

2022
No.901

3

セメント・ コンクリート

CEMENT&CONCRETE



一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

セメント協会本部事務所 移転のご案内

来る2022年3月28日(月), (一社)セメント協会本部事務所は下記に移転いたします。

新所在地 〒104-0041

東京都中央区新富2-15-5 RBM築地ビル2階

電話番号 総務部門 03-5540-6171

経理 03-5540-6172

図書販売 03-5540-6173

広報部門 03-5540-6174

出版 03-5540-6175

調査・企画部門 03-5540-6176

国際 03-5540-6177

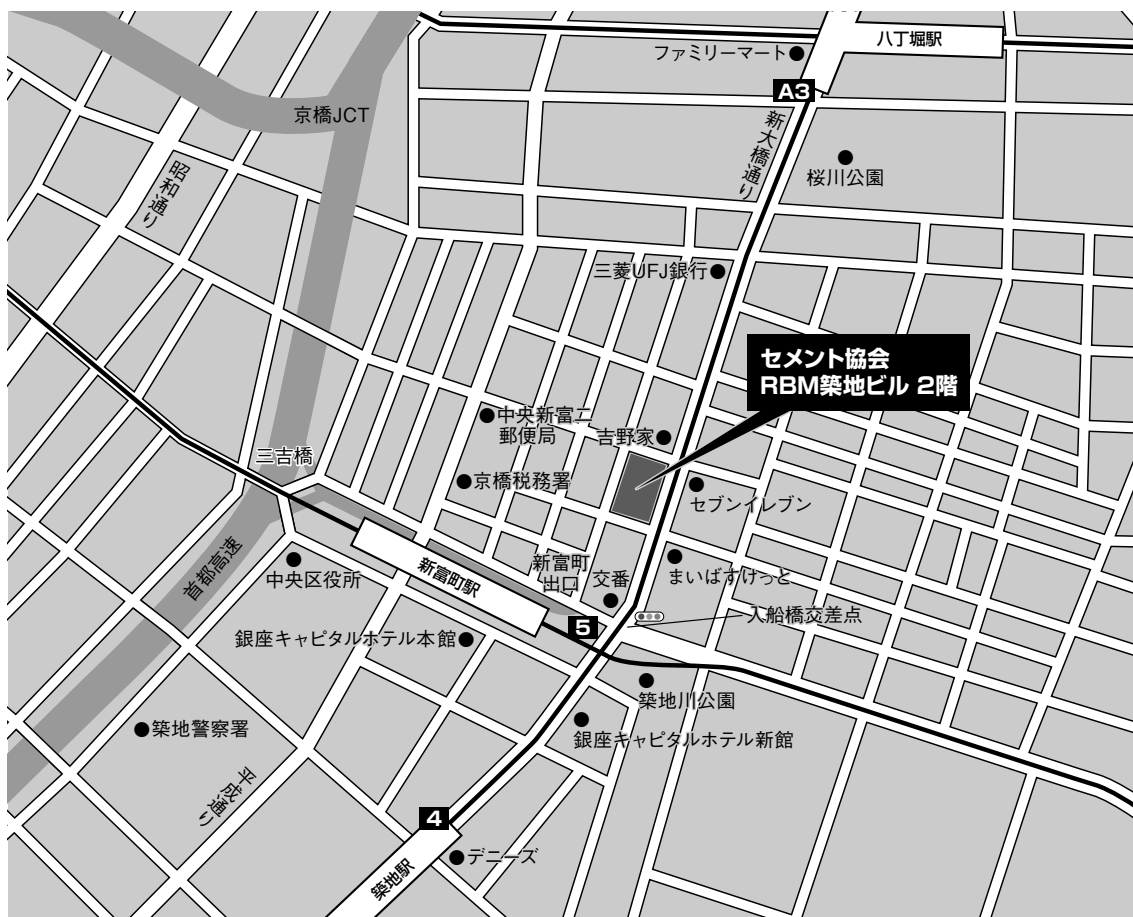
労務 03-5540-6178

生産・環境部門 03-5540-6179

普及部門 03-5540-6180

ファクス(各部門共通) 03-5540-6181

なお、ホームページおよびメールアドレスの変更はございません。



アクセス

- | | | | |
|-------|-----------------|------|--------|
| ・新富町駅 | 東京メトロ有楽町線 | 出口5 | 徒歩 2 分 |
| ・築地駅 | 東京メトロ日比谷線 | 出口4 | 徒歩 4 分 |
| ・八丁堀駅 | JR京葉線・東京メトロ日比谷線 | 出口A3 | 徒歩 5 分 |

—未来をカタチに変える創造力—



コンクリート用化学混和剤

フローリック

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

◆ AE減水剤(高機能タイプ)

フローリック SV10シリーズ

◆ 高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

◆ 乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード

◆ 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ(標準形・遅延形)

フローリック SF500SK・RK

◆ 高性能減水剤

フローリック VP900シリーズ

**日本製紙グループ
株式会社フローリック**

本社:〒170-0013 東京都豊島区東池袋1-10-1

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

◎ 北海道・東北・東京・北関東・中部・関西・四国・中国・九州

◎ 出張所:長野・北陸・静岡・高松・岡山・鹿児島

◎ コンクリート研究所(つくば)・東日本技術センター(東松山)

コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック

検索

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



(株) 橋梁コンサルタント

代表取締役社長 徳淵 祐三

社会基盤整備に貢献する。

自然・都市への架橋プロジェクトを担う。

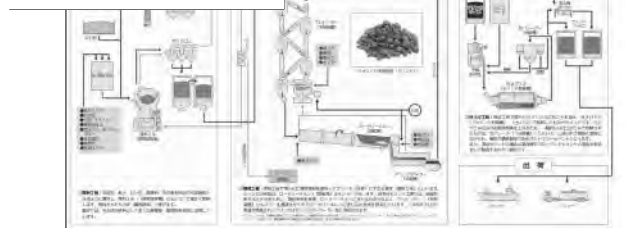
それが私たちの仕事です。

環境にやさしいセメント産業 2021

A4判・8ページ

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。ご希望の方には無料にてお頒けしております。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスにてお申し込みください。

(一社)セメント協会 広報部門 ☎03-5200-5062



〔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

セメント・ コンクリート

2022
No.901

3

CEMENT&CONCRETE

目次

03	沈降性炭酸カルシウムの製造と特性 …坂本 裕一ほか
09	建設用3Dプリンターに用いるセメント系材料 「デジミックス®」の開発 …黒澤 真一ほか
18	ずいそう エンジョイ! 東京生活 …徳淵 祐三
22	セメント系固化材・事例紹介 ハイグレードソイル気泡混合土工法 とその施工事例 …車田 佳範ほか
28	壁式RCによる伝統旅館のデザイン …川添 善行ほか
38	炭酸化を受けたセメント系材料中の CO ₂ 含有率評価に向けた分析方法の検討 …安田 僚介ほか
46	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 高硫酸塩スラグセメントの 強さ発現性向上に関する検討 …吉田 友香ほか
17	EVENT GUIDE
20	論文検索サービスのご案内
50	外国雑誌の記事情報
54	国内図書の目次
56	セメント・データファイル
58	主要建設工事・資材統計
60	4月号予告
28	今月の表紙 『望洋楼』から日本海を望む [福井県／撮影：藤本一貴]

一般社団法人 セメント協会加盟会社

八戸セメント(株)

本 社 〒031-0813 青森県八戸市大字新井田字下鷹待場7-1 ☎0178-33-0111

日鉄高炉セメント(株)

本 社 〒803-0801 福岡県北九州市小倉北区西港町16番 ☎093-563-5100

日鉄セメント(株)

本 社 〒050-8510 北海道室蘭市仲町64 ☎0143-44-1693
東京事務所 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町4-3-12(バンセイ室町ビル5階) ☎03-3279-0581

東ソー(株)

東京本社 〒105-8623 東京都港区芝3-8-2(芝公園ファーストビル) ☎03-5427-5100
南陽事業所 〒746-8051 山口県周南市開成町4560 ☎0834-63-9800

(株)トクヤマ

東京本部 〒101-8618 東京都千代田区外神田1-7-5(フロントプレイス秋葉原) ☎03-5207-2500

琉球セメント(株)

本 社 〒901-2123 沖縄県浦添市西洲2-2-2 ☎098-870-1080

荻田セメント(株)

本 社 〒820-0018 福岡県飯塚市芳雄町7-18 ☎0948-22-3604

太平洋セメント(株)

本 社 〒112-8503 東京都文京区小石川1-1-1(文京ガーデン ゲートタワー) ☎03-5801-0333

敦賀セメント(株)

本 社 〒914-8686 福井県敦賀市泉2-6-1 ☎0770-22-1100

宇部興産(株)

東京本社 〒105-8449 東京都港区芝浦1-2-1(シーバンスN館) ☎03-5419-6110
宇部本社 〒755-8633 山口県宇部市大字小串1978-96 ☎0836-31-2111

(株)デイ・シイ

本 社 〒210-0005 神奈川県川崎市川崎区東田町8(パレール三井ビルディング17階) ☎044-223-4751

デンカ(株)

本 社 〒103-8338 東京都中央区日本橋室町2-1-1(日本橋三井タワー) ☎03-5290-5055

麻生セメント(株)

本 社 〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜2-4-27(AIビル11階) ☎092-833-5100

明星セメント(株)

本 社 〒941-0064 新潟県糸魚川市上刈7-1-1 ☎025-552-2011

三菱マテリアル(株)

本 社 〒100-8117 東京都千代田区丸の内3-2-3(丸の内二重橋ビル) ☎03-5252-5201

日立セメント(株)

本 社 〒317-0062 茨城県日立市平和町2-1-1 ☎0294-22-2111
東京事務所 〒171-0033 東京都豊島区高田3-31-5(マルカビル) ☎03-3984-4158

住友大阪セメント(株)

本 社 〒102-8465 東京都千代田区六番町6番地28 ☎03-5211-4500

沈降性炭酸カルシウムの製造と特性

坂本 裕一 岡田 文夫

1. はじめに

炭酸カルシウムの原料となる石灰岩は、安価なアルカリ源として使用されている。日本国内には、不純物が少なく化学工業などの原材料に使用可能な石灰岩が分布しており、国内で自給可能な数少ない鉱物資源として知られている。

石灰岩は工業的には石灰石と呼ばれ、そのまま、あるいは破碎、粉碎されて利用されるほか、また石灰石を高温で焼成して生石灰(CaO)として、製鉄、化学用など、さらに生石灰と水を反応させて消石灰(Ca(OH)₂)として酸性排ガス処理、酸性排水処理、肥料などとして利用されている。当社においても宇部伊佐鉱山の石灰石を原料として炭酸カルシウムを含め各種工業製品を製造している。

一方で、昨今の脱炭素社会を目指した国際社会全体の動きに対して、日本政府においても二酸化炭素(CO₂)の排出量削減に向けた活動を開始している。そういった中、経済産業省は2021年7月にカーボン

Manufacture and Properties of Precipitated Calcium carbonate
(by SAKAMOTO Yuichi et al.)



さかもと ゆういち
宇部マテリアルズ(株) 企画開発本部 開発部
主査



おかだ ふみお
同上
課長 工博

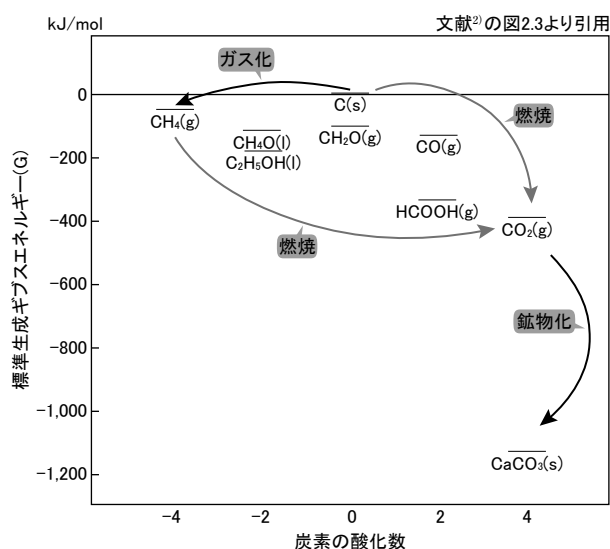


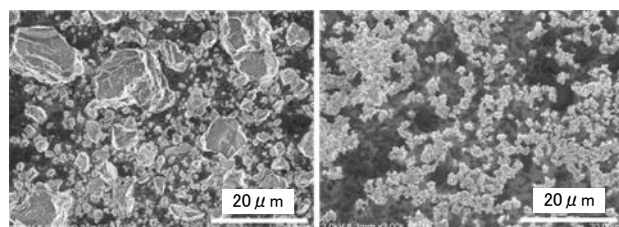
図1 炭素化合物における炭素の酸化数と標準生成ギブスエネルギーの関係

リサイクル技術ロードマップを改訂し、カーボンリサイクルとは、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、コンクリート、化学品、燃料など多様な製品として再利用するとともに、大気中へのCO₂排出を抑制する技術と公表している¹⁾。その中にコンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物としての鉱物化技術があり、今後さらにアルカリ性のカルシウムやマグネシウムの化合物を利用してCO₂を炭酸塩として固定・再利用する技術への期待は大きいと言える。それは、この技術が他の技術とは異なり、図1に示すように反応のギブスエネルギー変化が負であり、基本的には自発的に進行する反応であるため、大量のエネルギーを使用する必要がないと

表1 市販炭酸カルシウムの一般粉体物性例

文献³⁾の表9.15.1より引用

項目品種	粒子形状	粒子径 (μm)	比表面積 ¹⁾ (m^2/g)	真比重	高密度 (g/cm^3)	pH 値	吸油量 ($\text{g}/100\text{g}$)	白色度 (%)
重質炭酸カルシウム	不定形	0.1 ~ 20	1 ~ 2	2.60	0.4 ~ 0.45	8.8 ~ 8.8	30 ~ 35	90 ~ 95
軽微製炭酸カルシウム	紡錘形	2.0 × 0.4	2 ~ 4	2.59	0.2 ~ 0.21	9.0 ~ 10.5	90 ~ 100	99 ~ 100
顔料用軽質炭酸カルシウム	立方体	0.2 ~ 0.5	8 ~ 12	2.65	0.2 ~ 0.24	9.0 ~ 10.5	60 ~ 70	99 ~ 100
柱状炭酸カルシウム	柱状体	2.0 × 0.2	11 ~ 13	2.79	0.1 ~ 0.2	9.0 ~ 10.5	110 ~ 130	99 ~ 100

写真1 炭酸カルシウムの走査型電子顕微鏡写真
[左：重質 右：沈降性]

いう特徴があるためである²⁾。その中でも、炭酸カルシウムは未利用のCa資源などを原料に炭酸化することでその中心的な物質となる可能性がある。そこで本稿では、沈降性炭酸カルシウムの特性、製造方法について概説するとともに、CO₂の固定化に関する事例を紹介する。

2. 沈降性炭酸カルシウムとは

炭酸カルシウムには、石灰石を粉砕することで得られる重質炭酸カルシウムと、化学反応によって得られる沈降性炭酸カルシウムの2種類がある。沈降性炭酸カルシウムは合成炭酸カルシウムまたは軽質炭酸カルシウムとも呼ばれる。炭酸カルシウムにはカルサイト、アラゴナイト、バテライトの3種の多形があることが知られている。カルサイトは安定相として石灰石、アラゴナイトは準安定相としてアラレ石や貝殻などとして天然に産出するが、バテライトは炭酸カルシウムの合成時に生成する不安定相である³⁾。沈降性炭酸カルシウムの主要形態は多くの場合はカルサイトである⁴⁾。

写真1に重質炭酸カルシウムと実験的に合成した沈降性炭酸カルシウムの走査型電子顕微鏡写真を示す。

重質炭酸カルシウムでは、基本的には粉砕加工されるため粒子径が不均一であるのに対し、合成した沈降性炭酸カルシウムは均一であることが分かる。

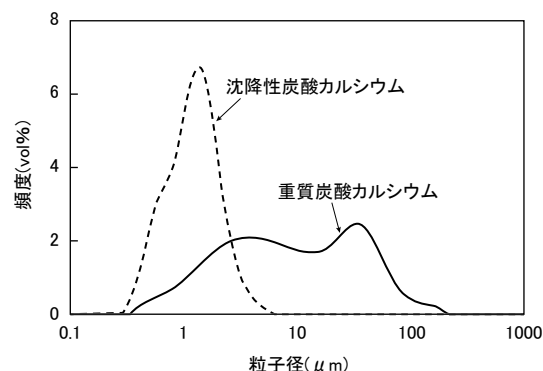


図2 各種炭酸カルシウムの粒度分布

図2にこれら炭酸カルシウムの粒度分布を示す。

沈降性炭酸カルシウムでは写真1のように重質炭酸カルシウムと比較して粒子径の分布がシャープでサイズが揃っていることが分かる。

表1に一般的な重質炭酸カルシウムと各種沈降性炭酸カルシウムの粉体物性例を示す⁵⁾。

この表からも沈降性炭酸カルシウムは、粒子径や粒子形状のバリエーションが多いことが分かる。このように、沈降性炭酸カルシウムは化学的沈降による製造方法であるため、温度やCO₂吹込み量などの反応条件の調整によって粒子径、粒子形状といった性状制御を行うことができる。

次に、沈降性炭酸カルシウムの性状制御例として、反応温度、CO₂吹込み方法による炭酸カルシウムの粒子径への影響について述べる。

図3は合成温度と炭酸カルシウムの比表面積および粒子径の関係を表したものである⁶⁾。反応温度が高くなるに伴い、生成する炭酸カルシウムの粒子径は大きくなる傾向にあることが分かる。これは温度が高いほど中間体である塩基性炭酸カルシウム(2CaCO₃・Ca(OH)₂・nH₂O, n=1.5以下)の分解が促進され炭酸カルシウムの成長に必要なCa(OH)₂の供給速度が速くなるためと考察されている⁶⁾。

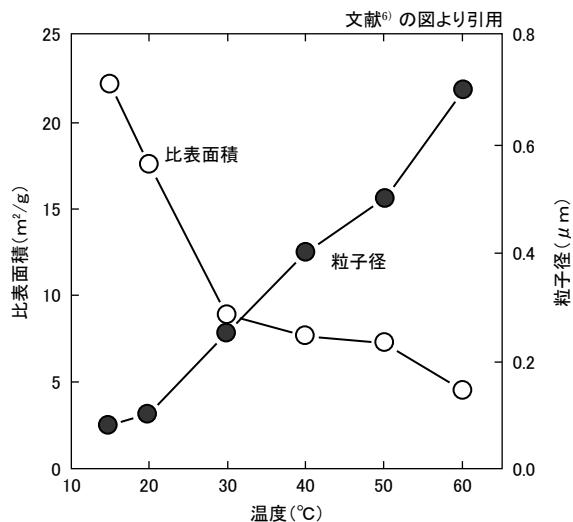


図3 炭酸カルシウムの比表面積および粒子径におよぼす合成温度の影響

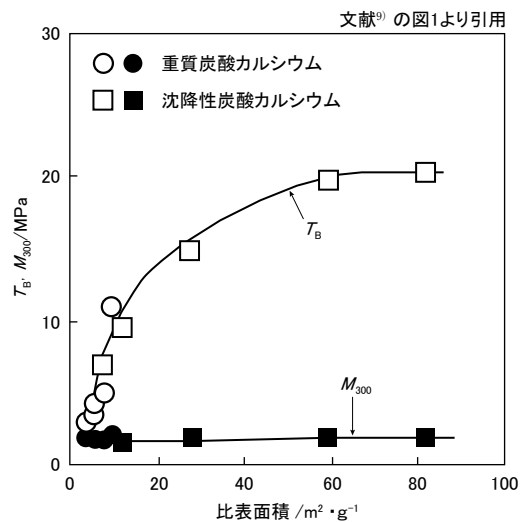


図4 炭酸カルシウムの比表面積と破断応力 (TB), 300%伸張応力 (M300)

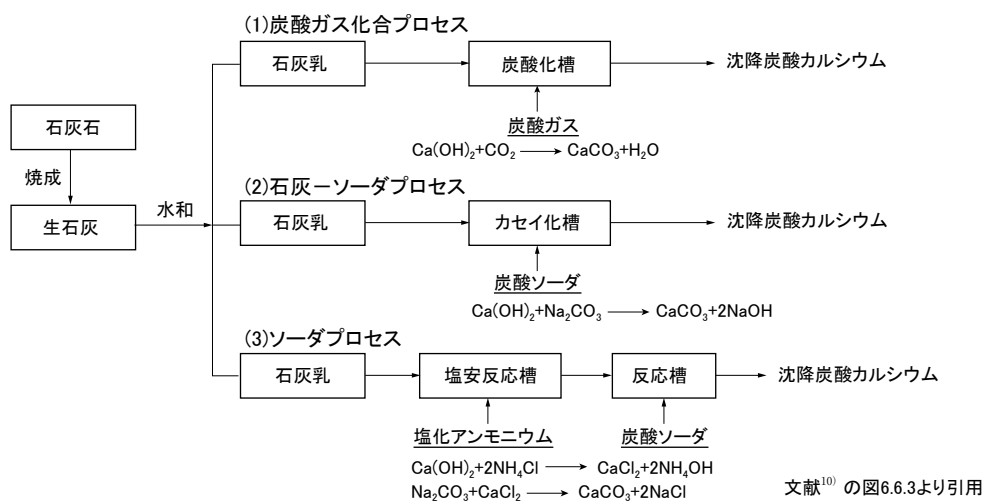


図5 沈降性炭酸カルシウムの各種製法

続いて消石灰乳へのCO₂吹込み方法による粒子径への影響について述べる。CO₂吹込み速度を速くすると0.1 μm未満の炭酸カルシウム微粒子が生成し、吹込み速度を遅くし、かつ攪拌もゆっくり行くと比較的大きい1~3 μm程度の炭酸カルシウム粒子が得られる⁷⁾。これは、CO₂吹込み時の炭酸カルシウムの核生成と結晶成長のバランスが関連しており、例えばCO₂吹込み速度が速いほど微粒子の炭酸カルシウムが生成するのは、結晶成長の起こる間もなく核生成が起こるためである⁷⁾。

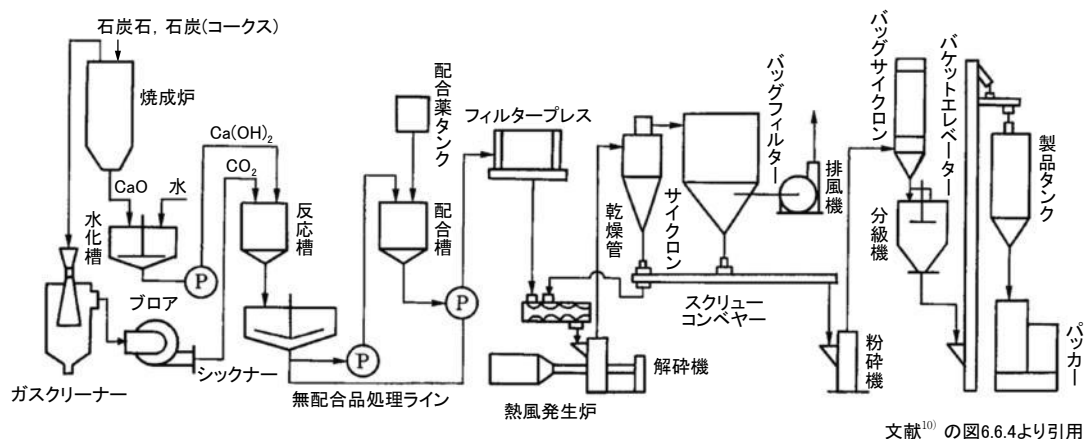
次にこれら沈降性炭酸カルシウムの特性を利用した用途例について簡単に述べる。

炭酸カルシウムが利用される用途の一つにゴム用途があり、増容、補強フィラーとして使用される。

一般にゴムの加工性、製品の物性に影響を及ぼすフィラーの性質は、粒子の大きさ、形状、表面性状である⁸⁾。図4に各種炭酸カルシウムの比表面積と破断応力(TB)、300%伸張応力の関係を示す⁹⁾。比表面積が増加するに伴い、破断応力と伸張応力が上昇していることが分かる。上述の通り、沈降性炭酸カルシウムは反応条件によって重質炭酸カルシウムよりも比表面積を大きくすることができるため、その補強効果が大きいことが分かる。

