

CEMENT & CONCRETE

2023
No.913
3

セメント・ コンクリート

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和5年3月15日発行 ISSN0371-0718



—未来をカタチに変える創造力—



コンクリート用化学混和剤

フローリック

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

◆ AE減水剤 (高機能タイプ)

フローリック SV10シリーズ

◆ AE減水剤 (高機能・スランプ保持タイプ)

フローリック SL20S・R

◆ 高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

◆ 乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード

◆ 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ (標準形・遅延形)

フローリック SF500SK・RK

◆ 高性能減水剤

フローリック VP900シリーズ



日本製紙グループ

株式会社フローリック

本社:〒170-0013 東京都豊島区東池袋1-10-1

TEL.03-5960-6911 FAX.03-5960-6915

◎ 北海道・東北・東京・北関東・中部・関西・四国・中国・九州

◎ 出張所:長野・北陸・静岡・高松・岡山・鹿児島

◎ コンクリート研究所(つくば)・東日本技術センター(東松山)

コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック

検索

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

セメント・コンクリート 3

CEMENT & CONCRETE
2023 No.913

もくじ

- | | | |
|----|---|-----------|
| 02 | 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 ～改定の概要とポイント～ | … 野口 貴文ほか |
| 08 | 東名阪自動車道 弥富高架橋(下り線)における床版取替工事 | … 金本 岳人ほか |
| 14 | 2022年福島県沖地震とコンクリート構造物 | … 清水 達哉ほか |
| 22 | ずいそう
TAKAI FARM | … 高井 義信 |
| 24 | シリーズ／セメント系固化材 その特性と広がる可能性②
セメント改良土の基本的特性 | … 野崎 隆人 |
| 30 | バイオ炭を混和した汎用的な環境配慮型コンクリートの開発 | … 山本 伸也ほか |
| 36 | セメント系材料の反応に及ぼすアルカノールアミン系添加剤の
役割とその作用メカニズム | … 茶林 敬司ほか |
| 42 | 特殊パラフィンエマルジョンを使用したコンクリートの適用事例 | … 岡田 明也ほか |
| 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
CO ₂ の利用 再生骨材の炭酸化～炭酸化技術による低品質再生骨材の改質 | … 松田 信広ほか |
| 56 | TOPICS
「より永くコンクリート舗装を使うためのポイント集
～コンクリート舗装ガイドブック2016 補足資料～」の公表について | |
| 60 | セメスタグラム／コンクリートに魅せられて
安乗埼灯台 | |

55,59 外国雑誌の記事情報

62 EVENT GUIDE

64 セメント・データファイル

66 主要建設工事・資材統計

68 4月号予告



今月の表紙

東名阪自動車道リニューアルプロジェクト・弥富高架橋(下り線)／床版の撤去(写真左下)、PCa床版の運搬(同下中央)および架設(同右下)の様子[愛知県／提供：中日本高速道路(株)]

日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説

JASS 5 鉄筋コンクリート工事

～改定の概要とポイント～

Summary and Key Points of the Revision of "Japanese Architectural Standard Specification and its Commentary JASS 5 Reinforced Concrete Work" by the Architectural Institute of Japan

野口 貴文 陣内 浩 兼松 学

1. 改定の経緯・方針

2022年11月、日本建築学会制定「建築工事標準仕様書」の5章である「鉄筋コンクリート工事」、すなわちJASS 5が大幅に改定された。先の大改定がなされた2009年以降の13年間、国土強靱化の推進、建設業における技能労働者不足・生産効率低迷の打開に向けたDX(デジタル・トランスフォーメーション)の推進、環境配慮を含むSDGs達成に向けた活動の推進など、鉄筋コンクリート工事に関連して様々な社会情勢の変化があった。技術的には、各種混和材料の高機能化・JIS化、センシング・モニタリング技術の向上、化学分析技術・数値解析技術の高度化などがなされてきた。このような社会情勢の変化や技術の進歩に対応すべく、

- ・性能に基づく規定・検査の更なる推進
- ・低炭素・資源循環の促進
- ・DXによる施工・品質管理の合理化・効率化



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



じんない ひろし / JINNAI Hiroshi
東京工芸大学
工学部
教授 博士(工学)



かねまつ まなぶ / KANEMATSU Manabu
東京理科大学
理工学部
教授 博士(工学)

・コンクリートの高性能・高品質化

が大改定の方針に掲げられ、改定作業が行われた。

また、今回の大改定では、原点に立ち戻り、JASS 5がコンクリート・鉄筋・型枠の品質、鉄筋コンクリート造建築物の施工方法、およびそれらの管理・検査方法に対する設計者の目標および具体的要求を示す「仕様書」として、実際の工事でも機能するように、本文の表現が整理された。

2022年版JASS 5の目次を表1に示す。1節、2節および31節がJASS 5全体に関わる内容であり、3節から11節までは、一般的なコンクリートを一般的な場所で用いる場合の鉄筋コンクリート工事の基本的な仕様(一般仕様)を示し、12節から30節までは、使用材料の種類、コンクリートに対する要求性能、または施工時期・施工方法・施工場所などの施工条件が一般仕様とは異なる場合の鉄筋コンクリート工事の仕様(特別仕様)を示している。節全体の改定がなされたのは27節および29節であり、「27節 エコセメントを使用するコンクリート」および「29節 住宅基礎用コンクリート」が削除され、代わりに「27節 低収縮コンクリート」および「29節 現場練りコンクリート」が新設された。節の名称が変更となったのは、2節、6節、7節および26節であり、それぞれ旧版の「構造体および部材の要求性能」、「コンクリートの発注・製造および受入れ」、「コンクリートの運搬および打込み・締固め」および「凍結融解作用を受けるコンクリート」が、表1に示すように変更

表1 2022年版JASS 5の目次

1 節	総則	一般仕様
2 節	構造体および部位・部材の要求性能	
3 節	コンクリートの種類および品質	
4 節	コンクリートの材料	
5 節	調合	
6 節	コンクリートの発注および受入れ	
7 節	コンクリートの運搬、打込みおよび締固め	
8 節	養生	
9 節	型枠工事	
10 節	鉄筋工事	
11 節	品質管理および検査	
12 節	寒中コンクリート工事	特別仕様
13 節	暑中コンクリート工事	
14 節	軽量コンクリート	
15 節	高流動コンクリート	
16 節	流動化コンクリート	
17 節	高強度コンクリート	
18 節	鋼管充填コンクリート	
19 節	プレストレストコンクリート	
20 節	プレキャスト複合コンクリート	
21 節	マスコンクリート	
22 節	遮蔽用コンクリート	
23 節	水密コンクリート	
24 節	水中コンクリート	
25 節	海水の作用を受けるコンクリート	
26 節	激しい凍結融解作用を受けるコンクリート	
27 節	低収縮コンクリート	
28 節	再生骨材コンクリート	
29 節	現場練りコンクリート	
30 節	無筋コンクリート	
31 節	特記	

となった。2節に「部位」が追加されたのは、劣化環境を区分して仕様を特記する場合には、部材(柱、梁、壁、床など)よりも部位(屋外側、屋内側など)を特定して仕様を示す方が便利であることが多いためであり、6節から「製造」が削除されたのは、工事現場でコンクリートを製造することが極めて稀であるという理由による。

2. 各節の改定のポイント

2-1. 1 節：総則

1節では、「1.4 環境配慮」が削除され、その内容が2節および3節に移動して具体的な規定として示された。また、表2に示すような用語の新設・修正がなされた。ここで、「単位セメント量」および「水セメント比」に関しては、混合セメントを用いる場合に特に注意が必要となる。たとえば、高炉セメントB種を用いる場合、表3に示すように旧版と2022年版とでは示すところが異なる。この修正は、コンクリートの強度発現性・耐久性

表2 新設・修正された主要な用語とその定義

用語	定義
部位	単一または複数の部材の部分
粉体	結合材、および結合材と非活性無機質微粉末とを混合したものであり、フレッシュコンクリートの材料分離抵抗性に寄与する微粉末状の物質の総称
単位セメント量	フレッシュコンクリート1m ³ 中に含まれるポルトランドセメントの質量
単位粉体量	フレッシュコンクリート1m ³ 中に含まれる粉体の質量
水セメント比	フレッシュコンクリートにおいて、単位セメント量に対する単位水量の割合(百分率)
水結合材比	フレッシュコンクリートにおいて、単位結合材量に対する単位水量の割合(百分率)
水粉体比	フレッシュコンクリートにおいて、単位粉体量に対する単位水量の割合(百分率)
残コンクリート	工事現場において、建築物等の建設に使用されずに残ってしまったコンクリート

表3 旧版と2022年版における単位セメント量

結合材	版	単位セメント量
高炉セメントB種を用いる場合	旧版	コンクリート1m ³ 中の高炉セメントB種全量
	2022年版	コンクリート1m ³ 中の高炉セメントB種に含まれるポルトランドセメント量
置換率40%で高炉スラグ微粉末を用いる場合	旧版	コンクリート1m ³ 中のポルトランドセメント量
	2022年版	

表4 劣化環境の分類・区分

分類	区分	摘要
一般劣化環境	非腐食環境	外気に接することのない屋内空間にある部位で、直接の水濡れ・結露などによる水分供給の可能性のない部位
	腐食環境	非腐食環境以外の部位
特殊劣化環境	海水の作用	25節を適用
	激しい凍結融解作用	26節を適用
	その他の劣化作用	酸性土壌・硫酸塩土壌・酸性地下水・温泉水などに含まれる化学物質の作用、高熱による作用、生物起源の有機酸性物質による作用

に及ぼすポルトランドセメントおよび混和材の影響を正しく評価するためになされた。

2-2. 2 節：構造体および部位・部材の要求性能

2節の主な改定点は、「2.4 耐久性」において劣化環境の分類・区分を整理し直したこと、および要求性能として「2.7 環境性」を追加したことである。劣化環境は、鉄筋の腐食因子(水分)の存在、およびコンクリートの劣化因子の種類に応じて表4のように分類・区分され、特記がない場合は一般劣化環境(腐食環境)となる。一方、環境性については、「資源循環性」、「低炭素性」および「環境安全性」に対する要求性能

表5 環境性に関わる要求性能		
種類	レベル	要求性能
資源循環性	資源循環等級 0	再生材料を使用しない
	資源循環等級 1	構成材料の 1 つに資源循環に貢献する再生材料を使用すること
	資源循環等級 2	構成材料の複数に資源循環に貢献する再生材料を使用すること
		構成材料の 1 つに資源循環に大きく貢献する再生材料を使用する場合
	資源循環等級 3	構成材料の複数に資源循環に大きく貢献する再生材料を使用すること
低炭素性	低炭素等級 0	$0\% \leq \text{CO}_2 \text{削減率} \leq 5\%$ となること
	低炭素等級 1	$5\% < \text{CO}_2 \text{削減率} \leq 20\%$ となること
	低炭素等級 2	$20\% < \text{CO}_2 \text{削減率} < 40\%$ となること
	低炭素等級 3	$40\% \leq \text{CO}_2 \text{削減率}$ となること
環境安全性		建築物の供用期間において有害化学物質が有害量溶出しないこと

表7 使用材料ごとの資源循環サブ等級ポイント

使用材料	サブ等級ポイント	種類・量
練混ぜ水	0	回収水以外の水
	1	上澄水
	2	スラッジ水
結合材	0	原料に廃棄物・副産物を利用していることが不明なセメント
	1	ポルトランドセメント、高炉セメント A 種・A 種相当・B 種・B 種相当、フライアッシュセメント A 種・A 種相当・B 種・B 種相当
	2	高炉セメント C 種・C 種相当、フライアッシュセメント C 種・C 種相当、エコセメント
細骨材／粗骨材	0	普通骨材
	1	副産物起源の骨材の質量分率が細骨材量の 20%以下のもの
	2	副産物起源の骨材の質量分率が細骨材量の 20%を超えるもの

が**表5**のように規定された。

2-3. 3 節：コンクリートの種類および品質

3 節では、「17 節 高強度コンクリート」の適用範囲が設計基準強度 48N/mm² 超に引き上げられたことを受けて、一般仕様の適用範囲が18N/mm² 以上 48N/mm² 以下に変更された。また、一般劣化環境(非腐食環境)における耐久設計基準強度の扱いが**表6**のように規定され、旧版で取扱いのなかった結合材(高炉セメント C 種・C 種相当、フライアッシュセメント C 種・C 種相当、エコセメント)についても、耐久設計基準強度の標準値が示された。ここで、「○種相当」という表記は今回の大改定で新たに示されたものであり、既往の実験範囲に鑑み、ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末とを混合する場合であれば、高炉スラグ微粉末の置換率の

表6 一般劣化環境における耐久設計基準強度

	結合材の種類	計画供用期間の級			
		短期	標準	長期	超長期
腐食環境	ポルトランドセメント、高炉セメント A 種・A 種相当、フライアッシュセメント A 種・A 種相当	18	24	30*	36**
	高炉セメント B 種・B 種相当、フライアッシュセメント B 種・B 種相当	18	24	30*	—
	高炉セメント C 種・C 種相当、フライアッシュセメント C 種・C 種相当	24*	27*	33*	—
	エコセメント	18	24	—	—
非腐食環境		設定しない			

設計かぶり厚さ・最小かぶり厚さを 10 mm 増やした場合

は、*では 3N/mm²、**では 6N/mm²減じることができる

表8 資源循環等級ごとのサブ等級ポイント合計値

水準	資源循環サブ等級のポイントの合計値
資源循環等級 0	0
資源循環等級 1	1
資源循環等級 2	2 以上 4 以下
資源循環等級 3	5 以上

表9 低炭素等級に応じた結合材の種類	
水準	結合材
低炭素等級 0	ポルトランドセメント
低炭素等級 1	高炉セメント A 種・A 種相当、フライアッシュセメント A 種・A 種相当・B 種・B 種相当・C 種・C 種相当
低炭素等級 2	高炉セメント B 種・B 種相当
低炭素等級 3	高炉セメント C 種・C 種相当

範囲が当該種類の高炉セメントにおける高炉スラグ微粉末の実質的な置換率の範囲内(C 種相当：60%以上 70%以下)であることを意味している。

資源循環性については、**表7**に示すように、使用材料の種類ごとにサブ等級ポイントが定められ、それらの合計値が**表8**を満足するように、使用材料の種類・量を設定することとなった。ここで、ポルトランドセメントのサブ等級ポイントが0ではなく1となっているのは、日本のセメント製造時における廃棄物・副産物の原料としての使用量の多さを考慮したことによる。一方、低炭素性は、結合材の種類にほぼ支配されることから、低炭素等級に応じて**表9**に示す結合材を選定することとなった。また、環境安全性については、使用材料の環境安全品質がJISの規定値を満足していればよいこととなった。

2-4. 4 節：コンクリートの材料, 5 節：調合, 6 節：コンクリートの発注および受入れ

4 節では、一般仕様で用いることのできる材料として、エコセメント、再生骨材**㊦**、火山ガラス微粉末および碎石粉が追加されるとともに、収縮低減剤の品質はQISに適合するものと規定された。ただし、シリカセメントは、国内で製造も流通もしていないため、除外された。また、資源循環の促進という方針に則り、上澄水は全ての計画供用期間の級に対応するコンクリートで使用できることとなり、スラッジ水は計画供用期間の級が超長期の場合にのみ使用できないこととなった。

現在、施工者が調合設計を行うことはほとんどなく、標準化されたQIS マーク表示製品を生コン工場に発注しているという実態に鑑み、**5** 節は、調合設計の方法を示すのではなく、**3** 節・**4** 節の規定内容に基づいて、生コン工場が調合設計を行うための条件(たとえば、資源循環性・低炭素性の水準に応じた使用材料の種類・量、調合強度算定時における許容不良率の最大値、水粉体比の最大値など)を決定するという内容に修正された。それを受けて、**6** 節には、生コン工場に調合設計を依頼すること、および配合計画書の内容が指定した使用材料・調合条件に合致していることを確認することが規定された。

2-5. 7 節：コンクリートの運搬, 打込みおよび締固め, 8 節：養生, 9 節：型枠工事, および 10 節：鉄筋工事

7 節では、残コンクリートの発生を抑制すべく運搬・打込み・締固め計画を定める旨が規定された。

8 節では、新設されたQASS 5 T-407 (コンクリート養生剤の水分逸散抑制効果に関する試験方法)で効果が確認された養生剤を用いる旨が規定された。

9 節では、型枠支保工の組立て・解体作業に対して、法に定める技能講習を受講した有資格者の配置が義務付けられた。また、型枠設計用のコンクリートの側圧は、スランプ・打込み速さ・部位にかかわらず液圧とすることが規定された。

10 節では、鉄筋の加工・組立て作業に対して、有資格者の配置が義務付けられた。また、鉄筋の種類

について、改正されたQIS G 3112 への整合化が図られた。さらに、ガス圧接継手に加えて、機械式継手・溶接継手の施工も日本鉄筋継手協会の鉄筋継手工事標準仕様書によることとなった。

2-6. 11 節：品質管理および検査

品質管理の合理化・効率化への対応として、標準として示されていないQT (センサやQAI など)を用いた試験方法・確認方法であっても、工事監理者の承認を受ければ適用可能となる旨が規定された。また、塩化物イオン量は、JIS マーク表示製品であれば生コン工場の製造管理のための試験結果を確認することで受入れ検査に代えることができることとなった。さらに、構造体コンクリート強度の検査では、使用するコンクリートがQIS A 5308 の認証を受けており、一定の出荷実績があること、および工場の品質管理状況が良好であることを条件として、構造体コンクリート強度試験用供試体を受入れ時の検査における供試体と併用できる方法(A 法)が追加され、検査の合理化が図られた。

2-7. 特別仕様の鉄筋コンクリート工事

特別仕様の鉄筋コンクリート工事について、各節の主要な改定・制定内容を**表10**に示すとともに、より具体的な改定・制定内容を抜粋して次に示す。

Q1) 12 節：寒中コンクリート工事
気温に基づく積算温度QI91 がQ40° D・D を下回る場合(厳しい寒冷条件下)には、養生期間中の計画養生温度から算出される養生温度に基づく積算温度QICt (C D・D)によって、構造体強度補正值QSGI を3, 6, 9N/mm² のいずれかに定めることが可能となった。

$$MC_t = \sum_{y=1}^t (\theta_y + 10)$$

t : 計画養生期間(日), Q : 材齢(日)

$$Q_yC$$

材齢 Q 日における計画養生温度(℃)

Q2) 13 節：暑中コンクリート工事

暑中期のうち、受入れ時のコンクリート温度がQ5℃を

表 10 特別仕様の各節における主要な改定・制定内容

節	主要な改定・制定内容
12 節 寒中コンクリート工事	積算温度に基づく構造体強度補正值 mS_n の決定
13 節 暑中コンクリート工事	受入れ時のコンクリート温度が 35℃を超える期間を酷暑期とし、その対策を規定
14 節 軽量コンクリート	設計基準強度が 27N/mm ² を超える場合でも、混合セメント B 種まで使用可能
15 節 高流動コンクリート	軽微な振動・締固めで型枠内に充填できるコンクリートまで適用範囲とし、スランプフロー45cm 以上 65cm 以下を標準 JASS 5 M-406（増粘剤含有高性能 AE 減水剤の品質基準）の制定
16 節 流動化コンクリート	流動化の範囲をスランプ 21cm 以下からスランプフロー60cm 以下に拡大
17 節 高強度コンクリート	設計基準強度の適用範囲を「36N/mm ² 超、60N/mm ² 以下」から「48N/mm ² 超、80N/mm ² 以下」に変更
18 節 鋼管充填コンクリート	鋼管充填コンクリートの構造体強度補正值の推奨値の見直し ブリーディング試験方法の追加
19 節 プレストレストコンクリート	スランプ上限規定の撤廃 計画供用期間の級が長期・超長期の場合における乾燥収縮率 8×10 ⁻⁴ 以下という原則の追加
20 節 プレキャスト複合コンクリート	ハーフプレキャスト部材の接合に関する規定の追加
21 節 マスコンクリート	調合管理強度の考え方の見直し マスコンクリートの構造体強度補正值 $_{28}SM_{9I}$ の標準値の追加
22 節 遮蔽用コンクリート	複雑な断面形状や過密配筋された部分などへの確実なコンクリートの打込みを可能とするため、スランプ 15cm 以下を標準とする規定の撤廃
23 節 水密コンクリート	受入れ時のコンクリート温度が 30℃を超える場合、「13 節 暑中コンクリート工事」適用
24 節 水中コンクリート	材料分離を生じない範囲でスランプフロー50～60cm も使用可能に変更 設計基準強度 36N/mm ² 以下の場合、高炉セメント B 種を結合材の標準
25 節 海水の作用を受けるコンクリート	セメント・劣化環境区分・最小かぶり厚さに応じた耐久設計基準強度の標準値（旧版から 3N/mm ² 増大）の改定 最小かぶり厚さの許容不良率 7%以下
26 節 激しい凍結融解作用を受けるコンクリート	適用範囲（湿潤状態で凍結融解作用を受ける部位）の明確化 混合セメント C 種に関する規定の追加
27 節 低収縮コンクリート	3 水準の低収縮等級に対応するコンクリートの乾燥収縮率の範囲を規定 収縮低減剤を使用するコンクリートの製造方式について規定
28 節 再生骨材コンクリート	再生骨材コンクリート M および再生骨材コンクリート L に限定
29 節 現場練りコンクリート	コンクリートの製造計画書作成・調合設計・製造について規定
30 節 無筋コンクリート	コンクリートの品質規定の緩和（3 節の規定によらなくてよい） 混合セメント・エコセメントを標準

表 11 流動化コンクリートのスランプフローの標準値

調合管理強度 (N/mm ²)	ベースコンクリートのスランプの目標値 (cm)	あと添加後のスランプフローの目標値 (cm)
40 以上 45 以下	21 以下	60 以下
36 以上 40 未満		55 以下
33 以上 36 未満		50 以下
27 以上 33 未満		45

を超えることが予想される期間は酷暑期とされ、施工段階での暑中対策をより入念に講じることとなり、目標スランプ $\varnothing$ 1cmで高性能AE減水剤の使用が原則となった。

❸ 15 節：高流動コンクリート
スランプフローの下限値が $\varnothing$ 5cmに引き下げられるとともに、間隙通過性の確保に関する規定が設けられ、解説にJIS A 1159(コンクリートのJリングフロー試験方法)のPJ 値(Jリングの中央部とリング外周部のコンクリート高さの差)による評価が示された。また、材料分離抵抗性を向上させる化学混和剤は、JASS 5 MC406(増粘剤含有高性能AE減水剤の品質基準)に適合するものと規定された。

❹ 16 節：流動化コンクリート

表 12 高強度コンクリートの mS_n の標準値(N/mm²)

結合材の種類	mS_n	品質基準強度 (μF_q) の範囲	
		48< μF_q ≤ 60	60< μF_q ≤ 80
普通ポルトランドセメント	$_{28}S_{9I}$	12	15
中庸熱ポルトランドセメント	$_{28}S_{9I}$	5	6
	$_{36}S_{9I}$	10	14
低熱ポルトランドセメント	$_{28}S_{9I}$	3	3
	$_{36}S_{9I}$	10	14

流動化後の流動性の範囲が表 11 のようにスランプフローの範囲にまで拡大された。

❸ 17 節：高強度コンクリート

高強度コンクリートの対象となる設計基準強度の下限が $\varnothing$ 8N/mm² 超に引き上げられるとともに、本節に示される仕様が適用される設計基準強度の上限値が 80N/mm² に引き上げられた。また、構造体強度補正值 mS_n の標準値が表 12 のように規定された。

❸ 21 節：マスコンクリート

高性能AE 減水剤または流動化剤を用いる場合のスランプの上限値が $\varnothing$ 1cmに引き上げられるとともに、特記されればスランプフローのコンクリートも使用可能となった。また、予想平均養生温度に基づく構造体強度補

表 13 マスコンクリートの $_{28}SM_{9I}$ の標準値

結合材の種類	コンクリートの打込みから材齢 28 日までの期間の予想平均養生温度 θ の範囲（℃）			
普通ポルトランドセメント	$0 \leq \theta < 8$	$8 \leq \theta$	—	暑中期
高炉セメント B 種・B 種相当	—	$0 \leq \theta$	—	暑中期
フライアッシュセメント B 種・B 種相当	—	$0 \leq \theta$	—	—
中庸熱ポルトランドセメント	—	$0 \leq \theta$	—	—
低熱ポルトランドセメント	—	—	$0 \leq \theta$	—
高炉セメント C 種・C 種相当	$0 \leq \theta < 13$	$13 \leq \theta$	—	暑中期
マスコンクリートの構造体強度補正值 $_{28}SM_{9I}$ (N/mm ²)	6	3	0	6

表 15 低収縮等級の水準と乾燥収縮率

水準	目標とする乾燥収縮率
低収縮等級 1	650×10 ⁻⁶ 以下
低収縮等級 2	500×10 ⁻⁶ 以下
低収縮等級 3	400×10 ⁻⁶ 以下

正值 $_{28}SM_{9I}$ の標準値が表 13 のように規定された。

❸ 24 節：水中コンクリート

スランプフローの上限値が、調合管理強度が 33N/mm² の場合には50cm、36N/mm $\varnothing$ 以上 $\varnothing$ 0N/mm² 未満の場合には55cm、40N/mm $\varnothing$ 以上の場合には 60cmというように引き上げられた。また、水中コンクリートは中性化・乾燥収縮の影響を受けにくいため、資源循環・低炭素への貢献を旨として、設計基準強度が $\varnothing$ 6N/mm² 以下の場合における結合材の標準が高炉セメントB種となった。

❸ 25 節：海水の作用を受けるコンクリート
劣化環境の区分、および計画供用期間の級ごとに、結合材の種類、および最小かぶり厚さに応じた耐久設計基準強度の標準値が表 14 のように改定された。

❸ 26 節：激しい凍結融解作用を受けるコンクリート
計画供用期間の級が短期の際に、混合セメントC 種を用いる場合の耐久設計基準強度が $\varnothing$ 4N/mm² に引き上げられた。また、表層部組織の緻密化を図ることを目的として、計画供用期間の級が短期・標準の場合であっても、湿潤養生期間は長期・超長期に対応する日数とすることが規定された。

❸ 27 節：低収縮コンクリート
低収縮等級の水準に応じて目標とする乾燥収縮率

表 14 海水の作用を受けるコンクリートにおける最小かぶり厚さおよび耐久設計基準強度

海水の作用の区分	計画供用期間の級	最小かぶり厚さ (mm)	耐久設計基準強度（N/mm ² ）	
			普通ポルトランドセメント、高炉セメント A 種・A 種相当、フライアッシュセメント A 種・A 種相当	高炉セメント B 種・B 種相当・C 種・C 種相当、フライアッシュセメント B 種・B 種相当・C 種・C 種相当
塩害環境	短期	50	39	36
		60	36	33
準塩害環境	短期	40	33	27
		50	27	27
	標準	40	39	36
		50	36	33
		60	33	27
		50	39	36
	長期	50	39	36
		60	36	33

が表 15 のように規定され、その達成手法が解説に示された。また、収縮低減剤を使用する場合のコンクリートの製造が「工場添加方式」と「現場添加方式」とに分類され、それぞれの製造手順が規定された。加えて、膨張材を使用する場合に関しては、圧縮強度の確認による湿潤養生の打切りは行わないこと、および計画供用期間の級が短期・標準の場合に早強ポルトランドセメントを使用する場合であっても湿潤養生期間は6日以上とすることが規定された。

3. 今後の JASS 5 の方向性

2022 年版JASS 5は、コンクリートの製造、および鉄筋コンクリート造建築物の施工に関わる各種技術の大変革が進む中での大改定であったため、近い将来、JASS 5の冒頭部分に掲載されている「建築工事標準仕様書制定の趣旨と執筆方針」の箇条❸「技術に関する研究の進展、使用材料・工法・構法の進歩、法令・規格の改正などを反映するものとする」に沿って、近いうちに再度、改定がなされなければならないと考えている。たとえば、CO $\varnothing$ の吸収・固定化技術が組み込まれたコンクリートのカーボンニュートラル性の評価に基づく品質規定や、センシング技術・3D プリンティング技術に代表されるDXに基づくコンクリートの製造方法、鉄筋コンクリート造建築物の施工方法、品質管理・検査方法などに関する規定の追加が必要となるであろう。

