

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和5年10月15日発行 ISSN0371-0718

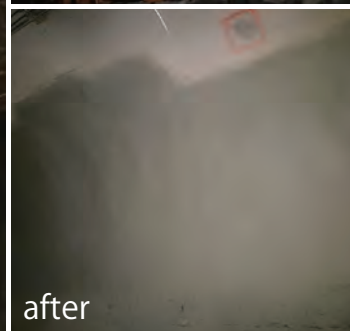
2023
No.920

10

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



before



after



ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO

ケミカルで社会インフラの発展を支える

kao
きれいを ところに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

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

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 02NL

減水剤(遅延形) ヤマソー R

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤 (耐寒促進剤 タイプI) ヤマソー ウィン

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

AE減水剤(高機能・高保持タイプ) ヤマソー 22NEX

あした
明日へ繋げる

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

収縮低減剤 ヤマソー DS100

AE減水剤(高機能タイプ・フリーディング低減型) ヤマソー 16NB

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 09NL

高性能AE減水剤(収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020



山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

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

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

セメント・コンクリート 10

CEMENT & CONCRETE
2023 No.920

もくじ

- | | | |
|----|---|-----------|
| 02 | 地中既存杭の引抜孔処理におけるセメント系材料の活用 | … 稲積 真哉 |
| 08 | ラテックス改質速硬コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装の実橋における供用性評価 | … 小島 克仁ほか |
| 14 | 吹付モルタルを用いた外殻先行型コンクリート構造物構築工法による施工の合理化 | … 小林 聖ほか |
| 20 | 「リフレドライショット工法」の小断面補修工事への適用事例 | … 明石 昌之ほか |
| 28 | すいそう
海と川と水にまつわる思い出話 | … 前川 宏一 |
| 30 | 寸思寸言
ひきだしの奥から | … 宮川 豊章 |
| 32 | 増粘性高分子によるコンクリートの加振変形性向上の検討 | … 島田 恒平ほか |
| 37 | セメント系固化材で改良した火山灰質粘性土の長期強度発現性と変質の熱力学的平衡計算による検討 | … 泉尾 英文 |
| 42 | 高機能養生剤「クリーンセイバー [®] 」の基本特性 | … 丸田 浩ほか |
| 50 | 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
β -C ₂ S 錯体重合法による高C/S比のC-S-Hの合成と高活性 β -C ₂ Sの作製 | … 斎藤 豪 |

- | | |
|----|--------------------------------------|
| 27 | 第38回(2024年度)セメント協会研究奨励金
テーマ募集のご案内 |
| 58 | 第55回セメント協会研究所講演会 ご案内 |
| 59 | 外国雑誌の記事情報 |
| 60 | EVENT GUIDE |
| 62 | セメント・データファイル |
| 64 | 主要建設工事・資材統計 |
| 66 | 11月号予告 |



今月の表紙

トンネル内における小断面補修
工事に「リフレドライショット工法」
を適用[滋賀県/提供: 田中シ
ビルテック(株)]

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

地中既存杭の引抜き処理におけるセメント系材料の活用

Usage of cement-based materials on backfilling boreholes generated removal of existing piles

稲積 真哉

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期に整備された社会基盤構造物や建築構造物の老朽化が進み、それらの持続可能な維持管理が喫緊の課題となっている。その中には、1964年に開催された東京オリンピックに向け整備された東京国際空港、首都高速道路ならびに東海道新幹線も含まれる。さらに、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震による東日本大震災などの巨大自然災害を契機とした防災意識の高まり、少子高齢化と人口減少による世帯数や公共施設の減少などに伴い、構造物の解体や再利用の需要は今後より一層高まる傾向にあると予測される。

わが国の都市の多くは軟弱地盤上に位置しているため、既設構造物の多くは杭基礎が採用され、都市域の地中には杭基礎が無数に存在している状態である。杭基礎のうち、既設構造物の解体撤去後に残存したものが「地中既存杭」と呼ばれる。地中既存杭は、**図1**のように、その有用性が認められなければ産業廃棄物として扱われるが、地中での残置や引抜き撤去後の埋戻し不良など適切に処理されていない場合が多数である^{1~3)}。土地売却取引などでは、地中既存杭の存在

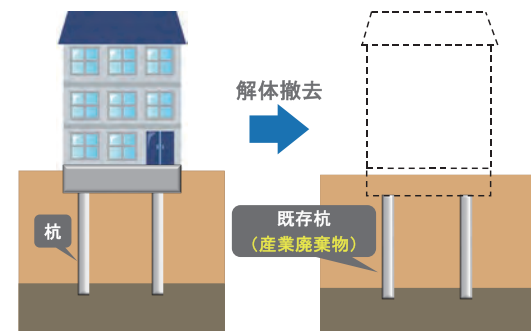


図1 産業廃棄物に指定される既存杭（構造物取壊し後）



写真1 引抜き孔の埋戻し処理の不良に起因した局所的な沈下発生事例

がしばしば瑕疵としてトラブルの原因となっており、引抜き撤去は、土地活用・未来の資産形成にも影響する重要なファクターであるといえる。よって、既設構造物の解体撤去後は、確実に地中既存杭を引抜き撤去する必要がある。一方、**写真1**は、地中既存杭の引抜き撤去後における埋戻し処理の不良に起因した局所的な地盤沈下（地盤環境悪化）の一事例である。

このように、地中既存杭に対する現在の引抜き撤去においては、“地中残置”と“引抜き撤去後の埋戻しによる処理不良”という2つの大きな問題が、未だ解決さ

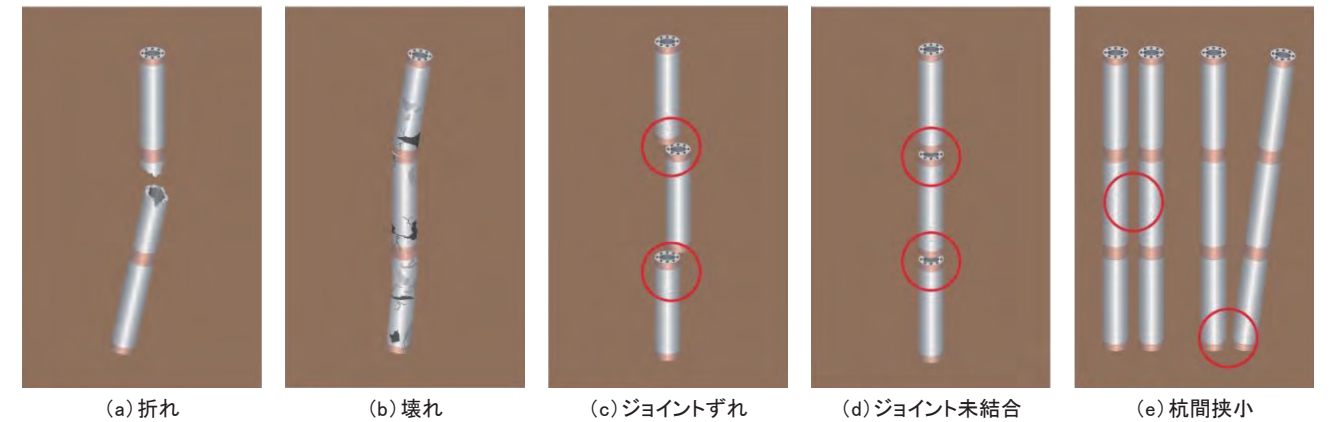


図2 打設要求性能を満たさない不健全な状態で埋設された既存杭の例

れていない^{1~3)}。既存杭の引抜き撤去は高額な費用を要し、かつ見えない地中での作業であるが故、過去数十年間にわたって大きな技術革新の機会に乏しい。現場での経験のみに依存した形で施工され、地中既存杭の引抜き撤去に関する指針なども存在しない。そのため、地中既存杭の引抜き撤去で発生する様々な問題の発生要因や改善点なども不明瞭である。

本稿では、地中既存杭の確実な撤去の必要性、ならびに土砂やセメント系材料を活用した埋戻し処理の課題と対応策について紹介する。

2. 地中既存杭の引抜き撤去

2-1. 引抜き撤去の事故発生の例

地中既存杭の引抜き撤去工法として、現状、ワイヤーロープを用いた工法が一般的に採用されている（以降、一般工法と略す）。

一般工法に関する施工手順の概略は、(i) 地中に存在する地中既存杭の外周をケーシングで削孔し、杭周面の地盤を乱す、(ii) ケーシングを引き上げた後に地中既存杭にワイヤーロープを玉掛けし、クレーンなどによって引き抜く、の2工程である。地中既存杭を引き抜く際にワイヤーロープを玉掛けするため、ケーシングを一旦地上に引き上げる必要があるが、その際、引抜き孔壁の崩壊や土砂の落込みによって地中既存杭周面の摩擦力が増加し、引抜き開始と同時に想定以上に負荷がかかったワイヤーロープが破断した事例がある^{1~3)}。また、

引き抜いた地中既存杭の引倒しの際に杭が折れて落下したり、ワイヤーロープが破断してその反動により重機が転倒するなどの二次災害を引き起こす可能性もある。

2-2. 確実な引抜き撤去の必要性

地中既存杭の地中残置は、跡地での新設の基礎工打設において残置した杭が地中障害物となり、工期遅延や新設杭打設の芯ズレ発生の原因となる。すなわち、地中既存杭の地中残置は新設の基礎工（例えば新設杭）の打設に悪影響を及ぼすことになる。地中既存杭の地中残置の原因として、引抜き撤去の工法的な問題、特に引抜き工程において地中既存杭を破壊し、折れた杭が地中に残置する可能性が指摘できるものの、同時に**図2**に示す打設要求性能に満たない不健全な状態で埋設されている地中既存杭が存在していることも挙げられる^{1~3)}。また、地中既存杭の種類によっては杭構造自体に破断しやすい箇所が存在し、それが原因で地中残置する場合もある。

地中に存在している地中既存杭は、打設当時に採用された打撃工法の影響、上下杭の継ぎ手不良、および打設中の破損などによって健全な状態を維持していない場合がある^{2,3)}。これらの地中既存杭について、一般工法を用いて引抜き撤去する場合、ワイヤーロープによる引抜き時に地中既存杭が分離し、地中にその一部が残存する可能性がある(**図3**)。このような残置杭が新設杭に対して及ぼす影響については不明確なケースが多いが、上述のように残置杭が新設杭に干渉



いなづみ しんや / INAZUMI Shinya
芝浦工業大学
工学部 土木工学科
教授 博士(工学)



図3 地中既存杭の引抜き撤去において生じ得る主な問題点

する場合には施工上の大きな障害となることは明らかである。また、新設杭に干渉しない場合であっても、地震動の検討の際に杭の水平地盤ばねの評価に影響を及ぼす可能性が示唆されている⁴⁾。土地の活用を持続的に繰り返していくには、地中既存杭を確実に引抜き撤去することが必要である。

3. 引抜孔の埋戻し処理

3-1. 埋戻し処理の重要性

引抜き撤去工法を用いて地中既存杭を引き抜いた際には、引抜孔の処理が必要不可欠である。引抜孔を適切に処理しない場合、引抜孔は不良地盤となり、様々な問題を誘発することになる。そのため、引抜孔の処理として、充填材などによる埋戻し処理が実施される。なお、埋戻し処理における充填材には、天然材料として砂や碎石、またセメント系材料としてセメントミルクや流動化処理土が挙げられる。

引抜孔を空洞として放置している場合、両側の地盤が引抜孔に倒れるように変位し、引抜孔付近の地表面で著しく地盤沈下が発生する。引抜孔に充填材を注入した場合、地盤と引抜孔が横方向に一体となって変位し、引抜孔付近の地表面で微小な地盤沈下が生じる。また、地震動が作用した場合、引抜孔を空洞として放置すれば地表面の広い範囲において非常に大きな沈下が発生するのに対して、引抜孔に充填材を注入した場合では沈下の発生が大幅に抑制される。これ

らより、引抜孔に対して充填材による埋戻しを行うことは、地盤の安定化に対して有用である。

ただし、充填材の強度が原地盤の強度に対して過度に小さいと、周辺地盤が引抜孔部へ沈み込むように応力が作用するため、引抜孔が存在しない地盤の挙動と大きく異なる可能性がある。よって、充填材による引抜孔の埋戻しにおいては、充填材の強度を原地盤と同程度にすることにより、原地盤の復元性を高めることが重要である⁵⁾。

一般工法の場合、充填材は引抜孔上部からの流し入れるため、引抜孔への充填量は地中既存杭の体積に相当する分量しか入らない。それ以上の量を引抜孔へ充填しようとしても、引抜孔からオーバーフローする。その上、深度に関係なく全長にわたって確実に充填材を注入することは困難であり、土塊などの落込みも懸念される(図4)。不均一な充填材注入は引抜孔内に空隙や軟弱部を発生させ、当該地の陥没、周辺地盤の沈下ならびに作業地盤不良による重機の転倒などの重大な事態を引き起こす原因となる。また、埋戻し箇所周囲の地盤が緩むことによって新設杭の周面抵抗が発揮できない場合や、地中既存杭の先端地盤を地中既存杭の引抜き撤去時に乱すことで新設杭の先端支持力が発揮できない場合、新設杭が傾斜や偏心を起こして再施工に至る場合もあり、新設杭の施工品質および工期に大きな影響を与える^{1~3)}。

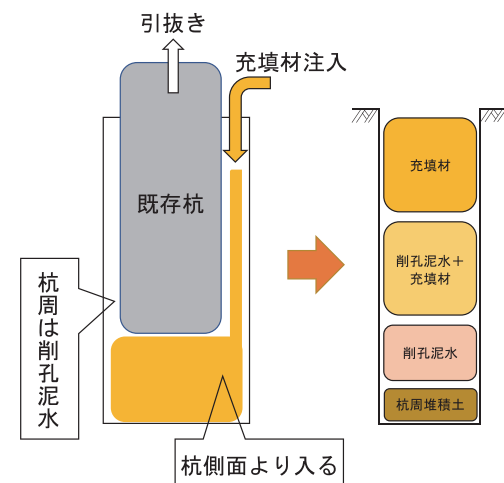


図4 充填材による引抜孔の埋戻し処理の概念(層構造を成す埋戻し状態)

3-2. 充填材に求められる性能

地中既存杭の引抜き撤去に伴う引抜孔の発生は地盤沈下などを誘発するが、充填材によって埋戻しを行うことで大幅に改善することが明らかとなっている⁶⁾。引抜孔に対する充填材は2つに大別され、土質系充填材として天然土質材料、セメント系充填材として流動化処理土やセメントミルクを挙げることができる。

土質系充填材である土砂または砂による埋戻しは、施工が容易かつ安価で、天然材料を用いる点が利点として挙げられ、多く採用されている。しかしながら、引抜孔の埋戻しでは転圧が困難であることから、均一な充填が難しく、安定した強度を確保できない。また、原地盤に対して緩い土砂を埋め戻したことにより、その後1ヶ月程度まで埋戻し部の沈下が発生した事例や、大雨の影響で沈下や陥没が生じた事例がある^{1~3)}(写真1)。

一方、近年ではセメント系充填材である流動化処理土やセメントミルクが多く採用されている。流動化処理土は、土砂、水、およびセメント系固化材を混合して得られる充填材であり、土砂に建設発生土を用いるリサイクル材である。高い流動性とセメント系固化材による自硬性を有するため、微小な空間へも充填され、締固め不可能な空間でも強度を発揮する特徴を有する。また、流動化処理土は遮水効果を有するため、地下水の浸入に対しても安定した強度を保つ利点がある。しかしながら、流動化処理土は外部施設からの搬入となるた

め、使用できる現場は搬入可能な地域に限られ、施工状況に合わせての打設が難しい⁷⁾。

セメント系充填材であるセメントミルクは、水、セメントおよびベントナイトを攪拌混合した充填材である。セメントミルクは高い流動性と自硬性を有するため、微小な空間にも充填されて強度を発揮する。また、混合管理によって強度などの品質管理が容易であり、且つ汎用のプラント設備にて混練作業を実施できるため、現場の施工状況に合わせて適時作製することが可能である。そのため、引抜孔の処理に止まらず、杭打設や山留め、地盤改良などでも多く採用されている⁸⁾。しかしながら、一般的にセメントミルクは、水とセメントの材料分離により深度方向に強度が不均一になる可能性がある。また、硬化前の地下水浸入によって強度が所定の値よりも低下する、あるいは固化不良が生じるなどの可能性がある。

上記の課題を解決し対象地盤の復元性を高めるためには、材料分離を起こさずに深度とは無関係に均質な強度を発揮する性質および早急なゲル化、また早期に強度を発揮して地下水の浸入を防止する性質を有する充填材が求められる。

充填材による引抜孔埋戻し処理後の地盤には、例えば新設杭の打設時に掘削可能且つ崩壊しない強度が必要であり、理想的には原地盤の強度特性と差がないことが望ましいとされるが、地盤は様々な地層が複雑に堆積しており、要求される強度は各層において変化していく⁴⁾。一方、現状として地中既存杭引抜きおよび引抜孔の埋戻し処理が及ぼす影響について精査されることは少なく、その評価に関して適切なマニュアルなども存在しない^{1~3)}。そのため、充填材の改良は元より地中既存杭引抜きとその後の埋戻し処理について、指針などの策定は急務であるといえる。

3-3. 埋戻し処理における攪拌混合の必要性

引抜孔に対して充填材で埋戻し処理を実施する場合、一般的に図4で示されるような層構造を成す埋戻し状態を呈する。これは、引抜孔上部より充填材で埋

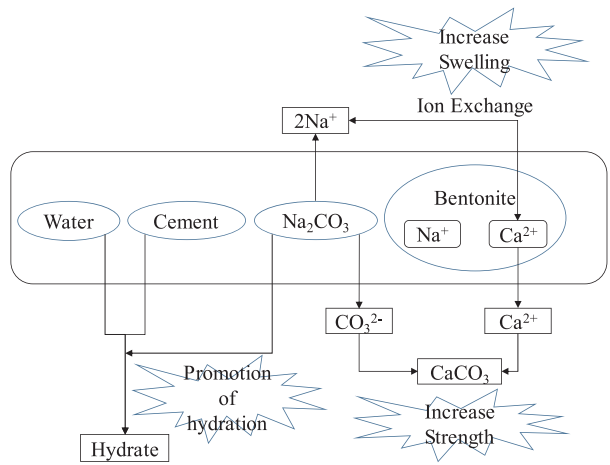


図5 炭酸ナトリウムを混合したセメント系材料に関する諸特性の発現機構

戻し処理を行う以前に、引抜き孔内ではすでに地中既存杭周囲に付着していた土砂ならびにケーシング削孔時の削孔液（削孔泥水）が、それらの比重に依存して沈降堆積しているためである。そのため、図4に示される埋戻し状態では、引抜き孔の全深度において均一な埋戻し処理が完了したとは判断し難い。すなわち、充填材による埋戻し処理では、充填材を注入した後、引抜き孔内の攪拌混合などによって、引抜き孔内の全深度にわたって均一な埋戻し層が達成できるように努めなければならない。ただし、埋戻し処理において十分な攪拌混合によって均一な埋戻し層が達成された場合でも、その後の材料分離に伴う深度方向の不均一な強度発現に注意を払う必要がある。

4. 引抜き孔の埋戻しを対象としたセメント系充填材の開発事例

4-1. 炭酸ナトリウムを混合したセメント系材料

一般的に、セメント系充填材は水、セメント、および土砂の材料分離により、引抜き孔の深度方向で強度が均一でなくなる可能性がある。これらの課題を解決するために、対象の引抜き孔ごとに強度調整が容易で、迅速かつ確実に所定の強度を確保できるセメント系充填材が開発されている。具体的には、セメント系充填材に炭酸ナトリウム（ Na_2CO_3 ）を混合することで、材料

分離を抑制し、迅速なゲル化を促進する（図5）。

これまでの開発により、以下のことが明らかになっている⁸⁾

(1) Na_2CO_3 を混合することで、セメント系充填材の強度が増加する。特に、初期強度の増加効果により、迅速に引抜き孔を安定化させることが可能である。

(2) Na_2CO_3 を混合することで、セメント系充填材は打設後約1時間程度でゲル化する。この迅速なゲル化により、地下水の浸入を防止し、セメント系充填材が安定して所定の強度を発揮することができる。

(3) Na_2CO_3 を混合することで、セメント系充填材のブリージング現象が抑制される。これにより、深度方向での強度差が生じ難くなる。

(4) Na_2CO_3 を混合しても、セメント系充填材の流動性は損なわれず、作業性が確保される。

(5) 水に対して土砂、セメント、 Na_2CO_3 の順に混合し、各材料の投入ごとに十分に攪拌することで、材料分離の抑制効果と迅速なゲル化が発揮される。

(6) Na_2CO_3 によるセメントの迅速なゲル化は、材料分離の抑制に寄与し、炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）の生成が強度増加の要因である可能性が示唆されている。

4-2. 増粘剤を混合したセメント系充填材

セメント系充填材は、ゲル形成により増粘されて材料分離が抑制されると考えられているが、まだ完全な技術ではない。例えば、打設までの待機時間による強度低下や材料分離による強度の均質性低下が報告されている^{9,10)}。前者の強度低下に対しては、打設効率の向上によって経過時間に応じた強度低下を抑制できる可能性がある。後者の均質性低下に対しては、セメント系充填材の構成材料が十分に混合されていない可能性や、地下水の浸入による部分的な希釈の可能性が考えられる。そのため、セメント系充填材に対して、外水と混ざり合わない性質を付与することで、引抜き底からセメント系充填材を打設し、引抜き孔内に存在している削孔泥水と置換することで、各構成材料の偏在や外水による部分的な強度低下を抑制できる可能性がある。言

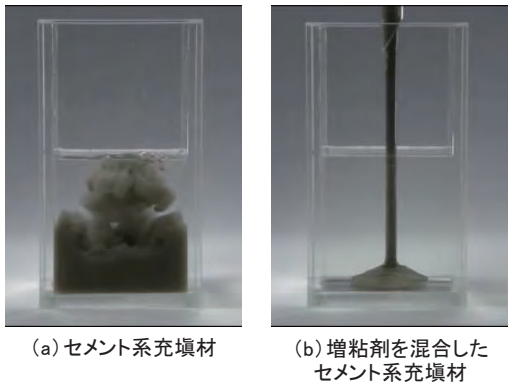


写真2 増粘剤を混合したセメント系充填材のレオロジーの概観

い換えると、セメント系充填材には十分な材料分離抵抗性が必要であり、特に削孔泥水や水中での分離性を付与することが課題解決の一助となる可能性がある。

増粘剤は、対象材料の流動性や粘度といったレオロジー特性を変化させるために使用される化学物質であり、天然由来や合成された有機や無機のものなどが存在する。増粘剤は液体や半固体の対象材料に混合されることで粘度を増加させる。これにより、対象材料の流れや粘着性を向上させ、必要な性状を得ることができる。増粘剤を混合したセメント系充填材（写真2）に関しては、以下のことが明らかになっている¹¹⁾

(1) W/C=400%以上の非常に薄いセメント系充填材でも増粘剤の混合によりブリージングの発生を抑制することが可能である。

(2) セメントの水和発熱の解析により、増粘剤はセメントの水和に悪影響を与えないことが示されている。

(3) 増粘剤を混合したセメント系充填材は2時間にわたり、そのレオロジー状態に変化がない。また、降伏値が非常に小さいか存在しないため、自己流動性を長時間維持することが可能である。

(4) 増粘剤を混合したセメント系充填材は削孔泥水中に逸散せず、増粘剤を混合したセメント系充填材を泥水中に打設しても、削孔泥水との意図しない混ざり合いを防ぐ可能性が示唆される。

5. おわりに

現在の地中既存杭の引抜き撤去では、引抜き杭の残存、新設杭への悪影響、山留壁の変形、周辺地盤の沈下、さらに当該跡地の利用に関連する様々な地盤環境上の問題が発生している。特に跡地の利用時には、地中に残された地中既存杭が地盤環境の悪化を引き起こし、土地の売買取引では「隠れた瑕疵」として社会問題となることが多く見受けられている。

一方、地中既存杭の引抜き撤去は、過去数十年間にわたり大きな技術革新がなく、実務に基づいて行われてきた。地中既存杭の抜き跡地盤の安定化に関する規定や指針が存在せず、未だ多くの課題が残っている。また、残存する地中既存杭が新設杭や周辺地盤に与える影響についても解明されていない状況である。将来的な土地利用を考慮し、地中既存杭の引抜き撤去から抜き跡地盤の安定化までの技術を高度に確立する必要がある。このうち、抜き跡地盤の安定化技術の確立にあたっては、セメント系充填剤に関するさらなる技術開発が重要となると考える。

【参考文献】

- 1) 稲積真哉／既設構造物の解体撤去に伴う既存杭の諸問題とその引抜き工法の高制度化、建設機械、Vol. 55, No. 5, pp.60～64, 2019
- 2) 桑原秀一、浜口伸一、島田義勝、稲積真哉／既存杭の引抜き工における杭先端パワーチャッキング工法の施工理論と施工事例、地盤工学ジャーナル、Vol.14, No.1, pp.69～76, 2019
- 3) 稲積真哉、浜口伸一、桑原秀一／改良型エアリフトによる既存杭抜跡地盤の埋戻し処理工法の性能評価、建設機械施工、Vol.70, No.9, pp.91～101, 2018
- 4) 桑原文夫／杭の支持層到達を確保するための方策、基礎工、Vol.45, No.8, pp.2～7, 2017
- 5) Shakya, S., Nakao, K., Kuwahara, S. and Inazumi, S. / Impact of the boreholes on the surrounding ground, Water, Vol.15, Issue 1, 188, 2023
- 6) Inazumi, S., Kuwahara, S., Jotisankasa, A. and Chaiprakaikew, S. / Construction method for pulling out existing piles and influence of pulling-out holes on the surrounding ground, Geotechnical and Geological Engineering, Vol.38, Issue 1, pp.6107～6123, 2020
- 7) 鳥光照雄、岩淵常太郎、坂本克美、小橋秀俊／土を固める原理と応用、土と基礎、Vol.52, No.12, pp.101～108, 2004
- 8) 稲積真哉、桑原秀一、橋本功／既存杭の引抜きを対象とした炭酸ナトリウム混合セメントベントナイト系充填材、材料、Vol.68, No.7, pp.572～577, 2019
- 9) 戸村豪治、湖山美鈴、高岡雄二、西成田由、宮田勝利／既存杭撤去後の泥水固化による埋戻し部の性状、三井住友建設技術研究開発報告、第17号, pp.31～40, 2019
- 10) 崎浜博史、堀井宏謙、八重樫光／既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された流動化処理土の品質調査、2014年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会・建築デザイン発表会概要集, pp.435～436, 2014
- 11) 齊田和哉、上原知己、稲積真哉／界面活性剤型液体増粘剤で増粘させた高水粉体比のセメントミルクの物性、材料、Vol.71, No.5, pp.475～480, 2022

ラテックス改質速硬コンクリートを用いた 橋面コンクリート舗装の 実橋における供用性評価

Evaluation of Serviceability of Concrete Pavement on RC Bridge Deck Using
Latex Modified Rapid Hardening Concrete

小島 克仁 岸良 竜 長塩 靖祐 岡田 明也 森 寛晃

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの道路橋について、今後急速に老朽化が進行することが懸念されている。道路橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版と称す)については、交通荷重の繰り返しによる疲労が主な損傷とされてきたが、近年ではコンクリートの凍害やアルカリシリカ反応(以下、ASRと称す)などと疲労の複合劣化が課題となってきた。床版上面から侵入する水や凍結防止剤由来の塩化物イオンが、疲労や凍害、ASRを促進することが知られているが、これら劣化因子の侵入への対策としては、床版上面への

防水層の設置が一般的である。しかし、防水層は定期的な更新が必要であり、また、古い道路橋ではそもそも防水層が設置されていないことも多い。

防水層を介して床版上の舗装はアスファルト舗装が主流であるが、コンクリート舗装に置き換えることで、防水層に頼らずとも劣化因子の侵入防止が期待できる。さらに、床版の上面増厚工法と同様に補強効果を得ることができ、舗装としての耐久性にも優れることから、きわめて合理的な対策といえる。床版上のコンクリート舗装は、近年、土木学会の指針類^{1,2)}でも技術的な情報について体系的な整理がなされており、普及に向けた環境が整いつつある。

筆者らは、速硬性を有し、かつ劣化因子の浸透に対する抵抗性に優れたラテックス改質速硬コンクリート「LMFC®」の橋面コンクリート舗装への適用性を検討してきた³⁾。本稿では、実橋梁のRC床版上でLMFC®を用いた橋面コンクリート舗装の試験施工を行い、施工性の確認と供用4年までの路面性状を調査した結果を報告する。

2. 試験施工の概要

2-1. 対象橋梁

対象とした橋梁は、北海道北斗市市街地と戔朗鉦山をつなぐ市道にある宗山川3号橋(供用開始1993年、橋長29.3m、有効幅員7.5m、橋面積220m²)で

表1 橋梁の概要

橋梁名	宗山川3号橋
供用開始	1993年
上部構造形状	鋼溶接橋1桁(非合成)
床版種類	場所打床版
活荷重・等級	TL・20
適用示方書	平成2年道路橋示方書
橋長	29.3m
総径間数	1
有効幅員	7.5m
橋面積	220m ²