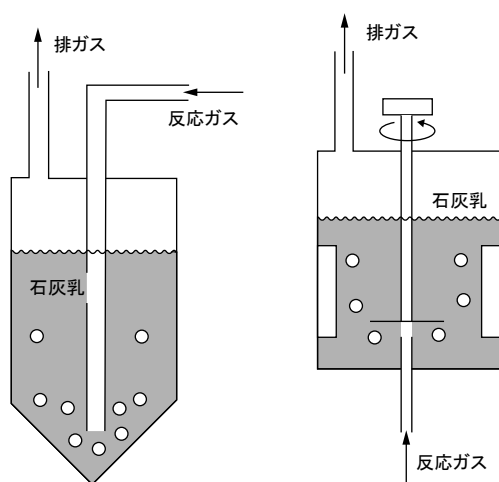
3. 沈降性炭酸カルシウムの製造方法

図5に沈降性炭酸カルシウムの各種製法を示す¹⁰⁾。沈降性炭酸カルシウムの製造方法にはいくつかあるが、いずれも石灰石を焼成して得られた生石灰を水



文献¹⁰⁾の図6.6.4より引用

図6 沈降性炭酸カルシウムの製造工程



(1)ガス吹き込み型反応槽

(2)機械かくはん型反応槽

文献¹⁰⁾の図6.6.6より引用

図7 炭酸化に用いられる反応槽

和させて得られる水酸化カルシウムスラリー(消石灰乳)が用いられる。図5(1)は工業的に広く用いられている製造方法で、消石灰乳にCO₂を吹込むことで炭酸カルシウムを得る炭酸ガス化合法である。これに対し(2)と(3)は高純度品等の特殊用途の合成方法として一部利用されている製造方法である。

以下、このうち主流の製法である(1)を用いた沈降性炭酸カルシウムの製造方法について述べる¹⁰⁾。図6にその製造工程を示す。

まず、消化工程では石灰石を焼成して得られる生石灰に水を加えて消石灰乳を得る。消化設備としては不純物や未消化残分を連続的にかき出すスクリーコンベヤーをもった攪拌式連続消化機などが用いられる。続いて反応槽に消石灰乳を導入しこへCO₂を吹き込むことで炭酸カルシウムを合成する。

炭酸化反応槽は一般に図7のようなガス吹込み型反応槽や機械攪拌型反応槽が用いられる。炭酸化に必要なCO₂源には通常、生石灰を製造する時の石灰焼成炉排ガス(CO₂濃度30~40vol%)が用いられており、当社においても排ガス中のCO₂を一部有効利用している。次に、合成した炭酸カルシウムスラリー中の未反応残分を分離するために湿式振動ふるい等である分けが行われる。未反応残分が除去された炭酸カルシウムスラリーはフィルタープレス等で脱水ろ過され、炭酸カルシウムケーキとなる。次いで、炭酸カルシウムケーキを乾燥させる。乾燥機には一般に気流乾燥機やバンド乾燥機が用いられ、それぞれ単独または併用で用いられる。最後に必要に応じて自由粉碎機や風力分級機で粒度調整が行われた後に梱包される。

4. 沈降性炭酸カルシウムとCO₂の固定化

近年、二酸化炭素利用技術(Carbon dioxide Capture and Utilization, CCU)に関する研究が盛んに行われている。上述したように、カルシウムやマグネシウムの化合物を利用してCO₂を炭酸塩として固定化・再利用することは期待されるが、CO₂排出量削減の観点から言えば、天然に存在するアルカリ性の岩石やアルカリ性の廃棄物を利用することに意義がある。ここでは未利用のカルシウム資源とCO₂を反応させ、炭酸カルシウムとしてCO₂を固定化するCCUプロセスの先行研究例と、宇部興産グループの活動について

で紹介する。

まずは、飯塚ら¹¹⁾によるコンクリートスラッジを用いた研究例を紹介したい。生コンクリートの使用に伴って発生する固化前のコンクリート廃棄物であるコンクリートスラッジ中には、水酸化カルシウムやケイ酸カルシウム水和物などが多く含まれている。コンクリートスラッジは完全に固化する前の廃棄物であるため、固化後に一定時間経過した廃コンクリート等と比較すると反応性は高いことが特徴とされている¹¹⁾。図8はコンクリートスラッジを利用したCO₂の固定化プロセスの概要である。

図8に示すように、プロセスは2つの反応槽があり、一つはカルシウムの抽出反応槽、もう一つは炭酸カルシウム析出反応槽である。抽出反応槽ではコンクリートスラッジが水で希釈されつつ、含有カルシウム分が水に抽出される。次にカルシウム分を含んだ抽出水にCO₂含有の排ガスが導入され、炭酸カルシウムが析出する。このようにコンクリートスラッジのようなアルカリ性の廃棄物を利用することによりCO₂を固定化して炭酸カルシウムとして再利用することが期待されている。

次に、宇部興産グループの活動について紹介する。宇部興産グループでは、出光興産(株)、日揮(株)ら

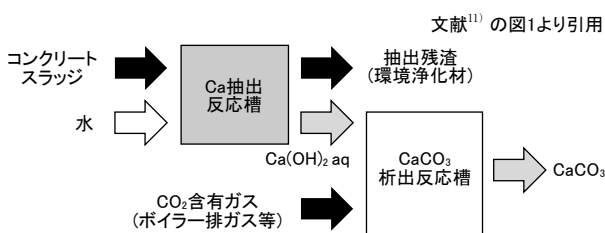


図8 コンクリートスラッジを利用したCO₂の再利用プロセスの概要

とともに2019年6月にCCSU研究会(CCSU: Carbon dioxide Capture and Storage with Utilization)を発足させ、火力発電所や工場から排出されるCO₂を資源へ転換する新技術開発に取り組んでいる。この新技術開発ではカルシウム等を多く含む産業廃棄物と、火力発電所や工場から排出されるCO₂を反応させ、炭酸塩として回収することを技術の中核としており、2020年に「廃コンクリートなど産業廃棄物中のカルシウム等を用いた加速炭酸塩化プロセスの研究開発」がNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の研究開発委託事業に採択され、共同事業者とともに取り組んでいる。内容としては、図9に示すような廃コンクリート等からカルシウムを抽出し、排ガス中のCO₂と反応させ固定化させるプロセスの実用化と普及を目指した技術開発である¹²⁾。上述の通り、一般に沈降性炭酸カルシウムはカルシウムを潤沢に含むスラリーや溶液にCO₂を吹き込むことで製造される。一方、廃コンクリート等をカルシウム源に使用する場合、水中に廃コンクリートを入れたのみではカルシウムの溶解量はわずかである。図9中にも加速炭酸塩化とあるように、廃コンクリート中からいかにカルシウムを効率よく抽出し、反応させるかが課題となる。

加速炭酸塩化の方法はいくつか提唱されているが、ここではその一つとして山崎ら¹³⁾が提唱しているCO₂の圧力スイング法について紹介する。圧力スイング法はCO₂の圧力を変化させることで抽出と析出を行う方法である。CO₂分圧が高い条件下では、カルシウムの溶解度が高くなり、廃コンクリートから

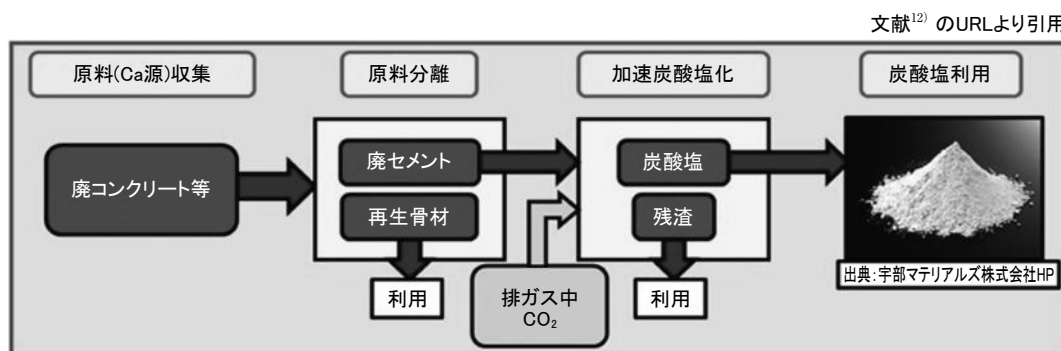


図9 炭酸塩化によるCO₂固定と利用のイメージ¹²⁾

カルシウムの抽出が促進される。CO₂高圧下でカルシウムが十分に溶解した状態からCO₂圧力を低下させると、水中のカルシウム飽和溶解度が低下し、溶解しきれなくなったカルシウムが炭酸カルシウムとして析出することになる。この方法を利用することにより、CO₂を炭酸カルシウムとして回収し有効利用されることが期待されている。

5. 今後の展望

現在までに炭酸カルシウムは、電子材料などの先端分野でも重要な材料としてその用途を広げてきた。さらに現代社会では炭酸塩によるCO₂の固定化・再利用というCCUの一つとして注目されている。本稿で述べた課題のほか、カルシウム源やCO₂の供給方法、製造品の用途開発などの課題もあるが、炭酸塩による固定化は省エネルギーで大量のCO₂を固定できる可能性があり、その期待は高まっている。時代の流れとともに進化を遂げてきた炭酸カルシウムが、さらなる進化を遂げCO₂削減に貢献する材料と

なることを期待したい。

【参考文献】

- 1) カーボンリサイクル技術ロードマップ(令和3年7月改訂)/経済産業省
- 2) エネルギー総合工学研究所編/未来エコ実践テクノロジー図解でわかるカーボンリサイクル, 技術評論社, 2020, p.53
- 3) 無機マテリアル学会編/セメント・セッコウ・石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1995, p.118
- 4) 無機マテリアル学会編/セメント・セッコウ・石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1995, p.128
- 5) 日本石灰協会技術委員会編集/石灰ハンドブック, 日本石灰協会, 1992, p.687
- 6) 杉原久夫/炭酸カルシウムの形態制御, 日本接着学会誌, Vol.39, No.4, p.158, 2003
- 7) 無機マテリアル学会編/セメント・セッコウ・石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1995, p.129
- 8) 無機マテリアル学会編/セメント・セッコウ・石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1995, p.634
- 9) 永田員也/白色フィラーの特徴, 日本ゴム協会誌, 82巻, 2号, p.62, 2009
- 10) 無機マテリアル学会編/セメント・セッコウ・石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1995, pp.494~496
- 11) 飯塚ら/コンクリート廃棄物を利用した二酸化炭素の固定と利用, Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, 28, pp.106~111, 2021
- 12) 宇部興産(株)/ニュースリリースhttps://www.ubeind.co.jp/ube/jp/news/2020/20200715_01.html/2020年7月15日
- 13) 山崎ら/廃コンクリートのリサイクルと有効利用プロセス, 化学工学会第37回秋季大会研究発表講演要旨集, 2008

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」 配布について

本書をご希望の方は、別紙の申込書*にご記入の上FAXまたはE-mailにて下記までご連絡下さい。報告書の送付は、それぞれお一人様一部までとさせていただきます。また送付方法は着払いとし、送料は各自で負担願います。

一般社団法人セメント協会普及部門

FAX 03-5200-5062

E-mail fukyu@jcassoc.or.jp

※申込書はウェブサイトから

①<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jf8.html>

②<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/150710.html>

*①「東日本大震災調査報告書」に関しましては、弊会ウェブサイト(<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jf8.html>)から、ダウンロードすることもできます。是非ご利用下さい。



①(クリーム色)



②(うす紫色)

建設用3Dプリンターに用いる セメント系材料 「デジミックス®」の開発

黒澤 真一 河野 克哉 立岩 華英

1. はじめに

近年、3Dプリンティング技術の研究開発が世界中で進められており、自動車、造船、電力、通信、医療、食品など様々な産業に活用されている。建設分野でも3Dプリンティング技術の導入は、熟練工の減少等による現場の生産性向上への一つ的手段として考えられており、海外では建設用3Dプリンターの普及が進んでおり、最近になって国内でも関心が高まっている¹⁾。

現在、海外を含めた建設用3Dプリンターの多くはME(Material Extrusion：材料押出)方式が採用されている。ME方式とは、材料をノズルから押出し、基盤となるステージ上に積層させると同時に固化させ、立体造形物を製造する方法である(図1)。ME方式は装置の機構が比較的単純であるために、装

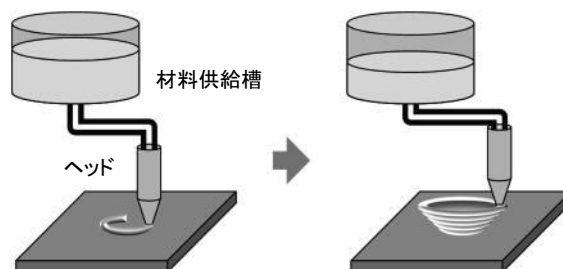


図1 材料押出方式の3Dプリンティング

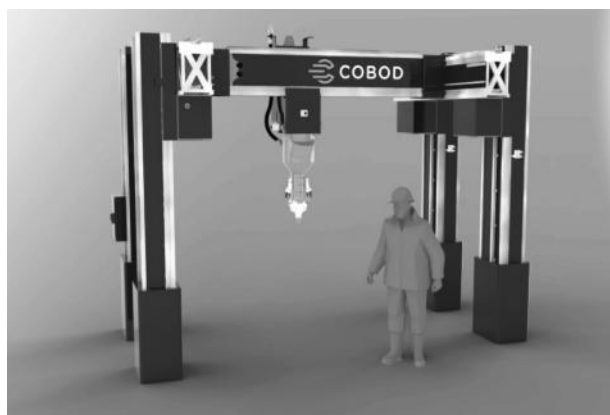


写真1 ガントリー式の建設用3Dプリンター²⁾

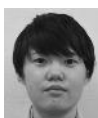
Development of cement based material "Digimix"® used for construction 3D printers. (by KUROSAWA Shinichi et al.)



くろさわ しんいち
太平洋セメント(株) 中央研究所 第2研究部
高機能コンクリートチーム 副主任研究員 修士(工学)



こうの かつや
同上
高機能コンクリートチームリーダー 博士(工学)



たちいわ はなえ
同上
高機能コンクリートチーム 研究員 修士(工学)

置を大型化することが容易であり、ガントリー式²⁾(写真1)、ロボットアーム式³⁾(写真2)などさまざまなポジショニング型式システムと組み合わせて適用されている。当社は、2015年から建設用3Dプリンターに適合するセメント系材料「デジミックス®」の開発を進めている。本稿では、当社が保有するME方式の3Dプリンター(写真3)により積層造形したデジミックス®のモルタルの強度特性ならびに収縮特性を評価した事例について紹介する。

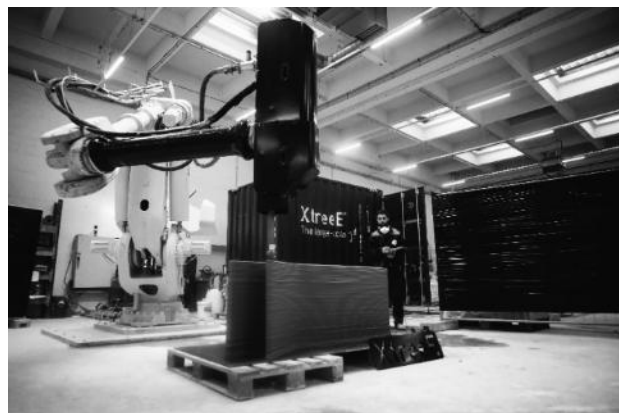


写真2 ロボットアーム式の建設用3Dプリンター³⁾

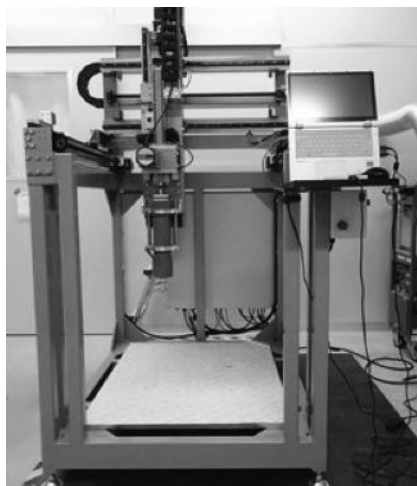


写真3 当社の建設用3Dプリンター

2. デジミックス®および当社3Dプリンターの特徴

建設用3Dプリンターの材料に求められる性能は、ノズルから容易に押し出すことが可能である流動保持性を備える必要がある一方で、押し出後は、その場に留まり形状が崩れにくいという性質(チキソトロピー性)を有する必要がある。また、積層プロセス中から速やかに固化して短時間に積層体が造形できる性質(速硬性)も求められる。デジミックス®(写真4)は、これらの性能を満足するため、セメントを主成分とした結合材、細骨材および複数の混和材料から構成される。

デジミックス®の材料開発に使用している当社の建設用3Dプリンター(写真3)は、ガントリー式のタイプであり、高さ130mm×幅100mm×奥行き120mmの門型フレーム、押出ノズル、制御PC、制



写真4 水硬性無機系材料「デジミックス®」

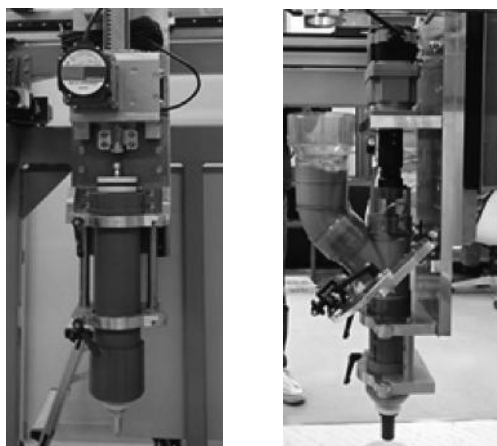


写真5 3Dプリンターの押出し機構
[左：カートリッジ式 右：スクリュー式]

御盤から構成されている。写真5に示すように押出ノズルは、カートリッジ式とスクリュー式の2つがある。カートリッジ式はバッチごとに付け替えが必要になるものの操作が容易で積層するモルタルの品質を管理しやすい。また、モルタルをピストンで押し出す仕組みのため、硬練りや粘性の高いモルタルでも押し出すことができる。一方、スクリュー式は、モルタル投入容器にスパイラル状の回転機が挿入されており、容器上部が開放されていることからモルタルを継ぎ足しながら連続的に押し出すことができる。

3. 積層体の強度特性および収縮特性

3-1. 実験概要

ME方式の建設用3Dプリンターによりモルタルを積層するさい、1層ごとに積み上げる方法であることから層間に不連続層が生じて積層間の強度低下が報告されている⁴⁾。そこで、積層間の強度低下に配慮した材料開発を進めるために、当社3Dプリンターを用いてモルタルの積層体を作製し、養生した

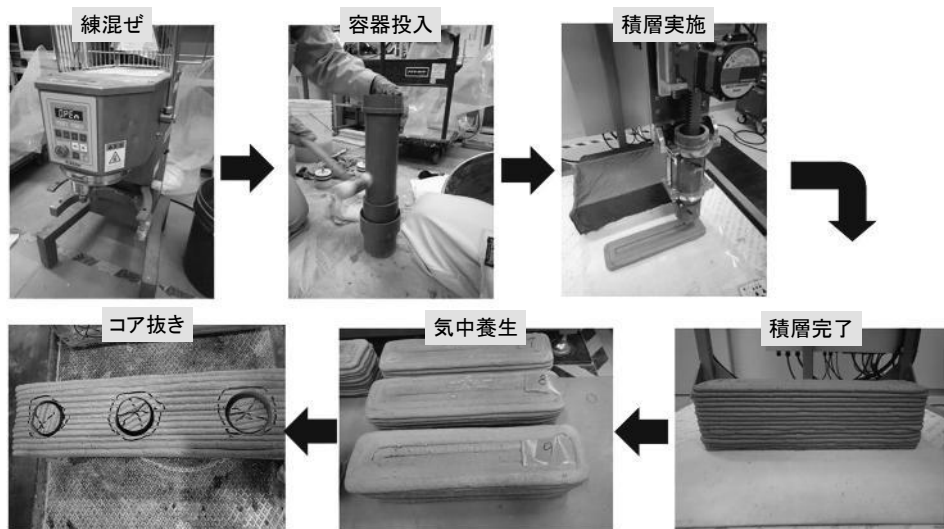


図2 積層体作製方法

表1 使用材料

材料	種類	記号	密度	概要
結合材	速硬性セメント	P	3.03	比表面積4,150cm ² /g
細骨材	砕砂	S1	2.71	最大粒径2mm, F.M.=2.86
	石粉	S2	2.71	比表面積8,160cm ² /g 45μmふるい残分4.0%
混和剤	高性能減水剤	SP	—	ポリカルボン酸系粉末
	消泡剤	De	—	非イオン系粉末
	凝結遅延剤	Re	—	オキシカルボン酸系粉末

表2 モルタルの配合〔上：強度用 下：収縮用〕

W/P (%)	単位量 (kg/m ³)				外割添加量 (P×%)		
	W	P	S1	S2	SP	De	Re
52.5	374	713	107	962	0.30	0.20	1.00
37.0	264	713	187	1097	0.20	0.20	0.90

積層体からのコア抜きもしくは積層体の切断を行った供試体の強度特性(圧縮強度，曲げ強度，引張強度，層間付着強度)を評価した。また，積層された造形物は，積層直後から気中に曝されるため，通常のコンクリートよりも収縮の影響を受けやすいと考えられることから，積層体の収縮特性も評価した。

3-2. 使用材料およびモルタル配合

使用材料を表1に示す。結合材は，セメント鉱物系速硬成分を含有するセメントとした。細骨材および混和剤は，汎用的なものである。これらの材料をあらかじめ混合し，プレミックス粉体として使用し

た。モルタルの配合を表2に示す。強度特性評価に使用したモルタル配合は普通強度領域の積層造形の影響を確認するために水結合材比は50%程度とし，収縮特性の評価に使用したモルタル配合は，積層造形後に気中養生に曝される影響と自己収縮の影響を明確にするために，水結合材比を30%台に低くした高強度領域で実施した。練混ぜは20℃，70%R.H.の恒温恒湿室にて，容量55Lのパン型強制練りミキサを用いて実施した。練混ぜ方法は，水以外の材料を30秒空練りし，注水後2分間練り混ぜて，かき落とした後に，更に2分間練り混ぜた。

3-3. 積層体作製方法ならびに試験方法

3-3-1. 強度特性

積層体の作製方法は，図2に示す通り，プレミックスした材料と水をホバートミキサにて混合してモルタルを作製し，3Dプリンターの押出機構へ装着するカートリッジにモルタルを充填し，積層造形した。ノズル直径14mmのノズルから射出幅16mm，層厚8mm，積層速度30mm/sとなるように3Dプリンターを制御し，100mm×104mm×400mmの積層体を作製した。作製した積層体は，温度20℃，湿度70%の環境下において気中養生を材齢21日まで行い，その後，図3に示すようにコア抜きによりφ50×100mmの円柱供試体を，コンクリートカッターにより40mm×40mm×160mmの角柱供試体を作製

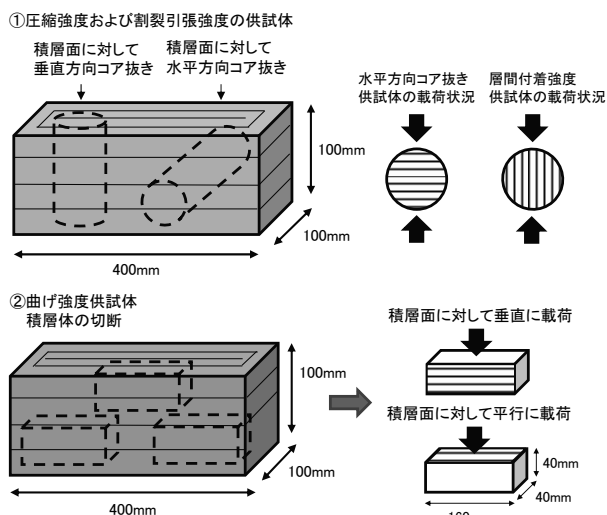


図3 供試体作製方法および荷荷状況

し、気中養生をさらに7日間行い、合計28日間の気中養生を実施した。

強度試験は、JISまたはJSCEに準拠して実施した。また、積層方向の強度の異方性について評価するために、圧縮強度試験は、積層面に対して、垂直方向および水平方向に寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ のコア抜きを行い、 $\phi 5\text{cm}$ の端面を荷荷面にして試験を実施した。割裂引張試験は、寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ のコア供試体の側面を荷荷した。層間付着強度試験は、積層痕(積層間の空間)の影響を確認するために水平方向にコア抜きした供試体を積層面に対して直交するように荷荷した。曲げ強度試験は、コンクリートカッターにより寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ にカットし、積層面に対して垂直方向、および水平方向に荷荷した。なお、積層体との比較として、JIS A 1132に準じて、型枠への流込みにより作製した供試体(以下、流込み供試体)を用いた。また、供試体間の強度のばらつきを評価するため、各試験に供した供試体本数は6本とした。

