

CEMENT & CONCRETE

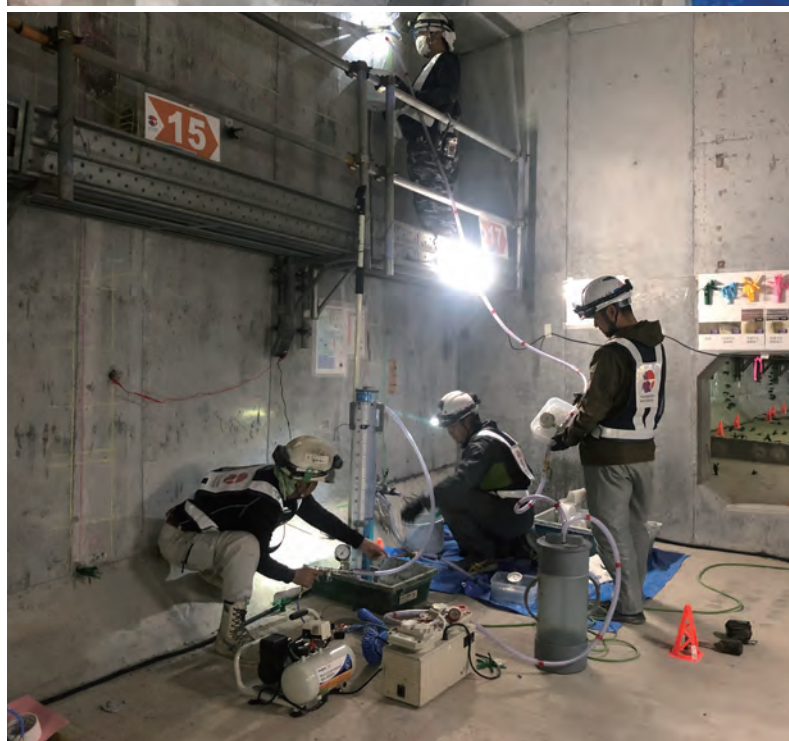
セメント・ コンクリート

令和6年5月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.927

5

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



未来をカタチに変える創造力

AE減水剤（高機能タイプ）

フローリック SV10シリーズ

AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）

フローリック SL20S・R

高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード

高性能AE減水剤 収縮低減タイプ（標準形・遅延形）

フローリック SF500SK・RK

高性能減水剤

フローリック VP900シリーズ



日本製紙グループ

株式会社フローリック

本社：〒170-0013 東京都豊島区東池袋1-10-1

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

◎ 北海道・東北・東京・北関東・中部・関西・四国・中国・九州

◎ 出張所：長野・北陸・静岡・高松・岡山・鹿児島

◎ コンクリート研究所（つくば）・東日本技術センター（東松山）

コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック

検索

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

コンクリート用化学混和剤

時代を見据え、より高く、より強くありたいー

見つめる先は、コンクリート用化学混和剤の未来です。

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2024 No.927

5

もくじ

- | | | |
|----|---|------------|
| 02 | 生コンクリート規格「JIS A 5308」 2024年改正のポイント | … 辻 幸和ほか |
| 10 | 竹チップ混合固化土の材料特性 | … 古賀 千佳嗣ほか |
| 17 | 粗骨材最大寸法40mm コンクリートへの凍結融解試験方法の適用性 | … 片平 博ほか |
| 22 | すいそう
退職後にやりたいこと | … 桜本 文敏 |
| 24 | 阪和自動車道土丸橋(上り線)のPCグラウト再充填工事報告 | … 鴨谷 知繁ほか |
| 30 | ICCC2023 世界のセメント・コンクリート研究の動き② | … 水野 哲成ほか |
| 38 | セメスタグラム／コンクリートに魅せられて
ふれあい橋 | |
| 40 | 土壌に含まれる重金属等不溶化の最新動向 | … 板谷 裕輝 |
| 48 | AIを活用したコンクリートのスランプ予測システム「PreSLump AI®」の開発
～概要と適用事例の紹介～ | … 千石 理紗ほか |

- | | |
|----|--|
| 08 | HOT NEWS |
| 55 | EVENT GUIDE |
| 57 | セメント・データファイル |
| 58 | 主要建設工事・資材統計 |
| 60 | 6月号予告 |
| 61 | セメント・コンクリート論文集 Vol.78 (2024年度)
論文募集のご案内 |



今月の表紙

亜硝酸リチウム水溶液先行
注入型グラウト再充填工法
によりPC鋼棒の再注入工
事が行われた阪和自動車道
土丸橋(上り線) [大阪府／
提供：(株)ピーエス三菱]

生コンクリート規格「JIS A 5308」 2024年改正のポイント

Revision of JIS A 5308 (Ready-Mixed Concrete) : 2024

辻 幸和 西本 洋一 辻本 一志

1. はじめに

JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) は、1953年に制定されて以来、技術の進歩、材料の新たな開発、製造・取引の実態等を鑑み、2019年までに14回の改正が行われている。第15回目の今回の改正では、国際整合化、環境配慮の増進、品質・性能の多様化への対応、生コンクリートの製造・検査の合理化、電磁的情報の生産性向上への寄与を“改正方針”に掲げて、調査および原案の審議を行った。2022年度の末には改正原案を日本規格協会へ提出し、2024年3月21日にJIS A 5308 : 2024が改正公示された。移行期間が6カ月であり、2024年9月21日からは、本格的に実効される。

本稿では、JIS A 5308の第15回改正の経緯とその背景、並びに主な改正のポイントを解説する。そし

て、審議中に問題となった事項を挙げて今後の展望についても言及する。

2. 改正の経緯および背景

JIS A 5308は、産業標準化法13条に基づく5年ごとの定期見直しの時期が2024年3月になっていた。そのため、これに先立ち、2021年5月21日付で経済産業省から「令和3年度産業標準化推進事業委託費(戦略的国際標準化加速事業：産業基盤分野に係わる国際標準開発活動、レディーミクストコンクリートの品質及び環境性能の向上に関するJIS開発)が、(一財)日本規格協会を經由して、全国生コンクリート工業組合連合会(以下、全生連と称する)に委託された。

全生連では、この事業の実施のために、2021年度はJIS A 5308改正調査研究委員会(委員長：辻幸和／群馬大学・前橋工科大学 名誉教授、副委員長：榊田佳寛／宇都宮大学 名誉教授)を設置した。この調査研究に当たっては、下部組織として、第一分科会(主査：早川光敬／東京工芸大学 元教授)と第二分科会(主査：二羽淳一郎／東京工業大学 名誉教授)を組織し、JIS A 5308の改正原案の審議に必要な実験および調査を行い、改正素案を含む改正資料をとりまとめた。第一分科会は、カーボンニュートラルへの対応、リサイクル材の利活用、および国際規格との整合化について、第二分科会は、レディーミクストコ

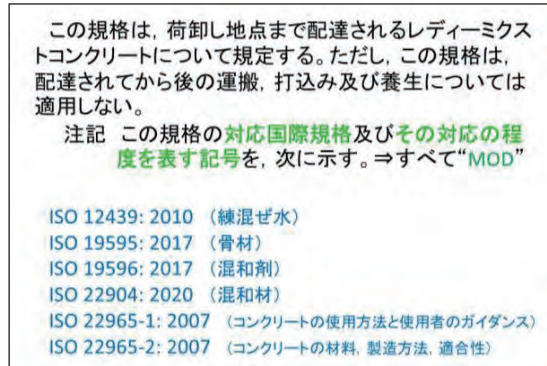


図1 JIS A 5308の対応国際規格と対応の程度

ンクリート(以下、生コンと称する)の製造の合理化、製品検査の合理化、および使用者への情報提供の合理化・効率化をそれぞれ検討して、親委員会の審議資料を用意した。

2022年度は、JIS A 5308改正原案作成委員会と親委員会の名称を具体的に改称して、改組したが、委員長と副委員長は、前年度のJIS A 5308改正調査研究委員会と同じ者が務めた。そして、2021年度に用意されたJIS A 5308の改正資料に基づき、①生コンの種類および区分の見直し、②リサイクル材の利活用、③製造の合理化、④試験方法の合理化、⑤製品検査の合理化、⑥使用者への情報提供の合理化・効率化、⑦国際規格(ISO 22965等)との整合化、⑧カーボンニュートラルへの対応などについて、審議し改正原案を作成して、(一財)日本規格協会に提出した。

改正原案は、日本産業標準調査会標準第一部会土木技術専門委員会(委員長：久田 真／東北大学教授)の審議・議決を経た後、2024年3月21日に改正公示された。移行期間が6カ月であり、2024年9月21日からは、JIS A 5308:2024版が本格的に実効される^{1~3)}。

3. 主な改正内容

今回の主な改正点は、次のとおりである。

3-1. 国際整合化

JIS A 5308の国際整合化がスタートした。序文に

表1 附属書JH(参考)のJISと対応国際規格との対比表の例

JIS A 5308	ISO 12439:2010, ISO 19595:2017, ISO 19596:2017, ISO 22904:2020, ISO 22965-1:2007, ISO 22965-2:2007			
a) JISの標準番号	b) 対応国際規格の対応する簡条番号	c) 簡条ごとの評価	d) JISと対応国際規格との技術的差異の内容及び理由	e) JISと対応国際規格との技術的差異に対する今後の対策
10.3 スランブ 10.4 スランブ フロア	ISO 22965-2 8.2.1	一致		— なお、スランブ及びスランブフローの試験方法は、ISO 1929-2に整合している。
10.7 容積	—	追加	JISに必要な容積の試験方法として、試験車1台分又は空気量測定容器に詰めたコンクリートの質量から計算で求める規定を追加した。	追加1
11.3 スランブ 又はスランブ フロア、及び空 気量	ISO 22965-2 8.2.1	削除	JISでは、現場での混和剤又は水の添加は認めていないため、削除した。なお、ISO規格では添加量は仕様書で許可されている範囲内であることがあらかじめ認められた場合は、混和剤又は水を現場において添加してもよいと規定している。	削除1
11.3 スランブ 又はスランブ フロア、及び空 気量	ISO 22965-2 8.2.3	変更	空気量は、16mm篩り再試験を認めることに変更した。なお、ISO規格は、JISと判定方法及び適合性判定基準が異なる。	変更3 国内の実情に合わせての変更であるが、品質の向上に資する空気量の判定手続及び目標値は、整合化することを検討する。

は、「この規格は、ISO 22965-1、ISO 22965-2などのレディーミクストコンクリートに対応する箇所を基とし、国内の実情に合わせるため、技術的内容を変更して作成した日本産業規格である。」と明示している。これに伴い、対応国際規格にはない事項となる附属書の“A～G”について、簡条番号および細分簡条番号には“J”をつけて“JA～JG”とすることにした。そして適用範囲に、図1に示すように、JIS A 5308の対応国際規格とその対応の程度を“MOD(修正している)”を規定している。またISOとの技術的差異の対比表には、表1にその概略例を示すように、“附属書JH(参考)”に追加して、そして従来からの技術上重要な改正に関する旧規格との対照表は“附属書JI(参考)”にそれぞれ規定された。

カーボンニュートラルに向けた対応などは、国内だけでなく国際社会に向けても発信されなければならない。現状の規格のうち一致していないものは、対応国際規格への整合を今後検討する。また、国際規格よりも日本の基準の方が優れている項目も多いため、対応国際規格への提案も予定される。

3-2. スラッジ水と回収骨材の利用促進

環境配慮を盛り込むことは、これまでの改正においても実施されてきたが、今回の改正は、より一層の配慮—ひいてはカーボンニュートラルへの対応を前面に押し出した。2050年カーボンニュートラルの実現は、わが国が世界に対して公約した重要な施策である。生コン



つじ ゆきかず / TSUJI Yukikazu
NPO法人 持続可能な社会基盤研究会 理事長
群馬大学・前橋工科大学名誉教授 工博



にしもと よういち / NISHIMOTO Youichi
全国生コンクリート工業組合連合会
技術部 部長



つじもと かずし / TSUJIMOTO Kazushi
同上
部長代理

表2 スラッジ固形分率の限度および固形分の取扱い

スラッジ水の 使用方法	スラッジ固形分率 の限度	スラッジ固形分 の取扱い
A方法：安定剤 を用いない場合	目標値として1 %未満	水の質量に含めてもよい
	目標値として1 %以上 3 %以下	水の質量に含めないが、 容積は配合に含めてもよい
B方法：安定剤 を用いる場合	目標値として3 %以下	水の質量に含めないが、 容積は配合に含めてもよい
	目標値として3 %を 超え6 %以下	容積は配合に含める

表3 レディーミクストコンクリート配合計画書

呼 び 方		配 合 の 設 計 条 件				セメントの種類 による記号	
コンクリートの 種類による記号		呼び強度	スランプ又は スランプフロー cm		細骨材の最大寸法 mm		
指定事項	セメントの種類 骨材の種類	呼び方欄に記載 使用材料欄に記載			細骨材の最大寸法 アルカリシリカ反応抑制 対策の方法 ¹⁾	呼び方欄に記載	
①	骨材のアルカリシリカ反応性 による区分	使用材料欄に記載			経年コンクリートの単位容積質量 コンクリートの温度	kg/m ³	最高・最低 ℃
	舗装コンクリートの強度 試験方法	曲げ強度・圧縮強度			水セメント比及び／又は 水結合材比の目標値の上限	②	
②	水の種類	使用材料欄に記載			単位水量の目標値の上限		
	水和材料の種類及び使用量 塩化物質含有量	使用材料及び配合表欄に記載 kg/m ³ 以下			単位セメント量の目標値の 下限又は目標値の上限	kg/m ³	
③	呼び強度を保証する材料				流動化後のスランプ又は スランプフローの増大量	③	
	空気量						
使 用 材 料 ¹⁾							
④	セメント	生産者名	密度 g/cm ³		Na ₂ O ¹⁾ %		
④	細骨材の塩化物質 ¹⁾	% 水の種類 ¹⁾		目標スラッジ固形分率 ¹⁾			
	回収骨材の使用方式 ¹⁾	細骨材	粗骨材	スラッジ水の使用方式 ¹⁾			
④			配 合 表 ¹⁾ kg/m ³				
	セメント	水和剤	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②
④	粗骨材③	粗骨材④	粗骨材⑤	粗骨材⑥	粗骨材⑦	粗骨材⑧	粗骨材⑨
	粗骨材⑩	粗骨材⑪	粗骨材⑫	粗骨材⑬	粗骨材⑭	粗骨材⑮	粗骨材⑯
④	水セメント比 ¹⁾	% 水結合材比 ¹⁾		% 細骨材率			
	水						
備考 骨材の質量配合割合 ¹⁾ 、水和剤の使用量については、断りなしに変更する場合がある。 スラッジ固形分をコンクリートの容積に含める場合、水の単位量は“水の質量”と“固形分の質量”とに分けて記入する ¹⁾ 。運搬時間の限度を変更した場合：時間 ¹⁾							

- ①指定事項(任意)に“舗装コンクリートの強度試験方法”を追加
⇒「協議の上指定する事項」に追加したことへの対応
- ②水セメント比の目標値の上限に“水結合材比”を追加
⇒「協議の上指定する事項」に追加したことへの対応
- ③流動化後のスランプの増大量に“スランプフロー”を追加
⇒前回の改正で普通コンクリートにスランプフローを追加したことへの対応
- ④複数のセメントを使用する場合は“セメント”の記入欄を増減してよい
⇒普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の混合を認めたことへの対応
- ⑤目標スラッジ固形分率、スラッジ水の使用方式の記入方法を変更
・目標スラッジ固形分率：1%未満の場合は“1%未満”
3%以下の場合は“3%以下”
6%以下の場合は“6%以下”と記入する。
・スラッジ水の使用方式：安定剤を用いない場合は“A方法”
安定剤を用いる場合は“B方法”と記入する。

業界も他分野と協力して、この施策を推進することが求められている。そして、より積極的な対応を行うことで、生コン業界の更なる評価の向上を目指している。

特に、スラッジ水および回収水は、環境配慮の側面から生コンの有用な資材であるとの観点を強調し、関連する「用語と定義」を見直した。また2019年の改正で導入した“安定剤”を用いた“安定化スラッジ水”は、今回の改正では、表2に示すように、B方法と使用方法を明示して、スラッジ固形分率が6%まで可能となった。そのため、工場から発生するスラッジ水と回収骨材のすべてを生コンの製造に使用できることになる。そして、図2に例を示すように、安定剤の構成成分を指

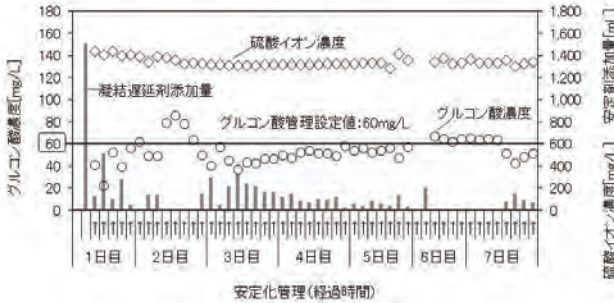


図2 安定化スラッジ水の管理データの一例

表4 レディーミクストコンクリート納入書

配 合 表 ¹⁾ kg/m ³																
セメント	混和材	水 ¹⁾	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	水和剤①	混和剤②						
水セメント比 ¹⁾ 、 ¹⁾		①	水結合材比 ¹⁾ 、 ¹⁾		①	細骨材率 ¹⁾		①	スラッジ固形分率 ¹⁾							
回収骨材置換率 ¹⁾		細骨材	粗骨材		スラッジ水の使用方式 ¹⁾											
備考 配合の種別： □計量印字記録から自動算出した単位量 □計量印字記録から算出した単位量 ② □計量採取記録から算出した単位量 □修正標準配合 □標準配合																
荷受職員の署名又は記名			③		出荷係の署名又は記名			③								

- ①納入書の配合表欄に記入した単位量から算出した値を記入
⇒計量値から算出した単位量を記入する場合の計算方法の明確化
- ②「配合の種別」の記載順を入れ替えた
⇒“計量値から算出した単位量”の記入を促すための対応
- ③“認印又はサイン”を“署名又は記名”へ変更
⇒電磁的記録を活用した取引などへの対応

標にした管理方法が整備され、表JC.2に適合することが確認された「安定化スラッジ水」は、用語の表記と内容を見直した「上澄み水」に含めてもよいことになった。

配合計画書への記入方法も変更となる。安定剤を用いたスラッジ水はB方法とし、スラッジ固形分率の目標値として3%以下と6%以下に分けて、配合計画書に記入する。そして、納入書を発行する時点でスラッジ水がなくなってしまった場合は、回収骨材と同様に、配合計画書に記載する事項に対応できる。これらにより、これまで普及の進まなかったスラッジ水と回収骨材の同時の使用が進むことが期待される。

3-3. 電磁的記録の利用

購入者への情報提供方法が変わる。配合計画書、納入書、配合設計の基礎となる資料等の提出は、PDFデータ等の電磁的記録が使用できるようになり、“紙媒体に限定しない”こととなった。表3に示すように、書式は現行の紙媒体と同様のものとしている。

また、表4に示すように、納入書を自動印字記録装置で記録して提出することが推奨された。紙媒体を減

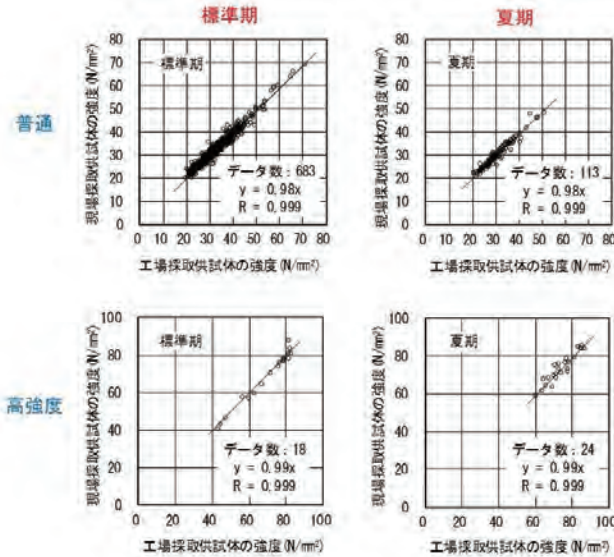


図3 工場採取供試体の強度と現場採取供試体の強度との関係

らすことは、カーボンニュートラルにもつながるため、電磁的記録が普及されることを期待したい。

3-4. 累加計量

これまでは、セメントと混和材は“個別計量”に限られていたが、9.2.1計量方法で累加計量を許容することが盛り込まれた。購入者が生産者と協議の上、購入者の指定に基づき、次の材料の組合せで、個々の材料の計量値をそれぞれ記録し、計量印字記録から自動算出した単位量を“納入書”に示す場合に限って、累加して計量してもよいことになった。

- 1) セメントおよび1種類または2種類の異なる混和材
- 2) 3種類までの異なる混和材
- 3) 普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種[この場合のセメントの種類による記号(JIS A 5308の表3参照)は、“BA+”とする。]

ただし、3)については、累加した後の高炉スラグの分量が、JIS R 5211の表1に規定する高炉セメントA種の上限を超えないものに限る。

建設各社などがこれまで開発されてきた“低炭素型コンクリート”の多くは、高炉スラグ微粉末とフライアッシュ、高炉セメントなどを普通ポルトランドセメントと混合して使用している。プラントに設置されている計量ビン

の本数によって対応に可能な生コン工場が限られていたが、累加計量が可能となれば、全国ほぼいずれのプラントでも“低炭素型コンクリート”の出荷対応ができるようになる。

4. その他の改正のポイント

このほか、特に留意する必要な改正のポイントをいくつか以下に紹介する。

4-1. 舗装コンクリートで圧縮強度試験を選択することが可能に

舗装コンクリートの強度管理に用いる曲げ強度の供試体は大型で、試験員にとって大きな負担となっており、この省力化が要望されてきた。圧縮強度の試験結果から曲げ強度を算出するための関係式が構築できたことに加え、圧縮強度試験のほうが高精度であることなどから、「購入者が生産者と協議して指定できる事項として、舗装コンクリートの強度試験方法を曲げ強度又は圧縮強度かを選べる。」ことに改正された。

4-2. 試料の採取方法と検査方法

トラックアジテータから試料を採取する際、採取前に高速回転させずに排出させて、取り除くコンクリートの量を20L～50L程度と少量にできることに変更された。JCI近畿支部と大阪兵庫生コンクリート工業組合の実験結果によると、試料採取時にトラックアジテータから取り除く量を削減して高速回転しないことでも品質に及ぼす影響が小さいことが明らかになったためである。

高強度コンクリートの試験頻度が、普通コンクリートなどと同じく150m³に1回に緩和された。多くの蓄積されたデータをもとに、100m³に1回と品質に差がないと判断して、高強度コンクリートの試験における生産性の向上を図った。

また強度の検査に用いる供試体について、「工場出荷時にトラックアジテータから採取した試料で作製してもよい。」とした(図3)。荷卸し地点で行う製品検査の省

力化につながると考えられる。

4-3. 細骨材貯蔵設備の合理化

骨材の貯蔵設備は、「レディーミクストコンクリートの最大出荷量の1日分以上に相当する骨材を貯蔵できるものでなければならない。」とされている規定に、ただし書きとして、「細骨材を上屋を設けて貯蔵し、計量する都度、細骨材の表面水率を測定し、測定値に基づく計量値の補正が行われている場合は、この限りではない。」とする一文が追記された。品質安定の観点からも、“連続表面水率測定装置”などの導入が進むことを期待したい。

4-4. 新たに追加した骨材および混和材料

新たに使用可能となった骨材として“石炭ガス化スラグ細骨材”が、混和材として“火山ガラス微粉末”が、混和剤として“収縮低減剤”がそれぞれ追加された。いずれの材料も、JISが制定され、使用実績が報告されてきたためである。

4-5. 軽量型枠の検査

附属書JGの軽量型枠のうち繰返し使用できるものについて、全数対象で検査を行うことが規定され、具体的な頻度はJIS Q 1011に規定された。なお、繰返し使用できない型枠については、任意に抜き取った3個について寸法、底面の平面度および底面と側面の直角度の試験を行う。それらの試験方法は現行のままである。

4-6. 「積み込み」の箇条を新設

2022年度に発生した“戻りコンクリートの不正使用によるJIS取消し”を受けて、トラックアジテータにコンクリートを積み込む場合の条文を新たに設けた。すなわち、9.4“積み込み”の箇条を新たに設け、「a) コンクリートを積み込む前に、戻りコンクリート及び洗浄水が運搬車に残留していないことを確認する。ただし、付着モルタルを使用する場合の積み込みは附属書JFによる。b) コンクリートは、ミキサから積み込みホッパを介して、直接

運搬車に積み込む。」ことを明確化した。

2022年度は、立て続けにJIS取消しという事態が起きてしまったことから、注意喚起の意味も含めている。

5. 審議中に問題となった事項

今回の改正に当たって懸案事項として残された事項は、次のとおりである。

5-1. 同一バッチへ異なる生産者および種類のセメントを用いることについて

今回の改正では、近年のカーボンニュートラルに向けた取組みの一つである“低炭素型コンクリート”への対応として、同一バッチに生産者の異なるセメントおよび異なる種類のセメントを用いることについて検討した。改正の検討段階で、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種との混合使用に関する技術報告が公表されたことから、この組合せに限定して認めることとした。購入者側から要望のあった、これ以外のセメントを組み合わせた生コンは、十分な技術情報が確認できなかったため、改正原案に盛り込むことを断念した。なお、今後これらの懸案事項はJIS Q 1011の規定が改正される情報が整理された段階で、改めて規格への導入を検討することとした。

5-2. 荷卸し地点におけるスランプの回復について

JIS A 5308では、使用材料の品質変動または計量値の許容差などを考慮し、コンクリートの品質に影響のない範囲でスランプに許容差を設定している。例えば、スランプの区分18cmの許容差は±2.5cmと規定されており、スランプ試験の結果が15.5cm～20.5cmの範囲であれば、JIS A 5308に適合した製品となる。

一方、コンクリート工事では、構造物の寸法や形状、鉄筋の配置などを考慮し、所要のスランプを決定するため、荷卸し地点でのスランプが許容範囲の下限付近のコンクリート（例えば、区分18cmの場合15.5cm）では、コンクリートの打込みや締固め作業に多くの労力

が必要になること、およびコールドジョイントが発生しやすくなることに対して、一定の条件を満たせば、フレッシュコンクリートの性状を回復できる規定への見直し

が、購入者側から提案された。しかしながら、荷卸し地点で受渡しが完了（納入書に荷受職員の署名または記名を受領）した後の作業は、JIS A 5308の適用範囲から外れていること、品質保証の責任範囲が明確にできないこと、および不合格品が合格品として扱われるおそれがあることなどから、発注者、購入者および生産者で検証データなどに基づいた審議を十分に行うとともに、関係者間での合意が必要との意見が多数を占めた。

戻りコンクリートを削減する観点からは、スランプの回復措置も対策の一つとして考えられるが、JIS化には発注者、購入者および生産者で検証データなどに基づいて十分に審議することが必要なため、次回以降の課題とした。

