

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

2023
No.911

1

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和5年1月15日発行 ISSN0371-0718



—未来をカタチに変える創造力—



コンクリート用化学混和剤

フローリック

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

◆ AE減水剤（高機能タイプ）

フローリック SV10シリーズ

◆ AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）

フローリック SL20S・R

◆ 高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

◆ 乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チヂミガード/ヌッテガード

◆ 高性能AE減水剤 収縮低減タイプ（標準形・遅延形）

フローリック SF500SK・RK

◆ 高性能減水剤

フローリック VP900シリーズ



日本製紙グループ

株式会社フローリック

本社：〒170-0013 東京都豊島区東池袋1-10-1

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

◎ 北海道・東北・東京・北関東・中部・関西・四国・中国・九州

◎ 出張所：長野・北陸・静岡・高松・岡山・鹿児島

◎ コンクリート研究所（つくば）・東日本技術センター（東松山）

コンクリート用化学混和剤はフローリック

フローリック

検索

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

初春

新年
あけまして
おめでとう
ございます

旧年中は格別のお引き立てを
賜り厚くお礼申し上げます。
本年も何卒宜しくお願い申し
上げます。

本号では日頃のご愛顧にお応
えして、新年賀詞広告特集を
企画いたしました。

本年が読者の皆様におかれま
して、実り多き年になります
よう祈念いたします。

令和5年
一般社団法人
セメント協会



RRCS

Ready-mixed & Returned Concrete
Solution Association



2023



RELOCATE
リロケート分科会



RECYCLE
リサイクル分科会



ON SITE
オンサイト分科会



CARBON POOL
Carbon Pool コンクリートプロジェクト

一般社団法人 生コン・残コンソリューション技術研究会

〒170-0052 東京都港区赤坂 6-10-42 パシフィックパレス 401
電話: 03-4405-1057 Mail: info@rrcs-association.or.jp





ケミカルで 社会インフラの 発展を支える

花王株式会社
ケミカル事業部門

〒131-8501
東京都墨田区文花2-1-3
E-mail chemical_eif@kao.com
<https://chemical.kao.com/jp/>



創業73年を迎え、2023年も
お客様とともにコンクリートの
品質向上に努めてまいります

山宗化学株式会社

〒104-0032
東京都中央区八丁堀2-25-5
TEL 03-3552-1341
<https://www.yamaso-chem.co.jp/>



美しい まちとあなたの アル未来

アルミ床版<コンクリート橋ブラケット方式>

これからもアルミ床版歩道拡幅工法により既設コンクリート橋を活かした歩道拡幅で
子供たちに安全な通学路を提供してまいります

日軽エンジニアリング株式会社

本社 〒136-0071 東京都江東区亀戸2-35-13 新永ビル TEL. 03-5628-8533

※ホームページアドレス:PCサイト
<https://sne.co.jp/>



謹んで新年のお慶びを申し上げます。

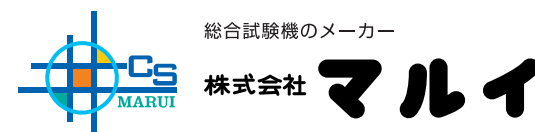
コンクリート補修・補強 プラスト工事 新工法開発・研究

ビルドメンテック株式会社

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

〒800-0101 福岡県北九州市門司区伊川 1951-3
TEL. 093-483-3555

〒175-0092 東京都板橋区赤塚 2-23-22
TEL. 03-6912-5557



高濃度中性化促進装置 全自動圧縮試験機
凍結融解試験機 端面研磨機・切断機
蒸気養生槽 鉄筋腐食診断装置

株式会社マルイ 営業本部

〒130-0002
東京都墨田区業平3丁目8-4
TEL:(03)5819-8844
<https://www.marui-group.co.jp/>



高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ) チューポールHP-70
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・ブリーディング低減タイプ) チューポールEX60LB
AE減水剤(高機能・収縮低減タイプ) チューポールLS

竹本油脂株式会社

〒443-8611
愛知県蒲郡市港町2-5
TEL 0533-68-2111
<https://www.takemoto.co.jp/>



建設コンサルタント **HCC**
株式会社 八洋コンサルタント

*High Technology
and
Creative Challenge*

株式会社八洋コンサルタント
〒101-0041
東京都千代田区神田須田町1-7-8
TEL.03-5577-5826
<http://www.hachiyo.co.jp/>



日本製紙グループ
株式会社フローリック

ー未来をカタチに変える創造力ー
**コンクリート用化学混和剤
フローリック**

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

株式会社フローリック
〒170-0013
東京都豊島区東池袋1-10-1
TEL.03-5960-6911
<https://www.flowric.co.jp/>



サーキュラーエコノミーシステムの構築から カーボンニュートラル社会の実現へ



増尾リサイクル

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



セメント・コンクリート 1

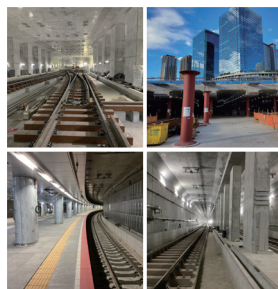
CEMENT & CONCRETE
2023 No.911

もくじ

- | | | |
|----|---|----------|
| 02 | 年頭で挨拶 | …不死原 正文 |
| 04 | 高強度・高性能コンクリートの性能評価と品質管理方法に関する一連の研究 | …陣内 浩 |
| 14 | うめきた(大阪)地下駅におけるコンクリート品質向上の取り組み | …益井 大樹ほか |
| 22 | すいそう
鉄道とコンクリートのはざままで | …大内 雅博 |
| 24 | 寸咫寸言
神様の落書き | …渡邊 明 |
| 26 | カーボンニュートラルに貢献する高炉スラグ微粉末を用いた
低炭素型セメント材料 | …森島 慎太郎 |
| 34 | セメント硬化体の炭酸化反応に関する理論的解析 | …相川 豊ほか |
| 40 | 耐硫酸コンクリート「T-Sulfatec®」の開発
～下水道施設の長期メンテナンスフリーを実現～ | …藤野 由隆ほか |
| 46 | シリーズ／セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード
セメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離回収技術 | …一坪 幸輝ほか |

13,33 HOT NEWS

- | | |
|----|--------------------------------|
| 54 | EVENT GUIDE |
| 56 | 外国雑誌の記事情報 |
| 57 | セメント・データファイル |
| 58 | 主要建設工事・資材統計 |
| 60 | 2月号予告 |
| 61 | 第77回セメント技術大会
一般研究発表の募集のお知らせ |



今月の表紙

いよいよ今春に供用を迎える『うめきた(大阪)地下駅』の建設[大阪府／提供：西日本旅客鉄道(株)]

年頭ご挨拶



一般社団法人セメント協会
会長 不死原 正文

皆様，新年あけましておめでとうございます。

2023年の年頭に当たり，一言ご挨拶を申し上げます。

皆様にはセメント業界に対し，日頃より多大なるご支援・ご協力を賜り，心より厚くお礼申し上げます。

さて，新型コロナが社会的に問題となってから3年余りが経ちました。最近では世界的に落ち着きを見せつつあり，経済全体も回復基調が現れているものの，なお予断を許さない状況は変わらず，社会や経済への影響はまだ終息したとは決していえない状況であり，わが業界においても，まだまだ改善したとはいえないものと考えております。

そうした中，セメントの内需につきましては，2022年度上半期についてはほぼ前年と同じでありましたが，カーボンニュートラルへの対応の流れが強まる中，ロシアのウクライナへの侵攻が資源価格の高騰に拍車をかけ，当業界を取り巻く環境はより一層厳しいものとなりました。当面こうした状況は継続するものと考えられ，会員各社においても様々な取り組みがなされていますが，本年は従前にも増して気を引き締めなければならないと実感しているところであります。

このような厳しい状況ではありますが，私たちセメント業界はインフラ構造物に不可欠な基礎素材であるセメントの安定供給のために，安全・品質管理を徹底しながら生産基盤を維持し，今後とも社会的責務を果たしていくことの決意については今後とも変わりはありません。

こうした認識に立って，ここでセメント業界が取り組むいくつかの課題を申しあげたいと思います。

まず，従前と同じであります，2050年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みです。セメント業界は経団連が提唱する環境自主行動計画や低炭素社会実行計画に当初より参画し，セメント製造用のエネルギー原単位の削減に取り組み，順次目標を達成して参りました。

しかし，セメント産業は生産プロセスの構造上，他産業に比べてカーボンニュートラルの実現は容易な

ものではありません。昨年3月の「長期ビジョン」に沿って省エネルギーの推進や廃棄物の利用拡大，さらに回収，再生利用などをこれまで以上強力に取り組んでいく所存です。ただ実用レベルに達するには，長期間に亘る息の長い取り組みが求められます。そのための体力を残しておかなければなりません。改めてグリーンイノベーション基金をはじめとした国からのご支援ご協力に深く感謝申し上げ，カーボンニュートラルを最重要課題として，これへの対応が業界の存続基盤に関わるとの認識をもって，業界の英知を結集しつつ対応を進めてまいります。

またセメント業界では廃棄物・副産物を外部から受け入れて原料や熱エネルギーの代替として利用し，二次廃棄物を出しておりません。その受入量は2021年度では2629万tに及びました。加えてセメント協会では「災害廃棄物処理支援ネットワーク」に参加しておりますが，近年多発する地震や豪雨災害で発生した災害廃棄物の受入れを積極的に行い，今後とも循環型社会の実現に貢献していく所存です。

一方，内需が長期的に減少傾向にある中，新しい需要開拓への取り組みについても大変重要な課題であり，コンクリート舗装の普及にこれまで以上に注力してまいります。

コンクリート舗装は耐久性が高くライフサイクルコストの面で優位であり，脱炭素にも有効であると評価されていまして，更なる普及をめざして昨年度に「コンクリート舗装の普及推進のための3か年行動計画」を取りまとめ，国や地方自治体やNEXCO等の関係各位に対し，コンクリート舗装の長所をより一層ご理解いただくべく活動を開始しております。その一環としまして徐々に実績を挙げている1DAY PAVEの普及にも一層注力して参ります。

もう一つ需要拡大への取り組みとして，徐々に需要の伸びているセメント系固化材の更なる普及拡大にも引き続き取り組んでまいります。固化材は近年地盤改良にとどまらず，地震の際の液状化や洪水被害に対する防災・減災にも使用されるようになってきております。例えば河川堤防の強化への使用についても大学との共同研究を進めており，国土強靱化対策に大いに貢献して参りたいと考えております。

セメント業界の各般の取り組みと魅力を国民各層の皆様へ理解していただくことも重要です。これまでの週刊誌やセミナーといった形式に加えて，特にこれからの時代を担う若い世代にアピールできるような新しいメディアを駆使した広報などを全方位に展開してまいります。

以上要点を申し述べましたが，現状を打開し将来への課題を効果的に実現していくには，業界の内部の努力はもちろん，関係の皆様幅広くご理解とご協力をいただくことが益々必要になります。

皆様におかれましてもセメント業界に対してこれまで以上にご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。

本年が皆様にとって良い年でありますよう，干支であるウサギのように飛躍できる年でありますよう，心よりお祈り申し上げ，私の新年の挨拶とさせていただきます。

高強度・高性能コンクリートの性能評価と品質管理方法に関する一連の研究

A series of studies on evaluation of performance and quality control method of high strength / high performance concrete

陣内 浩

1. はじめに

私が大成建設および東京工芸大学で約30年間にわたって行った「高強度・高性能コンクリートの性能評価と品質管理方法に関する一連の研究」に対し、2022年日本建築学会賞(論文)を賜うことができた。審査頂いた先生方、関係者のみなさま、また、この研究を進めるに当たって、ご教示やご協力を頂きましたみなさまに深謝する。

受賞させて頂いた論文は、高強度・高性能コンクリートに関する28編の論報を取りまとめた総合論文となっている。本稿では、本論文の概略について述べる。

2. 研究の背景

鉄筋コンクリート造集合住宅の高層化や長スパン化などが進み、現在では設計基準強度150N/mm²程度までの高強度コンクリートが広く普及するに至っている。一方、建築物の長寿命化、新たな構造形式への適用といったニーズから、高強度コンクリートに要求される性能は多様化している。建築物の長寿命化を望む建築主からは、高い強度だけでなく、高い耐久性能を持ったコンクリートが求められるようになり、コンクリート充填

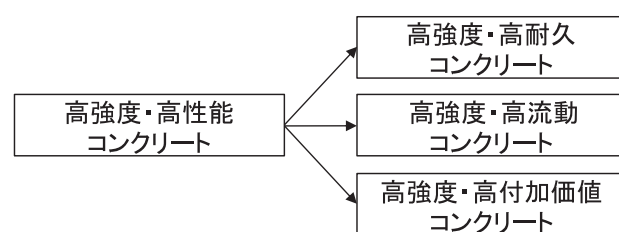


図1 本研究のコンクリートの分類

鋼管構造(CFT)のような新しい構造形式の施工では、高い強度だけでなく、高い流動性を持ったコンクリートが必要とされている。さらに、昨今の社会的背景から、コンクリートにも環境配慮などに貢献できるような高い付加価値が要求されるようになってきている。

しかしながら、このような多様化したニーズに対応する、高強度かつ様々な高い性能(高耐久/高流動/高付加価値)を持つコンクリート(以下、高強度・高性能コンクリートと称す)の性能は、これまで蓄積されてきた様々なコンクリートの知見だけでは評価できないことに加え、実際の施工に当たっても、従来の品質管理方法が適用できないこともある。

そこで本研究では、上記のような高強度とともに様々な高い性能(高耐久/高流動/高付加価値)をもつコンクリートにおける課題と問題を解決するため、高強度コンクリートを図1のように分類し、下記(1)～(6)のような検討を行った。

- (1) 高強度・高性能コンクリートの力学的性質の解明
- (2) 高強度・高耐久コンクリートの耐久性能と長期的

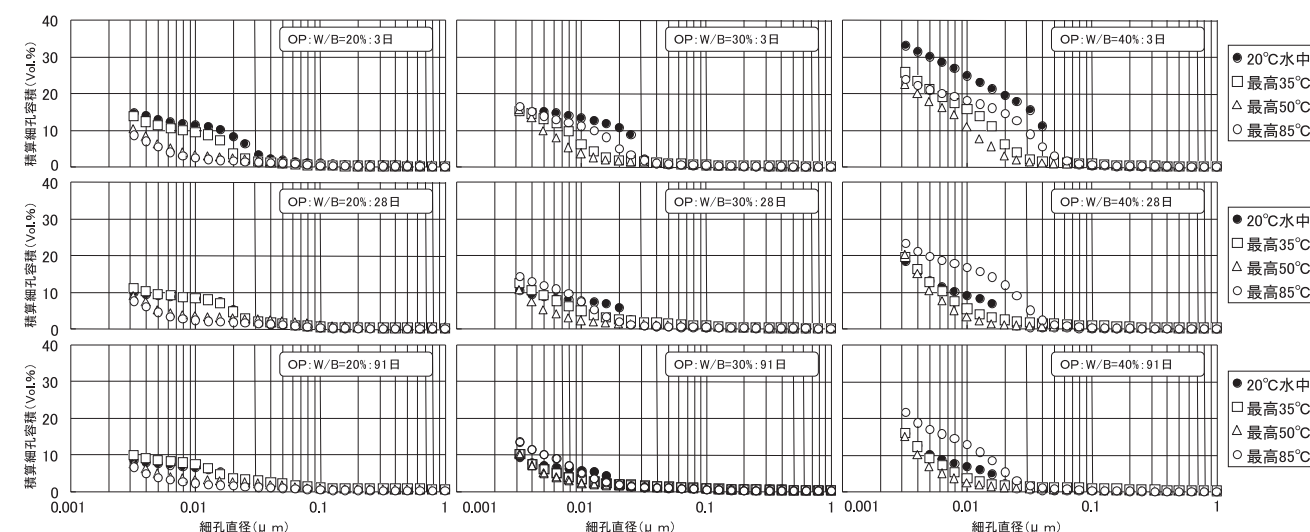


図2 初期に受ける最高温度が低水結合材比のセメントペーストの積算細孔容積に与える影響²⁾

な力学的性質の解明

- (3) 高強度・高流動コンクリートの圧送性能の解明
- (4) 高強度・高性能コンクリートの品質管理方法の確立と現場への適用
- (5) 高強度鉄筋コンクリート部材の品質管理方法の確立と現場への適用
- (6) 様々な性能を付与した高強度・高付加価値コンクリートの提案

3. 高強度・高性能コンクリートの力学的性質

コンクリートの高強度化にはいくつかの方法があるが、基本的な方法では水結合材比を低くすることが挙げられる。化学混和剤の技術が進歩した昨今では、小さな円柱供試体の高強度コンクリートを製作することはあまり難しくはない。しかしながら、実際の建築物に使用される柱や梁のような大断面部材では、単位結合材量の増大により、打込み後の水和熱が部材を高温にするため、供試体と同じようには強度が発現しない。1990年代後半は、単位結合材量の大きい高強度コンクリートでは、打ち込んだ柱などの構造体コンクリートが水和熱で高温になり、長期的には標準養生した供試体よりも大幅に強度低下すると考えられていた。また、当時は、低下する強度の絶対値は、強度が高くなるほど、さら

に構造体コンクリートが経験する最高温度が高くなるほど大きくなると考えられていた。しかしながら、私が1990年代に行ってきた実大施工実験の結果では、高強度コンクリートで施工された実大模擬部材のコア供試体は、必ずしも標準養生した供試体と大きな強度差があるわけではなかった。そこで、保有していた約130体の実大模擬部材のデータを、セメントの種類、水結合材比などに分類して詳細に分析した。この結果、水結合材比を20%程度まで低くすると、実大模擬部材のコア供試体と標準養生した供試体の強度差は、強度が高くなるほど、また構造体コンクリートの最高温度が高くなるほど大きくなるわけではないことが確認できた¹⁾。このような統計的な研究とは別に、図2に示すようなセメントペーストの微細組織の形成過程による基礎的な研究による裏づけも進め、極めて水結合材比が低い領域では、初期に高温を受けたセメントペーストの積算細孔容積が、長期的にも標準養生したセメントペーストと同程度もしくは小さくなる(強度的に同程度もしくは高くなる)ことを明らかにした²⁾。

一方、このようなコンクリートを実際の建物で構造設計者が利用するには、圧縮強度だけでなく、静弾性係数やポアソン比、また様々な強度についても把握する必要がある。そこで、圧縮強度180N/mm²までの高強度・高性能コンクリートを対象として、静弾性係数、ポアソン比、引張強度、曲げ強度、せん断強度および異形鉄



じんない ひろし / JINNAI Hiroshi
東京工芸大学
工学部 工学科 建築コース
教授 博士(工学)

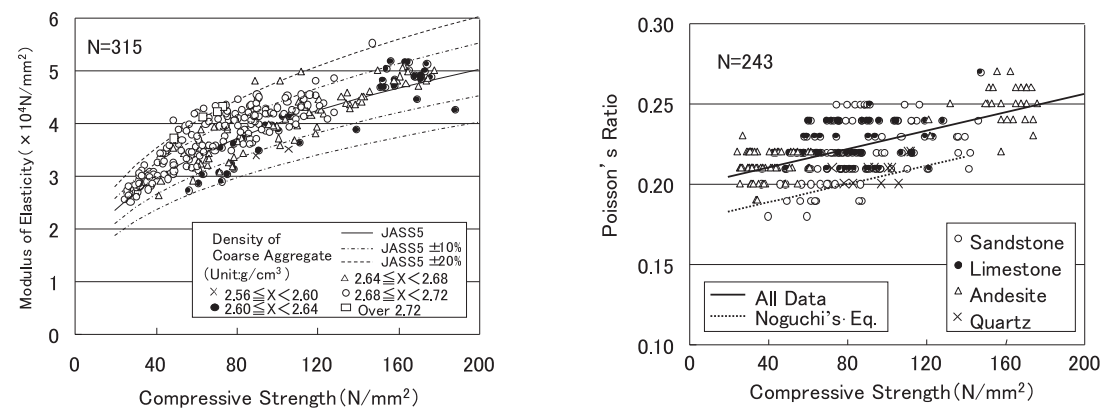


図3 圧縮強度と静弾性係数およびポアソン比の関係³⁾

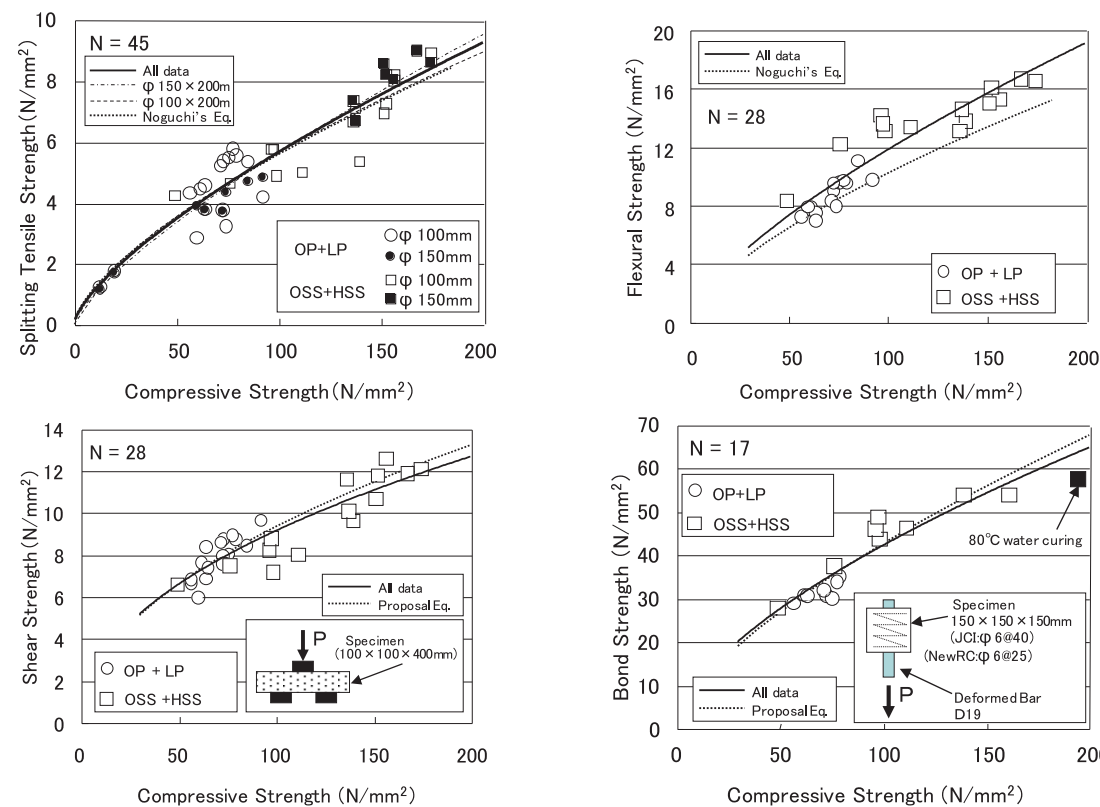


図4 圧縮強度と各種強度(引張強度、曲げ強度、せん断強度および異形鉄筋との付着強度)の関係⁴⁾

筋との付着強度などを図3,4のように圧縮強度の関数として推定できるようにした^{3,4)}。

4. 高強度・高耐久コンクリートの各種耐久性能と長期的な力学的性質

ここでは、高い強度とともに高い耐久性を付与するという観点から、5年間の促進中性化試験、20年間の乾燥収縮試験、20年間の水中膨張試験、5～10年間で屋外暴露した実大模擬部材のコア供試体を用いた凍結

融解試験、10年間のアルカリシリカ反応の促進試験、2年間の圧縮クリープ試験、および20年間の実大模擬部材の屋外暴露試験などを行い、高強度・高耐久コンクリートの各種耐久性能と長期的な力学的性質について検討した。

極めて水結合材比の低い高強度・高耐久コンクリートは6ヶ月間の促進中性化試験や暴露試験では中性化させることができないため、20年前の知見では、水結合材比40%以下となるような高強度・高耐久コンクリートの中性化速度係数は明らかになっていなかった。そこ

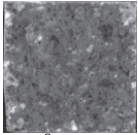
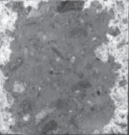
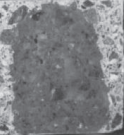
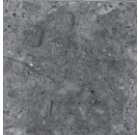
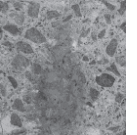
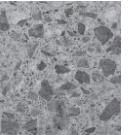
W/PC (%)	4 0	5 5	6 5
促進材齢 6ヶ月			
促進材齢 5年			

写真1 5年間の促進中性化試験の結果⁵⁾

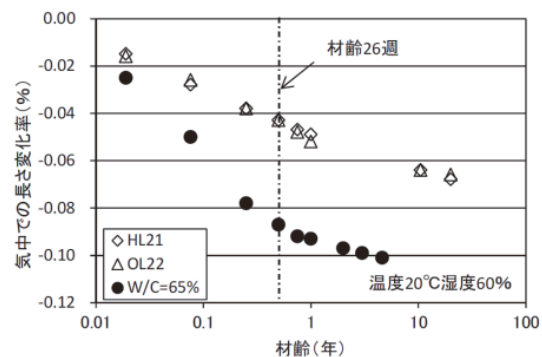


図5 材齢20年までの高強度コンクリートの乾燥収縮率(気中での長さ変化率)⁶⁾

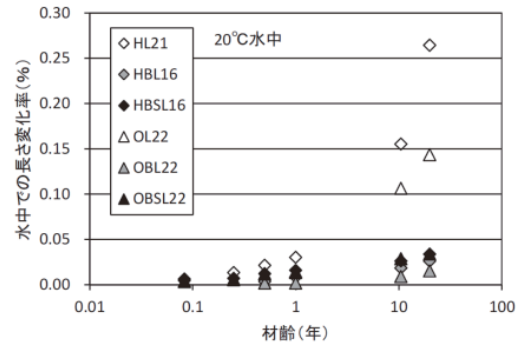


図6 材齢20年までの高強度コンクリートの水中膨張率(水中での長さ変化率)⁶⁾

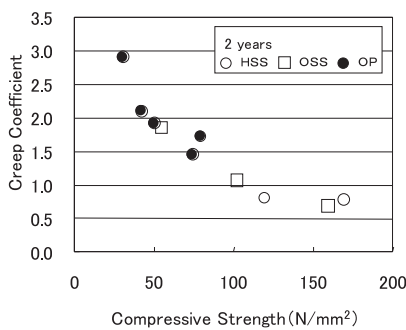
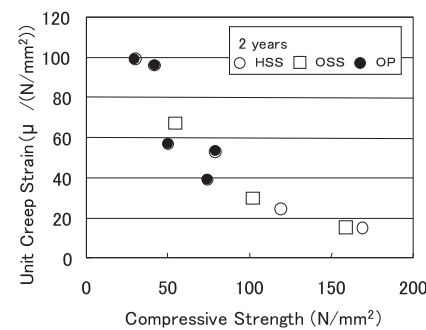


図7 圧縮クリープ試験による単位クリープひずみとクリープ係数(材齢2年、軸力比1/3σ)⁴⁾

で、5年間の促進中性化試験を行い、写真1のような結果から、水結合材比40%までの高強度コンクリートの中性化深さの進行過程を明らかにした⁵⁾。当時、この研究で明らかにした中性化速度係数を基に、水ポルトランドセメント比40%のコンクリート部材を炭酸ガス濃度0.2%の環境で200年間使用すると想定した場合の中性化深さを計算すると、200年後でも中性化深さは13mm程度しか進行しないことなどが計算できた。

また、計画供用期間を長く設定するコンクリート部材では、供用期間中の収縮ひび割れや水中膨張などの抑制にも配慮が必要となる。そこで、図5,6に示すよ

うな高強度・高耐久コンクリートの乾燥収縮や水中膨張についても20年間継続的に測定するような長期的な検討を行った。この結果、材齢20年が経過しても、水結合材比20%程度の高強度・高耐久コンクリートの気中での乾燥収縮は一般のコンクリートほど大きくならないこと、また水中での膨張も、シリカフュームやエトリンガイト系混和材などを使用すると抑制される傾向などが確認できた。さらに、凍害やアルカリシリカ反応に関しても長期的な促進試験を行った結果などから、問題が生じにくいことを確認することができた。