東名阪自動車道 弥富高架橋(下り線)における床版取替工事

The Higashi-Meihan Expressway Yatomi Viaduct(outbound line),
Deck Slab Replacement for Precast deck

金本 岳人 小保田 剛規 朝廣 祐介

1. はじめに

東名阪自動車道は、愛知県名古屋市から三重県亀山市に至る上下線計4車線の高速道路(図1)である。弥富高架橋は、約5万台/日の交通量がある東名阪自動車道の蟹江IC～長島IC間に位置(図2)し、開通から約半世紀が経過しており、経年劣化や大型交通の増加、凍結防止剤の散布に起因する橋梁の損傷が多く発生している(写真1,2)。また、変状が再発し、これまでのような対症療法的な補修の繰り返し(写真3)ではなく、抜本的な対策が必要となっていた。

そこで、東名阪自動車道リニューアルプロジェクトとして、弥富高架橋(下り線)床版取替工事を皮切りに連続高架区間である名古屋西IC～長島ICの床版取替工事を進めることにより、道路構造物の機能強化を図る予定である。

本稿では、弥富高架橋(下り線)床版取替工事の



図1 東名阪自動車道



図2 弥富高架橋の位置図

施工について報告する。

2. 工事概要

東名阪道の床版取替工事概要を表1に示す。橋



写真1 床版下面の変状 写真2 床版上面の再発状況

表1 工事概要

項目	仕様
工事名	東名阪自動車道(特定更新等) 弥富高架橋(下り線)床版取替工事
工期	2019.11.2～2024.7.7(1710日)
橋長	1,950m
上部工形式	鋼3・4径間連続非合成桁×21連
床版取替延長	1,567m(17連分)
施工内容	床版取替工 約19,300m ²

梁は3径間が15連(L=85～91m)、4径間が2連(L=116.4m,121m)の計17連であり、工事延長はL=1567mである。床版取替に要する期間は、2022年1月から2023年12月までの計23ヶ月間を予定している。

当該区間は約5万台/日の交通量がある重交通路線であり、特に、下り線は朝の通勤時利用者が多い路線である。また、当工事の床版取替施工延長は約1.6kmと一橋の床版取替工事としては、非常に長く、工事期間が長期となるため、社会的影響が非常に大きいものとなることが想定された。そこで、幅員方向に走行車線・追越車線の2分割した床版取替を行う工法を採用することで、社会的影響を小さくすることとした。その際、通行帯として車線幅3.25mに左右の路肩を加えた計5.25mの幅員を確保した運用を行う必要があるため、下り線の床版を約1.4m拡幅し、床版取替を行うこととした。拡幅を行うことで、上り線床版取替時には下り線での対面通行が可能な幅員となり、上り線施工時には全断面での床版取替が可能となり、規制期間の短縮を図ることができる計画である。本工事の施工ステップを図3に示す。

3. 施工における取り組み

本工事では主に以下の4つの取り組みを行うことで、

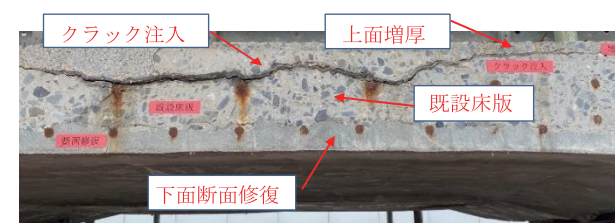


写真3 床版補修状況

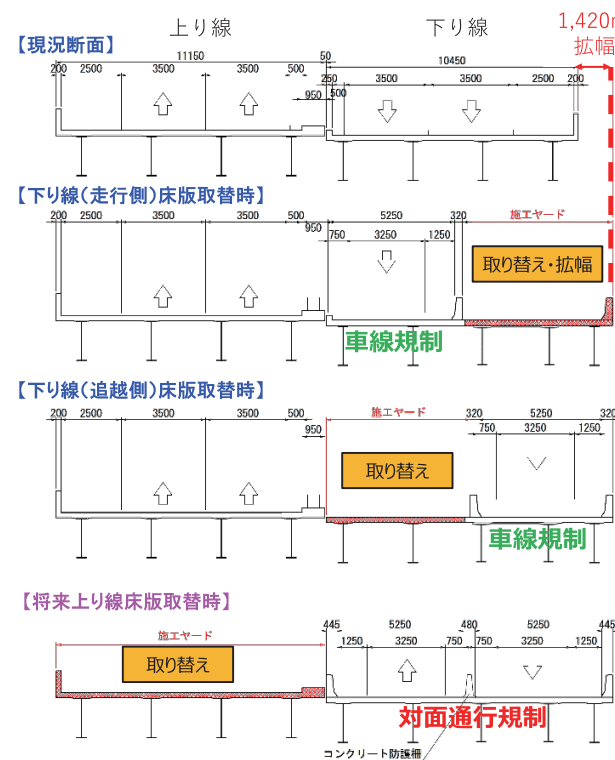


図3 施工ステップ

工程短縮や品質向上を図った。

(1) 揚重機を使用した資材の搬出入

従来の床版取替工事では、供用路線から工事区間へのトレーラー等を用いた資機材の搬出入や車両での作業員の出入りを行う必要があった。

本工事では、約1.6kmの床版取替を行うため、これまでの工事と比べ長期の車線規制が必要となる。また、工事用車両の規制区間への出入りによる渋滞の発生やその渋滞に起因する事故の発生リスクが高くなることが想定された。加えて、発生した渋滞により工事用車両が予定どおりに到着しないなど、施工工程の遅延リスクを回避する必要があった。

そこで、弥富高架橋沿いに長期での通行制限が可能であった側道(写真4)が存在していたことに加え、側道から床版までの高さが約10m程であったことによ



かなもと たけと / KANAMOTO Taketo
中日本高速道路(株) 名古屋支社
保全・サービス事業部 構造技術課



こばた ごうき / KOBOTA Goki
同上
(現 名古屋支社 彦根保全・サービスセンター 工事担当課)



あさひろ ゆうすけ / ASAHIRO Yusuke
中日本高速道路(株) 名古屋支社
保全・サービス事業部 構造技術課



写真4 工事着手前の側道状況



写真5 揚重機B(搬出用)



写真6 揚重機A(搬入用)



写真7 床版架設機

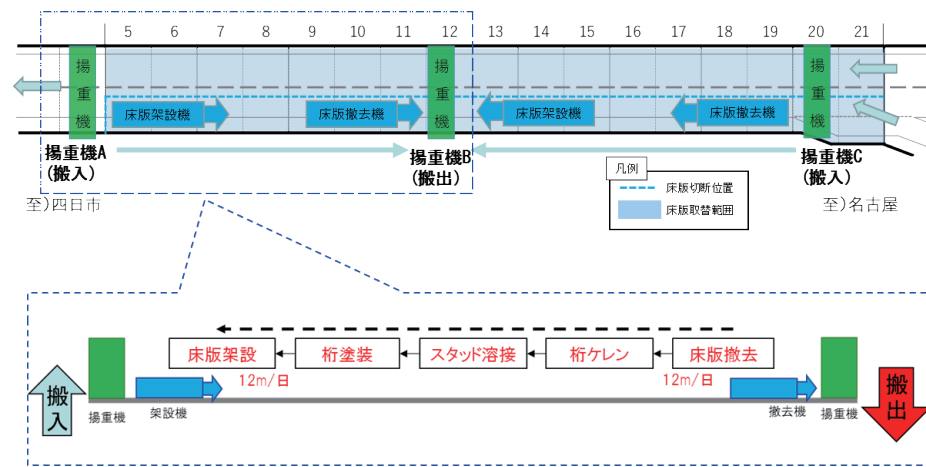


図4 床版撤去機・床版架設機を使用した作業サイクル

り、本線上からではなく、高速道路高架下の側道からの資材搬出入を行う揚重機(写真5,6)を用いることにより、安全かつ施工工程の遅延リスクを回避する工法を採用した。

(2) 床版架設機・撤去機による連続施工

本工事においては床版撤去から架設までの施工を

効率的に実施するため、「床版撤去機」、「床版架設機」(写真7)の2台の間を空けて並列させる(図4)ことにより、各作業を同時並行で施工できる工夫をしている。また、揚重機から資機材運搬のため、橋面上に資機材運搬用に配置した軌条設備を活用している。これにより、床版取替の一連の作業(床版撤去→桁ケレ

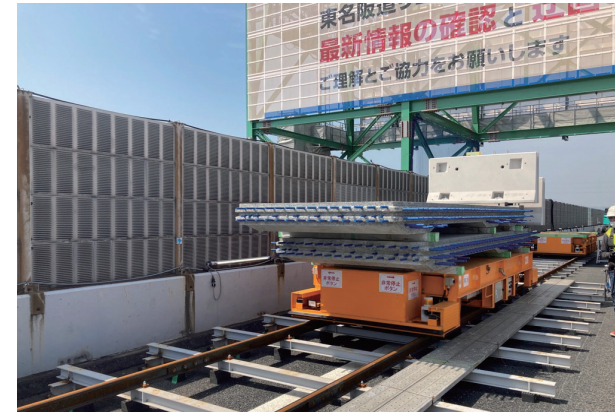


写真8 床版と壁高欄の一体化架設

表2 プレキャスト部材の諸元

部材	セメント種別	強度	鉄筋	PC鋼材	備考
プレキャスト床版	早強ポルトランドセメント	50N/mm	エポキシ被覆鉄筋	PC鋼より線(被覆なし)	t=220mm
プレキャスト壁高欄	普通ポルトランドセメント	30N/mm	普通鉄筋	—	—

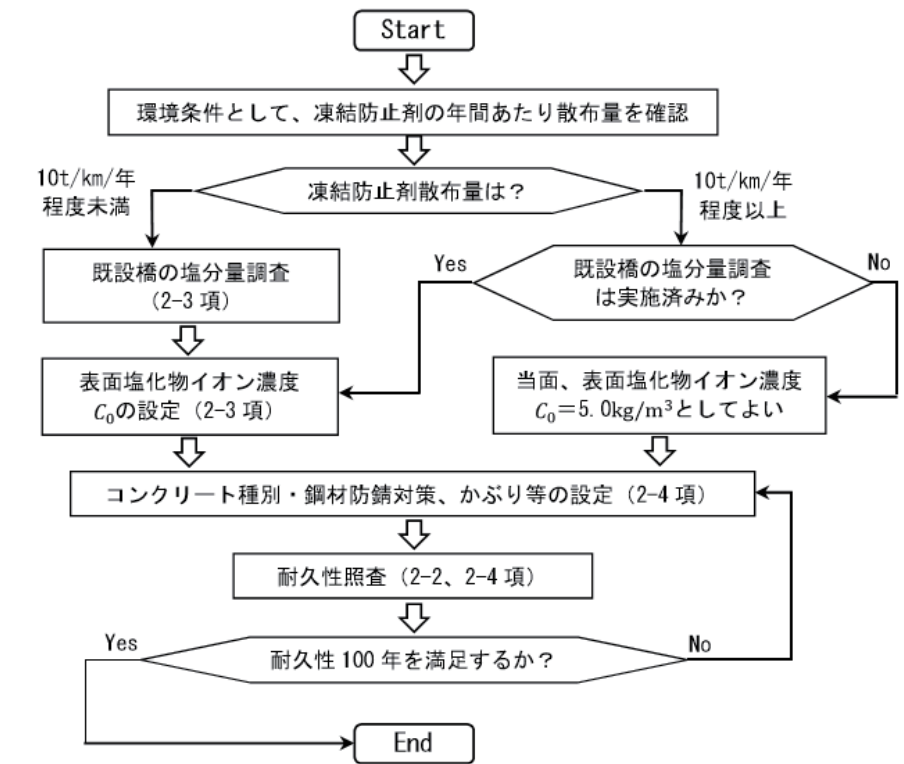


図5 耐久性照査

ン→スタッド溶接→桁塗装→床版架設)を効率化している。なお、橋梁上に「床版撤去機」、「床版架設機」を1方向に1台ずつ配置し、工事範囲の両側から中央に向けて2方向から合計4台の床版撤去機・架設機が移動しながら床版取替作業を進める連続施工を行うことで、1方向で12m/日(2m×6枚)、2方向合計で24m/日(2m×12枚)の床版取替を昼夜連続施工で実現している。昼間作業では、床版の撤去から架設までを施工し、夜間作業では、プレキャスト床版の間詰めや無収縮モルタルを施工するサイクルとなっている。

(3) プレキャスト部材による現場作業の効率化

本工事では、新設床版および壁高欄は工場製作のプレキャストコンクリート製品を採用することで、品質を向上させ、現場での型枠、配筋、コンクリート打設・養生に要する時間を削減することで、現場での作業時間を最小化し、かつ、天候に左右されない安定的な工程としている。さらに、床版および壁高欄を高架下の施工ヤードで地組みして一体化させたものを運搬・架設を行うことで橋面上での作業の効率化も図っている(写真8)。

プレキャスト部材の諸元を表2に示す。なお、プレキャスト部材に配置される鉄筋や鋼材に関しては、耐久性照査(図5)を行い、仕様を決定している。



写真9 床版と伸縮装置との一体化

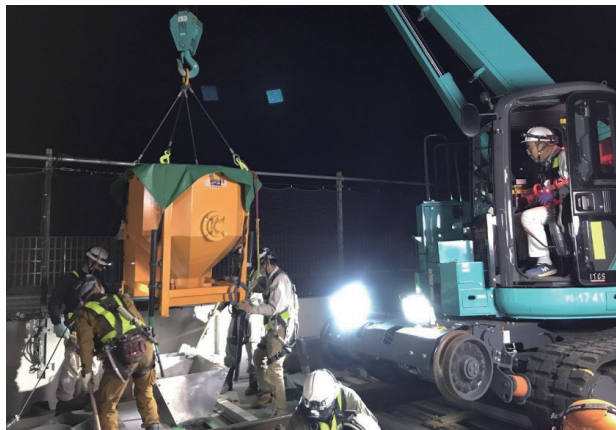


写真10 施工状況

また、伸縮装置部においてもプレキャスト床版と伸縮装置を工場で一体化としたものを採用している(写真9)。これまでの、現場で伸縮装置を設置したあとに後打ちコンクリートを打設していたが、本工法を採用することで、従来の工法と比べて、その後打ちコンクリートを省略でき、規制内での作業を短縮させ、また、天候に左右されにくい施工工法となっている。あわせて、品質や施工精度も向上している。

(4)目地部への超高強度繊維補強コンクリートの採用
本工事は、幅員方向分割施工のため、橋軸方向だけでなく、橋軸直角方向の床版同士の接合部が必要となる構造である。この接合部に対しては、ループ継手工法等ではなく、超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFCと記す)(圧縮強度180N/mm²)を間詰め材として用いた接合方法(以下、スリムファスナーと記す)を採用している。これにより、接合部の鉄筋設置等を省略することができ、橋面上での作業を効率化させて

圧縮強度 (N/mm ²)	180
引張強度 (N/mm ²)	8.8
ヤング係数 (N/mm ²)	4.6×10 ⁴
ポアソン比	0.2
熱膨張係数※ ¹ (1/℃)	10.7×10 ⁻⁶
自己収縮ひずみ※ ²	660×10 ⁻⁶
クリープ係数※ ³	0.8

※1 自己収縮ひずみ測定度に計測。
※2 封蔵養生6か月までの測定結果。
※3 標準養生56日後にクリープ試験開始。
クリープ試験開始360日後における測定結果。

いる。スリムファスナーとは、間詰め材にUFCを採用し、接合面をマルチせん断キー形状としたプレキャスト床版の接合工法である。UFCは超高強度モルタルに超高強度繊維を混入することで高強度・高耐久を実現したモルタル系材料であり、常温硬化型であり、通常の場所打ちコンクリートと同じ養生方法によって所定の性能を発揮するものである。使用したUFCの諸元¹⁾を表3に示す。銅繊維を2.0vol%混入し、標準養生により材齢28日で特性値として圧縮強度180N/mm²、引張強度8.8N/mm²を満足する材料である。当現場では、スリムファスナーの製造を現場で行うため、工事区間に2箇所のプラントを設けて、目地部の施工を行っている(写真10)。

また、本工事では、橋軸方向の目地(以下、縦目地と記す)にも適用するため、スリムファスナー縦目地の疲労耐久性を輪荷重走行試験により確認した²⁾。供用年数100年に相当する250KN 18万回の負荷をかけたあとに、水張試験を実施し、漏水がない結果となったことから、UFCを縦目地に適用しても十分な性能を確保していることを確認した。

4. 安全対策

幅員方向に走行車線・追越車線の2分割した床版取替を行う工法を採用したことにより、施工ヤードの真横が常時1車線の供用路線となり、多くの車両が通行した状況で床版取替を行うことになる。そこで、コンクリート防護柵(SB種)を供用車線と施工ヤード間に設置し、通行車両の車線逸脱防止や本線施工ヤード内の安全の確保を行っている(図6、写真11)。

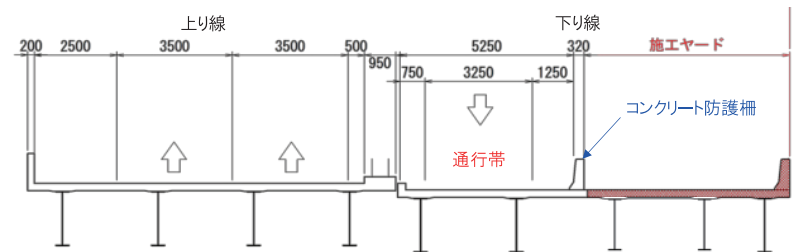


図6 床版取替期間中の断面構成



写真11 コンクリート防護柵(SB種)の設置状況



写真12 床版取替後の走行車線を通行している様子

5. ネットワークを活用した迂回推奨

当該区間は約5万台/日の交通量がある重交通路線であり、常時、1車線規制することは社会的な影響が大きいため、東名阪道と名二環・伊勢湾岸道とのダブルネットワークを有効活用し、規制期間中は名二環・伊勢湾岸道への迂回を推進させるため、①名二環(内回り)と②名古屋高速・万場線(下り線)の名古屋西JCT手前に、東名阪道ルートと名二環・伊勢湾岸道ルートを使用した際の四日市JCTまでの所要時間を提供できる経路選択板を新たに設置し、情報提供の強化を図った(図7)。その結果、現在、工事着手後の日平均交通量は工事着手前に比べて、平日・休日で約2～3割



図7 情報提供の強化

減少し、朝のピーク時間帯においては平日約4～5割減となっており、工事規制を先端とした最大渋滞長としては、平日・休日ともに平均約3～4kmとなっていることから、当初想定していた渋滞に収まっている状況である。

6. おわりに

2022年1月11日から走行車線の規制を開始し、走行車線の床版取替を実施してきていたが、2022年11月20日に走行車線の床版取替が完了したため、走行車線の規制を追越車線の規制に切替え、現在、追越車線の床版取替(写真12)を実施している。今後も続く弥富高架橋(下り線)の追越車線や隣接の区間(蟹江IC～弥富IC)の床版取替工事に、走行車線の床版取替で得た知見・経験を反映させることで、更に安全性を向上させ、社会的影響を小さくできるような工夫をしていきたい。

【参考文献】

- 1) 超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価、土木学会、2022
- 2) 縦目地 UFC 接合構造を有するプレキャスト床版の輪荷重走行試験による疲労性能の検討、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、2020

2022年福島県沖地震とコンクリート構造物

Damage to concrete structures in the 2022 Fukushima earthquake

清水 達哉 小林 香野 大塚 隆人

1. はじめに

2022年3月16日に発生した福島県沖を震源とする地震(以下、本地震という)により、東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本という)管内の鉄道施設において甚大な被害が生じた。本地震は、震源深さ57km、マグニチュード(Mj)7.4であり、発震機構は、西北西―東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

JR東日本管内の鉄道施設の主要な被害の分布状況を図1に示す。東北新幹線での被害は、大きな地震動を観測した福島・白石蔵王駅間に集中して発生し、在来線での被害は、新幹線の被害が集中したエリアに加え、震源に近い海岸沿線でも発生した。

2. 被害概要

本地震による地上設備の主な被害を表1に示す。



しみず たつや / SHIMIZU Tatsuya
東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター 主務



こばやし かの / KOBAYASHI Kano
同上
主任



おおつか たかひと / OTSUKA Takahito
同上
東北建設プロジェクトマネジメントオフィス 副長



図1 鉄道施設の主要な被害の分布
[地理院地図(国土地理院)を加工して作成]

新幹線設備の被害は、電柱の折損・傾斜など電柱設備の損傷、架線設備の破断・損傷、ラーメン構造物の中層梁や柱、橋りょうの支承周りなどの土木設備の損傷、軌道変位および損傷、駅設備被害などであった。

在来線設備も新幹線設備と同様に、電柱被害(傾斜等)、土木設備被害、線路設備被害、駅設備被害などが主な被害であった。

これらの被害のうち、運転再開までの復旧作業に時間を要した「ラーメン構造物」「支承周り」「電柱設備」の3点について、被害内容と復旧方法を詳述する。

表1 地上設備の主な被害内容¹⁾

■東北新幹線における主な被害状況

主な被害	箇所数
電柱被害	約90本
架線断線	2箇所
架線金具等の損傷	約550箇所
土木設備被害	約60箇所
軌道変異・損傷	約300箇所
駅設備被害	約10箇所
合計	約1,000箇所

【参考】在来線における主な被害状況

主な被害	箇所数
電柱被害(傾斜等)	約20箇所
土木設備被害	約10箇所
線路設備被害	約100箇所
駅設備被害	約10箇所
合計	約140箇所



写真2 ラーメン橋台の被災状況(全景)

3. ラーメン構造物の被害と復旧

ラーメン構造物における被害は、ラーメン橋台の柱部、ラーメン高架橋の柱部や中層梁に多く見られた。柱部の損傷は、かぶりコンクリートのひび割れや剥落の他、軸方向鉄筋の座屈や破断、内部コンクリートの粉砕に伴うスラブの沈下など比較的大きな損傷も確認された。また、中層梁については、主に線路直角方向の中層横梁において、鉛直および斜めひび割れやかぶりコンクリートの剥落などが見られた。以下に、ラーメン橋



写真1 下層柱の損傷状況

台柱部とラーメン高架橋中層梁の被害状況と復旧について述べる。

3-1. ラーメン橋台柱部

(1) 被害状況

PC単純桁を支持する4本の柱から構成される2層式ラーメン橋台の柱部に、部材短縮を伴う損傷が確認された。中層梁より上部に位置する上層柱では、耐震診断の結果、せん断破壊先行型と判定され、鋼板巻き立てによる耐震補強対策が実施されていたが、下層柱は、今後耐震補強を実施する予定であった。

特に大きな損傷は、耐震補強対策が未実施である下層柱に生じており、重量の大きいPC桁の反力の影響を大きく受ける終点方の橋脚2本で、かぶりコンクリートの大規模な剥落、軸方向鉄筋の変形、内部コンクリートの粉砕が確認された(写真1)。

また、内部コンクリートの粉砕に伴い、部材短縮が生じていたほか、一部の軸方向鉄筋の破断が確認された。終点方柱2本の部材短縮により、ラーメン橋台は傾斜した状態となり(写真2)、PC桁起点方の支点部において、鉛直方向に平均約380mmの沈下、水

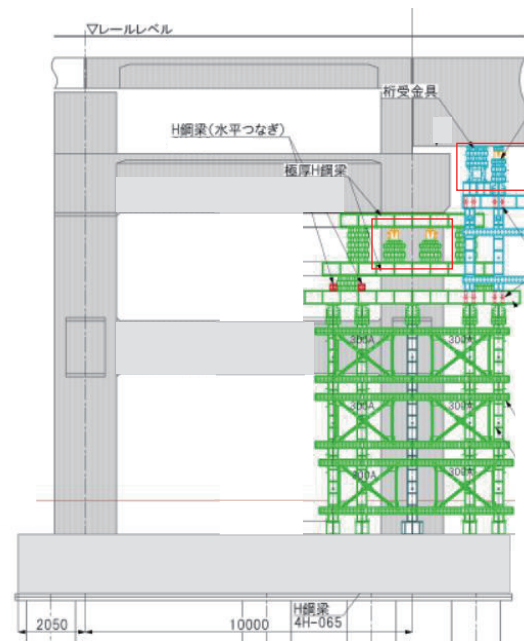


図2 応急復旧における仮受け計画

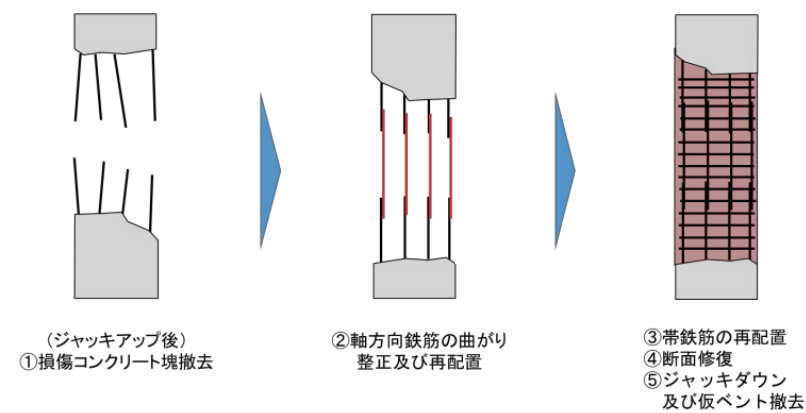


図3 ジャッキアップ後の柱の復旧手順の概要

平方向に約170mmの変位が確認された。

(2) 復旧

復旧は、ジャッキアップにより橋台を所定の位置へ戻した後、損傷した部材の補修を実施する計画とした。仮受けは図2に示すように、ラーメン橋台のフーチング上に仮ベントを立ち上げたうえで、橋台横梁とPC桁それぞれに対しサンドルおよびジャッキを設置した。

PC桁と橋台の仮受け完了後、ジャッキアップ作業の前に、損傷した終点方下層柱の変形した軸方向鉄筋の切断、損傷したコンクリートのはつり出し作業を実施した。ジャッキアップ作業は、橋台およびPC桁を同時に鉛直方向に移動させた後、スライドジャッキにより、同じくPC桁と橋台を同時にスライドさせる計画とした。しか

し、ジャッキアップの途中、鉄筋を切断していない起点方柱の塑性変形などにより、ジャッキに計画荷重以上の負荷がかかり、所定の位置までの復旧が難しい状態となった。そのため、残留した変位分は、スラブ上面で軌道下の路盤コンクリートを嵩上げする対策により、軌道の高さを調整した。

柱の復旧手順の概要を図3に示す。はじめに、損傷した内部コンクリートを取り除き、変形した軸方向鉄筋を加熱したうえで曲げ戻し、切断した箇所には新たな鉄筋を再配置する。鉄筋の接合は、塑性ヒンジ区間（柱の端部から1.5Dの区間、D：柱幅）は熱間押抜法によるガス圧接継手とし、それ以外は千鳥配置のフレアV形溶接継手を基本とした。なお、施工上やむを得な



写真3 鋼板巻き立て完了状況

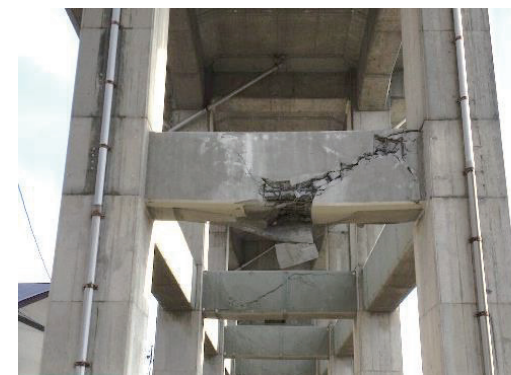


写真4 中層梁 損傷状況



写真5 中層梁 復旧状況

い箇所には、過去の実験結果²⁾に基づき、塑性ヒンジ区間内についても同一断面のフレア溶接継手を採用した。帯鉄筋は、余震による損傷に耐えうるように、当初設計よりも多い鉄筋量としたが、軸方向鉄筋量が多いため、恒久対策並の配筋量は配置できなかったことから、柱の復旧後に鋼板巻き立て耐震補強を実施することで所要の性能を確保した(写真3)。

3-2. ラーメン高架橋中層梁

(1) 被害状況

RCラーメン高架橋中層梁の損傷は主に線路直角方向の中層梁で生じていた。写真4に示すラーメン高架橋の中層梁では、せん断ひび割れの貫通、かぶりコンクリート剥落、内部コンクリート損傷および軸方向鉄筋の変形が生じており、明らかに耐力が低下するような状況であった。また、スターラップの一部で破断が確認された箇所もあった。