表2 LMFC®の使用材料

材料	種類	記号	備考
水	工業用水	W	-
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度 3.16g/cm ³
混和材	速硬性混和材	F	密度 2.93g/cm ³
細骨材	砕砂	S	表乾密度 2.72g/cm ³
粗骨材	碎石	G	表乾密度 2.73g/cm ³
混和剤	ラテックス混和液	L	スチレン・ブタジエンゴムラテックス乳液
	AE減水剤	Ad	リグニンスルホン酸系
	硬化時間調整剤	Re	オキシカルボン酸系

表3 LMFC®の配合

施工 区画	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								フレッシュ性状 ^{a)}			材齢6時間 圧縮強度 (N/mm ²)
			W	L	C	F	S	G	Ad	Re	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	
L側	48.3	45.0	63	120	378	167	799	980	1.9	0.654	19.0	2.5	11	32.7
R側										0.545	22.0	3.2	5	28.4 ^{b)}

a) 目標スランプ 16.0～22.0cm、目標空気量 2.0±1.5%

b) 材齢7時間における測定結果

ある。表1に橋梁の概要を示す。試験施工前の既設のRC床版は、点検による判定区分は「I」であり、道路橋床版としての機能に支障は生じていない状態であった。一方、RC床版上のアスファルト舗装は、鉦山から骨材を運搬する大型車両の往来や凍結融解作用などにより、ひび割れやポットホールなどの損傷が生じ、補修が繰り返されている状況であった。

2-2. LMFC®の概要

LMFC®は、スチレン・ブタジエンゴム(SBR)ラテックスと特殊アルミネート系の速硬性混和材を組み合わせたラテックス改質速硬コンクリートである。LMFC®は、材齢6時間で24N/mm²以上の圧縮強度を発現する速硬性を有し、SBRラテックスの混和により、曲げ強度や付着強度といった力学特性も向上している。また、塩化物イオンや炭酸ガスなどの劣化因子の侵入に対する抵抗性にも優れている⁴⁾。

LMFC®の使用材料および配合は、表2,3のとおりである。硬化時間調整剤(Re)の使用量は、所要のコンクリートの可使時間が得られるように外気温に応じて調整した。圧縮強度の目標は材齢6時間で24N/mm²以上とし、表3に示すとおりいずれの施工区画でも目標を満足した。

2-3. 施工の概要

施工は2017年11月に、一車線ごと交通規制を行い2回に分けて実施した。既設舗装の打換えにあたり、コンクリートの舗装厚は既設アスファルト舗装と同じ平均7cmとした。まず、既設アスファルト舗装を撤去し、舗装との付着界面となる床版上面をスチールショットブラスト(投射密度150kg/m³)によって下地処理を行った。その後、接着剤の有無による既設RC床版とLMFC®との付着性の比較を行うことを目的に、L側では既設RC床版上にエポキシ樹脂系のプライマーおよび接着剤を全面塗布した。



こじま かつひと / KOJIMA Katsuhito
太平洋セメント(株) 中央研究所
研究開発推進部 高機能コンクリートチーム



きしら りょう / KISHIRA Ryo
同上
博士(工学)



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



おかだ あきや / OKADA Akiya
同上
機能性材料グループ



もり ひろあき / MORI Hiroaki
太平洋セメント(株) 中央研究所
研究開発推進部 高機能コンクリートチーム
リーダー



写真1 LMFC®の製造状況



写真2 施工状況



写真3 供用後の状況

表4 調査項目および調査方法

調査項目	調査方法
平坦性	舗装調査・試験法便覧 S28
わだち掘れ	舗装調査・試験法便覧 S30
すべり抵抗性	舗装調査・試験法便覧 S021-3
きめ深さ	舗装調査・試験法便覧 S022-3
付着性	打音検査, インパクトエコー法
圧縮強度	リバウンドハンマー (JIS A 1155) により得られた反発度から算出
表面透気係数	トレント法による表面透気試験
表面吸水速度	SWAT 法

LMFC®の製造は、施工現場で行った。あらかじめ計量された材料をフレキシブルコンテナバック(フレコン)に封入し、車両上に搭載したパッチ式強制二軸練りミキサ(公称容量0.5m³)を用いてコンクリートを練り混ぜた(写真1)。なお、フレコン内では、粉体(セメント・速硬性混和材)と、表面水を管理した細・粗骨材を、それぞれ独立して封入している。

写真2に施工状況を示す。現場で製造したLMFC®は、ショベルロードによって打込み箇所まで運搬し、棒状パイププレートにより締め固めを行った。仕上げ補助剤を使用しながらコテ仕上げを行った後、ほうき目仕上げを

行った。仕上げ後は、シートおよびマットで養生を行い、翌日に交通開放した。

施工中および交通開放前の目視確認では、LMFC®の施工時のプラスチック収縮ひび割れや硬化後の収縮・温度ひび割れは確認されなかった。写真3に供用後の状況を示す。

3. 供用性調査

3-1. 調査概要

表4に調査項目および調査方法を、図1に調査箇所

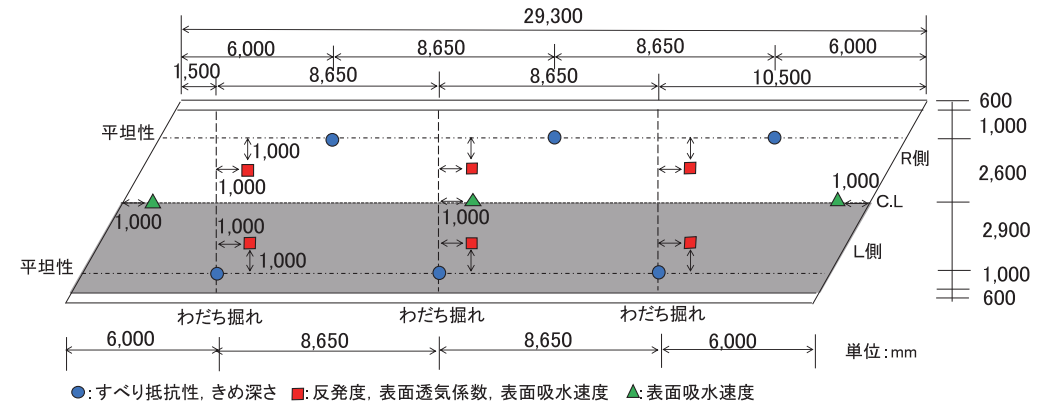


図1 調査箇所

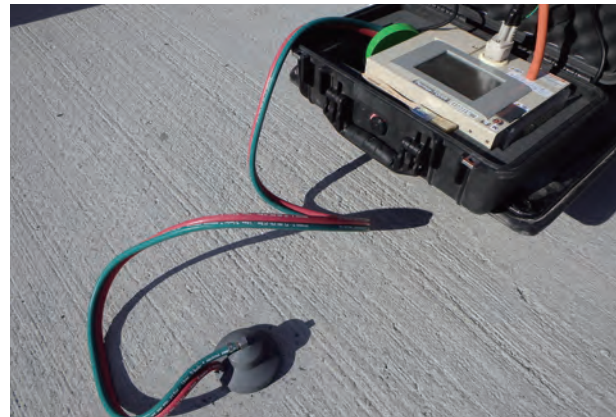


写真4 表面透気試験

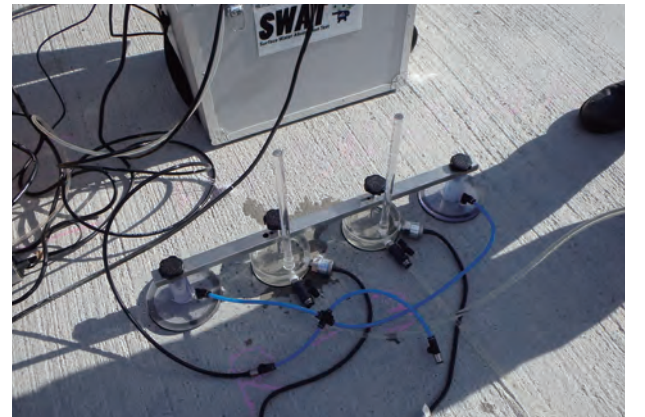


写真5 表面吸水試験

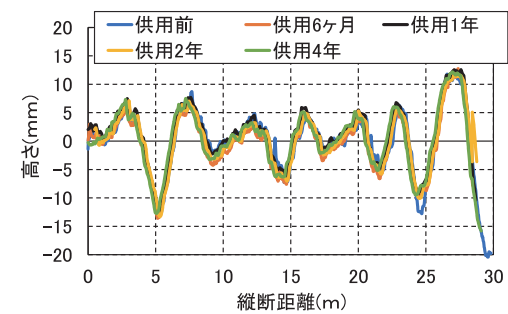


図2 舗装表面の縦断形状

所を示す。舗装性能の評価として、平坦性、わだち掘れ、すべり抵抗性およびきめ深さを測定した。また、既設RC床版との付着性について、打音検査ならびにインパクトエコー法により評価を行った。測定は、舗装表面を1×2m間隔で計90箇所を測定した。LMFC®の強度特性は、リバウンドハンマーを用いた反発度から推定した圧縮強度より評価した。物質浸透抵抗性は、表面透気試験(写真4)および表面吸水試験(写真5)により評価した。なお、表面吸水試験は、施工

継目位置でも測定した。表面透気試験および表面吸水試験では、供用6ヶ月での調査時にグラインダーで測定箇所の舗装表面を平滑にした。なお、測定面の含水率が5.5%以下であることをコンクリート・モルタル水分計により事前に確認した。

3-2. 調査結果

(1) 舗装性能

図2にマルチロードプロファイラで測定した舗装表面

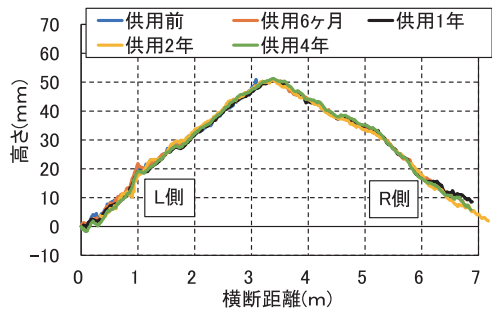


図3 舗装表面の横断形状

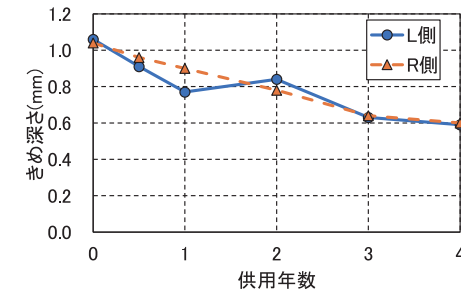


図5 きめ深さ

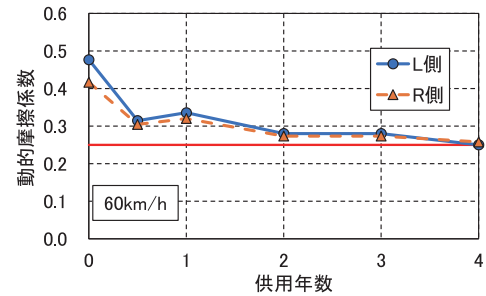


図4 動的摩擦係数

表5 推定強度

供用年数	推定強度 (N/mm ²)	
	L 側	R 側
供用 6 ヶ月	67. 8	65. 7
供用 1 年	67. 1	64. 2
供用 2 年	67. 7	68. 5
供用 3 年	59. 7	70. 4
供用 4 年	67. 0	63. 1

した一因と考えられる。

(2) 既設RC床版との付着性

打音検査ならびにインパクトエコー法の結果、いずれの測定箇所でも浮きや剥離が発生していると考えられる箇所は確認されなかった。このことから、接着剤の有無によらず、供用4年経過後もLMFC[®]と既設RC床版との一体性は維持されているといえる。

(3) 強度特性

表5にリバウンドハンマーによる強度の推定結果を示す。なお、強度の推定には、高強度コンクリートに適用できるとされる式(1)⁶⁾を用いた。

$$F=0.15+1.32\times R\cdots\cdots(1)$$

ここに、 F ：推定強度(N/mm²)、 R ：反発度、である。

推定強度は、供用6ヶ月で65.7～67.8N/mm²、供用4年目で61.9～70.0N/mm²であり、供用6ヶ月から供用4年まで大きな変化は見られなかった。

(4) 物質浸透抵抗性

図6に表面透気係数を示す。供用4年目における表面透気係数は、0.001～0.003×10⁻¹⁶m²となり、供用6ヶ月から大きな変化は確認されなかった。表6に表面透気係数の判定基準を示す。表面透気係数は、いずれの測定箇所においても評価基準の中でも最も高い

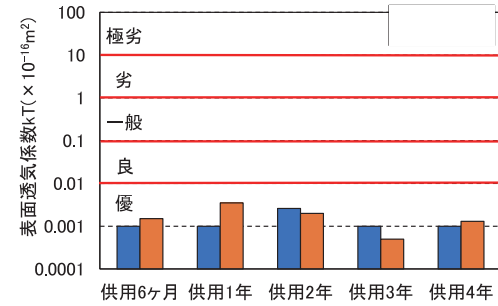


図6 表面透気係数

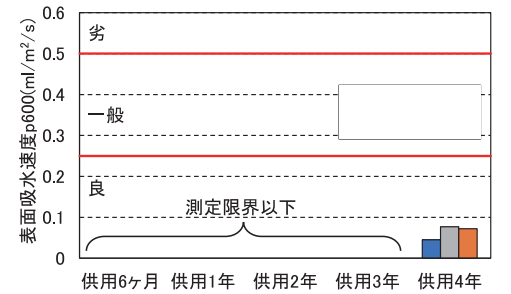


図7 表面吸水速度

表6 表面透気試験の判定基準⁷⁾

	優	良	一般	劣	極劣
透気性グレード	1	2	3	4	5
kT (×10 ⁻¹⁶ m ²)	0.001～0.01	0.01～0.1	0.1～1	1～10	10～100

表7 表面吸水試験の判定基準⁸⁾

	良	一般	劣
P600 (ml/m ² /s)	0.25 以下	0.25～0.5	0.5 以上

「優」(表面透気係数:0.001～0.01×10⁻¹⁶m²)であった。

図7に表面吸水試験により得られた注水600秒後の表面吸水速度を示す。供用3年まではいずれの測定箇所でも吸水は確認されなかったが、供用4年目では0.036～0.103ml/m²/sの吸水が確認された。車両走行に伴い、路面の表層に微細なひび割れが生じ、吸水に影響した可能性が考えられるものの、現時点では原因は不明である。ただし、表7に示す表面吸水試験の判定基準によれば、いずれの測定箇所も供用4年目における表面吸水速度は「良」と判断されることから、吸水の程度はごくわずかなものと考えられる。以上の結果から、供用から4年経過したLMFC[®]は高い物質浸透抵抗性を維持していることを確認した。

4. まとめ

早期交通開放性を有し、既設床版との付着性、劣化因子の侵入に対する抵抗性に優れるラテックス改質速硬コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装の供用性を評価することを目的に、実橋のRC床版上で試験施工を行い、供用4年にわたって路面性状などを調査した。その結果、平たん性やわだち掘れに大きな変化はみら

【参考文献】

- 1) 土木学会／セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針、コンクリートライブラリ-No.150, 2018
- 2) 土木学会／道路橋床版の長寿命化を目的とした橋面コンクリート舗装ガイドライン2020、鋼構造シリーズ36, 2020
- 3) 兵頭彦次、市川裕規、七尾舞、梶尾聡、長塩靖祐、杉山彰徳／ラテックス改質速硬コンクリートを用いた道路橋床版の長寿命化の取組み、セメント・コンクリート、No.867, pp8～14, 2019
- 4) 郭度連、森山守、菊池徹、李春鶴／ラテックス改質速硬コンクリートの基礎物性と耐久性能に関する基礎的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.37, No.1, pp1939～1944, 2015
- 5) 土木学会舗装工学委員会／路面テクスチャとすべり、舗装工学ライブラリー 10, pp1～12, 2013
- 6) 濱尚史、添田政司、徳光卓、大和竹史／反発硬度法による高強度・高流動コンクリートの強度推定に関する実験、土木学会大56回年次学術講演会講演概要集、第5部, pp858～859, 2001
- 7) R.J.Torrent / A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site , Materials and Structures, 25, pp358～365, 1992
- 8) 井川倫宏、玉岡優児、細田暁／表面吸水試験によるコンクリート構造物の表面品質の評価基準に関する基礎的研究、コンクリート工学論文集、第9巻, pp101～109, 2018

吹付けモルタルを用いた 外殻先行型コンクリート構造物構築工法による 施工の合理化

Rationalization of construction with on-site fabricated buried formwork using sprayed mortar

小林 聖 田口 翔也 デヴィン グナワン 曾我部 直樹

1. はじめに

わが国の鉄筋コンクリート構造物の構築では、鉄筋・型枠の組立て、コンクリートの打込み・締固めなどの多くの作業が未だ人力で行われている。特に、型枠は様々な形状の構造物に対して、現場の状況に応じて型枠を加工して組み立てる必要があり、歩掛りや品質・出来形精度が型枠大工の経験や能力に影響されやすい。したがって、近い将来、少子高齢化に伴って優秀な型枠大工が不足することで、工期の遅延や生産性および品質・出来形精度の低下が懸念されている。

その対策としてプレキャスト製の埋設型枠が挙げられ

る。工場で製作された所定の寸法の埋設型枠を揚重機で設置することで構造物の外殻を形成するものであり、型枠大工の技量に依存することなく構造物の品質・出来形精度を確保することができる。また、一般の合板やメタル型枠のような解体作業が不要となるため、生産性が向上する。しかし、埋設型枠は前述のとおり工場で製作される製品であり、工場から現場まで運搬が必要となる。さらに、土木構造物の多くは一品生産であり、構造物の形状が一定ではないため、埋設型枠を製作するための型枠がその都度必要となり、それらのコスト増により適用が拡大しない現状がある。

これに対して、筆者らは現場で簡易に外殻を形成する新しい施工方法として「外殻先行型コンクリート構造物構築工法」の検討を行っており、本稿ではその内容について紹介する。

2. 外殻先行型コンクリート構造物 構築工法のコンセプト

柱部材に対する具体的なコンセプトを図1に示す¹⁾。コンセプトの特徴は、構造物の外殻を吹付けモルタルにより先行して形成するところにある。事前に設置した芯材に対してモルタルを吹き付けることにより現地で構造物の外殻を形成し、その外殻の内部にコンクリートを打ち込むことで最終的な鉄筋コンクリート構造物を構築する。芯材としては、表1に示すように一般的に

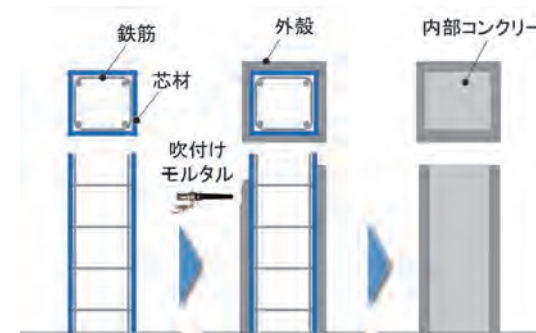


図1 柱部材に対する本工法のコンセプト

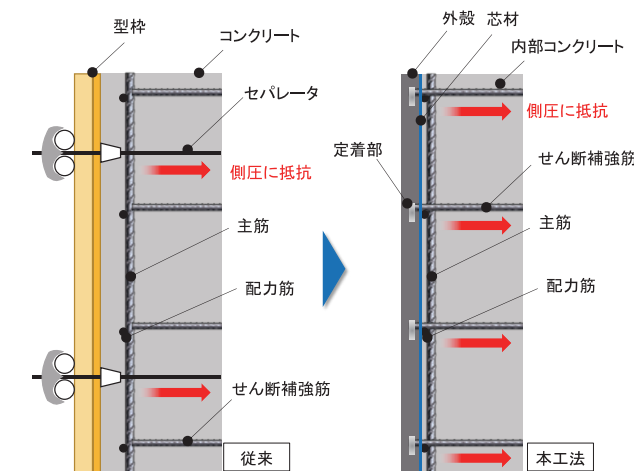


図2 本工法の側圧抵抗方法のイメージ図

鉛直打継部のコンクリート流出防止に使用されるラス網や、エアチューブに加え、耐アルカリ性のグラスファイバーネットなどが使用可能である。

さらに、本工法は、セパレータや支保工の追加が不要であるところも特徴である。外殻の内部にコンクリートを打ち込む際に、外殻はコンクリートの側圧に抵抗する必要がある、そのためにはセパレータや支保工の設置が必要となる。特に柱や壁のようにコンクリートの打込み高さが大きい場合には、打込み時の側圧も大きくなり、多くのセパレータや支保工が必要となることで生産性に影響することが懸念される。そこで、本工法では部材に配筋されるせん断補強筋をセパレータとして活用する新たな側圧抵抗方法を考案した²⁾。イメージ図を図2に示す。せん断補強筋をかぶり側に延長し、端部に定着部を設けて吹付けモルタルに埋め込むことで、せん断補強筋をコンクリート打込み時の側圧に対するセパレータとして機能させる。つまり、本設材であるせん断補強筋を活用することで、仮設材のセパレー

タや支保工の追加が不要となるため、現場作業を増やすことなく側圧に抵抗することができる。

本コンセプトを成立させるためには、①吹付けモルタルを鉛直面に施工した際に、自重ではがれ落ちることなく所定の厚さが確保できること、②構造物のかぶりとなる外殻は一般的なコンクリートと同等の硬化物性および耐久性を有すること、③外殻の内部にコンクリートを打ち込む際に側圧に抵抗できる十分な耐荷力を有することが求められた。以下に、これらの要求に対する性能を紹介する。

3. 鉛直面に付着してはがれ落ちない 吹付けモルタル

鉛直面に吹き付けても自重ではがれ落ちることなく所定の厚さを確保するという要求を満足するために、モルタルの配合を「硬練り」とすれば、そのモルタルを吹き付けることで鉛直面にもはがれ落ちずに付着させること

表1 芯材の種類

ラス網	エアチューブ	グラスファイバー ネット



こばやし さとる / KOBAYASHI Satoru
鹿島建設(株) 技術研究所
主任研究員 修士



たぐち しょうや / TAGUCHI Shoya
同上
研究員 学士



でういん ぐなわん / Devin Gunawan
同上
研究員 修士



そがべ なおき / SOGABE Naoki
同上
上席研究員 博士

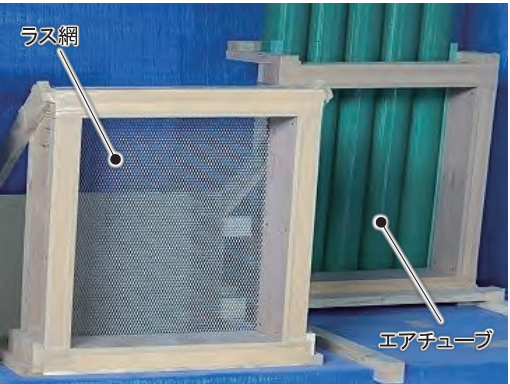


写真1 芯材の設置状況

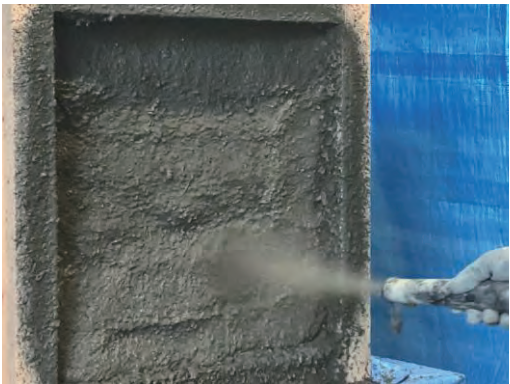


写真2 芯材に対する吹付け状況



写真3 仕上げ状況

表2 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	C	シリカフェームセメント，密度：3.08g/cm ³
細骨材	S	砕砂，密度：2.64g/cm ³ ，粗粒率：2.73
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
圧送改善剤	PA	界面活性剤系

表4 モルタルフロー試験

打撃無し	15 打
	
107mm	156mm

ができる。

ここで、**図1**のコンセプトにあるように、吹付けモルタルは鉛直面の芯材に付着させる必要がある。ここでは芯材としてラス網とエアチューブ(φ100mm)を使用し、**写真1**に示すように芯材を型枠(縦500mm×横500mm×厚さ100mm)に設置してモルタルの吹付けを行った。**写真2**は鉛直面に対するモルタルの吹付け状況であるが、モルタルが自重によりはがれ落ちることなく鉛直面の芯材に付着することを確認した。以下に検討内容の詳細を示す。

鉛直面に付着させるためには、前述のとおりモルタルを「硬練り」とする必要がある。まず、モルタルの「硬さ」の評価をJIS R 5201に準拠してモルタルフロー試験により行うこととし、モルタルフロー試験(打撃無し)で105±5mmを管理値とした。さらに、この硬練りのモルタルを吹き付けるためにはポンプで圧送する必要がある。

表3 配合

W/C (%)	S/C (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			SP (C×%)	PA (C×%)
			W	C	S		
16	1.2	2.0	170	1063	1228	1.0	0.04

る。そのためには静置状態ではモルタルは流動しないが、外力が作用した際には流動する性状が求められる。そこで、外力を作用させた際の流動性を評価するためにモルタルフロー試験(15打)を実施し、150±10mmを管理値とした。

上記の管理値を満足するために、W/Cを小さく設定し、高性能減水剤を練混ぜが可能となる最小限の添加量として静置状態における流動性を抑制した。また、細骨材量を多くすることで自重に抵抗させ、モルタルフロー(打撃無し)が0mmとなるような細骨材の量を選定した。一方で、硬練りのモルタルはポンプ圧送中において流動する必要があるため、既往の研究³⁾を参考に、輸送管で土砂搬送する際に使用される界面活性剤系の圧送改善剤を結合材に対して0.04%添加した。

使用した材料を**表2**に、選定した配合を**表3**に、モルタルフロー試験の結果を**表4**に示す。打撃無しは107mm、15打は156mmであり、いずれも硬さとポンプ圧送性を有する管理値を満足した。実際にモルタルの圧送性を確認するために、スクイーズ式のモルタルポンプ(200V、最大吐出量100ℓ/分、最大吐出圧2.5MPa、モルタルホース内径40mm、長さ9m)を用いて圧送実験を行ったが、使用したモルタルポンプの

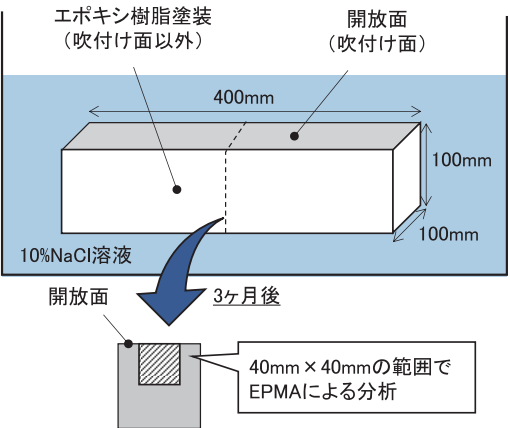


図3 塩分浸漬試験の概要

最大吐出圧内で圧送可能であり、一般的な吹付けモルタルの目標吐出量とされる0.5m³/h⁴⁾を満足した。また、前述のとおり、鉛直面に吹き付けても自重によりはがれ落ちることなく、100mmの厚さまで一度に吹き付けることができる。なお、一般的なモルタルを鉛直面に100mmの厚さで吹き付けるためには、通常は急結性の材料をノズル先端で混合する必要があるが、このモルタルは粉体量、混和剤量および細骨材量のバランスを工夫することで鉛直面に付着させており、急結性の材料を使用していない。**写真3**は吹付けから1時間後にコテ仕上げを行った状態であるが、このように通常の型枠施工と同等の出来形が確保できることもこのモルタルの大きな特徴である。

4. 外殻の硬化物性および耐久性について

吹付けモルタルにより形成された外殻は構造物の

表5 切り出した供試体の硬化物性

吹付け面	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
ラス網	121	12.8
エアチューブ	133	12.8

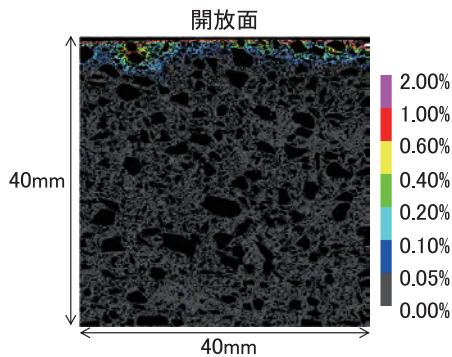


図4 EPMAによる塩化物イオン濃度分布

ぶりに相当するため、一般的なコンクリートと同等の硬化物性および耐久性が求められる。

硬化物性については圧縮強度試験と曲げ強度試験を行い、いずれも一般的なコンクリート以上の強度であった。また、耐久性は、様々な環境への適用を考慮し、塩害、凍害、化学的侵食について評価したが⁵⁾、いずれも高い耐久性を有しており、特に塩分浸漬試験では、モルタル内部にほとんど塩分が浸透していないことを確認した。以下に検討内容の詳細を示す。