一方、長期的な力学的性質としては、図7に示す

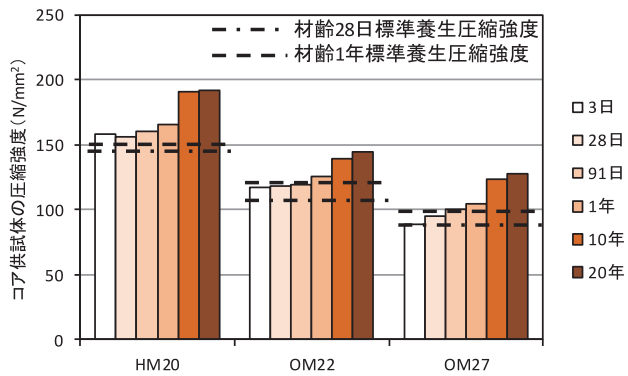


図8 材齢20年までの実大模擬部材の長期的な圧縮強度発現性状⁶⁾

圧縮クリープに関する知見，図8に示すような材齢20年での柱模擬部材のコア強度試験などを行い，当時はほとんどデータが存在しなかった圧縮強度180N/mm²程度までの高強度・高耐久コンクリートの圧縮クリープ特性や，高強度・高耐久コンクリートの長期的な構造体コンクリート強度の発現傾向などを明らかにした^{4,6)}。

5. 高強度・高流動コンクリートの圧送性能の解明

ここでは，高い強度とともに高い流動性を付与するという観点から，高流動コンクリート用化学混和剤の評価方法の提案，モルタルによる結合材の選定方法の提案について検討した。また，コンクリートポンプによる圧送実験を行い，極めて水結合材比が低い場合の高強度・高流動コンクリートの圧送性能を検討した。

コンクリート充填鋼管構造の普及とともに，より高い設計基準強度の高強度・高流動コンクリートが利用されるようになった。高流動コンクリート用化学混和剤の評価方法の提案⁷⁾，モルタルによる結合材の選定方法の提案⁸⁾では，粘性の高い高強度・高流動コンクリートに使用する各種材料を流下試験によって評価する方法を検討した。また，高強度・高流動コンクリートの圧送性能の検討では，設計基準強度150N/mm²程度に相当する水結合材比15%の高強度・高流動コンクリートの圧送性能を，コンクリートポンプによる圧送実験によって検

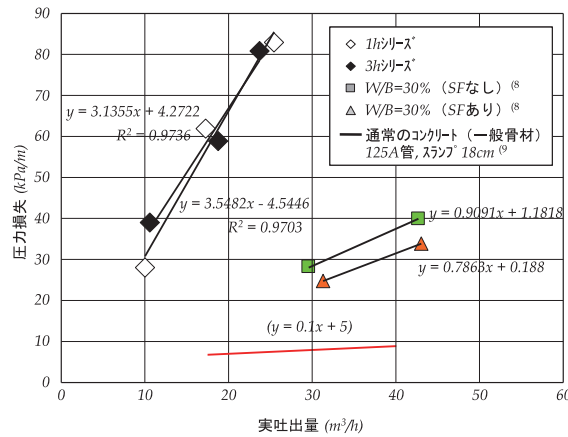


図9 高強度・高流動コンクリートの吐出量と圧力損失の関係⁹⁾

証した。この研究では，図9に示す低水結合材比の高強度・高流動コンクリートの圧送時の管内圧力損失などを明らかにするとともに，回転翼粘度計による測定によって，圧送後の高強度・高流動コンクリートの粘性が大幅に低下することなどを明らかにした⁹⁾。

6. 高強度・高性能コンクリートの品質管理試験方法と現場への適用

ここでは，一般的な品質管理試験方法を適用できない高強度・高性能コンクリート用の各種品質管理試験方法を検討した。具体的には，高強度コンクリート用微粉末の活性度試験方法に関する検討，希釈法による高強度・高性能コンクリートの塩化物イオン濃度試験方法の検討，40℃温水養生供試体による使用するコンクリートの管理方法の検討，簡易断熱養生供試体による構造体コンクリートの管理方法の検討，高強度・高性能コンクリートの圧縮強度試験方法の検討などを行った。

本研究を開始した1990年初頭は，高強度・高性能コンクリート用の圧縮強度試験結果を高い精度で求めることすら難しかった。例えば，同条件で作製した高強度・高性能コンクリートの圧縮強度試験を繰り返行うと，比較的ばらつきが大きい印象であることが多かった。研究当初は，この理由が使用材料の変動，供試体の精度，試験方法の精度などのどこにあるの

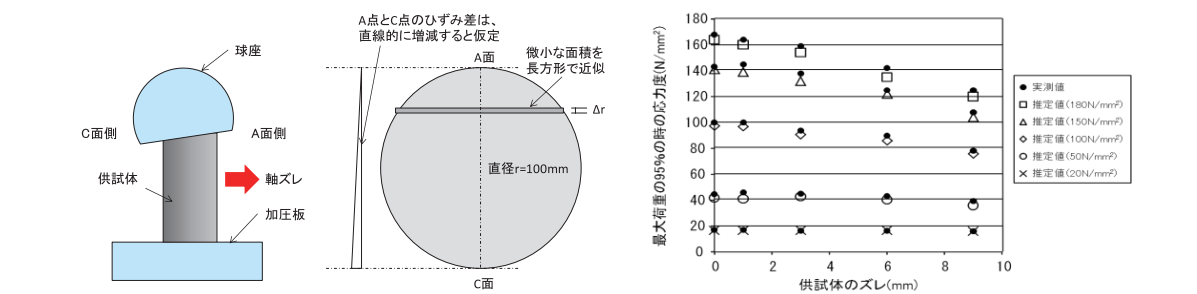


図10 供試体設置位置のスレによる偏心荷重が高強度・高性能コンクリートの圧縮強度試験結果に及ぼす影響¹⁰⁾

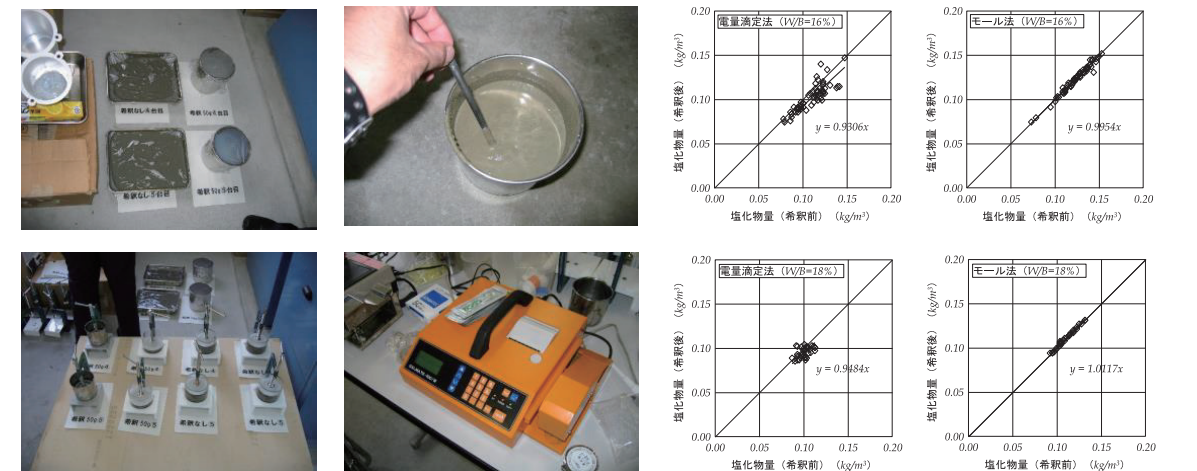


図11 希釈法による高強度・高性能コンクリートの塩化物量測定方法の検討例¹¹⁾

かもはっきりせず，多くの実験的な検討を繰り返し，試験精度の向上につとめた。また，このようなコンクリートを実際の建物に使用して管理していくには，ブリーディングの少ない高強度・高性能コンクリートのフレッシュコンクリートでの塩化物イオン量の測定方法や，水和熱によって高温になる構造体コンクリートの強度管理方法なども確立する必要があった。そこで，高強度・高性能コンクリート用の圧縮強度試験に関する一連の研究では，高強度コンクリート用微粉末の性能評価の再現性の影響，供試体成形後の振動の影響，供試体整形時の載荷面の平面度の影響，供試体載荷時の設置位置のスレの影響(図10)などを行い，試験精度に及ぼす要因を把握した。また，高強度・高性能コンクリートのフレッシュコンクリートでの塩化物イオン量の測定方法の検討では，純水による希釈を行ったコンクリートでの試験方法を検討した(図11)。さらに，水和熱によって高温になる構造体コンクリートの強度管理方法は，温水養生供試体や簡易断熱養生供試体によって構造体コンクリート強度を推定する手法を検討した。

7. 高強度鉄筋コンクリート部材の品質管理方法の確立と現場への適用

ここでは，高強度・高性能コンクリートを打ち込んだ鉄筋コンクリート部材の品質管理において，構造体コンクリート強度を推定する方法および過密配筋された鉄筋のかぶり厚さを推定する方法を検討した。

実務の中では，コンクリートを打ち込んで鉄筋コンクリート部材となった柱や梁の品質を非破壊試験によって検査することもある。しかしながら，一般的な構造体コンクリート強度の検査に利用されるリバウンドハンマーを用いた反発度法がどの程度の強度領域まで利用できるのか，また過密配筋された高強度鉄筋コンクリート部材の配筋の状態を電磁誘導法で検査できるのかといった未解決な問題があった。

当時の一般論として，リバウンドハンマーによる反発度測定値は，コンクリートの圧縮強度が高くなるにつれて感度が落ちるため，設計基準強度150N/mm²程度の高強度コンクリートへの適用は難しいとされていた。

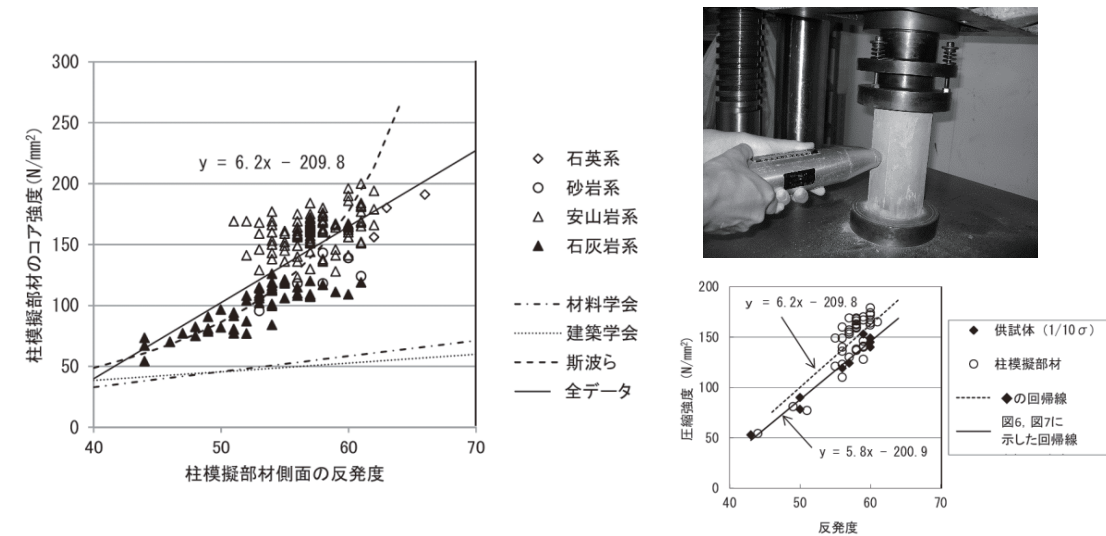


図 12 反発度法による高強度鉄筋コンクリート部材の構造体コンクリート強度の推定と供試体を用いた推定値の補正方法に関する検討¹²⁾

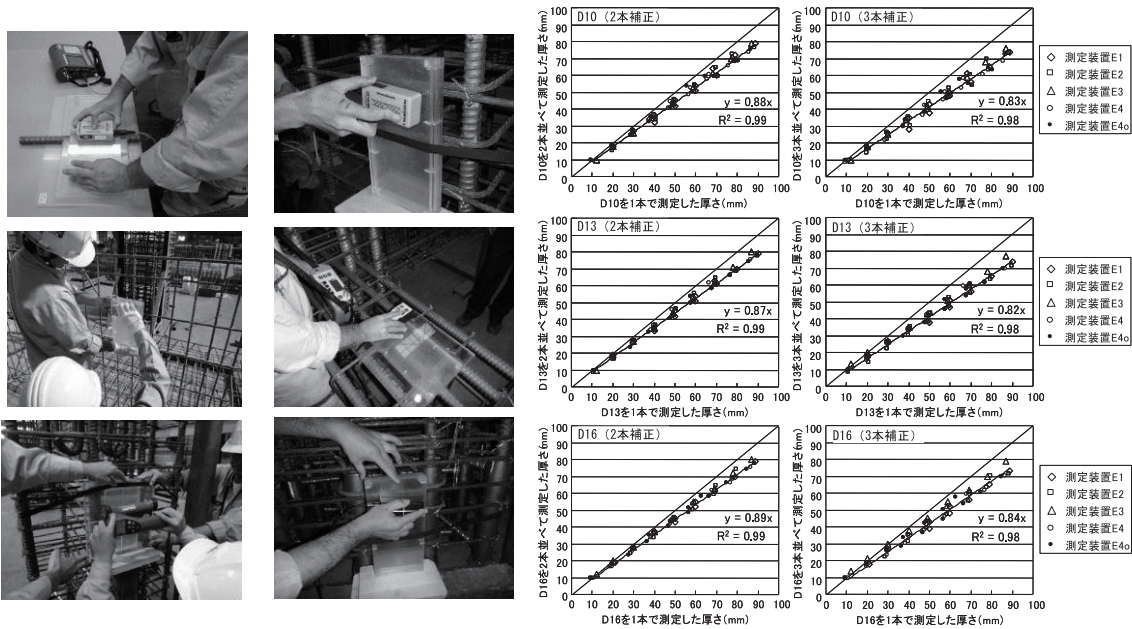


図 13 電磁誘導法による過密配筋された高強度鉄筋コンクリート部材の鉄筋のかぶり厚さの推定方法の提案^{13,14)}

実際に実験を行ってみると、高強度領域での反発度測定値は強度の増加に対してやや緩慢になるものの、圧縮強度 200N/mm² 程度までであれば圧縮強度の推定が可能であることなどが明らかになった。ただし、単純な推定式のみでの圧縮強度の推定では精度の向上は期待できないため、円柱供試体を用いた圧縮強度の補正方法なども含め、図 12 に示すように、反発度法による高強度・高性能コンクリートの構造体コンクリート強度の評価方法を提案した¹²⁾。

過密配筋された高強度鉄筋コンクリート部材の配筋を

調査する手法の検討は、電磁誘導法によって過密配筋された高強度プレキャストコンクリート柱部材の鉄筋のかぶり厚さを測定した場合の推定精度などを検証することで確認した。この結果、中子筋によってせん断補強筋が複数重なる部分では、鉄筋のかぶり厚さの推定値が実際よりも小さく評価されることなどが明らかになった。この傾向を室内試験などで再検証したところ、小さめに評価された値には一定の規則性があることも確認できた。そこで、図 13 に示すように、中子筋が存在するような位置を測定した場合の測定値の補正方法を提案した^{13,14)}。

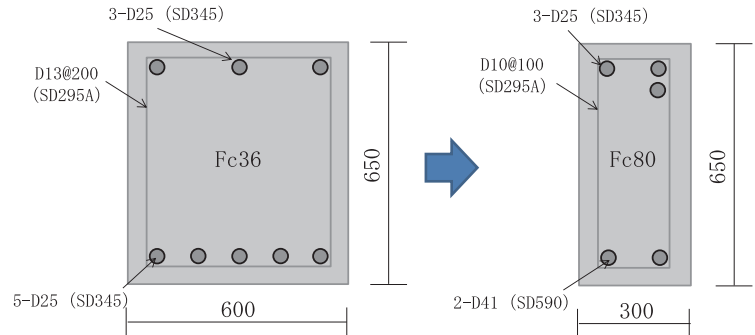


図 14 研究対象とした梁断面の変更¹⁵⁾

表 1 研究対象とした梁の CO₂ 排出量抑制効果¹⁵⁾

	Fc (N/mm ²)	CPL 置換率 (%)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				CO ₂ 排出量 (kg/m ³)
				OP	CPL-H	砕石	砕砂	
原設計	36	0	45.4	375	0	924	836	293.2
実施設計	80	70	20	247.5	577.5	891	514	209.5

計算用 CO₂ 排出量 (kg/t)

OP : 766.6, CPL-H : 26.5 (スラグで代用), 砕石 : 2.9, 砕砂 : 3.7

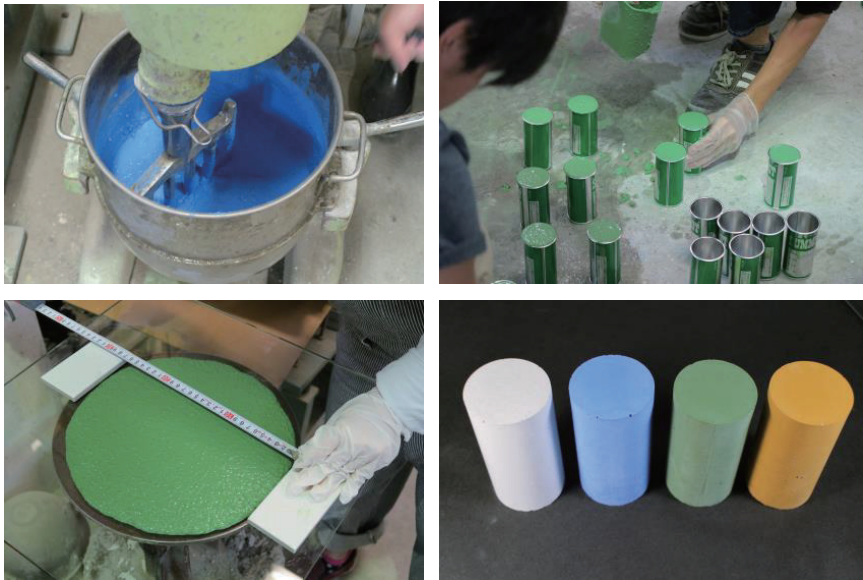


写真 2 高強度カラーモルタル

8. 様々な性能を付与した高強度・高付加価値コンクリートの提案

ここでは、高い強度とともに様々な付加価値を付与するという観点から、低炭素化や未利用資源の有効利用による環境配慮性能の付与に関する提案および着色顔料の混入による打ち放し技術の高度化に関する提案を行った。

低炭素化に関する研究では、普通ポルトランドセメントを使用した設計基準強度 36N/mm² の梁を、副産物置換率 70% まで向上させた結合材を用いた設計基準

強度 80N/mm² の高強度・高付加価値コンクリートに置き換えることで、図 14 のように断面の縮小化をはかれるとともに、表 1 のように材料起因の CO₂ 排出量を 2/3 程度に抑制できることを明らかにした¹⁵⁾。

着色顔料の混入による打ち放し技術の高度化に関する研究では、水結合材比 20% までの着色モルタルの強度特性や色の経時変化などの検討を行った。この結果、白色ポルトランドセメントをベースとした水結合材比 20% の着色モルタルで、圧縮強度 140N/mm² 程度の高強度が得られるとともに、長期的な変色の少ない綺麗な発色を得ることが可能なことを明らかにした(写真 2)。

第54回研究所講演会を開催／セ協

2022年11月25日、(一社)セメント協会は「第54回セメント協会研究所講演会」を会場とオンラインによるハイブリッド形式で開催。約350名が聴講した。

中山英明研究所長の挨拶に続き、①セメント水和物の分析に基づく今後のセメント設計の在り方／斎藤 豪氏(新潟大学 大学院 准教授)、②低炭素・脱炭素社会の構築を目指したセメント系材料の研究・開発／新 大軌氏(島根大学 学術研究院 准教授)の2件の講演が行われ、講演終了後に、質疑応答が行われた。

①では、カーボンニュートラルの面でCO₂固定が重要であることは広く認知されている。セメント製造時に排出されたCO₂をコンクリートなどのセメント水和物に固定させる研究が最近、様々な所で行われている。しかし、CO₂がセメント水和物である「カルシウムシリケート水和物(C-S-H)」の中にどのような形態で、どこに、どれくらい固定されているのかについて評価がなされておらず、また、固定されたCO₂の安定性について十分に議論されていない。その一因としてCO₂を固定したC-S-Hの分析が行われていないことが挙げられる。現在、NMR(核磁気共鳴装置)による測定・解析を行っており、C-S-HやCO₂の安定化などの解明につながる事が期待される。

C-S-Hを詳細に研究することで、セメント設計、セメント系新材料の提案、コンクリートの強度発現・耐久性の評価、カーボンニュートラルに基づくコンクリートの在り方について議論できるのではないかと考える。セメント水和物の研究は大変重要であり、社会に貢献できるセメント研究を今後も取り組んでいきたいと結んだ。

②では、混合セメントの汎用化に向けた研究について報告があった。石灰石微粉末、高炉スラグ、フライアッシュの混合材の使用量を増加することでクリン



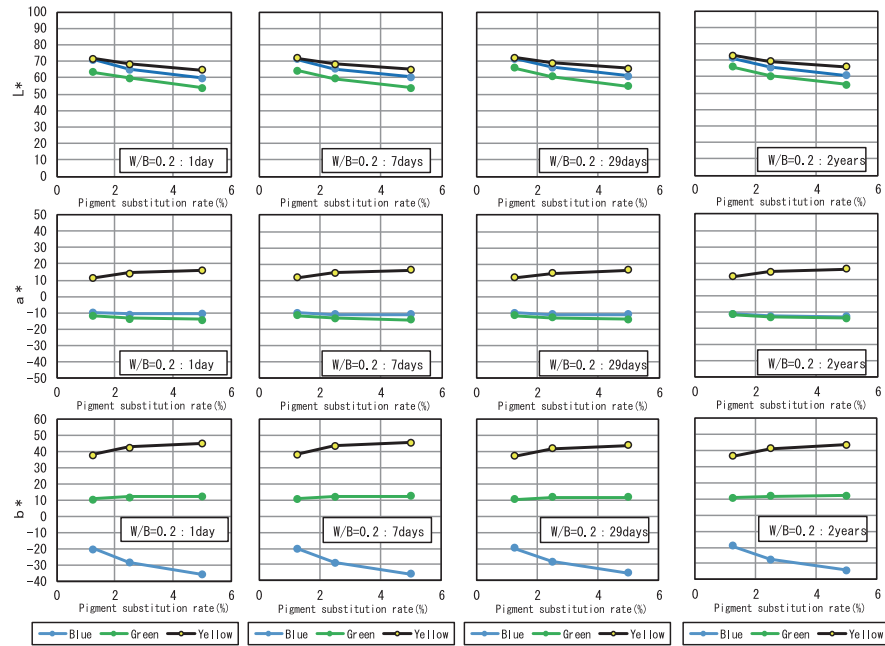
斎藤准教授



新 准教授

カー比率が下がりCO₂削減と同時に循環型社会に貢献できる。「普通ポルトランドセメントと同等の性能を確保できる混合セメント」をコンセプトに研究を進めており、具体的には高炉スラグであれば3割程度、石灰石微粉末およびフライアッシュであれば2割程度をイメージしている。混合材を増量すると初期強度が低下するが、アミンや亜硝酸カルシウムなどの添加剤を使用することで水和活性を高めることができる。混合セメントの初期強度を増進する条件やメカニズムの解明に取り組んでいる。

社会環境材料の役割を果たすためには「資源循環」、「低・脱炭素」、「安心・安全」のバランスが大事である。「低・脱炭素」が社会的に求められている昨今ではあるが、全体のバランスを考えた上で最適解を見出すために努力する必要があると述べた。

図 15 材齢の変化に伴う顔料置換率とモルタルの色彩値の関係(水結合材比20%)¹⁷⁾

また、長期的な変色を考慮しつつ、合理的な色彩に着色するための顔料置換率の設計方法について図15のような例を示しながら提案を行った。将来的に、色の選べる高強度鉄筋コンクリートの細柱などが活用できるようになれば、空間の自由度とともに、内装の色彩の自由度も上がるのではないかと期待している。

9. まとめ

本稿では、筆者が30年にわたって行った高強度・高性能コンクリートの研究について述べさせて頂いた。超高層建築の設計や施工が合理化する中で、コンクリートも高強度化や高性能化の進化を続けてきたのだと考えている。今後も、高強度・高性能コンクリートの品質の向上に貢献できる研究を続け、コンクリート技術の発展の一助となることができればと考えている。

【参考文献】

- 陣内 浩, 榊田佳寛, 早川光敬, 並木 哲／高強度コンクリートの構造体と標準養生供試体の強度差に及ぼす要因, 日本建築学会構造系論文集, Vol.67, No.562, pp.1～7, 2002.12
- 陣内 浩, 黒岩秀介, 早川光敬／初期に高温履歴を受ける高強度セメント硬化体の強度発現性状と微細構造, 日本建築学会構造系論文集, Vol.66, No.542, pp.39～46, 2001.4
- 陣内 浩, 榊田佳寛, 早川光敬, 並木 哲／180N/mm²クラスまでの高強度コンクリートの圧縮力学特性, セメント・コンクリート論文集, No.57, pp.421～427, 2004.2

- 陣内 浩, 榊田佳寛, 早川光敬, 並木 哲／180N/mm²クラスまでの高強度コンクリートの各種強度と長期力学特性, セメント・コンクリート論文集, No.57, pp.428～435, 2004.2
- 陣内 浩, 並木 哲, 黒岩秀介, 渡邊悟士／高強度コンクリートの長期的な長さ変化と中性化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.70, No.594, pp.9～15, 2005.8
- 陣内 浩, 黒岩秀介, 並木 哲, 早川光敬／材齢20年における圧縮強度80～180N/mm²級の高強度コンクリートの諸物性, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.727, pp.1373～1382, 2016.9
- 陣内 浩, 小泉信一, 鹿毛忠継／増粘剤含有高性能AE減水剤の性能に関する基礎的研究, 日本建築学会技術報告集, 第26巻, 第63号, pp.424～427, 2020.6
- 陣内 浩, 黒羽健嗣, 並木 哲, 後藤和正／超高強度コンクリートによる柱構造体の強度発現性状の検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.255～261, 1994.6
- 寺内利恵子, 早川光敬, 陣内 浩, 黒岩秀介／超高強度コンクリートのポンプ圧送性に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.622, pp.25～31, 2007.12
- 小山善行, 早川光敬, 陣内 浩, 中村光男／偏心荷重が超高強度コンクリートの圧縮強度試験結果に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol.77, No.675, pp.669～677, 2012.5
- 寺内利恵子, 早川光敬, 小山善行, 陣内 浩, 黒岩秀介／希釈法による高強度コンクリートの塩化物イオン測定方法の研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.614, pp.17～20, 2007.4
- 陣内 浩, 渡邊悟士, 山本佳城, 吉田 泰, 早川光敬／高強度コンクリートの圧縮強度推定における反発度法の適用性に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.683, pp.9～16, 2013.1
- 陣内 浩, 辻谷 薫, 吉田 泰, 中村光男, 加藤 圭, 佐藤貢一, 飯島真人, 並木 哲／電磁誘導法による鉄筋のかぶり厚さ測定装置の基本性能に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集, 第16巻, 第34号, pp.855～860, 2010.10
- 陣内 浩, 辻谷 薫, 吉田 泰, 中村光男, 加藤 圭, 佐藤貢一, 飯島真人, 並木 哲／電磁誘導法による鉄筋のかぶり厚さの測定精度と補正法に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集, 第16巻, 第34号, pp.861～866, 2010.10
- 陣内 浩, 加藤雅樹, 立山香織, 近藤憲二／主要構造部材に環境配慮型コンクリートで構築した建築物の実現とCO₂削減効果, コンクリート工学, Vol.52, No.6, pp.528～533, 2014.6
- 陣内 浩, 小山善行／顔料を用いた水結合材比の異なるモルタルに関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.84, No.765, pp.1367～1375, 2019.11
- 陣内 浩／顔料の使用量が着色されたモルタルの色に与える影響に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.86, No.782, pp.533～543, 2021.4

うめきた(大阪)地下駅における コンクリート品質向上の取組み

Some approaches to improve the quality of concrete in the Umekita (Osaka) underground station

益井 大樹 後藤 優典

1. はじめに

JR東海道線支線地下化・新駅設置事業は、JR大阪駅北エリア(通称「うめきた地区」)の西端を走行するJR東海道線支線のうち約2.4kmを大阪駅側に移設・地下化し、併せて新駅(うめきた(大阪)地下駅)を設置するものである(写真1)。この事業は、踏切の除却や道路交差部の高さ制限の解消に加え、支線を走行する関空特急はるかを本地下駅に停車させることで、うめきた地区と関西国際空港間のアクセス向上を図るものであり、2023年春の地下化・新駅開業を予定している(図1)。