なお、中層梁の損傷が見られたRCラーメン構造物柱部は無損傷の状態のものや、比較的軽微な曲げひ

び割れに留まる柱が多く見られた。これは、柱が曲げ降伏耐力に達する前に中層梁が損傷したことで、柱の損傷が軽微に留まったものと考えられる。

(2) 復旧

復旧は、従来の性能回復を目的としている。復旧方法の選定は、損傷状況を正確に把握し決定するが、ここでは復旧の一事例を示す。

はじめに、浮いたかぶりコンクリートを撤去し、内部コンクリートにひび割れが生じている場合は、エポキシ樹脂による低圧注入を基本として実施した(写真5)。せん断補強鉄筋が破断している箇所には添え筋を当て、フレア溶接にて繋いだうえで既設構造物の設計基準強度以上のポリマーセメントモルタルを用いて断面修復を実施した。

4. 支承周りの被害と復旧

支承周りの被害としては、桁移動制限装置本体の損傷、支承直上の桁の損傷、端横桁のひび割れ、桁座

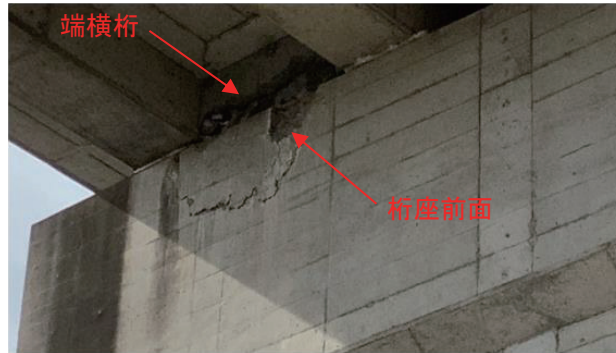


写真6 被害状況



写真7 応急対策実施後の状況

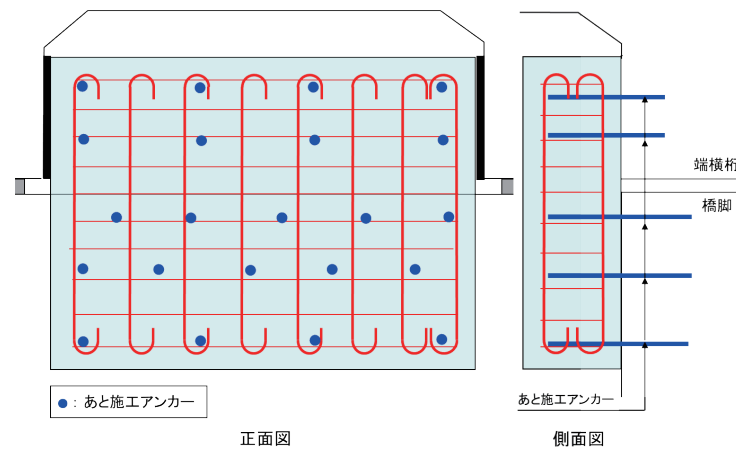


図4 恒久対策概略図

のひび割れ等が生じた。

ここでは、類似の損傷が多く発生したRC調整桁(桁長10m)を例に、桁移動制限装置周辺の被害概要と復旧方法について説明する。

4-1. 被害状況

地震発生後の損傷状況を写真6に示す。本桁は、桁移動制限装置として、RCストッパーが設置されている。RCストッパー前面の端横桁および桁座面にコンクリートのひび割れおよび剥離が生じた。なお、損傷箇所は固定側の主桁間2箇所である。建設時の設計水平震度は0.25であり、当該地域の最大地震加速度が330gal程度であったことから、設計で想定した地震力以上の水平力が作用したことにより、RCストッパーによる押し抜きせん断破壊が生じたと考えられる。

復旧方針は、桁がかり長が充分確保されており、線路方向の落橋防止機能は有していることから、運転再開までに応急対策として線路直角方向のストッパーのみ

設置し、運転再開後に、恒久対策として順次線路方向のストッパーを設置していくこととした。

4-2. 応急対策

応急対策では、市場性が高い山留め材などの材料を使用し、設計時の設計水平震度を十分満足できるように計画した。ストッパーの形状は、設計値以上の荷重が載荷した際に落下の危険がないよう、桁座上にサイドストッパーを設置する方針を基本とした。一方で、桁座上面から張出しスラブ下面までの空頭に余裕がない箇所や、桁座上に十分な幅が確保できない箇所については、削孔が難しいため、桁座前面に設置することとした(写真7)。

施工期間は、1連あたり3～7日である。

4-3. 恒久対策

図4に、固定側移動制限装置の恒久対策の設計概略図を示す。恒久対策では、主桁間前面にRCストッパー



折損(圧壊)



表面はく離



電柱基礎損傷

写真8 電柱の被害

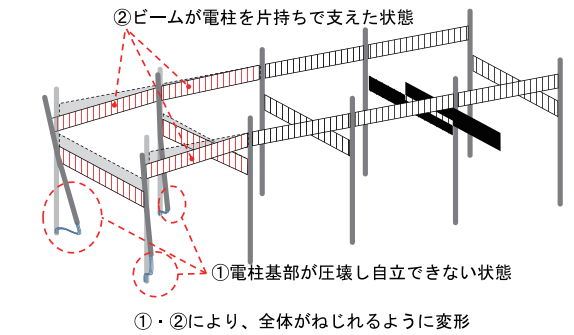


写真9 特殊箇所の全景

を設置することを基本とした。アンカー定着長は、桁座側は15φ+無効区間50mmを確保することとした。新設ストッパー側は、ストッパー厚400mmの中に基本定着長を確保することができない。ここで、必要定着長をとるためにストッパー厚を大きくすることは不経済となることから、折り曲げ後に必要定着長を取ることにした。

5. 電柱設備の被害と復旧

電柱設備は、写真8のように高架橋のPC電柱で表面が剥離したものや折損(圧壊)したもの、鋼製電柱も含め電柱基礎(埋め込み箇所)が押し抜かれて傾斜したもの、また土工線での傾斜などさまざまな被害が生じ、特に東北新幹線高架橋上の電柱は運行に影響を及ぼす損傷を受けた。新幹線の早期運転再開を目指し、折損して自立できないような電柱以外はジャッキによる傾斜の修正や断面の補修などにより極力既存電柱を



①・②により、全体がねじれるように変形



電柱上部の表面はく離



電柱基部の圧壊

図5 特殊箇所の被害状況

再利用する方法³⁾で復旧を実施した。しかし、写真9のようなストラクチャーと呼ばれる、鋼材トラス形式の梁(以下、ビームという)とPC電柱を井桁に組んだ特殊箇所のうち3箇所で、電柱が折損して潰れた状態となり、そのままでは補修することが難しい状況となった。電柱を交換するとなると相当の復旧期間を要することから、損傷した電柱をジャッキアップして再利用することとした。

本稿では、写真9に示す復旧工程上のクリティカルとなった特殊箇所について、被害状況と復旧方法を紹介する。

5-1. 被害状況

特殊箇所の被害状況を図5に示す。本地震を受け

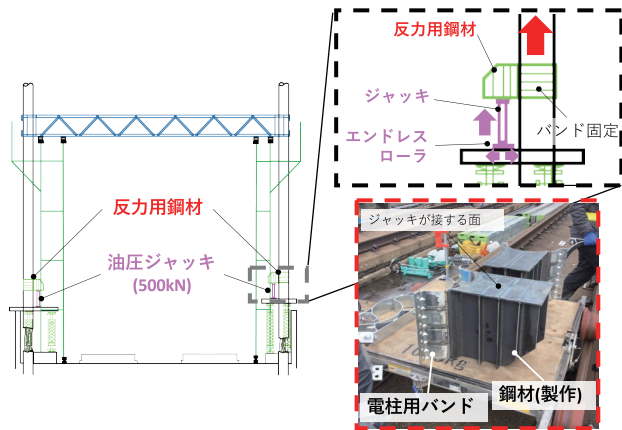


図6 ジャッキアップ設備と施工治具(反力用鋼材)



図7 電柱基部の復旧

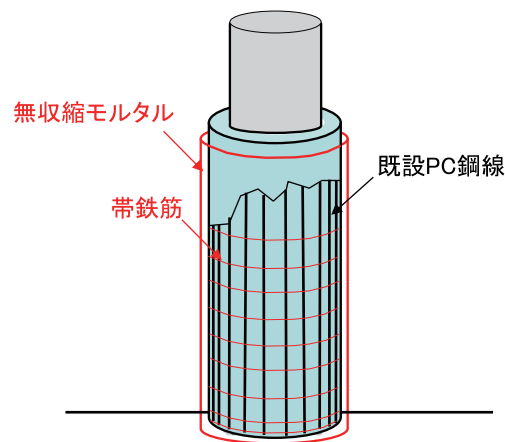
て、特殊箇所を構成する電柱のうち折損した3本が、自重を支えられなくなり圧壊した。そのため、電柱は柱基部で元の位置より大きくずれて傾斜し、柱上部では連結されたビームが自立できなくなった電柱を支える形で片持ち状となり、特殊箇所全体がねじれるように大きく変形した。また、電柱上部の一部でも、ビームと電柱の接合部が地震動を受けて損傷した。

5-2. 特殊箇所の復旧

特殊箇所で電柱を建て替える場合、電柱上部に接続されているビームや架線の取り外し等を行った上で建て替え、さらにビームの再接続を行う必要がある。この方法では、復旧完了まで長期間を要すると見込まれ、新幹線運転再開のクリティカルとなることから、早期に復旧する方法が求められた。復旧検討に当たり、圧壊した電柱のPC鋼線が破断していなかったことに加えて



写真10 電柱基部のジャッキアップ施工



ビームが再利用可能であったことに着目し、高架橋柱のジャッキアップによる補修を参考に、ビームを取り付けたまま圧壊している電柱をジャッキアップして位置修正を行い、損傷した電柱を修復することとした。

施工では、材料手配が工程上のクリティカルになることから、図6のような電気の汎用材料(電柱バンド)に鋼材を組み合わせた施工治具を製作するなど、早期に手配できる材料を活用することで工期短縮に取り組んだ。また、ジャッキアップの際に、電柱の位置調整をそれぞれ独立して行くと、電柱やビームの破損の懸念があるため、鉛直位置・水平位置の調整は、3本同時に実施することとした。鉛直方向の位置調整は、各電柱に油圧ジャッキ(500kN)、水平方向の位置調整には、強力サポートを利用し、偏心した電柱を元の位置に修正することとした。

写真10、図7に復旧の状況を示す。ジャッキアップ

作業に要した時間は約20時間、ジャッキアップ量は最大1328mm、水平方向移動量は最大1250mmとなった。ジャッキアップで電柱を所定の位置に修正したのちに、電柱基部の内部にあるコンクリート塊を撤去し、露出したPC鋼線の外周に帯鉄筋を配置して、無収縮モルタルを巻立てた。その後、電柱上部の断面補修を行い、電化柱を復旧した。

6. おわりに

東北新幹線は、これまで地震による被災を繰り返し受けており、その都度、地震被害の検証と耐震技術の向上を図ることで耐震対策を進めてきた。本地震で

は、それら耐震補強の効果が確認できた一方で、近年の地震被害にないケースの損傷や、これまでに被災した箇所の再損傷なども見られた。今後も引き続き、被災した箇所を分析し検証することで、より一層の耐震技術向上に努めていきたいと考える。

【参考文献】

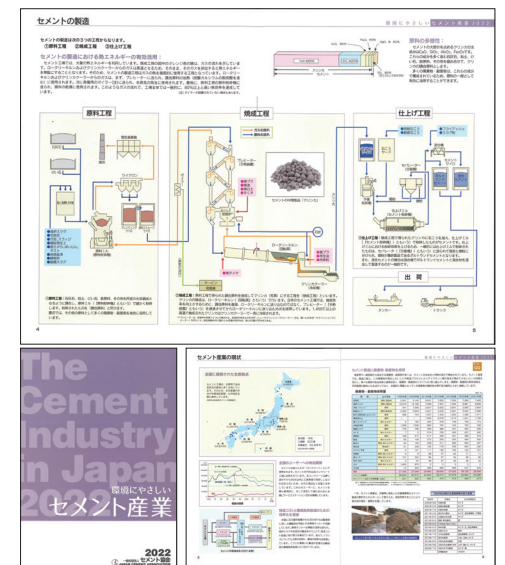
- 1) 福島県沖地震に伴う東北新幹線の被害と復旧状況等について、東日本旅客鉄道(株)ニュースリリース、2022.4.20
- 2) 醍醐宏治、木野淳一／フレア溶接継手により軸方向鉄筋を接合した柱の正負交番載荷試験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.43、No.2、pp.493～498、2021.6
- 3) 兄玉章裕、杉田清隆／東日本大震災において損傷を受けた東北新幹線電化柱の復旧、平成24年度土木学会東北支部技術発表会、2012.3

A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2022

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



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



高井 義信

私の生家は岐阜駅から車で30分ほど北、かなりの田舎に位置しております。そして田舎の家は必ずと言っていいほど田んぼや畑を所有しております。当然わが家にも畑が十分すぎるほどあり、母が元気なうちは家の前にある畑で野菜を作っていて余程でなければ野菜を買うということはありませんでした。自家消費しきれない分を母は必ず「会社へ持って行け」と言うのですが、私は誰も喜ばないと言いついて行くことはありませんでした(人に喜ばれないかもしれないものを持って行くこと、貰っても迷惑かと思う気持ちがあったからです)。

母が他界してからは、畑はタダの空き地となり、草の生えた畑を見ると何となく寂しく感じ、母の真似をし、ネットで調べながら少しばかりの野菜を作りはじめました。上手く行かないものもありましたが種を蒔き芽が出て成長、早いものは収穫までに3ヶ月程です。毎日見てもそんなには変わらない野菜の成長を朝確認し、会社へ行くという日課に変わりました。畑には野菜だけが芽を出すのではなく、野菜の数倍の成長力を持った厄介な雑草が許可なく勝手に生えまわります。以前は草の1本

も引かなかった自分が土日、気になるといつい草引きをしてしまい気がつけば手が痛くなるくらい時間の経つのを忘れて引いたり、野菜に付く虫退治したりと以前では考えられない自分がいることを不思議にさえ感じます。

野菜の収穫は自家消費に合わせて実ってくれることは無く、沢山の野菜を嫁に渡すと「そんなに要らない」と嫌な顔。自分が作ったものだからか勿体なく(もの凄い貧乏性)捨てるのもどうかと思い、会社を持参、社内のSさんに貰ってもらった。この時、自分で作った売り物にならないような野菜でも喜んでもらえることを知る。また、野菜を喜んでくれる姿を見ることを嬉しく感じるようになりました。野菜は毎日実るため、当然Sさんにとっても消費の限界、Sさんから他の人へと渡るようになる。私が入手先であることは内緒とし、Sさんは社内での配布者を務めてくれるようになりました。優秀な配布役のSさん、どんなに沢山持参しても配り切ってしまう。となると調子に乗り毎年作付け面積、品種を増やし、今では1,000m²の土地に20種類以上の野菜を作るようになりました。

あるときSさんは遊び心で配布用のオリジ

ナルポリ袋を製作、ポリ袋にはわが社の子会社である【SHOWA FARM】に 対 抗 し【TAKAI FARM】と印刷されておりました。横文字は世間には溢れており、何が書かれているか気にしない者ばかり。長いこと気づかれないうまであり、Sさんは内心誰が最初に気づくかと楽しみとし配布していました。しかし最初に気づいたのは、何とあるうことか社長でした。社長は遊び心と思うのではなく私が副業をしていると思い込み、仕事以外に費やす時間があるのかとちょっとお怒りモード(怖い怖い)。事情を説明すると誤解も解け今では大切なお得意さまになっていただきました(誤解の無いように、お得意さまと言っても全て無料です)。

最近ではSさんから「誰々さんがご要望です」と聞くようになり、その人用に袋詰めし、略語を記載し配布して頂いております。配布用の袋にはお客さん(くどいようですが無料です)の略号として㊦、㊧、㊨、㊩、㊪、㊫・・・と記載、これからもお客様が増えて行くことを楽しみにしております。

最近の困りごとは月～金は会社へ持って行けばそのお客様に渡るのですが、土日の収穫分は会社が休みのため消費者がいないことです。

わが家に3人いた子供たちも巣立ち、嫁にも相手にされず時間を持て余す週末。これと言った趣味の無い自分に、野菜を作る楽し



みを与えてくれた亡き母とSさんをはじめ会社のお得意様方々に感謝です。

私も今年63歳になります。会社にお世話になれる時間も短くなってきました。毎日が土日状態になってしまうと消費者が居なくなり【TAKAI FARM】も店じまいせざるを得ません。当然、野菜作りの趣味も無くなってしまいう訳であり、これに代わる趣味を見つけなければと焦る今日この頃です。

[たかい よしのぶ]

昭和コンクリート工業(株) 専務取締役]

セメント改良土の基本的特性

Basic properties of cement stabilized soil

野崎 隆人

1. はじめに

セメントは水と接触して水和反応の進行により固化する材料であり、その性質を利用してコンクリートやセメント改良土に用いられている。セメント改良土とコンクリートでは、強度発現や性質に類似点がある一方で相違点もある。シリーズ第2回の本稿では、セメント改良土の性能について、コンクリートとの比較を交えながら説明する。まず強度を中心に説明し、性能発現のメカニズムや土特有の水和阻害について述べ、最後に他材料や混和剤の使用による機能性付与について紹介する。

2. セメント改良土の性能

土とセメントを混合することで、強度に加えて、様々な物性が改善される。ここでは、設計において主要な性能である圧縮強度（一軸圧縮強さ）について、強度の支配的な要因である水分との関係を中心に述べ、付随して改善する性能について記す。

セメント改良土とコンクリートの強度発現の比較を表1に示す。両者では強度レベルが大きく異なるが、主要要因として、セメント改良土では水分が多く、水の総量に対するセメント量の割合(C/Wt)が低いことが挙げられる。

セメント改良土の水分の多くは土に由来し、土に含まれる水分量は土質によって大きく異なる。砂質土では含水比が10～30%程度であるのに対し、粘性土では30～80%程度、火山灰質粘性土のうち関東ロームで

表1 セメント改良土とコンクリートの強度発現の違い

	セメント改良土	コンクリート
目標圧縮強度	数百kPa ～数MPa	数十MPa～
セメント水比 (C/Wt)	0.1～0.8	1.5～
強度増進 メカニズム	・土粒子の凝集 ・水和物生成による水の取込み (緻密化) ・エトリンガイトによる土粒子の拘束	・水和物生成による緻密化
強度に寄与する 主要な水和物	エトリンガイト	ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)
水和阻害要因	・有機物 ・粘土鉱物 ・pH	—

は80～150%程度、有機質土では100～500%程度、高有機質土に分類される泥炭では1000%を超える土もある。コンクリートの場合、天然骨材の吸水率が3%に満たないことを踏まえると、土に含まれる水分量の多さは歴然としている。

土質によって含水比が大きく異なる一因として、土粒子の粒径の違いが挙げられる。土粒子は粒径別に、0.005mm以下の粒子を「粘土」、0.005～0.074mmの粒子を「シルト」、0.074～2mmの粒子を「砂」、粒径2mm以上の粒子を「礫」と呼ぶ。粘土やシルト等、粒径の細かい土粒子が存在する土ほど、間隙に多くの水分を保持することができるため、一般に自然含水比は高くなる。また、土に含まれる腐植酸等の有機物も多くの水分を保持するため、含水比が高くなる要因となる。

また、セメント改良土でセメントやセメント系固化材を

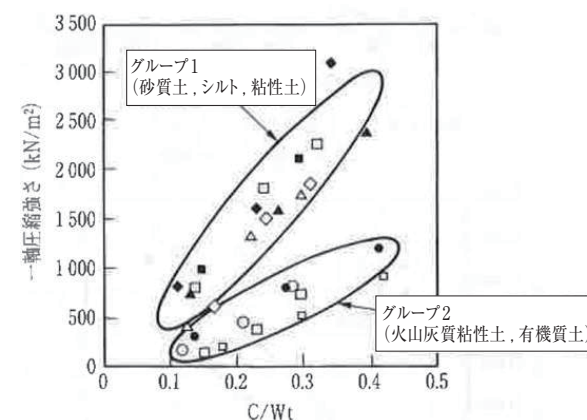


図1 C/Wtと一軸圧縮強さの関係の一例¹⁾

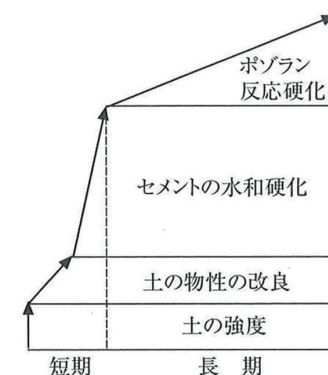


図2 セメント改良土の強度増進モデル³⁾

水と混合したスラリーとして用いる場合、水セメント比(W/C)はコンクリートと比較して高い。この理由として、コンクリートと施工機械や圧送設備の仕様が異なることや、土との混合時の均一性の確保にあたり高い流動性を求められることが挙げられる。

コンクリートもセメント改良土も、空気や水は間隙(空隙)となり、間隙が多いほど総じて強度が低い。両分野の研究では、間隙や水の量・割合に対する強度の関係式が数多く提唱されているが、両者ともに大まかに成り立つ関係として、水セメント比の逆数であるセメント水比(C/Wt)と圧縮強度の関係がある(図1)。ここでWtは土中の水分と固化材スラリーに含まれる水の総量を表す。同種の土質で含水比が同程度の場合、C/Wtと改良強度はおおむね直線関係となる^{1,2)}。図1において、砂質土、シルト、粘性土のグループと、火山灰質粘性土、高有機質土のグループの2つに大別される。これはC/Wtや粒度の影響に加えて、後者のグループでは後述する有機物や粘土鉱物の含有による

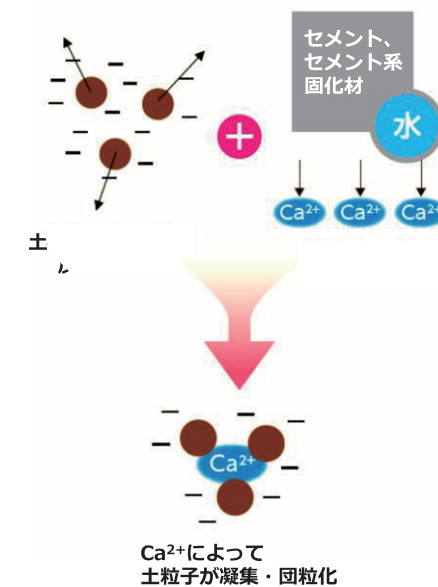


図3 土粒子の凝集・団粒化⁴⁾

水和の阻害の影響が大きいためである。

セメント改良土では圧縮強度に加えて、他の様々な強度特性値も付随して改善する。変形係数や割裂引張強さは一軸圧縮強さと相関の高い比例関係を示すことが知られている。舗装の設計に用いられる設計CBRも、対象土ごとに一軸圧縮強さの増加に伴って増加する。また、耐久性の面では、遮水性や凍上(土中の水分が凍結して土が隆起する現象)に対する抵抗性も向上する。

これらの性能の具体的な内容は、セメント協会のマニュアル³⁾に詳述されており、こちらを参照されたい。

3. 強度発現メカニズム

コンクリートと比較してセメント改良土では組織中の水の総量が多いこと、ならびに土粒子が存在することから、両者の強度の増進メカニズムに異なる点がある。セメント改良土の強度増進モデル³⁾を図2に示す。このモデルに基づいて強度発現のメカニズムを以下に説明する。

・土の物性の改良

土の物性の改良とは、土粒子の凝集や団粒化に由来する性状・強度の改善を指す。土粒子は表面に負電荷を帯びているため、セメントから供給されるカルシウムイオンの正電荷により凝集・団粒化し(図3)、強度が

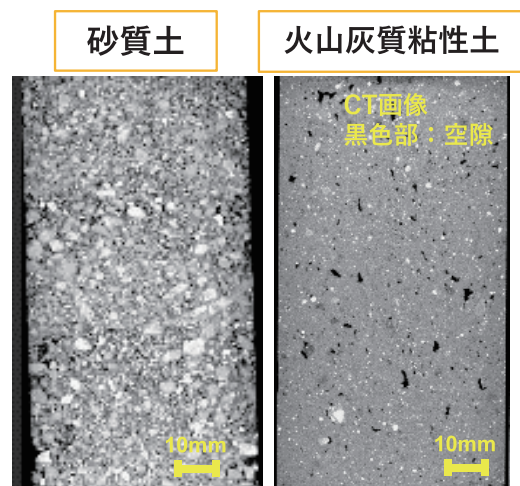


図4 X線CTによる試験体内部の観察例

増加する⁴⁾。この作用は土とセメントの混合直後に生じる。

・セメントの水和による硬化

コンクリートとセメント改良土ともに、セメントの水和反応が進行し、水和物が生成して硬化が進行する。

コンクリートでは50nm以上の空隙が強度に影響するが、生成した水和物は空隙を充填し、組織の構造が緻密化して強度が増進する。空隙の充填に寄与する主要な水和物はケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)である。

一方、組織中に水が多く含まれるセメント改良土では、水和物による空隙の充填よりも、水和物への水の取込みの方が強度増進に支配的となる。土粒子の粒径・粒度分布、改良方法(粉体、スラリー)、締固め等の条件にもよるが、セメント改良土では単位体積中に含まれるセメント量が少ない上、100μm以上、時には数mm以上の空隙が組織全体に分布する場合もあり(図4)、水和物の空隙充填による強度増進の効果はコンクリートよりも総じて低い。

水和物の中でも強度増進への寄与が大きい物質がエトリンガイトである。エトリンガイトは $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ の組成で表される針状の結晶の形状を有する水和物である。結晶中に多くの水を取り込むこと、ならびに針状の形状により土粒子を拘束して強固な骨格を形成することから、強度増進への寄与が大きい。セメント系固化材では、ポルトランドセメントと比較してエトリンガイトを多く生成するように、材料の設計がなされている(図5)。

なお、コンクリートでは多量のエトリンガイトが生成し

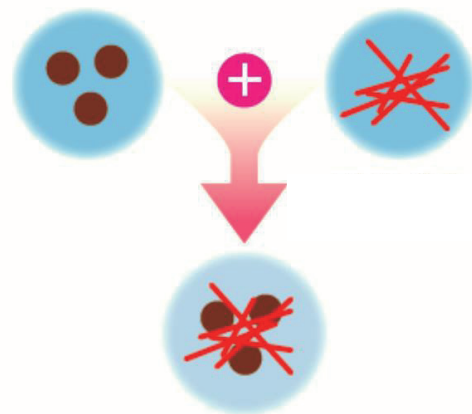


図5 セメント系改良土のポゾラン反応⁴⁾

ても強度の増進には至らず、硬化体の膨張を生じる等、性能上の悪影響がある。セメント系固化材をコンクリートに使用できないのはこのためである。

・ポゾラン反応による硬化

ポゾラン反応とは、セメントの水和反応によって生成した水酸化カルシウムと、セメント以外の材料由来の SiO_2 や Al_2O_3 とが反応し、水和物を生成する反応である。ポゾラン反応は長期的な強度の向上に寄与する。

コンクリートでは、ポゾラン反応とは混和材や混合セメントのフライアッシュ等と、セメントの水和生成物の水酸化カルシウムとの反応を指す。一方、セメント改良土では、一般に土粒子と水酸化カルシウム(Ca^{2+})の反応を指す。セメント改良土におけるポゾラン反応では、ストラトリンガイト($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)等の水和物が生成し、これらの水和物を総称してゲーレナイト水和物とよぶこともある。実際の改良土のポゾラン反応による生成物の分析例として、材齢22年の改良体のXRDによる測定例を図6に示す⁵⁾。ゲーレナイト水和物(図中St)の回折ピークが、材齢6か月と比較して10年、22年では顕著に認められ、長期的に水和反応が進行していることを示している。