まず、硬化物性および耐久性は、芯材に吹き付けられたモルタルで評価する必要がある。そこで、前章の検討で製作した試験体から切り出した供試体を用いて、硬化物性および耐久性を評価した。切り出した供試体の硬化物性を**表5**に示す。いずれの芯材を用いた場合でも、圧縮強度は120N/mm²以上、曲げ強度も12N/mm²以上と高強度であり、一般的なコンクリート以上の圧縮強度と曲げ強度であることが確認できた。

耐久性について、ここでは塩分浸透抵抗性の検討内容について紹介する。JSCE-G 572に準拠して**図3**に示すように3ヶ月間の塩分浸漬を行い、塩分浸透抵抗性を評価した。電子線プローブ・マイクロアナライザー(EPMA)による塩化物イオン濃度分布を**図4**に示す。塩分の浸透はごく表層のみに認められる程度であり、高い塩分浸透抵抗性を有することが確認できた。

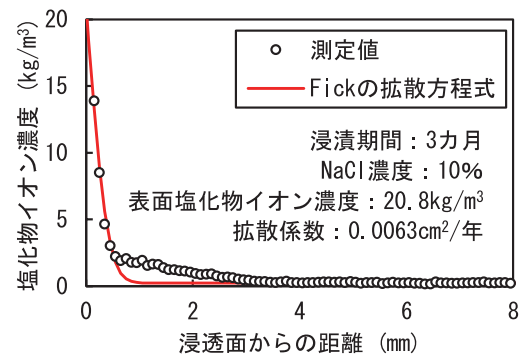


図5 表面からの塩化物イオン濃度分布

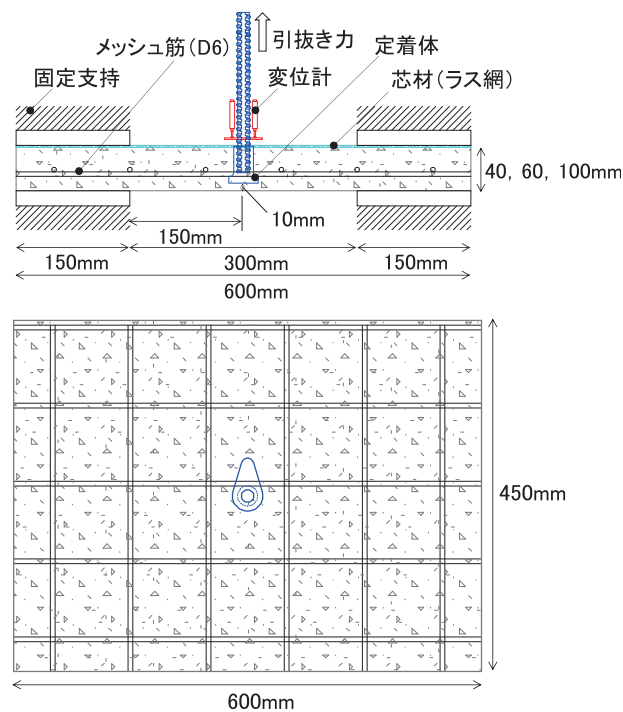


図6 定着部を模擬した引抜き試験体の概要

なお、この結果を表面からの塩化物イオン濃度に整理したグラフを図5に示すが、Fickの拡散方程式により回帰分析し、現時点での拡散係数を算出すると0.0063cm²/年と算出され、これは超高強度繊維補強コンクリートの浸漬期間6ヶ月における拡散係数とほぼ同等である⁶⁾。

5. コンクリートの側圧に対する耐荷力について

吹付けモルタルにより外殻を形成後、内部にコンクリートを打ち込むが、その際にコンクリートの側圧に対し

て外殻が十分な耐荷力を有する必要がある。

ここでは、内部に打ち込むコンクリートとして、スランブ12cmのコンクリートと高流動コンクリートの2種類を想定して側圧抵抗性を検討したが、いずれのコンクリートにおいてもセパレータや支保工を追加することなく、本設材であるせん断補強筋のみの利用で側圧に抵抗できることを確認した。以下に検討内容の詳細を示す。

まず、定着部を模擬した試験体を作製し、定着部の引抜き実験を行うことでコンクリートの側圧に対する抵抗性を評価した。引抜き実験の概要を図6に、試験体製作手順を図7に示す。試験体は、長さ600mm、幅450mmの平板とし、厚さを40,60,100mmの3水準

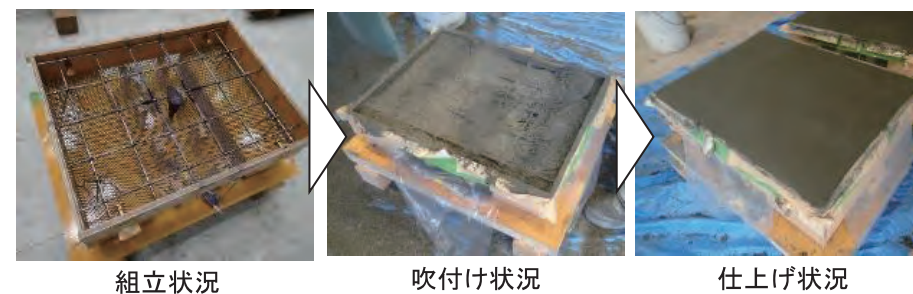


図7 引抜き試験体の製作手順

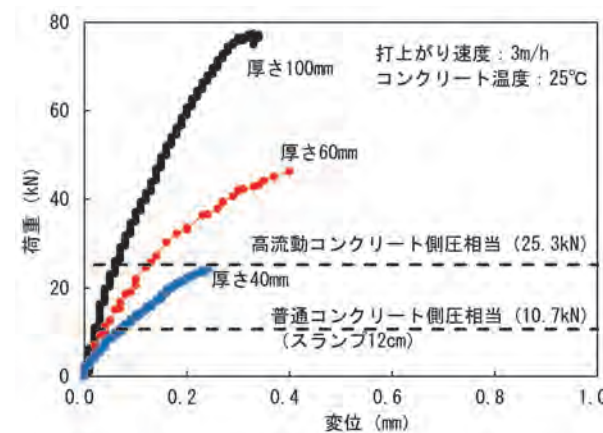


図8 引抜き実験による荷重と変位の関係

とした。芯材としてラス網を設置し、定着力の向上とひび割れ発生後における吹付けモルタルの曲げじん性を高めるためのメッシュ筋(D6@100mm)を配置した。平板の中央にせん断補強筋の定着部を配置し、定着部は表面からのかぶり10mmとなるように設置した。

引抜き実験による荷重と変位の関係を図8に示す。同図には、普通コンクリートおよび高流動コンクリートを、打込み高さ5m、セパレータとして機能させるせん断補強筋を450mmピッチとした場合にせん断補強筋に作用する最大引張力について、示方書に準拠して算出した結果を併せて示す。吹付けモルタルの厚さ(定着深さ)の増加に伴って最大荷重が大きくなり、全ての試験体において普通コンクリートを想定した側圧に相当する荷重を超えている。また、厚さ60mm以上の試験体では、高流動コンクリートを想定した側圧(液圧)に相当する荷重に対しても十分な定着力を示した。このことから、コンクリートの側圧に対して、セパレータや支保工を追加することなく、本設材のせん断補強筋の配置間隔および吹付けモルタルの厚さを調整するこ

とで、せん断補強筋がセパレータとして十分に機能することが確認できた。

6. おわりに

近い将来、型枠大工が減少し、型枠組立および解体作業といった通常の施工方法が困難となることが想定される中で、今回提案した外殻先行型コンクリート構造物構築工法は、型枠大工に依存することなく施工が可能である。また、従来の施工方法以上の耐久性を有する鉄筋コンクリート構造物が構築できることから、生産性向上だけでなく、ライフサイクルコストも下げることができる画期的な施工方法であると考ええる。さらに、本工法が、従来の施工方法と同等以下のコストで施工可能であることを机上で確認している。今後は、実規模の試験体を構築することで施工性や歩掛りの検証、表面の仕上げの合理化に向けた検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 小林聖他／吹付けモルタルを用いた現場製作型の埋設型枠の耐久性および側圧に抵抗する耐荷力に関する研究、日本コンクリート工学年次論文集、Vol.45、No.1、2023
- 2) Devin Gunawan 他／せん断補強筋を活用した吹付けによる外殻構造の補強方法に関する検討、土木学会第76回年次学術講演会、V-479、2021.9
- 3) 吉田祐麻他／構造物の外殻形成を目的とした吹付け用繊維補強モルタルの検討、土木学会第76回年次学術講演会、V-127、2021.9
- 4) 土木学会／表面保護工法設計施工指針(案)、2005.4
- 5) 小林聖他／埋設型枠代替に用いる高強度吹付けモルタルの耐久性、土木学会第77回年次学術講演会、V-561、2022.9
- 6) 土木学会／超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)、2004.9

「リフレドライショット工法」の 小断面補修工事への適応事例

Application of the ' REFRE DRY SHOT ' to small section repairs

明石 昌之 宮野 暢紘 田中 和孝

1. はじめに

日本では、1960年前後の高度経済成長期の建設ラッシュにより多くのコンクリート構造物が建設されてきた。しかし、その多くが今後20年以内に建設後50年以上経過する¹⁾ことから、その高齢化・老朽化が問題となっており、維持・修繕を目的とした補修・補強工事の重要性が高まっている。このような背景から、近年では断面修復工事では乾式吹付け工法の適用が増加している。乾式吹付け工法は、圧送距離が長い、厚付け性が高い、材料吐出能力が大きい、洗浄する機材が少ない等の特長があり、大規模補修工事で最も性能を発揮できる工法である。しかし、施工プラントが大型であることから設置場所に制限が伴い、小規模な補修箇所が点在しプラントの移動を必要とする工事への適用には課題があった。

本稿では、低粉じん型乾式吹付け工法である「リフレドライショット工法」の概要を紹介し、小断面補修工事にも適応しやすい施工システムである「Compactドライショット」の適用事例について報告する。

2. 吹付け工法の概要

コンクリート構造物の補修工法の一つである断面修復工法は、劣化部を除去したのち、各劣化要因に対応した耐久性の高いポリマーセメントモルタル等を用いて埋め戻しを行う工法であり、建設時の性能に回復することが可能である。断面修復工法は、左官工法、充填工法、吹付け工法の3種類に分けられ、吹付け工法は、型枠の設置が困難であり施工面積が比較的大きい場合に採用されるケースが多い(図1)²⁾。湿式吹付け工法と乾式吹付け工法の2種類に分けられ、湿式吹付け工法は一般的に広く行われており、練り混ぜた後のモルタルを圧送するために圧送距離が短く、1層吹付け厚さの制限があることから、大断面補修工事では長期工程を必要とする。一方、乾式吹付け工法は練り混ぜる前の粉体と液体を別経路で圧送するため圧送距離が長く、低液粉体比でモルタルを作製できることから厚付け性が高い。また、吐出能力が高く、圧送ホース内の洗浄が不要であるため、湿式吹付け工法と比較しても施工効率の良い施工方法であると言える(表1)。

表1 湿式、乾式吹付け工法の比較²⁾

項目	湿式吹付け工法	従来乾式吹付け工法
吐出能力	～0.5m ³ /h	～1.0m ³ /h
1層施工厚さ	最大30mm	最大100mm
圧送距離	最大50m程度	最大300m
積層時間間隔	3時間～1日程度	数分～1日程度
粉じん・リバウンド	比較的少ない	比較的多い
施工プラント	比較的コンパクト	湿式に比べると大きい
清掃機材	材料ホース、ノズル、モルタルミキサー	ノズル、液体ホース

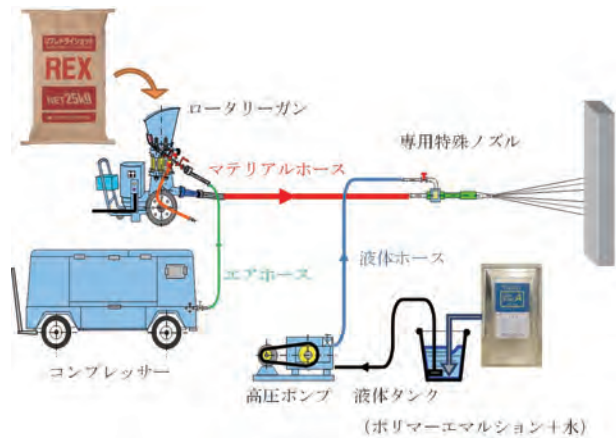


図2 リフレドライショット工法のプラント概要図

3. リフレドライショット工法

3-1. リフレドライショット工法の概要

従来の乾式吹付け工法は、湿式吹付け工法と比較して施工時の粉じんやリバウンド量が多いことから、施工環境の改善が課題であった。「リフレドライショット工法」は、乾式吹付け工法に最適化した専用特殊ノズルを用いることで粉体と液体を瞬時に混練し、粉じんとリバウンド量を大幅に低減した乾式吹付け工法である。また、一材タイプの粉末ポリマーは再乳化に時間を要するため、ポリマーの性能を十分に発揮させるために長い練り混ぜ時間を必要であり、乾式吹付け工法への適用に適していないと考えられる。そこで、本工法ではノズル内での短い練り混ぜ時間においてもポリマーの性能を最大限に発揮できる分散性が高いポリマーエマルション希釈水を使用することで、より高品質なポリマーセメントモルタルの提供を可能とした。

3-2. 施工プラントの概要

図2に、「リフレドライショット工法」のプラント概要図

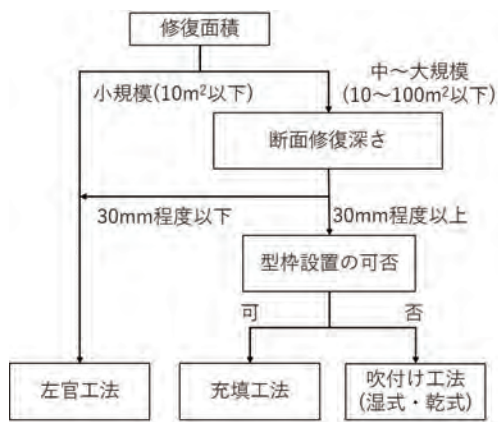


図1 施工方法の選定の一例²⁾

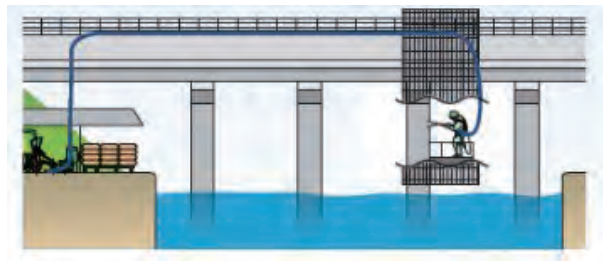


図3 施工プラント配置例

を示す。施工手順は、安定した粉体圧送性を確保するために最適設計されたプレミックス粉体をロータリーガン(粉体供給機)に投入し、高圧コンプレッサーによる圧縮空気でもズルに圧送する。一方、ポリマーエマルション希釈水は高圧液体ポンプで粉体とは別の経路でもズルまで圧送する。専用特殊ノズルの中で粉体と液体を瞬時に混練し、ポリマーセメントモルタルとして吹付ける。

図3に施工プラント設置例を示す。最大300mの粉体圧送が可能であり、施工箇所から離れた位置に施工プラントを設置して、ノズルとホースを移動させることで、様々な施工環境に適応可能である。

3-3. 特殊専用ノズル

乾式吹付け工法で使用されてきた従来ノズルは、液体と粉体が接触してからノズル内部を数十センチ程度通過する瞬間に混練していたが、混練性能が低く粉じんの発生や断面修復材の品質が安定しない等の課題があった。一方、リフレドライショット工法の専用特殊ノズルの内部には、混練助勢装置と乱流混練装置の2種



あかし まさゆき / AKASHI Masayuki
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所 建材製品研究グループ
副主任研究員



みやの のぶひろ / MIYANO Nobuhiro
同上
建材事業部 中日本営業グループ
グループリーダー



たなか かずたか / TANAKA Kazutaka
田中シビルテック(株)
代表取締役社長



写真1 従来ノズル



写真2 専用特殊ノズル



写真3 吹付け状況
[左：専用特殊ノズル 右：従来ノズル]

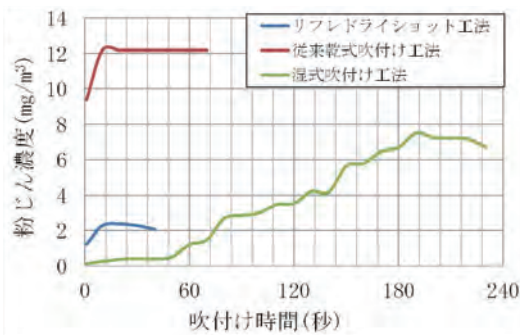


図4 粉じん測定結果



写真4 厚付け性試験状況

類の独自混練装置を設置しており、粉体と液体の混練効率が各段に向上されている。**写真1**に従来ノズルの外観、**写真2**に専用特殊ノズルの外観、**写真3**に、各ノズルの吹付け状況比較を示す。従来ノズルを使用した場合と比較して、専用特殊ノズルを使用することで低粉じんで高品質なポリマーセメントモルタルの吹付けを実現した。

3-4. 施工環境の評価

施工環境の評価のため、各吹付け工法の粉じん濃度の比較を行った。測定方法は、3.5m×4m×3mの閉鎖された空間で、500×500×40mmの型枠に吹付けを行い、開始した直後から打設完了までに発生した粉じん濃度をデジタル粉じん計を用いて測定した。

図4に、粉じん濃度測定結果を示す。従来乾式吹付け工法は吹付け直後から粉じん濃度が大幅に増加し、すぐにデジタル粉じん計の測定レンジの上限に達し

た。また、湿式吹付け工法は乾式吹付け工法と比較して吐出量が少なく、吹付け直後の粉じん濃度は低い値を示したが、打設に要する時間は最も長く、時間の経過とともに粉じん濃度が増加して最大7mg/m³程度の粉じん濃度となった。一方、リフレドライショット工法は打設に要する時間は最も短く、最大粉じん濃度も最も少ない結果となったことから、施工効率が高い工法であるとともに、施工環境の改善がなされていることを確認している。

3-5. 施工性能の評価

施工性能の評価として、まず厚付け性について評価を行った。**写真4**に、厚付け性試験状況を示す。1層吹付け厚さは最大200mmであり、厚付け性の高さを確認した。湿式吹付け工法では、所定の設計厚さまで材料の硬化を待ちながら複数回の吹き重ねを必要とするが、本工法では打継層間を最小限とし、ドライアウト



写真5 鉄筋裏背面への充填性

表2 製品ラインアップ

ラインアップ	標準タイプ	高強度タイプ	耐酸タイプ	亜硝酸Liタイプ
リフレドライショット (粉体)	標準タイプ REX	高強度タイプ	耐酸タイプ	汎用タイプ 高強度タイプ REX or
専用エマルジョン (混和液)	ライオンボンド® A	ライオンボンド®・リアクト	ライオンボンド® ARC	ライオンボンド® A ライオンボンド®・リアクト (亜硝酸リチウム10%水溶液) 779 α 40
特長	・NEXCO規格適合 ・東京埠頭公社規格適合	・NEXCO規格適合 ・φ28で50N/mm ² 以上 ・薄層にも対応	・日本下水道事業団 断面修復規格適合 ・日本下水道事業団 防食被覆C種規格適合 ・1層吹付け厚さ最大 100mm	・亜硝酸リチウム固形分 55kg/m ³ まで添加可能
用途	・断面修復工事全般	・断面修復工事全般 ・耐震補強工事	・下水道施設の断面修復 ・下水道施設の防食	・塩害劣化対策

表3 標準タイプおよび高強度タイプの性能一例

項目	標準タイプ	高強度タイプ	基準値
ひび割れ抵抗性	ひび割れ発生なし	ひび割れ発生なし	幅0.05mm以上のひび割れが生じない
コンクリートとの付着性	2.7N/mm ²	3.0N/mm ²	付着強度1.5N/mm ² 以上
鉄筋背面への充填性	有害な空隙なし	有害な空隙なし	有害な空隙がないこと
寸法安定性	-0.013%	-0.027%	長さ変化率0.05%以下
中性化抵抗性	0mm/√週	0mm/√週	中性化速度係数が設計値同等
耐塩性(実効拡散係数)	0.0177cm ² /年	0.0453cm ² /年	塩化物イオンの拡散係数が設計値同等
耐塩性(見かけの拡散係数)	0.118cm ² /年	0.247cm ² /年	
圧縮強度	46.3 N/mm ²	68.0 N/mm ²	補修設計上の設計基準強度以上

や浮き等の欠陥発生のリスクを抑制することが可能である。次に、吹付けられたモルタルの充填状況を確認するため、NEXCO 試験方法の試験法 432 に準じて鉄筋裏背面への充填性試験を実施した。**写真5**に鉄筋裏背面への充填性試験体の切断断面を示す。吹付けられたモルタルは密に充填されており、鉄筋周囲や背面に有害な空隙が発生していないことを確認した。

3-6. 製品ラインアップ

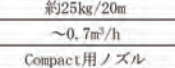
リフレドライショット工法は、乾式吹付け工法に最適化された粉体材料と専用エマルジョンを組み合わせることで、目的や用途に適合した要求性能を満足する製品の選定が可能である。**表2**にリフレドライショット工法の

製品ラインアップを示す。標準タイプは、汎用的な断面修復材であり橋梁、港湾、トンネル等の一般環境下における断面修復工全般に適用でき、中・東・西日本高速道路株式会社「構造物施工管理要領」に規定される吹付け工法による断面修復材の品質規格(以下、NEXCO 規格と称す)および東京港埠頭株式会社「栈橋劣化調査・補修マニュアル」断面修復材の品質規格の適合品である。一方、高強度タイプもNEXCO 規格適合品であり、より高強度が要求される耐震補強工事にも適用が可能である。**表3**に標準タイプおよび高強度タイプの性能の一例を示す。また、両製品とも亜硝酸リチウムを混和させることで塩害劣化への対応も可能である。

表4 耐酸タイプの性能一例

項目	試験結果	日本下水道事業団規格値	
		断面修復材	耐硫酸モルタル(C種)
圧縮強度	3d	31.3N/mm ²	25N/mm ² 以上
	28d	55.0N/mm ²	45N/mm ² 以上
曲げ強度	3d	4.0N/mm ²	3.0N/mm ² 以上
	28d	8.0N/mm ²	7.0N/mm ² 以上
長さ変化率	28d	-0.05%	+0.1%以上
耐硫酸性	28d	-1.0%	±10%以内
	112d	1.6mm	—
硫酸浸漬深さ	28d	-1.0%	3.0mm以下
	112d	3.9mm	6.0mm以下
接着性	28d	2.0N/mm ²	1.5N/mm ² 以上

表5 施工システムのラインアップ

項 目	Powerドライショット	Compactドライショット
プラント設置スペース	面積：25m ² ～ 	面積：～20m ² 
		
材料ホース重量	約30kg/20m	約25kg/20m
吐出能力	～1.2m ³ /h	～0.7m ³ /h
専用特殊ノズル	Power用ノズル	Compact用ノズル
1層吹付け可能厚さ	最大200mm	最大200mm
圧送距離	最大300m	最大120m

耐酸タイプは、高耐硫酸性を有したポリマーセメント系「乾式吹付け専用品材」である。上水道、下水道、工場等において耐硫酸性が要求される断面修復工事や防食工事に適用できる。表4に耐酸タイプの性能一例を、写真6に市販された耐硫酸性を有する断面修復材とリフレドライショット（耐酸タイプ）の材齢28日の耐硫酸性試験体の外観を示す。日本下水道事業団の断面修復モルタルの品質規格および防食被覆層に用いる耐硫酸性モルタルの品質規格に適合しているため、同一材料で効率的な補修が可能であり作業工程の簡素化が可能である。

3-7. 施工システムのラインアップ

「リフレドライショット工法」の施工システムには、大規模補修工事に対応できる従来システムである「Powerドライショット」と、小断面の補修箇所が点在している場合や施工プラントの設置場所が狭い場合にも対応した「Compactドライショット」がある。表5に、リフレドライショット工法の施工システムのラインアップを示す。「Powerドライショット」は、施工能力が最大1.2m³/hと高く、圧送距離は最大300mまで対応することが可能である。一方、「Compactドライショット」は施工プラントを湿式吹付けプラントと同等まで省スペース化し、4t車



写真6 耐酸タイプ 耐硫酸性試験(材齢28日)

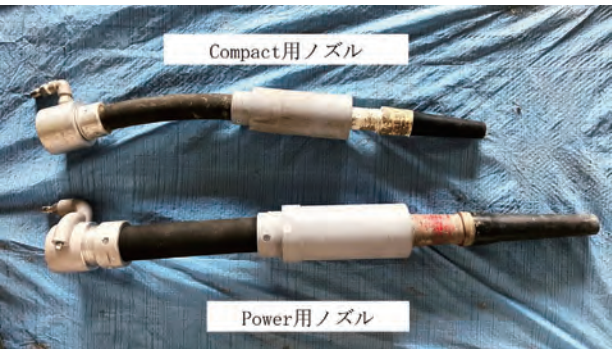


写真7 Power用ノズルとCompact用ノズルの外観

1台に全て積載可能としたコンパクトシステムである。最大圧送距離120m、最大吐出能力0.7m³/hと湿式吹付け工法と比較しても大幅に優れており、機材を軽量化することで作業員の肉体的負荷も軽減している。写真7に、Power用ノズルとCompact用ノズルの外観写真を示す。なお、どちらのシステムにおいても、乾式吹付け工法の最大のメリットである厚付け性は最大200mmとなっている。

4. 「リフレドライショット工法」の小断面補修工事への適応事例

4-1. 工事概要

小規模断面が点在したトンネルの補修工事に「Compactドライショット」を適用した施工事例として、令和元年7月から令和2年1月に実施された敦賀柳ヶ瀬線補助道路修繕工事を取り上げる。施工対象となった柳ヶ瀬トンネルは、滋賀県と福井県を結ぶ交通の要所であ



写真8 柳ヶ瀬トンネル外観



写真10 車上プラントでの作業状況



写真12 仕上げ後の状況

り、土木学会選奨土木遺産、経済産業省近代化産業遺産に認定されている煉瓦造りのアーチトンネルである。幅員3.8m、高さ制限3.5mと内向断面が小さく、全長1352mと長いことから信号式片側交互通行が実施されている。建設より130年以上が経過しており、経年劣化への対策として煉瓦造りを保護する被覆材として断面修復工が検討された。

4-2. 施工における課題と断面修復工法の選定

本現場を施工するに当たり、以下の課題があった。
①工事実施時は完全通行止めとする必要があるた



写真9 トンネル内に設置した車両



写真11 吹付け状況

め、通行規制を最小限に抑えられる効率の良い断面修復工法を適用する必要がある。②内空断面が小さく換気条件に制限があるため、粉じん発生抑制の対策を講じる必要がある。③トンネルの全長は1352mと長く、補修箇所が点在していることから、プラントを移動しながら施工する必要がある。④車上プラントとする場合は、車両幅・高さが制限されることから、小型車両で編成する必要がある。以上の課題を解決するために、施工能力が高い乾式吹付け工法が検討され、低粉じん型乾式吹付け工法である「リフレドライショット工法」が採用された。また、小型車両で移動しながらの施工が可能である「Compactドライショット」が適用された。

4-3. 施工結果

写真9～12に施工状況を示す。施工プラントおよび材料をトンネルに侵入できる4t車2台で編成し、トンネル内を足場とともに移動しながら吹付け作業が実施された。粉じん発生は少なく、吹付け作業中も良好な施工環境が保たれていた。施工した総面積は27m²で

あったが、「Compactドライショット」を適用することで
規制時間内に施工を完了した。

5. おわりに

社会資本の維持管理・修繕工事において、今後も
断面修復工事の重要性は一層高まっていくことが予想
される。「リフレドライショット工法」は、大規模施工～小
断面施工まで幅広い用途に適用可能なシステムを提供
できる低粉じん型乾式吹付け工法である。また、適用

用途や劣化要因に合わせて製品を選定することで、
適切な補修・補強を行うことが可能である。本工法が
豊かな社会の維持・発展の一助となるように、更なる
技術力の向上に努めたいと考える。

【参考文献】

- 1) 国土交通省／令和2年版国土交通白書、p.141、2020
- 2) セメント協会／すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識
第2版、pp.31～33、2011
- 3) セメント協会／低粉じん型乾式吹付け工法「リフレドライショット工法」の
概要と施工報告、セメント・コンクリートNo.857、pp.23～27、2018

