

CEMENT & CONCRETE

2023
No. 914

セメント・ コンクリート

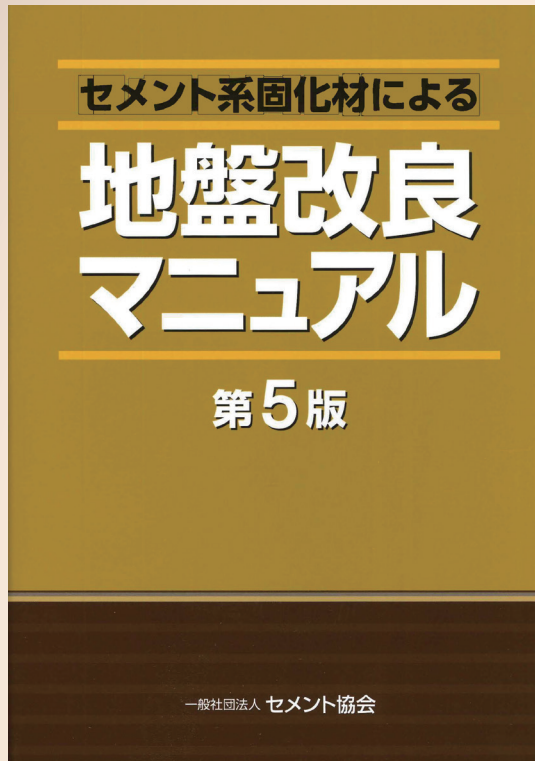
4

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和5年4月15日発行 ISSN0371-0718



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…

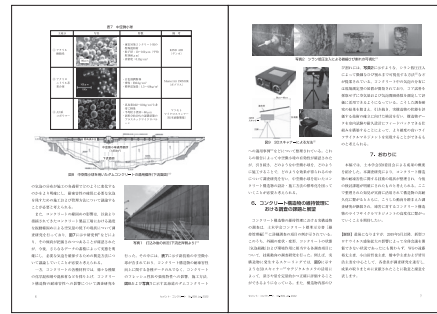
一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで

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

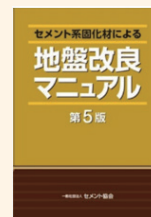


本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

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
- ・学協会の関連規格基準類の制定・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



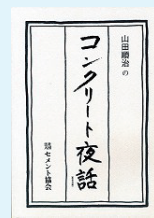
C3 クリップボード [コンクリート化学編]
 A4判 123頁 3,080円



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関り、送料は当協会に負担いたします。 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/>

ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO

ケミカルで社会インフラの発展を支える

KaO

きれいをここに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイテイ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

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

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー O2NL

減水剤(遅延形) ヤマソー R

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤 (耐寒促進剤 タイプ) ヤマソー ウィン

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

AE減水剤 (高機能・高保持タイプ) ヤマソー 22NEX

あした
明日へ繋げる

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

収縮低減剤 ヤマソー DS100

AE減水剤 (高機能タイプ・ブリーディング低減型) ヤマソー 16NB

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー O9NL

高性能AE減水剤 (収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020



 山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

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

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

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2023 No.914

4

もくじ

- 02 道路陥没・路面下空洞の実態とその対策としての充填材開発 … 桑野 玲子ほか
- 08 JCI/ コンクリートに用いる粉体系材料の
環境安全品質に関する研究委員会の活動とその成果 … 大迫 政浩ほか
- 16 コンクリート塊の再利用・現状と課題 … 黒田 泰弘
- 24 すいそう
冷や汗をかく話 … 二羽 淳一郎
- 26 コンクリートの「中性化」と強制的な「炭酸化」の違い … 取違 剛ほか
- 32 アルカリシリカ反応抑制技術の検討 … 中村 慶一郎ほか
- 38 寸思寸言
言葉によって幸せに… … 宮川 豊章
- 40 CO₂を吸着させた再生骨材利用の可能性
～カーボンニュートラル社会に向けて～ … 伊代田 岳史ほか
- 48 シリーズ/セメント系固化材 その特性と広がる可能性③
セメント改良技術の適用事例・浅層混合処理 … 山本 敏之ほか
- 56 TOPICS
建設3Dプリントに特化した産学連携デザインコンペ

15 HOT NEWS

55 セメント・コンクリート論文集 Vol.77
(2023年度)論文募集のご案内

58 外国雑誌の記事情報

60 EVENT GUIDE

63 セメント・データファイル

64 主要建設工事・資材統計

66 5月号予告



今月の表紙

建設3Dプリントで制作されたJR内
房線・太海駅のコンクリートベンチ
[千葉県/提供: 東京大学 建築材
料研究室]

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

道路陥没・路面下空洞の実態と その対策としての充填材開発

Development of filling materials as a countermeasure of road cave-ins and subsurface cavities

桑野 玲子 金城 瑞樹

1. はじめに

1-1. 道路陥没および路面下空洞の実態

1980年代以降、都市部を中心に道路陥没が頻発している。国土交通省のまとめ¹⁾によると近年の道路陥没発生件数は年間約1万件に及び、その要因は下水道などの道路占用物が1/3以上を占めている。また原因が特定できない場合も1/4～1/3程度と無視できない割合を占めている。都市の成熟に伴って埋設インフラが老朽化していること、さらに近年の気象の激甚化により頻発する豪雨なども、道路陥没問題を加速化していると言える。下水管路に起因する道路陥没は、**図1**に示すように年間3,000件程度発生し、地震によりその件数が増えることも確認されている。また、桑野ら(2010)³⁾、小池・瀬良(2012)⁴⁾は、陥没が降雨に深く関連すると報告している。

陥没は、地表の崩落という終局状態に至る前に、地中の土砂が亡失して空洞が生成するところから始まる。そこで、道路陥没対策の実務では、路面の下の空洞を地中レーダにより探査し補修することにより陥没を未然

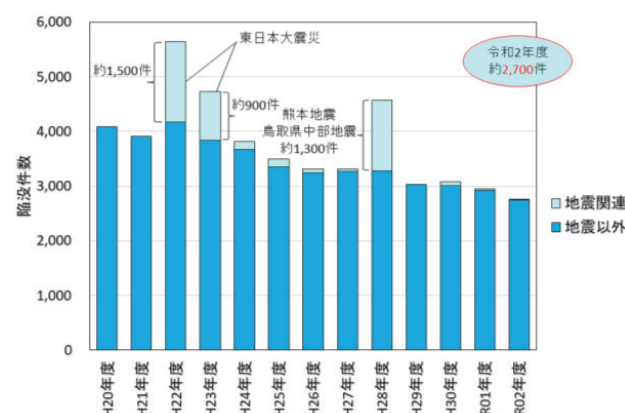


図1 近年の下水管起因の道路陥没件数²⁾

に防いでいる。路面下空洞の発生傾向について、小池・濱也(2017)⁵⁾が、道路延長10,091km(空洞数9,984箇所)の調査データ(2014・2015年度)を元に、国・道・府・県管理道路の空洞頻度(1kmあたりの空洞個数)を0.6、東京都・政令市や東京23区の管理道路では2.1、その他自治体の管理道路では1.4と報告している。国道・県道より市町村道の方が、下水管等の埋設インフラが多いため空洞頻度が高い。また、東京や政令市など大都市で頻度が高い。

1-2. 空洞・陥没問題における課題

陥没防止のためには、地中レーダ探査によって路面下空洞を探知し、補修などの対策を施すことが効果的であるが、その費用は空洞化の主要因である埋設インフラ老朽化や、近年の気象の激甚化に伴い今後さらなる増大が予想され、効率的かつ合理的な道路維持管



くわの れいこ / KUWANO Reiko
東京大学生産技術研究所
教授 PhD.



きんじょう みずき / KINJO Mizuki
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
主任研究員

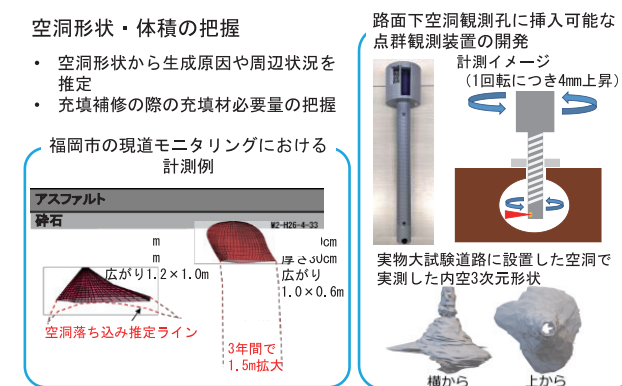


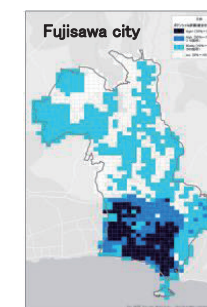
図2 路面下空洞の3次元計測

理システムの構築が喫緊の課題である。

空洞・陥没問題における技術的課題には、①地中の状態の把握が困難、②空洞の成長速度や陥没危険度が不明、③空洞特性に応じた適切な補修方法を合理的かつ効率的に選択できない、などがある。空洞の生成・進展メカニズムは、室内試験により経験的・定性的評価は可能であるが、空洞の成長速度や陥没危険度を実務に応用できるレベルで定量的に評価できる段階には至っていない。一方、道路管理の実務では空洞探査や補修が道路維持管理の一環として実施されているが、データの体系的蓄積・分析・有効活用は十分なされていると言ひ難い。そこで、国土交通省道路局が設置する新道路技術会議における技術研究開発制度により「道路構造及び空洞特性に適応した陥没危険度評価と合理的路面下空洞対策についての研究開発」(桑野ら⁶⁾)を実施し、前述の技術課題を解決するために以下のような成果を目指した。

- ① 空洞探査方法の整理／高度化
- ② 空洞生成の要因と拡大過程のメカニズムの解明
- ③ 陥没危険度の評価
- ④ 対策メニューの開発

本稿では、この産学共同研究にて提案した道路陥没ソリューションについて概説するとともに、対策メニューの一つとして開発した空洞充填用可塑性充填材の開発経緯について報告する。



空洞形成に影響する4つの支配要因
・下水合流式・1960～1980年代
・下水管取付管多い
・砂質土
・地下水位(参考)GL-3m以浅

ポテンシャル	要因	頻度 (/km) 陥没	空洞
High+	3因子以上	1.2	4.6
High	下水・砂質	0.7	2.4
Middle	上記以外	0.4	0.4
Low	なし	0.1	0.3

図3 空洞ポテンシャルマップの試作

2. 道路陥没ソリューションの提案

2-1. 空洞探査方法の整理と高度化

地下1.5mより浅い空洞を見つけるために、実務では車載型の地中レーダ探査が用いられている。車載型地中レーダによる探査精度は最近では的中率80%を超え信頼性が高く(徳永ら(2019)⁷⁾、濱也ら(2019)⁸⁾)、技術的にほぼ成熟していると言ってよい。ただし、適用深度は1.5m程度までに留まり浅層部の空洞探知に限られる。また、空洞天井部の深さや広がりは探知できるが空洞の厚さの情報は得られない。

現道の空洞モニタリングで路面下空洞の3次元形状の把握を試みたところ、空洞の生成環境や生成原因と形状に相関がみられることがわかった。そこで、路面下空洞観測孔に挿入可能な点群観測装置を開発した(**図2**)。これは、充填補修する場合の充填材必要量の把握にも活用できる。

さらに、既存の空洞・陥没データと周辺状況・環境条件を分析し、空洞のできやすさの指標(生成可能性)を地図上に表す空洞ポテンシャルマップを作成した。**図3**に神奈川県藤沢市の例を示す。下水管の経過年数や取り付け管の数、地盤条件などが空洞や陥没件数と深い関連があることがわかった。

2-2. 空洞の陥没危険度評価

図4に空洞生成・拡大の要因を示す。空洞ができやすい環境条件(素因)のもと、土砂の流出経路が確

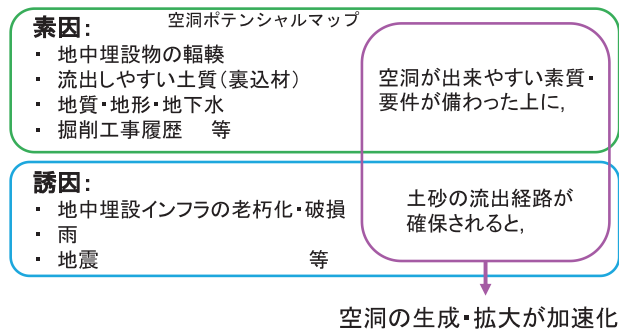


図4 空洞生成・拡大の要因

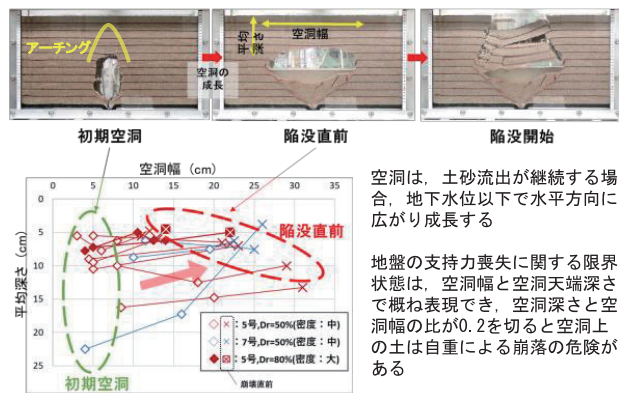


図5 空洞拡大メカニズムと陥没危険度

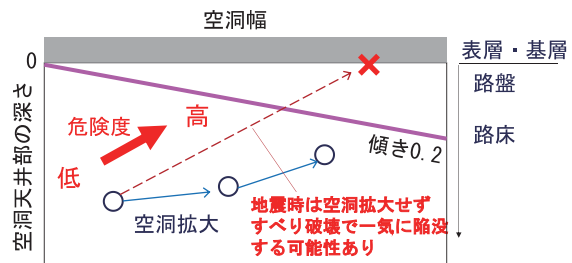


図7 陥没危険度評価

試験道路の概要

表層：
ストリートアスファルト
改質Ⅱ型
上層路盤：
粒調碎石
瀝青安定処理
モニタリング：
気象
路面温度
路面変位



試験体の構築

細礫詰め土嚢を路盤内に設置し舗装を敷設し、その後細礫を吸引し空洞生成
φ80×h10cmおよび80×40×h10cmの空洞を天井深さ10～35cmに1～3期で計51個設置

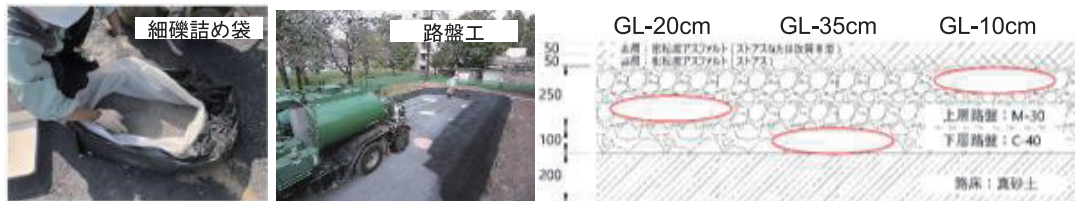


図6 実物大試験道路

保される(誘因)と空洞の生成・拡大が加速化する。空洞の陥没危険度を評価するためには空洞の拡大過程のメカニズムを知る必要がある。

土槽底部に下水管破損部を模擬した土砂の流出孔を設けた土砂流出実験を実施し、空洞の拡大過程を観察したところ、まず開口部直上に幅の狭い初期空洞ができて、土砂流出が継続する場合、地下水位以下で水平方向に空洞が広がり成長し、最終的に陥没に至ること(図5)、空洞の深さと幅の比が0.2を下回ると空洞上の土は自重による崩落の危険があることがわかった。また、実データと照合し、実際の空洞・陥没事例でも空洞深さと幅の比で陥没危険度をおおむね評価しうることを確認した。

一方、地震時には、通常では崩落しない幅の狭い初期空洞であっても、振動により空洞内へ側方の土がすべりおちるような形で破壊することが振動台模型実験で観察された。実際に、震度5以上の強い揺れを経験した箇所では、危険度の高い空洞の数、すなわち浅くて大きい空洞が増えることがこれまでの調査結果によりわかっている。深部の空洞が揺れによる局所破壊により浅部に上り空洞探査で顕在化すると思われる。

空洞の陥没危険度を評価するのに舗装の仕様なども考慮すること、陥没の限界値を評価することなどを目的に、埼玉大学構内に実物大試験道路を構築して各種試験を行った(図6)。長さ30m、幅6mの試験道路に径80cm程度の空洞を延べ51個設置した。空洞は細

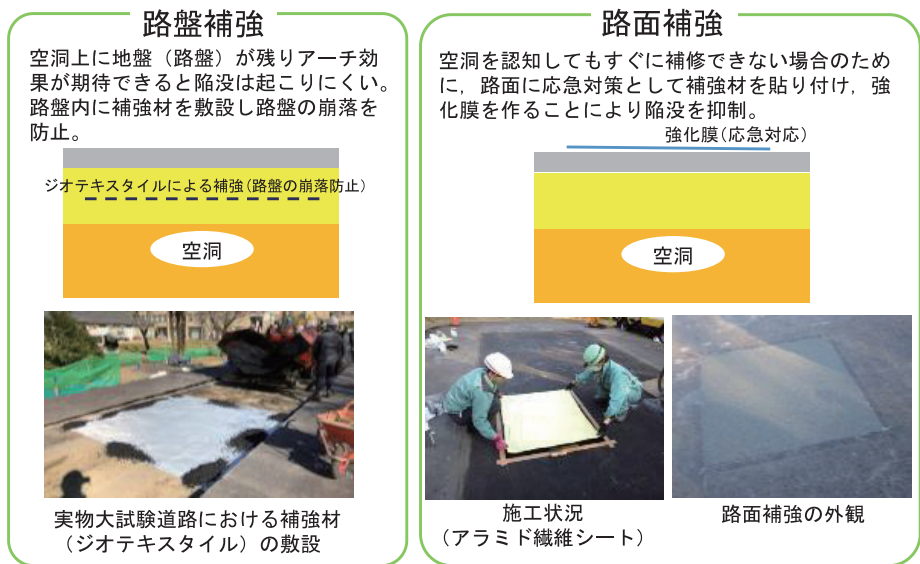


図8 舗装の補強方法の開発

礫を土嚢に詰めたものを路盤内に設置して舗装敷設し、その後削孔して細礫を吸引することにより作成した。気象、路面温度、路面変位のモニタリングを行ったところ、1年間のうち路面温度は-6～60℃で推移した。FWD試験、平板載荷試験による押し抜き試験を実施して陥没に至る過程と限界耐力を測定した。アスコン直下に空洞を設置したところでは、空洞作製直後から路面の沈下が進行し陥没に至った。陥没耐力に対して影響が最も大きかったのが、空洞の深さで、FWDたわみ量や平板載荷の沈下量は、空洞が深いほど変状が小さいことが確認された。また、路面温度の影響が顕著で、FWDにより最大たわみ量2000μmを超えるたわみを与えた後、陥没までの余寿命は、夏は日単位、他の季節は月単位であることがわかった。何種類かの舗装仕様で試験したところ、陥没に対する耐力は舗装構造にはあまり大きな影響を受けないものの、路面下空洞により路盤が侵食されると、路面陥没は時間の問題であった。

これらのことから空洞の陥没危険度を評価したものを図7に示す。空洞の陥没危険度を空洞天井部の深さと空洞幅で評価することを提案した。このプロットで左下から右上になるにつれて危険度が高まる。空洞の成長パターンとして、通常は水平方向に移動していく、地震があると空洞幅拡大の履歴を取らずに路面陥没に至る可能性がある。ここでは舗装厚さを除外した値を深さとするのが妥当である。

2-3. 対策メニューの提案

陥没危険度が高い場合は、早期に開削埋戻しなどの確実な補修を必要とする。一方危険度が低い場合は経過観察などの対応も考えられる。本研究では、危険度に応じた対策メニューとして、空洞充填、および路面補強・路盤補強を検討・提案した(図8)。路面補強は、空洞を認知してもすぐに補修できない場合のために、路面に緊急対策として補強材を貼り付け、強化膜を作るこ

表1 充填材の各種物性値一例(水材料比80%)			
試験項目	フロー値 ¹⁾	練上がり密度 ²⁾	一軸圧縮強さ ^{3)/} σ ₂₈
物性値	117 mm	0.79 g/cm ³	700 kN/m ²

1) NEXCO 試験法『エアモルタル及びエアミルクの試験方法』に準拠
2) 400cm³の鋼製容重枴を用いて測定
3) JIS A 1216『土の一軸圧縮試験方法』に準拠

とにより陥没を抑制するもので、現在実用化に向けて実証実験中である。路盤補強は、空洞上に地盤(路盤)が残りアーチ効果が期待できると陥没は起こりにくいことから、路盤内に補強材を敷設し路盤の崩落防止を目指すもので、空洞補修というより陥没予防を目的とする。空洞充填材の開発については次節で詳述する。

3. 空洞補修用充填材の開発

空洞補修用充填材を用いた充填工法による空洞補修は、開削埋戻しと比較し、施工時間やコストの低減が見込めることから実績も多い。一般的に充填工法に用いる材料は、流動性が良好であるものが主流であるが、空洞近傍に位置する埋設管に破損部がある場合はそこから充填材が漏出し下水施設への影響が懸念される場合も想定される。また、充填工法による空洞補修を行う際に、事前に空洞内部あるいはその周辺の埋設管の状況をスコープ調査やロボット観察により正確に確認することには限界があることや、これらの手法による事前調査が行えない場合も想定される。以上のような経緯から、下水道管ならびに埋設管近傍の空洞補修に特化した「漏出しないあるいは漏出しにくいセメント系充填材」の開発に着手した。

充填材の開発に当たり、漏出防止・抑制の観点から、目標物性値として、①可塑性(チキソ性)、②水中不分離性(分離抵抗性)を有し、③練上がり密度が1.0 g/cm³以内(水に浮くこと)、④硬化時間の短縮により充填材の安定性(体積変化などの抑制)を図るた

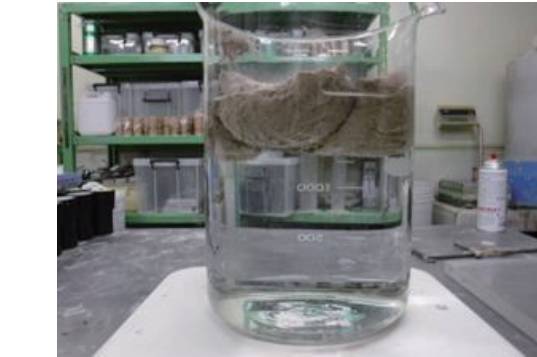


図9 空洞補修用充填材の水中不分離性確認状況

め超速硬性を付与することとした。また、⑤空洞補修箇所の再掘削性を考慮し一軸圧縮強さが300～1,000kN/m²(材齢28日)を満足することとした。

さらに、⑥現場での運用を考慮し施工における簡便性を実現するため水と材料を混練するだけのプレミックスタイプとすることとした。なお、材料の混練ならびに空洞への充填方法は、市販あるいはリースで賄える機材とすることとし、ハンドミキサーや小型圧送ポンプを選定した。

一般的にセメント系材料に可塑性を付与させる手法には、既知の技術が確立されているが、開発にあたりセルロース系あるいはアクリル系増粘剤を単独あるいは併用することとした。

空洞補修用充填材の軽量化については、起泡剤添加による気泡の導入ならびに軽量骨材の利用が考えられたが、可塑性との両立を考慮し後者を選択した。軽量骨材は、最適な流動性を得るために、比表面積が異なるものを比較検討し、目標物性を満足できるものを選定した。充填材の基材となるセメントは硬化時間の短縮のため超速硬セメントを用いた。

その結果、数種類の充填材の配合を選定し、各種性状を検討したところ、水材料比80%で混練した場合、目標物性値を満足する配合が得られた(表1)。

練上がった充填材は、静置時にはその形状を保持しており、せん断力を加えることで変形することから可塑性を有していることを確認した。また、水中不分離性についても良好であることを確認した(図9)。次に、得られた配合について、混練時の水材料比の検討過程で

表2 充填材の各種物性値一例(水材料比120%)			
試験項目	フロー値 ¹⁾	練上がり密度 ²⁾	一軸圧縮強さ ^{3)/} σ ₂₈
物性値	241 mm	0.93 g/cm ³	363 kN/m ²

水材料比を120%に調整することにより、流動性が良好で自己充填が可能であることを確認した(表2)。その結果、水材料比の制御だけで流動性が調整できる充填材を開発することができた。

4. まとめ

近年道路陥没が頻発する中、現状の道路陥没対策は、調査計画を策定して路面下空洞探査を実施し、見つかった空洞は道路管理者の判断により順次開削埋戻し補修するのが通常の流れである。一方、陥没対策をより合理的に実施するためには、現状の対策に加えて、対象地の空洞の発生傾向を把握し必要十分な調査計画を立案すること、空洞の陥没危険度を評価し空洞特性に応じた適切な補修(対応)を選択し実施すること、空洞や補修履歴を管理し次の調査計画に生かすことが肝要である。本研究では、調査、診断、補修、予防の各段階に資する要素技術の開発とそれらの統合・連携によるソリューションの提案を試みた。

本稿で報告した空洞補修用可塑性充填材は、水の添加率によって充填材の流動性を調整でき、周囲に(破

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

JCI／コンクリートに用いる 粉体系材料の環境安全品質に関する 研究委員会の活動とその成果

Progress report, “Technical Committee on Environmental Safety Quality
for Powder Materials of Concrete” in Japan Concrete Institute

大迫 政浩 肴倉 宏史 早川 友幸 中山 英明

1. はじめに

コンクリートは様々な形で循環型社会づくりに貢献している。寿命を終えたほとんどのコンクリートはリサイクルされ、加えて、セメントをつくる際には大量の各種副産物・廃棄物を原燃料として受入れ、またコンクリートの混和材料や骨材としても副産物等を受入れており、産業の静脈流として欠くことのできない存在となっている。

そのような中で、コンクリートの構成材料や解体後に取り出された材料の有効利用時の環境安全性の問題が取り沙汰され、これまで資源循環と土壤環境の安全確保のバランスを考慮した対応が行われてきた。以下、経緯を簡単に振り返る。

まず、環境関連法に関する動きを図1に示す。循環

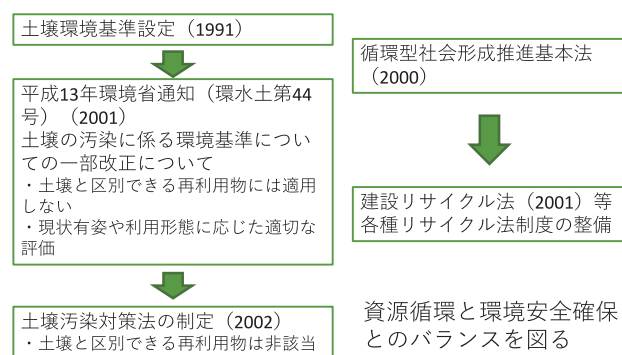


図1 資源循環と土壤環境の安全確保を考慮した環境関連法の動き

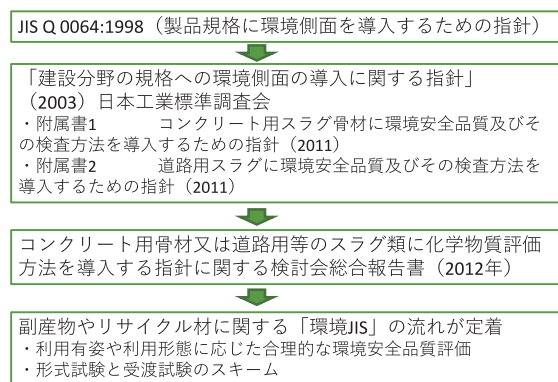


図2 建設分野における環境側面に関する動き

型社会づくりのための法体系が整備されていく中、環境基本法に基づく土壤環境基準の適用や土壤汚染対策法における扱いにおいて、土壤と区別できる副産物などの再利用物は法の適用外とされ、利用形態に応じた適切な評価を行うこととされた。

つぎに、建設分野における標準規格化を中心とした環境側面に関する動きを図2に示す。1998年にJIS Q 0064：1998(製品規格に環境側面を導入するための指

針)が制定され、また、2003年には日本工業標準調査会 土木技術専門委員会・建築技術専門委員会(現日本産業標準調査会)において「建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針」¹⁾が制定された。これを機に、JISの体系構築が推進されたことで、「環境JIS」の流れが定着した。その中ではまず、産業系副産物であるスラグ骨材類の環境側面からの品質確保に関するルール化が進んだ。コンクリート材料では、環境安全品質(重金属類の含有および溶出に関する品質)の概念が導入され、スラグ骨材類(JIS A 5011, JIS A 5031)に対して規定が設けられた。すなわち、スラグ骨材そのもの、あるいは利用を模擬した試験体(コンクリート)を作製して試験を行い、環境安全品質を担保する評価スキームが運用されている。このように、スラグ骨材類の環境安全品質基準として、より合理的な評価方法の標準化がなされ、品質管理に一定のコストをかけつつ社会の信頼の下で利活用が進んでいる。

