントの開発
76 実現したTeConcrete / Carbon-Revoyleの開発 ...大島 英司ほか
低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」の開発と今後の普及展開 ...小島 正樹ほか
82 浮遊法による改良フライアッシュを使用したジオポリマーコンクリート二次製品の開発 ...高橋 孝二ほか
90 シリーズ●セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード「セメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離回収技術」 ...渡邊 明
37 EVENT GUIDE
59 今月の掲載記事 ...
93 セメント・テータファイル
94 主要建設工事・資料統計
96 3月号予告 ...
26 2月の掲載 ...九州新幹線建設トンネル建設工事のスリッパフォーム工法による施工 [北河原・橋本・高槻・三ノ宮]

目次
03 炭素性炭酸カルシウムの製造と特性 ...徳本 繁一ほか
09 建設用3Dプリンターに用いるセメント材料「デジミンクス」の開発 ...熊澤 真一ほか
18 イベント ...
22 セメント産業のカーボンニュートラルに向けた取り組み ...星野 浩一ほか
25 カarbonニュートラルに向けた取り組みと技術開発の展開 / 半田 興隆
30 低炭素型セメントの技術動向 / 三菱マテリアル
36 カオウが夢の中でも追いつけて ...野崎 隆一
40 NPO法人「コンクリート環境」の活動 ...野口 貴文
46 CPコンクリートによるCO ₂ 削減に対するRCSの取り組み
51 生コン業界のカーボンニュートラルに向けた課題
54 スターアップ企業の動向 ...渡川 聖治ほか
56 エココンクリート(経費削減カルシウム)とその可能性
64 CO ₂ 削減型カーボナセグメントコンクリート ...取道 剛ほか
70 CO ₂ -SUICOMの開発と今後の展開 ...カーボナセグメントの開発
76 実現したTeConcrete / Carbon-Revoyleの開発 ...大島 英司ほか
低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」の開発と今後の普及展開 ...小島 正樹ほか
82 浮遊法による改良フライアッシュを使用したジオポリマーコンクリート二次製品の開発 ...高橋 孝二ほか
90 シリーズ●セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード「セメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離回収技術」 ...渡邊 明
37 EVENT GUIDE
59 今月の掲載記事 ...
93 セメント・テータファイル
94 主要建設工事・資料統計
96 3月号予告 ...
26 2月の掲載 ...九州新幹線建設トンネル建設工事のスリッパフォーム工法による施工 [北河原・橋本・高槻・三ノ宮]



2022年
4月号
No.902



2022年
5月号
No.903



2022年
6月号
No.904

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE
2022 No. 902

もくじ

02	陸と海をたがめるコンクリートの新しい資源循環で水産増産など一石四鳥を	… 西川 智
08	JCA Report 都市ガスターボコンクリート試験施工利用 20 年調査結果	… (一社)セメント協会 建設技術専門委員会
14	シカゴユニオン連合会ビルおよび普通住宅ビルラントセメントを用いた コンクリートの知識の普及	… 杉井 眞流ほか
22	オーストラリア・トキドキ	… 河井 徹
24	集積材を前面に配して増強したPCaPC梁の 古井町複合施設新築工事への適用	… 相馬 智明ほか
30	2021 年福島県沖田郡とコンクリート構造	… 藤原 高弘ほか
38	シームレス・コンクリート 改質したセメント系材料の CO ₂ 吸収固定 (その 1)	… 長瀬 悠次ほか
44	環境 白と黒の間から	… 森川 誠哉
46	シームレス・コンクリートを用いた 中核化	… 上田 洋
56	シームレス 新世紀への遺産 Revival 2022 No.1 五本松ダム	

37	EVENT GUIDE	
50	TOPICS	
58	HOT NEWS	
59	外国産の建築用 セメント・セラファイル	
61	主要建設工事・資料統計	
64	9月号予告	

今月の表紙

TMaC梁を使用した五本松
台施設がなえる(北海道/星
谷:大塚建設(株))