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

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

お知らせ

第38回(2024年度)セメント協会研究奨励金テーマ募集のご案内

一般社団法人 セメント協会

一般社団法人セメント協会では、セメント化学・コンクリート化学分野の研究振興と若手および中堅の研究者育成
のために、大学・工業高等専門学校研究者に対して研究助成を行っています。
本年度も下記の要領で研究奨励金のテーマ募集を行います。ご応募をお待ちしております。

1. 対 象 セメント化学、コンクリート化学分野における研究(セメント系新材料、セメント系固化材、環境・リ
サイクルの関連研究を含む)
2. 応募資格 日本の大学または工業高等専門学校に所属する研究者(大学院生を含む)
※ただし、前年度(2023年度)にセメント協会研究奨励金の交付を受けた方は応募できません。
3. 応募条件 研究成果については、セメント技術大会、セメント・コンクリート論文集において公表すること。
4. 助成金額 採用された研究1件につき原則として100万円
5. 応募方法 セメント協会ホームページから研究奨励金申請書の様式(Word)をダウンロードし、研究奨励金申
請書を作成して下さい。応募入力フォームより必要事項を記入し、研究奨励金申請書を添付して
下さい。応募入力完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報が送信されますので内
容をご確認下さい。

セメント協会ホームページ

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

[トップページ]>[イベント・募集]>[募集/研究奨励金]

- ※ 一人で複数の応募はできません。
- ※ 必要事項を記入する際は日本語又は英語を用い、申請書の記入欄内に収めて下さい。
- ※ 審査条件を統一するため、研究奨励金申請書以外の添付資料は付けないで下さい。

6. 募集期間 2023年9月1日(金)～11月17日(金)必着

※ 期日を過ぎて到着したものは受け付けません。

7. 審査方法 研究奨励金審査委員会により審査

8. 結果通知 2024年3月下旬 ※ 申請者へ結果を通知

9. 支 給 2024年4月以降 ※ 全額一括支給

10. 留意事項 ※ 当初の研究期間の終了後、遅滞なく全体の成果報告書を提出して頂きます。
※ 研究期間が1年を超えるときは、前年度成果の研究概要報告書(中間報告)を提出して頂きます。
※ 研究成果の公表に際して、当研究奨励金を受けて研究したことを付記願います。

11. 問合せ先 一般社団法人 セメント協会 研究所 技術情報グループ 研究奨励金 担当

〒114-0003 東京都北区豊島4丁目17番33号

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

海と川と水

にまつわる思い出話

前川 宏一

漢字圏への海外出張で名刺交換すると、裏面の漢字表記の“前川”をご覧になって「川の傍にお住まいですか」と聞かれることがあります。その時、「今、東京・多摩川左岸です。30年前はチャオプラヤ川右岸です。40年前は信濃川左岸。60年前は淀川右岸でした」と答えます。還暦を越えて目をつぶると、川や海や水の思い出は深く、爾来馴染み深いものがあります。

前川姓は兵庫県と大阪府に多く、長崎と金沢にも多くお住まいです。祖父は淡路島に生まれ、尋常小学校を卒業後、呉の海軍工廠で工員として採用され、造船に従事しました。船大工兼農家の村出身ゆえに、船に縁があったようです。呉では戦艦大和を含む多くの船が建造されていた時代で、工場付属の工員訓練学校で学ぶ機会を得ました。5人の息子(父を含む)は祖父の意に反し、私の名付け親の叔父はその風貌から陸軍のスパイとしてロシアに潜伏。父は旧制中学の先輩の淀川長治氏(映画評論家)に倣い、映画三昧。だれも造船や船員の職には就きませんでした。

さすがに親不孝叔父達、家には祖父譲りの設計図や専門書が有り、私を含む孫達は金属、機械、土木の道に導かれました。幼少

にあっては船長を夢見、喘息に苦しんだこともあって、水泳に取り組んでいた時期がありました。琵琶湖、木津川、和歌山で泳ぎ、中学時代は夏休みに海上自衛隊舞鶴教育隊に何度か短期入隊させていただき、鍛えて貰いました。シーツをビシッと整える能力、早食い、公衆浴場でのマナーはこの時期に涵養されましたが、家内からの「いいね」は依然としてありません。

入学した高校には日本水泳連盟お墨付きの「近代水泳発祥地」の碑があり、卒業生には往年の競泳選手の名前がずらり。船への思いも深まり、神戸か東京の商船大学、あるいは防衛大学校と進路を絞りつつあった3年の秋、大変なことが判明。男子のみに遺伝する色弱で、およそ機長船長への道は無理(普通自動車運転免許はぎりぎりセーフのレベル)。視野狭窄気味であった私に、情報と選択の多さを鑑みて、担任の先生から総合大学を勧められました。

東京大学の2年生の秋に、進学する学科が希望と成績から決まります。造船は祖父の記憶、建設は父の存在があります。被爆者であった母には戦艦の記憶も相まって造船には難色。父の土木も昭和時代の猛烈サラリーマン

故に難色。苦勞させられた筈。そこで母は占い師に私が向いている職業を聞いたところ、水商売というお託宣を貰ってきました。私は食に恵まれる星の下にいるそうで、飲食店を経営すると、お客さんが来るので儲かる、とのことでした。

聞かなきゃよかったと思いつつ、土木を選択。多くの人に恵まれ、今日に至っています。考えてみれば、セメント・コンクリートも拡大解釈すれば水商売?といってもいいかも。多すぎる水は問題ではありますが。

海外出張で訪れた国々では、必ず川と海の近くで時間を過ごしたように思います。ナイル川、揚子江は2～3泊をもって千キロ近くを移動しました。ガンジス川、メコン川、コロラド川、ミシシッピ川、アマゾン川等、元学生さんや同僚先輩諸氏と訪れました。これらの大陸河川の勾配は大変緩やかで、ナイル川は三千キロの延長で高低差はわずか150メートルです。ちなみに黒部川や富士川は50キロメートルの延長に対して2千メートルを超える高低差です。日本の河川は滝と言っていいでしょう。私の苗字は海外で言うなら「前滝」と言うべきでしょうか。日本には前瀧さんが10人程度、いらっしゃるのだそうです。

いま多摩川の河岸段丘傍に住んでいます。2019年の豪雨で避難勧告が出されました。自然と人工の別を問わず、川は様々な顔を呈します。多摩川と浅川との合流部付近の河床には重量コンクリートが張り込まれ、轟音で暴れる川の河床を維持していました。韓国ソウルの清溪川は100%人工河川で、都市の



安全と水辺の潤いのある空間を提供してくれています。ここでは早世した友と未来を語り、今も私の記憶の中に彼は生きています。高低に従い川の流れは無常にして、しかし、その水は雨となって水源に至り悠久の輪が作られます。その輪に乗って流れゆく自分を思う日々が続きます。

[まえかわ こういち / 横浜国立大学・総合学術高等研究院 客員教授 工学博士、東京大学名誉教授、上田記念財団理事長]

イラスト・タイトル 宮島幸次

ひきだしの
奥から

ひきだしの奥

この3月末に約半世紀と長くいた大学から机を離れた。机のひきだしを整理していると50年余の時間がそこここから新旧のいろんなほこりとなってあらわれた。これは残しておいた方が良かったろうと思った時代の顔が見える資料が色々出てきたことによる。ひきだしからはドラえもんが出ることを期待していたのだがなかなかそうはいかないようである。これは私がのび太君ほどには素直ではないからなのだろう。

コンクリートは種々の材料から成る複合材料である。セメント、水、骨材そして混和材料などからなる。繊維も混和材料と考えて良いだろう。セメントと水だけのペーストのみでは発揮できない性質を他の材料とともに用いることによって実現できる。人間や社会も多分そうで、単純な純粋人あるいは純粋社会などはありません。ひきだしの中からあらわれたものは、私あるいは、今という時代を形作ってきた歴史あるいは経緯の別の材料あるいは見え方のように思う。

「中今」という考え方があると聞いた。今は過去と未来の中間であり、過去を受け継いで未来につなぐために今を生きる世代が全力を尽くすという考え方なのだそう。今は過去へまた未来へと二つの顔を持っている。二つの顔の話はギリシャ神話でも聞いたような記憶がある。今を生きる我々は、先祖には良き子孫として、子孫には良き先祖として認知してもらえると嬉しいのだ。今という現在は過去から生まれたものであり、未来を生むものである。ひきだしの中からあらわれたほこりもまたその当時の今として二つ

の顔を持っているように思う。

勘違いの生むもの

ひきだしから出てきた資料はもちろん古い情報である。しかし、古い情報であるからこそ新しい感覚を感じさせる場合がある。若い頃には理解できなかったような内容が含まれているからであろう。つまり若いころの考えのなさ勘違い、あるいは誤解が解消されることによる納得感がもたらすものが多いように思う。

フランスでは年金制度改革反対運動が吹き荒れていると聞く。1月には100万人以上が参加するデモがあったらしい。特に怒りを買っているのは年金支給開始年齢を現在の62歳から64歳に繰り上げ、年金積立の年限を伸ばそうとした点らしい。高齢者の怒りを買ったのかと思ったら若者も含めた反応のようだ。この状況は日本もほぼ同様であり、大規模なデモが日本で起きてもよさそうだがそうはなっていない。これは国民性もあるのだろうが年金の位置付けにもよるのだと思う。

“巖窟王(モンテ・クリスト伯爵)”では、主人公エドモン・ダンテス＝モンテ・クリスト伯爵が大事にする旧主モレル氏の娘夫婦は儲かっている家業をあっさり売り渡して年金生活に入る。また、“地獄の季節”で有名なアルチュール・ランボーは何かで将来の夢として年金生活者をあげている。ランボーの場合はそうはなりたくないという皮肉あるいは嫌味として言っているのかもしれないが、要するにゆとりある生活ができるだけのものが年金として昔からいただいていたようなのである。わが国で言う年金生活者という感覚とは大きく違う。

その制度の位置付けが違うから誤解することは他にもある。若い頃、西欧にはベビー・シッターというシステムがあると聞いて驚いた覚えがある。これは、昔は上流階層の人々は子供を使用人に任せていて、第2次世界大戦後においても自分の子供の面倒を人の手に託す習慣が残っていることによると聞いた。子供を自分の手で育てようとしたマリー・アン

トワネットは例外だそうである。そのため因習的な習慣だという人さえいるようだ。もっとも夫婦で外出したり、仕事をしている時間に、ベビー・シッターや、オーペアと呼ばれる家事手伝いに子供の世話を託すことは便利と言えよう。

しかし、子供たちの将来のためには、ベビー・シッターなどがかなりの能力を持っていることが要求されると思う。子供の見守りは大切で、誰かに見守ってもらっていると人は頑張れ、それが子供、若者あるいは新人の成長力に結実すると言われる。昔の京都大学は教育しないのが特徴と言われたことがあった。しかしそれは、ある程度土台が出来上がった人間に対して有効なのだろう。やはり社会に役立つ人材は教育の結果生まれるのだろうと思う。

コンクリートに必要なもの

我々の社会を支えるインフラを造りこなし、使いこなすためには、これからのコンクリートに欲しい人を育てていくことが必要だ。そのためにはコンクリートに欲しい人とはどのような人かがはっきりしていなければならない。コンクリートの基本を知っていなければならないことは当然である。それに加えてその他の技量も要求される。

最近ではデジタルトランスフォーメーション(DX)がらみの技量が頭に浮かぶことが多い。DXの起点はカタリストだろう。カタリストとは化学的には触媒のことだが、何かを仲介したり、つなげたりする人ということである。DXには多様な専門分野のサービスがシームレスに統合される必要があるのだが、その時にカタリストが問題点を指摘する必要があるのだ。したがって、デジタルを深化させるのはデジタル技術に疎い、カタリストであろうと言われ、DXもカタリストがキーパーソンになるのだと思う。しかし、カタリストは多くは要らない、その結果を利用して働く普通の技術者・技能者がコンクリートをそして社会をこれからも支えるのだと思う。

わが国は2050年カーボンニュートラルを宣言してい

る。土木建築分野はBig8と呼ばれる温室効果ガスを排出する大きな産業の一つである。また、全世界のCO₂排出量からみた日本の排出量は3%強でドイツより多いが、一人当たりの排出量はドイツと同じ程度。中国と比べると排出量ははるかに少ないが一人あたりは大きい。そのような現状を大きく変革してゆく必要がある。カーボンニュートラルでは、単に製品製造時にCO₂の排出量を減少させるだけでは不十分である。運搬、供給、利用等、社会全般で様々な対応が必要であり、DXを駆使しながら社会全体をリサイクル化して無駄をなくすということが重要となる。

また、EUの方針転換はあるものの、カーボンニュートラルの動きの中で台頭してくるはずの電気自動車(EV)の急激な増大は、その給電施設としての道路への期待が高まっている。さらには、走行中のEVへの無線給電はもちろん自動運転や道路施設制御を可能とする種々の設備装置を有するスマートな道路が必要となる。また自動運転のおかげで許されるアミューズメントもありうと考えている。そのためには新たな機能を有する種々のコンクリート構造が開発されなければならないのである。

今から未来へ

ひきだしの中から出てきたほこりたちは新旧とりどりであったが、その面差しはそれぞれなかなか生き生きとしていて、私に「今」を考えさせた。しかも、その今は未来に続く今なのであって、今の私の役に立っている。ひょっとしたらドラえもんよりも先を見ることができたのではないかと思う。論語に“故きを温めて新しきを知る”という言葉もある。たまにはこれまでにふりいをかけて振り返り、それを触媒として未来を見る試みが必要なのではないかと思うのである。

【みやがわ とよあき／京都大学 名誉教授 工博】

増粘性高分子によるコンクリートの加振変形性向上の検討

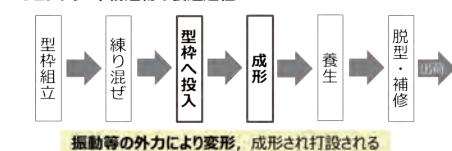
Study to improve vibration flowability of fresh concrete by combination use of thickener and superplasticizer

島田 恒平 川上 博行 名越 悠登 佐川 桂一郎

1. はじめに

フレッシュコンクリートは、シェアシンニング性(粘度がせん断速度に依存して減少する性質)を示すことが知られ、コンクリート産業ではこの性質を利用して、振動によって生じるせん断によりフレッシュコンクリートを減粘させ、流動性やワーカビリティを高めて型枠へ打設する¹⁾。しかしながら、昨今の担い手不足から、振動機の運用に係る作業負荷や、伴う騒音による工場内部・周辺環境の悪化が、コンクリートの振動成型を取巻く課題の一つである²⁾(図1)。これらの課題を解消するべく、高性能減水剤を使用し、単位粉体量を増やして材料分離抵抗性を担保した粉体系高流動コンクリートや、増粘剤を併用した増粘剤系高流動コンクリートによ

○コンクリート構造物の製造過程



○解決したい課題



図1 コンクリート構造物の製造過程と課題

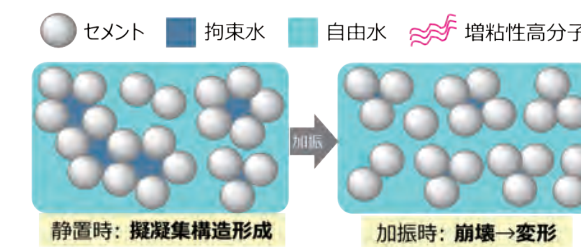
り、微振動または無振動で充填可能な自己充填コンクリートの開発が行われているが、設備上の制約やコストが障壁となり導入が難しいケースが少なくない。

フレッシュコンクリートは水、セメントおよび骨材を主成分とするが、流体としてのコンクリートは、セメントと水からなるセメントスラリーを連続相として骨材が分散した状態とも見ることができ、そのシェアシンニング性はセメントスラリーの物性、ひいては、セメントスラリー中でのセメント粒子の分散-凝集の様態を反映することが知られている³⁾。著者らは、このセメント粒子の分散-凝集状態を制御することによって、加振に起因するせん断によってフレッシュコンクリートの流動性が向上する性質である“加振変形性”を向上させることができるのではないかと考えた。

すなわち、セメント粒子凝集性を有する増粘性高分子とセメント粒子分散性に優れるポリカルボン酸系高性

○コンクリートの変形

※イメージ



○期待した効果：可逆的な構造の増加→加振変形性向上

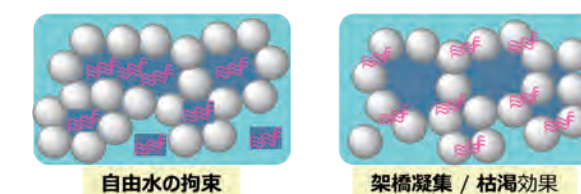


図2 フレッシュコンクリートの“加振変形”のイメージと増粘性高分子に期待した効果



写真1 加振変形試験機

能減水剤を併用することで、加振によって再分散しうる可逆的な凝集構造を増加させ、静置時には所用のフレッシュコンクリートのスペックを満足しながら、振動成型時には流動性ひいては施工性を向上させることができなかと考え、種々の検討を行ってきた⁴⁾(図2)。

本稿では、コンクリートの生産性向上を目的とした、ポリカルボン酸系高性能減水剤と増粘性高分子の併用によるフレッシュコンクリートの加振変形性向上検討の概要と応用事例について紹介する。

2. 増粘性高分子による加振変形性向上効果

増粘性高分子の作用メカニズムは、セメントスラリー中の自由水の拘束や、セメント粒子への吸着を足掛かりとした架橋凝集や枯渇効果など様々であり、増粘性高分子の重量平均分子量によってもその効果が大きく

表1 使用した増粘性高分子および高性能減水剤

増粘性高分子または高性能減水剤	略号	備考
セルロースエーテル系	CE	メチルセルロース, Mw: 140,000
ポリエチレンオキサイド系	PEO	Mw: 20,000 / 300,000 / 1,000,000
ポリアンブス系	PAMPS	Mw: 2,000,000
ポリアクリル酸系	PAA	Mw: 5,000 / 25,000 / 250,000 / 1,000,000
ポリビニルアルコール系	PVA	平均重合度: 1,500~1,800
ポリカルボン酸系高性能減水剤	PCE	自己乳化型消泡剤含有

表2 コンクリート配合および使用材料

使用材料	注釈	単体量 (kg/m ³)
水	上水道水, 比重: 1.00	144
セメント	普通ポルトランドセメント, 比重: 3.16	412
細骨材	砕砂, 表乾比重: 2.58, FM: 2.82	836
粗骨材	砕石, 表乾比重: 2.63, 最大径: 20 mm	1028

異なることが知られている⁵⁾。そのため本検討では、土木・建築用途で一般的な増粘性高分子である、セルロースエーテル系、ポリエチレンオキサイド系、ポリアンブス系、ポリアクリル酸系、ポリビニルアルコール系増粘性高分子の中から、重量平均分子量の異なる数種類を選定した(表1)。ポリカルボン酸系高性能減水剤としては、エマルジョンタイプの消泡剤を含有した市販品を用いた。

フレッシュコンクリートは、表2に示す材料および配合(W/C=35%, s/a=46%)を用いて、すべての材料を20℃、骨材は表面乾燥状態に調整し、表1に記載の高性能減水剤および／または増粘性高分子を練水に溶解して、20℃下で、強制二軸ミキサーを用いて45rpmで2分間混合することによって調整した。

加振変形性の評価手法としては、写真1の加振変形試験機を使用し、JIS A 1101に準拠したスランプ(cm)の測定直後に、NEXCO 試験法733およびJIS

	しまだ こうへい / SHIMADA Kouhei 花王(株) テクノケミカル研究所 研究員 農修
	かわかみ ひろゆき / KAWAKAMI Hiroyuki 同上 研究員 工修
	なごし ゆうと / NAGOSHI Yuto 同上 研究員 理修
	さがわ けいいちろう / SAGAWA Keiichirou 同上 研究員 理修

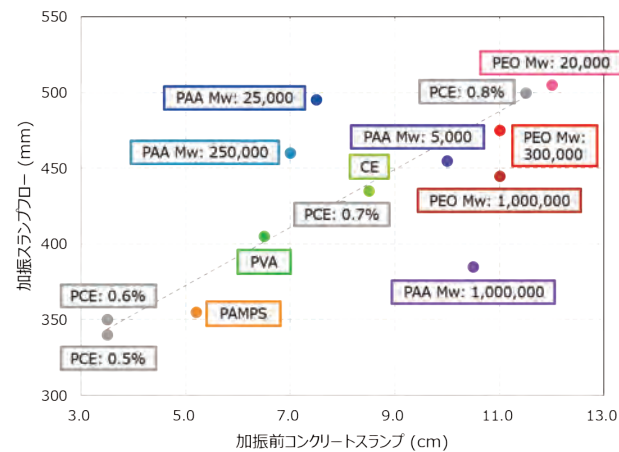


図3 各種増粘性高分子併用時のフレッシュコンクリートの加振変形性

A 1150に準拠して加振スランプフロー (mm)を測定して、横軸に加振前のコンクリートスランプを、縦軸に加振後の加振スランプフローを取ることで、加振変形性の指標とした。

結果を図3に示す。高性能減水剤と増粘性高分子を併用した系列では、C×0.8wt%の高性能減水剤と、C×0.02wt%の各種増粘性高分子を併用して試験を実施した。比較として、増粘性高分子を添加せずに高性能減水剤の添加率をC×0.5wt%、0.6wt%、0.7wt%、0.8wt%とした際のプロットを灰色で、近似直線を破線で示している。

増粘性高分子無添加の系では、加振前のコンクリートスランプと加振スランプフローは正の相関を示したため、図3の灰色破線を基準として、同一のコンクリートスランプにおいて、より大きい加振スランプフローを示す増粘性高分子が、期待した加振変形性向上効果に優れるものと評価した。結果、重量平均分子量が25,000および250,000のポリアクリル酸系増粘性高分子において、優れた加振変形性向上効果が確認された。

作用機作に関しては定かではなく検討の余地があるが、上記のような“中程度の”分子量範囲のポリアクリル酸系増粘性高分子の加振変形性向上効果が優れた理由については、セメント粒子に対する効果的な吸着性官能基(カルボキシ基)を有すること、分子量に基づくセメント粒子表面への吸着性および増粘性高分子の分子数の二律背反に起因すると推察される。一般的

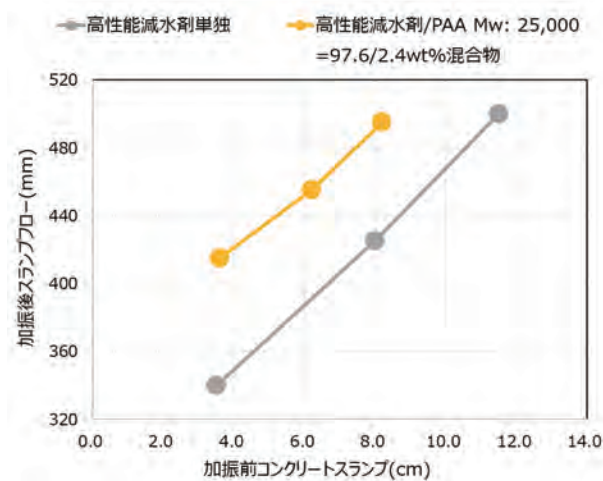


図4 ポリアクリル酸系増粘性高分子併用の効果

に、良溶媒中での固相表面に対する高分子の吸着は、その分子量が大きい程有利となることが知られている⁶⁾。また、対象粒子に吸着性を示す増粘性高分子による凝集は、対象粒子への吸着をきっかけに進行することからも、より吸着安定な、分子量が比較的大きいポリアクリル酸系増粘性高分子を使用した際に、セメント粒子の凝集構造の増加が起りやすいと考えられる。

一方、本検討は、増粘性高分子の添加率はセメントに対する重量部を一定として検討を実施しているため、分子量が大きくなるほど、セメントスラリー中に存在するポリアクリル酸系増粘性高分子の“モル数”が少なくなる。対象粒子に吸着性を示す増粘性高分子による凝集は、粒子表面への吸着、架橋凝集や枯渇効果による一次粒子間の凝集促進に次いで、増粘性高分子を介した二次粒子同士の接触により進行すると考えられているため、増粘性高分子の分子数の減少は、このような二次粒子上における接触頻度の低下につながり、セメント粒子の凝集構造の増加に対して抑制的に作用したものと考察される。

続いて、同一のコンクリートスランプにおいて、最も大きい加振スランプフローを示した重量平均分子量が25,000のポリアクリル酸系増粘性高分子を、図3の検討と同じ比率で高性能減水剤に配合し一液として、対セメント添加率を変化させ、異なる加振前コンクリートスランプにおけるフレッシュコンクリートの加振変形性を評価した(図4)。

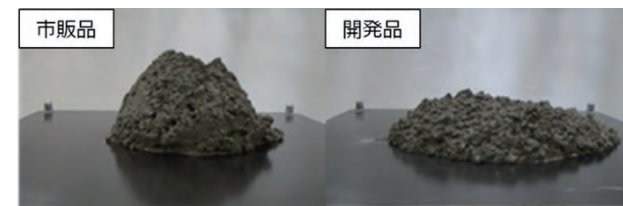


写真2 加振変形性試験後のフレッシュコンクリートの状態



写真3 保形性の評価方法

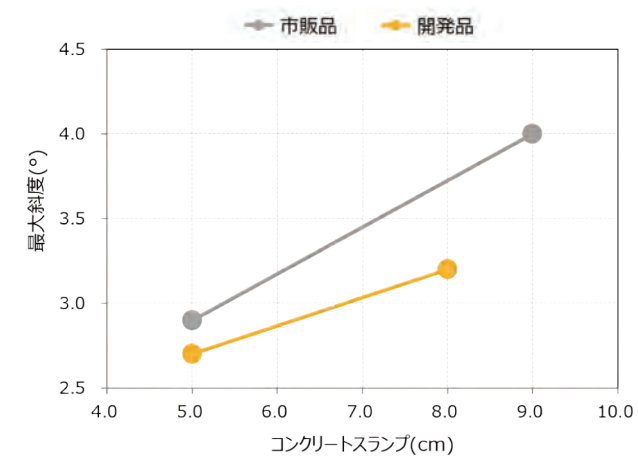


図5 フレッシュコンクリートの保形性の比較

結果、加振前コンクリートスランプを変動させても、高性能減水剤とポリアクリル酸系増粘性高分子を併用した系では、高性能減水剤を単独使用した系に比べ、大きい加振スランプフローを示した。

3. 加振変形性に優れる一液型混和剤の開発と副次的な効果ー保形性の向上ー

以上の検討を経て、現場での使用を容易にするため、加振変形性に優れる一液型混和剤の開発を念頭に、分子量が中程度のポリアクリル酸系増粘性高分子と高性能減水剤の一液化検討を行ったが、相分離を生じ、ポリアクリル酸系増粘性高分子そのものの一液化は困難であった。そこで種々の検討を行い、低起泡性の界面活性剤を併用することでポリアクリル酸系増粘性高分子の一液化を可能とするとともに、ポリアクリル酸系増粘性高分子構造の更なる最適化を経て、加振変形性に優れる一液型混和剤の開発に至った。写真2には、市販の高性能減水剤および開発した加振変形性に優れる一液型混和剤を用いて、加振前コンクリートスランプが11±1cmとなるように調整したフレ

ッシュコンクリートの加振変形性試験後の様子を示す。開発品は市販品に比べ、優れたフレッシュコンクリートの加振変形性を示した。

種々の評価を行う中で、加振変形性に優れる一液型混和剤の副次的な効果として、供試体作製の際にコテ均し時の付着や“ダレ”が改善していること、つまり、フレッシュコンクリートの保形性が向上していることを見出した。写真3には、簡易的な保形性の評価方法を示す。

曲げ強度試験用の鋼製型枠にフレッシュコンクリートを3Gの振動加速度で2分間かけて充填した後、型枠を鉛直上向きに20°慎重に傾けて静置、硬化させ、硬化後の供試体底面に対する上面の最大斜度(°)を計測して、最大斜度が小さいほど、保形性に優れると評価した。フレッシュコンクリートの保形性は、流動性の影響を少なからず受けるため、横軸にコンクリートスランプ(cm)を、縦軸に最大斜度(°)を取った結果を図5に示す。

結果、開発した加振変形性に優れる一液型混和剤は、市販の高性能減水剤に比べて、同一コンクリートスランプにおける最大斜度が小さく、優れたフレッシュ

コンクリートの保形性を示した。これは、開発品によって形成された加振によって再分散しうる可逆的な凝集構造が、自由水を減少させて過度な流動化を抑制し、静置下におけるフレッシュコンクリートの保形性を向上させたためであると考察される。

4. おわりに

本稿では、コンクリートの生産性向上を目的として、ポリカルボン酸系高性能減水剤と増粘性高分子の併用によるフレッシュコンクリートの加振変形性向上検討を実施し、以下の知見を得た。

- ・ポリアクリル酸系増粘性高分子とポリカルボン酸系高性能減水剤の併用によって、同一コンクリートスランブにおける加振スランブフローが大きくなる。
- ・セメントに対する添加重量部が同一である場合、ポリアクリル酸系増粘性高分子の加振変形性向上効果の大小は、その重量平均分子量によって異なる。