5-3. リサイクル材の取扱いについて

JIS A 5308では、スラッジ水および回収骨材について、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないよう、管理方法と使用方法を規定し、リサイクル材の利活用を推進している。スラッジ水を固形分率1%未満で使用したコンクリート、回収骨材を置換率5%以下で使用したコンクリートなど、比較的リサイクル材の使用量が少ないコンクリートは、リサイクル材を使用しないコンクリートと同様に扱うことができる。

そのため、スラッジ水を固形分率1%未満で使用する場合には、スラッジ水を回収水として扱わないこと、回収骨材の置換率が5%以下で使用する場合（A方法）は、回収骨材を含めた骨材全体を新骨材として扱うことができる規格へと改正し、リサイクル材の更なる利活用の推進を図ることの提案が、生産者側からあった。しかしながら、関係者間で十分に審議し、合意する必要があることから、今回の改正では断念し、継続審議事項とした。

6. 今後の展望

JIS A 5308改正原案普及委員会は2023年度を通じて改正内容の周知に努めた。そして、不明点等については、JIS改正説明会を通じて質問を受け付け、回答した。

今回の改正の最大のポイントは、日によって発生量の異なるスラッジ水と回収骨材の管理をしやすくしたことである。カーボンニュートラルの実現には、工場から廃棄物を出さないことが大切である。システム面を整備し、自社生コン工場で発生した産業廃棄物を少しでも削減することが重要となる。そのためにも、発注者と購入者の理解が必要であることを併せて周知していきたい。

JIS A 5308は、分野別認証指針のJIS Q 1011と併用されて、社会基盤整備のための建設基礎資材である生コンの規格として広く活用され、国民の安全・安心な暮らしの実現に寄与してきた。更なる生コンの品質の安定性、高い安全性を図るとともに、製造、管理・検査についての合理化の実現、カーボンニュートラルへの対応に関連する環境への配慮、並びに顧客満足度の更なる向上などを目指したJIS A 5308の今回の改正となっている。そして、今後の国際統合化の過程において、わが国の優れたシステムを発信していくことが望まれる。

7. おわりに

本稿では、2024年3月21日に改正公示されたJIS A 5308：2024の改正の経緯と背景、並びに主な改正事項と今後の課題について解説した。

近年、生コンにも国際統合化、環境負荷の低減と生産性の向上が強く求められている。今回の改正では、国際規格のISO 22965-1、ISO 22965-2などをJIS A 5308：2024の対応国際規格に位置づけた。環境負荷の低減では、安定剤を用いたスラッジ水の固形分率が6%まで高められての利用が推進され、また

生産性向上の観点からは、購入者が生産者と協議して指定できる事項として、舗装コンクリートの強度試験方法を曲げ強度または圧縮強度かを選べること、トラックアジテータから試料を採取する際の簡略化、生コン工場での強度試験体の作製ができること、セメントと混和材の累加計量ができること等の改正内容に加えて、審議中に問題となった事項等についても解説した。

本稿が生コンの適切な普及と利用の拡大の一助になれば、幸いである。

【謝辞】本稿の作成には、全国生コンクリート工業組合連合会のJIS A 5308改正準備委員会、JIS A 5308改正調査研究委員会およびJIS A 5308改正原案作成

委員会における調査・研究の結果および改正原案を引用させて頂いた。梶田佳寛 副委員長および二羽淳一郎 分科会主査、早川光敬 JIS A 5308改正調査研究委員会第一分科会主査をはじめ、これら委員会・分科会の委員各位および事務局各位より、多大なご支援とご助力を頂いた。付記して、厚くお礼を申し上げる。

【参考文献】

- 1) JIS A 5308:2024 (レディーミクストコンクリート)
- 2) JIS A 5308:2024 (レディーミクストコンクリート) 解説
- 3) 日本規格協会、全国生コンクリート工業組合連合会、全国生コンクリート協同組合連合会：JIS A 5308レディーミクストコンクリート改正説明会テキスト、令和5年12月、令和6年1・2月

HOT NEWS

第56回セメント協会研究所講演会を開催／セ協

セメント協会は、2024年3月18日に同研究所(東京都北区)で「第56回セメント協会研究所講演会」を開催した。本講演会は、セメント・コンクリートに関する学術研究、新技術などに関する知見を普及、啓蒙することを目的としている。会場には、セメントメーカーをはじめ、セメント・コンクリート関係の研究者・技術者ら約80名が参集した。

今回は、「世界のセメント・コンクリート研究のうごき-第16回セメント化学国際会議より-」と題し、2023年9月18日～22日にタイのバンコクで開催された国際会議についての講演であった。また、国際会議に際してセメント協会で主催したツアー(建設現場、タマサート大学等の視察)についても報告があった。吉田研究所長の開会の挨拶に続き、次の11件の講演と活発な質疑応答が行われた。

①国際会議とツアーの概要／丸山一平氏(東京大

学・名古屋大学 教授)、②構造物の未来／高橋恵輔氏(香川大学 特命教授・UBE三菱セメント(株))、③クリンカー製造の新しい局面、セメント水和化学の進歩／中田裕伸氏・上河内貴氏(住友大阪セメント(株))、④クリンカ代替、SCMsの利用に関する研究動向／小林真理氏(UBE三菱セメント(株))、⑤評価方法とモデル化の進歩、セメント・コンクリートの標準化／水野哲成氏((一社)セメント協会)、⑥セメント系材料の強制炭酸化／丸山一平氏(東京大学・名古屋大学 教授)、⑦新しい低炭素セメントと炭化性バインダー／早川隆之氏(太平洋セメント(株))、⑧混和材とレオロジーに関する新たな知見／佐藤正己氏(日本大学 教授)、⑨高性能コンクリートの新技術／三谷裕二氏(太平洋セメント(株))、⑩耐久性と物質移動／高橋恵輔氏(香川大学 特命教授・UBE三菱セメント(株))、⑪循環型経済への貢献を目指す研究開発／小林真理氏



(UBE三菱セメント(株))。

ツアーの団長を務めた丸山一平教授からは、今回初めて実施されたペーパーレスによる国際会議とツアーの

概要、基調講演で講演された内容(⑥)について報告が行われた。報告では、基調講演の講演者に日本の研究成果を事前に紹介することで日本の技術力をアピールできたこと、例年より基調講演・一般講演のトピックスの数は増えたが、カーボンニュートラルに関連したものが多かったこと、会期中には若手研究者を筆頭に大型のデジタル端末に表示したポスターの前で議論が盛んに行われていたことなどについて説明があった。日本では、二酸化炭素の削減対策をネガティブ

な課題として捉えられがちであるが、諸外国では、それをチャンスとして楽しむエネルギーがあり、全体的に明るい雰囲気国際会議であったと結んだ。

各セッションの内容に関しては、講演者の視点でピックアップした重要な論文について丁寧な説明があり、短時間で世界の研究動向を把握することができた。なお、一般講演の論文については、ICCCのウェブサイト(<http://www.iccc-online.org/archive/>)にて閲覧でき、本誌ではNo.925～928(2024年3～6月号)の予定で本講演会の各講演の内容を紹介するので、そちらを参照されたい。

質疑応答では、「研究テーマが二酸化炭素削減に集中しており、そのほかの研究が停滞していないか危惧している。コンクリートの高性能化の技術も大切だと思う」、「今あるものの再利用だけではなく、その先のサイクルまで考える必要がある」、「セメント・コンクリート業界だけではなく、他業界や国一丸となって、未来のためにどんな小さな一歩でも踏み出して欲しい」など数多くの、示唆に富んだ意見があった。



会場風景

竹チップ混合固化土の材料特性

Material Properties of Bamboo Chip Mixed Solidified Soil

古賀 千佳嗣 佐藤 研一 藤川 拓朗

1. はじめに

昨今では、2050年までに温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させるカーボンニュートラルの推進により、様々な分野でCO₂の排出抑制や固定・貯蔵、代替エネルギー開発が進められている。特に植物をはじめとする光合成生物は地球上でほぼ唯一のCO₂吸収・同化を行う存在であり、土木・建築分野における木材の活用技術が開発されている¹⁾。また、木材と同様に、古くから日用品や建築用材など、身近な暮らしの中で利用されてきた竹は、1960年代以降、安価なタケノコや竹材の輸入により国内産の需要が減少し、プラスチック製品の普及、農山村を取り巻く社会状況の変化に伴い需要量が激減した²⁾。さらに、竹は繁殖力が高く、竹林従事者の減少により放置竹林問題が顕在化している。また、森林保全のために大量に伐

採される竹を消費できる利活用はあまり進んでいない。そのため、大量消費可能な土木分野での竹の利活用が求められている³⁾。近年では、小型の竹粉碎機が開発され、現地で竹をチップ化し、搬出・運搬が容易になっている。これらのチップ化された竹は、繊維質で高い引張り強度を有しており、繊維断面がポーラス状となっており、非常に高い吸水効果⁴⁾を有している。一方、日本では、大型台風や線状降水帯による大雨などの自然災害が多々発生している。特に、大雨によるため池や河川の決壊が発生し、多くの被害が発生している。これらの発生原因の一つとして、浚渫土砂の堆積が挙げられている⁵⁾。これらの浚渫土砂は高含水比であり、有機分を多く含むコストの高価や地盤のpH変化による環境への配慮が顕在化している。

そこで著者らはこれまで、高含水比粘性土を竹チップ混合することで運搬を可能とし、その後の固化処理した竹チップ混合固化土の研究・開発⁴⁻⁷⁾を行っている。本稿では、これまでの研究成果から竹チップ混合固化土における材料特性の一部を述べる。

2. 竹チップ混合固化土の実験概要

高含水比粘性土の粘土試料として、含水比調整の容易であり、液性限界の異なるカオリン粘土と木節粘土の2種類を用いた。表1に本実験にて用いた粘土試料の物理特性、図1に粒径加積曲線を示す。固化材

表1 粘土試料の物理特性

	カオリン粘土	木節粘土
土粒子の密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.731	2.690
自然含水比 w (%)	—	3.9
強熱減量 $lg-loss$ (%)	3.1	8.5
細粒分含有率 F_c (%)	100	96.4
液性限界 w_L (%)	51.7	44.0
塑性限界 w_P (%)	34.3	16.1
塑性指数 I_P	17.4	27.9



写真1 小型竹粉碎機

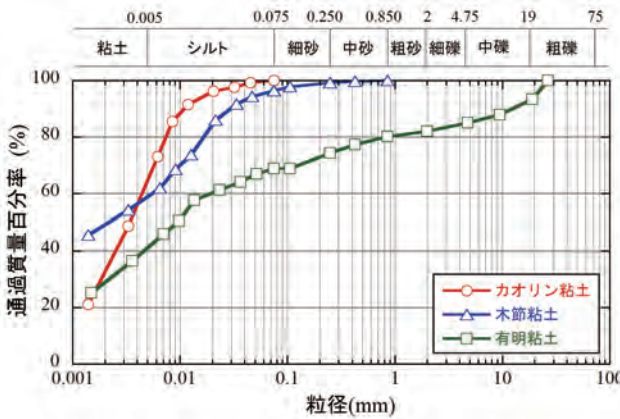
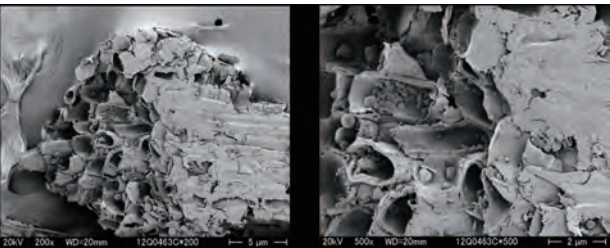


図1 実験に用いた粘土試料の粒径加積曲線

表2 竹チップの諸特性

外観	
フィルター目の大きさ	円形20mm
繊維長幅	2-35mm
竹チップの密度 ρ_s (Mg/m ³)	1.590



(a) 200倍 (b) 500倍

写真2 竹チップのSEM画像

には高炉セメントB種を用いた。今回、用いた竹チップは、伐採された竹を竹専用粉碎機(写真1)にて、カッティングフィルターの目⁸⁾を円形20mmに通過した粒径幅2-35mmのチップを使用した。竹の初期状態としては天日干しで乾燥させた竹($w_B=2\sim6\%$)とした。表2に実験に使用した竹チップの外観と諸特性を示す。竹チップの密度は1.59Mg/m³であり、水分を吸収した竹チップは水に浮遊せず沈降すること⁴⁾が確認できている。用いた竹チップの200、500倍のSEM(走査電子

顕微鏡)画像を写真2に示す。竹チップ形状は、繊維で筒状の束となって形成され、非常にポーラスであることがわかる。このような性状により、高含水比粘性土中の水分を吸水し、含水比を低下させる効果があることがわかる。

強度変形特性の評価は一軸圧縮試験(JIS A 1216)より行った。ここで、本実験の竹チップ混合固化土の目標強度は、盛土材として利用できる一軸圧縮強さ $q_u=300\text{kN/m}^2$ とした。供試体の作製方法は、設定



こが ちかし / KOGA Chikashi
福岡大学工学部
助手 修士(工学)



さと けんいち / SATO Kenichi
同上
教授 博士(工学)



ふじかわ たくろう / FUJIKAWA Takuro
同上
助教 博士(工学)

表3 試験条件

試料土	粘土の 設定含水比 $w_0(\%)$	チップの性状	竹チップ 添加率 $B(\%)$	固化材 添加率 $C(\%)$
カオリン粘土 木節粘土	$2.0w_L$	$w_B=2\sim 8\%$ 2-35mm	0 10 20 30	10 20

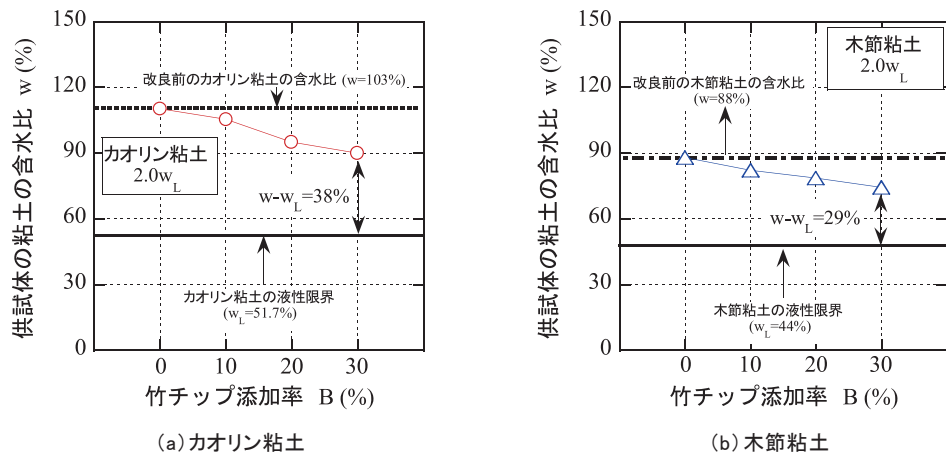


図2 竹チップ添加率と吸水後の粘土の含水比の関係

含水比に調整した試料に竹チップを添加し、十分に竹チップに土質材料中の水分を吸収させるため12時間静置させる。その後、固化材を混合し、攪拌混合後、直径5cm、高さ10cmのモールド内に3層で各層25回モールドを床に叩くようにエネルギーを与え気泡が残らないようにタッピング法で作製した。ここで、竹チップ及び固化材の添加率は粘土試料の乾燥質量に対する外割り配合としている。養生日数は気中養生7日間とした。

表3に竹チップ混合固化処理土の試験条件を示す。今回の実験では、高含水比粘性土を想定し粘土試料の設定含水比を液性限界 w_L の2倍、固化材添加率を $C=10, 20\%$ とした。また、竹チップ添加率は $B=0, 10, 20, 30\%$ とし、粘土乾燥質量に対する外割で配合している。

3. 竹チップ混合固化土の物理特性

竹チップと試料土と固化材の混合により物理特性は

大きく変化する。図2(a), (b)に各粘土試料における竹チップ添加率と竹チップ混合・吸水後の供試体内の粘土の含水比変化を示す。ここで、混合・吸水後の供試体の粘土の含水比とは、竹チップを添加して12時間静置後に粘土のみを採取し含水比を測定したものである。両粘土試料において竹チップ添加率の増加に伴い竹チップの吸水効果によって、供試体内の粘土の含水比は低下していることがわかる。特に設定初期含水比が高いカオリン粘土の方が木節粘土に比べ、竹チップの吸水効果が発揮され、含水比の低下量が大きいことがわかる。また、竹チップ添加率 $B=30\%$ に着目すると、固化材混合前の供試体内の含水比は、塑性状態に移行する液性限界 w_L に近づくことから、各粘土は流動性を失い、充填密度の低い供試体ができていることがわかる。ここで、図3(a), (b)に各試料における竹チップ添加率と供試体の密度(湿潤密度)の関係を示す。各竹チップ混合固化土の密度は、竹チップ添加率の増加に伴い低下している。このような供試体密度の減少は、写真3の供試体の外観を示す

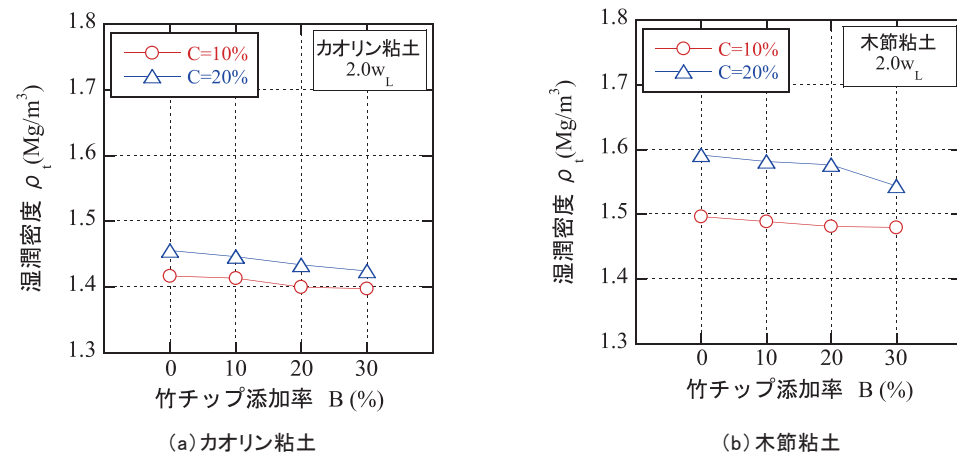


図3 竹チップ添加率と湿潤密度の関係

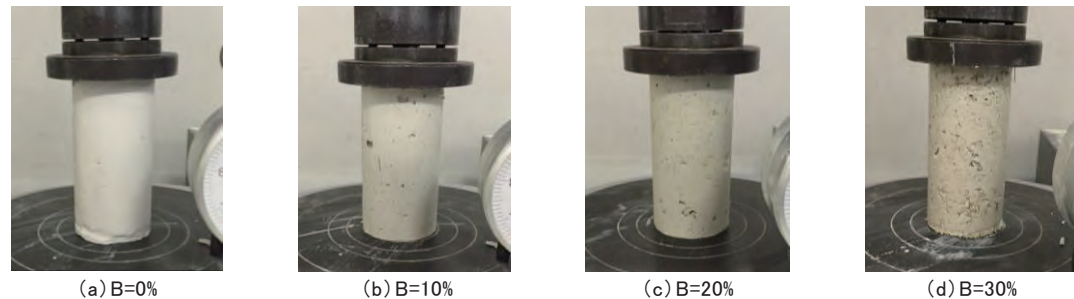


写真3 一軸圧縮試験前の供試体の外観(カオリン粘土)

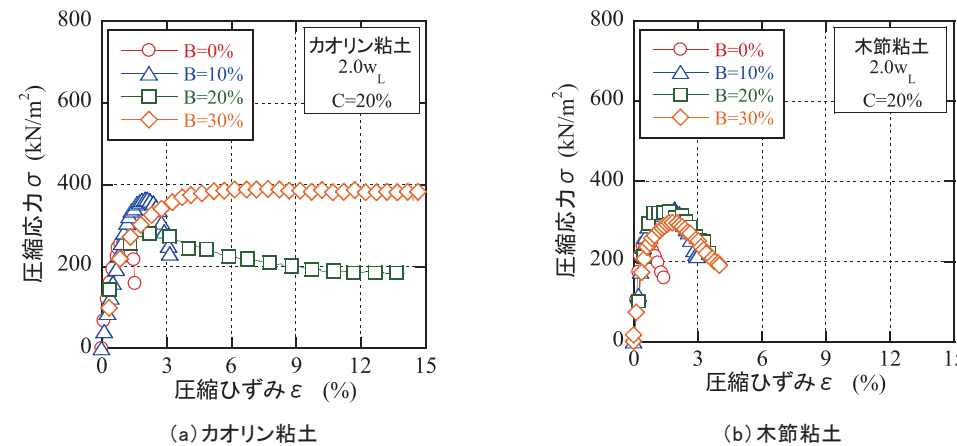


図4 各試料における一軸圧縮試験結果

ように、竹チップ添加に伴う混合固化土の含水比の低下と、竹チップ添加率の増加によって土粒子主体の骨格も持つ供試体から竹チップ主体の骨格をもつ供試体に移行し、供試体内に空隙が生じたことが原因と考えられる。これらは、高含水比粘性土の有効利用に向けての留意点である。

4. 竹チップ混合固化土の強度・変形特性

ここでは、3節の物理特性を踏まえ、強度・変形特性について述べる。図4(a), (b)に固化材添加率 $C=20\%$ における各試料の一軸圧縮試験結果を示す。カオリン粘土は、竹チップを含まない場合では、ピーク

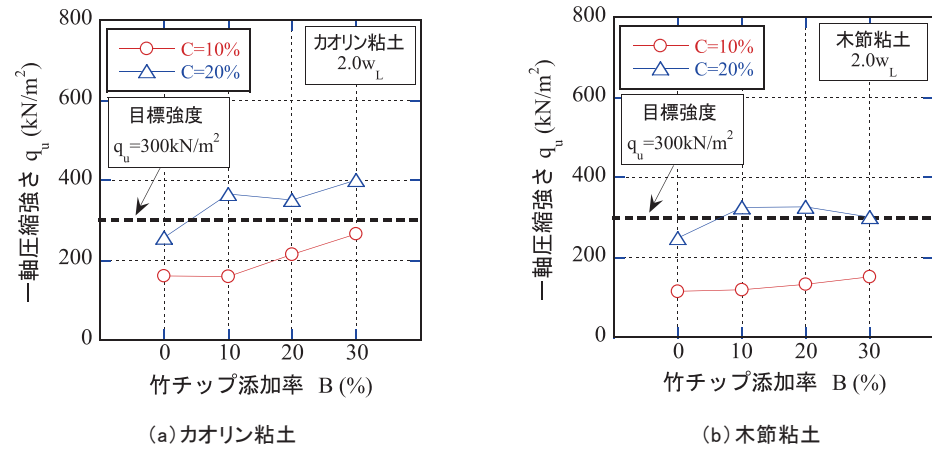


図5 竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係

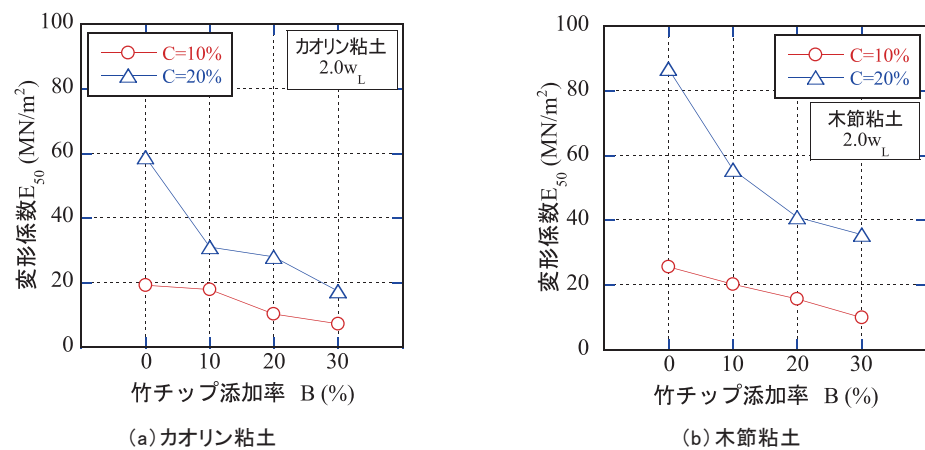


図6 竹チップ添加率と変形係数の関係

強度後の僅かなひずみで強度低下している。一方竹チップ添加率が増加すると、徐々に明確なピーク強度を示さず延性的な破壊形態を示している。一方、木節粘土では、竹チップ添加率の増加とともにピーク強度後の圧縮ひずみが延びていることがわかる。今回の試料土では、木節粘土 ($w_L=44.0\%$) より液性限界の高いカオリン粘土 ($w_L=51.7\%$) の方がより延性的な挙動を示していることがわかる。

次に、図5(a), (b)に各試料における竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係を示す。竹チップ混合固化処理土の一軸圧縮強さは、各粘土試料ともに竹チップ添加率の増加とともに増加傾向を示していることがわかる。また、固化材添加率を変化させた場合においても同様の傾向を示しており、竹チップの添加が固化土の強度増加に影響を及ぼしていることがわかる。また、

盛土材料として要求される目標強度の $q_u=300\text{kN/m}^2$ に対しては、固化材添加率 $C=20\%$ のカオリン粘土に対して竹チップを混合することにより満足していることもわかる。しかしながら、木節粘土では、竹チップ添加率 $B=30\%$ にてわずかな強度低下を示している。これは、一定の体積内にある竹チップ添加率が増加することによって、粘土試料によっては、供試体密度の低下を引き起こし(図3)、強度低下を引き起こす要因にもなることを示唆している。また、図4における延性的な挙動から靱性効果を発揮することができる。ここで図6(a), (b)に各粘土試料における変形係数 E_{50} と竹チップ添加率の関係を示す。各粘土試料ともに竹チップ添加率の増加に伴い供試体の変形係数は減少傾向を示し、剛性が低下することがわかる。特に固化材添加率 $C=20\%$ では、竹チップの添加により大きく変形係数が