うめきた(大阪)地下駅は、当社においてJR東西線以来、約20年ぶりの地下駅整備になるが、JR東西線では、躯体に生じたひび割れから浸入した地下水により、開業後3年間で約900件(7駅合計)もの漏水事象が報告された(写真2)。これを鑑みて、本地下駅では、防水工仕様や躯体貫通物の削減、温度ひび割れ検討といった様々な角度からの漏水対策やコンクリートの品質向上を検討、実施した。

本稿では、温度ひび割れ対策と、かぶり部のコンク

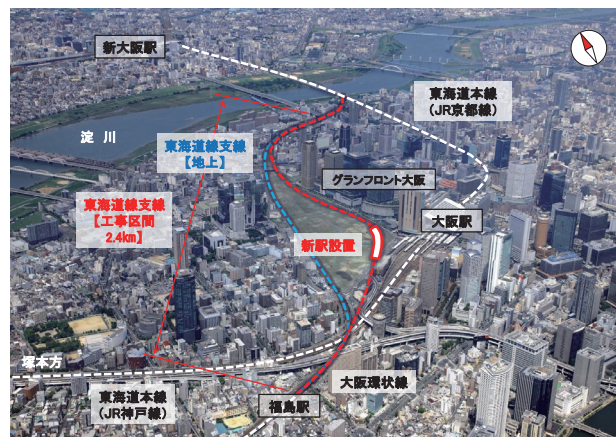


写真1 JR東海道線支線地下化・新駅設置事業

リートの品質(以下、表層品質と称する)向上の取組みについて報告する。

2. 温度ひび割れ対策概要

図2に示すとおり、鉄道地下化区間は、U型擁壁とボックスカルバートで構成されており、これらを開削工法にて施工した。施工箇所地下水位はG.L.-2.0mと高く、構造物の大部分が地下水位よりも低い位置に構築されるため、ひび割れの発生が漏水に直結する。特に、新駅区間付近は2層6径間の大断面のマスコングリートであることから、水和発熱起因の温度応力による貫通ひび割れの発生が懸念される。そこで、コンクリート標準示方書¹⁾に基づき、(公財)鉄道総合技術研究所が提案する温度ひび割れに対する対策フロー²⁾に則った検討を行い、低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリート



ますい ひろき / MASUI Hiroki
西日本旅客鉄道(株)
大阪工事事務所 施設技術課
課員



ごとう ゆうすけ / GOTOH Yusuke
同上
主査

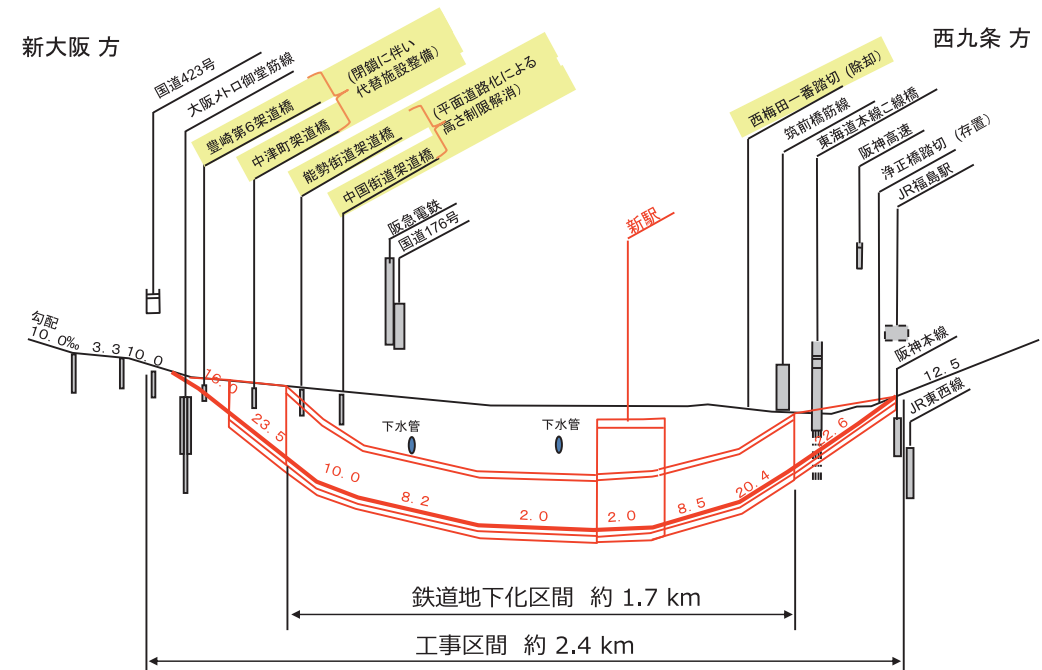


図1 全体縦断面図

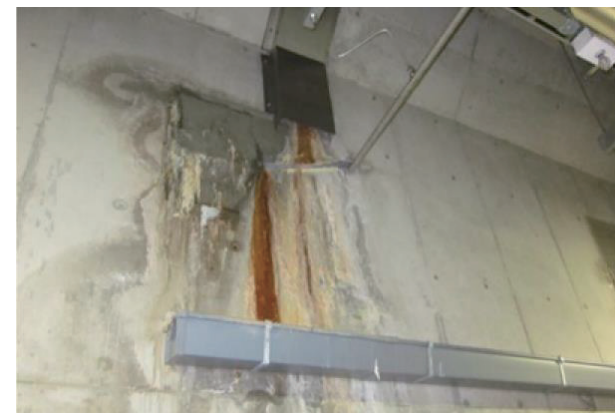


写真2 地下駅躯体漏水の様子

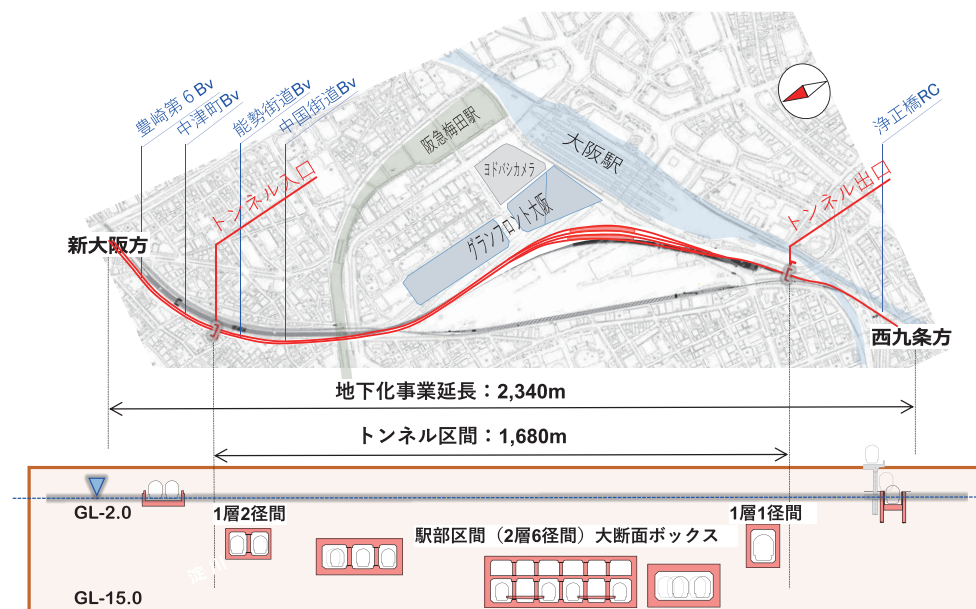


図2 構造概要

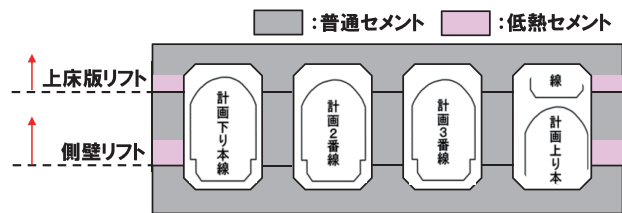


図3 打継ぎ部に限定した低熱ポルトランドセメントの適用

(以下、Lコンと称する)を適用する対策とした。

Lコンの適用は、温度ひび割れに対する有効な対策の一つに挙げられており、この必要性および有効性については示されている²⁾が、他社地下鉄整備事業における会計検査時に、Lコンの適用について経済性等の面からの検討が不十分であると会計検査院より指摘を受けている。本事業も補助事業であることから、Lコンの適用には経済性等の面でさらなる検討が求められる。そこで、Lコンの材料コストを抑えながら十分なひび割れ対策効果を得る手法として、本事業の設計段階で藤岡らはLコンの部分的な適用手法³⁾(以下、本手法と称する)を提案した。本手法は、**図3**に示すとおりLコンを温度応力が卓越する打継ぎ部付近に限定して適用し、それ以外は普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート(以下、Nコンと称する)を同一リフトにおいて打ち重ねる方法(**図6**、**7**、後述)である。以下、本手法における品質および対策効果の検証・評価結果を述べる。

2-1. Lコン適用範囲の設定

本手法では、コンクリートの非線形温度応力解析プログラム ASTEA-MACS ver.8を用いた3次元FEMによる温度応力解析を実施する。配合条件は、大阪広域生コンクリート協同組合の標準配合(JIS配合)から選定している。躯体を拘束するSMWの物理特性は、**表1**のとおりSMWの設計基準強度をもとにヤング係数を算出し、その他は地盤の物性値を採用する⁴⁾。温度応力解析上の境界条件としては、地盤表面およびコンクリート表面を熱伝達境界、地盤およびコンクリートの切出し面を断熱境界、地盤切出し下面を固定温度境界とする。なお、土留め壁と側壁の間の中埋めコンクリート

表1 解析条件

SMWの熱特性・力学特性	密度	1,800(kg/m ³)
	比熱	2.6kJ/kg℃
	熱伝達率	1.0W/m℃
	ヤング係数	105N/mm ²
	ポアソン比	0.25

(200mm)は一体打込みとして解析を実施する。Lコン適用範囲の設定は、温度応力解析により算出される発生応力を用いて、以下の式で表されるひび割れ指数¹⁾を指標とする。

$$\text{ひび割れ指数 } I_{cr}(t) = \frac{\text{コンクリート引張強度 } F_t(\text{N/mm}^2)}{\text{発生応力 } \sigma_t(\text{N/mm}^2)}$$

$F_t(t)$: 材齢t日におけるコンクリートの引張強度
 $\sigma_t(t)$: 材齢t日におけるコンクリートの発生応力

本手法では、ひび割れに伴う漏水は高品質な防水工で対策することを前提としつつ、このひび割れ指数を「ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅を制限したい場合」の基準¹⁾である1.0以上となるよう、打継ぎ部に限定してLコンを適用する。ひび割れ幅は、「水密性に対するひび割れ幅の限界値の目安」¹⁾に基づき一般の水密性を確保する場合の0.20mmを目標値とし、以下の式で算定される最大ひび割れ幅¹⁾をもとに、超過する箇所は補強鉄筋により0.20mm未満まで抑制する。

$$\text{最大ひび割れ幅 } w_c(t) = \gamma_a \left(\frac{-0.071}{p} \right) \times (I_{cr}(t) - 2.04)$$

p : 鉄筋比(%, 適用範囲0.25% ~ 0.9%)
 γ_a : 安全係数(特に厳しい腐食性環境以外では1.0)

2-2. LコンとNコンの併用による品質影響評価

土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾では、2種類以上のコンクリートを混合することにより予測できない結果を生じることがあるため、あらかじめ異なった種類のセメントを混合使用する場合には、コンクリートの性能を確認する必要があると記述されている。そこで本節では、供試体を用いた室内試験による強度・品質確認と、屋外で実施した実物大試験について述べる。

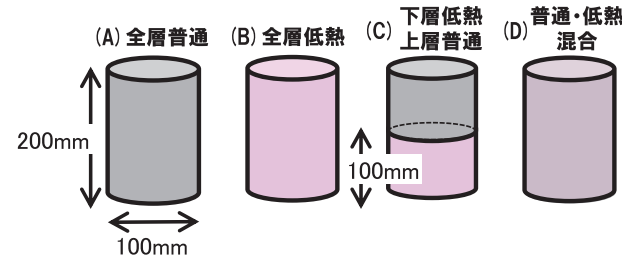


図4 室内試験練り供試体

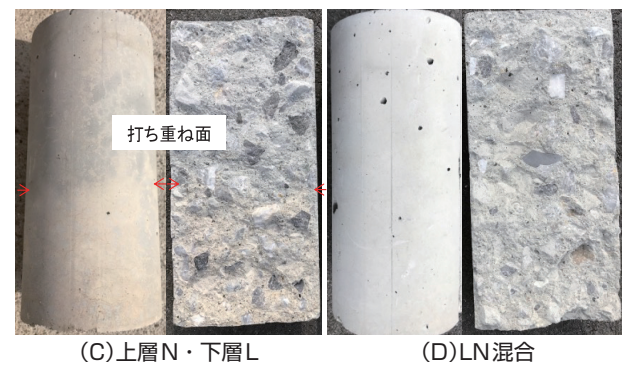


写真3 割裂引張試験後の破壊性状

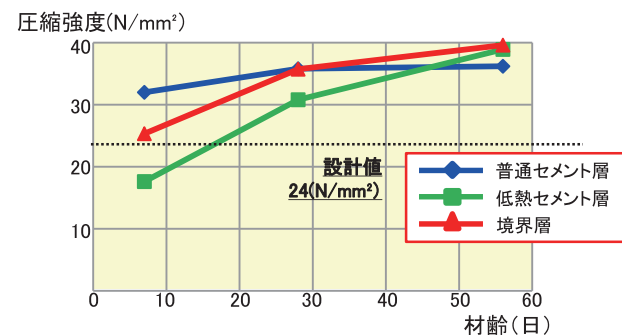


図7 圧縮強度試験結果

(1) 室内試験
Lコン・Nコン併用時の品質評価を目的として、**図4**に示す4種類の供試体を作成した。**図5**に圧縮強度試験結果を示す。すべて材齢28日において設計基準強度($f_{ck}=24\text{N/mm}^2$)を満足した。**写真3**に供試体(C)、(D)に対する割裂引張試験における破壊性状を示す。いずれも破壊面に異常は見られなかった。

(2) 実物大試験

図6に示すとおり、打重ね時間(1.5時間)、打込みリフト割(0.5mごと)、拘束条件、配筋を実施工と同等

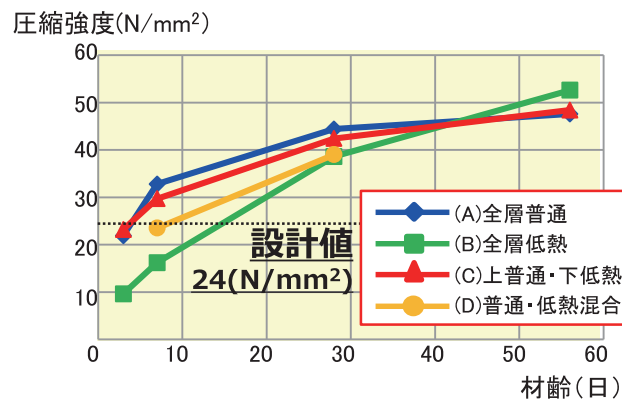


図5 圧縮強度試験結果

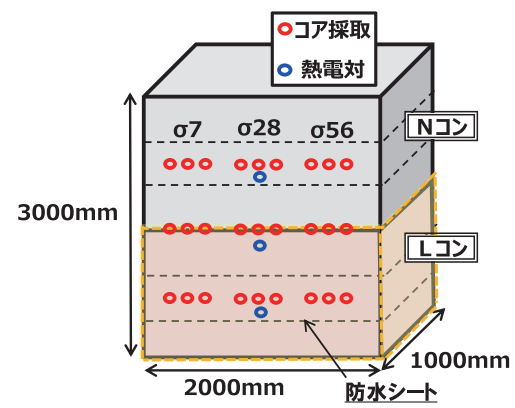


図6 実物大試験

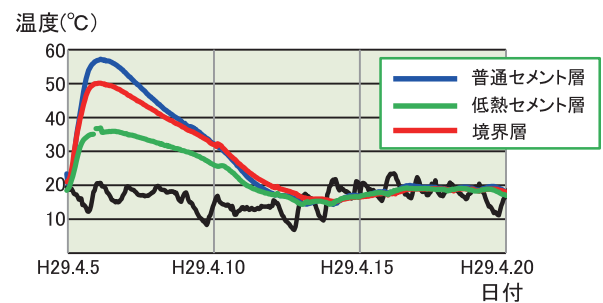


図8 温度履歴

とした実物大試験体を作成し、コア採取による圧縮強度試験、温度計測を実施した。なお、硬化速度の違いが下部(Lコン部)のブリーディング水排出の妨げになる可能性を検討するため、実施工と同様に側部防水シートも施工した。

圧縮強度試験結果(**図7**)、温度履歴(**図8**)を示す。LコンNコン境界部は材齢28日で設計基準強度を満たし、かつ、LコンとNコンの中間的な値となった。温度も同様の傾向であった。なお、境界部付近の攪拌を考慮し、実施工に当っては+0.5mの打重ねしろを設け

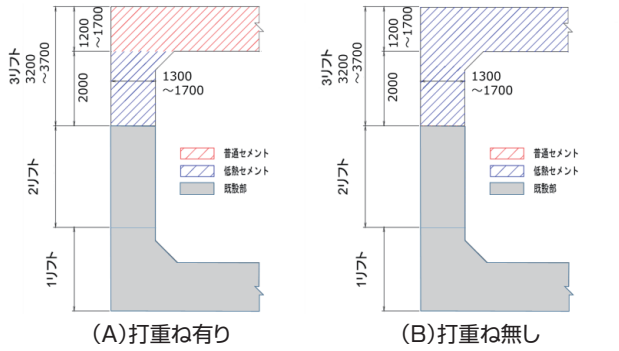


図9 Lコン・Nコン打重ね検討箇所代表断面

ることとした。実物大試験体の目視確認を約4ヶ月実施したが、ひび割れ等の問題は見られなかった。このことから、LコンとNコンの同一リフト打重ねに問題はないと判断した。

2-3. 部分的なLコン適用の効果確認

本手法の効果を確認するため、図9に示すように、躯体の3リフト(側壁+上床版)で、(A)Lコンの打重ねを適用した区間と、(B)打重ねを適用していない区間のひび割れの発生状況を比較する。なお、打重ねの適用区分については、温度応力解析の結果、以下のとおり計画した。

【3リフト(側壁)】

対象構造物の延長方向に接する先行施工構造物の有無に関わらず、ひび割れ指数1.0未満となり、Lコン施工が必須

【3リフト(上床版)】

(A)先行施工構造物が存在せず、拘束を受けない条件下では、ひび割れ指数1.0以上となり、Nコン施工可能

(B)先行施工構造物が存在し、拘束を受ける条件下では、ひび割れ指数1.0未満となり、Lコン施工が必須
図10に本手法を適用した工区における全15施工ブロック(総延長約290m)のうち、3リフト打継ぎ部を起点とするひび割れ幅0.20mm以上のひび割れ発生個数とひび割れ指数の関係を示す。(A)打重ねを適用した区間では全6ブロック中5ブロック、(B)打重ねを適用していない区間では全9ブロック中6ブロックと、(A)、(B)い

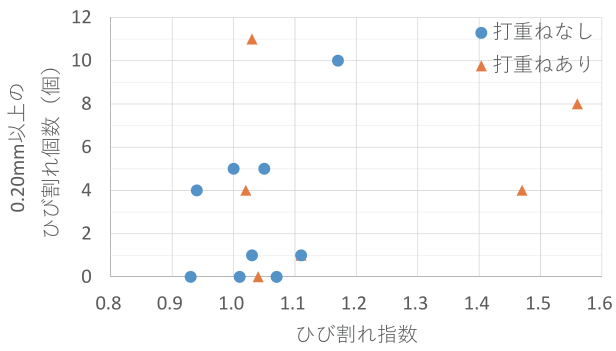


図10 ひび割れ指数に対するひび割れ発生個数(3リフト)

れも、解析上では0.20mm未満に抑えたものの、実測では0.20mm以上のひび割れが確認された。本ひび割れ幅の算定式は、コンクリート標準示方書¹⁾にて、ひび割れ指数が小さく、かつ鉄筋比が小さい場合、ひび割れの分散の仕方によってはひび割れ幅が大きく異なると言及されている。本構造物も、補強鉄筋追加後の鉄筋比が0.40%前後と小さかったことが、解析値と乖離した一つの要因と考えられる。しかしながら、最大ひび割れ幅の算定式については、2017年度のコンクリート標準示方書⁶⁾により改定されており、解析上も2017年制定の式では0.20mmを超える結果となるため、本実測値もおおむね妥当であると評価している。一方で、解析と実測に差異はあったものの、高品質な防水工の併用を前提としていることから、目立った漏水は発生しておらず、本手法により、求める品質を必要最小限の対策で実現することができた。なお、(A)と(B)を比較しても、LコンとNコンの打重ねが要因と考えられるひび割れの発生は見られなかった。

3. 表層品質向上の取組み

耐久性の高いコンクリート構造物は表層品質が重要であり、産学官の取組み⁷⁾を受けて当社でも、現場で表層品質の良否を判断できる簡易な評価手法として「目視試験」「散水試験」を導入し、表層品質を高める取組み^{8,9)}(以下、本取組みと称する)を実施している。本事業の躯体においても、本取組みを実施したため、その結果について報告する。

評価基準 評価項目	【S】 5点	【A+】 4点	【A】 3点	【A-】 2点	【B】 1点	【C】 0点
①プラスチック収縮ひび割れ	 表面に、ひび割れ、表面気泡、打重ね線、ノロ漏れ、砂すじが一切認められない。また、打継部に段違い、開口、ひび割れが認められない。	 極めて微細なひび割れが数本ある		 ひび割れ幅によらず、亀甲状のひび割れが100mm以下の間隔で認められる		 A-よりも劣る、必要により補修の対象となるもの
②沈下ひび割れ		 ビーコン径以下の長さのひび割れが一部認められる	 全体の1/5以下のビーコン、かつビーコン径の3倍以下の長さのひび割れが認められる	 全体の1/5以上のビーコン、またはビーコン径の3倍以上の長さのひび割れが認められる	 半数以上のビーコン、またはビーコン径の5倍以上の長さのひび割れが認められる	 Bよりも劣る、必要により補修の対象となるもの
③表面気泡	 5mm以下の気泡が認められる	 10mm以下の気泡が認められる	 10mm以上の気泡が50個/m ² 以下認められる	 10mm以上の気泡が50個/m ² 以上認められる		 Bよりも劣る、必要により補修の対象となるもの
④打重ね線	 近接では打重ね線が認められるが、5m離れた箇所からは認められない	 5m離れた箇所から打重ね線が認められる	 10m以上離れた遠方から打重ね線が認められる	 10m離れた遠方から打重ね線がはっきり認められる		 Bよりも劣る、必要により補修の対象となるもの
⑤型枠段差		 先打ち部と後打ち部で5mm以上の段差が認められる		 打継部に角落ち、またはひび割れが認められる		 Bよりも劣る、必要により補修の対象となるもの
⑥型枠ノロ漏れ	 ノロ漏れがほとんど認められない	 型枠継目部延長の1/10以下にノロ漏れ	 型枠継目部延長の1/10以上にノロ漏れ	 型枠継目部延長の1/3以上にノロ漏れ		 Bよりも劣る、必要により補修の対象となるもの
⑦砂すじ	 砂すじがほとんど認められない	 面積率1/10以下の砂すじ	 面積率1/10以上の砂すじ	 面積率1/3以上の砂すじ		 Bよりも劣る、必要により補修の対象となるもの

図11 目視評価判断基準

「目視試験」は、「美しい=高品質」であることを前提として、各初期変状(7項目)に対して図11に示す判断基準表をもとに点数付けを行い、コンクリートの表層品質を評価するものである。評価者の主観やバラツキの影響を最小限にするため、試験には複数人の評価者が必要となるが、短時間で実施でき、試験機器を必要としない。判断基準表は渡邊らの提案¹⁰⁾を参考に、

加筆・修正して使用することとした。なお、本取組みの評価基準は、評価者の平均点が4点以上を「優」、3.5点以上4点未満を「良」、3.5点未満を「可」の3段階評価とした。

「散水試験」は、図12に示すように一定量の水をコンクリートの鉛直面に一定の時間間隔で噴霧し、流下するまでの散水回数を評価するものである。表層が緻

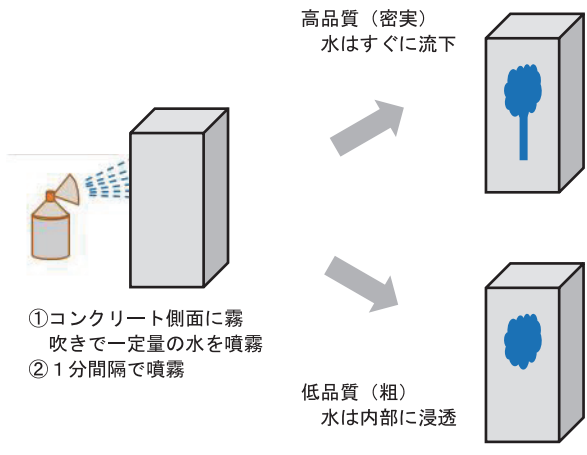


図 12 散水試験



写真4 軀体側壁の表層品質



写真5 現在の施工状況(ホーム階)

施工状況チェックシート【コンクリート打設】									
工事件名		確認年月日							
構造物名		部位							
請負者		所属				確認者氏名			
打設開始時刻		予定		実績		打設開始時気温(℃)	天候		
打設終了時刻		予定		実績		打設量(m ³)	リフト高(m)		
施工段階		確認項目					確認		記述
準備	ポンプ車の圧送管は汚れていないか								
	型枠内部に、木屑や結束線などの雑物はないか								
	鉄筋や型枠が乱れていないか								
	既設コンクリート表面のレタスなどは取り除き、ぬらしているか								
	コンクリート打設作業人員は適切か								
運搬	パイプレータの予備を準備しているか								
	繰り混ぜはじめてから打ち終わるまでの時間は適切か								
打込み	ポンプの潤滑性確保のため、先送りモルタルの圧送の処置をしたか								
	コンクリートの圧送はできるだけ連続的に行っているか								
	打設が終わっていない部分の型枠・鉄筋などにコンクリートが付着していないか								
	パイプレータで横移動させていないか								
	一区画以内のコンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか								
	打設ブロックの順番は計画通りか、順番は周知されているか								
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか								
	一層の高さは、40～50cm程度か								
	2層以上に分けて打込む場合、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか								
	ポンプ配管などの吐き出し口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか								
締固め	表面にブリーディング水がある場合、取り除いてから打込んでいるか								
	支保工は大きく沈下していないか(許容沈下量5mm以内)								
	打込み後速やかに締固めているか								
	パイプレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか								
	パイプレータは挿入は鉛直、挿入間隔は50cm以下か								
締固め	締固め作業中に、パイプレータを鉄筋に接触させていないか								
	パイプレータでコンクリートを横移動させていないか								
	パイプレータは、穴が獲らないように徐々に引き抜いているか								
	型枠側面を木箱等でたたく作業は、打込み中のコンクリート天端から30cm程度下から上に向かって実施しているか								
	硬化を始めるまでに乾燥する恐れがある場合、シート等で日よけや風よけを設けているか								
養生	コンクリートの露出面は布などで湿潤状態に保っているか								
	湿潤状態を保つ期間は適切か								
	型枠および支保工の取り外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか								
自由記事欄									
【確認欄の記入方】 ○：問題無し △：改善余地有り ×：問題有り									

図 13 施工状況チェックシート

密なコンクリートの場合、水はコンクリート内部に浸透しにくいいため、少ない散水回数で流下する。専用の散水器具を使用するが、測定に特別な技能を必要とせず、比較的短時間で実施できる。既往の研究¹¹⁾により、試験体レベルでは、散水回数が少ないほど、透気係数が小さく表層の密実性が高いことが分かっている。本取り組みでは、対象構造物の最も出来栄えの良い鉛

直面で「散水試験」を12点実施し、平均散水回数が2回未満を「優」、2回以上3.5回未満を「良」、3.5回以上を「可」と評価した。今回先行構築した軀体の側壁を対象として「目視試験」「散水試験」を実施した。その結果、「目視試験」では写真4のように5mm～10mm程度の表面気泡が随所に確認できるものの、その他各初期変状に対して大きな