しかしながら、コンクリートに用いるセメントをはじめとした粉体系の材料については、それらの規定は定められていない。当然、スラグ骨材類とは異なる成分構成や性状などを有していることから、供用時および再生利用時の環境への作用を考察し、環境安全品質をどのように評価していくか、そのあり方を検討し示していくことが、社会への説明責任の観点から必要である。

以上のような経緯を踏まえて、(一社)セメント協会、鉄鋼スラグ協会、日本フライアッシュ協会、日本シリカフューム技術研究会、膨張材協会の5団体からの委託を受け、「コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に関する研究委員会」(活動期間：2020年4月～2022年9月、委員長：大迫政浩)(以下、JCI研究委員会と称す)が日本コンクリート工学会に設置された。

JCI研究委員会の目的は、コンクリートに用いる粉体系材料について、コンクリートの供用から解体後までのライフサイクル全般に係る重金属等の挙動に関して調査検討を行い、コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全性に関する基本的な考え方を提示することである。

JCI研究委員会での検討の結果、コンクリートは製造・

施工・供用中と解体後のいずれにおいても環境安全性は確保されており、粉体系材料としても環境安全品質は確保されているとの結論を得た。また、成果報告書の内容は、建設分野全般における材料の環境配慮の一般的な考え方として、役立つものとなっている。

そこで本稿では、JCI研究委員会の報告書²⁾に沿って、そのエッセンスを紹介したい。

2. 環境基準と環境安全品質

2-1. コンクリートの環境安全性

環境基準は、環境基本法において、「大気の大気汚染、水質の水質汚濁、土壤の汚染及び騒音に係る環境上の条件について、人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持することが望ましい基準」として定められている。また、環境基準を守るための防止法や対策法として、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、土壤汚染対策法などが制定されている。

コンクリートは、その設置場所によって、土壤や地下水、河川水、海水などと直接接する場合がある。そのため、コンクリートの環境安全性として、コンクリートに含まれる微量成分が、土壤や地下水等を汚染する可能性が十分に低くなければならない。特に、コンクリートは、その使用が終わると、解体され再生砕石となって路盤材などへ再利用される場合が多い。このようなライフサイクルの各段階で、コンクリートの環境安全性を検討することが重要である。

2-2. 土壤と循環資材との切り分け

コンクリート再生砕石の他にも、スラグなど様々な「循環資材」が建設資材として利用されている。土壤と循環資材との切り分けに関する環境省からの通知^{3,4)}によれば、土壤環境基準や土壤汚染対策法では、再利用物(循環資材と同義)をむやみにその対象とせず法の適用外とされ、現状有姿や利用形態に応じた適切な評価が行われる必要があるとされた。これを機に、利用実態に即した各種循環資材の環境安全性の評価に関する議



おおさこ まさひろ / OSAKO Masahiro
国立環境研究所
資源循環領域長
工学博士



さかなくら ひろふみ / SAKANAKURA Hirofumi
同上
資源循環領域
試験評価・適正管理研究室長 博士(工学)



はやかわ ともゆき / HAYAKAWA Tomoyuki
(一社)セメント協会
研究所 グループリーダー



なかやま ひであき / NAKAYAMA Hideaki
同上
研究所長

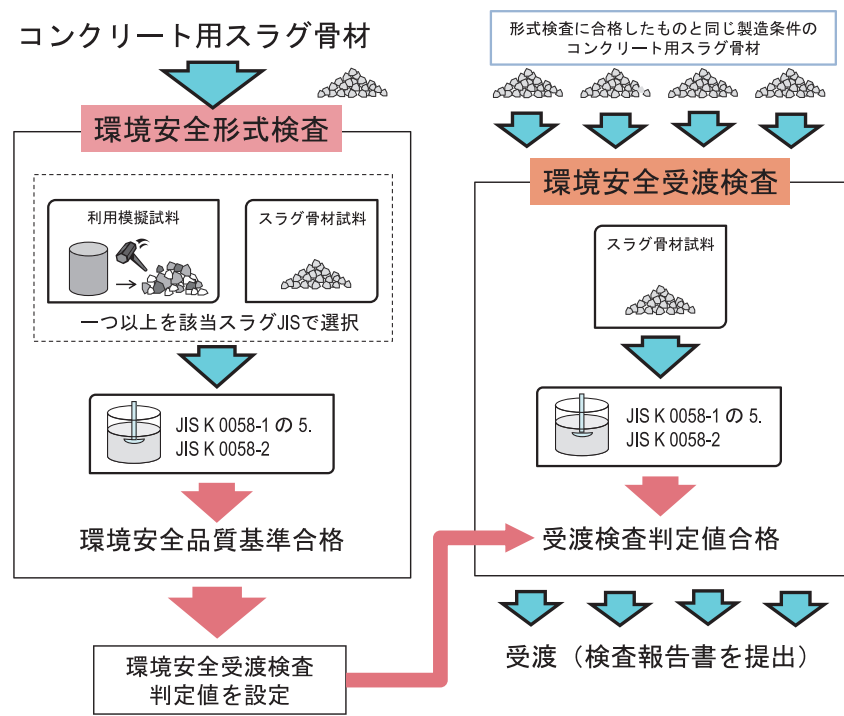


図3 コンクリート用スラグ骨材に対する環境安全品質の試験体系

論が活発化した。

2-3. 循環資材の環境安全品質

環境省の循環資材に対するリサイクルガイドラインの要請や、JISにおける建設分野の規格への環境側面の導入の方針¹⁾に対応するものとして、経済産業省設置の検討会において、「循環資材の環境安全品質及び検査方法に関する基本的考え方」(以下、基本的考え方と称す)がとりまとめられている⁵⁾。基本的考え方の特徴は2点あり、1点目は、循環資材の再利用、再々利用を含めたライフサイクルの中で最も配慮すべき暴露環境に基づく検査を行うとした点である。例えばコンクリート用骨材として利用されるスラグ類は、路盤材への再生利用段階を最も配慮すべき暴露環境として着目し、供試体を作製後に破碎して試料調製を行い、JIS K 0058に基づく溶出量試験や含有量試験を行うこととした。基本的考え方が制定される以前は、いかなる用途でもスラグ単味で土壌溶出試験や含有量試験が行われていたが、基本的考え方が制定されたことにより、実際のスラグの配合率や粒度範囲などを考慮できる(合理的に緩和できる)こととなった。特徴の2点目は、「環境

安全形式検査」と呼ばれる全項目検査と、「環境安全受渡検査」と呼ばれる全ロット検査との2段階の検査に分けたことである(図3)。詳細は、報告書²⁾を参照されたい。基本的考え方を受けて、これまでに様々な循環資材のJISやガイドラインに環境安全品質基準の導入が進められている⁶⁾。

3. コンクリートの環境安全性

JCI研究委員会では、コンクリートのライフサイクルにおける環境安全性について調査が行われた。その報告書第3章²⁾の概要を以下に紹介する。

3-1. コンクリートを構成する材料の微量成分含有量

コンクリートの主結合材である普通ポルトランドセメントには土壌汚染対策法の含有量基準を超過する成分はないこと、ならびに混和材である高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、膨張材およびシリカフェューム中の微量成分は、単味では同含有量基準を超える可能性のあるものもあるが、一般的なコンクリート中の使用割合を考える

表1 近年の粉体系材料中の微量成分含有量

(単位: mg/kg)

微量成分	普通 ポルトランド セメント(*1)	高炉スラグ 微粉末(*2)	フライアッシュ (*3)	膨張材 (*4)	シリカフェューム (*5)	土壌 含有量基準
カドミウム	0.8 - 6.1	<1.5	0.03 以下 - 8.86	1.0 - 2.0	<15	150
鉛	60 - 106	<1.5	2.78 - 210	<11.0	25 - 600	150
六価クロム	2.4 - 13.9 (水溶性)	<2.5	0.05 以下 - 83	0.5 - 15.0	<25	250
全クロム	43 - 104	—	40 - 195	—	—	—
ひ素	4 - 39	<1.5	9 - 53	<4.0	<15 - 57	150
水銀	<0.001 - 0.127	<0.15	0.001 以下 - 1.46	<0.005	<1.5	15
セレン	0.1 - 1.1	<1.5	1.2 - 7.4	<0.5	<15	150
ふっ素	145 - 1095	180 - 490	107 - 177	—	<400 - 480	4000
ほう素	40 - 94	77 - 120	59 - 1270	—	<400	4000
一般的な使用割合(*6) [セメント内割置換として]		30～70%	15～20%	—	5%～15% (平均 10%)	
備考	市販の高炉 セメント B 種 : 40～45%	ダム用:MF30 (30%)	[収縮補償用] 20～30kg/m ³ [ケミカルプレ ストレス用] 45～60kg/m ³	—		

※「<数字」は定量下限値未満を意味する。

(*1) JCAS I-53 セメント中の微量成分の定量方法(水溶性六価クロムを除き完全分析)【2014年度採取試料】

(*2) 土壌汚染対策法に規定される土壌含有量調査に係る測定方法(平成15年3月6日環境省告示第19号)【2017年1月～2018年8月のデータ】

(*3) 微量成分:アルカリ融解-ICP法(B, Cr), 硝酸・硫酸・過塩素酸分解-水素化物発生ICP法(As, Se), 水蒸気蒸留-イオンクロマト法(F)(完全分析)【2013年～2014年のデータ】(カドミウム、鉛、六価クロム、水銀は「環境型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術」土木学会、コンクリートライブラリー 132, p.17～20, 2009)

(*4) JCAS I-53 セメント中の微量成分の定量方法(水溶性六価クロムを除き完全分析)【2020年度採取試料】

(*5) 土壌汚染対策法に規定される土壌含有量調査に係る測定方法(平成15年3月6日環境省告示第19号)【後述の実験で使用したシリカフェューム5試料の分析結果。2008年データ取得。】

(*6) 粉体系団体のヒアリング結果による。

と、基準を超えることはない(表1)。なお、セメント工場では廃棄物・副産物の受入と処理において、特に六価クロムに対しては1998年に業界が制定したガイドラインに基づき、製品であるセメント中の水溶性六価クロム含有量が20mg/kgを超えないことを遵守している。

スラグ骨材中の微量成分含有量は、銅スラグ骨材の鉛およびひ素が同含有量基準を超える可能性があるが、JIS A 5011-3で環境安全品質基準が規定されており、コンクリートとして含有量基準を超えないよう管理されている。また、日本建築学会でも、銅スラグ細骨材を使用する際の指針が示されており、対応が図られている。

3-2. コンクリートの供用中における環境安全性

普通ポルトランドセメントを用いて作製したモルタルおよびコンクリートに対してJIS K 0058-1の5(利用有姿による攪拌試験)を行った結果では、全ての微量成分で環境基準等を超えるものはなかった。また、土木学会から提案されている「硬化したコンクリートからの微量成分溶出試験方法試案」(タンクリーチング試験)⁷⁾を適用した結果でも、

全ての微量成分にて環境基準を超えるものはなかった。

供用中の構造物から採取したコンクリートを表面から深さごと(0～1cm, 1～2cm, 内部)に2mm以下に粉碎して、土壌環境基準の溶出試験である環告46号法を適用した結果を見ると、表面側が内部よりも六価クロム溶出濃度は高いが、2mm以下粉碎という過酷な条件で、いずれも0.05mg/L以下であった。

高炉スラグ微粉末を用いたモルタルおよびコンクリートでは、ふっ素に着目して同様の検討が行われ、JIS K 0058-1により定量下限値0.2mg/L以下であることが確認されている。フライアッシュを用いたモルタルをジョークラッシャーで粉碎した試料に対してJIS K 0058-1を適用した結果では、ほう素、ふっ素、ひ素、セレン、六価クロムのいずれも環境基準値以下であった。シリカフェュームを用いたモルタルにタンクリーチング試験を適用した結果も同様であった。

以上より、コンクリートの供用中における環境安全性は十分に確保されていると考えられる。

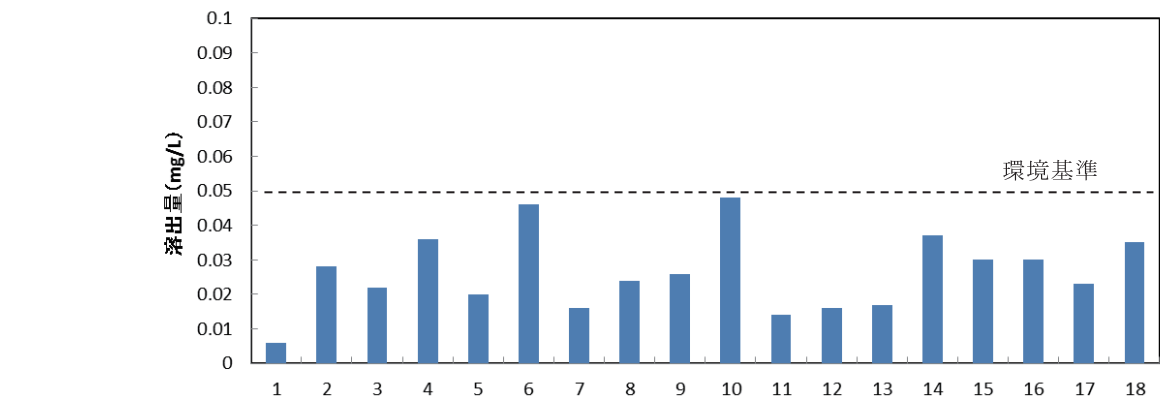


図4 再生クラッシュラン(RC40)の六価クロムの溶出試験結果

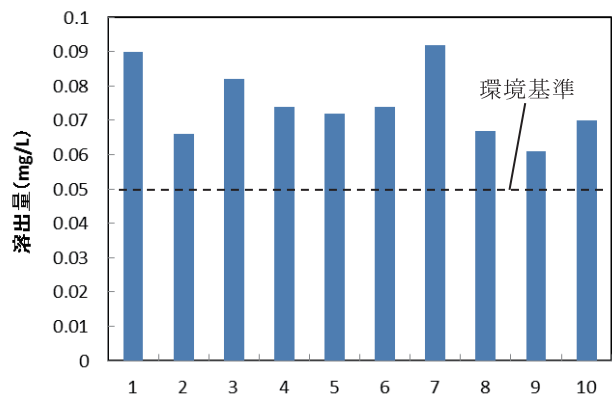


図5 再生クラッシュラン(RC10)の溶出試験結果

3-3. コンクリートから再生された資材の環境安全性

国土交通省の建設副産物実態調査結果⁸⁾によれば、平成7(1995)年から平成30(2018)年までの間、コンクリート塊は年間3000～3700万t場外へ搬出され、近年では99%以上が再資源化されている。再資源化先は、ほとんどが再生路盤材である。その他、少量ではあるが、コンクリート用再生骨材、裏込材、浸透レンチ材、グラベルコンパクション材、基礎材、埋戻し材、敷石などがある。

道路土工要綱(H21年度版)⁹⁾によれば、道路では路盤・路床部の水分の排除・遮断が不可欠であり、地下水位は排水施設によって路床以下にすることが基本とされているため、路盤材は地下水位よりも上に使用される。このことから、再生路盤材からの微量成分の溶出は抑制されているものと推察される。また、舗装再生便覧¹⁰⁾によれば、「セメントコンクリート再生骨材は水と接触すると六価クロムが溶出することがある。そのた

め、水が拡散するような箇所で使用する場合は、六価クロムの溶出の程度を確認してから使用するとよい。特に細粒分からは六価クロムなどが多く溶出する傾向があるので注意する必要がある。」との記述があり、注意が促されている。

下層路盤材に用いられる再生クラッシュランRC40およびRC10からの六価クロムの溶出について、様々な調査が行われている。例えばセメント協会¹¹⁾によれば、RC40全18試料に対して環告46号法を実施した結果、六価クロムの溶出濃度は0.006～0.048mg/Lであり、全て、土壤環境基準(0.05mg/L)を満たしたが(図4)、RC10全10試料は0.061～0.09mg/Lであり、全て、土壤環境基準を超過した(図5)。なお、RC10に相当する「再生砂」の利用の可否に関して、国土交通省は、通知により、公共建設工事前の六価クロムの溶出試験(環告46号法)であらかじめ土壤の汚染に係る環境基準に適合することを確認することとしている¹²⁾。

都道府県知事は、水質汚濁防止法に基づき、水質の汚濁の状況を常時監視し、その結果を環境大臣に報告することとされている。1991年から2019年にかけて、ローリング方式で行われた地下水汚染の概況調査結果¹³⁾をとりまとめると、調査数約85,000箇所に対して0.05mg/Lの超過数は8箇所であり、0.009%に過ぎない。その汚染の主な原因は金属関係や機械器具の製造業の工場や事業場となっている。また、地下水および公共用水域での検出状況を見ると、2010年から2019年の間、新基準値0.02mg/L(2022年4月1日施行)を超

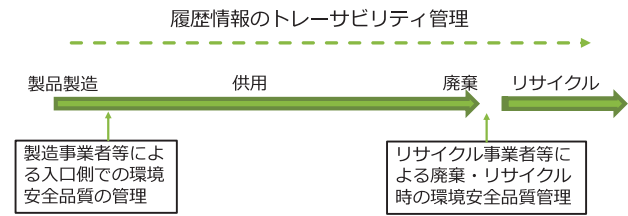


図6 建設資材のライフサイクルを通じた環境安全管理の概念²⁾

過したのは、地下水では約24,000箇所中6箇所のみ(0.02%)、公共用水域では約37,000箇所中4箇所のみ(0.01%)であった¹⁴⁾。コンクリートの再資源化率は1995年調査で65%であり、2000年には96%に達し、近年は99%を超えていることから、多くのコンクリートが再生碎石として再生利用されていると推察されるが、路盤材は地下水汚染源となっていないことが推察される。再生路盤材からの六価クロムの溶出量はそもそも少なく持続しないことや、還元的な環境での三価クロムへの形態変化による移動性の低下など、様々な理由が考えられる。

4. コンクリートのライフサイクルにおける将来的な環境安全性に関する課題

4-1. 入口管理と出口管理のバランスさせた合理的な環境安全品質管理システムの構築

環境安全品質の管理の考え方は、大きくは、ライフサイクルの入口段階で全ライフサイクルにおける環境安全性を担保できるようにする考え方と、リサイクルの段階ごとにチェックする考え方がある(図6)。これまでスラグなどに適用されてきた環境安全品質の管理方法は、循環資材の出荷、すなわち入口段階で、再利用時も含めた全ライフサイクルの環境安全性を保証する“入口管理”によるものであった。その場合、材料の製造、供給者の責任のもとに、安全側に立った保守的な基準が適用されるケースが一般的であった。一方、国土交通省の再生砂に関する通達¹¹⁾、都道府県などが管轄しているリサイクル製品認定制度、東京ブランド“粋な”えこ石¹⁵⁾などは、再利用の段階での環境安全品質を規定しているものといえる。このように資材や製品が再利用される

段階で検査を行うことで、実際の再利用時の環境安全性を保証する“出口管理”による方法も考えられる。

今後は、建設資材の製造事業者等による入口管理と、供用後のリサイクル事業者等による廃棄・リサイクル時の出口管理とを組み合わせ、さらには履歴情報のトレーサビリティ管理を含めて、ライフサイクル全体の環境安全性を担保できる、社会コストが低減された合理的なシステムを構築していく必要がある。また、可能な範囲でトレーサビリティを確保できる情報管理を行うことで、さらに効率性を高めるべきである。

4-2. 科学的根拠のより高い環境安全品質基準の導入

これまで、ある項目について水道水質基準が見直されると、水質環境基準、さらには土壤環境基準が見直される傾向にある。その結果、土壤環境基準値は、公共用水域および地下水の環境基準、ならびに水道水質基準と同じ値に設定されている場合が多い。

水道水質基準の見直しは、対象とする物質の有害性に関する最新の知見が精査され、耐容一日摂取量などが見直されることによる。最近では、六価クロムの有害性が見直され、2020年4月に六価クロムの水道水質基準が0.05mg/Lから0.02mg/Lへ強化され、2022年4月には公共用水域と地下水の環境基準が、いずれも0.02mg/Lに強化された。この流れを受けて、今後、土壤環境基準等の0.02mg/Lへの見直しが検討されると予想される。

今日まで、コンクリートやその再生碎石を含めた様々な資材(以下、再生碎石等と称す)の環境安全品質は、土壤環境基準などと同じ値が設定されてきた。しかし、土壤環境基準等が0.02mg/Lに強化された場合、再生碎石等に対しても当該基準値を適用すれば、必ずしも基準を満たせないものが多く生じ、総量として3千万tを超えるコンクリートのリサイクルに影響を与えることが懸念される。

ここで人への健康リスクは有害性と曝露量(摂取量)との積で表され、環境基準の見直しは、有害性に関して見直しが行われたためであることに注意する必要がある。前述したように、再生碎石等が原因で、六価クロムが新基準値0.02mg/Lを超える公共用水域や地下水

第51回セメント協会論文賞 受賞論文の決定

セメント協会は、セメント・コンクリート論文集に掲載された論文の中から、特に優秀と認められた論文に「セメント協会論文賞」を授与しており、この度、第51回(2023年度)セメント協会論文賞を下記の3件に決定した。

論文賞の選考は学識経験者を交えた論文賞選考委員会によって行われた。表彰式は5月17～19日に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 4F)で開催の「第77回セメント技術大会」2日目午後に行われる予定。

(敬称略)

コンクリートの火害におけるセメント水和物の炭酸化メカニズムの解明	吉田 夏樹 (一財)日本建築総合試験所 新 大軌 島根大学
セメント・コンクリート論文集 Vol.75 pp.58～65	木野瀬 透 (一財)日本建築総合試験所
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.356～364	安達 丈 (株)トクヤマ
煅焼アロフェンを用いた新たなセメント系材料の設計	近藤 祥太 新潟大学 大学院 斎藤 豪 新潟大学
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.561～569	鈴木 一帆 新潟大学 大学院 伊藤 貴康 UBE三菱セメント(株)
赤外分光法を用いた大気二酸化炭素濃度下におけるセメント硬化体表面の炭酸化反応の湿度依存性に関する分析	佐伯 直彦 東京大学 大学院 栗原 諒 東京大学 大学院
セメント・コンクリート論文集 Vol.76 pp.36～44	丸山 一平 東京大学 大学院 名古屋大学 大学院

セメント協会研究奨励金の交付決定

セメント協会は、セメント化学およびコンクリート化学の研究振興ならびに研究者の育成を図ることを目的に「セメント協会研究奨励金」を交付しており、この度、第37回(2023年度)交付対象者を下記の5名に決定した。

審査は学識経験者を交えた研究奨励金審査委員会によって行われ、1987年の第1回から今回までに延べ350名の研究者に研究奨励金を交付している。なお、2024年度の募集については、本誌8月号および当協会ホームページ(<https://www.jcassoc.or.jp>)等でも紹介の予定。

(敬称略・順不同)

氏名	所属*	研究題目
エラクネス ヨガラジャ	北海道大学大学院 工学研究科 環境循環システム専攻 准教授	Carbonation kinetics of calcium aluminosilicate hydrate (C-A-S-H)
欒 堯	埼玉大学 理工学研究科 助教	セメント系硬化体におけるSCMボゾラン反応の革新的な評価手法の開発
高橋 駿人	東京理科大学 理工学部土木工学科 助教	配合条件が鋼材周囲の硬化組織および腐食速度に与える影響
福山 智子	立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科 准教授	載荷に伴い変化するモルタルの電気インピーダンス分布に関するin-situ トモグラフィ分析法の開発
五十嵐 豪	名古屋大学 大学院環境学研究科 准教授	画像解析を用いたセメント系材料中の水分浸透の可視化に関する基礎的検討

※)交付対象者の所属は申請時のものである

れているとみなされる。

さらに、コンクリートの環境安全性に関する将来的な課題として、入口管理と出口管理のバランスさせた合理的な環境安全品質管理システムの構築、および、科学的根拠のより高い環境安全品質基準の導入の必要性を述べた。特に後者では、六価クロムの環境基準強化の流れによってコンクリートリサイクルの流れが妨げられることがないように、適切な対応を図る必要がある。

最後に、以上の総括を踏まえてJCI研究委員会報告書においては、コンクリートの粉体系材料に対する環境安全品質に係るJIS化の必要性について、ただちに粉体系材料の環境安全品質の規格をJISとして導入する必要があると結論付けた。また、今回のJCI研究委員会における総合的研究アプローチが、結果的にコンクリート材料の環境安全品質管理に係るJIS化の事前アセスメントプロセスとして活用できることが示唆された点も意義深く、本稿の結びに当たり付け加えておきたい。

【参考文献】

- 1) 日本工業標準調査会／建設分野の規格への環境側面の導入に関する指針、2003
- 2) 日本コンクリート工学会／コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に関する研究委員会報告書、2022
- 3) 環境省／平成13年3月28日 環水土第44号 土壌の汚染に係る環境基準についての一部改正について、2001
- 4) 環境省／平成22年3月5日 環水大土発第100305002号 土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について、2010
- 5) 経済産業省／コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書、2012
- 6) 肴倉宏史／環境安全品質基準に関する最近の動向と課題、地盤工学会誌、64巻、pp.8～11、2016
- 7) 土木学会 コンクリート委員会 微量成分溶出に関する調査研究小委員会／コンクリートライブラリー 111「コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題」、p.58、pp.65～70、2003
- 8) 国土交通省／平成30年度建設副産物実態調査結果、2018
- 9) 日本道路協会／道路土工要綱(平成21年度版)、pp.100～110、2009
- 10) 日本道路協会／舗装再生便覧(平成22年版)、pp.7～20、2010
- 11) セメント協会／セメント規格における環境側面の取扱いに関する検討報告書、2018(非公表)
- 12) 国土交通省／平成19年10月11日 国官技第181号 公共建設工事ににおける再生コンクリート砂の使用に係る留意事項について、2007
- 13) 環境省 水・大気環境局／令和元年度 地下水質測定結果、2021
- 14) 中央環境審議会水環境・土壌農業部会／水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の見直しについて(第6次報告案)、資料2-2(2021年6月9日開催)、pp.12～13、2021
- 15) 東京都 環境局／今回環境局が認証した品質基準の概要、報道発表資料(2017年10月4日)「再生砕石利用拡大大支援制度で初めての「基準認証」「基準認証取得証」交付式を行います」、2017

は、ほぼ全く存在しない。また、再生砕石等へ土壌環境基準を適用する必要はないことへの根拠として、第一に、再生砕石等は土壌とは異なること、第二に、再生砕石等からは、六価クロム等の微量成分が、70年間、一定の濃度で継続して溶出するとは考えがたいこと、そして第三に、再生砕石等の溶出液は、ただちには飲用されず、土壌への吸着、還元や地下水での希釈により、井戸等で飲用するまでに、微量成分は遅延かつ濃度低下すると考えられること、などが挙げられる。このことから、再生砕石等からの六価クロムの曝露量について、より適切に、科学的根拠の高い環境安全品質基準を導入し、コンクリートのリサイクルを妨げない仕組みを早急に構築する必要がある。

5. おわりに

コンクリートの環境安全性は、そのライフサイクルにおいて確保されるべきである。本稿では、JCI研究委員会の成果²⁾に基づき、環境基準とコンクリートに求められる環境安全性の考え方を整理し、コンクリートおよびその粉体系材料の環境安全性に関する現状と将来的な課題を示した。

コンクリートのライフサイクルにおける環境安全性を総括すると、次のようである。まず、コンクリートの製造、施工から供用にかけての微量物質の含有量および溶出量の各種データや管理方法を踏まえると、環境安全品質上問題となるデータおよび管理実態は認められず、供用中のコンクリートは環境安全品質を常に満たしているという点を客観的に高い確度をもって結論付けることができる。次に、コンクリート解体後の再生砕石、再生砂、再生骨材は、粒径の小さい一部の再生砂を除き、含有量および溶出量の環境安全品質を常に満たしており、客観的に高い確度をもって環境安全性が確保されていると言える。ただし、再生砂では、六価クロムの溶出量が基準値を超えるケースがあることから、再生利用前に溶出試験により環境安全性を確認するルールが国から示されており、その管理を前提に環境安全性は確保さ