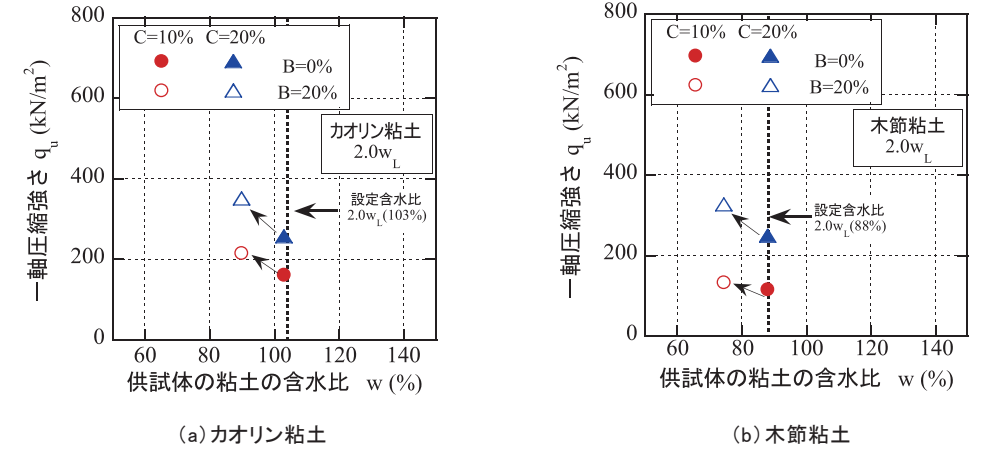


図7 供試体の含水比と一軸圧縮強さの関係

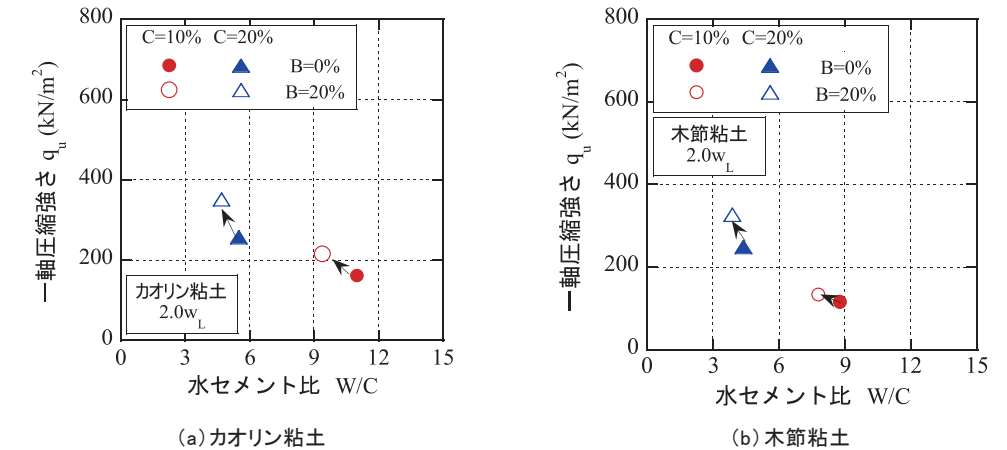


図8 水セメント比と一軸圧縮強さの関係

低下し、固化材の固化効果と竹チップの引張補強効果による靱性効果により、緩やかな破壊形態から耐久性に期待できることが考察される。

次に供試体の粘土の含水比変化と一軸圧縮強さの関係を図7(a), (b)に示す。各粘土試料ともに竹チップを添加することで供試体の含水比は低下し、一軸圧縮強さは増加している。特に液性限界の高いカオリン粘土の方が強度の増加が伺える。さらに、図8(a), (b)に竹チップ添加・混合による水セメント比の変化と一軸圧縮強さの関係を示す。竹チップを添加することで、竹チップの吸水効果によって供試体の含水比が低下し、水セメント比が低下していることがわかる。この水セメント比の改善効果は、竹チップ混合固化土の一軸圧縮強さを増加させる一つの要因だと考えられる。以上の実験結果から、高含水比の粘土改良に竹チッ

プを用いることによって、竹チップの持つ吸水効果により含水比の低下に伴って水セメント比が改善され、さらに竹チップの持つ剛性と靱性が加わることによって一軸圧縮強さが増加することが確認された。

5. おわりに

今回の内容は、竹チップの吸水効果により粘土試料の含水比を低下させ、塑性状態に移行する液性限界 w_L に近づくことで、強度発現の要因となった。さらに、水セメント比が低下することで、固化材の固化効果を有効的に発揮できることが示された。また、竹チップ混合固化土は、粘土試料の種類によらず竹チップ添加率の増加に伴い竹チップの吸水・靱性効果によって一軸圧縮強さは増加し、延性的挙動を示した。このこと

から、竹チップの引張り補強効果と固化材の固化効果の併用により、地震災害等の耐久性にも期待できると考えられる。

6. 今後の展望

今回の検討内容は、タッピング法にて供試体を作製している。実現場では竹チップを用いて転圧可能な試料まで改良し、締固めエネルギーを加えることで、竹チップと土試料が固化材により固結することにより、今回の検討よりも高い靱性効果が期待できると考えられる。今後は締固め効果と併用した検討を予定している。

【参考文献】

- 1) 大久保敏弘／脱炭素社会実現に向けたグリーンジョブの推進、公益社団法人NIRA 総合研究開発機構、NIRA オピニオンペーパー、No.73, 2023
- 2) 島居厚志／里山林の放置と竹林の拡大、平成16年度森林総合研究所四国支所研究発表会要旨集、pp.6～7, 2004
- 3) 林野庁／竹の利活用推進に向けて、2018
- 4) 古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗／軟弱地盤改良における竹の有効利用法の検討、材料、Vol65, No.1, pp.16～21, 2016
- 5) 農林水産省／平成30年7月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方について、2018, 11
- 6) 古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗／竹チップ混合固化処理土の物理・力学特性に及ぼす粘土物性と腐朽の影響、材料、Vol69, No.1, pp.85～90, 2020
- 7) 古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、山下航／竹チップ混合固化土における竹チップの補強効果、材料、Vol73, No.1, pp.14～19, 2024
- 8) 坂本慎也、古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗／竹チップの性状が竹土舗装の締固め・強度変形特性に及ぼす影響、平成26年度西部支部研究発表会、V042, pp.681～682, 2015

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:sement@sement.or.jp)



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



粗骨材最大寸法40mmコンクリートへの 凍結融解試験方法の適用性

Applicability of freezing and thawing test method to concrete
with a maximum coarse aggregate size of 40 mm

片平 博 古賀 裕久

1. はじめに

コンクリートの凍結融解試験方法はJIS A 1148に規定されている。JIS A 1148の規定の中では「供試体の断面は、正方形で、その一辺の長さは100mmとし、供試体の長さは400mmとする。粗骨材の最大寸法は、供試体断面の一辺の3分の1以下とする。」と規定されている。このため、粗骨材最大寸法（以下、Gmaxという）が33mm以下（実質的にはGmax25mm以下）のコンクリートが適用範囲となる。しかし、実務ではGmaxがより大きなコンクリートを評価したいケースもあり、Gmax40mmのコンクリートに対するJIS A 1148の適用性について当研究所における過去の実験結果から検討した。

2. 現状の課題

コンクリートの凍結融解抵抗性に影響を与える構成材料は、セメントペーストの品質以外に骨材（特に粗骨材）

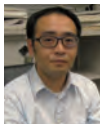
の品質の影響がある¹⁾。骨材の品質はJIS A 5308 レディーミクストコンクリートの附属書Aに示されており、密度、吸水率、硫酸ナトリウムによる安定性損失質量百分率等についての品質規格が定められている。ただし、性能規定の考え方や骨材資源の有効利用の観点からは、これらの品質規格を一部満足しない骨材であっても、コンクリートの凍結融解試験等によって、凍結融解抵抗性が確認できれば、有効利用することが可能と考えられる。現に、コンクリートの施工現場近傍の原石山から骨材を採取するコンクリートダムの工事等では、そのような考え方に基づいて使用可能な骨材の判別を行っている。

ダム用コンクリートにはGmaxが150mmや80mmのコンクリートが用いられる。凍結融解抵抗性を評価する場合には、配合表からあらかじめ25mm以上の粗骨材を除いて、Gmax25mmのコンクリートとしてフレッシュコンクリートを製造して供試体を作製する方法も考えられるが、一般的にはフルサイズの粗骨材を用いてフレッシュコンクリートを製造し、40mmふるいでウェットスクリーニングした試料でスランブ試験、空気量試験、圧縮強度試験用供試体の作製等を行い、その後さらに25mmふるいでウェットスクリーニングして、凍結融解試験用供試体を作製することが行われている。

ダムは特殊な事例としても、レディーミクストコンクリートとして一般に使用されているGmax40mmのコンクリートについても、同様に25mm以上の粗骨材を排除して



かたひら ひろし / KATAHIRA Hiroshi
(国研)土木研究所
先端材料資源研究センター
特任研究員



こが ひろひさ / KOGA Hirohisa
同上
上席研究員 博士(工学)

表 1 凍結融解試験に用いた骨材の品質

骨材の種類	絶乾密度 (g/cm ³)			吸水率(%)		
	(40-25mm)	(25-15mm)	(15-5mm)	(40-25mm)	(25-15mm)	(15-5mm)
OT 骨材	2.58	2.59	2.58	1.55	1.46	1.60
MM 骨材	2.47	2.48	2.48	2.27	2.80	2.91
KB 骨材 Ga		2.69			0.30	
KB 骨材 Gb		2.59			3.70	
YK 骨材 7 種類		2.60～2.67			0.93～1.52	
	(40-20mm)	(20-5mm)		(40-20mm)	(20-5mm)	
TN 骨材 G1	2.68	2.66		1.94	2.50	
TN 骨材 G2	2.67	2.67		0.44	0.57	

表 2 凍結融解試験のケース一覧

骨材の種類	粗骨材最大寸法 (mm)			備考
	40mm	25mm	15mm	
OT	1	1	1	
MM	1	1	1	
KB		10		Ga と Gb の混合
YK		15		7 種類の骨材とその混合
TN	8			G1 と G2 の混合

凍結融解試験用供試体を作製する必要がある。

このように、現状の試験方法の規準では、Gmax 25mmを超えるコンクリートの凍結融解抵抗性を確認することができない。コンクリートの凍結融解抵抗性に与える粗骨材の影響がGmax に依存しないのであれば現状のままで良いが、粗骨材の品質によっては、Gmax によってコンクリートの凍結融解抵抗性が異なる可能性があり、筆者らもGmax 15mmと25mmとでは凍結融解抵抗性が異なることを確認している²⁾。これらのことから、Gmax 40mmコンクリートに対するJIS A 1148 の適用性を検討したものである。

なお、公称40mmの網ふるいの実寸法は36.5mmであることから、Gmax40mmの骨材のうちで供試体断面の一辺の3分の1である33mmを超える粒子の割合は多くはないと推測される。

3. 調査方法

過去に当研究所にて実施した凍結融解試験結果の

うち、Gmax25mmと40mmの試験結果を調査した。

凍結融解試験方法はJIS A 1148で、A法：水中凍結融解試験方法、B法：水中凍結木通融解方法の2通りが規定されているが、今回はA法を調査対象とした。供試体の寸法はいずれの場合も100×100×400mmの角柱である。

対象とした凍結融解試験結果^{2~4)}について、骨材品質を**表1**に、凍結融解試験の試験ケース一覧を**表2**に、コンクリートの配合とフレッシュコンクリートのスランプおよび空気量を**表3**に示す。水セメント比は46～57%の範囲であり、いずれの配合も供試体作製に支障のない流動性(スランプ)を有し、4.0%以上の空気量を有するAEコンクリートである。

凍結融解試験を行った供試体の本数はいずれも1ケースあたり3本である。Gmaxが大きくなることによって試験結果がばらつきやすくなることが懸念されるため、3本の相対動弾性係数の平均値と標準偏差を求めて、その変動の程度を比較した。

表2中の骨材OTとMMではGmaxを15mm、25m

表 3 コンクリートの配合とスランプ、空気量

	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Sl (cm)	Air (%)
				W	C	S	G		
OT	15	55	52	190	345	866	809	18.0	7.0
	25	55	46	165	300	832	987	7.5	4.3
	40	55	40	140	255	770	1165	11.0	5.5
MM	15	55	52	190	345	866	785	21.5	5.1
	25	55	46	165	300	832	956	18.0	6.2
	40	55	40	140	255	770	1126	7.0	4.7
KB (Ⅰ～Ⅲ)	25	46	37	170	370	655	1143	6.0～8.0	4.4～4.5
KB (Ⅳ～Ⅹ)	25	57	39	170	300	720	1140	4.5～6.5	4.1～4.5
YK	25	55	40	165	300	734	1105	1.0～15.5	4.2～5.7
TN	40	55	38～42	130～190	237～345	709～755	1016～1230	6.2～12.7	4.6～5.1

m、40mmの3水準に設定して凍結融解試験を実施しており、試験中の相対動弾性係数の3本の平均値と標準偏差を求めて比較した。次に、表2中のGmax25mmと40mmの全てに試験結果について試験終了時の相対動弾性係数の平均値と標準偏差を求めて比較した。なお、試験中に相対動弾性係数が60%を下回ると測定が困難あるいは測定値が不安定になるため、3本の平均値が60%を下回るケースでは、60%に最も近い測定サイクルでの3本の変動係数を用いて比較した。

今回の調査の対象とした骨材には、ダムの原石山から採取した骨材が含まれているが、耐久性の低い骨材は廃棄され、実際のダム工事には使用されていないものである。

4. 調査結果

4-1. OTとMMの試験結果

表1に示したOTとMMではGmaxを15、25、40mmの3水準で比較している。それぞれの供試体の相対動弾性係数の推移を**図1**および**図2**に示す。

OTの結果はいずれも高い相対動弾性係数を示し、Gmaxの違いの影響は確認されなかった。

MMの結果では相対動弾性係数の低下が確認され

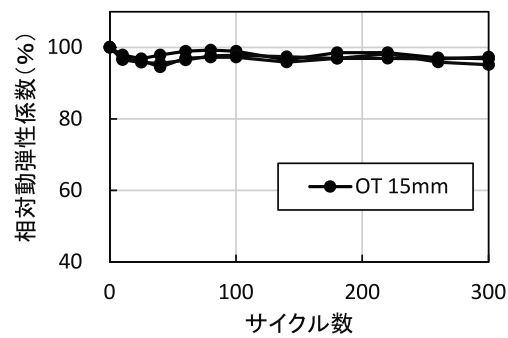
た。MMではGmax15mmに対してGmax25mmや40mmでの相対動弾性係数の低下が大きく、耐久性指数が骨材寸法に依存していることが分かる。

MMの結果について、測定サイクルごとに相対動弾性係数の平均値と標準偏差を求め、その関係を示すと**図3**のようである。この図においては、相対動弾性係数が100%、標準偏差が0の時点が試験開始時である。試験を開始すると次第に相対動弾性係数が低下し、標準偏差は徐々に大きくなり、相対動弾性係数が60%程度で標準偏差は20%程度となった。このMMの配合の場合、Gmax15mmの配合の標準偏差がやや小さいものの、Gmax25mmとGmax 40mmの標準偏差は同程度で、Gmaxの違いによる標準偏差の違いに明確な差は認められなかった。

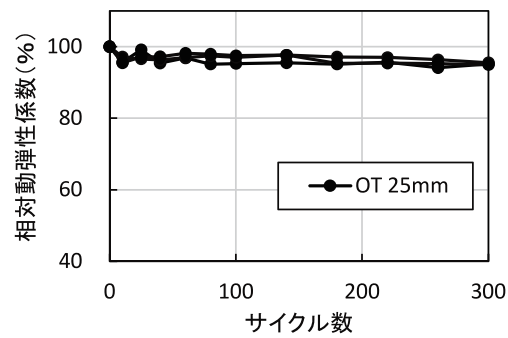
4-2. Gmax25mmと40mmの比較

表1に示したGmax25mmと40mmの全試験ケースについて、供試体3本の試験終了時(相対動弾性係数の3本の平均値が60%を下回る場合は、60%直近の測定サイクル)の相対動弾性係数の平均値と標準偏差の関係を**図4**に示す。

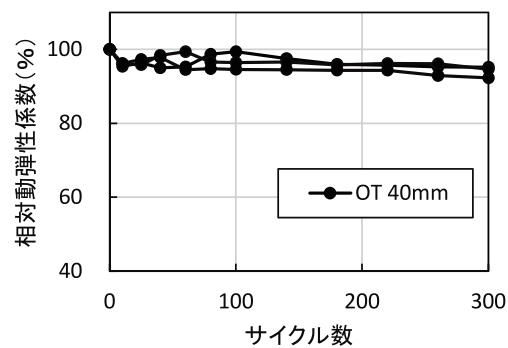
Gmax25mmの結果としては、相対動弾性係数の平均値が90%以上の場合は標準偏差が5%以下と小さく、平均値が低くなるほど、標準偏差の変動幅が大きくなり、平均値が60%程度での標準偏差は2～20%



(1) Gmax15mmの結果

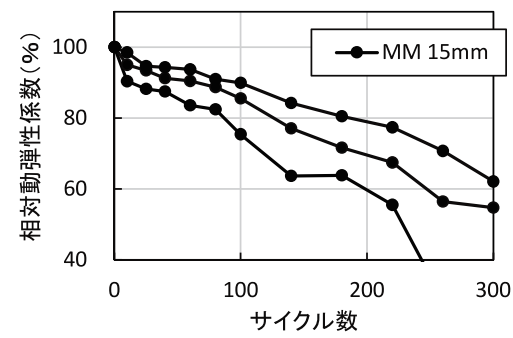


(2) Gmax25mmの結果

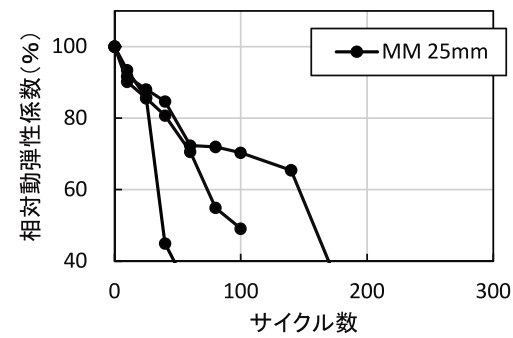


(3) Gmax40mmの結果

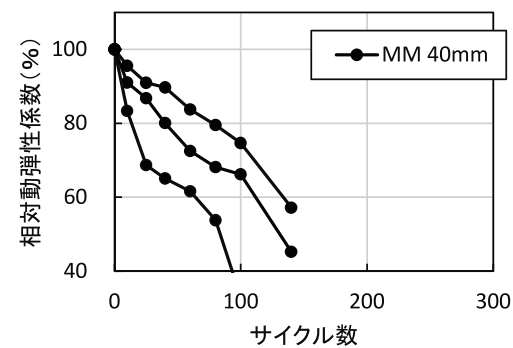
図1 OTの凍結融解試験結果(相対動弾性係数)



(1) Gmax15mmの結果



(2) Gmax25mmの結果



(3) Gmax40mmの結果

図2 MMの凍結融解試験結果(相対動弾性係数)

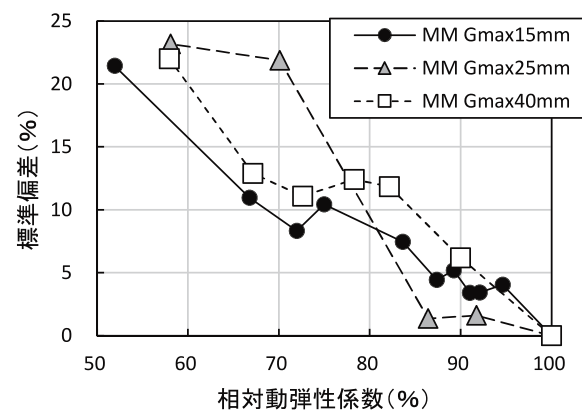


図3 MMの相対動弾性係数の平均値と標準偏差の推移

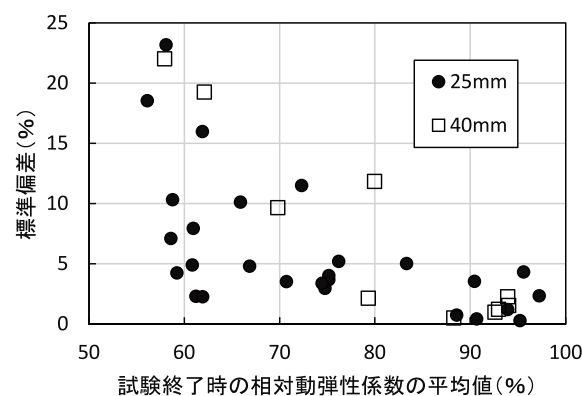


図4 試験終了時の相対動弾性係数の平均値と標準偏差の関係(Gmax25mmと40mm)

程度の範囲に分布する結果となった。

これに対して今回のGmax40mmの場合の標準偏

差は25mmの供試体で見られた変動幅の平均的な値

よりも大きいものの、Gmax25mmの供試体で見られる

変動の範囲を大きく逸脱するものは確認できなかった。

5. おわりに

今回の調査結果から、Gmaxを40mmとしても、凍結融解試験結果における供試体ごとの標準偏差はGmax25mmの場合と大きくは変わらない結果が得られた。

粗骨材の最大寸法を供試体の一辺の長さの1/3以下とする規定は、凍結融解試験以外でも、圧縮強度試験や長さ変化試験にも採用されている。コンクリートは様々な材料の複合体であることから、粗骨材の偏在の影響を考慮したものと推定される。供試体内の不均一性を可能な限り排除して、平均化されたコンクリートの物性を求めたい場合は、この規定の意味するところは大きいと考えられる。

一方で、凍結融解抵抗性のようにコンクリート構成材料の一部にでも不良な材料が存在すると、そこから

劣化が始まりうるため、その有無を検出することが必要な場合に関しては、より粒度範囲の広い骨材を試験対象に含めたほうが合理的である。なお、これによって供試体間の試験結果のばらつきが大きくなる懸念があるが、今回の検討結果の範囲では大きな差は確認できなかった。不安が残る場合には供試体の本数を増やす等の対応も有効である。このように、粗骨材最大寸法の規定に関しては、目的に応じて柔軟な判断があつてよいと考える。

【参考文献】

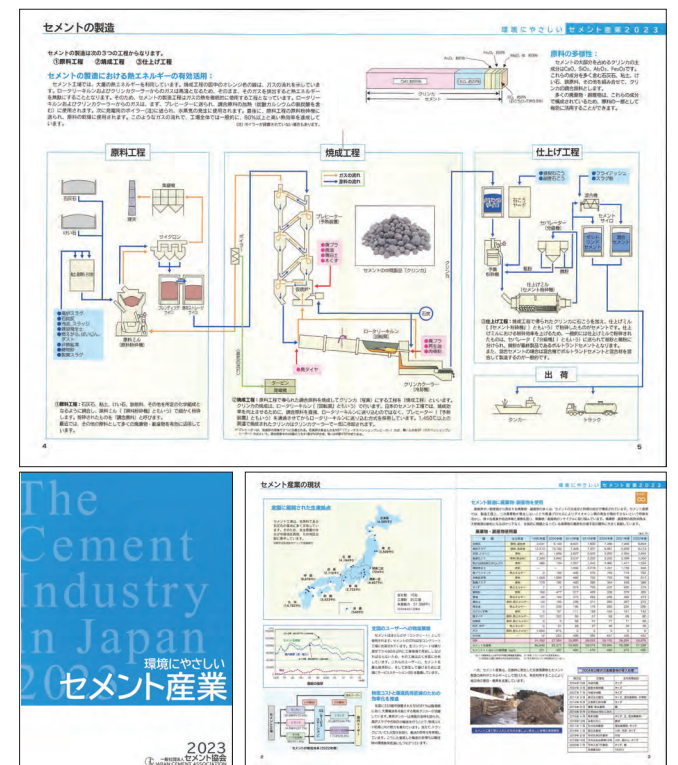
- 1) 渡辺博志, 片平博, 伊佐見和大, 山田宏／骨材がコンクリートの凍結融解抵抗性と乾燥収縮に与える影響と評価試験法に関する研究, 土木研究所資料, 第4199号, 2011.3
- 2) 片平博, 渡辺博志／粗骨材最大寸法15mmの砂利コンクリートの性能, セメント技術大会講演要旨, Vol.65, pp.106~107, 2011.5
- 3) 小林茂敏, 小野金造, 河田博之, 高橋正志／川辺川ダム骨材試験報告書, 土木研究所資料, 第1814号, 1982.3
- 4) 河野広隆, 森浜和正, 片平博, 古賀裕久, 石原雅規／未利用骨材資源の利用技術に関する調査, (7) 殿ダム・横川ダム骨材, 土木研究所資料, 第3774号, 2001.3

A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2023

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは、部数と送付先を明記のうえ、下記までファックスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

[主な内容]セメント産業の現状,セメントの製造,カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン,カーボンニュートラル行動計画の概要,2050年に向けた対策





桜本 文敏

2年ほど前、65歳になったのを機に、週2日勤務とした。完全リタイアも考えたが、継続していた仕事があったのでその区切りが付くまで勤務を続けることにしたのである。勤務形態は、原則火曜日と木曜日に出勤で、月・水・金は休日(非勤務日)である。1日出勤すると翌日は休日なので、最初のうちは、「なんて楽なのだろう」と思っていたが、最近は「休日のあとは会社か…」と思う日が増えてきた。人間、一度楽をすると、どんどん怠惰になっていくものだと感じている。

このような勤務形態に移行するときに、これから自由時間が増えるので、退職後にやりたいことをメモしてみた。

最初に書いてあるのが「家の不用品を全部捨てる(断捨離)」である。私はどうやらなかなか物を捨てられない性格のようである。意識的に物を捨てていこうとしているが、それでも20年も30年も使わない物が段ボール箱にいくつも入っている。何十年も前に結婚式の引き出物としていただいた立派なお皿などもある。失礼ながら、それらをメルカリで売ってしまおうと思っているが、まだ実行に移せていない。あと、捨てられないのが年賀状である。おそ

らく入社から40数年間の年賀状が段ボール箱に入っている。その時その時の思い出があったりして踏ん切りが付かないのであるが、ほかの方はどうしているのだろうか？

メモには「ゴルフが上手くなって、毎週ラウンドする」というものもある。「平均90を目指す」ということも書いてある。ゴルフの結果はエクセルに入力しているが、昨年(2023年)は45ラウンドであり、週1のペースにもう一歩であった。一緒にまわる人も退職した方が多く、いつでもゴルフができるため、雨が降ると(降りそうだと)、すぐに中止となる。昨年は6回雨で中止となった。それ以外にも私がコロナに感染して2回キャンセルしたので、全部合わせれば53ラウンドとなり、目標達成のペースであったが、雨とコロナには勝てないので仕方がない。ちなみに今年(2024年)は、今までのところ(3月25日現在)11回となっており、ほぼ目標ペースである。