不備は見られないため、総合的な観点から評価は「良」と判断した。「散水試験」においては平均散水回数が2回未満の「優」であったことから、対象構造物のコンクリート表層は密実であり、表層品質は優秀であると評価した。本取り組みでは試験後に施工会社を含め、実施結果に対する振り返り会を実施し、打込み時の反省点や次構造物への改善点、推奨事項の整理を行った。この整理により次回施工区間および他事業での施工計画へ反映し、表層品質確保のためのPDCAサイクルを確立することで、更なる品質向上を図った。結果、構造物の構築ごとにPDCAサイクルを回したことで、品質のスパイラルアップを実現できた。有効であった対策としては、施工会社が開発した給水型養生シート¹²⁾により、軀体の鉛直面に対しても給水養生を実施したことや、適切な条件での施工となるよう発注者として、事前のコンクリート打込み計画の確認およびチェックシート(図13)を用いた施工状況を記録したことと考えている。なお、本取り組みにおいて高い評価を得た有用性のある技術や施工方法等については、着眼点を整理し、当社内の設計・施工の手引きへ反映することで、継続的な改善を行うこととした。

4. まとめ

本稿では、JR 東海道線支線地下化・新駅設置事業について概説し、本事業で採用した温度ひび割れ対

策と表層品質向上の取組みについて報告した。温度ひび割れ対策では、打継ぎ部に限定してLコンを適用した結果、解析と実測に差異はあったものの、LコンとNコンの打重ねが要因と考えられるような目立った漏水のない健全な構造物を構築できた。一方で、想定を上回る個数のひび割れの発生が見られたため、今後さらなる対策の必要性も含めて検討を重ねていく。また、表層品質向上の取組みでは、目視、散水試験を取り入れた表層品質を高める取組み(C)により、より高いレベルでのコンクリート施工計画、基本技術の実施(P)(D)、と技術ストック、水平展開(A)が可能となった。これにより、表層品質確保のためのPDCAサイクルがスパイラルアップし、本事業における軀体だけでなく、今後当社において施工するコンクリート構造物の高品質な構造物の比率向上に繋げることができた。

現在、新駅区間では地下1階のコンコース階、地下2階のホーム階の設備工事に着手しており(写真5)、2023年春の開業に向けて、安全に工事を進めていく所存である。

【参考文献】

- 1) 土木学会／2012年制定 コンクリート標準示方書[設計編]，2013.3
- 2) 藤岡慶祐，笠裕一郎，岡本大／鉄道RC構造物の初期ひび割れに関する一考察，第23回鉄道工学シンポジウム論文集，pp.69～76，2016.7
- 3) 藤岡慶祐，水野さおり，藤田智靖／低熱セメントを用いたコンクリート打継ぎ付近に対する限定的適用に関する検討，土木学会第73回年次学術講演会概要集，V-587，pp.1173～1174，2018.8
- 4) 日本コンクリート工学会／マスコンクリートのひび割れ制御指針2016，2016.11
- 5) 土木学会／2012年制定 コンクリート標準示方書[施工編]，2013.3
- 6) 土木学会／2017年制定 コンクリート標準示方書[設計編]，2018.3
- 7) 半井健一郎，蔵重勲，岸利治／構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム，コンクリート工学年次論文集，Vol.51，No.2，pp.153～158，2013
- 8) 田畑勝幸／耐久性の高いコンクリート構造物の構築に向けたPDCAサイクルの確立，日本鉄道施設協会第33回総合技術講演会概要集，土木工事施工部門，pp.77～80，2018.11
- 9) 黒川浩嗣，猿渡隆史／おおさか東線 新大阪・放出間における橋りょうの施工と品質管理，セメント・コンクリート，Vol.869，pp.24～30，2019.7
- 10) 渡邊賢三他／目視調査に基づくコンクリートの表層品質評価手法と品質向上に資する取組み，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1354～1359，2012
- 11) 半井健一郎他／ボックスカルバートおよび附属試験体における表層品質測定，土木学会第70回年次学術講演会，pp.869～870，2015.9
- 12) 為石昌宏，吉田涼平，平泉顕，鶴原谷善一／給水型コンクリート養生シートの養生効果について，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.513～518，2018

鉄道とコンクリートのはざま

大内 雅博

鉄道が好きである。工学部の中で土木工学科を選択したのは、急峻な地形を克服し自然豊かな車窓を展開してくれる鉄道土木に魅力を感じていたことに加え、鉄道を対象とする研究室があったからである。時代が昭和から平成に変わった1989年のことであった。当初、コンクリートの研究室は眼中に無かったことをここに告白する。

しかし、学部三年次の「夏期実習」での3週間の体験がその後の人生を思わぬ方向に変えた。もちろん、鉄道会社での実習を希望し、幸いJR 東日本のお世話になることに決まったが、配属先は信濃川工事事務所小千谷工事区、信濃川水力発電所の再開発(増設)工事であった。同社が国鉄時代から自営発電所で東京圏の電車が使用する電力の大部分を賄っていることを知ってはいたが、鉄道に触れられる現場が良かったのと思った。そんな思いを胸に秘めつつお世話になったが、見るもの聞くものすべてが新鮮で、教室で話を聴くのと現場で実物を見るのとではこれほど理解度が違うものかと実感した。ローテクだと思いついて土木工事にも、速く安全に、そして安く施工するための技術開発の余地がまだまだあるのだと知り、その面白さや重要性に目覚めた。当時私は土木工学科の計画系

研究室に進むコースに属していたが、小千谷での体験から、恩師が開発したばかりの「ハイパフォーマンスコンクリート」、現在の自己充填コンクリートに惹かれ、四年次進級時にコンクリート研究室を希望して配属された。

再び水力発電所の建設に従事したくなり、修士を出て東京電力に入社し、希望が叶えられて葛野川水力建設所に配属された。自己充填とは対極のRCDコンクリートの配合設計に従事したが、また自己充填コンクリートを研究したくなり、たった1年3か月で会社を辞職する迷惑をかけて博士課程に入学した。現在は大学で教える立場となり、開発から30年余りを経過しても普及率が低いままの自己充填コンクリートの研究を続けている。現場打ち構造物への自己充填コンクリートの採用が設計段階で決まるのは鉄筋量が大きく振動締固め作業が不可能な場合である。この状況を変え、より多くの構造物の信頼性が向上することを目指した技術開発が、卒業論文から続く私の研究テーマである。

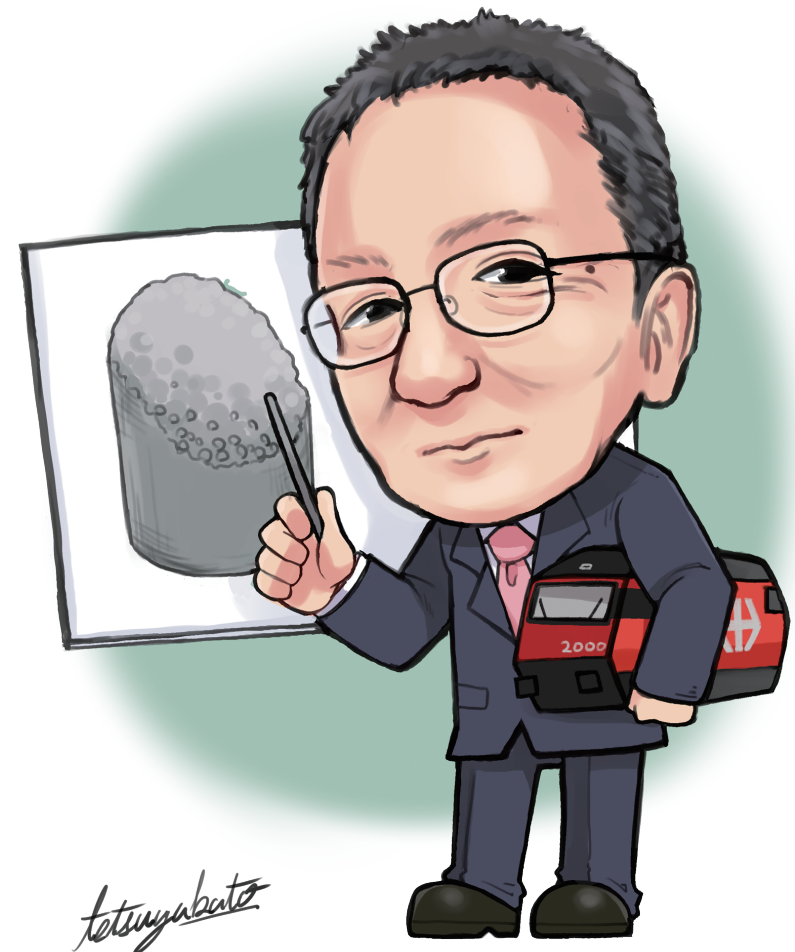
一方、趣味のままにしておいたはずの鉄道は、好きだと言い続けていたら結構文章の依頼が来て、書いているうちにいつの間にか仕事の一部になってしまった。いくつもの派閥がある鉄道趣味界において私が属するのは列

車ダイヤを対象とする「時刻表派」である。毎月書店から届く時刻表は読み物である。鉄道は輸送需要が大きいほど列車本数が多く、時刻表は賑やかである。低い人口密度の地域を走るローカル線の車窓は美しいが本数が少ないので寂しい。一方、人口密度の高い地域の通勤路線は本数こそ多いがダイヤが単純であり面白くない。特急から各駅停車まで多様な列車が数多く走る、時刻表が賑やかな長距離幹線の方に興味がある。

ただし、このような路線には急ぐ客を奪う飛行機という強敵がいる。地下鉄の走るような人口密度の高い大都市圏だけを走るわけではないために並行する道路の渋滞が生じにくく、手をこまねいているとクルマにも客を奪われて時刻表が寂しくなってしまう。私の鉄道各路線各駅間に対する認識は、時刻表と輸送量がセットになっている。

現在、鉄道の利用促進のためのハード・ソフト両面の取り組みで先行しているスイスに学ぶため、あれこれと調査している。一般にスイスの鉄道はユングフラウ登山や氷河急行といった観光用の印象が強いが、日常生活のための交通機関としてのシェアは世界有数の高さである。私にはそのような路線の賑やかな時刻表が面白く、それが学び始めのきっかけであった。JR時刻表を発行している交通新聞社から新書を出す機会もあった。コンクリートに対しては見せない熱意が通じたのであろうか、スイス国鉄の統計専門家とも懇意になった。

私の現在の地元である四国は鉄道経営に有利とは言えない場所であるが、JR四国は列車本数の維持どころか充実にも積極的に



取り組んでいて、同程度の人口密度のスイスの頑張りを彷彿とさせて頼もしい。嬉しいことに、趣味人あがりの私もほんの少しだけであるがそれに関わっている。

以上、私の鉄道とコンクリートの調査・研究を対比すると以下ようになる。

高くない	人口密度地域 鉄筋比構造物	における	鉄道 自己充填 コンクリート
のシェア拡大のための			事例調査 技術開発

対象は違えど、無意識のうちに同じことをしてきたのである。

[おうち まさひろ]

高知工科大学教授、鉄建建設(株)社外取締役
博士(工学)

神様の落書き

1. 忘れる話

「忘れる話」という忘れ難い話がある。その昔、木曾路の旅籠に沢山の振り分け荷物を持った商人一行が着き、一週間の宿を乞うたそう。宿の主人が、これだけの荷物のうちの幾つかでも、出立に際し忘れてくれぬものかと念じ、村の知恵者を訪ねて相談したところ、「物忘れの妙薬は茗荷である。毎朝毎晩茗荷の味噌汁を出しなされ」と入れ知恵したとのこと。

さて、しかし、出立に際し商人が忘れたのは宿代の方で、荷物は一つも忘れなかったのだという。欲の皮 突張りすぎて うっちゃられ たわけで、「欲張りが過ぎると碌なことはないぞ」という戒めであろうか。

2. 忘れられない話

宮崎の大淀川河口で、日向灘に面する辺りは防風林を兼ねた見事な白砂青松林が展開し、通称「一つ葉海岸」と呼ばれ、前方に段丘があり、引き潮の時には往来できる絶好の釣場であった。

昭和30年3月、卒業式間近かの頃、「卒業研究を共にした同志でピクニックに行こう、一つ葉海岸はどうだ」ということになった。男3人、女2人それぞれに、卒業を前に新調した改まった服装で出掛けたが、同道した女性は当時学芸学部(現在の教育学部)の学生で、卒論のまとめに手を貸してくれた連

中であった。一行のチーフは福岡出身のO君で、国鉄を辞めて大学へ入ってきただけあって年齢もくっついていて、社会性に長け常に行動的で、彼女らを卒研に連れてきたのも彼であった。

さて、ピクニック当日、一つ葉海岸を逍遙し、松林を散策した後、どこかで昼食を取ろうということになったが、偶々視野に入ってきた料亭を見ながらO君が、「学生生活最後の思い出に粋な料亭というのはどうだ。有り金を全部はたけば何とかなるんじゃないか」と言い出した。

3. 思いがけぬ展開

当時、料亭は学生如きが近付けるところではなかったが、「よし、決行」と決まった。時計は丁度正午であった。入口の門をくぐり、玄関のドアを開けた途端、「いらっしゃいませ。お待ち申し上げておりました」と、女の声。女将らしい和服姿が待ち受けていた。はて?と一瞬怪訝な思いが走ったが、とんとんと2階へ駆け上がったO君の後に皆続いた。

静かな佇まいの部屋に通され、「当店自慢のボラ料理を、腕によりをかけてこしらえております。ゆっくり召し上がって下さい」と言われるままに箸を取ろうとしたとき、「ところで、あの件よろしく願いますね」と、小声が追加された。

いよいよわけがわからなくなって、躊躇していた筆者らを後目に、「ああワカッショル」と、O君は故郷なまりでさりと受け流したのであった。

徳利が並び、次々に料理が運ばれてきて、宴は次第に盛り上がっていったが、佳境に入った頃、「当店自慢のロマンス風呂も用意してあります。ゆっくり汗を流していらっしゃいませんか」と促され、取敢えず、男3人だけ浴衣に着替えて

長廊下を渡っていった。別棟にしつらえられたカラフルでハート形の風呂は艶っぽく、ほろ酔い加減の身心にはちょっぴり刺激的であった。

さて、ロマンス風呂を堪能して、タオルを肩に鼻唄まじりで部屋へ帰る途中、廊下ですれ違いざまジロリと一瞥をくれた一行があった。5人組であった。部屋に戻り、女性2人が涙をためて部屋の隅こに身を寄せているのを見て、異変を直感、事態の急変を覚らされた。

4. 本命の接待客

彼女らに女将が語ったところによると、何と先刻の5人組こそ本日本命の接待客で、その到着が一時間弱遅れたのに、我々5人組(男3人女2人)がその約束の時刻にきっかり飛び込んだため、すっかり本命と思い込んだ、という訳であった。「税金関係じゃないかな」とO君がつぶやいた。「さあ大変、どれくらい請求書が回って来るぞ」と一同青くなったが、「出たとこ勝負さ」とO君は逸早く腹を括っていた。

「一本参りました。お代は一文も頂けませんよ。また来て下さい」の女将の言葉には、一瞬わが耳を疑い、圧倒された。結局、深々と頭を下げ、引揚げ、一件落着と相成ったが、大学卒業を目前にした暖かい春の日の、またとはあり得ない、忘れじの椿事であった。

それにしても、女将の「あの件よろしく」との問いに、「ワカッショル」と即答したO君に、「君はあのとき、本当に意味が分かっていたのかね」と後で訊いたら、「僕もさっぱり分からなかった。咄嗟の相槌さ」とすましていた。

さて、飛行機がプロペラ複葉で飛んでいた頃、宙返り練習中、乗員の一人が機外に投げ出されて落下したが、何とその直下に、1回転してきた機体が来て、奇跡的に助かったという話はとても信じがたいことながら実話なのだそうだが、T・P・Oが揃っ

たばっかりに、悪意も企みも全くないままに、思いもかけない据膳に与かった一見客の椿拳も亦、俄には信じて貰えまい。それにしても、本命たちが廊下ですれ違いざま我々に送った一瞥には、表沙汰にはできない無念、しかも、寸前でトンビに油揚げを攫われたくやしきなど錯綜した思いが、さぞ凝縮されていたことであろう。

5. 成行きで罪を犯した者の成敗は

この世には悪意をもって悪事を為す「悪魔」のほか、良かれと思ってやって、結果的に相手を傷つける「善魔」も棲みついているようだが、悪意も善意も全くないまま成り行きに従って思わぬ罪を犯してしまった我々如きは何魔と呼ばれ、どう裁かれるのであろうか。

ところで、筆者はあの時の据膳の美味よりも「一本参りました。お代は一文も頂けません」と凜と幕を引いた女将の方が忘れ難く、あの粋で気風の良かった素敵な女将にもう一度会いたいとの思いで、10年くらい経ってから再度遥々訪ねたが、「先年亡くなりました」とのことで、ついに再会は叶わなかった。

人間のところが乾き、万事ぎくしゃくする昨今になって、ものはなくてもところが豊かであった、我が若い学生時代の懐かしい1コマをここに敢えて披露した次第だが、人間など所詮四角四面、一本独鈷の朴念仁だと思われていた閻魔大王様も、学生上がり如き分際がその様な粋な事件に対処できたことに寧ろ驚嘆されたに違いないと思うのである。

木漏れ日の ゆらぐ一輪 すみれ草
神様の 落書き人生 ひたに漕ぎ

[わたなべ あきら／九州工業大学名誉教授 工博]

カーボンニュートラルに貢献する 高炉スラグ微粉末を用いた 低炭素型セメント材料

Low-carbon type cement materials using the blast furnace slag fine powder
to contribute to carbon neutrality

森島 慎太郎

1. はじめに

日鉄高炉セメント(株)(以下、当社と称す)は、高炉セメントのバイオニアとして、1910年の創業以来約110年間、一貫して高炉スラグ微粉末の有効利用や高炉セメントの普及活動に勤め続けてきた。当社には基幹事業としてのセメント事業の他に、高炉セメントを用いた高流動モルタルによる特殊建材を扱う建材事業がある。この建材事業では、建築材料としてのセルフベリング材や土木・建築工事で使用するセメント系充填材の開発および販売製造を行っている。

これら製品の主材料である高炉セメントは、混合セメントの一種であり、ポルトランドセメントに高炉スラグを微粉碎し混合している。高炉スラグはセメントのアルカリ刺激により水和反応を開始し、硬化するといった潜在水硬性を有しており、他の混合セメントと比べ、混和材を多量に添加できるという利点も持つ。

また、表1のように、ポルトランドセメントの製造においては1t当たり約760kgのCO₂が発生するが¹⁾、一般的な高炉セメントB種では、高炉スラグの分量が40～45%程度²⁾であることから、製造時のCO₂排出量を約4割削減でき、環境にやさしいセメントであるとして2001年より

グリーン購入法の特定調達品目にも指定されている。

ここで、セメント産業でも脱炭素社会、カーボンニュートラルを達成すべく、様々な課題と対策が掲げられている³⁾。この課題の中でも、低炭素型新材料の開発は当社建材事業にとっても関連深く、高炉セメントの普及およびそれを用いた技術・用途開発によって解決に努めることができる。

そこで本稿では、高炉セメントを用いた低炭素型建材製品を開発経緯および特徴に触れながら紹介し、その普及拡大に向けた今後の展望について述べる。

2. エスレベル

1975年頃、ヨーロッパで開発されたセルフベリング材の技術が日本に導入されてきた。その名の通りセルフベリング材は高い自己流動性(水平流動性)によって床の不陸面を水平にすることができる。床下地調整の工法のうち、従来工法であるコンクリート直押さえと比較するとセルフベリング工法は床精度が高いほか、高度な施工技術が不要で省力化を図ることができる等の利点があり、画期的な材料・工法として認知された。1980年頃には、国内でもセルフベリング材の本格的な製品開発が開始され、当社でも同時期にセルフベリング材の研究に着手しはじめた。1982年に、高炉セメントをベースとして、その特性を活かしたセルフベリング材、エスレベルを販売開始し、これを契機

表1 高炉セメントB種のCO₂削減率

CO ₂ 排出源	ポルトランドセメント CO ₂ 排出量①	高炉セメントB種 CO ₂ 排出量②	CO ₂ 削減量 ①－②	CO ₂ 削減率 (%)
石灰石脱炭酸起源	475.4	270.1	205.3	43.2
化石エネルギー起源	282.7	169.5	113.2	40.0
合計	758.2	439.6	318.6	42.0

※1 CO₂排出量および削減量の単位は g/kg。

※2 ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種におけるCO₂排出量の数値は文献1)より引用。

表2 JASS 15 M-103

[セルフベリング材の品質基準]

項目	規格値
フロー値 (cm)	19 以上
凝結時間 (始発)	45 分以上
凝結時間 (終結)	20 時間以内
圧縮強度 (N/mm ²)	20 以上
下地接着強度 (N/mm ²)	0.7 以上
表面接着強度 (N/mm ²)	0.5 以上
長さ変化 (%)	0.12 以下
耐衝撃性	割れおよびはがれないこと

に建材事業が始まった。

セルフベリング材は材料構成の違いにより石こう系とセメント系に分類されるが、エスレベルは後者に分類される。一般的にセメント系のものは強度発現、水密性、化学的耐久性が高いとされている。これらの特長に加えて、エスレベルでは高炉セメントの性質である、硬化までの時間が長いことを効果的に利用している。

セルフベリング材の主用途は集合住宅等であり、必要な性能としては十分な水平流動性および材料分離抵抗性が挙げられる。床面の高い水平精度を実現するためにも水平流動性は最も重要な性能の一つであり、エスレベルでは高い水平流動性とその保持時間の長さに注視して開発されている。

2-1. 水平流動性

セルフベリング材の水平流動性は、フロー値によって評価することができる。表2にJASS15 M-103(セルフベリング材の品質基準)⁴⁾の規格値を、表3にエスレベルの物性値を示す。

JASS規格ではセルフベリング材に対し19cm以上のフロー値を要求している。これに対して当社では、

表3 エスレベルの物性値

試験項目		試験値
密度 (g/cm ³)		2.1
フロー値 (cm)		23.2
凝結時間	始発	13 時間 20 分
	終結	15 時間 30 分
圧縮強度 (N/mm ²)	材齢 7 日	25.3
	材齢 28 日	34.7
下地接着強度 (N/mm ²)		1.57

※20℃環境下での試験例。

後述する製品も含めてJASS法(φ50mm×51mmの円筒容器によるフロー試験)よりも容量の大きなφ50mm×100mmの円筒容器(当社法)を用いて評価を行っている。これは、試料の量を増加させてフローの広がりを大きくし、諸要因による影響を鋭敏にとらえて品質管理の精度を高めることを目的としたものである。

写真1に当社法のフロー試験状況を示す。JASS法と当社法のフロー値には図1に示すような線形関係があることが示されており、エスレベルの当社法フロー基準値は300±30mmであるが、これはJASS規格法におけるフロー値の約21～25cmに相当する。

2-2. 流動性の保持時間

セルフベリング材の練り混ぜ直後はスラリー状であるが、時間の経過とともに流動性を失い、硬化していく。したがって、施工中に流動性が失われれば、十分な水平流動性が確保されず、床面の水平精度を損なうことになる。そのため、規格値を十分に上回る良好な水平流動性が得られても、その保持時間が適切でなければならない。また、セルフベリング材における流動性の保持時間は長いほど水平精度は向上し、施工



もりしま しんたろう / MORISHIMA Shintaro
日鉄高炉セメント(株)
SL事業部 技術グループ
博士(工学)

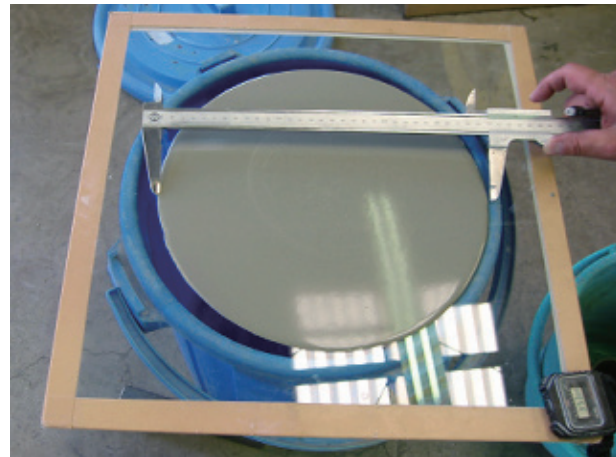


写真1 当社法によるフロー試験状況

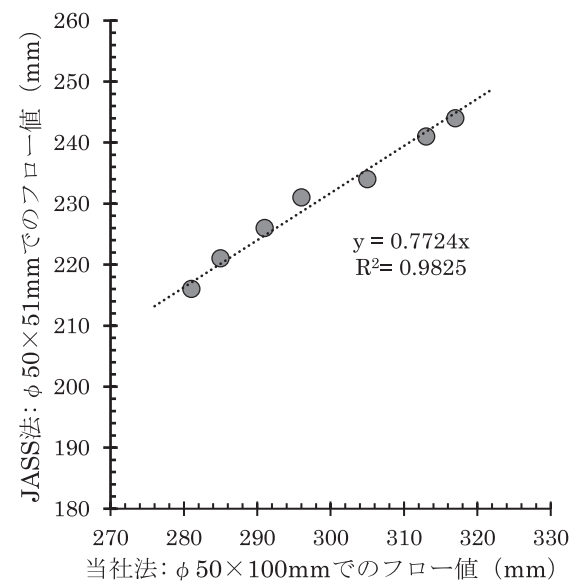


図1 JASS規格と当社法におけるフロー値の関係

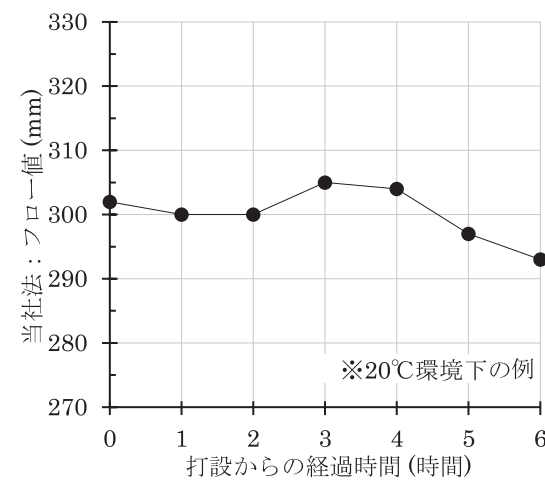


図2 エスレベルにおけるフロー値の経時変化

性も良好になる。

エスレベルと後述する一部の製品では、流動性の保持時間が6時間であり、これは当社建材製品の特徴でもある。図2にエスレベルにおけるフロー値の経時変化を示している。一般的なセルフレベリング材では、流動性の保持時間が1～2時間程度であるが、エスレベルでは6時間後でも打設直後のフロー値に比べ97%の値を維持している。

2-3. 供給方式

良好な水平流動性とそれを6時間保持できるエスレベルだが、この特徴が最大限に活かされる場面は、生コン車による大量供給をすることにある。

セルフレベリング材の供給方法として、袋物タイプと

生(スラリー)タイプがあり、当社では両タイプでの供給を可能としている。生タイプについては、移動プラント式と固定プラント式とで区別されるが、当社では固定プラント式を採用している。

固定プラント式は、高流動モルタルの専用プラントで練り混ぜたスラリーを生コン車で現場まで輸送し、スラリー状態で納入する供給方式である。通常、供給範囲がプラントの近傍エリアに限定されるが、エスレベルの場合には上述のように保持時間が長いため、遠隔地まで運搬することが可能である。図3に固定プラントの所在地と供給範囲を示しているが、北海道と東北の一部を除く全国各地にスラリーを安定的に供給することができるになっている。

また、袋物タイプでは、現場で水と練り混ぜることにな



図3 固定プラントの所在地と供給エリア



図4 エスレベルの施工例

るため、電源や計量器が必要になり、紙袋等の産業廃棄物も発生する。さらに、気温の変動に応じて毎度水量および練り時間の調整をしなければならず、施工量が多い場合には安定した品質管理をすることが容易ではない。これに対して、固定プラントで製造する場合には、厳密な品質管理体制によって常に安定した品質のスラリーを大量に供給することが可能である。そのため、現場の設備や人力を省力化、施工に伴う産業廃棄物の発生が最低限で済み、コスト削減および環境負荷低減に貢献できる。

2-4. エスレベルの施工例

図4にエスレベルによる施工事例を示す。エスレベルは長時間の優れた流動性保持性能を有するため、打ち継ぎ目の無い平滑な下地を形成することが容易である。また、生供給によって大量打設を可能としているため、病院や療養施設等の水平精度への要求が高い建築物、体育館や倉庫などの大空間の施工に適している。さらに、工場や空港などの耐荷重を必要とする床へも問題なく使用できる。

