

CEMENT & CONCRETE

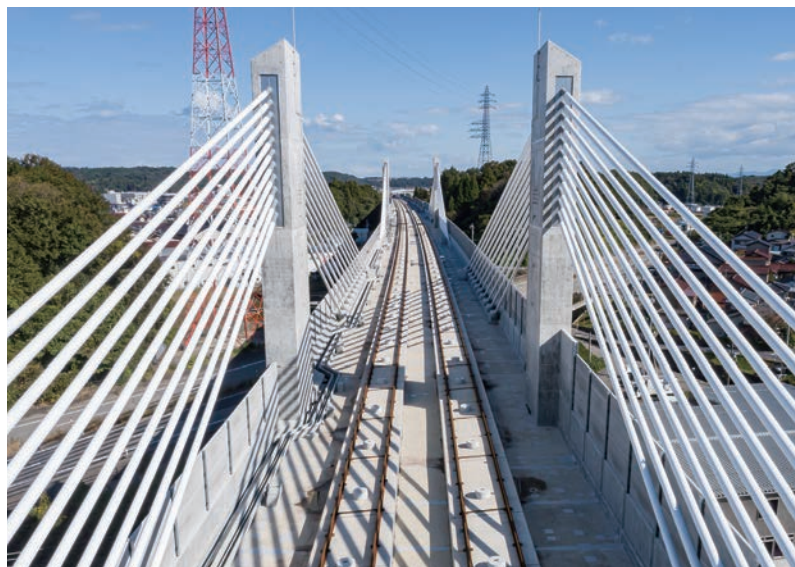
2022
No.903

セメント・ コンクリート

5

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和4年5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(高性能タイプ)
フローリック SV10シリーズ
- ◆ 高性能AE減水剤
フローリック SF500シリーズ
- ◆ 乾燥収縮低減剤
シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード
- ◆ 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ(標準形・遅延形)
フローリック SF500SK・RK
- ◆ 高性能減水剤
フローリック VP900シリーズ

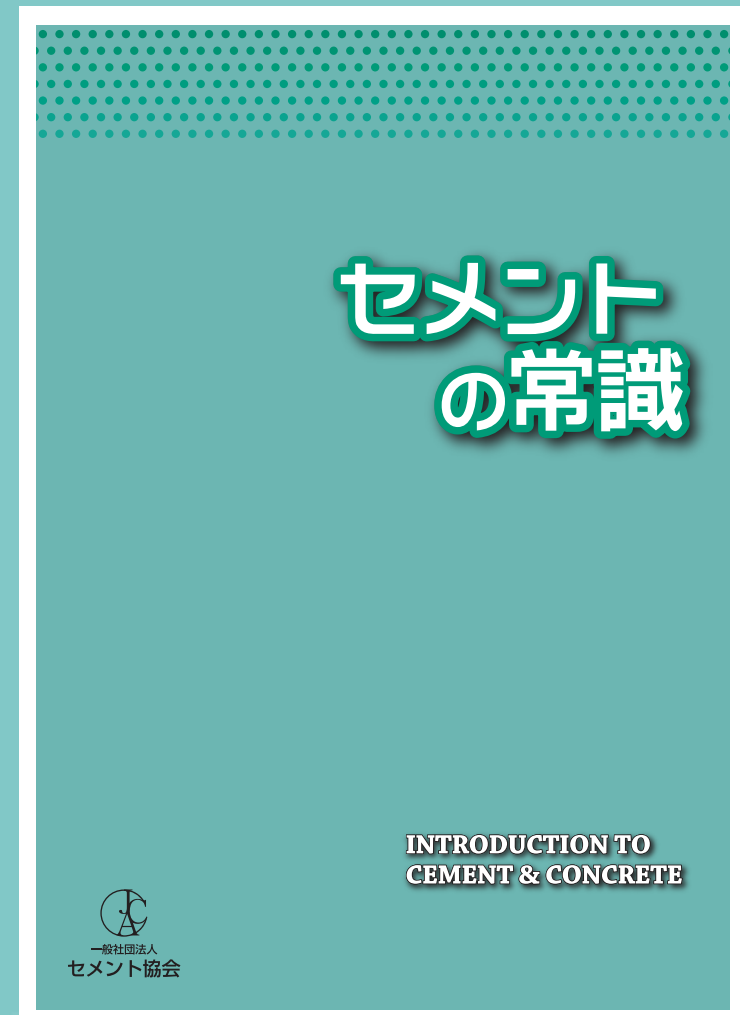
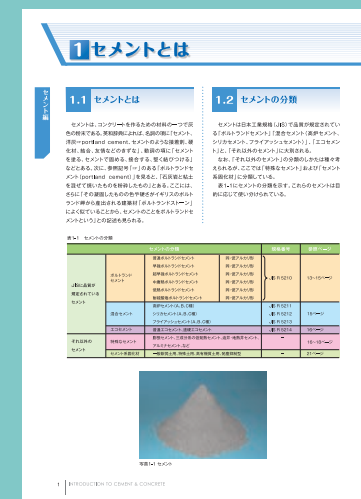
日本製紙グループ
株式会社フローリック

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

コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック 検索
<https://www.flowric.co.jp>

セメント協会の出版物



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

A4版・オールカラー 72ページ 定価2200円(税込)
(月刊セメント・コンクリート定期購読者は1割引)

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

「セメントの常識」おすすめです。
緑の表紙の常識、新版出ました!

クリップボードの コンクリート化学編 出ました。

月刊セメント・コンクリート誌に長期連載した人気シリーズが単行本になりました。コンクリートの気になるキーワード全47項目をそれぞれ2～3ページで簡潔に解説。既刊の[セメント化学編]とともにお役に立つこと間違いなしです。

4つのカテゴリーに分類 ● フレッシュコンクリートの物性

硬化コンクリート

耐久性

いろいろなコンクリート



ブルーのカバー

**e3 (シースリー)
クリップボード**

コンクリート化学編

A4判・123頁・3,080円



グリーンのカバー

**e3 (シースリー)
クリップボード**

セメント化学編

A4判・134頁・3,080円

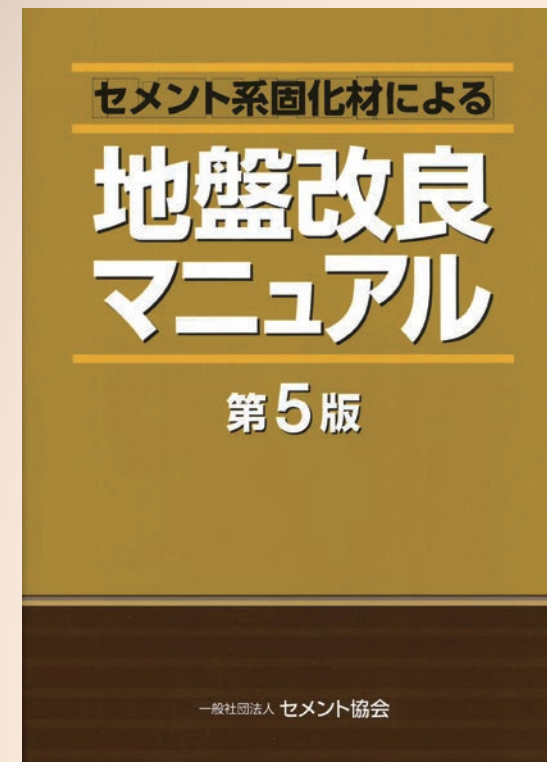
お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで

東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階

TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

セメント系固化材による 地盤改良マニュアル



**最新第5版
発刊しました。**

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

第5版改訂のポイント

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

**A5判 502頁
税込定価 6600円**

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

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

セメント・コンクリート **5**

CEMENT & CONCRETE
2022 No.903

もくじ

2	TOPICS セメント産業のカーボンニュートラルの絵姿とその道筋	… 安斎 浩幸
6	希少糖の工業利用とコンクリート分野への活用の可能性	… 岡崎 慎一郎ほか
10	セメント産業における石灰石の利用	… 平尾 宙ほか
16	すいそう The Good Life	… 大西 利勝
18	新幹線の橋りょうにおいて国内最長スパンとなったエクストラードスド橋 北陸新幹線 細坪架道橋の施工	… 西田 篤広ほか
26	偏心拡底掘削による大底面積場所打ちコンクリート拡底杭 「花びら拡底杭工法」の開発	… 藤田 敏郎ほか
33	日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針」の概要	… 鹿毛 忠継
42	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 炭酸化によるセメント系材料のCO ₂ 吸収固定(その2)	… 星野 清一ほか
48	Cのイメージ ～コンクリート名所案内～ No.99 曲淵ダム	

51	セメント・データファイル
52	主要建設工事・資材統計
54	EVENT GUIDE
56	6月号予告
58	セメント・コンクリート論文集 Vol.76 (2022年度) 論文募集のご案内



今月の表紙

北陸新幹線のランドマーク的な
エクストラードスド橋・細坪架
道橋
[石川県／提供：JR東日本・
運輸機構]

セメント産業の カーボンニュートラルの絵姿とその道筋

1. はじめに

2020年10月に、わが国が2050年にカーボンニュートラルを目指すことが宣言され、その後、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(以下、グリーン成長戦略)が閣議決定された。同戦略では当業界が関連するカーボンリサイクル・マテリアル産業の取組みが盛り込まれ、当業界が貢献すべき分野も少しずつ明確になり、会員会社においては技術開発が推進されている。

セメント協会では、これら国の目指すカーボンニュートラルの方向性を念頭に置きながら、2020年3月26日に公表した長期ビジョン¹⁾をカーボンニュートラルに向け改めることとし、今般、改訂版として公表した。

2. 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

今回の改訂では、表題を「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」に改め、「目指すべき対策の方向と克服すべき課題」について、国の長期戦略で明確にされてきた取組み内容を踏まえたものとするとともに、現時点で考えられる2050年に向けての対策から、セメント産業が2050年にカーボンニュートラルを達成する絵姿をビジョンとして描いた。

以下に、今回の改訂で加えられた主な論点や絵姿を示す。

(1) 目指すべき対策の方向と克服すべき課題

1) クリンカ／セメント比の低減

クリンカ／セメント比を低減することは二酸化炭素排出量削減に直結するが、セメントの品質面の性能維持の観点からの影響や、クリンカ原料としての廃棄物受け入れ量の低下が循環型社会構築に及ぼす影響が、それぞれ最小となるように検討を行う必要がある。

そのため、目指すべきクリンカ／セメント比を明確にし、その実現に向けて課題である「実機で製造した試製セメントを用いて性能確認を行う必要があり、その後には規格改正を視野に入れて進める必要がある」ことを言及した。

2) 使用エネルギーの低炭素化

炭素排出係数を有さないバイオマスの熱エネルギー代替としての利用は、重要な低炭素化対策であるが、その量の確保、調達価格の高騰、前処理の必要性など課題がある。

その一方で、昨今、「水素やアンモニア、メタネーションによる合成メタンなどの導入」といったクリーンエネルギーの利用に向けた技術開発の進展が期待されている。そのため、「ゼロエミッション系の混焼を少なくとも50%までに増やすことを目指す」こととし、その導入に向けては「必要とする量の確

保、競争力のある価格での供給や、安定供給のためのインフラ整備などの外部条件の整備が欠かせない」ことを述べた。

3) 二酸化炭素の回収・利用・貯留(CCUS)への取組み

セメント産業がわが国の目指すカーボンニュートラルの実現に貢献するためには、相当部分をCCUSへ依存せざるを得ない。

2020年1月に公表された「革新的環境イノベーション戦略」では、「CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立／製造工程で発生する二酸化炭素を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木資材として再資源化するセメント製造プロセス構築を目指す」ことがアクションプランの一つとして取り上げられ、その技術開発が会員会社で進められている。また、その後のグリーン成長戦略では「国内セメント工場で大量のCO₂回収を実現する技術の確立を目標とする。(中略)廃棄物等の多様なカルシウム源を用いて、回収したCO₂と反応させ炭酸塩として有効利用する技術の開発や商用化に向けた実証等を進め、当該技術の確立を図る。」ことが示され、現在、その研究開発がグリーンイノベーション基金事業として、会員会社において開始されている。

このように、当業界のカーボンニュートラルの実

現にとって不可欠なCCUSについては、会員会社において技術開発が進められていることを述べるとともに、「回収した二酸化炭素をメタネーション技術により合成メタンとして、熱エネルギーに利用していく技術開発も進められている」ことにも言及した。

4) セメントカーボネーション(セメント水和物の二酸化炭素の固定)

昨今、コンクリート構造物が二酸化炭素を吸収する現象が取り上げられている。この現象は、微視的に見れば「セメント水和物が大気中の二酸化炭素と徐々に反応して炭酸カルシウム(CaCO₃)を生成し、二酸化炭素を固定化する」ことに起因するもので、「この大気中に含まれる二酸化炭素が時間の経過とともに徐々に固定化される反応をセメントカーボネーション」と称した²⁾。

しかしながら、「国際的に合意された新たな二酸化炭素の吸収源として算出方法論は未だに整備されていない」ことから、「IPCCのインベントリー作業部会における今後の算定方法などの議論の進展が待たれる」ことを述べた。

(2) 2050年に向けて目指す対策

現時点で考えられる2050年に向けて目指す対策を表1に示す。

表1 2050年に向けて目指す対策

5.1 2050年に向けて目指す対策

- (1) プロセス起源二酸化炭素
 - ・普通ポルトランドセメントの少量混合成分の増量により、クリンカ／セメント比が0.85から0.825に低減することを目指す。
 - ・セメントカーボネーションにより固定する二酸化炭素量(強制的に固定化させるものは含めない)は相当量あることが報告されているが、国際的に合意された算定方法が確立していないため、セメント産業に係る貢献として、絵姿に示す。
- (2) エネルギー起源二酸化炭素
 - ・省エネとエネルギー代替廃棄物の利用拡大を進め、また、クリンカ／セメント比の低減分のエネルギー使用量削減が可能。
 - ・焼成用エネルギーは、バイオマスを含む代替廃棄物の利用拡大、将来的な水素・アンモニア・合成メタン混焼などにより、ゼロエミッション系の混焼を少なくとも50%までに増やすことを目指す。
 - ・自家発電は、バイオマス燃料を始めとした各種ゼロエミッション系燃料への転換によるゼロエミッションを目指す。
- (3) プロセス起源、エネルギー起源両方に向けた二酸化炭素の回収・利用・貯留
 - ・国のグリーン成長戦略等に沿いながら、技術開発を推進し、二酸化炭素の回収・利用・貯留の技術によって削減を目指す。
- (4) その他の想定
 - ・ユーザーの低炭素化への意識向上から、将来的にはクリンカの比率がより低減することが想定され、2030年に0.825を目指したクリンカ／セメント比が、2050年には0.8にまで低減することを想定する。

出典：「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」概要版より

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(概要)

5.2 セメント産業の2050年カーボンニュートラルの絵姿

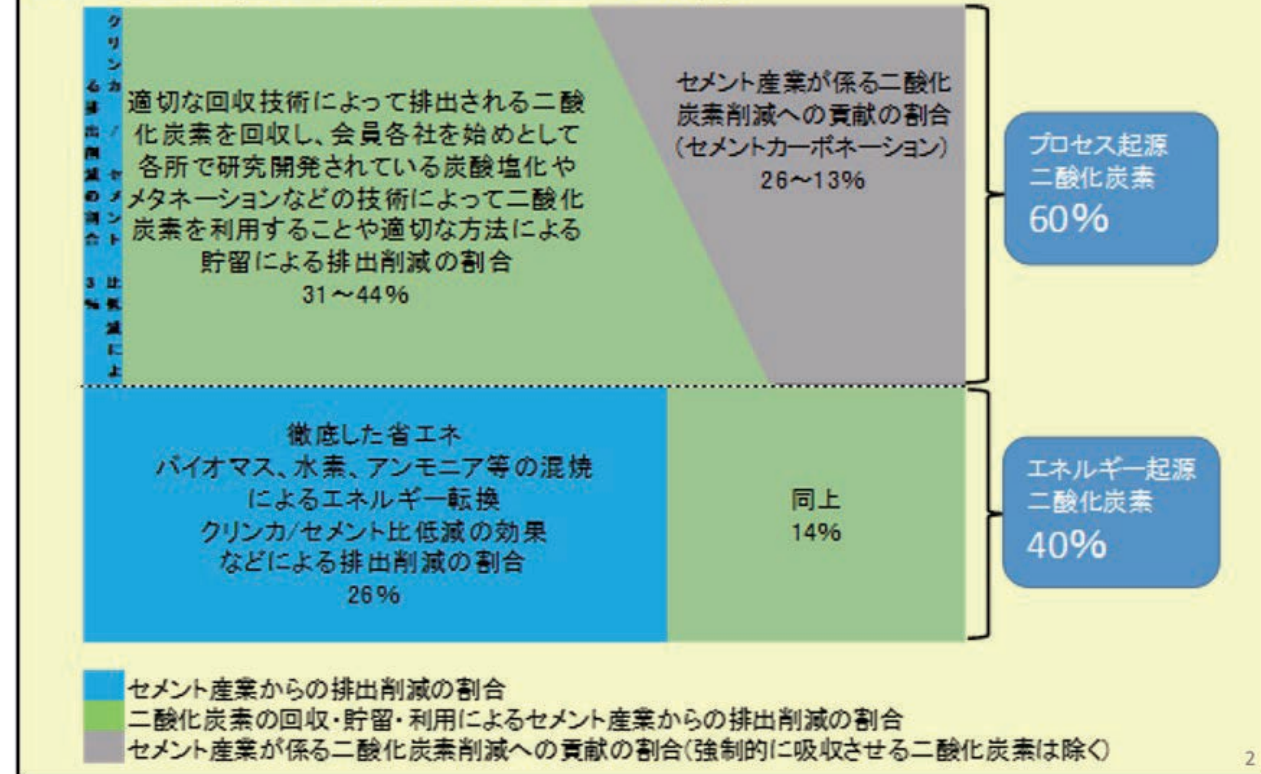


図1 セメント産業の2050年カーボンニュートラルの絵姿

(3) セメント産業の2050年カーボンニュートラルの絵姿

前項の目指す対策を基に、2013年と比べた2050年における排出削減量、二酸化炭素の回収・利用・貯留による排出削減、そして、セメントカーボネーションを、IPCCの公開情報等をベースに幅を持たせた推定値を用いてセメント産業に係る貢献とし、それぞれを絵姿に示した(図1)。

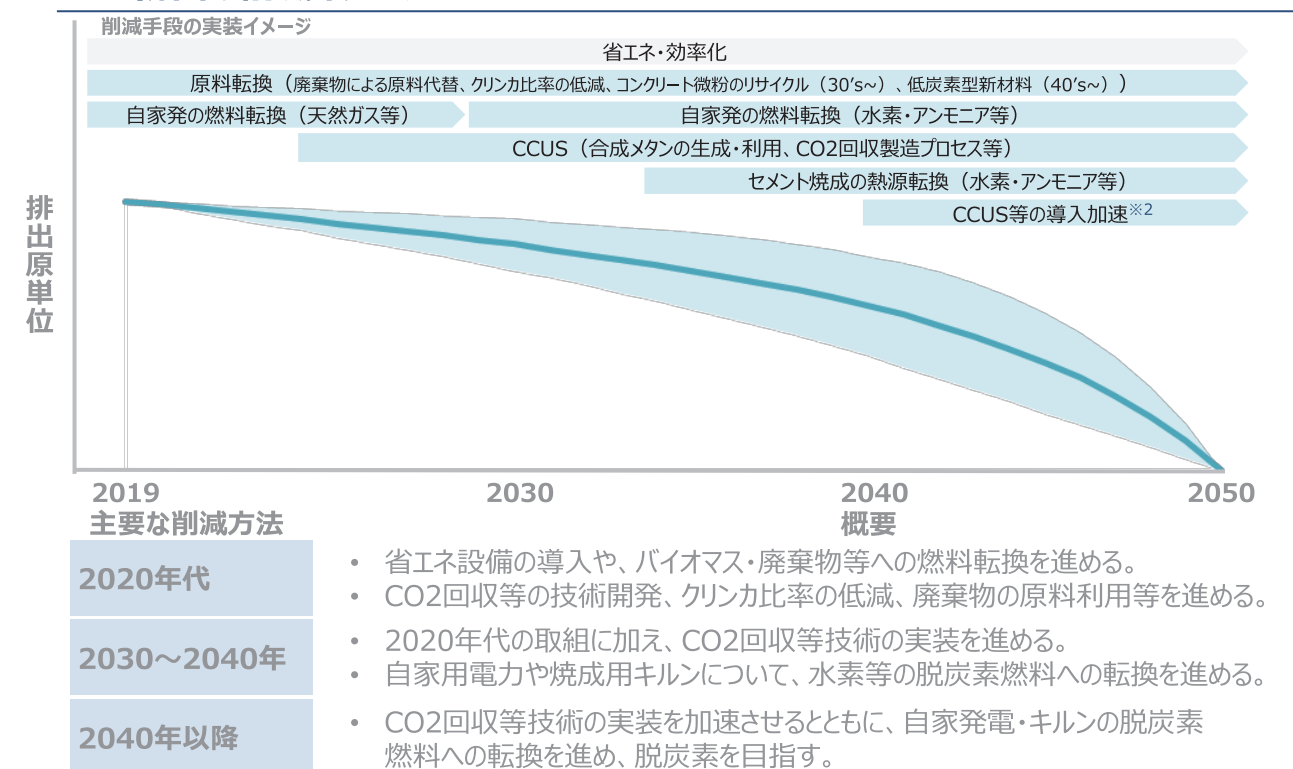
図1からも明らかのように、二酸化炭素の回収・利用・貯留による排出削減が多くを占めており、セメント産業のカーボンニュートラルに向けては、グリーンイノベーション基金事業等により進められているようなCCUSの社会実装やクリーンエネルギーへの転換等の実現に向け、技術開発を推進していくことが重要である。

3.カーボンニュートラルの実現に向けて

セメント産業が2050年にカーボンニュートラルを達成する絵姿を図1に示したが、その実現に向けての技術開発の推進とともに、その移行期(トランジション)には、省エネや廃棄物の利用拡大などの取組みを進めていくことも重要である。

経済産業省は、トランジション・ファイナンスの推進を目指して脱炭素への移行に向けた分野別の技術ロードマップを策定し、セメント分野においてもロードマップが策定された³⁾。同ロードマップには、わが国の2050年カーボンニュートラル実現に向けて、科学的根拠に基づいた現状利用可能な省エネ・高効率化、燃料転換等の着実な低炭素への取組みに加え、将来的な革新技术についても国

CO2排出の削減イメージ※1、2



※1 我が国におけるセメント産業全体としての削減イメージであり、実際にはセメント各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記経路イメージとの一致を求めるものではない。

※2 2050年カーボンニュートラルの実現には、CCUSや水素・アンモニア等の導入拡大も非常に重要。省エネ技術の進展や水素・アンモニアなどの新燃料の安定・安価な供給、その関連のインフラ、サプライチェーンを通じた連携によるCCUSやサーキュラーエコノミーなど、新たな社会システムの整備が前提。

図2 「トランジション・ファイナンスに関するセメント分野における技術ロードマップ」に示されたCO2排出の削減イメージ

内の各政策、国際的なシナリオ等を参照し背景や時間軸とともに表されている。

また、同ロードマップには「CO2排出の削減イメージ」(図2)が描かれており、2030年代後半からの削減が加速している。これは、2040年以降の主な削減方法の概要として示された「CO2回収等技術の実装を加速させるとともに、自家発電・キルンの脱炭素燃料への転換を進め、脱炭素を目指す」ことによるものといえる。

今回公表した「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」では、2050年のゴールとしての絵姿を示したが、その道筋では低炭素・脱炭素技術の開発および導入を経て進められるもの

であり、官民連携で策定されたこの技術ロードマップを参照として、当業界も2050年カーボンニュートラルの実現を目指して取り組んで参りたい。

[安斎 浩幸／(一社)セメント協会 生産・環境部門]

【参考文献】

- 1) セメント協会／脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン、2020年3月26日公表
- 2) “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3:Industrial Processes and Product Use”, p.2.15
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
- 3) 経済産業省／トランジション・ファイナンスに関するセメント分野における技術ロードマップ
<https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220324002/20220324002.html>

希少糖の工業利用とコンクリート分野への 活用の可能性

Industrial Use of Rare Sugar Sweet and their potential use as Concrete admixture

岡崎 慎一郎 吉田 秀典

1. はじめに

「希少糖」¹⁾はご存知でしょうか。糖類は、食品業界のみならず、工業界においても様々な用途に利用されている。コンクリート業界では、凝結遅延等の効果を期待して、混和剤として古くから、糖類が使用されているのはご存知であろう^{2~4)}。

今回は、香川大学で生産法が確立された希少糖の、工業利用、およびコンクリート分野への可能性をお示ししたい。

2. 希少糖とは

「希少糖」とは、自然界に存在量が少ない単糖とその誘導体を総称するものである。希少糖はその種類が50種類以上と非常に多いが、これら全てを合わせても地球上での存在量は0.1%にも満たず、ブドウ糖をはじめとする天然型単糖が大部分を占めると考えられている(図1)。

香川大学希少糖研究教育機構の何森研究顧問は、



おかざき しんいちろう / OKAZAKI Shinichiro
香川大学 創造工学部 准教授 博士(工学)



よしだ ひでのり / YOSHIDA Hidenori
同上 教授・副学長 博士(工学)

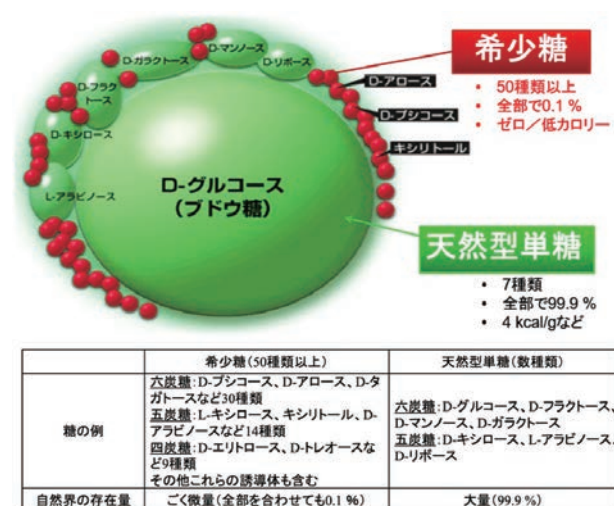


図1 希少糖と天然型単糖との比較

微生物のもつ酵素を利用して、自然界に多量に存在する糖から希少糖を作るという挑戦により、希少糖を含む全単糖の生産戦略図である「イズモリング」(図2)を構築し^{5,6)}、すべての糖の生産を可能とした。これを契機として、次世代甘味料として松谷化学工業より製品化・販売を行ったり(図3)⁷⁾、香川大学国際希少糖研究機構の発足、国際希少糖学会の設置等により、活発に研究活動を実施している。

希少糖の持つ健康機能としては、糖尿病や肥満の予防や改善に役立つ働き⁸⁾や、虫歯や歯周病に対して有効である可能性⁹⁾、活性酸素の生産を抑制することによる抗酸化作用¹⁰⁾、癌細胞の増殖を抑制する働き、さまざまな疾患に対する治療に用いる医薬品・医療用食品への利用等があげられる(図4)。