3-3-2. 収縮特性

収縮特性の試験条件を表3に示す。乾燥収縮ならびに自己収縮試験の供試体は、流込み成型したものと積層したものを作製した。流込み成型では、JCI-SAS2-21に準拠し、モルタルの自由な変形を鋼製型枠が拘束することを防いだ。打込み面は、開

表3 収縮特性に関する試験条件

試験項目	試験方法				記号
	規格など	寸法(mm)	作製方法	養生条件	
凝結時間	JIS A 1147	$\phi 150 \times 150$	流込み成型	—	—
若材齢の収縮挙動	JCI-SAS2-2	$100 \times 100 \times 400$	流込み成型	気中養生	C-A
	—	$100 \times 104 \times 400$	積層造形	封緘養生	C-S
質量変化	—	$\phi 100 \times 200$	流込み成型	気中養生	P-A
	—	$\phi 100 \times 200$	積層造形	気中養生	P-A

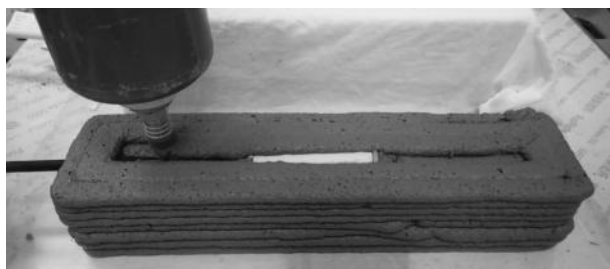


写真6 ひずみ計の設置状況

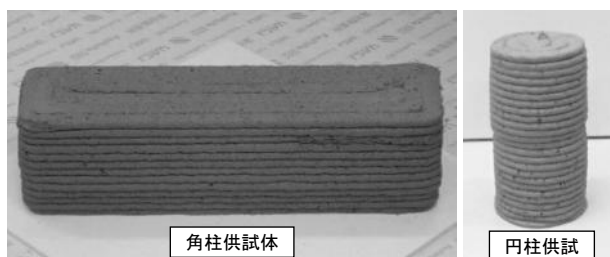


写真7 3Dプリンターにより積層造形した供試体

放するもの(以下、C-Aと略す)または乾燥防止のためにポリエステルフィルムで覆うもの(以下、C-Sと略す)とした。材齢24時間で脱型した後、C-Aは脱型直後から乾燥を開始し、C-Sは供試体全面をアルミ箔粘着テープで封緘した。積層造形では、前述の積層条件にて3Dプリンターを制御し、寸法 $W100\text{mm} \times H104\text{mm} \times B400\text{mm}$ の角柱供試体を作製した。ひずみ計の埋込みは、7層目(H56mm)までの積層が完了した時点でプリンターを一時停止して実施した。写真6に示すように、ひずみ計はモルタルの中心部に、積層面と平行するように手作業で慎重に埋め込んだ。その後、速やかに8層目以降の積層造形を再開した(以下、P-Aと略す)。なお、試験環境は 20°C 60%R.H.であり、供試体数は水準ごとに2個とした。

質量変化は、寸法 $\phi 100 \times 200$ の円柱供試体を用い、軽量型枠へのモルタルの流込み成型直後(C-A)、ま

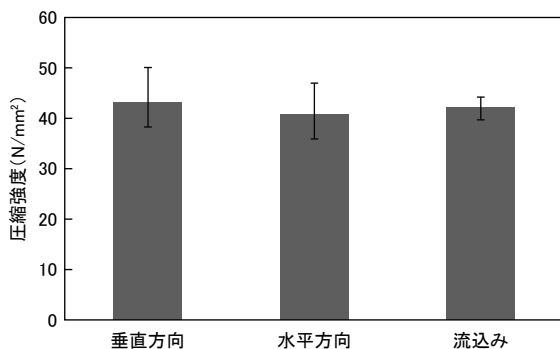


図4 圧縮強度試験結果

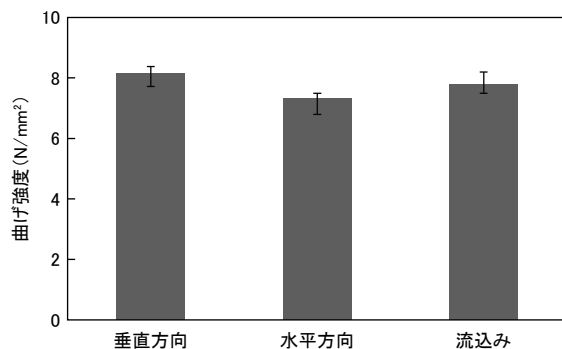


図5 曲げ強度試験結果

たは、前述した積層造形直後(P-A)からの質量を測定した。3Dプリンターにより積層造形した角柱供試体ならびに円柱供試体を写真7に示す。

4. 試験結果

4-1. 強度特性

圧縮強度試験結果を図4に示す。図4に示す棒グラフは平均値、範囲を示すエラーバーは、最大値と最小値をそれぞれ示している。積層面に対して垂直方向にコア抜きした供試体の圧縮強度は43.2MPa、水平方向にコア抜きした供試体の圧縮強度は40.8MPaとなり、流込み供試体の圧縮強度42.1MPaに対して差はわずかであった。供試体間の圧縮強度のばらつきは、流込み供試体の変動係数1.0%に対して積層体の変動係数は8.7%~9.5%と大きくなった。この原因は、コア抜きをしたさいに供試体に積層痕が残っていることから、加圧したさいに、その部分からひび割れが生じるために強度差が大きくなったと推察する。

曲げ強度試験結果を図5に示す。積層面に対して垂直方向に荷重を載荷した供試体の曲げ強度は8.1MPa、水平方向に載荷した供試体の曲げ強度は7.3MPaとなり、流込み供試体の曲げ強度7.8MPaに対して差はわずかであった。供試体間の曲げ強度のばらつきは、流込み供試体の変動係数3.6%に対して、積層体の変動係数は2.0%~3.8%となり、流込みと積層体とで違いは見られなかった。

割裂引張強度試験結果を図6に示す。積層面に対して垂直方向にコア抜きした供試体の引張強度は

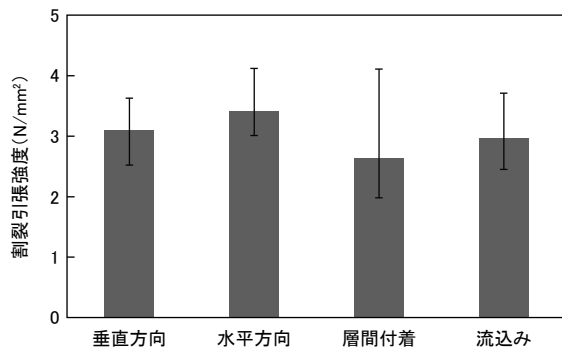


図6 割裂引張強度試験結果

3.1MPa、水平方向にコア抜きした供試体の引張強度は3.4MPa、流込み供試体の引張強度は3.0MPaとなり、積層体は流込み供試体より3~13%高い値を示し、コア抜き方向の違いによる差は見られなかった。引張強度のばらつきは、変動係数が19.7%~23.7%で積層体と流込み供試体とで同程度となった。一方で、積層体の層間付着強度は、2.6MPaとなり、流込み供試体の場合より13%程度低下し、強度の変動係数は31.6%と大きくなった。これは、既往の知見⁴⁾と同様に、荷重の載荷方向と積層痕方向が一致する場合、引張強度が低下することによるものである。

4-2. 収縮特性

モルタルの凝結始発時間は2時間、終結時間は2時間45分であった。3Dプリンティング技術に適用するセメント系材料の可使時間として90分程度を想定しており、可使時間の後に速やかに硬化することを確認した。

図7に材齢7日までのモルタル収縮ひずみの経時変化を示す。この図から、養生条件や供試体の成型

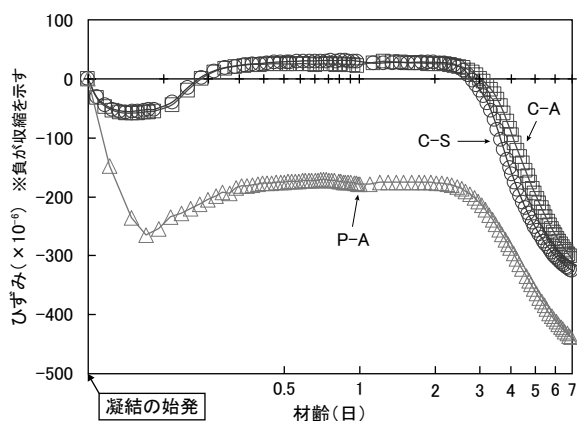


図7 材齢7日までの収縮ひずみの推移

方法によって収縮量は異なるものの類似した収縮挙動が認められた。すなわち、凝結始発から終結にかけて急激に収縮し、材齢3時間程度から膨張に転じるが、材齢12時間から材齢2～3日までは収縮も膨張もせずに、その後再び収縮する傾向であった。凝結始発からの急激な収縮は、セメントに含有される速硬成分の反応による自己収縮と考えられる。その後、反応により生成されるエトリンガイトにより膨張傾向あるいは収縮しない平衡傾向に転じたと推察される。

流込み成型したモルタルに着目すると、気中養生(C-A)ならびに封緘養生(C-S)したものの、収縮ひずみは同程度か、わずかにC-Sが大きかった。このことは、若材齢での収縮挙動において、この種の材料ならびに配合では、乾燥収縮よりも自己収縮の影響が大きいことを示している。

一方で、積層造形したモルタルの収縮ひずみ(P-A)は、凝結始発から終結にかけての収縮ひずみが流込み成型のもの(C-A)よりも増大し、その後、材齢約3時間以降の収縮ひずみの変化はC-Aの場合と類似していた。積層造形したモルタルにおいて、初期に生じる収縮が増大した原因としては、ノズルから押し出された直後からモルタルが気中に曝されることで乾燥収縮が生じたものと考えられる。図8に示したモルタルの質量変化では、積層造形したモルタル(P-A)では流込み成型のもの(C-A)よりも、材齢1日までの水分逸散が増大しており、凝結始発から終結にかけてのP-Aの収縮ひずみが増大したこと

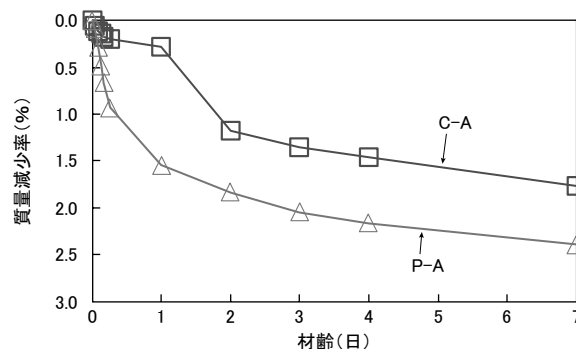


図8 モルタルの質量変化

と整合している。

このように、積層造形するモルタルでは、ノズルからの押出直後から乾燥を受けるため、自己収縮に加えて乾燥収縮を生じて、若材齢の収縮ひずみが増大しやすいことがわかった。

5. 考 察

3Dプリンターにより積層造形したモルタルは、流込み成型したものに比べて、強度の低下や収縮量の増大が認められた。

これらの課題の解決策として以下の点が挙げられる。

- i) 構造物に3Dプリンティング技術を採用するにあたっては、コンクリート構造物の性能に求められる耐久性、安全性および使用性に加えて、構造計画ならびに設計の段階で、上記の強度の異方性や収縮量の増大に配慮した3Dプリンティング独自の設計概念を取り入れる必要がある。
- ii) さらに3Dプリンターの使用時には押出機構のノズルの積層幅、積層厚さの最大化を図る、上下の積層のタイミング(コールドジョイントを防ぐ)をコントロールする必要がある。
- iii) 材料面からでは、繊維混入により架橋効果を高めることや、モルタルマトリックスの高強度化を図ることのほか、内部養生効果を有する材料を付与するなどの方策が必要となる。

6. 今後の展望

建設分野への3Dプリンターの適用は、材料、装

置、施工方法、規格・規準類整備などのさまざまな課題を解決する必要がある。一方で国内において3Dプリンターへの関心が高まっていることから、各種方式の建設用3Dプリンターに適用できるデジミックス®の材料処方開発を進めていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 3D プリンティングによるコンクリート構造物建築に関する研究委員会報告書、日本コンクリート工学会、2021
- 2) <https://cobod.com/>、COBOD 社 HP、2021.1.13
- 3) <https://contech.jp/xtree/>、XtreeE 社 HP、2021.1.13
- 4) Wolfs R.J.M., F.P.Bos, Salet T.A.M.: Hardened properties of 3D printed concrete: the influence of process parameters on interlayer adhesion, Cement Concrete Research, Vol.119, pp.132 ~ 140, 2019.

無料でお届けします

英文パンフレット “CEMENT IN JAPAN 2021”をお届けします



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。

ご希望の方には送料ご負担(着払い)でお届けいたします。申し込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスをお願いします。

(一社)セメント協会 広報部門 ☎03-5200-5062

[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



一般向け環境パンフレット セメントは暮らしを支えるサポーター

セメント協会はとくに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。

大人から子供たちまで、あらゆる世代の方々にご理解いただける内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申し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 ☎03-5200-5062

[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

ライフ エンジョイ！東京生活

徳渕 祐三

九州の佐賀から東京都江東区木場(現在は東雲)への単身赴任を始めて12年の歳月がたちました。建設コンサルタント業界に入社後は、地方勤務が長く、九州で所帯を持ち、50歳半ばで初めての東京単身赴任生活を始めることとなり、不安9割の出発でした。まず、東京での居住地を選択するにあたり、大都会ではない東京の下町を希望することとし、生活拠点として、まず第一にウォーキングのできる広い公園があり、いろいろな和洋中の食堂があり、休日の運動としてゴルフ練習場のあるエリアを探していると、友人のアドバイスにより東京の下町、深川、木場を推薦していただき、現地探索の結果、当地に決定しました。

転勤後、休日はこの深川、木場の探索から始めることになりました。まず初めに食堂探しとして、めん類系統を探索しましたところ、蕎麦屋、ラーメン店が多く、蕎麦屋さんにはたくさんの一品料理があり、お酒に当てにした常連客の方がおられ、居酒屋状態には驚きましたが、晩酌付き夕食ができるお蕎麦屋さん多数あり、安心しました。

次にウォーキング場所として材木関連の貯木場跡地に埋め立ててできた、都立木場公園

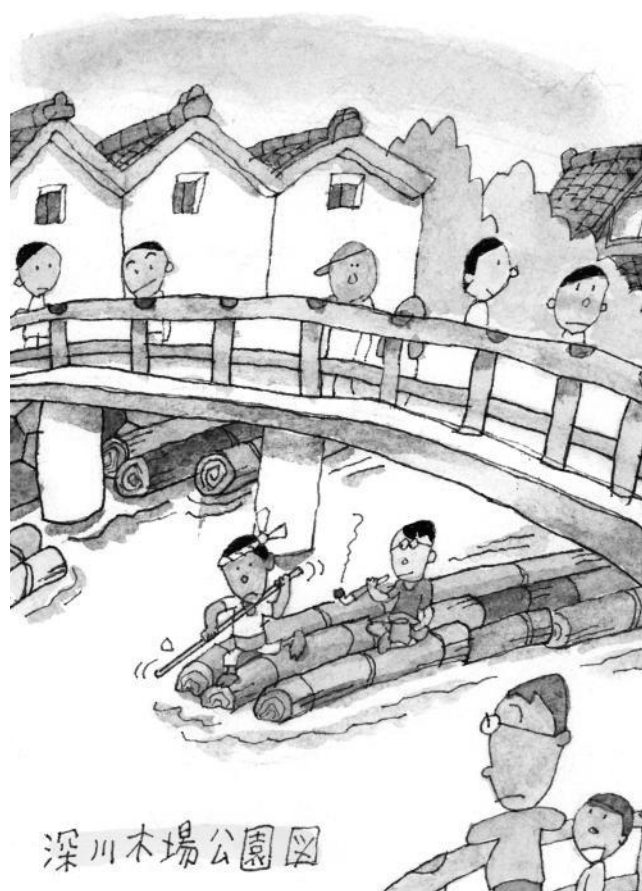
があり、ジョギングコースもありランナーもたくさんおられます。木場公園の中には貯木場が残っており、秋頃になると下町の伝統芸として木場の角乗があり、下町風情を感じさせてくれます。

公園内は、犬のドッグラン(大型犬用、小型犬用)があり、犬好きの私にとってはうれしい出会いをたくさんとさせていただき、ストレス解消になりました。私のウォーキングは自宅を早朝5時30分出発し、公園内で毎朝行われるラジオ体操(6時30分開始)に参加します。九州時代にも早朝ウォーキングを行っていましたが、日の出の時間帯が九州より30分から1時間ぐらい早い東京は、明るい日差しもとで開催されるので参加者も多数おられます(九州ではラジオ体操の会場が少ないのは日の出時間の違いかな)。また、ウォーキング中には、深川のお不動様(深川不動堂)と深川の八幡様(富岡八幡宮)があり、お不動様では、人生初めての護摩供養をして頂き、八幡様には日本一の黄金大神輿(ダイヤモンド付き鳳凰が嚴重に保管)が展示され、神輿は深川のお祭りで実際に使用されています。また木場、深川近辺には小さな水辺があり、初

夏にはたくさんのハゼが水路に集まり、ハゼ釣りの方が来ていますし、冬には渡り鳥のカモがたくさんやってくるので、大都会の風情とは思えませんでした。さらに木場には多くの銭湯があり、休日は銭湯探索もして来ました。その多くは常連さんが多く、入浴時の作法をしっかりと守り続けていますが、湯船の温度が非常に高く(平均45度近く)入りづらい体験をさせていただきました。休日の日課として木場のゴルフ練習場へ打ち放しに行くことが多くあり、その練習場が某ゴルフクラブシャフトメーカーの工場跡地(フジクラ)にあることを知り、すごく身近に感じていました。

また、職業がら休日に下町を散策していると、目線が建造物(橋、建物)に向いてしまい、旧弾正橋(東京最古の鉄橋であり、国産鉄を使用した日本最古の鉄橋)が深川の運河(現在は埋立地)に移設してあるのには驚きました。また、深川近くには隅田川と運河が多数あり、多くの上部工や橋脚形式を見学できる喜びを感じています。春になると深川、木場の運河沿いには多くの桜並木があり満開時には遊覧船もくり出し多くの見物客で賑わいます。

さて、いろいろと東京の下町、深川、木場近辺の風情を勝手に書かせて頂きましたが、下町の定義についてネット検索すると、まず、低地であること、山の手(東京では高級住宅街)ではないことであり、昔の風情を残し、住人のあけっぴろな気風(きっぷ)や人情味のある街を指す言葉で、その街は、多くの人が下町と思っているみたいです。なお、一



昨年からのコロナ感染拡大で下町探索が少なくなり、私自身も自宅での一人居酒屋が多く、寂しい思いをしていますので、元気で活気のある下町が戻ってくることを願っています。

最後に、この業界人して、東京転勤後に発生した東日本大震災(2011年)は私自身が帰宅難民となり、生活物資の不足などの経験で防災意識を向上させるとともに私も福島県へ行き、被災建造物の点検等を経験いたしました。そこでは、今後我々の業界が果たす役割も感じ取ることができ、多くの勉強をさせていただきました。

[とくぶち ゆうぞう／

(株)橋梁コンサルタント 代表取締役社長]

セメント系固化材・事例紹介 ハイグレードソイル気泡混合土工法 とその施工事例

車田 佳範 菱沼 一充 平野 孝行 藤井 二三夫

1. はじめに

ハイグレードソイル(以下、HGSと称す)は、建設発生土に付加価値を付けて高度で多目的なニーズに対応できる土木材料を開発することを目的として、旧建設省土木研究所、(一財)土木研究センターおよび民間企業の共同研究の成果として開発されたものである。

「HGS気泡混合土工法」はその技術のひとつで、発生土に水と固化材を混合して流動化させたものに、気泡を混合して軽量化を図る工法であり、以下の特長を有する(図1、写真1)。

① 軽量性・強度

湿潤密度を $0.6\sim 1.2\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲で任意に設定

Introduction of HGS Air-Foam Mixed Stabilized Soil Methods and its Construction Examples (by KURUMADA Yoshinori et al.)



くるまだ よしのり
五洋建設(株) 土木本部 土木部 専門部長



ひしぬま かずみつ
小野田ケミコ(株) 事業統括本部 環境技術部 専任部長



ひらの たかゆき
西松建設(株) 土木事業本部 土木設計部 マイスター



ふじい ふみお
伊藤忠TC建機(株) エンジニアリング事業部
特命担当部長

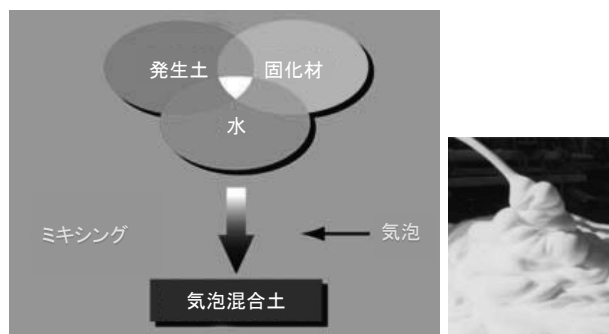


図1 HGS気泡混合土の製造方法

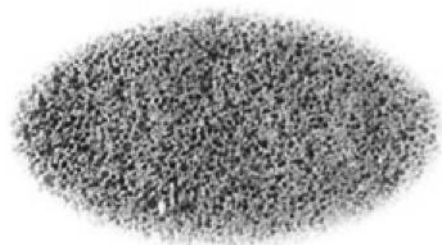


写真1 HGS気泡混合土の断面

できる。また固化材配合により一軸圧縮強さを $1,000\text{kN}/\text{m}^2$ 程度までの範囲で調整できる。

② 流動性・施工性

固まらない状態では高い流動性を有するためポンプ圧送が可能であり転圧・締固めが不要となる。

③ 発生土の有効利用

泥土を含めた各種発生土の有効利用が可能となる。

HGS気泡混合土工法は、その軽量性と流動性・施工性を活かして、軟弱地盤上の盛土材、構造物の背面裏込め材、埋設構造物上への埋戻し材、空洞充填材などとして利用される。

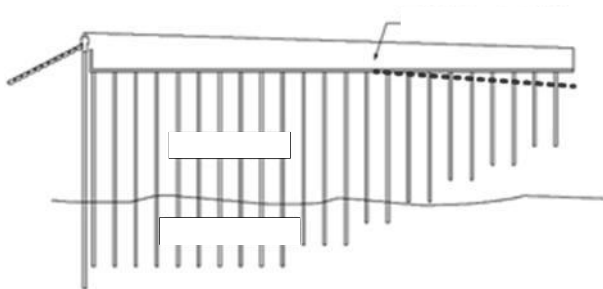


図2 バンコクの一般的な橋台取付け区間構造



写真2 不等沈下によって折損したスラブ

本稿では、これまでの施工実績より2現場での適用事例について紹介する。

2. 軟弱地盤上の道路盛土への適用事例

2-1. 目的

タイの首都バンコクの位置する中央平原は、基準海面からの標高が0~3mの極めて低平地で、地表面下には青色を呈する厚さ10m~数10mの軟弱粘土地盤が広がる。そのため周辺的高速道路では、盛土の高さを極力抑えて造られているものの、長期的な圧密沈下が発生している。

特に河川を横断する橋梁部では、杭基礎で支持される橋台部分とその前後の盛土区間での不等沈下抑制のため、図2に示すように橋台取付け区間に杭長を漸変させた摩擦支持方式によるパイルスラブ構造を採用して盛土を支持することにより、段差による交通障害が起きないように工夫がなされている。

しかしながら、盛土区間での沈下量が大きくなると、写真2に示すように、取付け部でのスラブ折損による段差が発生し、嵩上げ等の維持管理が大きな課題となっている。そこで、橋台取付け部の沈下抑制対策として、先年に行われた試験盛土の成果を受



図3 施工位置

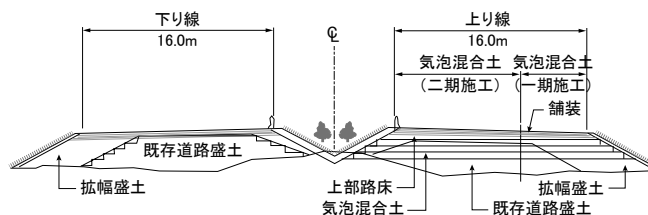


図4 計画断面



写真3 現地で採取した原料土

け、現地の軟弱粘土を有効利用できるHGS気泡混合土工法が採用されることとなった¹⁾。

2-2. HGS気泡混合土の計画

(1) 施工位置

図3に、施工位置を示す。施工は、バンコク市内より南西に延びるラマⅡ世道路72kmポスト付近の片側3車線化拡幅工事の一環として行われた。

(2) 計画断面

気泡混合土は、①取付け部の不等沈下をなくす、②気泡混合土の効果を把握する、③供用中の道路交通への影響を最小限とすることを念頭に、上り線の62.5m区間に対して計画された。図4に、計画断面