コンクリート塊の再利用・現状と課題

Current Status and Prospects of Concrete Lump Utilization from the Field

黒田 泰弘

1. はじめに

(公社)日本コンクリート工学会の「コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に関する研究委員会(委員長:大迫政浩・国立環境研究所)」では、コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質についての基本的な考え方を提示することを目的に調査・検討が行われ、その成果として、報告書¹⁾をまとめるとともに、2022年9月にオンライン報告会が開催された。

報告会では、コンクリートに要求される環境安全性とコンクリートに用いる粉体系材料の環境安全性に関する基本的な考え方が報告されるとともに、「今後のコンクリートのライフサイクルにおける環境安全性」と題したパネルディスカッションが行われた。その中で、「現場から見た再生砕石・再生砂利用の現状と展望」について、筆者が話題提供することになり、大迫委員長からは、コンクリートリサイクルの実態だけでなく、コンクリートリサイクルをめぐる環境安全品質やカーボンニュートラルなどの背景も含めて報告してほしいとの依頼があった。

本稿は、パネルディスカッションの際のプレゼンテーション用の資料をベースに書き起こしたものである。筆者なりに、これまでの調査結果や検討結果を整理したもので



くろだ やすひろ / KURODA Yasuhiro
清水建設(株)
技術研究所
主席研究員 博士(工学)

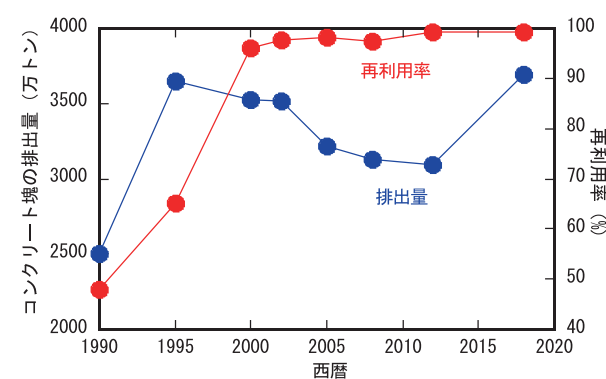


図1 コンクリート塊の排出量と再利用率の推移

あるが、内容が著者の関わった研究に偏っていることに関しては、ご容赦頂きたい。

2. コンクリート塊の再利用の現状と課題

2-1. コンクリート塊の排出量と再利用率の推移

図1は、国土交通省の建設副産物実態調査によるコンクリート塊の排出量と再利用率の推移をまとめたものである。

コンクリート塊の排出量は、1995年まで右肩上がりだったものが、それ以降、約20年にわたり減少した後、2018年に増加に転じているのがわかる。この傾向は、建設投資の推移とおおむね一致しているのではないかと考えられる。

一方、再利用率の推移は1990年以降に急上昇し、2000年には95%を超え、2012年以降は99%以上となっている。1990年以降に再利用率が急上昇したのは、

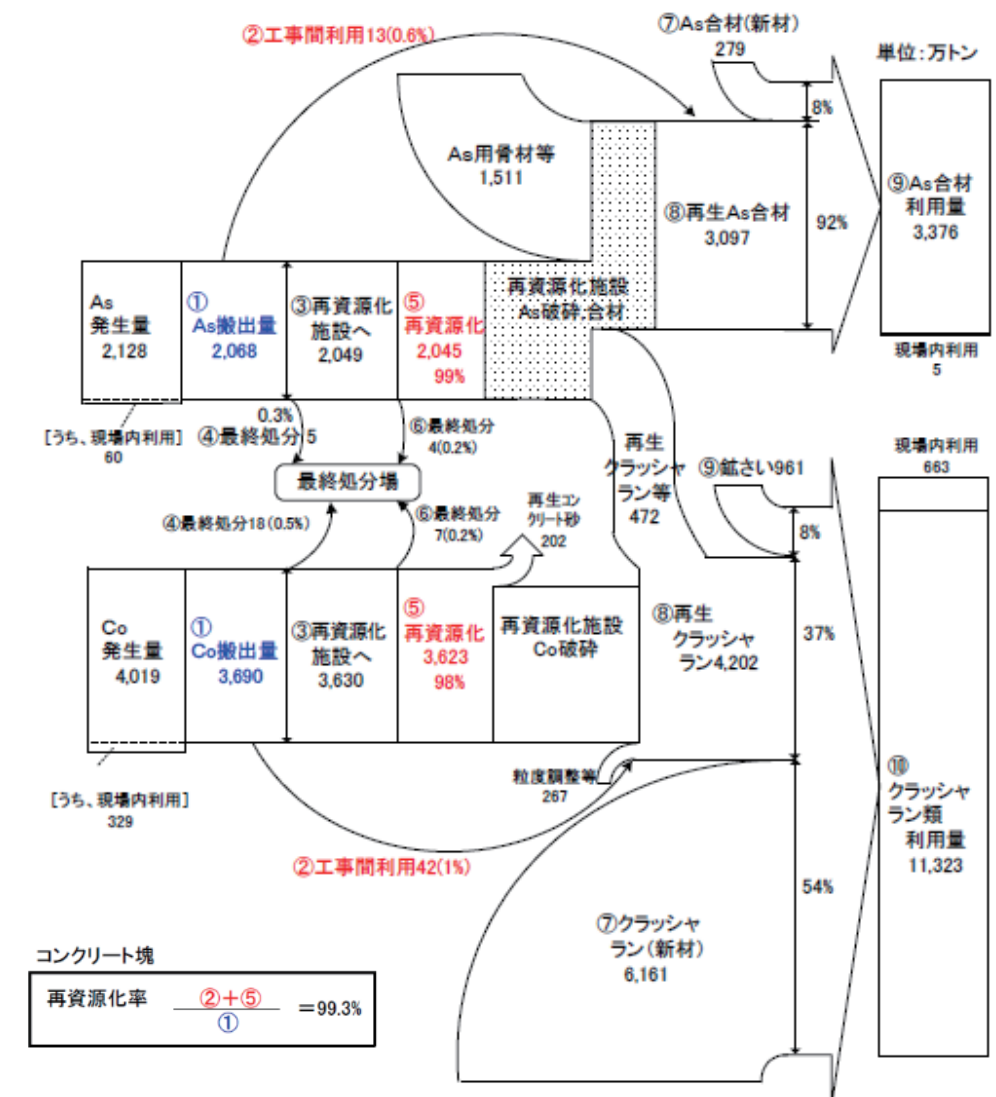


図2 アスファルト・コンクリート塊およびコンクリート塊のリサイクルフロー²⁾

最終処分場の残余容量が逼迫したことを受け、国が原則化ルールを設け、コンクリート塊の再利用用途を道路用の路盤材へ誘導した結果と考えられる。コンクリート塊を道路用の路盤材(再生砕石)とするための主要な製造設備は、破碎機と分級機といった比較的シンプルなもので、高度な品質管理も必要ないこともあり、日本全国にコンクリート塊を扱う中間処理場が増え、再利用率は極めて高いものとなったと考えられる。

2-2. コンクリート塊のリサイクルフロー

平成30年度建設副産物実態調査におけるアスファルト・コンクリート塊およびコンクリート塊のリサイクルフローを図2に示す²⁾。

コンクリート塊の排出量は3,690万tであり、再利用率

は99.3%と高いことがわかる。このほか、現場内利用が一定量存在していると考えられるが、統計上は把握できていない。再生砕石は94%強が主に路盤材であり、その他は、埋め戻し用の再生コンクリート砂(以下、再生砂と称す)になっている。

なお、再生骨材コンクリートの使用量は、ごくわずか(捕捉ベースで12万t)であり、再生骨材コンクリートの普及は進んでいない。

2-3. 中間処理場におけるコンクリート塊の再資源化

図3に再生砕石・再生砂のほかに、コンクリート用再生骨材の製造も行っている中間処理場におけるコンクリート塊の再資源化フローの一例を示す。

コンクリート用の再生骨材を製造しているプラントのほ

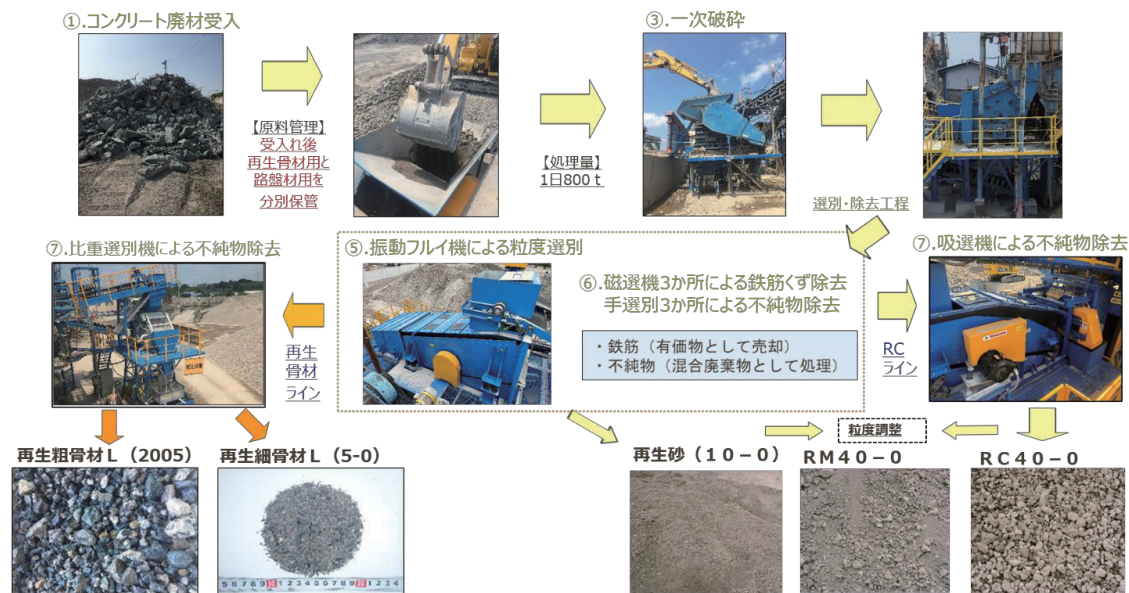


図3 中間処理場におけるコンクリート塊の再資源化フローの一例

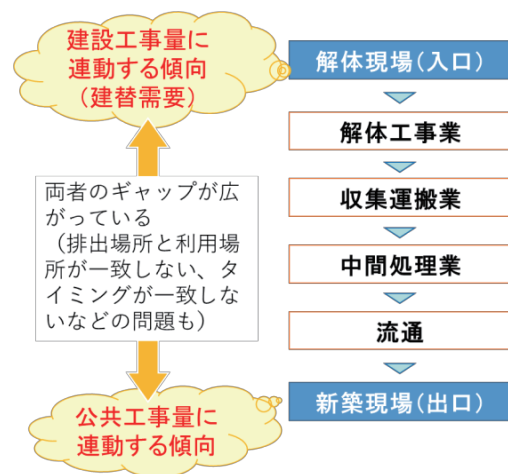


図4 コンクリートリサイクルのサプライチェーン

は全てで、再生碎石や再生砂も製造している。理由は、受け入れたコンクリート塊の全てをコンクリート用の再生骨材の原料とできないためである。中間処理場では、通常、土砂や仕上げ材などの不純物を一定量含むコンクリート塊を受け入れており、コンクリート用の再生骨材を製造する際には、それらを分離する必要があるが、不純物が多いと、それは大変な作業となり、歩留まりも悪くなる。このため、不純物の少ないコンクリート塊をコンクリート用の再生骨材の原料とし、それ以外を再生碎石や再生砂の原料としているのが一般的である。

中間処理場にとっては、受け入れたコンクリート塊の全てが再利用できる形で処理できること(できるだけ廃棄物を出さない)、在庫過多にならないこと、生産性が高

いことが、重要とされている。

2-4. コンクリート塊の再利用をめぐる課題

図4は、コンクリートリサイクルのサプライチェーンである。コンクリート塊の排出量は、前述のとおり、建設投資の推移、つまり建設工事量に連動する傾向がある。一方、再生碎石の用途はほとんどが道路用の路盤材なので、公共工事量に連動する傾向がある。両者にギャップが無ければ、リサイクルは順調に進むが、前述のように、コンクリート塊の排出量は増加に転じており、両者のギャップは広がる恐れは高い状況にあると考えられる。また、全体的な数量において問題がなく、バランスが取れていても、排出場所と利用場所が一致しない、解

表1 「東京ブランド“粋な”えこ石」の技術認証³⁾

区分	用途等	使用イメージ
路盤材	道路等の基礎として、道路等の表面から伝達される荷重を分散して地表に伝える役割をもつ材料	
浸透トレンチ材	雨水の貯留・浸透施設である浸透トレンチや浸透ますの周囲の充てん材料	
グラベルコンパクション材	地盤改良工法の一つであるグラベルコンパクションパイル工法(陸上施工)に使用する材料	
裏込材	擁壁の安定性を高めるため擁壁の背面に使用する材料	

体時期と使用時期のタイミングが一致しない、などの問題があれば、リサイクルは滞ることになる。現に、解体現場が中間処理場の近くにあって、道路用の路盤材需要が周辺に無ければ、その中間処理場ではコンクリート塊を受け入れられないという事態は生じている。都市部の中間処理場にとって、これは深刻な問題となっており、撤退・継続・ポジション変更等を考えざるを得ない状況に陥っているとされる。

一方、ゼネコン側からすると、原則化ルールがあるため、受け入れ可能な中間処理場が近くなければ、遠くまで運ばなければならないことになり、環境への負荷も大きくなる。

このように、コンクリート塊の排出量が多くなっているものの、路盤材需要は限られるため、中間処理事業の継続のためにも、再生碎石の地盤材料としての用途拡大と、再生骨材コンクリートの普及は、特に都市部において喫緊の課題といえる。

3. 地盤材料としての用途拡大に向けての検討と環境安全品質

3-1. 東京都による再生碎石利用拡大の支援

東京都では、再生碎石を扱う業界団体(東京建設業協会、東京都産業資源循環協会、東京建物解体協会)が一丸となって合同WGを組織し、再生碎石の

地盤材料としての用途拡大に向けた取組みが行われ、次のような項目について規格化がなされるとともに、再生碎石利用拡大支援制度が新設され、表1のような用途に対して、「東京ブランド“粋な”えこ石」として技術認証が行われた³⁾。現在、ブランド認証は終了しているが、規格は東京都土木材料仕様書に掲載されている。

- ① 地盤材料として使用する場合の品質管理プロセス
 - ・解体～再生碎石製造まで全プロセスで規定を満足すること(業界団体が一体となって品質管理プロセスを規格化)
- ② 地盤材料として使用する場合の性能
 - ・用途に応じた力学性能に関する規定を満足すること(粒度分布、すり減り減量など)
- ③ 地盤材料として使用する場合の環境安全性
 - ・利用形態の有姿での溶出試験(JIS K 0058-1)結果が土壤溶出量基準を満足すること
 - ・粉碎試料による含有量試験(JIS K 0058-2)結果が土壤含有量基準を満足すること

なお、全国的な展開は進んでいないようである。わが国では、今後大規模な自然災害も想定されており、コンクリート塊は災害廃棄物として発生し、盛土材料として使用される可能性もあることから、地盤工学的利用が期待される⁴⁾。したがって、このような事情からも、発生地によらず災害廃棄物としての適正かつ円滑・迅速な対

表2 溶出試験条件⁵⁾

	JLT-46法	バッチ法	JIS法	TL法
溶出方式	振とう		タンクリーチング	
試料	<2mm	有姿		
溶媒	純水 (HC 1 もしくはNaOHを用いて、pH5. 8～6. 3に調整)			
液固比	10 (mL/g)			
溶出時間	6時間			28日
溶出操作	振とう幅40mm、水平振とう (約200回/分) の万能シェーカーを用い、常温・常圧で振とう		攪拌翼による攪拌 (約200回/分)	静置 (18～22℃)
検液の作製	上澄み液を0. 45 μ mのメンブランフィルタで			
Cr(VI)の定量	JIS K 0102 (工場排水試験方法) の65. 2. 1ジフェニルカルバジド吸光光度法			

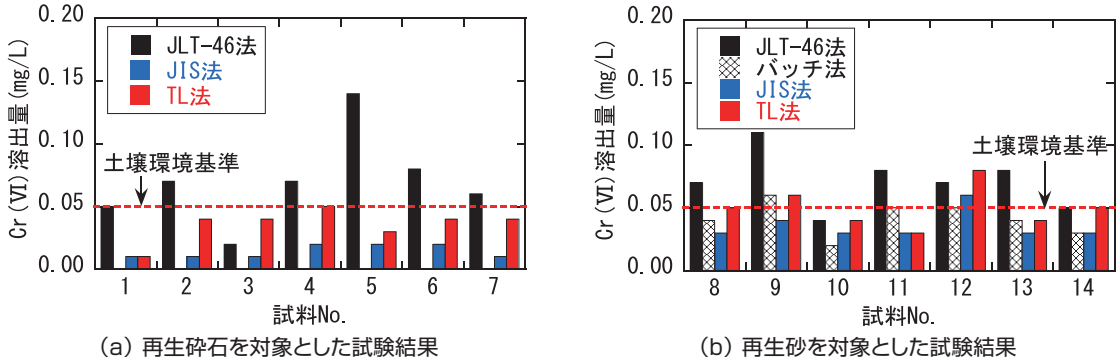


図5 再生碎石・再生砂のCr(VI)溶出試験結果⁵⁾

応ができるよう、全国的な展開を進めるべきと考えられる。

3-2. 溶出試験条件が溶出試験結果に及ぼす影響

土を対象とした溶出試験は、石を取り除いて試験するという意味で2mmふるいを通過した試料を対象に行われるが、再生碎石や再生砂についても同様に試験する点は疑問がある。そこで、**表2**に示すように、溶出試験条件の違いが、六価クロム(以下、Cr(VI)と称す)の溶出量に及ぼす影響について検討した⁵⁾。環境庁告示第46号による溶出試験(以下、JLT-46法と称す)のほか、試料を有姿とすること以外はJLT-46に準じた溶出試験(以下、バッチ法と称す)、溶出操作を攪拌とすることで有姿のまま溶出試験を行うJIS K 0058-1による溶出試験(以下、JIS法と称す)、さらに強制的な溶出操作を行わない代わりに試料を長期間浸漬する建設省技調発第49号によるタンクリーチング試験(以下、TL法と称す)の4つである。

再生碎石・再生砂の溶出試験結果を**図5**に示す。再生碎石の溶出量はJLT-46法>TL法>JIS法の関

係になった。JLT-46法でCr(VI)溶出量が他の方法に比べ、明らかに大きくなっており、土壤環境基準を上回るものもあった。同じ質量でも2mm通過試料の方が、平均粒径が小さく、溶媒に接する表面積が大きいことに加え、2mm通過試料に含まれるセメント含有量が多いことが影響していると考えられる。一方、再生砂のCr(VI)溶出量は概ねJLT-46法>TL法>JIS法・バッチ法の関係になり、有姿のままでも環境基準を上回るものが複数あった。

3-3. 環境安全品質をめぐる課題

再生碎石については、製品有姿と2mm通過試料では粒度が大きく異なるため、製品有姿で試験の方が現実に近いと思われる。したがって、スラグ類での検討結果⁶⁾と同様に、製品有姿での溶出試験(JIS法)と粉砕しての含有量試験を行うことで、環境安全品質を評価の方が合理的であると考えられ、東京ブランドにおいて規格化されたようである。

一方、再生砂については、再生碎石と比べると、よ

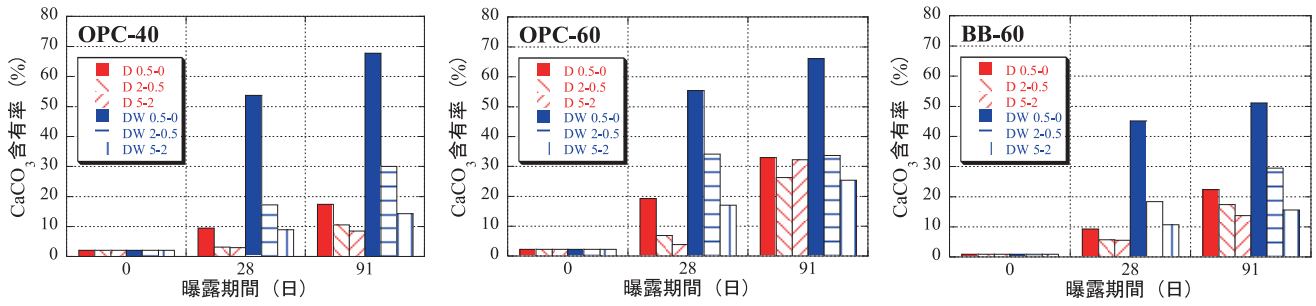


図6 破碎した硬化モルタル片のCaCO₃含有率⁸⁾

り土壌に近く、現状の枠組みではJLT-46法で環境安全品質を評価することになっていること、また、有姿でも複数のサンプルで土壤環境基準を上回るCr(VI)溶出量が認められることから、再生砂の地盤材料としての用途拡大に向けた取組みが見送られたようであり、今後の課題と考えられる。

4. 解体コンクリートによる二酸化炭素の固定

4-1. 北欧における取組み

近年、カーボンニュートラルやカーボンリサイクルに関する関心が高まっており、供用時および解体時のコンクリートの中性化によるCO₂固定分を、LCCO₂の算定過程で「割り引き」することが、日本でも議論されるようになっている。そのきっかけとなったのは、筆者も参加した2005年にカナダで開催された国際会議におけるPer Jahren博士(PJ CONSULT A/S)からの、次のような指摘であった⁷⁾。

- ・解体コンクリートは、破碎によって新しい表面積が増え、急速に中性化する。
- ・中性化によって空気中のCO₂は固定されるので、LCCO₂の算定に含めるべきである。

もし、解体後のコンクリートのCO₂固定量がLCCO₂にカウントしなければならないほどの量であれば、確かに、国家インベントリに反映する必要があり、日本でも検討が必要と考えられた。

4-2. 硬化モルタル片を用いた試験による検討

そこで、解体後のコンクリートによるCO₂固定がどの

ように進むのか、硬化モルタル片を用いたモデル試験によって検討することとした。

試験では、セメントの種類(普通ポルトランドセメント：OPC、高炉セメントB種：BB)と水セメント比(60%、40%)の異なるモルタル試験体を1年間封緘養生した後、破碎後(0.5-0mm、2-0.5mm、5-2mmに分級)の暴露条件(乾燥条件：D、乾湿繰返し条件：DW)を変え、炭酸化の進行をCaCO₃含有率で評価している。結果は**図6**のとおりである⁸⁾。

暴露環境としては、乾湿繰返し条件の方がCaCO₃含有率は高いこと、粒度が細かいほどCaCO₃含有率は高いこと、W/Cが低くても粒径が小さい粒子ではCaCO₃含有率は高くなること、セメント種類についてはOPCよりBBの方がCaCO₃含有率が低いことなどが明らかとなった。つまり、炭酸化の進行は、粒径が小さい粒子では、短期間で進んでおり、その影響は無視できないということである。

そこで、首都圏近郊の8つの中間処理工場から再生碎石を入手し、5mm通過分の細粒に含まれるセメントペースト中のCaCO₃含有率を調べ、再生碎石1t当たりのCO₂固定量を推定したところ、約11kgが固定されているという結果となった。土木学会の試算方法⁹⁾を参考にコンクリートのLCCO₂を算出すると、CO₂固定量は**図7**に示すように、コンクリートのLCCO₂の約5.5%にあたることがわかった⁸⁾。

4-3. 国総研による全国調査

これらの研究報告を受けて、国土交通省国土総合技術研究所において再生碎石試料によるCO₂固定量

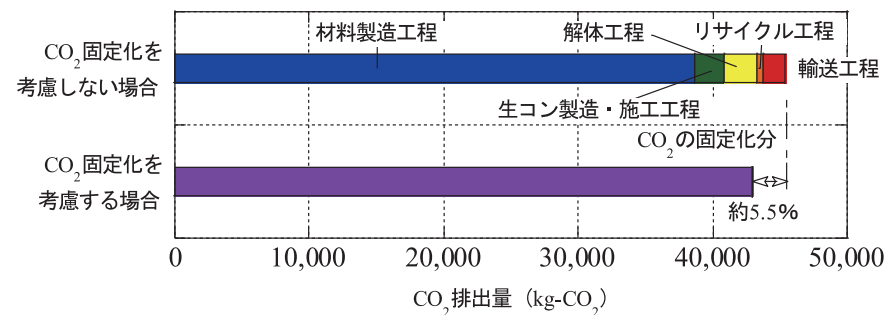


図7 コンクリートのLCCO₂の算出結果⁸⁾

表3 採取試料の供用条件、供用年数、CO₂固定量¹⁰⁾

供用条件 (n)	平均供用年数 (year)	CO ₂ 固定量(0d) (kg-CO ₂ /t)
建築基礎(11)	33	10.9
建築躯体(13)	33	18.6
土木 (5)	30	12.6

の、本格的な全国調査(45都道府県の46工場)が行われた¹⁰⁾。

採取した試料の供用条件、供用年数、CO₂固定量は表3のとおりである¹⁰⁾。平均供用年数30年程度でCO₂が15.2kg固定されていたことがわかった。また、図8は、大気暴露後のCO₂固定量の変化¹⁰⁾であるが、1か月の保管で8.5kgがさらに固定されていた。この量は、コンクリートのLCCO₂の約12%にあたる。

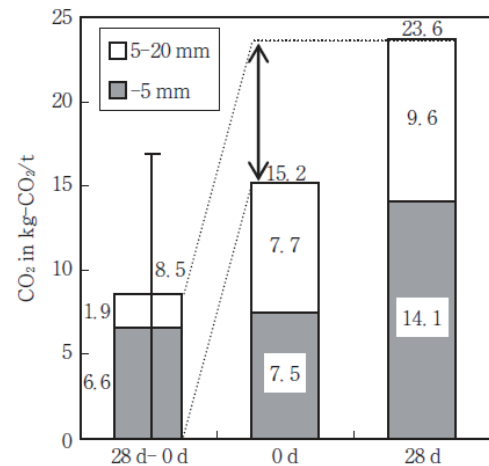


図8 大気暴露後のCO₂固定量の変化¹⁰⁾

過剰に意識するあまり、不当にリサイクルの推進が妨げられないような仕組みの構築が必要であると考えられる。

4-4. 今後の展望

脱炭素社会の実現に向けて、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の「グリーンイノベーション基金事業／CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」¹¹⁾を始めとして、大型の技術開発が進められているが、解体コンクリートによるCO₂固定を利用して、コンクリートリサイクルの現在のサプライチェーンを生かしつつ、環境安全品質とのバランスを取りながら、用途や適用箇所に合わせて、再生碎石・再生砂の地盤材料としての用途拡大を図ることも重要な取組みではないかと考えられる。

例えば、期待されるCO₂固定量が獲得できた場合に、中間処理業者に何らかのインセンティブを与えることで、地盤材料としての用途拡大も進むことが期待される。再生碎石・再生砂利用をめぐる環境安全品質に関しては、環境被害を未然に防ぐのはもちろんのこと、

地によらず災害廃棄物としての適正かつ円滑・迅速な対応ができるよう、全国的な展開を進めるべきと考えられる。

(4) 脱炭素社会の実現に向けて、コンクリートの再資源化によるCO₂固定化が脚光を浴びている。期待されるCO₂固定量が獲得できた場合に、中間処理業者に何らかのインセンティブを与えることで、再利用用途の拡大も進むことが期待される。

(5) 再生碎石・再生砂利用をめぐる環境安全品質に関しては、環境被害を未然に防ぐのは勿論のこと、過剰に意識するあまり、不当にリサイクルの推進が妨げられないような仕組みの構築が必要であると考えられる。
【謝辞】本稿の取りまとめに際し、北海道大学の北垣亮馬教授、増尾リサイクル(株)の増尾孝義専務に、貴重な資料をご提供頂くとともに、ご助言を賜りました。ここに感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) (公社)日本コンクリート工学会／コンクリートに用いる粉体系材料の環