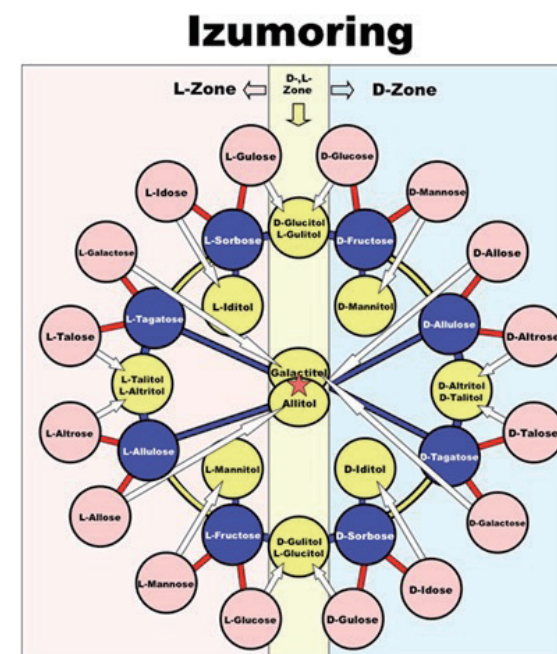


図2 イズモリング⁵⁾

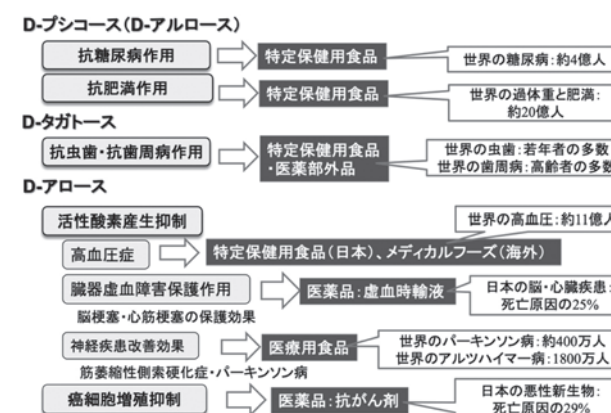


図4 希少糖の健康機能と応用可能性

D-ブシコース(D-アロース)は砂糖の7割程度の甘さを持ち、自然界では食用植物ズイナの葉にのみ3~5%程度含まれる。血糖上昇を抑え、耐糖能異常(糖尿病予備軍)を改善する。単にノンカロリー甘味料であるだけでなく、糖代謝・脂質代謝に対して抑制的な作用を持ち、過食に偏りがちな現代人を生活習慣病から守ってくれる新素材といえる。

D-アロースは砂糖の8割程度の甘さをもつ。9割以上が尿中に排泄されるため、摂取されたD-アロースの大部分がエネルギーとして利用されない。主な生理効果は、抗酸化作用と癌細胞増殖抑制作用である。

このような高機能の希少糖を手軽に摂取するために、理想バランス甘味料として開発された「希少糖シロップ」は、通常のシロップに比べて15%のカロリーオフでありながら、砂糖と同等の甘さを有している。砂糖を希少糖シロップに置き換えることで、砂糖摂取時に比べ肥満抑制効果と、血糖値の上昇の抑制効果が確認されている(図5)。



図3 希少糖シロップ⁷⁾

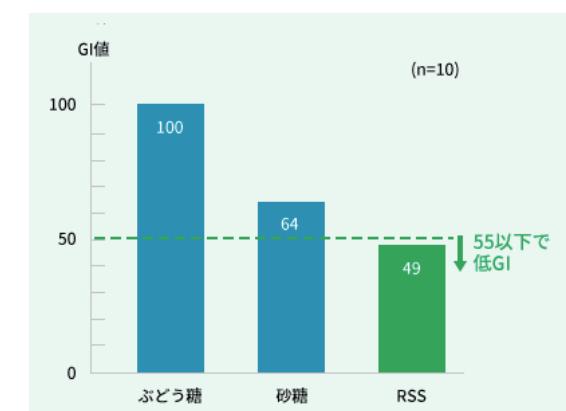


図5 食後血糖値の上昇抑制効果⁷⁾

海外でもこれらの効果は実証され、希少糖は世界の人々に対しても有効であることが示されている。

3. 希少糖の工業利用

資源循環型社会が望まれている現在、破碎後の廃コンクリートを、路盤材として再利用する等の取り組みが推進されている。ただ、これらのリサイクル材料から

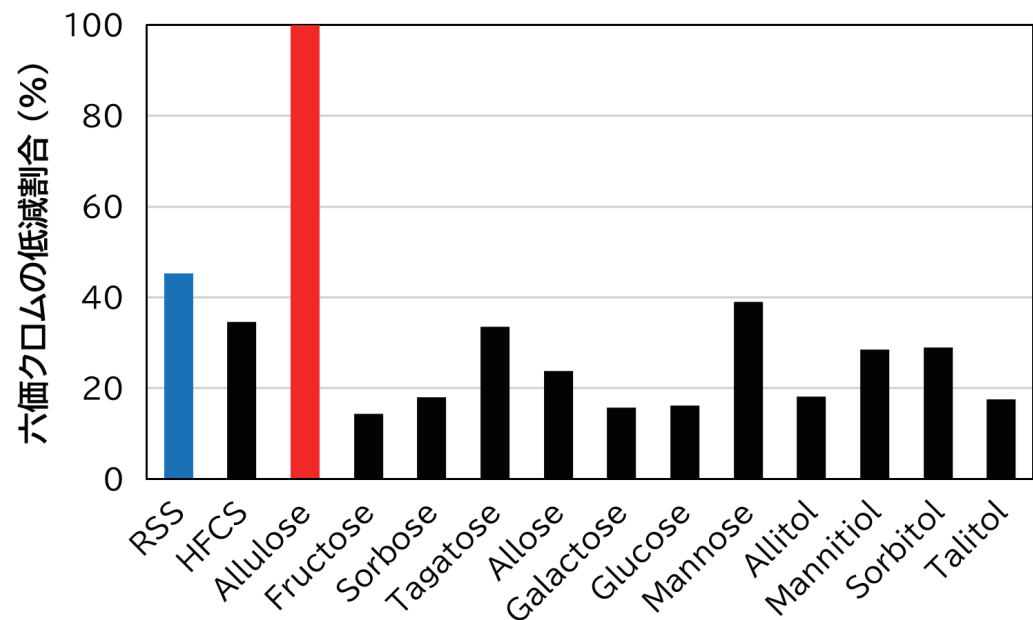


図6 各糖類等による六価クロムの低減割合

は、六価クロムの溶出が懸念されている^{12,13)}。そこで、六価クロムを三価クロムに還元し、低コストにて無害化する技術開発が進められている^{14,15)}。そこで、執筆者の研究グループは、糖の還元作用を利用して、六価クロムの無害化技術構築の検討を行った^{17,18)}。

この取組みの特色は、還元剤として、賞味期限を超過した希少糖を用いたことにある。賞味期限を超過し、メイラード反応により透明から黄色く変色した廃シロップは処分されることになるが、そのまま直接廃棄できないため、結晶化させた上で焼却処分するといったプロセスが必要とし、処分に高額な費用を要していた。コンクリートのリサイクル材の無害化に、廃シロップといったリユース品を利用することで、材料費を格段に抑えることが可能となる。

0.05ppmの六価クロム水溶液に対して、種々の希少糖および廃RSSを水溶液に対して0.5%の重量だけ混和し、これらの溶液を入れた容器を一定時間振とうさせ336時間静置した。その結果を図6に示す。ここで、RSSは、市販品(製品名：レアシュガースイート、希少糖含有シロップ由来の希少糖であるプシコース、ソルボース、タガトース、アロースを含む)の廃シロップ、HFCSはフルクトース、以下、人工的に製造した単糖類の希少糖である。Allulose(アルロース、別名d-プ

シコース)を用いた場合、六価クロムを三価クロムに還元させた比率は100%となった。また、RSSはそれに次ぐ効果が得られた。これは、RSSには、一部、Alluloseを含有しているためである。HFCSでは、それらほどの効果が得られていないことから、希少糖のうち、とくにAlluloseや、それを含有する廃シロップを無害化材として用いる意義が大きいことを確認した。

本技術により、廃コンクリート等、リサイクル材料を用いた路盤材を無害化できる可能性があり、現在、国内メーカーと製品化に取り組んでいる。

4. コンクリート分野への展開について

このような還元作用は、コンクリートの混和剤としての利用も期待できる。近年でも、糖類のコンクリートへの利用は、水和反応の制御を中心に盛んに行われている¹⁹⁾が、今後、この材料を用いることにより、コンクリートにさまざまな機能を付与させることも期待され、SDGsの観点から廃棄物を減らすことに加え、さらなる利活用 of the検討を行いたい。

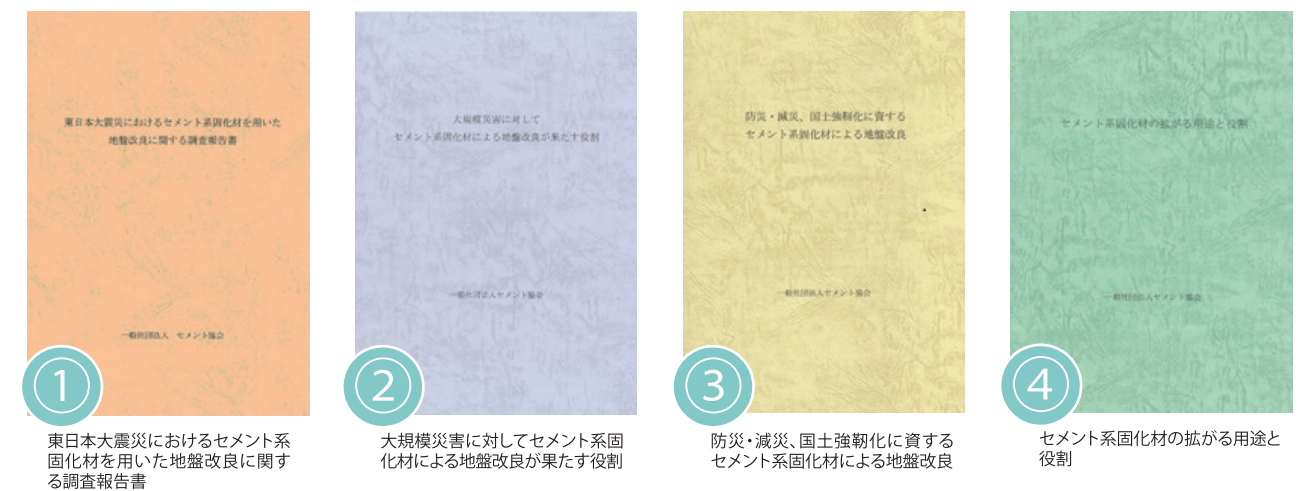
【謝辞】本研究は、JSPS 科研費 20K04684 の助成を受けたものである。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人 希少糖普及協会
HP : <https://www.rare-sugar.org/>
- 2) 佐藤健／促進剤 遅延剤 超遅延剤、セメント・コンクリート、Vol.427, pp.89～94, 1982
- 3) 竹内徹、長滝 重義／超遅延剤を用いたコンクリートの特性、コンクリート工学、Vol.37, No.11, pp.9～19, 1999
- 4) 和田晃宣、浅野弘裕、大内雅弘／砂糖添加による水和反応進行の抑制が自己充填性能安定化のためのフレッシュモルタルの性状に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.43, No.1, pp.826～831, 2021
- 5) 香川大学国際希少糖研究機構
HP, <https://www.kagawa-u.ac.jp/IIRSRE/outline.html>
- 6) Ken Izumori / Izumoring: a strategy for bioproduction of all hexoses, J Biotechnol, 124(4) : 717～722, 2006
- 7) 松谷化学工業株式会社
HP, <https://www.matsutani.co.jp/product/rss/rss3.html>
- 8) 矢田俊彦、岩崎有作／希少糖アルロースによる過食・肥満・糖尿病の改善：GLP-1と求心性迷走神経の役割, Journal of Japanese Biochemical Society 91(1) : 58～64, 2019
- 9) Khaleque Hasibul, Haruyuki Nakayama-Imahiji, Masahito Hashimoto, Hisashi Yamasaki, Takaaki Ogawa, Junpei Waki, Ayano Tada, Soari Yoneda, Masaaki Tokuda, Minoru Miyake, Tomomi Kuwahara / Molecular Medicine Reports, Vol.17, pp.843～851, 2017
- 10) Akiko Murata, Keizo Sekiya, Yasuo Watanabe, Fuminori Yamaguchi, Naoya Hatano, Ken Izumori, Masaaki Tokuda / A novel inhibitory effect of D-allose on production of reactive oxygen species from neutrophils, J Biosci Bioeng, 2003;96(1) : 89～91
- 11) Nobuhiro Kanaji Kazuyo Kamitori Akram Hossain Chisato
Noguchi Ayako Katagi Norimitsu Kadowaki Masaaki Tokuda / Additive antitumour effect of D-allose in combination with cisplatin in non-small cell lung cancer cells, Oncology Reports, 39(3), pp. 1292～1298, 2018
- 12) 土木学会／コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題、コンクリートライブラリー 111, 2005
- 13) 高橋茂／セメントに含まれる微量成分の環境への影響、セメント・コンクリート, No.640, pp.20～29, 2000
- 14) 森濱和正、渡辺博志、片平博、新田博之／コンクリート解体材からの六価クロム溶出の特性、簡易試験法および抑制対策に関する検討、コンクリート年次論文集, 32(1), pp.1505～1510, 2010
- 15) 木村仁、丸山久一、森末春男／産業副産物を用いたコンクリートの応用と有害金属の溶出抑制に関する研究、コンクリート年次論文集, 32(1), pp.1505～1510, 2010
- 16) 新井田良一、新田弘之、西崎到／還元糖などを用いた再生路盤材からの六価クロム溶出低減方法に関する研究、土木学会論文集 E1(舗装工学), 71(3), I_211-I_216, 2015
- 17) 山谷健介、柴田慶一郎、松本直通、岡崎慎一郎、吉田秀典／廃シロップ添加によるセメント改良土の強度向上に関する研究、地盤改良シンポジウム論文集, 2020
- 18) Keiichiro Shibata, Hidenori Yoshida, Hiroki Yokoyama, Shinichiro Okazaki, Matsumoto Naomichi / STUDY ON ELUTION REDUCTION OF HEXAVALENT CHROMIUM FROM RECYCLED BASE COURSE MATERIAL USING WASTE SYRUP, International journal of GEOMATE 17(70) 149～154, 2020
- 19) 小山達也、名和豊春、森永祐加、朴竣範／シヨ糖添加がC₃Sの水和反応へ及ぼす影響と水和反応機構に関する一考察、セメント・コンクリート論文集, 70(1), pp.24～31, 2016

改良地盤の震災・適用調査報告書 無料ダウンロードできます。

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



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

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

セメント産業における石灰石の利用

Use of limestone in cement industry

平尾 宙 黒川 大亮

1. はじめに

石灰石は国内に豊富な埋蔵量があり、数少ない自給可能な鉱物資源である。全国で年間約1億7千万tが生産されており、約半分がセメント用、約2割がコンクリート骨材用として用いられている¹⁾。セメント用の石灰石はセメントクリンカーの主原料であるが、セメント・コンクリート用の混合材としても利用されている。ここでは最近の動向を含めて、これらの利用技術や品質への影響などについて既往の研究を中心にレビューする。さらに、CO₂利用技術に関連して、近年報告が増えている炭酸塩化により合成されたCaCO₃製造技術についても述べる。

2. セメントクリンカー原料としての石灰石利用

ポルトランドセメントは、その成分として酸化カルシウム(CaO)を60～65%と多く含んでいる。このため、

表1 主なセメント原料の化学組成²⁾

(wt%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CO ₂
石灰石類	47-55				37-43
粘土類		45-78 (30-57)	10-26 (12-32)	3-9	
珪石類		77-96			
鉄原料				40-90	

※粘土類に相当する石灰炭等のリサイクル原料の組成は()内に示した。

CaCO₃を主成分とする石灰石は、セメント製造原料用の天然資源として適している。セメントクリンカーの原料調査では、構成鉱物を目標の比率で得るために、化学組成の調整が行われるが、その際にはCaOだけでなく、二酸化ケイ素(SiO₂)や酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化鉄(Fe₂O₃)等も所定の比率となるように調整する。これらCaO以外の化学成分は石灰石の不純物として含まれることもあるが、一般には他の原料、例えば粘土や珪石などを加えることで補う。表1にセメントクリンカーの主な原料の化学組成を示す²⁾。石灰炭に代表されるリサイクル原料は、一般にAl₂O₃に富むため、粘土代替として使用される。言い換えれば、石灰石の純度(CaCO₃含有量)が高いほど、一般にはリサイクル原料をより多く使用可能となる。諸外国と比較して、国内のセメント製造において大量のリサイクル原料が使用されているが³⁾、上述の石灰石の純度の高さが一因と言える。図1に示すとおり、日本のセメン

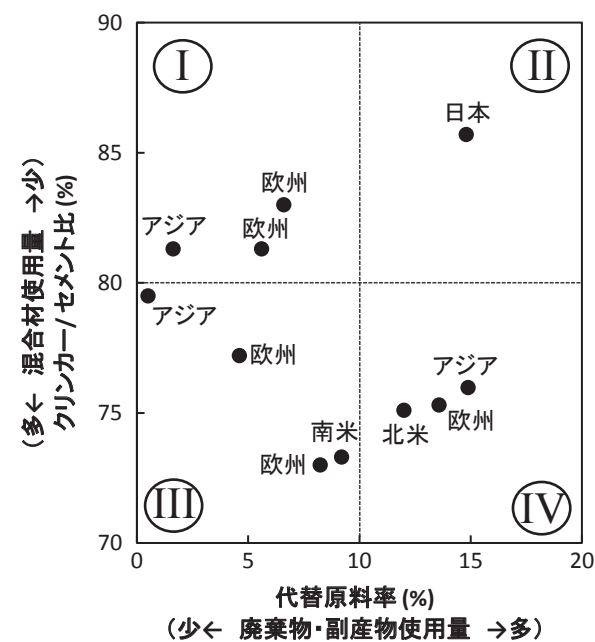


図1 世界のセメントメーカーの代替原料率とクリンカー／セメント比^{文献3,4)から作成}

トは、クリンカー製造に多くの廃棄物・副産物を用いている領域IIに区分される^{3,4)}(図1の各領域で相対的に生産量が多いと考えられる製品は以下の通り。I.天然原料を多く用いたポルトランドセメント、II.廃棄物・副産物原料を多く用いたポルトランドセメント、III.天然混合材を多く用いた混合セメント、IV.副産物混合材を多く用いた混合セメント)。国内の石灰石の純度は地質構造区分に基づき整理されており、その平均値は90%以上が多いと報告されている⁵⁾。一方、海外からの報告では、石灰石の純度は日本に比べると範囲が広く、70～90%代の値が報告されている^{6,7)}。また、セメントクリンカーには、主成分以外の少量微量成分も含まれるが⁸⁾、諸外国よりも石灰石の純度が高いことは、これらを制御する点でも有利とされている。

3. セメント用混合材としての石灰石微粉末

ポゾラン物質と比較して不活性とされる物質の中から、世界的には石灰石微粉末がセメント混合材として広く利用される。その背景としては、均質で埋蔵量が多く、多くのセメント工場で採取や粉砕が比較的容易で

あり、セメント・コンクリートの反応に悪影響が無い、などの理由によると考えられる。石灰石の被粉碎性はセメントクリンカーよりも高く、粉砕助剤としてはTIPAなどを用いることで水和時の反応性が高まることも報告されている⁹⁾。

石灰石微粉末の不純分としては、粘土鉱物や有機分を多く含有するほど、化学混和剤の吸着量が増加するとされている⁶⁾。一方で、石灰石微粉末を25%混合したセメントを用いたモルタル強さ試験では、石灰石の純度が46.6～99%の範囲では影響は認められなかったとされる¹⁰⁾。日本の石灰石は海外に比べて高純度とされているが、資源の有効活用の観点から、これまでもJIS R 5210に定義された石灰石微粉末の品質は適宜見直しが行われてきた。現在のJISにおける石灰石の純度は90%以上、かつ、酸化アルミニウムの含有率が1.0%以下とされているが、いまだに海外規格であるEN 197-1:2011(石灰石の純度で75%以上)、ASTM C595/C595M-15:2015(同70%以上)などと比較すると高純度と言える。今後も品質への影響などを見極めたうえで、限りある資源として石灰石微粉末の有効活用をあわせて指向していく必要がある。

4. 混合材として用いた場合のセメントの水和反応への影響

ごく初期の水和反応に関して、C₃A-CaSO₄・2H₂O-CaCO₃系のモデル的な水和反応解析¹¹⁾では、CaCO₃が共存することによりC₃AおよびCaSO₄の反応率は低下し、CaCO₃とC₃Aの反応は二水石こうが消費された後に増大することが確認されている。この結果、セメントに添加された石灰石微粉末は、凝結制御のためのセッコウ量を一部代替することが可能と考えられている¹²⁾。

初期のセメントの水和反応への影響は、一般に微粉末効果と呼ばれる現象で、石灰石に限らず微粉末に共通する性質である。微粉末の表面が水和物の析出サイトとなることで、エーライト粒子表面に生成する水和



ひらお ひろし / HIRAO Hiroshi
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 部長 博士(工学)



くろかわ だいすけ / KUROKAWA Daisuke
同上 セメント化学チーム 博士(工学)

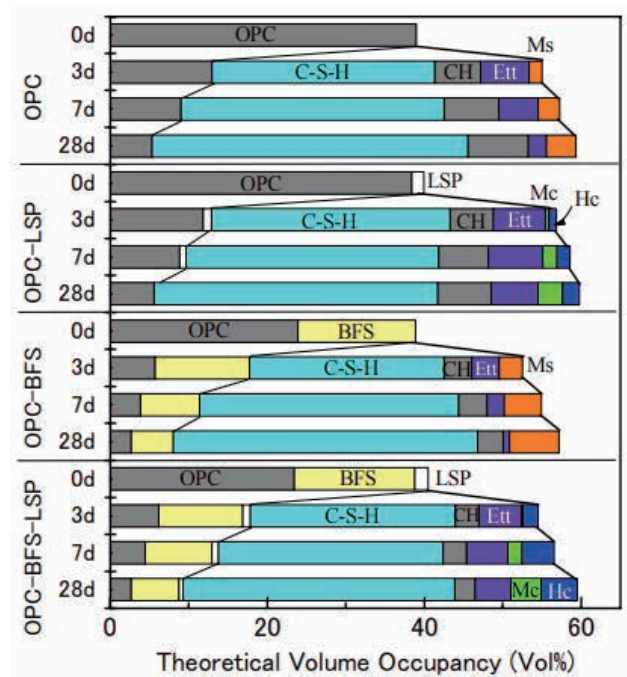


図2 セメント水和物の理論体積量¹⁷⁾

物相の厚さが薄くなり、イオンの拡散や水の移動が容易になるために生じると説明されている¹³⁾。同一比表面積においては、石灰石微粉末は他の微粉末よりもその効果が大きいことも示されており、材齢3日程度迄の水和反応の比較的初期段階において顕著に生じる¹⁴⁾。

その後、材齢の経過とともに、石灰石微粉末とアルミニウム相の反応生成物として、ヘミカーボアルミネート ($C_3A \cdot 1/2Ca(OH)_2 \cdot 1/2CaCO_3 \cdot nH_2O$) やモノカーボアルミネート ($C_3A \cdot CaCO_3 \cdot nH_2O$) 等のカルシウムカーボアルミネート水和物が生成する¹⁵⁾。これらの水和生成物により強度が増進する現象は広く知られているが¹⁶⁾、その機構はセメント-スラグ-石灰石微粉末系の水和解析によって、水和物生成による空隙の充填から説明できる事が示されており¹⁷⁾、後述する焼成粘土-石灰石微粉末系などの各種セメントの開発へつながっている³⁾。
図2は、普通ポルトランドセメント(OPC)および高炉スラグ(BFS)および石灰石微粉末(LSP)を添加した際の水和物体積であるが、カルシウムカーボアルミネート水和物(HcやMc)の生成により、特にOPC-BFS-LSP系にて水和物総体積が増加している。また、石灰石微粉末を含むセメントでは、C-S-H相に含まれる Al_2O_3 量など

も変化する事が指摘されており¹⁸⁾、物性への影響解析については引き続き検討が必要と考えられる。なお、石灰石微粉末の反応率は、セメント鉱物中の特に C_3A 量によって影響を受けると考えられており、 C_3A - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - $CaCO_3$ 系のモデル的な反応の検討においては、材齢28日で80~90%の $CaCO_3$ が C_3A と反応してモノカーボアルミネートおよびヘミカーボアルミネートを生成したことが報告されている¹¹⁾。高流動コンクリートなどでは、石灰石微粉末は基本的に不活性粉体として利用されているが¹⁹⁾、厳密には上記のように水和の過程で反応している。

5. 石灰石微粉末を用いた混合セメントの設計

現状国内ではセメント用混合材としての石灰石微粉末の利用は限定的である。これは現行のJIS規格上、混合材としての利用が一部のポルトランドセメントに限り、5%を上限としてのみ認められているためである。一方、海外では、例えばASTM C595/C595M-15:2015では15%を上限に、EN 197-1:2011では35%を上限に、石灰石微粉末を混合材として利用した混合セメント(フィラーセメント)が規格化されている(石灰石微粉末を含む三成分系セメントなども規格化されている)。海外におけるフィラーセメントは28日材齢強さが主に32.5N/mm²クラスの低い強度のセメントに適用されている。一方、日本のセメントは52.5N/mm²クラスの高強度を発現する普通ポルトランドセメントが大半を占めている。これが日本において石灰石フィラーセメントの普及や規格化が進展しない一因であると考えられる。また、日本では、セメントの強さクラスがほぼ一定であることから、建設材料として求められる強度はコンクリートの調・配合によって確保される。したがって、セメント強さが低くなると、同一のコンクリート強度を得るための単位セメント量が増加することになる。単位セメント量の増加は、施工時のコンクリートの充填性や分離抵抗性を改善し、構造物の品質向上に有利に作用する²⁰⁾。一方で、材料・輸送コスト等

の増加が見込まれることから、その利用に当たっては総合的な評価が必要になると考えられる。2001年には、国内でもすでに強制御型セメントとして石灰石フィラーセメントの標準情報(TR)案が作成されており²⁰⁾、低炭素化の動向を考慮すると、後述する各種セメント用混合材としての石灰石微粉末利用技術も活用して、今後のセメント規格のあり方も改めて議論する必要がある。

石灰石フィラーセメント以外に、三成分系などを含む種々のセメントの設計にも、石灰石微粉末の利用が検討されている。1970年代には、高炉セメントには、石灰石微粉末添加による強度増進効果がポルトランドセメントよりもさらに高いことが報告されている²¹⁾。2000年代には、石灰石微粉末によるポルトランドセメントの強度増進においては、普通ポルトランドセメントと比較して、高 C_3A セメントでより高い効果があることが報告されており、高 C_3A セメント-高炉スラグ-石灰石微粉末系ではさらに顕著とされた²¹⁾。高炉セメントおよびエコセメントのJIS規格では、その後、2009年の改正で石灰石微粉末の利用が規定されている。ポルトランドセメントに最大5%添加される石灰石微粉末を含む少量混合成分は、1997年のJIS改正で規定されたが、その増量も研究されている。ここでもセメントの C_3A 増量による強度制御は要素技術の一つとして提案されている²²⁾。同様なセメントの設計は、セメント協会の長期ビジョン²³⁾にも反映されており、各社のカーボンニュートラル戦略^{例えば24)}にも盛り込まれている。高炉スラグやフライアッシュと比べて供給量で課題が少ない混合材として焼成粘土に石灰石微粉末を加えた新規セメントは、近年インドや中国などを中心に検討が進められている²⁵⁾。これらの技術はいずれも先述の反応性 Al_2O_3 源としてのセメント中 C_3A 、高炉スラグ、焼成粘土などと、石灰石微粉末の反応による強度増進効果を応用している。