写真4 既設盛土掘削～型枠設置状況



写真6 打設状況



写真5 施工プラント



写真7 気泡混合土打設完了

表1 原料土の土質特性

湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
1.555	82.1	96.0	41.4

表2 HGS気泡混合土の配合

泥水* ¹ (kg)	水* ² (kg)	セメント (kg)	起泡剤 (L)	希釈水 (L)	空気 (L)	希釈倍率
553	215	218	1.28	12.79	267.3	11倍

*1：泥水比重1.28 *2：セメントミルク用

を示す。

(3) 配 合

現地は海拔が非常に低く、雨期や高潮時には、GL±0m程度の水位となるため、長期的な安定性も考慮して設計密度を1.0g/cm³に、設計強度を400kN/m²に設定された。

原料土は、施工箇所表層の粘性土を掘削して再利用した(写真3)。原料土の土質特性を表1に示す。また室内配合試験より決定した配合を表2に示す。起泡剤は現地で入手できる材料を使用した。



写真8 盛土状況

2-3. 施 工

施工期間中は、上り線を常に2車線確保する必要があったため、上り線中央に鋼矢板を打設して1期施工と2期施工に分けて工事を行った。写真4～9に1期施工時の状況を示す。

気泡混合土の打設は、1回の打設数量に合わせて仕切型枠に分割し、1層の打設厚さが1m程度の3層に分けて行った。



写真9 舗装完了後の交通開放と2期施工状況

表3 品質管理結果

	平均値 $\bar{x}$	標準偏差 σ	変動係数 V
一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	478	74.4	15.6%
密度 ρ (g/cm ³)	1.015	0.02	2.0%

気泡混合土の施工完了後、盛土とアスファルト舗装の施工を行い、新しく2車線を確保したうえで2期施工を開始した。

2-4. 品質管理

品質管理は、筒先でモールド採取した供試体の一軸圧縮試験、密度試験でおこなった。表3に、施工期間中での品質管理結果を示す。平均一軸圧縮強さ $q_u = 478 \text{ kN/m}^2$ 、平均密度 $\rho = 1.015 \text{ g/cm}^3$ であり、基準値を満足した。

3. 埋設構造物上の埋戻し材としての適用事例

3-1. 目的

阪神高速大和川線は全長約9.7kmの高速道路であり、そのうち常磐工区開削トンネル工事(施工：鹿島・飛鳥建設工事共同企業体)は西除川下に内空断面寸法高さ6.7m、幅21.3m～34.4m、延長334mの開削トンネル(シールド立坑含む)を構築する工事である²⁾。本工事において開削トンネル上部の埋戻し土をHGS気泡混合土とすることにより、トンネル躯体のコンクリート厚を小さくすることで低コスト化を図っている。図5に、施工断面図を示す。

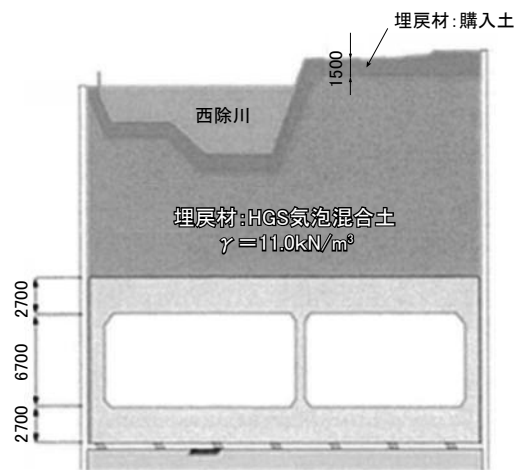


図5 施工断面図³⁾

表4 HGS気泡混合土の使用材料

種別	仕様
原料土	淡路島産砕砂 ($\rho = 2.52 \text{ g/cm}^3$)
固化材	高炉セメントB種 ($\rho = 3.04 \text{ g/cm}^3$)
添加材	ベントナイト ($\rho = 2.58 \text{ g/cm}^3$)
起泡剤	界面活性剤系起泡剤

表5 淡路島産砕砂の粒度試験結果

採取日	最大粒径 mm	礫分 %	砂分 %	細粒分 %	シルト分 %	粘土分 %
2015.06	9.5以下	36.1	44.8	19.1	9.4	9.5
2016.12	9.5以下	47.8	38.2	14.0	7.6	6.4
2017.12	9.5以下	41.5	36.4	22.1	12.3	9.8
2018.04	9.5以下	41.8	40.6	17.6	10.1	7.5
平均	9.5以下	41.8	40.0	18.2	9.9	8.3

3-2. 原料土と配合

HGS気泡混合土は現場発生土を有効利用する工法であるが、掘削時期と埋戻し時期に隔たりがあり、掘削土の置き場が確保できないことから購入土を使用する計画であった。粘性土の購入は困難なため、原料土は砂とし、添加材としてベントナイト(液性限界450%以上)を使用した。表4に、本工事にて使用した材料を示す。

淡路島産砕砂は人工軽量骨材の原料である膨張性頁岩の粉碎物で、そのうち骨材として使用されない5mmアンダー品である。副産物であるため、品質変動が大きいことが予想され、数回にわたり採取して粒度分布の比較を行った。表5に粒度試験結果、図6に粒度分布曲線を示す。採取期間は3年にわた

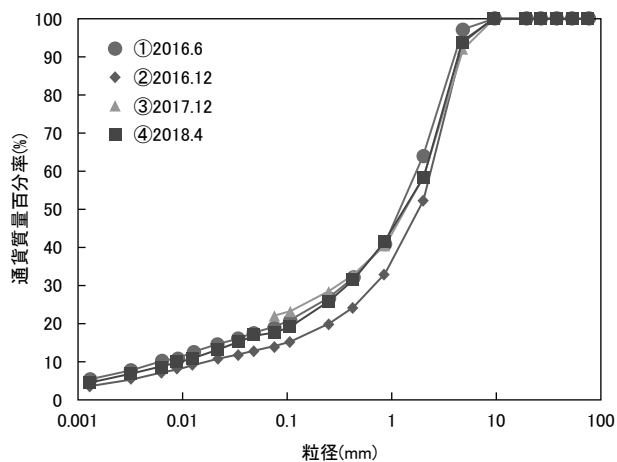


図6 淡路島産砕砂の粒度分布

表6 要求品質と施工管理値

種別	仕様
一軸圧縮強さ	500kN/m ² 以上
湿潤密度	1.05 ± 0.05g/cm ³
流動性	200 ± 20mm
透水係数	10 ⁻⁵ cm/s以下

表7 HGS気泡混合土の配合

質量(kg)							
泥水調整土		ベントナイト水		高炉セメント B種	軽量化材		
原料土	水	ベント ナイト	水		起泡剤	希釈水	空気
262.3	290.0	20.0	200.0	265.0	0.127	12.59	0

体積(リットル)							
泥水調整土		ベントナイト水		高炉セメント B種	軽量化材		
原料土	水	ベント ナイト	水		起泡剤	希釈水	空気
97.15	290.00	7.75	200.00	87.17	0.127	12.59	305.21

るが、粒度分布のばらつきは小さく、安定した品質であることが確認された。

埋戻材として要求される品質は、単位体積重量 $\gamma = 11.0\text{kN/m}^3$ 、設計基準強度 $q_{\text{uck}} = 500\text{kN/m}^2$ 以上および難透水性材料であることである。室内配合では割増係数 $\alpha = 2.2$ 、湿潤密度は地下水による浮き上がり防止および打設後の吸水および自己収縮による重量増 ($\Delta \rho$) を考慮し $\rho = 1.05\text{g/cm}^3$ 、透水係数は $k = 1.0 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ 以下を目標値とした。流動性は、施工性および圧送距離を考慮してフロー値 (NEXCO試験方法313) 200mmとした。表6に要求品質とそれぞれの管理値を示す。また、室内配合試験より決定した配合を表7に示す。

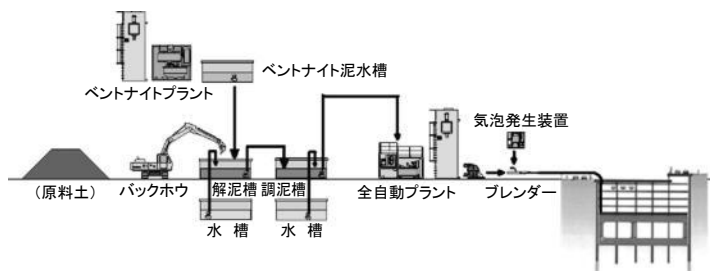


図7 HGS気泡混合土の製造フロー



写真10 プラント設置状況

3-3. 施 工

気泡混合土の製造フローを図7に示す。原料土を解泥水槽へバックホウにて投入し、これに別途製造したベントナイト泥水および水を加えて所定密度にした調整泥水を製造する。この調整泥水とセメントをミキシングプラントで混練し、圧送時にブレンダーで気泡を混合する。

プラント設置スペースは開削トンネルの覆工板上に設置されたが、スペースが限られており写真10に示すように縦に長い配置となっている。また、近隣住民への騒音対策として、プラント周りに防音壁を設置した。

製造された気泡混合土は、施工箇所までスクイズポンプにて圧送した。最大圧送距離は200mとし、それ以上の距離となる場合はプラントを移動した。品質管理は圧送後の筒先で行い、湿潤密度の測定結



写真11 施工状況

果をプラントにフィードバックして気泡混合量の調整を行い所定の密度とした。

気泡混合土の打設は、打設数量に合わせて仕切型枠に分割し、1層の打設厚さを1m以下で行った。筒先移動は、クレーン等が使用できないため人力により行った。写真11に施工状況を示す。

3-4. 品質管理

図8に2017年4月12日から2018年3月30日までの約1年間、筒先で採取した供試体の湿潤密度と一軸圧縮強さの関係を示す。湿潤密度は平均値 $\bar{x}=1.057\text{g/cm}^3$ 、標準偏差 $\sigma=0.011\text{g/cm}^3$ 、変動係数 $V=1.1\%$ ($n=241$)であった。一軸圧縮強さの平均値は $\bar{x}=1,162\text{kN/m}^2$ 、標準偏差 $\sigma=179.9\text{kN/m}^2$ 、変動係数 $V=15.5\%$ であった。発生土を用いた気泡混合土の変動係数は $V=20\sim30\%$ と報告されているが、原料土が購入材であるため品質は非常に安定していた。

両者には正の相関が認められたが、決定係数は $R^2=0.29$ 程度と小さかった。月ごとの一軸圧縮強さの平均値は気温が高い夏季ほど大きくなる傾向があったことから、一軸圧縮強さは湿潤密度および製造時の混練温度の影響を受けており、前述の一軸圧縮強さの変動係数は打設した季節の影響もあったと思われる。施工個所のボーリングによるすべてのコア供試体において管理基準を満足しており、湿潤密度の平均値は $\rho=1.056\text{g/cm}^3$ 、一軸圧縮強さの平均値は $q_u=890\text{kN/m}^2$ であった。透水

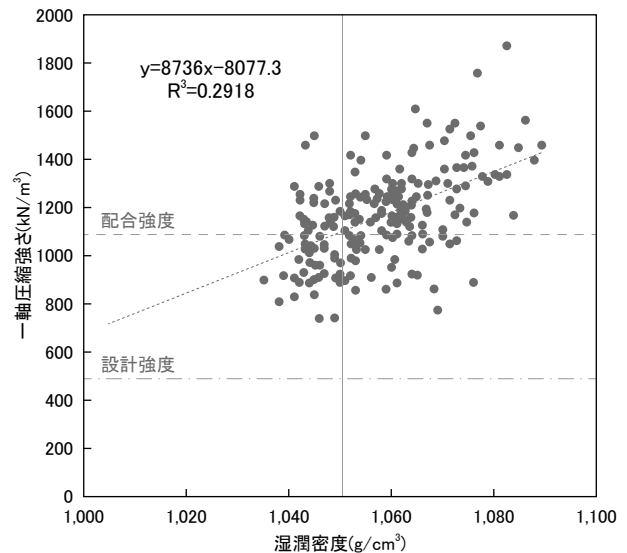


図8 湿潤密度と一軸圧縮強さの関係

係数は平均 $k=1.49\times10^{-6}\text{cm/s}$ と難透水性であることが確認された。

4. おわりに

本稿ではHGS気泡混合土の施工事例を2例紹介した。気泡混合土は、固化前は流動性がよく、固化後は軽量性と強度を有する材料であり、また建設発生土を原材料として有効利用できるため、今後とも各種用途に広範囲に適用されるものと期待している。

最後に、これらの施工にあたりご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 土橋聖賢, 大久保泰宏, 平野孝行/バンコクにおける道路試験盛土への気泡混合土の適用, 土木技術資料 50-4, 2008
- 2) 阪神高速道路株式会社 HP / 阪神高速の取り組み 大和川線 (大阪府道高速大和川線)
- 3) 松井雅紀, 羽富公彦, 戸川敬, 竹内業史, 田中将登/高速道路本線函体上部の気泡混合土による埋戻し実績, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-411, 2019

*

*

*



写真1 日本海に対峙する『望洋楼』[撮影：藤本一貴]

壁式RCによる伝統旅館のデザイン

川添 善行 中河西 菜々子 岡村 仁 友寄 篤

陸の建築，海の建築

周囲を海に囲まれた日本であるが，古く日本文化を見つめ直してみると，海と建築をテーマにした建築の伝統はほとんど蓄積がない。東大寺や法隆寺，

Innovative design for classic Japanese hotel of concrete
(by KAWAZOE Yoshiyuki et al.)



かわぞえ よしゆき
(株)空間構想 一級建築士事務所



なこうさい ななこ
同 上



おかむら さとし
(株)KAP



ともよせ あつし
東京大学大学院工学系研究科 建築学専攻 助教

二条城など，日本の建築史の教科書を飾るような建築物は，ほぼすべて「陸の建築」である。もちろん，いくつかの例外はある。例えば，現在でも舟屋で有名な京都の伊根は，古い漁村集落を原型とした非常に特徴的な景観を有しているが，それはあくまで集落の構造や立地が特徴的であるのであって，建築の形式に比類なき固有性を有しているわけではない。さらに近年では，河川や海沿いの護岸が進むと，建築が水辺に近づくことはもはや不可能だと思われてきた。都市内河川のような恵まれた環境に隣接する敷地であっても，建築物はいつも背をむけてきた。私たちは，「陸の建築」に慣れすぎてしまっているのかもしれない。それは利便性や合理性という概念に近いものである。

しかし，周りを海に囲まれたこの国だからこそ実現可能な「海の建築」だってあり得るはずである。材料選択，施工性，各種法制度の制限など，「海の

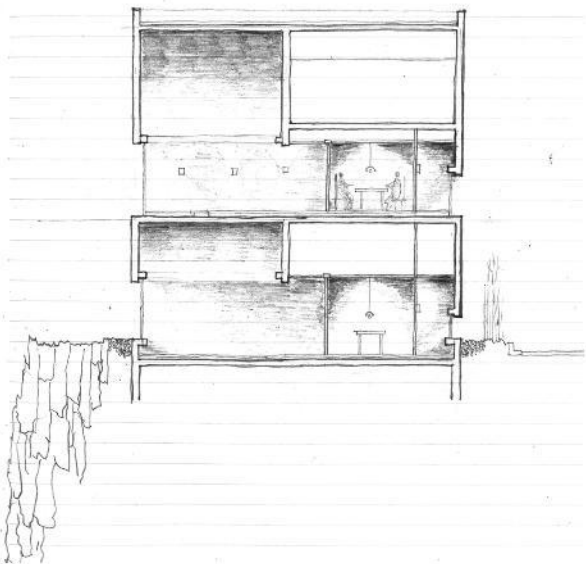


図1 初期スケッチ(断面)

建築」には多くの困難がある。しかし、それらを乗り越えることができれば、海の眺望を体験する視点場となり、海の大きなうねりを空間の力に変えることができるような、新しい建築を作れるのではないかと考えた。環境的に厳しい立地となる「海の建築」を未来に残すためには、新しい挑戦と試行錯誤が必要だった。思い込みや常識をできるだけ排し、科学的な根拠に基づいた材料選択を行うことを心がけた。その結果、各分野の専門家の知恵の結晶としての「海の建築」ができたのではないと思う(写真1、図1)。

[川添善行]

計画概要

時に穏やかで時に荒れ狂う日本海に対峙する建築は、その空間に静謐な堅牢さを湛えて居てほしい。そのようなイメージが、諸要件が複雑に絡まりあった本プロジェクトにおいて、建築設計の拠りどころであった。

この拠りどころの上で、国定公園内の計画であるための法規上の制約、海の至近にあることからの材料選定の制限、高級旅館としての多岐にわたる要求といった事柄は、この建築に固有な姿を与えてくれた。

敷地は日本海に面する断崖であり、接道道路の反



写真2 エントランスから海と空を望む

[撮影：藤本一貴]

対側にはさらにもう一段崖がある。平面的には南北に細長く東西に崖で挟まれ、中央付近は挟れて端部は窄まった形状をしている(図2)。

こういった敷地条件から、ことさらに耐候性・耐塩害性は必須であり、また崖に挟まれた地形に耐える堅牢さ、敷地形状に沿ったプランやグリッドの柔軟さを要した。これらのことから、後述する構造・材料との密な連携を図りながら、プロジェクトを進めた。

計画全体の概略について、平面に関しては、海側ほぼ全面を開口部とし、エントランスや客室、ダイニングから海と空、特に夕景が美しく見える設計としている(写真2)。また、敷地の軸と東西南北の軸を重ねたグリッドとすることで敷地形状に沿いながら、限られた面積の中で空間に広がりを与えている。断面に関しては、架構の水平ラインを見せながら天井高に高低をつけることで、壁梁の豊かな梁成を見せつつ、スパンごとに空間体験が変化する設計としている(写真3)。

また、館内全体でRC躯体現しを基調とし、堅牢さを直に感じられる空間としたうえで、内装設計者によって華麗な内装仕上げが施されていることも大きな特色である。建築設計者による素材をそぎ落とし海と空、光をみせる空間としてのエントランスや

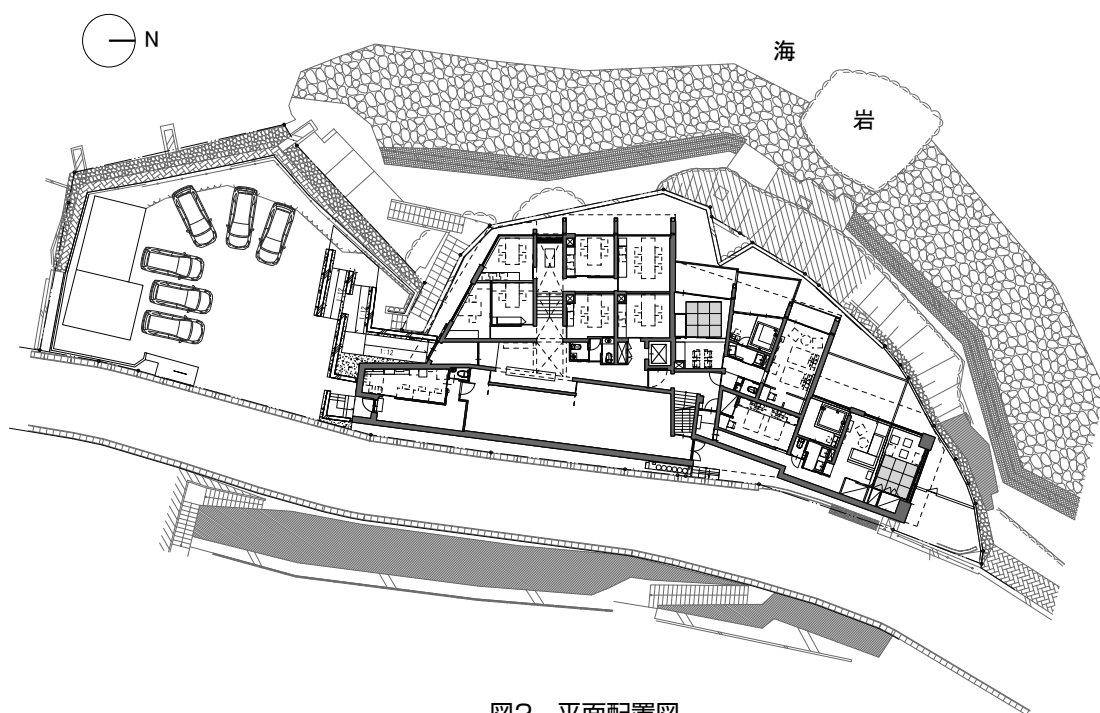


図2 平面配置図



写真3 共用廊下 軀体の豊かな梁成と厚み
[撮影：藤本一貴]



写真4 共用階段 ハイサイドライトから降り注ぐ光
[撮影：藤本一貴]

共用階段と、内装設計者による地場の素材を贅沢に活用したおもてなしの空間としての客室やダイニング、随所の装飾。両者が共存することで、緩急ついた彩りを与えるとともに、高級旅館としての、風格と華のある空間を実現している(写真4～8)。

設備に関しては、全客室に源泉掛流し風呂を提供し、海風対策として全ての給排気口を海と反対側に設置し、かつ各客室の遮音性・静穏性やメンテナンスの独立性を高める計画とした。壁式RC造という

構造形式とも相まって、意匠・構造・設備は複雑な取り合いとなっている。それらを積極的に生かし、変化に富む内観や、特徴的な道路側の外観を生み出している(写真9)。

堅牢さを湛えたコンクリート

このプロジェクトは、コンクリートが肝であった。分厚い鉄筋コンクリートの壁、RC軀体現しの幾種の仕上げ(ウレタン塗装型枠、杉板型枠、斫り、小



写真5 杉板型枠を床の間に見立てた和室 [撮影：藤本一貴]

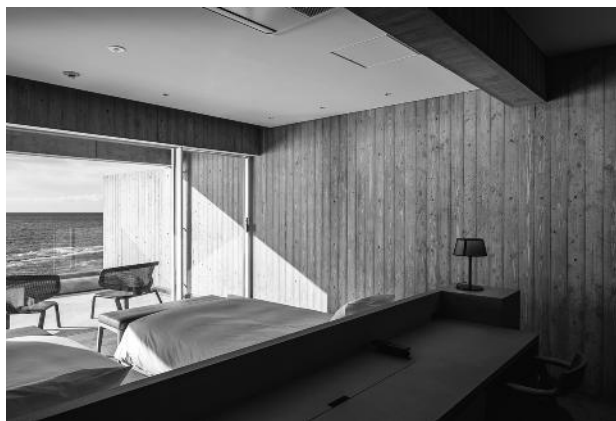


写真6 内外をつなぐ杉板型枠打放し [撮影：藤本一貴]



写真7 客室のRC現し [撮影：藤本一貴]

叩き), 躯体保護のための外断熱および外装材や雨仕舞の外部金物の削減, 高炉セメントB種の採用, 収縮低減剤によるクラック発生の予防, 打設前の鉄筋の洗浄, 型枠温度センサーシステムによる強度管理, 散水養生, 無機塗材による含侵保護(図3)。

ここで, それらの実現に至るまでの経緯を追いながら, 主に材料としてのコンクリートにまつわる取り組みをご紹介したい。

本件の建築材料における特色は, プロジェクト初期の基本計画から現場監理まで一貫して, 建築材料

研究者の協力を受けて助言を仰ぎながら設計・監理を進めたことである。誤解を恐れずに言えば, 今回の仕様や施工方法の一つひとは決して飛び抜けて珍しいものではない。すでに土木分野で多用されていたり, JIS規格内のものの組合せである。特徴的だったのは, 専門家の幅広いアドバイスをもとに, 既存の技術をバランスよく組合せ, さらに施工や監理を徹底し, その効果を発揮させたことである。

また, 材料の性能を向上させる仕様変更には, コストやスケジュールの調整という実務的な課題も



写真8 ダイニングのRC打放し [撮影：藤本一貴]



写真9 源泉掛け流し風呂とRC打放しバルコニー
[撮影：藤本一貴]

伴った。調整に難航し実現が危ぶまれた局面もあったが、専門家に継続的に関与してもらうことで、打開策を見出したり、総合的にバランスのとれた有効性の高い判断を下すことができた。

材料研究者にとっては当たり前のことであっても、設計者や施工者にとっては馴染みのないこともあり、参画していただけたことで実現できたことや学ぶことが多かった。

材料の検討から構造形式の決定

プロジェクト初期に耐塩害性への有効な手立てを探るなかで、東京大学大学院工学系研究科建築学専攻建築材料研に助言を仰いだ(図4)。このことがきっかけで、同研究室に助言を仰ぎながら進めるといふ、プロジェクトのスタイルが始まった。