- 境安全品質に関する研究委員会 報告書、2022.09
- 2) 平成30年度建設副産物実態調査結果(確定値) 参考資料
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/d11pdf/fukusanbutsu/jittaichousa/H30sensusekka_sankou2.pdf
- 3) 「東京ブランド“粋な”えこ石(路盤材)」他3基準 別紙【今回環境局が認証した品質基準の概要】
https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2017/10/04/documents/06_01.pdf
- 4) 黒田泰弘、北垣亮馬／産業副産物・災害廃棄物の地盤工学的利用(3)コンクリート塊、地盤工学会誌、65-5、pp.43～50、2017.05
- 5) 黒田泰弘、川口正人／コンクリート再生材からの六価クロム溶出挙動と環境安全性の評価、清水建設研究報告第88号、pp.97～105、2011.01
- 6) コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会 総合報告書、2012. 03
<https://www.slg.jp/pdf/sougouhoukokusyoH24.pdf>
- 7) 黒田泰弘、藤本郷史／解体コンクリートによるCO₂の固定とライフサイクル評価、セメント・コンクリート、No.740、pp.34～39、2008.10
- 8) 黒田泰弘、菊地俊文／コンクリート塊による二酸化炭素の固定化に関する研究、清水建設研究報告第86号、pp.29～36、2007.10
- 9) 土木学会コンクリート委員会コンクリートの環境負荷評価研究小委員会 編／コンクリート技術シリーズNo.62 コンクリートの環境負荷評価(その2)、pp.32～40、2004
- 10) 神田太郎、曾根真理、岸田弘之／コンクリートの供用および再資源化による二酸化炭素の固定に関する全国調査、コンクリート工学Vol.49、No.8、2011.8、pp.9～16
- 11) NEDO「グリーンイノベーション基金事業／CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」
https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100241.html

5. まとめ

大迫委員長から「現場から見た再生碎石・再生砂利用の現状と展望」について話題提供してほしいとの要請を受け、筆者なりにこれまでの調査結果や検討結果を整理してみた。

まとめを、以下に示す。

- (1) 1992年以降、減少していたコンクリート塊の排出量は、2018年には増加に転じており、道路用の路盤材への利用だけでは、行き詰まる可能性が高い。
- (2) 都市部ではすでに、再生碎石は滞留傾向にあり、複数の中間処理場が撤退・継続・ポジション変更等を考え始めている。
- (3) 東京都では、再生碎石の再利用用途拡大に向けての検討が行われているが、全国的には進んでいない。今後、大規模な自然災害も想定されており、発生

サーキュラーエコノミーシステムの構築から カーボンニュートラル社会の実現へ





増尾リサイクル

〒116-0013
東京都荒川区西日暮里2丁目18番1号 増尾ビル8階
<http://www.masuo-group.com/>



冷や汗をかいた話

二羽 淳一郎

日本学術振興会(JSPS, 学振)という組織をご存じだろうか。文科省の外郭団体の独立行政法人であり、大学関係者であれば、科学研究費、特別研究員等でなじみがあると思う。この学振の中に学術システム研究センターという組織がある。

センターには、大学等の本務を持つ兼業の主任研究員と専門研究員が在籍する。筆者は2020年3月までの4年間、工学系の主任研究員を務めたので、そのときの経験を紹介したい。

主任研究員は、全学術分野を人文、社会、数物、化学、工学、生物、農学・環境学、医歯薬学に分けて、それぞれ2名ないし3名が選ばれていた。主任研究員の仕事は、毎月2回主任研究員会議に出席する他、科研費WGや特別研究員WGに出席し、また担当分野の月例の専門研究員会議の司会を行う。大学は、これらの会議が行われる金曜日には出勤する必要はなく、また主任研究員の手当ての他、調査研究費や海外調査旅費も支給された。なお、自分の申請した科研費の審査も通りやすくなるのではと思われがちであるが、それは全くない。研究員は審査が公平に行われていることを厳しくチェックするが、審査自体には関与していない。

毎回の主任研究員会議の冒頭には45分くらい時間をとり、各研究員が順番にプレゼン

することになっており、筆者の専門とは全く異なる世界を垣間見ることができた。文学系の方の話には、成人向きの内容のものもあった。化学・生物分野の研究は、急速にナノレベルに進み、医学・病理学と親和性がある。医学では、内科と外科ではかなり方向が異なり、外科は工学の実験系に近い。このように、楽しい時間を過ごすことができた。

対面形式の審査会への陪席、各種公募要領の審議や改訂など、思った以上に多くの作業があったが、何とかこなしていくことができた。

ただし、主任研究員にとって非常に苦痛な会議が年に1度あった。ここからが本題である。それは、日本学術振興会賞・審査会への陪席である。われわれ大学の教員は、卒論、修論、博論の発表会、学会発表の際の質疑などでは、リラックスして、割と自由に発言するのが常である。これは、自分自身がその分野に詳しく、何が問題なのか、そのプレゼンの良い点、物足りない点が理解できるからである。ところが、この審査会は全く様相を異にするのである。

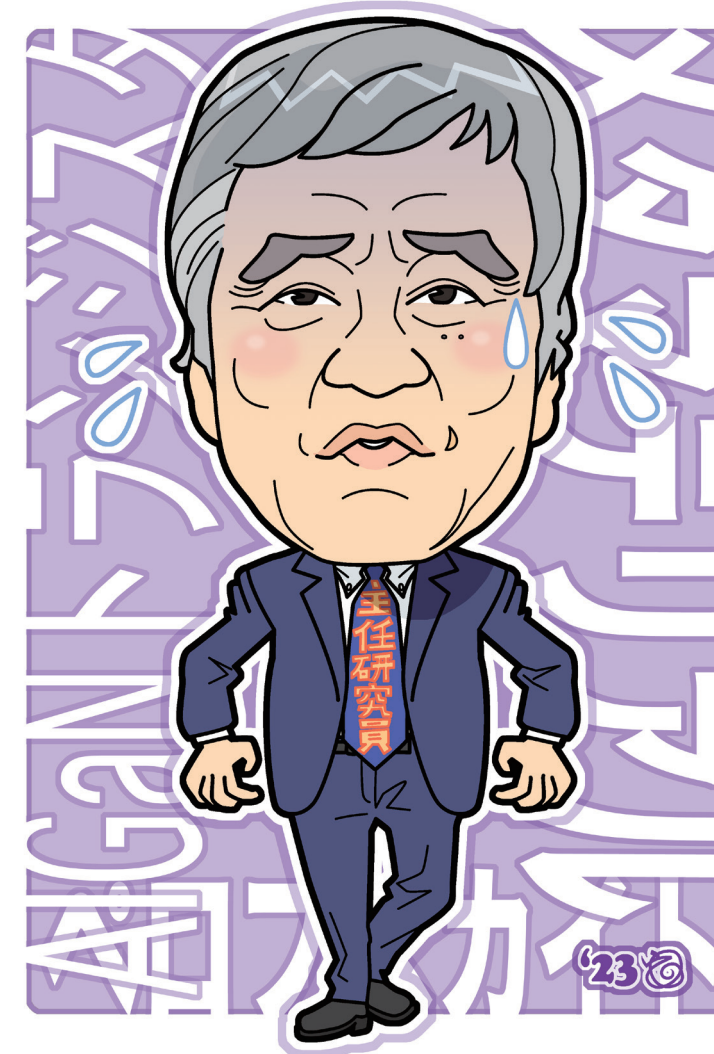
例年、5月の連休前に膨大な数の推薦書が届くが、まずこれを仕分けて予備審査の担当者を決める。専門研究員1人がおおよそ10件以上を担当するが、誰が適当かを考えるのが大変であった。科研費の審査区分では、

工学はC、Dの大分野に分かれ、それぞれが複数の中分野に分かれている。Cの中分野は、機械系、電気電子系、土木系、建築系などであり、Dの中分野は、化工系、ナノマイクロ系、応物系、人間医工学系などである。基礎的な分野がC、先進的な分野がDと大別できるかもしれない。前任の主任研究員は応物系の専門家であったが、超人的な才能の持ち主で、あっという間に推薦書をCとDに区分して、私がDを担当するのであなたはCをということになった。担当分けの後、自分でも多少の予備審査を行った。Cといっても実に幅広く、使っている専門用語自体よくわからない。「ペロブスカイト」、「AlGaInトランジスタ」、「メタマテリアル」等々、全然わからない。土木・建築系の応募があると本当にほっとした。

専門分野における予備審査の後、理工系の主任研究員が集まって、理工系からの推薦者を決定する。この時は、理工系に想定される受賞枠の約2倍の推薦(候補+補欠)を行い、審査会で半分に絞るというプロセスである。自分が担当した応募者が推薦枠に入った場合は、審査会で説明することになる。

例年10月に行われる審査会ではノーベル賞受賞者を含む錚々たる顔ぶれの委員長や委員の前で、各主任研究員が短い時間で推薦の説明をする。その後、なぜだかわからないが、審査員から主任研究員に向けて、度々厳しい質問が浴びせられるのであった。

筆者も4年間の任期の間、数回説明を行ったが「自分がよくわかっていない」ことをもっともらしく説明し、しかも厳しい質問に答えなければならぬので、本当に冷や汗をかいた。説



明内容を文書にしておき、わかりやすく説明したつもりである。しかし中には、参考文献〇〇のcorresponding authorは誰かなど、その場ですぐに答えられないような質問を受けた主任研究員もいて、本当に大変であった。審査の参考となるように主任研究員が説明しているにもかかわらず、主任研究員が審査員から厳しく責められるのは、本当に理不尽であった。

なお、2018年に就任された里見理事長の英断で、審査会の委員長や委員が大幅に交代となった。そして、それ以降審査会で審査員と主任研究員が対峙するというような図式がなくなったのは何よりである。

[にわ じゅんいちろう／

東京工業大学名誉教授 工博]

コンクリートの「中性化」と強制的な「炭酸化」の違い

The difference between "neutralization" and "carbonation" of concrete

取 違 剛 渡 邊 賢 三 関 健 吾 向 俊 成

1. はじめに

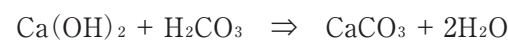
コンクリートは、圧縮強度に優れ、耐久적であり、かつ安価な、それでいて様々な形を造ることができる、構造物の建設になくてはならない材料である。近年、これらの特長に加えてコンクリートによるCO₂の固定化という新しい価値に注目が集まっている。筆者らも、コンクリートにCO₂と反応して硬化する特殊な混和材を配合し、成型した後に強制的にCO₂ガス環境下で養生(以下、炭酸化養生と称す)してコンクリート中にCO₂を固定化するCO₂吸収コンクリートの開発および実用化を行ってきた¹⁾。

これは、コンクリートの「炭酸化」を利用した技術であるが、一般にコンクリート中の水和物と空気中のCO₂が

反応して生じる「中性化」が劣化現象として知られているため、コンクリートにおける「炭酸化」と「中性化」が同一視されることが多いように思われる。本稿では、一般的に考えられている「中性化」と、強制的な「炭酸化」の違いについて整理し、過去の研究成果をレビューしつつ、炭酸化養生を行ったCO₂吸収コンクリートの今後の可能性について述べる。

2. CO₂の供給によりコンクリートに生じる現象

コンクリートに二酸化炭素(CO₂)が供給されたとき、CO₂と、コンクリート中の水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)が反応して炭酸カルシウム(CaCO₃)が生成される。その反応式は以下のとおりである)。



また、Ca(OH)₂だけでなく、ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H、代表的な化学組成: 3CaO・2SiO₂・3H₂O)やエトリンガイト(3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O)、モノサルフェート(3CaO・Al₂O₃・CaSO₄・12H₂O)などの鉱物もCO₂と反応する²⁾。

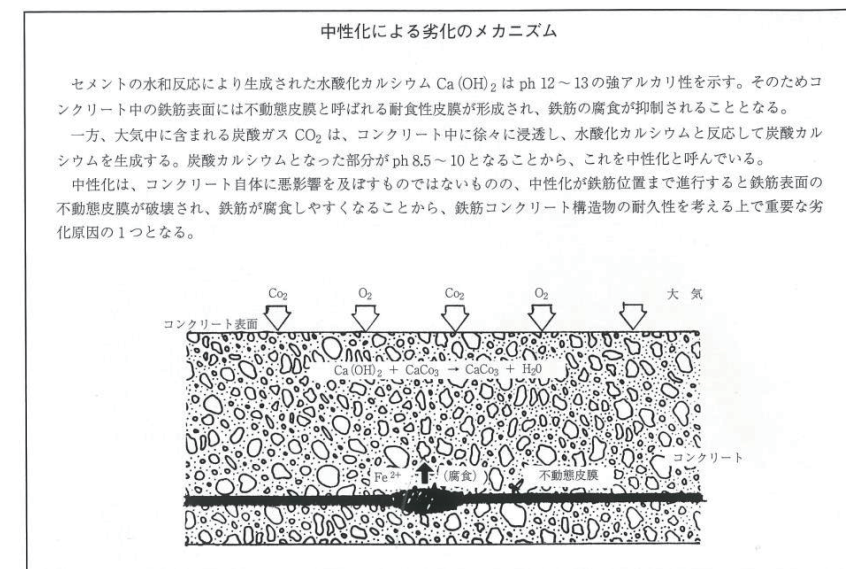
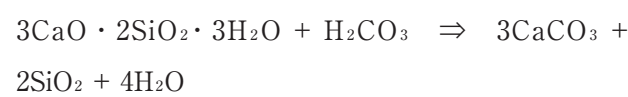
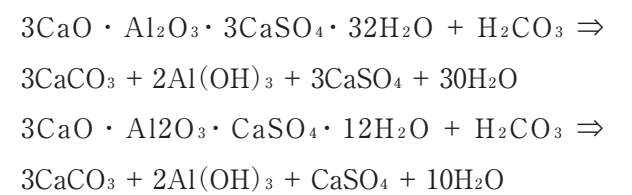


図1 中性化による劣化のメカニズム³⁾



いずれの反応においてもカルシウムイオンCa²⁺と炭酸イオンCO₃²⁻が反応してCaCO₃を生成することから、この現象は「炭酸化」と呼ばれる。また、この反応はCO₂が供給されれば生じる現象であるので、CO₂が自然状態で供給されるものであっても、人為的であっても現象として変わりはない。

3. コンクリートの中性化

コンクリートの劣化の一つとして、中性化がある。(公社)日本コンクリート工学会のコンクリート技術の要点'22には、「中性化とは、一般に「空気中の」CO₂の作用を受けて、コンクリート中のCa(OH)₂が「徐々に」CaCO₃になり、コンクリートのアルカリ性が低下する現象をいう。」と記されている。実際には、環境や時間によって、前述のケイ酸カルシウム水和物やエトリンガイト、モノサルフェートの反応も生じている。

前述した炭酸化の反応式のうち、コンクリートに高アルカリを付与するCa(OH)₂とCO₂との反応がコンクリー

ト内部に進行することによって、コンクリート中の鉄筋位置のpHがアルカリから中性域に近づくと、コンクリート中の鉄筋が錆び、かぶり部が鉄筋腐食による膨張でひび割れや剥落を生じる。これが、一般的な「中性化」によるコンクリートの劣化である。平成8年制定土木学会コンクリート標準示方書「施工編」において、コンクリートの品質として、それまでの「強度」に加えて「耐久性」がクローズアップされた際に、コンクリートの耐久性は、①コンクリート自身の劣化(凍害や化学的浸食、アルカリ骨材反応)に対するものと、②「鋼材を保護する性能」に大別されること、そして、中性化は後者にあたる現象であると示されている。すなわち、中性化は、コンクリート自身の劣化ではないことがコンクリート標準示方書で明言されている。また、(公社)日本コンクリート工学会の過去の研究報告³⁾でも、図1に示すように、中性化による劣化メカニズムについて、「中性化は、コンクリート自体に悪影響をおよぼすものではない」との記載がある。

ここで、大気中のCO₂の濃度は、この数十年で増えたと言われているが、それでも0.04%程度であり、極めて低い。よって炭酸化反応は、極めてゆっくりとコンクリート表面から内部に進行していく。その速さは、環境条件や配(調)合条件によって異なるが、通常は数十年で表面から数センチ程度である。

一方数十年の間に、水や日光、降雪などの影響を



とりちがい たけし / TORICHIGAI Takeshi
鹿島建設(株) 技術研究所



わたなべ けんぞう / WATANABE Kenzo
同上



せき けんご / SEKI Kengo
同上



むかい としなり / MUKAI Toshinari
同上

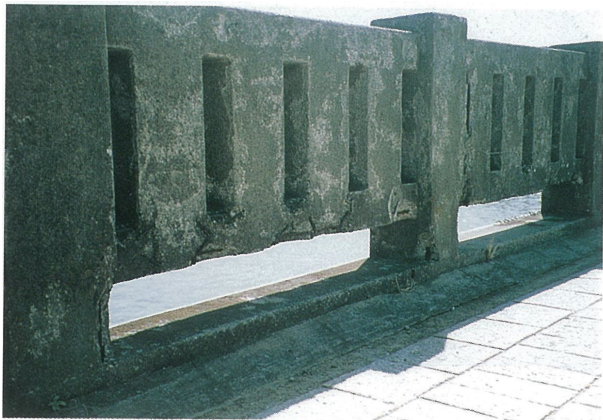


図2 水門高欄における中性化による劣化事例³⁾

受け、乾湿や温度変化を繰り返すことで、コンクリート表面部には成分の溶脱や乾燥・温度変化、凍結融解等に伴う微細ひび割れなどが生じ、これが中性化と並行して進行することになる。その結果、中性化と各種環境作用の「複合劣化」によって、図2に示すように、鉄筋腐食に加えて、かぶり部のコンクリートが脆弱化する場合がある。この場合、組織が粗になり、コンクリートの表面は著しく低強度化することが多い。中性化によって劣化したコンクリートが、鉄筋の腐食を生じるとともに、かぶり部のコンクリートも脆くなっていることが多いのは、この理由からである。この複合劣化が、あたかも「中性化によってコンクリートそのものが劣化する」という誤解を生んでいるように思われる。

4. コンクリートの強制炭酸化

CO₂吸収コンクリートの製造過程では、コンクリートの練混ぜ・成型から数日～十数日の短時間に、人為的にCO₂を供給しながら養生する「炭酸化養生」を行う。この過程では、セメントの水和に加えて炭酸化が進行し、コンクリートの強度低下などは発生しないばかりか、新しい機能を付加することが可能である。コンクリートの炭酸化養生(英語ではCarbonation Curingと表現される)に関する過去の文献のレビューを取りまとめたFernandezによると、一般的なコンクリートを材齢初期から高濃度のCO₂環境下で炭酸化養生することで、CaCO₃の析出反応に伴う空隙の充填効果によって組織

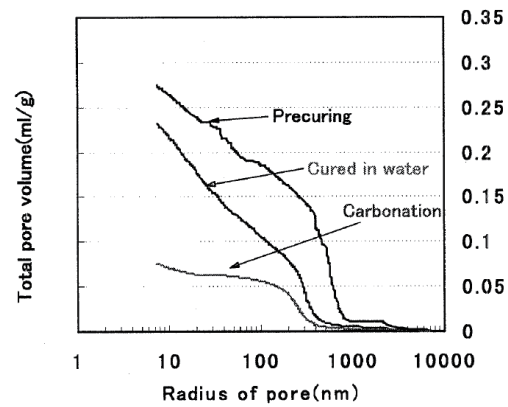


図3 低熱ポルトランドセメントの炭酸化養生による細孔径分布の変化³⁾

が緻密化し、強度は増加するとされている⁴⁾。高田らは、W/C=50～70%の普通コンクリートを対象に材齢初期から促進炭酸化を行い、CO₂濃度1%や10%の環境下では、コンクリートの圧縮強度が増加することを明らかにしている⁵⁾。また、坂井らは、このような炭酸化反応による組織の緻密化をさらに高める技術として、普通ポルトランドセメントや高炉セメントよりも低熱ポルトランドセメントが、炭酸化反応によってより緻密な空隙構造を形成可能なことを明らかにしている(図3)⁶⁾。この現象について坂井らは、以下のように説明している。

- ・ビーライトの水和において、ユーライトに比べてCa(OH)₂よりもC-S-Hが多く生成される
- ・Ca(OH)₂が炭酸化した場合にはカルサイトが、C-S-Hが炭酸化した場合にはバテライトの生成が多くなる⁷⁾
- ・カルサイトとバテライトの密度はそれぞれ2.71g/cm³と2.54g/cm³であり、同一質量において占有体積の多いバテライトが多く生成されることで空隙がより緻密化する

すなわち、ビーライトを多く含む、または、C-S-Hを多く生成するセメント系材料は、炭酸化養生によってバテライトの生成に伴う著しい緻密化が可能となる。この研究成果を踏まえて筆者らは、CO₂との反応性の高い特殊なγ型のビーライト(ダイカルシウムシリケートγ相、以下、γ-C₂Sと称す)を内添しつつ、各種ポゾラン材料を混和材として用いたコンクリートを、若材齢から炭酸化養生することで、非常に緻密な硬化体が得られることを



図5 中国大地湾遺跡¹¹⁾

明らかにしている⁸⁾。

また、伊代田らは、炭酸化による反応機構そのものが、自然環境のCO₂濃度と促進環境のCO₂濃度によって異なることに言及しており⁹⁾、高濃度CO₂環境下では、CaCO₃として、空隙充填効果の高いバテライトが優先的に生成されることを明らかにしている(図4)¹⁰⁾。

さらに、5,000年前に構築されたと推測されるコンクリート(図5)¹¹⁾や、約2,000年前の古代ローマコンクリートなどにおいても、コンクリートの炭酸化が確認されており¹²⁾、炭酸化反応は、コンクリートの緻密化だけでなく、化学的な安定性にも寄与すると考えられる。

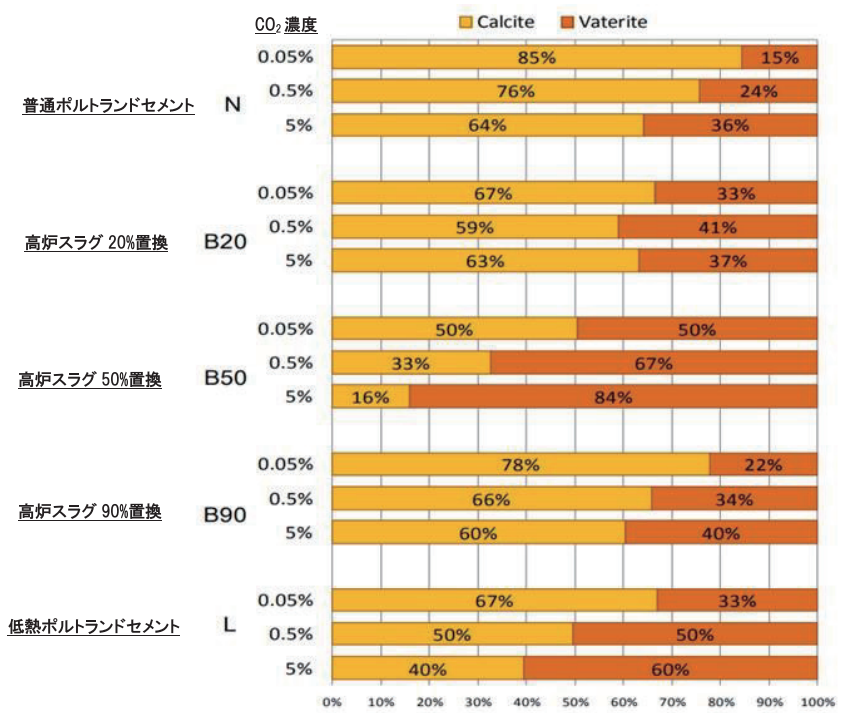


図4 CO₂濃度がカルサイトとバテライトの生成割合に及ぼす影響

[参考文献10)に筆者が一部加筆]

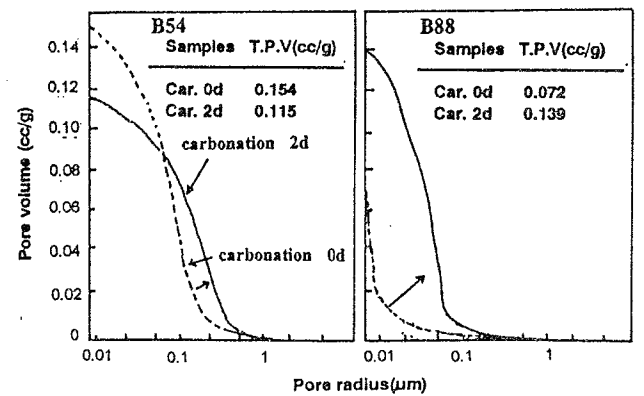


図6 高炉スラグセメント硬化体の炭酸化による空隙構造の変化¹³⁾

なお、混和材を多量に用いたコンクリートを促進炭酸化させる場合には留意が必要と考えられる。坂井らは、高炉スラグ微粉末を50%および80%置換したセメントペーストを対象に材齢7日から促進炭酸化を行っており、高炉スラグ微粉末の置換率50%の場合(図6の左のグラフ)、総空隙量は減少するものの、0.1～1μmの比較的大きな径の空隙が増加する結果を得ている。また、高炉スラグ微粉末置換率80%(図6の右のグラフ)の場合には、促進炭酸化によって空隙が著しく増加する結果を示している。



図7 長寿命化コンクリートEIEN¹³⁾

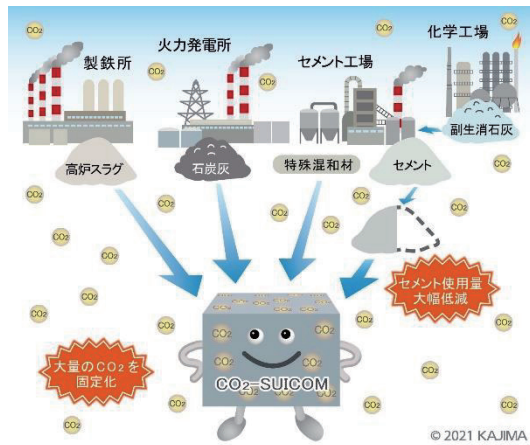


図8 カーボンネガティブコンクリート CO₂-SUICOM¹⁷⁾



5. 炭酸化するによるコンクリートの高機能化

この炭酸化するによるコンクリートの緻密化技術を用いて、筆者らは、コンクリートの表面部分に極めて密実な層を形成することで、高い物質遮断性を付与しつつ、溶脱に対する抵抗性を普通のコンクリートの100倍以上に高めた、長寿命化コンクリート「EIEN」を開発した(図7)¹³⁾。このコンクリートのカルシウム溶脱に対する抵抗性を解析的に評価した結果、10,000年後にも数cmのみしか溶脱が進まず、健全な状態を担保できるとの予測結果を得ている¹⁴⁾。また最近では、低熱ポルトランドセメントに、膨張材と塩分吸着性能をコンクリートに付与できるCaO・2Al₂O₃(CA₂)を添加したセメント系材料をごく表層だけ炭酸化させることで、溶脱抵抗性と塩分浸透抵抗性が著しく向上されることが明らかになっている¹⁵⁾。

また、同じ炭酸化養生技術を用いつつ、材料起因の

CO₂排出量削減、ならびにコンクリートへのCO₂固定の観点からコンクリートの材料・配合・炭酸化養生条件について検討を進め¹⁶⁾、CO₂排出量実質ゼロ以下となる、カーボンネガティブコンクリート「CO₂-SUICOM」を開発した(図8)¹⁷⁾。コンクリートへのCCU (Carbon dioxide Capture and Utilization)技術の一つとして、今後の展開が期待されている。

6. おわりに

冒頭でも述べたように、コンクリートによるCO₂の固定化には大きな期待が寄せられている。社会課題の解決に向けて、新しい技術を普及展開していくためには、生じる現象を正しく捉え、品質の担保を前提に適用できる構造物や部材を探っていくことが重要である。コンクリートの炭酸化においては、「中性化」と「強制的な炭酸化」