6. 物性および耐久性

コンクリートとしては、石灰石微粉末の併用が凝結

時間へ与える影響は少ないとされている²⁶⁾。また、石灰石微粉末を混合した場合の硬化体強度は、内割置換の場合、混合量の増加とともに水セメント比が高くなるため強度は低下傾向にあるが、水セメント比の増加から予測されるほどは低下せず、外割添加の場合はおおむね強度増加に寄与するとされている²⁶⁾。これは、先述の水和促進効果によるものと考えられており¹⁵⁾、いずれの効果も材齢初期において大きいとされている。一般的な用途として、コンクリート混和材としての石灰石微粉末の利用目的は、高流動コンクリートの材料分離抵抗性や施工性の確保であり、特に一定量以上の粉体量の確保が必要な場合に、水和熱を上昇させることのない粉体として用いられる²⁷⁾。なお、セメント・コンクリートの品質への影響に関しては、JCI石灰石微粉末研究委員会報告書(C-44)²⁶⁾およびセメント協会石灰石微粉末専門委員会報告書²⁸⁾に2000年頃までの情報に基づき詳しくまとめられている。

より長期的な化学反応としては、耐硫酸塩性の改善技術としても石灰石微粉末が利用されている。先述したとおり、セメント中の石灰石微粉末は、カルシウムカーボアルミネート相の生成によりモノサルフェート相を減少させるため、外部から SO_4^{2-} が供給された場合でも新たなエトリンガイトの生成を抑制する。この石灰石微粉末の効果は、反応性 Al_2O_3 相が多い場合の硫酸塩劣化抑制に特に有効と考えられる。 SO_4^{2-} 浸透抑制の効果が高いとされるフライアッシュに、石灰石微粉末の効果を付与した耐硫酸塩性の改善技術も提案されている²⁹⁾。事例は限られるものの他の硫酸塩劣化として、低温の硫酸塩環境下ではC-S-Hが消費されてタウマサイト($CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$)が生成する事によりコンクリートが劣化する場合があるが、環境等を考慮すると国内で発生する可能性は低いと考えられている³⁰⁾。また、石灰石微粉末を含むセメントでは、水和により生成したモノサルフェートが徐々に石灰石微粉末と反応して SO_3 が余剰となり、エトリンガイトを遅れて生成させることが指摘されている³¹⁾。この現象は、過剰な温度での養生などに起因する

DEF³²⁾とは異なると考えられる。また、適切な養生を行えば、高温養生時においても石灰石微粉末の添加による膨張量の増加は認められないとされている³³⁾。

なお、石灰石を骨材として用いたコンクリートでは、他の骨材と比較して、アルカリ骨材反応の抑制、乾燥収縮の低減などの効果があるとされている。また、石灰石骨材に含まれる微粉分は、基本的には、先述の石灰石微粉末と同様なコンクリート物性への影響を持つと考えられる。

7. 最近の石灰石関連技術・製品

カーボンニュートラル化を指向して、工場などから排出されるCO₂を回収する技術の開発が進められている。回収したCO₂の利用技術の一つとしては、炭酸塩化に利用する技術開発も行われており、例えば、生コンクリートもしくはリサイクル材料(廃コンクリート等)に含まれるCa(OH)₂を、炭酸化によりCaCO₃とすることでCO₂を固定化する技術^{例えば34,35)}、Caイオンを抽出して高純度のCaCO₃を製造する検討^{例えば36,37)}、などがある。製造されたCaCO₃は、セメント原料や石灰石微粉末の代替のみならず、骨材などの活用方法も提案されている³⁸⁾。また、CaCO₃の多形としては、カルサイト、アラゴナイト、および準安定相として中性化したコンクリート中などに生成するバテライトが知られているが³⁹⁾、近年、上記の炭酸塩化反応により製造するCaCO₃の多形を制御してバテライトを生成することで、反応性向上などの新たな性能を付与したCaCO₃を製造する検討も行われている⁴⁰⁾。

8. おわりに

日本は良質な石灰石資源に恵まれており、セメントクリンカーの原料としては、成分的な理由からリサイクル原料活用量の増加にも貢献してきた。また、石灰石微粉末は、国内におけるセメント混合材としての利用は限定的であるが、低炭素化などを背景に規格改正を含めて活用拡大の検討が進められている。石灰石微粉末とセメントおよび他の混合材との反応機構に基づいて、様々なセメント設計も提案されており、社会環境材料としての重要性がますます増加している²⁰⁾。今後のセメントに求められる低炭素化、リサイクル活用拡大、品質の安定化、などを進めていく上で、これらの技術のさらなる高度化および実用化が期待される⁴¹⁾。最終的には、コンクリートとしての供用や解体後の再利用などを含めて、上記のセメントへの要求を満足していく必要があり、セメント産業のみならずサプライチェーン全体での議論と技術開発が求められる。国が掲げる2050年カーボンニュートラルという高い目標を背景として、今後のCO₂回収やその利用を考慮すると、廃コンクリートなどのCaOを含むリサイクルを利用した合成CaCO₃製造などの研究も重要になると考えられる。今後は、さらなる技術開発の発展により、日本に豊富な石灰石資源を最大活用するのみならず、再生、再利用に関する取り組みも進める事により、セメント・コンクリート産業全体における石灰石資源のさらに高度な活用が期待されている。

【謝辞】 東京工業大学坂井悦郎名誉教授には、本稿のとりまとめに当たり多くのご助言を頂きました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 石灰石鉱業協会HP／
https://www.limestone.gr.jp/introduction/qa.htm
- 2) セメント協会／セメントの常識, p.2, 2020
- 3) E.Gartner and H.Hirao／A review of alternative approaches to the reduction of CO2 emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete, Cement and Concrete Research, Volume 78, Part A, pp.126～142, 2015
- 4) 星野清一／セメント製造における廃棄物活用, 土木学会誌, Vol.107, No.2, pp.34～36, 2022
- 5) 石灰石鉱業協会／石灰石の用途と特性, pp.52, 1986

- 6) S.Sprung and E.Siebel／Assessment of suitability of limestone for producing portland limestone cement, ZKG, No.3, pp.43～48, 1991
- 7) A. Harrisson／The importance of raw materials, International Cement Review, pp.46～48, 2014 Feb.
- 8) 高橋茂／セメントに含まれる微量成分の環境への影響, セメント・コンクリート, No.640, pp.20～29, 2000
- 9) 市川牧彦, 佐野奨, 小向 雄人／セメントのキャラクター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, 50, pp.110～115, 1996
- 10) 松野路雄, 佐野奨, 外川祥子, 市川牧彦／石灰石微粉末のキャラクターとモルタルの性質, 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, 石灰石微粉末委員会報告書 日本コンクリート工学協会, pp.151～158, 1998
- 11) 李琮揆, 大場陽子, 坂井悦郎, 大門正機／3CaO・Al₂O₃-CaSO₄・₂H₂O-CaCO₃系の水和反応におよぼす二水セッコウの影響, 無機マテリアル, Vol.5, pp.194～199, 1998
- 12) G.S.Bobrowski, J.L.Wilson and K.E.Daugherty／Limestone substitutes for gypsum as a cement ingredient, Rock Products, pp.64～67, 1977
- 13) 後藤孝治, 小澤尚志, 星野清一, 廣瀬哲／セメントの水和反応に及ぼす石灰石微粉末の影響, 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, pp.147～150, 1998
- 14) 井元晴丈, 坂井悦郎, 宮原茂禎, 大門正機／混合セメントの水和反応に及ぼす混合材の種類とキャラクターの影響, セメント・コンクリート論文集, No 57, pp.30～37, 2003
- 15) 坂井悦郎, 中川晃次, 三原敏夫, 大門正機／フィラーセメント, わかりやすいセメント科学, セメント協会, pp.54～62, 1993
- 16) J.Jambor／Influence of 3CaO・Al₂O₃・CaCO₃・nH₂O on the structure of cement paste, Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Vol.4, pp.487～492, 1980
- 17) S. Hoshino, K. Yamada and H. Hirao／XRD/Rietveld Analysis of the Hydration and Strength Development of Slag and Limestone Blended Cement, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.4, No.3, pp.357～367, 2006
- 18) H.Hirao, S.Sutou, R.Kuga, K.Yamada／Effect of blast furnace slag and limestone powder addition on the properties of cement with various C₃A content, Proceedings of the 13th International Congress on the Chemistry of Cement, p.266., 2011
- 19) 日本コンクリート工学協会／石灰石微粉末研究委員会報告書, 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, p.50., 1998
- 20) 坂井悦郎, 大門正機／新・社会環境マテリアル：セメント系材料の使命と持続可能な社会, セメント新聞社, 2017
- 21) 岩淵俊次, 岳上広光, 仲野三郎, 下林清一／高炉セメントコンクリートの強度と耐久性におよぼす石灰石粉末の影響, セメント技術年報, 32, pp.297～300, 1978
- 22) 黒川大亮, 平尾宙, 森泰一郎, 松澤一輝, 坂井悦郎／低炭素・資源循環社会に貢献するセメントの品質設計, セメント・コンクリート, No.891, pp.2～8, 2021
- 23) セメント協会HP／
https://www.jcassoc.or.jp/cement/ljpn/220324.html
- 24) 太平洋セメント株式会社HP／
https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/220324_1.pdf
- 25) United Nations Environment Programme／Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry, 2017(https://wedocs.unep.org/20.500.11822/25281)
- 26) 日本コンクリート工学協会／石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, 1998
- 27) 辰巳正明／世界最大の吊橋明石海峡大橋143万m³のコンクリート工事, セメント・コンクリート, No.552, pp.10～23, 1993
- 28) セメント協会／石灰石微粉末専門委員会報告書, 2001
- 29) 小川彰一, 野崎隆人, 山田一夫, 坂井悦郎／フライアッシュ混合セメントの耐硫酸塩性に及ぼすフライアッシュの特性とSO₃量および石灰石微粉末の効果, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.414～421, 2012
- 30) 吉田夏樹, 山田一夫／ソーマサイト生成硫酸塩劣化－劣化機構の整理とリスクの評価方法のレビュー, コンクリート工学, Vol.43, No.6, 2005
- 31) 李琮揆, 大場陽子, 坂井悦郎, 大門正機／石灰石微粉末を多量に添加したC₃A-CaSO₄・₂H₂O系の水和反応, コンクリート工学論文集, Vol.20, No.2, pp.13～18, 1998
- 32) 平尾宙／硫酸塩劣化事例：エトリンガイトの遅延生成(DEF)に関する研究, コンクリート工学 44(7), 44～51, 2006
- 33) S.Kelham／The Effect of Cement Composition and Fineness on Expansion Associated with Delayed Ettringite Formation, Cement & Concrete Composites, Vol.18, No.3, pp.171～179, 1996
- 34) 一坪幸輝, 平尾宙, 野村幸治, 上野直樹／炭素循環型セメント製造プロセス技術開発(セメント工場を中心としたカーボンリサイクル社会実現に向けた取り組み), コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.827～829, 2021
- 35) S.Monkman and K.Cail／Waste CO₂ upcycling as a means to improve ready mixed concrete sustainability, Proceedings of the 15th International Congress on the Chemistry of Cement, ID: 527, pp.1～11, 2019
- 36) 太平洋セメント株式会社HP／
https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/200420.pdf
- 37) 日本コンクリート工業株式会社HP／
https://www.ncic.co.jp/products/environment/pdf/ecocaco3/concrete.pdf
- 38) 日本経済新聞HP／
https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP540703_T20C20A9000000/
- 39) 坂井悦郎, 市川牧彦, 大門正機／石灰石微粉末の特性とその利用, コンクリート工学, Vol.36, No.6, pp.4～9, 1998
- 40) C.W.Hargis, I.A.Chen, M.Devenney, M.J.Fernandez, R.J.Gilliam, and R.P. Thatcher／Calcium Carbonate Cement: A Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) Technique, Materials, 14(11), 2709, 2021(https://doi.org/10.3390/ma14112709)
- 41) 平尾宙, 細川佳史／セメント技術の現状と課題, セメント・コンクリート, No.800, pp.2～12, 2013

お知らせ

複写についてお願い

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

The Good Life

大西 利勝

学生時代、下宿の先輩の部屋でジャズを聴いた。ピアノトリオのウッドベースの音が心地良く、カッコ良かった。これがきっかけでジャズを聴き始めた。4ビートを刻むベース音は心臓の鼓動に似ているからリラックスできるのだという説もある。ジャズの知識が増えてくると聴きたいレコードが自ずと増える。レコードを買うためにアルバイトをした。大学4年から院生にかけては公立工業高校の先生のアルバイトがあり、時給が良く、この時期はレコードコレクションが増え、当時は海外から多くの一流ミュージシャンが来日していたので、ライブにも行った。

40年間、4ビートの心地よさを求め続けているが、結婚して社宅に入った時は重低音を響かすことがままならず、しばらくジャズと疎遠になった。その後、50代で広島に異動となり、初の単身赴任を経験、職場のすぐ近くにライブハウスがあり自然と足が向った。ジャズ熱が再燃した。3年後、東京勤務の辞令が出て、単身赴任は続く。東京はジャズを楽しむには申し分のない環境、これはもっとジャズを楽しめとの神のお告げと自分に言い聞かせ、土、日は首都圏のジャズ喫茶、CDショップを巡った。その

中でもっとも足繁く通ったのが吉祥寺のジャズ喫茶の有名店「メグ」である。ここの店主は有名なジャズ評論家で著書も多い、そのほとんどを読破していた。著書で推薦されているCDを購入してきた。この評論家の先生に初めてお話しできた時は感激した。このお店で毎月、「メグの会」というものが開催され、常連の20名前後の信者（ジャズ愛好家）が集まっていた。この会の門をたたいてみた。この会は毎回、お題が1つ決められ、参加者はお題に合う1曲を自分のコレクションの中から選んでくるのである。これを順番にかけて、選曲に対する熱い思いを語り、お互いにコメントをし合うというもの。この会の面白さは、店主が過激な反対意見を投げかけ、これに相手が抗戦するという場面にある。ここに集まる猛者たちはただ者じゃない。

一括りにジャズ愛好家と言っても皆さん嗜好が違い、1950年代の名盤を聞く人、新譜を中心に聴く人、音にこだわる人など様々で、ここで得られる情報は幅広く、新鮮であった。後で気付いたのだが、どうもこの店主は意図的に過激な発言をされ、論争を仕掛けて楽しまれていたようで、ここでのやり取りが後日出版された著

書のネタになっていた。

さらに、このお店で毎月ボーカルレッスンが開講されていることを知り、レッスンの様子を見学に行ってみた。すると、女性ボーカリストの先生と目が合った瞬間、「1曲歌いましょう」と促され、スタンダードナンバーの「All of Me」を歌った。譜面もなく、自分のキーもテンポも指定できない状態であったが、そこはプロのピアニスト、うまく合わせていただき、何とか歌い切れた。根っからのお調子者はフランク・シナトラ気分で自己満足であった。ここから聴くだけのジャズに歌うことが加わり、またジャズに一步深く踏み込めた。ジャズボーカルの世界へ導いて下さった先生には感謝している。先生が都

内でライブをされる時はライブ会場に足を運び、ジャズ特有のフェイクや発音の仕方など吸収しようと聴いた。レッスンを始めて1年後、ライブ中に突然、「今日はジャズを歌うお友達が来ています。1曲歌ってもらいましょう」と紹介され、それ以来、ライブに行くとシットインさせていただくようになった。毎回、すごく緊張してしまうので、自分で雰囲気や和らげるため、最初に笑いを取ろうと、自己紹介は「セメントメーカーに勤務しています。1曲歌いますが、下手でも責めんと（セメント）いて」とやってみた。2年間、レッスンを皆勤賞で、2019年3月に東京の単身赴任生活を終えた。



新型コロナウイルス感染が拡大するまでは都内や山口でセッションに参加していた。回を重ねると、いつも同じ曲ばかりというわけにもいなくなり、徐々にレパートリーが増えた。いわゆるジャズスタンダードは長年歌い継がれてきたもの、当然ながら名曲ばかりで、歌いたい曲は数えきれないほどある。今はセッションできないので、自宅にこもりレパートリーを増やそうと練習している。練習中の曲は「The Good Life」である。アフターコロナにはGood Lifeが待っていると信じて…。

[おおにし としかつ／

サンヨー宇部株式会社 取締役 常務執行役員]

新幹線の橋りょうにおいて 国内最長スパンとなったエクストラードズド橋 北陸新幹線 細坪架道橋の施工

Extradosed bridge, the longest span Japanese Shinkansen Bridge.
Construction of Hokuriku-Shinkansen Hosotsubo Bridge

西田 篤広 山田 賢史

1. はじめに

北陸新幹線(金沢・敦賀間)については、令和5年度末の開業を予定しており、開業後は首都圏と福井県内主要都市および近畿圏との結びつきが一層強まると予想されている。また、今後の敦賀・新大阪間の整備により、東海道新幹線のバイパスとして、国土強靱化の一翼を担うことが期待されている。

細坪架道橋は、北陸新幹線(金沢・敦賀間)の加賀温泉駅～芦原温泉駅間に位置し、石川県加賀市内において国道8号と上空で交差する橋長339mの3径間連続PCエクストラードズド橋である(図1)。

エクストラードズド橋とは、Extra(外側を)dosed(補強した)に由来し、一般的な桁橋の外側を斜材と呼ばれるPC鋼材により補強された橋梁であり、桁橋と斜張橋の中間的な構造形式である。斜張橋と比較すると、一般的に低い主塔と斜材で形成されるため、保守管理上の問題点が少なく、また主桁の剛性が大きく、たわみが抑制されるため、新幹線等の高速列車の走行

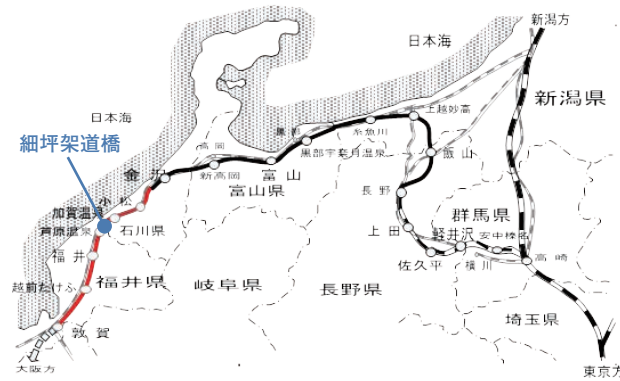


図1 位置図



写真1 細坪架道橋全景

に対して有利となるなどの特徴がある。

さらに、エクストラードズド橋は主塔と斜材から構成される特徴的な形状であり、また桁外側に配置された三角形の突起がアクセントとなっているため、本橋は北陸新幹線のランドマーク的な橋梁となっている(写真1)。

本稿では、エクストラードズド橋を採用し、国内最長スパンとなる細坪架道橋の施工について報告する。



にしだ あつひろ / NISHIDA Atsuhiko
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
北陸新幹線建設局 加賀鉄道建設所 所長



やまだ さとし / YAMADA Satoshi
同上 担当副所長

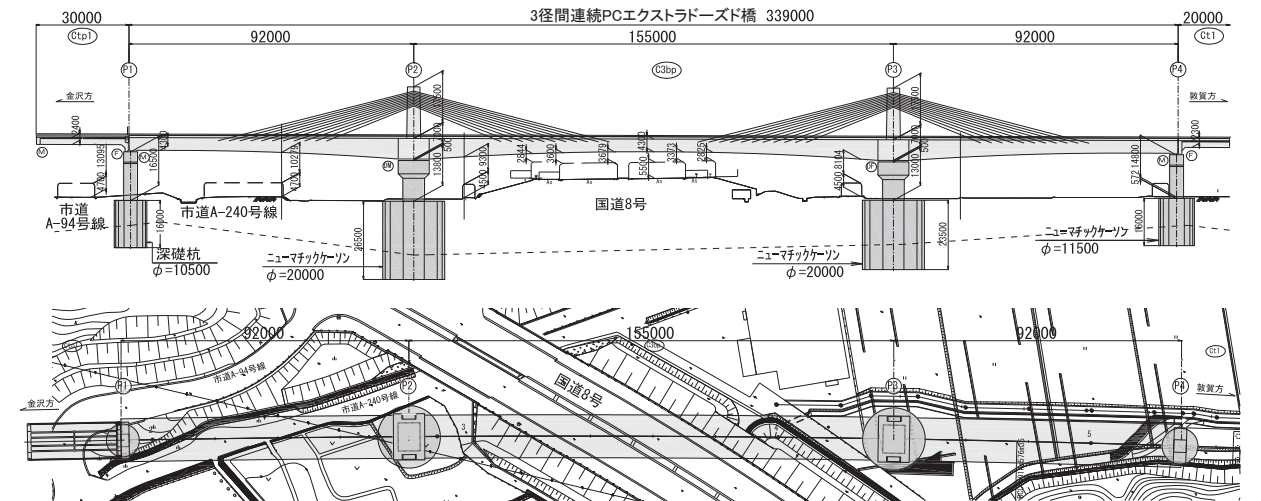


図2 全体一般図

2. 橋梁概要

本橋の概要を以下に示す。また全体一般図を図2に示す。

工事名：北陸新幹線，細坪橋りょう他

発注者：鉄道建設・運輸施設整備支援機構

北陸新幹線建設局

受注者：鹿島・オリエンタル白石・本間・北都

特定建設工事共同企業体

工事場所：石川県加賀市細坪町地内

構造形式：

(上部工)3径間連続PCエクストラードズド橋

(下部工)RC橋脚

(基礎工)深礎1基

ニューマチックケーソン 3基

橋長：339.0m

支間長：92.0m + 155.0m + 92.0m

ブロック割：19ブロック

桁高：7.0～4.3m

主塔高：17.5m

斜材：11段(27S15.2B)

総幅員：13.760m(標準部)

14.560m(主塔部)

平面線形：緩和曲線～R6000m

縦断勾配：下り3%

コンクリート量：約25,000m³(上部工+下部工)

鉄筋量：約4,400t(上部工+下部工)

3. 構造概要

本橋は石川県加賀市内にて、国道8号と斜め(交差角30度程度)に交差する線形である。国道8号は軟弱地盤上の盛土構造となっているため、国道の盛土内に基礎を配置した場合、地震時の変形により盛土部へ影響を及ぼすことが懸念されていた。さらに、本橋起点方の市道との位置関係における検討や国道に対する桁下空頭確保における検討、また高速走行する新幹線の走行安全性を考慮した許容たわみ量を満足し、良好な乗り心地を確保するように検討した結果、中央支間長155m、側径間92m、橋長339m、2室箱桁断面のエクストラードズド橋を採用することとした。

基礎形式は、新幹線と交差する国道・市道に支障しないように配置検討を行い、上部工反力および被圧水の有無により構造検討した上で、P1橋脚は深礎(φ10.5m)、P2～P4橋脚はニューマチックケーソン(P2・P3：φ20.0m、P4：φ11.5m)を採用した。

主塔は、過去の新幹線におけるエクストラードズド橋の設計事例を参考に中央径間の1/8～1/9である17.5mを主塔高とし、主桁構造は2室箱桁としている。桁高および斜材段数は、たわみ量を抑えるためには剛

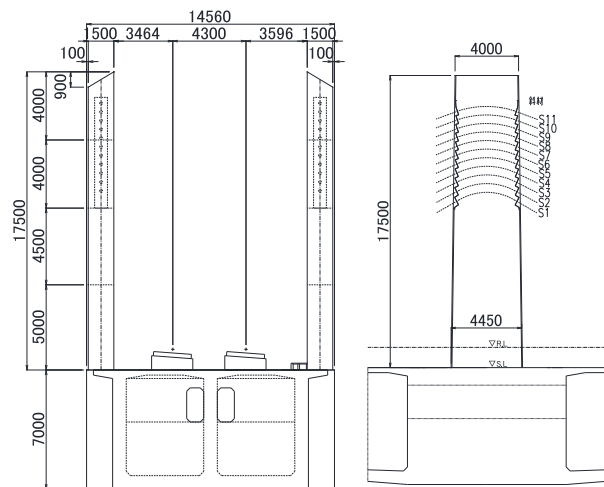


図3 主桁断面図

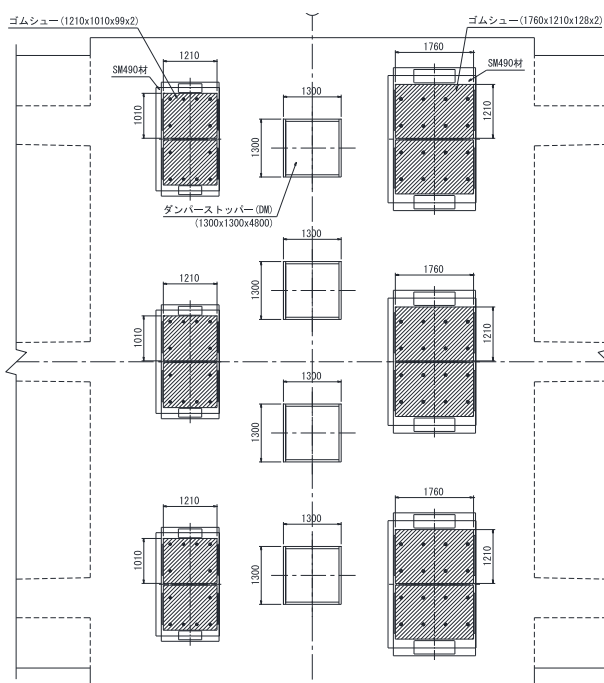


図5 支承配置図

性を高めることが必要である一方、桁高を大きくすると桁自重の影響でたわみ量が大きくなるため、斜材によるたわみ抑制が必要となる。これらのバランスを比較した結果、桁高は柱頭部で7.0m、桁端および支間中央部で4.3m、斜材段数は11段とした(図3)。

斜材は、エポキシ樹脂にて被覆されたPC鋼材(27S15.2)を11段配置されており、再緊張を行わない方針とし、定着位置は桁外定着としている。主塔部は貫通固定方式(サドル定着)を採用している。また、斜材の保護管はFRP製の白色塗装のものを採用し、管径は一般的なサイズであるφ140mmに対し、φ200mm

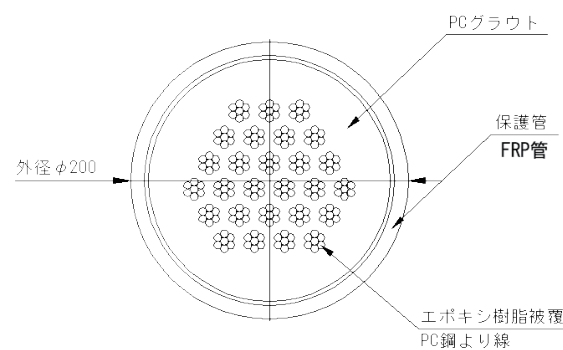


図4 斜材断面図

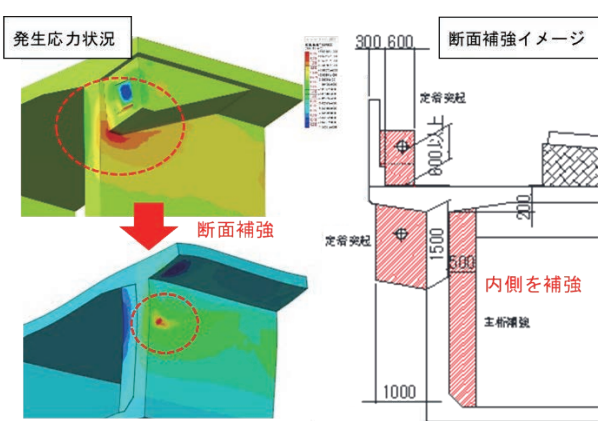


図6 斜材定着部 断面補強計画図

と大きくすることで温度変化によるたわみの影響を低減している。なお、保護管内は、PCグラウトで充填することで、更なる防錆処理を施している(図4)。

支承構造は、長期的な変位を抑制するため、中間橋脚であるP2、P3橋脚を2線支承構造とし、加えてダンパーストッパーを配置することで、中間橋脚上での桁の回転を抑制する構造形式となっている。また、常時可動側であるP1、P2、P4橋脚の支承はすべり支承とし、固定側であるP3橋脚はパッド型ゴム支承が採用されている(図5)。