4. 水和を阻害する要因

コンクリートとセメント改良土の水和で大きく異なる点として、セメント改良土では土に含まれる成分によって、

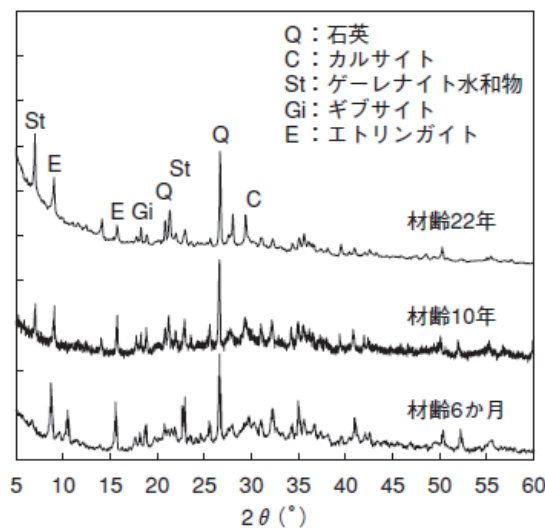


図6 セメント系改良土のXRD例⁵⁾

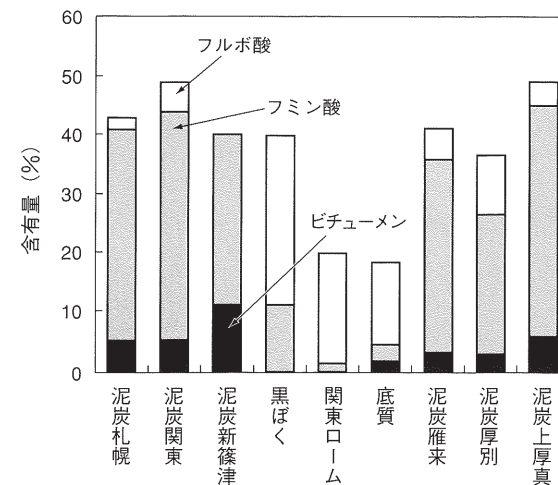


図7 有機物を含む土の含有成分例⁶⁾

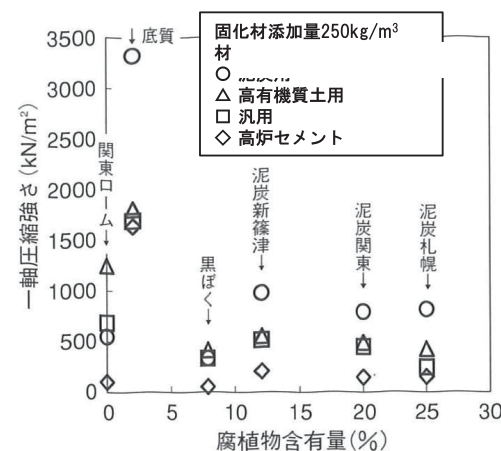


図8 腐植物含有量と一軸圧縮強さの関係⁷⁾

セメントの水和が阻害される点が挙げられる。水和の阻害によって強度発現性は低下する。

・有機物

セメントの水和を阻害する主な有機物として腐植酸が挙げられる。腐植酸は巨大な不定構造の有機高分子であり、酸やアルカリの溶液や有機溶媒への可溶性によって、フミン酸、フルボ酸、ピチューメン等到大別される。これら腐植酸の含有割合は同じ土質でも土によって異なる(図7)⁶⁾。代表的な腐植酸であるフミン酸は、セメントから放出された Ca^{2+} を吸着し、水和を阻害すると考えられている。加えて、有機物は多くの水を保持する性質があり、土に保持される水が増え、その結果、強度は発現しにくくなる。

有機分を多く含有する土を固化するため、セメント系固化材では汎用に加えて、高有機質土用や泥炭用

が存在する。高有機質土用や泥炭用の固化材は有機物が多く含水比が高い土でも高い強度を発現するように(図8)⁷⁾、エトリンガイトの生成量がより多くなるよう材料設計がなされている。

・粘土鉱物

粘土鉱物は水と接触すると表面が負に帯電し、陽イオンを吸着する。セメントから供給される Ca^{2+} が過度に吸着された場合、正常な水和の進行が抑制されてしまう。陽イオンを吸着する能力の高い粘土鉱物としては、モンモリロナイトやバーミキュライトがある。また、非晶質の準鉱物であるアロフェンも Ca^{2+} の吸着能が大きい。アロフェンは関東ローム等の火山灰質粘性土に多く含まれている。アロフェンの含有量の増加に伴って Ca^{2+} 吸着量が増加し、その結果強度は低下する(図9, 10)⁸⁾。

腐植酸も粘土鉱物も Ca^{2+} を吸着する点では共通し

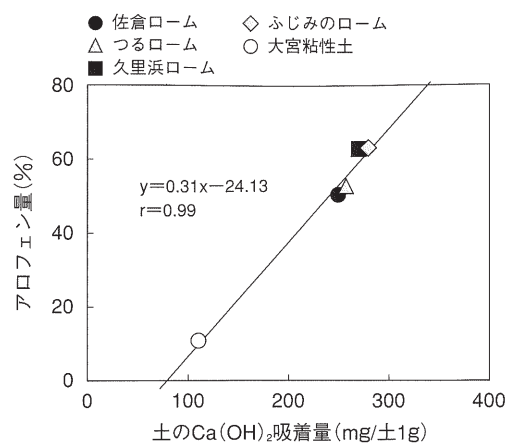


図9 土のCa(OH)₂吸着量とアロフェン量の関係⁸⁾

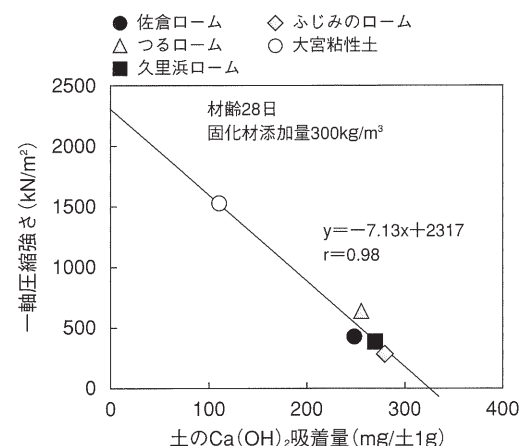


図10 土のCa(OH)₂吸着量と改良体の一軸圧縮強さの関係⁸⁾



写真1 短繊維混合補強土の外観

ている。一方で両者の作用の違いとして、粘土鉱物の場合、多量のCa²⁺が供給されると前述のポズラン反応が進行する点が挙げられる。

・pH

セメントの水和物はアルカリ性で安定であり、pHが4～5と酸性を示す土では、水和の阻害や水和物の分解が問題となる。土が酸性を示す主な要因としては、土中のアルカリの溶脱、腐植酸の含有、ならびにパイライト(硫化鉄)の酸化が挙げられる。中でもパイライトの酸化による反応では硫酸の生成を伴い、pHが4以下まで低下する場合がある。

5. セメント改良土への機能付与

コンクリートでは用途に応じて多様な材料を添加して性能や機能性を付与するが、セメント改良土でも同様

に材料を用いた工法が開発されている。

例えば、硬化体の軽量化を図る目的で、軽量コンクリートでは軽量骨材が用いられ、ALCパネルでは気泡剤が用いられる。セメント改良土にも、気泡剤や発泡スチロール(EPS)製のビーズやブロックを用いた工法⁹⁾が存在する。これらの工法は、荷重軽減による土圧の低減が求められる箇所に適用される。また、硬化体の靱性を高める場合、コンクリートでは繊維を混合した繊維補強コンクリートが用いられる。セメント改良土でも同様に、短繊維を混合した補強土⁹⁾が存在する(写真1)。短繊維混合補強土では、靱性の向上に加え、降雨に対する耐浸食性や流水に対する耐洗掘性が高まる。

また、コンクリートでは流動性の改善や凝結時間の確保にあたり、減水剤や遅延剤等の化学混和剤が使用される。セメント改良土でも、固化材をスラリーで添加する場合、暑中の流動性改善やスラリーの低W/C

化にあたり、化学混和剤を使用するケースがある。近年では施工技術の発展により、特に建築分野ではW/Cが0.6を下回るような低W/Cのスラリーがしばしば用いられる。このような低W/Cのスラリーによる改良は高強度化に加え、排土量の低減といった環境負荷軽減のメリットを有する。遅延剤の活用の一例としては、モンモリロナイト等の膨潤性を有する粘土鉱物を含む膨張性粘土の改良が挙げられる¹⁰⁾。遅延剤によりセメントから供給されるCa²⁺量が抑えられることで、混合時の土粒子の凝集が緩和され、施工性が改善される。また、土留めや止水、構造物の支持等を目的としたソイルセメント杭や地中壁において、芯材建込み時間の確保や施工性の合理化にあたり、遅延剤を活用して硬化を遅らせ、数日間にわたり流動性を確保する工法も検討されている¹¹⁾。

6. おわりに

本稿では、セメント改良土の性能のうち強度に焦点を当て、性能発現や水和阻害のメカニズムを説明し、他材料や化学混和剤の使用による機能付与について紹介した。セメントを用いた硬化体という点ではセメント改良土はコンクリートと共通している。本稿が両者の相

違点・共通点の理解、ひいてはセメント改良土の有効活用の一助となれば幸いである。



のざき たかひと / NOZAKI Takahito
太平洋セメント(株)
環境事業部 eマテリアルグループ
前(一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会
委員長

【参考文献】

- 1) 金城徳一他／土を固める原理と応用 3.改良土の特性、土と基礎、562, pp.59～66, 2004
- 2) 日本建築センター、ベタリビング／2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針―セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法、pp.459～460, 2018
- 3) セメント協会／セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第5版)、2021
- 4) セメント協会／土を固めるセメント系固化材
- 5) セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会／セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究 ―材齢22年試験結果報告―、セメント・コンクリート、No.804, Feb., pp.9～14, 2014
- 6) セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 有機質土WG／土の有機物含有量と固化処理土の強度発現性に関する検討 その1、セメント・コンクリート、No.732, Feb., pp.3～8, 2008
- 7) セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 有機質土WG／土の有機物含有量と固化処理土の強度発現性に関する検討 その2、セメント・コンクリート、No.733, Mar., pp.2～5, 2008
- 8) セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会／火山灰質粘性土のセメント改良体における強度発現に関する影響(アロフェンの影響について)、セメント・コンクリート、No.780, Feb., pp.3～8, 2012
- 9) ハイグレードソイル研究コンソーシアム HP, <https://www.pwrc.or.jp/fukyuu/higradesoil/consortium.html>,
- 10) 野津光夫他／土を固める技術の動向 6.海外の土を固める、地盤工学会誌、68, 744, pp.42～45, 2020
- 11) 三浦俊彦他／硬化遅延剤を添加したソイルセメントの流動性と強度発現予測に関する考察、第56回地盤工学研究発表会講演集、13-3-4-04, 2021

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。

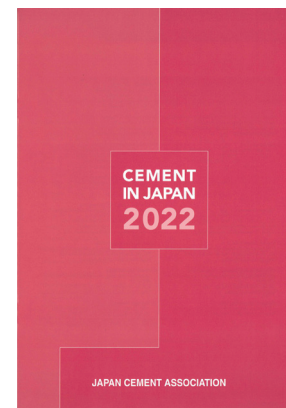
ご希望の方には無料でお届けいたします。

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



バイオ炭を混和した汎用的な環境配慮型コンクリートの開発

Development of concrete mixed with biochar for decarbonization

山本 伸也 幸田 圭司 久保 昌史 田中 博一 清水 和昭

1. はじめに

社会的な環境意識向上の中で、低炭素・脱炭素技術の必要性が高まっており、建設業も迅速な対応を迫られている。主要な建設材料のひとつであるコンクリートはセメントに起因するCO₂排出量の大きい材料であり、一般的に270kg-CO₂/m³程度¹⁾のCO₂排出量がある。近年のコンクリートの年間出荷量は約8千万m³²⁾、国内CO₂排出量は約12億ton³⁾であることから約2%に相当すると概算される。

この課題への対応策としてこれまでに、高炉セメントやフライアッシュセメントなどのCO₂排出原単位の小さいセメントを使用することでCO₂排出量を低減する低炭素型の環境配慮型コンクリートが複数開発されている。しかし、その多くはプレキャスト製品への適用に限定されており、現場打設が困難であることから汎用性に課題がある。また、コンクリートとしてカーボンニュートラルや

ネガティブを実現できるものは少ない。

著者らは、カーボンニュートラルを実現可能で、普通コンクリートと施工性および品質が同等の、汎用的な環境配慮型コンクリートの実現を目的に、炭素貯留効果を有するバイオ炭を混和したコンクリート(バイオ炭コンクリート)の開発を行った。ここではバイオ炭コンクリートの概要、性能および現場適用の結果を紹介する。

2. バイオ炭コンクリートの概要

2-1. 炭素貯留の仕組み

バイオ炭コンクリートは、バイオ炭を混和したコンクリートであり、図1のようにコンクリート内部に炭素を貯留する特長を有する。

バイオ炭およびバイオ炭コンクリートによる炭素貯留の仕組みについて以下に説明する。2019年改良IPCCガイドラインにおいて、バイオ炭は、「燃焼しない水準に管

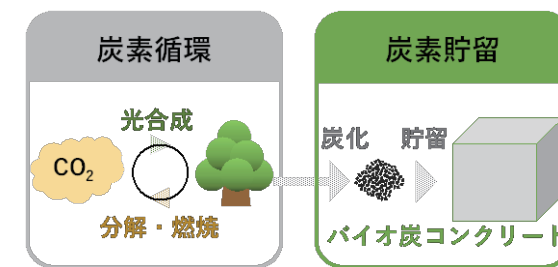


図1 バイオ炭コンクリートの炭素貯留

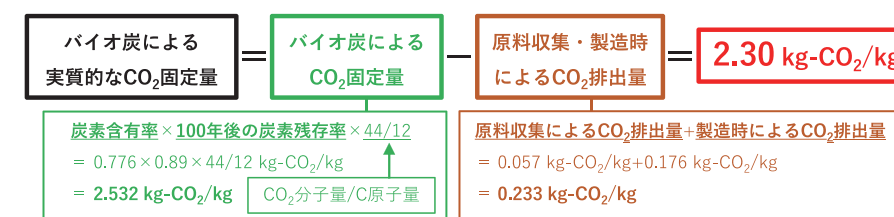


図2 バイオ炭による実質的なCO₂固定量の算出方法

理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義されている⁴⁾。バイオ炭の特長は難分解性炭素を主体に構成されている点である。難分解性炭素は、炭化される過程で有機物中の炭素が、通常の下では分解しにくい形態に変化したものである。有機物中の炭素は、元をたどれば植物が光合成の過程で大気中のCO₂を吸収したものであるが、通常の下では微生物に分解されるなどして再び大気中のCO₂に戻ってしまう。つまり、通常であれば大気中のCO₂に戻ってしまうはずの炭素を安定した固形物にしたものがバイオ炭といえる。

このようなバイオ炭の特性を利用し、国内のカーボンクレジット制度であるJ-クレジットでは、バイオ炭を農地土壌へ施用することで、土壌への炭素貯留を認める方法論が策定されている。これは炭素成分が長期間分解されずに地中に貯留されることを根拠とした考えである。バイオ炭混和によるコンクリートへの炭素貯留は、現時点においてJ-クレジットでは認められていないが、農地施用との違いは貯留先がコンクリートという点のみである。なお、一部のボランタリークレジットではすでにコンクリートへの炭素貯留も認証対象として検討されている⁵⁾。

2-2. バイオ炭コンクリートのCO₂排出量

バイオ炭コンクリートのCO₂排出量計算に必要なバイ

オ炭による実質的なCO₂固定量(他材料におけるCO₂排出原単位に相当)は、J-クレジットの方法論⁴⁾に準拠し図2のように求めた。使用しているバイオ炭1kgあたり2.30kgの実質的なCO₂固定効果があることがわかった。

「バイオ炭によるCO₂固定量」の計算要素を以下に述べる。まず、炭素含有率は分析試験(日本バイオ炭普及会規格JBAS0002)の結果から得られるバイオ炭中の難分解性炭素の質量比である。使用バイオ炭は過去6か月間7回の分析の結果、平均77.6%、標準偏差1.3%であった。ただし、分析値はバイオ炭のロットや保管状況で変化する可能性があるため、都度、取得することが望ましい。次に、100年後の炭素残存率とは、難分解性炭素が100年間のうちに分解や流失などにより貯留先から失われる分を考慮する係数である。J-クレジットの方法論で定められているオガ炭を土壌へ施用した場合の89%を引用した。ただし、土壌と異なりコンクリート内部のバイオ炭は流失せず、風雨に暴露されないと考えられるため、炭素残存率が向上する可能性がある。コンクリートに貯留する場合の炭素残存率の算定は今後の課題である。最後に、貯留する炭素質量をCO₂としての質量に変換するためCO₂分子量/C原子量(=44/12)を乗じる。

「原料収集・製造時によるCO₂排出量」はバイオ炭の原料収集および製造で発生するCO₂の総計である。原

やまもと しんや / YAMAMOTO Shinya
清水建設(株) 技術研究所

ゆきた けいじ / YUKITA Keizi
同上
土木技術本部

くぼ まさふみ / KUBO Masafumi
同上

たなか ひろかず / TANAKA Hirokazu
清水建設(株) 技術研究所

しみず かずあき / SHIMIZU Kazuaki
同上



図3 使用バイオ炭の製造フロー

表1 バイオ炭コンクリートのCO₂排出量の一例

配合	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					バイオ炭以外の材料のCO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /m ³)	バイオ炭のCO ₂ 固定量(kg-CO ₂ /m ³)	CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /m ³)	BBベースに対するCO ₂ 削減率(%)
		W	C	S	G	バイオ炭				
BBベース		169	307	817	1008	0	141	0	141	0
BB炭粒30	55	169	307	769	1008	30	141	69	72	49
BB炭粒60		169	307	719	1008	60	141	138	3	98
①BCベース		169	338	802	989	0	95	0	95	33
②BC炭粉15		169	338	777	989	15	95	34	60	57
③BC炭粉30	50	169	338	752	989	30	95	69	26	82
④BC炭粒30		169	338	752	989	30	95	69	26	82
⑤BC炭粒60		169	338	704	989	60	95	138	-43	131

表2 各材料のCO₂排出原単位

W	C		S	G	バイオ炭
	BB	BC			
0.0002	0.4396	0.2645	0.0035	0.0028	-2.30

単位 : kg-CO₂/kg

料収集では、使用トラックおよび収集範囲から考える中で最もCO₂排出量が多くなる運搬ケースで計算した。製造には、工場の消費電力および化石燃料使用量を元に算出した。

図3に本開発で使用したバイオ炭の製造過程を示す。製材所で副産物として発生するオガ粉を工場に運搬し、成形・炭化して棒状のバイオ炭(オガ炭)を製造する。それを粉碎・分級して粉状(1mm以下)と粒状(2~5mm)のバイオ炭を用意した。2種類の粒径を検討したのは、バイオ炭の粒径がコンクリートの性能に与える影響を検討するためである。

バイオ炭コンクリートのCO₂排出量の一例を表1に示す。CO₂排出量の計算に使用した各材料のCO₂排出原単位^{6~9)}を表2に示す。バイオ炭はCO₂を固定する

ためCO₂排出原単位は負の値になる。表示した配合は全て、練上がりフレッシュ性状の調整(スランプ15cm±2.5cm, 空気量4.5%±1.5%)が可能であることを確認済みである。バイオ炭混和については、結合材としての性質はなく、粒度が細骨材に近いことから、基本配合の細骨材に置換した。バイオ炭のCO₂固定量で他材料のCO₂排出量をオフセットしてコンクリートとしてカーボンニュートラルを実現できるように、CO₂排出原単位の小さい高炉セメントを使用した。圧縮強度レベルを合わせるために、BCセメント配合はW/Cを5%減少させている。

CO₂排出量は、BBセメント配合の場合、バイオ炭を30kg/m³混和すると基本配合に対し49%削減の72kg-CO₂/m³となり、60kg/m³混和すると98%削減してほぼカーボンニュートラルの3kg-CO₂/kgとなる。BCセメント配合の場合はW/Cの影響でセメント量は増えるものの、CO₂排出原単位がBBセメントの約60%になるため、BB配合に比べCO₂排出量は小さくなる。バイオ炭を60kg/m³混和すると、バイオ炭のCO₂固定量が他

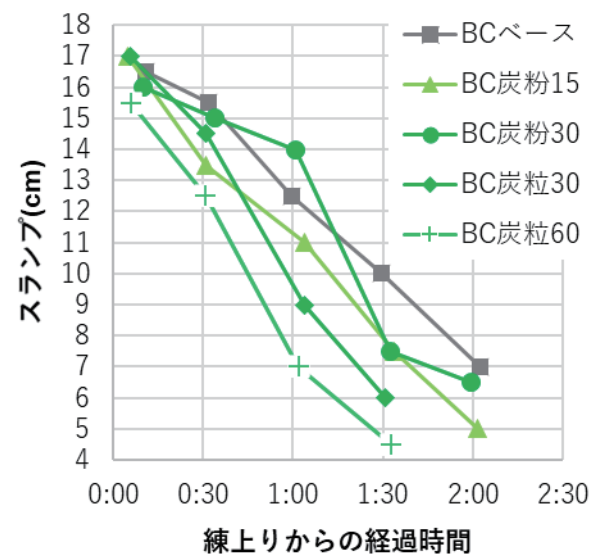


図4 スランプ経時変化の一例

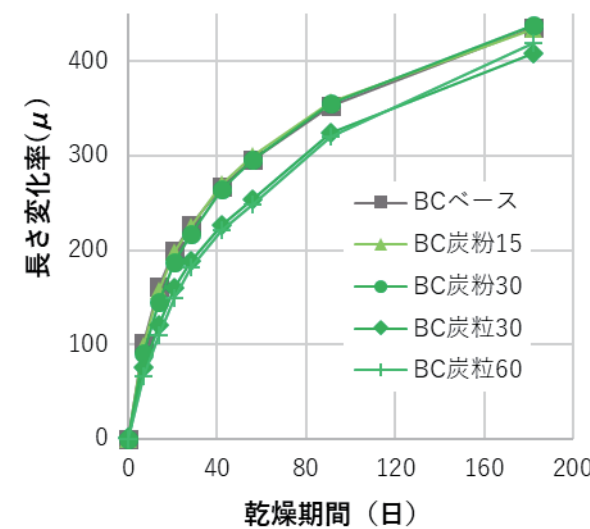


図6 乾燥収縮の一例

材料のCO₂排出量を43kg上回り、コンクリートとしてトータルでカーボンネガティブとなる。なお、使用バイオ炭の比重は約1.6であるため、60kg/m³混和しても体積比は約4%であり、バイオ炭は少量で大きな効果を持つことがわかる。

2-3. バイオ炭コンクリートの各種性能

バイオ炭コンクリートの施工性および品質の評価を目的として、生コンプラントの実機ミキサーを用いた練混ぜ試験を実施した。その結果の一部を紹介する。試験した配合は表1における、①~⑤の配合である。①BCベースはバイオ炭無混和の配合であり、②③は粉状の

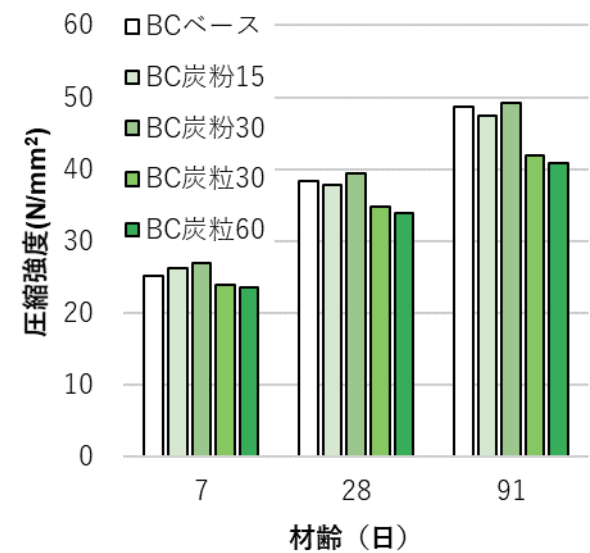


図5 圧縮強度発現の一例

バイオ炭をそれぞれ15,30kg/m³混和した配合、④⑤は粒状のバイオ炭をそれぞれ30,60kg/m³混和した配合である。②~⑤のバイオ炭混和分はBCベースの細骨材を置換している。

図4にスランプ経時変化の一例を示す。練上がりスランプ15cm±2.5cmを目標値として製造し、練上がり後はアジテーター車で攪拌を継続した。バイオ炭の混和量に従ってスランプロスが大きくなる傾向はあるが、上越し管理によって生コンプラントから運搬時間1時間程度の範囲にスランプ8cmまたは12cm基準で供給可能であると考えられる。スランプロスが大きくなる原因としては、バイオ炭自体の吸水や、特に粉状の場合に比表面積が増加し、自由水分が減少することによると推測される。圧縮強度発現を図5に示す。①BCベースと比較すると、粉状バイオ炭を入れた②③配合は同等であった一方、粒状バイオ炭を入れた④⑤配合は10%ほど低下した。バイオ炭は強度が低いため、粒状のバイオ炭は空隙のように力学的な弱点になった可能性がある。しかし、影響は限定的であり、どの配合も材齢28日で目安となる一般的な圧縮強度24N/mm²を上回った。

乾燥収縮を図6に示す。①BCベースに対して、粉状バイオ炭を15kg/m³入れた②配合は同等、その他のバイオ炭を30kg/m³以上入れた③~⑤配合は10%程度の収縮低減効果が確認された。バイオ炭は多孔

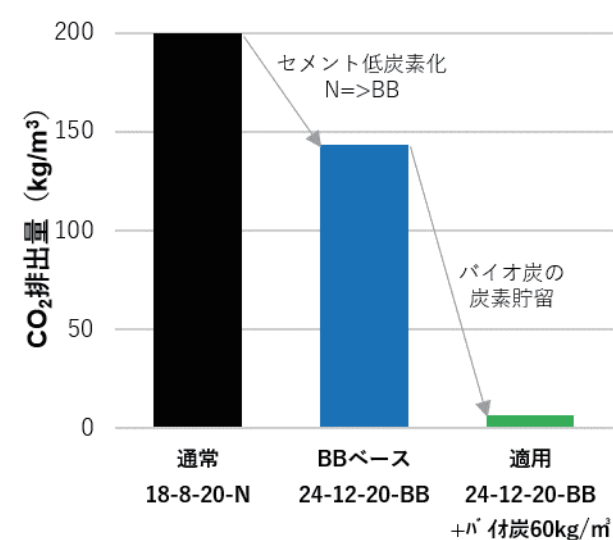


図7 CO₂排出量の低減

質であり水分を保持することから、乾燥時にコンクリート内部に水分を放出することで、乾燥収縮を低減した可能性がある。バイオ炭混和量の多い③～⑤配合でこの現象が顕著になった可能性がある。

他にも、ブリーディング、凝結、促進中性化試験などでバイオ炭コンクリートの性能をベース配合と比較したが、どの試験でもベース配合に対しておおむね同等であることを確認している。

3. 現場適用

2022年10月に新東名高速道路川西工事(発注者：中日本高速道路(株))における場内工事用道路の仮舗装コンクリートにバイオ炭コンクリートを適用した。適用したのは、ベースとなる高炉セメントB種の配合に粒状のバイオ炭を60kg/m³混和した配合である。図7に当現場で通常、舗装コンクリートに使用する配合、適用配合のベースとなる配合(BBベース)、バイオ炭を混和した適用配合のCO₂排出量を示す。なお、バイオ炭のCO₂固定原単位は、適用時に使用した約2.1tonのバイオ炭から抽出した3サンプルの炭素含有率平均から2.27kg-CO₂/kgと算出した。適用配合のCO₂排出量は、通常配合の199kg-CO₂/m³に対し、96%削減の7kg-CO₂/m³まで抑制された。通常配合とBBベース配合の差分56kg-CO₂/m³が高炉セメント

B種による低炭素化の効果で、BBベース配合と適用配合の差分136kg-CO₂/m³がバイオ炭による炭素貯留の効果である。打設数量は34.5m³だったことから、工事としての二酸化炭素削減量は(199-7)kg-CO₂/m³×34.5m³＝約6.62ton-CO₂となった。なお、適用配合の品質目標値は、土木分野で汎用的な設計基準強度の配合で施工性などを実証するために、スランプ12cm、圧縮強度24N/mm²とした。