相談内容は、構造形式にW, S, RCのいずれを採用するのが良いか、というところからであった。友寄助教の懇切丁寧な解説で、各材料の長短や長所の

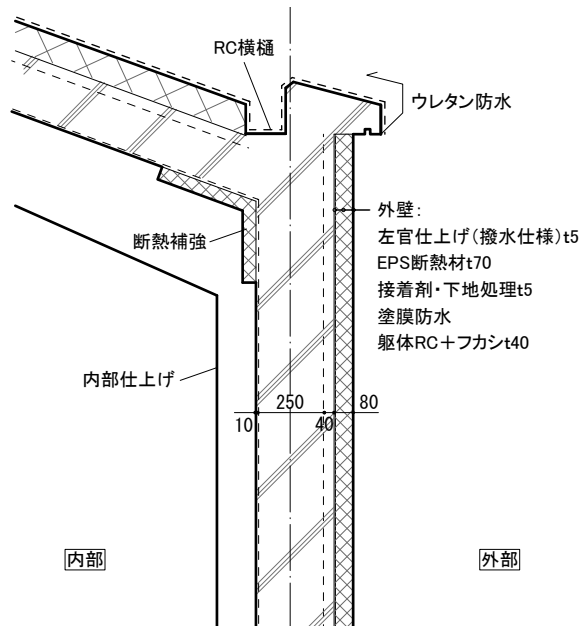


図3 建物躯体の外部側は仕上げ材およびフカシで保護

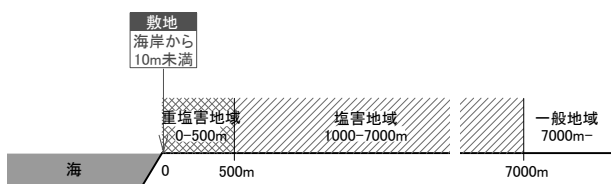


図4 日本海における重塩害・塩害地域

強化の仕方、短所の補い方についてご教授いただいた。

構造設計者の意見も交えて、各構造形式の特徴の整理をして施主と打合せを重ね、壁式鉄筋コンクリート造を採用することを決めた。重要視したのは耐塩害性と揺れや振動の少なさ、高級旅館としての快適な遮音性であった。なお、RC造の採用にさいしては、施主の見識が広く、良質なコンクリート現しの建築を体験してきたことも後押しした。お陰で施主、建築設計者、内装設計者の3者間で、コンクリート現し仕上げを積極的に意匠に活かそうという合意を、この時点から共有することができた。一方で同時に、施主からはRCへのポジティブな反応とともに、じめじめと湿気るのではないかと、あるいは、寒いのではないかと、印象として旅館に合うか等の懸念や不安の声も挙がった。空調換気設備や外断熱、意匠の工夫で解消するという提案を合わせることで合意に至った。

耐塩害性に優れるコンクリート仕様の検討

その後、実施設計を進めていた折に、光栄なことに全国生コンクリート工業組合連合会(以下、全生連と略)から奨励金をいただけることが決まった。すぐさま、この予算でコンクリートの性能を向上させるために、材料研究者、構造設計者、および施工者との打合せの場を持った。予算を睨みながら優れた仕様を目指して、費用対効果の高い選択肢とその組合せを絞っていった。野口教授や岡村代表もWeb会議にて一同に集まり、錚々たる顔ぶれであった。こうして、壁厚や鉄筋のかぶり厚さを大きくとることに加えて、普通ポルトランドセメント(以下、普通ポルトと略)に代えて高炉セメントB種(以下、高炉Bと略)を選択すること、および収縮低減剤を添加することが決まった。この決定にさいしては価格表等を参照し、予算も加味した判断であったため、これで仕様はほぼ決着したものほっと一息ついた。...のは、ほんの束の間のことだった。

実務的課題とその中での新たな取組み

後日施工者から上がってきた見積りには、普通ポルトと高炉Bとの単価の差および収縮低減剤代以外に、この変更に伴うさまざまな追加費用がかさんでいた。地域で定められているという圧送費への追加費用や、洗浄費用、適用する温度補正值が変わりAE減水剤から高性能AE減水剤に変更になるためその差額、および試験練り代。つまり、予算オーバーであった。しかも、高炉Bの方が普通ポルトに比べて強度発現まで時間がかかりやすく、脱型が遅れる可能性があるため、スケジュール的にも高炉Bを建物全体には採用できないのではないかと懸念まで浮上した。すでに着工している状況で、管理・監理と減額調整と計画変更を抱えており、施工者も設計者も手一杯のなか、さらにわずかであっても調整事項が発生するのでは各員の負担も少なくなかった。

ここで、現場所長の下川さんも生コン工場長の岩上さんも、野口先生も友寄さんも構造設計者の岡村

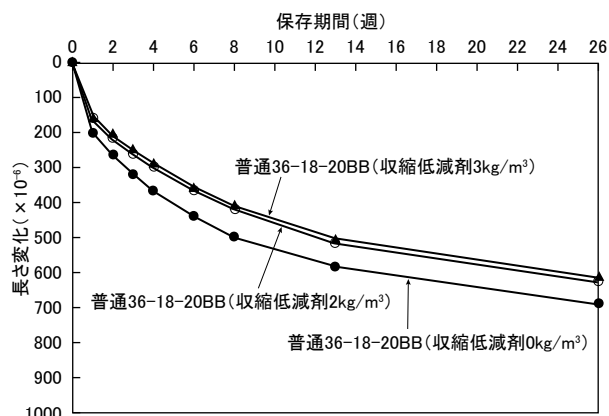


図5 収縮低減剤量を検討した長さ試験結果

代表も担当者の小南さんも好意的に粘り強く尽力してくださったお陰で、調整は前進した。材料研究者に減額打合せにまで出席していただき、多くの貴重な助言を得た。例えば、温度補正值は設計者に依る適正な判断に基づいてよく、必ずしも地域で設定されている期間通りでなくてもよい、といったことも指摘されて初めて知ったことであった。お陰で当初通りAE減水剤で充分となりコスト増を抑えられた。収縮低減剤の量についても、試験練り後に収縮低減効果の結果を見てから決定することで、コストパフォーマンスの良い量を見極める方針をとった。この試験練りは化学混和剤協会にご協力をいただき、現地にまでお越しいただいての実施であった。ちょうどJASS 5改定案に具体的な数値が示されたことから、性能は高ければ高いほど良いという定性的な判断を脱して、低収縮等級1を目標値とした定量的な判断を下すことに切り替えられた。収縮低減について明瞭な一線が引かれ、それ以上の性能は追わずにその分の費用は別項目に回すという決断をすることができた(図5)。

スケジュール遅延への懸念に対処する手段としては、累積温度で強度を判断する方法、および、その方法が告示によって認められていることをご教授いただいた。日々強度の確認ができるため管理がしやすくなること、また、コア試験のやり直しを防ぐことを期待した。型枠温度センサーメーカーにご協力いただけることが決まり、不安が軽減されることとなった(写真10)。



写真10 型枠に設置された温度センサー(矢印)

こうした一つひとつの地道な取組みにまで専門家に関わっていただいたことで、コンクリートの仕様向上を頓挫させることなく実現できた。また結果的に、雪の影響で工期に遅れが生じて地上部分の打設日程が当初予定より後ろにずれたこと、例年より温暖であったこと、収縮低減剤が少ない量で目標値を達成したことも幸いした。

現場での積み重ね

現場段階では、施工者、構造設計者、材料研究者と連絡を取合いながら進めた。躯体の監理において、普通ポルトと異なる部分なども構造設計者が丹念に指示をし、施工者が着実に実行した。その結果、半年経ってもクラックがほぼなく、肌理の細かいコンクリートに仕上がった。現場施工の割合が高いRC造で現しが多い場合はなおのこと、現場の熱意や丹念さに支えられていることを実感した。

余談ではあるが、このプロジェクトを機に、別の現場でも仕様を変更して施工したそうである。また、後日、このプロジェクトの担当者以外も参加して、構造設計者(および意匠設計者)と材料研究者との意見交換会が催された。今回の取組みが早速拡がりを見せていることを光榮に思う。

今後に向けて

こうして振り返ると、折々に多くの方々にご尽力いただいてプロジェクトが進んできた。建築プロジェクトに大勢が関わることは常であるが、特に今

回は材料研究者に参画していただけたことが大きかった。大学で建築材料学を受講して以来、実務に就いてからは材料研究者の話を伺う機会はなかった。他の設計者も似たような状況だとしたら、もったいないことだと思う。こうした協働の取組みが広がっていけば、その場所その建築ごとによりよいものが実現されていくことと思う。素材に対する関心も高まっている昨今、建築材料分野を絡めた面白い試みや堅実な取組みが続くことを期待する。

[中河西菜々子]

望洋樓の構造

過酷な環境における構造をどう作ったか

望洋樓の計画の話聞いたときに、すぐに海っぺりの崖にたつ建物がとても過酷な環境にあることを理解してその対策が第一と考えた。これまでもいくつか海辺の建築に携わったことがあり海浜部の構造体の塩害対策がいかに重要かということはわかってはいたが、それに比べても望洋樓の環境は強烈であった。冬に現地を調査しに行くと、荒れた天気で建物に波しぶきが直接かかり、まさに建物が潮で洗われる光景に驚嘆した。

そのような環境でどんな構造が良いか。もちろん、鉄筋コンクリートである。それも堅牢で重厚なシェルターのような構造がふさわしい。一方でこの計画は旅館(しかもとても著名な高級旅館)のリニューアルで国定公園内にあるためさまざまな制約があった。海への最大の眺望は必須であり、建物のボリュームも制約上大きくできないことから、コンパクトで海側に開いた堅牢なRC壁で構成される構造が適している。客室は可能な限り海側に開きたいため柱型を要さない耐力壁のみを客室間に配置した壁式構造として、山側のサービススペースを客室間の壁とは直交する閉じた壁の構造とすることで構造壁のバランスをとった。

最大の課題である塩害に対しては特別な対策をとるのではなくコンクリートを重厚にするという

単純で確実な対策を第一とし、具体的には壁厚を壁式構造で一般的な150~200mmを超えて250mmとし、外部は40mmの打増とした。壁厚を厚くすることで配筋が納まりやすくなり、無理な鉄筋の納まりがなくなることは、コンクリートの周りもよくなりジャンカの低減やクラックの抑止に総合的に繋がる。耐震的にも高い耐力を有する結果に繋がった。一方でJASS 5の「海水の作用を受けるコンクリート」に従い、コンクリート自体も塩害環境に有効である高炉セメントの使用を想定した。高炉セメントには強度発現の経過など注意する点もあるが、一般的にも使用されることから小規模な工事でも対策は有効と判断した。鉄筋については海洋土木工事などでは防錆効果に優れるエポキシ樹脂鉄筋が使われることがあるが、建築では建築基準法における指定建築材料でないことや、価格の面で相当な負担になることもあり一般の鉄筋を使用している。

鉄筋コンクリートにおける塩害対策は総合的な対策が重要だ。鉄骨造ではそれにあたるものは防錆塗装やメッキの仕様で決まるが、鉄筋コンクリート造はひとつの保護対策で対応できるものではなく、コンクリート、配筋、型枠、仕上材、水仕舞い、施工法などの総合的な対策により可能になる。

今回の計画でとても幸運だったのは野口先生、友寄先生を中心とする専門家と業界の支援体制があったことである。これにより普段は設計者と施工者の中でしかできない耐久性の確保の取り組みが、専門的先駆的知見を得られ遙かに進展し、小規模な建物であるが社会的な意義が実装された結果となった。このプロセスと結果をできるだけ公開できるとよいと思う。

[岡村 仁]

材料と設計の距離

世界最古の建築書と言われるローマ時代の建築家ウィトルウィウスが著した建築十書では、第一書でまずは建築家の職能などが総合的に述べられ、

続く第二書では材料について解説される。ローマコンクリートを始めとする材料と建築家の距離は今よりずっと近いものであったのだろう。東京帝国大学に建築材料研究室を立ち上げた濱田稔先生は、1931年初版の「建築材料学」を、「建築材料学の当時の水準を一応明らかにして、学生および一般の建築家を初めとし、材料メーカーの参考 に供した」と述べている。当時もまだまだコンクリートを含む材料と建築家は近い距離にあったことが読み取れる。

今では設計図書にFcとスランプを指定すれば、離島であればほぼ全国どんな現場にもJIS製品としてフレッシュコンクリートが届けられる。現場練りであった1930年代からすればめざましい技術の進歩であるが、同時に材料としてのコンクリートと建築家や構造設計者との距離は離れてしまったように思う。打放しにおける型枠合板の整った割付などは、コンクリートというよりも木材による表面のデザインと言える。

本プロジェクトでは、空間構想とKAPによる設計打合せをはじめ、田中建設、寺前生コンとの協議や現場定例会議に参加させて頂いた。コンクリートと設計の距離を近付けるために、要求性能や状況に合わせた選択肢およびその根拠を可能な限り提示することを心がけた。最終的には高炉セメントによる塩化物イオン浸透抵抗性の向上、収縮低減剤によるひび割れ予防、季節と打設部位を考慮した温度補正値の指定によるコスト削減、有効材齢法による脱型時期判定、などを設計者に採用して頂いた。

海の上に立つかのような敷地、過密配筋を避けた構造とかぶり厚さの設定、元々収縮が小さい良好なベースコンクリート、時に吹雪になる日本海側の冬季打設。特徴を数え上げればきりががないが、今回に限らず届けられる現場はどこも唯一無二である。たとえFc=24、スランプ18cmのJIS製品であったとしても、同じコンクリートはどこにもないし、ここにしかない仕立てであって欲しい。研究者としては、一度は離れてしまったコンクリー



写真11 天候の変わりやすい海風の中での施工

トと設計の距離がふたたび近づくことで、そんな Tailor Made Concreteが広まって、末長く人々に愛されるコンクリート構造物が増えることを願ってやまない。

[友寄 篤]

施工者の立場から

スケジュールはタイトであったが、まとまった予算がとれば、敷地環境は過酷であるから性能を上げるのは歓迎であった。

コンクリートの仕様を決めるために何度も打合せたり、長年現場監督をやってきて久々の試験練りに立合ったり、高炉Bは粘っこくて打回し時の流れが異なったり、壁式で躯体面積が大きくかつ入り組んだ平面のなかで連日打設後の散水養生を行ったり、普段と異なることも多かった。また、杉板型枠打放しの仕上がりには苦慮した。杉板型枠は水分を吸収し乾燥収縮が早く、打重ね時間を短くしないと仕上がりに影響してしまうが、壁式で設備スリーブが多く階高も高いなかでの打設は難易度が高かった。

塩害対策のためには、現場でもポンプ屋、打設屋、型枠屋、左官屋、設備業者等、関係する職工で集って、施工中できるだけ塩分を入れないように話し合った。もともと海に近いRC造は打設前に鉄筋の散水洗浄を行っていて、今回はよりこまめに洗浄を行った。生コン工場長に脱型後に毎回現場で仕上りを確認してもらい仕様を調整した。ひ

び割れ誘発目地は仕上げで隠れる個所にカッター目地を入れる程度で、打放しの躯体開口の周囲にも設けない納まりとしていたが、半年以上経っても隅からクラックが入ったのは微細な1個所だけにとどまっている(写真11)。

[田中建設 下川成一所長(談)]

生コン工場の立場から

近辺では建築で高炉Bを使ったり収縮低減剤を使ったりするのは、ほとんど初だと思う。RCの現し、しかも杉板型枠もあまり例がなかった。

脱型後には毎回現場に行って仕上りを確認した。地上部分の初回の打設は、肌理は細かいがあばたが目につく個所があった。念入りにバイブレーターを掛けたところほどあばたができていたことが分かった。そういった現場の状況を踏まえてメーカーとも相談しながら、空気量を調整したりスランプを少し硬めにしたりと微調整を行った。

仕様について、メーカーと直接やりとりするのも珍しかったし、野口先生のいらっしゃる打合せに出席したり、友寄先生と電話でやりとりしたりと、とても貴重なプロジェクトだった。全生連が動いてくれたということで、みんな頑張ろうという気運もあって、色々と挑戦することができた。

[寺前生コン(株) あわら工場 岩上義則工場長(談)]

建築設計：(株)空間構想 一級建築士事務所

設計協力：(株)Hokamura Design

内装設計：SH ARCHITECT & DESIGN

構造設計：(株)KAP

設備設計：(株)明野設備研究所

施工：田中建設(株)

生コン製造：寺前生コン(株) あわら工場

技術提案：東京大学大学院工学系研究科

建築学専攻建築材料研究室

協力：全国生コンクリート工業組合連合会(奨励金提供)

協力：(株)JUST.WILL(型枠温度センサー提供)

協力：化学混和剤協会(収縮低減剤に対する技術協力)

写真：藤本一貴，空間構想（特記以外）

炭酸化を受けたセメント系材料中のCO₂含有率評価に向けた分析方法の検討

安田 僚介 七澤 章 森 泰一郎

1. はじめに

2020年10月、政府が2050年カーボンニュートラルを宣言し、カーボンニュートラルに向けた取り組みが加速している。二酸化炭素(CO₂)の回収・有効利用・貯留(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage, 以下CCUS)技術の一種として、製造時にCO₂を強制的に吸収させたコンクリート製品¹⁾が実用化している。普及拡大に当っては、新たな付加価値となるセメント・コンクリートへ吸収・固定化されたCO₂量を適正に定量評価するための手法確立も必要である。

通常、セメントの水和反応によって、水酸化カルシウムやC-S-Hなどの水和物が生じる。セメント・コンクリート分野でのカーボンリサイクル技術

は、上記水和物などと反応させ、CaCO₃などの生成からCO₂排出量を削減している。セメント系材料中のCaCO₃由来のCO₂含有率(注：CO₂吸収・固定量に補正する前の値)は、一般に示差熱-熱重量同時分析(TG-DTA)でCaCO₃の脱炭酸反応に相当する温度範囲での質量減少量をCO₂量と見なし、間接的に定量されることが多い。しかし、TG-DTA法ではCaCO₃以外の形態で存在するCO₂が正しく定量されていない恐れがある。例えば、TG-DTAでは700℃付近にCaCO₃由来の脱炭酸にともなうピークが見られる。それに対し、TG-MSクロマトグラムでは300-400℃からCO₂が検出される例²⁾がみられ、Gotoら³⁾は非晶質のケイ酸カルシウム炭酸水素塩が500℃未満の温度で脱炭酸を生じる可能性を示唆している。加えて、CaCO₃など炭酸塩の分解反応の温度範囲は研究者によって条件が異なることも多く、定量精度への影響も否定できない。そのため、固体試料燃焼装置を備えたTOC計によって無機炭素(IC)を測定し、CO₂含有率として定量する方法も提案されている^{4,5)}。

一方、主に海洋中の全炭酸濃度の測定手法として、クーロメーターが用いられている^{6,7)}。クーロメーターは、船上で短時間かつ高精度な測定を可能とするために開発された測定手法であり、酸により試料中の炭酸塩を分解させ、発生したCO₂を電量滴定法を利用して定量するため、理論上、CO₂含有率を精度良く定量できる^{1),8)}。セメント・コンクリート分

STUDY OF QUANTITATIVE EVALUATION METHOD OF CO₂ CONTENT IN CARBONATED CEMENTITIOUS MATERIALS
(by YASUDA Ryosuke et al.)



やすだ りょうすけ
デンカ(株)
青海工場 セメント・特混研究部



ななさわ あきら
同 上
先任研究員 博士(工学)



もり たいいちろう
同 上
グループリーダー 技術士(化学部門)

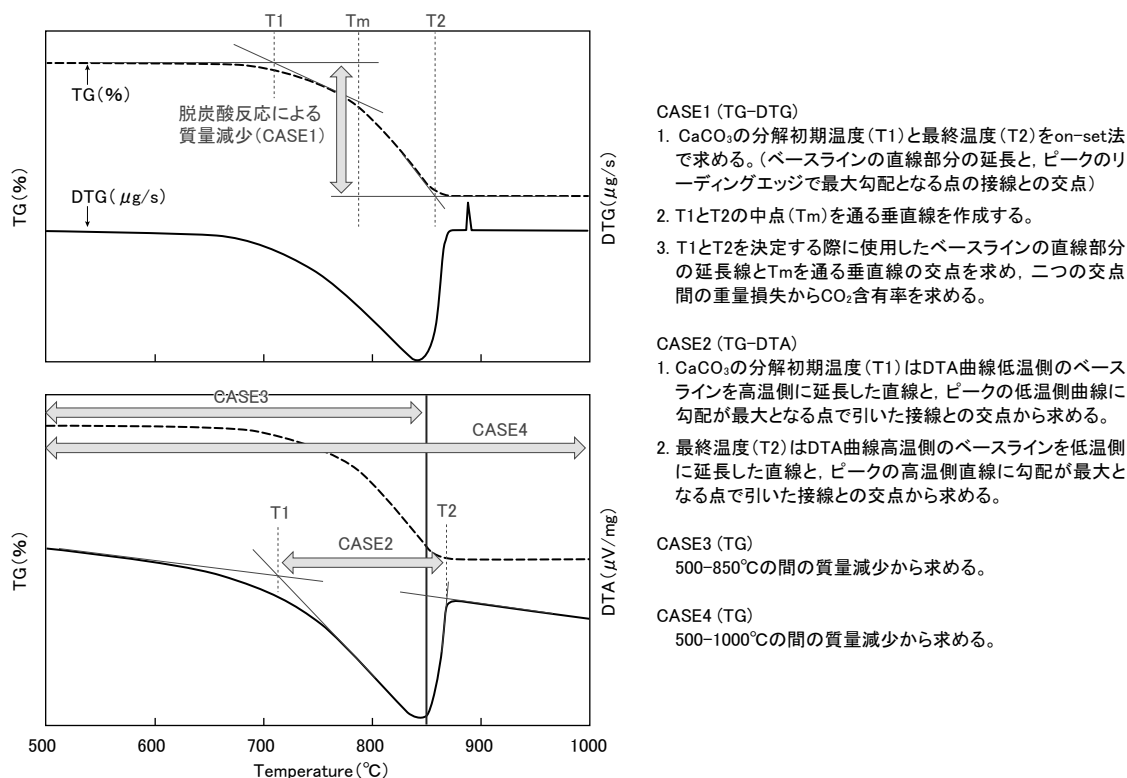


図1 TG-DTAを用いた各解析手段の概要

野では、樋口らがクーロメーターを用いて炭酸化処理させた膨張材の CO_2 含有率測定で検討を加えている⁹⁾。しかし、セメント系材料を対象とした CO_2 含有率測定において、TG-DTA法やTOC法との定量精度の比較について十分な検討がなされていない。

そこで著者は、炭酸化を受けたセメント系材料を対象に、クーロメーター法を用いた CO_2 含有率の定量評価を行うとともに、TG-DTA法との測定精度の比較検討を行った¹⁰⁾。

本稿では、さらに分析サンプル数を増やし、TOC法で分析した結果との比較、また、TG-DTA法における脱炭酸温度の範囲条件について報告する。

2. 分析方法の概要

2-1. TG-DTA法

TG-DTA(ネッチ・ジャパン(株)製, TG-DTA 2000SA型)を使用し、窒素雰囲気下(流量100ml/min), 昇温速度10℃/minで1000℃まで昇温の条件下で測定した。得られたTG-DTA曲線を基に、 CaCO_3 の脱炭酸反応由来の質量減少を求め、 CO_2 含有率を算出した。通常、TG-DTA曲線の解析では、

反応開始温度および終了温度を決定する際、TG曲線やTG曲線を微分した微分熱重量(DTG)曲線の接線から求める方法、DTA曲線の接線から求める方法、既往文献を参考に反応温度を決める方法など、いくつかの方法が採用されている。そこで、本検討では、脱炭酸反応による質量減少量を4つの手段(CASE1~CASE4)から比較・評価した。

CASE1はPanら¹¹⁾が提案するTG-DTG曲線を用いた定量手段、CASE2はDTA曲線の屈曲点より温度範囲を定める手段、CASE3はCASE1の手段から決定された MgCO_3 、および CaCO_3 の各分解温度範囲(500~630℃, 600~850℃)が含まれる500~850℃、CASE4はさらに高温領域まで拡大した500~1000℃とし、各温度範囲の質量減少量を CO_2 含有率とした。図1に各解析手段の詳細を示す。また、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の含有率については400~500℃の範囲の質量減少量から求めた。

2-2. クーロメーター法

クーロメーター法では、試料に塩酸を加えて、発生する CO_2 ガスを窒素キャリアガスでクーロメー



図2 クーロメーター(本体)