では、反応の時間軸や反応機構が異なることに留意が必要である¹⁸⁾。特に、鋼材や鉄筋の腐食への影響は、コンクリートの中性化よりも水分浸透の方が大きいことが明らかにされており¹⁹⁾、そのことは、土木学会コンクリート標準示方書(RC示方書)や建築学会建築工事標準仕様書(JASS5)にも掲載されている。これらの知見を応用すれば、強制炭酸化したコンクリートを鉄筋コンクリートに適用できる範囲も拡大できるものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 取達剛, 森泰一郎 / CO₂吸収型カーボンネガティブコンクリート CO₂-SUICOM-コンクリートとCO₂の炭酸化反応に着目した技術の展開-, コンクリートテクノ, Vol.41, No.4, pp.60~64, 2022
- 2) (社)日本コンクリート工学協会, 炭酸化研究委員会報告書, 1993
- 3) (社)日本コンクリート工学協会, コンクリート構造物の劣化および補修事例集, 1996
- 4) M. Fernandez Bertos et al : A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂, Journal of Hazardous Materials, B112, pp.193~205, 2004
- 5) 高田良章, 魚本健人 / 中性化の進行に伴うコンクリートの品質変化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.901-904, 1992
- 6) 坂井悦郎, 盛岡実, 山本耕三, 張璽, 大場陽子, 大門正機 / 低熱ポルトランドセメント硬化体の炭酸化反応, Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.107, No.6, pp.561~566, 1999
- 7) 立松英信, 佐々木孝彦, 小棹理子 / セメント水和物の炭酸化に及ぼすアルカリの影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, pp.669~672, 1991
- 8) 渡邊賢三, 横関康祐, 坂田昇, 坂井悦郎 / γ-2CaO・SiO₂および各種ボランを添加した硬化体の炭酸化反応による空隙充てん機構, 土木学会論文集E2, Vol.68, No.1pp.83~92, 2012
- 9) 伊代田岳史, 後藤誠史, 中村絢也 / セメント硬化体の炭酸化機構の解明-自然環境と促進環境の違い-, セメント・コンクリート, No.887, pp.39~47, 2021
- 10) 豊村真理, 伊代田岳史 / 異なる二酸化炭素濃度下における炭酸化メカニズムに関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.769~774, 2013
- 11) 李最雄 / 世界最古のコンクリート, 日経サイエンス, pp.74-84, 1987
- 12) 坂井悦郎, 大門正機 / 新・社会環境マテリアル, 2017
- 13) 坂井悦郎, 金尚奎, 大門正機 / 高炉スラグセメント硬化体の炭酸化反応による多孔化の抑制方法, セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.714~719, 1995
- 14) 渡邊賢三, 横関康祐, 取達剛, 坂田昇 / 炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化技術-EIENの開発と試験施工-, コンクリート工学, Vol.45, No.7, pp.31~37, 2007
- 15) 新杉匡史, 新大軌, 樋口隆行, 坂井悦郎 / 低熱ポルトランドセメント-CaO・2Al₂O₃-膨張材系の水和生成物と表面炭酸化した硬化体の溶脱抵抗性と塩化物イオン浸透抵抗性, セメント・コンクリート論文集, Vol.70, pp.162~167, 2016
- 16) 取達剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実 / 炭酸化したセメント系材料におけるCO₂固定量の評価手法および物性変化に関する研究, 土木学会論文集E2, Vol.77, No.2, pp.37~54, 2021
- 17) 取達剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実 / CO₂排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO₂-SUICOM(スイコム), セメント・コンクリート, No.786, pp.26~31, 2012
- 18) 坂田昇他 / コンクリートの中性化と強制的な炭酸化の違いについて, コンクリートテクノ, Vol.42, No.2, pp.44~47, 2023
- 19) 石田哲也, 大野元寛, 土屋智史 / 水を断ち切って鋼材腐食を防ぐー数値解析による定量検討ー, 橋梁と基礎, pp.23~26, 2022.8

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

セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット（A4判・16ページ）を作成しました。様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・渇水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

[一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181](mailto:sementokai@sementokai.co.jp)



アルカリシリカ反応抑制技術の検討

Investigation of Technology to Suppress Alkali-silica Reaction

中村 慶一郎 桐山 宏和 石田 剛朗 伊藤 智章

1. はじめに

新設構造物に対する既存のアルカリシリカ反応（以下，ASR）対策としては，①アルカリ総量の抑制，②混合セメントもしくは混和材の使用，③化学法またはモルタルバー法で無害と判定された骨材の使用が一般的である。しかし，将来的に火力発電所が廃止されるとフライアッシュの供給量が減少する可能性があり，また骨材事情の悪化から無害でない骨材が増加する可能性もある。今後，わが国において，混和材を多く用いることができないコンクリート構造物では，ASRがより大きな問題となる可能性は否定できないと考えられる。

既存のASR抑制対策として代表的な方法は，高炉スラグ微粉末やフライアッシュ，シリカフューム，メタカオリ

ンなどの鉱物質微粉末 (supplementary cementitious materials：SCM)をコンクリートに混入する方法である。

SCMを混入したモルタルやコンクリートは，Siの増加やセメントの置換による相対的なCaの低下により，C-S-Hの組成が低Ca/Siモル比となる。低Ca/Siモル比のC-S-Hは，空隙水のアルカリをより多く固定すると言われている¹⁾。また，SCMのうち，Alを多く含むポゾラン材などでは，AlがC-S-H中のSiと置換しC-A-S-Hが生成され，その際，Alは4配位のSiと置換するため，一価の陽イオン(この場合，Na⁺やK⁺等のアルカリ金属イオン)を固定すると言われている¹⁾。その他のASR抑制技術としては，リチウム塩を使用する方法が挙げられ，アルカリシリカゲル中のアルカリ金属とリチウムが置換されることによって，アルカリシリカゲルが非膨張性に改質されるため膨張が抑制されると言われている。この方法は，現在わが国では既設構造物の補修工法として採用されており，ひび割れ注入や内部圧入等により，亜硝酸リチウムをコンクリート内部へ浸透させる。しかし，例えば，亜硝酸リチウムの内部への浸透やASRの停止に関してその確実性が不透明であること，リチウム塩が高価であること等が課題と考えられる。また，比較的新しい技術として，空隙水のアルカリ金属イオンを吸着および固定化する材料が検討されており，ゼオライトやプロピオン酸カルシウムがそれに該当する^{2,3)}。

本研究では，前述した従来の対策技術の代替とな

表1 使用材料

材料	摘要
水	上水道水
セメント	アルカリシリカ反応性試験用普通ポルトランドセメント，密度：3.16g/cm ³ ，Na ₂ O：0.25%，K ₂ O：0.42%，R ₂ O：0.53%
細骨材	天然細骨材，JIS A 1146 の判定：“無害でない”
水酸化ナトリウム	試薬特級
塩化ナトリウム	試薬特級

表2 ASR抑制効果を検討した混和材料

材料名（記号名）		摘要
高炉スラグ微粉末（BFS4000）		高炉スラグ微粉末 4000，ブレーン比表面積：4550cm ² /g
フライアッシュ（FAⅡ種）		フライアッシュⅡ種，湿分：0.05%，強熱減量：2.0%，ブレーン比表面積：3400cm ² /g
シリカフューム（SF）	銘柄 A	カナダ産，シリコン由来，BET 比表面積：18.3m ² /g
	銘柄 B	ブラジル産，シリコン由来，BET 比表面積：15～20m ² /g
	銘柄 C	エジプト産，シリコン由来，BET 比表面積：16.9m ² /g
	銘柄 D	中国産，シリコン由来，BET 比表面積：16.2m ² /g
	銘柄 E	中国産，電融ジルコニア由来，BET 比表面積：10.8m ² /g
メタカオリン（MK）		325 メッシュ
火山ガラス微粉末（VG）	Ⅲ種	SiO ₂ ：73.4%，Al ₂ O ₃ ：12.5%，BET 比表面積：10,000cm ² /g 以上
	Ⅱ種	SiO ₂ ：72.6%，Al ₂ O ₃ ：12.6%，BET 比表面積：40,000cm ² /g 以上
	Ⅰ種	SiO ₂ ：71.8%，Al ₂ O ₃ ：12.8%，BET 比表面積：80,000cm ² /g 以上
廃ガラス粉末		500 μ m 通過，SiO ₂ ：70～74%，CaO：6～12%，Na ₂ O：12～16%
Al 源	γ-Al ₂ O ₃	試薬
	α-Al ₂ O ₃	試薬
	Al(OH) ₃	試薬
脂肪酸類	プロピオン酸カルシウム無水物	試薬，示性式：(C ₂ H ₅ COO) ₂ Ca
	酢酸カルシウム一水和物	試薬，示性式：(CH ₃ COO) ₂ Ca・H ₂ O
	酢酸マグネシウム四水和物	試薬，示性式：(CH ₃ COO) ₂ Mg・4H ₂ O
	酢酸	試薬，99.7%溶液，示性式：CH ₃ COOH

るような材料の探索を目的として，種々の材料のASR抑制効果を評価した。具体的には，モルタルバー法を参考に，種々の材料を添加してASR促進試験を実施し，膨張抑制効果を評価した。

2. 実験概要

2-1. 使用材料および検討材料

使用材料を**表1**に，ASR抑制効果を検討した混和材料を**表2**に示す。

2-2. ASR抑制効果の評価方法

試験は，細骨材の粒度調整を行っていないことを除き，JIS A 1146(骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）)に準拠して実施した。ASR抑制効果は，**表1**に示した“無害でない”と判定された細骨材を使用し，**表2**に示した検討材料を所定量添加した場合に膨張がどの程度抑制されるかで評価した。モルタルバーの貯蔵では，40±2℃，相対湿度95%以上の

養生環境を確保するための手段として，滴らない程度に水分を吸収した吸収紙でモルタルバーを覆い，さらにポリプロピレン製の袋に入れ密封した状態で，40℃の温水中で養生する方法を採った。アルカリ濃度調整剤として，水酸化ナトリウムをセメントの全アルカリがNa2Oeqで1.2%となるように添加した。また，一部，アルカリ濃度調整剤として塩化ナトリウムを使用し，上記と同様に添加した水準についても試験を実施した。

2-3. 試験水準

試験水準を**表3**に示す。各検討材料について，一般的な添加量および添加方法を考慮し，適切に評価できるよう設定した。

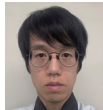
3. ASR試験(モルタルバー試験)結果

3-1. 細骨材ロットや供試体作製日の異なるモルタルバーの膨張率の比較(Reference)

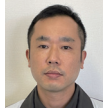
モルタルバー試験の再現性を確認するため，細骨



なかむら けいいちろう / NAKAMURA Keiichiro
UBE三菱セメント(株)
研究所 コンクリート研究室



きりやま ひろかず / KIRIYAMA Hirokazu
同上
博士(工学)



いしだ たけお / ISHIDA Takeo
同上
関連製品研究室
グループライダー 博士(工学)



いとう ともあき / ITO Tomoaki
同上
コンクリート研究室
室長

表3 試験水準

材料名もしくは記号名		添加量 ^{※1} (C×%)	添加方法
Reference		— (無添加)	—
BFS4000		20, 40	セメントに対して 内割添加
FAⅡ種		7, 15	
SF	銘柄 C	3, 7	
	銘柄 A～E	3	
	銘柄 A, C, E	4, 5	
MK		3, 7	セメントに対して 外割添加
VG (Ⅰ～Ⅲ種)		15	
廃ガラス粉末		10, 20, 20(150 μ m 通過)	
Al 源	γ -Al ₂ O ₃	10	
	α -Al ₂ O ₃	10	
	Al(OH) ₃	15	
脂肪酸類	プロピオン酸カルシウム無水物	0.3, 0.6, 1.4	セメントに対して 外割添加
	酢酸カルシウム一水和物	0.3, 0.6, 1.5	
	酢酸マグネシウム四水和物	0.3 ^{※2} , 0.6 ^{※2}	
	酢酸	0.3, 0.6, 1.2	水量に含める
		0.6, 1.2	
		0.3 ^{※2} , 0.6 ^{※2}	

※1：脂肪酸類の添加量は、モルタル中の有機酸イオン／全アルカリイオンのモル比 (R-COO⁻／A⁺モル比) を示す。
 ※2：アルカリ濃度調整剤として塩化ナトリウムを使用した水準。

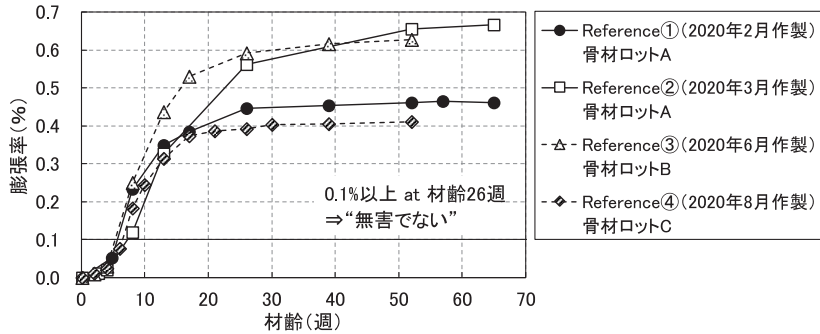


図1 骨材ロットや供試体作製日の異なるReferenceの膨張率の比較

材ロットや供試体作製日が異なる，検討材料を添加していない普通ポルトランドセメント単味(Reference)の水準の膨張率を比較した。その結果を図1に示す。材齢13週程度まではおおむね同様の膨張率を示しているが，材齢が進むにつれ差が生じ，最終的には0.4～0.7%の範囲でばらつきがある。これは骨材のロットや粒度分布，モルタル硬化体中の骨材の分布状況などが影響したためと考えられる。Referenceの試験結果はASR抑制効果を評価する上での基準となるため，作製日が近く，同一ロットの骨材を使用したものを比較対象とすることとした。

3-2. BFS4000・FAⅡ種・SF・MKの試験結果

3-2-1. BFS4000・FAⅡ種・SF(銘柄C)・MKの試験結果

BFS4000, FAⅡ種, SF(銘柄C) およびMKを添

加した場合のモルタルバー試験の結果を図2に示す。BFS4000-20%, FAⅡ種-7%, SF(銘柄C)-3%およびMK-3%は，Referenceよりも膨張を抑制できているものの，膨張傾向にあることから，いずれも添加量が不足していると考えられる。FAⅡ種-15%, SF(銘柄C)-7%およびMK-7%は，膨張速度に差はあるものの，材齢65週までに0.15～0.2%まで膨張した。それに対し，BFS4000-40%は材齢65週まで膨張しなかった。以上の結果から，SFやMKは，FAⅡ種の半量程度で同等のASR抑制効果があること，BFS4000-40%は長期材齢でも優れたASR抑制効果を有することが分かった。また，上記4種類の材料の化学組成を表4に示す。SFとMKは同一添加量で同等の効果を示していること，同一添加量ではFAⅡ種の方がSFやMKに比べて効果が小さいことから，混和材中のSiO₂とAl₂O₃の比率よりも非晶質量の方がASR抑制に寄与していると

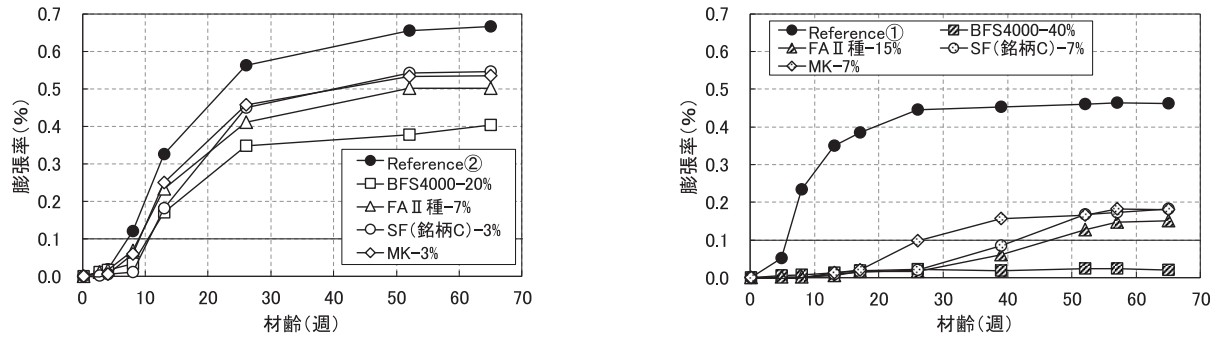


図2 BFS4000, FAⅡ種, SF(銘柄C)およびMKのモルタルバー試験結果

表4 BFS4000, FAⅡ種, SF(銘柄C)およびMKの化学組成

	化学成分 (%)									
	ig.loss	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl
BFS4000	0.97	42.05	32.37	14.09	0.22	6.26	1.71	0.24	0.28	0.006
FAⅡ種	2.96	2.84	61.74	22.41	4.77	1.49	0.27	0.76	1.19	0.000
SF(銘柄C)	2.12	0.19	93.42	0.33	1.55	0.37	0.02	0.37	0.56	0.026
MK	0.95	0.03	52.03	43.76	0.58	0.04	0.03	0.23	0.18	0.000

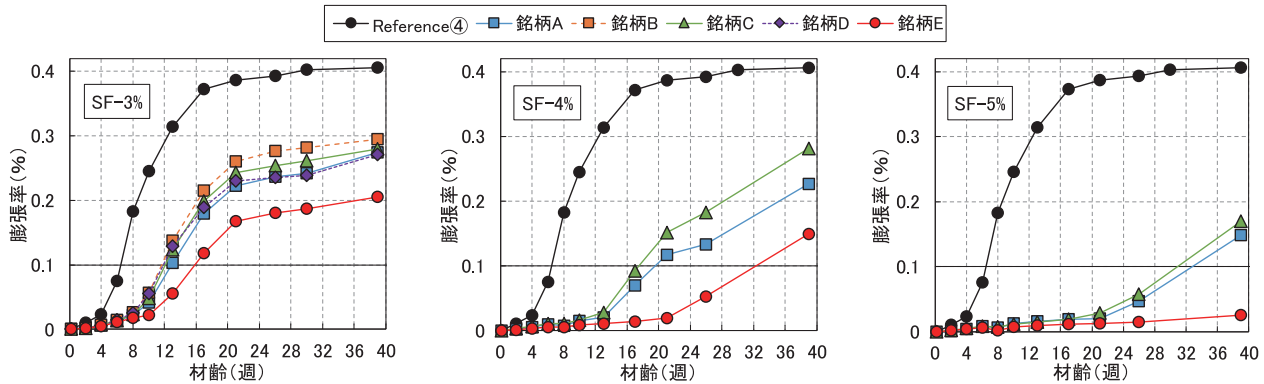


図3 シリカフュームの銘柄別のモルタルバー試験結果

考えられ，非晶質量が多いほどASR抑制効果は高いと考えられる。

3-2-2. シリカフュームの銘柄別の試験結果

SFの銘柄や種類の影響を確認するため，コンクリート用混和材として一般的に用いられる銘柄A～D，電融ジルコニア製造時の副産物でありBET比表面積が小さい銘柄Eについて，試験を実施した。その結果を図3に示す。一般品の銘柄A～Dに比べ，BET比表面積の小さい銘柄Eはいずれの添加量でも膨張が小さく，銘柄Eを5%添加した水準は，材齢39週で膨張率0.0250%と，膨張はわずかであった。BET比表面積の小さいシリカフュームのASR抑制効果が高いメカ

ニズムは明らかではないが，BET比表面積が小さいことによって，シリカフュームのモルタル中での分散性が高まり，低Ca/Si比のC-S-Hがより多く生成し，細孔溶液中のアルカリをより多く吸着・固定した可能性が考えられる。

3-3. VG・廃ガラス粉末・Al源の試験結果

VG, 廃ガラス粉末およびAl源を添加した場合のモルタルバー試験の結果を図4に示す。VGの場合，BET比表面積の大きいI種の膨張率が最も小さく，FAⅡ種と同等となった。廃ガラス粉末は，主に表2に示した化学組成からなる非晶質体であり，ガラス中のSiO₂が骨材中の反応性鋳物よりも先にアルカリ金属と

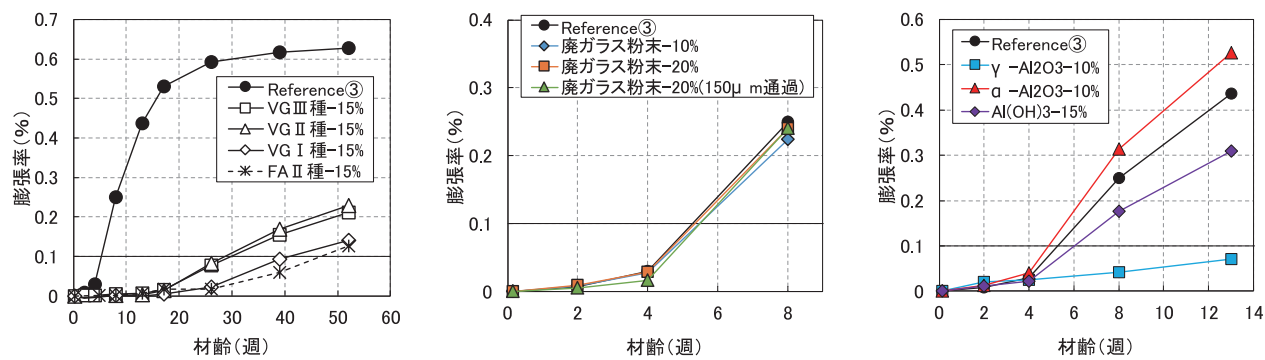


図4 VG(左), 廃ガラス粉末(中央)およびAl源(右)のモルタルバー試験結果

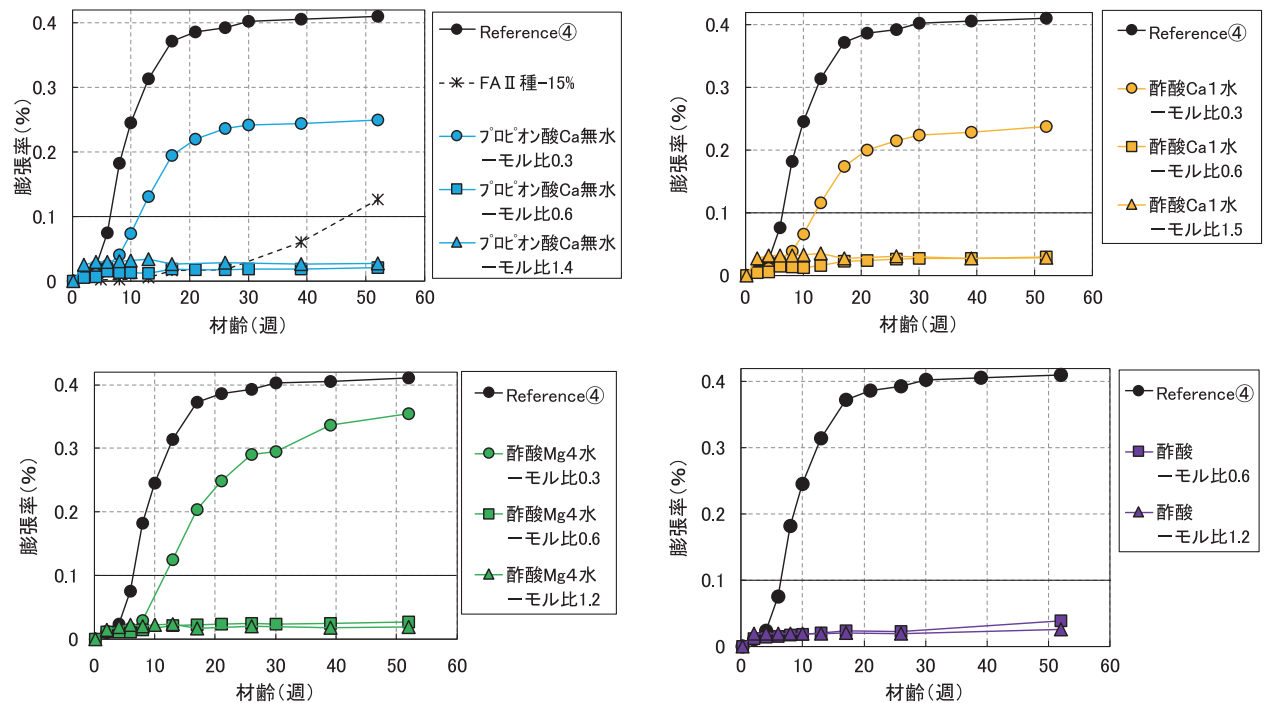


図5 脂肪酸類のモルタルバー試験結果(水酸化ナトリウム使用)

反応し、微小な非膨張性のアルカリシリカゲルを生成しASRを抑制することを期待して選定した。しかし、いずれの水準もReferenceと同等の膨張率を示しており、ASR抑制効果がないことが分かった。この原因として、廃ガラス中のNa₂Oが溶出し、SiO₂によるアルカリ金属の消費効果が薄まったこと等が考えられる。Al源の場合、既往の研究⁴⁾でASR抑制効果が確認されている γ -Al₂O₃は膨張を抑制したが、 α -Al₂O₃およびAl(OH)₃では大きく膨張した。これは、 γ -Al₂O₃に比べ、 α -Al₂O₃およびAl(OH)₃は溶解度が小さく、Alが溶出しにくかったためと考えられる。

3-4. 脂肪酸類の試験結果

3-4-1. アルカリ濃度調整剤として水酸化ナトリウムを使用した場合

アルカリ濃度調整剤として水酸化ナトリウムを使用した場合の脂肪酸類のモルタルバー試験結果を図5に示す。なお、図中の“モル比”は、モルタル中の有機酸イオン／全アルカリイオンのモル比を示し、“添加量”は、セメントに対する各脂肪酸類の無水物換算の質量の割合を示す。各脂肪酸類のモル比が0.3の場合、Referenceほどではないが膨張が認められた。一方、モル比が0.6以上の場合、材齢52週という比較的長

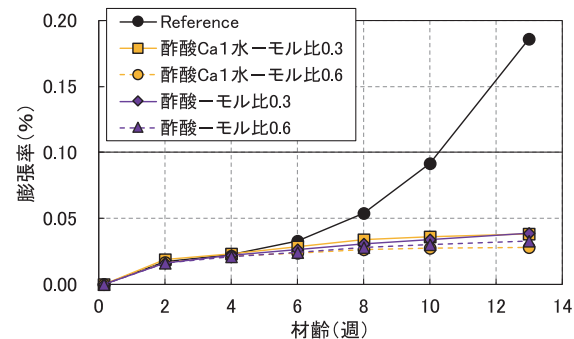


図6 酢酸類のモルタルバー試験結果(塩化ナトリウム使用)

期の材齢まで膨張しなかった。また、FA II種-15%が材齢52週で0.1263%膨張したことを踏まえると、各脂肪酸類をモル比0.6以上となるように添加することは、フライアッシュII種を15%置換することよりもASR抑制効果が高いといえる。

3-4-2. アルカリ濃度調整剤として塩化ナトリウムを使用した場合

アルカリ濃度調整剤として塩化ナトリウムを使用し、セメントの全アルカリがNa₂O_{eq}で1.2%となるように調整した場合の酢酸類のモルタルバー試験結果を図6に示す。塩化ナトリウムを使用した理由は、アルカリ濃度調整剤が強塩基性を示す水酸化ナトリウムの場合と中性を示す塩化ナトリウムの場合で、酢酸カルシウム(弱塩基性)や酢酸(弱酸性)のASR抑制効果に影響があるかを確認するためである。

アルカリ濃度調整剤として塩化ナトリウムを使用した場合でも、Referenceは膨張しているのに対し、酢酸カルシウムおよび酢酸を添加した水準は膨張が抑制された。中性を示す塩化ナトリウムを使用しても膨張が抑制されたことから、酢酸類のASR抑制メカニズムは、単なる中和反応によるものではないと考えられる。

4. まとめ

本研究では、あらかじめ“無害でない”と判定されている細骨材を使用し、種々の材料を添加した場合の膨張特性を把握し、ASR抑制効果を評価した。その結果を以下に示す。

(1) ポズラン材の中でも、シリカフェームやメタカオリン

は、非晶質量が多く反応性が高いため、フライアッシュII種の半量程度で同等のASR抑制効果があることが分かった。

(2) シリカフェームのうち、電融ジルコニア由来のBET比表面積の小さいシリカフェームの方が、シリコン由来の一般的なシリカフェームに比べて、分散性が高いためか、ASR抑制効果が高いことが分かった。

(3) 火山ガラス微粉末は、BET比表面積が大きいもののほどASR抑制効果が高く、火山ガラス微粉末I種はフライアッシュII種と同等の効果があることが分かった。また、廃ガラス粉末にはASR抑制効果が無かった。Al源については、Alの溶出量が多い材料の方がASR抑制効果が高いといえる。

(4) 既往の研究で効果が確認されているプロピオン酸カルシウムと類似の組成を持つ酢酸およびその塩にも同様にASR抑制効果があることが確認できた。

【参考文献】

- 鳥居和之, 山田一夫／コンクリート診断, 森北出版株式会社, pp.239～241, 2017.4
- 水野清, 上原元樹, 佐藤隆恒, 松本泰治, 後藤義昭／リチウム含有ゼオライト添加注入材の開発とアルカリシリカ反応抑制効果, 第11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論文報告集, pp.493～500, 2011
- 岩月栄治, 森野奎二, 多賀玄治／プロピオン酸カルシウムのASR抑制効果に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No.61, pp.318～323, 2008
- Jin Zhou, Keren Zheng, Zhanqun Liu, Lou Chen, Nicholas Lippiatt / Use of γ -Al₂O₃ to prevent alkali-silica reaction by altering solid and aqueous compositions of hydrated cement paste, Cement and Concrete Research, 124(2019), 105817