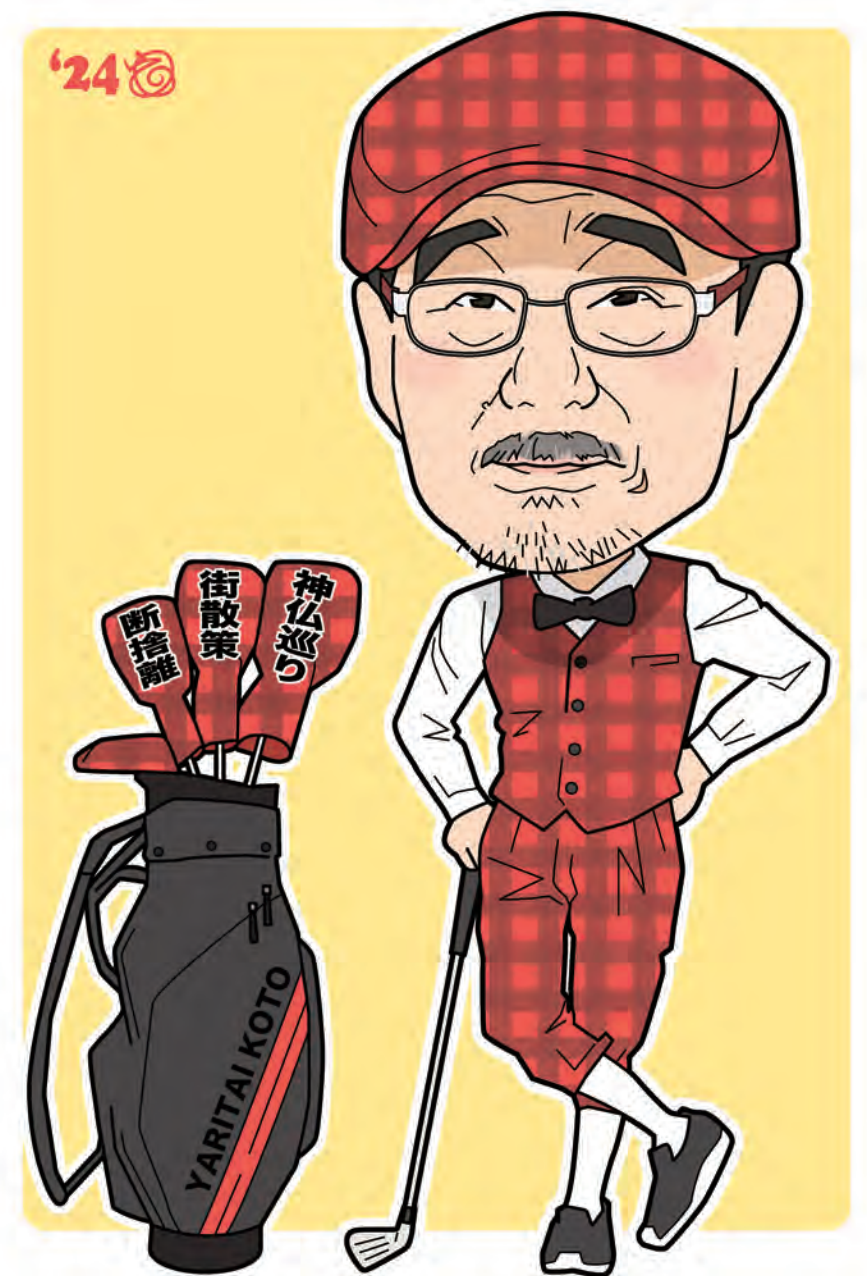
もう一つの目標の「平均90を目指す」は、現在のところまったく達成していない。練習場ではいいショットが出るのに、コースではなぜ出ないのか、多くのゴルファーが陥るゴルフの謎に私もどっぴりとはまっている。

そのほかに「今まで降りたことのない駅で降りて、街を散策し、美味しいものを食べる」というものもある。遠くに行くのではなく、1時間程度で行けるような近場を想定している。10時くらいに家を出て、11時くらいに駅に着いて、2時間ほど街を散策し、気になるお店でビールを飲みながらゆっくりランチをいただき、明るいうちに家に帰る、ということをイメージしている。たくさん歩くので、健康維持にもよく、一石二鳥である。東京都にある駅は655駅のような感じが、いつかすべての駅を制覇したいと思っている。乗り鉄という言葉があるが、これはさしずめ「降り鉄」であろうか。

それ以外にも、「全国の神社・仏閣を巡り、御朱印帳をいっぱいにする」、「沖縄、北海道などのマンスリーマンションでゆっくり過ごす」、「キャンピングカーを買い、全国一周する」、「地中海を豪華客船でクルーズする」など、やりたいことがいっぱい書いてある。

67歳男性の平均余命は18.26歳(2021年)であり、平均で85歳くらいまでは生きられるようである。一方で、健康寿命(健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間)は、男性で72.68歳(2019年)ということである。確かに65歳を過ぎてから、眼や腰に不具合が出ているが、改めて調べてみると、あと5年程度で健康寿命を迎えることになりそうとは思ってもみなかった。

メモに書いたことが、あとどれだけ達成でき



るか不透明なところもあるが、何か目標があれば元気も付いてくると思っているので、常に何かにチャレンジしていきたい。

まずはゴルフで平均100を切るところから始めたい！

[さくらもと ふみとし／

鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員]

イラスト・タイトル 宮島幸次

阪和自動車道土丸橋(上り線)の PCグラウト再充填工事報告

Report on PC Grout Re-injection Works at the Tsuchimaru Bridge (Upward Lane) on the
Hanwa Expressway

鴨谷 知繁 真島 敬 山本 忠典 栗野 広大 安里 俊則

1. はじめに

阪和自動車道に位置する土丸橋(写真1)は、ディベ
ダーク工法(PC鋼棒)による張出施工で建設され、平
成2(1990)年に供用された橋長281m(支間82.3m+
115.0m+82.3m)、上下線隣接のPC3径間連続ラメ
ン箱桁橋である。平成26(2014)年の詳細点検にて、
上り線P2-A2間の下床版鋼棒定着突起部でPC鋼棒
突出(写真2)が1箇所確認された。これを受け平成
27(2015)年にウェブ鋼棒および下床版鋼棒(計220本)



写真1 土丸橋(手前：上り線)

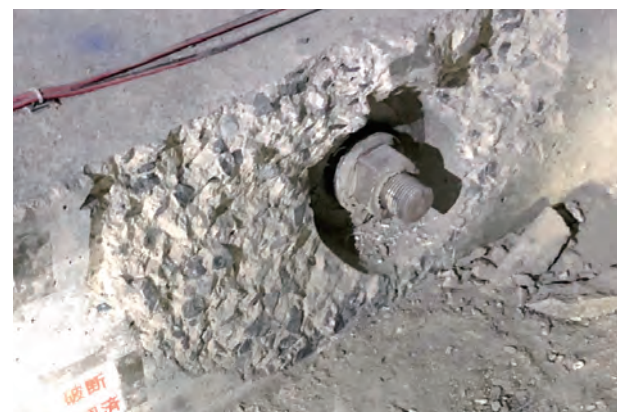


写真2 下床版鋼棒の突出

を対象に実施された広帯域超音波法(以下、WUTと
称す)¹⁾によるグラウト充填調査では、約4割にグラウト
充填不足の可能性があると推察された。また、箱桁内
は定着部およびジョイントカップラー部から地覆直下
の上床版へと配置されたグラウトホースからの伝い水によ
ると推測される水浸み(写真3)が広範囲に多数発生し
ている状況であり、橋面に散布された凍結防止剤が軀



写真3 箱桁内の水浸み

表1 調査工の対象としたPC鋼棒

部位	鋼棒名	鋼棒数		
		A1-P1	P1-P2	P2-A2
ウェブ	正曲げ主鋼棒 (下床版ハンチ内部の 鋼棒密集部を含む)	40	56	40
	せん断鋼棒	48	68	48
下床版	正曲げ主鋼棒	30	28	30
上床版	横締め鋼棒 (はく落防止範囲)	40	191	53

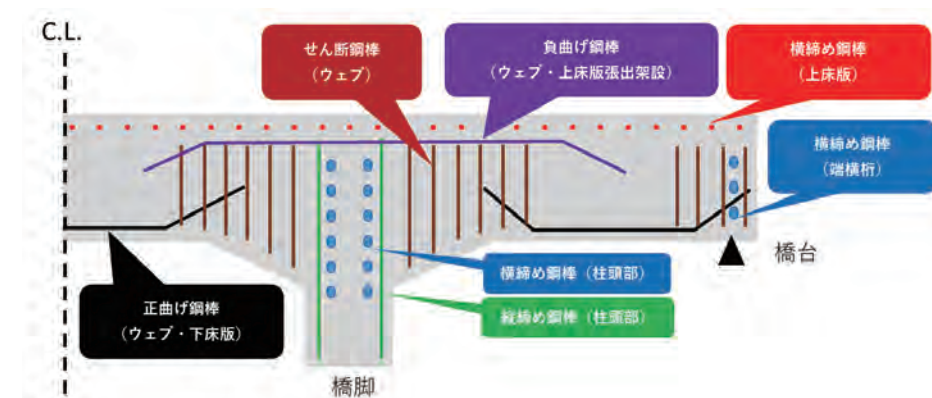


図1 鋼棒配置概要図(側面図)



図2 鋼棒密集配置部断面図
(土丸橋中央径間下床版ハンチ)

体内部に侵入しやすい傾向にある^{2,3)}。さらに、ジョイ
ントカップラー部では建設時にカップラーがシースに密着
し閉塞する事例もありグラウト充填不足が生じやすい⁴⁾
構造特性であることから、PC鋼棒突出箇所以外での
主鋼棒の腐食・破断が懸念された。これらの対策とし
て、前述した腐食環境においてPC鋼棒の腐食抑制
効果が期待できる亜硝酸リチウム水溶液先行注入と亜
硝酸リチウム添加補修材充填によるグラウト再充填工
法(以下、本工法と称す)を採用し補修工事(以下、
本工事と称す)を行った。本稿は、NEXCO西日本で
施工事例がなく先行的取組みとなったPC鋼棒タイプの

箱桁橋におけるグラウト充填調査工(以下、調査工と
称す)およびPCグラウト再充填工(以下、再充填工と
称す)について報告するものである。

2. 調査工

表1に調査工の対象としたPC鋼棒を、図1に土丸
橋のPC鋼棒配置概要図を示す。グラウト再充填の施
工性、破断突出時の第三者影響度、耐荷性能への
影響を考慮して、ウェブおよび下床版に配置された正
曲げ主鋼棒、ウェブ内に鉛直配置されたせん断鋼棒
および、はく落防止範囲の床版横締め鋼棒を選定した。
なお、ウェブ正曲げ鋼棒は、図2に示す調査難度が
高い下床版ハンチ内部の鋼棒密集配置部も、事前に
実物大試験体を用いた削孔方法の検討⁵⁾を行った結
果、調査可能と判断し全数を対象とした。一方、柱
頭部縦締め鋼棒、柱頭部および端横桁の横締め鋼棒
は調査困難であり、第三者影響範囲は突出防止工施



かもたに ともしげ / KAMOTANI Tomoshige
(株)ニューテック康和
技術部



まじま けい / MAJIMA Kei
(株)ピーエス三菱 大阪支店
土木工部



やまもと ただのり / YAMAMOTO Tadanori
同上



くりの こうだい / KURINO Koudai
西日本高速道路(株)
関西支社 京都高速道路事務所



やすざと としのり / YASUZATO Toshinori
NEXCOコンサルタンツ(株)
大阪支店
主席専門役



写真4 調査工の手順

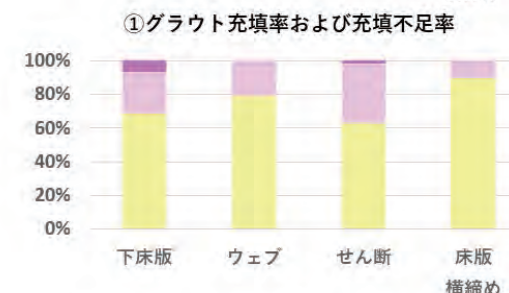
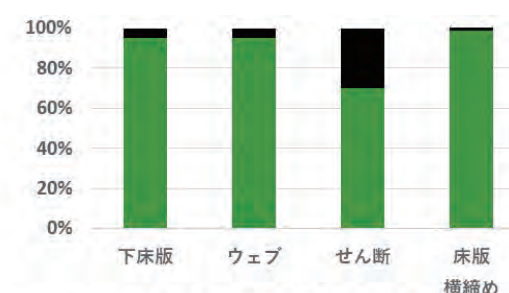
工済みのため対象外とした。また、負曲げ主鋼棒は、中央径間長115.0mを有する本橋では柱頭部断面に208本が多段配置されており、箱桁内や張出床版下面から調査可能なPC鋼棒は約3割に留まるため、サンプル調査を実施し充填率97%であったことから対象外とし、サンプル調査で確認されたグラウト充填不足部のみ後述の方法で再充填を実施した。調査箇所は、主鋼棒はジョイントカップラー間および張出ブロック継ぎ

目近傍を想定し約4mごとに1箇所、せん断鋼棒は上端および下端近傍、床版横締め鋼棒は中分側端部および高欄側端部近傍とした。

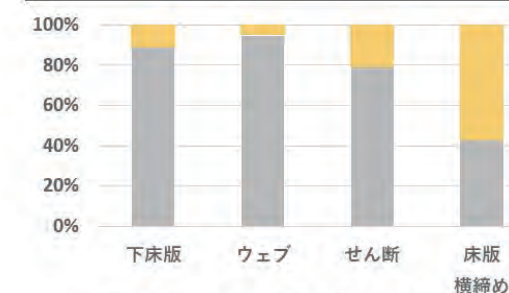
調査工の手順を写真4に示す。高性能のRCレーダを用いて鉄筋・シースの位置を探索・マーキング後、φ25mmドリル削孔およびCCDカメラにより調査を行い、グラウト充填分布を詳細に把握した。また、PC鋼棒の残存性能評価を目的に、PC鋼棒の腐食度とPC鋼棒表面錆内部の塩化物イオン調査を行い、調査結果は色分けによる見える化を行った。

調査結果を図3に示す。グラウト充填不足率は、床版横締め1.8%、下床版主鋼棒5.1%、ウェブ主鋼棒5.1%、せん断鋼棒29.9%であった。下床版主鋼棒およびウェブ主鋼棒のグラウト充填不足の主要因はジョイントカップラー部での閉塞と推察され、WUTが適用範囲外のため実施されていなかったPC鋼棒途中箇所における部分的な充填不足が多く、ブリーディングが主要因となる場合の桁端部や曲上げ部のそれは少なかった。また、充填率が上述のWUT推定結果と比較して大幅に高いのは、WUTが不明瞭(△)判定の場合、計画段階では安全側に充填不足(×)と想定したが、本工事で実施した削孔調査による精度検証では、92%が充填(○)となり、最新の知見⁶⁾とほぼ同様な傾向となったためである。今後、WUTにより再充填数量を想定する場合は、WUTの精度について考慮することが必要である。せん断鋼棒は、下端部の注入用グラウトホースが閉塞しグラウトを上端部から注入したため、先流れが主要因と考えられる部分的なグラウト充填不足が多く、充填率が低い結果となった。床版横締め鋼棒は、主鋼棒やせん断鋼棒のような充填不足要因がないため、充填率が高かったと推察される。

次に、PC鋼材の腐食度は、グラウト充填不足部には腐食無の箇所は確認できなかったが、腐食度1~2の比率が高い結果となった。一方、腐食度3は、橋面からの伝い水の要因となるグラウトホースが配置されている定着部近傍やホース付きジョイントカップラー部近傍で確認された。塩化物イオンでは、床版横締めを除き



①および②の凡例			
グラウト充填度	腐食度	PC鋼材の腐食状況	PC鋼材腐食度の参考写真
○ 充填	—	PC鋼材がグラウトに覆われた状態である	
× 充填不足	無	腐食が見られない	
	1	黒皮(健全)または薄錆が全面にあり、ブラシで磨くと地鉄がでる	
	2	錆が全面にあり、点状(孔食)の錆が目立つ	
	3	錆が全面にあり、ブラシで磨くと断面欠損が目立つ	
	4	PC鋼材の径が小さくなっている	



③の凡例		
判定	検知管で示した濃度 (ppm)	検知管の状態
無	0	変色なし
有	10 < N	検知管が10ppmより高い濃度で変色

図3 調査結果

比率は高くはないもののシース内への侵入が確認された。本工事ではP2-A2径間下床版鋼棒R503における

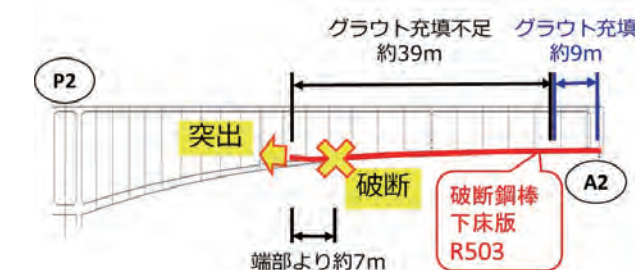


図4 破断した下床版鋼棒の概要

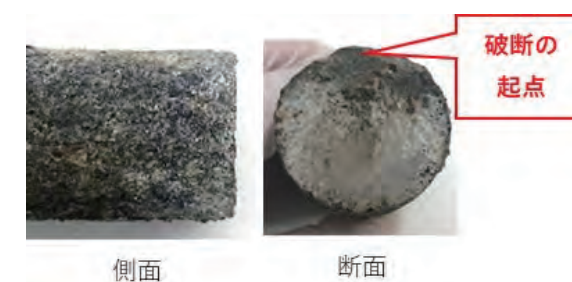


写真5 PC鋼棒の破断部

破断要因の特定を試みた。図4に示すように全長47.83mの当該鋼棒の破断推定範囲はグラウト充填不足による腐食発生が生じたがP2側定着突起から約39mと判断されたため、コア削孔によりカップラー間でPC鋼棒を切断し、端面の平滑化後、超音波パルス法により破断位置を推定することにした。破断位置はP2側定着突起から約7mと推定され、X線撮影により推定位置の検証と状況確認を行った結果、推定位置での破断が確認された。破断部試料は、箱桁内部からのハツリにより採取した。分析の結果、PC鋼棒はパーライト組織で成分の異常等は確認されなかった。また当該鋼棒の破断は、写真5に示すようにPC鋼棒上側に塩化物イオンによる局所腐食が生じ、これを起点として脆性的に生じたと推定された。凍結防止剤使用環境下にあるPC箱桁橋の再充填工では、グラウトホースからの塩化物イオンの侵入やそれに起因したPC鋼棒の腐食を念頭に、腐食PC鋼材の腐食進行を抑制する性能を有する工法を選択する必要がある⁷⁾と考えられる。

3. 再充填工

調査工でグラウト充填不足が確認されたPC鋼棒に対して本工法による再充填工を行った。本工法の特徴

表2 再充填対象のPC鋼棒				
部位	鋼棒名	鋼棒数		
		A1-P1	P1-P2	P2-A2
ウェブ	正曲げ主鋼棒 〔下床版ハンチ内部の 鋼棒密集部を含む〕	6	27	7
	せん断鋼棒	19	31	16
下床版	正曲げ主鋼棒	2	11	6
上床版	横締め鋼棒 (はく落防止範囲)	0	5	2

として、防錆剤の一種である亜硝酸リチウム水溶液が、グラウトが充填されないような錆層内、PC鋼棒・シース間の小間隙およびブリーディングにより生じたPC鋼棒とグラウトとの隙間などに浸入し、PC鋼棒の表面錆層内部に塩化物イオンが含まれている場合でもPC鋼棒を再不動態化し、腐食の進行を抑制することができること、さらには、亜硝酸リチウムを添加した補修材を充填不足部端部まで充填することで、錆層内に浸入した亜硝酸リチウムの補修材中への逆拡散を防止し、腐食抑制効果を長期間維持することができることなどが挙げられる。この腐食抑制効果は、数々の実験例えば⁹⁾や本工法を適用した高速道路のPC鋼材を対象としたモニタリング¹⁰⁾等により、確認されている。

施工箇所は、表2に示すように単位施工箇所L=8m以内の箇所数としてN=201箇所であった。

施工の手順を写真6に示す。まず、真空ポンプを調査孔に接続して調査孔間の連通状況を確認し、グラウト充填不足端部の概略位置を推定した。次に、上記概略位置に隣接した調査孔をφ80mmコア削孔により拡幅し、確実に充填不足部端部までグラウトを再充填するための排気および充填確認用の高弾性チューブを挿入し、その挿入長からグラウト充填不足長を測定した。なお、従来技術では調査やφ80mmコア削孔が困難な下床版ハンチ内部の鋼棒密集配置部では、斜めドリル削孔によりチューブ兼補修材注入孔を形成する⁵⁾ことで対応可能であることを確認した。亜硝酸リチウム水溶液注入工と亜硝酸リチウム添加補修材充填工は、施工実績の多いPC鋼線束を有するPCT桁橋



写真6 再充填工の手順

では、自然流下方式が一般的である。しかし、PC箱桁橋では、①PC鋼棒のシース内空隙が小さくグラウト充填に必要な圧力が高い。②箱桁内部や中央分離帯側の上縁定着鋼棒などでは必要圧が得られる高さに自然流下用の設備を設置できないなどの理由より、自然流下方式の適用は困難である。そこで、PC合成桁橋の横締め鋼棒で施工性を確認⁸⁾した目盛り付き透明容器、コンプレッサーなどから構成される途中閉塞対策



写真7 補修工事完了後

型低圧ポンプによる充填方法を採用した。高弾性チューブからの排出によりグラウト充填不足端部まで確実に再充填することができ、自然流下方式と同様の継続的再加圧も付与できた。以上の再充填により、PC鋼棒タイプの箱桁橋においても信頼性の高い再充填ができることを確認した。

補修工事完了後の外観を写真7に示す。

4. おわりに

NEXCO西日本で先行的取組みとなったPC鋼棒タイプの箱桁橋である土丸橋のグラウト充填調査工およびPCグラウト再充填工について報告した。事前検討した調査・再充填技術の適用により、同種橋にて確実なグラウト再充填補修が可能で、結果として橋梁長寿命化に大きく貢献できることが確認できた。今後の参考になれば幸いである。本工事では、本工法共同開発者の神戸大学大学院森川英典教授に視察いただき、貴重なご意見・ご指導を頂いた。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 濱岡引二，青木圭一，原幹夫，木下尚宜／広帯域超音波法を用いたPCグラウトの充填調査，プレストレストコンクリート，Vol.56，No.6，pp.35～40，2014
- 徳光卓，岡田繁之，田中寛規，谷慎太郎／グラウトホースの伝い水現象の検証ならびに補修技術に関する実験的検討，PC工学会第26回シンポジウム論文集，pp.487～492，2017
- 徳光卓，岡田繁之，藤原保久，田中寛規／グラウトホースの種類および切断面処理方法が伝い水現象に与える影響，PC工学会第27回シンポジウム論文集，pp.609～612，2018
- プレストレスト・コンクリート建設業協会／プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き[PCグラウト再注入工法]，p.61，2020
- 鴨谷知繁，深川直利，池田政司，白水祐一／PC箱桁橋下床版ハンチ内部の主鋼棒へのチューブ挿入兼補修材注入孔の形成，PC工学会第29回シンポジウム論文集，pp.355～358，2020
- 松井俊吾，鈴木真，梶野学，中村浩，宮川豊章／広帯域超音波法によるグラウト充填不足検出に関する調査報告，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 第21巻，pp.225～230，2021
- プレストレストコンクリート工学会／既設PCポストテンション橋保全技術指針，2022
- 小原昇吾，鴨谷知繁，河本論，桧崎由磨／PC合成桁橋床締め鋼棒のグラウト再注入-PC箱桁橋を想定した施工-，PC工学会第29回シンポジウム論文集，pp.359～362，2020
- 鴨谷知繁，青山敏幸，石井浩司，森川英典／凍結防止剤が侵入したグラウト充てん不足部のPC鋼材腐食に対する亜硝酸リチウムを用いた補修の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1006～1011，2012
- 鴨谷知繁，松井隆行，安里俊則，佐溝純一／凍結防止剤散布環境下の高速道路におけるPCグラウト再注入の補修効果，PC工学会第30回シンポジウム論文集，pp. 573～576，2021

お知らせ

複写についてお願い

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

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

ICCC2023

世界のセメント・コンクリート

研究の動き②



16th International Congress on the Chemistry of Cement in Thailand

4. 評価方法とモデル化の進展

Advances in characterisation methods & modelling (by MIZUNO Tetsunari)

水野 哲成

1. はじめに

本トピックスでは、基調講演が1件と一般発表が49件(ポスター発表含む)行われた。本稿では、それらの内容について紹介する。

基調講演はKimberly Kurtis教授(カリフォルニア大学)とPaulo Monteiro教授(ジョージア工科大学)により、“Advances in imaging, scattering, spectroscopy, and machine learning-aided approaches for multiscale characterization of cementitious systems”のタイトルで行われた。

また、一般発表の内容は「モデル化・シミュレーション」がキーワードとなっているものが約半分を占めている。

2. 基調講演

セメント系材料の特性の評価方法の最近の進展について、前回のICCC2019以降に発表された論文を中心にレビューを行っている。具体的な評価方法の技術としては、イメージング(電子顕微鏡、ホログラフィー)、X線イメージング(トモグラフィー、タイコグラフィー)、分

光法(MAS NMR分光法、ラマン分光法)およびX線散乱法(その場放射光X線回折、高圧X線回折、放射光X線2体相関分布関数)などが報告されている。また、関係する技術として、試料の前処理(ブロードイオンビーム(BIB)、集束イオンビーム(FIB))や機械学習に基づくイメージデータの解析についても報告されている。なお、著者名の後ろの括弧内の数字は基調論文¹⁾の引用文献の番号を示している。

(1) イメージング技術

① 電子顕微鏡

走査型電子顕微鏡(SEM)はセメント系材料の微細構造を調査するために用いられ、エネルギー分散型蛍光X線分光法(EDS)による元素分析と組み合わせ、水和したセメント硬化体中の各鉱物や水和物の含有量や反応率の推定などが多く報告されている。

クライオSEMは、水分を含む試料を急速冷凍した後、氷を昇華させて取り除くことで、微細構造を保持した状態での観察が可能である。クライオSEMを用い、アルカリ活性化したスラグペーストの初期の硬化プロセスの形態観察が行われている(Y. Sunら[39])。

透過型電子顕微鏡(TEM)は、SEMに比べて高い

空間分解能を持ち、より局所的な試料の観察が可能である。C-S-Hにおいて、1桁のナノスケールの空間分解能が報告されている(R. Taylorら[45])。また、液体セルを用いたTEM観察が行われ、セメントの水和初期におけるC-S-Hの形態変化の観察(P. Dongら[50])や、シリカフェームと水酸化カルシウムのボゾラン反応によるC-S-Hの生成の観察(H. Satohら[52])が報告されている。

② X線イメージング技術

一般的な技術としてはX線CTが知られている。さらに、X線CTを高分解能化したマイクロモグラフィー、干渉性の高い強力なX線を用いるタイコグラフィーが開発されており、ともに高い空間分解能を持ち、試料の乾燥などの前処理が必要ない。

X線CTは非破壊であることから、微小ひび割れとその進展の調査などに適している。最近の報告では、繊維強化コンクリート中の繊維の役割について調査したことがある(Q. Qiuら[57])。

また、軟X線を用いたタイコグラフィーとX線吸収分光法(XANES)を組み合わせ、フライアッシュ粒子のAl配位数とけい酸塩の重合度が調査されている。この方法は測定試料が常磁性イオン(例えば、Fe)に富み、NMRに適さない場合に有用である(J. Liら[73])。タイコグラフィーを水和物に適用した例として、水和セメント中のC-S-Hゲルの質量密度を測定している(A. Cuestaら[75])。

同様の技術として、放射光X線トモグラフィー、中性子ラジオグラフィーおよびコンピュータビジョン解析を組み合わせ、古代ローマのコンクリートへの水の浸透の評価が行われている(K. Xuら[68])。

(2) 分光法

① MAS NMR 分光法

核磁気共鳴(NMR)は原子スケールの構造に関する情報を得ることができ、固体試料の測定では、マジックアングルスピニング核磁気共鳴(MAS NMR)がよく用いられる。