またエクストラードゾド橋は、斜材により補強された橋梁であり、その斜材緊張力により斜材定着部付近において局部応力の発生が懸念されていた。そのため、FEM解析により斜材定着に伴う局部応力を確認し、定着部の断面を補強することで応力発生を抑制した(図6)。



写真2 ケーソン施工状況

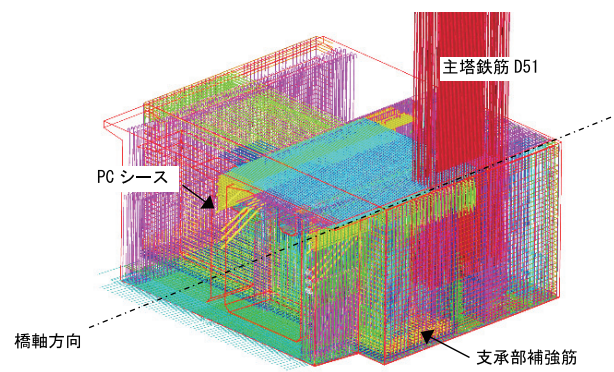


図7 3次元CADモデルによる鉄筋照査

4. 施工概要

(1) 基礎部

ニューマチックケーソン基礎は、施工個所が軟弱地盤であったため、準備工として刃口据付前に地盤拵え工(碎石置換工)を実施した。そして沈下掘削の際には、ケーソンの過沈下防止のため、ロット割を通常の半分にして掘り進めることとした。

中詰めコンクリート打設時は、函内監視カメラでコンクリート充填状況を監視し、充填孔を変えながら隔々までコンクリートが行き渡るように施工を進めた。その後ケーソン設備の撤去、内部足場の解体を行い、ケーソン内に充填水を注水し、最終的に頂版を施工した(写真2,3)。

(2) 柱頭部

柱頭部は2線支承構造となっていることから支承が6基、ダンパーストッパーが4基配置されるため、補強筋が過密配置になっている。さらには、主塔の主筋D51も



写真3 頂版鉄筋施工状況

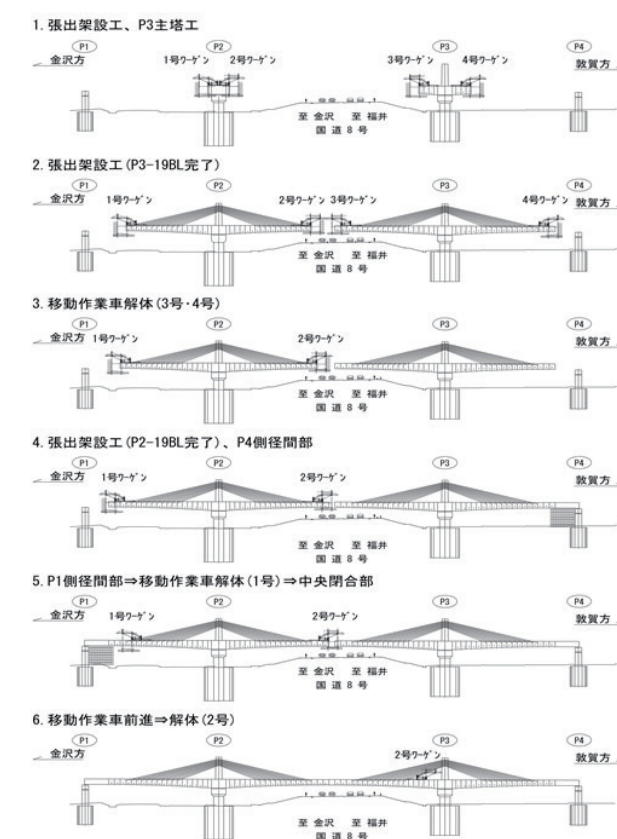


図8 施工ステップ図

配置されるため、鉄筋同士の干渉、鉄筋と内ケーブル用シースの干渉が懸念された。そこで施工に先立ち、3次元CADモデルを作成して干渉チェックを行い、鉄筋とシース管の組立順序を事前に対策し、施工を行った(図7)。

また、コンクリート量は、1基当たり1,000m³以上あるため、柱頭部における過密配筋の状況下でもしっかりとコンクリートを充填し、かつ温度変化によるひび割れを抑制できるように、3リフトに分割して施工を行った。



写真4 国道8号との離隔状況



写真6 主塔サドル部型枠状況(側部から)

(3) 張出施工部

張出施工は、移動作業車を4基使用し、P3側を先行架設し、P2側は中央閉合時に作業車同士が干渉しない3ブロック差で施工を進めた(図8)。

本橋は国道上での張出施工となるため、交差する国道8号との離隔を確実に確保するため、移動作業車の下部作業台に常時離隔観測できる遠隔計測システムを設置し、国道との離隔を常に計測しながら施工を行った。離隔制限値として設定した5.0m以下となる恐れがある場合は、移動前に下部作業台のリフトアップを行い、離隔を確保した。また、下部作業台全面に遮水シートを張り、釜場からポンプ排水することで汚濁水が落下しないようにするとともに、国道上への落下物防止対策を行った(写真4)。

(4) 主塔部

主塔は高さ17.5mとなっており、主塔上部には斜材が貫通する斜材固定用サドルが配置された構造である。斜材固定用サドルはとて大きく、主筋D51をはじ



写真5 主塔サドル部配筋状況(上部から)



写真7 斜材保護管施工状況

め、太径鉄筋が密集している状況であるため、コンクリートがしっかり充填できるように、コンクリート打設は4リフトに分割して行った。さらに、型枠にはパイプレーター挿入用と目視確認用の打設窓を多く設けることで、常に目視で確認しながら打設できるようにした(写真5,6)。

(5) 斜材部

斜材の施工は、まず分割した保護管を橋面足場上で接続し、パイロットワイヤーに保護管を滑車およびスリングにて吊り下げ、これをウィンチにて引き上げて架設を行った。なお、パイロットワイヤーは次ブロックの斜材突起に1S15.2のPC鋼材を設置・緊張することとして対応した(写真7)。

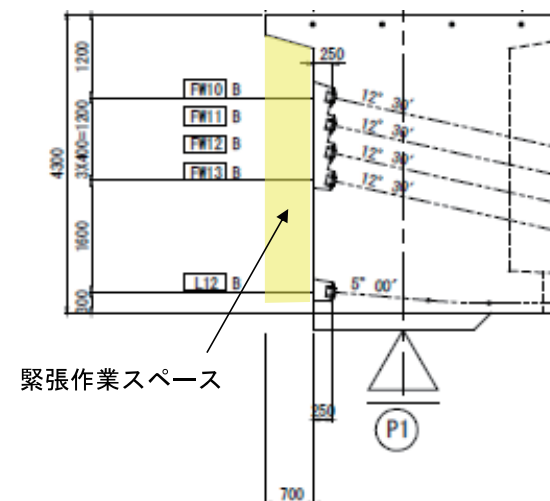


図9 主桁側面図(緊張作業スペース)

保護管施工後、PC鋼材(27S15.2)の挿入では、プッシングマシンを使用して1本ずつ挿入を行った。本橋では、サドル通過時に大きな負荷がかかり、プッシングマシン1台では押し切れない可能性があったため、2台を連結しかつ同時操作できるよう改良した。斜材の緊張には、躯体から吊り下げた架台に緊張ジャッキをセットして行った。緊張の際には、主桁にねじりが作用しないように4台のジャッキを用いて同時緊張するとともに、ポンプ動作による緊張タイミングのずれを少なくするため、1台のポンプで2台の緊張ジャッキを同時緊張できるよう改良し使用した。

(6) 側径間・中央閉合部

側径間は通常、側径間完了後に隣接桁の施工とする計画であるが、工事全体の工期短縮のため隣接桁の施工を先行して実施する必要がある。しかし、本橋の遊間は100mm程度であり、この環境下では側径間のPCケーブル緊張作業ができないため、側径間端横桁の一部を切り欠いた構造へと変更した。それにより700mm程度の緊張作業スペースを確保することができ、隣接桁の施工を先行して実施することが可能にした(図9)。

中央閉合部は、P1側径間閉合後、移動作業車を前進させて施工を行った。張出し施工ブロックの変位を抑制するため、移動作業車のレールおよびPC鋼棒にて張出しの両先端部を剛結し、コンクリートに膨張材を

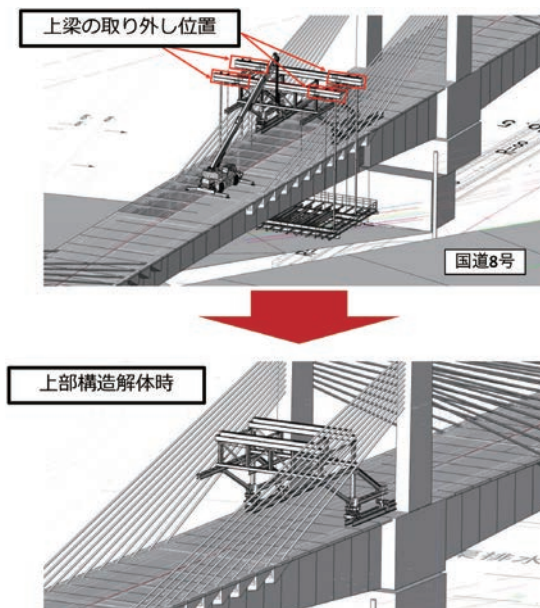


図10 移動作業車改造イメージ

使用することで、ひび割れや目開きを抑制させ、閉合を行った。

(7) 移動作業車解体

本橋は前述した通りP2、P3間が国道8号の直上に位置していることから、張出施工完了後は極力国道を避けた位置で移動作業車解体を実施する必要がある。通常の箱桁橋での張出施工であれば移動作業車を柱頭部付近まで後退させ解体作業を行うことが可能であるが、本橋はエクストラード橋であることから、柱頭部まで後退する前に斜材と移動作業車の上部梁材が干渉してしまう。そこで、国道上を避ける位置まで後退できるよう上部梁材を嵩上げる構造とした。

上部梁材の嵩上げにより国道を避けた位置まで後退させることは可能となったが、その位置では重量物である上部構造を解体するクレーン配置が困難であるため、最初の後退位置で下部構造を解体し、その後解体で使用するクレーンの作業半径に入る位置まで上部構造を後退させて解体した。そのため、斜材に干渉する上部梁材の両端をボルト接合とし、下部構造解体後に取り外せる構造とした(図10)。

これらの改造により、解体位置への移動に伴い必要になる前方足場の解体以外の国道規制を不要とすることができた。



写真8 細坪架道橋完成状況(橋面)

5. おわりに

本橋は、ケーソン基礎施工時に平成30年豪雪に見舞われ、張出施工時はコロナ禍に見舞われるなど工程的に大変厳しい状況であった。しかし、近隣住民の方々や道路管理者、また関係各位の多大なるご理解・ご協力を賜り、無事に架設を完了することができた。

現在は、レール敷設や電柱建植、通信ケーブルの敷設などの設備工事を順次進めているところである。

令和5年度末の完成・開業に向けて、引き続き安全に留意して工事を進める所存である(写真8)。

【参考文献】

- 1) 曾我部正道, 玉井真一, 後藤恵一／鉄道PCエクストラード橋の技術的特徴, コンクリート工学, Vol.54, No.5, pp.442～447, 2016.5
- 2) 相馬良太, 蓮野武志, 村上欣吾, 山田賢史／北陸新幹線細坪架道橋の施工-国道を跨ぐ支間長155mのエクストラード橋-, プレストレストコンクリート, Vol.63, No.3, pp.44～49, 2021.5
- 3) 齋藤真秀, 進藤良則, 山田賢史, 佐藤隆宏／新幹線最長スパンPCエクストラード橋 北陸新幹線細坪架道橋の施工, 第30回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2021.10

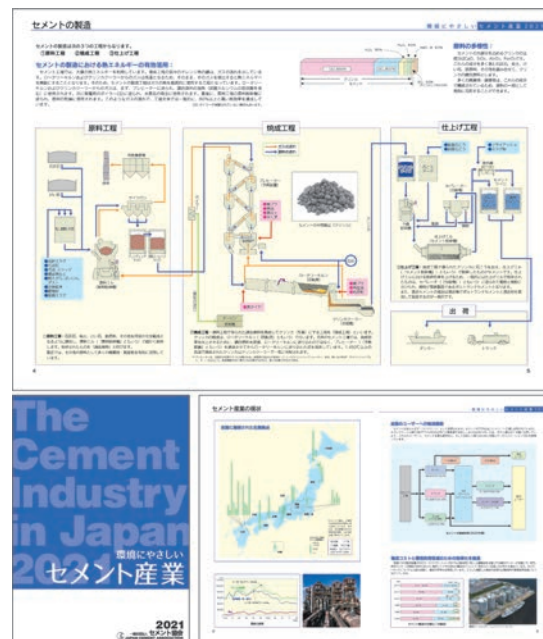
A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2021

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。このほど最新の2021年版を発行、図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には送料ご負担(着払い)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〕セメント産業の現状、セメントの製造、脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン、カーボンニュートラル行動計画



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

セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット(A4判・16ページ)を作成しました。

様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・濁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



お知らせ

総務省・経済産業省では、2022年6月に全ての産業における企業・事業所や団体を対象とした「経済構造実態調査」を実施します。

この調査は、統計法(平成19年法律第53号)に基づき実施する国の重要な統計調査(基幹統計調査)であり、報告の義務があります。ご回答いただいた調査内容は統計法に基づき厳重に保護されます。

調査をお願いする企業・事務所や団体の皆様には、国が調査を委託した事業者から、調査票などの調査書類を、5月中旬から順次発送いたしますので、インターネット(難しい場合は郵送)にて、ご回答をお願いいたします。

詳しくは、以下のURLから経済構造実態調査のホームページをご覧ください。

経済構造実態調査
<https://www.stat.go.jp/data/kkj/index.html>



偏心拡底掘削による大底面積場所打ち コンクリート拡底杭「花びら拡底杭工法」の開発

Development of the petal expansion pile method, a large-bottom area cast-in-place concrete belled pile using eccentric expanded excavation

藤田 敏郎 眞野 英之 阿部 一茂 西川 裕

1. はじめに

昨今、都市部で建設が計画されている大規模物件では高層化やスパンの長大化が進み、建物を支える杭は従来に増して大きな支持力が求められている。これまでは、杭本数を増やすことで支持力が高められてきたが、掘削土量の削減や施工性の向上が求められていた。今回、既往の拡底バケットを用い、偏心拡底掘削を複数回行うことで、拡底バケットの大きさの約2倍の底面積を有する場所打ちコンクリート拡底杭「花びら拡底杭工法」を開発した。本工法は、日本建築センターの評定を取得済みである。

また、本工法にて築造される杭は、非常に大きな体積と高いコンクリート強度を有するため、マスコンクリー

トの定義「部材断面の最小寸法が大きく、かつセメントの水和熱による温度上昇で有害なひび割れが入るおそれのある部分のコンクリート」に合致し、有害な温度ひび割れの発生が懸念される。

以上を踏まえ、本稿では、花びら拡底杭工法の概要および施工試験、温度応力解析により確認した結果について紹介する。

2. 工法概要

2-1. 花びら拡底杭の特徴、形状、拡底面形状

花びら拡底杭の底面積は従来の拡底杭の2倍近い底面積を確保し、1本当たり設計上の有効底面積で最大33.46m²(最大拡底幅6.7m)、拡底率(有効底面積／軸部面積)は7.28以下となり、高強度コンクリートを使用することで最大100MNの支持力を得ることができる。また、逆打工法で建設する超高層ビルに適用すると、支持力が大きいことから地下躯体完成までに構築できる建物地上階数が増やせるため、大幅な工期短縮が可能となる。

花びら拡底杭の形状を図1に、代表的な底面形状を図2示す¹⁾。拡底バケットは、既往のバケットの先端にスタビライザーと呼ぶピン状の部材を取り付けたものである。拡底バケットを杭心から偏心させて孔底に設置したスタビライザーを支持層に貫入させ偏心拡底掘削を行う。本工法では、偏心拡底掘削を複数の方向で行

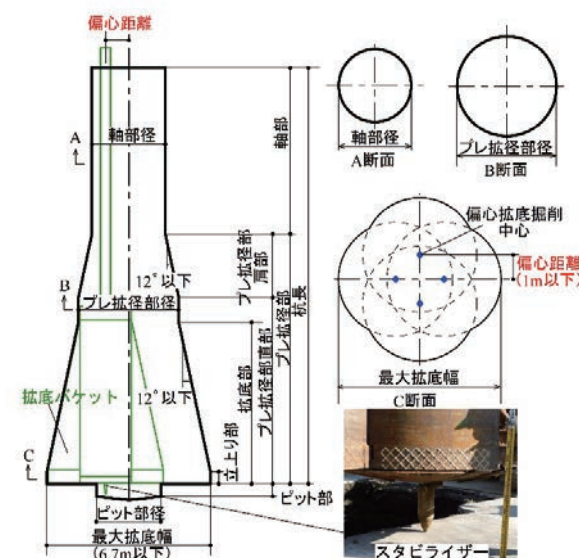


図1 杭形状、偏心拡底掘削バケット

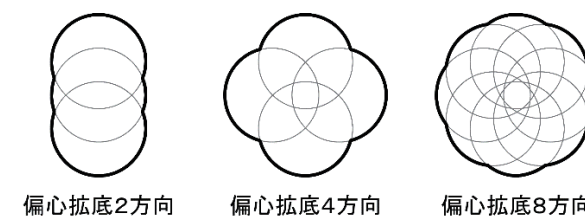


図2 花びら拡底杭の主な底面形状

表1 杭の形状寸法範囲

軸部径	1,800～4,300mm
プレ拡径部径	2,000～4,700mm
最大拡底幅	3,500～6,700mm
最大有効底面積	33.46m ² (等価有効径6,530mm)

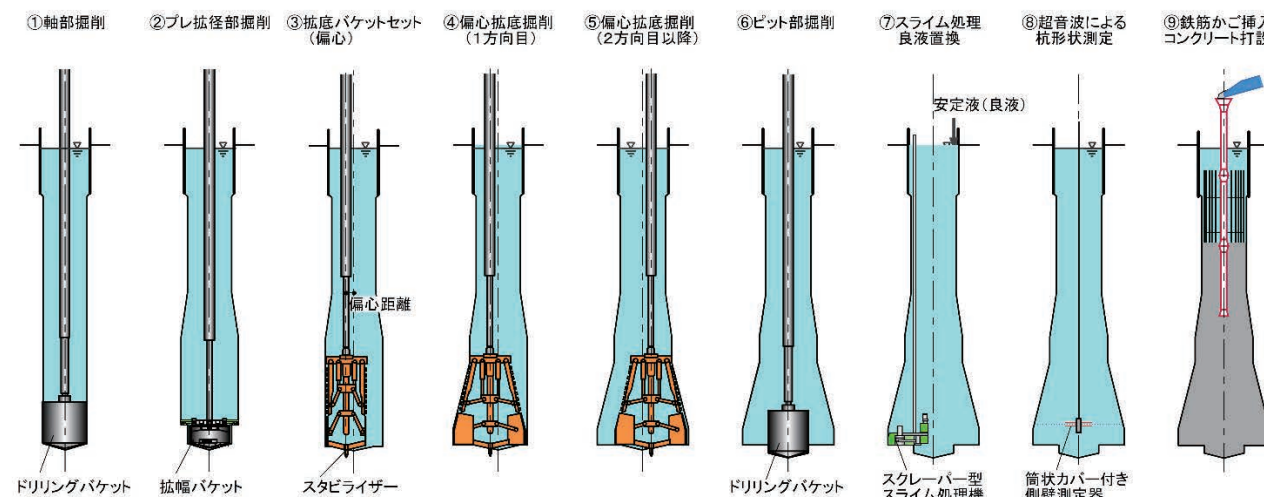


図3 主な施工手順

うことにより各種形状の杭底面を築造可能である。杭の形状寸法を表1に示す。

2-2. 施工手順

花びら拡底杭の主な施工手順を図3に示す。軸部掘削後に必要に応じてプレ拡径部掘削を行う。プレ拡径部掘削は、拡底バケットの偏心距離を大きくとれるようにするため、杭先端近傍部を図3②に示すように上部に開閉するリーマーのついた拡幅バケットを用いてビール瓶状に掘削を行うものである。

プレ拡径部掘削後、拡底バケットを杭心から偏心させて孔底に設置し、スタビライザーを支持層に貫入させる。スタビライザーを心にして偏心拡底掘削を行う。

偏心拡底掘削を2～8方向にて行うことにより図2に示すような花びら形の底面形状を有する杭を築造する。

計画した方向の偏心拡底掘削および底ざらえが終了した後、スタビライザー貫入により乱れた可能性のある地盤の撤去やコンクリート打設開始時にトレミー管先端が確実にコンクリート内に位置することなどを目的として、ピット部をスタビライザー長の深さ以上掘削する。

ピット部掘削後、安定液の良液置換と新たに開発したスクレーパー型スライム処理機等を用いてスライム処理を行う。

超音波による掘削形状確認後、鉄筋かごを建て込み、コンクリートを打設して杭を築造する。



ふじた としろう / FUJITA Toshiro
清水建設(株) 生産技術本部 建築技術部



まの ひでゆき / MANO Hideyuki
同上 生産技術本部 主席エンジニア



あべ かずしげ / ABE Kazushige
同上 生産技術本部 建築技術部



にしかわ ゆたか / NISHIKAWA Yutaka
同上 生産技術本部 建築技術部 主査

表2 コンクリートの設計基準強度Fcの範囲

コンクリートの種類	設定基準強度 Fc(mm ²)の範囲
JIS A 5308に規定されるレディーミクスコンクリート(最大拡底幅4.7m以下)	24 ≦ Fc ≦ 45 かつ Fc ≦ 45-mSn
建築基準法第37条第二号の規定に基づく大臣認定を取得したコンクリート	36 ≦ Fc ≦ 80 大臣認定に規定された構造体強度 mSnを用いる



写真1 スクレーパー型スライム処理機

2-3. 使用するコンクリート

花びら拡底杭で用いるコンクリートの設計基準強度の範囲は80N/mm²以下で、表2のとおりである。花びら拡底杭に使用できるセメントの種類および構造体強度補正値mSnを表3に示す。拡底幅4.1m以上で設計基準強度が45N/mm²を超える高強度コンクリートを用いる場合は、水和熱の小さい中庸熱ポルトランドセメントもしくは低熱ポルトランドセメントを用いる。

2-4. スライム処理

花びら拡底杭は従来の拡底杭に比べ底面積が大きいこと、および大きな荷重を支持することから、より確実なスライム処理が求められる。拡底杭では一般に噴射式スライム処理機が用いられることが多いが、本拡底杭は底面積が大きいため、スライム処理機からの距離が遠い拡底面外周部で処理性能が低下することが危惧された。このため、新たに写真1に示すスクレーパー型スライム処理機を開発した。処理機は、噴射ポンプと直線状の噴射管、水流の流れを受けるカバーおよび2つの吸上げポンプからなる。図4左に示すように噴射

表3 構造体強度補正値mSn(N/mm²)

コンクリートの種類	構造体補正値
JIS A 5308に規定されるレディーミクスコンクリート	昭和56年建設省告示第1102号第1の規定に適合するmSnの値(セメントの種類は問わない)、又は認定を行った ₂₈ S ₉₁ の値(普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種では ₂₈ S ₉₁ =0N/mm ²)。
建築基準法第37条第二号の規定に基づく大臣認定を取得したコンクリート(拡底幅4.1m以上かつ45N/mm ² <Fcの場合は、中庸熱もしくは低熱ポルトランドセメントを用いる。)	当該大臣認定で規定されたmSnの値を用いる

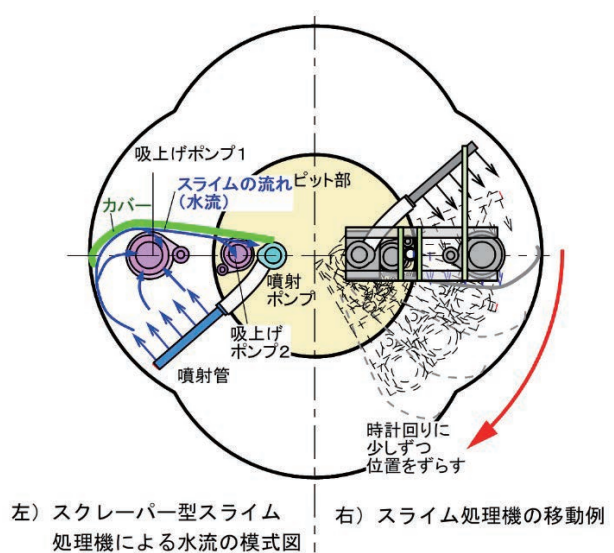


図4 スライム処理の機構と移動

管からの水流をカバーで受け、カバーに沿った水流を作ることにより、吸上げポンプ側にスライムを集め除去する。図4右のようにスライム処理機的位置を変えて繰り返し処理を行うことで、杭底面全体の処理を行う。

スライム処理性能を調べるため、最大拡底幅を模擬したφ6.7m、深さ3m(ピット部3.5m)の孔の底面に、模擬スライム(6号珪砂(平均粒径0.3mm))を厚さ30～50mm程度敷設しスライム処理試験を行った。スライム処理後、水を抜いて処理状況を確認した結果を写真2に示す。径6.7mと底面積が大きくても処理を行った範囲では杭外周部までスライムが完全に除去できていることがわかる。

表4 原位置施工試験

試験名	地盤	最大拡底幅	偏心拡底方向	先端深さ	コンクリート打設高さ
深層施工 兼 築造・掘り出し	粘性土 先端：砂礫	6.7m	4	18.0m	12.7m

表5 コンクリートの調査

調査名	Fc(N/mm ²)	スランプフロー(cm)	調査材齢	セメント量(kg/m ³)	単位水量(kg/m ³)	W/C(%)
80-65-20M	80	65	28日	649	170	26.2



写真2 スクレーパー型スライム処理試験結果

3. 原位置施工試験

3-1. 原位置施工試験 概要

原位置施工試験は、工法で規定した最大の拡底幅を有する杭の築造および深礎による掘り出し確認を実施した。試験の概要を表4、図5に示す。地盤は、先端部のみ砂礫で他の範囲は粘性土である。試験杭は軸部径3.0m、プレ拡径部径4.1m、最大拡底幅6.7m、杭先端深度G.L.-18.0mである。

地中および杭体コンクリート温度測定用の熱電対の設置位置を図5に併せて示す。地中温度測定用の熱電対は鉄筋に、杭体測定用は場所打ち杭の鉄筋かごに取り付けた。

打設したコンクリートの調査を表5に示す。コンクリートは、杭全長に渡り中庸熱ポルトランドセメント(M)、設計基準強度Fc=80N/mm²(呼び強度80)、水セメント比26.2%である。コンクリートはアジテータ車からの直取りとし、コンクリート数量、供給量および打設時間を勘案し、トレミー管を2本用いて打設した。