言葉によって
幸せに…

言葉の違い

幸田文さんによれば、そのお父さんの露伴は“学者というものは心の涼しいもんだというじゃないか”と言っていたらしい。私も学者の端くれぐらいの位置にいたのでこの言葉を聞くと自分自身を反省して恥ずかしくなってしまう。もっとも露伴の言う学者とは工学者のことではなく、文学や歴史にかかわる学者のことだろうと思う。だから私は問題外なのだろう。このように、ほんの小さな言葉の意味のずれで話はごろりと変わる。全く違う内容になりかねない。古典日本文学は「二人称の文学」と呼ばれ、観客＝聞き手がいなければ、成り立たないと言われる場合がある。日本文学ではなくても、少なくとも、話し手の言葉と聞き手の言葉の意味合いが違うと話がかみ合わないのは当然だ。

話をしているかみ合わないことは結構多い。その原因の多くは使っている言葉の内容が微妙に違うことだろう。建築とは異なるが、コンクリート関係の用語については土木の中ではほぼ統一されている。例えば、コンクリート構造物の健全状態からの変化、つまり変状は3種類に分類されている。建設当初からある初期欠陥、地震や衝突などの力学的な作用による損傷そして経時的な変状である劣化である。維持管理上は劣化が最も大きな課題であり、成人病に例えられる場合も多い。

しかし、変状はあくまで変状であって、コンクリート構造物の維持管理上重要な、構造物や部材の性能低下を直接意味するものではない。性能という言葉

をどのような範囲でどのように使うかで規準等を書くべき文章は大きく変わる。性能規定の議論が盛んだった今世紀初頭に、コンクリート標準示方書[維持管理編]が初めての性能規定として発刊された。性能照査と性能開示を含む性能規定の体系が示されたのである。種々の規準の性能規定化を先取りしたという位置付けではあるが、[維持管理編]の対象構造物には、標準示方書が生まれる前のものが多く含まれており、仕様規定では到底手におえないからでもあった。ただ、性能という言葉をいろんなレベルで使ったので、性能という言葉が満載あるいは氾濫状態になってしまった。そのため、性能という言葉をもう少し絞り込んで使おうという反省が生まれたことも確かであった。

形容矛盾

言葉は常に変わってゆく。流行り廃りさらには意味合いの変化などもある。…ちなみに、特に相手を罵倒する言葉などでは変化が顕著であるらしい…そのせいもあって、言葉を使うのは難しい。形容矛盾という言葉聞いたことがある。ある言葉をその言葉に矛盾する形で形容することらしい。私の覚えている実際例は、“きれいな水爆”だったが、普通は“丸い三角”などが典型的らしい。形容矛盾は私にとっては面白くいろいろ使った覚えがある。例えば、フィジカルなサイバーなどはその典型的な例であった。リアルなフィジカルやサイバーはあるのだが、実態を持つフィジカルと実態を持たないサイバーでは本来はお互い受け入れられないのだ。文学的には良いのだが、工学的にはなかなか難しい。やはり矛盾は許されないからだ。

地震によって構造物が損傷を受けた場合、維持管理と結び付けて語られることは少ない。損傷と劣化は本来違うものであるからである。しかし、地震によって損傷したのではなく、地震が原因であるかもしれないが、実は劣化が損傷の本来の原因で、地震

は単なる損傷のきっかけであるような場合がこれからは多くなると考えている。したがって、地震の被害ではない被害が災害調査には隠れていると思われる。しかも、すでに受けていた地震による損傷、ひび割れの影響による劣化さえあるのである。

国交省は、不具合が生じる前に対策を行う「予防保全」に取り組めば、30年間のインフラ維持管理・更新の費用を約3割少なくすることができると以前推計していた。このことは予防保全の重要性を意味しているが、損傷である地震被害に隠れてしまう劣化被害を拡大させないことにもまた貢献するのである。

私たちの国

ウクライナへのロシアの侵攻が世界のマスコミをにぎわしている。ロシアはウクライナを言わば同じ国であるべきだと考えているとも言われているらしい。もっともウクライナ側から言わせれば、言葉も違い、とんでもない話だということになるのだろう。ロシアの名物だと思っていたボルシチやピロシキも本物はウクライナ起源であると主張する人もいる。今ある国の成り立ちとその性格は様々で、国とは宗教から成り立つという人がいれば、国に住むということは無意味で、ある言葉に住むのであって祖国とは究極的には国語、言葉なのだというような人もいる。言葉の本当の重みを感じてしまう。

少なくとも我々の考え方や感じ方は日本語あるいは日本語という文化に支えられている。我々の言葉はこれまでの日本語を使った人々が築き上げた遺産である。絵画でさえ、人は見たものを描くのではなく、言葉を通じて自分が知っているものを描くとされ、動物が絵を描けないのは言葉を持っていないからだとも言われているらしい。土木あるいはコンクリート工学では、その根底には日本語がある。小手先の技術には日本語は関与しないかもしれないが、工学の根本のところでは関わってくる。なぜなら工学は単なる科学

ではなく、市民社会を豊かにする、面白くて役に立つ技術分野であるのだから。

そういう意味では、カタカナやアルファベットを多用する今は言葉を大事にしてはいいように見えなくもない。言葉を大事にしていないということは国語をさらには国を大事にはしていないということになる。例えば現在コンパクトシティ構想がいろんな場面で語られるが、これまでさんざん失敗してきた全国総合開発のツケをカタカナでごまかそうとしているように見えなくもない。古くわが国は“言霊の幸う国”，言葉の力で幸せがもたらされる国とさえ言われていたにもかかわらず、言葉を大事にしてはいいように見えるのだ。地方都市が本当に活気あるものになるためにはもっと地面に足のついた言葉を用いた議論，作業が必要だろうと思っている。

その名も紛々らしいスマートシティについても同様だろう。スマートシティの端緒は、経済産業省が旗を振って始まった次世代送電網(スマートグリッド)だそうだが、当初、ITを活用した電力の需給調整が目的だったが、次第に集めたデータの副活用が始まる。ICTの進展も相まって、いつごろからか都市管理の中にテクノロジーを導入し、住民の生活の質を高めようという意味で語られるようになった。今では、明確に定義することが難しいほどにスマートシティの対象領域は拡大しているらしい。だが、国内のスマートシティ事業で「成功した」と言える実装事例はほとんどない、と聞いている。スマートシティと同義に考えられがちなコンパクトシティだが、前者はテクノロジーの活用による生活の質向上を起点としているのに対し、後者は土地空間を起点としているという点で異なるそうだが。

私はカタカナを必ずしも嫌うものではない。しかしカタカナや漢字が長く続く言葉にはうさん臭さを感じる。言葉こそコンパクトでスマートであって欲しいものである。

【みやがわ とよあき／京都大学 名誉教授 工博】

CO₂を吸着させた再生骨材利用の可能性

～カーボンニュートラル社会に向けて～

Possibility of Using Recycled Aggregate with adsorbed carbon dioxide
～ Toward a Carbon-Neutral Society ～

伊代田 岳史 松田 信広

1. はじめに

解体されたコンクリート塊や残コンクリート、および戻りコンクリートを硬化させた後の塊は、産業廃棄物として取り扱われることが多い。これまで、これらの骨材は中間処理業者に輸送され、道路建設における路盤材として、再生碎石などの40mm程度の破碎された骨材に処理されて利用されてきた。日本においてはそのリサイクル率は90%を超えるものであったが、今後、道路建設が多く望めない状況になりつつあり、この解体コンクリート塊の処分が問題となる可能性があり、その再利用先の確保が難しくなることが想定される。そこでこれらの再資源化の維持のもう一つとして、コンクリート用の骨材として利用することが従来から提案されており、再生骨材と呼ばれる。再生骨材は、これらコンクリート塊を破碎して粒度調整したものである。

再生骨材を用いてコンクリートを製造することは、ひっ迫すると謳われている天然骨材および碎石・砕砂の使用を抑制することができ、またコンクリート塊である産業

廃棄物の発生を抑制することから環境保全につながると考えられる。さらに低品質な再生骨材を用いることができれば、コストの低減が期待できたり、エネルギーの消費の削減や二次廃棄物である骨材製造時に発生する微粉(以下、再生微粉と称す)の量を削減できたりすることもメリットとして考えられる。

2. 再生骨材の現状

2-1. 各種規格の制定

解体コンクリート塊のコンクリート用骨材としての用途開発は、1975年頃に始まったとされる。再生骨材の規格化の変遷は、2005年に土木学会コンクリートライブラリー 120「電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)」で検討がなされ、その後再生骨材Hは2005年にJIS A 5021により骨材の規格として制定され、これによりJIS A 5308のレディーミクストコンクリートでも普通コンクリートや舗装コンクリート用の骨材として利用できるようになっている。一方、再生骨材Lは2006年にJIS A 5023(再生骨材コンクリートL)附属書Aとして、また再生骨材Mは2007年にJIS A 5022(再生骨材コンクリートM)附属書Aとして骨材が規格化された。つまりJISでは骨材の規格は再生骨材Hのみとなっており、MとLはコンクリートの規格となっている。その後、日本建築学会JASS5では、2009年に再生骨材コンクリートを規準化し、遅ればせながら土

木学会コンクリート示方書では、2023年改訂により規準化する予定である。

再生骨材Hを製造することができれば、レディーミクストコンクリートとして出荷可能になることから実用化の可能性は非常に高い。しかしながら、付着しているモルタル分の除去を行うために、エネルギーやコストが大きくかかること、さらに再生微粉が多く発生し、二次廃棄物の処理が必要となることが課題となる。一方で、LやMのような低品質の再生骨材を製造することは、エネルギーやコストを抑制することにつながる。しかしながら、コンクリートとしての特性にも問題が生じ、広く使用することが難しくなる。

2-2. 再生骨材供給体制および再生骨材コンクリート製造拠点

コンクリート塊は基本的には、ジョークラッシャー程度の装置により破碎され、再生碎石等が製造される。このような中間処理業者は全国に点在している。一方で、再生骨材を製造できる工場は2022年現在で、再生骨材コンクリート普及連絡協議会(ACRAC)¹⁾において8工場と報告されており非常に少ない。その中でこれらの骨材を用いて製造可能な再生骨材コンクリートであるJIS A 5022、5023を取得している工場は、全国で4工場程度である。加えて、JIS A 5308のレディーミクストコンクリートも併せて取得しているJIS認証工場は3工場である。さらにコンクリート塊は解体される構造物で発生することから、再生骨材化するためには、遠路からの輸送を検討する必要もある。このように再生骨材および再生骨材コンクリートの製造拠点は少なく、なかなか普及に至っていない。

2-3. 骨材およびコンクリートの品質確保

再生骨材コンクリートMおよびLの利用用途は非常に限定的である。乾燥収縮や凍結融解の恐れのある環境および部位には適用が制限されていることから、構造物としてはほとんど使うことができない。また、アルカリシリカ反応の恐れも否定できず、高アルカリのセメントを用

いたコンクリートへの適用は、困難であるといえる。高い強度が必要のないコンクリートへの適用を考えた場合、わざわざ骨材を遠くから輸送して利用することでコストへの影響も大きくなり、適用は非常に困難な状況といえる。

2-4. CO₂固定化の可能性

一方で世界的なカーボンニュートラルの流れの中で、コンクリート塊が炭酸化することで二酸化炭素を固定化できる可能性が指摘されつつある。長期間供用されてきたコンクリート構造物からの解体塊では、構造物の表層近傍はすでに中性化により炭酸ガスを吸収している可能性があるが、その一方で内部のコンクリートは二酸化炭素と触れていない分、吸収の可能性は残存している。また残コンクリートや戻りコンクリートを硬化させたのであれば、その吸収の余力は大きいと推測できる。コンクリートとしての二酸化炭素吸収量が提示できれば、カーボンニュートラル社会への貢献度をPRすることにもつながる。

3. 炭酸化による再生骨材の改質

2-4.で示したように、再生骨材化したコンクリート塊を強制炭酸化させて二酸化炭素の吸収量を計測した。炭酸化条件は、コンクリートの促進中性化試験に併せて温度20℃、相対湿度60%RHおよび炭酸ガス濃度5%の乾燥条件で7日間としており、1日1度攪拌している。TG-DTAを用いて強制炭酸化により生成したCaCO₃量を測定し、各種再生細・粗骨材の付着モルタルが吸収したCO₂量を算出した結果を表1に示す。これより、骨材ごとに差はあるものの、二酸化炭素を吸収し炭酸カルシウムを生成していることがわかる。また、それぞれ再生細骨材ならびに再生粗骨材を強制炭酸化7日間させた前後での骨材の物性値である絶乾密度と吸水率を示したものを図1,2に示す。これより、程度には差があるがすべての骨材において絶乾密度と吸水率が改善しており、中にはグレードが向上したものも存在した。これは炭酸カルシウムの生成による空隙の緻密化によると考えている。これより二酸化炭素吸収ならびに



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



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

表1 各種骨材の炭酸化によるCO₂吸収量

	改質前			改質後			CaCO ₃ 増加量 (%)
	絶乾密度	吸水率	CaCO ₃	絶乾密度	吸水率	CaCO ₃	
	(g/cm ³)	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(%)	
Coarse agg_1	2.25	6.77	36.33	2.29	5.58	36.79	0.46
Coarse agg_2	2.30	7.02	9.00	2.36	5.54	13.36	4.37
Fine agg_1	1.94	13.03	25.56	2.03	10.79	31.62	6.07
Fine agg_2	1.94	13.24	10.52	2.02	10.75	16.28	5.76
Fine agg_3	2.04	10.45	15.72	2.11	9.45	21.14	5.42

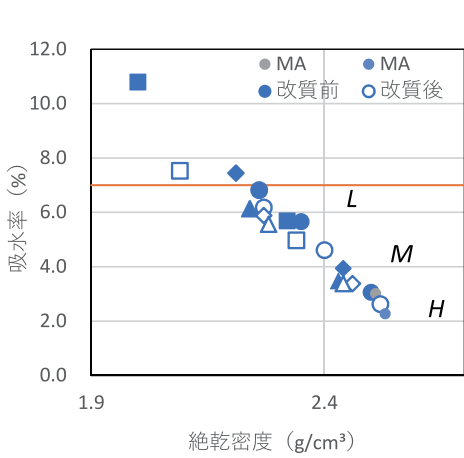


図1 再生粗骨材の炭酸化による改質状況²⁾

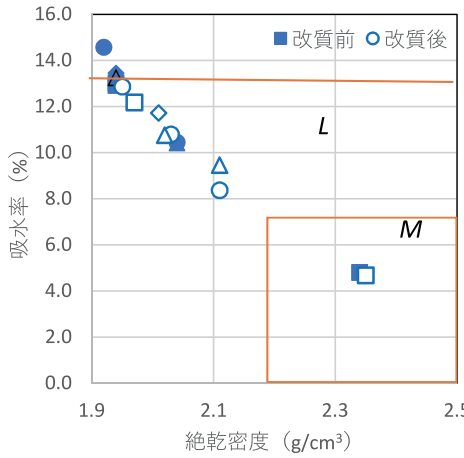


図2 再生細骨材の炭酸化による改質状況²⁾

表2 再生骨材コンクリートに用いた骨材物性³⁾

記号	骨材種類	炭酸化	表乾密度 (g/cm ²)	絶乾密度 (g/cm ²)	吸水率(%)	微粒分量(%)
NS	普通細骨材	-	2.60	2.55	1.92	2.00
LS	再生細骨材	なし	2.24	2.00	12.01	8.60
LSC		あり	2.31	2.13	8.47	
NG	普通粗骨材	-	2.70	2.69	0.32	0.80
LG	再生粗骨材	なし	2.51	2.37	5.90	1.00
LGC		あり	2.55	2.45	4.35	

骨材中の空隙率の減少による低品質再生骨材の改質につながると考えられる。また、硬化体内に浸透した二酸化炭素の一部は、ゲル状の水和物にも吸収・吸着していると想像できるが、今回の計測では結晶物であるCaCO₃のみの計測になっているために、今後更なる計測の検討を進める必要があると考えている。

4. 改質再生骨材コンクリートの特徴³⁾

3.のように炭酸化により改質した再生細骨材及び再生粗骨材の両者を用いた再生骨材コンクリートの特性を

把握するためにコンクリート試験を実施した。**表2**に使用した骨材(再生細骨材および再生粗骨材の改質前後)の物性値を表す。表より、3.で示したようにこの骨材でも炭酸化により再生骨材の絶乾密度および吸水率が向上していることがわかる。そこでこれらの骨材を使用して、**表3**に示したように普通ポルトランドセメントを用いたW/Cを0.5、単位水量170kg/m³と一定にしたコンクリートを作製した。骨材には、細骨材のみ炭酸化させた配合と細骨材と粗骨材の両者を炭酸化させた配合を用意した。加えて、骨材界面に形成すると想定される遷移帯の性質改善に有効に寄与すると考えられる、

表3 再生骨材コンクリートの配合³⁾

配合名	改質方法		使用骨材		W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単位量(kg/m³)				ACX (W×%)
	骨材の炭酸化	ACX	細骨材	粗骨材				W	OPC	S	G	
NSNG	-	-	NS	NG	50	48	4.5	170	340	847	950	-
LSLG	-	-	LS	LG						729	883	-
LSLG-ACX	-	○								10		
LSCLG	S炭酸化	-	LSC	LG						752	883	-
LSCLG-ACX	S炭酸化	○								10		
LSCLGC	S,G炭酸化	-	LSC	LGC						752	897	-
LSCLGC-ACX	S,G炭酸化	○								10		

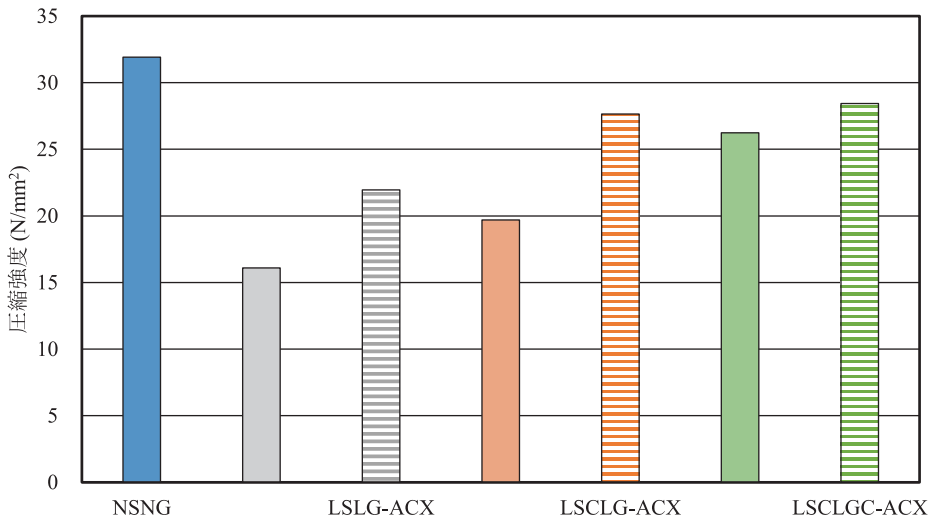


図3 再生骨材コンクリートの圧縮強度(標準養生28日)³⁾

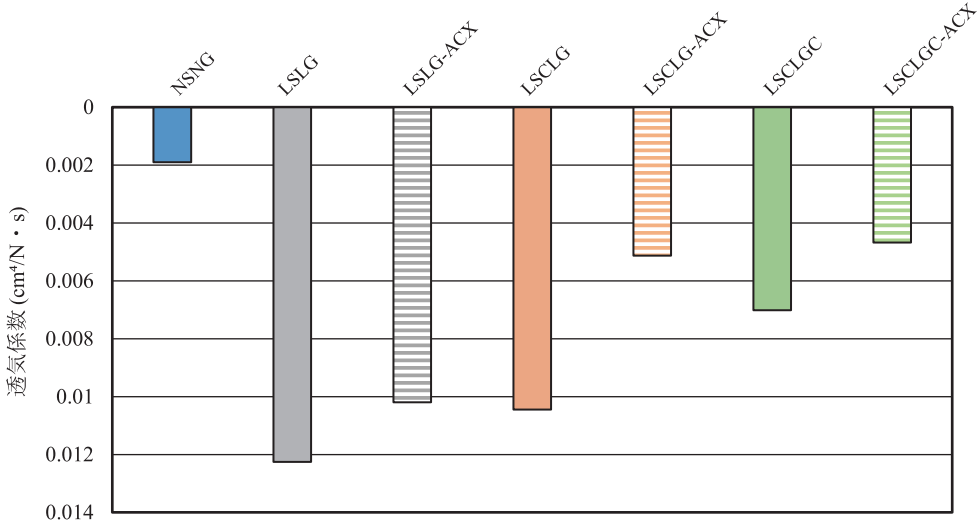


図4 再生骨材コンクリートの透気係数³⁾

CSHナノ粒子を混合した混和剤(ACX)を添加した配合も用意した。

図3に28日間標準養生を行った圧縮強度の試験結果を示す。普通骨材を用いたコンクリート(NSNG)と比較して、全量を再生骨材で製造した再生骨材コンクリート(LSLG)の強度は、半分程度となっている。再生細

骨材のみ改質したコンクリート(LSCLG)は、強度が改善しているが、その割合は大きくない。一方、細骨材・粗骨材ともに改質したコンクリート(LSCLGC)では強度が大きく改善していることがわかる。また、それぞれに遷移帯改質を狙ってACXを添加した配合では、強度が大きくなっていることがわかる。次に図4は透過型の

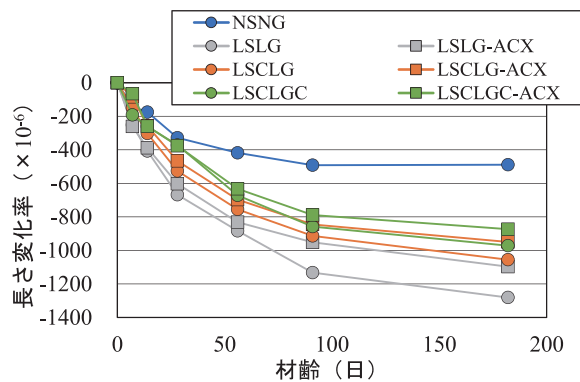
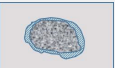


図5 再生骨材コンクリートの乾燥収縮挙動³⁾

表4 再生骨材コンクリートの空隙生成箇所とその改質効果

再生コンクリートの汎用化に向けて			
	改質方法	改質効果	コンクリート特性
①骨材自体 	・ 強制炭酸化 ・ 硬化促進剤の含浸 (プレウエット)	・ 骨材の吸水率低下 ・ 骨材密度の向上 ・ 骨材中の空隙の減少 ・ コンクリートの空隙量減少	・ (圧縮強度) ・ 割裂引張強度 ・ 乾燥収縮 ・ 凍結融解 ・ ASR
②骨材界面 	・ 骨材への硬化促進剤・表面含浸材の噴霧 ・ 硬化促進剤の少量添加	・ 遷移帯の改質 ・ 遷移帯に水和物を生成	・ 物質移動抵抗性 (透水、透気など)
③モルタル部分 	・ 硬化促進剤 の多量添加 ・ 配合の見直し	・ マトリックスの改質	・ 圧縮強度 ・ 物質移動抵抗性

加圧透気係数を計測した結果であるが、こちらでも再生骨材を用いたコンクリートでは透気係数が大きくなるが、改質骨材を用いることで透気係数を小さくできることがわかる。さらに、図5は乾燥収縮の結果を示しているが、炭酸化による改質効果およびACXの添加の効果が認められる。このように再生骨材コンクリートの欠陥とされる強度発現、乾燥収縮および物質移動透過性について、炭酸化した再生骨材を用いることで改善が可能であることがわかった。

5. 新たなコンクリートとしての利用方法

5-1. 再生骨材コンクリートとしての欠陥部とその克服^{4,5)}

再生骨材コンクリートを適用していくためには、骨材の炭酸化のみでは限界があるとも考えている。再生骨材を用いたコンクリートの問題は、再生骨材に付着するモルタルに存在する空隙とコンクリートにした際の骨材周囲

に生成する遷移帯形成に大きく依存すると考えられる。そこで、表4のようにコンクリートとしたときに脆弱となる可能性を次の3つに分離して検討をする必要がある。

- ① 骨材自体の空隙：再生骨材中の付着モルタルの空隙
- ② 骨材界面に形成される空隙：再生骨材と新モルタルとの界面
- ③ 新モルタル中の空隙：再生骨材コンクリートとして作製したモルタル中の空隙

これらの空隙は、それぞれ生成メカニズムが異なり、再生骨材コンクリートの強度や物質移動抵抗性に大きく影響しているものと考えられる。特に、①再生骨材中の空隙が付着モルタル内に存在することを考えると、付着モルタル中の空隙を緻密化させる方法が有効ではないかと考えた。一方で、②への対応として、直接的に骨材界面にACXや表面含浸剤などを塗布することで効果的に骨材界面に形成される空隙を緻密化できないかと考えた。さらに③への対応には新モルタルの強度発現を有

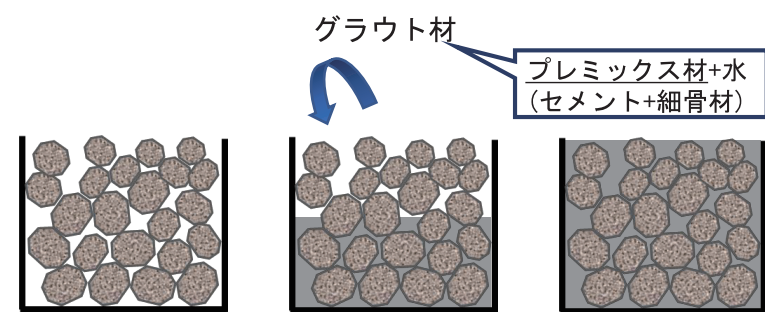


図6 TSC(Two Stage Concrete)の製造方法^{6,7)}

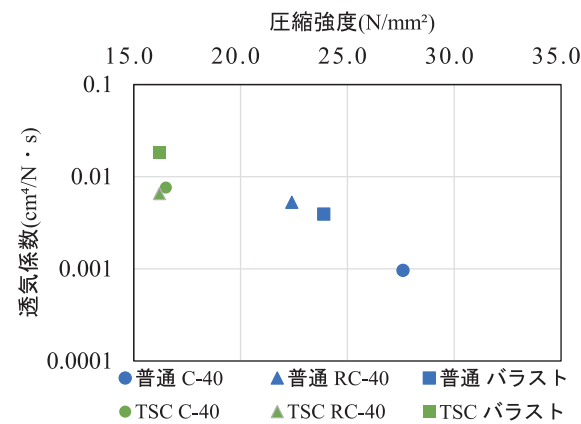


図7 TSC 普通コンクリートの圧縮強度と透気係数の関係^{6,7)}

効にするために、ACXや材料の改良を検討した。現在、その検討は継続中であるが、ACXを用いることで、大きな空隙を持つ粗骨材でも、再生骨材コンクリートにした場合の改質効果が認められた。このことから再生骨材の強制炭酸化と遷移帯部分の緻密化の方法を組み合わせることで、再生骨材コンクリートの強度や耐久性を向上する方策を検討していく必要がある。

5-2. 新たなコンクリートへの適用

低品質再生骨材は、前述のように二酸化炭素を吸収することで大気中の二酸化炭素の減量に寄与できる可能性が高いが、一方でコンクリートにした場合に遷移帯などの空隙が生じることで、要求性能の高いコンクリートへの適用には限界があるとも考えられる。そこで、要求性能の低い硬化体への適用として、二酸化炭素を吸収したコンクリート塊を利用することが望ましいと考える。ここで、図6のようなTSC(Two Stage Concrete)などへの適用も検討^{6,7)}している。TSCは、型枠内にあらかじめ骨材を敷き詰め、そのうえで無収縮モルタルなどのグラウト材を流し込み硬化体を製造するものである。図7

に3種類の骨材(普通骨材(C-40), 再生碎石(RC-40), 鉄道バラスト)を用いたTSCと普通コンクリートの28日強度と加圧透気試験結果を示す。これより普通コンクリートであれば、骨材強度や物性に大きく影響を受けるが、TSCでは骨材品質や物性の影響は大きくないことがわかる。さらに、骨材粒度の調整を行えばある程度密実な硬化体も実現可能であると考えられる。また環境負荷を大幅に低減したグラウト材の開発・適用により、資源循環も考慮した大幅な環境負荷低減が期待できる。

6. おわりに ～社会実装への道のり～

将来的なカーボンニュートラル社会の実現のために、コンクリート産業も大きく貢献する必要がある。そのために、大量に発生すると想定されるコンクリート塊を用いて、炭酸化させたCCU材料としての再生骨材をコンクリートまたはTSCなどに利用していく必要がある。また、解体コンクリート塊の有効利用を目指した新たな利用方法の普及も必要である。この社会実装のためには、セ