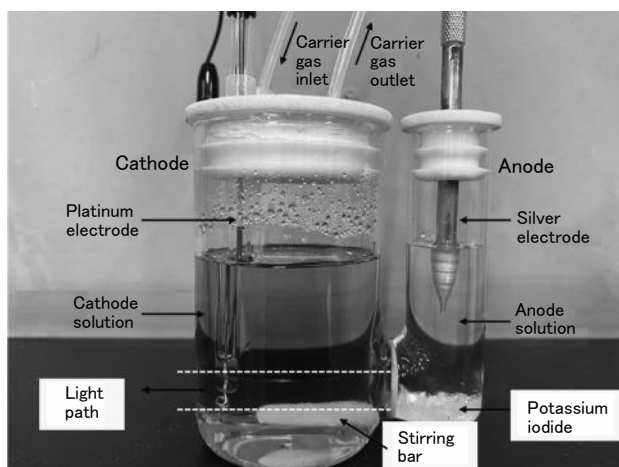


図3 クーロメーター(セル)

ター(日本アンス(株)製, 2000S-CAT型, 図2)内の吸収液へ導入させる(図3)。吸収液にはあらかじめ変色指示薬(チモールフタレイン)が含まれており, 吸収液のpH変化で黄色～青色へと変色する。この時, 光学検出器で吸収液の透過率をモニタリングしている。CO₂が吸収されると薄い青色へと変色し, 透過率が上がるため, 装置は透過率を下げるようにカソードからアノードにかけて電流が流れ, 水の電気分解により中和させるように働く。このような原理で, 一定時間内に流れた電流量からCO₂の総量を求めた。

2-3. TOC法

固体試料燃焼装置を備えたTOC計(株島津製作所製, TOC-L型, SSM-5000A型)を使用した。試料にリン酸を加えてpH3以下とした後, 200℃加熱により遊離したCO₂を非分散型赤外線吸収式検出器(NDIR)で測定した。

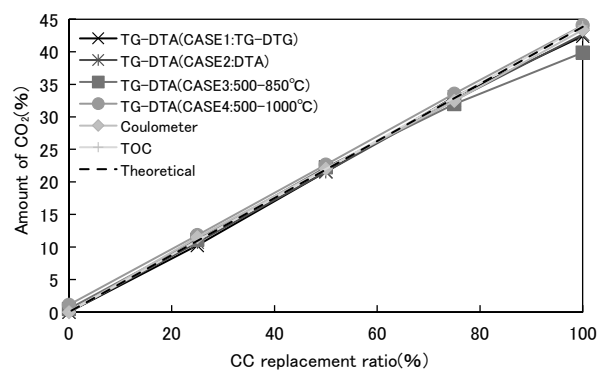


図4 CCとFAの混合試料のCO₂含有率(Series1)

3. 分析試料

各分析方法の比較のために, 3種類の分析試料を用いた。1つ目は, 炭酸カルシウム(CC)とフライアッシュⅡ種品(FA)の混合試料(Series1)であり, CO₂を含むCCと未燃カーボンを含むFAの単純系により, 未燃カーボンの燃焼が測定精度に及ぼす影響を検討した。2つ目は, CO₂吸収型コンクリートの配合を参考に, 高炉スラグ微粉末(BFS)やFAなどの混和材を添加したセメントペースト試料を炭酸化させたもの(Series2)であり, 種々の混和材の影響を検討した。3つ目は, CO₂と反応しやすい消石灰やダイカルシウムシリケートを混和材として使用し, 作製したセメントペースト試料を炭酸化させたもの(Series3)であり, TG-DTA法でのCO₂含有率の定量に影響を及ぼすことが懸念されるCa(OH)₂含有率や炭酸化の程度を調整した試料の評価を行った。

4. 各分析方法による測定値の比較

図4にCCとFAの混合比率を変えた試料に対して, 各分析方法でCO₂含有率を測定した結果を示す。TG-DTA法のCASE3を除き, 各分析方法による測定値は同程度の値を示すことがわかる。FA中には石炭の燃え残りである未燃カーボンが数%含まれるため, TG-DTAの加熱時に未燃カーボンが燃焼した場合, その際に生じる質量減少をCaCO₃の脱炭酸によるものとしてみなす恐れがある。しかし, CC置換率0%(=FAが100%)において, 各分析方法の測定値に差がないことから, 窒素雰囲気下でTG-DTA

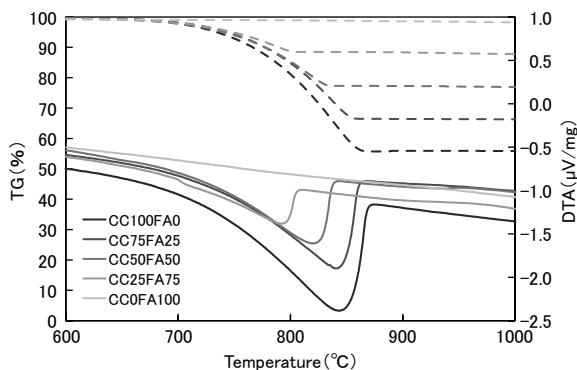


図5 CCとFAの混合試料のTG-DTA曲線(Series1)

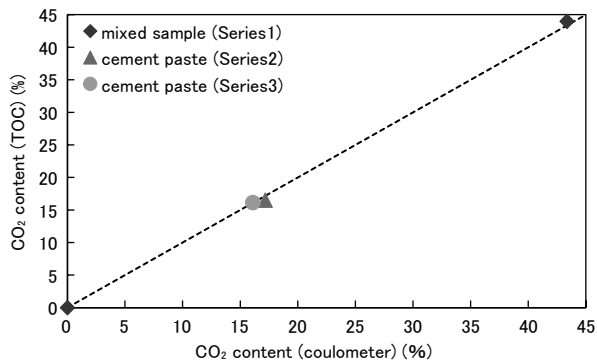


図6 TOC計とクーロメーターから求めたCO₂含有率の比較(Series1, 2, 3)

の測定を行った場合は、カーボンの燃焼の影響は小さいと考えられる。一方、TG-DTAのCASE3の手段でCC置換率100%の試料を測定した場合には、誤差が生じていることがわかる。TG-DTAの測定では、試料周囲のCO₂分圧の影響を受けて脱炭酸温度が変化することが知られており¹²⁾、図5に示すように、CCの割合が多くなるにつれて、脱炭酸由来の吸熱ピークが高温側にシフトしていくことが本試験のデータからも確認できる。したがって、CASE3では温度範囲の上限850℃を超えて脱炭酸反応が生じたゆえにCO₂含有率が過小評価されたと考えられる。

クーロメーターの測定精度について、既報¹⁾では炭酸カルシウムの試薬を測定した際、CO₂含有率の理論値43.97%に対して、測定値の平均(n=5)は43.95%、標準偏差0.076であると報告されており、測定値の信頼性は高いと考えられる。また、検討サンプル数は少ないが、TOC計による測定値と比較した場合も、ほぼ一対一で対応することが確認でき(図6)、本検討の範囲内では両測定方法による差は

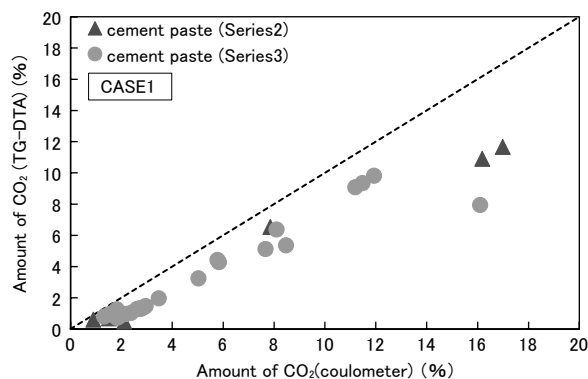


図7 TG-DTA(CASE1)とクーロメーターから求めたCO₂含有率の比較(Series2, 3)

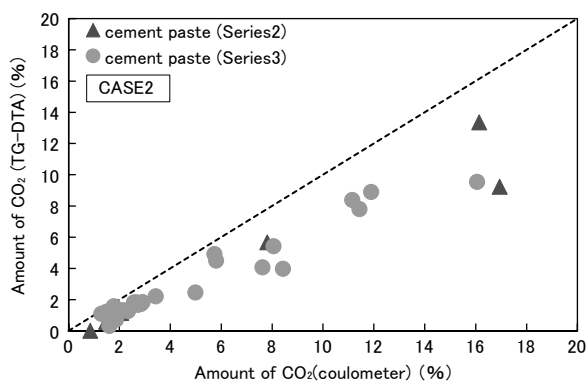


図8 TG-DTA(CASE2)とクーロメーターから求めたCO₂含有率の比較(Series2, 3)

小さいと考えられる。

5. TG-DTA法における脱炭酸温度の範囲条件

図7, 8に、同一サンプルをクーロメーター法から求めたCO₂含有率に対し、TG-DTA法(解析手段: CASE1またはCASE2)から求めたCO₂含有率をそれぞれプロットした散布図を示す。CASE1およびCASE2の条件下、TG-DTA法から求まるCO₂含有率は、クーロメーター法のCO₂含有率より低く定量された。両解析手段はTG-DTA曲線から作図により質量減少量を求めるため、分析者の熟練度に依存する部分がある。特にベースラインの取り方などが定量値に影響していることが懸念される。また、微小な吸熱ピークを正確に定量できないこと、さらにCaCO₃以外の形態で存在するCO₂分(ゲル状水和物に吸着されたCO₂など¹³⁾)を評価できず、結果、過小評価となった可能性がある。

図9にTG-DTA法(解析手段: CASE3)とクー

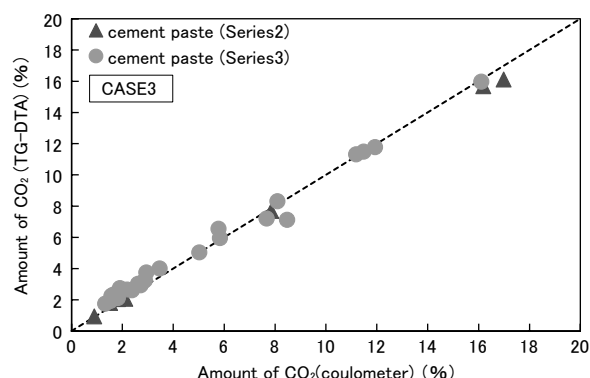


図9 TG-DTA(CASE3)とクーロメーターから求めたCO₂含有率の比較(Series2, 3)

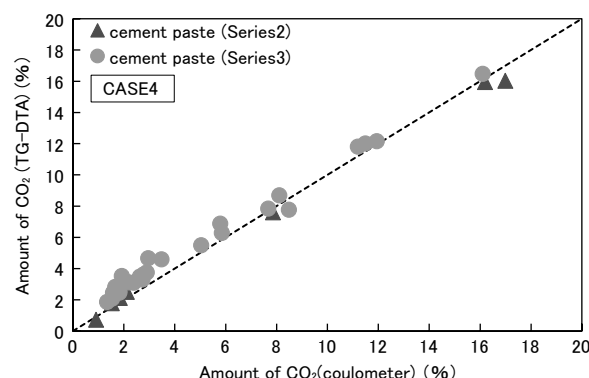


図10 TG-DTA(CASE4)とクーロメーターから求めたCO₂含有率の比較(Series2, 3)

ロメーター法から求めたCO₂含有率の関係を示す。CASE3では、TG-DTA法とクーロメーター法のCO₂含有率が一対一で対応していた。CASE3だと前述のCO₂分圧の影響を受け、図4にみられるようなCO₂含有率40%程度での他の手法による測定値との乖離が生じることが懸念される。Huntzingerら¹⁴⁾の計算式を用いて、セメントの化学組成から求まる理論的に固定可能なCO₂量を計算すると、CO₂含有率としては約34%に留まる。水和試料の場合、水和物中に固定された水分量が増えてさらに小さい値となることから、一般的なセメントペースト試料であればCO₂分圧が測定精度に及ぼす影響は小さいと考えられる。ただし、Caを多量に含有する混和材使用時や石灰石微粉などはその限りではなく、測定対象によっては解析手段に留意する必要がある。

図10にTG-DTA法(解析手段：CASE4)とクーロメーター法から求めたCO₂含有率の関係を示す。CASE4では、Series3の試料においてTG-DTA法のCO₂含有率はクーロメーター法のCO₂含有率より高く定量された。表1にTG-DTA法(CASE4)より求めたCO₂含有率(C_{CASE4})からクーロメーター法より求めたCO₂含有率(C_{Coulo})を差し引いた値を示す。これより、Series3の試料は平均値で0.75%、中央値で0.67%を示し、C_{CASE4}の方が大きく定量されていることが分かる。既往研究では、105~1000℃の間でケイ酸カルシウム水和物やアルミン酸カルシウム水和物などの脱水にともなう質量減少が継続的に生じると報告されており¹⁵⁾、CASE4では850~

表1 SeriesのC_{CASE4} - C_{Coulo}(%)の計算結果

	Average	Median	Max	Min
Series2	-0.15	-0.13	0.43	-1.09
Series3	0.75	0.67	1.75	-0.43

1000℃の範囲にある水和物の脱水による質量減少をCO₂として加算している可能性がある。これに対し、Series2の試料はC_{CASE4}とC_{Coulo}に大きな差は見られなかった。BFSは850℃以上に加熱するとBFS中のSやMnなどが酸化し、質量増加を生じる恐れがあることから、BFSを含む試料の強熱減量は850℃までの質量減少から求められることがある¹⁶⁾。また、井元ら¹⁷⁾は窒素流量100ml/min、昇温速度10℃/minの条件で熱分析を行った時、BFSの750~1000℃の質量は約0.4%増加することを報告している。そのため、本実験のSeries2では水和物の脱水による質量減少とBFSの酸化による質量増加が同時に生じたことが影響していると推測される。

6. Ca(OH)₂の含有率による誤差程度の検討

本試験の検討条件下では、TG-DTA法の中でもCASE3の条件がCO₂含有率を精度良く定量可能であることが確認された。しかし、TG-DTA法におけるCa(OH)₂の脱水温度が400~500℃とされるため、Ca(OH)₂を大量に含む水和試料ではCa(OH)₂の脱水反応による質量減少を脱炭酸で発生したCO₂として加算する恐れがあり、TG-DTA法での定量精度への影響が懸念される。そこで、Ca(OH)₂の

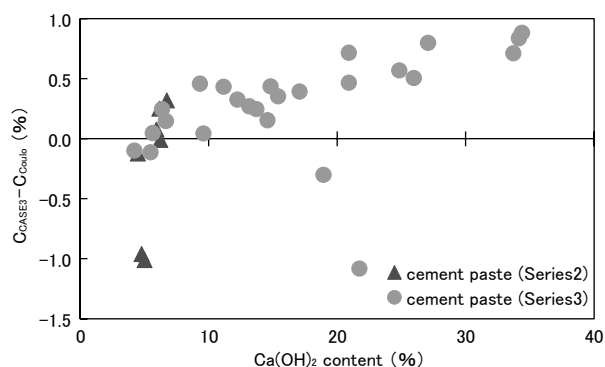


図11 $CC_{CASE3} - C_{Coulo}$ と $Ca(OH)_2$ 含有率の関係 (Series2, 3)

影響について評価するため、TG-DTA法(CASE3)より求めた CO_2 含有率(CC_{CASE3})からクーロメーター法より求めた CO_2 含有率(CC_{Coulo})を差し引いた値と、 $Ca(OH)_2$ 含有率の関係を図11に示す。数点の外れ値があるものの、 $Ca(OH)_2$ 含有率の増加に従って $CC_{CASE3} - C_{Coulo}$ の値も増加を示しており、TG-DTA法のCASE3では CO_2 含有率を過大評価していることがわかる。今回検討した範囲で最も誤差が大きく生じた試料の $CC_{CASE3} - C_{Coulo}$ の値は0.88%と絶対値としては小さいが、同じ試料の CC_{Coulo} の値は1.91%であるため、 CC_{Coulo} の値から5割近く大きく見積もられることとなる。セメント系材料では $Ca(OH)_2$ 含有率が大きい試料は、相対的に $CaCO_3$ 含有率が小さいと考えられるため、若材齢や未炭酸化領域の試料の CO_2 含有率の測定を行う際に、特に誤差が生じやすくなることを留意する必要がある。なお、外れ値について、原因は明らかではないが、 $500^\circ C$ 未満で脱炭酸が生じるとされる非晶質のケイ酸カルシウム炭酸水素塩³⁾などが生成され、 CC_{CASE3} の値が小さくなったと推察される。また、各分析方法を用いたセメント系材料の CO_2 含有率測定では、繰り返しの再現性に関する知見が乏しく、今後、更なるデータの蓄積が求められる。

7. おわりに

TG-DTAは CO_2 以外の物質の定量や、材料の熱挙動を確認・評価することもできる汎用性の高い分析手法である。一方、種々の材料が使用されるセメント・コンクリートの系では、物質ごとに分解・酸

化の温度が異なり、解析が複雑となりやすい。今回、 $Ca(OH)_2$ の影響を検討したが、その他にも $500 \sim 850^\circ C$ の付近で、質量増減を伴う反応を示す物質はあると考えられるため、 CO_2 含有率を評価する上で注意を要する。一方、TOCやクーロメーターなどは、酸によって分解された CO_2 を直接評価するため、使用材料に起因する誤差要因が少なく、かつ解析作業を伴わないため、測定者誤差を排除した測定が可能と考えられる。

本稿では、 CO_2 吸収・固定量の評価方法の確立に向けて、まずは既存の測定方法から CO_2 含有率に検討を加えて整理した。今後、増えることが予想されるセメント・コンクリート分野でのCCUS関連技術に対応すべく、並行して残留課題の解決を通じた評価手法の早期確立が必要である。本検討が手法確立に向けた一助に繋がれば幸いである。なお、本研究の実施に際し、デンカ(株)の下沢稔氏ほか関係各位のご協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) T. Higuchi et al./Development of a new ecological concrete with CO_2 emissions below zero, Construction and Building Materials, Vol. 67, pp. 338~343(2014)
- 2) セメント協会 セメント化学専門委員会/セメント硬化体の炭酸化, セメント・コンクリート, No. 574, pp. 26~32(1994)
- 3) S. Goto et al./Calcium Silicate Carbonation Products, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 78, Issue. 11, pp. 2867~2872(1995)
- 4) M. Morone et al./Valorization of steel slag by a combined carbonation and granulation treatment, Minerals Engineering, Vol. 59, pp. 82~90(2014)
- 5) P. Librandi et al./Carbonation of Steel Slag: Testing of the Wet Route in a Pilot-scale Reactor, Energy Procedia, Vol. 114, pp. 5381~5392(2017)
- 6) 石井雅男他/電量滴定法による海水中の全炭酸濃度の高精度分析および大気中の二酸化炭素と海水中の全炭酸の放射性炭素同位体比の測定, 気象研究所技術報告, 第41号, pp.7~23(2000)
- 7) 斉藤秀他/気象庁における全炭酸濃度・全アルカリ度観測, 測候時報, 第82巻, 特別号, pp.87~97(2015)
- 8) R. S. J. Weisburd et al./Methods for Measurement of Dissolved Inorganic Carbon in Natural Waters, Japanese Journal of Limnology, Vol. 56, No. 3, pp. 221~226(1995)
- 9) 樋口隆行他/膨張材の風化抵抗性におよぼす高温炭酸化処理の影響, 材料, Vol. 64, No. 7, pp. 579~584(2015)
- 10) 安田僚介他/炭酸化を受けたセメント系材料中の CO_2 含有率評価に向けた分析方法の検討, 第75回セメント技術大会学術講演要旨, pp.14~15(2021)
- 11) S. Y. Pan et al./Validating carbonation parameters of alkaline solid wastes via integrated thermal analyses: Principles and applications, Journal of Hazardous Materials, Vol.307, pp.253~262(2016)
- 12) 大塚良平他/天然産ドロマイトのDTA曲線, 石膏と石灰,

No.184, pp.131~137(1983)

13) 坂井悦郎他／低熱ポルトランドセメントの硬化体の炭酸化反応, 日本セラミック協会学術論文誌, Vol.107, No.1246, pp.561~566(1999)

14) D. N. Huntzinger et al./Mineral carbonation for carbon sequestration in cement kiln dust from waste piles, Journal of Hazardous Materials, Vol.168, Issue1, pp.31~37(2009)

15) B.K. Marsh, R.L. Day/Pozzolanic and cementitious

reactions of fly ash in blended cement pastes, Cement and Concrete Research, Vol.18, pp.301~310(1988)

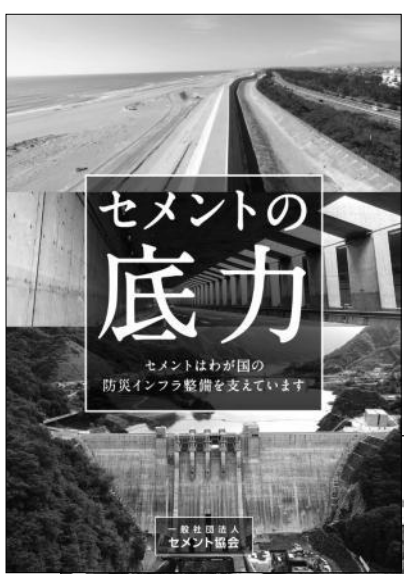
16) 近藤連一, 大沢栄也／高炉水砕スラグの定量およびセメント中のスラグの水和反応速度に関する研究, 窯業協会誌, Vol.77, pp.39~46(1969)

17) 井元晴丈他／示差走査熱量計(DSC)によるセメントの高炉水砕スラグ置換率の測定, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.29~34(2006)

・無料でお届けします

パンフレット・セメントの底力 新版

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。

セメント協会 広報部門
☎03-5200-5062



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・ご研究にどうぞご利用ください。

高硫酸塩スラグセメントの 強さ発現性向上に関する検討

吉田 友香 門田 浩史 山下 牧生

1. 気候変動と温室効果ガス

地球温暖化抑制の観点から、「2050年二酸化炭素(CO₂)排出量実質ゼロ(カーボンニュートラル)」の実現を目指す動きが世界的に加速している。これは日本国内でも同様であり、CO₂排出量の削減が急務となっている。日本のセメント産業は年間4300万t前後のCO₂を排出しており、国内産業部門では電力、鉄鋼、化学に次ぐ4番目の排出源となっている¹⁾。これは、主としてセメントの中間製品であるクリンカーの製造工程で、高温で原料を焼成するため多量の熱エネルギーを要することや、この工程で主原料である石灰石が脱炭酸するためである。

セメント産業におけるCO₂排出量削減の取組みとして、省エネルギー化、低温焼成、CO₂分離・回収・利用(CCU)およびセメント中のクリンカー比率の低減などが検討されている。図1に、クリンカー比率低減策として以下に紹介する各セメントのクリンカー使用比率のイメージを示す。

クリンカー比率低減対策の一つとして、普通ポルトランドセメント中の少量混合成分を現行の5%から10%に引き上げつつ、セメントの品質および廃棄物処理量を維持する検討がなされている²⁾。また、高炉セメントの用途拡大に向けて、亜硝酸カルシウ

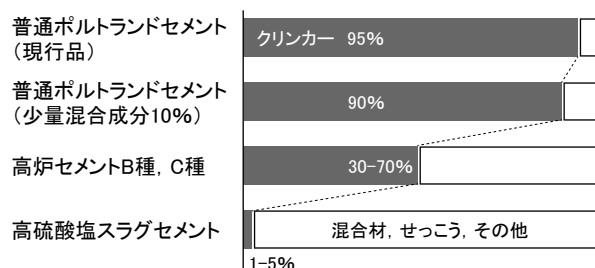


図1 各セメント中のクリンカー使用量のイメージ

ムなどの刺激剤により初期強さを増進させる研究が進められている^{3~5)}。

これらの研究は、技術的障壁が比較的低いが、CO₂削減量は最大年間300万tと見積もられており、CO₂削減率は約7%にとどまると考えられる(2018年ベース)⁶⁾。このことから、現在進められている普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントの低炭素化の実現は、短・中期的には極めて重要である一方で、より長期的には、クリンカー比率をさらに低めた汎用セメントの開発が重要になると考えられる。

クリンカー比率が極めて低い結合材として、高硫酸塩スラグセメントが挙げられる。高硫酸塩スラグセメントは、高炉スラグを主体とし、せっこうおよび1~5%程度の少量のポルトランドセメントなどのアルカリ性を与える物質からなる⁷⁾。高硫酸塩スラグセメントは硫酸塩や海水に対する化学抵抗に優れているが⁸⁾、初期強さが小さいといった問題からわ

Use of inorganic activators to improve the compressive strength of sulfated slag cement (by YOSHIDA Yuka et al.)