近年、CO₂削減を目的とした補助セメント系材料

(SCM)の利用拡大が進められており、SCMは水和生成物、特にC-(A)-S-Hの組成と構造に影響を与えることから、MAS NMRによる詳細な研究が行われている。例えば、Ca/Si比、Al/Si比、およびアルカリ含有量の異なるC-A-S-Hを合成し、C-A-S-H中のアルミニウムとアルカリ(Na)の取り込みとその構造について報告されている(S.Y. Yangら[96])。

液体を含む試料のMAS NMRのための密封システムが改良されており、セメント系材料へのin situ NMRの適用も報告もされている(E. Pustovgarら[107])など。

② ラマン分光法

光が物質と相互作用すると、分子構造に関係した光の散乱が起こり、分子結合の振動状態に応じてラマンシフトが生じる。ラマン分光法はその現象を利用したものであり、物質の分子構造を調べることができる。

イーリマイトとせっこうを用いて合成したエトリンガイトおよびモノサルフェート水和物の炭酸化のラマン分光法による研究(M.N. Brahimら[112])がされている。

光学的な共焦点の原理をラマン分光法に応用した共焦点ラマン顕微鏡を用いて、ポルトランドセメントの初期水和のその場観察を行い、時間的、空間的に水和物の成長を観察している(H.C. Lohら[111])。また、ラマンイメージングを適用したセメントの相組成の定量も検討されている(K.C. Polavaramら[114])。

(3) X線散乱法

X線回折法(XRD)はセメントの相組成を定性的、定量的に測定することができる。また、時間分解X線回折法はセメントの水和反応速度を検討するため、等温熱量測定と組み合わせ、その場観察の1つの手段として使われている。

その場放射光X線回折を用いた研究として、水セメント比の異なるポルトランドセメントの初期水和について、相組成の変化と水和熱および凝結時間との関係が検討されている(A. Morales-Canteroら[121])。また、ビーライト-イーリマイト-フェライト系セメントの初期水和におけるトリイソプロパノールアミン(TIPA)および

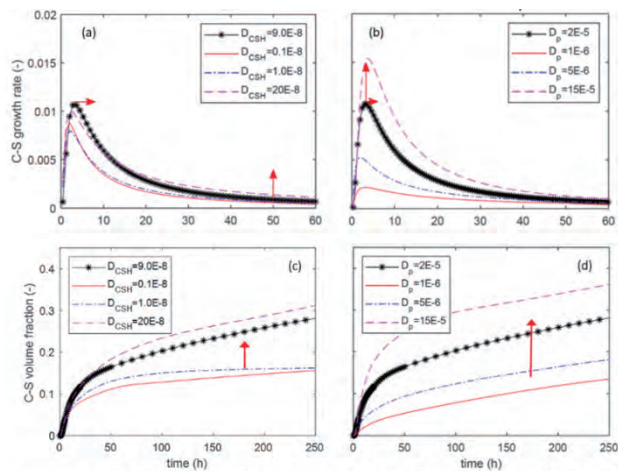


図1 拡散係数の感度分析を用いたモデルの評価²⁾
[(a), (b):成長速度, (c), (d):累積成長率]

CaCl₂の役割が検討されている。(R. P ´erez-Bravoら[123])。

3. 一般発表

ここでは、「モデル化・シミュレーション」と「その他の評価方法」の2つに分けて、それぞれの報告からピックアップして紹介する。なお、著者名の後ろの括弧内にプロシーディングスのIDを示している。

(1) モデル化・シミュレーション

モデル化・シミュレーションに関する報告は、C-S-Hを対象としたものが最も多く、他にクリンカ、硬化体の微細構造やコンクリート内の物質移動などの報告があった。

L. Nguyen-Tuanら[PE0013]は、C₃S表面のC-S-H被覆率に加えて、C-S-Hのイオン拡散を考慮したC-S-Hの成長モデルを提案している。図1は拡散係数の感度分析の結果であり、間隙水のイオン拡散係数は成長の初期・後期の両方に影響する((b), (d))が、C-S-H層のイオン拡散係数((a), (c))は成長の後期に影響が大きいことを示している。このモデルにより、水和初期のC-S-Hの成長だけでなく、その後の成長もシミュレーションできるとしている。

F. Masaraら[PE0030]は、分子シミュレーションにより、温度と湿度を変えた場合の層間距離が異なる

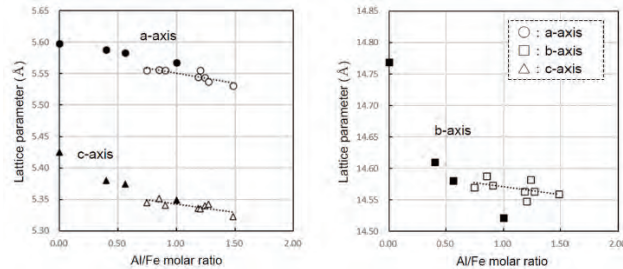


図2 フェライト相のAl/Feモル比と格子定数の関係³⁾
[白の記号は実験値、黒の記号は文献値]

C-S-Hからの水の脱着について検討している。シミュレーションの結果、27℃では層間距離が20.3Åより大きい場合にキャビテーション(脱着等温線の不連続な変化)が観察され、キャビテーションが発生する相対湿度には温度依存性があることを示している。

T. Honorioら[PE0032]は、C-S-H内の水の挙動について、分子シミュレーションの結果から、C-S-Hの間隙水を(i)層間水(3-4nmより小さい空隙の水)、(ii)表面水(層間距離が約5-7nm以上の空隙で、表面から1 nmまでのC-S-H表面に吸着した水)、(iii)バルク水(5-7nmより大きい空隙の中心部分の水)の3つに分類している。

(2) その他の評価方法

A. Cuestaら[PE0003]は、その場X線回折法とマイクロトモグラフィーを併用し、直径2mmのキャピラリー内に封入したポルトランドセメントペーストの初期水和を経時的に検討した。リートベルト解析から求めた未水和物、水和物の体積割合とCT画像から求めたそれらの体積割合との比較を行った結果、よく一致したとしている。

T. Mizunoら[PE0009]は、ぎ酸水溶液によりセメントからフェライト相を直接、簡便に分離する選択溶解法を検討している。その方法により各種のポルトランドセメントから分離したフェライト相の分析を行い、Al/Feモル比と格子定数の関係を検討した結果、a軸およびc軸は純薬合成したものと同様の傾向を示したが、b軸は異なる傾向を示し、市販のセメントには種々の化学成分が含まれているためと考察している(図2)。

A.C. Witteら[PE0019]は、SEM-EDSとラマン分光法を併用してフライアッシュの分析を行っている。

EDSの元素分析の結果から非架橋酸素数(NBO/T*)を近似的に求め、SiO₄四面体の伸縮振動に由来するラマンバンドとの関係から、Ca含有量が多い粒子はよりラマンシフトが小さいことを示している。また、SiO₄四面体の対称伸縮振動に由来するラマンスペクトルはガラス相(アルミノけい酸塩)の重合度の指標として有効であるとしている。

$$*NBO/T=2(X_{CaO} - X_{Al2O3}) / (X_{SiO2} + X_{Al2O3})$$

5. 新しい低炭素セメントと炭化性バインダー

New low carbon cements and carbonatable binders (by HAYAKAWA Takayuki)

早川 隆之

1. はじめに

昨今のカーボンニュートラルに向けた世界的な動きを背景に、低炭素型セメントや炭化性材料およびその反応物の特性や応用に関する研究報告が多くを占めた。本セッションでは、基調講演3件、一般発表は口頭が70件、ポスターが7件であった。一般発表の内容は、アルカリ活性材/セメント関連が22%、反応性MgOセメントやケイ酸マグネシウム水和物関連が16%、石灰石焼成粘土セメント(LC³)および補助セメント材料(SCM)関連が16%、非水硬性クリンカ(γ-C₂S, CSほか)関連が10%、C-S-Hの炭酸化やボゾラン活性等に関するものが9%、炭酸化促進技術が8%、CSA関連が8%、その他が11%であった。

2. 基調講演

Wangは炭酸化可能な材料(以下、炭化性バインダーと称す)に関する現在の研究と応用の概要をレ



みずの てつなり / MIZUNO Tetsunari
(一社)セメント協会 研究所
セメント基礎・環境グループ

【参考文献】

- 1) E. Qoku et al. / Advances in imaging, scattering, spectroscopy, and machine learning-aided approaches for multiscale characterization of cementitious systems, Cement and Concrete Research, Vol.174, 2023 107335
- 2) L. Nguyen-Tuan et al. / Numerical Model for Growth and Porosity of C-S-H Structures in Cement Hydration, ICC2023 Congress Proceedings Vol. I, pp.547~550, 2023
- 3) T. Mizuno et al. / Investigation of Selective Dissolution Method for Separation of Ferrite Phase in Cement and Characterization, ICC2023 Congress Proceedings Vol. I, pp.532~535, 2023

ビュー。炭化性バインダーの定義と分類に続き、相組成や微細構造、反応メカニズム、炭化性バインダーの最近の生産と応用事例を紹介している。

カルシウム/マグネシウム酸化物やケイ酸塩の多くはCO₂との反応には有利だが、ポルトランドセメントクリンカに含まれるC₃Sやβ-C₂Sはエネルギー消費量とCO₂排出量が多いため炭化性バインダーとしては適当ではなく、反応性マグネシアもエネルギー効率の高い非炭酸マグネシウム源の利用にブレークスルーがない限り利用は難しいとして定義。炭化性バインダーは、通常の条件下でCO₂と反応して硬化し機械的強度を持つマトリクスを形成できるものであり、ポルトランドセメントクリンカと比較しCa/Si比と焼結温度が低く石灰石と燃料の消費量が少ない非水硬性ケイ酸カルシウム鉱物(γ-C₂S, C₃S₂, CS)からなるクリンカと、潜在的な炭酸化反応性を持つカルシウムケイ酸塩鉱物を豊富に含んだ鉄鋼スラグなどのアルカリ性産業廃棄物に分類。前者の非水硬性クリンカは、生産には相当量のCO₂を排出するが、ポルトランドセメント製造の経験が応用できる。一

方、産業固形廃棄物の場合は副産物であるため、エネルギー投入とその利用を分けることができるが、工場や工程で組成が異なり品質が不安定なこと、固形廃棄物の地理的分布、生産量が限られ市場とマッチしない可能性、有害汚染物質が含まれる場合があることなど懸念点がある。そのため、炭化性バインダーとしては非水硬性クリンカの方が、高品質・高価値の点で大きな可能性があるとしている。ジカルシウムシリケートの γ 相である γ -2CaO・SiO₂(γ -C₂S)は室温で唯一安定な多形体で、水和反応性が低い、炭酸化反応性は高い。また冷却中の転化でクリンカが体積膨張し自己粉碎されるため粉碎時のエネルギーを60～75%節約できる。C₃S₂は2つの多形があり、炭化性バインダーに該当するのはランキナイトである。CSには、 α -CS、 β -CSの2つの多形があるが、より反応性の高い α -CSを使用することへの関心が高い。これら3種類のクリンカは、ポルトランドセメントクリンカと比較し炭素排出量が少ない。CSクリンカはCa/Siと脱炭酸温度が低く γ -C₂SおよびC₃S₂クリンカよりも炭素排出量が少ない。電力による炭素排出量は、自己粉碎度が高い γ -C₂Sが最も少ない。CSクリンカは非晶質相が20%以上存在するため炭素吸収量が低い。

炭化性バインダーによる炭酸化反応物は、①無水結晶性炭酸カルシウム、②アモルファス相のシリカゲル、③非晶質炭酸カルシウム(ACC)からなる。炭酸カルシウムはさらに、カルサイト、アラゴナイト、バテライトの3つの多形に分けられる。カルサイトは菱面体や鱗状の構造で、立方体か紡錘状の粒子で最も安定で水に溶けにくい。アラゴナイトは斜方晶構造で棒状粒子でありバテライトは球状粒子を伴う六方晶構造で最も不安定で水に溶けやすい。

シリカゲルは炭化性バインダーの生成物中の主要な非晶質成分であり、ホストとなるカルシウムケイ酸塩鉱物からカルシウムイオンが移動しケイ素が濃縮される。炭酸化で生成するシリカゲルのCa/Si比は、水和で生成するC-S-HのCa/Si比に比べ低く0.67まで減少し非晶質シリカゲルが形成される。

これらの非水硬性ケイ酸カルシウム鉱物(γ -C₂S、C₃S₂、CS)からなる炭化性バインダーは、パイロット試験が進められている。武漢工科大学(WUT)は、 γ -C₂Sベースの炭化性バインダーを天然ガスにより温度1350～1375℃で焼成(γ -C₂S含有率は80%以上)。塩城技術研究所はC₃S₂ベースで γ -C₂SとCSが副成分である炭化性バインダーを製造。CSクリンカによる炭化性バインダーは、工業的規模ではソリディア・テクノロジーズ社がSolidiaセメントとして販売している。これらクリンカの建築製品への適用に関しては、炭酸化マトリックスが炭酸浸透深さに影響するため、鉄筋腐食のリスクがあるほか製品寸法も制限を受ける。また炭酸化は湿気を受けやすく(最適含水率はバインダー重量の15%以下)長時間の予備乾燥工程が必要である。そのため、現在の用途は、中空スラブやファイバーセメントボードなど、厚みの薄いPCa無筋製品や中空／セルラー構造に限定されている。WUTの研究グループは、鉄鋼スラグ粉末を主な炭化性バインダーとして近隣の発電所からの排ガスに含まれる9～11vol%のCO₂を反応させ人工石製品を製造。産業廃棄物を利用しCO₂の濃縮が不要なため経済的にも実現でき、年間生産量は400万m²(CO₂吸収量は50,000t)とのこと。製品サイズの大型化、長期性能評価、炭化性バインダーと関連する建築製品の標準化が課題と述べている。

Shiは、炭化性バインダーの炭酸化反応物(以下、炭酸塩バインダーと称す)にフォーカスし、その歴史的発展と最近の進捗について講演。カルシウムケイ酸塩の炭酸化に関する研究は1970年代まで遡るが、2000年頃に再びこの分野への関心が高まったとされる。炭酸塩バインダーの製造は、1870年にRowlandが最初にコンクリート製品の硬化促進に関わる特許を取得し、その後1900年代前半にかけて、炭酸化によるセメント系材料の製造に関する数多くの特許が登場。2000年代に入りセメント系材料へのCO₂ガスの拡散を促進するための革新的なプレコンディショニング技術が導入検討されている。CO₂硬化前に毛細管孔から余分な水分を除去してCO₂拡散を促進し短時間で高い炭酸化

を図る方法である。また最近提案された湿式炭酸化プロセスは、セメント廃棄物や産業副産物を処理し、補助セメント材料(SCM)への変換など高付加価値の炭酸塩バインダー開発のために広く適用され研究が進んでいる。

CO₂とセメント系材料の炭酸化反応は発熱反応であり、炭酸化速度は一般的に水と速度よりも速く、コンクリート製品の初期強度発現改善に有効とされる。コンクリート表面に形成された炭酸塩バインダーは細孔構造を改善し、耐凍結融解性や耐浸出性を著しく向上させる可能性も示唆している。炭酸塩バインダーの特性は、水和バインダーと同等かそれ以上とされており、昨今の研究開発ではCO₂固定量の増加や炭酸塩バインダーを使用した製品の性能向上に焦点が向けられている。ケイ酸カルシウム鉱物の炭酸化によって得られる炭酸塩バインダーは、鉱物組成、炭酸化条件および添加剤がCaCO₃の結晶成長とシリカゲルの重合に影響を与える。それらを制御し活用する技術は大変興味深かった。添加剤に関しては、 β -C₂Sの炭酸化促進にはバクテリアが、 γ -C₂Sの炭酸化促進にはBaが有効で、安定したバテライト相の形成にはNaOHが効果的とのことであった。また、再生コンクリート微粉末(RCF)の炭酸塩バインダーとしての活用研究は、当社でも取り組んでいる湿式炭酸化技術の開発で参考になる点が多かった。RCFはC-S-HとCa(OH)₂から構成されるため、炭酸化でCaCO₃とシリカゲルに変換できる。方解石はアルミン酸炭素カルシウムを形成しエトリンガイトの安定化を図るほか、C-S-Hに多数の核生成サイトを提供しマトリクスを緻密化し、シリカゲルは良好なポズラン活性のためCa(OH)₂と反応しより多くのC-S-Hを生成する。また炭酸化の程度を適正化しSCMとして置換することで強度が向上するという点は是非検証を行い応用していきたい。

炭酸塩バインダーの商業的応用はまだ限定的だが、2003年にマギル大学とCJS Technology Inc.は、CO₂養生コンクリート製品を大規模生産できるプレキュア技術を開発。2021年にはセメントキルン排ガス由来のCO₂(CO₂濃度15～20%, 95%RH以上)を利用したコンクリー

トブロックの世界初の商業規模のCO₂養生生産ラインを確立し、舗装や斜面保護、建築壁などに適用されているとのこと。

Zajac および丸山教授は、セメント系材料のCO₂による無機化のメカニズムと新しいセメント処方における反応性について講演。CO₂無機化技術によりセメント系材料有価化する方法として、再生コンクリートペーストを中心に、様々な炭酸化法のアプローチ(乾式、半乾式、湿式)と関連する相集合の反応機構、ポズラン添加剤としての炭酸化合物の反応性と応用について示した。強制炭酸化では、対象とする材料の溶解度の向上や反応装置内のCO₂の高濃度化により、コンクリートの自然炭酸化と比較して炭酸化反応を大幅に加速し数時間で完了させることが可能となる。生成した炭酸カルシウムと非晶質アルミナ-シリカゲルは、Shiのレビューでも触れたが、前者は水和中にフィラー効果の役割を果たす。後者はポルトランドクリンカの水和によるポルトランドイトと急速に反応し最終的な強度発現に寄与するが、よく知られたポズランとは対照的に反応は速く、C-(A)-S-H相の構造、組成、特性の著しい変化により、早期強度の増加をもたらす。すなわち、反応性ポズラン成分に材料の有価化をもたらすSCMとしてのリサイクルを可能にすると述べている。また本講演のCCRのレビューで示された多段炭酸化も貴重な情報であった。多段炭酸化は、Ca含有固体化合物からのCa²⁺の抽出性を改善し、炭酸化反応速度やCO₂固定能を向上させ、前駆体からの不純物を除去し、様々な製品や副生成物も製造できる。セメント系材料の鉱物炭酸化の可能性を大きく広げる手段の一つと思われる。Ca²⁺抽出のためには、水の代わりに無機酸(H₂SO₄、HCl、HNO₃など)やアンモニウム溶媒(NH₄Cl、NH₄OHなど)を用いる。他にも電気透析やCO₂分圧を変更する方法、再生剤を利用する方法などが提案されている。今後、炭酸化と水和とのプロセスへの理解を深めるためにCaCO₃の多形形成の要因やアルミナ-シリカゲルの構造と組成の範囲を明らかにしていくことが予測モデルの開発につながるとし、一方、炭酸化合物を含むコンボジッ

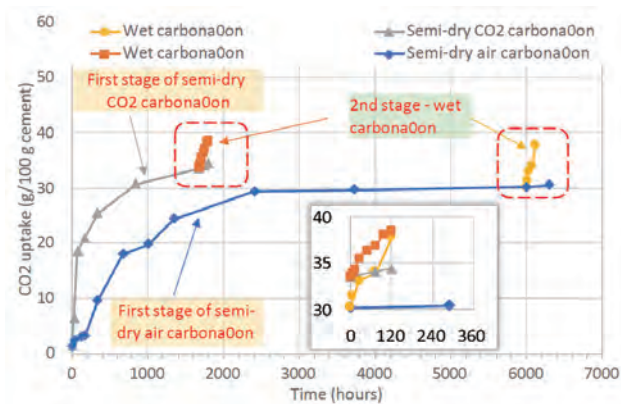


図1 2段階炭酸化によるHCPのCO₂固定化¹⁾

トセメントでは、流動性の改善や長期耐久性評価、工業レベルでの経験の蓄積が必要と述べている。

3. 一般発表

Buiら(PF0041)は、廃コンクリート微粉末への湿式炭酸化の効果を理解するために、水和セメントペースト(HPC)を用いて半乾式炭酸化と湿式炭酸化の2段階の炭酸化を検討。コンクリートが別のプロセスで事前に炭酸化されていても、湿式炭酸化によって効率的に吸収できることを示した(図1)。またアラゴナイトのような準安定多形は、2段階の炭酸化で増加する一方で湿式炭酸化プロセスのみでは主に方解石が生成することを明らかにしている。

Kopithaら(PF0060)は、炭酸化促進技術の検討において、C-S-Hを対象に、無機化プロセスを促進する溶媒として多様なアミンのCO₂吸収能を評価し、2-メチルアミノエタノール(MAE)が高い効果を示すことを明らかにしている。またChenら(PF0063)は、微生物誘導方解石沈殿(MICP)を介して生物によって生成される炭酸脱水酵素(CA)がCO₂をH⁺とHCO³⁻に水和する触媒として作用し、CAが無い場合と比較し反応速度を約107倍増加させ、大量のCO₂を短期間で固定化できる可能性を示している。

石灰石焼成粘土セメント(LC³)に関して、Sadangiら(PF0138)は、インドの鉱山廃棄物のうちMgOを含む低品位のドロマイト石灰石をLC³の製造に利用できる

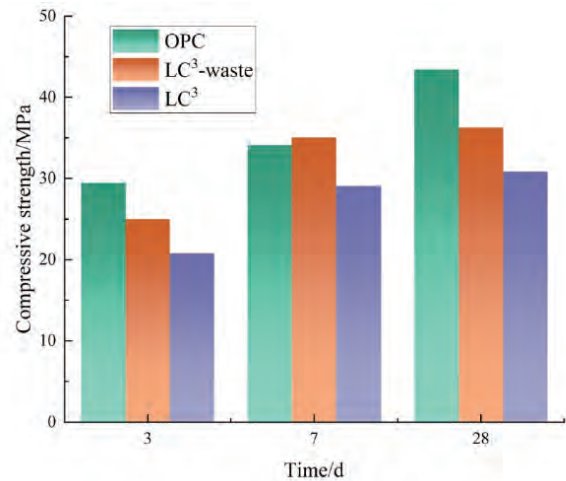


図2 炭酸化廃セメントペーストを利用したLC³のモルタル強度¹⁾

ことを明らかにし、同様にDudiら(PF0102)もLC³の製造には低純度の石灰石を使用する方が環境にも優しく、効率的で費用対効果が高いことを示している。Gengら(PF0146)は、生コン工場の廃セメントペーストを湿式炭酸化し、石灰石の代替としたLC³を開発。炭酸化はCO₂をセメントマトリクス中に固定し、廃セメントペーストを再活性化する。炭酸化廃セメントペーストを添加したLC³のペースト硬化体の圧縮強度は、炭酸化で生成したシリカゲルのポゾラン活性の影響もありOPCや通常のLC³よりも高く組織が緻密化することを報告した(図2)。

反応性マグネシアセメント(RMC)に関しては、Tangら(PF0010)はCO₂の平均自由行程(45nm)よりも大きなサイズの連通気孔を導入するために、熱分解されたバイオ廃棄物からリサイクルされる高多孔質のバイオ炭を利用し、RMCマトリクス中のCO₂の固定と炭酸化度を高める方法を提案している。

Seguraら(PF0011)は、焼成粘土ジオポリマー製造の最適化に焦点を当て前駆体としての可能性を評価し、凝結および強度促進におけるメタカオリン2液型ジオポリマーの有効性を示している。一方でハロイサイトやモンモリロナイトなどの非カオリナイト系鉱物の粘土は強度促進効果が小さいため、焼成以外の活性化方法の検討が必要と述べている。

Shiら(PF0020)は、アルカリ活性化材料(AAMs)

のレオロジー改質について、スラグ-廃セラミックス粉-超微粉系の効果を研究。超微粉フライアッシュ(UFFA)の導入が有効であるが、シリカフューム(SF)の添加は低い液膜厚と高い反応性により流動性は悪化するため、10%のUFFA配合が優れたフレッシュ性能と硬化特性を示すとしている。

γ -C₂Sに関連する報告では、西岡ら(PF0021)は、高炉スラグ微粉末と γ -C₂Sを添加したモルタルを炭酸化養生し、 γ -C₂S添加量の増加に伴い炭酸化養生供試体の強度が増加することを報告。Avadhら(PF0071)はコンクリート混練時のCO₂吸収能力を向上させる捕捉材としての γ -C₂Sの可能性を検討。プレミキシングにより所定のワーカビリティを達成でき、同じセメント含有量の供試体よりも圧縮強度およびCO₂固定量が増加することを示している。

4. おわりに

CO₂排出削減に関わるトピックスの中でも低炭素型のセメントや炭化性バインダーに関連する研究は前回会

議に続き活発であった。また規模や用途は限定的であるもののパイロット実証や工業レベルでのアプローチも試みられてきている。一方で、本格的な商業化や社会実装の観点では、品質安定化、省力化、低コスト化を実現する更なるイノベーションが必要である。標準化のための規格類の整備や国の施策等と連動した取り組みが今後より一層求められる。



はやかわ たかゆき / HAYAKAWA Takayuki
太平洋セメント(株) 中央研究所
セメント・コンクリート研究部 固化・不溶化技術チーム

【参考文献】

- 1) Ngoc Kien Bui, et al. / "Further Carbon Capture by Semi-Carbonated Concrete Waste Fines through Wet Carbonation Process", The 16th International Congress on the Chemistry of Cement 2023, vol.2 :99-103
- 2) G.Q. Geng, et al. / "CO₂ mineralization in the limestone calcined clay cement", The 16th International Congress on the Chemistry of Cement 2023, vol.2 :314-317

英文パンフレット

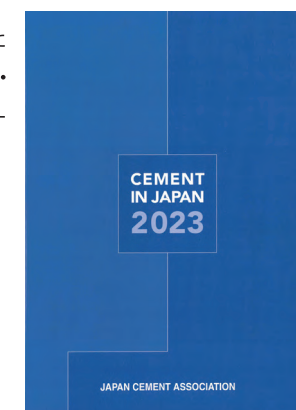
"CEMENT IN JAPAN 2023"をお頒けします

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



セメスタグラム



コンクリートに魅せられて



橋に集う、橋で憩う ～架け橋から懸け橋へ～

福岡には古来、たくさんの橋があります。古くは弥生時代の板付(いたつけ)遺跡(博多区)から環濠に架かる土橋が発見されているようですが、今回ご紹介いたしますのは、国内では珍しい2層構造の歩行者専用橋「ふれあい橋」です。

本橋のある福岡市「シーサイドもち」地区は南北に縦断する涌井川(ひいがわ)によつて右岸(東側)の地行地区と左岸(西側)の百道地区に二分されていて、予てから兩岸を結ぶための橋の建設が望まれていました。

本橋はこのような要望に応えるとともに、兩岸を一体化した場を創出するなど、より快適性に富んだ街づくりの一翼を担うことをコンセプトとして計画されました。

そして中世ヨーロッパの城や回廊をイメージしたデザインのコンクリート製2層式歩道橋が建設されました。

福岡市政だより(1991年10月1日号)によりますとヴェネツィアのリアルト橋をイメージしたとのこと。

橋梁には繊細な装飾が随所に施され、アーチ状の壁と円柱によつて支えられた上層部にも歩行面が設けられており、そのときどきの天候や気分などによつて渡る場所を選ぶこともできます。