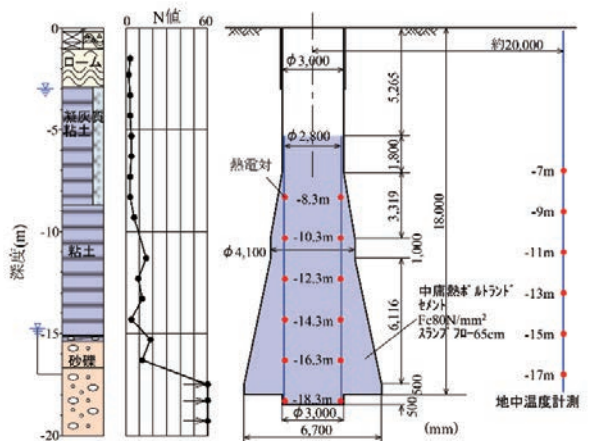


図5 試験杭図、温度測定位置

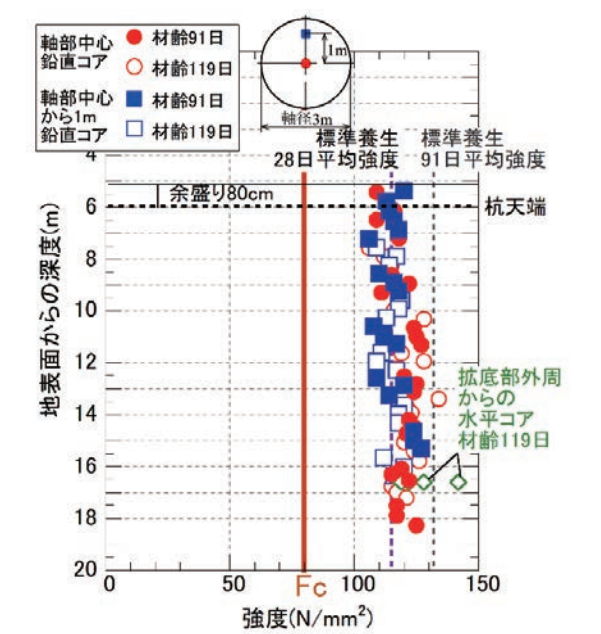


図6 杭体より採取したコアの圧縮強度分布

3-2. 原位置施工試験 結果

築造した杭は、深礎により杭体を掘り出し、杭体の形状、コンクリート強度の確認等を実施した。

図6に試験杭より採取したコア供試体のコンクリート強度分布を示す。コア供試体は、軸部中心位置、軸部中心から1m離れた位置、杭先端近傍の拡底部外周

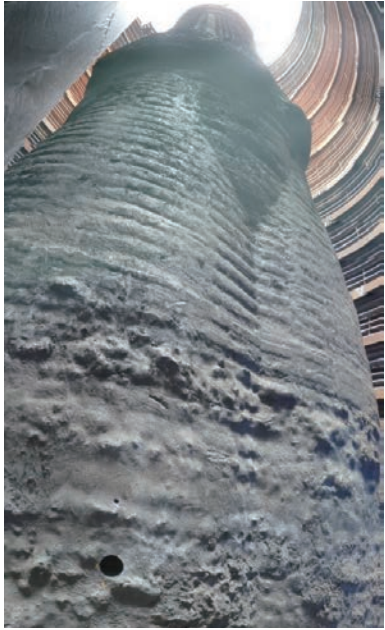


写真3 掘り出した杭体全景

位置から採取した。材齢91日、119日におけるコア供試体のコンクリート強度は、全深度で設計基準強度 $F_c=80\text{N/mm}^2$ を上回り、標準養生の28日強度とほぼ同じであった。

掘り出し確認時に行った杭の形状測定では全ての深度で計画寸法を確保しており、プレ拡径部肩部(傾斜部)で部分的に10~15cm程度の径の増加が見られた以外は、ほぼ計画どおりの形状であった。杭体の全景を写真3に、躯体の横断面(G.L.-15.5m付近)を写真4に示す。写真4に示すように横断面は花びら形状となっており、杭体は全断面に渡ってコンクリートにひび割れ、脆弱部がないことを確認した。

4. マスコンクリートの検討

4-1. 温度応力解析 概要

冒頭で記したように本工法にて築造される杭は、非常に大きな体積と高いコンクリート強度を有するため、マスコンクリートに該当する。しかし、杭体は全断面に渡ってコンクリートにひび割れは生じなかった。この原因を検討するため温度応力解析を行った。

図7に実験における杭体温度、地中温度、気温の経時変化を示す。地中温度は深度による差異が少



写真4 杭体切断面の状況(G.L.-15.5m付近)

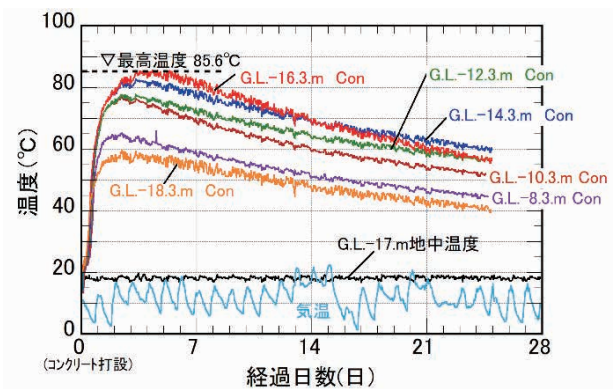


図7 杭体温度、地中温度、気温の経時変化

なかったため、最深部(G.L.-17.0 m)の結果のみ示した。コンクリート温度は、初期温度 20°C で、打設中から杭体内温度が上昇し、約100時間後に深度G.L.-16.3mで最高温度 85.6°C を記録し、その後なだらかに低下した。地中温度は 18°C でほぼ一定であった。

温度応力解析のモデルは、打設した試験杭と断面積が等価となる軸対象モデル(軸部径3.0m、拡底径6.5m)とし、杭外部の条件は原位置施工試験と同様の「地中」と、比較検討用に初期地中温度と同じ温度の「気中」の2つとした。温度応力解析プログラムは、日本コンクリート工学会(JCI)のプログラムに準じた当社独自のものを使用した。温度予測および温度応力に用いる設定値を表6,7に示す。解析結果は最小ひび割れ指¹⁾(下式のひび割れ指数が最小となる材齢時の値)で評価した。

$$\text{ひび割れ指数 } I_{cr}(t) = ft(t) / \sigma_t(t)$$

$\sigma_t(t)$: 材齢 t 日における水和熱に起因して生じた部材内の温度応力の最大値

表6 温度予測に関する設定値

項目	内容	設定値
温度	施工時の平均外気温	9°C
	打込み時の温度	20°C (実測値)
	地盤の固定温度	18°C (実測値)
	気中の固定温度	18°C (実測値)
熱定数データ	コンクリートの熱伝導率	$2.7\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$
	コンクリートの熱容量	$3035\text{kJ/m}^3\cdot^\circ\text{C}$
	地盤の熱伝達率	$1.94\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$
	地盤の熱容量	$3035\text{kJ/m}^3\cdot^\circ\text{C}$

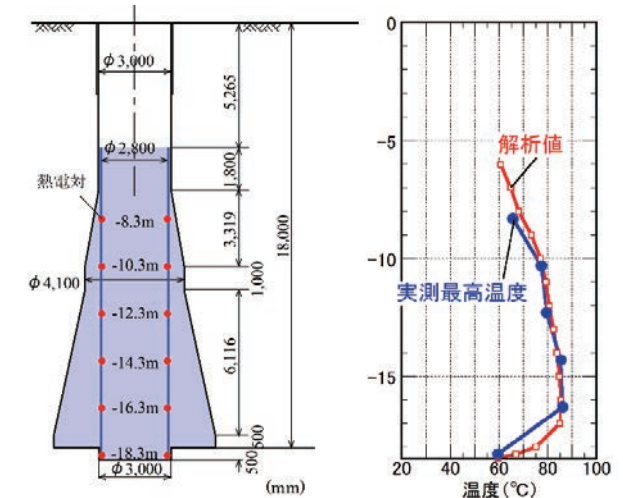


図8 最高温度の実測値と解析値の比較

$ft(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの引張強度で、養生温度を考慮して求める

4-2. 解析結果 - コンクリート温度

試験杭の実測温度と「地中」での解析結果を比較したものを図8,9に示す。図8は温度計測位置における最高温度の深度方向分布を、図9は最高温度を計測したG.L.-16.3mにおけるコンクリート温度の経時変化を比較したものである。解析値は実測値とよく一致しており、解析結果は妥当と判断できる。

温度応力解析による最高温度分布を図10に示す。左図は杭外部の条件を「地中」としたものの、右図は比較検討用に初期地中温度と同じ温度の「気中」としたものである(気中温度は 18°C で一定とした)。

解析における最高温度は「地中」、「気中」の場合のいずれも杭中央部G.L.-15.5m付近で生じ、それぞれ 86.2°C 、 87.4°C であった

表7 温度応力に関する設定値

項目	内容	設定値
コンクリートの物性値	発熱曲線、圧縮強度 σ_c	使用したセメント会社の技術資料による
	ヤング係数 E	$E=6300 \times \sigma_c^{0.45}$
	引張強度 σ_t	$\sigma_t=0.13 \sigma_c^{0.85}$
	熱膨張率	$10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
地盤の物性値	ポアソン比	0.2
	ヤング係数	100N/mm^2 ($N=3$ 相当)
	熱膨張率	$10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
	ポアソン比	0.3

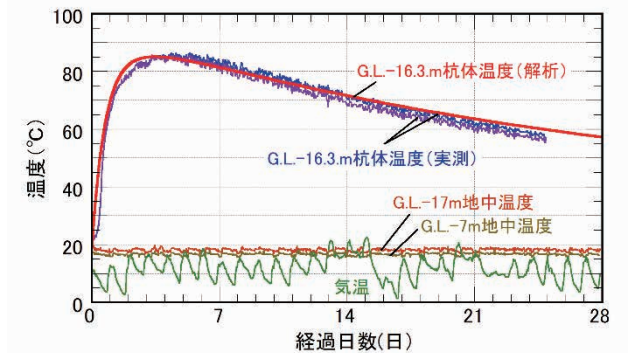


図9 試験杭の実測・解析温度の経時変化(実測・解析)

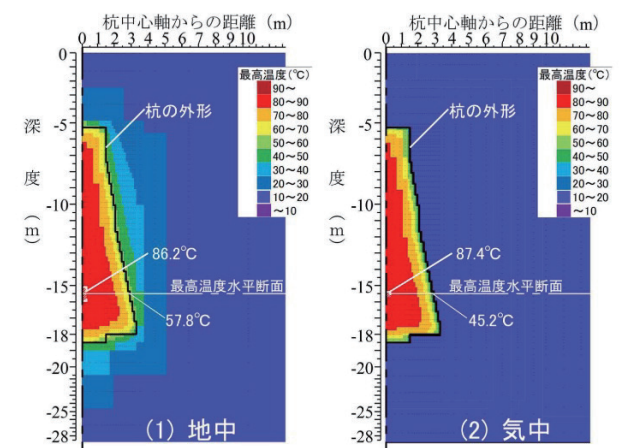


図10 最高温度分布図(解析 左：地中、右：気中)

次に、「地中」、「気中」の解析で求めた温度結果を比較する。図10より地中では杭表面から数m離れた位置まで地中温度が上昇している。解析で最高温度を示したG.L.-15.5mにおける「地中」、「気中」の温度の経時変化を図11に示す。「気中」の場合、外気に接する杭外周の温度は急激に低下するが、「地中」では、杭近傍土も温められるため、杭外周とそれに接する地盤の温度差は小さく、杭外周の温度は低下しにくい。打設後7日目の杭中心と杭外周の温度差は、「気中」では

日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針」の概要

Outline of “Recommendations for Mix Design and Construction Practice of High Fluidity Concrete”

鹿毛 忠継

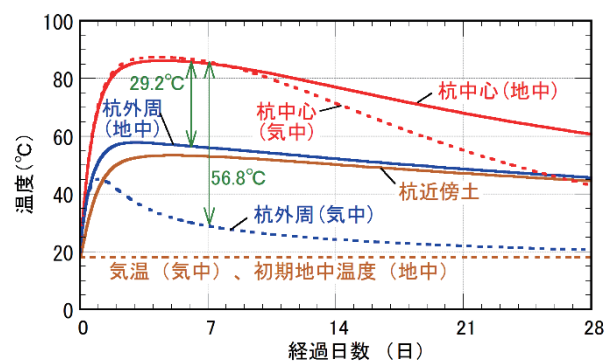


図 11 地中と気中の杭体温度 経時変化 G.L-15.5m位置(解析)

56.8℃あるのに対し、「地中」では半分程度の29.2℃に抑えられる。よって地中では地盤による保温効果が期待できるといえる。

4-3. 解析結果 - 最小ひび割れ指数

温度応力解析による「地中」、「気中」の最小ひび割れ指数分布を図 12, 13 に示す。「気中」では最小ひび割れ指数は、拡底部表面の広い範囲で1.0を下回り、杭体表面の広範囲に温度ひび割れが生じる可能性が高い¹⁾結果となった。一方、「地中」では最小ひび割れ指数は、余盛り部天端外周を除くとすべて1.0以上であり、杭体に有害な温度ひび割れは生じない¹⁾結果となった。

試験杭は軸部径3.0m、最大拡底幅6.7m、長さ約12mの非常に大きなマスコンクリートであるにもかかわらず、地中ではひび割れ指数が良好な結果となった。理由は、図 10, 11 に示したように杭近傍土も温められ、維持される保温効果により、杭体内の温度差が小さく、内部拘束による引張応力が小さく抑えられたためと考えられる。

4-4. 試験杭ひび割れ発生状況

前述したように原位置施工試験では築造した杭体の掘り出し調査を行い、ひび割れ発生状況について確認を行った(写真3,4)。解析ではひび割れのおそれがあるとされた余盛り部天端を含め杭体にはひび割れは全く生じていなかった。地中では地盤によって保温される効果があるため、杭はマスコンクリートとなっても温度ひび割れの発生が抑えられるといえる。

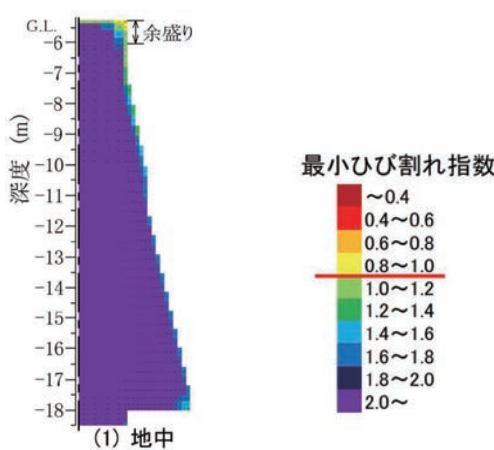


図 12 最小ひび割れ指数分布図(地中)

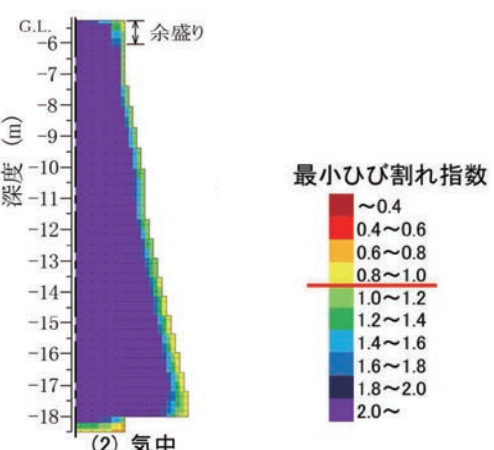


図 13 最小ひび割れ指数分布図(気中)

5. おわりに

本工法は、偏心拡底掘削という新しい技術を開発することで、最大2倍の底面積を有する拡底杭の構築を可能にした。底面積の増大などに伴い生じるスライム処理やマスコンクリートなどの課題に対し、新しい機器の開発とともに最大拡底幅の杭を実際に築造し、その掘り出し確認を行うことで、形状や品質を調査した。この結果より、本工法で大底面積を有する杭を確実に施工できることを確認して日本建築センターの工法評定を取得した。

【参考文献】

- 1) 偏心拡底掘削による大底面積場所打ちコンクリート拡底杭の開発(その1~4)、日本建築学会学術講演梗概集(関東)、B-1、pp.419~426、2020
- 2) 土木学会コンクリート標準仕法書2012年

1. はじめに

日本建築学会「高流動コンクリート指針改定小委員会(主査：鹿毛忠継)」では、建築分野における高流動コンクリートの普及と標準化・体系化を目的に、1997年に制定された「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説」¹⁾(以下、旧指針と呼ぶ)を2021年12月に改定(以下、本指針と呼ぶ)した。本稿では、本指針の改定の背景と検討内容ならびに本指針の概要について述べる。なお、スランプは“SL”，スランプフローは“SF”と表記した。

2. 改定の背景と検討内容

2-1. 改定の背景

建築分野では1980~1990年代に高強度コンクリートを使用する高層鉄筋コンクリート造建築物(以下、高層RC造建築物と称す)の設計・施工法が研究・開発され、単位セメント量が多い調合でも施工性を確保するために高性能AE減水剤(以下、SPと称す)を使用して流動性を高めたSF管理の高強度コンクリートが開発された。旧指針は、その高強度コンクリートの開発・

実用化の延長線上で検討された、いわゆる自己充填性を備えた高流動コンクリートを対象としており、締固め作業の省力化によって建設作業者の高齢化や人員不足等への対応策として、その普及を図ることを目的として制定された。

一方、旧指針が制定されてから今日まで高流動コンクリートの使用は、主に免振基礎下部やCFT造(鋼管充填コンクリート)等の締固めが困難な自己充填性を必要とした個所への適用に限定される等、高強度コンクリートとしての使用を除いて、広くは普及しなかった。

近年、建築物の耐震性向上に伴う高密度配筋個所の増加や建築物の高層化・大規模化による高所・長距離圧送が増加し、従来のSL管理のコンクリートでは充填が困難となるケースが増加してきた。また、建設分野における就業者数の減少や高齢化に伴う労働力不足への対策も継続的に強く求められ、両者を解決する手法の一つとして高流動コンクリートが再び注目されることとなった。

また、コンクリート用化学混和剤として、増粘剤含有高性能AE減水剤(以下、VSPと称す)が開発・販売されたことにより、これらを用いて材料分離抵抗性を確保し、流動性を高めた普通強度領域の高流動コンクリートが比較的簡便かつ安価に製造可能となり、土木分野を中心に需要が増加した。これを機に、普通強度領域において、必ずしも自己充填性は有さずに、締固め作業を軽減できる流動性が高いコンクリートの必



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

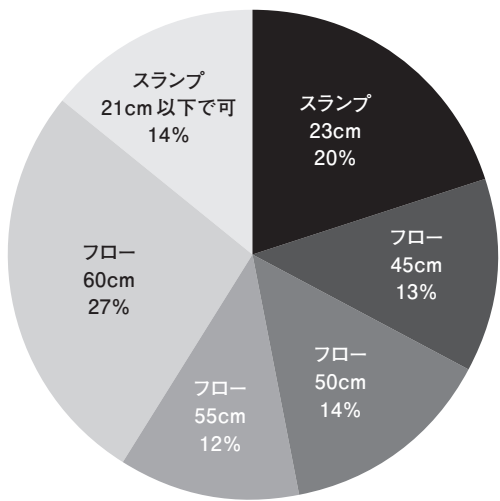


図1 普及を望むSLおよびSF値²⁾

要性が各所で再認識された。図1²⁾は(一社)日本建設業連合会が施工者を対象として、今後普及を望むSL値およびSF値のアンケート結果である。“SL21cm以下で可”との回答は少なく、SL23cmまたはSF45cm～SF60cmまで適材適所に流動性の高いコンクリートを求めていることが分かる。

2018年には、JIS A 1159(コンクリートのJリングフロー試験方法)およびJIS A 1160(増粘剤含有高性能AE減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティの評価基準)が制定され、2019年には、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)(以下、JIS A 5308と略す)が改正され、普通強度領域の高流動コンクリートが標準化された。これに伴い、建告第1446号(材料告示)も改正され、特に制度面において高流動コンクリートが一般化／標準化されたと考えらえる。

2-2. 検討内容

高流動コンクリートの普及拡大に向けて、適用箇所を明確にし、適切な材料、調合、製造、施工および検査に関する指針を整備することを目的として、主に以下に示す6つの改定のポイントについて検討を進め、旧指針の改定を行った。

- 1)自己充填性を備えていなくても軽微な振動・締固めにより型枠内に充填することができる高流動コンクリートを標準とし、高流動コンクリートの適用範囲を拡大する。

- 2)高流動コンクリートの要求性能と品質を明確にし、材料選定および調合を行う。
- 3)建築物の種類、構造条件、施工条件、入手可能な材料、コンクリート製造工場の制約条件等を考慮し、高流動コンクリートの種類を選定する。
- 4)使用材料や高流動コンクリートに関連する技術やJIS等の標準化の現状を考慮する。
- 5)混和剤をあと添加し流動性を増大させたコンクリートを「流動化コンクリート」と定義し、標準的な仕様等を提示する。
- 6)JASS 5 M-406：2021(増粘剤含有高性能AE減水剤の品質基準(案))を提案し、高流動コンクリートの性能評価のための試験方法、最新の施工事例および性能設計の現状について示す。

3. 「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針・同解説」の概要

3-1. 目次

旧指針および本指針の目次を表1に示す。旧指針で対象とした高流動コンクリートは、いわゆる高強度コンクリートであり、当時、高層RC造建築物の評定や大臣認定を受けたコンクリートを対象とした指針であったと考えられる。そのため、本指針では、高流動コンクリートの普及および標準化に対応した構成とした。

3-2. 1章 総則

本指針で対象とする高流動コンクリートは、荷卸し地点または打込み地点の目標SFが45～65cmの範囲のもの(ただし、SFの最大値は原則70cm)とした。すなわち、旧指針では自己充填性を有することを前提にSF50～70cmの高流動コンクリートを対象としたが、本指針では、いわゆる「中流動コンクリート」、「高流動性コンクリート」と呼称されたコンクリートまで適用範囲を拡大し、これらも「高流動コンクリート」と表記を統一することとした。参考に、日本建築学会および関連規格・基準類におけるSF管理のコンクリートのSF

表1 旧指針(1997)および本指針(2021)の目次

旧指針(1997)	本指針(2021)
1章 総則	1章 総則
2章 高流動コンクリートの施工計画・品質管理計画	2章 高流動コンクリートの性能および品質
3章 高流動コンクリートの品質	3章 高流動コンクリートの選定
4章 材料	4章 材料
5章 調合	5章 調合
6章 コンクリートの製造	6章 コンクリートの製造
7章 コンクリートの施工	7章 コンクリートの施工
8章 試験および検査	8章 試験および検査
9章 特殊な配慮を要するコンクリート (寒中・暑中施工における留意点、マスコン、軽量コン)	9章 流動化コンクリート(あと添加で流動性を増大させたコンクリート)
付1 高流動コンクリートのコンシステンシーの評価試験方法	付1 JASS 5 M-406：2021 増粘剤含有高性能AE減水剤の品質基準(案)
付2 JASS 5T-503 スランプフロー試験方法	付2 高流動コンクリートのフレッシュ性能に関する評価試験方法および評価基準、高流動コンクリートの材料分離状態の目視判定実施方法
付3 高流動コンクリートの施工実績	付3 高流動コンクリートの調合の性能設計に関する技術の現状
付4 高流動コンクリートの施工性実験	付4 高流動コンクリートの施工実績
-	付5 高流動コンクリートに関する実験

表2 日本建築学会および関連規格・基準類におけるSFの範囲(単位：cm)

規格・基準類	荷卸し地点の目標SF	許容差	SFの範囲
旧指針(1997)	55, 60, 65	±5	50～70
JASS 5(2018)16節	55, 60, 65	±7.5	50～70
JIS A 5308(2019)	45, 50, 55	±7.5	37.5～70
	60	±10	
日建連ガイドライン(2020)	45, 50, 55	±7.5	37.5～70
	60	±10	
本指針(2021)	45, 50, 55	±7.5	37.5～70
	60, 65*	±10	

*：SF65の許容差は、-10、+5cm

の範囲を表2に示す。

基本方針として、高流動コンクリートを使用することによって期待される効果を明確にし、建築物の構造体および部材の要求性能に応じて、使用する高流動コンクリートに必要な性能項目と品質を設定する。具体的には、高流動コンクリートの使用目的および使用個所の施工条件に応じて適切な高流動コンクリートを選定し、構造体および部材の要求性能を満足させる

所定の品質の構造体コンクリートが得られるように調合、製造を行うとともに、施工計画および品質管理計画を定める。そのためには、使用する高流動コンクリートについて十分な調査を行い、高流動コンクリートの性質および挙動を十分に把握しておく。

高流動コンクリートの使用による効果として、①通常のコンクリートでは充填が困難と考えられる部位に確実な充填ができる、②充填不良個所が生じにくくなる、③均質で精度の高い構造体 that 得られる、④打込み作業の合理化が図れる、⑤締固め作業に伴う騒音・振動の発生が抑えられる。しかし、実際の施工では、対象とする部位、部材ごとに重視する性能が異なる。そこで、設計者、施工者の理解を深めるべく、打込み個所ごとに推奨するSFおよび重視する性能(表3)を3章(高流動コンクリートの選定)に示した。

高流動コンクリートの種類は、強度およびSF、構成材料ならびに製造方法によって、下記の①～③に分類する。

- ① 強度およびSFによる分類：JIS A 5308の呼び強度27～45(普通コンクリート)に区分される高流動コ

表3 打込み箇所ごとに推奨するSFおよび重視する性能															
打込み箇所	推奨するSF／SL							重視する性能							
	21	23	45	50	55	60	65	流動性	材料分離抵抗性	粘性	流動保持性	間隙通過性	充填生	ブリーディング	沈降
一般RC造(締固めあり)								○	○	△	△	○	○	-	-
一般RC造(締固めなし)								◎	◎	△	○	◎	◎	△	△
過密配筋RC造(締固めあり)								○	◎	△	△	◎	○	△	-
過密配筋RC造(締固めなし)								◎	◎	△	○	◎	◎	△	△
鋼管充填(圧入)								◎	◎	△	◎	△	◎	◎	◎
鋼管充填(落し込み)								◎	◎	△	○	△	◎	○	○
免震基礎下部								◎	◎	△	○	△	◎	◎	○
場所打ち杭								○	○	△	△	○	○	-	-
打放し(意匠性)								○	◎	△	△	○	◎	△	△
狭小・狹隘部								◎	○	△	○	◎	◎	△	-
耐震改修、補修、補強								○	○	△	△	◎	◎	△	△

推奨するSFまたはSL：
 推奨する値,
 最も推奨する値
 ※SL23はSF45と同程度の流動性であるため、SF45と読み替えることが望ましい

重視する性能：
 ◎最重要, ○重要, △留意

ンクリート、呼び強度50～60(高強度コンクリート)に区分される高流動コンクリートおよびそれ以外の高流動コンクリートの3つに分類する。

② 構成材料による分類：コンクリートに使用する粉体系の材料および混和剤の組合せによって、粉体系高流動コンクリート、増粘剤含有減水剤系高流動コンクリート、増粘剤系高流動コンクリートおよび併用系高流動コンクリートの4つに分類する。

③ 製造方法による分類：生コン工場で製造される高流動コンクリート、荷卸し地点で化学混和剤をベースコンクリートにあと添加して製造される高流動コンクリートの2つに分類する。なお、本指針では、生コン工場で製造される高流動コンクリートを標準とする。

3-3. 2章 高流動コンクリートの性能と品質

ここでは、建築工事に用いられる高流動コンクリートの性能と品質について示している。高流動コンクリートの性能は、使用個所の施工条件、建築物の構造体および部材の要求性能に応じて必要な項目を定め、高流動コンクリートの品質は、所要の性能を満足させるように定める。基本は、一般のコンクリートと全く同じであり、高流動コンクリートの場合は、要求され

る性能項目のうち、特に施工にかかわる性能項目およびそれらを満足させる品質が確保されることが最も重要である。図2は、高流動コンクリートに要求されるフレッシュコンクリートの性能を階層的に示したものであり、最終的に必要なコンクリートの性能は、図中の「施工性能」の領域に示された性能である。すなわち、打込み個所や部位・部材の構造体コンクリートが必要とする充填性や均質性を施工結果として満足することである。しかし、これらの性能は施工条件と密接にかかわるため、施工条件ごとにこれらの施工性能を満足させるためのフレッシュコンクリートのポテンシャルとしての性能は異なる。そのため、施工者は、施工条件を勘案して、図中の「使用するコンクリートの性能」に示された性能を適切に定め、生コン工場に高流動コンクリートを発注することになる。