図8に適用時の状況を示す。現場から道のり7kmに位置する生コンプラントで製造したバイオ炭コンクリートをアジテーター車で運搬し、適用箇所にホッパーとバックホーを使用して打設した。一般的なコンクリート同様、バイブレーターを用いた振動による締固めを行った後、トンボやコテで表面を均して仕上げた。ワーカビリティは良好で、打設作業は全体を通して滞りなく完了した。適用箇所は供用後、1日あたり10tダンプ300台、40tダンプ30台が通行し、約3年間使用する予定である。

フレッシュ性状の変動を確認するため、バイオ炭を運搬した全9台のアジテーター車のうち1・4・8台目について生コンプラントで練上がり直後にフレッシュ試験を実施した。1台目については現場での荷卸し時に受入れ試験を実施した。これらのフレッシュ性状試験の結果を表3に示す。試験した3台ともフレッシュ性状は安定していた。打設の際のワーカビリティも全体を通して安定していたことから、バイオ炭コンクリートのフレッシュ性状の安定性を確認することができた。

圧縮強度を確認するために、1台目のアジテーター車から円柱供試体(φ100×200)とコア抜き用ブロック(W1000×B1000×H500)を採取した。円柱供試体はJIS A 1132に準拠し、鋼製モールドを用いて作製し、標準水中養生した。コア抜き用ブロックは、木型枠にバイブレーターを用いて打設することで作製し、適用箇所付近の屋外ヤードに置くことで、打設した舗装コンクリートに近い養生環境になるようにした。コア供試体を材齢3週時点でコア抜き用ブロックから採取した。材齢4週で圧縮強度試験を実施したところ、モールド供試体は36N/mm²、コア供試体は34N/mm²の強度発



図8 場内工事用道路の仮舗装コンクリートへの適用

表3 フレッシュ性状

試験項目	1台目 練上り	1台目 荷卸し	4台目 練上り	8台目 練上り
スランプ (cm)	14.0	10.5	12.0	12.0
空気量 (%)	5.5	4.5	6.0	5.5
温度 (°C)	20	20	20	20

現をしており、目標値の24N/mm²を満足していた。また、モールド供試体とコア供試体で大きな差異はないことがわかった。

4. まとめ

カーボンニュートラルを実現可能で、普通コンクリートと施工性および品質が同等の、汎用的な環境配慮型コンクリートの実現を目的に、炭素貯留効果を有するバイオ炭を混和したコンクリートの開発を行った。

当該コンクリートは、

- ・自然条件下では分解しにくい難分解性炭素を含有するバイオ炭をコンクリートに混和することで、コンクリートに炭素を貯留する。
- ・貯留した炭素量に応じたCO₂削減効果を有する。
- ・セメントなどのコンクリート材料のCO₂排出量(A)を、炭素貯留によるCO₂削減量(B)でオフセットすることで、コンクリートとしてのCO₂排出量を低減する。B>=Aで

あれば、カーボンニュートラルまたはネガティブとなる。

・現場での打設や圧送が可能なフレッシュ性状であり、圧縮強度などの硬化性状は普通コンクリートと同等であることを実験的に確認している。

・場内工事用道路の仮舗装コンクリートに適用済みであり、施工性に問題のないことを確認した。

【参考文献】

- 1) (一社)日本建設業連合会HPより「低炭素型コンクリートの普及促進に向けて」参照：https://www.nikkenren.com/publication/fl.php?fi=444&f=low-carbon_pamph_A4.pdf(閲覧日：2022年12月26日)
- 2) 全国生コンクリート工業組合連合会／全国生コンクリート協同組合連合会HPより全国生コンクリート出荷実績(月次)参照：<https://www.zennama.or.jp/3-toukei/nenji/index.html>(閲覧日：2022年12月26日)
- 3) 環境省HPより2018～20年度の温室効果ガス排出量(確報値)について参照：<https://www.env.go.jp/press/107914.html>他(閲覧日：2022年12月26日)
- 4) Jクレジット制度HPよりバイオ炭の農地施用方法論参照：https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v1.4.pdf(閲覧日：2022年12月26日)
- 5) VERRA HPよりVM0044 METHODOLOGY FOR BIOCHAR UTILIZATION IN SOIL AND NON-SOIL APPLICATIONS, V1.0参照：https://verra.org/wp-content/uploads/Biochar_Methodology-Assessment-Report_v1.1_clean.pdf(閲覧日：2022年12月26日)
- 6) 東京都水道局HPより：<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/co2.html>(閲覧日：2022年12月26日)
- 7) (一社)セメント協会／セメントのLCIデータの概要、2022.3
- 8) 辻 大二郎、小島 正朗、檀 康弘／二酸化炭素(CO₂)排出量を6割削減できる高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの実工事への適用、建設機械施工Vol.69, No.3, pp.9～14, 2017.3
- 9) 河合 研至／コンクリートの環境負荷評価 ②コンクリートに関わる環境負荷評価方法、コンクリート工学Vol.50, No.7, pp.635～639, 2012.7

セメント系材料の反応に及ぼす アルカノールアミン系添加剤の役割と その作用メカニズム

Roles of alkanolamine additives on reactions of cement materials and their action mechanisms

茶林 敬司 大西 雄大 安達 丈 新 大軌

1. はじめに

セメント産業のCO₂排出量は国内の産業部門では第4位となっており、地球規模での気候変動を抑制する観点から、CO₂排出量削減は喫緊の課題である。セメント産業で排出されるCO₂は、主にセメントクリンカ製造時における化石エネルギー燃焼起源と石灰石の脱炭酸起源であり、ポルトランドセメントのCO₂排出原単位は表1に示す通りである¹⁾。両起源のCO₂排出量削減には、セメントの一部を高炉スラグ微粉末(BFS)やフライアッシュ(FA)などの混合材と置換し、混合セメントとし、セメントクリンカ量を低減することが有効であると考えられる。また混合材の有効利用により資源循環型社会への貢献も大きくなる。混合セメントは普通ポ

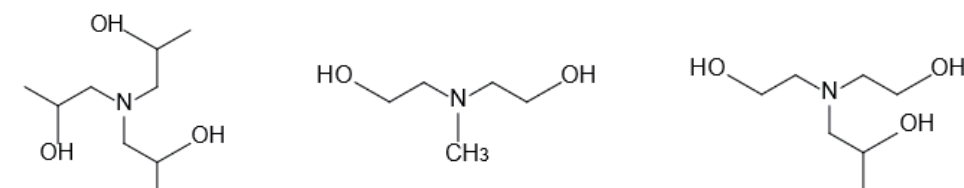
表1 ポルトランドセメントのCO₂排出原単位
(kg/t-セメント)

石灰石脱炭酸起源	475.5
化石エネルギー燃焼起源	282.7
合計	758.2

ルトランドセメント(以下、OPCと称する)と比較して水和反応熱の抑制、作業性の向上、高い水密性、長期強度の増加などの性能面の長所がある一方で混合材の置換率増加に伴い、初期強度の低下が懸念される。初期強度の低下は混合材自体の水硬性が低いことが挙げられるため、混合材自体の反応性を向上させるとや混合セメント中のベースセメントの反応性を向上させ、混合材置換による強度低下分をフォローすることが必要となる。セメントの反応性を向上させるためには、セメントの鉱物組成を高C₃S(エーライト)にすること²⁾や添加剤を加えて鉱物の反応性を向上させることが考えられる。添加剤には一般的に、亜硝酸カルシウム³⁾などの無機系化合物などが知られており、セメントの水和過程でカルシウムイオンや水酸基の溶出速度を速め、それらイオンの拡散・移動を助長することで初期強度を高めているとされている。

他方で、セメントクリンカの粉砕助剤として使用されているアルカノールアミンは、セメントの初期水和反応を活性化させ、初期強度の増進効果があることや、石灰石微粉末の存在下でその効果が大きくなることをGartner⁴⁾や市川ら⁵⁾は指摘している。

さらに、アルカノールアミンの一種であるトリイソプロ



MDEA
(Methyldiethanolamine)

図1 第三級アルカノールアミンの一例

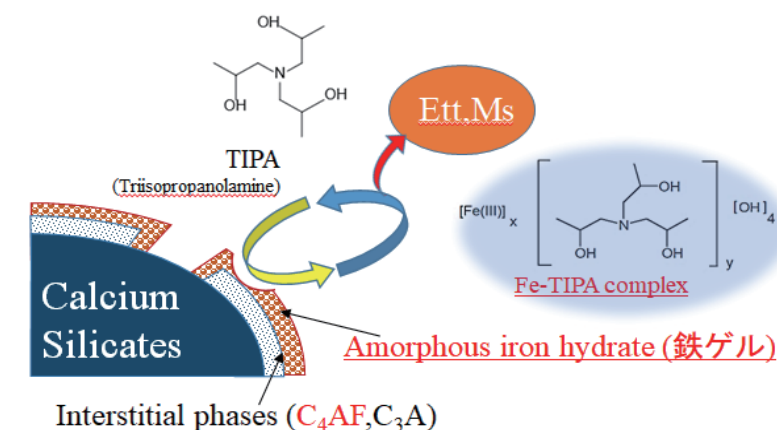


図2 反応メカニズムのイメージ図
[参考文献3)を参考にして作図]

パノールアミン(以下、TIPAと称する)をFAセメントの添加剤として使用した場合に初期強度の増進効果があることが報告されている⁶⁾。したがって、適切に用いればアルカノールアミンを混合セメントの初期強度改善剤として利用できる可能性があると考えられる。

本稿では混合セメントの初期強度改善を目的に、セメントの水和活性を向上させるために添加剤としてアルカノールアミンを検討した事例を紹介する。

2. アルカノールアミン系添加剤の 作用メカニズム

アルカノールアミンとは、アルカン骨格にヒドロキシ基とアミノ基を持つ化合物であり、アンモニア(NH₃)の水素原子に対して炭化水素の置換数によって一級、二級および三級アミンに分けられる。コンクリート用添加剤などで使用される代表的なアミンは三級アミンに属する。これは、一級アミンは劇物に該当し、引火点が低く実際の使用が困難であり、二級アミンは、アンモニア臭

が強く毒性が高いこと、コンクリートへ添加した場合に空気量が安定しない等の課題があるためである。図1に第三級アルカノールアミンの一例を示す。

アルカノールアミンのうちTIPAの反応促進メカニズムのイメージを図2に示す。また、TIPAのセメントの初期水和反応促進メカニズムに関する既往の報告^{4,5)}より、主たる知見を整理すると、次の通りである。セメントの水和において、C₄AFの水和進行に伴いFeを主成分とした難溶性で非晶質のゲル水和物(鉄ゲル)が形成される。水和反応の進行に伴い、鉄ゲルはセメント粒子表面を覆うように生成するため、未反応のセメント鉱物への水やイオンの接触が阻害されることでセメントの水和反応は停滞していく。しかし、系中にアルカノールアミンが存在すると、選択的にFeイオンと錯体を形成してFeイオンが液相へ溶解することで、未水和のセメント鉱物の表面を覆う鉄ゲル層を解消させることになり、セメントの水和活性を増進させる。溶解したFeイオンはエトリンガイト(Aft)やモノサルフェート(AFm)の生成に消費され、アルカノールアミンは再び



ちゃばやし たかし / CHABAYASHI Takashi
(株)トクヤマ
セメント開発グループ 主席
島根大学大学院 自然科学研究科



おおにし たかひろ / ONISHI Takahiro
(株)トクヤマ
セメント開発グループ



あだち じょう / ADACHI Jo
同上



あたらし だいき / ATARASHI Daiki
島根大学
学術研究院環境システム科学系
准教授

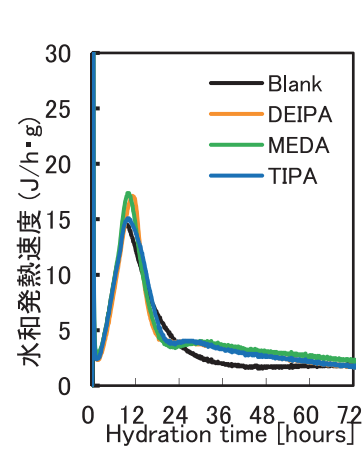


図3 水和発熱速度

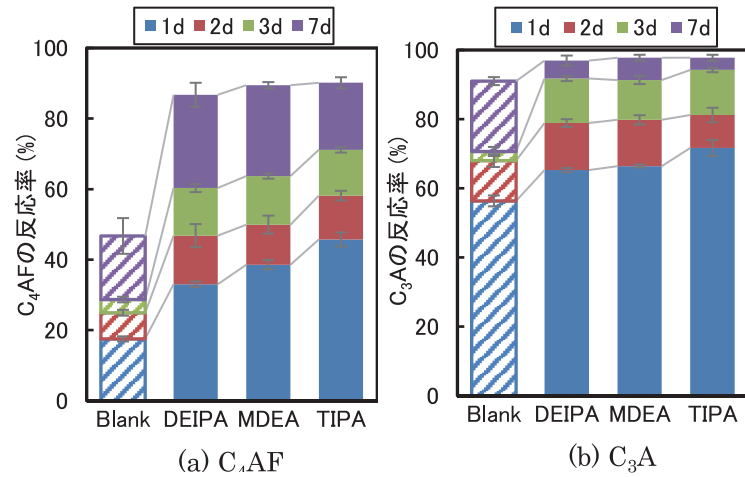


図4 間隙相の反応率

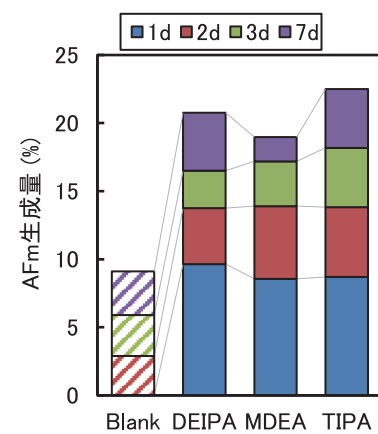


図5 モノサルフェートの生成量

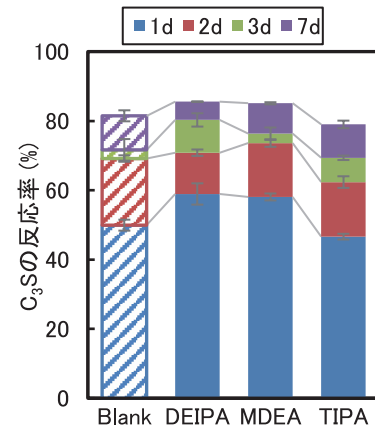


図6 C₃S反応率

鉄ゲル層のFeイオンと錯体を形成して鉄ゲル層の水和に寄与する。このようにアルカノールアミンは触媒的サイクルによって鉄ゲル層を持続的に解消させることで、セメント中のC₄AFの水和活性が向上するとされている。

3. 普通ポルトランドセメントの水和反応に及ぼすアルカノールアミン系添加剤の影響⁷⁾

図3に研究用普通ポルトランドセメントに各種アルカノールアミンを0.04mass%添加した系の水和発熱速度を示す。いずれのアルカノールアミンでも無添加(Blank)と比較して12時間付近の発熱ピークが高くなり、特にDEIPAやMDEAを添加した場合が顕著となっている。またいずれのアルカノールアミンでもモノサルフェートの生成に伴うと思われる30時間付近のピークがBlankと比較して増大している。図4に間隙相(C₄AF, C₃A)およ

びC₃Sの反応率を示す。アルカノールアミン無添加の場合、C₄AFの反応率は材齢1日では20%以下であり、材齢7日でも50%に満たない。しかし、いずれのアルカノールアミンを添加することにより、材齢1日から反応率は30%を超え、材齢7日では反応率が80%以上となっておりC₄AFの水和活性が顕著に向上されている。このことより、MDEA、DEIPAもTIPAと同じく、鉄ゲル層の解消に効果がありC₄AFの反応を促進させることが確認されている。またC₃Aについてもアルカノールアミン添加によりいずれの材齢も反応率が増進している。

モノサルフェートの生成量を図5に示す。アルカノールアミンの添加により、Blankと比較して3倍程度増加しており、間隙相の反応率増進傾向と一致している。一方で図6に示すC₃Sの反応率を見ると、DEIPA、MDEAでは無添加と比べて増進しているものの、TIPAではやや減少する結果となっている。これはTIPAの場

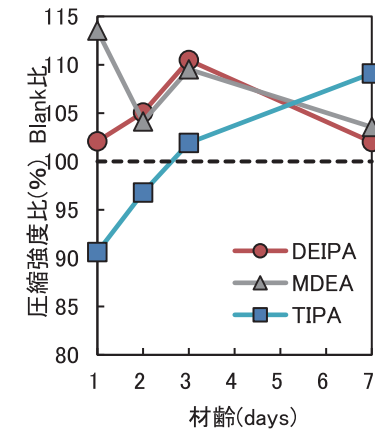


図7 Blankとの圧縮強度比

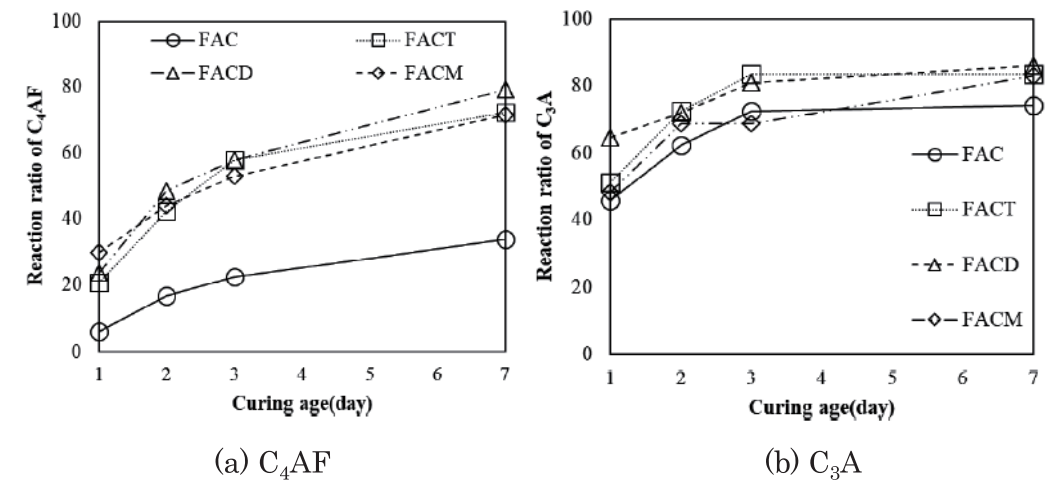


図8 フライアッシュセメント(FAC)中のC₄AFおよびC₃Aの反応率

合、DEIPAやMDEAと比較して間隙相の反応性向上が高く、過剰なAl³⁺の溶出がC₃Sの反応性に影響した可能性も考えられるが、詳細な検討が今後必要と考える。

図7にBlankとの強度比を示す。MDEAおよびDEIPAを添加した場合、材齢1日から無添加と比較して強度増進が確認され、材齢7日までの初期強度が増進している。TIPAは、材齢2日までは無添加より強度は低いものの、材齢3日以降では強度増進効果が確認されている。材齢2日までのTIPA添加による強度の低下は上述のC₃Sの反応率低下によるものと考えられ、この系では、TIPAよりもMDEAおよびDEIPAの方が初期強度発現には有効であると考えられる。

4. 混合セメントへの適用検討

混合セメントへのアルカノールアミンの適用にはフライ

アッシュセメントの検討がされている⁸⁾。フライアッシュを内割で25%置換したセメント(FAC)に各種アルカノールアミン系添加剤を添加した系(TIPA添加: FACT, DEIPA添加: FACD, MDEA添加: FACM)のC₄AFおよびC₃Aの反応率の経時変化を図8に示す。FAC中でもいずれのアルカノールアミンを添加することで間隙相の反応が促進される傾向であり、特にC₄AFの反応が大きく促進していることがわかる。また、材齢1, 2日目における各試料の2θ=8.5~10.5°の範囲におけるXRDパターンを図9に示す。アルカノールアミン添加系では材齢初期からモノサルフェートのピークが確認されており、上記した間隙相の反応促進によりモノサルフェートの生成が促進されていることがわかる。以上のようにフライアッシュセメントへアルカノールアミンを添加した場合においても、研究用普通ポルトランドセメントでの検討と同様にセメント鉱物の反応促進に寄与することが確認さ

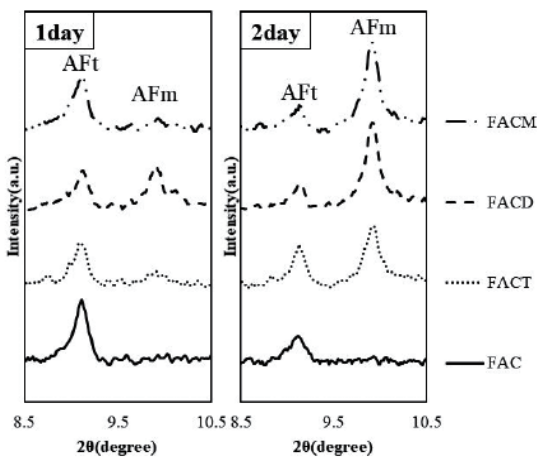


図9 材齢1,2日のXRDパターン

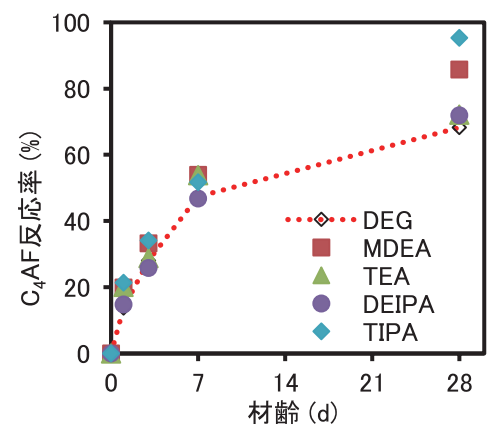


図10 C₄AFの反応率

れており、フライアッシュセメントの初期強度増進が期待される。

既往の研究⁵⁾によりTIPAは石灰石微粉末との併用により強度増進効果が高いことも報告されていることから、混合材の種類・混合比を最適化することでアルカノールアミンの促進効果がさらに高まると考えられるため、今後より詳細な検討が望まれる。

5. 高C₄AF組成への適用検討

上述の通り、アルカノールアミンは特にC₄AFの反応性向上に寄与することから、C₄AFの含有量を高めた組成ではより有効であると考えられる。

高C₄AFの組成としては、セメントクリンカ製造工程における省エネルギーおよびCO₂削減を目的に表2に示す現行普通ポルトランドセメント組成からC₄AFを増

表2 低温焼成型(高C₄AF型)クリンカの鉱物組成例

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
OPC組成	62	15	10	9
低温焼成型組成(高C ₄ AF型)	61～65	6～9	8～9	16～18

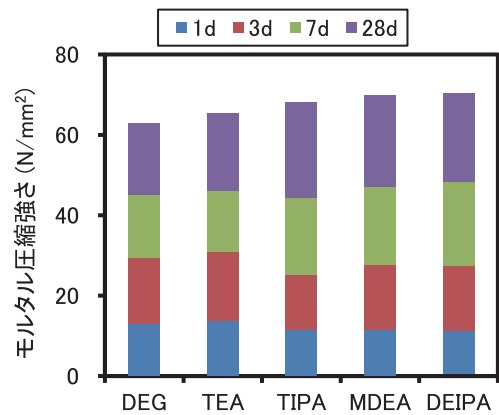


図11 モルタル圧縮強さ

加させた低温焼成型組成クリンカが提案されている⁹⁾。

C₄AF増加により、キルン内での融液量が増加し、クリンカの焼成温度を現行の普通ポルトランドセメント組成から100℃程度低減可能な組成である。増加させたC₄AFの反応性を向上することができればセメント物性の改善に繋がると考えられる。ここでは、クリンカと石こうを粉碎し、セメントを試製する際の粉碎助剤として300ppm添加した一例を示す¹⁰⁾。比較対象はジエチレングリコール(DEG)とし、各アルカノールアミン添加によるC₄AFの反応率を図10に示す。この系においてアルカノールアミンの種類により差はあるものの、DEGよりも初期材齢から反応率が増加傾向であることが確認され、各種アルカノールアミンを粉碎助剤として添加した場合でもC₄AFの反応促進効果が認められた。一方で図11に示す強度発現性に関しては、初期材齢ではDEG添加と同等であり、明確な初期強度増進効果は見られなかったが、材齢7日以降ではDEGよりも強度発現性が良好になる結果が得られている。これらはC₃Sの反応率にも関係していると推定されることから、より詳細な検討が必要であると考えますが、アルカノールアミンの添加により、高C₄AF組成においてもセメント物性改善の可能性があることが示されている。

焼成温度を低減したクリンカをベースとした混合セメン

トにすることで、CO₂削減などより環境負荷の低いセメントの材料設計が可能となることから、今後は練り混ぜ時の添加剤として用いる検討などの最適化が望まれる。

6. おわりに

本稿では、セメント系材料の反応に及ぼすアルカノールアミン系添加剤の役割とその作用メカニズムについて紹介した。アルカノールアミンを添加することにより、主に間隙相に反応を促進し、初期材齢から強度増進に寄与することから混合セメントへの適用が有効であると考えられる。クリンカ製造時のCO₂削減とともに混合材の有効利用を進めることにより低炭素・資源循環型社会の構築に多大な貢献を果たすことが期待される。

【参考文献】

- 1) セメント協会／セメントのLCIデータの概要
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jgli_01.pdf
- 2) 新杉匡史他／混合セメントにおける高エーライトクリンカーの利用、セメント・コンクリート論文集, Vol.68, pp.212～217, 2014
- 3) 伊藤貴康他／塩基度とAl₂O₃量の異なるスラグの水和に及ぼす亜硝酸カルシウム添加の影響,セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.30～37, 2020
- 4) E.Gartner／CBA Processing Addition for Ordinary and Blended Portland Cement a Technology Update, W.R.Grace&Co.Washington Reasarch Center, pp.1～7, 1996
- 5) 市川牧彦他／セメントのキャラクタリゼーションとトリイソプロパノールアミンによる強度増進効果の関連性, セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.110～115, 1996
- 6) 宮川美穂他／アミン系強度増進剤の各種混和材に対する効果に関する研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.111～116, 2016
- 7) 大西雄大他／セメントの初期水和に及ぼすアルカノールアミンの影響, 第71回セメント技術大会講演要旨, pp.58～59, 2017
- 8) 宋玄真他／フライアッシュセメントの初期水和反応に及ぼすアルカノールアミンの影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.59～64, 2019
- 9) 茶林敬司他／鉱物組成の調整によるクリンカー焼成温度低減に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.217～222, 2012
- 10) 森明義他／粉碎助剤が低温焼成型セメントに及ぼす影響, 第73回セメント技術大会講演要旨, pp.198～199, 2019

第28回「豊かで住みよい国づくり」フォトコンテスト作品募集

「国土交通Day(7月16日)」の行事の一環として、国民の生活に深いかかわりをもつ、国土交通行政の意義や重要性を一人でも多くの方々に理解していただくため、全国各地で実施している国土交通諸事業の身近な事例をテーマに、広く一般の方々の目を通してとらえた第28回「豊かで住みよい国づくり」フォトコンテストを実施します。多くの皆様からの応募をお待ちいたしております。

主催：(一社)建設広報協会

後援：国土交通省

応募資格：制限はありません(作品数は一人3点まで)

テーマ：「豊かで住みよい国づくり」一人が動く 国土が躍動する一

締切：2023年5月31日(水)当日消印有効

賞：最優秀賞(国土交通大臣賞)1点 賞状および賞金 15万円ほか多数

応募の詳細および問合せ先：

(一社)建設広報協会 フォトコンテスト 係

〒102-0094 東京都千代田区紀尾井町3-30 紀尾井町山本ビル

電話：03-3264-5501 ホームページURL：https://cprahp.com/

特殊パラフィンエマルジョンを使用した コンクリートの適用事例

Application Examples of Concrete Containing Special Paraffin Emulsion

岡田 明也 丸田 浩 中村 浩章 早川 隆之 長塩 靖祐 杉山 彰徳

1. はじめに

北海道や東北地方のコンクリート構造物では、凍害による劣化が問題となっている。中でも近年は、NaCl等の凍結抑制剤が散布される環境下で生じるスケーリング(以下、ソルトスケーリングと称する)の発生が多く確認されている¹⁾。一般に、凍害劣化に対する効果的な対策としては、AE剤による微細な独立気泡(エントレインドエア)の導入であり、JIS A 5308では、凍害対策等の観点から、普通コンクリートの空気量を $4.5\pm 1.5\%$ と規定している。また、東北地方ではソルトスケーリングの対策として、練上がり直後の目標空気量を6.0%以上に規定している手引き等が整備されている²⁾。