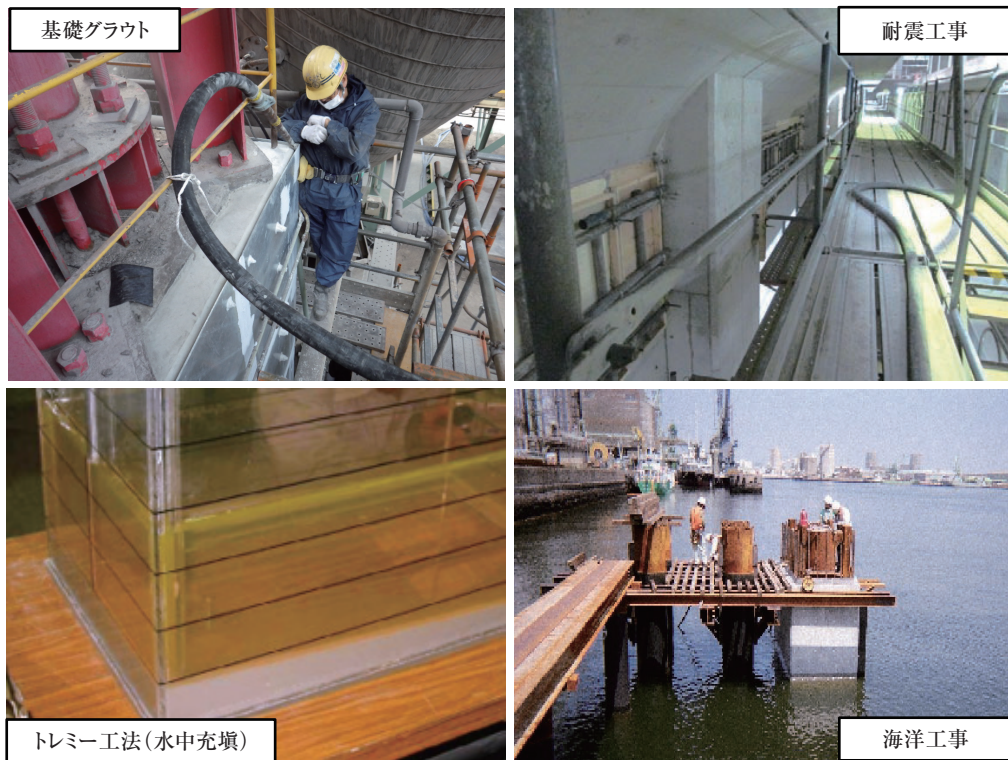


図5 エスセイバーシリーズの施工例

3. エスセイバー

1995年1月に発生した阪神淡路大震災を契機に、インフラおよび一般構造物の耐震化ニーズが高まった。インフラ構造物は、橋脚の鋼板巻立補強を中心に既存構造物と補強部の間隙を埋める充填材が必要とされた。そこで、エスレベルにて確立した高流動モルタルの基本技術を応用することで、3mmの小間隙にも充填可能な充填材、エスセイバーが同年に開発・販売開始された。

先に挙げた鋼板巻立補強をはじめ、建築耐震や躯体改修等のニーズ拡大に応じ、製品群エスセイバーシリーズが誕生した。これらはエスレベル同様、袋物タイプと生タイプで供給可能としている。

図5にエスセイバーシリーズによる施工事例を示す。適用範囲は幅広く、間隙充填性を活かしたプレキャスト部材の隙間充填、基礎部への充填、ブレース工法による建築耐震補強工事のほか、大規模な空洞充填、プレパクド工法による工事、トレミー工法による水中注入工事など、様々な工事に利用されている。

さらに、生タイプで供給できることから、大量打設や長距離圧送も可能としている。

4. ニーズに合わせた製品開発

様々なニーズに応えるために生まれたエスセイバーシリーズの製品ラインナップを以下に紹介する。

① 高強度型

高強度型の製品としてエスセイバー G, H, H2がある。図6に示すように、ニーズに合わせてエスセイバーより圧縮強度を高くしたものである。

② 漏出抑制型

高強度型と一部重複するが、エスセイバー H, H2, 250は、エスセイバーが高流動であるため、型枠接合部の小間隙から漏出する場合があります。これを抑制すべく開発されたものである。エスセイバー同様の流動性を保持しつつ、写真2に示すように3mm程度の小間隙からの漏出を抑制可能である。

③ 小間隙型

エスセイバー PCは、プレストレストコンクリートのシー

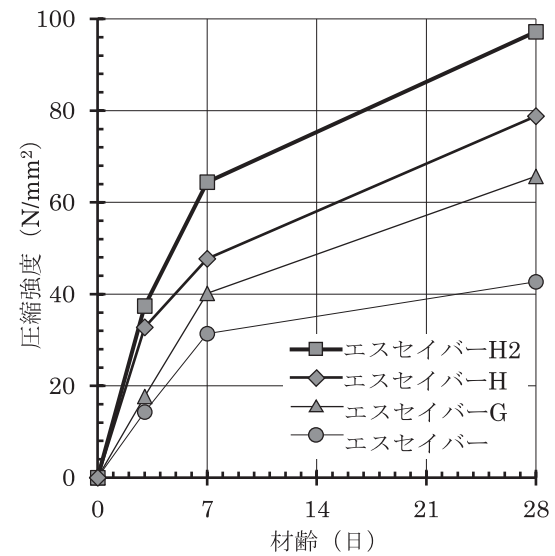


図6 高強度タイプの圧縮強度(20℃)

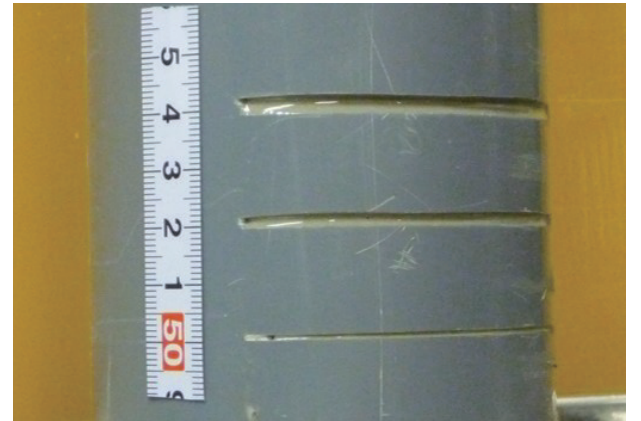


写真2 当社法による漏出抑制確認試験状況

表4 エスセイバー強の諸性能

当社法フロー試験による流動性保持性能 (mm)			硬化時間 (時間)	圧縮強度試験による強度発現性 (N/mm²)		
0 時間目	0.5 時間目	1 時間目		材齢 1 日	材齢 7 日	材齢 28 日
324	310	303	7.0	33.5	94.0	110.2

※20℃環境下での試験例。



写真3 パン型ミキサー

ス充填(PCグラウト)用に開発されたセメントペーストタイプの製品である。同製品は、通常は難易度の高かった1mmという狭間隙への充填を可能としている。

④ 速硬・高強度型

エスセイバー強(つよし)の諸性能を表4に示す。エスセイバー強は、他のエスセイバーシリーズ同様に充填性が高く、それでありながら早期の強度発現が高い製品である。同製品は交通量が多く工事規制を要す



写真4 ドラム回転式ミキサー

る工事や構内工事などの、工事期間の短縮が求められる場合に対応できる。

ここで、同製品の更なるニーズに応えるため、練り混ぜ方法の改善に取り組み、ハンドミキサーで練れるように改良を行った。従来、同製品の練り混ぜにはパン型ミキサー(写真3)やドラム回転式ミキサー(写真4)という専用のミキサーが必要であった。袋物タイプのエスレベルおよび他のエスセイバーシリーズは、一般的な充



写真5 ハンドミキサー

充填材と同様に**写真5**のようなハンドミキサーを用いてバケツ等の容器内で練り混ぜを行う。専用ミキサーを準備するための諸々のコストを考えれば、どの現場にも普及しているハンドミキサーで練り混ぜ可能であることのメリットは大きい。

当社建材事業では、このようにして細かなニーズへも対応できる技術力を日々研鑽し、製品の改良・開発に努めており、高炉スラグ微粉末を高含有する低炭素型充填材の開発・普及に尽力している。

5. おわりに

我が国は島国であるため、沿岸部や離島に建設される構造物も数多くある。高炉セメントには水密性が高いこと、塩化物遮蔽性能が高いこと、長期の強度発現性が高いといった海洋土木に利用する材料として有益な性質も持つ。

強度発現性に関して、海水を練水として使用するときにポルトランドセメントを用いた場合だと、材齢初期の強度発現が促進されるが、材齢後期になると停滞する。これに対して、高炉セメントを用いた場合では高炉スラグ微粉末の置換率が大きいほど、長期の強度発現性に優れる。高炉セメントと海水を練り水に用いた実構造物の例もあり、設計や施工環境を十分に考慮されていれば、海水を練り水に用いる場合であっても健全な状態を保つことが可能とされている⁵⁾。また、高炉セメン

トを用いた構造物の具体例として、関門トンネルが挙げられるが、50年経過した時点では健全であり⁶⁾、その後80年が経つ現在でも実用されている。

さらに、練水として海水を用いることは、低炭素社会の実現への貢献もできる。大量の淡水を確保することが難しい離島であっても、海水を用いることで、大量の淡水を運搬する労力・エネルギーを削減でき、機材を動かすための電力設備も最小限で済むため、エネルギー面でのCO₂を削減することができる。また、海水練りによる高炉セメントを用いたモルタルを充填材としてプレパックド工法で施工したり⁵⁾、当社製品のように水中充填が可能であったりと、施工の自由度が高いことは、離島や僻地での利用に適しているため、高炉セメントやそれを用いた建材における用途開発の余地は大きいにあると考えられる。

当社建材事業は、今後のインフラの老朽化対策に加え、地中・海洋構造物への適用や高い充填性の技術を利用した新規分野への挑戦など、土木・建築分野以外への応用も視野に入れ、現状の技術を維持・応用するだけではなく、さらなるニーズに対応可能な製品の改良・開発に努めていく所存である。同時に、低炭素材料である高炉セメントの普及活動についても注力していくことでカーボンニュートラルを含めたさらなる社会貢献を果たしたい。

【参考文献】

- 1) (一社)セメント協会／セメントのLCIデータの概要、2022.3
- 2) 鉄鋼スラグ協会／鉄鋼スラグの高炉セメントの利用(2022年版)、2022.4
- 3) (一社)セメント協会／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、2022.3
- 4) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説JASS15左官工事、2007
- 5) 日本コンクリート工学会／コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会 報告書、2014.9
- 6) 福永靖雄、城間博通／関門国道トンネルの現況、コンクリート工学、Vol.46, No.9, 2008.9

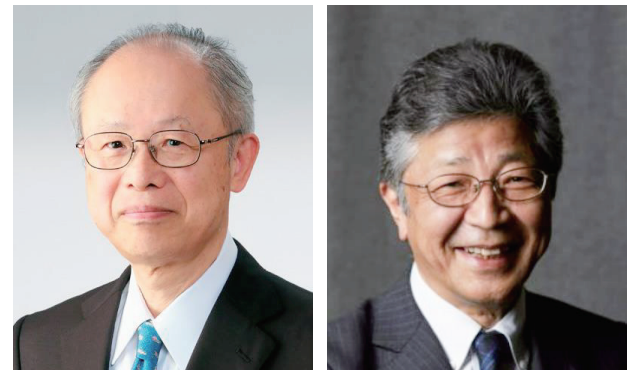
セメント・コンクリート関西発表会 2022を開催

2022年11月1日、コンクリート研究会は日本コンクリート工学会(JCI)近畿支部の協賛のもと、「セメント・コンクリート関西発表会 2022」を開催した。今年も新型コロナウイルスの影響が懸念される中で、発表会への参加方法は会場とwebを選択できる形式とした。

同研究会も89年を迎え、その中での本発表会は、毎年行っている恒例の活動の一つであり、大学研究者、材料メーカー、ゼネコン、発注機関、建設コンサルタントらが多数参加している。新型コロナの影響も落ち着きを見せてきたこともあり、会場に足を運ばれる参加者も多く、半数近くが会場で聴講された。

宮川豊章会長(京都大学)の開会挨拶では、インフラは、構造物として、丈夫で、美しく、長持ちするだけでなく、地球温暖化や人口減少という制約条件のもと、市民社会そのものを丈夫で、美しく、長持ちすることが求められている。そのために設定されている目標が2050年のカーボンニュートラルであるが、それを支えるのがデジタルトランスフォーメーションである。そのために大切なポイントがニューノーマル、知のネットワークであり、その上でセメント・コンクリートで市民社会をシナリオデザインすることができるようになると考えている。この関西発表会は、そのための議論ができる場、真のコンクリート技術者を目指せる場として期待していると述べた。

発表会は、セメント技術大会およびJCI年次大会での発表論文から選定された13件と特別講演1件について発表が行われた。今年度は、高炉スラグ微粉末やコンクリート用火山ガラス微粉末使用したコンクリートへの影響といった環境に配慮したもの、ASR生成物の形成挙動における影響要因に関する検討や塩分環境下における各種防錆混和剤の防食性能やセメント硬化体の深海での力学的および化学的変化に関する発表もあった。



宮川会長

井上JCI近畿支部長

特別講演では、PC橋の維持管理や大規模更新・修繕について、内部の鋼材の状態を確認するのが難しいPC構造物の維持管理や健全度の考え方、最新の調査・モニタリング方法、また、ICTを活用した維持管理の効率化や事例についても紹介された。

今回も会場とwebによる併用開催ということもあり、会場参加者からは演題ごとに活発な質疑が行われ会場開催の良さを実感できた。

発表会終了後、高谷哲実行委員長(京都大学)から14件(特別講演を含む)に対しての講評が行われた。

閉会挨拶では、JCI近畿支部の井上晋支部長(大阪工業大学)より、コロナ禍の環境下においてもこのように開催できたことは喜ばしい。これからも開催できることを期待しているという言葉で結ばれ、閉会した。



セメント硬化体の炭酸化反応に関する理論的解析

Theoretical analysis for carbonation mechanism of hardened cement

相川 豊 梅津 真見子 向 俊成 坂井 悦郎

1. はじめに

石炭火力発電からの副産物であるフライアッシュ (FA) を混和したセメントを用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメント (OPC) を用いた場合に比べて、塩化物イオン浸透抵抗性、アルカリ骨材反応抑制効果や硫酸塩抵抗性などの化学的抵抗性に優れている反面、炭酸化速度が大きいことが問題となっている^{1,2)}。フライアッシュの有効利用に関する非常に多くの研究があるにもかかわらずフライアッシュを混和したコンクリートは、この炭酸化のために利用が限定されてきた。しかし、グリーンイノベーションなどに関連して、フライアッシュなどの混合材を利用し、クリンカーファクターを低下することはCO₂削減の重要な手段の一つであり、利用の拡

大が期待される。

コンクリートの炭酸化とは、セメント水和物中のカルシウム化合物が炭酸ガスと反応して炭酸カルシウムやゲル状水和物を生成する現象である³⁾。なお、ゲル状水和物に関しては、現在、研究が進行中であり⁴⁾、ここではセメント水和物中でpHを決定しているのは水酸化カルシウムであるから、これが炭酸ガスと反応して起こる現象を炭酸化または中性化とした^{5,6)}。混合セメントを用いたコンクリートの促進中性化試験では、自然環境に比べて中性化速度が過大であるとする意見も多い。セメント・コンクリートの炭酸化のシミュレーションの精度が向上し、より正確な炭酸化速度を推定することができれば、基材セメントの種類やフライアッシュの含有量と炭酸化との関係などを調べることができ、いろいろな混合セメントの促進試験と自然環境での炭酸化の関係を類推することもできる。

炭酸化過程を調べるために、本名ら⁷⁾は良質の高炉スラグ微粉末を用いたセメントペーストを作成し、これを濃縮した炭酸ガス環境中(日本工業規格に基づく5%)に曝すことにより炭酸化させ、試料の生成物の継時変化を測定した。石田ら⁸⁾および吉田ら⁹⁾はセメントの炭酸化を、フィックの第二則(拡散方程式)をもとに、炭酸ガスの移動モデルを用いて解析を行なったが、この移動モデルは、質量保存則から導出されるものである。しかしながらフィックの第二則は、試料の反応面における境界条件を固定するため、反応に伴い反応の境界

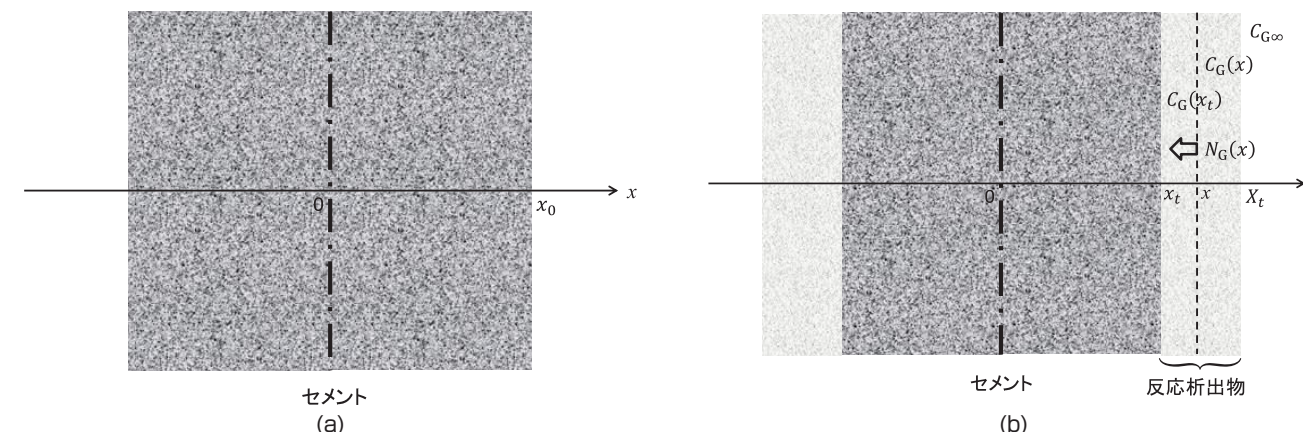


図1 (a)セメントの一次元モデル (b)反応面における炭酸ガスの流速および濃度

面が移動するという現象への適用方法はまだ確立されていない。また一般的には便宜上、炭酸化深さの時間依存性としてフィックの第二則の近似である $\sqrt{t}$ (α は材料物性や条件によって決められる定数)が用いられるが、本稿で示すようにこの式を用いたシミュレーションの精度は十分とは言い難い。

そこで筆者らはフィックの第二則ではなく、友沢理論に基づいて、フィックの第一則と反応時の質量保存則とから出発して、反応境界面の移動速度を矛盾なく説明できる新規な方程式を導出した¹⁰⁾。そして反応境界面を考慮することにより、炭酸化深さのシミュレーションの精度を向上させることができた。本稿では、その解析について概説する。

2. 理論的解析

2-1. 反応方程式の導出

拡散現象における基本法則(フィックの第一則)は次式で与えられる：

$$N_G = D \frac{dC_G}{dx} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $N_G(x)$ は試料内で反応面 x_t に向かう座標 x で与えられる内部面の流速、 $C_G(x)$ はガス(ここでは炭酸ガス)濃度、 D は拡散係数である。

一般の拡散方程式すなわちフィックの第二則は、式(1)から

$$\frac{\partial C_G}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_G}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

と求められる。式(1)の N_G を用いると、総括反応速度 R は x_t におけるガスの流速に比例するから¹¹⁾

$$R = SN_G = SD \frac{dC_G}{dt} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 S は座標 x における反応断面積である。一方、総括反応速度 R は座標 x におけるガス濃度 C_G に比例するから、

$$R = Sk(x)C_G \quad \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここで $k(x)$ は反応速度係数を表す。式(3)と式(4)を連立して解くと、ガス濃度 C_G は以下の式で与えられる¹³⁾：

$$C_G = C \exp \left(\int \frac{k}{D} dx \right) \quad \dots \dots \dots (5)$$

C は積分定数で、図1に示すように、以下の境界条件によって決定される：

$$\begin{aligned} x = x_t : \quad C_G(x) &= C_G(x_t) \\ x = X_t : \quad C_G(x) &= C_{G\infty} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 $C_{G\infty}$ は試料周囲のガス濃度である。任意の座標 x におけるガス濃度は、境界条件(6)を満たすように式(5)の積分定数を決めることにより

$$C_G(x) = C_{G\infty} \exp \left(\int \frac{k}{D} dx - \int \frac{k}{D} dx \Big|_{x=X_t} \right) \quad \dots \dots (7)$$

となる。よって、反応面 x_t におけるガス濃度は

- 

あいかわ ゆたか / AIKAWA Yutaka

東京大学大学院
工学系研究科建築学専攻 特任研究員
博士(理学, 工学)
- 

うめつ まみこ / UMETSU Mamiko

大成建設(株)
技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室
副主任研究員 理学博士
- 

むかい としなり / MUKAI Toshinari

鹿島建設(株)
技術研究所 土木材料グループ
- 

さかい えつお / SAKAI Etsuo

東京工業大学
名誉教授 工学博士 技術士(化学)

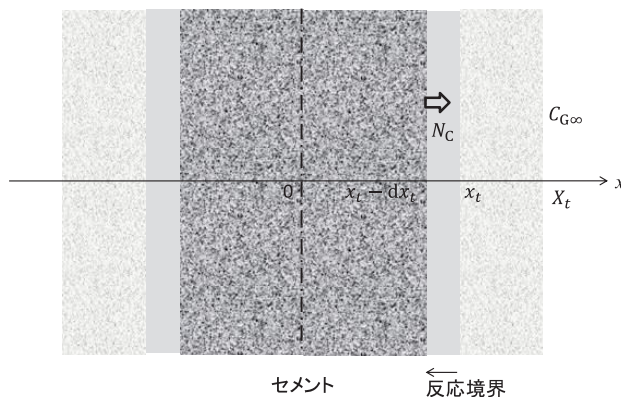


図2 セメントの炭酸化反応に伴う反応物および反応面の動き

$$C_G(x_t) = C_{G\infty} \exp\left(\int_{x=x_t}^{\cdot} \frac{k}{D} dx - \int_{x=X_t}^{\cdot} \frac{k}{D} dx\right) \cdots (8)$$

となるから、反応速度 R は次式で与えられる：

$$R = Sk(x)C_{G\infty} \exp\left(\int_{x=x_t}^{\cdot} \frac{k}{D} dx - \int_{x=X_t}^{\cdot} \frac{k}{D} dx\right) \cdots (9)$$

2-2. 反応面における反応の詳細

コンクリートの炭酸化反応における $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と CO_2 の反応過程は以下の通りである。すなわち、最初に CO_2 が水と反応してカルボン酸 (H_2CO_3) を形成する。次に H_2CO_3 a と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とが反応し炭酸カルシウム (CaCO_3) を形成する。これらの反応は次式で与えられる¹²⁾：



ここで、図2に示すように、炭酸化反応で反応面が x_t から $x_t + dx_t$ に変化するとき、反応面における質量保存則は以下の関係式を満たす。

$$[N_{\text{CH}}]_{x=x_t} dt = \rho_{\text{CH}} dx_t$$

ここで、 $[N_{\text{CH}}]_{x=x_t}$ は反応面での未反応の水酸化カルシウム (CH と略記する) で、 ρ_{CH} は水酸化カルシウムの密度である。 dx_t は反応に使われた CH の体積分を減じて元の充填率のセメントに均した厚さとする。よって上式は、

$$\frac{dx_t}{dt} = -\frac{1}{\rho_{\text{CH}}} [N_{\text{CH}}]_{x=x_t} \cdots \cdots (12)$$

とかくことができる。炭酸化における化学量論的な質量比は次式で定義される：

$$v = \frac{[N_{\text{G}}]_{x=x_t}}{[N_{\text{CH}}]_{x=x_t}} \cdots \cdots (13)$$

したがって、反応面に沿った総括反応速度 R は：

$$R = S[N_{\text{G}}]_{x=x_t} = -Sv\rho_{\text{CH}} \frac{dx_t}{dt} \cdots \cdots (14)$$

となる。式 (9) と式 (14) より、反応面の移動速度は次式で与えられる：

$$-\frac{dx_t}{dt} = \frac{k(x_t)C_{G\infty}}{v\rho_{\text{CH}}} \exp\left(\int_{x=x_t}^{\cdot} \frac{k}{D} dx - \int_{x=X_t}^{\cdot} \frac{k}{D} dx\right) \cdots (15)$$

2-3. 反応率

セメントの初期表面座標 x_0 に対して、未反応セメント面の座標を x_t セメント表面に堆積した反応生成物面の座標 X_t を未反応率 α で表すと¹¹⁾

$$x_t = x_0\alpha \cdots \cdots (16)$$

$$X_t = x_0[n - (n-1)\alpha] \cdots \cdots (17)$$

となる。ここで反応生成物の体積が、それを生成するために反応したセメント中の CH の体積に対して n 倍とした。式 (16) および式 (17) を式 (15) に代入するとセメントの反応速度は次のようになる：

$$-\frac{d\alpha}{dt} = \frac{k(x_0\alpha)C_{G\infty}}{v\rho_{\text{CH}}x_0} \exp\left(\int_{x=x_0\alpha}^{\cdot} \frac{k}{D} dx - \int_{x=x_0[n-(n-1)\alpha]}^{\cdot} \frac{k}{D} dx\right) \cdots (18)$$

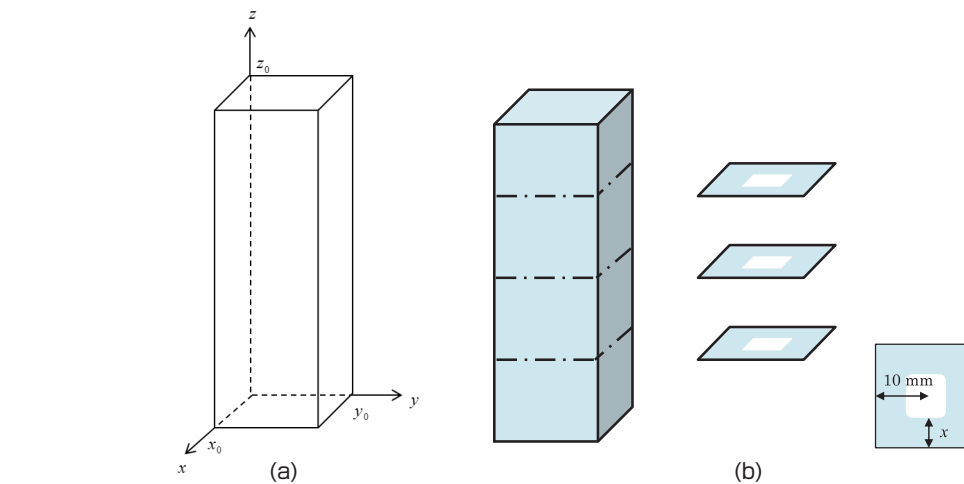


図3 (a)炭酸化実験に用いたコンクリート試料形状 (b)炭酸化後の試料のカットングと炭酸化深さ x の測定

表1 OPCおよびHACの組成

構成物 試料	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
OPC	51	22	9.1	9.6
HAC	67	4.0	9.1	9.2
MPC	43.4	33.4	3.3	12.9
LHC	28.5	54.0	2.4	9.0

表3 FAの物性

物性 試料	密度 [g/cm ²]	粉末度 [cm ² /g]	Ig.loss [%]	ガラス化率 [%]
FA	2.27	4180	1.1	76.6

表2 各セメント試料の構成比率

成分 試料	OPC	HAC	FA
OPC	100	—	—
OPC+FA	82	—	18
HAC+FA	—	82	18

(x_0 , y_0 , z_0) は図3(a)に示すように、直方体のコンクリート棒の幅、奥行、高さを表す。

3. 炭酸化深さとシミュレーション

ここで簡単のため、 k/D が座標 x に依存しないとすると、式 (18) は以下のように簡略化される：

$$-\frac{d\alpha}{dt} = \frac{kC_{G\infty}}{v\rho_{\text{CH}}x_0} \exp\left[-\frac{k}{D}x_0n(1-\alpha)\right] \cdots \cdots (19)$$

上式より、反応率 $1-\alpha$ は次式で与えられる

$$1-\alpha = \frac{D}{nkx_0} \ln\left(1 + \frac{nk^2C_{G\infty}}{Dv\rho_{\text{CH}}}t\right) \cdots \cdots (20)$$

ここで、 D および k は温度の関数で与えられる¹¹⁾。参考までに式 (20) を三次元で計算すると、

$$1-\alpha = \frac{D}{nk \cdot x_0} \ln\left(1 + \frac{nk^2C_{G\infty}}{Dv\rho_{\text{CH}}}t\right) \cdots \cdots (21)$$