A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2022

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

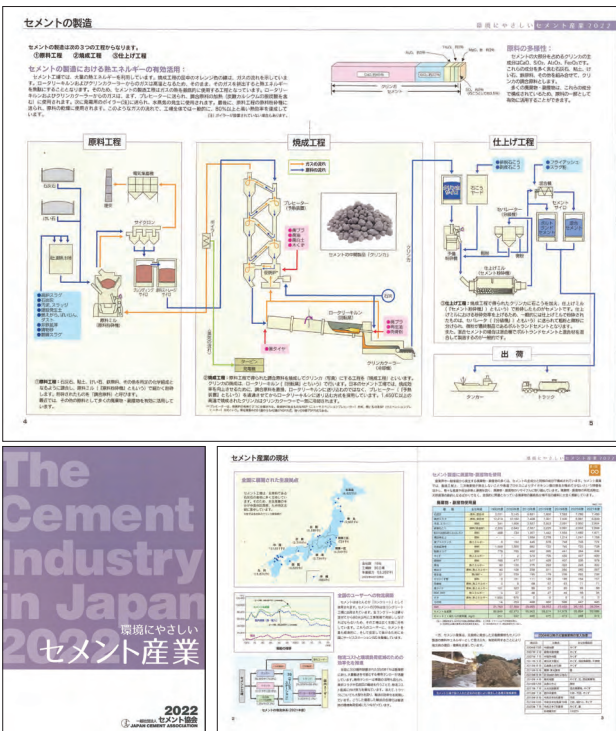
(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

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

- ・ポリアクリル酸系増粘性高分子とポリカルボン酸系高性能減水剤の一液型混和剤の使用によって、市販高性能減水剤に比して加振時変形性が向上する。
- ・加振変形性に優れる一液型混和剤の副次的な効果として、コテ均し時の付着や“ダレ”が改善し、フレッシュコンクリートの保形性が向上する。

【参考文献】

- 1) 菅匠匠, 杉山知巳, 梅沢健一, 岡沢智 / 超高強度コンクリート用高性能減水剤のフレッシュ性状改善効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.927~932, 2002
- 2) 河辺伸二, 陳海峰 / 水平振動方式による鉄筋コンクリートの締固め効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.515~520, 2010
- 3) 風間良英 / コンクリートのレオロジー, 日本レオロジー学会誌, Vol.9, pp.99~110, 1981
- 4) 島田恒平, 川上博行, 橋本淳史, 佐川桂一郎 / 増粘性高分子によるコンクリート加振変形性向上検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.94~99, 2022
- 5) C. S. Lee, J. Robinson and M. F. Chong / A Review on Application of Flocculants in Wastewater Treatment, Process Safety and Environmental Protection, 92, pp.489~508, 2014
- 6) M. Kawaguchi, K. Maeda, T. Kato and A. Takahashi / Preferential Adsorption of Monodisperse Polystyrene on Silica Surface, Macromolecules, 17, pp.1671~1678, 1984



セメント系固化材で改良した 火山灰質粘性土の長期強度発現性と 変質の熱力学的平衡計算による検討

Thermodynamic equilibrium analysis to study the long-term strength development and deterioration of cement-treated volcanic cohesive soil

泉尾 英文

1. はじめに

セメント系固化材は、従来のセメントでは十分な改良効果が得られない土質に対しても効果を発揮するように開発された特殊セメント¹⁾である。1970年代に開発され、その需要は図1に示すように年々増加し、現在は年間780万t程度¹⁾のセメント系固化材が使用されている。固化材の添加量・添加率は様々であるため具体的な量を見積もることは難しいが、相当量の改良地盤が年々蓄積されていることになる。そのため、これらの改良地盤の長期耐久性について関心が高まっており、いくつかの研究成果^{2,3)}が報告されている。セメント協会においても1990年に長期フィールド試験を開始し、継続的な追跡調査によって材齢22年までの結果⁴⁾を報告している。この調査結果について、室内における検証試験や熱力学的平衡計算などによって改めて精査を行い、長期強度発現メカニズムや改良体表層の変質メカニズムについてある程度の理解を得ることができた。本稿では、その検討結果について熱力学的平衡計算結果を中心に紹介する。

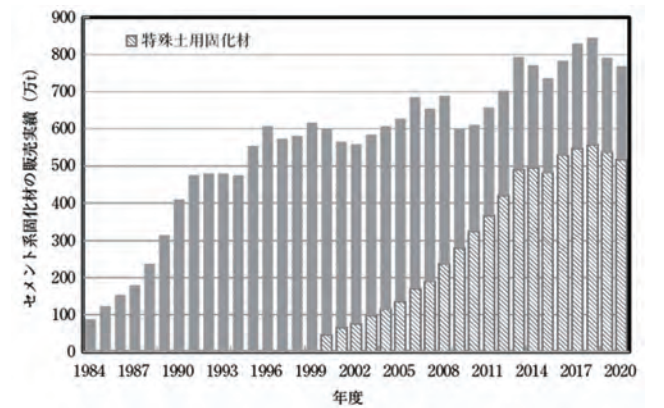


図1 セメント系固化材の販売量の推移¹⁾

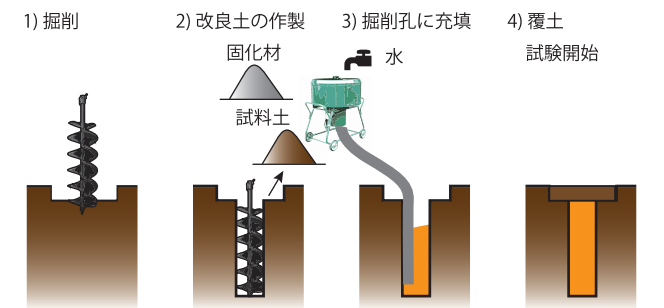


図2 地盤改良の概要

2. 長期試験および熱力学的平衡計算の概要

2-1. 長期フィールド試験の概要

長期フィールド試験は、火山灰質粘性土(含水比122.4%, 湿潤密度 1.325Mg/m³)が堆積する千葉県習志野市の地盤で実施した。均質な改良柱体を作製するために流動化処理土を用い、図2に示すように地

表 1 固化材および試料土の化学成分

化学成分		化学成分量 (%)	
		セメント系固化材	火山灰質粘性土
強熱減量	ig.loss	0.7	15.7
二酸化ケイ素	SiO ₂	20.2	38.4
酸化アルミニウム	Al ₂ O ₃	4.1	23.7
酸化鉄 (III)	Fe ₂ O ₃	2.9	14.1
酸化カルシウム	CaO	61.4	1.7
酸化マグネシウム	MgO	1.9	3.1
三酸化硫黄	SO ₃	7.4	-

盤改良を行った。改良体は、土614kgに対して水537kgを加水して1m³の泥水を作製し、泥水1m³に対して205kgのセメント系固化材を添加した。使用したセメント系固化材は、試験を開始した1990年に流通していた汎用的な一般軟弱土用固化材である。使用材料の化学成分を表1に示す。なお、長期試験は材齢10年時に移設を行っており、移設以降は浅層の低含水比の火山灰質粘性土(含水比63.2%, 湿潤密度1.615Mg/m³)に改良体を埋設し、移設後12年経過した材齢22年に追跡調査を実施した。

2-2. 熱力学的平衡計算の概要

熱力学的平衡計算は、セメント・コンクリート分野で水和反応や溶脱現象などの検討にて多くの成果を挙げている⁵⁾。本手法を用いて、長期フィールド試験の結果について検証を行うこととし、ソフトはGEMS v3.5^{6,7)}を、データベースはソフトに実装されている標準のデータベースに加えて、CEMDATA18.01⁸⁾およびZeolite20⁹⁾を用いた。解析対象の元素を、H,C,N,O,Na,Mg,Al,Si,S,Cl,K,Ca,Fe およびe (Zz)とし、表1に示すセメント系固化材および試料土の化学成分量や改良体の配合をもとに計算を行った。

3. 試験結果

3-1. 改良体の長期強度発現性

(1) 一軸圧縮強さおよび pH

改良体の長期強度発現性を図3に示す。供試体

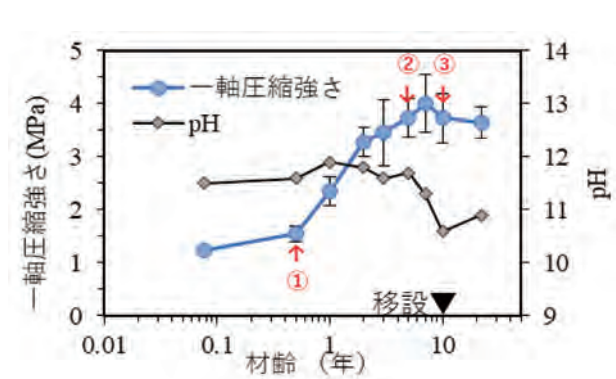


図3 改良体の一軸圧縮強さおよび pH¹⁰⁾

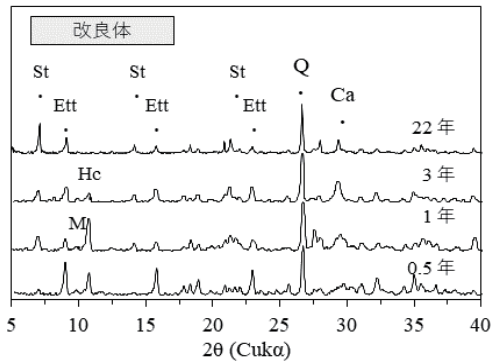


図4 改良体の粉末X線回折結果¹⁰⁾

は、改良柱体の中央付近からコア採取したもので、周辺土との接触による影響は受けていない。改良した直後の改良土はPロートを11秒程度で通過する泥水であるが、材齢の経過とともに硬化し材齢28日に1.28MPaの一軸圧縮強さを発現した。その後、材齢0.5年までは緩やかに強度が増加し、それ以降も大きく強度増加して材齢5年程度で28日強度の約3.2倍に達した。この強度を、安定的に維持していることを材齢22年までの調査で確認した。材齢0.5年までは主にセメント系固化材の水和反応によって強度発現し、それ以降は土とのポズラン反応によって強度が増加したものと考えられる。この強度発現の過程におけるpHの変化は、強度増加が認められた材齢5年程度まではあまり変化せず、材齢5年から10年にかけて低下した後に10.8程度を維持していた。pHが低下した期間では、一軸圧縮強さはあまり変化しなかった。

(2) 反応生成物の粉末X線回折による分析

粉末X線回折によって改良体中の反応生成物を定性分析した結果を図4に示す。若材齢からエトリンガ

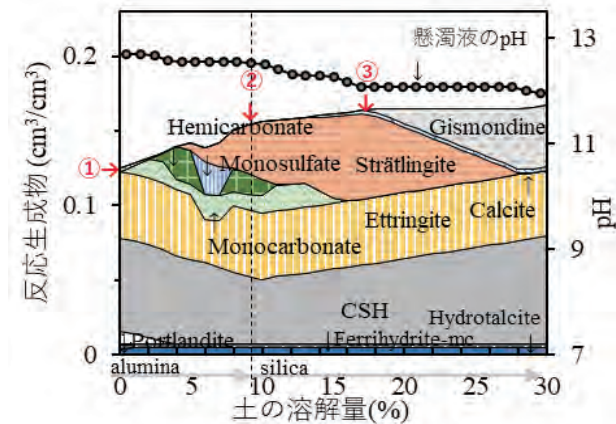


図5 改良体の熱力学的平衡計算結果¹⁰⁾

イト(Ett)が生成し、長期的にも安定して存在していることが認められた。初期には生成しておらず長期的に生成する反応生成物として、ストラトリンガイト(St)の存在が認められた。エトリンガイトの生成が改良体の初期強度に寄与し、ストラトリンガイトの生成が長期強度の発現に寄与したものと考えられる。材齢0.5年で、ヘミカーボネート(Hc)とモノサルフェート(M)の生成が認められたが、これらの反応生成物は材齢の経過とともに消失した。なお、セメント水和物の一つであるCSHも強度へ大きく寄与するが、結晶性の鉱物のみを対象とした本分析手法では、非晶質であるCSHの生成を評価することはできなかった。

(3) 熱力学的平衡計算による検討

使用材料の化学成分量(表1)および改良体の配合をもとに改良体の化学成分量を算出し、熱力学的平衡計算によって反応生成物とその量を算出した。フィールド試験の結果と整合するように反応の過程を検討した結果、固化材中のCaは火山灰質粘性土中のアロフェン鉱物などによって18%程度が吸着されて反応に寄与しなくなったこと、セメント系固化材の反応に加えて土とのポズラン反応によって反応生成物量が増加することが分かった。推定された反応過程を図5に示す。土からアルミが溶解することで、ストラトリンガイト、ヘミカーボネートなどが生成し反応生成物量が増加した。この反応におけるpHの変化はわずかであり、フィールド試験の材齢0.5年から5年程度までの反応過程であ

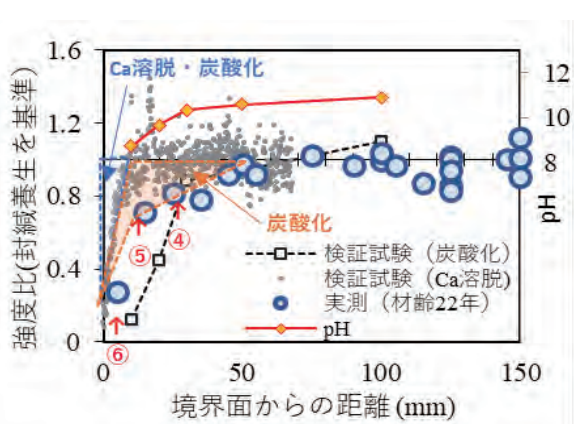


図6 変質した改良体表層の一軸圧縮強さおよび pHの分布

ると考えられる。その後、土からシリカが溶解することで、ヘミカーボネートが消失するが、CSHなどが生成するため反応生成物量はわずかに増加した。この反応におけるpHの変化は、アルミの溶解過程における変化よりも大きく低下しており、フィールド試験の材齢5年から10年にあたると考えられる。本改良体の長期的な強度発現性と安定性は、エトリンガイトおよびストラトリンガイトに加えて、CSHが大きく影響していることが熱力学的平衡計算によって確認された。

3-2. 改良体表層の変質

(1) 一軸圧縮強さおよび pHの分布

周辺土に接する改良体表層は、Caの溶脱および炭酸化の影響によって変質していることが材齢22年の調査で確認された。変質を受けた領域では、図6に示すように強度が低下し、pHが低下していた。ただし、Caの溶脱は材齢1年程度で収束していること、炭酸化は材齢10年時の移設以降に生じたものであることが室内の検証試験で確認された。移設の影響を除くと、材齢22年を経過した改良体の表層の変質は、境界面から10mm程度と限定的であった。

(2) 反応生成物の粉末X線回折による分析

変質した改良体中の反応生成物の変化を、粉末X線回折によって定性分析した結果を図7に示す。Caの溶脱または炭酸化によって変質した領域では、エトリンガイトやストラトリガイトの主要な反応生成物が消失していることが確認された。一方で、炭酸化した領域で

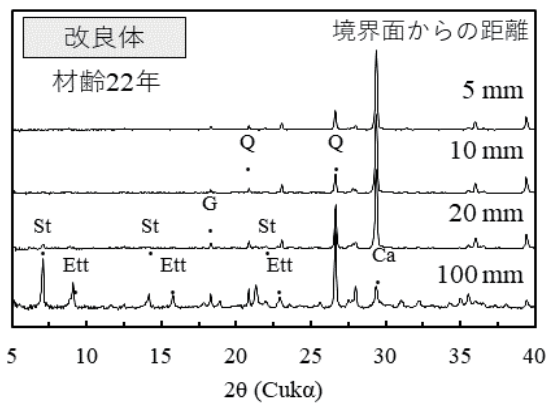


図7 変質した改良体表層の粉末X線回折結果¹⁰⁾

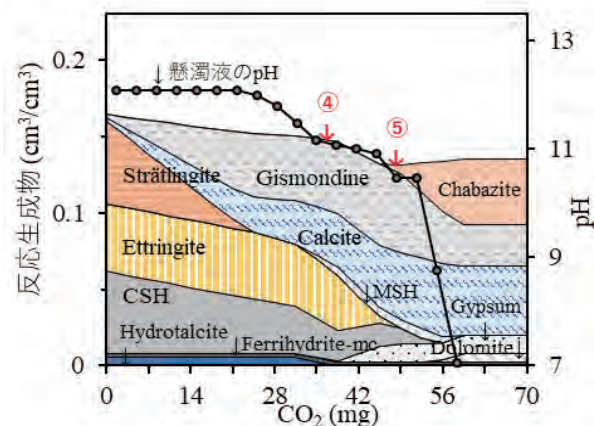


図9 炭酸化現象の熱力学的平衡計算結果¹⁰⁾

は、カルサイト(Ca)が生成していることが確認された。

(3) 熱力学的平衡計算による検討

Caの溶脱および炭酸化による変質現象を、熱力学平衡計算によって検証を行った。セメントの水和反応およびボゾラン反応が終了した状態から、地下水による繰り返しの浸漬およびCO₂を段階的に増加させて反応生成物の変化を評価した。Caの溶脱による結果を図8に、炭酸化による結果を図9に示す。いずれの変質も、反応の進行に伴いCSH、エトリンサイトおよびストラトリンサイトが消失し、反応生成物およびpHが低下した。ただし、炭酸化による変質ではカルサイトが生成するため、反応生成物の低下量はCaの溶脱と比較して緩やかであった。

3-3. 反応生成物量と一軸圧縮強さとの関係

長期フィールド試験によって改良体の長期強度と変

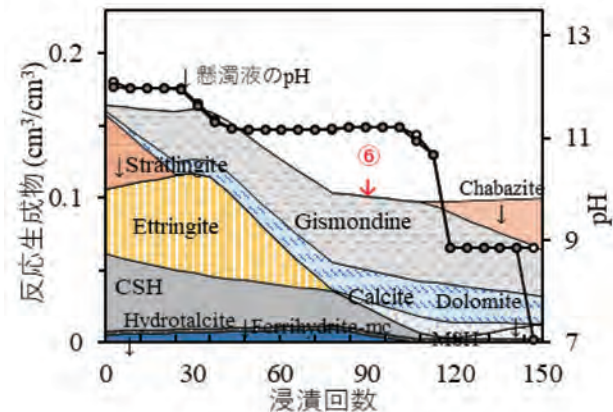


図8 溶脱現象の熱力学的平衡計算結果¹⁰⁾

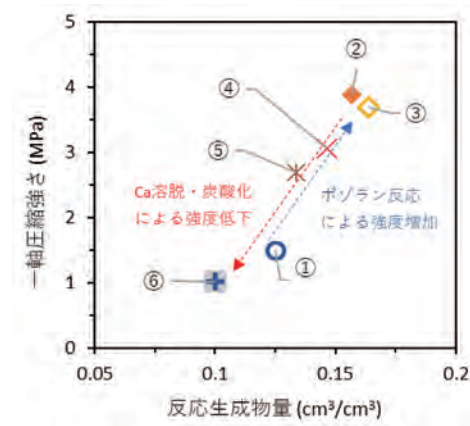


図10 反応生成物量と一軸圧縮強さの関係

質による強度低下を把握し、その強度における改良体中の反応生成物量を熱力学的平衡計算によって推定した。そこで、図10に示すように、反応生成物量と一軸圧縮強さとの関係を比較した。①は主に固化材の反応、②および③は土とのボゾラン反応、④および⑤は炭酸化による変質、⑥はCaの溶脱・炭酸化による変質の影響を受けた後の、反応生成物量と一軸圧縮強さとの関係であり、図3,5,6,8,9中の数字で示す箇所を参照した。④⑤は炭酸化によってpHが低下した段階で、④はまだエトリンサイトなどの水和物が残存している箇所、⑤はほとんど消失している箇所を選定した。⑥は、実測したCa濃度の低下量と同等となる箇所を選定した。なお、図8はCaの溶脱のみの計算結果であるが、⑥の状態から炭酸化の影響を加味しても反応生成物量が大きく変化することはなかった。セメント系固化材の水和反応および土とのボゾラン反応による強度増加、

Caの溶脱および炭酸化の変質にともなう強度低下の両現象ともに、反応生成物の増減によって一軸圧縮強さの増減がおおむね説明できることが確認された。

4. おわりに

セメント系固化材によって改良した火山灰質粘性土の長期追跡調査によって、改良体の長期強度発現性と改良体表層の変質が認められ、これらの現象について熱力学的平衡計算によって検証した。その結果、土の溶解に伴う長期強度発現のメカニズムやCaの溶脱による変質のメカニズムについて把握することができた。様々な土質を対象として地盤改良が行われており、各土質によって反応過程が異なるものと考えられるが、これらの現象の評価にも熱力学的平衡計算が有用であると考えられる。

【謝辞】本成果を取りまとめるにあたり、ご指導を頂きました広島大学半井健一郎教授に感謝の意を表します。また、長期試験・室内検証試験は、セメント協会セメント系固化材技術専門委員会の成果であり、関係各位に多大なるご協力を賜りましたことを付記

し、ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) セメント協会／セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版、2021
- 2) M. Ikegami, T. Ichiba, K. Ohishi, M. Terashi / Long-term properties of cement treated soil 20 years after construction, Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.1199~1202, 2005
- 3) 橋本聖他／30年経過した深層混合処理改良体の強度特性, 材料, Vol.67, No.1, pp.47~52, 2018
- 4) セメント協会セメント系固化材技術専門委員会／改良体の長期安定性に関する研究―材齢22年試験結果報告―, セメント・コンクリート, No.804, 2014
- 5) 半井健一郎／地球化学モデルによる熱力学的平衡計算のコンクリート分野への適用, コンクリート工学, Vol.49, No.12, 2011
- 6) D.A. Kulik, T. Wagner, S.V. Dmytrieva, G. Kosakowski, F.F. Hingerl, K.V. Chudnenko, U.R. Berner, / GEM-Selektor geochemical modeling package: revised algorithm and GEMS3K numerical kernel for coupled simulation codes, Computat. Geosci. 17 pp.1~24, 2013
- 7) T. Wagner, D.A. Kulik, F.F. Hingerl, S.V. Dmytrieva / GEM-Selektor geochemical modeling package: TSolMod library and data interface for multicomponent phase models, Canad. Mineral. 50(5) pp.1173~1195, 2012
- 8) B. Lothenbach, D. A. Kulik, T. Matschei, M. Balonis, L. Baquerizo, B. Dilnesa, G.D. Miron, R.J. Myers / Cemdata18: A chemical thermodynamic database for hydrated Portland cements and alkali-activated materials, Cem. Concr. Res. 115 pp.472~506, 2019
- 9) B. Ma, B. Lothenbach / Thermodynamic study of cement/rock interactions using experimentally generated solubility data of zeolites, Cem. Concr. Res. 135, 2020
- 10) H. Izuo, N. Kenichiro, D. A. Kulik / Twenty-two-year investigation of strength development and surface deterioration of cement-treated clay in an in-situ field test, Cement and Concrete Composites, Vol.134, 2022

英文パンフレット

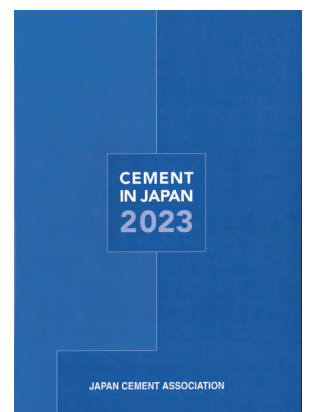
“CEMENT IN JAPAN 2023”をお頒けします

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



高機能養生剤「クリーンセイバー®」の基本特性

Characteristic of high-performance curing compound "Clean Saver"

丸田 浩 長塩 靖祐 菅 彰 對馬 大郎

1. はじめに

コンクリート構造物は、所要の強度、ひび割れ抵抗性、劣化に対する抵抗性、表面美観性などの品質を確保する必要がある。それらの品質を確保するためには、打込み後のコンクリートを湿潤状態に保ち、セメントの水和反応を十分に進行させ、かつ有害な作用の影響を受けることなく、適切な養生を施す必要がある。コンクリートの養生は、できるだけ長期にわたり行うことが望ましい。例えば、初期材齢に密実な硬化組織が形成されていない場合は、表面からの水分が逸散しやすい傾向にあり、コンクリートの品質に大きな影響を与える。そのため、土木学会「2017年制定 コンクリート標準示方書 施工編」¹⁾、および建築学会「建築工

事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事2022」²⁾では、湿潤養生期間が定められている。

他方、建設工事において、型枠の存置期間は、工事の全体工程にも影響を及ぼすが、工程上、養生期間の確保が難しい場合には、最小限の強度が発現した時点で脱枠する場合もある。さらに、部材の種類や施工条件、環境条件などの様々な制約によって十分な湿潤養生の確保が難しい場合も懸念される。以上のような場合には、コンクリートの養生工程において塗布型の養生剤が適用されている事例がある³⁾。この養生剤は、省力化・生産性向上が期待できる材料として注目されている。近年の少子高齢化により、労働人口の減少が進む中で、このような材料の適用が増加することが想定され、湿潤養生として適用することができる養生剤が求められている。

本稿では、新規に開発した高機能養生剤「クリーンセイバー®」の概要とコンクリートに用いた場合の各種物性の一例を紹介する。

2. 高機能養生剤「クリーンセイバー®」の概要

クリーンセイバー®は、硬化したコンクリートおよびモルタルの表面に塗布する養生剤である。製品の荷姿を写真1に、主成分および物性例を表1に示す。

特長としては、①浸透性の養生剤、②高い水分逸



写真1 製品荷姿



写真2 塗布後の状況

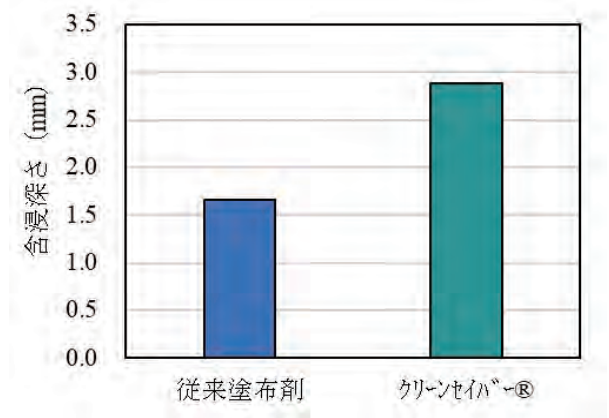


図1 含浸深さ

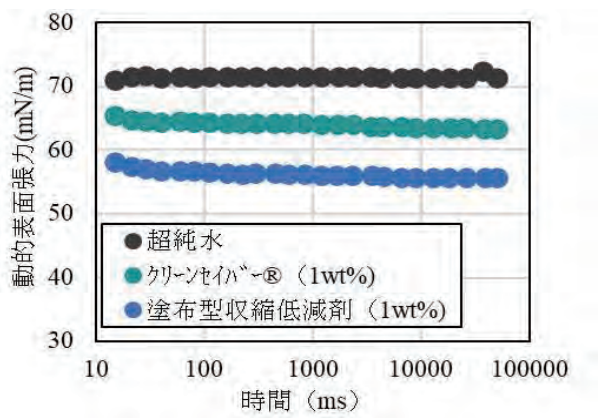


図2 動的表面張力

散抑制および乾燥収縮低減効果、③表面美観性の低下抑制であり、以下に詳細を示す。

① 浸透性の養生剤

写真2に塗布後の変化を示す。クリーンセイバー®は従来の膜養生剤と異なり、造膜しない浸透性の養生剤のため、時間が経過すれば、塗布による色むらなどが生じる可能性が低い。

② 高い水分逸散抑制および乾燥収縮低減効果

クリーンセイバー®は、親水性を高めることにより、浸透性が向上し、水分逸散抑制をより効果的に発揮できる設計としている。図1には、従来の塗布剤とクリーンセイバー®の含浸深さを比較した結果を示す。

ンセイバー®の塗布後の浸透性を測定した結果を示す。クリーンセイバー®の含浸深さは、従来の塗布剤の1.7倍程度大きいことが確認されている。また、クリーンセイバー®は、従来の収縮低減剤と同様にコンクリート中の自由水の表面張力を低下させ、乾燥収縮の一つの要因とされる毛細管張力を小さくすることができる。図2には、表面張力を測定した結果を示す。クリーンセイバー®の表面張力は、従来の収縮低減剤よりも親水性を高めたことにより大きくなるものの、超純水よりも小さくなっていることが確認される。このことから、コンクリート中の自由水の駆動による収縮圧力を低下させ