一方、レディーミクストコンクリートの空気量は、施工時に様々な影響を受け減少することが知られており、特に、圧送やバイブレータによる振動締固めの影響が大きいと報告されている^{3~5)}。このことから、練上がり

直後または現場到着時に所定の空気量が確保されていた場合であっても、打込み後のコンクリートにおいては空気量が減少し、耐凍害性の低下が懸念される。また、6.0%以上の空気の導入は、圧縮強度の低下や乾燥収縮率の増加を招くほか、工場で製造する際に化学混和剤量の調整が難しいことが課題として挙げられている。

このような背景から、硬化コンクリートの耐凍害性を担保する方法として、凍害対策に有効な混和剤(材)や特殊コンクリートの開発が進められている^{6,7)}。著者らも、疎水性化合物の混和によってコンクリートの凍結融解抵抗性が向上するという知見⁸⁾に着目し、パラフィンを主成分とした液体混和剤の開発を進めてきた^{9,10)}。

本稿では、新たな凍害対策技術として開発された「特殊パラフィンエマルジョン」を使用したコンクリートの適用事例と供用2年5ヶ月後における追跡調査の結果について報告する。



写真1 特殊パラフィンエマルジョンの外観

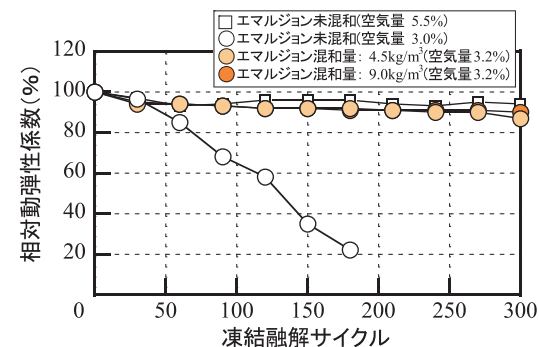


図2 凍結融解抵抗性(JIS A 1148 A法)

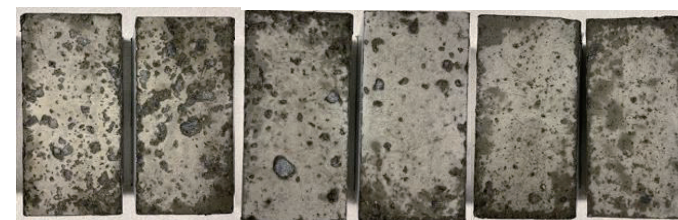


写真2 ソルトスケーリング抵抗性試験後の試験体状況

2. 特殊パラフィンエマルジョンを使用した コンクリート

特殊パラフィンエマルジョン(以下、エマルジョンと略)の外観を写真1に示す。エマルジョンをコンクリートに混和することで、フレッシュ性状や強度性状(図1)に大きな影響を及ぼすことなく、凍結融解抵抗性やソルトスケーリング抵抗性を向上させることができる(図2,3,写真2)¹¹⁾。これは、エマルジョン中のパラフィン粒子(平均粒子径: $0.5\mu\text{m}$)が、コンクリート中で耐凍害性の向上に寄与する気泡のサイズ¹²⁾と同程度の大きさ($20\mu\text{m}$ ~ $200\mu\text{m}$)に集合し、その集合体が凍結時の膨張圧力を緩和しているためと考えられている¹¹⁾。

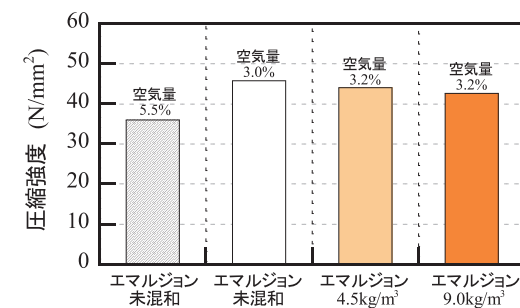


図1 材齢28日における圧縮強度

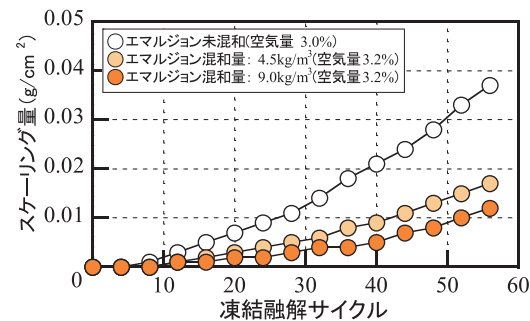


図3 ソルトスケーリング抵抗性(RILEM CDF法 試験水: 3%NaCl溶液)

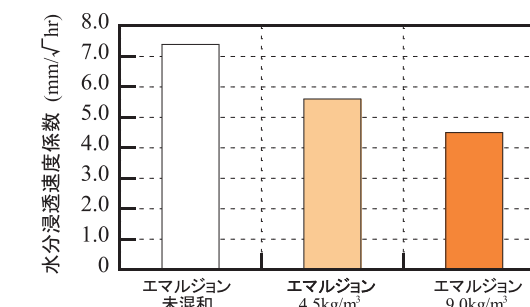


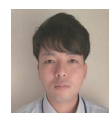
図4 水分浸透速度係数

また、その他の効果として、防水性(図4)も向上することが確認されており、コンクリート構造物の長寿命化を図る材料・工法として期待されている。

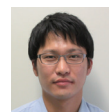
3. 適用事例

3-1. 施工概要

対象とした構造物は、太平洋セメント(株)大船渡鋳業所から大船渡工場へ石灰石を運搬するためのベルトコンベア用橋梁(岩手県住田町)である。現場は積雪寒冷地に位置しており、凍害による劣化が懸念される場所である。橋梁全体の側面図を図5、上部工の平面図を図6に示す。このうちエマルジョンを混和したコ



おかだ あきや / OKADA Akiya
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
固化・不溶化技術チーム



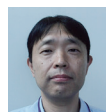
まるた ひろし / MARUTA Hiroshi
太平洋マテリアル(株)
開発研究所 土木混和材料グループ
研究員



なかむら ひろあき / NAKAMURA Hiroaki
太平洋セメント(株)
建材事業部 事業企画グループ



はやかわ たかゆき / HAYAKAWA Takayuki
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
固化・不溶化技術チーム リーダー



ながしお やすひろ / NAGASHIO Yasuhiro
太平洋マテリアル(株)
開発研究所 土木混和材料グループ
副主席研究員 博士(工学)



すぎやま あやのり / SUGIYAMA Ayanori
同上
主席研究員 博士(工学)

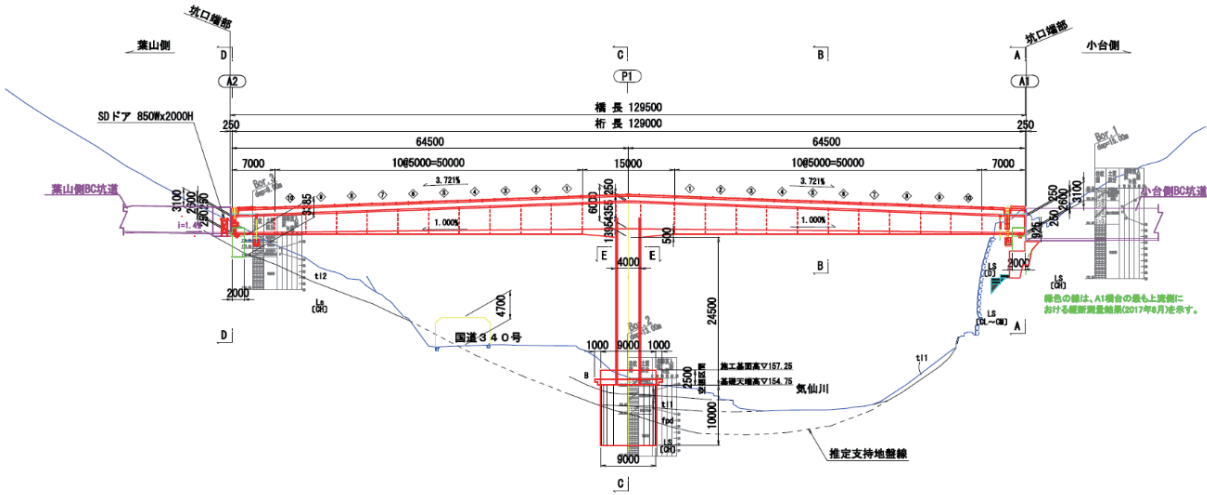


図5 橋梁の側面図

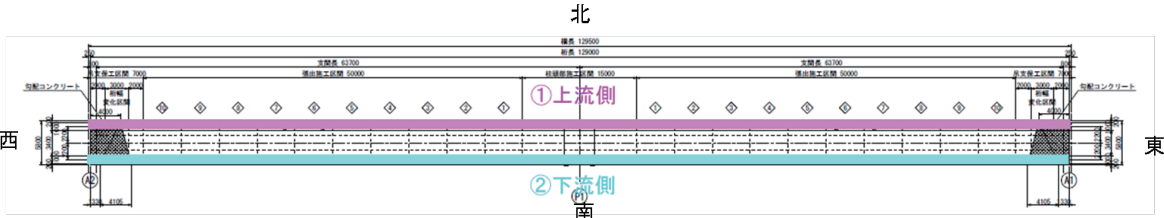


図6 上部工の平面図

表1 使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm ³ ）
練混ぜ水	W	上澄水
細骨材	S	大船渡市日頃市町産砕砂（密度：2.67g/cm ³ ）
粗骨材	G	大船渡市日頃市町産砕石（密度：2.71g/cm ³ ）
AE 減水剤	Ad	変性リグニンスルホン酸化合物
特殊パラフィンエマルジョン	Pa	平均粒子径：0.5μm 固形分率：30%
防せい剤	Rn	主成分：亜硝酸カルシウム

表2 コンクリートの配(調)合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	S	G	Ad※	Pa※	Rn※
普通コンクリート	48.5	46.4	175	361	825	967	3.61	-	-
エマルジョンコンクリート	48.5	45.7	167	344	828	1000	3.44	4.5	3.8

※単位水量の内割で使用

ンクリートは、橋梁上部の西側壁高欄部分(図内P1～A2)に適用した。また、施工性や長期耐久性等を比較するため、東側壁高欄部分(図内P1～A1)には一般的な普通コンクリートを適用し、それぞれ上流側・下流側に打設した。

コンクリートの使用材料を表1に、配(調)合を表2に示す。エマルジョンの使用量は4.5kg/m³とした。また、いずれのコンクリートも、設計基準強度は24N/mm²、

目標スランプは15±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%とし、製造は近隣のレディーミクストコンクリート工場で行った。なお、本施工では、エマルジョンと他の混和剤とを併用した場合の影響を確認するため、亜硝酸カルシウムを主成分とした防せい剤(Rn)も使用している。

施工は2020年2月に行われた。エマルジョンを混和したコンクリートは、実機プラントで一般的な普通コンクリートと同様に製造でき、エマルジョンを混和したことに



写真3 施工状況



写真4 品質試験状況



写真5 施工後の橋梁外観

表3 フレッシュ性状および圧縮強度

種類	フレッシュ性状			圧縮強度 (N/mm ²)
	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	
普通コンクリート	17.0	4.8	6	37.0
エマルジョンコンクリート	14.0	5.7	8	32.8

よる次バッチへの悪影響も認められなかった。施工では、普通コンクリート、エマルジョンを混和したコンクリート共に、大きなトラブルもなく順調に行われた。施工状況を写真3に、品質試験状況を写真4に、施工後の橋梁外観を写真5に示す。

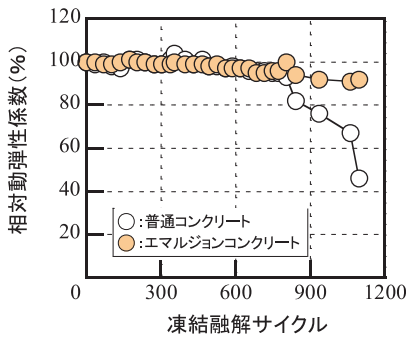


図7 凍結融解抵抗性

3-2. 適用したコンクリートの物性

荷卸し時のフレッシュ性状および圧縮強度を表3に、凍結融解試験の結果を図7に示す。なお、圧縮強度及び凍結融解試験用供試体は、荷卸し時のコンクリートを採取して成型し、材齢28日まで水中養生を行って



写真6 壁高欄における超音波伝播速度の測定状況



写真7 壁高欄における表面吸水試験



写真9 暴露試験体の設置状況



普通コンクリート



エマルジョンコンクリート

写真8 供用2年5ヶ月後における壁高欄

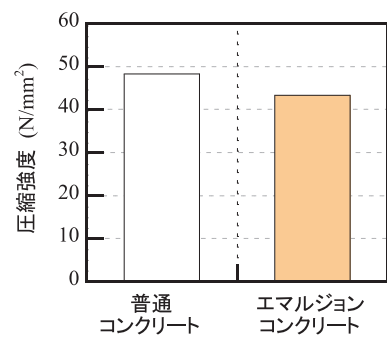


図8 材齢2年5ヶ月における供試体の圧縮強度

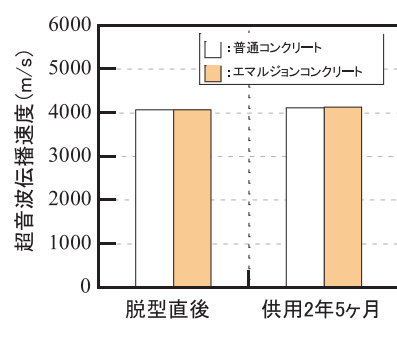


図9 供用2年5ヶ月における壁高欄の超音波伝播速度

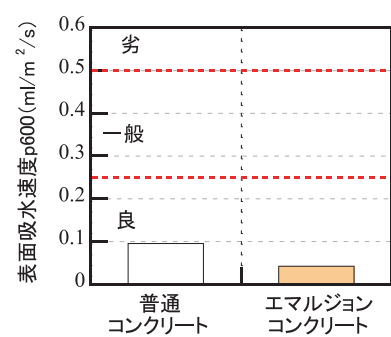


図10 供用2年5ヶ月における壁高欄の表面吸水速度

作製した。

いずれのコンクリートも、そのスランプおよび空気量は目標値の範囲内であった。また、エマルジョンを混和したコンクリートの材齢28日における圧縮強度は、普通コンクリートに比べて10%程度低い値を示した。これは、空気量の差によるものと考えられたが、いずれも設計基準強度24N/mm²を十分に満足しているため問題ない値であると判断した。

一方、凍結融解試験(JIS A1148 A法)において、凍結融解300サイクル時の相対動弾性係数は、いずれのコンクリートもおおむね100%であり、優れた凍結融解抵抗性を有していることを確認した。また、300サイクル以降も試験を継続した結果、普通コンクリートの相対動弾性係数は約1100サイクル時点において60%を下回った。それに対して、同サイクル時におけるエマルジョンを混和したものの相対動弾性係数は80%以上で

あり、エマルジョンの効果が確認された。

3-3. 追跡調査

供用2年5ヶ月後に壁高欄の追跡調査を行った。調査項目は、目視観察、圧縮強度、超音波伝播速度(写真6)および表面吸水速度(写真7)とした。壁高欄の外観を写真8に、圧縮強度を図8に、壁高欄の超音波伝播速度及び表面吸水速度を図9および図10に示す。なお、圧縮強度試験は、橋梁上に暴露(写真9)しておいた供試体を用いて行った。

目視観察および超音波伝播速度の結果から、いずれのコンクリートも凍害による劣化は生じていないものと判断された。また、圧縮強度は材齢28日から1.3倍程度増加しており、強度劣化も認められなかった。

一方、表面吸水速度は、いずれのコンクリートも判定基準¹³⁾は「良」の範囲であったが、エマルジョンコンクリートは普通コンクリートの1/2程度の値であり、供用2年5ヶ月後においても、エマルジョンの混和により高い防水性が維持されていることが確認された。

4. まとめ

本稿では、新たな凍害対策技術として開発された「特殊パラフィンエマルジョン」を使用したコンクリートの適用事例と供用2年5ヶ月後の追跡調査の結果について報告した。その結果、エマルジョンを使用したコンクリート

は、一般的なコンクリートと同様に実機プラントでの製造が可能であり、壁高欄へ適用したコンクリートは優れた凍結融解抵抗性を有していることが明らかとなった。また、その壁高欄は、供用2年5ヶ月後でも健全な状態を維持していることが示された。

今後は、有効性の検証を継続しつつ、実施工での実績を積み重ね、本混和剤の普及拡大を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 岩城一郎, 子田康弘, 石川雅美, 小山田桂夫／東北地方におけるブリッジマネジメント支援ツールの構築, コンクリート工学論文集, 2013, 24(3), pp75～87
- 2) 国土交通省東北地方整備局／東北地方における凍害対策に関する参考資料(案), pp16～20, 2021
- 3) 林大介, 橋本学, 池田真理子, 坂田昇, 緒方英彦／コンクリートの振動締固めが硬化後の気泡分布に及ぼす影響に関する基礎実験, 土木学会年次学術講演会, pp.439～440 (V-220), 2015
- 4) 片平博, 古賀裕久／振動締固めが凍結融解・スケーリング抵抗性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.999～1004, 2016
- 5) 小山田哲也, 太田和彦, 林大介, 佐久間啓吾／トンネル覆工コンクリートのスケーリング確保に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.847～852, 2015
- 6) 栖原健太郎, 本間一也, 五十嵐数馬, 寺村悟／中空微小球を使用したコンクリートの凍結融解抵抗性, 土木学会年次学術講演会, pp.943～944 (V-472), 2014
- 7) 郭度連, 森山守, 菊池徹, 李春鶴／ラテックス改質速硬コンクリートの基礎物性と耐久性能に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1939～1944, 2015
- 8) 西祐宜, 名和豊春／凍結融解作用による劣化抵抗性を改善した疎水性化合物系乾燥収縮低減剤の諸特性, 日本建築学会構造系論文集, Vol.79, pp.191～200, 2014
- 9) 丸田浩, 小須田和貴, 早川隆之, 肥後康秀／耐久性向上混和剤がコンクリートの耐凍害性向上に及ぼす効果に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, 2020
- 10) 岡田明也, 中村浩章, 早川隆之, 丸田浩／エマルジョン中に乳化されるパラフィンの粒子径がコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.568～573, 2022
- 11) 岡田明也, 中村浩章, 早川隆之, 丸田浩, 長塩靖祐, 杉山彰徳／凍結融解抵抗性を付与するコンクリート混和剤「太平洋パラテクト®」の開発, TAIHEYO CEMENT CEM'S, No.94, pp.6～9, 2022
- 12) 坂田昇, 菅匠匠, 林大介, 橋本学／コンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係に関する報告, コンクリート工学論文集, Vol.23, No.1, pp.35～47, 2012
- 13) Concrete Society Working Party／Permeability Testing of Site Concrete - A Review of Methods and Experience, Concrete Society Technical Report, No.31, pp.1～95, 1987

CO₂の利用 再生骨材の炭酸化 炭酸化技術による低品質再生骨材の改質

Modification of Low-Quality Recycled Aggregate by Carbonation Technology

松田 信広 伊代田 岳史

1. はじめに

持続可能な社会の実現に向けて、環境負荷低減および循環型社会の構築を目指した取り組みが建設の分野においても求められている。環境負荷低減において、気候変動問題の原因とされる温室効果ガスの削減は世界共通の目標である。その温室効果ガスの削減目標に対して、わが国は温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050年カーボンニュートラル」を宣言¹⁾した。昨今、その実現に向けてさまざまな動きが活発化している。このような状況において、コンクリートはCO₂を吸収・固定する能力を有していることから、CO₂の利用先の一つとして注目^{2,3)}されている。とくに、コンクリート廃棄物の再利用先の一つである再生骨材は、「カーボンリサイクル」という新たな役割を担うことができると考えている。

一方で、高度成長期に大量に建設されたコンクリート構造物は老朽化が進み、取壊しや建替えの必要性が高まっている。図1は、東京都圏において今後のコンクリート廃棄物の発生量を予測したものである。算出方法は既報⁴⁾を参照されたい。

コンクリート廃棄物の発生量は、将来的に増加の傾向にある。なお、この試算には土木構造物が含まれていない。したがって、2050年では現在と比較しておおよそ2倍程度増加することが予測される。これまでコンクリート廃棄物は、道路用の骨材(以下、路盤材と称する)としてそのほとんどが再利用されてきた。しかし、将来的には道路工事の減少が予測されることから、路

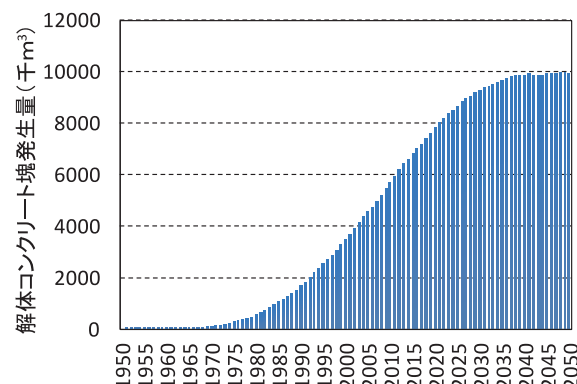


図1 東京都圏における解体コンクリート塊の発生量の予測

表1 再生骨材コンクリートの適用範囲⁵⁾

種類	適用部位・範囲
再生骨材コンクリート H	構造部材・非構造部材
再生骨材コンクリート M (耐凍害品)	乾燥の影響を受けない構造部材および非構造部材
再生骨材コンクリート M (標準品)	乾燥収縮および凍結融解作用の影響を受けない構造部材および非構造部材
再生骨材コンクリート L	無筋の非構造部材

盤材としての需要はあまり期待できないと考える。したがって、コンクリート廃棄物は、コンクリート用の骨材(以下、再生骨材と称す)として再利用していくことが必要不可欠である。

再生骨材コンクリートの普及や実用化に向けては、これまでに多くの研究や適用に向けた検討が報告され、表1の適用範囲⁵⁾が示されている。しかし、2020年の全国生コンクリート工業組合連合会および再生骨材コンクリート普及連絡協議会の統計によると、全国の生コンクリート出荷量に占める再生骨材コンクリート出荷量の割合は、0.1%未満と非常に少ない状況にあり、再生骨材コンクリートが本格的に普及しているとは言い難い。その普及を阻害している要因は、再生骨材の品質と骨材製

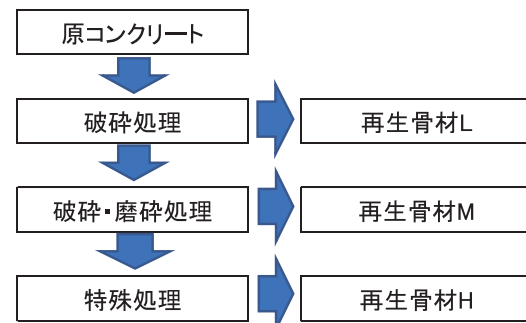


図2 再生骨材製造フローの一例

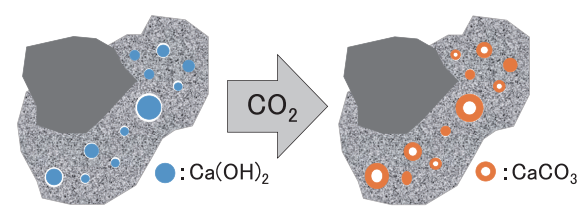


図4 炭酸化による空隙改善のイメージ

造時のエネルギー・コストであると考えている。図2,3に再生骨材製造フローの一例および再生骨材の品質と骨材製造時のエネルギー・コストの関係を示す。骨材製造に係るエネルギー・コストをかければ骨材に付着しているモルタル(以下、付着モルタルと称する)の割合が小さくなり骨材品質が向上してコンクリートとしての適用範囲は拡大する。しかし、付着モルタルを除去していくので副産微粉末の発生量は増加する。一方、エネルギー・コストをあまりかけずに骨材製造を行った場合、付着モルタルの割合が大きくなり、一般的には骨材自体の品質が低下し、コンクリートの適用範囲は限定される。さらに、再生骨材コンクリートの強度や耐久性は、再生粗骨材よりも再生細骨材の影響を顕著に受けて低下するという報告も多く⁶⁾、特に低品質再生細骨材の適用事例は極めて少ない。したがって、これらの品質を改善(以下、改質と称する)させる技術が必要である。

以上の背景から、今後の再生骨材コンクリートの普及を見据えた場合、エネルギー・コストをあまりかけずに製造することができる低品質再生骨材を改質し、その一方で、CO₂の排出量を削減できる技術が必要であると考えた。そこで本稿では、CO₂を利用した炭酸化技術による低品質再生骨材の改質について紹介する。

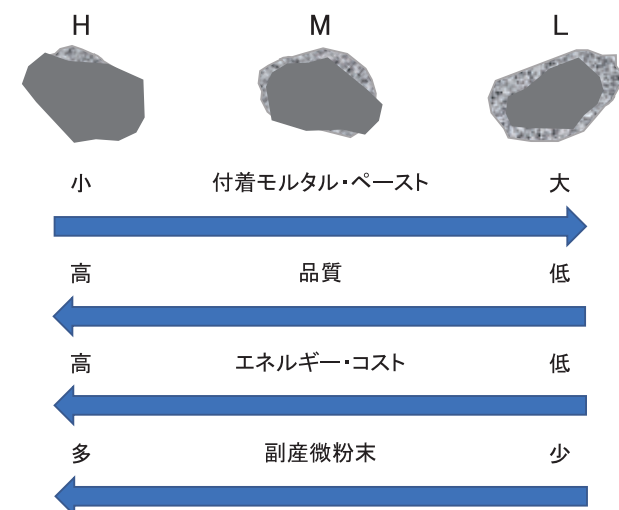


図3 再生骨材の品質と骨材製造時のエネルギー・コストの関係

2. 再生骨材の炭酸化技術の概要

再生骨材の品質を左右するものとして、付着モルタルの割合やその品質が指摘^{7,8)}されている。そのため、再生骨材の品質を向上させるための手段として、機械的な製造技術によって付着モルタルを除去する。しかし、それには多大なエネルギー・コストを要し、副産微粉末の発生が伴う。そこで、付着モルタルを除去せずにその部分の品質を改善させることで再生骨材の改質を行うことができれば、低エネルギー・コストで高品質な再生骨材を製造することができると考えた。再生骨材を改質させるための手段として、コンクリートの炭酸化メカニズムに着目した。

コンクリートの炭酸化は、大気中のCO₂がコンクリートに浸透することで、コンクリート中の水和生成物がCO₂と結合し、炭酸カルシウムに変化する現象である。これらは、鉄筋コンクリートでは、細孔溶液のpHを低下させて不動態皮膜を破壊し、鉄筋腐食を引き起こす劣化現象として中性化と呼ばれている。しかし、コンクリートのみに着目した場合、炭酸化によりセメント水和物が炭酸カルシウムに変化すると、一般的には細孔量が減少し、強度が増加することが知られている^{9,10)}。そこで、図4に示すように付着モルタルを炭酸化させ、炭酸カルシウムの析出によってモルタル中の空隙を緻密にすることがで



写真1 強制炭酸化の状況



写真2 屋外暴露の状況

できれば、付着モルタルを除去せずに再生骨材を改質することができ、その結果、再生骨材コンクリートの欠点である強度や耐久性を向上できるのではないかと考えた。

3. 炭酸化技術による再生骨材の改質

3-1. 炭酸化条件の検討

炭酸化技術による再生骨材の改質を図るために炭酸化条件を検討した。まず、再生骨材を炭酸化させる方法として、促進中性化装置によって強制的にCO₂を吸収させた(以下、強制炭酸化と称する)。その状況を写真1に示す。強制炭酸化は、温度20℃、相対湿度60%、CO₂濃度5%の条件下で行った。なお、強制炭酸化中は、2日に1回の割合で試料をかき混ぜ、骨材全体にCO₂が行き渡るようにした。次に、効果的な炭酸化期間を検討するために強制炭酸化による再