また、バルコニーの設置や彫刻作品の展示など、本橋は、「川を渡る」という本来の交通機能の他、「橋から眺める」場を設けるとともに、「橋自体を見せる」という複合的な役割が詰まっています。

「シーサイドもち」地区についても少しご説明いたしますと、ここは元々は海でした。現在のかつての通り付近が昔の海岸線で、この辺りは明治時代から海水浴場として賑わっていましたが、1975(昭和50)年に閉鎖されました。



ふれあい橋

福岡県福岡市中央区地行浜(じぎょうはま)～早良区百道浜(ももちはま)	
竣工	1993(平成5)年3月(4月13日開通)
橋種	PC2層式歩道橋
構造	上層部 RC連続ラーメン 下層部 PC3径間連続変断面中空床版橋
有効幅員	上層部 3.1m, 下層部 4.05m～14.45m
橋長	117.0m
支間長	38.5+39.0+38.5m

◀現：ヒルトン福岡シーホークとみずほ PayPay ドーム福岡。

その後、1982(昭和57)年に埋め立て着工、1986(昭和61)年に地行百道地区約138haの埋め立てが竣工し、愛称として「シーサイドもち」と命名されました。

またこの地域は「アジア太平洋博覧会―福岡―89」(愛称…よかトピア)の会場となりました。

よかトピアは、「新しい世界のであいを求めて」をテーマに1989(平成元)年3月17日から9月3日まで171日間にわたって開催された博覧会で、期間中に約82.3万人が訪れ、これを契機として、アジア太平洋を中心とした諸外国との交流を層深めることができ、大成功のもとに閉幕しました。

博覧会終了後は街づくりが本格化し、「住む」、「働く」、「学ぶ」、「楽しむ」などの様々な建物や施設等が立ち並び、これに病院や放送局、公園、都市高速道路なども加わって、巨大なユータウンが誕生いたしました。

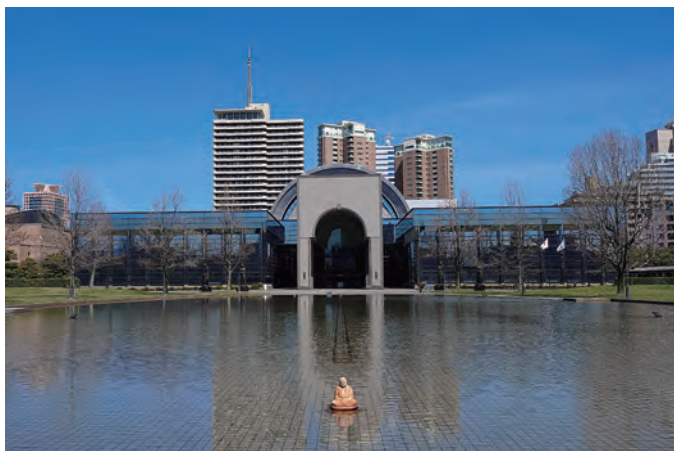
このようにして出来上がった「シーサイドもち」は、今では博多や天神などと並ぶ福岡の顔の一つとなっています。

写真・文 井川幹雄(セメント協会)



▲菊竹清文作「ウォーターランド」。このすぐ近くに、よかトピアの南ゲートがあった。

▶よかトピアのシンボルタワーとして建設された福岡タワー。高さ234m、愛称は「ミラーセイル」。



▲志賀島で発見された「漢委奴国王」の金印などで有名な福岡市博物館は、よかトピアのテーマ館だった。



▲フランスの芸術家ニキ・ド・サンファル作「大きな愛の鳥」(地行中央公園)。



▲イギリスの彫刻家バリー・フラナガン作「ミラー・ニジンスキー」。



▲橋の上流側(南側)の一部に「つらら」が発生している。



▲百道海岸は明治時代より海水浴場として賑わっていた。



▲西新通り交差点の角にある「磯野広場」。「サザエさん発案の地」という記念碑が建てられている。また、漫画家の長谷川町子さんが百道の海岸を散歩しながら「サザエさん」の登場人物の発想を得たことに因む、サザエさん通りがある。

このコーナーはセメント協会公式Instagramに掲載された全国の個性あふれるコンクリート構造物のいろいろな情報を織り交ぜながら隔月で紹介しております。また、セメント協会公式Instagramでは、この他に数多くの構造物をアップしています。QRコードよりご覧いただけます。



セメント協会 Instagram 記事「ふれあい橋」
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/

土壌に含まれる重金属等不溶化の最新動向

Latest trends in insolubilization of heavy metals contained in soil

板谷 裕輝

1. はじめに

土壌の重金属汚染対策法の一つとして、土壌から溶出する重金属等を吸着もしくは収着等の作用により不溶化する材料(不溶化材)を土壌に添加・混合(混練)し、重金属等の溶出量を低減させる不溶化工法がある(写真1)。本稿では、土壌等に含まれる重金属等不溶化の最新動向について不溶化工法の普及・拡大に向けた取組を含め解説および紹介する。

2. 土壌汚染対策法および日本の土壌汚染概説

米国では、1980年に世界で初めての土壌汚染関連法令としてスーパーファンド法が定められた。日本では、スーパーファンド法から約20年遅れ、2003年に土壌汚染対策法が施行された。土壌汚染に関する対策の法制化の時期が、大気汚染や水質汚濁と比較し、格段に遅れ、長く環境行政上の課題になっていた。これは、土壌汚染の問題が大気汚染や水質汚濁問題とは異なり、発生源を断てば汚染が解消するフロー(流れ)汚染ではなく、一度生じた汚染は掘削除去しない限り長



写真1 土壌への不溶化材の添加・混合

くその場所に残留するストック(貯蔵)汚染であること、汚染の対象が大気などのように公共財ではなく、私有財産であること、汚染があっても人が直接摂取しない限り、健康被害のおそれは少ないことなどの特徴があるとされている¹⁾。

世界各国の土壌汚染関連法令では、対象物質の含有量についてのみ基準値を設けている国も存在するが、わが国の土壌汚染対策法では、溶出量についても基準値が設定されている。同法の第二種特定有害物質として、カドミウムおよびその化合物、六価クロム化合物、シアン化合物、水銀およびその化合物、セレンおよびその化合物、鉛およびその化合物、砒素およびその化合物、ふっ素およびその化合物が指定されている。本来“重金属”とは比重4～5以上の金属を指す。

砒素は半金属、フッ素はハロゲン、シアン化合物は炭素と窒素から構成されるシアン化イオンを含む化合物の総称である。第二種特定有害物質は重金属等もしくは、重金属類と呼称される場合が多い。クラーク等により、地殻中の元素の存在度が示されており^{2,3)}、シアン化合物を除く、第二種特定有害物質が自然の岩石や堆積物中に含まれていることは特別なことではない。砒素、フッ素、セレン、クロム等はミネラルとして人体にとっての必須元素とされており、我々人類は、これらの重金属等と常日頃から共存している。産業技術総合研究所 地質調査総合センター「日本の地球化学図」⁴⁾により、砒素、水銀、カドミウム、鉛等53元素の日本全国における濃度分布が示されている。自然由来重金属等含有土への対応の観点から重要となる地質として、海成泥岩・粘土、花崗岩類、熱水変質を受けた地質がしばしば挙げられる^{5～8)}。なお、“自然由来重金属等含有土”の定義は、後述する「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル」を参照されたい。黄鉄鉱(FeS_2)、硫砒鉄鉱(FeAsS)などの硫化鉱物は、自然の岩石および土壌中に広く存在する^{9～11)}。これらが掘削などによって空気・雨水などに曝露されると硫化鉱物の酸化分解により、硫酸が生じる¹²⁾。硫化鉱物の分解反応によって鉱物中に存在する重金属等が溶出する場合のほか、酸性水に触れることにより土壌および岩石に含まれる他の鉱物からの重金属等の溶出が起こる場合がある^{13,14)}。

このような背景から日本における土壌汚染は、その原因により工場跡地など事業活動に起因する人為由来の汚染と自然由来の2つに大別される。土壌汚染対策法の制定当初、同法における「土壌汚染」は、「人の活動に伴って生ずる土壌の汚染に限定されるものであり、自然的原因により有害物質が含まれる土壌については、本法の対象とはならない」とされていた。2010年の同法の改正により自然由来の重金属等を含有する土壌についても人為由来と同様に法規制の対象となった。自然由来による基準不適合土壌の判断方法について、環境省は土壌汚染対策法ガイドラインにて以下

のように解説している¹⁵⁾。「土地の土壌の特定有害物質による汚染状態が専ら自然に由来するか否かを判断するに際しては、汚染の由来が不明であること、土壌汚染状況調査において土壌汚染が地質的に同質な状態で広がっていることに加え、特定有害物質の種類等、特定有害物質の含有量の範囲等、特定有害物質の分布特性の三つの観点から検討を行い、そのすべてについて以下の条件を満たすか否かで判断することとする。」より具体的には、①土壌溶出量基準に適合しない特定有害物質の種類がシアン化合物を除く第二種特定有害物質(砒素、鉛、ふっ素、ほう素、水銀、カドミウム、セレンまたは六価クロム)の8種類のいずれかであること②特定有害物質の含有量が自然由来の汚染と判断する際の上限值目安を超えないこと(目安値の詳細については、同ガイドライン Appendix-3. 自然由来による基準不適合土壌の判断方法およびその解説を参照されたい)、③特定有害物質の含有量の分布に、当該物質の使用履歴場所等との関連性を示す局在性が認められないこと、とされている。

3. 重金属等含有土壌の主な処理方法

重金属等含有土壌の処理方法は土壌の区域外への搬出の有無により、区域外措置(掘削除去)と区域内措置(分級洗浄、不溶化)に大別される。後述する分級洗浄および不溶化は、掘削除去した重金属等含有土壌の区域外における処理に用いられる場合もある。

3-1. 掘削除去

文字通り重金属等含有土壌を掘削し、健全土と入れ替える方法で、汚染土壌の処理方法で最も採用実績が多い。他方で掘削除去された重金属含有土壌は、最終処分場に運ばれ埋立処分されるか、後述する分級洗浄、不溶化等の処理が運搬先において行われる場合も多く、結局のところ、重金属等を移動させ、リスクを拡散しているだけとの批判もある。土壌の搬出を伴うため、処理コストが他の工法と比較し高い。



いたや ゆうき / ITAYA Yuki
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所
地球環境調和研究グループ
副主任研究員 博士(学術)



写真2 Mg/Ca系不溶化材

3-2. 分級洗浄

分級洗浄法の紹介を行う前に土壌構成成分と重金属等との反応について解説する。”土壌”の定義は、様々存在し、広辞苑において土壌は、以下のように説明されている。「陸地の表面にあつて、光・温度・降水など外圍の条件が整えば植物の生育を支えることができるもの。岩石の風化物やそれが水や風により運ばれ堆積したものを母材とし、気候・生物(人為を含む)・地形などの因子とのある時間にわたる相互作用によって生成される。生態系の要にあり、植物を始めとする陸上生物を養うとともに、落葉や動物の遺体などを分解して元素の正常な生物地球化学的循環を司る。大気・水とともに環境構成要素の一つ。」重金属等は、土壌構成成分との反応として①イオン交換、②各種粘土鉱物(モンモリロナイト、パーミキュライトなどの層状ケイ酸塩鉱物やゲータイトやギブサイトなどの酸化水酸化物、アロフェンなどの非晶質アルミニウムケイ酸塩鉱物等)による層間取り込みおよび収着、③フミン酸やフルボ酸等土壌腐食物質のカルボキシル基との結合がよく示されている^{16,17)}。これらの反応は、土壌の構成成分の表面積が大きいほど起こりやすく、重金属等は、土壌中の微粒分の表面に多く付着していることが知られている。分級洗浄法は、湿式分級を行い、重金属等含有率の高い土壌とそれ以外を分離する手法である。湿式分級の際に用いる液のpHを調整することにより土壌の洗浄効率を上げることも可能である。分級された土壌は廃棄処分もしくはセメントとして再資源化される場合もある。

3-3. 不溶化

本稿の冒頭の繰り返しになるが、土壌から溶出する重金属等を吸着もしくは収着等の作用により不溶化する材料(不溶化材)を土壌に添加し、重金属等の溶出量を低減させる処理方法である。不溶化工法は、区域内処理が可能であり土壌の搬出を伴わない。このため、処理コストが他の工法と比較し低いとされている。不溶化材として用いられている主な成分として酸化マグネシウム、石膏、酸化鉄、鉄粉(ゼロ価鉄)、水酸化アルミニウム、硫酸アルミニウム、ゼオライト、層状化合物などが挙げられている。日本国内における不溶化材メーカーの多くがこれらの混合物もしくは単一物を不溶化材として販売している。なお、後述する吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化では、参画したメーカーから集めた吸着材をマグネシウムやカルシウムの酸化物、水酸化物、炭酸化物等を主成分とする吸着材(Mg系)、鉄の酸化物・水酸化物等を主成分とする吸着材(HFO系)、層状複水酸化物を主成分とする吸着材(LDH系)、金属鉄を主成分とする吸着材(ZVI系)に分類している¹⁸⁾。以下にそれぞれの不溶化材の特徴および重金属等に対する作用機序を示す。

3-3-1. Mg/Ca系

酸化マグネシウムを主成分する不溶化材がMg/Ca系に分類される(写真2)。鉛やカドミウムに対しては、酸化マグネシウム添加により系のpHが上昇し、鉛は難溶性化合物である水酸化鉛(Pb(OH)₂)へ形態変化するとされている。水酸化鉛はpH9～10で最も溶解度

が小さくなり、その際、液中に存在できる鉛は、理論上は、約1mg/Lとされている¹⁹⁾。鉛の環境基準は、0.01mg/Lであり、水酸化鉛の溶解度よりも低い。この水酸化鉛の溶解度以下における濃度低減には、水酸化マグネシウム形成による共沈などが作用しているものと想定される。砒素は、環境中において、主に5価の砒酸と3価の亜砒酸として存在する。砒酸(pKa₁: 2.24, pKa₂: 6.9)は、土壌間隙水中においてアニオンとして存在する。亜砒酸(pKa: 9.23)は、中性領域では、無電荷の形態として存在するため、金属水酸化物に収着されにくく、土壌中における移動性が高い²⁰⁾。MgOだけでなく、各種不溶化材の重要な作用機序の1つとして、水和により生成する金属水酸化物への収着があり、亜砒酸は砒酸と比較し、不溶化が難しい。MgOによるフッ素、亜砒酸および砒酸などの不溶化の作用機序は、多くの検討がなされているため、それらを参照されたい^{21,22)}。

酸化マグネシウムは、炭酸カルシウムと炭酸マグネシウムの複塩であるドロマイト(CaMg(CO₃)₂)を焼成・粉碎する方法もしくは、海水に含まれるマグネシウムイオンを水酸化マグネシウムとして沈殿させ、これを高温で脱水し得られる²³⁾。ドロマイトを原料とする酸化マグネシウム製造は、エネルギーコストの観点等から現在、日本では行われておらず主に中国からの輸入に依存している。ドロマイトの焼成物(焼成ドロマイト)も土壌中の重金属等不溶化に用いられる。

3-3-2. Fe系

Fe系不溶化材として、水酸化鉄の一種であるフェリハイドライトを主成分とする不溶化材が製品化されている。同製品の鉛、砒素不溶化(収着)メカニズムは、オキシ水酸化鉄による内圏表面錯体形成および共沈であると言及されている²⁴⁾。Fe系の不溶化材は、砒素、セレン_Se(IV)に対してはMg/Ca系と比較し、優れた不溶化効果を発揮するが、フッ素に対する効果は低い。

3-3-3. LDH系

層状複合水酸化物(Layered Double Hydroxide: LDH)の代表例として、構造式[Mg₆Al₂(OH)₁₆CO₃・

4H₂O]で示されるハイドロタルサイトがある²⁵⁾。MgおよびAlは他の2価および3価の金属イオンを置き換えることが可能で、それらはハイドロタルサイト様鉱物(もしくは化合物)と総称される^{26～28)}。ハイドロタルサイト様鉱物は、陰イオン交換性を有し、土壌に含まれる重金属等不溶化だけでなく排水処理など環境浄化材として用いられる。ハイドロタルサイト様化合物は、合成で製造することも可能である。合成条件により層間距離を制御し、取り込むイオンの選択性を付与することが可能とされている^{29,30)}。

3-3-4. ZVI系

地下水浄化の一手法として、透過反応壁(Permeable Reactive Barrier, PRB)がある^{31,32)}。PRBは、汚染された地下水の浄化のために特別に設計された受動的な浄化システムで、この技術では、地下水が流れる経路に透過性の反応性物質で満たした壁を設置する³³⁾。汚染された地下水がPRBを通過すると、汚染物質はPRB内の反応性材料と反応し、収着、還元または分解される。PRBの設計では、地下水の流れと反応性材料を選択する際に汚染物質の性質を考慮する必要がある。PRBに用いる反応性材料として活性炭、ゼオライト、ゼロ価鉄(Zero Valent Iron_ZVI, いわゆる鉄粉)などが知られており、なかでも重金属等の処理用途にはZVIが用いられる場合が多い^{34～36)}。ZVIは、土壌中の砒素、鉛、セレン、六価クロム、カドミウム等の不溶化材としても利用され、その作用機序は、ZVI表面に形成される鉄腐食生成物への収着、共沈、還元とされている^{37,38)}。PRBに用いられるZVIとして副産物として生成する鉄粉も適用可能であるが、不純物溶出等の観点から使用の制約を受ける場合がある。比表面積が大きいほど、浄化対象物との反応効率が上がるため、粒径を調整したNano zero valent iron (nZVI)についても多くの研究・検討がなされている^{39,40)}。日本国内の鉄鋼メーカーでは、鉄粉を化学的反応法(還元法)およびアトマイズ法により製造しており⁴¹⁾、比表面積の観点から環境浄化用途には、水アトマイズ法が用いられる場合が多い。

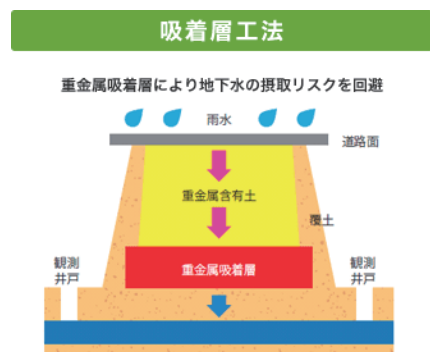


図1 吸着層工法の模式図



写真3 重機を用いた吸着層施工の様子

4. 重金属等不溶化工法の普及阻害要因

自然由来の土壤汚染は、人為由来の土壤汚染と比較すると汚染の度合は低く、重金属等の含有量および溶出量は少ない。自然由来のように汚染の度合が低い場合、不溶化処理を用いることが可能となる場合がある。2011年の土壤汚染対策法の改正に伴い、掘削除去と比較し処理コストが安価である不溶化処理のニーズが高まることが予想されたが、掘削除去への偏重は依然として続いている。不溶化処理の普及が進まない要因として、同工法が、土壤汚染対策法における浄化措置として認められない点や処理可能対象物質の制約などが挙げられる。

不溶化処理が難しい第二種特定有害物質として、シアン化合物およびセレン酸₂Se(VI)が挙げられる。シアン化合物の不溶化処理法として、シアン化合物を金属イオン(主に鉄)と錯形成させ、難溶性塩を形成させる方法がある。他方で、シアンの土壤溶出量基準は”検出されないこと”とされており、他の第二種特定有害物質と比較し、著しく厳しい基準となっている。処理対象元素および化合物が、土壌に残留する処理方法である不溶化処理の適用は極めて難しい。

セレンは、土壌から主に4価の亜セレン酸と6価のセレン酸として溶出し、生物に対する毒性は、4価の亜セレン酸の方が強い^{20,42)}。4価の亜セレン酸は6価のセレン酸と比較した場合、鉄含有鉱物等に強い吸着親和性を示し、土壌環境中における移動性が低い⁴³⁾。他方で、6価のセレン酸は、不溶化処理は、難しいこ

とが示されている²¹⁾。6価のセレン酸に対し、効果を有する不溶化材・吸着材としてセリウムを主成分とするものが一部提案されているが、セリウムはレアアースの一種であり、セリウムを不溶化処理に用いた場合、求められる処理費用とならない可能性がある。

5. 吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化⁴⁴⁾

前章にて説明した通り、不溶化工法普及には同工法の土壤汚染対策法における浄化措置への格上げが必要である。2017年の土壤汚染対策法の改正(2019年4月1日の第2段階施工)では、自然由来等土壤構造物利用施設として、自然由来等土壤の構造物としての活用が認められているなど、自然由来等土壤の合理的措置に関する検討が進んでいる。自然由来等土壤の定義は、環境省発行“自然由来等土壤活用パンフレット”等を参照されたい。自然由来重金属等含有土に関し、不溶化処理と同様に他の工法と比較し、処理コストが低い処理方法として、吸着層工法がある。この工法は、重金属等を含む、岩石・土壌からの浸出水を、重金属等の吸着能力を持つ吸着層に通過させることにより、環境に影響のない水質にして地下浸透水あるいは表流水として排出する(図1,写真3)。吸着層工法の設計では、重金属等を含む土壌の性状、盛土箇所の周辺環境、施工条件などを考慮し、吸着材と吸着層母材(現地発生土および砂等が用いられることが多い)を選定して吸着材の配合量を設計す

- ・掘削土の盛土高さ： H (m)
 - ・乾燥密度： b (kg/m³)
 - ・単位面積あたりの掘削土量： $D=bH$ (kg/m²)
 - ・単位重量あたりの設計溶出量： A (mg/kg)
 - ・単位面積あたりの設計溶出量： $E=AD$ (kg/m²)
 - ・吸着材の吸着容量： Qc (kg/kg)
 - ・単位面積あたりの吸着材量： $G=E/Qc$ (kg/m²)
 - ・吸着層厚： h (m)
 - ・吸着材の配合量： $I=Gh$ (kg/m³)
- (このほか安全率や施工上必要な配合量を考慮する場合もある)

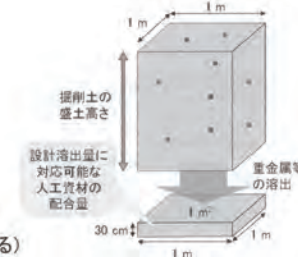


図2 吸着容量に基づく人工資材の配合量設計⁴⁵⁾

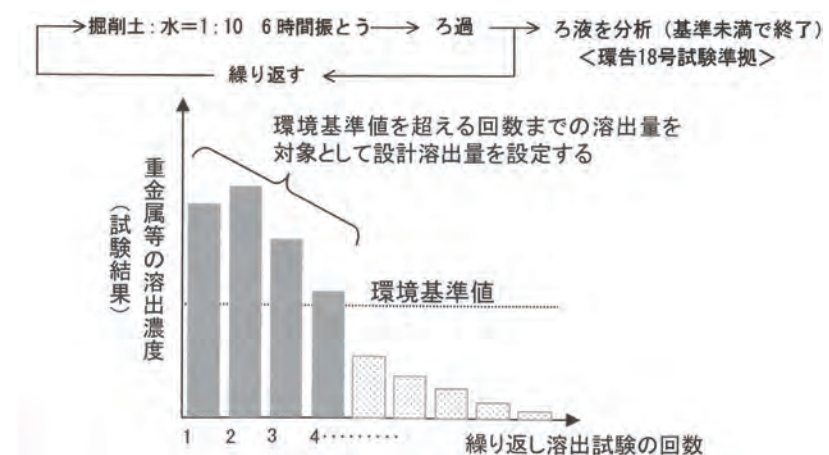


図3 繰り返し溶出試験による設計溶出量の算出⁴⁵⁾

る。なお、(一社)北海道環境保全技術協会より吸着層工法設計マニュアルが発行されている⁴⁵⁾。同マニュアルには、吸着材の配合量(図2)、対策対象とする掘削土の設計溶出量の算出方法(図3)など具体的な吸着層の設計手法や、吸着層工法に用いられる吸着材各種について、錯体形成、共沈・沈殿、酸化還元等その作用機序含め、解説されている(図4～7)。

また、吸着層工法における”吸着材”と不溶化工法に用いられる”不溶化材”は本来、区別されるべきであるが、両者の違いが明確でない場合も多い。吸着層工法に関しては、①吸着材の性能評価方法、②盛土内での物理的な水移動の評価などの技術的な課題、③発生源における重金属等の溶出特性評価や、④設計思想をどうするのか、などの課題(図8)が指摘されており⁴⁶⁾、今後の吸着層工法のさらなる普及に向けては上記の課題解決が必要とされている。特に、吸着層は長期にわたり溶出する重金属等を収着させることが必要であり、その機能を有することが必須条件とされている。現在、吸着材・不溶化材の性能試験方法

として広く用いられているバッチ型の収着試験では、長期的な収着機能を有するかに関して十分な性能評価ができていない可能性があり、「吸着材としての性能を有するか」、「どの程度の性能があるのか」に関しての試験法の標準化は重要なテーマとされていた。そこで、吸着層工法に用いられる吸着材等の性能評価試験に関する規格原案作成および標準化(JIS化)を目的として、産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門が事務局となり、吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会(委員長：勝見武、京都大学大学院地球環境学堂 教授)および同検討会が、2019～2021年度に開催された。同委員会ならびに検討会ではバッチ吸着試験法およびカラム吸着試験法に関する検討がなされた。各種試験方法の詳細等については、2022年12月に発行された同委員会ならびに検討会の報告書を参照されたい。本原稿作成時において、同試験方法に関するJIS化が進められており、近い将来JIS化されるものと想定される⁴⁷⁾。