また ひろし / MARUTA Hiroshi
太平洋マテリアル(株) 開発研究所



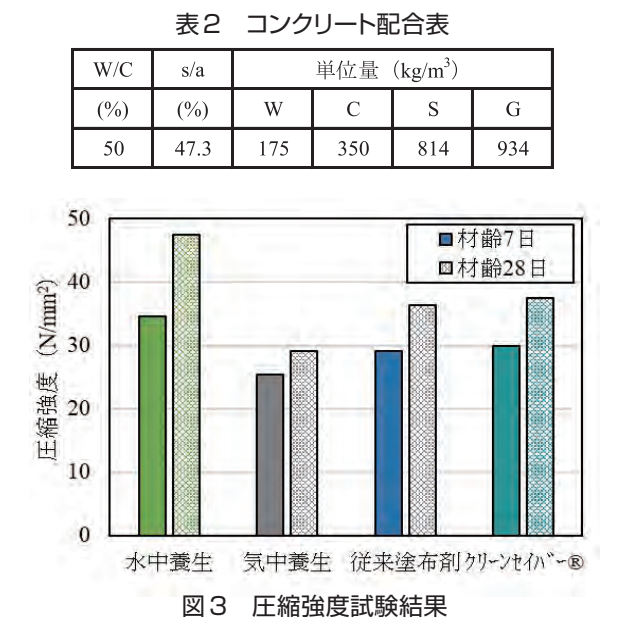
ながしお やすひろ / NAGASHIO Yasuhiro
同上
博士(工学)



すが あきら / SUGA Akira
東邦化学工業(株)
研究開発本部



つしま たろう / TSUSHIMA Taro
同上



ることが可能となる。

③ 表面美観性の低下抑制

近年の生産性向上の取組みから、コンクリート構造物のプレキャスト化が進展することが予想される。プレキャスト製品において、長期ストックする場合には、乾燥収縮によるひび割れだけでなく、カビなどの発生による表面美観性の低下が懸念される。カビなどが発生した場合には、コンクリートの性能に影響を及ぼす可能性は低いが、見栄えの観点から除去して出荷されることとなり、余計な工程が増えることとなる。また、現場打ちコンクリートでも、中性化が進行し、風通しが悪い、湿度が高い、日当たりが悪い、表面に凹凸があるなどの条件が揃えば、カビが発生する可能性が高い。クリーンセイバー®は、前述した特長に加え、塗布した箇所においてカビの発生を抑制する効果を付与している。さらに、クリーンセイバー®は浸透性の機能を有することから、塗布による色むらの低減効果もあり、美観性の低下を抑制できる。

3. 塗布したコンクリートの基本物性の一例

3-1. 試験概要

本節の試験では、クリーンセイバー®を塗布したコンクリートの基本的な物性試験を実施した。表2にコンク

表3 試験項目および方法

試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108に準拠
	寸法：φ100×200mm
	材齢：7，28日
表層透気	トレント法にて測定
	寸法：100×100×400mm
	材齢：28日
乾燥収縮	JIS A 1129に準じて測定
	寸法：100×100×400mm
	300×300×60mm
	材齢：材齢182日まで

リートの配合表を示す。セメント(C)には普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)，細骨材(S)には山砂(表乾密度2.57g/cm³)，粗骨材(G)には硬質砂岩(表乾密度2.65g/cm³)を用いた。なお、AE減水剤およびAE剤によって、スランプは15±2.5cm，空気量は4.5±1.5%に調整した。

表3に各種試験項目および方法を示す。各試験に用いた供試体は、打設後24時間で脱型し、養生剤を塗布し、所定の材齢まで20℃60%RH環境下に保管した。乾燥収縮試験は、JIS A 1129に準じた寸法100×100×400mmの角柱供試体と乾燥収縮条件として厳しくなる薄い部材を対象とした寸法300×300×60mmの平板供試体の2つの試験体を用いて行った。なお、平板供試体は、打設上面に塗布し、その他の面は水分が逸散しないよう被覆した。試験水準は、無処理(PL)，クリーンセイバー®を150g/m²塗布した水準(CA)，および既往の研究で水分逸散抑制に効果があると報告されている塗布型収縮低減剤⁴⁾を150g/m²塗布した水準(SR)の3水準とした。

3-2. 試験結果

(1) 圧縮強度

図3に圧縮強度試験結果を示す。クリーンセイバー®を塗布した水準の圧縮強度は、塗布型収縮低減剤と同様の傾向であり、水中養生した水準よりは小さくなるが、気中養生した水準よりも材齢7日で約120%，材齢28日で約130%大きくなることが確認された。

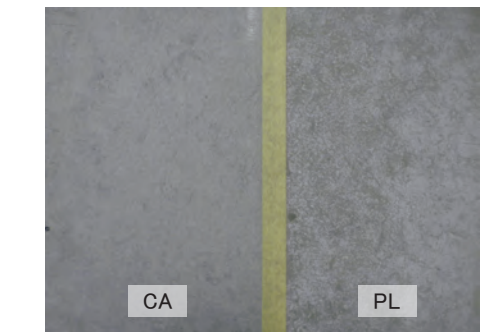


写真3 塗布2日後の外観

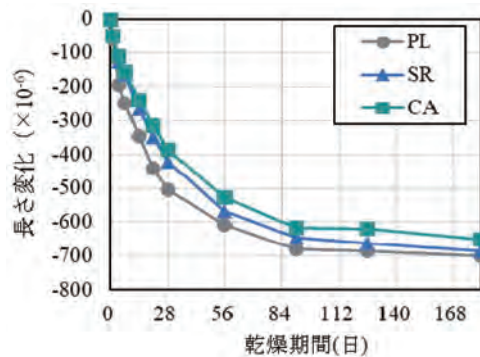


図5 長さ変化(100×100×400mm)

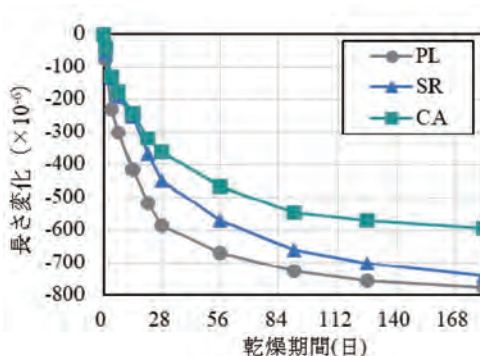


図7 長さ変化(300×300×60mm)

(2) 表層透気係数

写真3に塗布2日後の表層の外観を示す。クリーンセイバー®を塗布した場合の表面外観は、無処理と比べ、白く均一になっている。これは、表層部の水分逸散を抑制することで、水和反応が進行し、組織構造が緻密化したことで色むらが低減されたと考えられる。一方で、無処理の場合は、水分逸散が大きくなり、表層部の組織構造が粗な箇所もできることで、色むらとして現れたと考えられる。図4には、表層透気係数の測定結果を示す。クリーンセイバー®を塗布した場合の透気係数は、無処理と比べて小さくなり、本試験ではグレードも1ランク下げることが可能であった。また、塗布

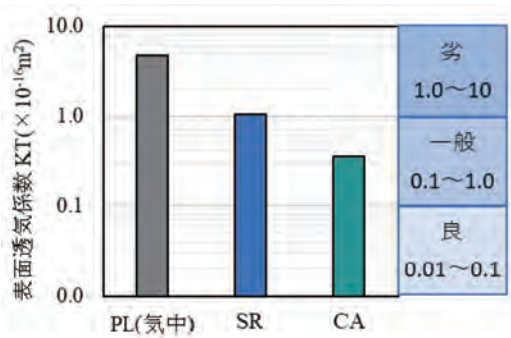


図4 表層透気係数

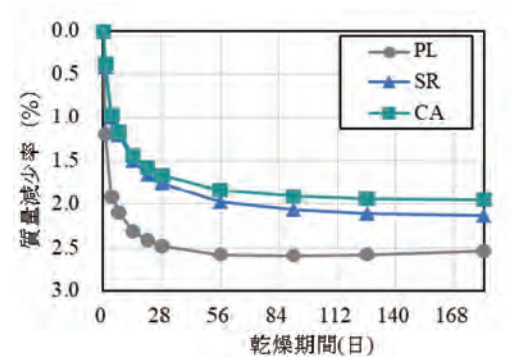


図6 質量変化(100×100×400mm)

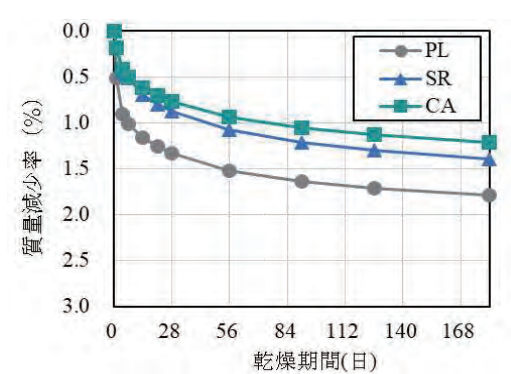


図8 質量変化率(300×300×60mm)

型収縮低減剤と比べても透気係数が小さくなることが確認された。

(3) 乾燥収縮

供試体寸法100×100×400mmの角柱供試体とした場合の長さ変化を図5に、質量変化率を図6に示す。

クリーンセイバー®を塗布した場合の長さ変化は、無処理および塗布型収縮低減剤よりも小さくなることが認められた。また、質量変化率は、クリーンセイバー®を塗布することで、無処理よりも乾燥期間初期から長期にかけて大幅に小さくなることも確認された。次に、供試体寸法300×300×60mmの平板供試体とした場合の長さ変化を図7に、質量変化率を図8に示す。乾燥

表4 コンクリート配合表					
W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)			
(%)	(%)	W	C	S	G
48	47.5	170	355	829	939

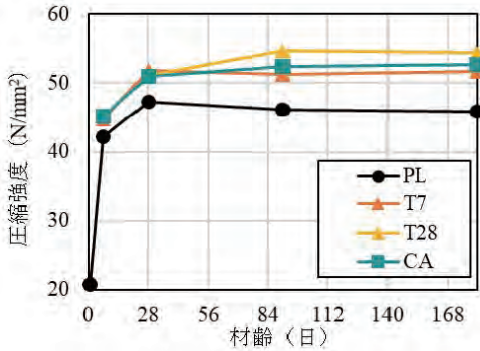


図9 圧縮強度試験結果

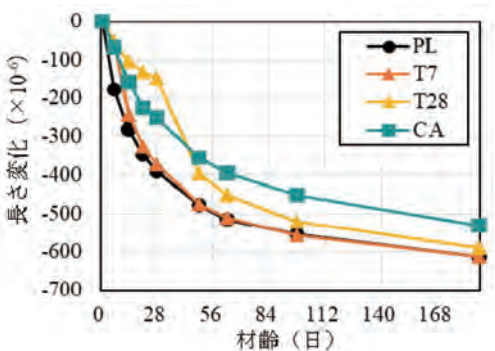


図10 長さ変化

収縮に厳しい薄い部材を対象とした場合にも、クリーンセイバー®を塗布した水準の長さ変化は、角柱供試体の場合と同様に無処理および塗布型収縮低減剤を塗布した場合よりも小さくなることが認められた。また、その傾向は、質量変化率でも同様であった。これらのことから、クリーンセイバー®を塗布した場合は、乾燥収縮ひび割れに厳しい薄い部材を対象としても、水分逸散抑制効果が高く、乾燥収縮によるひび割れを低減に期待ができる。

4. 従来技術との比較および耐久性評価

4-1. 試験概要

本節の試験では、従来技術として養生テープとの比較およびクリーンセイバー®を塗布した場合の耐久性評価を実施した。表4には、本節でのコンクリートの配合表を示す。なお、スランブは12±2.5cm、空気量は

表5 試験項目および試験方法	
試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108に準拠
	寸法：φ100×200mm
	材齢：7, 28, 91, 182日
乾燥収縮	JIS A 1129に準じて測定
	寸法：100×100×400mm
	材齢：材齢182日まで
透水量	JSCE-K571に準じて測定
	寸法：100×100×400mm
	材齢：7, 28, 91, 182日
中性化深さ	JIS A 1153に準じて測定
	寸法：100×100×400mm
	材齢：28, 56, 91, 182日

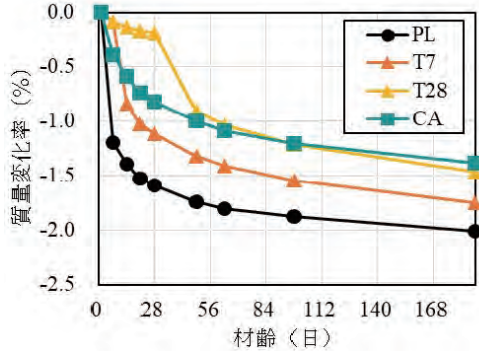


図11 質量変化率

4.5±1.5%になるよう調整した。表5には、試験項目および試験方法を示す。なお、供試体は、材齢24時間で脱型し、各養生を施した後、20℃60% RH環境下に静置し、試験に用いた。試験水準は、無処理(PL)、養生テープの貼付け期間を材齢7日(T7)と28日(T28)とした場合と、クリーンセイバー®を200g/m²塗布した場合(CA)の4水準とした。

4-2. 試験結果

(1) 圧縮強度

図9に圧縮強度試験結果を示す。クリーンセイバー®を塗布した場合の圧縮強度は、材齢7日まで養生テープを貼付けた場合と同程度であり、無処理よりも初期から長期にかけて大きくなった。

(2) 乾燥収縮

図10に長さ変化を、図11に質量変化率を示す。クリーンセイバー®を塗布した場合の長さ変化は、初期

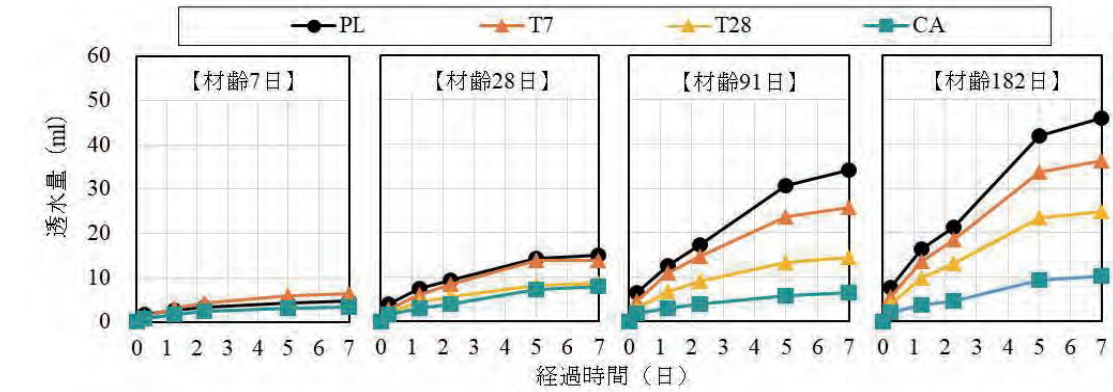


図12 透水量

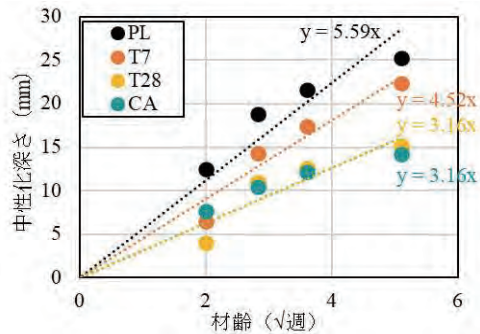


図13 中性化深さ

から長期にかけて小さくなり、乾燥材齢182日では養生テープを材齢28日まで貼付けた場合よりも小さくなった。質量変化率も、初期から小さくなることが示され、材齢182日では養生テープを28日間貼付けた場合と同等以下であった。一方で、養生テープを用いた場合、貼付けている期間の長さ変化および質量変化率は非常に小さくなるが、剥がした以降は大きくなる傾向が認められた。このことから、クリーンセイバー®を塗布した場合は、長期的に水分逸散抑制効果が維持されることが期待できる。

(3) 透水量

図12に透水試験結果を示す。クリーンセイバー®を塗布した場合の透水量は、他の水準のような材齢の進行による増加が少ない。そのため、透水量においても長期的に抑制する効果が期待できる。

(4) 中性化深さ

図13に促進中性化材齢と中性化深さの関係を示す。クリーンセイバー®を塗布した場合の中性化深さは、無処理よりも小さく、養生テープを材齢28日まで貼付けた場合と同程度であることが確認された。クリーン

表6 カビ種類

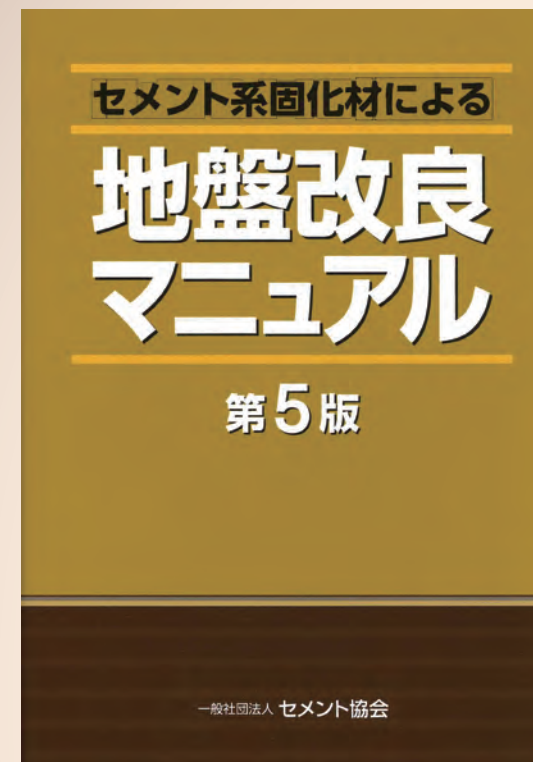
カビの種類
アスペルギルス ニゲル
ペニシリウム ビノヒルム
クラドスポリウム スファエロスペルマム
オーレオバシジウム プルランス
トリコデルマ ビレンス

セイバー®を塗布した場合は、中性化に対する抵抗性も付与することができる。

5. カビ抵抗性評価

5-1. 試験概要

カビ抵抗性試験は、JIS Z 2911に準じて、28日間実施した。試験体は、JIS R 5201に規定されている配合割合のモルタルを40×40×5mmの寸法で成形した。養生は、材齢14日まで20℃60%RHに静置後、表面がアルカリ性であればカビが繁殖しないため、CO₂濃度5%の促進中性化槽にて14日間養生し、表面が中性化していることを確認後、クリーンセイバー®を塗布した。試験に用いたカビは、JIS Z 2911に準じた表6の通りであり、一般的にコンクリート表面から検出されることが多いペニシリウムビノヒルム、オーレオバシジウムプルランスも用いた。なお、試験は、無処理とクリーンセイバー®を150g/m²塗布した2水準で行った。

セメント系固化材による
地盤改良マニュアル

最新第5版
発刊しました。

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

第5版改訂のポイント

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

A5判 502頁
税込定価 6600円

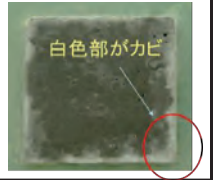
1. セメント系固化材とその適用
2. セメント系固化材による地盤改良の原理と改良土の特性
3. 地盤改良にあたっての事前調査および試験
4. 浅層改良・中層改良
5. 深層改良
6. 建築物のための地盤改良
7. 発生土の改良
8. 環境と固化処理
9. 災害に強いセメント系固化材 **新章**
10. 実施例

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで

東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

表7 カビ抵抗性試験結果

	無処理	クリーンセイバー®
外観 材齢28日		
カビ発生	有り	無し

5-2. 試験結果

表7にカビ抵抗性試験結果を示す。クリーンセイバー®を塗布した水準は、材齢28日でもカビの発生は確認されなかった。一方で、無処理の場合は、材齢7日の時点でカビの発生(試験体の縁の白色部)が確認された。このことから、クリーンセイバー®を塗布した場合には、カビ発生による表面美観性の低下を抑制できることが示唆された。

6. おわりに

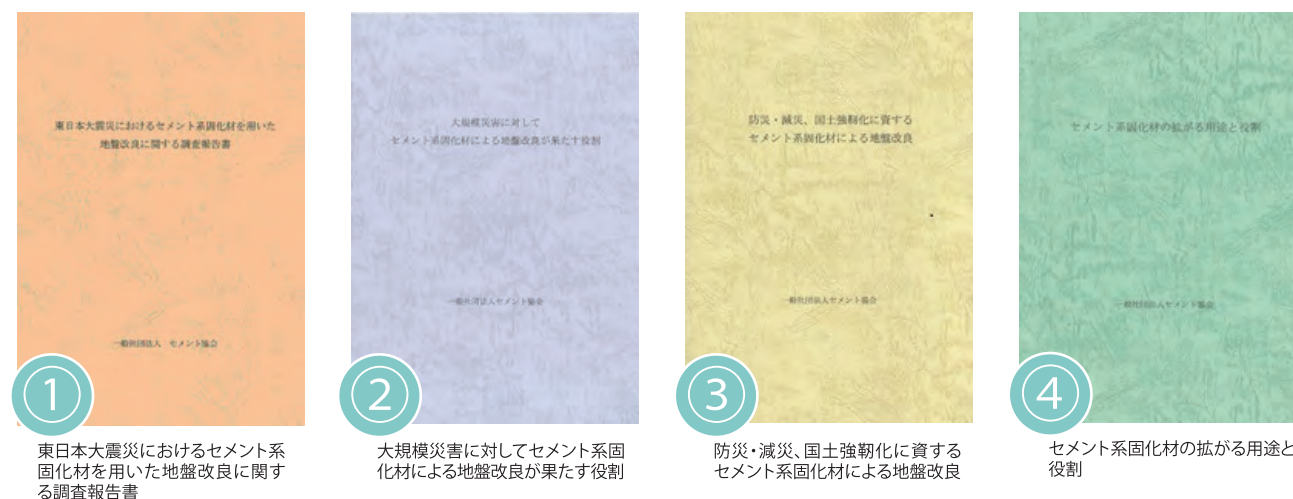
本稿では、高機能養生剤「クリーンセイバー®」の概

【参考文献】

- 1) 土木学会／コンクリート標準示方書〔施工編〕, 2017
- 2) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2022
- 3) 八谷好高, 坪川将丈／空港コンクリート舗装における被膜養生剤の適用性に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第6巻, pp.186~195, 2001
- 4) 郭度連, 花田達雄, 杉山彰徳／塗布タイプ収縮低減剤を用いたコンクリートの性能向上, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp631~636, 2009

お知らせ

改良地盤の震災・適用調査報告書
無料ダウンロードできます。



1

東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書

2

大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割

3

防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良

4

セメント系固化材の拡がる用途と役割

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

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

β -C₂S

錯体重合法による高C/S比のC-S-Hの合成と高活性 β -C₂Sの作製

Cement industry Key words for a decarbonized, low-carbon society: β -C₂S
-Synthesis of C-S-H with high C/S ratio and preparation of highly reactive β -C₂S
by complex polymerization method-

斎藤 豪

1. はじめに

2015年9月、国連サミットにおいて「持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)」が採択された¹⁾。これは、17のゴール、169のターゲットから構成された、持続可能な世界を実現するための普遍的な目標であり、発展途上国のみならず先進国にも積極的な関与が求められている。また、目標達成のためには、各国政府だけでなく企業や市民社会による全世界的な行動も必要であり、全ての人々が目標の達成に対して積極的にアプローチしていかなければならない。

セメント産業に対しても、目標達成への貢献が求められており²⁾、これを受けて多くのセメント系技術が開発されてきた³⁾。このうちの1つとして挙げられるのが β -C₂S系セメントである。これは、クリンカのCaO含有量を減らすことで、焼成・脱炭酸過程におけるエネルギー消費量やCO₂排出量を削減するというものである。しかし一般に β -C₂Sは水和活性が低く、初期強度の発現に課題を抱えている。反面、水和反応による発熱量が小さいという利点も持ち合わせているため、ダムやコンクリート基礎といった大規模なコンクリート構造物には、中庸熱や低熱ポルトランドセメントといった高ピーライト系セメントが用いられている。しかし、これらのセメントは、マスコンクリート以外の用途にはあまり用いられていないのが現状である。

そこで筆者らは、石田ら⁴⁾の報告にある通常よりも水

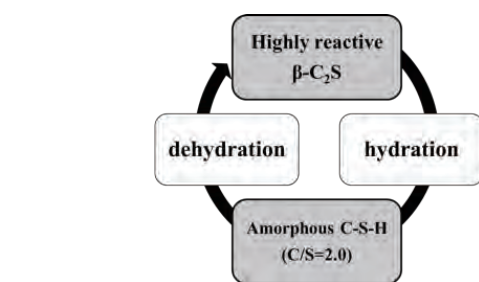


図1 リサイクルセメントシステムの概略図

和活性が高い β -C₂Sに着目し、研究を行ってきた。この報告によると、高活性 β -C₂SはC/S比2.0の結晶性C-S-Hの一種であるHillebranditeの低温焼成により生成することに加え、その水和生成物中にはCa(OH)₂(以下、CHと称す)が共存しないことも示されている。

通常の β -C₂Sの水和反応では、C/S比1.45程度の非晶質C-S-HおよびCHが生成される⁵⁾が、石田らの報告に従えば、高活性 β -C₂Sの水和でC/S比2.0の非晶質C-S-Hのみを生成することも可能となる。

このことから、仮にC/S比2.0の非晶質C-S-Hを単相で合成し、その焼成により高活性 β -C₂Sを合成できれば、この高活性 β -C₂Sの水和生成物はC/S比2.0の非晶質C-S-Hのみとなる。これにより図1のような“繰り返し再生利用可能なセメント”設計の可能性が示される。

以上の思想に基づき、著者らは、共沈法を用いて合成したC/S比2.0程度の非晶質C-S-Hを低温焼成することで高活性 β -C₂Sを合成し、またその水和により再びC/S比2.0程度の非晶質C-S-Hを生成することにより一部成功し、報告を行っている^{6~8)}。

一方、Jennings⁹⁾は高C/S比のC-S-H生成メカニズムについて報告を行っている。この報告では、C-S-Hの生成液相におけるCaとSiの2種類の溶解度曲線と、それぞれと平衡関係にあるC-S-H(C-S-H(I)およびC-S-H(II))が存在することが示されている。加えて、液相のCaとSiの濃度が高い場合にC/S比の高い(C/S比1.5~)C-S-Hが生成することや、C-S-Hの成長により、注水直後に高濃度であった液相のSiイオン濃度が低下し、相対的にCaイオンが過飽和となった後も反応が継続する場合には、CHが共存するC-S-Hが生成することが示されている。

つまり、CHの共存しない高C/S比の非晶質C-S-Hが生成する場合は、注水直後から反応収束まで、水和液相のCaおよびSiの濃度が、高いCa/Si比のまま一定で、かつCaが過飽和となる前に、反応が収束していると考えられる。

他方、本研究グループによる既往の研究で、共沈法およびメカノケミカル法により合成した β -C₂Sでは、比表面積が大きいほど水和活性が向上する傾向があることが報告されている^{6~8)}。ここで、報告にある手法が、均一組成かつ高分散な粉体を合成できる手法であること踏まえると、均一分散性が極めて高く、かつ比表面積が極めて大きい β -C₂Sを合成し、それを水和することで、CHの存在しない高C/S比の非晶質C-S-Hが生成するものと推察される。しかし、共沈法により合成した β -C₂Sにより、CHを伴わずに高C/S比の非晶質C-S-Hを生成させる場合には、 β -C₂S合成時におけるNaOH添加、および高温での水和養生が必要となる。この β -C₂Sを繰り返し再生利用可能なセメントとして実用する場合、Naの添加によるアルカリシリカ反応(ASR)の発生や、高温養生により硬化体の内部構造が変化し、長期強度が低下する懸念がある^{10,11)}。

以上の考察から本稿では、再生利用可能な新しいセメント系材料の設計を目指し、原子レベルでの組成の均一性と、極めて高い比表面積を有する β -C₂Sの合成が可能である錯体重合法¹²⁾をベースとして考案した独自の手法¹³⁾を用い、高比表面積の β -C₂Sの合成、お

よびその水和により生成した高C/S比の非晶質C-S-Hについて評価を行った研究を紹介する。ここで、上述した β -C₂Sの合成法に関して概説する。本手法では、 β -C₂Sの出発物質となるCa源およびSi源のほかに、これらの金属イオンを錯体化するキレート剤としてクエン酸、その錯イオンの溶媒としてエチレングリコールを用いた。この混合液を加熱処理することで、クエン酸のカルボキシル基とエチレングリコールのヒドロキシ基間で脱水エステル結合を起こし、高粘度ゲル状の β -C₂S前駆体が得られる。 β -C₂S前駆体中では、CaとSiが原子レベルで高度に均一分散しており、その熱処理によって高い均一性を有する高比表面積の β -C₂Sが得られる。本研究では上記方法により作製した試料について各種検討を行っている。

2. 実験概要

2-1. 錯体重合法による β -C₂Sの合成

β -C₂Sの合成では、出発物質である硝酸カルシウム四水和物とコロイダルシリカのほかに、クエン酸一水和物(CA)とエチレングリコール(EG)を使用した。

イオン交換水を用いてこれらのCa源、Si源を水溶液とし、C/S=2.0、EG/CAモル比1.0、Ca/CAモル比0.5となるように混合した後、マントルヒーターを用いて攪拌・蒸発乾固し、 β -C₂S前駆体を得た。