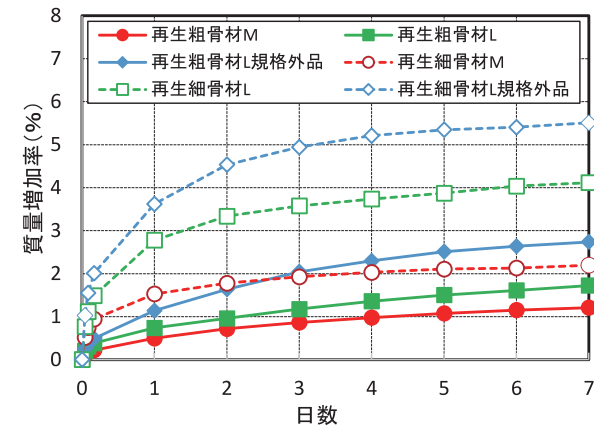


図5 強制炭酸化による再生骨材の質量増加率

生骨材の質量増加率を測定した。これは、炭酸化反応は分子量44のCO₂を吸収して分子量18の水を放出することから、この差分だけ重量増加することを利用している。質量増加率は、促進中性化装置に気乾状態の再生骨材を静置させ、各期間の質量を測定し、その差分から算出した。図5に強制炭酸化による再生骨材の質量増加率を示す。質量増加率は、おおむね7日で落ち着いている。今後は7日以降の物性の変化について確認する必要があるが、現状では炭酸化期間は7日とした。また、質量増加率は、粗骨材、細骨材ともに再生骨材のクラスがM<Lの順に大きくなっていることから、付着モルタル量の割合が大きいものほどCO₂吸収量は大きいことが予測される。また、粗骨材と細骨材で比較すると、細骨材の方が質量増加率は大きいことから、細骨材の方が強制炭酸化によるCO₂吸収量は大きいことが予測される。

次に、今後の実用化を考えた場合、強制炭酸化よりもさらに低エネルギー・低コストで簡略化した改質方法についても検討が必要と考えた。そこで、屋外暴露環境下においてCO₂吸収(以下、屋外暴露と称する)を行ったものと強制炭酸化を行ったもので改質効果を比較した。屋外暴露による炭酸化は写真2のように降雨や日照の影響を受ける場所において、10週間もしくは26週間の暴露を行った。炭酸化なし、強制炭酸化および屋外暴露(10週間)を行った再生粗骨材にフェノールフタレイン溶液を噴霧した状況を写真3に示す。強制炭酸化および屋外暴露を行った再生粗骨材は、



写真3 フェノールフタレイン溶液噴霧状況

表2 再生骨材の物性

種類	骨材名称	品質区分	絶乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)	モルタル付着率(%)	原コン ^{*2}
粗骨材	MA	M	2.50	3.06	15.1	解
	MB		2.51	3.01	19.7	解 ^{*3}
	MC		2.44	3.94	28.5	解 ^{*3}
	MD		2.43	3.47	21.7 ^{*1}	解 ^{*3}
	LA	L	2.32	5.69	41.0	解
	LB		2.35	5.66	40.8	解
	LC		2.24	6.13	42.9 ^{*1}	解
	LD		2.26	6.82	57.1	解
	OA	外品	2.21	7.44	53.9	戻
	OB		2.20	10.79	60.2 ^{*1}	戻
細骨材	MS	M	2.34	4.80	—	解 ^{*3}
	LS	L	1.94	12.92	—	解
	OS	外品	1.92	14.57	—	戻

*1 破碎値から算出した参考値

*2 解：解体コンクリート 戻：戻りコンクリート

*3 一部、戻りコンクリートを含む

炭酸化を行っていないものと比較して着色が少なく、外観からはCO₂を吸収し、炭酸化したことが確認できる。次に、強制炭酸化と屋外暴露による再生骨材の密度・吸水率の改善効果を比較した。再生骨材は粗骨材のみ検討を行った。原コンクリートには、戻りコンクリート(購入者の事情で不要となったもの)を使用した。戻りコンクリートの使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。また、戻りコンクリートの呼び強度は18N/mm²(以下、18Nと称する)のものと24N/mm²(以下、24Nと称する)のものを用いた。屋外暴露は、18Nのみ10週間実施したものと26週間実施したものをを用いて、暴露期間の違いによる影響について検討した。図6に再生粗骨材の密度・吸水率を示す。なお、強制炭酸化および屋外暴露を行ったものは骨材名称の後に「C」および「O」と表記している。強制炭酸化および屋外暴露を行ったものは、密度・吸水率が改善し、クラスアップしているものも確認できる。次に、強制炭酸化と屋外暴露による改質効果を表すものとして、改質前後の値の差を改質前

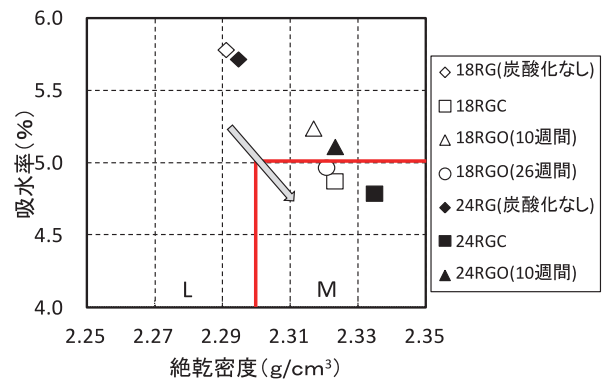


図6 再生粗骨材の密度・吸水率

の値で除したものを「改善率」とし、各骨材に対する吸水率の改善率を確認した。炭酸化を行っていないものに対する吸水率の改善率は、強制炭酸化を行った18RGCは15.7%、24RGCは16.2%となり、屋外暴露を行った18RGOは9.4%、24 RGOは10.6%であった。この結果から、屋外暴露に比べて強制炭酸化の方が改質効果は大きいことがわかった。一方、屋外暴露を26週間行ったものの改善率は14.1%であり、暴露期間を長くすることで改質効果は向上したが、強制炭酸化の改善率には及ばなかった。以上の結果から、屋外暴露による炭酸化では、改質は確認できたものの、強制炭酸化と同等の効果は得られないことがわかった。

3-2. 炭酸化技術による再生骨材の改質結果

実際に流通している再生骨材を用いて、強制炭酸化による再生骨材の改質効果を確認した。使用した再生骨材の物性を表2に示す。再生骨材は、再生粗骨材を10種類、再生細骨材を3種類用いた。再生骨材の品質は、絶乾密度および吸水率により区分すると、再生粗骨材は、Mクラスが4種類、Lクラスが4種類、Lの規格を外れているもの(以下、外品と称する)が2種類である。再生細骨材は、M、L、外品がそれぞれ1種類である。なお、再生粗骨材におけるモルタル付着率は、再生粗骨材の絶乾質量と塩酸洗浄後のモルタルを除去した原骨材の絶乾質量の差を、再生粗骨材全体の絶乾質量で除した値とした。また、一部については破碎値試験によってモルタル付着率を推定した。原コンクリートの形態はそれぞれ異なり、解体現場

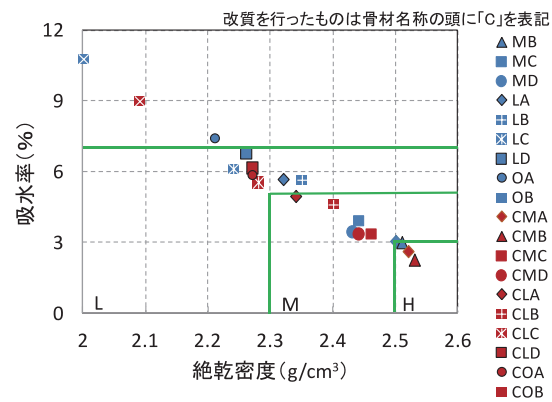


図7 改質前後の再生粗骨材の密度・吸水率

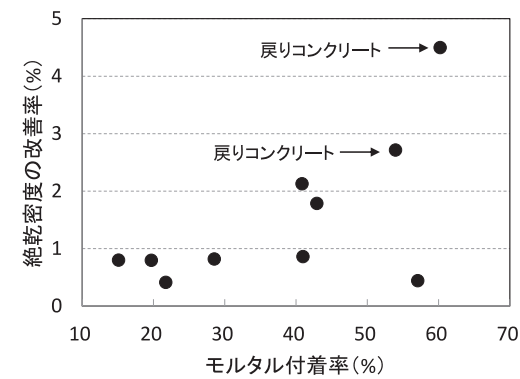


図8 モルタル付着率と絶乾密度の改善率との関係

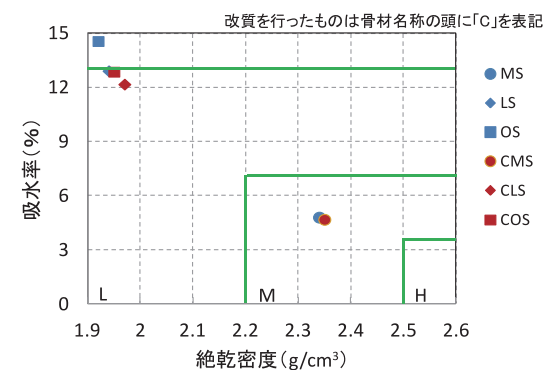


図9 再生細骨材の密度・吸水率

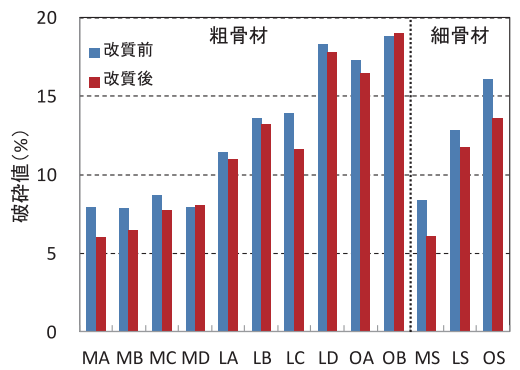


図10 再生骨材の破砕値

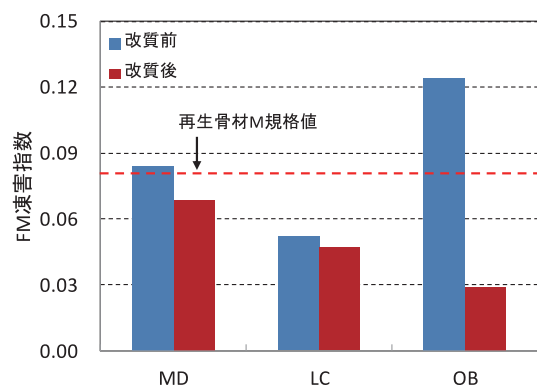


図11 再生粗骨材のFM凍害指数

から発生したコンクリート塊、生コン工場から発生した戻りコンクリートを硬化させたもの、また、それらが混合したものに分類される。図7に改質前後の再生粗骨材の密度・吸水率を示す。強制炭酸化によってほぼすべての再生粗骨材で絶乾密度および吸水率は改善し、クラスアップしている骨材も確認できた。次に、モルタル付着率と絶乾密度の改善率との関係を図8に示す。絶乾密度の改善率は、モルタル付着率が57.1%の1点を除き、モルタル付着率が高いものは改善効果も大きい傾向であった。この傾向は、再生骨材の質

量増加率との傾向と等しい。また、原コンクリートに戻りコンクリートを使用したものは改善効果大きい。これらは、再生骨材となるまでに数週間程度しか経過していないことから、付着モルタル部分に水酸化カルシウムが多く存在し、炭酸化し易い状況にあったと考える。すなわち、この差が改善効果に影響を及ぼしていると考えられる。図9に再生細骨材の密度・吸水率を示す。粗骨材と同様に、絶乾密度および吸水率は改善した。図10に再生骨材の破砕値を示す。粗骨材、細骨材ともに強制炭酸化によって破砕値は小さくなった。破砕

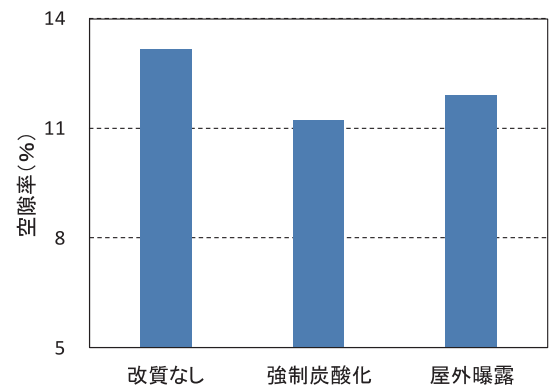


図12 再生粗骨材の空隙率

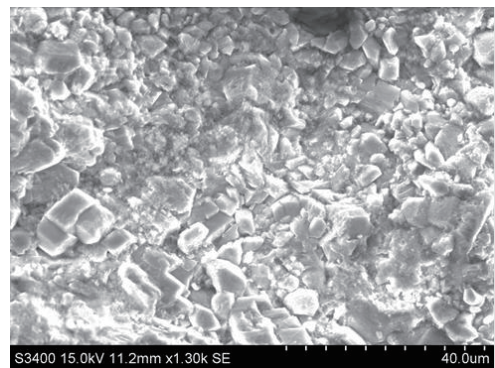


図13 炭酸化による析出物

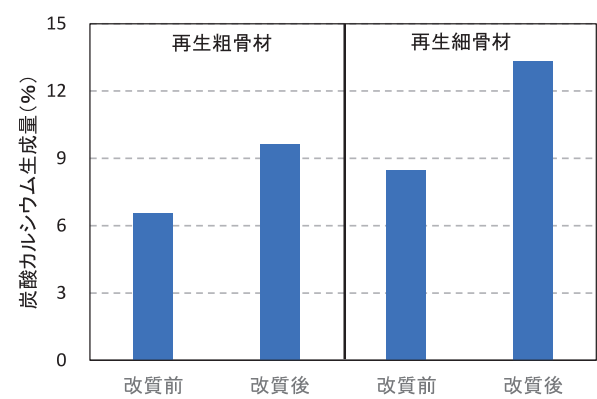


図14 改質前後の炭酸カルシウム生成量

値は骨材の圧縮荷重に対する抵抗性を示していると考えられ、付着モルタル中の空隙が緻密になったと考えられる。次に、再生粗骨材のFM凍害指数を確認した。FM凍害指数は、再生粗骨材の凍結融解抵抗性を評価するために開発¹¹⁾されたものである。図11に再生粗骨材のFM凍害指数を示す。すべてのものでFM凍害指数は改善され、再生粗骨材Mの規格値を満足する結果であった。特にOBの改善率が大きく、これは吸水率の傾向と同様であった。これは、付着モルタル部分の空隙が緻密になり凍結水量が小さくなったことが関係していると考えられる。

以上の結果から、炭酸化技術によって再生骨材の密度、吸水率、破砕値、FM凍害指数は改善し、改質することがわかった。

3-3. 改質メカニズム

炭酸化による改質は、付着モルタル中の空隙が減少し、緻密化することに起因していると考えられる。そこで、

アルキメデス法によって再生粗骨材の空隙率を算出した。再生粗骨材の空隙率を図12に示す。強制炭酸化および屋外暴露で炭酸化した骨材は、空隙率が減少しており、緻密化していることが確認できる。さらに、SEMを用いて改質後の空隙内を観察した。図13に示すように炭酸化による析出物が確認できた。また、別の再生骨材において示差熱重量分析(TG-DTA)を行ったところ、図14に示すように改質前と比較して、改質後の炭酸カルシウム生成量が多いことを確認した。また、再生粗骨材よりも再生細骨材の方が炭酸カルシウム生成量が多いことがわかった。

以上の結果から、再生骨材にCO₂を吸収させることで再生骨材は改質することがわかった。

4. おわりに

この再生骨材の炭酸化技術は、カーボンニュートラルの実装に向けた技術の一つになると考えている。また、持続可能な循環型社会の構築にも貢献できると考

えている。今後は、再生骨材製造者や再生骨材コンクリート製造者が増えていく必要があり、再生骨材にCO₂を吸収させることによって新たなインセンティブ付与も考えていく必要がある。この研究は、現在も進行しており、低品質再生細骨材の改質やコンクリートへの影響、またそのメカニズムの解明等々やるべきことは多いと感じている。今後も再生骨材の炭酸化技術に関して検討を進めていく。

【謝辞】本研究は、芝浦工業大学伊代田研究室の多く

の卒業生、現役生の協力を得て進めることができます。ここに厚く感謝いたします。



まつだ のぶひろ / MATSUDA Nobuhiro
(株)東京テクノ
生産技術統括本部長
芝浦工業大学大学院
理工学研究科地域環境システム専攻 博士課程



いよだ たけし / IYODA Takeshi
芝浦工業大学
工学部先進国際課程(兼務 土木工学科)
教授 博士(工学)

【参考文献】

- 1) 環境省 HP / 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて, 2020.12
- 2) 経済産業省 / 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020.12
- 3) 経済産業省 / カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2019.6
- 4) 松田信広, 伊代田岳史 / 東京都圏における再生骨材コンクリートの状況から見た改質再生骨材の有効性, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No1, pp.1389~1394, 2018.7
- 5) 日本建築学会 / 再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案), 2014
- 6) 麓隆行, 妹脊吉彦, 山田優 / 再生細骨材の品質がモルタルの性状に及ぼす影響についての検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No2, pp.1111~1116, 2000.7
- 7) 高橋祐一 / 再生粗骨材における混入モルタルが再生骨材コンクリートの性能に及ぼす影響の評価に関する研究, 宇都宮大学大学院博士論文, 2011.9
- 8) 竹中寛, 笠井哲郎 / 再生粗骨材の付着モルタルの物性が再生骨材コンクリートの品質に与える影響, コンクリート工学論文集, Vol.19, No.3, pp.21~29, 2008.9
- 9) 長嶋正久, 飛内圭之 / 二酸化炭素の作用と硬化コンクリートの変化, セメント・コンクリート, No.465, pp27~33, 1985.11
- 10) 取達剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実 / 炭酸化したセメント系材料におけるCO₂固定量の評価手法および物性変化に関する研究, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.77, No.2, pp.37~54, 2021
- 11) 片平博, 渡辺博志 / 再生骨材の耐凍害性評価手法の研究, コンクリート工学論文集, Vol.21, No.1, pp.25~33, 2010.1

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](mailto:info@sementokai.or.jp)



3Dプリンティングにおいてコンクリートの気泡組織に影響を与える因子

Arnesh Das, ほか

Cement and Concrete Research

156 論文 No.106789 (2022)

コンクリートやモルタルを3Dプリンティングする建設技術は、工期短縮や現場作業の省人化によるコスト削減などの効果が期待される。3Dプリンティングされたコンクリートは強度や耐久性について研究が進められているが、寒冷地での長期供用時の凍結融解抵抗性については研究例が少ない。本稿では、3Dプリンティングの工程や、そこで使用される材料が造形物の気泡組織形成に与える影響について、気泡間隔係数などの指標を用いて評価を行った。

3Dプリンティング工程では、モルタルに硬化遅延剤を加えてポンプ圧送し、硬化促進成分(ここではカルシウムアルミネートセメントペースト)と混合して3D積層を行う。ポンプ圧送の前後、硬化促進成分との混合前後で比較を行ったところ、ポンプ圧送工程によりモルタルの気泡間隔係数は増加していた。一方、硬化促進成分と混合され積層された状態ではポンプ圧送時点と比較し気泡間隔係数は小さくなり、凍結融解抵抗性の確保に必要とされる200um以下となっていた。硬化促進成分は気泡組織を安定化させる働きがあり、特に直径100um以上の気泡が合体してモルタル表面から抜けることを防いでいた。一方、直径100um未満の気泡については硬化促進成分の影響は小さく、AE剤の効果が支配的であった。

層間で生じうるコールドジョイントや積層表面において

は独自の気泡組織が形成されている可能性もあり、さらなる調査が必要である。

オキシ塩化マグネシウムセメントの耐水性に及ぼすメタカオリンの影響

Wei Gong, ほか

IACI Materials Journal

119[1] 47~57 (2022)

オキシ塩化マグネシウムセメント(MOC)は軽量かつ高強度で耐熱性などの特性を有する環境配慮型の低炭素セメント材料である。一方、MOCの水和物である5Mg(OH)₂・MgCl₂・8H₂O(phase5)は水との接触により分解し、強度低下を引き起こす。そのため、一般的に屋内等での使用に限定されており、利用用途の拡大が望まれる。MK(メタカオリン)は活性が高い鉱物であり、セメント系材料と反応して結晶性の水和物やC-(A)-S-Hゲルを形成し、力学的性質を向上させることが知られている。本稿では、MOCに対してMKを添加し、硬化時間、力学特性、緻密性および相組成などからMKがMOCの耐水性に及ぼす影響について評価した。さらに、得られた結果と超音波速度との関係からMOCの耐水性評価モデルを構築した。

その結果、浸漬後の圧縮強度の保持率はMKの添加によって高くなり、耐水性の向上効果が確認された。なお、最も強度保持率が高かったのは添加率20%であった。これは、膨張性のMg(OH)₂が生成しにくく、なおかつMKの粒子径がMOCの主成分である軽焼マグネシアより小さいため、充填効果によって細孔構造が緻密化したためと考えられた。さらに、XRDによる相組成の結果から、MK添加によるphase5の生成量の増加と浸漬時の分解の抑制効果が確認され、強度保持率の改善を裏付ける結果となった。

最後に、非破壊検査で得られた超音波速度から、硬化体の圧縮強度を算出し、MK添加量や間隙などと照らし合わせることによって、MOCの耐水性を評価できる強度予測モデルを構築した。(59ページに続く)

「より永くコンクリート舗装を使うためのポイント集 ～コンクリート舗装ガイドブック2016補足資料～」の 公表について

1. はじめに

コンクリート舗装は、表層にコンクリート版を用いた高耐久な舗装で、長期的に見ればライフサイクルコストの観点において優れていると考えられており、適材適所で有効に活用することが求められています。平成25年以降の国土交通省の設計業務等共通仕様書では、「基盤条件、環境条件、走行性、維持管理、経済性(ライフサイクルコスト)等を考慮し、舗装(アスファルト舗装／コンクリート舗装等)の比較検討のうえ、舗装の種類・構成を決定し、設計する」旨が示されています。

一方、アスファルト舗装に比べてコンクリート舗装は施工実績が少ないため、コンクリート舗装に携わった道路管理者や技術者は一部に限られています。そのため、コンクリート舗装の十分な知識が不足しており、本来長寿命が期待できるにもかかわらず、早期にひび割れが発生するなどの不具合がまれに発生し、そのことがコンクリート舗装の誤ったイメージを与えていることが懸念されています。

この度、上記への対応として、(公社)日本道路協会(以下、道路協会という)において、「より永くコンクリート舗装を使うためのポイント集～コンクリート舗装ガイドブック2016補足資料～」(以下、ポイン

ト集という)が作成され、令和4年7月に道路協会のホームページ¹⁾に公開されましたので、その内容や想定される使い方について紹介します。

2. ポイント集について

2-1. ポイント集の位置づけ

道路協会では、国土交通省が平成13年に策定した「舗装の構造に関する技術基準」に定める内容を適切かつ効率的に実施するための実務的なガイドライン等として「舗装設計施工指針」「舗装設計便覧」「舗装施工便覧」などの技術図書を発刊しています。さらに、指針や便覧のコンクリート舗装に関する箇所を図表や写真などを加えて分かりやすく解説した「コンクリート舗装ガイドブック2016」を平成28年3月に発刊しています。

ポイント集は、上記ガイドブックの参考資料として、コンクリート舗装で生じた不具合の要因や未然に防ぐ方策、生じてしまった場合の対処法について知見をとりまとめた技術資料です。

2-2. ポイント集の内容

ポイント集では、コンクリート舗装の設計、材料・施工、維持修繕の各段階において生じる可能性のある不具合について実例を挙げて紹介するとともに、

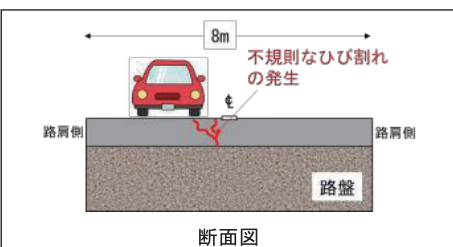
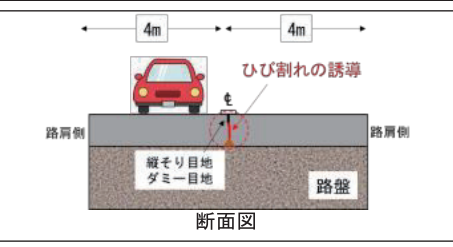
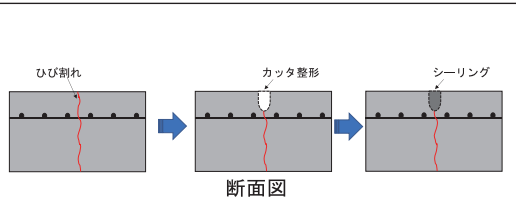
発 生 箇 所	③コンクリート版表面、⑤コンクリート版内部
分 類	設計
参 考 箇 所	5-4-1 目地の分類と構造、9-3-1 ひび割れ
● <u>内容</u>	・2車線同時に施工した幅員8mの連続鉄筋コンクリート舗装版の、車道中央部付近に、不規則な縦ひび割れが生じた。 
● <u>原因</u>	・2車線間にそり目地を設けてなく、版幅が広がった。 
● <u>発生防止策</u>	・中央部に縦そり目地を設置して、ひび割れを誘導する。 
● <u>発生した場合の対応策</u>	・ひび割れ箇所に瀝青材や樹脂材を用いたシーリングを行う。 

図1 ポイント集で取り上げた事例の一例

- ・設計、材料・施工、維持修繕のどの段階においてどのような原因で生じたのか。
- ・発生させないためには、どのような点に留意しなければならなかったのか。
- ・起こってしまった場合に、どのような措置を施す必要があるか。

について、分かりやすくまとめられています。ただし、各事例の原因については、必ずしも起こり得る原因を全て示したものではなく、その事例の現場における主な要因を示しています。

図1に事例の一例を示します。これは、2車線同

時に施工された連続鉄筋コンクリート舗装において、横断方向中央部に不規則な縦ひび割れが生じた事例です。発生要因として温度応力による版のそりひび割れが生じたこと、防止策として設計時に車線部に適切な縦そり目地を設けること、ひび割れが発生してしまった際には瀝青材や樹脂材によりシーリングを行うことなどが解説されています。

ポイント集では、全部で49件の事例を紹介しており、このうち設計に関するものが10件、材料や施工に関するものが30件、維持修繕に関するものが9件あります。各事例の発生箇所については、



適切に行うことで、将来にわたって良好な状態を維持することが可能だとしている。

LC³のコードと規格

Hisham Hafez, ほか

International Cement Review

[7] 35～37(2022)

地球温暖化対策のため、コンクリート業界にはCO₂排出削減が求められている。石灰石と焼成粘土を混合材としたLimestone Calcined-Clay Cement(LC³)はCO₂削減の観点で最も有望な材料の一つである。本報告では、LC³の実用化に際した規格面の課題を整理する。

セメント規格に関しては、米国ではASTM C618にて天然ポゾラン、焼成ポゾランを含む3種のポゾランが規定されており、欧州では2021年に制定されたEN-197-5のCEM II/C-MがLC³に適用可能である。しかし、現行のコンクリート規格ではLC³を実用化することは困難である。米国のコンクリート規格であるACI 301は、ASTM C618の混合材を用いることを認めているが、石灰石との併用ができない。欧州のコンクリート規格であるEN-206は、未だCEM II/C-Mをコンクリートの構成材料として認めていない。一方、EU内の構造設計の基準であるユーロコードでは、新しく制定された1992-1-1:2021にてコンクリート構造物における性能ベースのアプローチが初めて採用され、この規格が変化のきっかけになりうると期待されている。

現行の規格の多くは組成ベースであるが、これを性能ベースに変えていくことによって、地球温暖化を緩和する新規材料の迅速な導入を促進することができると考えられる。

100年が経過したコンクリート構造物の評価と補修

David Schnerch

Concrete Repair Bulletin

35[3] 24～27(2022)

現在、橋梁などの土木構造物の中には建設後100年が経過するものがある。本稿では、当時の鉄筋コンクリート構造物の技術や歴史的な経緯などを考慮し、これらの構造物の評価および補修を行う際に留意すべき事項についてまとめている。