となるが、 $k = (k_x, k_y, k_z)$ は三次元の反応速度、 $x_0 =$

各種のセメントペーストを用いて、実験値と式 (21) で説明した炭酸化深さの予測値との関係を比較した。実験に用いた普通ポルトランドセメント (OPC)、高エーライトセメント (HAC)、中庸熟ポルトランドセメント (MPC) および低熟ポルトランドセメント (LHC) のボーグ式による構成化合物組成を表1に、また HAC と OPC にそれぞれフライアッシュ (FA) を 18mass% 置換し、2種類のフライアッシュセメント OPC+FA と HAC+FA とを調整した(表2)。なお、用いた FA の性質を表3に示す。それぞれのセメント試料は、水セメント比 (W/C) を 0.6 とし、10 分間、練り混ぜ、図3(a)の形状になるよう 2cm×2cm×8cm の型枠に流し込んで固め、1 日後脱型し、その後室温 20℃、相対湿度 60% で 28 日間養生を行った。養生した硬化セメントペーストを、CO₂ 濃度 5%、相対湿度 60% にて促進炭酸化試験を行った。試料は、図3(b)

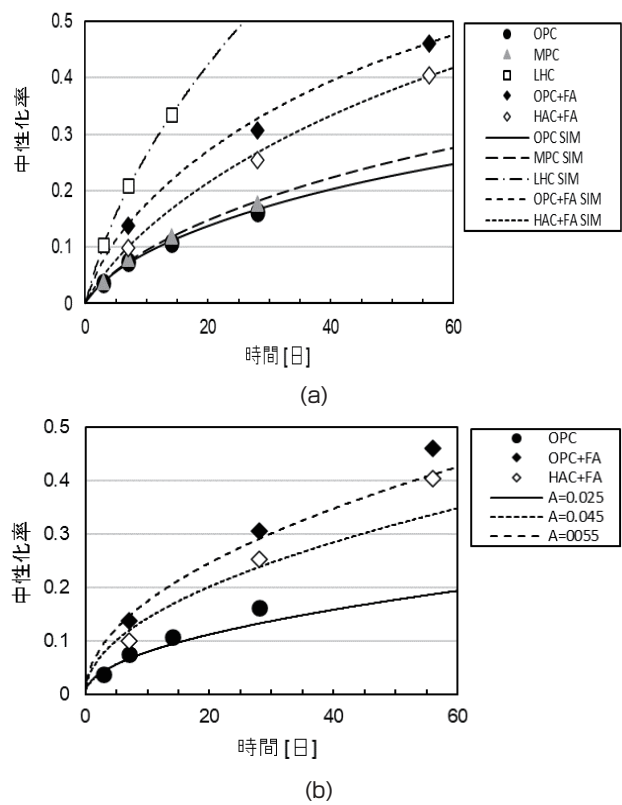


図4 中性化深さの実測値とシミュレーション
(a) は式(20), (b) は $A\sqrt{t}$ によるシミュレーション

に示すように等間隔に切り出し、その断面ごとに炭酸化をフェノールフタレインアルコール溶液によって測定し、変色した範囲の平均値を計算して中性化深さを求め、中性化率を算出した。

促進炭酸化試験による種々の試料の中性化率の時間依存性の実測値および式(20)によるシミュレーション結果を図4(a)に示す。ここで、式(17)の n および式(13)の v の値はそれぞれ $n=1.1$ および $v=0.594$ である。また、中性化率は座標0と x_0 に挟まれるセメント体積(図1(a))に対する、座標 x と X_0 に挟まれる反応物体積(図1(b))の比率に一致する。罫線で試料の座標 x における実測値は、図3に示す全ての切断面について中性化深さの平均値から中性化率を計算した値である。それぞれの試料について中性化率の実測値をマークで、シミュレーションの結果を罫線で示した。実測値とシミュレーションの結果は良く一致している。中性化速度はOPC, MPC, LHCの順になっており、LHCが最も大きい。FAを混和したOPC+FAはOPCより大きいが、HAC+

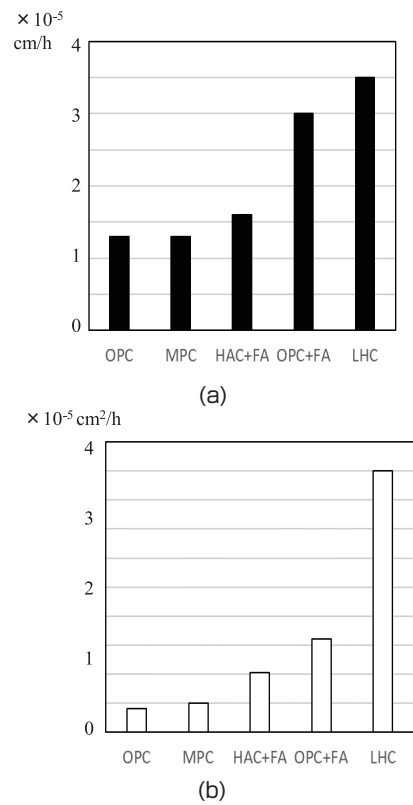


図5 式(20)によるシミュレーションで用いた各試料の
(a)反応速度、および(b)拡散係数の値

FAはOPC+FAより小さな傾向を示す。

また、比較のために $A\sqrt{t}$ でシミュレートした結果を(b)の罫線で示す。OPC+FAとHAC+FAにて、材齢60日までの実測値と予測値に差が生じている。

図4(a)のシミュレーションに用いた反応速度 k と拡散係数 D との値をそれぞれ、図5(a)および(b)に示す。シミュレーションの結果から明らかなように、中性化速度が大きな場合に、反応速度係数と拡散係数はどちらも増大する傾向が見られた。このとき中性化率の大きな試料の方が、 CO_2 との反応も進行するが、 CO_2 の拡散も促進している。フライアッシュを混和したHAC+FAとOPC+FAとを比較すると、HACを用いることにより中性化速度を小さくすることができる。このとき、反応速度係数は、前者の方が後者に対して約1/2倍なのに対し、拡散係数のほうは約2/3倍となっている。すなわちHAC+FAがOPC+FAよりも中性化速度を小さくする効果(CO_2 の拡散を抑制する効果)は、拡散係数の減少よりも反応速度係数の減少のほうにより依存すると推察さ

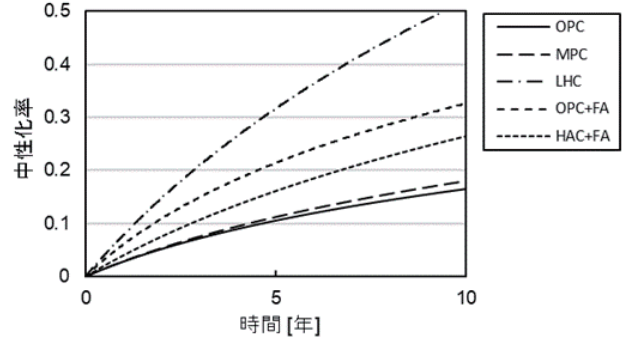


図6 大気における中性化率のシミュレーションによる
長期予測

れる。LHCは反応速度係数と CO_2 拡散係数の両方ともが大きいために中性化率と中性化速度は大きくなる。

さらに、自然環境の CO_2 濃度0.0381%におけるOPC, MPC, LHC, OPC+FA, HAC+FAのペースト硬化体の10年後における中性化率のシミュレーションは図6のように計算される。例えば、中性化率0.2となる炭酸化日数は、5% CO_2 濃度では、LHC6.8日、OPC+FAで12.2日、HAC+FAで18.2日、MPCで33.2日、OPCで39.6日であるが、自然環境では、それぞれ2.84年、4.53年、6.67年、12年、14.3年と推定される。これらの数値は硬化セメントペーストでの測定であるが、OPCの中性化速度は、自然環境では促進試験に対して約1/131倍で、 CO_2 濃度の促進試験に対する自然環境の比率にほぼ等しい。また、HAC+FA, OPC+FA, およびLHCがOPCと同等の中性化速度を持つには、促進試験の炭酸化濃度は、それぞれ5.10%, 5.16%, および5.81%となる。以上より、HACを基材セメントとした場合にはOPCを基材とした場合よりも中性化を抑えられる傾向にあるという結果となった。今後、各種混合セメントを用いたコンクリートの中性化速度を調査し、予測値との関連を整理して行く必要がある。

4. まとめ

炭酸化、すなわちセメント中の水酸化カルシウムと、外界の二酸化炭素が反応して炭酸カルシウムが生成される現象を解析する手法として、友沢理論を基礎にした新規な理論を導出した。このように反応境界層の詳

細を考慮した理論では、種々の試料の炭酸化促進試験による限られた範囲ではあるが中性化率の実測値のシミュレーションは、 $A\sqrt{t}$ を用いた予測よりも精度が高かった。OPCにFAを混和した場合とHACにFAを混和した場合の効果は、解析の結果では後者の方が中性化速度は小さく、 CO_2 の拡散の抑制より、反応速度を抑制している効果のほうが大きいと思われる。以上のように、シミュレーションにより炭酸化における炭酸ガス濃度、温度などの影響を整理でき、さらにセメントの種類や混合セメントにおける基材セメントの影響などを考慮した中性化率の予測ができるようになった。

【謝辞】本研究に使用したセメント系材料は、太平洋セメント(株)、また高エーライトセメントはデイ・シイ(株)より提供していただきました。本研究は筆者らが東京工業大学大学院物質理工学院セメント系材料共同研究講座に所属していたときに実施したものです。関係各位に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 林 遼, 中井雅司, 齋藤敏樹, 今井和宏／フライアッシュモルタルの中性化速度の推定 土木学会第56回年次学術講演会 V-129 (2001)
- 2) 福島敏夫, 吉崎芳郎, 友澤史紀, 高橋幸一／コンクリートの中性化深さと炭酸化フロント深さとの関係—促進中性化試験, 屋外暴露試験, 実際調査, 理論的解析の結果からの考察, コンクリート工学年次論文報告書 19(1) pp.805～810, 1997
- 3) 小林一輔, 宇野祐一／コンクリートの炭酸化のメカニズム, 生産研究 41(8) pp.45～48, 1989
- 4) 梅津真美子, 黒川大亮, 森泰一郎, 坂井悦郎／セメント硬化体の CO_2 吸収と生成物の変化, セメントコンクリート論文集 Vol.75, pp.34～41
- 5) 黄光律, 野口貴文, 友澤史紀／フライアッシュを混和したコンクリートの中性化進行の予測, 日本建築学会構造系論文集 541号 pp.9～15, 2001
- 6) 坂井悦郎, 盛岡実, 山本耕三, 張璽, 大場陽子, 大門正機／低熱ポルトランドセメント硬化体の炭酸化反応, セラミックス 107 pp.561～566, 1999
- 7) 本名英理香, 伊代田岳史／高炉スラグ微粉末混入が炭酸化生成物に与える影響, コンクリート工学年次論文集 37(1) pp.649～654, 2015
- 8) 石田哲也, 前川宏一／物質移動則と化学平衡論に基づく空隙水のpH評価モデル, 土木学会論文集 648(47) pp.203～215, 2000
- 9) 吉田浩也, 宮崎慎也, 佐伯竜彦, 木下英吉／セメント系材料における炭酸化によるpH遷移に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集 23(2) pp.481～486, 2001
- 10) Y. Aikawa, M. Umetsu, T. Mukai and E. Sakai／Theoretical analysis of carbonation mechanism of concrete and application to the effects of the addition of fly ash, Journal of the Ceramic Society of Japan 129 [12] pp.739～743, 2021
- 11) 友沢史紀／セメントの水和反応モデル, セメント技術年報 28 pp.53～57, 1974
- 12) 松本洋一, 植木博, 山崎典之, 村上正明／炭酸カルシウムの再溶解を考慮した炭酸化反応に関するモデル解析, コンクリート工学年次論文報告集, 20(2) pp.961～966, 1998
- 13) 相川 豊／充填率と水和反応に関する理論的考察およびセメント最適設計への応用, 博士論文(工学)東京大学(第18201号)pp.115～122, (2016)

耐硫酸コンクリート「T-Sulfatec[®]」の開発 ～下水道施設の長期メンテナンスフリーを実現～

Development of sulfuric acid resistant concrete “T-Sulfatec[®]”
Realization of long-term maintenance-free operation of sewerage facilities

藤野 由隆 伊藤 智章 宮原 茂禎 木村 竜太

1. はじめに

わが国の下水道整備は明治から始まり、戦後から本格的な整備が進められ、令和2年度末までに約2,200個所の処理場と約1,600個所の雨水ポンプ場、総延長約49万kmの管路が構築されている¹⁾。これらの下水道ストックは、昭和40年代から平成10年代に集中的に整備されたため、標準耐用年数50年を経過した管路施設が令和12年度末には約8.2万km、令和22年度末には約19万kmになるなど、老朽化した下水道施設が急速に増大することが見込まれている¹⁾。

下水道施設のコンクリートは、微生物が生成する硫酸によって早期に劣化が生じる場合がある(図1)。その劣化は気中部で特に激しく、コンクリートの断面欠損

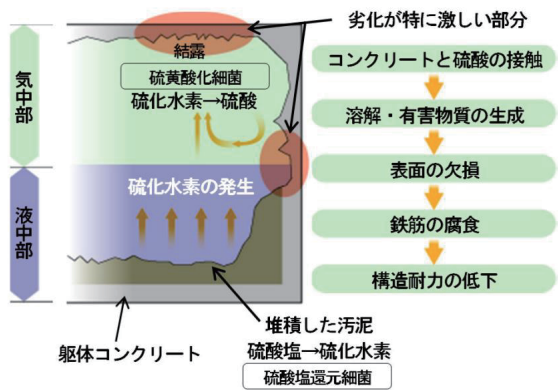


図1 下水道施設のコンクリートの硫酸劣化

により構造耐力が低下し、道路等の陥没などの問題を引き起こす可能性がある。この対策として、コンクリート表面を樹脂等で被覆して硫酸との接触を防止する防食被覆工法が広く用いられている。しかし、防食被覆の標準的な耐用年数は10年であり、下水道施設の供用期間中に数回の更新が必要となる。また、施工時のピンホール・気泡などから硫酸が浸透し、被覆の背面から劣化が進行して早期に補修が必要となる場合もあり、定期的なメンテナンスが不可欠である。

本稿で紹介するT-Sulfatec[®]コンクリートは、下水道施設の長寿命化やメンテナンスフリーの実現に向けて開発された耐硫酸コンクリート^{3,4)}で、一般的なコンクリートの約5倍～10倍の耐硫酸性を持ち、さらに、高い自己充填性を有するコンクリートである。T-Sulfatec[®]コンクリートは、その高い耐硫酸性、自己充填性、施工性および硬化後の品質について、建設技術審査証明((公財)下水道新技術機構)や建設材料技術性能証



図2 各種証明書

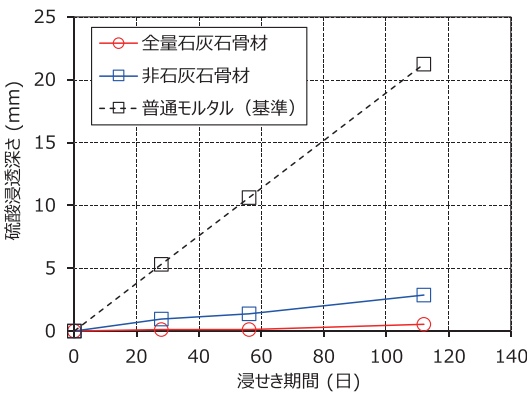


図3 硫酸浸せき試験結果

明((一財)日本建築総合試験所)を受けている(図2)。

本稿では、T-Sulfatec[®]コンクリートの物性(骨材種類が耐硫酸性に与える影響など)を報告するとともに、市中のレディーミクストコンクリート工場(以下、生コン工場と略記)で製造したT-Sulfatec[®]コンクリートの補修工事への適用事例について紹介する。

2. T-Sulfatec[®]コンクリートの物性

2-1. 耐硫酸性

T-Sulfatec[®]コンクリートは、耐硫酸性付与材(有機系)と石灰石微粉末を使用することによって、高い耐硫酸性を発揮する。一般にコンクリートは、硫酸と接触すると、コンクリート中のC-S-Hと反応して二水石膏を生成する。その石膏は、膨張圧や流水などの影響によって剥落するため、コンクリート表面から著しく劣化が進行する。一方、T-Sulfatec[®]コンクリートは、硫酸との接触により、接触面に対して垂直に石膏が発達し、結晶が隙間なく集合した緻密な組織(石膏層)が形成

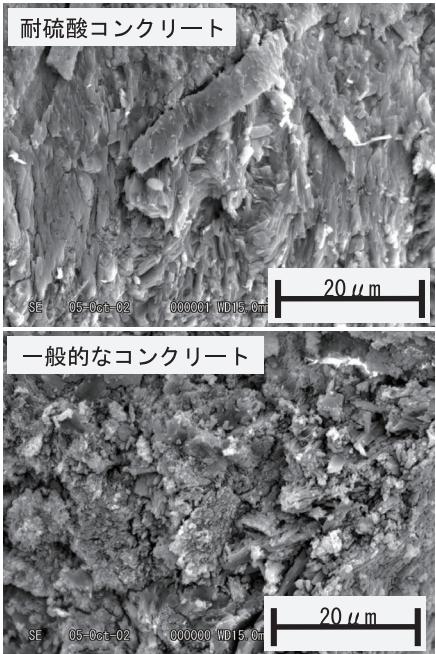


写真1 供試体表面のSEM画像
[5%硫酸水溶液に28日浸せき後]

される⁵⁾(写真1)。その石膏層が硫酸の浸透に対してバリヤー層として機能し、以降の侵食を抑制していると考えられる。

T-Sulfatec[®]コンクリートの特長である耐硫酸性は、5%硫酸水溶液に112日間浸せきした場合の硫酸浸透深さで評価している。その耐硫酸性は、使用する骨材の種類によって異なる。硬質砂岩や山砂、陸砂などの非石灰石骨材を使用した場合は、一般的なコンクリートの1/5以下の硫酸浸透深さとなり、骨材の全量を石灰石骨材とした場合には、一般的なコンクリートの1/10以下の硫酸浸透深さとなる。この硫酸浸透深さの比較基準となる材料は、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」⁶⁾に示される普通モルタルとしている。硫酸浸せき試験によって測定した硫酸浸透深さは、非石灰石骨材を使用した場合は3.0mm、全量石灰石骨材を使用した場合は0.6mmであり、いずれの骨材の場合も、高い耐硫酸性を有していることを確認している(図3)。

2-2. 配合およびフレッシュ性状

T-Sulfatec[®]コンクリートは、水、セメント、細骨材および粗骨材の一般的な材料に加え、特殊混和材として耐



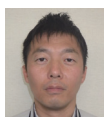
ふじの ゆたか / FUJINO Yutaka
UBE三菱セメント(株) 研究所
コンクリート研究室 研究員



いとう ともあき / ITOU Tomoaki
同上
室長



みやはら しげよし / MIYAHARA Shigeyoshi
大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室
主任研究員



きむら りゅうた / KIMURA Ryuta
同上
千葉支店 浦安土木作業所
作業所長

表1 T-Sulfatec® コンクリートの標準使用材料

種類	記号	材料
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材	S	石灰石砕砂など
粗骨材	G	石灰石砕石など
特殊混和材	LP	石灰石微粉末
	A	耐硫酸性付与材
	B	専用流動調整材



写真2 スランプフローの状況

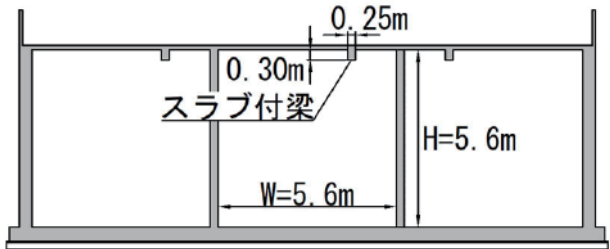


図5 流量調整槽の断面図

硫酸性付与材、専用流動調整材および石灰石微粉末を使用したスランプフロー 70cm 程度の併用系高流動コンクリートである(表1,2および写真2)。その自己充填性は、JSCE-F 511「高流動コンクリートの充填試験方法」⁷⁾のU型容器を用いたU型充填試験(障害条件R2)によって確認しており、自己充填性ランク2の性能を有している。スランプフローは一般的なコンクリートと異なり、専用流動調整材(外割添加)によって調整する。空気量は、一般的なコンクリートと同様にAE剤によって調整できる。

2-3. その他物性

T-Sulfatec®コンクリートの圧縮強度、静弾性係数、中性化深さおよび塩化物イオンの拡散係数は、使用する骨材の種類によらず、同一水セメント比の一般的なコンクリートと同等の性能を有していることを確認している。

表2 T-Sulfatec® コンクリートの標準配合

W/C (%)	単位量 (kg/m³)						添加量 (kg)
	W	C	LP	S	G	A	
51.7	160	308	290	780	767	9.6	6.0

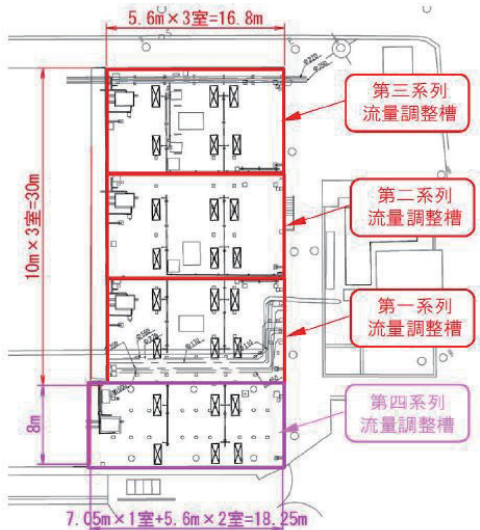


図4 流量調整槽の平面図

3. 流量調整槽の補修工事への適用

これまでに、補修工事への適用に向けて、T-Sulfatec®コンクリートを用いた充填工法やパネル工法を開発してきた⁸⁾。今回、民間施設の排水処理施設である流量調整槽の補修工事に適用する機会を得た。以下に、その概要について報告する。

3-1. 工事の概要

流量調整槽の概要を図4,5に示す。図に示すように、1系列が1層・3室(1室の内空寸法：幅5.6m×高さ5.6m×奥行き10.0m)からなり、4系列で構成されている。流量調整槽は、変動する汚水の水質・水量を安定させるため、一時的に汚水を貯留する水槽である。今回補修する水槽は、供用開始から約40年が経過しており、槽内で生成された硫酸によってコンクリートが劣化していた。特に気中部やスラブ下面および壁面の劣化が著しく、表面から約30mm劣化している個所もあり、部分的に骨材や鉄筋の露出も認められた。そのため、将来のメンテナンスを含むライフサイクルコストを考慮して、T-Sulfatec®コンクリートによる増し打ち工法を選定

表3 T-Sulfatec® コンクリートの適用配合

種類	W/C (%)	単位量 (kg/m³)						添加量 (kg)	
		水	セメント	石灰石微粉末	細骨材	粗骨材 1505	膨張材	耐硫酸性付与材	専用流動調整材
配合1	51.7	160	295	350	873	635	15	9.6	適宜調整 (4~9)
配合2		165	305	380	767	689			

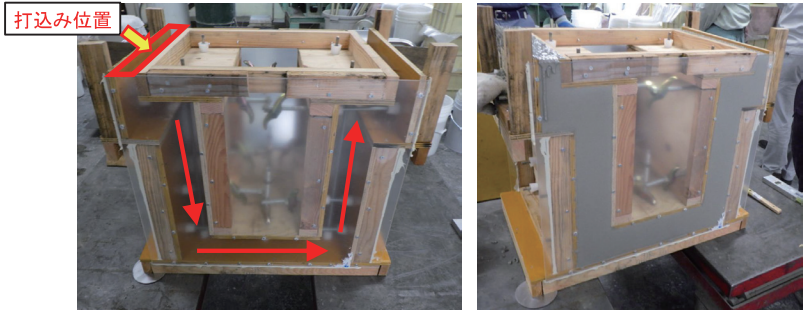


写真3 モックアップ試験における充填状況

した。T-Sulfatec®コンクリートの施工は、2020年9月から2021年11月の間で、1系列につき、約2か月間(1回/週)で行った。

3-2. 使用材料および配合

現場に適用したT-Sulfatec®コンクリートの配合を表3に示す。今回の補修工事では、硫酸浸透深さの設計値を2.1mmとするため、細骨材および粗骨材には全量石灰石骨材を使用した。また、充填性を向上させるため、標準配合よりも粗骨材を減じて石灰石微粉末を増やし、粗骨材の最大寸法を20mmから15mmに変更した(配合1)。さらに、スラブ下面および梁下部では、溶接金網の配置によって充填厚さが十分確保できない可能性があった。また、空気が溜まらないように片押しで施工するため、さらに高い自己充填性が必要とされた。そのため、スラブ下面や梁下部では、配合1よりも単位水量を増加させてペースト量を増やし、s/aを58.0%から52.8%に調整した配合(配合2)を適用した。フレッシュ性状の目標値は、いずれの配合も、スランプフローを70+5cm、-10cm(60~75cm)、空気量を4.5±1.5%とした。なお、ひび割れの発生を抑制するため、膨張材をセメントの内割置換として15kg/m³添加した。配合2の充填性の評価は、U型充填試験の障害をR2からR1に変えて充填試験を実施し、自己充填ランク1の性能を満足する配合を選定した。また、最も充填が

困難と想定された梁下面の施工を模擬したモックアップ試験を実施し、片側からの流し込みによる充填性を確認した(写真3)。

3-3. コンクリートの製造

T-Sulfatec®コンクリートを製造する生コン工場は、施工現場までの運搬距離および石灰石骨材を常用していることを考慮して選定した。練混ぜ手順および練混ぜ時間は、水平2軸形強制練りミキサ(3.3m³)を用いて事前に試練りを行って決定した。練混ぜ方法は、すべての材料の投入が完了してから3分間練混ぜる方法を採用した。T-Sulfatec®コンクリートは、単位粉体量が多く、さらに、専用流動調整材で材料分離抵抗性を高めていることから、通常の高流動コンクリートと同様に粘性が高く、ミキサ負荷値が安定するまでに3分間の練混ぜ時間を要した。なお、膨張材、耐硫酸性付与材、専用流動調整材およびAE剤は手動計量・投入とし、その他の材料は、通常通り工場設備による自動計量・投入とした。

3-4. コンクリートの運搬

コンクリートの運搬はトラックアジテータによって行った。生コン工場から施工現場までは約10kmであり、30分程度の時間を要する。そのため、施工時間および待機時間を考慮して、事前に練上り直後の品質確認試

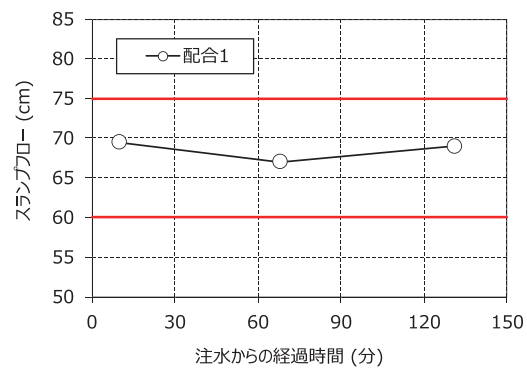


図6 経過時間とスランプフローとの関係

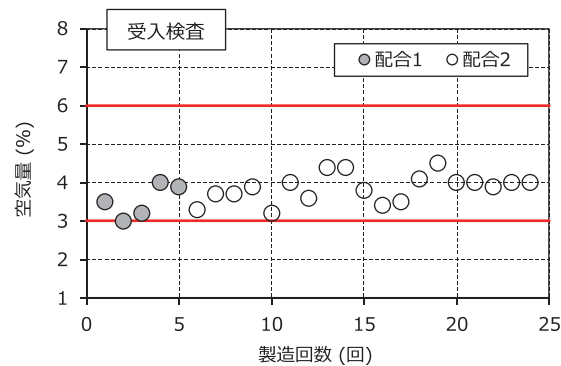


図8 空気量の測定結果

験から経過時間120分までのトラックアジテータ内における経時変化を測定し、スランプフローに大きなロスがないことを確認した(図6)。

3-5. T-Sulfatec®コンクリートの品質

T-Sulfatec®コンクリートの受入検査におけるスランプフローおよびコンクリート温度の測定結果を図7に示す。スランプフローは、夏期、冬期および標準期のいずれの期間でも目標値の範囲内であり、良好な流動性を有していることを確認した。空気量の測定結果を図8に示す。空気量は出荷時に4～5%であったが、受入検査時には3～4%であり、トラックアジテータでの運搬によって、約1%低下していることが認められた。流量調整槽では、凍結融解作用が生じないため、空気量が少なくとも凍害は生じないが、凍結融解作用を受ける部材へ適用する際には、空気量の管理に注意が必要と考えられる。