表1 刺激剤として使用した無機化合物

試 薬 名	化学式	溶解度(20℃) ¹²⁾
		(g/100g-H ₂ O)
塩化ナトリウム	NaCl	26.38
炭酸ナトリウム	Na ₂ CO ₃	18.1n
亜硝酸ナトリウム	NaNO ₂	44.9n
リン酸水素二ナトリウム十二水和物	Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O	n7.15
チオ硫酸ナトリウム五水和物	Na ₂ S ₂ O ₃ ・5H ₂ O	41.2n
リン酸三マグネシウム八水和物	Mg ₃ (PO ₄) ₂ ・8H ₂ O	難溶 ^{*1}
塩化マグネシウム	MgCl ₂	35.3n
炭酸マグネシウム	MgCO ₃	難溶 ^{*2}
硫酸マグネシウム七水和物	MgSO ₄ ・7H ₂ O	25.2n
塩化カルシウム	CaCl ₂	42.7n
炭酸カルシウム	CaCO ₃	n0.91
亜硝酸カルシウム一水和物	Ca(NO ₂) ₂ ・H ₂ O	43.6n

※ 1 : K_{sp} = 2 × 10⁻²⁷ (38℃) ※ 2 : K_{sp} = 2.7 × 10⁻⁵ (25℃)

が国では普及していない。初期強さ発現性の改善策として、比表面積の大きい高炉スラグ微粉末(比表面積約8000cm²/g)を使用した研究が行われている⁹⁾。わが国で高硫酸塩スラグセメントを汎用的なセメントとするためには、高炉スラグ微粉末の比表面積を4000～6000cm²/g程度として生産性を確保しつつ、材齢28日の圧縮強さを普通ポルトランドセメントと同等レベル(約60N/mm²)にする必要があると考えられる。

以上のことから著者らは、汎用可能な低炭素セメントの開発のために、高硫酸塩スラグセメントに亜硝酸カルシウムなどの無機化合物を刺激剤として添加することで、同セメントの実用的な生産性と強さ発現性を両立させる可能性を探った¹⁰⁾。

本稿では、高硫酸塩スラグセメントの強さ向上を目的とした刺激剤の検討について概要を紹介する。

2. 高硫酸塩スラグセメントに対する刺激剤の探索

基材となる高硫酸塩スラグセメントの配合は既往の研究^{9, 11)}、および予察試験結果を参考とし、普通ポルトランドセメント3%、高炉スラグ微粉末67%および天然Ⅱ型無水せっこう30%とした。高炉スラグ微粉末は比表面積5290cm²/gのものを使用した。表1に本研究で刺激剤として使用した無機化合物を

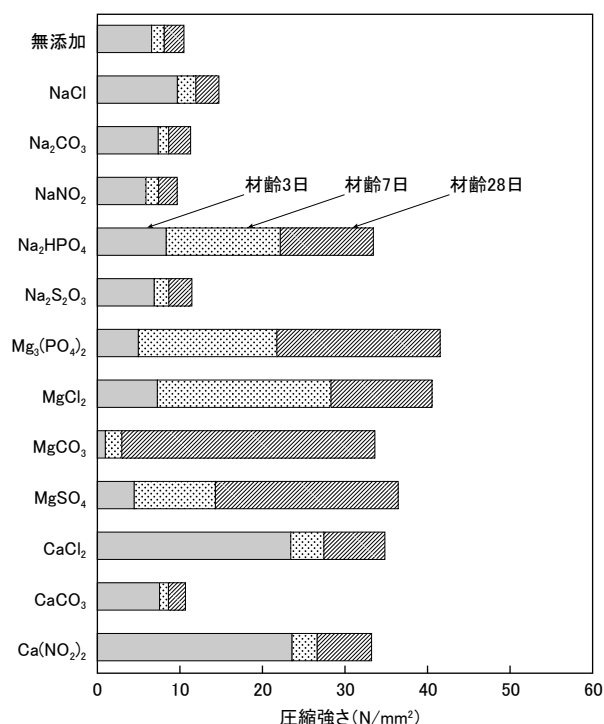


図2 刺激剤を添加した高硫酸塩スラグセメントの圧縮強さ

示す。なお、以下の本稿では、無機化合物名の水和数の記載を省略する。各刺激剤の添加量は内割で5%とした。

図2に各刺激剤を使用した高硫酸塩スラグセメントのJIS R 5201:2015による圧縮強さを示す。この結果より、リン酸水素二ナトリウム、リン酸三マグネシウム、塩化マグネシウム、炭酸マグネシウム、硫酸マグネシウム、塩化カルシウムおよび亜硝酸カルシウムに明らかな強さ増進効果が認められた。こ

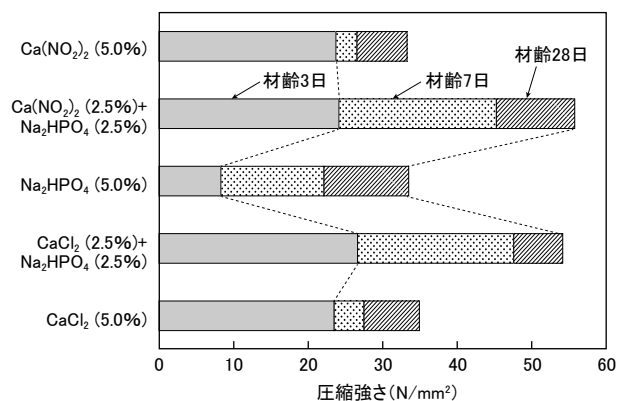


図3 二種類の刺激剤を組み合わせた高硫酸塩スラグセメントの圧縮強さ

の効果により、無添加では材齢28日の圧縮強さが10N/mm²程度であったものが、30~40N/mm²まで増加した。

ナトリウム塩を添加した場合、リン酸水素二ナトリウム以外は強さ増進効果がほとんど認められなかった。リン酸水素二ナトリウムのみには強さ増進効果が得られたのは、リン酸イオンまたはリン酸水素イオンによる作用と考えられる。一般にアパタイト以外のリン酸カルシウムは水溶液中においてpHを調整することで、アパタイトへ転化する傾向がある。本試験では、水溶液中のカルシウムイオンとリン酸イオン等が反応し、アパタイトが生成され、強さの増進に寄与したと推定される。

マグネシウム塩の場合、可溶性の化合物である塩化マグネシウムおよび硫酸マグネシウムに初期材齢で強さの増進効果がみられた。また、難溶性であるリン酸三マグネシウムおよび炭酸マグネシウムに中期材齢で強さの増進効果が認められた。

カルシウム塩の場合、難溶性の炭酸カルシウムでは強さ増進効果は認められず、可溶性の亜硝酸カルシウムおよび塩化カルシウムで初期材齢において明らかな効果が認められた。

アニオンに関しては、炭酸マグネシウムを除く、可溶性の塩化物イオン、炭酸イオン、亜硝酸イオン、リン酸イオンおよび硝酸イオンで効果が認められ、リン酸イオンを除けば、モノサルフェート系化合物を形成し得る点が共通する性質であった。

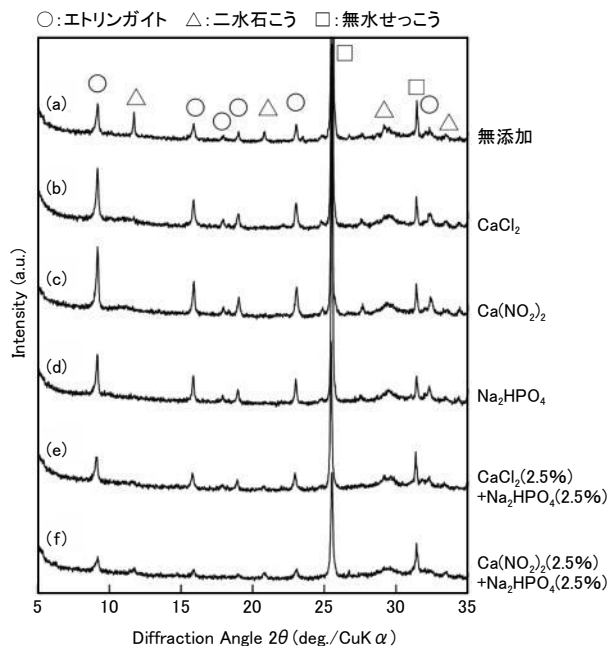


図4 材齢28日の硬化ペーストのX線回折パターン

3. 複数の刺激剤の組合わせ

無機化合物の刺激剤としての効果は、おのおの作用する材齢が異なることがわかった。そこで、早期および中期材齢に強さ増進効果のある刺激剤を組み合わせ、セメントの圧縮強さへの影響を検討した。なお、各刺激剤の添加量は内割で各2.5%ずつ、合計で5%とした。

図3に、相乗効果が認められた二種類の刺激剤を組み合わせた高硫酸塩スラグセメントの圧縮強さを示す。塩化カルシウムまたは亜硝酸カルシウムとリン酸水素二ナトリウムを組み合わせると、通常の普通ポルトランドセメントに近い材齢28日圧縮強さ(約55N/mm²)を得ることができた。

一方で、単独で使用した場合に中期材齢に強さ増進効果のあった塩化マグネシウム、炭酸マグネシウムまたは硫酸マグネシウムと早期に作用する塩化カルシウムまたは亜硝酸カルシウムを組み合わせただけの場合には、相乗効果は認められなかった。

4. 刺激剤を用いた高硫酸塩スラグセメントの水和物

図4に塩化カルシウム、亜硝酸カルシウムおよびリン酸水素二ナトリウムを単体で、もしくは、組み

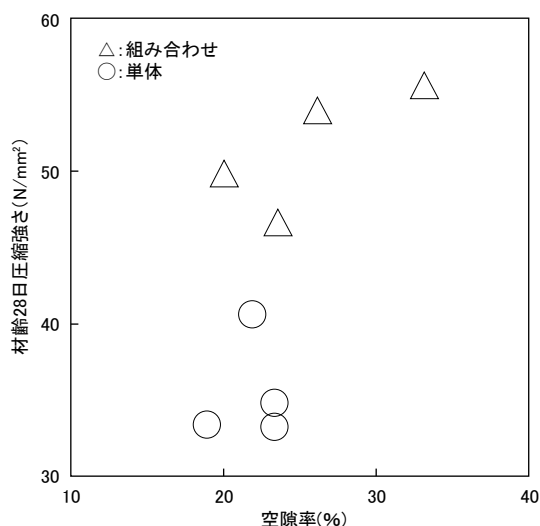


図5 材齢28日における硬化体の空隙率と圧縮強さの関係¹⁰⁾

合わせて刺激剤として用いた材齢28日の硬化ペーストのX線回折パターンを示す。同定された水和生成物は、エトリンガイト、二水せっこうおよび29-30°付近に見られるブロードな非晶質のC-S-Hのみであり、各種無機イオンを添加したことにより生成が想定される、フリーデル氏塩、または、亜硝酸型モノサルフェートのようなモノサルフェート系化合物、あるいは、アパタイトの回折線は確認できなかった。

図5および図6に、刺激剤を単体でまたは組み合わせた場合の材齢28日における硬化体の総細孔量および細孔径分布を示す。刺激剤を単体または組み合わせて使用しても、総細孔量に差は確認されなかった。このことから、総細孔量と強さには明確な関連性が認められなかった。しかし、細孔径分布に違いが確認された。単体で使用した場合、各試料における細孔径の最頻値は13~20nmであり、亜硝酸カルシウムが最も大きく、次いで塩化カルシウム、リン酸水素二ナトリウム、塩化マグネシウムの順であった。中期に作用する刺激剤を使用した場合は、早期に作用する刺激剤に比べ、細孔径の小さい空隙が多くなっていた。刺激剤を組み合わせた場合では各試料における細孔径の最頻値は8~13nmにあり、単体で使用した場合より細孔径が小さくなっていることが判明した。

以上より、作用材齢が異なる刺激剤を組み合わせることで、早期に作用する刺激剤が硬化体の大きな骨格を形成する水和物の生成に寄与し、中期以降

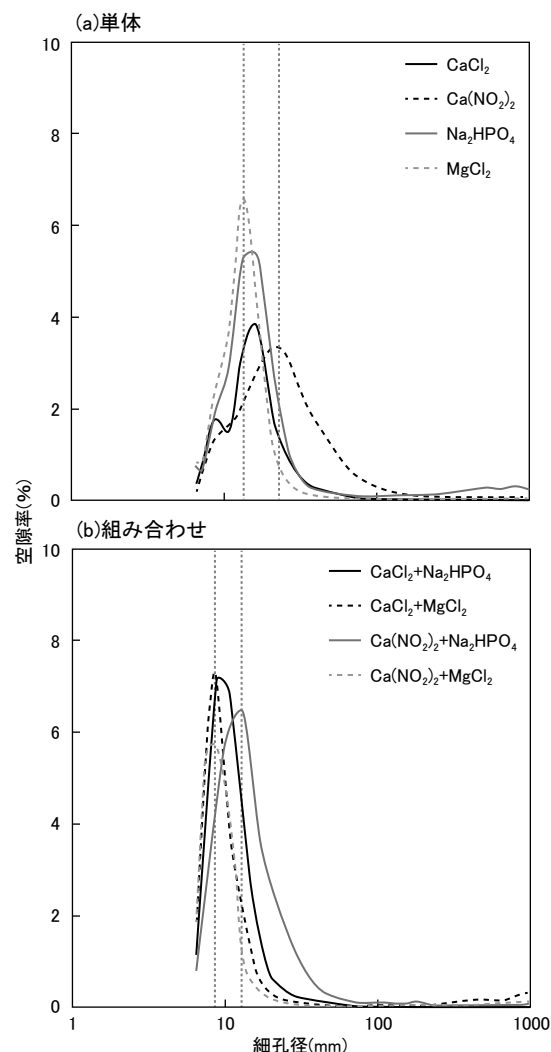


図6 材齢28日における硬化体の細孔径分布¹⁰⁾

に作用する刺激剤がその骨格のすき間を埋めるような水和物の生成に寄与することにより、硬化体の細孔径分布が緻密になり、強さが増進したと推定される。

今後は、非晶質のC-S-Hなど水和物の検討を含め、高硫酸塩スラグセメントの水和反応および強さの増進メカニズムの調査を継続したい。

5. おわりに

本稿では無機系化合物を刺激剤として用いた高硫酸塩スラグセメントの圧縮強さについて紹介した。使用した無機化合物の種類によっては、明らかな強さ増進効果が認められた。また、おのこの作用材齢に違いが認められた。早期材齢に作用する塩化カルシウムおよび亜硝酸カルシウムならびに中期材齢に作用するリン酸二水素ナトリウムを組み合わせることで、強さが相乗的に増進し、材齢28日圧縮強さを普通ポトラ

ンドセメントに近づけることができた。今後、配合の最適化などにより、普通ポルトランドセメントと同レベル以上の圧縮強さが得られる可能性がある。

一方で、本研究では刺激剤の作用機構がいまだ明確でないこと、耐久性など強さ以外の性状が不明であることなど検討事項も多い。また、実用化への課題として、セメントや刺激剤の配合量の制御が考えられる⁹⁾。

セメント産業におけるCO₂排出量削減への取組みの一つとして、高硫酸塩スラグセメントのようなクリンカー比率の低いセメントの開発が今後重要になると考えられる。



よしだ ゆか／三菱マテリアル(株)
セメント研究所



かどた ひろし／同上
九州工場 生産部



やました まきお／同上
セメント研究所 博士(工学)

【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, 発表資料, 2020年3月26日
- 2) 中口歩香, 森泰一郎, 黒川大亮, 松澤一輝／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの品質設計～その1 セメントの品質評価～, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.429～435, 2019
- 3) 坂井悦郎, 植田由紀子, 相川豊, 二戸信和／亜硝酸カルシウムを添加した高炉スラグ高含有セメントの水和, セメント・コンクリート論文集, Vol.71, pp.62～67, 2017
- 4) 大崎修也, 新大軌, 宋玄眞, 須藤裕司／高炉スラグの水和反応に及ぼす亜硝酸カルシウムの影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.44～51, 2017
- 5) 大松宏彰, 山田優也, 胡桃澤清文／無機塩類が高炉スラグ硬化体の強度発現に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.44～50, 2020
- 6) 門田浩史, 吉田友香, 松島正明, 下坂建一／脱炭素社会実現に向けたセメント系材料の国内研究動向, Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, pp.282～289, 2021
- 7) 坂井悦郎, 大門正幾編／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—, (株)セメント新聞社, pp.149～158, 2017
- 8) 金子優, 山畑雅之, 長英昭, 横室隆, 宮澤祐介, 磯文夫／高硫酸塩スラグセメントを用いたコンクリートの研究(第2報), 栃木県技術センター研究報告, No.12, pp.43～48, 2015
- 9) 横室隆, 宮澤祐介／高硫酸塩スラグセメントモルタルの基礎的性質について, 硫酸と工業, Vol.64, pp.139～144, 2011
- 10) 門田浩史, 吉田友香, 松島正明, 下坂建一／高硫酸塩スラグセメントの強さ発現性に対する無機系刺激剤の効果, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, 2021 (印刷中)
- 11) 魚本健人, 小林一輔／高炉スラグ・排煙脱硫石こう系セメントを用いたコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文報告集, No.302, pp.125～138, 1980
- 12) 日本化学会編／改訂3版 化学便覧 基礎編Ⅱ, pp.166～177, 丸善, 1984
- 13) 荒井康夫／改訂2版 セメントの材料化学, 大日本図書(株), pp.55～62, 1998

外国雑誌の 記事情報

アルカリシリカ反応に対する天然ポゾラン中のアルカリの働き

R. D. Kalina, ほか **ACI Materials Journal** 118 [3] 83～89(2021)

フライアッシュ(FA)等の混合材のアルカリシリカ反応(ASR)抑制効果は、促進モルタルバー法(ASTM C1567), もしくはコンクリートプリズム法(ASTM C1293)によって評価される。しかし、高アルカリのFA

では、これら2種の試験方法による評価結果が一致しないことがあるため、ASRのリスク低減について定めたASTM C1778では、FAの等価アルカリ量(R₂O)が4%を超える場合には、ASTM C1293による評価が推奨されている。本報告では、高アルカリの天然ポゾラン(NP)に着目し、2種のASR促進試験を実施して、FAとの違いを明らかにした。

NPとして、いずれもR₂Oを約7%含有する、軽石、ガラス質火山岩、ガラス質火山灰を使用した。ASR促進試験を実施したところ、いずれもASR抑制効果を示し、2種の試験法による評価結果が合致した。NPのR₂Oに対して、ASTM C311による水酸化カルシウム水溶液へ溶解するアルカリ(可溶性アルカリ)量の割合は、既報の高アルカリFAと比較して低かった。この要因として、NPでは、長石や雲母等の結晶相に多くのアルカリが含まれ、FAと比べると非晶質相に含まれるアルカリ量が少ないためと考えられた。

以上を踏まえ、NPは同程度の R_2O を含有するFAと異なり、可溶性アルカリの割合が低いため、2種のASR促進試験の評価結果が合致したと考察された。

Coplayセメント会社とAalborgキルン

Kimberly Waggle Kramer **Concrete International** 40 [11] 45～49(2018)

米国におけるセメントとキルンの歴史を紹介している。同国のセメント発祥の地は、ペンシルヴァニア州のLehigh Valleyである。そこに産出する粘土類を適度に含む石灰岩は、比較的低温で加熱して脱炭酸するだけで、天然のセメントになる。同地には、最盛期には40を超えるセメント製造会社があった。

米国内で製造された天然セメントが初めて使われたのは、1818～1829年のエリー運河の建設であった。工事技術者のCanvass Whiteは、英国における運河工事の最新技術を調査し、レンガとセメントモルタル目地が使用されていることを知った。エリー運河近くには粘土質石灰岩があり、Whiteはそれから製造した天然セメントを、運河工事に使用した。Whiteは1820年、天然セメント製造法の特許を取得し、その後もLehigh運河など、多くの運河工事においてコンサルタントや主力技術者として活躍した。

1850年代、Lehigh Valley鉄道の工事が本格化した。その頃、Lehigh川西岸のCoplay地区に、大規模な天然セメント岩石の露頭があり、後にCoplayセメント会社の社長となるDavid Oliver Saylorがそれに着目した。彼は少量のサンプルを自宅に持ち帰り、オープンやコーヒーマイルを用いた実験により、天然セメントを作れることを確認した。そして地元の有力者2人とともに、1866年にCoplayセメント会社を設立した。豊富な資源とそれらを輸送する鉄道と水運という地の利により、同社は順調に発展した。やがて、天然セメントに代わりポルトランドセメントの製造に取り組み、1875年にその成功を見た。このセメントは、米国独立宣言100周年を記念し1876年に開催された博覧会で、その品質の優良さを表彰された。これが追い風となり、同社のポルトランドセメントは、米国各地の著名な建設物の工事に使用されるようになった。

1882年、同社のキルンは17基に達していた。それらは日本でいうところの徳利窯であった。徳利窯はバッチ式であり、連続焼成はできない。同社は1892年の設備増強に際し、ドイツやデンマークのセメント会社を視察した上で、堅窯でありながら連続焼成のできるAalborgキルンを、米国で初めて導入した。類似のキルンとして、日本でもかつて使用されたディーチュキルンがあるが、それとの違いとしてAalborgキルンには、焼成域の内径を

絞り込んだ形状という特徴がある。それにより、下部から上昇するガスのベンチュリ効果により高温と高圧が得られ、かつ焼成される原料の降下が緩やかとなるため、乾燥や予熱が効率的に行われる。高温部の温度は1400℃を超えたといわれる。

同社のAalborgキルンは9基を数えたが、1904年より導入されたロータリーキルンに置き換えられてゆく。その後は長く、保管施設として使用された。その遺構は現在も、当地のSaylor公園に保存されており、1980年には国の史蹟に指定されている。

ジオポリマーコンクリート実用化への一歩 ラボ実験と現場試験施工

Faris Matalkah and Parviz Soroushian **Concrete International** 40 [8] 39～43(2018)

ジオポリマーはサステナブルな無機結合材として注目され、ラボレベルでの広範な研究が行われているが、現場試験はまだ少なく、特に施工において重要なレオロジーの知見は限定的である。本報告では、石炭フライアッシュをベースとし、アルカリ刺激剤として水酸化ナトリウムなどを、凝結遅延剤としてクエン酸を用いたジオポリマーコンクリートについて、ラボ実験により、養生方法による強度発現の違いや、クエン酸添加量が凝結や強度に及ぼす影響などを明らかにした。また、現場での試験施工により、スランプや長期強度など実用上重要な性能を評価した。それらの結果から、実用化のために今後解決すべき点が明らかとなった。

ラボ実験による材齢7日の圧縮強度は、室温養生では40MPa程度、80℃の蒸気養生では70MPaを超える結果であった。水中養生では、室温養生より14%ほど低い強度であった。蒸気養生により高い強度が得られることは、既往の報告と一致し、高温によりフライアッシュの溶解が促進されるためと考えられた。凝結時間は始発、終結ともに、フライアッシュに対し2.5%のクエン酸を添加することで約2倍に、さらに5%添加では約3倍になった。クエン酸添加による7日圧縮強度の低下は、2.5%添加では10%程度、5%添加では26%程度であった。

現場試験施工は2015年7月、ミシガン州立大学キャンパスの歩道で行われた。2.4×12m、厚さ150mmのコンクリートを打設した。配合はラボ実験と同じとしたが、流動性の経時低下が比較的大きかったため、元の水250kg/m³に対し75kg/m³の加水を行った。クエン酸はフライアッシュに対し2.5%を添加した。その場で測定したスランプは、平均75mmであった。作業者の感覚によると、ならし作業は通常のセメントを用いたコンクリートと比べ、やや労力がかかるようであった。既往の報告でも、ジオポリマーのペーストは通常のセメント

ペーストと比べ、粘性が高いことが明らかにされている。ただし、仕上げは特別な用具を用いずに行うことができた。現場で採取し室温養生したコンクリートの圧縮強度は、材齢7日では12MPaとラボ実験と比べて低かったが、これには加水が影響している。また28日では30MPa、120日では55MPaに達し、長期材齢での強度の伸長は、通常のセメントのコンクリートを凌ぐものであった。

今後はレオロジー性状の改善のため、適切な減水剤や粘性改質剤を選定し、使用することにより、ジオポリマーコンクリートの実用化にさらに近づくと考えられた。

2017年スラグセメント協会賞

Concrete International 40 [7] 31~35(2018)

米国スラグセメント協会(SCA)は毎年、スラグセメントを使用した優良かつ革新的なプロジェクトを表彰している。ソルトレークシティで開催されたACIの春季大会において、2017年の表彰対象が発表された。部門別の表彰であり、建築部門2件、耐久性部門1件、グリーンデザイン部門2件、高性能部門2件、革新的適用部門1件、持続可能性部門1件、合計で9件であった。本稿では9件すべてを紹介している。ここではそのうちの3件を選んで記す。

建築部門では、フロリダ州マイアミのパノラマビルディングが選ばれた。83階建ての複合ビルであり、住居を有するビルとしては、米国東海岸のニューヨークより南側では最高層である。99,400m³以上のスラグセメントコンクリートが使用された。基礎部のマスコンクリートでは、スラグセメントによる高強度と低水和熱が活かされた。