通常、構造物の評価には建設図面等の文書を用いるのが一般的であり、建設当時に適用された建築基準や規格などから有効な情報を入手できる。一方で、建設途中や建設後に変更が加えられ、構造物が図面通りでない可能性を考慮することも重要である。このことから、目視検査やレーダー探査など複数の評価方法により、建設当初の構造情報を確認する必要があると述べている。また、当時のコンクリートの打設は内部振動を与えずに行われており、スパーディングやタンピングにより圧密を行っていた。このような打設方法では、粗大な空隙が発生することがあり、鉄筋かぶり部分のコンクリートの減少や水分の滞留が多くなる可能性があるとしている。なお、補修設計は、現場での目視評価により判断した構造物の劣化状態の調査と、構造物から採取したコンクリートコアによる強度や耐久性の評価結果をもとに行うが、所有者が望む補修レベルや費用を考慮することも重要であるとしている。

著者らは、建設から100年が経過する長寿命なコンクリート構造物の存在は、鉄筋コンクリートが建築材料として適していることを証明しており、計画的な補修を

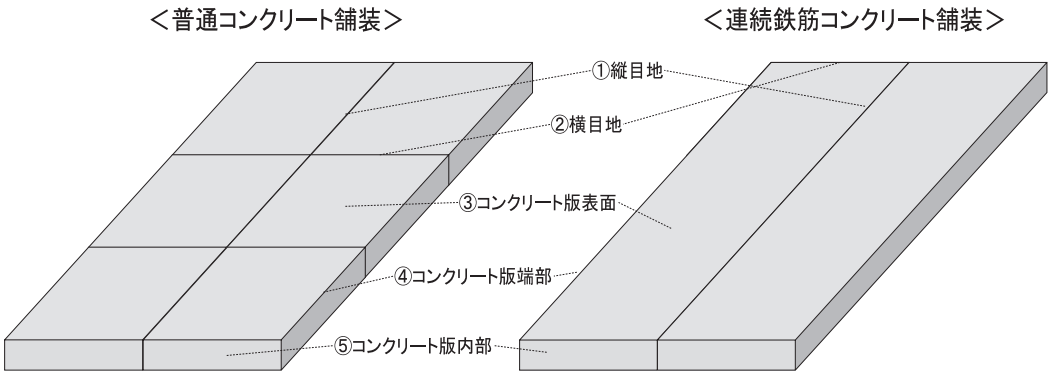


図2 事例発生箇所の分類

図2に示すとおり、

- ① 縦目地
- ② 横目地
- ③ コンクリート版表面
- ④ コンクリート版端部
- ⑤ コンクリート版内部

の5箇所に分類し、整理されています。

的に判断する必要があります。また、ポイント集で取り上げている不具合は本来の設計で想定する疲労破壊などとは異なるものであるため、対応した際はその結果を記録するとともに、その後の経過について継続して観察することが重要です。

3. おわりに

令和3年12月には、舗装種別選定の具体の検討作業の流れや留意事項についてとりまとめた「舗装種別選定の手引き」が道路協会のホームページにて公表されるとともに、令和4年3月には設計業務等共通仕様書の参考図書にこの手引きが追加され、適材適所でのコンクリート舗装の活用がますます進むと考えられます。今回公表されたポイント集を参考に舗装技術者にコンクリート舗装についての理解を深めていただくとともに、舗装設計で適切な舗装種別選定が行われることを期待しています。

[若林 由弥／国土交通省国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部 道路基盤研究室 研究官]

【参考文献】

- 1) より永くコンクリート舗装を使うためのポイント集～コンクリート舗装ガイドブック2016補足資料～(<https://road.or.jp/technique/defects-concrete.html>)

2-3. ポイント集の使い方について

ポイント集で紹介される各事例には「コンクリート舗装ガイドブック2016」の参考となる箇所が示されており、同図書とポイント集を併用することでコンクリート舗装についてより深い知識を習得することができるようになっています。特に、設計に携わる方は設計に関する事例を、材料や施工に携わる方は材料・施工に関する事例を、維持修繕に携わる方は維持修繕に関する事例をそれぞれ熟読されることをおすすめします。

また、現場において、ポイント集でとりあげた事例に類似した不具合が生じた場合の対応を検討する際の参考にもなります。類似した事例の内容で検索可能な一覧表も、ポイント集と併せて公開されているのでご活用ください。

ただし、ポイント集に記載されている発生防止策や発生した場合の対応策はあくまで一例であり、実際の対応については、想定メカニズムに対応しつつ個々に置かれている現場条件を踏まえ、設計業務や舗装工事、維持工事の受発注者間で協議して総合

セメスタグラム



コンクリートに魅せられて

初代は白色八角形の総檣造り、
全国で20番目の洋式灯台

今から千数百年前、防人等により設けられた烽火（のろし）は、遣唐使の船の帰還航路に当たる九州地方の岬や島などで格好の目印となった。これが日本での灯台の始めとも言われる。

16世紀頃には海上交通が発達し、篝火を用いた和式灯台（燈明台）が生まれた。しかし、これらは小規模で、藩内の漁師や船の寄港先を示すのみであった。

（こ）安乗埼灯台は1681（延宝9）年に、徳川幕府が船の道標として燈明堂を建てたのが始まりと言われている。当初は約3mの高さの塔上に油紙で囲った灯籠を置き、この中で菜種油を燃やす仕組みのもので、風雨が激しい際には薪を燃やしていたという。

同地にイギリス人 J.M. ブラントン率いる技術団により洋式灯台が建てられたのは、1873（明治6）年4月1日。全国で20番目の洋式灯台で、白色八角形の総檣（けやき）造りだった。

その後、海蝕等による地盤の崩れにより2度にわたり後退を余儀なくされ、1948（昭和23）年、現在の位置に四角形鉄筋コンクリート造りで建替えられ、現在に至る。

灯器は第四等六面閃光レンズで、我が国初の回転式フレネル式が1950（昭和25）年から2005（平成17）年まで使われていた。

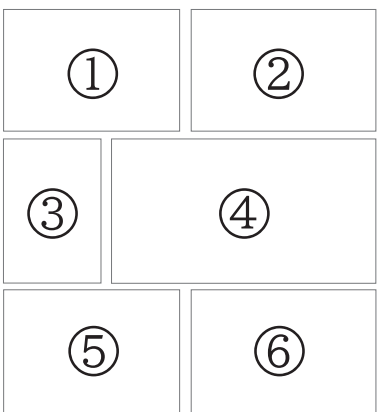
日本では丸型が基本の灯台の中で珍しい四角形であり、「日本の灯台50選」にも選ばれている美しい白亜の灯台である。木下恵介監督、佐田啓二・高峰秀子主演の映画「喜びも悲しみも幾歳月」（1957（昭和32）年松竹作品）の舞台の一つになった。

志摩半島の的矢湾入口にある岬が安乗埼で、灯台の周辺は緑豊かな伊勢志摩国立公園に指定されており、大海原と緑園が一度に楽しめる灯台でもある。冬の澄んだ空と、良く晴れた日には富士山も望むことができるという。

この灯台は参観できる全国16基の灯台のうちの1基で、灯台の上からは波が比較的穏やかな的矢湾や荒々しい熊野灘などの様子を見ることができる。

なお、初代の灯台は当時現存する最古の木造灯台であったことから解体し、横浜の灯台局に移して復元、現在は東京都品川区にある「船の科学館」（本館は展示休止中）の構内で屋外展示されている。

写真・文 井川幹雄（セメント協会）



- ①この灯台はのぼれる灯台のひとつでもある
- ②灯台からは志摩半島や太平洋を一望できる
- ③灯台資料館には初代灯台の1/3スケールの模型も

- ④リアス式海岸である的矢湾を望む
- ⑤現在は水銀灯と反射鏡を組み合わせたLU-M型灯器を使用
- ⑥以前使われていた回転式四等フレネルレンズ

今月号より新コーナー「セメスタグラム・コンクリートに魅せられて」をスタートします。

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



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



セメント協会 Instagram（安乗埼灯台）
<https://www.instagram.com/p/CnoAFJZrpsn/>



安乗埼灯台

三重県志摩市阿児町安乗 7 9 4 - 1

1948(昭和23)年8月竣工
鉄筋コンクリート造

建物高さ約15m
平均水面上から灯火まで約35m

2013(平成25)年、国の登録有形文化財(建造物)に指定。

2022年制定 コンクリート標準示方書発刊に伴う講習会

開催日：[東京会場]2023年3月27日(月)～28日(火)
[大阪会場]2023年4月24日(月)～25日(火)
会場：[東京会場]日本教育会館一ツ橋ホール
[大阪会場]大阪国際交流センター
参加費：会員44,000円、非会員66,000円、
学生33,000円(いずれも吉田博士記念基金
への寄付金1,000円を含む)
定員：東京会場800名、大阪会場1,000名
申込方法：土木学会HPより申込み
問合せ：土木学会事務局研究事業課(担当:飯野・佐々木)
電話：03-3355-3559

日本学術会議公開シンポジウム・第15回防災学術連携シン
ポジウム 気候変動がもたらす災害対策・防災研究の新展開

開催日：2023年4月11日(火)
会場：オンライン(ZOOM ウェビナー)
参加費：無料
定員：1,000名(申込み先着順)
申込方法：日本建築学会HPより申込み
問合せ：防災学術連携体
電話：03-3830-0188

第22回生コン技術大会

開催日：2023年4月13日(木)～14日(金)
会場：日経ホール(東京都千代田区)
参加費：組合員6,000円、会員外・一般6,000円
申込方法：全国生コンクリート工業組合連合会HPより申込み
問合せ：全国生コンクリート工業組合連合会 企画部
電話：03-3553-7231

講習会「地盤震動研究とその応用」

開催日：2023年4月18日(火)
会場：建築会館ホール(東京都港区)およびオンライン
参加費：[会場]会員13,000円、後援団体会員15,000
円、会員外18,000円
[オンライン]会員13,000円、後援団体会員
15,700円、会員外18,700円
定員：会場(建築会館)：100名(申込み先着順)
申込方法：日本建築学会HPより申込み
問合せ：日本建築学会 講習会「地盤震動研究」係
電話：03-3456-2057

第10回 建造物の安全性・信頼性に関する
国内シンポジウム

開催日：2023年10月25日(水)～27日(金)
会場：日本学術会議(東京都港区)
参加費：無料
申込方法：土木学会HPより申込み
問合せ：土木学会 JCOSAR2023事務局
メール：jcossar2023@ml-jsce.jp

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載号
講習会 「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2022」	2023年 3月20日	東京都	日本コンクリート工学会 「コンクリートのひび割れ調査、 補修・補強指針講習会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	2月号 p.61
	2023年 3月27日	大阪府			2月号 p.61
2022年制定 コンクリート標準示方書 発刊に伴う講習会	2023年 3月27日	東京都	土木学会事務局 研究事業課 (担当：飯野・佐々木)	03-3355-3559	本号 p.62
	2023年 4月24日	大阪府			本号 p.62
第22回生コン技術大会	2023年 4月13日～14日	東京都	全国生コンクリート 工業組合連合会 企画部	03-3553-7231	本号 p.62
日本学術会議公開シンポジウム・第15回防災学術 連携シンポジウム 気候変動がもたらす災害対策・ 防災研究の新展開	2023年 4月11日	オンライン	防災学術連携体	03-3830-0188	本号 p.62
講習会「地盤震動研究とその応用」	2023年 4月18日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会「地盤震動研究」係	03-3456-2057	本号 p.62
第28回「豊かで住みよい国づくり」フォトコンテスト募集	2023年 5月31日締切	—	建設広報協会 フォトコンテスト係	03-3264-5501	本号 p.41
第23回コンクリート建造物の 補修、補強、アップグレードシンポジウム	2023年 10月12日～13日	京都市	日本材料学会 「コンクリート建造物の補修、 補強、アップグレード論文 報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	2月号 p.22
第10回 建造物の安全性・信頼性に関する 国内シンポジウム	2023年 10月25日～27日	東京都	土木学会 JCOSAR2023事務局	jcossar2023 @ml-jsce.jp	本号 p.62
第77回 セメント技術大会	2023年 5月17日～19日	東京都 および オンライン	(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ	03-3914-2692	裏表紙

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

お知らせ

複写についてのお願い

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

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

お知らせ

J-STAGEで、セメント・コンクリート論文集を無償公開しています

セメント・コンクリート論文集は、セメント技術大会での発表論文に限定することなく、
広く公募した論文の中からセメント・コンクリート論文集編集委員会が厳選した論文を掲載しています。
これまで印刷版を刊行してまいりましたが、Vol.68(2014)より、国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST)の
J-STAGE〔<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/cement/~char/ja/>〕でご覧いただけるようになりました。

お仕事・ご研究にどうぞ活用ください。

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

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

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

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

生産

種類		項目		22年		22年	
		11月	前年比	12月	前年比		
ポルトランドセメント	普通	2,879	97.6	2,857	90.7		
	早強・超早強	239	89.2	290	92		
	中庸熟	81	97.4	70	101.6		
	低熟	22	163.2	23	77.6		
	耐硫酸塩	0	-	0	-		
	その他	0	-	0	-		
	小計	3,220	97.2	3,240	90.9		
混合セメント	高炉	901	103	823	90.2		
	シリカ	0	-	0	-		
	フライアッシュ	2	107.6	2	161.1		
	その他	72	79.3	54	47.7		
	小計	976	100.8	879	85.6		
その他のセメント		9	119	13	86.5		
計		4,205	98	4,132	89.7		
輸出用クリンカ等		299	80.7	335	68.7		
合計		4,504	96.7	4,467	87.7		

販売

地区		22年			22年		
		11月	前年比	構成比	12月	前年比	構成比
北海道		169	99.1	5.0	125	98.1	3.9
東北		278	94.3	8.2	222	88.8	6.8
関東一		770	99.1	22.7	776	98.9	23.9
関東二		333	100.7	9.8	319	99.3	9.8
北陸		147	90.9	4.3	113	78.6	3.5
東海		408	99.1	12.0	399	100.2	12.3
近畿		483	100.1	14.2	505	103.0	15.6
四国		121	99.0	3.5	114	92.4	3.5
中国		198	93.1	5.8	190	90.3	5.9
九州		424	102.6	12.5	406	96.0	12.5
沖縄		68	97.1	2.0	73	94.8	2.2
計		3,399	98.6	100.0	3,241	96.8	100.0

輸出

地域・仕向地		22年	22年
		11月	12月
アジア	韓国	32	30
	中国	0	0
	台湾	27	18
	香港	65	76
	フィリピン	100	50
	シンガポール	116	164
	マレーシア	0	0
	小計	340	338
その他	大洋州	214	284
	中南米	0	0
	小計	214	284
	合計	554	622

需給

(単位:千、%)																
項 目		生 産		販 売						期末在庫		輸 入		内 需		固化材 原料他
		前年比		国 内	前年比	輸 出	前年比	合 計	前年比		前年比		前年比		前年比	
会 計 年 度	2012	59,488	103.3	43,754	104.4	9,632	96.3	53,387	102.8	4,140	98.3	822	111.4	44,577	104.5	6,173
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,332	96.4	20	90.0	38,670	94.4	6,450
2021	55,741	99.4	37,872	98.0	11,484	103.3	49,356	99.2	4,347	100.3	10	52.0	37,882	98.0	6,371	
暦 年 度	2012	59,257	105.2	43,486	105.1	9,726	99.5	53,212	104.0	3,813	103.3	807	116.7	44,293	105.3	5,922
	2013	61,694	104.1	46,177	106.2	8,763	90.1	54,940	103.2	3,872	101.5	789	97.7	46,966	106.0	6,695
	2014	61,916	100.4	45,854	99.3	9,108	103.9	54,962	100.0	4,401	113.7	567	71.8	46,421	98.8	6,425
	2015	59,465	96.0	43,034	93.8	10,142	111.3	53,176	96.7	4,358	99.0	348	61.4	43,382	93.5	6,333
	2016	58,978	99.2	41,324	96.0	11,536	113.8	52,860	99.4	3,927	90.1	281	80.7	41,605	95.9	6,549
	2017	60,788	103.1	41,985	101.6	11,911	103.2	53,896	102.0	3,902	99.4	228	81.2	42,213	101.5	6,917
	2018	60,093	98.9	42,178	100.5	10,658	89.5	52,836	98.0	4,005	102.6	115	50.4	42,293	100.2	7,154
	2019	58,335	97.1	41,389	98.1	10,323	96.9	51,712	97.9	3,938	98.3	17	14.9	41,406	97.9	6,689
	2020	57,083	97.9	39,236	94.8	10,979	106.4	50,214	97.1	4,412	112.0	16	90.8	39,251	94.8	6,395
	2021	55,580	97.4	38,019	96.9	11,460	104.4	49,479	98.5	4,086	92.6	20	131.1	38,039	96.9	6,426
2022	53,207	95.7	37,488	98.6	9,569	83.5	47,057	95.1	4,062	99.4	10	51.2	37,499	98.6	6,175	
半 期	2020年度上	27,095	96.0	19,045	93.6	5,259	104.8	24,304	95.8	4,131	102.1	5	45.5	19,051	93.6	3,152
	下	28,958	96.8	19,605	95.2	5,854	106.1	25,459	97.5	4,332	96.4	15	137.0	19,620	95.2	3,297
	2021年度上	27,343	100.9	18,690	98.1	5,705	108.5	24,395	100.4	4,117	99.7	5	100.4	18,696	98.1	3,162
	下	28,398	98.1	19,181	97.8	5,779	98.7	24,960	98.0	4,347	100.3	5	35.1	19,187	97.8	3,208
2022年度上	26,016	95.1	18,592	99.5	4,807	84.3	23,399	95.9	3,935	95.6	5	99.2	18,598	99.5	3,029	
四 半 期	2020年度Ⅲ	15,575	100.5	10,559	96.3	2,963	107.4	13,523	98.5	4,412	112.0	5	89.6	10,564	96.3	1,771
	Ⅳ	13,383	92.9	9,045	93.9	2,891	104.9	11,936	96.4	4,332	96.4	10	187.5	9,055	94.0	1,526
	2021年度Ⅰ	13,466	103.1	9,224	98.2	2,859	119.6	12,083	102.5	4,069	98.2	0	-	9,224	98.2	1,646
	Ⅱ	13,877	98.9	9,466	98.1	2,846	99.2	12,312	98.4	4,117	99.7	5	100.4	9,472	98.1	1,516
	Ⅲ	14,854	95.4	10,283	97.4	2,865	96.7	13,148	97.2	4,086	92.6	5	103.9	10,288	97.4	1,737
	Ⅳ	13,544	101.2	8,899	98.4	2,914	100.8	11,813	99.0	4,347	100.3	0	-	8,899	98.3	1,471
	2022年度Ⅰ	13,224	98.2	9,171	99.4	2,636	92.2	11,807	97.7	4,246	104.3	5	-	9,176	99.5	1,518
	Ⅱ	12,792	92.2	9,422	99.5	2,170	76.3	11,592	94.2	3,935	95.6	0	-	9,422	99.5	1,511
Ⅲ	13,647	91.9	9,997	97.2	1,848	64.5	11,845	90.1	4,062	99.4	5	99.7	10,002	97.2	1,675	
月 度	2021年1月	4,213	92.8	2,666	90.4	937	116.6	3,604	96.0	4,605	106.0	4	-	2,670	90.5	416
	2月	4,330	91.0	2,981	89.7	922	113.1	3,904	94.4	4,505	101.9	0	-	2,981	89.7	525
	3月	4,840	94.6	3,398	101.1	1,031	90.7	4,428	98.5	4,332	96.4	6	110.5	3,403	101.2	585
	4月	4,266	101.1	3,171	99.4	753	92.9	3,924	98.1	4,182	102.6	0	-	3,171	99.4	493
	5月	4,806	111.4	2,746	96.6	1,229	151.5	3,976	108.8	4,515	104.1	0	-	2,746	96.6	496
	6月	4,394	97.1	3,306	98.3	877	114.0	4,183	101.2	4,069	98.2	0	-	3,306	98.3	657
	7月	4,568	96.4	3,305	99.5	852	88.0	4,157	96.9	4,016	98.8	0	-	3,305	99.3	464
	8月	4,529	92.1	2,811	94.5	1,000	97.8	3,812	95.4	4,388	97.0	0	-	2,811	94.5	345
	9月	4,780	109.2	3,350	100.0	994	113.3	4,343	102.7	4,117	99.7	5	-	3,355	100.1	708
	10月	5,101	99.6	3,488	93.2	1,077	111.8	4,565	97.0	4,044	106.0	0	-	3,488	93.1	610
	11月	4,660	90.6	3,447	101.2	802	91.6	4,249	99.2	3,840	93.4	0	-	3,447	101.2	615
	12月	5,093	96.0	3,348	98.2	986	87.7	4,334	95.6	4,086	92.6	5	-	3,353	98.3	513
	2022年1月	4,132	98.1	2,661	99.8	848	90.5	3,509	97.4	4,173	90.6	0	-	2,661	99.7	536
	2月	4,536	104.8	2,928	98.2	927	100.5	3,856	98.8	4,457	98.9	0	-	2,928	98.2	397
	3月	4,876	100.7	3,309	97.4	1,139	110.5	4,448	100.4	4,347	100.3	0	-	3,309	97.2	538
	4月	4,128	96.8	3,064	96.6	713	94.7	3,776	96.2	4,178	99.9	5	-	3,069	96.8	521
	5月	4,555	94.8	2,772	100.9	1,127	91.7	3,900	98.1	4,405	97.6	0	-	2,772	100.9	428
	6月	4,541	103.3	3,335	100.9	796	90.8	4,131	98.7	4,246	104.3	0	-	3,335	100.9	569
	7月	4,236	92.7	3,189	96.5	646	75.9	3,835	92.3	4,092	101.9	0	-	3,189	96.5	556
	8月	4,443	98.1	2,950	104.9	826	82.5	3,776	99.0	4,349	99.1	0	-	2,950	104.9	410
9月	4,112	86.0	3,283	98.0	699	70.3	3,982	91.7	3,935	95.6	0	-	3,283	97.9	545	
10月	4,676	91.7	3,357	96.3	672	62.4	4,029	88.3	3,848	95.2	0	-	3,357	96.3	734	
11月	4,504	96.7	3,399	98.6	554	69.1	3,953	93.0	4,009	104.4	5	-	3,404	98.7	391	
12月	4,467	87.7	3,241	96.8	622	63.1	3,863	89.1	4,062	99.4	0	-	3,241	96.7	551	
2023年1月	3,670	88.8	2,527	94.9	527	62.2	3,054	87.0	4,281	102.6	0	-	2,527	94.9	396	
累 計	2022年4月～ 2023年1月～	43,333 3,670	93.5 88.8	31,116 2,527	98.4 94.9	7,182 527	76.3 62.2	38,298 3,054	93.3 87.0	4,281 4,281	102.6 102.6	10 0	99.4 -	31,127 2,527	98.4 94.9	5,101 396

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)							(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490	
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717	
2021年12月	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456	
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141	
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552	
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655	
4	13,561	3,979	279	2,292	3,043	2,333	341	
5	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880	
6	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721	
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238	
8	17,167	2,753	302	1,235	5,671	5,744	532	
9	24,272	5,104	541	2,332	6,897	7,595	499	
10	17,406	2,195	627	1,679	6,564	5,028	321	
11	13,077	1,665	607	1,475	4,773	3,412	370	
12	15489	1,686	380	2,025	4,598	5,667	360	

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省)								(単位:万㎡)
	合計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋コン クリート造	鉄筋コンクリ ート造	鉄骨造	コンクリートブ ロック造	その他	居住用	非居住用
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806
2021年12月	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392
6	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397
9	968	437	7	193	322	0.6	8	610	358
10	990	433	21	181	345	0.6	9	630	360
11	957	425	16	158	346	0.6	12	606	351
12	897	386	14	170	319	0.4	7	558	339

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)									(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)	
		計	製造業	計	国の機関					
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713	
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497	
2021年12月	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900	
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	194,534	
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875	193,576	
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341	202,497	
4	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028	201,690	
5	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369	
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288	
7	9,176	6,529	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222	
8	10,334	8,302	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166	
9	21,617	13,586	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186	
10	10,520	7,331	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	208,774	
11	9,636	6,849	1,908	2,121	1,590	6,736	2,900	5,906	206,833	
12	17,593	14,275	5,184	3,208	1,707	13,048	4,544	14,299	-	

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)										(2020年平均＝100)
	総平均	セメント	生コンクリート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機 械	
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3	
2021年12月	108.4	100.5	102.6	102.3	169.5	103	138.5	136.6	105	99.5	
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.2	101.6	
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.7	102	
3	111.4	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.5	101.6	
4	113.3	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101	
5	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8	
6	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6	
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4	
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105	
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6	
10	118.1	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	159.7	159.7	117.3	106	
11	119	120.4	115.2	113	153.8	109.8	159.3	161.8	118.1	106.2	
12	119.8	120.4	115.9	113.6	152.7	109.8	159.3	161.4	118.6	106	
2023年1月	119.8	120.4	115.9	113.7	150.7	109.8	158.8	162.8	119.8	106.5	

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(出所:経済産業省)				
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック (千個)	護岸用 コンクリートブロック (t)
		管 (t)	ボール (t)	パイプ (t)		
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年12月		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892
11		12,286	34,069	123,269	5,527	38,818
12		10,631	30,719	112,858	5,281	42,085

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2019年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年12月		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年1月		8,771	46,513	2,315	96,860
2		15,218	47,744	2,474	91,643
3		20,647	61,261	2,758	103,188
4		15,969	55,963	2,527	98,544
5		14,242	45,414	2,338	91,205
6		16,974	54,503	2,695	107,363
7		13,715	46,576	2,593	103,755
8		12,514	40,051	2,538	100,701
9		13,587	46,760	2,648	112,161
10		11,788	37,198	2,422	117,669
11		8,850	34,255	2,588	117,623
12		10,593	34,207	2,498	114,000

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

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

委員

石橋 忠良	J R 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括
伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長
内田 俊一郎	太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副部長
上村 豊	デンカ(株) エラストマー・インフラソリューション部門 セメント部技術課長
河村 直彦	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)
岸 利治	東京大学 生産技術研究所 教授
黒岩 秀介	大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)
黒田 泰弘	清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員
古賀 裕久	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員
小林 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
流 龍成	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー
野口 貴文	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
平田 隆祥	(株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師
平本 真也	日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー
前田 禎夫	麻生セメント(株) 品質技術部 部長
森川 嘉之	(国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
山路 徹	(国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長
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
吉田 雅彦	(一社)セメント協会 セメント系固材技術専門委員会 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)

- 道路陥没・路面下空洞の実態とその対策としての充填材開発
- CO₂を吸着させた再生骨材利用の可能性〜カーボンニュートラル社会に向けて
- 環境負荷低減性が期待されるジオポリマーの可能性
- アルカリシリカ反応抑制技術の検討
- 熱力学的相平衡計算を用いたセメントマトリックス組成の推定
- JCI / コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に関する研究委員会の活動とその成果
- コンクリート塊の再利用・現状と課題
- 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 低温でCO₂からメタノールを合成できる触媒の開発
- コンクリートの「中性化」と強制的な「炭酸化」の違い
- コンクリートのひび割れ点検の高精度化と効率化を目指して ひび割れ画像解析技術「t.WAVE」の開発
- ずいそう(二羽淳一郎) ○寸思寸言(宮川豊章) ほか



シリーズセメント系固材材 その特性と広がる可能性③セメント改良技術の適用事例・浅層混合処理

セメント・コンクリート No.913 3月号
2023(令和5)年3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/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



第77回

セメント 技術大会

2023年5月17日(水)～19日(金)

会場:赤坂インターシティコンファレンス
(東京都港区赤坂1-8-1 赤坂インターシティAIR)

一般研究発表

セメント・コンクリートの 材料科学の研究発表

- セメント製造技術
- セメントの水和
- 環境・リサイクル
- セメント系新材料
- コンクリートの耐久性 等



◆形式: 会場とオンライン
(ハイブリッド)

◆参加費: 無料 (聴講にあたっては事前申込が必要となります
(右記QRコードよりお申し込みください))



基調講演 5月18日(木) 11:00～12:15

セメント等粉体系材料の “環境安全品質”

国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環領域 試験評価・適正管理研究室 室長 有倉 宏史 氏



特別講演 5月18日(木) 15:30～16:45

脱炭素への移行と セメント化学

東京工業大学 名誉教授 坂井 悦郎 氏