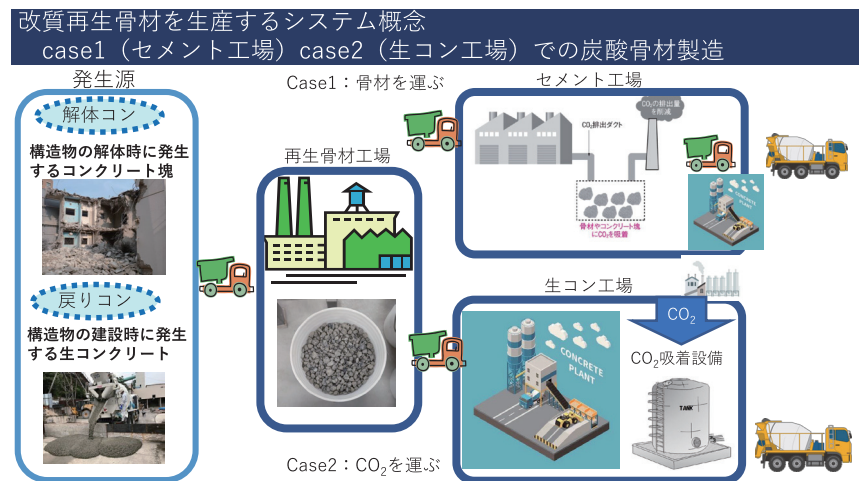


図8 再生骨材の利用方法の提案

メント工場などのCO₂排出量が多い産業において、再生骨材を炭酸化するシステムの構築が重要になると考える。図8はそのシステム概要であるが、生コンの製造においてCase1のように骨材を運ぶ場合と、Case2のようにCO₂を運ぶ場合があると考え。いずれにしても、CO₂をいかに吸着させてコンクリートを製造するかが重要である。一方で、そのCO₂の吸収量をフットプリントでできるような定量評価手法も今後開発していく必要があり、その構築に取り組んでいく予定である。

【参考文献】

- 1) ACRC広報資料2021,
<https://acrac.org/wpcontent/uploads/2022/11/1beb27035378a0fb09b7189e3511649d.pdf>

- 2) 伊代田岳史／CO₂吸着による再生骨材改質とコンクリートへの適用、コンクリート工学 Vol.59, No.9, pp.807～812, 2021
- 3) 湯屋蓮, 松田信広, 小島正朗, 伊代田岳史／低品質再生骨材コンクリートの強度および耐久性向上を目的とした複数の改質方法の効果と改質メカニズムの検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.994～999, 2022
- 4) 松田信広, 伊代田岳史／炭酸化による低品質再生骨材の改質技術の提案と改質再生骨材がコンクリートに与える影響, コンクリート工学年次論文集第30巻, 日本コンクリート工学会, pp. 65～76, 2019
- 5) T. Iyoda, N. Matsuda / Study for re-ASR Behaviour of Recycled Concrete Using ASR Generated Concrete and Considering Countermeasure Technology, fib International Conference on Concrete Sustainability, ICCS21, 2021
- 6) 名古屋智樹, 伊代田岳史／従来のコンクリートと同程度の強度や耐久性を有する Two Stage Concrete の実現に向けた一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.989～994, 2021
- 7) Karen Midori Masunaga, Tomoki Nagoya, Takeshi Iyoda / Experimental Study to Improve Performance of Two-Stage Concrete without Injection Focusing on the Interfacial Transition Zone, The 17th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, 2022

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2022”をお頒けします

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

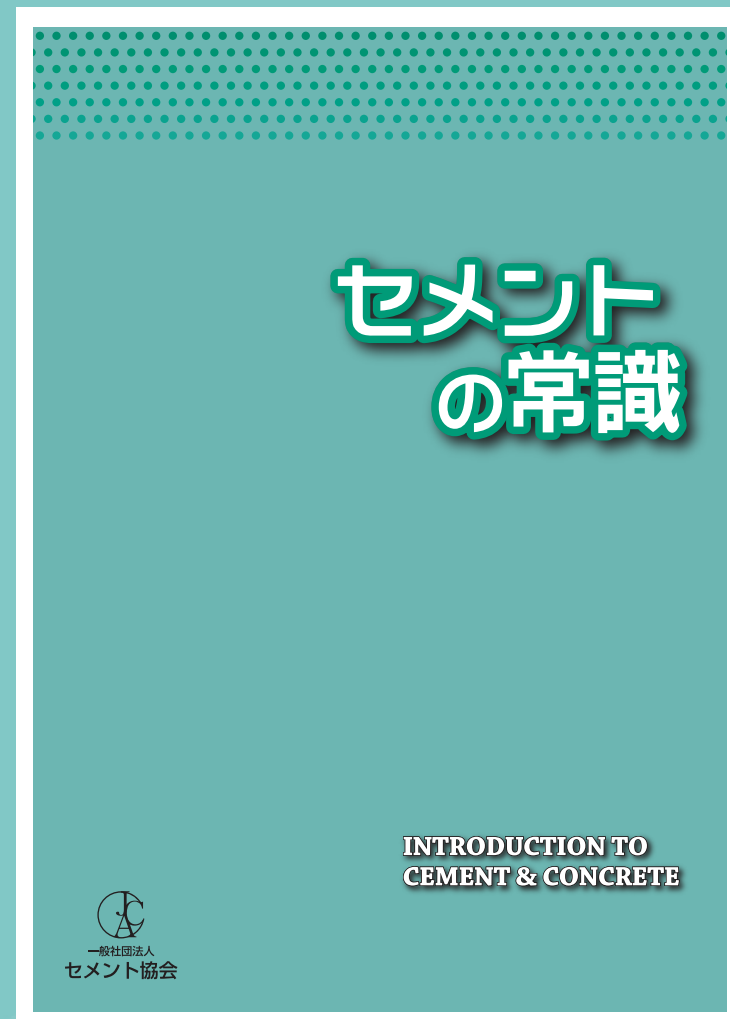
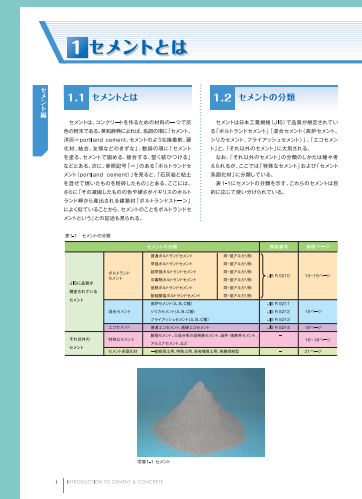
ご希望の方には無料でお届けいたします。

申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

（一社）セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

【主な内容】

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



「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！

セメント改良技術の適用事例・浅層混合処理

Example of cement improvement technology application The shallow soil stabilization

山本 敏之 片岡 裕二

1. はじめに

安定処理の歴史は古く、古代ローマ、古代インドの時代から道路やダムの建設に土と石灰混合物を用いた安定処理が行われていたと言われている。セメントを用いた安定処理は、1930年代にアメリカが最初に行ったとされているが、日本では戦後になってその技術が伝わり、社会基盤の復興・整備と相まって1950年代以降に本格的な機械施工が始まっている。

浅層混合処理の分野に目を向けると、1970年代に入って施工機械の大型化とあらたにセメント系固化材が開発されたことで本格的な安定処理が始まったと言える¹⁻³⁾。

その後、浅層混合処理の適用分野は、道路の路体・路床改良をはじめとして建築基礎の地盤改良、建設発生土の有効利用を含め幅広く利用されてきた。一方、浅層混合処理の設計法は、過去の経験を重視した手法から始まり、その後コンピュータを駆使した理論設計法の開発などが行われ、適用範囲の拡大につながっている。このように浅層混合処理の発達には、土質工学はじめ機械工学や構造力学などを含む総合技術が大きく寄与してきた。

本稿では、浅層混合処理の技術開発の流れや施工事例について述べるとともに、当社が保有する技術について紹介をする。

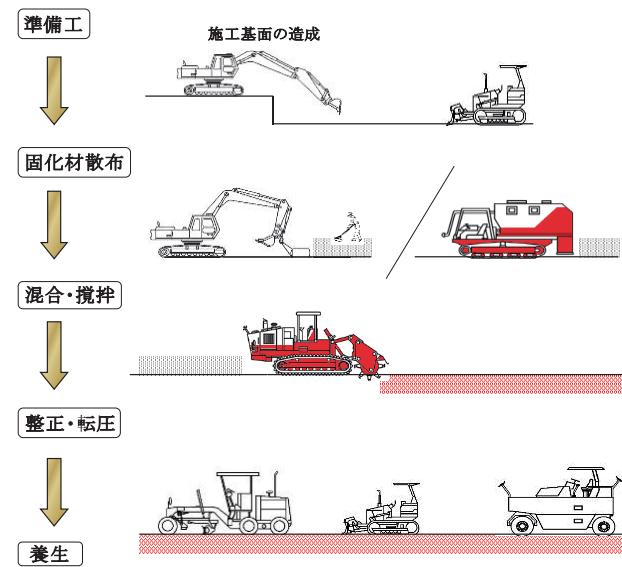


図1 路上混合方式による施工手順

2. 浅層混合処理技術の変遷

浅層混合処理の一般的工法である路上混合方式による浅層混合処理の施工は、図1に示すように、改良対象土の表面に固化材をできるだけ均一に散布し、固化材と土を攪拌・混合したのち、締固めるものである。それぞれの工程において用いる施工機械は、一般土木工事で用いる汎用機のほか、固化材の散布や混合には専用の機械が用いられる。

2-1. 施工機械

(1) 混合機械

1930年代にアメリカで開発されたセメント安定処理は、戦後の1950年代に入りわが国にもその技術が導入

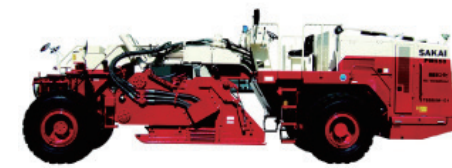


写真1 タイヤ式スタビライザの一例



写真3 泥上履帯式スタビライザの一例



写真5 混合用バケットの一例

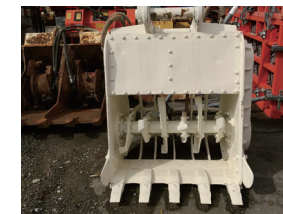


写真6 バックホウ装着型混合機の一部

された。日本における本格的な機械施工の代表例は、1957年の関東4号国道(幸手バイパス)におけるセメント安定処理路盤の施工が挙げられる。施工には当時建設省がアメリカから輸入したばかりのWood社製ロードミキサーで処理厚16cmを8cm×2層で施工している⁴⁾。

その後、道路の設計・施工の指針であるアスファルト舗装要綱(1978年度版)に路床構築を含む安定処理の設計法が明確に採用され、処理厚も30cmから50cmまでの安定処理のニーズが広がった。さらに、1992年度版のアスファルト舗装要綱に路床構築に厚層処理の考え方が示され、そのニーズに即した1.0m改良用のスタビライザが開発されて現在に至っている(写真1,2)。

このほか、超軟弱な地盤での混合作業に特化した泥上履帯式スタビライザ(製品名ソイルライマー)も開発され、湾岸埋立地の軟弱土や浚渫土砂の改良に利用されている(写真3)。また、自走式土質改良機を用いた浅層混合処理は、建設発生土のリサイクルが本格化した1990年代後半から普及してきている(写真4)。

(2) その他の混合機械



写真2 クローラ式スタビライザの一例



写真4 自走式土質改良機の一部



写真7 固化材散布車

狭隘な場所や混合深さが1.0mを超えるような混合機械としては、汎用機であるバックホウのバケットを土質に応じた専用の混合用バケットにしたものがある(写真5)。また、バックホウのアームだけの操作だけでは土を細かく粉碎できない場合は、バケット内で攪拌できるタイプの混合機もある(写真6)。

(3) 固化材散布車

固化材の散布は、通常はフレキシブルコンテナパック入りの固化材をバックホウおよび人力で行うことが多いが、施工の省人化、工期短縮やフレキシブルコンテナパックの空袋が発生しないようにする目的で固化材散布車(タンク容量8~15m³)も開発され主に大型工事に利用されている(写真7)。

2-2. 固化材

固化改良に用いられる材料にはセメント系固化材や石灰系固化材があるが、浅層混合方式に用いられる固化

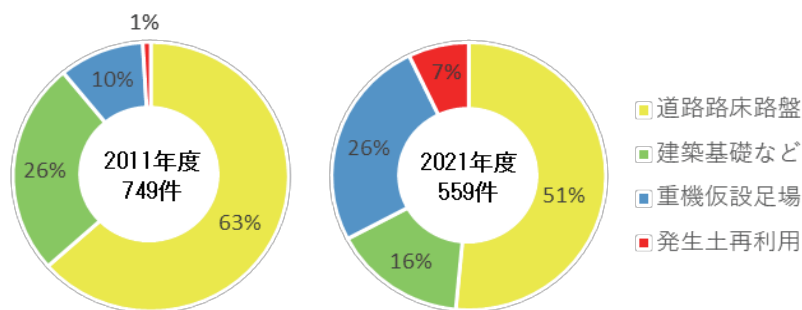


図2 用途別比率の変化(件数)

材は、主として粉状の固化材である。路上混合方式で用いる粉状の固化材は、散布・混合作業時に粉塵が発生するため、施工条件によっては発塵抑制型の固化材を使用する必要がある。また、セメント系固化材を使用する場合、土質によっては重金属の六価クロムの溶出量が環境基準を満足しない場合があるので、基本的には六価クロム対策型である特殊土用セメント系固化材が多用されている⁵⁾。

3. 施工事例

戦後の浅層混合処理は、道路の路床・路盤の改良に始まり、新設道路の建設から維持管理の時代へと変化してきた状況で、浅層混合処理の対象も変化している。当社が近年施工に携わった用途別施工実績(工事件数)について、2011年度と2021年度を比較した結果を図2に示す。図2で特に注目に値するのは、建設工事における事故防止のための安全管理の徹底を目指す中で、杭打機や大型クレーンの重機転倒防止を目的とした浅層混合処理工事が大きく増加していることである。もちろん比率的には道路の路床・路盤の改良の割合が最も多いことには変わらないが、その比率の低下が顕著である。

以下、道路の路床、建築基礎地盤および建設発生土における浅層混合処理の施工例を示す。

3-1. 路床の改良

本工事は、2022年10月に施工した県道の道路新設工事で、その設計断面を図3に、工事概要を表1に

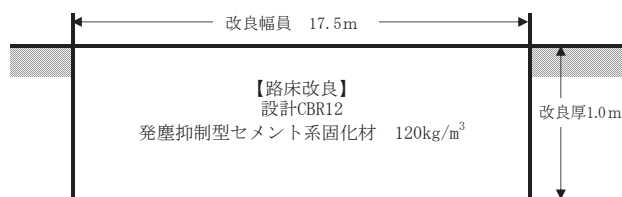


図3 路床改良断面図

表1 工事概要

施工数量：約5,000m ²
固化材添加量：120kg/m ³
使用固化材：発塵抑制型特殊土用セメント系固化材

示す。本工事現場の周辺は住宅が多く、施工時に危惧される固化材の発塵防止対策として発塵抑制型固化材が使用された。また、本工事の混合作業には、近年採用したGNSSを用いた走行軌跡と混合深さ管理のマシンガイダンス搭載のスタビライザを用いた⁶⁾。

当システムは、出来形管理作成機能も有していることから、品質管理の合理化と生産性の向上が期待できるものである(写真8,9)。

3-2. 建築基礎地盤の改良

浅層混合処理が適用される建築関係の施工事例としては、建築物の土間下改良や工場・倉庫等の低層で広い床面積を有する建築物に採用される基礎地盤の改良が多い。その中で、特徴のある工事として、特許工法である「TNF工法」⁷⁾が採用された事例を以下に示す。「TNF工法」とは、図4に示すように建物の基礎となる地盤改良体とべた基礎となる地盤改良体が一体となる建築物の基礎ならびに地盤改良べた基礎工法である。

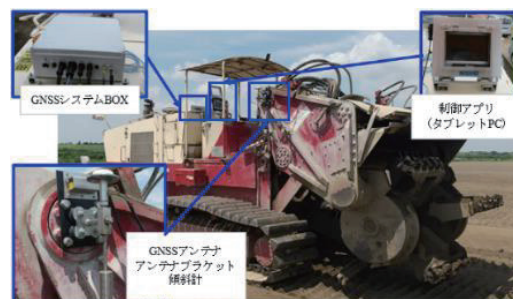


写真8 マシンガイダンス搭載型スタビライザ

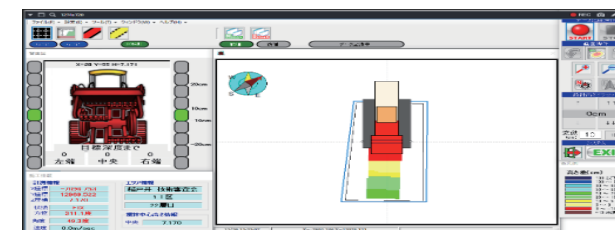


写真9 深さ管理モニター画面

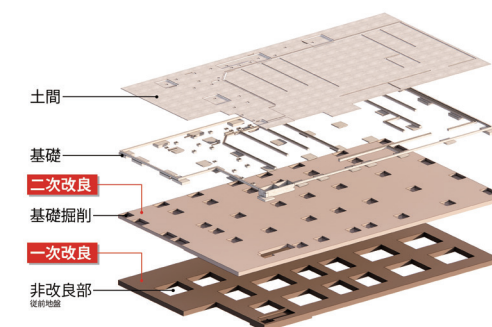


図4 TNF工法

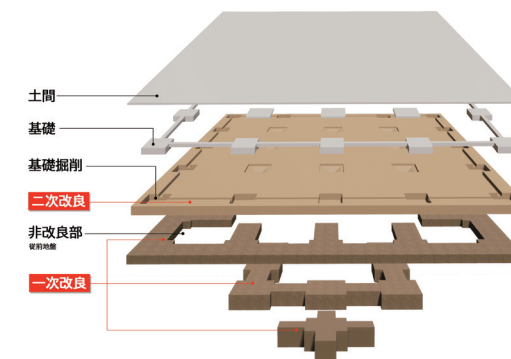


図5 TNF2.0工法

表2 工事概要

施工数量、施工厚
一次改良：30,000m ³ 、1.8m(バックホウ混合)
二次改良：22,000m ³ 、1.0m(スタビライザ混合)
固化材添加量・設計基準強度
一次改良：140kg/m ³ 、450kN/m ²
二次改良：100kg/m ³ 、450kN/m ²
使用固化材：特殊土用セメント系固化材



写真10 一次改良



写真11 二次改良

工法の特徴としては、①圧密沈下抑制効果ならびに液状化対策効果が期待できる。②図5に示す新しい「TNF2.0工法」⁸⁾は、応力分布に応じた地盤改良をすることによって、TNF工法に比べ改良土量を約15%低減し、さらなるローコストに繋がる。③地盤改良体の解体

時には、改良土が建設発生土に該当するので埋戻しへの利用が可能である。さらに、改良体が循環的に使用されるので、再建する場合の使用セメント量が低減し、環境にやさしい工法とされている。工事概要を表2に、施工状況を写真10,11に示す。

表3 工事概要

施工場所：宮城県陸前高田市
 施工数量・施工厚：約1,500,000m²，t=0.3m
 主要使用機械
 タイヤ式スタビライザ 2台
 クローラ式スタビライザ 2台
 固化材散布車 2台，1.4m³バックホウ 2台
 固化材：特殊土用セメント系固化材
 固化材添加量：50kg/m³

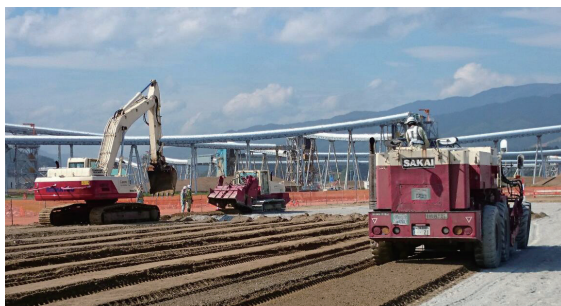


写真12 施工状況



写真13 MC製造機の外観



写真14 一般のセメント系固化材(左)，MC(中)，発塵抑制型(右)

3-3. 建設発生土の改良

本工事は、2011年3月11日に発生した東日本大震災の復興事業として約1年半の工期で実施された防潮堤築造に用いた建設発生土の改良工事である(表3)⁹⁾。本工事の特徴を挙げると以下のとおりである。

- ① 改良方法は、1層仕上がり厚30cmを30～40層重ねて施工するもので、かつ、施工規模が1,500,000m²と極めて大きいこと。
- ② 改良対象土には軟弱土に礫も少なからず混入しており、軟弱地盤を対象とした混合機械であるスタビライザでの混合作業において攪拌ビットやシャングの損耗が著しかった。そのためスタビライザ4台を投入し、現地に設けた機械の整備修理を行う整備場にて損耗軽減のための機械の改良を行いながら、施工を進めることで工事を停めることなく完了させることができた(写真12)。

4. 当社の技術紹介

当社がこれまでに開発した浅層混合処理に関する技術を以下に紹介する。

4-1. STB-MC工法

当工法は、生石灰成分を含まないセメント系固化材を原位置で水と混合し、発塵抑制加工した材料として浅層混合処理に用いる工法である。ちなみに「MC」とは湿り気のあるセメントという意味のモイストセメント(Moist Cement)の略語である。

モイストセメントの製造は、全国どこでも製造可能で可搬式の専用プラント(写真13)を現場の近傍に持ち込んで固化材と固化材量の約8%の水とを混合して製造するものである。発塵抑制の効果は写真14に示すとおり、市販の発塵抑制型のセメント系固化材と遜色の

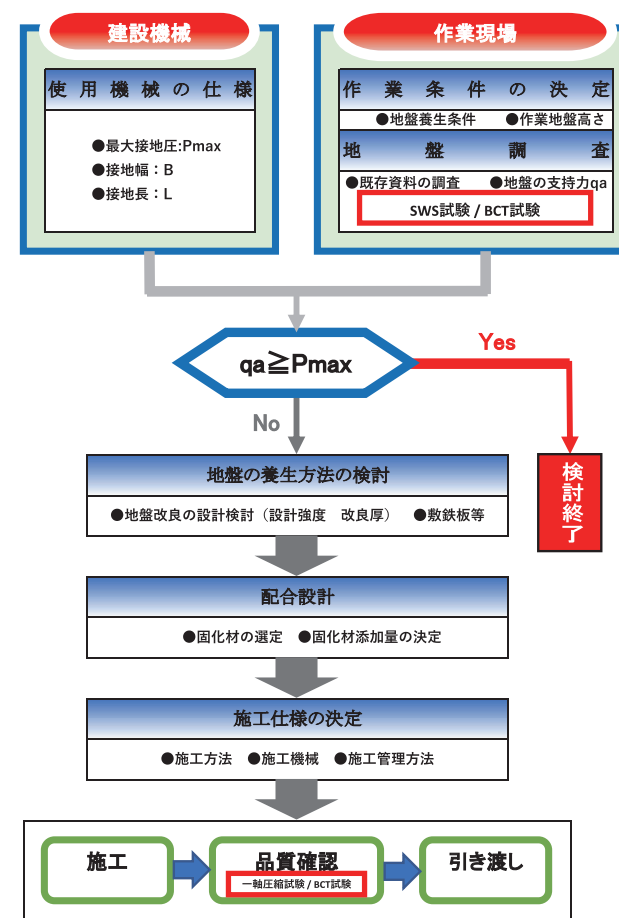


図6 設計から施工までの流れ

ないものである。なお、本工法は、製造したモイストセメントが乾く前(おおむね2時間以内)に土と混合処理を行う必要があるが、浅層混合処理工全体で約20%のコスト縮減が期待できる環境にやさしい工法である。

4-2. BCTを用いた重機転倒防止の設計手法^{10,11)}

現在の当社における建設重機転倒防止の設計から施工までの流れを図6に示す。この中で、地盤調査および品質管理にBCT(Bearing Capacity Test：現場地耐力試験)を取り入れている。このBCTとは、作業時における建設機械の転倒防止を目的とした地盤の地耐力を測定するために開発された試験で、平板載荷試験と比較し測定に要する時間を大幅に短縮できるため、現地の地盤状況をより多くのポイントで確認することができるものである。測定状況を写真15に示す。



写真15 測定状況

4-3. スタビライザのICT化

施工機械のICT化が進む中、浅層混合処理の混合専用機であるスタビライザのICT化は、その生産台数が少ないこともあり他の汎用機に比べ遅れていた。これまでは、施工中の施工位置や改良深度の確認は、熟練オペレータの技量に頼らざるを得ない状況が続いていた。このような出来高管理の課題に着目し、GNSSにより取得したスタビライザの攪拌装置の位置情報を基に3次元計測技術を用いて、オペレータが運転席でリアルタイムに攪拌深さと施工軌跡をモニタリングしながら施工できるものである。

また、施工結果は、写真8,9にも示したように出来高管理表として出力することができます。

5. おわりに

戦後の表層混合処理の歴史を振り返ると、あらためて施工機械や施工技術に関する総合技術の発展の経緯を垣間見ることができる。それは、その時々々の社会情勢に応じた技術の開発が行われており、その根底には浅層混合処理技術がどのような形で社会貢献できるかといった視点からの開発目標が設定されているように思う。

また、現在は世界規模で地球環境に対する持続可能な技術の開発が求められている。すなわち、環境負荷を小さくするための施工機械や施工方法ならびに温暖化防止のための省エネや二酸化炭素排出量の削減にかかわる技術開発が強く求められている。

それと同時に、私たち技術者も社会に還元できる知識や技術を取得し積み上げていく必要があると考えている。

【参考文献】

- 1) 日本石灰協会、石灰安定処理委員会／石灰による路床路盤の安定処理法、理工評論出版社、1985年8月、pp.1～3
- 2) (株)高速道路総合技術研究所、道路研究部、土工研究室、土質安定処理技術のまとめ検討委員会／「道路土工の土質安定処理技術」、2017年9月、pp.1～5
- 3) (一社)セメント協会／セメント系固化材による地盤改良マニュアル 第5版、2021年10月、pp.1～2
- 4) 多田宏行／[新編]語り継ぐ舗装技術、2011年1月、鹿島出版会、pp.83～86
- 5) (一社)セメント協会、セメント系固化材による地盤改良マニュアル 第5版、2021年10月、pp.3～7
- 6) 橋本明広・衣川剛央／スタビライザのICT化浅層管理システムによる位置精度および生産性向上の検証、令和4年度建設機械シンポジウム論文・梗概集、2022年11月、pp.31～34
- 7) 特許第3608586号、地盤改良体及べた基礎からなる建築物の基礎の構造並びに地盤改良べた基礎工法、2004年10月
- 8) 特許第7175054号、TNF2.0、2022年11月
- 9) (一社)セメント協会／セメント系固化材の広がる用途と役割、2018年4月、pp.109～111
- 10) (公社)地盤工学会／地盤調査の方法と解説、第8編載荷試験、第5章その他の試験、2014年3月、pp.729～730
- 11) NETIS／登録番号NO.KT-160051-A、現場地耐力試験システム



やまもと としゆき / YAMAMOTO Toshiyuki
(株)東洋スタビ
技術部 部長



かたおか ゆうじ / KATAOKA Yuji
同上
関東試験室 室長

セメント・コンクリート論文集Vol.77(2023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.77(2023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の
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。
<https://req.qubo.jp/jcalab/form/S0A3d6NW>

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 2023年4月1日(土)～5月31日(水)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(水)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：2024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上および当協会ホームページの論文検索サービスより公開いたします。

● 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。

浅層地盤改良のパイオニア。



株式会社 東洋スタビ

本社 岐阜県揖斐郡大野町公郷 3261-1 TEL 0585-32-3617
関東支社 埼玉県越谷市七左町 5-23-1 TEL 048-961-7561



建設3Dプリントに特化した産学連携デザインコンペ

建設3Dコンクリートプリンティング(以下、3DCP)元年とも言われた2022年、その12月に3DCPに特化したデザインコンペによって選ばれたベンチが供用開始された(本号表紙)。JR東日本東京PMOおよび同千葉支社の英断による国内初のコンペに参加したのは、デザイナーでも建築家でもなく学生であった。

デザイン対象となったのは内房線太海駅舎に設置される2基のベンチ。千葉支社管内で2駅しかない海が見える駅舎であり無人駅となるため、小さなベンチながらも塩害対策およびメンテナンスフリーであることが求められた。そのため、セメント系材料を使ったベンチが前提条件となり得たことから、日本初の3DCP実施コンペの実現に至った。3DCP特有の積層痕から「利用者の洋服が破れないように」というベンチとしては当たり前のような条件も加わり、15名の学生が3DCPの特色を活かしたベンチのデザインを競った。東京大学における授業として取り組んだ令和4年、ではなく3DCP元年の4月から7月までの約3ヶ月間を振り返る。