グリーンデザイン部門では、カリフォルニア州サンタクララのNVIDIAビルディングが選ばれた。上空から見ると三角形の印象的な形をした、地上2階のオフィススペースと、地下2階の1500台収容可能な駐車場からなるビルである。38,200m³以上のコンクリートが使用された。そのうちおよそ24,500m³には、50%が混和材で置換されたセメントが用いられ、さらにそのおよそ半分はスラグであった。

高性能部門では、オレゴン州ポートランドのSellwood橋が選ばれた。1925年に架けられた先代橋を架け替えたもので、長さは609mである。マスコンクリートには、水和熱低減のため、スラグ置換率50%のセメントが用いられた。また500から1000年周期で発生する巨大地震も考慮した設計がとられた。

ヘルメットの起源と変革

Luke M. Snell Concrete International 40 [7] 48

~49(2018)

今日では建設産業においてシンボルともいえるヘルメットであるが、その起源は戦場において兵士を守る保護帽であり、3000年以上の歴史があるといわれる。しかし1920~30年代の建設現場の写真には、ヘルメットを着用した作業員の姿はほとんど見られない。当時はまだ安全への意識が低く、ヘルメットの着用などは臆病者の行為として軽んじ、むしろそれを拒むことを美徳とする風潮があった。しかししだいに雇用者側において、現場での保護帽の必要性が認識されるようになった。米海軍は1917年、カリフォルニア州のE.D.Bullard社に特注品を発注した。布地と皮革で作られたそのヘルメットは1919年、Bullard Hard Boiledとして商標登録された。その後、他の産業からも、それぞれの仕様のヘルメットの特注が続出した。

建設現場において初めて、全作業員がヘルメットを着用できるようになったのが、1931~36年のフーバーダムの工事であった。最初に着用したのは、ケーブルに吊られて崖の岩を除去する作業員”high scallers”であった。彼らは、ヘルメットの布をタールに浸して天日干しすることにより、その保護作用が強化されることを見出し、自ら実践した。また初めてヘルメット着用が義務化された工事はゴールデンゲートブリッジ建設であり、落下するリベットから作業員を守るため、ヘルメット着用が必須とされた。

ヘルメットの素材は、保護効果強化のため鉄に、さらには快適性を求めてアルミニウム、ベークライト、ガラス繊維、プラスチックなどへと進化した。

近年はヘルメットの色も、何らかを表示する手段となっている。例えば白ヘルはマネージャーやエンジニア用とするケースが多い。ある会社では、外来者を識別するため(あるいは社員であっても、ヘルメットを忘れた者に対して、その戒めのため)、他とは異なる明るい色のヘルメットとしている。さらにはオーナーが女性の会社では、もはやこの業界が男性支配社会ではないというプライドの意味で、ピンクのヘルメットを使用している。

*

*

*

生産

(単位：千t, %)

種類	項目	21年		21年	
		10月	前年比	11月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,966	93.8	2,950	91.7
	早強・超早強	266	112	268	92.3
	中庸熱	56	78.2	83	94.7
	低熱	18	85.9	13	56.1
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	0	-
	小計	3,307	94.7	3,314	91.5
	小計	3,307	94.7	3,314	91.5
混合セメント	高炉	1,058	98.6	875	83.5
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	4	91.6	2	88.9
	その他	85	74	91	83.7
	小計	1,147	96.2	968	83.5
その他のセメント		15	79.4	7	84.9
計		4,469	95	4,298	89.6
輸出用クリンカ等		633	151.2	370	103.5
合計		5,101	99.6	4,660	90.6

販売

(単位：千t, %)

地区	21年			21年		
	10月	前年比	構成比	11月	前年比	構成比
北海道	201	90.6	5.8	170	92.7	4.9
東北	309	87.1	8.9	295	92.7	8.6
関東一	806	92.9	23.1	777	101.1	22.5
関東二	318	95.1	9.1	331	106.6	9.6
北陸	163	83.8	4.7	162	95.9	4.7
東海	400	98.7	11.5	411	104.1	11.9
近畿	474	98.1	13.6	483	108.2	14.0
四国	124	94.9	3.6	122	93.3	3.5
中国	209	89.2	6.0	212	100.8	6.2
九州	418	96.7	12.0	414	104.0	12.0
沖縄	66	78.8	1.9	70	92.3	2.0
計	3,488	93.2	100.0	3,447	101.2	100.0

※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

輸出

(単位：千t, %)

地域・仕向地	項目	21年	
		10月	11月
東南アジア	韓国	51	59
	中国	228	131
	台湾	36	18
	香港	154	120
	マカオ	0	0
	フィリピン	51	23
	シンガポール	155	186
	マレーシア	0	0
	ブルネイ	0	0
	バングラデシュ	0	0
	スリランカ	0	0
	小計	675	537
その他	大洋州	353	215
	中南米	49	50
	アフリカ	0	0
	小計	402	265
合計		1077	802

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/4/pdf/jj3h_06.pdf



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



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

セメント協会

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-9-4
 ☎03-5200-5053 ☎03-5200-5062

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。

セメント協会



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

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		国内	前年比	輸出	前年比	合計	前年比		前年比		前年比	前年比		
会計年度	2011	57,579	102.7	41,912	102.1	10,006	100.4	51,918	101.8	4,212	103.2	738	128.8	42,650	102.5	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	44,577	104.5	6,173
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,336	96.5	20	90.0	38,670	94.4	6,445
暦年度	2011	56,352	99.6	41,379	100.5	9,773	95.2	51,152	99.5	3,691	92.8	692	115.8	42,071	100.7	5,488
	2012	59,257	105.2	43,486	105.1	9,726	99.5	53,212	104.0	3,813	103.3	807	116.7	44,293	105.3	5,922
	2013	61,694	104.1	46,177	106.2	8,763	90.1	54,940	103.2	3,872	101.5	789	97.7	46,966	106.0	6,695
	2014	61,916	100.4	45,854	99.3	9,108	103.9	54,962	100.0	4,401	113.7	567	71.8	46,421	98.8	6,425
	2015	59,465	96.0	43,034	93.8	10,142	111.3	53,176	96.7	4,358	99.0	348	61.4	43,382	93.5	6,333
	2016	58,978	99.2	41,324	96.0	11,536	113.8	52,860	99.4	3,927	90.1	281	80.7	41,605	95.9	6,549
	2017	60,788	103.1	41,985	101.6	11,911	103.2	53,896	102.0	3,902	99.4	228	81.2	42,213	101.5	6,917
	2018	60,093	98.9	42,178	100.5	10,658	89.5	52,836	98.0	4,005	102.6	115	50.4	42,293	100.2	7,154
	2019	58,335	97.1	41,389	98.1	10,323	96.9	51,712	97.9	3,938	98.3	17	14.9	41,406	97.9	6,689
	2020	57,083	97.9	39,236	94.8	10,979	106.4	50,214	97.1	4,412	112.0	16	90.8	39,251	94.8	6,395
	2021	55,580	97.4	38,019	96.9	11,460	104.4	49,479	98.5	4,086	92.6	20	131.1	38,039	96.9	6,426
半 期	2019年度上	28,230	95.5	20,352	98.3	5,017	95.4	25,369	97.7	4,046	94.2	11	17.2	20,364	98.0	3,260
	下	29,905	97.5	20,595	94.5	5,515	107.9	26,111	97.0	4,492	101.0	11	45.1	20,606	94.4	3,349
	2020年度上	27,095	96.0	19,045	93.6	5,259	104.8	24,304	95.8	4,131	102.1	5	45.5	19,051	93.6	3,152
四 半 期	下	28,958	96.8	19,605	95.2	5,854	106.1	25,459	97.5	4,336	96.5	15	137.0	19,620	95.2	3,293
	2021年度上	27,343	100.9	18,690	98.1	5,705	108.5	24,395	100.4	4,117	99.7	5	100.4	18,696	98.1	3,167
	2019年度Ⅲ	15,492	96.5	10,964	93.5	2,759	107.7	13,723	96.1	3,938	98.3	6	23.3	10,970	93.4	1,877
	Ⅳ	14,413	98.6	9,631	95.6	2,756	108.2	12,387	98.2	4,492	101.0	5	—	9,636	95.7	1,472
	2020年度Ⅰ	13,061	94.4	9,398	93.7	2,391	102.6	11,789	95.4	4,144	96.5	0	—	9,398	93.7	1,621
	Ⅱ	14,034	97.5	9,648	93.5	2,868	106.7	12,516	96.2	4,131	102.1	5	90.8	9,653	93.4	1,531
	Ⅲ	15,575	100.5	10,559	96.3	2,963	107.4	13,523	98.5	4,412	112.0	5	89.6	10,564	96.3	1,771
	Ⅳ	13,383	92.9	9,045	93.9	2,891	104.9	11,936	96.4	4,336	96.5	10	187.5	9,055	94.0	1,522
	2021年度Ⅰ	13,466	103.1	9,224	98.2	2,859	119.6	12,083	102.5	4,069	98.2	0	—	9,224	98.2	1,650
	Ⅱ	13,877	98.9	9,466	98.1	2,846	99.2	12,312	98.4	4,117	99.7	5	100.4	9,472	98.1	1,516
	Ⅲ	14,854	95.4	10,283	97.4	2,865	96.7	13,148	97.2	4,086	92.6	5	103.9	10,288	97.4	1,737
月 度	2020年 1月	4,541	102.3	2,950	95.6	804	112.9	3,754	98.9	4,346	103.1	0	—	2,950	95.6	379
	2月	4,758	99.2	3,322	97.6	815	98.8	4,137	97.9	4,421	101.4	0	—	3,322	97.6	546
	3月	5,114	95.1	3,359	93.7	1,137	112.6	4,496	97.9	4,492	101.0	5	—	3,364	93.8	547
	4月	4,220	96.9	3,191	92.7	810	118.0	4,001	96.9	4,077	99.5	0	—	3,191	92.7	634
	5月	4,314	90.2	2,844	89.5	811	81.0	3,655	87.5	4,339	103.2	0	—	2,844	89.5	397
	6月	4,527	96.4	3,362	98.7	769	120.0	4,132	102.1	4,144	96.5	0	—	3,362	98.5	590
	7月	4,740	94.8	3,323	88.6	968	112.8	4,291	93.1	4,064	100.2	5	—	3,328	88.7	529
	8月	4,917	105.6	2,974	97.4	1,023	108.1	3,997	99.9	4,525	105.4	0	—	2,974	97.2	459
	9月	4,377	92.2	3,350	95.3	877	99.3	4,228	96.1	4,131	102.1	0	—	3,350	95.3	543
	10月	5,123	100.9	3,742	101.1	964	102.8	4,706	101.5	3,816	98.0	5	—	3,747	101.3	731
	11月	5,145	98.9	3,407	91.1	875	101.6	4,281	93.1	4,113	107.5	0	—	3,407	91.1	568
	12月	5,307	101.8	3,410	96.7	1,125	117.1	4,535	101.1	4,412	112.0	0	—	3,410	96.6	473
	2021年 1月	4,213	92.8	2,666	90.4	937	116.6	3,604	96.0	4,605	106.0	4	—	2,670	90.5	416
	2月	4,330	91.0	2,981	89.7	922	113.1	3,904	94.4	4,505	101.9	0	—	2,981	89.7	525
	3月	4,840	94.6	3,398	101.1	1,031	90.7	4,428	98.5	4,336	96.5	6	110.5	3,403	101.2	581
	4月	4,266	101.1	3,171	99.4	753	92.9	3,924	98.1	4,182	102.6	0	—	3,171	99.4	497
	5月	4,806	111.4	2,746	96.6	1,229	151.5	3,976	108.8	4,515	104.1	0	—	2,746	96.6	496
	6月	4,394	97.1	3,306	98.3	877	114.0	4,183	101.2	4,069	98.2	0	—	3,306	98.3	657
	7月	4,568	96.4	3,305	99.5	852	88.0	4,157	96.9	4,016	98.8	0	—	3,305	99.3	464
	8月	4,529	92.1	2,811	94.5	1,000	97.8	3,812	95.4	4,388	97.0	0	—	2,811	94.5	345
	9月	4,780	109.2	3,350	100.0	994	113.3	4,343	102.7	4,117	99.7	5	—	3,355	100.1	708
	10月	5,101	99.6	3,488	93.2	1,077	111.8	4,565	97.0	4,044	106.0	0	—	3,488	93.1	610
	11月	4,660	90.6	3,447	101.2	802	91.6	4,249	99.2	3,840	93.4	0	—	3,447	101.2	615
	12月	5,093	96.0	3,348	98.2	986	87.7	4,334	95.6	4,086	92.6	5	—	3,353	98.3	513
	2022年 1月	4,132	98.1	2,661	99.8	848	90.5	3,509	97.4	4,173	90.6	0	—	2,661	99.7	536
累 計	2021年4月～	46,329	98.8	31,635	98.0	9,418	102.8	41,052	99.1	4,173	90.6	10	73.2	31,645	98.0	5,440
	2022年1月～	4,132	98.1	2,661	99.8	848	90.5	3,509	97.4	4,173	90.6	0	—	2,661	99.7	536

主要建設工事・資材統計

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年度	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	
令和元年度	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11月	14,168	1,431	655	1,683	5,040	4,336	268	
12	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	

年月	建築着工(出典：国土交通省)									(単位：万㎡)
	統計	構造別						用途別		
		木造	鉄骨鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄骨造	コンクリートブロック造	その他	居住用	非居住用	
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	
令和元年度	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11月	937	452	29	150	300	0.4	5	600	337	
12	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	

※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	国の機関					
29年度	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	
令和元年度	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	—	
2年11月	9,564	6,486	1,782	1,895	1,454	6,111	3,452	5,626	170,235	
12	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	—	

※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年平均(C.Y.)	101.3	104.1	100.8	105.4	101.5	103.4	101.4	113.2	112.5	119	104.5	101
令和元年々々	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
令和元年度々々	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11月	99.8	104.2	104.3	112.7	110.2	103.1	106.8	110.2	105	116	108.7	103.1
12	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	122.7	104.8	115.5	111.4	173.4	108.5	145.7	140.9	152	112.4	102.1
11	108.9	123.6	104.8	115.9	112.8	173.1	108.5	150.9	145.3	156.1	113.4	101.9
12	108.9	123.8	104.8	116.2	110.9	172.4	108.5	152.7	146.4	159.4	113.8	102
4年1月	109.5	124	104.8	116.2	111.3	168.3	108.5	153.9	147	161.1	114.7	104.1

※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			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)	道路用コンクリート製品 (t)
	管 (t)	ボール (t)	パイプ (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11月	14,807	38,350	115,427	6,387	47,581	219,892
12	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

品目 年月	主要セメント製品出荷高Ⅱ(経済産業省調べ)			
	P C 製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
	はり・けた (t)	その他 (t)		
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11月	17,336	58,106	2,645	109,878
12	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

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

岸 和 博 三菱マテリアル(株)・上級顧問

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
植 田 厚 元 三菱マテリアル(株)・セメント事業カンパニー・セメント研究所・所長
内 田 俊 一 郎 太平洋セメント(株)中央研究所・第1研究部・副部長
河 村 浩 幸 宇部興産(株)・建設資材カンパニー・技術開発研究所・企画管理部・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・技術部会長(株)ピーエス三菱
岸 利 治 東京大学・生産技術研究所・教授
北 誥 昌 樹 東京工業大学・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・建設基盤技術センター・主席研究員

古 賀 裕 久 国立研究開発法人土木研究所・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 国立研究開発法人建築研究所・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・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・教授
平 田 隆 祥 (株)大林組・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 GCPケミカルズ(株)・技術部・R & D マネージャー
山 路 徹 国立研究開発法人港湾空港技術研究所・構造研究領域・領域長
黒 澤 功 (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
斎 藤 準 護 (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
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

4月号予告



JCAReport/福井県のポーラスコンクリート舗装供用20年調査結果

○コンクリート塊を活用した海洋資源開発の展開○シリカフューム混合セメントおよび普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの発錆限界の検討○報告/2021年福島県沖地震とコンクリート構造物○集成材とPC梁を一体化させた複合梁を適用した建築《T-WOOD®PC-BEAMの開発と適用》○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CO₂吸収固定○シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する 中性化○すいそう(河井徹) ほか

セメント・コンクリート No.901 3月号

2022(令和4)年3月10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
〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-9-4
日本橋本町一丁目KMビル7階
電話 03-5200-5051 (代表)
03-5200-5055 (広報部門/出版担当)
03-5200-5053 (図書販売)
FAX 03-5200-5062
振替貯金口座 00170-9-196803
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
印刷所 日経印刷(株)

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。

ホームページ

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

メールアドレス(出版担当)

e-mail: cemecon@jcassoc.or.jp

○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 ☎03-5200-5055へ ○セメント協会加盟会社の購読料は会費に含まれます。

第15回

北陸道路 舗装会議

期 間

令和4年

5月31日(火)～6月1日(水)

場 所

ANA
クラウンプラザホテル新潟

新潟市中央区万代5丁目11番20号

■記念講演 参加費 無料

●令和4年5月31日(火) 13:40～14:40

演 題 「働き方改革を成功させる意識改革と業務改革」

講演者 元 タカラ物流システム株式会社 代表取締役社長・会長 大谷 将 夫 氏

■報文発表 会議参加費 3,000円(学生 無料)

●令和4年5月31日(火) 14:50～17:30

●令和4年6月1日(水) 8:50～12:00

■パネルディスカッション 参加費 無料

●令和4年6月1日(水) 13:00～15:00

テーマ 「持続可能な社会へ向けた舗装業界のこれから」

～働き方改革、生産性向上、人材育成の現状と課題～

コーディネーター 石川工業高等専門学校 名誉教授 西澤 辰 男 氏

※本会議は、(一社)全国土木施工管理技士会連合会の継続学習制度(CPDS)認定会議です。学習履歴申請は主催者が行います。

申込方法

●申込方法につきましては下記ホームページをご覧ください。

北陸道路舗装会議 <https://hokuriku-hoso.com>

報文・技術資料申込期限：募集終了

参 加 申 込 期 限：令和4年 4月13日(水)

問い合わせ先

〒950-0917 新潟市中央区天神1-12-8 LEXN・B 7F

(一社)日本道路建設業協会北陸支部内・第15回北陸道路舗装会議事務局

TEL (025) 278-7810 FAX (025) 278-7825

<https://hokuriku-hoso.com>



主催：北陸道路舗装会議実行委員会

国土交通省北陸地方整備局、新潟県土木部、富山県土木部、石川県土木部

新潟市土木部、東日本高速道路(株)新潟支社、中日本高速道路(株)金沢支社

(一社)北陸地域づくり協会、(一財)新潟県建設技術センター

(一社)日本道路建設業協会北陸支部

1. 会議日程 令和4年5月31日(火)～令和4年6月1日(水)

月 日	会 議 内 容	時 間
5月31日(火)	受 付	12:00～
	開 会 式	13:00～13:30
	記 念 講 演	13:40～14:40
	報文発表 口頭発表 ポスターセッション発表	14:50～17:30
6月1日(水)	受 付	8:30～
	報文発表 口頭発表 ポスターセッション閲覧	8:50～12:00
	パネルディスカッション	13:00～15:00
	閉 会 式	15:10～15:40

2. 参加費

- (1) 会議参加費 (CD-ROM版報文集代含む) 3,000円
※学生の参加は無料といたします。
- (2) 記念講演・パネルディスカッションのみの参加については無料と致します。(資料は配布しません)

3. 報文発表

- (1) 発表は、口頭発表とポスターセッション発表が有ります。詳細はホームページの報文発表募集要領をご覧ください。
- (2) 申込期限 募集終了
- (3) 発表報文は、日本語でお願いいたします。

4. 技術資料

- (1) 道路舗装に関する工法、材料、機械器具等を個別紹介する技術資料を申し受けます。
詳細はホームページの投稿規定をご覧ください。
- (2) 申込期限 募集終了

5. 申込方法

- (1) 参加申込みは、ホームページから「参加申込書」をダウンロードのうえ、ホームページよりお申し込み下さい。
- (2) 申込期限 令和4年4月13日(水)

《ホームページ》
北陸道路舗装会議

<https://hokuriku-hoso.com>



6. 参加費の納入

- (1) 会費の参加費は、令和4年3月1日(火)～令和4年4月27日(水)までに下記口座へ振り込んで下さい。
※振り込み手数料は申込者のご負担でお願いします。

第四北越銀行白山支店

(普)1585927 第15回北陸道路舗装会議
事務局長 富樫 弘

- (2) 納入された参加費は、会議に欠席された場合でも返金されません。
ただし、会議案内・報文集・技術資料集(製本・CD-ROM版)は後日送付致します。

7. 参加券の送付

- (1) 参加券の送付は、参加費の納入確認後に事務局から送付いたします。
- (2) 参加券は、会議当日受付で提示して下さい。
会議案内・報文集・技術資料(製本・CD-ROM版)をお渡しいたします。

事務局

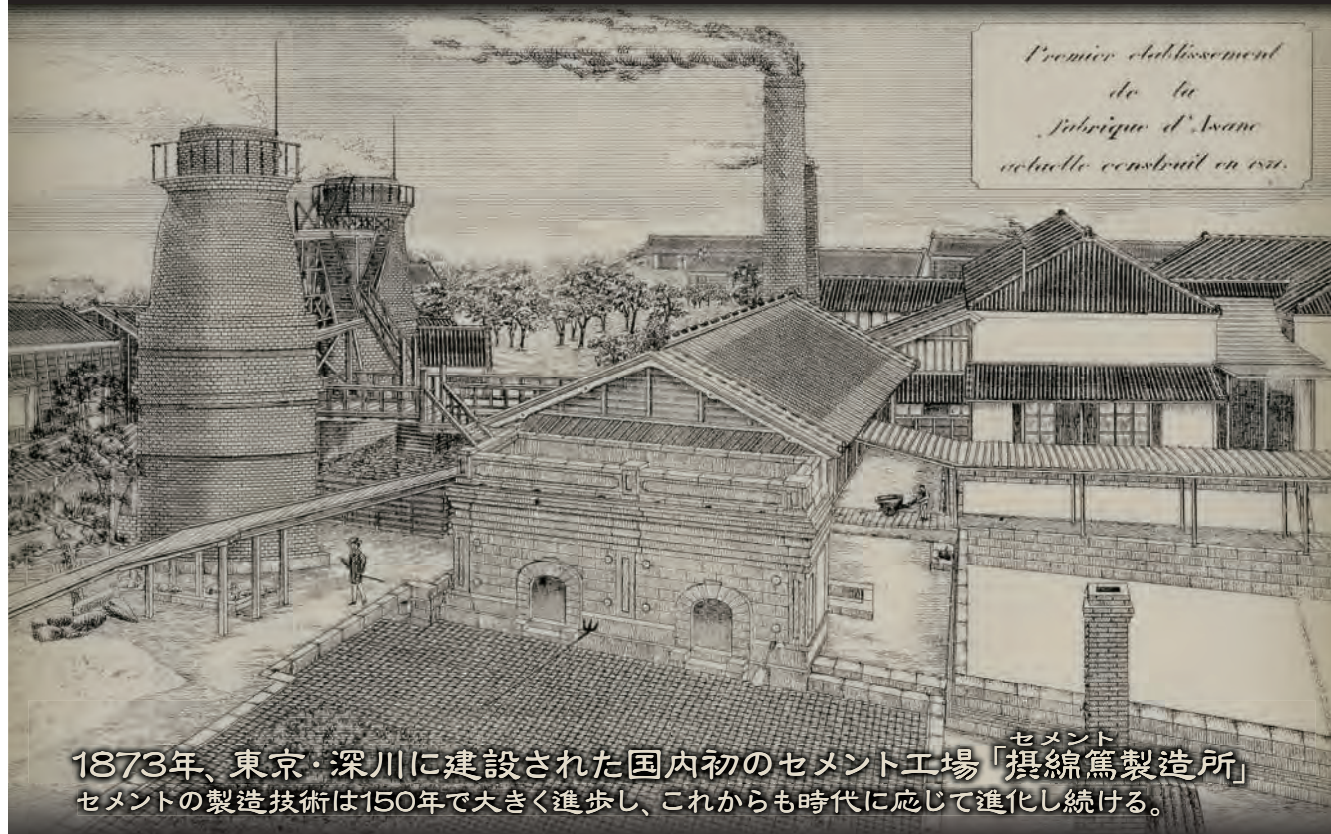
〒950-0917 新潟市中央区天神1-12-8 LEXN・B 7F

(一社)日本道路建設業協会 北陸支部内 第15回北陸道路舗装会議事務局

TEL (025) 278-7810 FAX (025) 278-7825

<https://hokuriku-hoso.com>

THE ANNUAL MEETING OF CEMENT AND CONCRETE ENGINEERING



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/>