この前駆体を電気乾燥炉内110℃で3日間乾燥した後、電気炉を用いて800℃で3時間焼成処理を行い、有機成分を除去することで、 β -C₂Sが得られる。得られた β -C₂Sは、90 μ mふるいを全通するように粒度調整され、各種分析や水和に用いられた。

2-2. β -C₂Sの水和

合成した β -C₂Sは、水粉体質量比2.0となるようにイオン交換水を用いて練り混ぜ、N₂ガスパージを行ったスチロール棒瓶に所定の材齢まで20℃環境下で封緘養生した。水和が完了した試料のうち、水蒸気吸着試験、²⁹Si MAS NMRによる解析に使用する試料は、

シリカゲルを入れたデシケーター内で24時間の減圧乾燥を行った。その後、90 μ mふるいを全通させ、飽和塩溶液¹⁴⁾によってそれぞれ相対湿度(RH)99%, 88%, 66%, 33%, 11%の環境で調湿した。なお、4週間と通常よりも短い調湿機関であったものの、試料は恒量に達していた。また、デシケーター内には、試料の炭酸化を防ぐ目的でソーダ石灰を同梱した。

一方、その他の測定に用いる試料は、アセトンの浸漬により水和を停止した。材齢に達した試料を粗砕し、30分間アセトンに浸漬した。その後、アスピレーターを用いて試料を減圧し、アセトンを揮発させた。このようにして得られた試料を、さらにデシケーター内で24時間減圧乾燥し、90 μ mを全通するように粉碎した。

また、合成した β -C₂Sとの比較を行う目的で、合成C₃Sでも水和性状の評価を行った。合成C₃Sは、菱光石灰工業社製の超微粉炭カル、および日本アエロジル社製のアエロジル用いて行った。これらの出発物質を、CaO/SiO₂モル比が3となるように配合し、純水を加えたのち1600℃に加熱した電気炉で3時間焼成した。昇温速度は7℃/minとし、焼成後はただちに試料を急冷した。その後、XRD/Rietveld法により、合成C₃S中に含まれるf.CaO量が0.1%以下であることを確認した。合成したC₃Sは、遊星型ボールミルを用いて、90 μ mふるいを全通するように粉碎されたのち、水和や各種測定に用いられた。合成C₃Sの水和は、W/P=2.0となるようイオン交換水を用いて行い、反応率はXRD/Rietveld法により定量した。

2-3. XRD/Rietveld法による定量分析

合成した β -C₂Sおよび水和試料の定性・定量分析にはXRD/Rietveld解析を用いた。試料の定量は α -Al₂O₃を標準物質とする外部標準法¹⁵⁾で行った。測定では、卓上型X線回折装置Aeris (PANalytical社製)を使用した。測定条件はターゲットCu-K α 、管電圧40kV、管電流15mA、走査範囲2Theta=5~70°、ステップ幅0.02°とした。また、Rietveld解析はHighScore (PANalytical社製)を用いた。

2-4. 遠赤外域FT-IRによる原子結合状態の把握

赤外線吸収スペクトル法を用い、Caの結合状態を評価した。測定は、JASCO社製のFT/IR-6600を用い、測定方法はヌジョール法として、Wavenumber=70~600cm⁻¹の領域で測定を行った。また、積算回数は80回、分解能はWavenumber=4cm⁻¹とした。

2-5. ²⁹Si MAS NMRによるSi鎖の構造解析

²⁹Si MAS NMRを用いて、C-S-Hの骨格構造であるSi鎖の構造解析を行った。測定にはジャパンスーパーコンダクタテクノロジー社製、500MHz固体高分解能NMRシステムを使用した。測定条件はDDMAS法とし、積算回数は2048回、緩和時間は100sとして測定を行った。

2-6. 中和滴定試験

合成した β -C₂Sの液相pHは、中和滴定試験により測定した。合成した β -C₂Sを水粉体比W/P=3.0としてイオン交換水と練り混ぜ、20℃環境下で24時間養生した後、遠心分離機を用いて分離した液相を用いた。また、pHの値は、水和試料の水粉体比と同様になるよう、W/P=3.0として求めた水素イオン濃度をもとに、W/P=2.0として補正した。

2-7. 各種吸着試験による評価

(1) 窒素吸着試験

窒素吸着試験は、合成した β -C₂Sの比表面積を測定する目的で実施した。前処理乾燥温度は105℃とし、15時間の前処理を行った。試料は0.2g程度使用し、吸着温度を-196℃として、相対圧0~1.00の範囲において定容法によって測定した。また、窒素吸着試験結果から、BET理論によりN₂-BET比表面積を算出した。

(2) 水蒸気吸着試験

水蒸気吸着試験は、水和試料に対して行われた。前処理は既報¹⁶⁾を参考に、105℃で30分間とした。また、測定は、平衡条件を0.5mmHg (6.67Pa)/120s、吸着温度を298.15Kとして、定容法によって測定した。

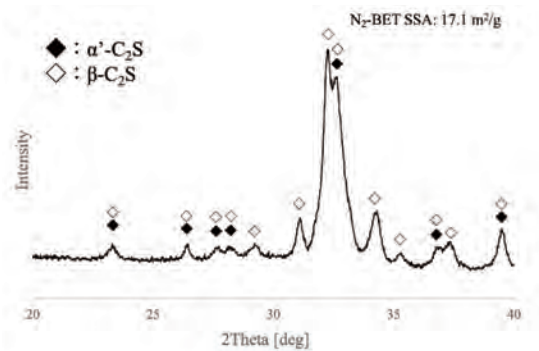


図2 焼成試料のXRDパターン

さらに、他の吸着温度における等温線も取得し、Clausius-Clapeyron式を用いて等量吸着熱Qstを近似的に算出し、吸着質・吸着媒界面における相互作用を評価した：

$$Q^{st} = \frac{RT_1T_2}{T_1 - T_2} (\ln P_2 - \ln P_1)$$

ここに、T₁, T₂: 吸着温度(K), P₁, P₂: T₁, T₂における飽和蒸気圧(Pa), R: 気体定数(8.314J/mol・K⁻¹)。

Clausius-Clapeyron式では、測定温度範囲における吸着エンタルピーを近似的に一定とみなすため、温度範囲を拡大するほど誤差が大きくなる。また、単分子層への吸着が生じる低压部では等温線の立ち上がりが大きくなり、測定誤差を生じやすい。したがって、測定温度範囲は298.15K, 308.15K, 318.15Kとした。

3. 実験結果と考察

3-1. 合成 β -C₂Sとその水和性状に関する評価

上記の手法で合成した β -C₂SのXRDスペクトルを図2に、その水和物のXRDスペクトルを水和条件と併せて図3に示す。

図2に示すように、 β -C₂S前駆体を焼成することで、 β -C₂Sと α' -C₂Sの2相からなる混合物質が生成した。Rietveld法により定量された各相の生成割合はそれぞれ69.0%, 6.0%であり、その他は非晶質であった。

また、図3に着目すると、本研究で合成した(α' + β)-C₂Sは全て反応し、C-S-Hを生成していることが確認

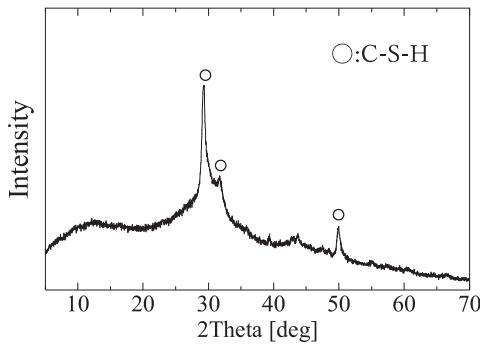


図3 20℃/28日養生後のXRDパターン

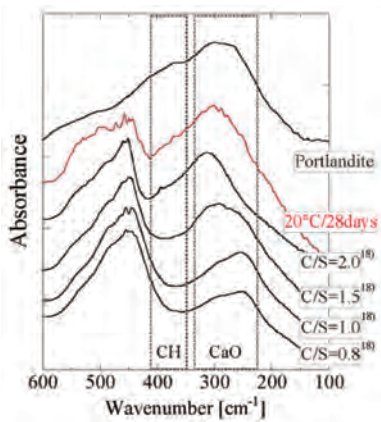


図4 試料の遠赤外領域FTIR

できた一方で、2 θ =18°, 34°付近に存在するCHのピークは確認できなかった。

さらに、図4に示した遠赤外域FT-IRのスペクトルにおいて、生成した非晶質C-S-H(赤線)のWavenumber=200~300cm⁻¹付近に存在する、CaOの結合に関するピークが、共沈法により合成したC/S=2.0のC-S-H⁸⁾とほぼ同位置に存在することが分かった。

既往の研究で、この領域に存在するピークの位置により、C-S-HのC/S比が定性的に把握でき、さらにCHを共存する試料には、400cm⁻¹付近にピークが存在することが報告されている^{17~19)}。実際に図4中に示した他の合成C-S-H¹⁸⁾に着目すると、C/Sの減少に伴いピークの位置が200cm⁻¹付近へとシフトしている。また、本研究で合成したC-S-Hでは、400cm⁻¹付近にCHの存在を示すピークは見られなかった。

加えて、TG-DTAによる熱分析でも、400℃~450℃付近のCHの分解に由来する減量ピークは確認

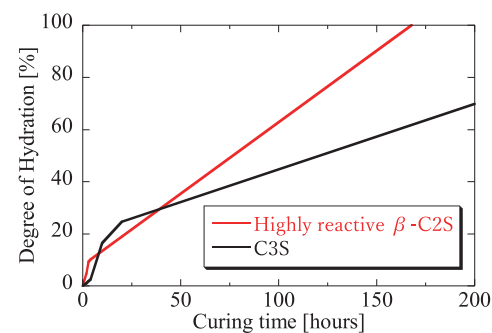


図5 高活性 β -C₂SおよびC₃Sの反応率

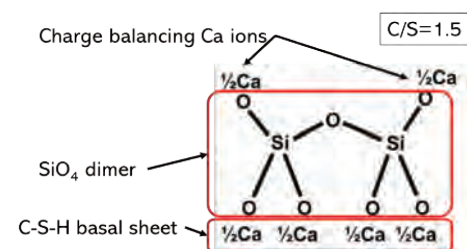


図7 C-S-H(C/S=1.5)のモデル構造

できなかった。

一方、図5に着目すると、本研究で合成した(α' + β)-C₂Sは、20℃下でC₃Sと同程度の水和活性を有しており、水和後7日時点で反応が終了していることが示された。上記の結果から、本研究で合成した(α' + β)-C₂Sは、水和により極めて早く反応し、その結果、C/S比が2.0の非晶質C-S-HがCHを共存せずに生成したと結論付けた。

3-2. ²⁹Si MAS NMRによるSi鎖の構造解析

図6に、²⁹Si MAS NMRのスペクトルを示す。なお、試料名はSD××のように表記し、××は試料が調湿された相対湿度を示す。

図6に着目すると、全ての試料で-78.0ppm付近にQ₁ピーク、-85.3ppm付近にQ₂ピークが確認できた。既往の研究では、図7に示したような、C/S比が1.5以上のC-S-HはSiが二量体(dimer)ベースの構造を有し、Q₁を主体とするスペクトルを持つことが示されており²⁰⁾、本研究で作製したC-S-Hも、dimerベースの骨格構造を有すると考えられる。

また、乾燥条件によるQ₁/Q₂ピーク面積比はほぼ変化がなかった。これは、本研究で生成したC-S-Hの微

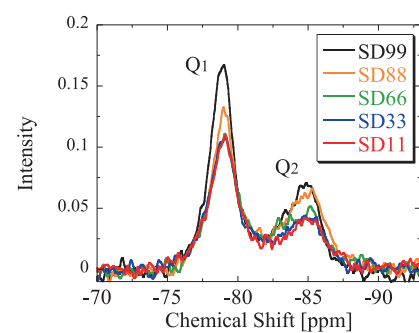


図6 試料の²⁹Si-NMR

細構造が、乾燥により変化しにくいことを示すものであると考えられる。

3-3. Gartnerモデルとの整合

Gartnerは、セメントの水和により生成するC/S比が高い準安定なC-S-Hのモデルを提唱している²¹⁾。このモデルにおいて、液相に存在するCaは液相pHの上昇(>12.4)とともにCa²⁺ ([Ca(H₂O)₆]²⁺イオンの一部がOH⁻と会合し、CaOH⁺ ([Ca(OH)(H₂O)₅]⁺)イオン対となることが示されている。

ここで、規定シートに存在するSiO₄四面体がすべて二量体として存在すると仮定し、さらにこの二量体の負電荷をCaOH⁺イオン対のみが平衡すると考えた場合、そのC-S-Hの組成は4CaO・2SiO₂・11H₂Oとなり、C/S比は2.0となる。対して、Ca²⁺のみが負電荷を平衡する場合、C-S-Hの組成は3CaO・2SiO₂・6H₂Oとなり、C/S比は1.5となる。

Gartnerモデルでは、上記2種類のCaイオンからなるC-S-Hの組成を{(1- γ)(C₃S₂H₆)+ γ (C₄S₂H₁₁)}のように表現している。合成C₃SやC₂S、もしくはセメントの水和により生成するC-S-Hの組成も、この組成式によってよく表され、 $\gamma=0.4$ のとき3.4CaO・2SiO₂・8H₂Oとなる。

さらに、Gartnerは、生成したC-S-Hに取り込まれたCaOH⁺/Ca²⁺比は{2 γ /(1- γ)}のように表され、上記したC₃SやC₂S($\gamma=0.4$)の場合、その値は1.33程度となることを示している。これは、CHの飽和溶液におけるCaOH⁺/Ca²⁺比よりも7倍程度高い値となるが、液相に存在する上記2種類のCaイオンのうち、

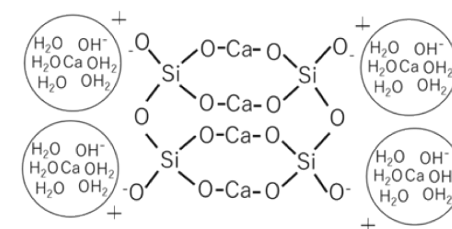


図8 C-S-H(C/S=2.0)のモデル構造

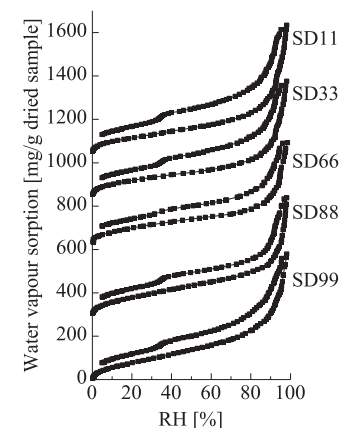


図9 試料の水蒸気吸着等温線

CaOH⁺イオン対の持つ、C-S-Hに対する化学的親和性が非常に強く、優先的に電荷平衡の役割を果たすという意味を有する。

ここで、本研究で合成した高活性C₂Sの水和活性が、C₃Sよりも高い(図5)ことを踏まえると、液相中におけるCaOH⁺/Ca²⁺比は、C₃Sの値よりもさらに高い値を示すものと考えられるため、これに伴って固相のCaOH⁺/Ca²⁺比もさらに高い値であるものと考察できる。

また、本研究において、中和滴定により求めた24時間後の液相はpH=12.3となったことから、通常の水和反応と比較しても液相のCaイオン濃度が、反応のごく初期において急速に高まったものと考えられる。

さらに、生成したC-S-HがSiの二量体(Q₁)を主体とする構造を有したことから、本研究で生成したCHが共存しない高C/S比の非晶質C-S-Hは、Gartnerの提唱した高C/S比のC-S-Hモデルと整合する構造を持ち、そのC/S比は通常のC₃SやC₂Sの水和により生成するC-S-Hよりも高いものであると結論付けた(図8)。

一方で、前述の通り²⁹Si MAS NMRの結果、すべての試料でQ₂ピークが確認できた。これは、Gartnerらの考察に基づけば、水分子を配位したCaイオンが、

基底シートに存在するシラノール基に結合する際に、Si-O-Si結合が形成されたためであると考えられる。Gartnerが提唱した上記モデルは、セメントの水和により生成する準安定なC-S-Hをモデル化したものであり、この準安定なC-S-Hは、乾燥処理だけでなく、水和反応の進行による空間充填のような非常に弱い動力でも脱水し、結合状態が変化することが報告されている。

これを踏まえると、本稿で示したC-S-Hの各データは、水和中もしくはその停止処理中に、すでに脱水が起こった後のものであると考えられる。今後、水和反応や乾燥処理中のC-S-Hを分析するためには、¹H-NMR Relaxometryなど、測定前の処理を必要としない手法の導入が必要であると考えられる。

3-4. 水蒸気吸着等温線による評価

本稿において生成した非晶質C-S-Hの、乾燥条件に対する凝集体構造の変化を評価するため、水蒸気吸着試験を行った。

図9に示した各試料の総吸着量に着目すると、前処理乾燥後の測定試料1g当たり最大0.6g程度の水を吸着していることが分かる。これは、丸山ら²²⁾が通常のセメントペーストに対し実験を行い報告した値の3倍に匹敵した。

また、乾燥条件による吸着挙動の変化に着目すると、本研究で合成したC-S-Hは、通常のセメントペーストと比較して、等温線の形状が大きく異なり、かつ乾燥によりほぼ変化がないことがわかる。

上記の事実は、本研究で生成したC-S-Hが、従来のセメントペーストとは異なり、乾燥収縮による長さ変化が生じにくいことを示唆しているとも言える。

3-5. 高活性C₂Sの水和挙動における速度論的解釈

Kondoら²³⁾は、OPC中のC₃S、 β -C₂Sの水和挙動を以下の式を用いて速度論的に解釈している：

$$[1-(1-\alpha)^{1/3}]N=kt$$

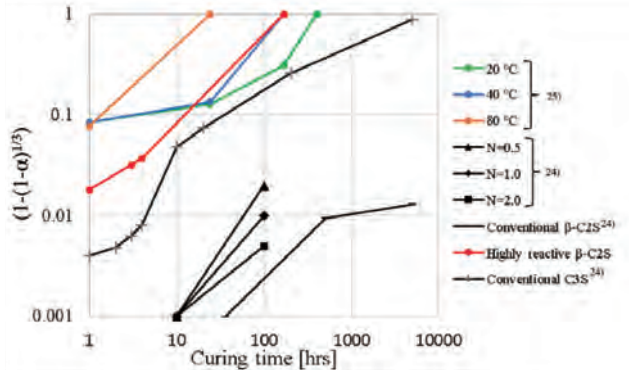


図 10 試料の反応率(速度論的評価)

ここに、 α : 水和反応率、 t : 水和時間、 k , N : は定数。

本研究でもこの報告にならい、XRD の外部標準法を用いて水和反応率を算定し、作製した β -C₂S の水和挙動を評価した。その結果を図 10 に示す。

Kondo は、グラフの傾きに当たる N の値から、OPC 中の C₃S、 β -C₂S の水和挙動が推定できることを示している。 $N=2$ の場合、拡散律速反応の記述に用いられる Jander 式が得られる。 $N=1$ の場合、従来の β -C₂S の初期反応で見られる界面律速反応を表す。 $N<1$ の場合は、C₃S の水和に見られるような自己触媒反応を意味する。

ここで図 10 に着目すると、本研究で合成された C₂S (赤線) は 7 日間で反応が終了しており、これは従来の C₃S だけでなく、鈴木ら²⁴⁾ (緑線) によって共沈法により合成された β -C₂S を、80℃ で水和した場合の挙動にも匹敵する。実際に、合成した C₂S の N 値は 4~168 時間の区間において 0.89 であったことから、水和過程の大部分において自己触媒的な水和反応挙動を有するものと考えられる。

3-6. 等量微分吸着熱の測定

本研究で生成した C-S-H について、既報^{25,26)}を参考に、288.15K、298.15K、308.15K の水蒸気吸着等温線を取得し、吸着エンタルピーを一定として等量微分吸着熱を測定した(図 11)。一般に、セメント系材料に対する水蒸気吸着の場合、単分子層は固体-液体間の化学的結合、多分子層の水同士は Van der Waals 力で結合する物理的結合をなしているものと考え

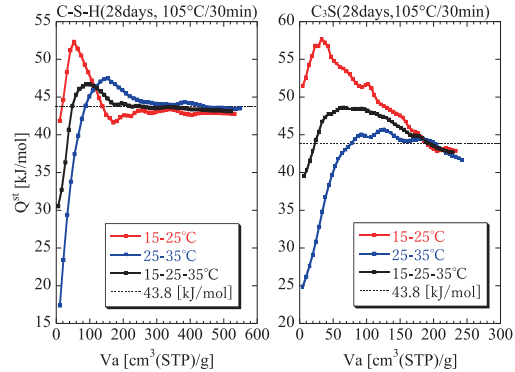


図 11 合成 C-S-H と C₃S の等量微分吸着熱

えられており、単分子吸着が生じる低圧領域における吸着熱は大きく、多分子吸着の領域では水の凝縮熱と同程度になるとされている^{25,26)}。つまり吸着熱の測定は、水と C-S-H との相互作用に留まらず、吸着サイト表面の性状を理解する上でも非常に有効な手法であるといえる。

ここで図 11 に着目すると、生成した C-S-H は低圧部で低い吸着熱を示している。本研究で生成した C-S-H は、Gartner モデル²¹⁾ に整合するものであり、Si-Dimer 1 基を 2 基の CaOH⁺ イオンが電荷平衡するため、C-S-H シート間に Ca イオンが多く存在する。また、前述したとおり、Gartner モデルの C-S-H は、非常に弱い乾燥処理によっても、Ca を介した基底シート間の結合が形成され、基底シート間の結合が形成された後、さらに乾燥を受けると、基底シート間に存在する CaOH⁺ イオンからの脱水が生じることから、再湿潤の際はこの CaOH⁺ イオンへの水の吸着が最初にも起こるものと考えられる。

以上のことから、生成した C-S-H が前処理乾燥のような強い乾燥処理を受けていることを考慮すると、本研究の水蒸気吸着試験における、吸着初期の低い吸着熱は、基底シート間に存在する CaOH⁺ イオンへの吸着が起こっているものと考えられる。

また CaOH⁺ イオンへの吸着後、層間における水との相互作用が発生する箇所への吸着が進行すると、吸着熱が増大する。このようなメカニズムで単分子吸着が進み、多分子吸着が始まると、水分子同士がクラスターを形成するため、吸着熱は水との凝縮熱に一致す

る。

ここで、錯体重合 C-S-H では、C₃S とは異なり、吸着熱が水の凝縮熱と一致した後も、吸着が継続していることが確認できた。これは、C-S-H 分子外部表面への吸着が起こっているためであると考えられる。

4. おわりに

本稿では、再生利用可能な新しいセメント系材料の設計を目指し、原子レベルでの組成の均一性と、極めて高い比表面積を有する β -C₂S の合成が可能である錯体重合法¹²⁾をベースとして考案した独自の手法¹³⁾を用い、高比表面積の β -C₂S の合成、およびその水和により生成した高 C/S 比の非晶質 C-S-H について評価を行った研究を紹介した。錯体重合法を用いて合成した高い比表面積を有する C₂S の水和により、CH の共存しない高 C/S 比の非晶質 C-S-H が生成すること、

本検討で生成した高 C/S 比の C-S-H は Gartner の提唱した C/S 比が 2.0 の C-S-H に整合する構造を有することが示唆されたこと、²⁹Si NMR の結果から、乾燥条件によって SiO₄ の結合状態が変化することを紹介した。また一方で、乾燥による水蒸気吸着等温線の形状変化が、従来のセメントペーストよりも小さかったことから、C-S-H の凝集体構造は乾燥によりほぼ変化しないことが確認され、これにより、本研究で生成した C-S-H が、乾燥による影響を受けにくい材料である可能性が示唆されたことを紹介した。これらの知見が、今後のセメントにおける CO₂ 削減や、セメント・コンクリートの再資源化に活用していただけたら幸いである。



さいとう つよし / SAITO Tsuyoshi
新潟大学工学部工学科社会基盤工学プログラム
准教授 博士(工学)

【参考文献】

- 1) United Nations: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015
- 2) IEA, Energy technology perspectives 2010, IEEJ Tokyo, 2010
- 3) UNEP: Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement based materials industry, CCR, 114, pp.2~26, 2018
- 4) 石田秀輝, 佐々木香, 光田武 / 高活性セメント鉱物 β -Ca₂SiO₄ の低温合成と水和反応ならびに生成ジェルの, 鉱物学雑誌 26 巻 第 3 号, pp.135~146, 1997
- 5) B. Lothenbach, A. Nonat / Calcium silicate hydrates: Solid and liquid phase composition, CCR, 78, pp.57~70, 2015
- 6) 斎藤豪他 / 共沈法による高 Ca/Si 比 C-S-H の合成, セメント・コンクリート論文集, Vol.72, pp.373~380, 2018
- 7) 鈴木一帆他 / 高 Ca/Si 比 C-S-H の低温焼成による C₂S の生成に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.72, pp.381~388, 2018
- 8) 井川義貴他 / 高 C/S の C-S-H 焼成により生成した C₂S の水和反応解析, セメント・コンクリート論文集, Vol.72, pp.18~24, 2018
- 9) H. M. Jennings / Aqueous Solubility Relationships for Two Types of Calcium Silicate Hydrate, J. Am. Ceram. Soc., 69 [8] 614~618, 1986
- 10) 地濃茂雄, 仕入豊和 / コンクリートの初期強度におよぼす温度条件 (20°C~90°C) の影響, 日本建築学会論文報告集, No.320, pp. 1~11, 1984
- 11) 森本丈太郎, 魚本健人 / 初期高温養生したポルトランドセメントの細孔構造に関する研究, コンクリート工学論文集, 第 7 巻 第 1 号, pp.153~159, 1996
- 12) S.H. Hong / Hydration Kinetics and Phase Stability of Dicalcium Silicate Synthesized by the Pechini Process, J. Am. Ceram. Soc., 82 [7] 1681~1686, 1999
- 13) 井川義貴他 / 錯体重合法による高比表面積 β -C₂S の作製及びその水和性状に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp. 363~370, 2019
- 14) H. Kitano, C. Takahashi, T. Inamatsu / A Method to Realize Humidity Fixed Points by Saturated Salt Solutions, 計測自動制御学会論文集, Vol.23, No.12, pp. 1246~1253, 1987
- 15) D. Jansen et al. / Does Ordinary Portland Cement contain amorphous phase? A quantitative study using an external standard method, Powder Diffraction 26(1), pp.31~38, 2011
- 16) I.I. Maruyama, G. Igarashi, Y. Nishioka / Bimodal behavior of C-S-H interpreted from short-term length change and water vapor sorption isotherms of hardened cement paste, CCR, 73, pp.158~168, 2015
- 17) P. Yu et al. / Structure of Calcium Silicate Hydrate (C-S-H): Near-, Mid-, and Far-Infrared Spectroscopy, J. Am. Ceram. Soc., 82 [3], pp.742~748, 1999
- 18) A. Vidmer, G. Schlauzero, A. Pasquarello: Infrared spectra of jennite and tobermorite from first-principles, CCR, 60, pp.11~23, 2014
- 19) 松井久仁雄, 一岡優里, 斎藤豪 / トバモライトの遠赤外吸収測定と第一原理計算によるピーク帰属, 第 72 回セメント技術大会 講演要旨, pp.32~33, 2018
- 20) I.G. Richardson: The calcium silicate hydrates, CCR, 38, pp.137~158, 2008
- 21) E. Gartner, I. Maruyama, J. Chen / A new model for the C-S-H phase formed during the hydration of Portland cements, CCR 97 pp.95~106, 2017
- 22) I. Maruyama et al. / Microstructural changes in white Portland cement paste under the first drying process evaluated by WAXS, SAXS, and USAXS, CCR, 91, pp.24~32, 2017
- 23) R. Kondo and S. Ueda / Kinetics and Mechanisms of the Hydration of Cements, Principal paper, Proceedings of The 5th International Symposium on the Chemistry of Cement Tokyo, Part II Hydration of Cements (Volume II), The Organizing Committee for the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, pp.203~248, 1968
- 24) 鈴木一帆他 / 塩化カルシウムを用いた共沈法による C-S-H の合成とセメントの再生サイクルに関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.421~428, 2019
- 25) 松井久仁雄, 荒木徹 / 熱量測定による軽量気泡コンクリートの表面性状と水分由来の体積変化に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No.1, pp.587~592, 2010
- 26) J. Rymes, I. Maruyama / Water vapour sorption isotherms of hardened cement paste at different temperature, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp. 45~50, 2018

第55回 セメント協会 研究所講演会のご案内

一般社団法人 セメント協会

一般社団法人セメント協会 研究所では、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、啓蒙させることを目的として「セメント協会 研究所講演会」を開催しております。

今回は、前橋工科大学の佐川 孝広 先生、芝浦工業大学の伊代田 岳史 先生および東京大学の友寄 篤 先生より「セメント・コンクリートの混和材」についてご講演を頂きます。関係各位お誘いのうえ、ご参加下さいますようご案内申し上げます。

日 時：2023年12月1日(金)13時00分～16時40分

開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド)

会場場所／(一社)セメント協会 研究所(東京都北区豊島4丁目17番33号)