本指針では、高流動コンクリートの性能項目は、「施工にかかわる性能項目」と「施工以外にかかわる性能項目」とした。「施工にかかわる性能項目」は、フレッシュコンクリートの性能および構造体コンクリートの施工上要求される強度発現性とし、「施工以外にかかわる性能項目」は、構造設計、耐久設計、使用、火災時の安定性および環境配慮にかかわる性能項目とした。

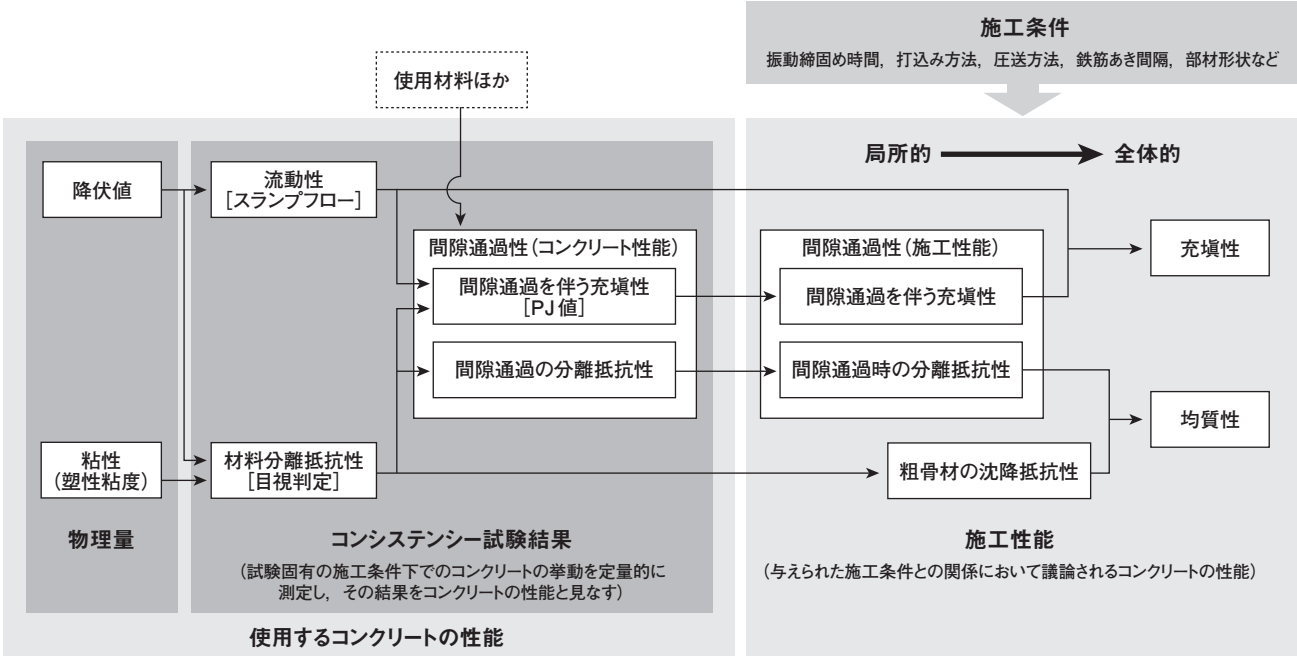


図2 コンクリートの性能および施工性能

表4 施工にかかわる性能項目と品質

性能	品質
①流動性	構造物の打込み箇所、部位・部材および施工条件に応じて、SFで定める。試験はJIS A 1150による。許容差は±7.5cm(目標SF60cm未満)、±10cm(目標SF60cm以上)。ただし、SF最大値は70cm。
②材料分離抵抗性	SF試験後のコンクリートの状態を目視で評価していないこと。広がったコンクリートの中央部に粗骨材が偏在しておらず、周辺部にペーストや遊離した水が偏在していないこと。
③間隙通過性	試し練りにおいて確認し、構造物の打込み箇所、部位・部材に応じてJIS A 1159(PJ値)または信頼できる試験方法によって評価する。なお、PJ値または信頼できる試験方法における特性値は、打込み箇所の断面形状や配筋状態等に応じて、必要な場合に定める。
④流動保持性	RM工場出荷時から荷卸し地点までの時間経過または荷卸し(あるいは受入れ)から打込み完了までにおけるフレッシュコンクリートの時間経過に伴うSFの変化(経時変化量)によって定める。
⑤ブリーディング	JIS A 1123など信頼できる試験方法によって確かめる。CFTなどのブリーディング量は、0.1cm ³ /cm ² 以下とする。
⑥沈降	信頼できる試験方法によって確かめる。CFTの沈降量は、JASS 5 T-503により測定し、2.0mm以下とする。
⑦仕上げ可能時間	凝結時間で評価し、施工上支障のないように定める。試験は、JIS A 1147により、始発20時間以内を原則とする。ただし、高流動コンクリートを床スラブ等の水平部材に使用する場合に確認する。

フレッシュコンクリートの性能は、①流動性、②材料分離抵抗性、③間隙通過性、④流動保持性、⑤ブリーディング、⑥沈降、⑦仕上げ可能時間、の7つとし、品質は表4による。なお、本指針では自己充填性はコンクリートに必要不可欠な性能としておらず、前述のとおり、充填性は施工の結果として要求される。そのため、コンクリートの「充填性」は、ここでは規定していない。

3-4. 3章 高流動コンクリートの選定

ここでは、建築工事に用いられる高流動コンクリートの選定について示している。最初に、高流動コンクリートは、建築物の種類、構造条件、施工条件、入手可能な材料、コンクリート製造工場の制約条件等を考慮し、所要の強度および目標SFに応じて、表5に示した構成材料による高流動コンクリートの種類の中から選定する。その際、それぞれの特徴や適用範囲をよ

表5 構成材料による高流動コンクリートの分類

分類	使用材料					特徴
	B	P	SP	VSP	VMA	
粉体系	✓	(✓)	✓			粉体(結合材および非結合材)によって材料分離抵抗性を確保
増粘剤含有減水剤系	✓			✓		増粘剤を含有した各種の減水剤によって材料分離抵抗性を確保
増粘剤系	✓		✓		✓	増粘剤によって材料分離抵抗性を確保
併用系	✓	(✓)	✓		✓	粉体と増粘剤を併用して材料分離抵抗性を確保

*記号：B：粉体(結合材)，P：粉体(非結合材：必要に応じて使用される)，SP：高性能AE減水剤，

VSP：増粘剤含有高性能AE減水剤，VMA：増粘剤

表6 目標とする間隙通過性の区分

打込み方法	鉄筋のあき間隔		
	40mmより狭い	40mm程度	40mmより十分に広い
自己充填での打込み	A	B	D
振動締固めを伴う打込み	C		

表7 目標PJ値

区分	目標PJ値	状態
A	信頼できる方法により定める	-
B	30mm以下	
C	60mm以下(目標SF50cm) 40mm以下(目標SF60cm)	Jリングフロー試験結果に極端な閉塞が生じていない
D	定めない	-

や配筋状態等に応じて、必要な場合に定める。その場合、間隙通過性は、**表6**に示す鉄筋のあき間隔の区分を目安として、打込み対象の部材中に存在する間隙の大きさを概算的に算定し、間隙の大きさと打込み方法に応じて区分A～Dを選定する。間隙通過性をJリングフロー試験のPJ値により設定する場合は、**表7**により区分に応じて目標PJ値を定め、他の信頼できる試験方法により設定する場合は、目標とする間隙通過性を満足するような試験値を適切に定める。このように、使用するコンクリートの流動性はSFで評価し、間隙通過性を評価する場合は、目標SF50cm以上のコンクリートを対象とした比較的簡便な試験方法(JIS A 1159：2018)とその評価基準(JIS A 1160：2018)に準拠することとした。

呼び強度 (セメント量 目安 kg/m³)	スランプ cm	スランプフロー cm				
		21	45	50	55	60
24 (280～)						
27 (300～)						
33 (350～)						
36 (370～)						
40 (400～)						

図3 呼び強度(単位セメント量)に対するSFの目安

く理解した上で選定することが重要である。なお、増粘剤含有減水剤系高流動コンクリートは、JIS A 5308で示されるSFと呼び強度の範囲を、目安として同一SFで1ランク下の強度クラスの範囲まで適用することができる(**図3**)。

高流動コンクリートの目標SFは、高流動コンクリートの使用目的、施工条件に応じて選定し、打込み個所ごとに2章に示した施工にかかわる性能項目と品質を設定する。ここで、各建築工事によって施工条件は異なるため、**表3**を参考に適切なSFを選定するとともに、重視する性能に応じて、高流動コンクリートに必要な性能項目と品質を設定し、重視する性能を念頭においてフレッシュコンクリートの性状を確認する。

目標とする間隙通過性は、打込み個所の断面形状

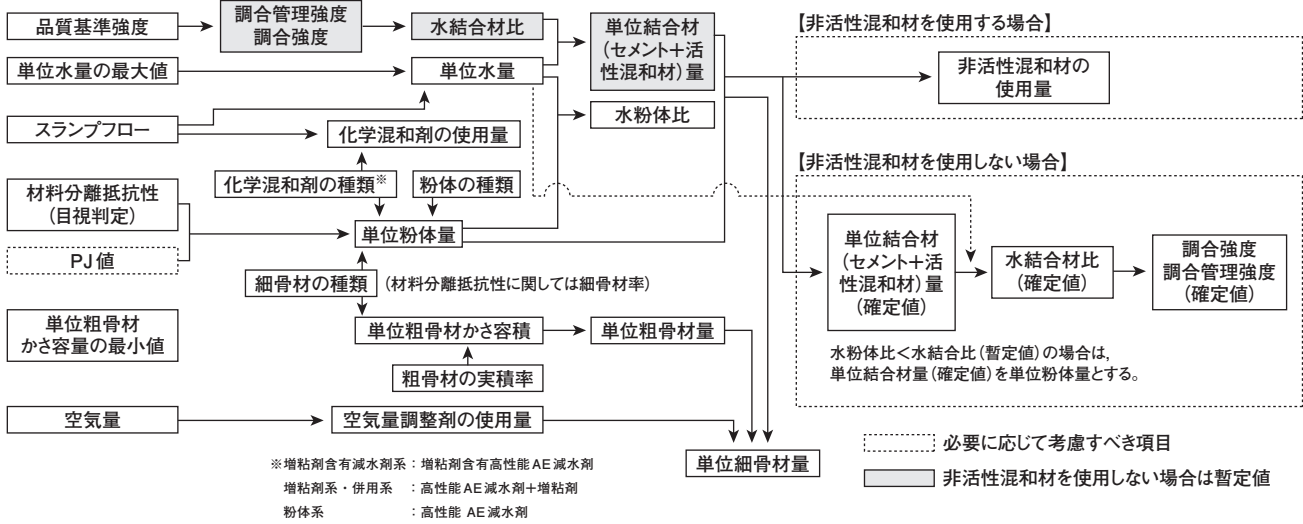


図4 調合計算の手順

3-5. 4章 材料

セメント、骨材、練混ぜ水、混和材および混和剤は、基本的にはJASS 5による。ただし、粗骨材の最大寸法は旧指針を踏襲し、25mm、20mmまたは15mmとした。また、混和剤は、フレッシュコンクリートの材料分離抵抗性を向上させるための化学混和剤としてVSPを規定し、JASS 5 M-406：2021(増粘剤含有高性能AE減水剤の品質基準(案))として付録1に示した。

3-6. 5章 調合

高流動コンクリートの計画調合は、荷卸し地点または打込み地点における所要の流動性、材料分離抵抗性、間隙通過性および構造体コンクリートの所定の性能が得られるように定め、計画調合を定めるための調合計算は、コンクリートの練上がり時を基準に行う。

ここで示した調合方法は、高流動コンクリートの調合をなるべく合理的な視点で設計するための原則的なものであり、生コン工場では、本章に示した考え方を踏まえた上で、工場の実情等に応じた調合方法を採用すればよい。また、必要に応じて、Jリングフロー試験のPJ値で評価される間隙通過性の要求性能を満足させる調合計算の手順を新たに取り入れている。本指針では、**図4**のように、いずれの種類の高流動コンクリートにも対応可能な調合計算の標準的な手順

を示している。なお、章末には調合の調整方法の考え方および手順も併せて示している。

高流動コンクリート特有の調合要因、もしくは高流動コンクリート特有の事項に配慮して調合条件を定めなければならない調合要因を下記に示す。なお、品質基準強度、調合管理強度および調合強度などは、JASS 5の5節(調合)および16節(高流動コンクリート)による。

練上がりSF：3章で選定した目標SFをもとに、使用するコンクリートの流動保持性を考慮して定める。

練上がり材料分離抵抗性：練上がりSFと同様に、運搬・圧送中の変化を考慮して定める。なお、付録2「高流動コンクリートの材料分離状態の目視判定実施方法」(以下、目視判定実施方法と略す)による評価を実施し、材料分離していないことを確認する。

練上がりPJ値：対象とする工事において、目標PJ値が設定された場合は適切に定め、調合選定時に確認する。

単位粉体量：練上がり材料分離抵抗性と必要に応じて設定された練上がりPJ値を満足するよう定める。

単位粗骨材かさ容積の最小値：小さいほど間隙通過性は高くなることを考慮し、0.500m³/m³以上を標準とする。

そのほか、水結合材比は原則として55%以下(必要な性能を満足することが確かめられた場合は60%

表8 流動化コンクリートSF(単位：cm)

調合管理強度 (N/mm ²)	ベースコンの SLの目標値	あと添加後の SFの目標値
40以上45以下	21以下	45, 50, 55, 60
36以上40未満		45, 50, 55
33以上36未満		45, 50
27以上33未満		45

表9 増粘剤含有高性能AE減水剤の品質基準(案)

項目	品質基準
JIS A 6204 高性能AE減水剤	適合
JP漏斗流下時間の差*1(秒)	2以上

*1 0打フローが250±5mmにおける流下時間の差で表される

以下)とし、単位水量は、所要のSFが得られる範囲で適切な値に定め、原則として185kg/m³以下とした。

3-7. 6章 コンクリートの製造

高流動コンクリートは、JIS A 5308のSFで区分されるコンクリートの規定に適合するレディーミクストコンクリート、もしくは建築基準法第37条第二号によって国土交通大臣から指定建築材料として認定を受けたSFで製造管理されるコンクリートとする。ここでは、生コン工場の選定、レディーミクストコンクリートの発注、製造および製造管理、および受入れについて示している。

3-8. 7章 コンクリートの施工

ここでは、施工計画、運搬、練混ぜから打込み終了までの時間の限度、打込み、締固め、仕上げ・養生および型枠について示している。

高流動コンクリートの施工計画にあたっては、①高流動コンクリートのSFを適切に設定する、②使用する高流動コンクリートの流動性、材料分離抵抗性および間隙通過性にあった打込み計画を定める、③生コン工場の選定を早めに行う、④側圧は、フレッシュコンクリートの単位容積質量に打込み高さを乗じた液圧として型枠を計画する、などについて配慮する。

3-9. 8章 試験および検査

ここでは、レディーミクストコンクリートの受入検査と構

造体コンクリート強度の検査について示している。

高流動コンクリートの受入検査は、レディーミクストコンクリートの納入書による検査、フレッシュコンクリートの検査、使用するコンクリートの圧縮強度の検査、により、構造体コンクリート強度の検査は、基本は旧指針を踏襲し、JASS 5の11節(品質管理および検査)および16節による。

3-10. 9章 流動化コンクリート(あと添加で流動性を増大させたコンクリート)

単位水量の減少を目的とした従来の流動化コンクリートとは異なり、コンクリートの流動性を増大させることを目的とした流動化コンクリートの検討が進んでいる。このコンクリートは、荷卸し後のベースコンクリートに対して、(増粘剤含有)流動化剤、(増粘剤含有)高性能AE減水剤などを“あと添加”して材料分離抵抗性を損なわずに流動性を高めたコンクリートである。本技術は、高流動コンクリートを周辺工場から入手することが困難な場合には有効な製造方法であり、(一社)日本建設業協会「現場添加型高流動性コンクリートの製造・品質管理要領書」³⁾が取りまとめられていることも受け、その内容を反映させた。そのため、本指針では、流動化コンクリートを「あらかじめ練り混ぜられたコンクリートに混和剤をあと添加し、これを攪拌してその流動性を増大させた高流動コンクリート」として、JIS A 0203(コンクリート用語)とは異なる定義をしている。

コンクリートの計画調合は、試し練りを行って定める。ベースコンクリートの調合は、流動化後のコンクリートの性能が得られるように定め、流動化コンクリートの調合管理強度は、ベースコンクリートと同一とする。なお、ベースコンクリートのSLおよび流動化コンクリートのSFの組合せは**表8**に示す範囲とする。なお、流動化の前後で責任の区分が異なるため、レディーミクストコンクリートの製造者と施工者は、その責任区分について事前に十分協議しておく必要がある。

3-11. 付録

付録は、**表1**に示すとおりである。付録1には、JASS 5 M-406：2021(増粘剤含有高性能AE減水剤の品質基準(案))(**表9**)を示している。VSPは、SPと増粘剤を一液混合することによって汎用の高性能AE減水剤よりも材料分離抵抗性を改善した製品であり、その効果も確認されているが、SPとVSPの違いを高流動コンクリートの製造者や使用者が確認できる規格や基準は整備されていない。そのため、JIS A 5308で対象としたSF管理のコンクリートはSPでも製造可能と判断される範囲となっている。そこで、コンクリート用化学混和剤協会の協力のもと検討を進め、JASS 5 M-406：2021を提案した。

付録2では、材料分離抵抗性の評価として用いられる目視評価について、その妥当性および代替可能な評価方法について検討を進め、「目視判定実施方法」を提案した。ここでは、粗骨材の沈降に対する抵抗性を目視判断により評価できる可能性が高いことを確認し、定性的な判断となる目視評価を「目視判定指数」として数値化し、その他の試験方法との相関性を確認することができた。また、フレッシュ性状に関する評価試験方法および評価基準についても併せて示している。

付録3では、高流動コンクリートの調合の性能設計に関する技術の現状、付録4および5では、近年の施工実績および本指針作成のために実施した実験の概要について示している。

4. おわりに

高流動コンクリートに関して、過去10年程度の間に製造、施工および検査を行う合理的な技術の導入や制度面の環境整備等が行われた。今回の指針改定ならびに今後予定されているJASS 5の大改定によって、建築分野で高流動コンクリートを積極的かつ効率的に選択・使用するための学術的な環境もおおむね整備されることとなる。

高流動コンクリートの普及拡大のためには、本指針などを上手く活用しながら高流動コンクリートの必要性、有効性について十分に理解するとともに、決して技術を過信せずに、発注者、設計者、施工者の間に共通認識が持たれることが重要である。本指針が高流動コンクリートに関するさらなる技術の普及と品質向上に役立つことを期待している。

最後に、本指針の改定にあって、日本建築学会「高流動コンクリート指針改定小委員会」および関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会／高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針・同解説，2021.12
- 2) 神代泰道，河野政典，依田和久，梅本宗宏，浦川和也／日本建設業連合会「建築分野における高流動性コンクリートの普及に関する研究会」の活動概要，コンクリート工学，Vol.58，No.7，pp.493～500，2020.7
- 3) (一社)日本建設業連合会／現場添加型高流動性コンクリートの製造・品質管理要領書，2020.9

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

炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定(その2)

CO₂ sequestration by carbonation of cement-based materials(Part2.)

星野 清一 兵頭 彦次

1. はじめに

近年、カーボンニュートラル化に向けた社会動向の中で、セメント・コンクリートが二酸化炭素(CO₂)を吸収・固定化するという特性を活かした新しいCO₂削減のための技術アプローチに関心が集まっている¹⁾。前報のその1²⁾では、主に自然炭酸化の観点から、セメント・コンクリートがライフサイクルを通じて大気中のCO₂を吸収する量を評価する取組みについて解説した。一方で、セメント・コンクリートを利用したCO₂の吸収・固定化に関しては、自然吸収のみならず、その性能を積極的に活用した新たな技術開発や、産業利用を図っていこうとする取組みも数多く行われている。

エネルギー・環境分野のイノベーションにより気候変動問題の解決を図っていくための国際的なプラットフォームであるICEF(Innovation for Cool Earth Forum)では、CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)技術による将来的なCO₂削減ポテンシャルを報告している³⁾。本報告によると、骨材およびコンクリートを対象とした技術によるCO₂の削減量は、2030年において世界でそれぞれ36億t/年および14億t/年のポテンシャルを持っているとされている(いずれも戦略的なアクションを実施した場合)。これは、燃料への利用(21億t/年)と比較しても同程度かそれ以上のものとなっており、コンクリート関連材料によるCO₂の固定化や削減は、CCU技術の中でも期待が大きいものとなっている。

本報の「炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固

定」のその2では、その1の自然炭酸化に引き続き、セメント系材料を活用した新たなプロセスや手法によってCO₂を吸収・固定化しようとする技術について解説する。これらの技術は、工場排ガスなどからの回収CO₂の重要な利用方法として期待される。

2. セメント・コンクリート関連材料によるCO₂固定化・利用技術の種類

表1に、コンクリートや骨材を活用したCO₂固定化・利用技術の例を示す。CO₂の利用技術にはコンクリートに関連するものとして、炭酸化養生コンクリートや生コンクリートへのCO₂注入がある。また、廃コンクリートや産業副産物、廃棄物を活用した技術としては、カルシウム(Ca)を化学的または物理的に抽出しこれを炭酸塩化させた生成物(CaCO₃)を工業利用しようとする技術や、廃コンクリートにCO₂を固定化させその生成品を有効利用する技術、さらにはコンクリートスラッジにCO₂を固定化する技術などが検討されている。骨材に関連する技術では、Caを多く含む出発原料を基に、最終生成品としてCO₂を固定化させた骨材を製造する技術などが開発されている。なお、これらの中には、例えばスラグや廃コンクリート微粉などのCaを含む副産物を出発原料として、CO₂との反応によって骨材化する技術など、複数のいずれの項目にも分類できる技術もみられるが、本稿では**表1**のとおり分類させていただいた。

表1 コンクリートや骨材を活用したCO₂固定化・利用技術の例

対象	技術項目	概要
コンクリート	炭酸化養生コンクリート	・コンクリート製品や生コンでの検討例。 ・炭酸化養生(CO ₂ と反応)によって強度を発現。 ・炭酸化により強度を発現する材料を使用・併用する例もあり。
	生コンクリートへのCO ₂ 注入	・生コンクリートにCO ₂ を吹込む等によってCO ₂ を吸収・固定化。 ・微細な炭酸カルシウムの生成により強度も増進。
廃コンクリート、産業副産物、廃棄物	Ca抽出／炭酸塩化	・カルシウム(CaO)を含む廃棄物等よりCaOを抽出して炭酸塩(CaCO ₃)化。生成した炭酸塩を工業利用・有効利用。 ・または、炭酸化反応を利用して材料同士を結合・固化。
	廃コンクリートCO ₂ 固定化	・廃コンクリートにCO ₂ を固定化。生成品を有効利用。
	コンクリートスラッジへのCO ₂ 固定化	・コンクリートスラッジの炭酸化によりCO ₂ を吸収・固定化。スラッジは有効利用。
骨材(生成物)	CO ₂ 固定化骨材	・Caを含む廃棄物・副産物微粉末等にCO ₂ を反応させることで粒状化。骨材等として利用。など

表2 CaO-SiO₂-Al₂O₃系鉱物の液相におけるCO₂との反応性

Reactivity	Cement-related minerals
Reactive to CO ₂	Lime, C ₃ S, C ₂ S, C ₃ S ₂ , CS
Minimal reactivity or inert to CO ₂	C ₃ A, SiO ₂ , Al ₂ O ₃
Not found in published studies	CA, CA ₆ , C ₂ AS, CAS ₂ , A ₃ S ₂

以降では、**表1**に示した幾つかの技術項目について、技術の概略や現状を概説する。

3. 炭酸化によるCO₂固定化技術

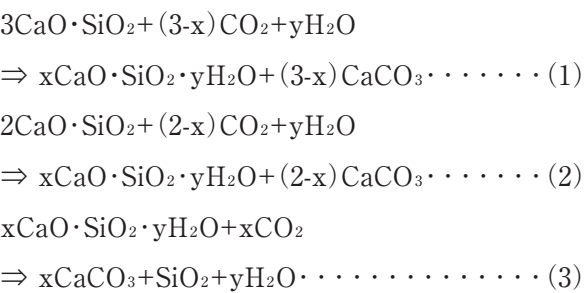
3-1. 炭酸化養生コンクリート

1970年代から、蒸気養生の代替として硬化過程のコンクリートを炭酸化養生することにより、強度発現の促進や耐久性を向上させる技術がプレキャストコンクリート製品を対象に検討された。昨今のCO₂排出削減に対する社会背景を受けて、改めてこの炭酸化養生コンクリートの研究が活発化してきている。ここでは、炭酸化養生コンクリートの基本的な特徴や技術を示す^{4,5)}。

(1) 炭酸化反応

表2に、液相におけるCaO-SiO₂-Al₂O₃系鉱物とCO₂との反応性を示す。CaO-SiO₂系の鉱物はいずれもCO₂との反応性を有する。一方、ほとんどのCaO-Al₂O₃系鉱物は、CO₂に対して最小限の反応性しか持たないか、あるいは不活性である。C₃Sおよ

びC₂Sは適切な水分がある条件において、式(1)および(2)によって反応する。さらに炭酸化が進むことにより、式(3)のようにC-S-HのCaが脱離し、炭酸カルシウムとシリカゲルに変化する。



炭酸化によって生成する炭酸カルシウムの形態は、C₃S、β-C₂Sの場合、ほとんどが1μm以下のカルサイトとされる。アラゴナイトは限られた条件下で生成することが報告されているが、バテライトはほとんど生成しない。一方、γ-C₂Sは、カルサイトとバテライトの両方を生成するとされる。

(2) 炭酸化養生プロセス

炭酸化養生では、硬化過程にあるコンクリートを効率的かつ効果的に炭酸化させるため、硬化段階に応じて養生条件を最適化することが求められる。そのため、炭酸化養生は**図1**に示す3段階のプロセスで行われる。フェーズIは前養生であり、乾燥条件下で養生を行う。ここでコンクリート中の含水率を70%程度まで除去することにより後のCO₂吸収量を増加させることができる。フェーズIIは炭酸化反応であり、コンクリートの

表3 炭酸化養生および蒸気養生した場合のコンクリートの耐久性

Resistance to permeability	Rapid chloride ion penetration test	Increase	Decrease
	Air permeability test	Increase	Decrease
	Electrical resistivity	Increase	Decrease
Resistance to environment	Freezing and thawing scaling	Increase	Decrease
	Freezing and thawing degradation	Increase	Decrease
	Sulfate attack	Increase	Decrease
	Acid attack	Increase	Decrease
	Alkali silica reaction	Increase	-

成形後、24時間以内に行われることが多い。初期段階での炭酸化成反応は、CO₂の拡散が支配的となるため、CO₂濃度が重要な影響因子となる。温度は、20～25℃前後の常温で行われることが多い。高温の場合、CO₂の拡散は促進されるものの、CO₂の水への溶解度が低下することや硬化体の過度の乾燥につながるため、これらのバランスが重要とされる。フェーズIIIは後養生であり、未水和セメントの反応を進めるために行われ、所定の材齢まで水分の供給が求められる。