標準水中養生28日の圧縮強度の測定結果を図9に示す。圧縮強度は、平均47.9N/mm²、標準偏差1.6N/mm²であり、ばらつきも小さかった。

受入検査時に成形した供試体を用いて、硫酸浸せき

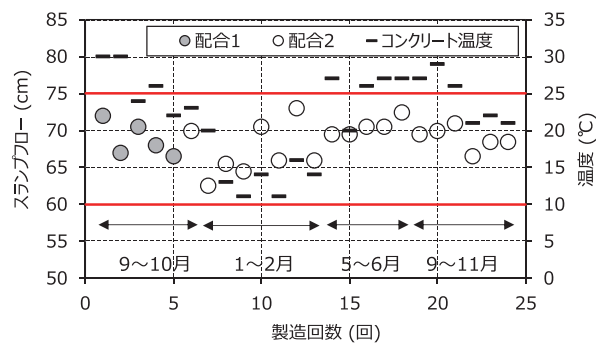


図7 スランプフローおよびコンクリート温度の測定結果

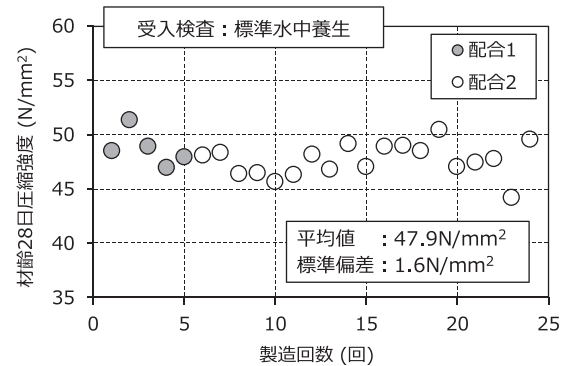


図9 圧縮強度の測定結果

試験を実施した。測定結果を図10および写真4に示す。写真4に示す通り、硫酸と供試体との接触面に石こう層が形成されており、5%硫酸水溶液に112日間浸せきした場合の硫酸浸透深さは1.1mmであった。この結果より、生コン工場で製造したT-Sulfatec®コンクリートにおいても、耐硫酸性10倍の目標値(本工事の設計値)である2.1mm以下を十分に満足することを確認した。

3-6. 施工

T-Sulfatec®コンクリートの施工に際して、事前処理として、既設コンクリート表面の20～30mmの劣化部分をウォータージェット工法によって除去し、新旧コンクリートを確実に付着させるため、ポリマーセメント系のプライマーを吹き付けた。

壁の施工方法を図11に示す。コンクリートポンプ車とフレキシブルホースを使用して打込み箇所まで圧送・運搬し、壁を2リフト(1リフト目：H2.6m、2リフト目：H2.35m)に分けて打ち込んだ。スラブおよび梁は、図12に示すように、打込み、リーク確認およびエア抜き

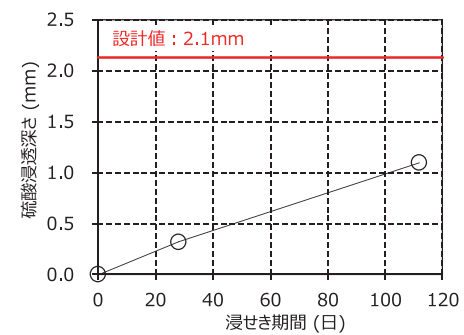


図10 出荷品における硫酸浸せき試験結果

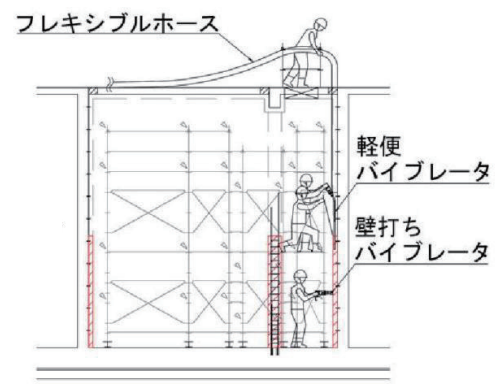


図11 壁の施工方法

L=150mm)を設けて、空気が溜まらないように片押しで施工した(全3リフト)。脱型後、壁およびスラブ下面ともに欠陥なく充填できていることを確認した。

4. おわりに

下水道施設の老朽化が急速に進む中、使用料収入の減少や少子高齢化社会による作業員の減少など、限られた財源、人員で下水道事業を持続させるためには、高機能な材料を使用した施設の長寿命化やメンテナンスフリーを実現できる技術が不可欠である。T-Sulatec®コンクリートは、今後の下水道施設の構築と補修に貢献できる材料であり、これまでに、基本的な技術データの収集と、生コン工場での製造・運搬、ポンプ圧送による施工性および実物大の試験体を用いた構造一体性、実環境における耐腐食性について検証している。また、実際の補修工事への適用においても、高い充填性と耐硫酸性を確認できた。今後、下水道施設の補修工事などの適用実績を増やし、下水道施設の長寿命化に貢献したい。

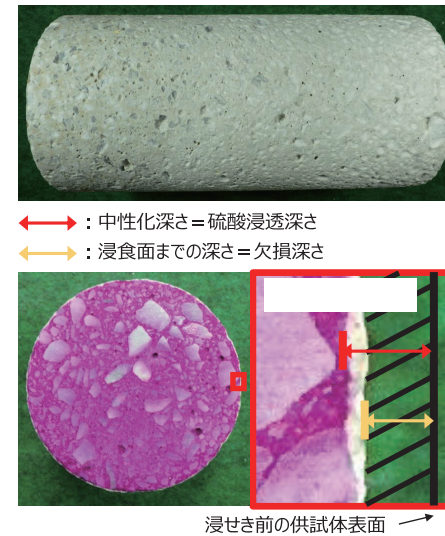


写真4 硫酸浸せき試験後の供試体状況
[5%硫酸水溶液、112日間浸せき後]

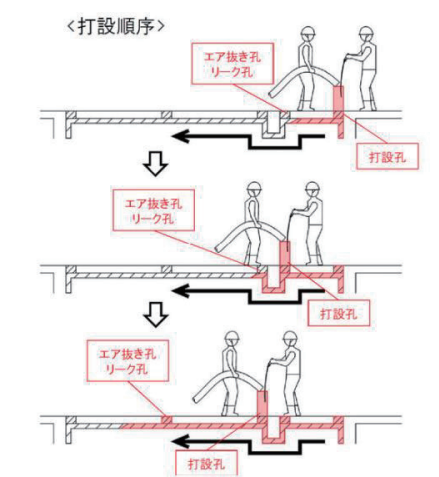


図12 スラブおよび梁の施工方法

【参考文献】

- 国土交通省／国土交通省HP、下水道の維持管理、(1)施設の現状、2022.10確認(https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html)
- 宮原茂禎他／下水道施設のメンテナンスフリーを目指した耐硫酸コンクリートの開発と展開、土木学会インフラメンテナンス実践研究論文集、Vol.1, No.1, pp.180～188, 2022
- 大脇英司他／下水道施設の50年間メンテナンスフリーを目指した耐硫酸コンクリートの開発、セメント・コンクリート、No.734, pp.31～36, 2008
- 宮原茂禎他／通常の10倍の耐硫酸性を有するコンクリートの下水道施設への展開、セメント・コンクリート、No.869, pp.18～23, 2019
- 小西和夫他／下水道施設用コンクリートの耐硫酸性に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No.57, pp.315～320, 2003
- (一財)日本下水道事業団／下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術マニュアル及び防食技術マニュアル、p.80, 2017
- (公社)土木学会／コンクリート標準示方書[基準編]土木学会基準および関連基準、pp.287～289, 2018
- 宮原茂禎他／耐硫酸コンクリートを用いた防食工の供用7年における追跡調査、土木学会第75回年次学術講演会、V-167, 2020
- 木村竜太他／耐硫酸コンクリートを使用した流量調整槽補修工事の現場施工について、土木学会第77回年次学術講演会、VI-371, 2022

セメントキルン排ガスからのCO₂分離回収技術

Technology of CO₂ capture from cement kiln exhaust gas

一坪 幸輝 吉川 知久 野村 幸治 上野 直樹

1. はじめに

セメント産業は、世界全体の温室効果ガス(GHG)排出量の約7%を占めるとも言われるCO₂排出量の多い産業の一つである¹⁾。セメント製造時のCO₂排出量は約40%が燃料の燃焼、約60%が石灰石の加熱分解反応(CaCO₃→CaO+CO₂)によるものであり²⁾、セメントの主原料の石灰石がその大半を占めることからCO₂排出削減の困難な産業となっている。そのため、世界全体で、セメント産業における脱炭素に向けた革新的なイノベーションのための技術開発が進められている。わが国でも、セメント産業はGHG総排出量の約4%に相当するCO₂を排出する産業であることから³⁾、当社も2022年3月に「太平洋セメント カーボンニュートラル戦略2050」を公表し⁴⁾、技術開発ロードマップや2030年の中間目標など、より具体的な内容や方策を定め、2050年におけるサプライチェーン全体でのカーボンニュートラルを実現するための技術開発に取り組んでいる。

地球温暖化対策として期待される技術は多岐に渡り、電源・熱源の脱炭素化、水素利用、CCUS(CO₂の回収・利用・貯留)、エネルギー変換・貯蔵、バイオテクノロジー、次世代パワーエレクトロニクス等が知られている⁵⁾。この中でセメント産業にとって重要な技術の一つとしてCCU(CO₂の回収・利用)が挙げられる。これはセメントを製造するには石灰石由来のCO₂放出が不可避であること、また、セメント・コンクリート製品は外部エネルギー無しでCO₂をCaCO₃として吸収固定できること、が理由である。本稿では、これまでセメント産業

で未知の技術であった「CO₂分離回収(Carbon dioxide capture)」について基本情報を概説した後、世界のセメント産業の導入検討状況と当社の技術開発の取組みについて紹介する。

2. CO₂分離回収技術について

2-1. 地球温暖化対策としての位置付け

CO₂分離回収技術は、地球温暖化が問題提起される以前から鉱工業で広く利用される技術であった。例えば、製油所では水素を製造する際に副生されるCO₂の除去が行われ、ガス田では産出される天然ガス中に数%から数十%含まれるCO₂の除去が行われてきた⁶⁾。CO₂分離回収技術には開発中のものを含め数多くの種類があり、詳しくは後述するが地球温暖化対策の一つとして着目し、世界で最初に火力発電所への適用に関する具体的研究開発に着手したのは日本であった⁷⁾。1990年代初頭には国内の電力会社と重工・重電メーカーなどとの共同研究によりベンチスケール、あるいはパイロットスケールの実証実験が行われた。現在では大型・商用規模にまでスケールアップが進み⁸⁾、CO₂削減のための将来の有望な技術の一つとなっている。

国際エネルギー機関(以下、IEAと称する)では、セメント産業における低炭素化の技術ロードマップを公表している¹⁰⁾。いくつかのシナリオの中で、2100年までに世界の平均気温上昇を2℃に抑える確率を50%以上とする場合(以下、2℃シナリオと称する)、世界のセメント生産量の増加を考慮して2050年までにセメント製造

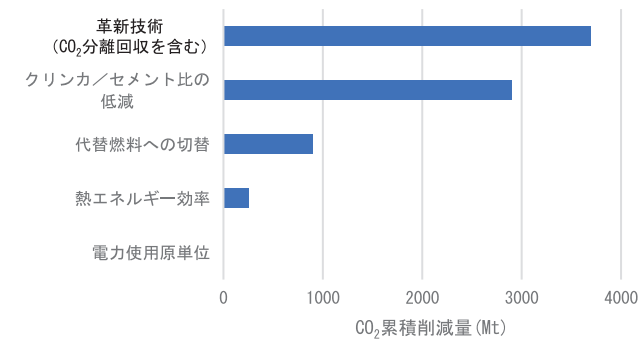


図1 2020～2050年までのセメント産業のCO₂累積削減量と適用技術¹⁰⁾
[2050年までのRTSと比較したIEA2℃シナリオでの試算]

による直接CO₂排出量を現在よりも24%削減する必要があるとしている。これは2050年までにリファレンス技術シナリオ(RTS)※と比較して7.7Gt-CO₂の累積排出量の削減を意味しており、その具体的方策と効果を公表している(図1)。CO₂削減効果の大きい順に、革新技術(CO₂分離回収を含む)、クリンカ／セメント比の低減、燃料転換、熱エネルギー効率、電力使用原単位となっている。また、IEAは2℃シナリオの中で、2050年にセメント製造で発生する直接CO₂排出量の25～29%を分離回収する必要性も示しており、セメント産業においてCO₂分離回収が必要不可欠な技術と位置付けられていることが分かる。

※RTS(Reference Technology Scenario)：パリ協定に基づき作成された各国のNDC(Nationally Determined Contribution)を含む、各国による既存のエネルギー構造および政策目標を考慮したベースラインシナリオ。2100年までの気温上昇は2.7℃程度

2-2. CO₂分離回収技術の種類

2020年度の日本のCO₂排出量は10億4200万tであり、この内訳は燃料の燃焼に伴う排出が94.7%と最も多く、工業プロセスおよび製品の使用分野からの排出が4.1%、廃棄物分野からの排出が1.2%となっている¹¹⁾。つまり、排出されるCO₂を分離回収しようとする場合、燃料の燃焼と合わせて技術開発を進めることが有効であり、現在までに「CO₂回収を伴う燃焼方法」として次の3種類が知られている¹²⁾。

・燃焼前回収(Pre-combustion capture)：燃料を燃焼前に改質し、事前にCO₂を回収する

・燃焼後回収(Post combustion capture)：燃料を燃焼した後の排ガスからCO₂を回収する

・酸素燃焼(Oxy-combustion)：燃料の燃焼に酸素を用いて、排ガスをほぼCO₂と水のみにしてCO₂を容易に回収する

セメント製造時のCO₂排出量の内訳は、約40%が燃料の燃焼、約60%が石灰石の加熱分解反応(CaCO₃→CaO+CO₂)となるように²⁾、燃料よりもセメントの主原料の石灰石の影響が大きい。そのためセメント製造プロセスでは、燃焼前回収よりも燃焼後回収や酸素燃焼が検討されることが多い。燃焼後回収は、セメントキルンの改造が不要で既存設備に適用できること¹²⁾、火力発電所での先行事例も多いことから、ここ十年でセメント産業での導入検討が進んできている。燃焼後回収に適用されるCO₂分離技術としては以下に挙げる6つの方法があり、これらの特徴を表1に示す。

・化学吸収法(吸収液)：アミン等の溶剤を用いて化学的にCO₂を吸収液に吸収させて分離する

・化学吸収法(固体)：酸化カルシウム(CaO)を吸収材として炭酸塩化－焼成の一連のサイクルを通してCO₂を分離する

・物理吸収法(吸収液)：高圧下でCO₂を物理吸収液に吸収させて分離する

・物理吸着法(固体)：活性炭やゼオライトなどの固体の吸着剤にCO₂を吸着させ、減圧あるいは加熱によってCO₂を脱離させる

・膜分離法：CO₂が選択的に透過する膜を用いて分離する

表1 燃焼後回収に適用されるCO₂分離回収技術
〔文献8,9)を参考に作成〕

手法		原理	起因力	長所	短所
化学吸収法	吸収液	化学反応	温度差	・低分圧ガス向き ・大容量向き ・炭化水素への親和力が低い	・吸収液が高価 ・腐食、浸食、泡立ちがある ・適用範囲が限定的 ・再生用熱源が必要
	固体 (Calcium Looping)			・同上 ・吸収材が安価で吸収容量が大きい	・SO _x による吸収材の寿命低下 ・再生用熱源が必要
物理吸収法		物理吸収	分圧差 (濃度差)	・高分圧ガス向き ・適用範囲が広い ・腐食、浸食、泡立ちが少ない ・再生熱源を必要としない	・吸収液が高価 ・重炭化水素への親和力が高い
物理吸着法	圧力スイング法 (PSA:Pressure Swing Adsorption)	吸着	分圧差 (濃度差)	・高純度精製が可能 ・装置が比較的簡易 ・適用範囲が広い	・再生ガスが必要 ・水分の親和性が強い
	温度スイング法 (TSA:Thermal Swing Adsorption)	吸着	温度差	・高純度精製が可能 ・適用範囲が広い	・吸着材料が多く、装置が大型化する ・吸着材費用がかかる ・再生用熱源が必要
膜分離法		透過	分圧差 (濃度差)	・簡便 ・安価 ・小容量向き	・回収CO ₂ が低純度 ・運転費が高い ・大容量に不向き ・油脂分含有ガスに弱い
深冷分離法		液化・精留	相変化	・高純度精製が可能 ・大容量向き	・装置が複雑 ・建設費が高価 ・運転費が高い

・深冷分離法：極低温下で液化し沸点の違いを用いて分離する

これら技術のうち、どれを選択するかは排出源のCO₂分圧およびガス組成によって異なる。セメントキルン排ガスは低圧かつ大容量でCO₂濃度が20%程度と高いことから、当社ではアミン液を用いた化学吸収法を選定し技術開発を進めている(後述)。化学吸収法は産業・電力分野で商業規模の実績が多くあり、最も成熟した技術であるため¹³⁾セメント産業にとって導入リスクが低い技術といえる。

3. 世界のセメント産業の導入検討状況

現在までにセメント産業で商業フルスケールのCO₂分離回収技術は導入されていないが¹⁴⁾、ここ十年で多くの小規模スケール設備での検討がなされている。セメント工場と関連する化学吸収法の事例を以下に紹介する。

- ・2013年：台湾のheping cement工場(Taiwan cement社)の排ガスを使用してTaiwan cement社とITRI(工業技術研究院)が台湾のhoping石炭火力発電所で世界最大規模のカルシウムルーピングのパイロットプラントを稼働。CO₂を1t/時で回収。
- ・2014～2016年：ノルウェーのNorcem社(Heidelberg Cementグループ)のBrevik工場でAnker solutions社のアミン液を使用した化学吸収法(移動式回収ユニット)でのトライアル試験に成功。CO₂を200kg/時で回収。
- ・2015年：米国のSan Antonioセメント工場(Capitol Aggregates社)の排ガスを使用してCarbonFree社がNaOH液を使用した化学吸収法での世界発の商用CCUプラント(SkyMine)を稼働し、カーボンネガティブとなる炭酸水素ナトリウムを製造。CO₂を5万t/年で回収。
- ・2018年：中国のBaimashan cement工場(安徽コンチ社)でアミン液を使用した化学吸収法での世界最大規模の実証プラントを稼働。CO₂を5万t/年で回収。

表2 化学吸収法によるセメント工場でのCO₂分離回収計画(調査含む)

国	ノルウェー	スウェーデン	ドイツ	カナダ	インド	台湾
企業	Norcem社 (HeidelbergCement Group)	CEMENTA社 (HeidelbergCement Group)	CEMEX Deutschland AG	Leigh cement社 (HeidelbergCement Group)	Dalmiaセメント	台湾セメント
場所	Brevik工場	Slite工場	Rüdersdorf工場	Edmonton工場	Tamil Nadu州	Heping工場
CO ₂ 回収量 (万t/年)	40	180	60	60	50	45
化学吸収方式	アミン液 (Anker Solutions社)	アミン液 (不明)	アミン液 (CCL社)	アミン液 (三菱重工社)	アミン液 (CCL社)	カルシウムルーピング
開始予定時期	2024年	2030年	～2030年	調査	未定	2025年



写真1 藤原工場に設置した小規模テストプラント
〔日量20kg-CO₂回収〕

・2023年：スペインのCarboneras工場(LafargeHolcimグループ)でCarbon Clean Limited社(以下、CCL社)のアミン液を使用した化学吸収法で同社初のプラントを稼働予定。CO₂を5万t/年で回収予定。

このような検討が進められる中、世界各国でセメント工場でのさらなるスケールアップに関する調査・計画が進んでいる(表2)。この中でもCEMENTA社の計画は最大規模であり、実現すればスウェーデンの建設産業向けにカーボンフリーセメントを製造できる画期的なものとなっている。

世界各国で化学吸収法によるCO₂分離回収技術のセメント工場への導入が図られる中、当社においても将来のカーボンニュートラルに向けた技術開発の一つとして、化学吸収法のスケールアップ試験を実施してきた。2018年度に環境省「環境配慮型CCS実証事業¹⁵⁾」で藤原工場へ国内のセメント工場で初となる小規模テストプラント



写真2 熊谷工場に設置した実証試験プラント
〔日量10t-CO₂回収〕

(日量20kg-CO₂回収)を導入し(写真1)、2021年度にはNEDO助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」で熊谷工場に実証試験プラント(日量10t-CO₂回収)を設置した(写真2)。これら設備を用いてセメント工場およびその排ガス組成に適したプロセス・オペレーションの確立など実用化に向けた検討を進めており、以下にNEDO助成事業での取組みの一例を紹介する。

4. セメントキルン排ガスからのCO₂分離回収技術開発

従来の小規模テストプラント¹⁶⁾の500倍スケールとなる実証試験プラント(日量10t-CO₂回収)で、2021年12月より試験を開始した。図2に化学吸収法の模式図を示す。本技術はアミン系吸収液にCO₂を吸収させる吸収工程(30～40℃)と、吸収液からCO₂を脱離させる脱離

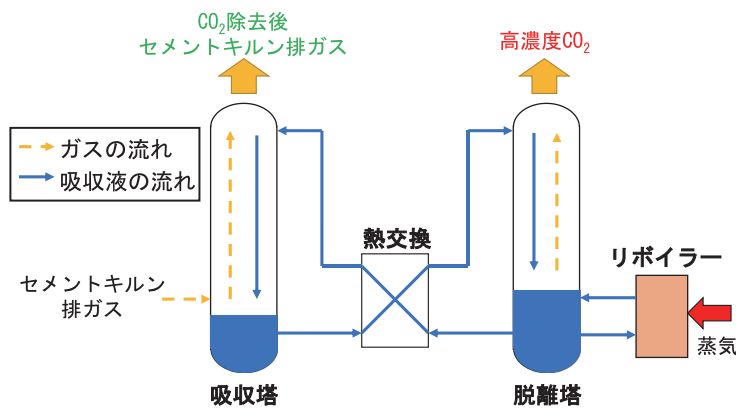


図2 化学吸収法によるCO₂分離回収の模式図

表3 使用したセメントキルン排ガス組成の一例

ダスト濃度 g/Nm ³	O ₂ vol%	CO ₂ vol%	N ₂ vol%	H ₂ O vol%	SO _x volppm	NO _x volppm
<0.01	11	18	60	10	<30	<340

表4 実証プラントの仕様

セメントキルン排ガス処理量	1,200～2,000Nm ³ /h
CO ₂ 回収量	417kg-CO ₂ /h (10t-CO ₂ /日)
主要設備寸法	W12m×D5.5m×H25m

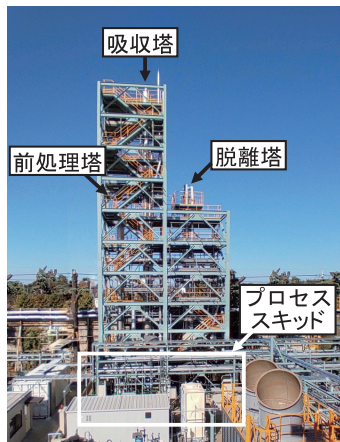


図3 実証プラントの主要設備

工程(100～120℃)により構成される。アミン系吸収液をほぼ損失することがなく、循環利用しながら吸収・脱離工程を繰り返すことで、連続したCO₂の分離・回収が可能である。

2022年3月までのNEDO実証試験では、次の2点を目的に試験を行った。

- ・セメントキルン排ガスから高濃度CO₂(99%以上)を10t-CO₂/日で安定的に分離回収が可能な運転条件の検討
- ・連続運転がCO₂分離回収性能に与える影響の検証

4-1. セメントキルン排ガスの特性と実証試験プラントの特徴

表3にセメントキルン排ガス組成の一例を示す。セメ

ントキルン排ガスが火力発電所や都市ごみ焼却施設の排ガスと異なる点として、①CO₂濃度が高く(20%程度)②酸性成分(SO_x, NO_x, HCl等)が多いことが挙げられる。この特性に適合するアミン液の選定も実用化に向けた重要な課題となる。

表4に実証試験プラントの仕様、図3に設備外観を示す。本設備はCCL社製であり、コンパクトかつ高効率の特徴である。また、欧州などでCO₂分離回収の実績を持ち、一般的な化学吸収法のプロセス(モノエタノールアミン水溶液使用)に比べ、省エネルギーでアミン液消費量が少ないという利点も有する。主要設備は「前処理塔」、「吸収塔」、「脱離塔」、「プロセススキッド」、「CO₂液化装置」の5つで構成され、セメントキルン排ガスからのCO₂分離回収フローは次のようになる。

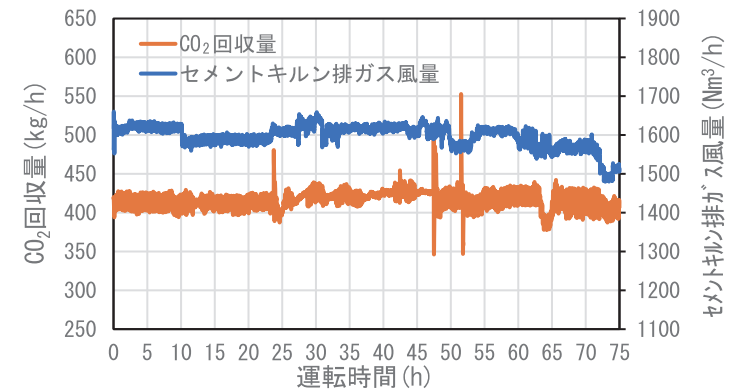


図4 運転条件検討時のCO₂回収量とセメントキルン排ガス風量

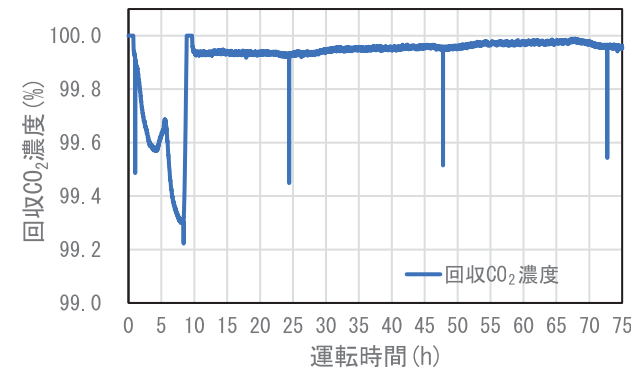


図5 運転条件検討時の回収CO₂濃度

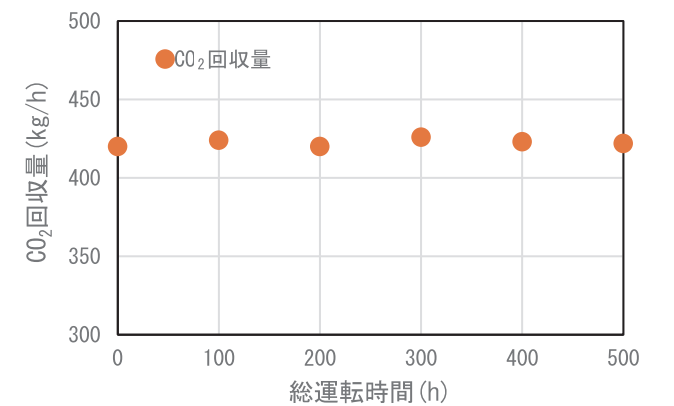


図6 長時間運転時のCO₂回収量

① 熊谷工場2号キルン煙道より排ガスを抽気し、前処理塔で排ガスの冷却およびSO_xなどの酸性ガス成分が除去される。

② 前処理された排ガスは吸収塔に送られ、供給されるアミン液と塔内の充填物を介して気液接触することで排ガス中のCO₂がアミン液に吸収される。

③ CO₂を吸収したアミン液(リッチ液)は、吸収塔からプロセススキッド内の熱交換器を経て脱離塔に供給され、蒸気を用いた間接加熱によってCO₂が脱離される。

④ CO₂脱離後のアミン液(リーン液)はプロセススキッド内の熱交換器を経て再び吸収塔に供給され循環利用される。

⑤ 脱離塔より発生する水分を含むCO₂ガスは圧縮・乾燥され、CO₂純度・露点が99%以上かつ-60℃以下であることを確認した後にCO₂タンクに貯蔵される。

⑥ 貯蔵したCO₂の一部は液化装置に送られ、加圧・冷却によって液化CO₂として可搬式超低温容器 LGC (Liquid Gas Container) に保管される。

この実証試験プラントのCO₂分離回収性能に関わる

運転パラメーターとしては、セメントキルン排ガス風量、アミン系吸収液流量および塔内圧力・温度等がある。

4-2. NEDO実証試験結果

(1) 運転条件の検討

図4にCO₂分離回収の結果を示す。セメントキルン排ガス1,500～1,600Nm³/時において、設計どおりの性能である417kg-CO₂/時(10t-CO₂/日)のCO₂を分離回収に成功した。また、セメントキルン排ガス風量、アミン系吸収液流量および脱離塔温度等の運転条件を調整し、アミン系吸収液流量の増加、または脱離塔温度の上昇によりCO₂回収量が増加することも確認した。