オンライン／お申込み後、ご登録頂いたメールアドレスにオンライン参加情報(Cisco Webex)を送信致します。

演題および講演者：

高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価

前橋工科大学 工学部 環境・デザイン領域

佐川 孝広 氏

カーボンニュートラル社会を実現するためのマテリアルデザイン

～高炉スラグ微粉末を効果的に使うためには～

芝浦工業大学 工学部先進国際課程 兼務土木工学科

伊代田 岳史 氏

火山ガラスの混和材利用 過去／現在／未来

東京大学大学院 工学系研究科 建築学専攻

友寄 篤 氏

定 員：会場100名(定員になり次第、締め切らせて頂きます。オンラインの定員はございません。)

参 加 費：無 料

申込方法：下記の〔研究所講演会〕の申込方法より「申込み」をクリックし、入力フォームより必要事項をご入力ください。

入力が完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報およびオンライン参加情報(Cisco Webex)が送信されますので内容をご確認ください。

セメント協会ホームページ

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

〔トップページ〕>〔イベント・募集〕>〔研究所講演会〕

問合せ先：一般社団法人 セメント協会 研究所 技術情報グループ 研究所講演会係

E-mail: jca_event@jcassoc.or.jp TEL: 03-3914-2692



高炉スラグ微粉末および炭酸ナトリウムを使用した超低炭素結合材

John Reddy, ほか

CONCRETE

56[2] (2022)

Ecocem Ultraは、CO₂排出量を大幅に削減可能なセメント代替品として、世界最大級の土木建設会社であるVinciと共同で、Ecocem社が開発した製品である。高炉スラグ微粉末、炭酸ナトリウム(活性化剤) および増粘剤で構成されており、コンクリート強度：40～50N/mm²、スランプクラス：S3-S4用に設計されている。セメントよりも低いpHで炭酸ナトリウムにより活性化を行うため、一般的な強アルカリの製品に比べ安全である。LCAに基づき算出された、原料採取から製造現場への輸送および製造までのCO₂排出量は78kg-CO₂e/tであり、CEM III/A(高炉スラグ36～65%：350～594kg-CO₂e/t)と比較しても非常に少ない。

本製品を使用したパイロットプロジェクトとして、Vinciの新本社「Archipel」や、ヨーロッパ最大の鉄道網の拡充計画である「Grand Paris Express」での採用が挙げられる。また、2024年のパリオリンピックに向け選手村の建設が進行中であり、主催者は大会に関連するCO₂排出量の半減を目指している。Vinciは目的達成のために、本製品を使用して約10000m³の打設を計画中である。これらの実績は、超低炭素結合材を用いることで、大幅かつ迅速な低炭素化が可能であることを示している。

一方で、新しい超低炭素結合材を広く普及させるには、規格の改定が必要である。英国では、数年前にPAS 8820(アルカリ活性化材料に関する規格)が発行

され、現在見直しが行われているほか、低炭素建設材料に関連した新しい業界団体が変革を促し、その方向へ歩を進めている。本製品は、欧州技術評価(ETA)を取得し、現在、欧州評価文書(EAD)のための試験を実施中で、CEマーキングの取得を目指している、と著者らは述べている。

CO₂削減のためのステップ

Arthur Harrison,

International Cement Review

[6] 46～48 (2021)

CO₂排出量削減の必要性に対する意識の高まりから、クリンカ製造工程を再設計する革新的プロジェクトが進行中である。例えば、セメントキルンの加熱に電力を使用することや、焼成に必要なエネルギーが少ないタイプのクリンカ製造など、様々な方法が提案されている。これらのプロジェクトは、建設材料としてのセメントの将来にとって重要であるものの、基本的には長期的な取り組みとして位置付けられる。この方法に対して、本稿は現在利用可能な材料でCO₂排出量削減のための指標を提案している。

ここでは、ベースとなるクリンカを様々な原材料で製造する際に必要なエネルギーやCO₂量を比較している。具体的には、クリンカの原料となる石灰石、粘土またはケイ酸質や酸化鉄に対して、高炉スラグ、製鋼スラグ、フライアッシュおよびペーパーラスラッジ焼却灰等を用いた場合の評価を行っている。例えば、原料に高炉スラグを20%使用することで、石灰石の必要量が6%削減され、粘土原料は不要となる。これより、クリンカ焼成エネルギー低減と構成原料の面からCO₂削減が可能となる。鉄鋼スラグは、必要な粘土原料の約3分の1を置き換えることで、クリンカ焼成のための燃料を節約可能となり、その分のCO₂を削減できる。ペーパーラスラッジ灰は、酸化カルシウムの含有量が高いため、原料混合物の27%として使用でき、石灰石の必要量は50%未満となることでCO₂を削減することができる。

これらは、CO₂排出量削減の指標として有効であると著者は述べている。

地盤の地震応答解析 -秋の講習会2023-

開催日： 2023年10月23日(月)～24日(火)
会場： 土木学会講堂および zoom
参加費： 会員：12,000円, 非会員：16,000円, 学生：6,000円
定員： 対面100名／オンライン500名
申込方法： 土木学会 HP より申込み
締切： 2023年10月16日(月)
問合せ： 土木学会事務局研究事業課(担当：佐々木)
電話： 03-3355-3559

第2回全国圧送技術大会

開催日： 2024年3月23日(土)
会場： 日本大学理工学部駿河台校舎1号館 CSTホール
参加費： 会員：6,000円, 一般：8,000円, 学生：無料
申込方法： 全国コンクリート圧送事業団体連合会 HP より申込み
問合せ： 全国コンクリート圧送事業団体連合会
電話： 03-3254-0731

セメント・コンクリート関西発表会2023

コンクリート研究会では、「～90周年記念～セメント・コンクリート関西発表会2023」を開催することとなりました。
今回の発表会では、業界の最新技術に関する論文発表10件に加え、コンクリート研究会設立90周年を記念してセメント・混和剤業界からの特別講演2編を予定しております。また、従来通り会場参加をメインで開催いたしますが、昨年引き続きWeb聴講も併せてできる形としています。多数のご参加をお待ちしております。

日時：2023年(令和5年)11月9日(木) 10：00～17：00

会場：アットビジネスセンター PREMIUM新大阪(正面口駅前)905号室 + Web(Zoom)
大阪市淀川区西中島5-14-10 新大阪トヨタビル9階※Web参加希望者には、申し込み後アドレスをお送りいたします。

定員：100名

参加費：7,000円(発表会聴講のみ又はWeb参加の方は資料代として2,000円)

申込方法・申込先・参加費お支払方法：FAXまたはE-mailで送信願います(期限10月20日(金))
※受領処理のため、送金明細(所属・お名前・住所・送金日)に沿った内容でご記入の上、参加費の振込みを完了のこと。

申込先：太平洋セメント(株) 川瀬 哲生
FAX(06)6205-8617 または E-mail：tetsuo_kawase@taiheiyo-cement.co.jp

送金先口座：・銀行：三井住友銀行 大阪本店営業部(店番号:101) 普通口座 6611760
・口座名義:コンクリート研究会 会長 宮川豊章(コンクリートケンキュウカイ カイチョウ ミヤガワ トヨアキ)

※Web参加の方には、申し込み確認ができた後、開催日の1週間前くらいにwebアドレスを送ります。

※Web参加者にはテキストも事前に発送いたします(会費の領収書を同封いたします)。

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載頁
POWTEX 2023 国際粉体工業展大阪2023	2023年 10月11日～13日	オンライン	日本粉体工業技術協会	075-354-3581	5月号 p.54
	2023年 9月27日～11月10日	大阪府			
第23回 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム	2023年 10月12日～13日	京都市	日本材料学会 「コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	2月号 p.22
第19回 建築設備シンポジウム 「環境建築とヒト・まち・社会」	2023年 10月13日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	9号 p.63
「地盤・構造物の非線形解析法の検証と妥当性確認の方法-ガイドラインとその実践事例-」に関する講習会	2023年 10月19日	オンライン	土木学会事務局 研究事業課(担当：佐々木)	03-3355-3559	9号 p.63
講習会「石炭ガス化スラグ骨材を使用するコンクリートの調査設計・製造・施工指針」	2023年 10月23日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2051	9号 p.63
地盤の地震応答解析 -秋の講習会2023-	2023年 10月23日～24日	東京都 および オンライン	土木学会事務局 研究事業課(担当：佐々木)	03-3355-3559	本号 p.60
日本建築仕上学会2023 年大会学術講演会 (第34回 研究発表会)	2023年 10月26日～27日	東京都	日本建築仕上学会	06-3798-4921	7月号 p.62
第32回 プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム	2023年 10月26日～27日	福島県	プレストレストコンクリート 工学会 シンポジウム係	03-3260-2521	5月号 p.54
第10回 構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム	2023年 10月25日～27日	東京都	土木学会 JCOSSAR2023事務局	jcossar2023 @ml-jsce.jp	3月号 p.62
第35回 日本道路会議	2023年 11月1日～2日	東京都 および オンライン	日本道路協会 第35回日本道路会議事務局	dourokaigi @road.or.jp	6月号 p.59
セメント・コンクリート関西発表会2023	2023年 11月9日	大阪市 および オンライン	太平洋セメント(株) 担当：川瀬 哲生	tetsuo_kawase@ taiheiyo-cement.co.jp	本号 p.60
「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2022」講習会	2023年 11月20日	北海道	日本コンクリート工学会 「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針講習会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	9号 p.63
第16回日本地震工学シンポジウム	2023年 11月23日～25日	神奈川県	日本地震工学会事務局	03-5730-2831	4月号 p.60
第55回 セメント協会研究所講演会	2023年 12月1日	東京都 および オンライン	セメント協会研究所 技術情報グループ	03-3914-2692	本号 p.58
第2回全国圧送技術大会	2024年 3月23日	東京都 および オンライン	全国コンクリート 圧送事業団体連合会	03-3254-0731	本号 p.60

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

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

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

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

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

生産

(単位:千t, %)

項目		23年		23年	
		6月	前年比	7月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,641	94.3	2,651	94.6
	早強・超早強	178	91.7	161	72.1
	中庸熱	65	82.5	59	98.0
	低熱	22	73.3	9	59.8
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	0	-
	小計	2,907	93.6	2,879	92.8
混合セメント	高炉	722	88.3	774	95.0
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	5	50.4	6	244.4
	その他	69	294.3	69	90.3
	小計	796	93.0	849	95.0
その他のセメント		11	79.2	15	121.8
計		3,713	93.5	3,742	93.4
輸出用クリンカ等		254	42.4	262	113.7
合計		3,968	85.6	4,004	94.5

販売

(単位:千t, %)

地区	23年			23年		
	6月	前年比	構成比	7月	前年比	構成比
北海道	163	95.8	5.4	174	91.5	5.7
東北	248	87.3	8.1	240	85.6	7.9
関東一	751	95.0	24.7	765	101.5	25.0
関東二	276	83.6	9.1	280	92.0	9.2
北陸	135	91.7	4.4	131	94.9	4.3
東海	368	97.9	12.1	363	104.0	11.9
近畿	435	94.0	14.3	444	102.5	14.5
四国	94	86.2	3.1	89	88.3	2.9
中国	173	88.7	5.7	171	93.1	5.6
九州	345	84.8	11.3	332	85.3	10.9
沖縄	57	88.7	1.9	67	100.0	2.2
計	3,044	91.3	100.0	3,056	95.8	100.0

輸出

(単位:千t, %)

項目		23年	23年
地域・仕向地		6月	7月
アジア	韓国	51	25
	中国	0	0
	台湾	27	27
	香港	35	112
	フィリピン	51	51
	シンガポール	27	136
	スリランカ	-	31
	小計	191	382
その他	大洋州	207	170
	中南米	0	0
	小計	207	170
合計		398	552

需給

(単位:千t, %)

項目		生産		販売						期末在庫		輸入		内 需		固化材 原料他
		前年比		国内	前年比	輸出	前年比	合計	前年比		前年比		前年比		前年比	
会計年度	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,332	96.4	20	90.0	38,670	94.4	6,450
	2021	55,741	99.4	37,872	98.0	11,484	103.3	49,356	99.2	4,347	100.3	10	52.0	37,882	98.0	6,371
	2022	51,482	92.4	37,265	98.4	8,137	70.9	45,402	92.0	4,194	96.5	16	151.4	37,280	98.4	6,233
暦年度	2013	61,694	104.1	46,177	106.2	8,763	90.1	54,940	103.2	3,872	101.5	789	97.7	46,966	106.0	6,695
	2014	61,916	100.4	45,854	99.3	9,108	103.9	54,962	100.0	4,401	113.7	567	71.8	46,421	98.8	6,425
	2015	59,465	96.0	43,034	93.8	10,142	111.3	53,176	96.7	4,358	99.0	348	61.4	43,382	93.5	6,333
	2016	58,978	99.2	41,324	96.0	11,536	113.8	52,860	99.4	3,927	90.1	281	80.7	41,605	95.9	6,549
	2017	60,788	103.1	41,985	101.6	11,911	103.2	53,896	102.0	3,902	99.4	228	81.2	42,213	101.5	6,917
	2018	60,093	98.9	42,178	100.5	10,658	89.5	52,836	98.0	4,005	102.6	115	50.4	42,293	100.2	7,154
	2019	58,335	97.1	41,389	98.1	10,323	96.9	51,712	97.9	3,938	98.3	17	14.9	41,406	97.9	6,689
	2020	57,083	97.9	39,236	94.8	10,979	106.4	50,214	97.1	4,412	112.0	16	90.8	39,251	94.8	6,395
	2021	55,580	97.4	38,019	96.9	11,460	104.4	49,479	98.5	4,086	92.6	20	131.1	38,039	96.9	6,426
	2022	53,207	95.7	37,488	98.6	9,569	83.5	47,057	95.1	4,062	99.4	10	51.2	37,499	98.6	6,175
半期	2020年度上	27,095	96.0	19,045	93.6	5,259	104.8	24,304	95.8	4,131	102.1	5	45.5	19,051	93.6	3,152
	2020年度下	28,958	96.8	19,605	95.2	5,854	106.1	25,459	97.5	4,332	96.4	15	137.0	19,620	95.2	3,297
	2021年度上	27,343	100.9	18,690	98.1	5,705	108.5	24,395	100.4	4,117	99.7	5	100.4	18,696	98.1	3,162
	2021年度下	28,398	98.1	19,181	97.8	5,779	98.7	24,960	98.0	4,347	100.3	5	35.1	19,187	97.8	3,208
四半期	2022年度上	26,016	95.1	18,592	99.5	4,807	84.3	23,399	95.9	3,935	95.6	5	99.2	18,598	99.5	3,029
	2022年度下	25,466	89.7	18,672	97.3	3,330	57.6	22,003	88.2	4,194	96.5	11	203.8	18,683	97.4	3,204
	2021年度Ⅰ	13,466	103.1	9,224	98.2	2,859	119.6	12,083	102.5	4,069	98.2	0	-	9,224	98.2	1,646
	Ⅱ	13,877	98.9	9,466	98.1	2,846	99.2	12,312	98.4	4,117	99.7	5	100.4	9,472	98.1	1,516
	Ⅲ	14,854	95.4	10,283	97.4	2,865	96.7	13,148	97.2	4,086	92.6	5	103.9	10,288	97.4	1,737
	Ⅳ	13,544	101.2	8,899	98.4	2,914	100.8	11,813	99.0	4,347	100.3	0	-	8,899	98.3	1,471
	2022年度Ⅰ	13,224	98.2	9,171	99.4	2,636	92.2	11,807	97.7	4,246	104.3	5	-	9,176	99.5	1,518
	Ⅱ	12,792	92.2	9,422	99.5	2,170	76.3	11,592	94.2	3,935	95.6	0	-	9,422	99.5	1,511
	Ⅲ	13,647	91.9	9,997	97.2	1,848	64.5	11,845	90.1	4,062	99.4	5	99.7	10,002	97.2	1,675
2023年度Ⅰ	11,819	87.3	8,675	97.5	1,482	50.9	10,157	86.0	4,194	96.5	5	-	8,680	97.5	1,529	
月度	2023年度Ⅰ	11,464	86.7	8,575	93.5	1,509	57.2	10,085	85.4	4,241	99.9	0	-	8,575	93.5	1,332
	2021年8月	4,529	92.1	2,811	94.5	1,000	97.8	3,812	95.4	4,388	97.0	0	-	2,811	94.5	345
	9月	4,780	109.2	3,350	100.0	994	113.3	4,343	102.7	4,117	99.7	5	-	3,355	100.1	708
	10月	5,101	99.6	3,488	93.2	1,077	111.8	4,565	97.0	4,044	106.0	0	-	3,488	93.1	610
	11月	4,660	90.6	3,447	101.2	802	91.6	4,249	99.2	3,840	93.4	0	-	3,447	101.2	615
	12月	5,093	96.0	3,348	98.2	986	87.7	4,334	95.6	4,086	92.6	5	-	3,353	98.3	513
	2022年1月	4,132	98.1	2,661	99.8	848	90.5	3,509	97.4	4,173	90.6	0	-	2,661	99.7	536
	2月	4,536	104.8	2,928	98.2	927	100.5	3,856	98.8	4,457	98.9	0	-	2,928	98.2	397
	3月	4,876	100.7	3,309	97.4	1,139	110.5	4,448	100.4	4,347	100.3	0	-	3,309	97.2	538
	4月	4,128	96.8	3,064	96.6	713	94.7	3,776	96.2	4,178	99.9	5	-	3,069	96.8	521
	5月	4,555	94.8	2,772	100.9	1,127	91.7	3,900	98.1	4,405	97.6	0	-	2,772	100.9	428
	6月	4,541	103.3	3,335	100.9	796	90.8	4,131	98.7	4,246	104.3	0	-	3,335	100.9	569
	7月	4,236	92.7	3,189	96.5	646	75.9	3,835	92.3	4,092	101.9	0	-	3,189	96.5	556
	8月	4,443	98.1	2,950	104.9	826	82.5	3,776	99.0	4,349	99.1	0	-	2,950	104.9	410
	9月	4,112	86.0	3,283	98.0	699	70.3	3,982	91.7	3,935	95.6	0	-	3,283	97.9	545
	10月	4,676	91.7	3,357	96.3	672	62.4	4,029	88.3	3,848	95.2	0	-	3,357	96.3	734
	11月	4,504	96.7	3,399	98.6	554	69.1	3,953	93.0	4,009	104.4	5	-	3,404	98.7	391
	12月	4,467	87.7	3,241	96.8	622	63.1	3,863	89.1	4,062	99.4	0	-	3,241	96.7	551
	2023年1月	3,670	88.8	2,527	94.9	527	62.2	3,054	87.0	4,281	102.6	0	-	2,527	94.9	396
	2月	3,938	86.8	2,916	99.6	478	51.5	3,393	88.0	4,311	96.7	0	-	2,916	99.6	515
	3月	4,211	86.4	3,233	97.7	477	41.9	3,710	83.4	4,194	96.5	5	-	3,238	97.8	618
	4月	3,597	87.1	2,811	91.7	487	68.4	3,298	87.3	3,989	95.5	0	-	2,811	91.6	504
5月	3,900	85.6	2,721	98.2	623	55.3	3,345	85.8	4,154	94.3	0	-	2,721	98.2	390	
6月	3,968	87.4	3,044	91.3	398	50.0	3,442	83.3	4,241	99.9	0	-	3,044	91.3	438	
7月	4,004	94.5	3,056	95.8	552	85.5	3,608	94.1	4,063	99.3	0	-	3,056	95.8	575	
8月	3,689	83.0	2,698	91.5	693	83.9	3,391	89.8	4,013	92.3	0	-	2,698	91.5	348	
累計	2023年1月～	30,976	87.4	23,005	95.0	4,237	60.3	27,241	87.2	4,013	92.3	5	104.6	23,010	95.0	3,784
	2023年4月～	19,158	87.5	14,330	93.6	2,754	67.0	17,084	88.0	4,013	92.3	0	-	14,330	93.6	2,255

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)						(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他
2021年度	200,576	37,968	4,867	27,813	55,215	55,967	5,752
2022	215,422	41,065	7,012	22,833	59,451	62,687	9,982
2022年5月	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880
6	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238
8	17,167	2,753	302	1,235	5,671	5,744	532
9	24,272	5,104	541	2,332	6,897	7,595	499
10	17,406	2,195	627	1,679	6,564	5,028	321
11	13,077	1,665	607	1,475	4,773	3,412	370
12	15,489	1,686	380	2,025	4,598	5,667	360
2023年1月	11,173	2,240	677	1,553	3,037	2,477	439
2	20,885	5,160	929	1,640	4,014	4,498	4,064
3	34,439	9,300	1,589	4,292	10,303	6,123	1,216
4	11,822	2,929	520	2,050	2,461	2,439	531
5	13,132	2,655	413	916	2,265	5,535	746
6	20,139	3,069	657	1,618	4,753	7,851	800
7	18,528	3,924	364	1,166	4,512	6,564	809

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省) (単位:万㎡)								
	合計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋 コンクリート造	鉄筋 コンクリート造	鉄骨造	コンクリート ブロック造	その他	居住用	非居住用
2021年度	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806
2022	11,872	4,877	238	2,458	4,197	6	97	6,746	4,690
2022年5月	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392
6	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397
9	968	437	7	193	322	0.6	8	610	358
10	990	433	21	181	345	0.6	9	630	360
11	957	425	16	158	346	0.6	12	606	351
12	897	386	14	170	319	0.4	7	558	339
2023年1月	928	330	40	250	299	0.5	8	538	390
2	902	352	58	194	343	0.5	6	545	357
3	860	363	22	200	267	0.4	6	579	280
4	1,029	388	16	228	391	0.4	6	549	480
5	899	387	15	202	287	0.7	6	574	325
6	918	403	22	186	299	0.4	6	603	315
7	926	402	22	179	314	0.3	9	565	361

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)									(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)	
		計	製造業	計	国の機関					
2021年度	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497	-
2022	165,377	116,357	32,673	37,045	25,000	112,943	52,434	113,603		
2022年5月	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369	
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288	
7	9,176	6,529	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222	
8	10,334	8,302	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166	
9	21,617	13,586	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186	
10	10,520	7,331	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	208,774	
11	9,636	6,849	1,908	2,121	1,590	6,736	2,900	5,906	206,833	
12	17,593	14,275	5,184	3,208	1,707	13,048	4,544	14,299	207,841	
2023年1月	10,021	6,986	1,556	2,452	1,782	6,867	3,154	6,992	207,251	
2	14,867	9,285	1,928	5,010	3,207	9,662	5,204	11,344	209,850	
3	27,481	18,606	4,053	7,409	5,081	17,187	10,294	19,983	214,894	
4	10,993	8,354	2,034	2,003	1,250	7,807	3,186	7,488	215,556	
5	9,304	6,854	1,807	1,772	1,476	6,125	3,179	6,035	214,435	
6	17,100	12,062	2,801	3,457	2,533	11,401	5,699	11,528	215,220	
7	9,973	5,877	1,269	3,360	2,373	5,401	4,572	6,097	-	

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)									(2020年平均=100)
	総平均	セメント	生コンクリート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山 機械
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2021年平均(C.Y.)	104.6	100.5	101.4	101.9	140.9	102.5	123.0	120.3	101.5	100.1
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3
2021年度平均(F.Y.)	107.0	100.6	102.1	102.4	156.9	102.8	130.9	129.0	103.3	100.2
2022年5月	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8
6	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6
10	118.1	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	159.7	159.7	117.3	106
11	119.1	120.4	115.2	114.3	153.8	109.8	159.3	161.8	118.1	106.2
12	119.8	120.4	115.9	115.3	152.7	109.8	159.3	161.4	118.7	106.2
2023年1月	119.9	120.4	116.1	115.7	148.8	109.8	158.6	162.8	120.2	106.8
2	119.5	120.4	116.6	116.1	145	111.4	158.9	164	120.6	106.9
3	119.6	122.9	118.2	118	142.1	111.4	158.9	165.2	120.9	107
4	120.1	142.5	121.2	119	140	112.2	160.4	167	121.6	107.4
5	119.3	143.5	126	119.9	137.2	113.1	160.4	167.3	121.9	107.9
6	119.2	144	129.5	121.3	135.1	114.6	160.3	167.5	121.9	109.2
7	119.3	144	132.9	122.2	134.5	115.2	160.2	167.6	122.3	110.6
8	119.6	144	132.9	122.7	133.3	115.2	159.9	167.6	124.1	110.5

※企業物価指数が2020年基準に変更

品目 年月		主要セメント製品出荷高Ⅰ（出所:経済産業省）					
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック （千個）	護岸用 コンクリートブロック （t）	道路用 コンクリート製品 （t）
		管 （t）	ボール （t）	パイプ （t）			
2020年12月	12,208	37,450	118,215	5,922	60,604	223,770	
2021年12月	9,887	37,243	104,406	5,351	54,364	185,559	
2022年5月	7,330	28,302	115,727	5,116	34,545	123,967	
6	10,485	32,237	124,415	5,506	30,521	145,665	
7	8,408	31,271	115,814	5,138	31,719	138,948	
8	7,645	30,995	112,248	4,769	26,945	132,354	
9	9,466	32,253	125,194	5,214	25,124	146,645	
10	10,737	33,214	132,971	5,338	36,892	158,515	
11	12,286	34,069	123,269	5,527	38,818	176,626	
12	10,631	30,719	112,858	5,281	42,085	158,413	
2023年1月	8,970	27,442	108,222	4,048	42,004	151,189	
2	10,034	27,960	128,634	4,946	46,654	157,334	
3	11,700	29,855	120,571	4,994	49,803	156,257	
4	8,772	30,350	115,374	5,492	41,064	132,293	
5	6,875	29,277	93,186	4,758	36,905	123,773	
6	7,195	31,183	99,105	5,125	30,947	134,161	
7	8,181	30,567	100,016	4,935	28,988	130,856	

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年12月		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年5月		14,242	40,732	2,338	91,205
6		16,974	49,821	2,695	107,363
7		13,715	41,894	2,593	103,755
8		12,408	35,475	2,538	100,701
9		13,947	42,105	2,648	112,161
10		11,097	33,241	2,422	117,669
11		8,850	29,573	2,588	117,623
12		10,593	29,525	2,498	114,000
2023年1月		6,847	21,091	2,183	92,185
2		9,203	18,687	2,336	92,707
3		14,809	22,255	2,681	103,964
4		5,632	19,199	2,168	95,468
5		6,709	45,189	2,044	93,704
6		10,324	37,255	2,361	105,765
7		9,303	35,009	2,406	107,173

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

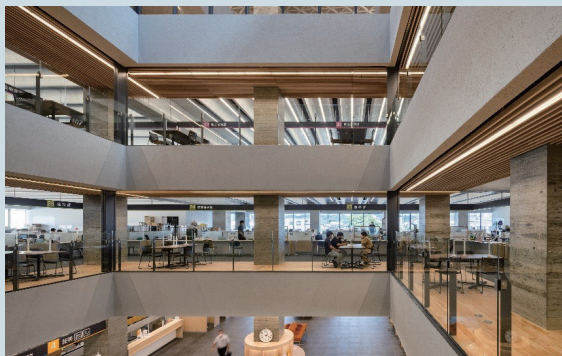
委員長

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

委員

石橋 忠良	J R 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括
伊藤 智章	UBE三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長
内田 俊一郎	太平洋セメント(株) 中央研究所 研究開発推進部 部長
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)
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 上級首席技師
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

- 戻りコンクリートから製造したスラッジ再生セメントの再利用技術
- 3Dレーザースキャナを用いたキルン点検方法の検討
- CO₂排出量と六価クロム溶出量を低減させる地盤改良材「バイプロジオ™」
- 生産性向上に資する締固め不要コンクリートの打込み方法に関する検討
- 東海道新幹線浜名橋梁—耐塩性コンクリートを用いた橋脚修繕—
- 表面含浸工法の長期耐久性に関する暴露試験結果
- 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 バイオマス発電の運転実績と今後の展開—バイオマスを活用したエネルギーの低炭素化—
- セメント系固化材で改良した火山灰質粘性土の長期強度発現性と変質の熱力学的平衡計算による検討
- 第51回セメント協会論文賞 受賞論文/コンクリートの災害におけるセメント水和物の炭酸化メカニズムの解明
- ずいそう(山本 徹) ほか



西都市庁舎—設備と防災を統合したDT版あらわしのワークスペース—

セメント・コンクリート No.920 10月号
2023(令和5)年10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



一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

セメント・コンクリート No.920 / 2023.10 令和5年10月15日発行

定価 1100 円 本体 1000 円 送料別 ⑩

神殿？ いいえ、防災施設です。

埼玉県春日部市の地下50メートルに現れた巨大神殿。
これは「首都圏外郭放水路」という防災施設で、
同県東部の浸水被害を軽減し、首都圏の安全を
守るためにつくられた世界最大級の地下放水路です。
こうした防災インフラに欠かせない素材がセメント。
もしものときも防災機能が発揮されるよう、
セメントの強さで施設そのものを守っています。

セメントが、日本をまもる。

一般社団法人セメント協会

セメント協会

検索