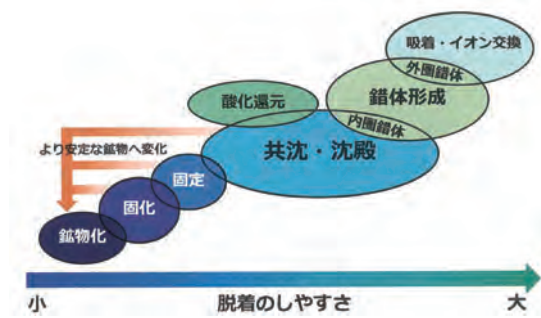


図4 吸着材の代表的な吸着・不溶化機構の分類⁴⁵⁾

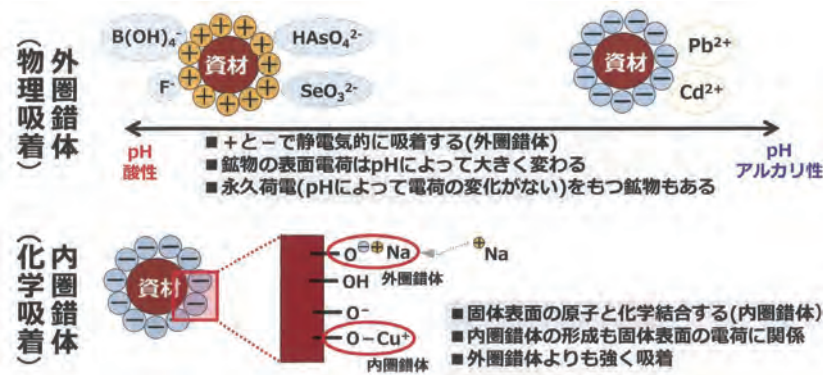


図5 錯体形成の概要⁴⁵⁾

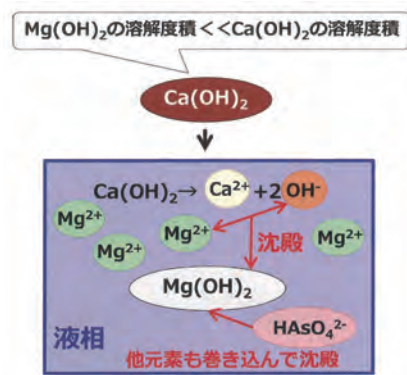


図6 共沈・沈殿の概要⁴⁵⁾

吸着・共沈

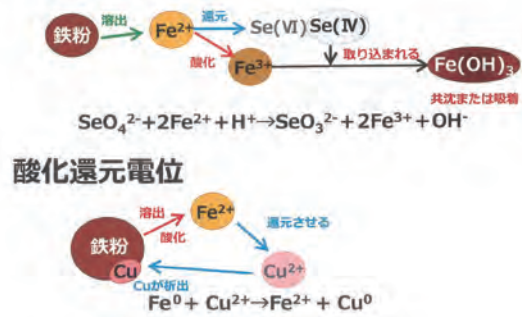


図7 酸化還元概要⁴⁵⁾

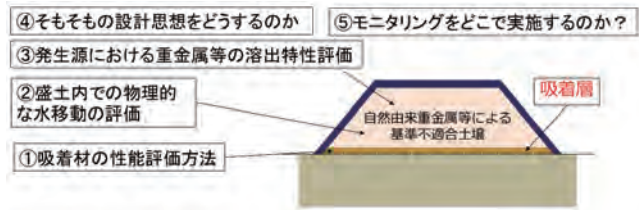


図8 吸着層工法に関する課題の例⁴⁴⁾

6. おわりに

わが国では、現在も各種高速道路および高速鉄道建設が行われている。それに伴うトンネル掘削工事等により、自然由来重金属等含有土が発生する場合がある。工場跡地等における人為由来と比較し、自然由来重金属等含有土からの重金属等溶出量は、非常に少ない。このため各種建設工事で発生する岩石および土壌は、管理型処分場の延命化をはじめとする多くの観点から、不溶化処理等により重金属等の溶出量を環境基準未満にまで低減させたいので、盛土、埋土材料

として、利用されることが望ましい。このような土壌や岩石に遭遇する現場における発生土等への適切な対応方法をまとめたマニュアルの代表例として、「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル」⁴⁸⁾があり、直近では2023年3月に改訂がなされた。同マニュアルに加え、今後も前章にて紹介した試験方法のJIS化に代表される長期安定性など不溶化工法の社会的信用度向上に資する報告がなされ、同工法の活用が進み、ひいては自然由来重金属等含有土の適正処理が行われることを期待する。

【参考文献】

- 松本聰／日本の汚染土壌の全体像概説，地球環境，Vol. 15，No. 1，pp. 31～35，2010
- F. W. Clarke，H. S. Washington／The composition of the Earth's crust，United States Geological Survey，Professional Paper，No. 127，1924
- B. Mason／Principles of Geochemistry，Third edition，John Wiley and Sons，1966
- 今井登，寺島滋，太田充恒，御子柴（氏家）真澄，岡井貴司，立花好子，富樫茂子，松久幸敬，金井豊，上岡晃，谷口政碩／日本の地球化学図-元素の分布から何がわかるか? -，国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター，2004
- 島田允亮／自然由来重金属等による地下水・土壌汚染問題の本質：ヒ素，応用地質技術年報，No. 29，pp. 31～59，2009
- 丸茂克美，江橋俊臣，氏家亨／日本各地の土壌中の重金属含有量と鉛同位体組成，資源地質，Vol. 53，No. 2，pp. 125～146，2003
- 丸茂克美／自然由来の重金属に起因する土壌汚染問題への地球科学的アプローチ，地学雑誌，Vol. 116，No. 6，pp. 877～891，2007
- 高橋良，垣原康之，原淳子，駒井武／堆積岩からの砒素の溶出過程と風化に伴う溶出量の変化：北海道中央部，中新統川端層および軽舞層の例，地質学雑誌，Vol. 117，No. 10，pp. 565～578，2011
- 富岡祐一，広吉直樹，恒川昌美／ヒ素含有鉱物に由来する環境汚染と修復に関する研究の動向一特に鉱滓堆積場におけるヒ素の溶出と固定について，環境資源工学，Vol. 52，No. 3，pp. 145～150，2005
- 富岡祐一，広吉直樹，久保泰政，恒川昌美／硫酸酸性下におけるジャロサイトによる溶存砒素の除去，資源と素材，Vol. 121，pp. 597～602，2005
- K. Savage，T.N. Tingle，P.A. O' Day，G.A. Waychunas，and D.K. Bird／Arsenic speciation in pyrite and secondary weathering phases，Mother Lode Gold District，Tuolumne County，California. Applied Geochemistry，Vol. 15，No. 8，pp. 1219～1244，2000
- 笹木圭子／黄鉄鉱の常温酸化溶解に関する実験地球化学的研究，鉱物学雑誌，Vol. 27，No. 2，pp. 93～103，1998
- 五十嵐敏文，井筒崇文，岡泰道／2段階溶出モデルによる黄鉄鉱の酸化・溶解速度の評価，応用地質，Vol. 43，No. 4，pp. 208～215，2002
- 五十嵐敏文，大山隆弘，斎藤典之／黄鉄鉱を含む堆積岩の溶出水酸性化ポテンシャルに関する実験的検討，応用地質，Vol. 42，No. 4，pp. 214～221，2001
- 土壌汚染対策法に基づく調査および措置に関するガイドライン（改訂第3.1版），環境省，2022
- 飯村康二／土壌中での重金属の形態と挙動，土壌の物理性，No. 67，pp. 19～27，1993
- J. E. McLean，B. E. Bledsoe／Behavior of Metals in Soils，Ground Water Issue，EPA/540/S-92/018，1992
- 井本由香利，西方美羽，森本和也，保高徹生／浸漬試験に基づく吸着材混合土の長期吸着性評価，第15回地盤改良シンポジウム論文集，2022
- M. Pourbaix／Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions，National Association of Corrosion Engineers，pp.485～493，1966
- E. Merian，M. Anke，M. Ihnat，M. Stoeppeler／Elements and Their Compounds in the Environment，2004
- 小嶋芳行，大島史也，松山祐介，守屋政彦／酸化マグネシウムによる重金属イオンの不溶化機構の解明，Journal of the Society of Inorganic Materials，Japan，Vol. 19，No. 356，pp.15～22，2012
- 和田信一郎，森下智貴／酸化マグネシウムによる重金属類汚染土の不溶化処理と土壌中での鉱物化学反応，粘土科学，Vol. 51，No. 3，pp.107～117，2013
- 山田哲司，西形達明，西田一彦／酸化マグネシウムの製造方法が改良土の性質に及ぼす影響について，土木学会論文集C（地圏工学），Vol. 68，No. 4，pp. 732～741，2012
- K. Kameda，Y. Hashimoto，S. L. Wang，Y. Hirai，H. Miyahara／Simultaneous and continuous stabilization of As and Pb in contaminated solution and soil by a ferrihydrite-gypsum sorbent，Journal of Hazardous Materials，Vol. 327，pp. 171～179，2017
- 成田榮一／層状複水酸化物のインターカレーション特性とその利用，粘土科学 Vol. 46，No. 4，pp. 207～218，2007
- F. Cavani，F. Trifirò，A. Vaccari／Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation，properties and applications，Catalysis Today，Vol. 11，No. 2，pp. 173～301，1991
- 森本和也／層状複水酸化物の合成とその機能性材料への応用，岩石鉱物科学，Vol. 48，No. 1，pp. 46～50，2019
- S. Miyata T. Kumura／Synthesis of new hydrotalcite-like compounds and their physico-chemical properties，Chemical letters，Vol. 2，No. 8，pp. 843～848，1973
- R. Sasai，M. Takegawa，Eisaku Nii Eisaku，H. Hoashi，C. Moriyoshi，Y. Kurowa／Methanol effect on anion exchange properties of layered double hydroxides consisting of magnesium and aluminum (magnesium/aluminum=2)，Clay Science，Vol. 19，No. 1，pp. 1～4，2015
- Y. You，G. F. Vance，H. Zhao／Selenium adsorption on Mg-Al and Zn-Al layered double hydroxides，Applied Clay Science，Vol. 20，No. 1-2，pp. 13～25，2001
- M. Sakr，H. El Agamawi，H. Klammler，M. M. Mohamed／A review on the use of permeable reactive barriers as an effective technique for groundwater remediation，Groundwater for Sustainable Development，Vol. 21，100914，2023
- O. Al-Hashimi，K. Hashim，E. Loffill，T. M. Čebašek，I. Nakouti，A. A. H. Faisal，N. Al-Ansari／A comprehensive review for groundwater contamination and remediation: Occurrence，migration and adsorption modelling，Molecules Vol. 26，No. 19: 5913，2021
- A. A. H. Faisal，H. K. Jasim，L. A. Naji，M. Naushad，T. Ahamad／Cement kiln dust-sand permeable reactive barrier for remediation of groundwater contaminated with dissolved benzene，Separation Science and Technology，Vol. 56，No. 5 pp. 870～883，2021
- M. A. Abedin，T. Katsumi，T. Inui，M. Kamon／Arsenic removal from contaminated groundwater by zero valent iron: a mechanistic and long-term performance study，Soils and Foundations，Vol. 51，No. 3，pp. 369～377，2011
- K. A. Wilson，Permeable Reactive Barriers - A Green technology，presentation，Federal Remediation Technologies Roundtable Meeting，Arlington，2010
- D. W. Blowes，C. J. Ptacek，S. G. Benner，C. W. T. McRae，T. A. Bennett，R. W. Puls／Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers，Journal of Contaminant Hydrology，Vol. 45，No. 1-2，pp. 123～137，2000
- C. Su，R. W. Puls／Arsenate and arsenite removal by zerovalent iron: kinetics，redox transformation，and implications for in situ groundwater remediation，Environmental Science & Technology，Vol. 35，No. 7，1487～1492，2001
- J. A. Lackovic，N. P. Nikolaidis，G. M. Dobbs／Inorganic arsenic removal by zero-valent iron，Environmental Engineering Science，pp. 29～39，2000
- K. Li，J. Li，F. Qin，H. Dong，W. Wang，H. Luo，D. Qin，C. Zhang，H. Tan／Nano zero valent iron in the 21st century: A data-driven visualization and analysis of research topics and trends，Journal of Cleaner Production，Vol. 415，137812，2023
- R.A. Crane，T.B. Scott，Nanoscale zero-valent iron: Future prospects for an emerging water treatment technology，Journal of Hazardous Materials，Vol.211-212，pp. 112～125，2012
- 森下拓也，宇波繁／金属材料の粉末技術～鉄粉～，粉体および粉末冶金，Vol. 68，No. 6，pp. 207～214，2021
- L. Fishbein／Environmental selenium and its significance. Fundamentals and Applied Toxicology，Vol. 3，No. 5，pp. 411～419，1983
- G. Zelmannov，R. Semiat／Selenium removal from water and its recovery using iron (Fe3+) oxide/hydroxide-based nanoparticles sol (NanoFe) as an adsorbent，Separation and Purification Technology，Vol. 103，pp. 167～172，2013
- 吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会，吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討会／吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会報告書 第1版，2022
- （一社）北海道環境保全技術協会，人工資材による自然由来重金属等を含む掘削土の対策の設計・施工マニュアル，道環協 技術レポート No. 9，2021
- 保高徹生，井本由香利，西方美羽，森本和也，加藤智大，勝見武／吸着層工法に係る吸着材の性能評価試験の標準化に関する検討状況，第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演要旨集，論文番号S4-05，2022
- 日本産業標準調査会ホームページ，<https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrWorkScheduleCreationInformation?show&pubNoticeCD=001&jiscCmtID=1000000934>，（2024/1/19閲覧）
- 建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版），国土交通省，2023

AIを活用したコンクリートのスランプ予測システム「PreSLump AI[®]」の開発 ～概要と適用事例の紹介～

Development of "PreSLump AI[®]", a Concrete Slump Prediction System using AI
～ Overview and Application Cases ～

千石 理紗 石田 弘徳 工藤 正智 小池 耕太郎 立岩 華英

1. はじめに

建設業界は、一品受注生産かつノウハウの世界であるため、生産プロセスや管理手法の標準化が困難とされていた。しかし、深層学習や画像認識等の人工知能（以下、AIと称す）の出現により様相が一変し、経験則をデジタル化することへの期待が高まっている。労働人口の減少や図1¹⁾に示すような労働者の高齢化に伴う技術者不足が深刻化している昨今では、省力化・生産性向上は建設業界の喫緊の課題である²⁾。

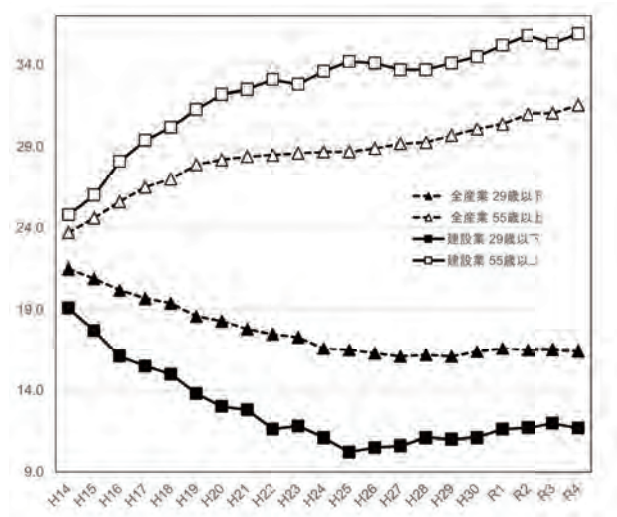


図1 建設業就業者の高齢化の進行¹⁾
[国土交通省「建設業を巡る現状と課題」より作成]

しかしながら、現在のコンクリート製造業界において、製造管理やフレッシュコンクリートの品質管理は熟練の経験と技量に頼る部分が多い。通常、フレッシュコンクリートの品質管理項目の1つである流動性の評価は、製造時のコンクリートの動きから判断する目視確認と排出後のスランプ試験によって行われている。特に製造時の目視確認は、製造オペレータが経験則に基づき定性的に判断するため、技量による差異が生じやすい。スランプ試験における実施者間の差異は前述の目視確認より小さいものの、全ての製造バッチに対してスランプ試験を実施することは現実的に困難である。このような背景からJISにおいても抜き取りによるスランプ試験が規定されている。著者らは、個人の技量に左右されな



図2 監視モニタ上の予測値(スランプ12.2cm)

表1 学習に用いたコンクリート配合

配合	W/C (%)	設計空気量 (%)	細骨材 (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	AE減水剤 (C×%)	空気量調整剤 (C×%)	遅延剤 (C×%)	収集バッチ数 (件)	注水から繰返し試験終了までの経過時間 (分)
1	55	4.5	46	153	278	850	1011	1.2	0.006	0.2	3	31
2	55	4.5	46	155	282	847	1006	1.2	0.006	0.2	4	42
3	55	4.5	46	164	298	831	985	0.7	0.006	0.2	4	46
4	55	4.5	46	176	320	808	959	1.2	0.006	0.2	5	51
5	55	4.5	46	180	327	800	951	1.2	0.006	0.2	1回目: 6 2回目: 2 3回目: 4	1回目: 66 2回目: 26 3回目: 37

い、コンクリートの定量的な品質管理方法の確立を目指し、AIを用いて練混ぜ中のコンクリート画像からスランプを予測するシステムを開発した³⁾。

本稿では、2023年4月に販売を開始したAIスランプ予測システム「PreSLump AI[®]」の技術概要と適用事例について紹介する⁴⁾。

2. AIスランプ予測システム「PreSLump AI[®]」

2-1. PreSLump AI[®]の概要

PreSLump AI[®]は、コンクリート製造工程に、AIによる深層学習と画像認識を適用した技術からなるシステムである。ミキサに設置したカメラにより、コンクリートの練混ぜ画像を取得して、AIが瞬時に画像を解析し、スランプ値の予測を行う。図2に示すように、コンクリートの製造プラントにある練混ぜ監視モニタの画面上に、AIによる予測値がリアルタイムに表示される。製造オペレータ個人の技量に依存することなく、全バッチのコンクリートの流動性を定量的に評価できることから、安定した品質のコンクリートを製造することが可能となる。

2-2. PreSLump AI[®]によるスランプ予測

AIを用いて予測を行うには、あらかじめ準備したデータをAIに学習させ、正しい結果を出力するように調整・構築された予測モデルを用意しなければならない。AIの学習は、人間に例えると、経験を積み技術を磨くことに相当し、これによってAIも人間と同様に、蓄積したデータを使用して新しい事象の値を予測することが可能となる。

2-3. 予測モデルの構築と精度検証

(1) 学習データの収集

AIに学習させるためのデータとして、コンクリートの練混ぜ画像とスランプ実測値の収集を行った。表1にデータを収集したコンクリートの配合を示す。コンクリートの使用材料として、水は上水道水(記号: W)、セメントは普通ポルトランドセメント(記号: C、密度: 3.16g/cm³)、細骨材は山砂(記号: S、表乾密度: 2.59g/cm³)、粗骨材は碎石(記号: G、表乾密度: 2.62g/cm³)、AE減水剤は標準形(リグニンスルホン酸系、C×0.25%)、空気量調整剤はロジン系(1A=C×0.002%)、遅延剤は減水剤・遅延形(I種)



せんごく りさ / SENGOKU Risa
太平洋セメント(株)
中央研究所 研究開発推進部
インキュベーション推進チーム 研究員



いしだ ひろのり / ISHIDA Hironori
同上
インキュベーション推進チームリーダー



くどう まさとし / KUDO Masatoshi
同上
インキュベーション推進チーム 研究員



こいけ こうたろう / KOIKE Kotaro
同上
インキュベーション推進チーム 研究員



たちいわ はなえ / TACHIWA Hanae
同上
インキュベーション推進チーム 研究員

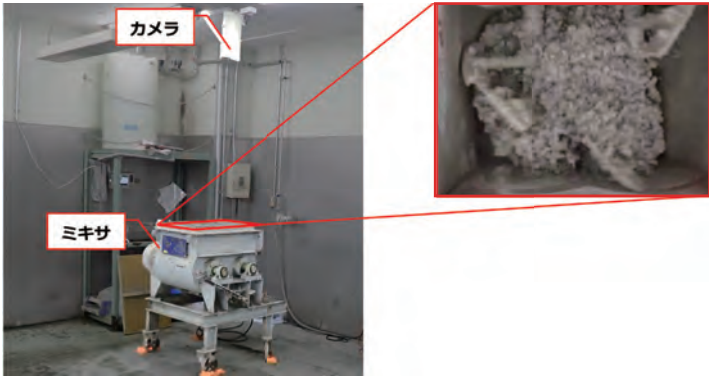


図3 データ収集の様子および取得画像の一例

を用いた。なお、1配合のコンクリートに対して、後述する通り繰り返し練混ぜを行うことから、セメントの水和反応に起因するフレッシュコンクリートの性状に変化がないようにするため、凝結遅延性の高い遅延剤を用いた。

図3にデータ収集の様子を示す。データの収集は20℃・70%・RHの恒温恒湿室で行った。ミキサは強制二軸ミキサ(容量60L)を使用した。スクリュー軸のモータの仕様は200V三相電源、出力2.2kW、回転速度1分間100回転である。

図3のようにカメラはミキサの直上に固定し、ミキサの中央部と撮影する画角の中央部を一致させ、ミキサの容器内全体が撮影できるように調整した。解像度は960×480px、撮影間隔は1秒間に30枚、撮影時間は録画を開始してから90秒以上とした。

データ収集は次の手順で行った。①セメント、細骨材および粗骨材をミキサに投入、②30秒間の練混ぜ、③注水、④30秒間の練混ぜ、⑤録画を開始、⑥90秒間以上練混ぜ、⑦ミキサからコンクリートを排出、⑧録画を停止、⑨試験者3名がそれぞれに排出したコンクリートのスランブ試験を実施、注水から繰り返し試験が終了するまでの経過時間は90分以内とした。

コンクリートの練量は1バッチ当たり35Lとし、スランブ試験はJIS A 1101の試験方法に準拠して行い、計84件のデータを収集した。なお、スランブ試験と併せて空気量試験を実施し、全てにおいて空気量が設計値の±1.5%以内であることを確認している。

(2) 予測モデルの構築

既往の検討⁵⁾を参考に、AIに練混ぜ画像を学習さ

せ、スランブ値を出力する予測モデルの構築を行った。学習に先立ち、練混ぜ画像とスランブ実測値(以下、実測値と称す)の関連付けを行った。関連付けでは、まず1バッチ当たり90秒間の動画から練混ぜ安定後の1～20秒、21～40秒、41～60秒の3区間に分割し、各区間から1動画、計3動画を抽出した。続いて、各動画の開始から15秒間450枚の練混ぜ画像と各試験者の実測値を関連付けた。取得した84件のうち57件を学習データ、残り27件を検証データとした。予測モデルの構築に当たり、本検討では人間が着目している練混ぜの動きを学習させるため、時間情報の学習が可能な畳み込みニューラルネットワークの一種である3D-MixConv⁶⁾をAIとして使用した。また、データの作成に当たっては練混ぜ画像データ960×480pxの1枚から5枚の画像を切り出した。まず中央部の256×256pxを1枚切り出し、続いて256×256pxを中央部から上下左右4方向に10×10pxずつ移動させることで4枚切り出し、その画像を256×256pxから64×64pxに圧縮した。その後、全450枚分をAIに学習させて予測モデルを構築した後、検証データを予測モデルに入力し予測値を出力した。

(3) 予測モデルの精度検証

検証では予測値と実測値の差分を算出後、各差分が許容差以内に入る件数を累積し、検証した全件数と許容差以内に入る件数の割合を正解率とした。図4にスランブにおける予測値と実測値の関係を示す。図中の値は9バッチ試験者3名分の実測値と予測値を対応させた計27点をプロットしており、点線は許容差±

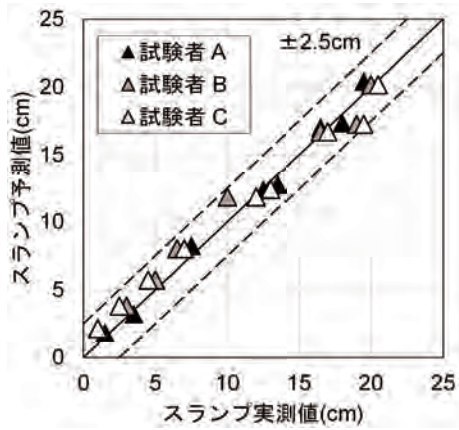


図4 スランブの実測値と予測値の関係

表2 統計量並びにt検定の結果

項目	試験者	AI
平均値(cm)	10.7	10.9
標準偏差(cm)	0.4	0.2
変動係数	6.9	3.0
偏差最大値	1.0	0.4
偏差最小値	1.5	0.3
分散	45.6	38.9
相関	1.0	-
t	-6.5	-
t境界値両側	2.1	-

2.5cmを示している。図4よりJISに規定される許容差±2.5cmの範囲に予測値がプロットされていることが分かる。続いて、図5に許容差と正解率の関係を示す。スランブは許容差が大きくなるに従い正解率は高くなり、許容差±1.5cmで80%以上、許容差±2.5cmで100%になった。

2-4. 試験者とAIのばらつき比較

(1) 統計的手法による予測値のばらつき評価

スランブ試験は試験者の技量差や試料の採取方法・位置によるばらつきが懸念されることから、既往研究より各々の要因に伴うスランブ試験の不確かさが報告されている⁷⁾。そこで、統計量として、検証データ27件(3名×9バッチ分)を用いて、試験者3名による実測値、AIによる3件の予測値について、それぞれの平均値、標準偏差、変動係数、偏差の最大値と最小値を算出した。また、結果の確からしさを評価するための有意

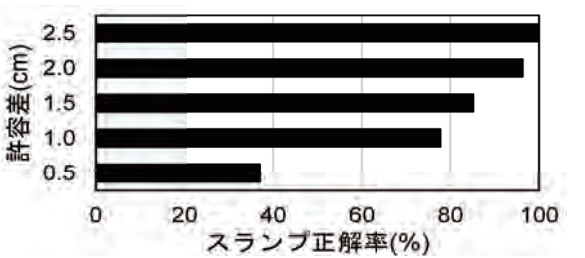


図5 許容差と正解率の関係

差検定であるt検定も行った。

表2に試験者とAIの各種統計量およびt検定の結果を示す。平均値は27件の全平均を、標準偏差は同一バッチ3件の値から算出、全バッチの平均値とした。偏差最大値と偏差最小値は、同一バッチ3件の平均値と実測値の差分を偏差として算出した後、全バッチの偏差の最大値を偏差最大値、最小値を偏差最小値とした。スランブの平均値は試験者とAIが同程度であり、標準偏差は試験者と比べAIが0.2cm小さかった。さらに、偏差最大値と偏差最小値に着目すると試験者では偏差最大値1.0cm、偏差最小値1.5cmであった一方、AIでは偏差最大値0.4cm、偏差最小値0.3cmとなり、試験者よりAIの偏差が小さい結果となった。すなわち、同一バッチでのスランブに着目すると、AIの方が試験者よりもばらつきが小さいことが明らかとなった。

続いて全27件の平均値を1次元配列としたt検定を行った。本検定では正負方向(両側)の有意水準を0.05、帰無仮説を $\mu \neq \mu_0$ (μ はAIの平均値、 μ_0 は試験者の平均値)としており、表2におけるt値の絶対値がt境界値に対して大きい場合、比較値は同じであると検定できる。表よりスランブはt値の絶対値が6.5、t境界値が2.1と大きく、試験者とAIの平均値は統計的に差がないことから、試験者による実測値とAIの予測値は同様に扱えるといえる。

3. PreSLump AI[®] 適用事例

生コンクリート工場とコンクリート製品工場での適用事例について紹介する。学習データ収集は、工場での

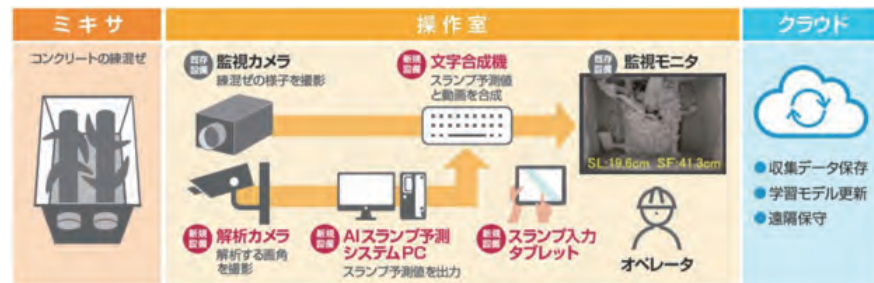


図6 PreSLump AI®の機器構成

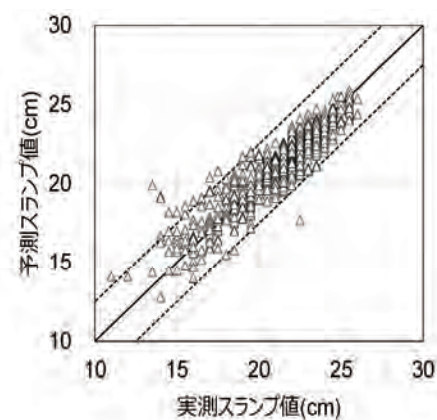


図7 実測値と予測値の関係(生コンクリート工場)