学生らしい発想で新しい技術によるデザインを考えて欲しい。その一方で、学生から提案されたデザインに施工段階で大幅な修正が加えられてしまう事態は避けたい。これを両立させるために、デザインコンペは二段階選抜方式とした。第一段階は、学生がそれぞれデザインを検討する個人戦。造形や技術をベースにしながらも柔軟に発想してもらえるように、構造設計者、土木設計者、カメラマン、家具メーカーなどによる週に一回のゲストレクチャーとエスキスに加えて、プリント見学や積層実験など、通常の設計演習で行わないような内容も盛り込んだ。約

1ヶ月半かけて15名の学生から、3DCPに様々な可能性が感じられる合計14のデザイン提案がなされた(図1)。個人戦の評価は、JR千葉支社への最終提案を見据えて3DCP事業者4社が行った。

第二段階は4社が評価した案に基づく事業者+学生によるチーム戦。個人戦で敗れた学生も自分が良いと思う案に加わりチームの総合力で競った。同一の案を選んだ2社が連合チームを組み、合計3チームによるコンペとなり、約一ヶ月半に渡り週1回の打合せを重ねた。企業としても負けるつもりで参加はしていないので、学生にとっては実務者と協力しながらの真剣勝負は貴重な機会になったのではないだろうか。3チームの打合せに参加した教員としても、フィラメント幅や高さ、積層可能な勾配など各社による違いを目の当たりにすることができたことは非常に貴重な機会となった。ボランティアでご協力して頂いた會澤高圧コンクリート、Polyuse、クラブウ、日揮グローバルの皆様に心からの感謝を申し上げる。

なお、この授業は建築学科の設計製図／BMEスタジオと社会基盤学科の少人数セミナーの合同開講だった。建築の4年生が5名、社基は3名の3年生と2名の修士、そこにSFCから3Dプリンティングを研究対象としている5名の学生が自主的参加した。個人戦の提案からも分かるように興味の対象や特技も異なるバラエティに富んだメンバーである。学生案の実現可能性を高めるためとはいえ、個人戦を戦った後にチームとして機能するのか不安はあった。しかし、個人戦の間は学科ごとなど顔見知り同士で集まって着席していた演習室の様子が、チーム戦が進むにつれて、チームごとに自然と集まって座

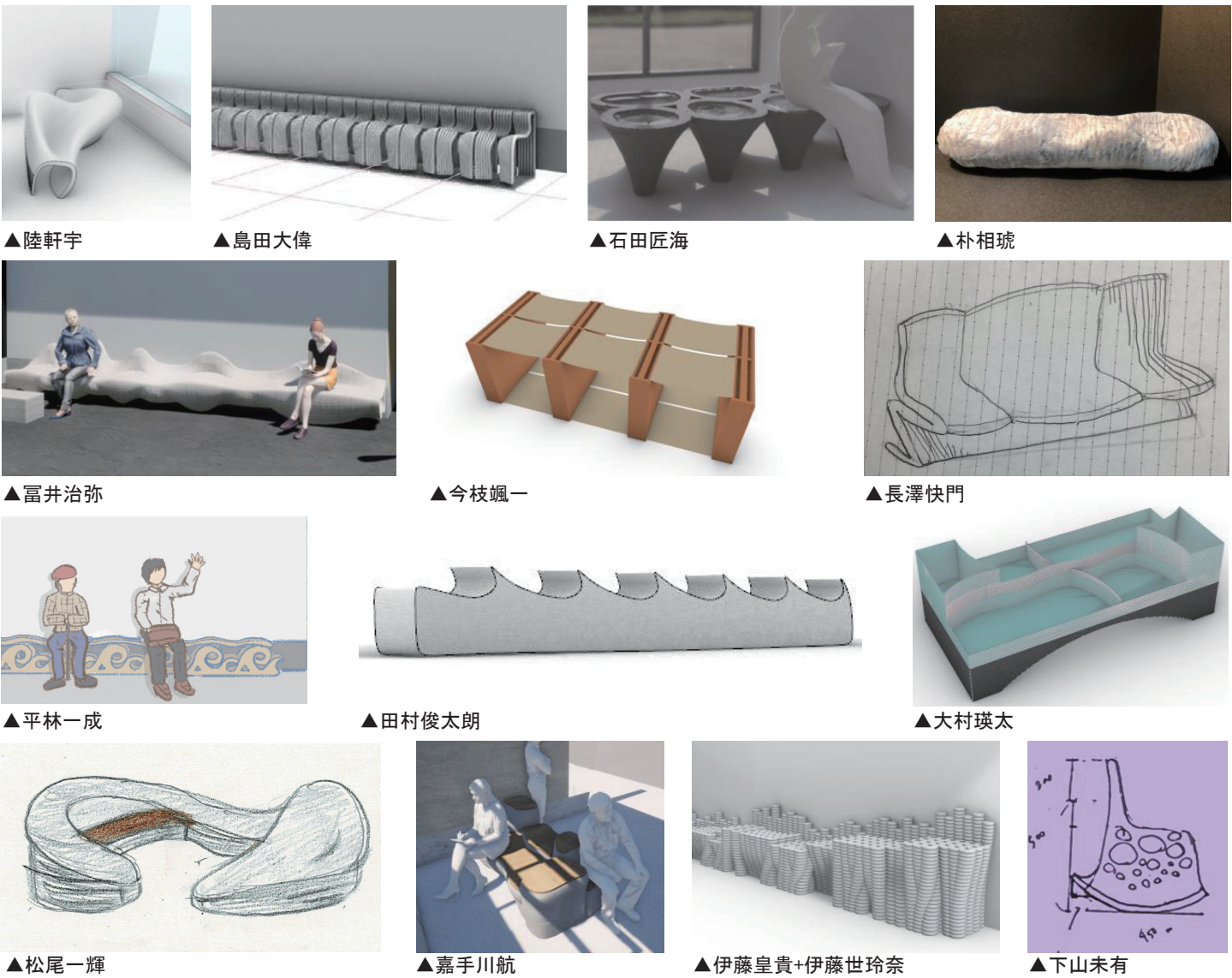


図1 3DCPのみ、異素材との組合せ、形状などバリエーションに富んだ14のデザイン案と提案者名

る様になっていった。やはり自分が関わった案がコンペに勝って実現することの魅力が大きいのだろう。最終提案に向けて検討する内容は多岐に渡り、チームメンバーそれぞれが得意な部分で何かしらの貢献をして、最終案が自分の案と言えるようになったのではない。授業の最後となったチーム戦の最終プレゼン後に、個人戦では敗れた学生の「うちのチームの提案が絶対に一番良い!」という発言を聞いた時には本当に嬉しかった。個人戦からさらに検討が加えられた3チームの総合戦となった最終提内容案については、大学からのプレスリリース(<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2022-12-28-001>)などを参照して頂きたい。

授業の企画から供用開始までは、まさに元年の一年がかりだったが、授業として学生に教えるというよ

りは、一緒に考えた3ヶ月間であった。今回は大学の授業ではあったが、3Dスキャナーが普及した今では、子供の粘土造形を3DCPで作るなど、さらなる展開ができるのではないかなと思う。研究や社会実装に向けた取り組みに加えて、地域や子供たちとも連携した活動も積極的に進めていきたい。

さて、果たしてコンペの結果や如何に…。

本号表紙にて写真は掲載されていますが、近くにお越しの際にはぜひ太海駅に立ち寄り頂き、ベンチに腰掛けて学生たちの思いを感じて頂ければ幸いです。

[友寄 篤, 大野元寛, 野口貴文, 丸山一平, 石田哲也／東京大学大学院工学研究科]



セメント系材料のフレッシュ性状予測のための

ニューラルネットワーク

Malo Charrier, ほか

Cement and Concrete Research

156 論文 B No.106761 (2022)

近年開発が進む建設用 3D プリンター用のセメント系材料には、所定のフレッシュ性状が求められるが、その配合設計には多大な労力を必要とする。そこで本稿では、配合設計の効率化に向けて、ニューラルネットワークを活用したフレッシュ性状予測技術の検討を行った。

本検討では、降伏応力や粘度といったフレッシュ性状に影響を与える 5 材料 (減水剤, 増粘剤, 硬化促進剤, ナノクレイ, CSH 粒子) の添加量が異なる 16 配合のセメントペーストを対象に、ミンスランプ値とレオロジーの計測を行い、各材料の添加量と各計測値を関連付けた予測モデルを作成した。予測モデルの作成には、5 材料の添加量を入力値、隠れ層 1 層、ミンスランプ値と降伏応力を出力値としたニューラルネットワークを用いた。

作成した予測モデルは、モデル作成に使用した配合に対し高い精度が確認できた。また、各計測の結果、ミンスランプ値と降伏応力に強い相関が認められた。そこで、上記の配合とは異なる 256 配合について、予測モデルにより予測したミンスランプ値と、降伏応力から予測したミンスランプ値を比較することで、予測モデルの精度を確認した。その結果、2 種類の方法で予測したミンスランプ値はよく一致したことから、作成した予測モデルは新規の配合に対しても高い精度が期待できることが確認できた。

今後、予測モデルを活用した配合設計の効率化

や、フレッシュ性状の経時変化も予測可能な技術の開発が望まれる。

焼成スーバーナノ SiO₂ 粒子を改質材として用いた

ポルトランドセメントの初期水和特性

Jinfeng Sun, ほか

Cement and Concrete Composites

132 論文 B No.104622 (2022)

粒径 100nm 程度以下のナノシリカは、セメント系材料に添加することで水和反応の促進などが期待できるものの、超微粒子のために凝集しやすいことが課題である。対して Stöber らの開発したスーバー法で合成したナノシリカ (SNS) は、粒径が均一かつ分散性に優れるものである。

本報告では、SNS がセメントの水和促進に及ぼす効果を高めるため、SNS を 500℃ で焼成した CSNS (Calcined-SNS) を作製した。両粒子を SEM と EDS により比較したところ、焼成によって CSNS では粒径が 10nm ほど小さくなるとともに、SNS の表面でみられたヒドロキシ (-OH) 基が消失していることがわかった。また、水酸化カルシウム (CH) 水溶液への浸漬試験の結果から、SNS と比較して CSNS を浸漬した場合は溶液中の CH 消費量が少なく、CSNS の方がボゾラン活性は低いことを確認した。

これらの SNS または CSNS を、セメントに対して 2% 置換したセメントペーストおよびモルタルの材齢 3 日における積算発熱量と圧縮強度は、CSNS を用いた方が 20% 以上高く、CSNS を添加することでセメントの水和反応が促進されることが示唆された。

著者らはこの理由として、焼成によって -OH 基が除去された CSNS では、セメント硬化体中のアルカリ環境で自身が反応することなく、その代わりに CSNS 粒子が反応核となることでセメントの水和を促進し、初期強度

を向上させるものと考察している。加えて、ナノサイズの CSNS が硬化体中の空隙を充填することによる強度改善効果もあるものと述べている。

セメントペーストの圧縮強度と微細構造に及ぼす CO₂ 養生温度の影響

Bao Lu, ほか

Cement and Concrete Research

157 論文 B No.106827 (2022)

コンクリートの高濃度 CO₂ を含む環境での養生 (CO₂ 養生) は、強度増進を加速させ養生期間を短縮する。この技術は蒸気養生などの従来の養生技術と比較して大気中の CO₂ を削減し、コンクリートの機能を大幅に向上させる技術となる可能性がある。しかし、炭酸化のプロセスと圧縮強度に与える養生温度の影響は明らかになっていない。著者らは、この影響について検討すべく、水セメント比 0.18、直径 20mm、高さ 30mm のセメントペーストを作製、CO₂ 養生し、各種評価を行った。養生は 5℃、20℃、50℃ の 3 条件とし、相対湿度、CO₂ 濃度および圧力はそれぞれ 60%、20%、0.15MPa 一定とし、養生期間は 1 時間から 672 時間とした。その結果、温度が高いほど炭酸化の速度、圧縮強度がともに増加した。また、CO₂ 養生は 24 時間までの早期材齢における強度増進効果が大きく、湿潤養生と比較すると、養生 2 時間において 5℃ で 4 倍、20℃ で 3 倍の強度を示した。

XRD および SEM 観察の結果、炭酸化により生成した CaCO₃ は、いずれの温度においてもカルサイトが最も多く、5℃、20℃ ではバテライトが、50℃ ではアラゴナイトが 2 番目に多かった。また、温度が高いほどカルサイトとアラゴナイトの結晶が大きくなることが観察された。XRD によって定量した CaCO₃ の各多形量と強度の関係から、バテライトとアラゴナイトが強度増進への寄与

が大きいと考えられた。著者らは今後、低 CO₂ 濃度での識見を得るために、様々な条件で評価をする必要があるとしている。

煅焼炉における NO_x 低減策と代替燃料の使用

V. Savva, ほか

International Cement Review

[4] 70~73 (2022)

キプロスのヴァシリコセメント工場は、2011 年に、百万 t / 年から 2 百万 t / 年へと生産能力を増大し、脱炭素化のために新しい代替燃料 (AF) や原料供給システムを導入した。新たな AF の使用に先立ち、独自の数値流体力学シミュレーション技術 (MI-CFD) を有する Cinar 社を招き、従来の煅焼炉設計で NO_x 規制に対応し得るか調査を行った。

従来の煅焼炉は、下方に 30° 傾いた 3 次空気ダクトが接線方向に接続していた。また 2 本のバーナが異なる高さと向きに配置され、うち 1 本が稼働していた。3 次空気ダクトの接続方法等は空気と燃焼ガスの混合、延いては NO_x 生成に影響する為、MI-CFD による構造最適化が行われた。結果、従来構造は 3 次空気の一部が下方に逸れ、NO_x 低減に必要な燃料過濃かつ酸素希薄な燃焼領域が減少する事が判明した。そこで、4 本のバーナを対称に配置し、3 次空気投入口の傾きを低減する改造案が採用され、実際に NO_x 低減効果が確認された。

工場では、尿素による脱硝装置も導入された。煅焼炉の AF 使用率を従来の 20 ~ 60% から 90% まで向上させた際、尿素の使用量が減少傾向を示したことから、AF 使用率の増加も NO_x 削減に効果的であったことが確認された。この点については、1200℃ 以上の高温域で短時間 (0.25 秒) の燃料過濃状態を作り出すことが有効と考えられ、MI-CFD がその解析に役立った。

女性ネットワークの会

10周年記念行事・現場見学会(札幌)

開催日： 2023年5月29日(月)

会場： (仮称)新さっぽろ駅周辺地区I街区マンション
新築工事(北海道札幌市)

参加費： 無料

定員： [会場]15名(先着順)
[オンライン]100名(先着順)

申込方法： 参加申込書をメールにて事務局あてに送付

問合せ： 日本建築仕上学会

メール： shiage@finex.jp

第35回環境工学連合講演会

グリーンリカバリーと環境工学

開催日： 2023年5月30日(火)

会場： 日本学会会議講堂(東京都港区)+オンライン

参加費： 無料(講演論文集は、PDF版をメールにて配布)

定員： [会場]130名(先着順)*
[オンライン]500名(先着順)*
※定員に余裕のある場合のみ当日受付あり

問合せ： 日本建築学会事務局環境工学連合講演会担当

メール： 2023env@aij.or.jp

第43回防錆防食技術発表大会

開催日： 2023年7月3日(月)～4日(火)

会場： 東京ガーデンパレス(東京都文京区)

参加費： 前納(2023年6月26日(月)まで)会員・協賛
学協会会員16,000円、一般20,000円、学生
5,000円

問合せ： 日本防錆技術協会 第43回防錆防食技術
発表大会事務局

電話： 03-3434-0451

コンクリート工学年次大会2023(九州)

開催日： 2023年7月5日(水)～7日(金)

会場： 福岡国際会議場(福岡県福岡市)

問合せ： 日本コンクリート工学会

電話： 03-3263-1571

第58回地盤工学研究発表会

開催日： 2023年7月11日(火)～14日(金)

会場： 福岡国際会議場(福岡県福岡市)、一部オンライン

問合せ： 地盤工学会

メール： jgs_support@nacos.com

令和5年度全国大会 第78回年次学術講演会

開催日： 2023年9月11日(月)～15日(金)

会場： 広島大学(東広島キャンパス/東広島市)、広島
工業大学(五日市市)、広島国際会議場(広島市)

問合せ： 土木学会事務局総務課全国大会係

電話： 03-3355-3442

メール： office2@jsce.or.jp

2023年度日本建築学会大会(近畿)

学術講演会、建築デザイン発表会

開催日： 2023年9月12日(火)～15日(金)

会場： 京都大学吉田キャンパス(京都府京都市)+オンライン

問合せ： 日本建築学会

電話： 03-3456-2051

第16回日本地震工学シンポジウム

開催日： 11月23日(木)～25日(土)

会場： パシフィコ横浜ノース4階(神奈川県横浜市)

参加費： 一般25,000円、学生15,000円(予定)

問合せ： 日本地震工学会事務局

電話： 03-5730-2831

メール： 2office@general.jaee.gr.jp

お知らせ

複写についてのお願い

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

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

お知らせ

J-STAGEで、セメント・コンクリート論文集を無償公開しています

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

お仕事・ご研究にどうぞ活用ください。

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載頁
講習会「地盤震動研究とその応用」	2023年 4月18日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会「地盤震動研究」係	03-3456-2057	3月号 p.62
2022年制定 コンクリート標準示方書 発刊に伴う講習会	2023年 4月24日	大阪府	土木学会事務局 研究事業課 (担当：飯野・佐々木)	03-3355-3559	3月号 p.62
第77回 セメント技術大会	2023年 5月17日～19日	東京都 および オンライン	(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ	03-3914-2692	裏表紙
女性ネットワークの会 10周年記念行事・現場見学会(札幌)	2023年 5月29日	北海道	日本建築仕上学会	shiage@finex.jp	本号 p.60
第35回環境工学連合講演会 グリーンリカバリーと環境工学	2023年 5月30日	東京都 および オンライン	日本建築学会事務局 環境工学連合講演会担当	2023env@aij.or.jp	本号 p.60
第28回「豊かで住みよい国づくり」フォトコンテスト募集	2023年 5月31日締切	—	建設広報協会 フォトコンテスト係	03-3264-5501	3月号 p.41
第43回防錆防食技術発表大会	2023年 7月3日～4日	東京都	日本防錆技術協会 第43回防錆防食技術 発表大会事務局	03-3434-0451 jacc@jacc1.or.jp	本号 p.60
コンクリート工学年次大会2023(九州)	2023年 7月5日～7日	福岡県	日本コンクリート工学会	03-3263-1571	本号 p.60
第58回地盤工学研究発表会	2023年 7月11日～14日	福岡県 および オンライン	地盤工学会	jgs_support @nacos.com	本号 p.60
令和5年度全国大会 第78回年次学術講演会	2023年 9月11日～15日	広島県	土木学会事務局総務課 全国大会係	03-3355-3442 office2@jsce.or.jp	本号 p.60
第23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	2023年 10月12日～13日	京都市	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	2月号 p.22
第10回 構造物の安全性・信頼性に関する 国内シンポジウム	2023年 10月25日～27日	東京都	土木学会 JCROSSAR2023事務局	jcossar2023 @ml-jsce.jp	3月号 p.62
2023年度日本建築学会大会(近畿) 学術講演会、建築デザイン発表会	2023年 9月12日～15日	京都府 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	本号 p.60
第16回日本地震工学シンポジウム	2023年 11月23日～25日	神奈川県	日本地震工学会事務局	03-5730-2831 2office @general.jaee.gr.jp	本号 p.60

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

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

クリップボードの コンクリート化学編 出ました。



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

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

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

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

生産

(単位:千t, %)

種類	項目	22年		23年	
		12月	前年比	1月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,857	90.7	2,366	92.5
	早強・超早強	290	92	255	85.6
	中庸熟	70	101.6	56	94.3
	低熟	23	77.6	18	96.5
	耐硫酸塩	0	—	0	—
	その他	0	—	0	—
	小計	3,240	90.9	2,694	91.9
混合セメント	高炉	823	90.2	663	90.1
	シリカ	0	—	0	—
	フライアッシュ	2	161.1	3	82
	その他	54	47.7	52	57.5
	小計	879	85.6	719	86.5
その他のセメント		13	86.5	13	99.3
計		4,132	89.7	3,426	90.7
輸出用クリンカ等		335	68.7	244	68.4
合計		4,467	87.7	3,670	88.8

販売

(単位:千t, %)

地区	22年			23年		
	12月	前年比	構成比	1月	前年比	構成比
北海道	125	98.1	3.9	78	97.1	3.1
東北	222	88.8	6.8	163	95.3	6.4
関東一	776	98.9	23.9	617	96.4	24.4
関東二	319	99.3	9.8	251	97.5	9.9
北陸	113	78.6	3.5	81	82.2	3.2
東海	399	100.2	12.3	330	99.4	13.1
近畿	505	103.0	15.6	384	95.8	15.2
四国	114	92.4	3.5	94	87.7	3.7
中国	190	90.3	5.9	147	88.2	5.8
九州	406	96.0	12.5	327	93.9	12.9
沖縄	73	94.8	2.2	56	93.3	2.2
計	3,241	96.8	100.0	2,527	94.9	100.0

輸出

(単位:千t, %)

地域・仕向地	項目	22年	23年
		12月	1月
アジア	韓国	30	30
	中国	0	0
	台湾	18	27
	香港	76	73
	フィリピン	50	0
	シンガポール	164	123
	マレーシア	0	0
	小計	338	253
その他	大洋州	284	274
	中南米	0	0
	小計	284	274
合計		622	527

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	2012	59,488	103.3	43,754	104.4	9,632	96.3	53,387	102.8	4,140	98.3	822	111.4	44,577	104.5	6,173
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,332	96.4	20	90.0	38,670	94.4	6,450
	2021	55,741	99.4	37,872	98.0	11,484	103.3	49,356	99.2	4,347	100.3	10	52.0	37,882	98.0	6,371



セメントハンドブック 2022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・原料・エネルギー・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2022年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/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。

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)							(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490	
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717	
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141	
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552	
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655	
4	13,561	3,979	279	2,292	3,043	2,333	341	
5	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880	
6	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721	
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238	
8	17,167	2,753	302	1,235	5,671	5,744	532	
9	24,272	5,104	541	2,332	6,897	7,595	499	
10	17,406	2,195	627	1,679	6,564	5,028	321	
11	13,077	1,665	607	1,475	4,773	3,412	370	
12	15,489	1,686	380	2,025	4,598	5,667	360	
2023年1月	11,173	2,240	677	1,553	3,037	2,477	439	

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省)									(単位:万㎡)
	合計	構造別						用途別		
		木造	鉄骨鉄筋 コンクリート造	鉄筋 コンクリート造	鉄骨造	コンクリート ブロック造	その他	居住用	非居住用	
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492	
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806	
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324	
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371	
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363	
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486	
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392	
6	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479	
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498	
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397	
9	968	437	7	193	322	0.6	8	610	358	
10	990	433	21	181	345	0.6	9	630	360	
11	957	425	16	158	346	0.6	12	606	351	
12	897	386	14	170	319	0.4	7	558	339	
2023年1月	928	330	40	250	299	0.5	8	538	390	

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)									(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)	
		計	製造業	計	国の機関					
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713	
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497	
2021年12月	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900	
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	194,534	
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875	193,576	
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341	202,497	
4	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028	201,690	
5	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369	
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288	
7	9,176	6,529	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222	
8	10,334	8,302	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166	
9	21,617	13,586	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186	
10	10,520	7,331	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	208,774	
11	9,636	6,849	1,908	2,121	1,590	6,736	2,900	5,906	206,833	
12	17,593	14,275	5,184	3,208	1,707	13,048	4,544	14,299	207,841	
2023年1月	10,021	6,986	1,556	2,452	1,782	6,867	3,154	6,992	-	

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)										(2020年平均=100)
	総平均	セメント	生コンクリート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機械	
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3	
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.2	101.6	
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.7	102	
3	111.4	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.5	101.6	
4	113.3	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101	
5	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8	
6	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6	
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4	
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105	
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6	
10	118.1	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	159.7	159.7	117.3	106	
11	119.1	120.4	115.2	114.3	153.8	109.8	159.3	161.8	118.1	106.2	
12	119.8	120.4	115.9	115.3	152.7	109.8	159.3	161.4	118.7	106.2	
2023年1月	119.8	120.4	116.1	115.7	149.1	109.8	158.8	162.8	120	106.8	
2月	119.3	120.4	116.1	115.9	147.1	109.8	159.1	163.8	120.6	107	

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ（出所：経済産業省）					
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック （千個）	護岸用 コンクリートブロック （t）	道路用 コンクリート製品 （t）
		管 （t）	ボール （t）	パイプ （t）			
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604	223,770
2021年12月		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364	185,559
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355	165,266
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450	176,941
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976	162,267
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209	141,401
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545	123,967
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521	145,665
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719	138,948
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945	132,354
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124	146,645
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892	158,515
11		12,286	34,069	123,269	5,527	38,818	176,626
12		10,631	30,719	112,858	5,281	42,085	158,413
2023年1月		8,970	27,442	108,222	4,048	42,004	151,189

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年12月		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年1月		8,771	41,831	2,315	96,860
2		15,218	43,062	2,474	91,643
3		20,647	56,579	2,758	103,188
4		15,969	51,271	2,527	98,544
5		14,242	40,732	2,338	91,205
6		16,974	49,821	2,695	107,363
7		13,715	41,894	2,593	103,755
8		12,408	35,475	2,538	100,701
9		13,947	42,105	2,648	112,161
10		11,097	33,241	2,422	117,669
11		8,850	29,573	2,588	117,623
12		10,593	29,525	2,498	114,000
2023年1月		6,847	21,091	2,183	92,185

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) 常務執行役員 セメント・コンクリート研究所長

委員

石橋 忠良	J R東日本コンサルタンツ(株) 技術統括
伊藤 智章	UBE三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会 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 研究開発推進部 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((株)ピーエス三菱)
岸 利治	東京大学 生産技術研究所 教授
黒岩 秀介	大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)
黒田 泰弘	清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員
古賀 裕久	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員
小林 竜平	竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー
坂井 悦郎	東京工業大学 名誉教授
坂井 吾郎	鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員
棚野 博之	(国研)建築研究所 材料研究グループ シニアフェロー
流 龍成	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー
野口 貴文	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
平田 隆祥	(株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師
平本 真也	日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー
前田 禎夫	麻生セメント(株) 品質技術部 部長
森川 嘉之	(国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
山路 徹	(国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長
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
宮脇 賢司	(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
大石 英男	(一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事
廣川 誠一	(一社)セメント協会 常務理事
吉田 雅彦	(一社)セメント協会 研究所長

編集委員会の動き

本誌の編集企画にご尽力いただきました弓削祐夫委員(UBE三菱セメント), 上村 豊委員(デンカ), 中山英明委員(セメント協会)は3月号をもって退任されました。ここにこれまでのご支援, ご尽力に感謝の意を表します。

なお, 本号より伊藤智章委員, 宮脇賢司委員が就任されました。また, 吉田雅彦委員はセメント協会研究所長として引続きの参画となります。

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)

OPC 建築小特集

- 巻頭言／プレストレストコンクリート建築を取り巻く最近の動向 (福井 剛・日本大学)
- 岩国市立東小・中学校—PCaファイレンディール架構でつくる光あふれる教室
- 嘉麻市庁舎—意匠・構造・設備の融合による機能的な市庁舎
- 神戸市西区庁舎—PC-S工法を採用した庁舎の建設
- 名古屋造形大学—耐震性能を有する格子鋼板プレキャストコンクリートの設計と性能
- 彦根総合スポーツ公園陸上競技場—ここにしかない和の景観をもつ競技場

○シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード 低温でCO₂からメタノールを合成できる触媒の開発

○シリーズ/セメント系固化材 その特性と広がる可能性④ セメント改良技術の適用事例・中層混合処理

○ずいそう(今本啓一) ほか



国道185号呉市安浦町地内におけるコンクリート舗装修繕工事

セメント・コンクリート No.914 4月号
2023(令和5)年4月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

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

○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



第77回

セメント 技術大会

2023年5月17日(水)～19日(金)

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

一般研究発表

セメント・コンクリートの 材料科学の研究発表

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



◆形式: 会場とオンライン
(ハイブリッド)

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



基調講演 5月18日(木) 11:00～12:15

セメント等粉体系材料の “環境安全品質”

国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環領域 試験評価・適正管理研究室

室長
有倉 宏史 氏



特別講演 5月18日(木) 15:30～16:45

脱炭素への移行と セメント化学

東京工業大学
名誉教授
坂井 悦郎 氏