(3) 炭酸化養生コンクリートの物性

炭酸化養生することによってコンクリートの若材齢における強度発現性が促進される。配合や養生などの条件によっても異なるが、1日強度は標準養生したコンクリートに比べて、20%から最大2倍程度大きくなるとされる。これら若材齢における強度の促進は、炭酸イオンが十分に存在する細孔溶液によって、セメントの急速な溶解と反応を促すことに起因する。また、炭酸化養生したコンクリートの終局強度は、水の供給が十分であれば、炭酸化していないコンクリートとほぼ一致する。

耐久性については、炭酸化養生したコンクリートは細孔構造が緻密化するため、一般に向上するとされる。炭酸化養生および蒸気養生した場合のコンクリートの耐久性⁵⁾を表3に示す。炭酸化養生した場合、物質移動抵抗性が大きくなり、塩化物イオンやそのほかの劣化因子の侵入抵抗性が向上する。硬化体の緻密化が、水の浸透や凍結を抑制することにより、凍結融解抵抗性は向上する。コンクリート中の水酸化カルシウム量が

炭酸化によって減少することにより、外部硫酸塩劣化や耐酸性が向上する。また、pHの低下のほか、緻密な硬化体組織によって水やアルカリ金属イオン(Na⁺, K⁺)の移動が制限されるため、アルカリ骨材反応に対する抵抗性も向上する。このように、耐久性の面からは、有利なことも多い。

(4) CO₂固定化材料と技術開発例

近年では、CO₂を固定化し利用することをコンセプトとした材料や技術が研究開発されている。γ-C₂Sのような低カルシウムの鉱物は、それ自体のCO₂排出量も少なく、かつ炭酸化養生によってCO₂を活用できる材料として期待されている。

Solidiaセメントは、非水硬性のウォラストナイト(CaO・SiO₂)やランキナイト(3CaO・2SiO₂)をベースとしており、炭酸化養生を前提としたセメント混合材料である⁶⁾。低い焼成温度で製造できること、Ca原単位が少ないことから、CEM I(ヨーロッパ規格の普通ポルトランドセメント)よりもCO₂排出量が30%削減できるとしている。また、コンクリートとして炭酸化養生することにより、セメント1tあたり最大300kgのCO₂が吸収可能である。これまで、舗装用のブロックや鉄道の枕木等に利用された実績がある。

CO₂-SUICOMは、副生消石灰から製造した非水硬性のγ-C₂Sとフライアッシュ、ポルトランドセメントを結合材とするコンクリートであり、炭酸化養生することによりネットCO₂排出量をニュートラルにすることが可能とされる⁷⁾。道路用ブロック等のプレキャストコンクリート製

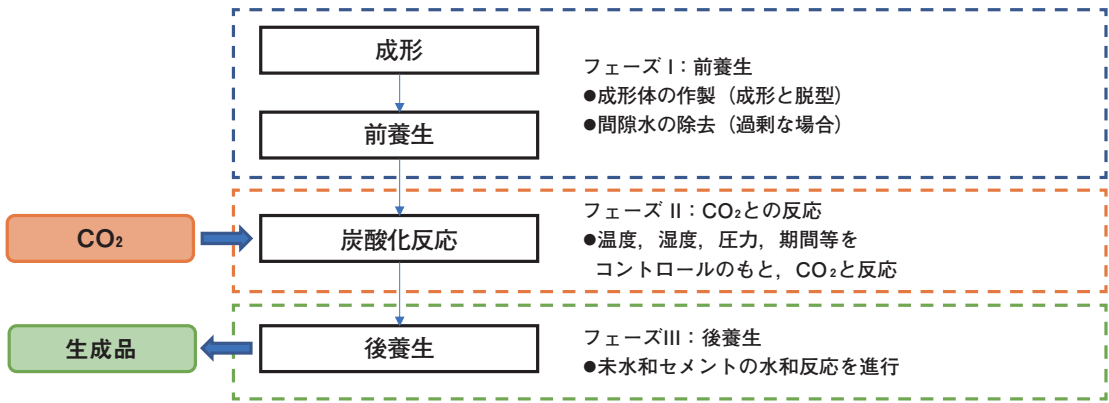


図1 炭酸化養生のプロセスの例

品に適用された実績がある。

3-2. 廃コンクリートによるCO₂固定化

解体コンクリートを破砕して再資源化する段階では、コンクリート中のセメントペースト分がCO₂を吸収することは前報²⁾で述べた。これを加速炭酸化することにより、CO₂の固定化を図るとともに、生成品としてコンクリート用再生骨材を得るための研究が進められている。一般に再生骨材を使用したコンクリートは、普通コンクリートと比べて凍結融解抵抗性の低下や乾燥収縮の増大等の課題がある。これは、再生骨材に付着するセメントペーストに起因すると考えられている。一方、再生骨材を炭酸化することにより、付着セメントペーストは緻密化し、通常の再生コンクリートよりも強度、ヤング係数、乾燥収縮、凍結融解性等の性能が改善することが報告されている^{8,9)}。

FastCarb¹⁰⁾は、コンクリート用再生骨材をセメント工場排ガスに通すことにより、再生骨材の表面に付着したセメントペーストにCO₂を固定化しようとするフランスの実証プロジェクトである。現状では、試験室レベルでの試験やセメント工場に設置された設備での試験が行われている。

解体コンクリートを、セメントペーストと骨材に高度に分離し、ペースト分を炭酸化することにより、コンクリート用混和材に利用しようとする取組みも進められている¹¹⁾。セメントペーストを炭酸化することにより生成するアルミナシリカゲルをボゾラン材料として活用するものである。

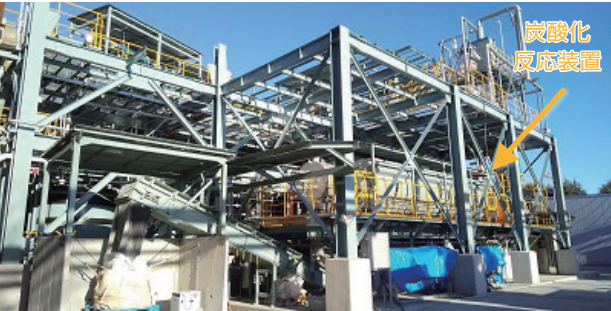


図2 廃コンクリートを活用したCO₂有効利用の実証試験設備
〔太平洋セメント(株) 熊谷工場〕

現状は、骨材を含まない純粋なセメントペーストの粉砕物での検討であるが、石灰石微粉末やフライアッシュを用いた場合よりも、強度発現性に優れることが報告されている¹²⁾。

また、太平洋セメントではセメントキルン排ガスからCO₂を分離・回収し、回収したCO₂をコンクリート等によって有効利用していくための技術実証プロジェクトを行っている¹³⁾。このプロジェクトの中では、廃コンクリートにCO₂を固定化させるとともに、生成品をセメント原料や建設資材として有効利用していくための技術について、セメント工場内に実証試験設備(図2)を設置し、技術開発を行っている。本技術では、廃コンクリートを連続式の炭酸化反応装置に投入し、工場排熱程度の低温で加熱しながら回収CO₂ガスと反応させて再資源化するプロセスとしている。通常、コンクリートの炭酸化は長い年月をかけて徐々に進行するが、本設備はこれを数十分程度に短縮して行うものとなっている¹⁴⁾。

3-3. 生コンクリートへのCO₂注入・固定化

生コンクリートにCO₂を注入し固定化する技術が実用化されている(CarbonCure)¹⁵⁾。これは、コンクリートの練混ぜ工程においてCO₂を注入し、微細な炭酸カルシウム粒子を生成させることにより固定化するものである。粒子は、セメント水和物が生成する核となり、セメントの水和反応を活性化するため、初期強度発現性が促進される。セメントに対して1.4質量%のCO₂の固定が報告されている。

一方、生コンクリートへのCO₂注入は、練混ぜ水を介してセメントから溶解したCaイオンと反応させるものであることから、溶存しているCaイオン濃度以上のCO₂を注入すると、セメントの水和反応を阻害し、フレッシュ性状や後の強度発現性に悪影響を及ぼすことが報告されている¹⁶⁾。生コンクリートが吸収・固定化できるCO₂の量自体はさらに大きなものではあるが、コンクリートとしての物性面などから、現状では注入される量が制限される。

3-4. CO₂固定化骨材

CO₂を吸収・固定化させた後の生成品として骨材を製造する技術が開発、実用化されている。O.C.O. Technology¹⁷⁾は、セメントバイパスダストやキルンダスト、またスラグ、フライアッシュ、コンクリート微粉、汚泥などのカルシウム(Ca)やマグネシウム(Mg)を含む産業廃棄物を出発原料として骨材を製造している。本技術では、原料に水などを加えたのちCO₂を送入し、炭酸塩を生成させることによってCO₂を固定化する。その後、練り混ぜや造粒、養生等の工程を経ることでCO₂を固定化した骨材を製造している。CO₂の吸収・固定化の反応は、開発された独自の加速炭酸化技術によって15~30分程度の非常に短い時間で行われる。CO₂の固定量は出発原料によって異なるが生成品に対して6~23質量%であることが報告されている。製造された骨材は、コンクリートブロックや生コンクリート、敷材、盛土、路盤用などとして利用されており、年間10万t以上が実際に製造されている。また生成物は、骨材

の他にも農地や林業において土壌の酸性度を下げるための用途にも利用されている。

Blue Planet Systems¹⁸⁾も同様に、セメントキルンダストやコンクリート微粉、スラグ、フライアッシュなどの産業廃棄物を出発原料に、骨材を製造する技術を開発している。同技術では、アンモニア水によるCO₂回収溶液と上記の原料とを反応させ、骨材の核となる基材表面上に生成物として炭酸塩を形成させる。このコーティングを重ねていくことにより製造される。これまでに、コンクリートの骨材として空港工事に試験利用された実績を持つ。本技術は、骨材の表層のみを炭酸塩化することからCO₂の固定量としては限定的となる一方で、基材となる材料の強度が生成品である骨材の強度に反映され易くなることから、物性面としては良好な特性が得られやすくなるものと推測される。

4. おわりに

本解説では、セメント系材料の炭酸化によるCO₂の吸収・固定化について、技術開発や取り組み、実用化などの現状を前報から2報にわたって紹介した。コンクリートをはじめとするセメント系材料の社会的ストックは非常に膨大であり、また吸収したCO₂は長期にわたって固定化されるといった特徴もあることから、CCU技術の一つとして高いポテンシャルを有していると考えられる。カーボンニュートラル社会に向けた本格的な技術開発はまだ始まったばかりかもしれないが、今後技術が進展し、将来の低炭素化社会の中で、セメント系材料がCO₂削減に対して大きな役割を果たしていることを期待したい。



ほしの せいいち
太平洋セメント(株) カーボンニュートラル
技術開発プロジェクトチーム 修士(工学)



ひょうどう ひこつぐ
同上 中央研究所 第1研究部
セメント技術チームリーダー 博士(工学)

【参考文献】

- 1) International Energy Agency / Energy and technology Perspective, 2020.
- 2) 兵頭彦次, 星野清一 / 炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定(その1), セメント・コンクリート, No.901, 2022.
- 3) Innovation for Cool Earth Forum(ICEF) / Carbon dioxide Utilization (CO₂U)-ICEF ROADMAP 1.0, p.6, 2016.
- 4) W. Ashraf / Carbonation of cement-based materials:Challenges and opportunities, Construction and building materials, No.120, pp.558~570, 2016.
- 5) D. Zhang, Z. Ghouleh, Y. Shao / Review on carbonation curing of cement-based materials, Journal of CO₂ utilization, No.21, pp.119~131, 2017.
- 6) V. Meyer, N. DeCristofaro, J. Bryant, S. Sahu / Solidia Cement an example of Carbon Capture and Utilization, 6th International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete, pp.1-8, 2017.
- 7) 取達剛, 横関康祐, 盛岡実, 山本賢司 / γ -2CaO・SiO₂を混入して強制炭酸化したセメント系材料による環境負荷の低減, セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.161~167, 2010.
- 8) D. Xuan, B. Zhan, C. Poon / Development of a new generation of eco-friendly concrete blocks by accelerated mineral carbonation, Journal of cleaner production, Vol.133, pp.1235~1241, 2016.
- 9) J. Zhang, C. Shi, Y. Li, X. Pan / Performance enhancement of recycled concrete aggregates through carbonation, Journal of materials in civil engineering, No.27, 2015.
- 10) FastCarb / <https://fastcarb.fr/en/program/experimental-approach-in-the-laboratory>, 2020.
- 11) J. Skocek, M. Zajac, M. Ben Haha / Carbon capture and utilization by mineralization of cement pastes derived from recycled concrete, Scientific reports, No.10, pp.1~12, 2020.
- 12) M. Zajac, J. Skocek, P. Durdzinski, F. Bullerjahn, J. Skibsted, M. Ben Haha / Effect of carbonated cement paste on composite cement hydration and performance, Cement and concrete research, No.134, pp.1~19, 2020.
- 13) 星野清一, 平尾宙, 林康太郎, 野村幸治, 上野直樹 / 2050年カーボンニュートラルに向けた取り組み / 太平洋セメント, セメント・コンクリート, No.900, pp.12~17, 2022.
- 14) 一坪幸輝, 平尾宙, 野村幸治, 上野直樹 / 炭素循環型セメント製造プロセス技術開発(セメント工場を中心としたカーボンサイクル社会の実現に向けた取組み), コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.827~829, 2021.
- 15) CarbonCure ホームページ / <https://www.carboncure.com>, 2020.
- 16) J. Kwasny, P. A. M. Basheer, M.I. Russell / CO₂ sequestration in cement-based materials during mixing process using carbonated water and gaseous CO₂, 4th international conference on the durability of concrete structures, pp.72~79, 2014.
- 17) Carbon8 ホームページ / <http://c8s.co.uk>.
- 18) Blue Planet ホームページ / <http://www.blueplanet-ltd.com/>.

一般向け環境パンフレット

セメントは安全で快適な暮らしを支えるサポーター

セメント協会ではとかく難しくなりがちな社会資本整備への取り組みや循環型社会への貢献を楽しいイラストや写真・グラフを多用してわかりやすく解説したパンフレットを作成しています。

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

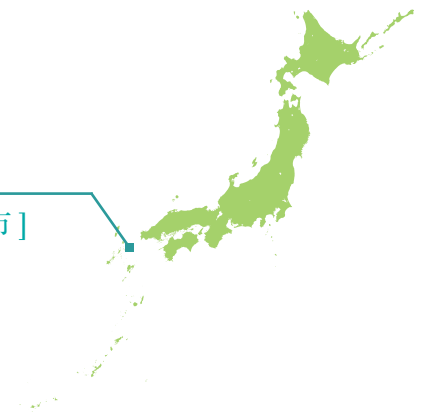
(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



【おもな内容】1. みんなの安全な暮らしを守るコンクリート 2. セメントってどんなもの? 3. 世界トップクラスの省エネ技術 4. 廃棄物をセメントの原料に 5. セメント工場がなかったら日本はゴミの山? 6. 未来を守るセメント工場

Cのイメージ ～コンクリート名所案内～

No.99 曲渕ダム [まがりふちダム／福岡県福岡市]



福 岡市の中心部から国道263号線を南西に向かい、佐賀との県境・三瀬峠の手前に曲渕ダムがある。

地層の関係から水質に恵まれなかった福岡平野一帯では、近世以前、限られた井戸で飲料水を賄っていたという。福岡市が誕生した1889(明治22)年、市域は5.09㎢、人口約5万人であった。明治期半ばから大正期にかけて近代化が進み、人口増と産業の発展に伴ってますます水需要は増加の一途をたどり、市民への良質な水の供給は悲願となっていた。

曲渕ダムが九州初の重力式コンクリートダムとして完成したのは1923(大正12)年のこと。さかのぼること1903年に本格的な水源調査が始まり、室見水系八丁川・曲渕の地に水道用ダムが計画されたのが1908年でその4年後に国から水道創設の許可が下りたものの、その莫大な建設費用をめぐって市議会が紛糾、当時の市長が辞任に追い込まれるなど建設に取り掛かるまでにかなりの困難が伴った。



粗石コンクリート造+表面に御影石布積による堤体





〔写真：上左〕御影石が敷かれた天端部通路　〔写真：上中〕ダム左岸の洪水吐は自然越流　〔上右〕左岸に置かれた碑には「天源豊」と読むことができる　〔写真：下〕下流に整備された「曲淵ダムパーク」は桜の名所

その後 1916 年に着工はしたものの、用地買収も遅れがちで施工そのものも人力中心のため進捗は鈍く、追い打ちをかけるように第一次世界大戦の影響から資材が高騰、難航を極めた事業となった。

着工から 7 年、作業員数のべ 70 万人、当初予算の 2 倍を超える 868 万円（現在の価値で約 48 億円、市の年間予算が約 260 万円）をかけ、平尾浄水場とともに竣工を迎え福岡市の水道事業が幕を開けた。この時、市域は 20.68km²、人口 14 万人にまで拡大し良質な水供給が可能となったのである。

竣工当時の規模は、堤高 31.2m、堤頂長 142.7m、有効貯水量は 1,422,000 m³であったが、昭和に

入った 1931（昭和 6）～34 年には早くも嵩上げによる拡張工事が行われ、現在の堤高 45m、堤頂長 160.6m、有効貯水量 2,368,000 m³の規模に増強された。さらに近年では 1989（平成元）～93 年に老朽化・漏水対策の堤体改良工事が施されている。

いま、ダムの下流部は「曲淵ダムパーク」として整備され、春は桜が咲き、秋は周囲の山々が紅葉に彩られる中、エイジングを重ねた御影石のもつ重厚な表情でいよいよ来年 100 年を迎える。

＊参考資料：曲淵ダム、福岡市水道局パンフレット、2011 年 3 月
〔写真と文：編集部〕

生 産 (単位：千 t.%) 販 売 (単位：千 t.%) 輸 出 (単位：千 t.%)

種類		項目		22 年		22 年	
		22 年	前年比	22 年	前年比	22 年	前年比
		1 月	前年比	2 月	前年比	1 月	前年比
		構成比	構成比	構成比	構成比	構成比	構成比
ポルトランドセメント	普 通	2,556	100.1	2,711	112.8	80	91.6
	早強・超早強	297	106.3	315	99.4	171	86.2
	中 庸 熱	59	79.1	71	108.3	640	100.8
	低 熱	19	100.1	10	51.5	256	98.8
	耐 硫 酸 塩	0	-	0	-	98	119.7
	そ の 他	0	-	1	-	332	99.7
	小 計	2,932	100.1	3,105	110.8	401	99.9
混合セメント	高 炉	736	97.4	845	101.9	107	92.7
	シ リ カ	0	-	0	-	167	97.1
	フライアッシュ	4	282.1	2	47.2	348	110.1
	そ の 他	91	112.8	108	83.8	60	91.9
	小 計	830	99.1	955	99.3	63	98.8
その他のセメント		13	103.5	8	110.2	2,661	99.8
計		3,776	99.9	4,068	107.9	100.0	2,928
輸出用クリンカ等		356	82.1	468	83.7	98.2	100.0
合計		4,132	98.1	4,536	104.8		

※単位は千 t 以下四捨五入したため、かならずしも統計に合致しない

需 給 (単位：千 t.%)

項 目		生 産		販 売				期末在庫		輸 入		内 需		固化材 原料他
		前年比	前年比	国 内	前年比	輸 出	前年比	合 計	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	
会計年度	2009	58,378	88.6	41,976	85.4	11,054	103.6	53,030	88.6	4,468	101.1	756	81.9	5,300
	2010	56,050	96.0	41,040	97.8	9,967	90.2	51,007	96.2	4,083	91.4	574	75.9	5,428
	2011	57,579	102.7	41,912	102.1	10,006	100.4	51,918	101.8	4,212	103.2	738	128.8	5,532
	2012	59,488	103.3	43,754	104.4	9,632	96.3	53,387	102.8	4,140	98.3	822	111.4	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	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	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	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	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	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	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	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,336	96.5	20	90.0	6,445

最新の需給情報はセメント協会ホームページでご覧いただけます。

<https://www.jcassoc.or.jp/>

年月	建設工事受注動態統計(出典：国土交通省)							(単位：億円)
	総数	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
29	153,276	30,880	5,816	16,808	38,159	45,600	4,507	
30	148,302	27,462	6,460	17,585	37,781	44,460	4,043	
令和元	159,670	29,306	6,352	19,177	41,351	47,625	3,871	
2	172,674	38,941	5,468	22,850	43,647	46,984	4,452	
2年12月	14,725	2,094	570	2,230	3,895	4,884	142	
3年2月	13,048	2,917	431	2,292	2,976	2,922	585	
3	35,302	12,094	1,283	4,936	9,359	5,590	426	
4	13,508	2,782	509	2,789	3,255	2,882	349	
5	13,874	2,397	167	2,837	2,782	4,510	669	
6	21,581	3,246	442	2,626	4,285	8,910	469	
7	19,058	2,731	573	1,622	4,882	7,341	572	
8	16,066	2,192	358	1,950	4,670	4,673	651	
9	20,200	3,315	509	2,494	6,211	5,845	386	
10	15,410	2,288	273	1,669	5,368	4,471	238	
11	12,176	1,630	285	1,498	3,505	3,738	579	
12	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456	
4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	

年月	建築着工(出典：国土交通省)								(単位：万 m ²)
	統計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋 コンクリート造	鉄骨 コンクリート造	鉄骨造	コンクリート ロック造	その他	居住用	非居住用
29年度	13,468	5,616	248	2,426	5,079	9	90	8,171	5,297
30	13,107	5,593	147	2,265	5,005	8	90	8,007	5,100
令和元	12,494	5,483	148	2,270	4,493	8	92	7,696	4,798
2	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492
2年12月	917	428	23	124	338	0.3	5	562	356
3年2月	859	378	20	146	308	0.4	7	496	334
3	1,043	418	58	237	377	0.4	6	616	427
4	1,053	443	12	205	388	0.4	6	633	421
5	1,042	438	11	200	388	0.5	6	614	428
6	1,085	486	18	161	412	0.5	7	657	428
7	1,066	477	11	202	370	0.4	6	658	408
8	954	462	7	153	326	0.4	8	641	313
9	995	466	18	162	343	0.5	6	625	370
10	1,209	488	22	162	531	0.4	6	676	533
11	1,012	467	14	175	346	0.7	9	638	374
12	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475
4年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324
2	992	370	23	192	331	0.5	5	551	371

※単位は万㎡以下四捨五入したため、かならずしも統計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出典：国土交通省)									(単位：億円)
	統計	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	国の期間					
29	148,962	101,501	21,739	36,600	25,020	99,487	49,475	97,736	170,719	
30	158,590	116,269	24,410	31,126	21,051	110,581	48,009	102,594	181,913	
令和元	149,286	106,114	23,680	30,140	20,014	98,813	50,472	150,692	179,841	
2	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713	
2年12月	15,466	15,185	2,390	4,191	2,598	10,863	4,603	10,352	171,740	
3年2月	12,435	8,189	1,257	3,293	2,475	7,719	4,716	8,549	174,625	
3	36,395	26,029	3,932	8,640	6,502	24,517	11,878	23,559	191,713	
4	7,252	4,965	1,141	1,711	1,044	4,238	3,034	4,130	188,230	
5	7,470	4,666	940	2,440	1,674	4,576	2,894	4,477	186,330	
6	13,631	9,020	1,807	3,611	2,036	9,074	4,557	8,590	187,713	
7	8,925	6,244	2,042	2,324	1,373	6,069	2,855	5,598	188,502	
8	8,766	6,304	2,156	2,059	1,370	6,285	2,481	5,517	187,949	
9	15,826	12,450	1,699	2,780	1,935	11,984	3,842	11,695	190,553	
10	9,753	7,135	2,003	2,202	1,555	6,806	2,947	6,243	190,874	
11	10,676	7,495	2,213	2,269	1,498	6,782	3,894	6,496	191,232	
12	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900	
4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	-	

※受注高 10 億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(日本銀行調べ)												(平成 27 年平均 = 100)
	総平均	建設用 材料	セメント	生 コンクリート	コンクリート 製品	製材	砂利・ 碎石	普通鋼鋼材			金属製品	建設・ 鉱山機械	
									形鋼	小形棒鋼			
30 年均(C.Y.)	101.3	104.1	100.8	105.4	101.5	103.4	101.4	113.2	112.5	119	104.5	101	
令和元年	101.5	105.5	104	109	105.2	104.6	102.8	107.9	114.1	124.4	106.8	101.9	
30 年度平均(F.Y.)	101.5	104.9	101.5	105.8	101.9	103.8	101.2	114.8	113.7	122.6	105.2	101.3	
令和元年	101.6	105.5	104.3	110.4	106.7	104.8	101.2	107.8	113	123.4	107.7	101.9	
2年12月	100.3	104.3	104.3	113.5	109.3	104.3	107	110.9	106.6	118.2	108.4	103.2	
3年2月	101.3	105.7	104.8	114.1	111.2	106	108.1	115.9	114.3	124.1	108.9	104	
3	102.3	106.4	104.8	114	110.8	108.2	108.1	117.5	115.6	127.1	108.7	103.4	
4	103.2	107.8	104.8	114	110.5	114.5	108.1	120.6	119.4	130.3	109	103	
5	103.9	109.4	104.8	114.1	111.4	127.8	108.1	123.5	121.6	134.8	108.9	101.6	
6	104.8	112	104.8	114.2	112.4	147	108.2	131.1	129	139.1	109	102.1	
7	106	115.2	104.8	114.6	111.2	161.5	108.2	135.3	132.2	143.6	110.5	102.6	
8	106.2	117.3	104.8	115.1	111.7	167.2	108.5	139	136.6	147.5	110.9	102.7	
9	106.6	120.2	104.8	115.4	111.2	172.4	108.5	141.2	138.6	149.6	111.3	101.4	
10	108.1	122.8	104.8	115.5	111.4	173.4	108.5	145.7	140.9	152	112.4	102.1	
11	108.9	123.7	104.8	115.9	112.8	173.1	108.5	150.9	145.3	156.1	113.4	101.9	
12	109.1	123.9	104.8	116.2	110.9	172.4	108.5	156.3	146.4	159.4	113.8	102	
4年1月	110.1	124.7	104.8	116.9	112.1	168	108.5	158.7	147.3	161.1	115	104.2	
2	111.1	125.4	104.8	117.4	115.9	167.4	108.5	159.3	147.8	163.4	115.5	104.7	
3	120	126.4	104.8	117.4	115.4	167.5	108.5	161.2	149.7	169.7	115.9	104.5	

※企業物価指数が27年基準に変更

品目 年月	主要セメント製品出荷高Ⅰ(経済産業省調べ)					
	遠心力鉄筋コンクリート製品		パイル(t)	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)	護岸用コンクリート 製品(t)
	菅(t)	ボール(t)				
30年12月	15,684	38,275	94,444	5,777	62,336	229,842
元年12月	13,338	38,389	92,699	5,748	56,943	227,056
2年12月	12,208	37,450	118,215	6,317	60,604	223,770
3年2月	10,995	31,809	102,573	5,530	67,552	207,576
3	10,568	36,209	129,166	5,919	47,709	195,053
4	8,771	36,053	130,227	6,324	39,889	166,713
5	7,419	34,256	115,640	5,215	30,549	136,657
c	9,699	39,098	137,448	5,699	31,022	159,043
7	9,551	38,510	106,324	5,198	32,456	152,126
8	8,048	34,922	81,217	4,646	29,695	137,336
9	10,623	38,849	106,581	5,247	34,553	161,519
10	11,770	39,770	112,008	5,755	42,042	186,720
11	12,691	42,554	108,094	5,708	47,180	196,659
12	9,887	37,243	104,406	5,351	54,364	185,559
4年1月	11,076	34,446	98,983	4,091	55,355	165,266
2	10,378	31,936	123,327	5,000	59,450	176,941