■セメント協会ホームページ <https://www.jcasoc.or.jp> ■読者の広き申込みはセメント協会 広報部門 TEL.03-5540-6175

セメント・コンクリート No. 902, Aug. 2022

1



2022年
7月号
No.905



2022年
8月号
No.906

セメント・コンクリート

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、脱CO ₂ 、更なるコンをゼロにする新たな対策	… 野口 寛文ほか
12	社会環境材料としてのセメント系材料の使命と建設業社会構築に向けた動向	… 大寺 淳一
18	ダム再開発工事における洪水水および災害リスクの軽減とコンクリートの改造 一糸田川総合開発事業次田ダム再開発工事から一	… 沼本 仁徳ほか
25	TOPICS 第76回セメント技術大会開催	
28	新世紀への遺産 新型コロナウイルスの今とこれからの世界	… 沼本 健人
30	セメント産業の環境負荷の削減と分業の現況と今後の展望	… 野口 寛文ほか
36	異なる試験条件・材料・試験環境、試験方法による 塩化ソーダ・硫酸ソーダの比較・海外と国内の比較例	… 山崎 聡ほか
46	透水による固化工事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 智仁

57	HOT NEWS	
58	外国産の建築用 セメント・セラファイル	
60	EVENT GUIDE	
62	セメント・セラファイル	
63	主要建設工事・資料統計	
65	9月号予告	

今月の表紙

糸田川総合開発事業次田ダム
再開発工事(群馬県/星谷:
大塚建設(株))

■セメント協会ホームページ <https://www.jcasoc.or.jp> ■読者の広き申込みはセメント協会 広報部門 TEL.03-5540-6175

セメント・コンクリート No. 905, Aug. 2022

1

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE
2022 No. 903

もくじ

6	希少地の工業利用とコンクリート分野への活用可能性	… 間崎 貴一郎ほか
10	セメント産業における石灰石の利用	… 中島 田ほか
16	オーストラリア・トキドキ	… 大西 利勝
18	新世紀の遺産(その1) 北越新幹線 新潟県新井駅	… 西田 展広ほか
26	偏心減速制御による本庄新幹線所打ちコンクリート基礎杭 「花びら」基礎杭工法の開発	… 藤田 健一郎ほか
33	日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針」の概要	… 豊毛 忠雄
42	シームレス・コンクリート 改質したセメント系材料の CO ₂ 吸収固定 (その 2)	… 星野 淳一郎ほか
48	シームレス・コンクリートを用いた 中核化	

2	TOPICS	
51	セメント・セラファイル	
52	主要建設工事・資料統計	
54	EVENT GUIDE	
56	6月号予告	
58	セメント・セラファイル	
59	主要建設工事・資料統計	

今月の表紙

北越新幹線のランドマーク
エクスプレス橋、新井駅
[佐田/星谷:大塚建設(株)]

■セメント協会ホームページ <https://www.jcasoc.or.jp> ■読者の広き申込みはセメント協会 広報部門 TEL.03-5540-6175

セメント・コンクリート No. 903, Aug. 2022

1



2022年
9月号
No.907

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE
2022 No. 907

もくじ

2	JIS A 5308におけるコンクリートの 圧縮強度の品質管理の重要性	… 岸 朝雄
10	国道 18 号岐阜大橋架替における 連続鉄筋コンクリート橋梁の施工	… 大平 英生
16	コンクリートの腐蝕防止計画支援システム 「T-ContPAS」の開発	… 星田 均ほか
22	TOPICS 風化試験	… 渡部 明
24	シリカフェーム・プレミックスセメント(SFPC)を用いた 超高強度コンクリートの高圧縮力下における特性	… 曾根 孝大ほか
32	秋田新幹線 青森川原の駅は鉄骨 一階建てRC造でRC造のコンクリート打込み	… 加藤 健一郎ほか
40	ドローンによる建築物調査の活用・研究・民間の動向	… 宮内 博之
48	SDGsに合わせた北陸地方における フライアッシュコンクリートの地産地消の現状と展望	… 野村 千夏ほか
56	シームレス・コンクリートを用いた クリンカー化(省CO ₂)の取り組み	… 増田 茂

9	秋田新幹線 青森川原の駅は鉄骨 一階建てRC造でRC造のコンクリート打込み	
21, 39	外国産の建築用 セメント・セラファイル	
46	EVENT GUIDE	
61	セメント・セラファイル	
63	主要建設工事・資料統計	
64	9月号予告	

今月の表紙

秋田新幹線 青森川原の駅は鉄骨
一階建てRC造でRC造のコンクリート打
込み(秋田県/宮内:加藤建設(株))