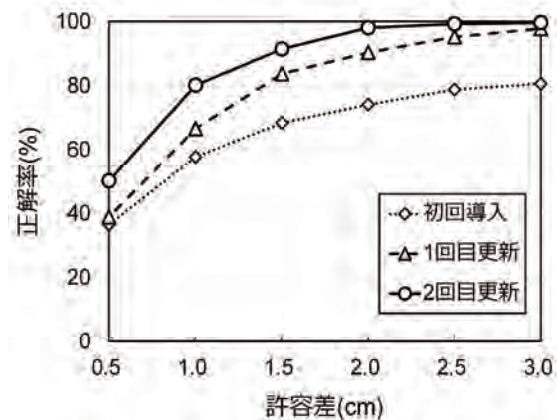


図8 再学習による正解率向上の一例

収集作業の負荷を最小とするため、スランプの実測値を入力するのみとし、入力することで練混ぜ動画と自動で紐づけされるアプリを開発した。アプリは、実測値の入力を場所や時間を選ぶことなくできるよう、タブレット端末に実装し、これを用いた。リアルタイムに予測されるスランプ値は、ミキサ内を監視する既設モニタに表示される仕様とした。こうすることで、製造オペレータは従来の監視モニタで練混ぜ状況を確認しつつ、同画面に表示されるスランプの予測値を参照しコンクリートの品質が把握できる。図6にAIスランプ予測システムの基本的な機器構成を示す。

図7にPreSLump AI®を生コンクリート工場に実装し、そこで得られたAIの予測値とスランプ試験の実測値の関係を示す。図中には455件のデータをプロットしており、点線は許容差±2.5cmを示している。AIの予測値は、スランプ15cm付近の領域で図4の室内実験と比較して正解率が低下したことが認められた。この原因を分析したところ、スランプ領域の学習データ数が少ないことが判明したため、追加データを学習させ正解率を改善した。実工場においては、一定期間で

幅広いスランプ領域のデータをまんべんなく取得することは難しい。そのため、初めから十分なデータ数で予測モデルを構築して実装するのではなく、追加学習を前提とした長期的な運用が望ましい。実際、生コンクリート工場の実証では、初めに実装したAIに、データを複数回にわたり追加学習させることで、図8に示すように正解率が向上し、特に許容差±2.5cmにおける正解率は初期導入時と比べて20.4%向上した。以上より、PreSLump AI®は稼働後も継続的にデータを収集し追加学習を行うことで、正解率の維持・向上が期待できる。

4. PreSLump AI®の導入の流れと運用

PreSLump AI®導入の流れを図9に示す。①現地調査による機器仕様の決定、②図6に示した解析カメラ・解析用PC・文字合成機およびタブレットを工場に設置、③スランプ試験の実測値と対応する練混ぜ画像を収集し学習データを蓄積、④予測モデルを作成、⑤解析用PCに予測モデルを実装の順で導入する。③の



図9 PreSLump AI®導入の流れ

工場の実作業としては、スランプ試験後に数値をタブレットに打ち込むだけであり、所要時間1分もかからず作業は終了する。⑤解析用PCに予測モデルを実装後にPreSLump AI®の運用開始となるが、学習データの蓄積によって正解率は向上するため、運用開始後も継続して予測モデルにデータを学習させることで、良い精度を維持しつつPreSLump AI®を活用できる。

5. PreSLump AI®の導入効果

PreSLump AI®の導入効果がコンクリート製造にもたらすメリットをいくつか紹介する。

① 製造工程の標準化

コンクリートの練混ぜ状況の確認は製造オペレータの技量に依存する部分が大きく、熟練の技術者といえども判断に迷う場面もある。PreSLump AI®のスランプ予測はある基準のもと定量的に行われるため、製造工程の標準化に大きく寄与する。

② 品質管理

PreSLump AI®はリアルタイムにスランプ予測を行う。そのため手間をかけずに全数の品質確認が可能となり、異常品も即時に検出できるため品質の安定化に貢献する。

③ 品質保証

PreSLump AI®は全数のデータをHDDまたはクラウド上に保存する。すなわち、トレーサビリティ機能を備えたシステムであり品質保証体制の強化につながる。

④ 効果的な教育

コンクリート分野でも、いずれは熟練の技術者が退

職を迎える一方で、新たな若手技術者の確保に苦勞しているのが現状である。熟練の技術者の卓越した技量は一朝一夕で習得できるものではなく、新しく若手を採用しても技量の継承には時間を要する。PreSLump AI®を導入することで、コンクリート製造と同時に教育が可能となり、若手技術者が技量を習得する時間を大幅に短縮することが可能となる。すなわち、製造オペレータのガイドラインとすることができる。また、PreSLump AI®がコンクリート製造を補助することで、技術者の精神的負荷を軽減することも期待できる。

⑤ 省力化・省人化

PreSLump AI®は24時間365日、労働時間や超過勤務を気にすることなく運用が可能である。また、急な欠勤や病気や怪我による療養休業についても心配することがない。担い手不足や働き方改革が叫ばれる昨今、コンクリート製造および施工の省力化・省人化に大きく貢献するシステムである。

⑥ 厳格化する仕様への対応

近年、建築・建設現場において、コンクリートの品質問題が相次いだことや、建設業全体のDX化が加速していることを鑑みると、品質管理の基準は今後さらに厳格化すると予想される。PreSLump AI®は、こうした趨勢に対応可能な技術である。

6. おわりに

当社はコンクリートの練混ぜ画像をAIに学習させ、スランプを予測するシステムを開発した。本システムのスランプ予測は、許容差±2.5cmで正解率100%に到

達することが可能である。また、スランプの実測値とAIによる予測値の各平均値は同等であり、標準偏差は実測値と比べAIによる予測値が小さいことから、人間と同等かそれ以上に、AIが信頼に足ることを示した。

現在、建設業界ではコンクリート製造における安定品質の確保に向けた取り組みが推進されている⁸⁾。一方、コンクリート製造現場では担い手不足が非常に深刻化しており、生産性向上を目的とする新たな技術開発が活発に行われている。こうした流れは規格にも反映されており、例えば日本建築学会JASS 5は2022年11月の改訂で、これまで標準化されていなかったセンサやAI等のIT機器を用いた試験方法ならびに確認方法を品質管理に適用することが可能となった⁹⁾。本稿で紹介したPreSLump AI[®]はこのような情勢に十分対応できる技術であり、コンクリート製造における品質の安定化と生産性向上を実現する革新的な技術であると確信している。今後もコンクリートの製造および施工

に貢献する新技術の開発に鋭意邁進する所存である。

【参考文献】

- 1) 国交省/建設業を巡る現状と課題, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001610913.pdf> (accessed 2024-02-20)
- 2) 矢作智之, 堤英彰/コンクリート工生産性向上に向けた取り組み—全体最適の導入(コンクリート工の規格の標準化等)—, コンクリート工学, 2017, 55, pp.87~95
- 3) 工藤正智, 小池耕太郎, 星健太, 早野博幸/ AIを用いたフレッシュコンクリートのスランプ予測技術, 太平洋セメント研究報告, 2022, 182, pp.38~46
- 4) 太平洋セメント/人工知能(AI)を用いてコンクリートのスランプ値をリアルタイム予測するシステムPreSLump AI[®]を販売開始, 2023-03-27, <https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/230327.pdf>
- 5) 早野博幸, 工藤正智, 小池耕太郎/ AIを用いたコンクリートの製造時のスランプ予測技術, 2022, 50(5), pp.392~396
- 6) Mingxing Tan / Quoc V Le MixConx / Mixed Depthwise Convolutional Kernels, arXiv, 1907, 09595, 2019.1
- 7) (財)建材試験センター/工業標準化法JNLA制度における測定の不確かさの推定及び技能試験用試料開発に係る調査委託業務成果報告書, 2004
- 8) 国土交通省/コンクリート生産性向上検討協議会第12回—サブライチェーンマネジメント等の検討—, 2023.2, <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001587863.pdf>, (accessed 2023-08-09)
- 9) 野口貴文, 陣内浩, 兼松学/コンクリート工学, Vol61, No.4, 日本コンクリート工学会, 2023, pp.297~303

わたしたちの暮らしのサポーター

セメント

安全で快適な暮らしを支えています。

日々の生活の安心・安全を支え、省エネ、省資源で環境貢献をしているセメント産業について、一般・小・中学生向けにわかりやすく解説したパンフレットを作成しています。

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

(一社)セメント協会

広報部門 FAX 03-5540-6181



【おもな内容】セメントって知ってる？/みんなの安全な暮らしを守るコンクリート！/みんなの身のまわりにあるセメント・コンクリート/セメントができるまで/世界トップクラスの省エネ技術！/廃棄物をセメントの原料に！/セメント工場が無かったら日本はゴミの山！？/未来を守るセメント工場

EVENT GUIDE イベントガイド

地震工学委員会2024年度第1回研究会 ～小委員会活動報告～

開催日：2024年5月21日(火)10:00～15:00

会場：土木学会講堂(東京都新宿区)およびオンライン
参加費：無料

申込方法：オンラインから(<https://www.jsce.or.jp/events/Information>)

問合せ：土木学会 研究事業課 佐々木淳

e-mail: ssk@jsce.or.jp

『コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2024』 ～持続可能な未来を築くための実践的アプローチ～

主催：コンクリートメンテナンス協会

開催日・会場：2024年5月22日(水)～23日(木) 東京(江東区江東公会堂/ティアラこうとう), 30日(木)～31日(金) 大阪(大阪市中央公会堂), 6月5日(水)～6日(木) 福岡(福岡国際会議場), 6月25日(火) 北海道(札幌コンベンションセンター), 7月10日(水) 沖縄(アイム・ユニバースてだこホール), 7月18日(木) 北陸(新潟(朱鷺メッセ), 7月25日(木) 四国(香川(レグザムホール), 8月1日(木) 東北(仙台国際センター), 8月22日(木) 東海/愛知(ウインクあいち), ※9月26日(木) 秋田(秋田市にぎわい交流館AU), ※10月24日(木) 熊本(くまもと森都心プラザ), ※12月5日(木) 北海道(札幌市生涯学習センター), ※はミニフォーラム

参加費：無料

申込み・問合せ：コンクリートメンテナンス協会HPより

e-mail: <https://www.j-cma.jp/>

第51回プレストレストコンクリート技術講習会

配信期間：2024年6月3日(月)～24日(月)

会場：オンライン形式(オンデマンド動画配信)

受講料：4,000円(1名当たり)

問合せ：プレストレストコンクリート工学会

電話：03-3260-2521

コンクリート工学年次大会2024(松山)

開催日：2024年6月26日(水)～28日(金)

会場：アイテムえひめ 愛媛国際貿易センター(愛媛県松山市)

主要行事：①第46回コンクリート工学講演会, ②コンクリートテクノプラザ2024, ③生コンセミナー(26日), ④コンクリート構造物診断セミナー(27日), ⑤特別講演会(27日), ⑥懇親会(27日), ⑦見学会(27, 28日)

参加費：各行事により異なるため要問合せ

申込方法：参加登録HPより(<https://confit.atlas.jp/guide/event/jci2024/static/admission>)

問合せ：日本コンクリート工学会

電話：03-3263-1571

日本ダム協会50周年記念シンポジウム

開催日：2024年6月26日(水)13:30～16:00

会場：浜離宮朝日ホール小ホール(東京都中央区)

テーマ：ダム再生(仮題)

参加費：無料

締切：5月31日(金)

申込方法：オンラインから(<http://damnet.or.jp/jdf/50symposium.html>)

問合せ：日本ダム協会

電話：03-3545-8361

講習会「建物と地盤の動的相互作用の現象と解析

開催日：2024年6月28日(金)

会場：建築会館ホール(東京都港区)およびリアルタイム動画配信

定員：150名(会場)

参加費：会員13,000円, 後援団体会員15,000円, その他18,000円

問合せ：日本建築学会

電話：03-3456-2051

「危急存亡状態のコンクリート構造物対応委員会」報告会

開催日：2024年7月1日(月)14:00～16:30

会場：日本コンクリート工学会11階会議室(東京都千代田区)※ライブ配信・見逃し配信あり

参加費：正会員4,000円, 名誉・終身・フェロー会員2,500円, 団体会員5,000円, 会員外6,000円, 学生会員2,500円, 学生会員外3,000円

定員：会場30名, オンライン120名

申込方法：コンクリート工学会HPより

問合せ：日本コンクリート工学会「危急存亡報告会」係(担当：綿貫)

電話：03-3263-7204

土木学会令和6年度全国大会(第79回年次学術講演会)

開催日：2024年9月2日(月)～6日(金)

会場：東北大学川内北・南キャンパス(仙台市)ほか

主要行事：①第79回年次学術講演会(5～6日), ②研究討論会(2～3日), ③基調講演・特別講演会・全体討論会・研究討論会・交流会(4日) ほか

聴講申込：土木学会HPより(6月10日以降)

問合せ：土木学会事務局全国大会係

電話：03-3355-3442

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	技術部 技師長
浦野 真次	清水建設(株)	技術研究所 建設基盤技術センター 主任研究員
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)
黒川 大亮	太平洋セメント(株)	中央研究所 セメント・コンクリート研究部 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 客員研究員
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

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	UBE 三 菱 セ メ ン ト (株)
琉 球 セ メ ン ト (株)	明 星 セ メ ン ト (株)
荻 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)

- JCA Report/2023年度セメント需給と今後の展望／2023-OCセメント共同試験 結果と最近10年間の推移
- 埼玉コンクリートインフラの現状と予防－地域特性から見たこれからの維持管理の形－
- 高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価
- ボックスカルバートにグリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強技術
- ICCC2023 世界のセメント・コンクリート研究の動き③
- 北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の構造物の概要
- 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 鉱物化とセメント・コンクリートへの活用
- 大深度円形立坑用RC連壁のコンクリート品質向上に対する取り組み
- 表面仕上げ材によるコンクリート構造物の耐久性向上効果の検証と高耐候性クリヤ塗料の適用事例
- ずいそう(丸屋剛) ほか



信濃川発電所第3期真人沢水路橋におけるAEコンクリートの品質調査

セメント・コンクリート No.927 5月号
2024(令和6)年5月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者	乾 敏一
編集者	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



セメント・コンクリート論文集 Vol.78 (2024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.78 (2024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「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 2024年4月1日(月)～5月31日(金)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(金)17時まで
- 2) 申込み受理の通知: 申込み直後、登録したメールアドレスに通知
- 3) 審査番号の通知: 6月3日～4日
- 4) 原稿(PDFファイル)の提出: 審査番号通知から3日以内
- 5) 査読: 6月下旬～8月下旬
- 6) 1次審査結果の通知: 9月下旬
- 7) 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
- 8) 2次審査結果の通知: 11月中旬
- 9) 版下原稿の著者校正: 版下原稿到着より2週間以内
- 10) 公開: 2025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. 問合せ先(事務局)

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

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

セメント・コンクリート論文集論文投稿申込事項

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

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

☆ 個人情報の保護について

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

セメント・コンクリート論文集投稿要領

- | | |
|---|---------------------|
| 1. 投稿者資格 | セメント協会の会員、会員外を問わない。 |
| 2. 掲載論文の条件 | |
| 2.1 審査規準 | 一般社団法人セメント協会 |
| (1) 採択規準 | |
| a) セメント、コンクリートおよびその関連研究に関する論文であること。 | |
| b) 未発表のものであること。 | |
| ただし、次の項目に該当するものは未発表とみなす。 | |
| i. セメント技術大会で発表したもの。 | |
| ii. シンポジウム、研究発表会、国際会議などで梗概または資料として発表したもの。 | |
| iii. 大学の紀要、研究機関の研究soなどで部内発表したもの。 | |
| iv. 国、自治体、業界、団体からの委託研究の成果報告書。 | |
| c) 次の項目のいずれかに該当すること。 | |
| i. 独創性のある包括的研究で、発展性の期待できるもの。 | |
| ii. 新しい知見を与える有用性、実用性に富んだ実測・実験・調査等の研究で、信頼性が高く、学術的、技術的に価値のあるもの。 | |
| iii. 独創性のある理論的または実証的な研究で、完成度の高いもの。 | |

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

- | | |
|-----------------|----------|
| 2.2 論文1編あたりの著者数 | 4名以内とする。 |
|-----------------|----------|

3. 論文集の形式

3.1 使用言語

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

3.2 刷り上がり

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

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

- | | |
|--------|---|
| 4.1 査読 | 論文集編集委員会の指名する委員1名、査読員2名、計3名の査読者により行う。 |
| 4.2 審査 | 査読結果に基づき論文集編集委員会により公正に審査し、論文投稿者に対し委員長名で審査結果を通知する。 |

5. 論文の執筆および投稿方法

5.1 論文の執筆「セメント・コンクリート論文集原稿執筆要領」による。

5.2 論文投稿時の提出物

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

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

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

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

9. 著作権の帰属(譲渡)

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

著作権の取り扱いについて

著作者の権利は、人格的な利益を保護する**著作者人格権**と財産的な利益を保護する**著作財産権**の2つに分かれます。
・**著作者人格権(表現権)**：同一性保持権、公表権、氏名表示権など
・**著作財産権**：複製権・公衆送信権など
通常、掲載された論文は、セメント・コンクリート論文集投稿要領により、著作財産権はセメント協会に譲渡(帰属)されますが、著作者人格権は譲渡の対象外であり著者にのみ帰属します。

以上

セメント・コンクリート論文集 原稿執筆要領(和文原稿)

一般社団法人セメント協会

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

1. 論文集の形式

1.1 使用言語

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

1.2 用字および用語

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

1.3 使用フォント

サイズを10.5pt（標題は14pt）とし、字体は以下の通りとする。

- ※和文 明朝体を標準(MS明朝など)
- ※英数字 Century, Times, Times New Romanなど

1.4 句読点

句読点は「、」「。」を使用する。

1.5 英数文字

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

a、B、*a*、*β*、*γ*、1、23、i、iv、I、Ⅲ、Ⅺ

1.6 単位および記号

半角を使用して、単位はSI単位を標準として記入する。

m、mm、mol、N、J、N/mm²

1.7 化学式

半角を使用して記入する。

3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O

1.8 ページ数等の記入の禁止

提出原稿にページ数を記入しないこと。

1.9 刷り上がり

論文集の刷り上がりは、以下の通りとなるよう原稿の執筆に留意する。

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

1.10 原稿の構成

原稿の構成は下記による。

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

2. 標題の書式

1頁1行目に、フォントサイズを14ptとし、中央揃えで記入する。

3. 著者名の書式

標題から2行空けて、以下の要領で記入する。

- (1) 中央揃えで記入する。
- (2) 著者間は全角スペースで区切り、姓名の間はスペースを入れない。
- (3) 著者名の右末尾に、「*1」「*2」と番号を付けて、所属機関名および所属部署名を導く。所属機関・部署が同じ場合は、同じ番号を付す。

4. 所属機関名, 所属部署名および所在地の書式

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

- (1) 所属機関名および所属部署名は正式名称とし、○○大学 ○○学部○○学科, ○○大学 大学院○○系○○学専攻, ○○株式会社 ○○部, 財団法人○○ ○○研究所○○部まで記入する。
- (2) 所属機関名と所属部署名は全角スペースで区切る。
- (3) 所在地は、全角の括弧書きとする。
- (4) 所在地は、「〒」の後に、郵便番号を半角数字で記入し、都道府県名から記入する。なお、丁目、番地は半角数字を使用して記入する。

□：スペースを示す

○○○セメントを使用したコンクリートの長期暴露性状

[1行空]

[1行空]

東京幸三*1□北春男*2□豊島幸子*3□八重洲研二*2

[1行空]

[1行空]

*1□○○大学□○○学部○○学科(〒111-0003 ○○県○○市○○町2-3-15)

*2□○○大学□大学院○○系○○学専攻(〒114-0003 東京都○○区○○1-3-1)

*3□○○株式会社□○○部(〒111-0003 ○○県○○市○○区○○○2-1)

5. 要旨の書式

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

6. キーワードの書式

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

7. 本文の書式

キーワードから2行空けて**2段組**で、以下の要領で記入する。

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

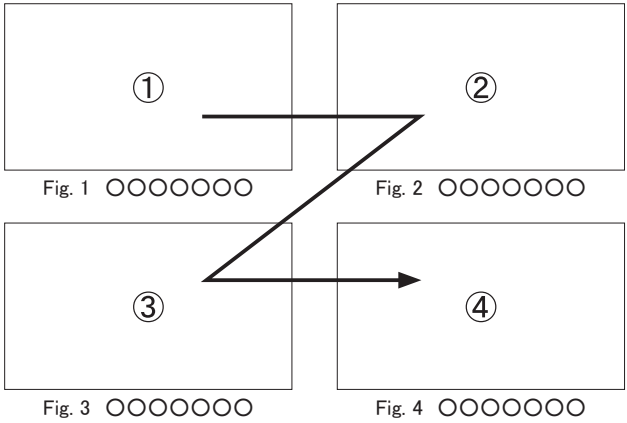
- (2) 各章から次の章の見出しに移る場合は改行し、必ず1行空ける。

□：全角スペースを示す

要 目 か ら	1行		[1 行 空]	
	2行		[1 行 空]	
	3行	キーワード：セメント、ピーライト系セメント、圧縮強度、水和熱、…		空
	4行		[1 行 空]	空
	5行		[1 行 空]	空
	6行	1. ○○○○○○○○○○	○○であった。	
	7行	1. 1○○○	[1 行 空]	
	8行	(1) ○○○	3. ○○○○○○○○○○	
	9行	a)○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	
	10行	[1 行 空]	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	
	11行	2. ○○○○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	

8. 図、表および写真

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



9. 数式の書式

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

□：全角スペースを示す

1行		[1 行 空]	
2行	□□□□Y=√ax+b		[1]
3行		[1 行 空]	
4行	□□□□ここにa：実験定数		
5行	□□□□b：実験定数		
6行		[1 行 空]	
7行	式 [1] に示すように、○○○○○○○○○		

10. 参考文献の引用

- 本文中の該当箇所の末尾に、以下の要領で記入する。
- (1) 半角英数字を使用して、文献番号を上付き片括弧で記入する。
- (2) 参考文献が複数ある場合は、文献番号をカンマ「,」で区切り、文献番号が連続する場合は必要に応じて「～」を使用し、最後に片括弧を記入する。

1行	○○○らが提唱する理論式 ^{1, 2)} をもとに、本実験
2行	結果の解析を行った。その結果、既往文献 ²⁻⁸⁾ と

11. 謝辞

- 謝辞を入れる場合は、本文末尾から1行あけ、ゴシック体(MSゴシックなど)で「謝辞:」を左詰めで記入し、改行後に記入する。

本文末尾 から	1行	[1 行 空]	空
	2行	謝辞：	
	3行	本実験は、○○○○○○○○○○○○○○○○○	

12. 参考文献

- 本文または謝辞の末尾から1行あけ、以下の要領で記入する。
- (1) ゴシック体(MSゴシックなど)で「参考文献:」を左詰めで記入し、改行後に書き始める。
- (2) 記載の順番は文献番号、著者名、論文標題、雑誌(書)名、巻号、発行者名(書名の場合)、頁(始まりと終わり)発行年(半角括弧で囲む)とする。
- (3) 頁の表記は、一頁のみの場合は「p. ○○」とし、複数頁の場合は「pp. ○○ - ○○」とする。
- (4) 項目の区切りは、日本語文献の場合は読点「、」を、日本語以外の文献の場合はカンマ「,」を使用する。但し、発行年の前には入れない。
- (5) 日本語文献の場合、著者名は必ずフルネームを記入し、姓名の間にスペースを入れない。著者間の区切りは読点「,」を使用し、著者が3名を超える場合は筆頭著者以外を「ほか」として省略する。
- (6) 日本語以外の文献の場合、名の頭文字を先に、姓を後に記入する。著者間の区切りはカンマ「,」を使用し、著者が3名を超える場合は筆頭著者以外を「et al.」として省略する。

本文 または 謝辞末尾 から	1行	[1 行 空]	空
	2行	参考文献：	
	3行	1) 原田克巳ほか：画像解析装置を用いた硬化コンクリ	
	4行	ート中の気泡組織測定方法、セメント・コンクリート、	
	5行	No. 471、pp.22-28 (1986)	
	6行	2) C.Wang et al. : Rev. 26th Gen. Mtg. Cem. Assoc.,	
	7行	Japan, p.76 (1972)	

13. 標題、著者、所属、所在地、要旨およびキーワードの英訳

- 1段組みとし、以下の要領で記入する。
- 13.1 TITLE 参考文献より5行空けて、以下の要領で記入する。
- (1) 半角を使用して、中央揃えで記入する。
- (2) 全て大文字で記入する。
- (3) フォントサイズを14ptとする。

- (1) 半角を使用して，中央揃えで記入する。
- (2) ヘボン式ローマ字を使用して記入する。
- (3) 名は頭文字のみ大文字にし，姓はすべて大文字にする。
- (4) 著者間は，カンマ「，」で区切り，最終著者の前は「and」で区切る。
- (5) 著者名の末尾には*¹，*²の印を付け，所属機関名および所属部署名，所在地を導く。

- (1) 中央揃えで記入する。
- (2) 所属機関名のみ、半角の大文字で全てを記入する。
- (3) 所在地は都道府県名から記入する。

13.5 KEY WORDS ABSTRACTから2行あけ、ゴシック体(MSゴシックなど)で「KEY WORDS:」を左詰めで記入した後、続けて日本語のキーワードの英訳を頭文字のみ大文字にして列記する。

参考文献の末尾から

[illegible]

空
空
空
空
空
14pt
空
空

空
空

空
空

〒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
☎03-3914-2692
E-mail jca_event@jcassoc.or.jp

68

第78回 THE ANNUAL MEETING OF CEMENT
AND CONCRETE ENGINEERINGセメント
技術大会

2024年5月15日(水)~17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

形式: 会場(ライブ配信) 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
(下記QRコードよりお申し込みください)

特別講演 5月16日(木) 15:30~16:45

カーボンニュートラル実現に
向けたグリーンイノベーション
基金事業の取組

国立研究開発法人

新エネルギー・産業技術総合開発機構

理事 弓取 修二 氏



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
○セメント系新材料○セメントの水和
○コンクリートの耐久性 等

○環境・リサイクル

一般社団法人セメント協会

問合せ先: 研究所 技術情報グループ TEL.03-3914-2692

セメント技術大会
ホームページはこちら