品目 年月	主要セメント製品出荷高Ⅱ(経済産業省調べ)			
	PC 製品		木毛・木片・ セメント板(千枚)	気泡コンクリート 製品(m ³)
	はり・けた(t)	その他(t)		
30年12月	8,796	45,558	2,207	142,204
元年12月	16,472	42,837	2,337	127,687
2年12月	17,054	55,845	1,738	110,898
3年1月	11,086	59,864	2,455	94,198
2	13,036	55,228	2,437	89,579
3	16,053	56,330	2,734	103,003
4	12,884	41,403	2,646	95,735
5	7,358	34,817	2,249	81,549
6	10,439	36,530	2,675	97,276
7	9,869	37,805	2,655	106,963
8	7,888	27,448	2,429	93,426
9	10,495	38,030	2,742	109,780
10	11,778	50,928	2,745	117,155
11	14,667	45,639	2,847	115,458
12	15,948	54,642	2,595	118,751
4年1月	8,771	46,513	2,315	96,860
2	15,218	47,744	2,474	91,643

令和4年度第1回構造工学研究会「高速道路の大規模更新事業 -日本およびドイツ-」

開催日：5月23日(月)
会場：オンライン開催
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
電話：03-3355-3441

第4回土木技術者実践論文集研究発表会

開催日：2022年5月30日(月)
会場：オンライン
申込方法：土木学会HPより申込み
申込締切：2022年5月23日(月)
問合せ：コンサルタント委員会土木技術者実践論文集企画小委員会
メール：consul-ronbun@ml-jsce.jp

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム 2022

開催日：2022年6月14日(火)～13日(水)
会場：江東区江東公会堂 大ホール(東京都江東区)
参加費：無料※講習会用テキストは2,000円税込
申込方法：コンクリートメンテナンス協会HPより申込み
定員：550名
問合せ：コンクリートメンテナンス協会
電話：082-541-0133

2022年度 第14回公共調達シンポジウム

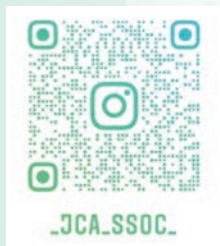
開催日：2022年6月21日(火)
会場：土木学会講堂(東京都新宿区)
参加費：会員4,000円・非会員6,000円
学生・招待者：無料(資料代込み)
申込方法：土木学会HPより申込み
定員：オンライン400名・会場30名
問合せ：土木学会 研究事業課 建設マネジメント委員会担当事務局
電話：03-3355-3559

お知らせ



一般社団法人 セメント協会 公式Instagram

Follow me



ひたむきに…黙々と…。
私たちの安全・安心・快適な生活の営みを支えている
コンクリート構造物。
そんな「コンクリートの底力」を紹介しております。
ぜひご覧ください。

アカウント名…_jca_ssoc_
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/

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・ご研究にどうぞご活用ください。

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
第76回 セメント技術大会	2022年 5月18日～ 5月20日	東京都 および オンライン	セメント協会 研究所 技術情報G	03-3914-2692	本号 裏表紙
令和4年度第1回構造工学研究会「高速道路の大規模更新事業 -日本およびドイツ-」	2022年 5月23日	オンライン	土木学会	03-3355-3441	本号 p.54
「プレストレストコンクリート構造の設計 学びやすい構造設計」改訂講習会	2022年 5月27日	東京都 および オンライン	日本建築学会関東支部	03-3456-2051	4月号 p.37
第4回土木技術者実践論文集研究発表会	2022年 5月30日	オンライン	コンサルタント委員会 土木技術者実践論文集 企画小委員会	consul-ronbun @ml-jsce.jp	本号 p.54
第15回 北陸道路舗装会議	2022年 5月31日～ 6月1日	新潟市	第15回北陸道路舗装 会議事務局	025-278-7810	3月号 p.63
「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 -2022-」発刊に伴う改訂要旨オンライン報告会	2022年 6月10日～ 6月30日	オンデマンド 配信	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・補強指針改訂 要旨報告会」係	03-3263-7204	4月号 p.37
コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム 2022	2022年 6月14日～ 6月15日	東京都	コンクリートメンテナンス協会	082-541-0133	本号 p.54
2022年度 第14回公共調達シンポジウム	2022年 6月21日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 建設マネジメント委員会 担当事務局	03-3355-3559	本号 p.54
講習会「根拠に基づく構造性能評価のための点検・解析の技術体系を目指して-点検を目的とした維持管理へ導かれた技術者へのメッセージ-」	2022年 6月22日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 (担当：岡崎)	okazaki @jsce.or.jp	4月号 p.37
第22回 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム	2022年 10月13日～ 10月14日	京都市 および オンライン	日本材料学会 「コンク リート構造物の補修、補 強、アップグレード論文報 告集・シンポジウム」係	075-761-5321	4月号 p.37

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

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

セミナー・講座名	実施日	申込期間	会場名	定員	空き 状況	参加費	土木学会 CPD(単位)
コンクリート舗装の基礎知識(約33分)	2021年3月1日(月)9:00～ 2022年9月30日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2022年9月30日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	0.7
セメント系固化材の基礎知識(約45分)	2021年3月1日(月)9:00～ 2022年9月30日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2022年9月30日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	0.9
セメント系補修・補強材料の基礎知識(約29分)	2021年3月1日(月)9:00～ 2022年9月30日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2022年9月30日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	0.5
地盤改良に関する試験について(約31分)	2021年12月24日(月)9:00～ 2023年3月31日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2023年3月31日(金)	WEB	上限 なし	○	無料	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/>

セメント・コンクリート編集委員会

顧問	
長瀧 重義	東京工業大学 名誉教授
委員長	
小堺 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
河村 直彦	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)
岸 利治	東京大学 生産技術研究所 教授
黒岩 秀介	大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)
黒田 泰弘	清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員
古賀 裕久	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員
小西 正芳	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 技術参与
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
塚田 哲也	敦賀セメント(株) 生産部 品質技術グループリーダー
二戸 信和	(株)デイ・シイ 技術センター 技術開発課長兼技術サポート課長
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
前田 禎夫	麻生セメント(株) 品質技術部 部長
宮川 美穂	G C Pケミカルズ(株) 技術部 R&Dマネージャー
森川 嘉之	(国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
山路 徹	(国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長
弓削 祐夫	U B E三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
窪木 康雄	(一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長
野崎 隆人	(一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 委員長
市原 克彦	(一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事
中山 英明	(一社)セメント協会 研究所長

編集委員会の動き

本号より編集委員として、窪木康雄氏、野崎隆人氏(ともに(一社)セメント協会)が就任されました。

一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

2022 No.904 CEMENT & CONCRETE

6月号 予告

セメント・コンクリート

- 環境配慮型コンクリートにおける炭酸カルシウムの位置付け
- 透過による固化処理土の強制的な変質促進への取組み
- JCI[3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会]成果報告
- 解説/日本建築学会「溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造の設計・施工指針・同解説」の概要
- ICタグを埋設したモルタルスパーサ その概要と応用事例
- シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する 放射線の遮蔽とコンクリート
- 2021-OCセメント共同試験「結果と最近10年間の推移」
- ずいそう(宇野洋志城) ほか



地上式LNGタンクのコンクリート施工における温度ひび割れ防止と暑中コンクリート対策《沖繩電力(株)牧港ガスエンジン発電所新設工事》

セメント・コンクリート No.903 5月号
2022(令和4)年5月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者 乾 敏一
編集者 藤原 恵美／古屋 祐介
発行所 一般社団法人 セメント協会
〒104-0041 東京都中央区新富2-15-5
RBM築地ビル2階
電話 03-5540-6171 (代表)
03-5540-6175 (広報部門 / 出版担当)
03-5540-6173 (図書販売)
FAX 03-5540-6181

研究所 〒114-0003 東京都北区豊島4-17-33
電話 03-3914-2691 (代表)
FAX 03-3914-2690

- 予約購読のご案内／予約購読をご希望の方は1年分 11,000円(税込み/送料当協会負担)を「振替」または「現金書留」で直接当協会にお申込み下さい。
- 本誌への広告申込みはセメント協会広報部門/出版担当 ☎ 03-5540-6175へ
- セメント協会加盟会社の購読料は会費に含まれます。

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

メールアドレス (出版担当)
cemecon@jcassoc.or.jp

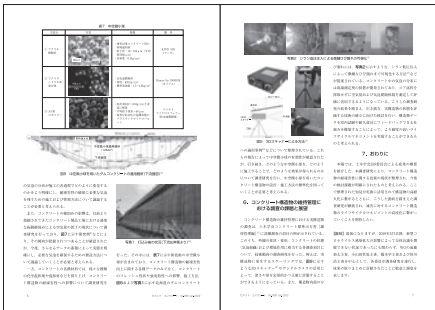
ホームページ
https://www.jcassoc.or.jp

セメント協会ホームページ



セメント協会 発行図書のご案内

セメント・コンクリート お得な年間購読

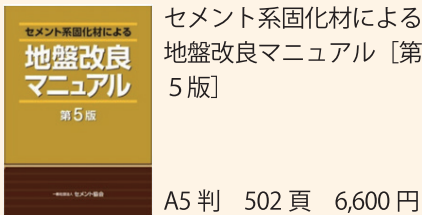


本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

最新のセメント・コンクリート技術を毎号多彩に紹介

- ・土木建築分野の特徴的な施工事例
- ・セメント化学分野の研究動向
- ・学協会の関連規基準類の制定・改定を解説
- ・脱炭素・低炭素社会を目指すセメント産業 など

◆セメント協会では、セメントに関する基礎知識から最新技術情報、関連規格類解説など、以下のような書籍を発行しております。◆



セメント系固化材による地盤改良マニュアル [第5版]

A5判 502頁 6,600円



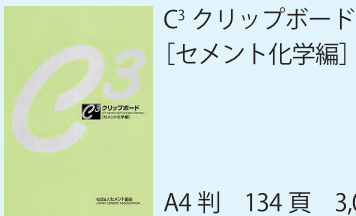
セメントの常識 (2020年版オールカラー)

A4判 72頁 2,200円



C3 クリップボード [コンクリート化学編]

A4判 123頁 3,080円



C3 クリップボード [セメント化学編]

A4判 134頁 3,080円



すぐに役立つ セメント系補修・補強材料の基礎知識 [第2版]

B5判 197頁 3,520円



コンクリート夜話 (山田順治著)

A5判 261頁 2,200円



セメント・コンクリート 論文集 (No.65 2011)

A4判 573頁 11,524円



セメント・コンクリート 論文集 (Vol.66 2012)

A4判 713頁 11,524円



セメント・コンクリート 論文集 (Vol.67 2013)

A4判 647頁 11,000円

(注) 1. 送料は図書代金と一緒に請求させていただきます。 2. 10冊以上のご注文は同一送付先に限り、送料は当協会へ負担いたします。 3. お支払いは銀行振込でお願い申し上げます。 4. 恐れ入りますが、銀行振込の振込手数料は購入者のご負担でお願い申し上げます。 5. 提供いただいたお客様の個人情報、お申し込みいただいた月刊誌・書籍の発送や案内、およびそのために必要な情報確認以外に使用することはありません。

その他、単行本や資料集など、各種ご用意しております。詳しくはホームページよりご覧ください。

https://www.jcassoc.or.jp/

セメント・コンクリート論文集 Vol.76(2022年度) 論文募集のご案内

一般社団法人セメント協会

セメント協会では、セメント・コンクリート論文集 Vol.76(2022年度)に掲載するための論文を募集いたします。「セメント・コンクリート論文集投稿要領」および「セメント・コンクリート論文集原稿執筆要領」をご高覧のうえ、ふるってご応募ください。

● 1. 論文の申込み

1. 1 申込み方法 セメント協会ホームページ <https://www.jcassoc.or.jp/>
トップページ「イベント・募集」>>募集「セメント・コンクリート論文集」>>募集要項
から論文申込み(下記 URL)の申込みフォームに必要事項すべてを明記の
うえ、締切日までにお申込ください。
1. 2 提出原稿 査読原稿の PDF ファイル
(「原稿執筆要領」および「投稿要領」をご参照ください)

● 2. 論文投稿受付期間 2022年4月1日(金)～5月31日(火)17時(厳守)

● 3. 公開までのスケジュール(予定)

- 1) 申込みの送信：5月31日(火)17時まで
- 2) 申込み受理の通知：申込み受理から1週間以内
- 3) 原稿(PDF ファイル)の提出：審査番号通知から3日以内
- 4) 査読：6月下旬～8月下旬
- 5) 1次審査結果の通知：9月下旬
- 6) 著者の審査結果に対する応答(修正原稿の提出)：10月中旬～11月上旬
- 7) 2次審査結果の通知：11月中旬
- 8) 版下原稿の著者校正：版下原稿到着より2週間以内
- 9) 公開：2023年3月

● 4. 投稿のための費用 無料

● 5. 論文賞の授与

セメント・コンクリート論文集(過去2ヵ年)に掲載された論文の中から特に優秀と認めた論文に対し、『セメント協会論文賞』を授与いたします。

● 6. セメント・コンクリート論文集の公開

採択された論文は、国立研究開発法人科学技術振興機構のJ-STAGE上にて公開いたします。

● 7. 提出および問合せ先(事務局)

〒114-0003 東京都北区豊島4丁目17番33号
一般社団法人セメント協会 研究所 技術情報グループ
TEL：03-3914-2692 E-mail：jca_event@jcassoc.or.jp

投稿要領、原稿執筆要領はセメント協会ホームページに掲載していますのでご確認ください。

セメント・コンクリート論文集論文投稿申込事項

1. 希望審査部門 化学・土木・建築のうち審査を希望する部門を記入する。
2. 目次分類項目 以下の12項目の中から最も論文内容に適した1項目を記入する。
[①セメント化学 ②セメント硬化体・モルタルの物性 ③コンクリートの試験・評価 ④コンクリートの物性 ⑤耐久性 ⑥高強度・高流動コンクリート ⑦繊維補強コンクリート ⑧補修・補強 ⑨環境・リサイクル ⑩セメント系固化材 ⑪セメント系新材料 ⑫その他]
3. 本文の使用言語 日本語・英語のどちらかを記入する。
4. 論文標題(日本語)
5. 論文標題(英語) 4.を英訳したものを大文字半角で記入する。
6. キーワード(日本語) 8語以内で記入する。
7. KEY WORDS(英語) 6.を英訳したものを、頭文字のみ大文字にして半角で記入する。
8. 著者〔4名以内〕 著者全員分〔4名以内〕を記入する。
8.1 氏名 著者が4名いない場合は、“－”と記入する。
8.2 所属機関・部署名 所属・部署が同じ場合でも必ず記入する。
9. 研究調査の目的 200文字以内、日本語で記入する。
10. 独創性および強調すべき点等 200文字以内、日本語で記入する。
11. 学術的または実用的価値について 200文字以内、日本語で記入する。
12. 連絡先
12.1 連絡担当者氏名 論文集発刊まで論文に関する連絡はすべて連絡担当者宛に行うので投稿者各位の夏季休暇時でも連絡可能な方を記入する。
12.2 所属機関・部署名 所属機関名・部署名は配達物が迅速かつ確実に届くように詳しく記入する。
12.3 所在地 郵便番号から記入する。
12.4 電話番号
12.5 E-mail

☆ 登録に必要な内容であるため、以上の項目をすべてもれなく記入してください。

☆ 個人情報の保護について

お預かりいたしました個人情報につきましては、当協会ホームページに掲載しております「個人情報保護方針」および「個人情報の取り扱いについて」に基づき、安全かつ適正に管理させていただきます。

セメント・コンクリート論文集投稿要領

一般社団法人セメント協会

1. 投稿者資格 セメント協会の会員、会員外を問わない。
2. 掲載論文の条件
2.1 審査基準
(1) 採択基準
a) セメント、コンクリートおよびその関連研究に関する論文であること。
b) 未発表のものであること。
ただし、次の項目に該当するものは未発表とみなす。
i. セメント技術大会で発表したもの。
ii. シンポジウム、研究発表会、国際会議などで梗概または資料として発表したもの。
iii. 大学の紀要、研究機関の研究所などで部内発表したもの。
iv. 国、自治体、業界、団体からの委託研究の成果報告書。
c) 次の項目のいずれかに該当すること。
i. 独創性のある包括的研究で、発展性の期待できるもの。
ii. 新しい知見を与える有用性、実用性に富んだ実測・実験・調査等の研究で、信頼性が高く、学術的、技術的に価値のあるもの。
iii. 独創性のある理論的または実証的な研究で、完成度の高いもの。

【執筆にあたっては、ホームページに掲載のテンプレート(Word)をご活用ください】

1. 論文集の形式

1.1 使用言語

- (1) 日本語を使用する。
- (2) 図、表および写真中の文字およびタイトルは、英語を使用する。
- (3) 標題、著者名、所属機関および部署名、所在地、要旨、キーワードは英訳を付す。

1.2 用字および用語

文章は簡潔に、原則として常用漢字および現代かなづかいを用い、用語については文部科学省学術用語、JISおよび関係学会等の用語辞典から選択することが望ましい。

1.3 使用フォント

- サイズを10.5pt (標題は14pt)とし、字体は以下の通りとする。
 - ※和文 明朝体を標準(MS明朝など)
 - ※英数字 Century, Times, Times New Romanなど

1.4 句読点

句読点は「、」「。」を使用する。

1.5 英数字

半角を使用して記入する。ローマ数字、ギリシャ文字も、半角英数字フォント(Times New Roman 等)を使用して記入する。

a、B、*α*、*β*、*γ*、1、23、i、iv、I、Ⅲ、Ⅺ

1.6 単位および記号

半角を使用して、単位はSI単位を標準として記入する。

m、mm、mol、N、J、N/mm²

1.7 化学式

半角を使用して記入する。

3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O

1.8 ページ数等の記入の禁止

提出原稿にページ数を記入しないこと。

1.9 刷り上がり

論文集の刷り上がりは、以下の通りとなるよう原稿の執筆に留意する。

- (1) A4判、2段組(中央8mmスペース)とする。
- (2) 文字数および行数は、1段あたり25文字×50行とする。
- (3) 「1.10原稿の構成」に示す、全ての内容を含めて6頁以上8頁以内とする。

1.10 原稿の構成

原稿の構成は下記による。

- (1) 標題 (「2.」参照)
- (2) 著者名(4名以内) (「3.」参照)
- (3) 所属機関名、所属部署名および所在地 (「4.」参照)
- (4) 要旨(200文字以上300文字以内) (「5.」参照)
- (5) キーワード(8語以内) (「6.」参照)
- (6) 本文 (「7.」参照)
- (7) 謝辞(必要な場合) (「11.」参照)
- (8) 参考文献 (「12.」参照)
- (9) 標題および要旨等の英訳 (「13.」参照)
 - a) TITLE
 - b) AUTHOR(S)
 - c) AFFILIATION AND ADDRESS
 - d) ABSTRACT
 - e) KEY WORDS

- (2) 不採択規準
 - a) 論旨が不明確で、論文として完結していないもの。
 - b) セメント、コンクリートおよびその関連研究でないもの。
 - c) 既発表のもの。
 - d) 独創性、実用的価値、新規性のいずれもが認められないもの。
 - e) 内容に誤りのあるもの。
 - f) 宣伝性の強いもの。
 - g) 第1次審査の指摘事項に対する対応ができていないもの。
 - h) 執筆要領に違反するもの。

2.2 論文1編あたりの著者数 4名以内とする。

3. 論文集の形式

3.1 使用言語

- (1) 日本語もしくは英語を使用する。
- (2) 日本語の場合は、標題、著者名、所属機関名および所属部署名、所在地、要旨、キーワードの英訳を付す。
- (3) 図、表および写真中の文字およびタイトルは英語を使用する。

3.2 刷り上がり

- (1) 論文集の刷り上がりはA4判、2段組(1行25文字×50行)とする。
- (2) 論文1編あたりの頁数は6頁以上8頁以内とする。
- (3) 他論文との整合を図るため、必要に応じてレイアウトの調整を編集者が行う。

4. 審査方法(「セメント・コンクリート論文集掲載論文の審査細則の運用について」より)

4.1 査読 論文集編集委員会の指名する委員1名、査読員2名、計3名の査読者により行う。

4.2 審査 査読結果に基づき論文集編集委員会により公正に審査し、論文投稿者に対し委員長名で審査結果を通知する。

5. 論文の執筆および投稿方法

5.1 論文の執筆 「セメント・コンクリート論文集原稿執筆要領」による。

5.2 論文投稿時の提出物

- (1) 申込後に以下のものを受付期間内に提出する。
 - 1) 投稿原稿のPDFファイル
- (2) 1次審査で訂正が必要と判断された場合、以下のものを提出する。
 - 1) 修正原稿のPDFファイル【修正箇所を赤字で示したもの(2次審査で使用)】
 - 2) 修正原稿のPDFファイル【文字の属性(上付き・下付き)をマーカーで示したもの(版下原稿作成の際に使用)】
 - 3) 訂正指示書への回答書のPDFファイル
 - 4) 修正原稿の電子データ
 - 5) 図、表、写真の電子データ
 - 6) 数式の電子データ

6. 版下原稿の校正 修正原稿より作成した版下原稿の校正は論文投稿者の責任において行う。

7. 提出期限の厳守 投稿論文の提出から著者校正の提出まで、それぞれの期限を厳守すること。期限を過ぎて到着したものは受理しない。

8. 論文検索システムへの蓄積と公開 採択論文はセメント協会の論文検索システムのデータとして蓄積、利用され、セメント協会およびセメント協会が許諾したウェブサイトで、全ページ(図版・写真等を含む)が公開されることを前提とする。

9. 著作権の帰属(譲渡)

- (1) 公開された論文の著作権(著作財産権)をセメント協会に帰属(譲渡)する。
- (2) 公開された論文の著者が、自分の論文を自らの用途のために利用することについて制限しない。
- (3) 第三者から、公開された論文の全文、または一部の複製利用(翻訳として利用する場合を含む)の申し込みを受けたときには、特に不適切とみなされる場合を除き、セメント協会はこれを許諾することができる。
この場合、セメント協会は著者に著作物利用の概要を通知する。

著作権の取り扱いについて

著作者の権利は、人格的な利益を保護する**著作者人格権**と財産的な利益を保護する**著作財産権**の2つに分かれます。

・**著作者人格権(表現権)**:同一性保持権、公表権、氏名表示権など

・**著作財産権**:複製権・公衆送信権など

通常、掲載された論文は、セメント・コンクリート論文集投稿要領により、著作財産権はセメント協会に譲渡(帰属)されますが、著作者人格権は譲渡の対象外であり著者にのみ帰属します。

以上

1頁1行目に、フォントサイズを14ptとし、中央揃えで記入する。

標題から2行空けて、以下の要領で記入する。

- #### 4. 所属機関名，所属部署名および所在地の書式

著者名から2行空けて、著者名に付した番号に対応するものを以下の要領で記入する。

- ：スペースを示す

5. 要旨の書式

所在地から2行空けて、ゴシック体(MSゴシックなど)で「要旨:」を左詰めで記入した後、続けて200文字以上300文字以内で記入する。

6. キーワードの書式

要旨から2行空けて、ゴシック体(MSゴシックなど)で「キーワード:」を左詰めで記入した後、続けて8語以内で日本語のキーワードを記入する。

7. 本文の書式

キーワードから2行空けて**2段組**で、以下の要領で記入する。

- (1) 見出し番号は、下記のようにし全角で記入する。
1. ○○○○○○○○○○
- 1.1 ○○○○○○○○○○
- (1) ○○○○○○○○○○
- a) ○○○○○○○○○○

- (2) 各章から次の章の見出しに移る場合は改行し、必ず1行空ける。

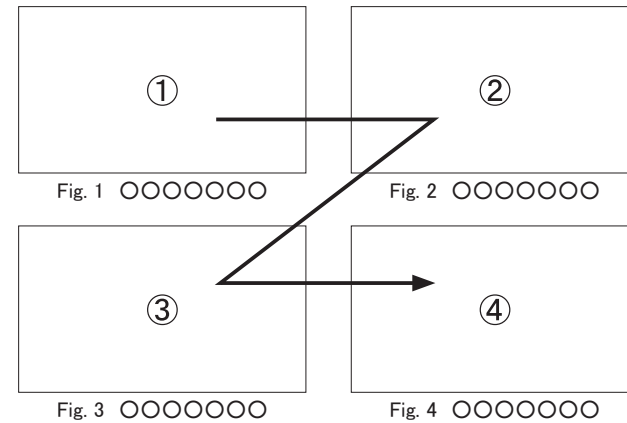
□：全角スペースを示す

要旨から	1行		[1行空]	空
	2行		[1行空]	空
	3行	キーワード：セメント，ビーライト系セメント，圧縮強度，水和熱，…		
	4行		[1行空]	空
	5行		[1行空]	空
	6行	1. ○○○○○○○○○○	○○であった。	
	7行	1. 1○○○	[1行空]	
	8行	(1) ○○○	3. ○○○○○○○○○○	
	9行	a)○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	
	10行	[1行空]	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	
	11行	2. ○○○○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	

8. 図，表および写真

図、表および写真は、以下の要領で作成し挿入する。

- (1) 図、表、写真中の文字およびタイトルは、英語で記入する。
- (2) 図、表および写真に、それぞれ通し番号を付し、ゴシック体（MSゴシックなど）で下記の通りにタイトルを記入する。
（□：半角スペースを示す）
図の場合は、「Fig.□1□□○○○」を図の下に記入する。
表の場合は、「Table□1□□○○○」を表の上に記入する。（※ピリオド「.」無し）
写真の場合は、「Photo.□1□□○○○」を写真の下に記入する。
- (3) 幅は、2段組の1段に収まるように、80mm以内を標準とする。80mmを超える場合は、2段分のスペースに収まる幅とする。
- (4) 頁の上下に位置するように配置する。複数ある場合は、まとめて以下のように配置する。
- (5) カラーを希望の場合は、カラー原稿を提出する。



9. 数式の書式

数式を入れる場合は、以下の要領で記入する。

- (1) 上下1行空けて全角4文字分のスペースを入れてから記入する。
- (2) 全角 [] 付きの式番号を、点線は入れずに右揃えで記入する。
- (3) 文中での引用は、「式 [1]」とする。

□：全角スペースを示す

1行		[1行空]	空
2行	$\square\square\square\square Y = \sqrt{ax + b}$	[1]	
3行		[1行空]	空
4行	$\square\square\square\square$ ここにa：実験定数		
5行	$\square\square\square\square$ b：実験定数		
6行		[1行空]	空
7行	式 [1] に示すように、 $\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc$		

英文パンフレット “CEMENT IN JAPAN 2021”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し込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



[おもな内容]

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



セメントハンドブック 2021年度版 インターネットからご覧下さい

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

セメントハンドブック2021年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4p/jj3h_.ip



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



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

THE ANNUAL MEETING OF CEMENT AND CONCRETE ENGINEERING

*Premier établissement
de la
fabrique d'Asano
actuelle construit en 1871.*

1873年、東京・深川に建設された国内初のセメント工場「^{セメント}摂綿篤製造所」
セメントの製造技術は150年で大きく進歩し、これからも時代に応じて進化し続ける。

|| 第76回 ||

セメント技術大会

2022年5月18日(水)~20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

セメント製造技術および
セメント・コンクリートの
研究発表

- セメントの製造 ●セメントの水和
- 環境・リサイクル ●コンクリートの耐久性 等



特別講演

5月19日(木) 15:30~17:00

脱炭素社会実現に向けた
イノベーションと社会実装

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)
理事長・研究所長 山地 憲治 氏



◆開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド) ◆参加費：無料 <https://confit.atlas.jp/jcalab22>
●聴講にあたっては事前申込が必要となります
(上記URLより申し込みください)

一般社団法人セメント協会

問合せ先：技術情報グループ TEL.03-3914-2692

<https://www.jcassoc.or.jp/>