■セメント協会ホームページ <https://www.jcasoc.or.jp> ■読者の広き申込みはセメント協会 広報部門 TEL.03-5540-6175

セメント・コンクリート No. 907, Dec. 2022

1

2022年
10月号
No.908



セメント・コンクリート10

CEMENT & CONCRETE
2022 No. 908

もくじ

2	建築材料の発着頻りに関する課題と技術開発	…小山 明男
10	イント高速鉄道におけるコンクリート構造物	…斎藤 大輔ほか
18	トンネル掘削コンクリートの自動打設システムの開発	…松本 修治ほか
26	「さいご」私、誰か嫁なんです！	…岸 和博
28	高圧スラグ断材を使用した 新名神高速道路・つめた台橋（下り線）の拡張工事	…横野 哲朗ほか
36	JR京葉線の駅駅／常張豊砂駅の設計・施工	…伊藤 隼人ほか
44	「守る」を守るも	…宮川 豊肇
46	混合成分がセメントの水和および水和物に及ぼす影響	…高橋 茂ほか
52	橋梁に対する繊維維補強PPC（無機性コンクリート）パネルの防部効果	…河野 克哉ほか

今月の表紙

17	第37回(2023年度)セメント協会研究奨励賞テーマ募集のご案内
59	外国産の乾砕精糖
61	EVENT GUIDE
63	セメント・サーキュラー
64	主要建設工事・賃料統計
66	11月号予告

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

セメント・コンクリート No. 908, Oct. 2022

1

2022年
11月号
No.909



セメント・コンクリート11

CEMENT & CONCRETE
2022 No. 909

もくじ

2	高炉セメントC種を採用した本社の建設 ～各種高炉セメントの適用～	…平本 貴他ほか
10	北海道新幹線への鋼管ノイルセメントの適用	…川中島 寛年ほか
18	新名神高速道路 岐阜第二高架橋の施工 ～プレキャストセメント工法を採用した連続ラーメン橋行橋～	…後藤 友和ほか
26	「さいご」150年の火事	…鈴木 一雄
28	橋梁現場の生産性を向上させる技術開発	…大野 優平ほか
36	環境に配慮し省力化を目指す乾式吹付補修工法の開発と特性 ～水半エリオンジョイント～	…高山 潔平
42	第37回(2023年度)セメント協会研究奨励賞 テーマ募集 ポルトランドセメント・硬化体のCO ₂ 吸収と生成物の変化	…梅津 真寿子ほか
50	性能安定化を促む選は石頭？	…河野 広隆
52	クランクの低温度硬化と温度計測技術	…山下 敦佳ほか

今月の表紙

9	第37回(2023年度)セメント協会研究奨励賞テーマ募集のご案内
17	無灰400 セメント協会 研究所調査会 ご案内
58	外国産の乾砕精糖
60	EVENT GUIDE
62	セメント・サーキュラー
63	主要建設工事・賃料統計
65	12月号予告

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

セメント・コンクリート No. 909, Nov. 2022

1

2022年
12月号
No.910



セメント・コンクリート12

CEMENT & CONCRETE
2022 No. 910

もくじ

2	インターlockingブロック用コンクリートの すり減り低減性における骨材粒度の影響	…高橋 茂ほか
10	国道 10 号花見地区コンクリート舗装修繕工事 ～ライプツウィルコスト低減に向けた取り組み～	…谷口 康弘
16	少量混合成分を増量したセメントの強さに及ぼすC/Aの影響	…吉田 友雄ほか
22	「さいご」古事記にまつわる話	…瀬田 久美子
24	一般国道 42 号新宮至高尾道路・熊野川河口大橋（仮称）のコンクリート施工	…馬場 基雄ほか
30	フェロクロムスラグをコンクリート用骨材へ ～その有効活用に向けた基礎性取組の把握～	…宮里 心一
36	超硬型の高圧性能繊維補強セメント系骨材材料の 繊維深版上面開厚への適用	…富井 孝雄ほか
42	第37回(2023年度)セメント協会研究奨励賞 テーマ募集 セメントおよび高炉セメント硬化体の乾燥縮み返しによる微細構造変化	…金 志朗ほか
48	「さいご」セメント協会 研究賞・優秀研究奨励賞テーマ募集 アンモニア耐性セメントキルンの技術開発	…末益 基雄ほか

今月の表紙

21.55	外国産の乾砕精糖
35	今月の産量総覧
56	EVENT GUIDE
58	セメント・サーキュラー
60	主要建設工事・賃料統計
62	12月号予告
63	特別400221年 表紙・目次一覧

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

セメント・コンクリート No. 910, Dec. 2022

1

神殿？ いいえ、防災施設です。

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

セメントが、日本をまもる。

一般社団法人セメント協会

セメント協会

検索