図5に回収CO₂濃度の結果を示す。回収CO₂濃度は平均99.92%であり、本設備で高濃度のCO₂を安定的に得られている。

(2) 連続運連試験

前項で検討した運転条件にて、約500時間の長時間連続運転を実施した。図6にCO₂回収量の結果を示す。約500時間の運転でもCO₂回収量の低下は見ら

れず、セメントキルン排ガスから安定的に10t-CO₂/日のCO₂を分離回収が可能であった。また、運転500時間の時点ではアミン液劣化による明確なCO₂回収性能の低下も認められていない。

このように2022年3月までのNEDO実証試験によって、化学吸収法を用いてセメントキルン排ガスからCO₂を日量10tで分離回収し、高純度CO₂(99.5%以上)を安定して得られることを実証した¹⁷⁾。現在は運転条件の最適化(エネルギー最小化)、アミン吸収液の長期耐久性の評価、実機スケール化に伴う課題の抽出等に取り組んでいる。

5. おわりに

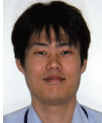
セメント産業は主原料の石灰石の加熱分解反応によるセメント製造時のCO₂放出が避けられないため、世界各国で脱炭素に向けた革新技術の開発が進められている。本稿で紹介した化学吸収法によるCO₂分離回収も、ここ十年でセメント産業への導入検討が進められている技術の一つである。CO₂を分離回収しようとする場合、発生源のCO₂濃度が高ければ高いほどエネルギー的に有利であり、原料由来のCO₂を多く含むセメントキルン排ガスは有望と考えられる。

一方で、セメント産業に限らず希釈されたCO₂を集めることはエントロピー的に不利であり、どれだけ科学が進展しようと本質的に乗り越え難い壁(濃縮のためにエネルギーが必要)がある。したがって、CO₂分離回収技術ではエネルギーの最小化はもとより、回収CO₂の用途・使用量・必要濃度に応じて、サプライチェーン全体でCO₂排出量が最小となるよう実用化の規模や他の技術との組み合わせ(例えば廃熱利用やクリーンエネルギー利用)等を図っていくことが重要となる。特に回収したCO₂の用途はカーボンニュートラル実現には重要な課題となっており、セメント・コンクリート分野の場合、セメントのCO₂吸収固定能を利用した各種技術・製品開発が今後益々活発となるであろう。なお、これからCCU技術を含む地球温暖化対策が日本のエネ

ギー政策と不可分となる⁵⁾ことも忘れてはならない。なぜなら日本全体のCO₂排出量のうち製造業・建設業でのエネルギー起源(燃料の燃焼)が占める割合が22.4%と未だ大きいためである¹¹⁾。

遠い未来を予想することは難しいが、地球環境や社会情勢の変化に応じて、求められる技術開発が変遷していくことは確かであり、特に地球温暖化問題については定められた時間軸でパラダイムシフトを生むような革新技術が期待されている。現状は全方位の技術開発が世界各国で進めている状況に近いと思われるが、その中でもCO₂分離回収技術は脱炭素・低炭素社会を目指すための基盤技術の一つと考えられる。社会実装を進める上で未だ多くの課題があるが、少し近い未来を見据えた小さな取り組みの積み重ねが新たなイノベーションを生む糧になることを期待したい。

【謝辞】実証試験プラント設備での成果は、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP20013)の結果得られたものです。

	いちつば こうき / ICHITSUBO Kouki 太平洋セメント(株) カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム 技術グループ 炭酸塩利用技術チームリーダー 博士(工学)
	よしかわ とみひさ / YOSHIKAWA Tomohisa 同上 技術グループリーダー
	のむら こうじ / NOMURA Kouji 同上 企画管理グループリーダー 博士(理学)
	うえの なおき / UENO Naoki 同上 中央研究所 カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチームリーダー

【参考文献】

- 1) IEA/WBCSD / “Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry”, p.1, 2018
- 2) 太平洋セメント(株) / “太平洋セメントレポート統合報告書”, p.70, 2021
- 3) (一社)セメント協会 / “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”, p.1, 2022
- 4) 太平洋セメント(株) / “TAIHEIYO CEMENT NEWS LETTER, 2022年3月24日”https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/220324_1.pdf(2022.06.30)
- 5) (一社)日本電気協会新聞部 / カーボンニュートラル2050アウトルック, pp.3~8, 2022年3月1日,
- 6) (一財)エネルギー総合工学研究所 / 未来エコ実践テクノロジー 図解でわかるカーボンリサイクル~ CO₂を利用する循環エネルギーシステム~, p.54, 2020年9月
- 7) 日本エヌ・ユー・エス(株), (株)QJサイエンス / 環境配慮型CCS実証事業委託業務 統合報告書 本編, pp.1~5, 2021年3月
- 8) 日本エヌ・ユー・エス(株), (株)QJサイエンス / 環境配慮型CCS実証事業委託業務 統合報告書 本編, III-4-11, 2021年3月
- 9) 余頃克則 / 二酸化炭素固定吸収材の研究開発とRITEの取り組み, 講演資料, 革新的CO₂分離回収技術シンポジウム, 2022年2月2日
- 10) IEA/WBCSD / Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry, 2018
- 11) 国立研究開発法人国立環境研究所 / 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2022年, pp.2~6, 2022年4月
- 12) IEA / Deployment of bio-CCS in the cement sector: an overview of technology options and policy tools, pp.9~14, 2021年12月
- 13) IEA / Energy Technology Perspectives 2020, pp.223~229, 2020年9月
- 14) Plaza, M. G., Martínez, S. and Rubiera, F / CO₂ Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectations, Energies, 13(21), 5692, 2020
- 15) 環境省 / 環境省のCCUS事業について, CCUSの早期社会実装会議(第2回) 資料1-2 2020, <https://www.env.go.jp/earth/ccs/ccus-kaigi/ccus.html>(accessed 2022-8-9)
- 16) 千葉裕己, 太田亨, 和泉一志 / 太平洋セメント研究報告 179, pp.61~71, 2020
- 17) 中村充志, 千葉裕己, 一坪幸輝, 上野直樹 / 炭素循環型セメント製造技術の開発(その1) 化学吸収法によるセメント排ガスからのCO₂分離・回収技術の開発, 第76回セメント技術大会講演要旨, pp.118~119, 2022



一般社団法人
セメント協会 主催

セメント協会公式 Instagram フォトコンテスト

私たちの安全・安心・快適な生活の営みを支えているコンクリート構造物。
あなたのとおきのお一枚をお待ちしています。

応募締切
2023年2月28日(火)

発表
2023年3月24日(金)
※公式HPおよびInstagram、Twitterにて発表

テーマ
日常の風景にあるコンクリート構造物

応募方法
公式Instagramをフォローの上、Instagramの投稿へハッシュタグ **#日常の風景にあるコンクリート構造物** を付けてご応募ください。

賞金
協会長賞…3万円(1名)
特選…2万円(1名) 入選…1万円(3名)
その他、応募者の中から抽選で20名にQUOカード(500円分)をプレゼント

▼応募に関する概要や注意事項など詳細はセメント協会公式SNSをご覧ください。

【Instagram】
https://www.instagram.com/jca_ssoc/

【Twitter】
https://twitter.com/jca_kouhou



2022年度 JCOM 若手シンポジウム

開催日： 2023年1月19日(木)～20日(金)
会場： 大阪公立大学杉本キャンパス
(大阪府大阪市)およびオンライン(Zoom)
参加費： 学生会員(主催、協賛学会を含む)無料、
学生非会員無料、会員3,000円、
非会員 8,000円
定員： 会場45名
申込方法： 日本材料学会複合材料部門委員会HPより申込み
問合せ： 日本材料学会「JCOM 若手シンポジウム」係
電話： 075-761-5325

令和4年度地盤工学セミナー

「地盤の見える化・モデル化・魅せる化」

開催日： 2023年2月7日(火)
会場： 土木学会2階 講堂(東京都新宿区)および
オンライン(Zoom)
参加費： 主催・後援団体会員3,000円、
その他4,000円、学生1,500円
定員： 会場30名
オンライン100名
申込方法： 土木学会HPより申込み
申込締切： 2023年1月26日(木)
問合せ： 土木学会地盤工学委員会 事務局(担当：松沼)
電話： 03-3355-3559

締固めを必要とする高流動コンクリートの
配合設計・施工指針(案)に関する講習会

開催日： 2023年2月22日(水)
会場： 土木学会2階 講堂(東京都新宿区)および
オンライン(Zoom)
参加費： 会員8,000円、非会員10,000円、
学生会員3,500円、非会員学生6,000円(テキスト1冊と吉田博士記念基金への寄付金 500円を含む)
定員： 会場30名
オンライン200名
申込方法： 土木学会HPより申込み
問合せ： 土木学会 研究事業課 コンクリート委員会 担当事務局
メール： ssk@jsce.or.jp

「コンクリート圧送工法指針2023」発刊講習会

開催日： 2023年3月15日(水)
会場： 日本大学理工学部駿河台キャンパスタワースコラ
S101教室(東京都千代田区)およびオンライン
参加費： 会員8,000円、団体会員・後援団体9,000円、
会員外10,000円、学生会員5,000円、
会員外学生6,000円
定員： 会場100名(申込み先着順)
オンライン200名
申込方法： 日本コンクリート工学会HPより申込み
申込締切： 2023年2月28日(火)
問合せ： 日本コンクリート工学会「圧送指針講習会」係(担当：岡田)
電話： 03-3263-7204

第4回「はじめての破壊力学」講習会～破壊を防ぐために～

開催日： 2023年3月28日(火)
会場： 静岡大学浜松キャンパス、総合研究棟 総21
教室(静岡県浜松市)
参加費： 会員・非会員、学生会員・学生非会員2,000円
定員： 30名程度(申込み先着順)
申込方法： 日本材料学会HPより申込み
申込締切： 2023年3月1日(水)
問合せ： 滋賀県立大学 工学部 機械システム工学科(担当：和泉)
電話： 0749-28-8489

令和5年度 1級・2級舗装施工監理技術者 資格試験
／舗装診断士 資格試験

試験日： 2023年6月25日(日)
試験地： 札幌、仙台、東京、新潟、名古屋、大阪、
広島、高松、福岡、那覇
受付期間： 2023年2月10日(金)～2月24日(金)
合格発表： 2023年10月25日(水)(午前10時頃)
受験手数料： 施工監理技術者15,000円(1級)、8,000円
(2級)、16,500円(診断士)
インターネットによる受験申込書類作成システム
あり(2023年2月1日～24日)
申込・問合せ： 日本道路建設業協会 舗装技術者資格試験
委員会 事務局
電話： 03-6280-5038

お知らせ

J-STAGEで、セメント・コンクリート論文集を無償公開しています

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

お仕事・ご研究にどうぞご活用ください。

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載号
2022年度 JCOM 若手シンポジウム	2023年 1月19日～20日	大阪府 および オンライン	日本材料学会 「JCOM 若手シンポジウム」係	075-761-5325	本号 p.54
「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針」改定講習会	2023年 1月25日	東京都 および オンライン	日本建築学会 「RCひび割れ指針」 改定講習会係	03-3456-2057	11月号 p.60
第77回 環境システムシンポジウム	2023年 1月30日	オンライン	(株)エックス都市研究所 環境政策研究本部 環境リスク管理チーム (担当：山口)	yamaguchi @exri.co.jp	12月号 p.57
令和4年度 地盤工学セミナー 「地盤の見える化・モデル化・魅せる化」	2023年 2月7日	東京都 および オンライン	土木学会地盤工学委員会 事務局(担当：松沼)	03-3355-3559	本号 p.54
既刊図書講習会 「鉄筋コンクリート構造の設計 学びやすい構造設計」	2023年 2月14日	東京都 および オンライン	日本建築学会	03-3456-2057	12月号 p.57
第8回 初心者にもわかる信頼性工学入門セミナー	2023年 2月20日	オンライン	日本材料学会 「第8回 初心者にもわかる 信頼性工学入門セミナー」係	075-761-5321	12月号 p.57
締固めを必要とする高流動コンクリートの 配合設計・施工指針(案)に関する講習会	2023年 2月22日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 コンクリート委員会 担当事務局	ssk@jsce.or.jp	本号 p.54
講習会「壁式鉄筋コンクリート厚肉床壁構造設計指針」	2023年 2月27日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会 「壁式RC厚肉床壁構造 設計指針」係	03-3456-2057	12月号 p.57
2022年度 北海道地区・応用力学フォーラム ～構造モニタリングの研究と動向、将来へのホンネ～	2023年 3月9日	オンライン	土木学会	03-3355-3441	12月号 p.57
「コンクリート圧送工法指針2023」発刊講習会	2023年 3月15日	東京都 および オンライン	日本コンクリート工学会 「圧送指針講習会」係 (担当：岡田)	03-3263-7204	本号 p.54
第4回「はじめての破壊力学」講習会 ～破壊を防ぐために～	2023年 3月28日	静岡県	滋賀県立大学 工学部 機械システム工学科 (担当：和泉)	0749-28-8489	本号 p.54
第77回 セメント技術大会	2023年 5月17日～19日	東京都 および オンライン	セメント協会 研究所 技術情報G	03-3914-2692	本号 p.61
令和5年度 1級・2級舗装施工監理技術者 資格試験／舗装診断士 資格試験	2023年 6月25日	全国10か所	日本道路建設業協会 舗装技術者資格試験委員会 事務局	03-6280-5038	本号 p.54

※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://jcafukyuu.jp/>

ひずみ硬化型セメント系複合材料(SHCC)の繊維配向がひび割れ架橋効果へ及ぼす影響に関する実験・解析的研究

Iurie Curosu, ほか

Cement and Concrete Research

152 論文B No.106650(2022)

ひずみ硬化型セメント系複合材料(SHCC)は合成繊維の添加によってひび割れを分散し、高い靱性を発揮する。繊維の分布や配向はひび割れに対する架橋効果に強く影響することから、本稿では繊維の配向を意図的に制御したSHCCに対して引張試験を行うとともに、試験結果に基づいてひび割れ架橋効果のモデルを構築した。

繊維にはポリビニルアルコール繊維と高分子ポリエチレン繊維を用意し、母材マトリクスには普通強度・高強度レベルを設定した。試験は小型ブロック試験体に埋め込まれた繊維の引抜き試験とドッグボーン型試験体の直接引張試験を実施した。前者では繊維の引抜き方向に、後者では引張力に対する繊維の配向方向に角度を設けた。繊維の引抜き耐力はマトリクス強度や繊維種類のみならず繊維角度にも影響され、角度が大きくなると繊維の破断やマトリクスの剥落が生じた。SHCCの直接引張試験では、引張力に対して繊維方向が平行に近いほど、当然耐力は高くなった。これに対して繊維角度が大きくなると耐力が低下するだけでなく繊維の曲げ変形が大きくなり、繊維表面の損傷もはげしいことがSEM観察で明らかとなった。

両試験の結果から、ひび割れを架橋する繊維の引張応力とひび割れ幅の関係を導出した。本モデルにより母

材・繊維種類とその角度による架橋効果の差が明確になるとともに、母材マトリクスの剥落や繊維の曲げ変形なども考慮した形への改善は今後の課題であると著者らは報告している。

コンクリート製品産業とセメント産業の協力によるCO₂養生コンクリートレンガ

Caijun Shi, ほか

International Cement Review

[4]25~26(2022)

中国のHuaxin Cementと湖南大学はセメントキルンの排ガスに含まれるCO₂を用いて硬化させるコンクリートレンガを開発した。CO₂によるコンクリートの養生は、短時間でコンクリート内部までCO₂を浸透させることができないため、大規模な工業生産には使われていなかった。しかし、湖南大学はコンクリート中の水分とCO₂の浸透に関する理論を提案し、短期間でコンクリート内部にCO₂を浸透させる技術の開発に成功した。

既存のコンクリートレンガ工場のうち、オートクレーブ養生による製造ラインをCO₂養生による製造ラインに改造し、レンガの製造を行った。製造したレンガの圧縮強度は15MPa以上となり、関連する国内基準を満たしている。この製造ラインは年間2400mのレンガを製造でき、オートクレーブ養生と比べ年間約62000tのCO₂を削減し、約9MkW/hの電力を節約できる。また、CO₂を20%程度含むセメントキルン排ガスを直接用いるため、排ガスからのCO₂の分離回収、高純度化のプロセスを必要としない。さらに、レンガの原料として産業廃棄物を含むことができ、製造コストは従来のレンガと比較して約30%削減することができる。

この技術はコンクリート製品産業とセメント産業の組み合わせがCO₂排出削減のために新しい解決策をもたらすという成功例であり、膨大な生産量を持つ建材産業が、将来的に最も大規模なCO₂利用・固定化を行う持続的な産業となる可能性を示している。

生 産

(単位:千t, %)

種類	項目	22年		22年	
		9月	前年比	10月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,680	90.4	2,932	98.8
	早強・超早強	185	100.2	255	96
	中庸熟	87	140.1	88	158.7
	低熟	11	71.3	13	71.9
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	1	-	0	-
	小計	2,963	91.8	3,289	99.5
	高炉	728	79.8	915	86.5
混合セメント	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	1	23.9	4	90.9
	その他	62	58.8	75	88.3
	小計	790	77.4	994	86.6
その他のセメント		15	104.1	14	93.3
計		3,768	88.4	4,297	96.1
輸出用クリンク等		344	66.5	380	60
合計		4,112	86	4,676	91.7

販 売

(単位:千t, %)

地区	22年			22年		
	9月	前年比	構成比	10月	前年比	構成比
北海道	196	96.5	6.0	186	92.2	5.5
東北	292	94.4	8.9	303	97.8	9.0
関東一	750	96.1	22.9	754	93.6	22.5
関東二	315	108.1	9.6	323	101.3	9.6
北陸	143	88.0	4.4	145	89.2	4.3
東海	377	99.0	11.5	396	99.2	11.8
近畿	460	102.3	14.0	464	97.9	13.8
四国	107	92.4	3.3	113	91.2	3.4
中国	191	98.0	5.8	194	92.7	5.8
九州	392	99.8	11.9	413	98.8	12.3
沖縄	59	86.1	1.8	66	100.8	2.0
計	3,283	98.0	100.0	3,357	96.3	100.0

輸 出

(単位:千t, %)

地域・仕向地	項目	22年	
		9月	10月
アジア	韓国	43	30
	中国	0	0
	台湾	27	27
	香港	66	137
	フィリピン	23	51
	シンガポール	164	119
	マレーシア	27	27
	小計	350	391
	大洋州	305	281
その他	中南米	44	0
	小計	349	281
合計		699	672

需 給

(単位:千t, %)

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



セメントハンドブック 2022年度版 インターネットからご覧下さい

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

セメントハンドブック2022年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf



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



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

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)							(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490	
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717	
2021年10月	15,410	2,288	273	1,669	5,368	4,471	238	
11	12,176	1,630	285	1,498	3,505	3,738	579	
12	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456	
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141	
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552	
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655	
4	13,561	3,979	279	2,292	3,043	2,333	341	
5	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880	
6	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721	
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238	
8	17.167	2.753	302	1,235	5,671	5,744	532	
9	24.272	5.104	541	2,332	6,897	7,595	499	
10	17,406	2,195	627	1,679	6,564	5,028	321	

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省)									(単位:万㎡)
	合計	構造別						用途別		
		木造	鉄骨鉄筋コン クリート造	鉄筋コンクリ ート造	鉄骨造	コンクリートブ ロック造	その他	居住用	非居住用	
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492	
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806	
2021年10月	1,209	488	22	162	531	0.4	6	676	533	
11	1,012	467	14	175	346	0.7	9	638	374	
12	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475	
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324	
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371	
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363	
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486	
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392	
6	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479	
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498	
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397	
9	968	437	7	193	322	0.6	8	610	358	
10	990	433	21	181	345	0.6	9	630	360	

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)									(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)	
		計	製造業	計	国の機関					
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713	
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497	
2021年10月	9,753	7,135	2,003	2,202	1,555	6,806	2,947	6,243	190,874	
11	10,676	7,495	2,213	2,269	1,498	6,782	3,894	6,496	191,232	
12	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900	
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	194,534	
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875	193,576	
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341	202,497	
4	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028	201,690	
5	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369	
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288	
7	9,176	8,716	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222	
8	10,334	10,115	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166	
9	21,617	19,565	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186	
10	10,520	10,170	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	-	

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)										(2020年平均＝100)
	総平均	セメント	生コンクリート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機 械	
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3	
2021年10月	107.5	100.5	102.1	102.1	170.1	103	133.6	130.3	103.4	99.7	
11	108.2	100.5	102.3	102.2	169.9	103	137.4	133.7	104.5	99.5	
12	108.4	100.5	102.6	102.3	169.5	103	138.5	136.6	105	99.5	
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.2	101.6	
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.7	102	
3	111.4	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.5	101.6	
4	113.3	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101	
5	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8	
6	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6	
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4	
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105	
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6	
10	117.8	118.1	114.5	111.8	154.9	109.8	160.4	159.7	117.3	106	
11	118.5	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	159.9	161.8	117.8	106.2	

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(出所:経済産業省)				
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック (千個)	護岸用 コンクリートブロック (t)
		管 (t)	ボール (t)	パイプ (t)		
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年10月		11,770	39,770	112,008	5,755	42,042
11		12,691	42,554	108,094	5,708	47,180
12		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521
7		8,408	31,271	115.814	5,138	31.719
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892

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)		
2019年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年10月		11,778	50,928	2,745	117,155
11		14,667	45,639	2,847	115,458
12		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年1月		8,771	46,513	2,315	96,860
2		15,218	47,744	2,474	91,643
3		20,647	61,261	2,758	103,188
4		15,969	55,963	2,527	98,544
5		14,242	45,414	2,338	91,205
6		16,974	54,503	2,695	107.363
7		13,715	46.576	2.593	103.755
8		12,514	40,051	2,538	100,701
9		13,587	46,760	2,648	112,161
10		11,788	37,198	2,422	117,669

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) 執行役員 セメント・コンクリート研究所長

委員

石橋 忠良 J R 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括

伊藤 康司 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長

内田 俊一郎 太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副部長

上村 豊 デンカ(株) エラストマー・インフラソリューション部門 セメント部技術課長

河村 直彦 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)

岸 利治 東京大学 生産技術研究所 教授

黒岩 秀介 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)

黒田 泰弘 清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員

古賀 裕久 (国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

小西 正芳 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 技術参与

小林 竜平 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー

坂井 悦郎 東京工業大学 名誉教授

坂井 吾郎 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員

棚野 博之 (国研)建築研究所 材料研究グループ シニアフェロー

野口 貴文 東京大学 大学院 工学系研究科 教授

平田 隆祥 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師

平本 真也 日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー

前田 禎夫 麻生セメント(株) 品質技術部 部長

森川 嘉之 (国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長

山路 徹 (国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長

弓削 祐夫 U B E 三菱セメント(株) 技術戦略部 部長

窪木 康雄 (一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長

吉田 雅彦 (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

中山 英明 (一社)セメント協会 研究所長

編集委員会の動き

本誌の編集企画にご尽力いただいた、野崎隆人委員(セメント協会セメント系固化材技術委員会委員長/太平洋セメント)は12月号をもって退任されました。ここにこれまでのご支援・ご尽力に感謝の意を表します。
なお、本号より後任として吉田雅彦氏(住友大阪セメント)が就任されました。

一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

○2022年福島県沖地震とコンクリート構造物

○汎用性の高い環境配慮型コンクリートの開発
ーH-BAコンクリート

○日本建築学会・鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ
制御設計・施工指針の改訂概要

○日をまたいで打ち重ねを行うことによるマスコンクリートの合理化
施工

○シリーズ・セメント系固化材 その特性と広がる可能性
①セメント改良土とセメント改良技術ーコンクリートとの比較ー

○床版取替工事への超高耐久床版の適用

ー中国自動車道蓼野第二橋下り線ー

○JCA REPORT / 高流動コンクリートのワーカビリティ評価
試験に関する検討

○特殊パラフィンエマルジョンを使用したコンクリートの適用事例

○熱力学的相平衡計算を用いたセメントマトリックス組成の推定

○ずいそう(新藤竹文) ほか



北海道内最高高さの超高層RC建物の設計と施工
ーONE札幌ステーションタワーー

セメント・コンクリート No.911 1月号
2023(令和5)年1月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

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

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

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

メールアドレス (出版担当)

cemecon@jcassoc.or.jp

ホームページ

https://www.jcassoc.or.jp

セメント協会ホームページ



第77回セメント技術大会 一般研究発表の募集のお知らせ

一般社団法人セメント協会

第77回(2023年度)セメント技術大会の一般研究発表を下記要領により募集いたします。

本大会がセメント・コンクリート技術に関する活発な討論の場となりますよう、ふるってご応募ください。

名 称 : 第77回セメント技術大会

期 日 : 2023年5月17日(水), 18日(木), 19日(金)の3日間

開催形式 : 会場とオンライン(ハイブリッド)

会場: 赤坂インターシティコンファレンス
(東京都港区赤坂1-8-1 赤坂インターシティ AIR 4F)

オンライン: Cisco Webex

参 加 費 : 無料(発表や聴講など, 参加費は不要です)

発表形式 : 活発な討議, タイムスケジュール遵守等のため,
原則, 会場での発表とします。
(会場にお越しになれない方はオンライン発表も可)

講演申込の受付期間: 2023年1月10日(火)~2月27日(月)

※聴講の参加申込みは2023年4月1日(金)より開始予定

講演申込方法: 受付期間内に第77回セメント技術大会ホームページ(下記URL)の
「一般研究発表の申込」の申込みフォームにご記入の上,
講演要旨原稿の提出とあわせてお申込みください。

U R L : https://confit.atlas.jp/jcalab23

セメント協会ホームページ[https://www.jcassoc.or.jp]からも
アクセスできます。

＜講演募集要領＞

1. セメント技術大会の目的

- セメント技術大会は、セメントおよびこれを主要な構成材料とするコンクリートを対象として、
- (1) セメント化学，コンクリートの材料科学的アプローチによる研究・技術成果を発信する場とする。
 - (2) セメント・コンクリートの実務的技術成果を発信し，意見交換する場とする。
 - (3) セメント・コンクリートに携わる研究者の技術開発意識を高揚させ，活性化する場とする。
 - (4) セメント製造技術をはじめとしたセメント産業の社会的役割を発信する場とする。

2. 講演の申込み

- (1) 講演内容と範囲：
 - a) セメント・コンクリートに関する最近の調査，試験，研究等の成果で，未発表のものに限ります。ただし口答発表のみが行われているものは，未発表とみなします。
 - b) 当大会の目的に沿わないものはお断りする場合があります。
 - c) 宣伝性の強いものはお断りする場合があります。
- (2) 1 講演当りの共同研究者(連名者)数は，講演者を含めて 4 名以内です。
- (3) 申込み可能講演数は，講演者 1 名につき 2 講演以内といたします。ただし共同研究者(連名者)となることについては制限いたしません。
- (4) 発表の申込み料は一切不要です。
- (5) 申込み方法：

講演申込みに必要な事項は，以下のとおりです。

- a) 講演題目
- b) 著者の氏名，フリガナ，勤務先および役職名
- c) 講演者の氏名および年齢(2023年4月1日時点)：

セメント技術大会全体の活性化と若手研究者・技術者等への研究奨励のため，35歳以下(2023年4月1日時点)の講演者を対象に優秀な講演者を表彰いたします。
- d) 希望する講演分類番号(「8. 講演分類」参照)

ご記入いただきました講演分類番号を参考にプログラム編成を行います。ただし，プログラムの編成上，必ずしもご希望に添えないことがございます。あらかじめご了承ください。
- e) 講演の概要

和文の場合は100字程度，英文の場合は30語程度
- f) キーワード

和文または英文で8語以内
- g) 関連する講演
- h) セメント協会研究奨励金との関連
- i) 連絡先・送付先
- j) 発表証明書希望の有無

注 1：個人情報の保護について

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

注 2：申し込み締切り後に，講演の取り消しや講演題目の変更は認められません。ご注意ください。

注 3：ホームページでの公開について

講演申込書の一部(講演題目，著者名および勤務先，講演概要，キーワード，セメント協会研究奨励金との関連)は，“セメント技術大会総合索引”としてホームページで公開させていただきます。

3. セメント技術大会講演要旨

- (1) 原稿執筆要領および原稿見本を参考に，講演要旨を執筆してください。
 - (a) A4判，2段組，2ページに明瞭に仕上げたもので，内容は(i)和文または英文題目(ii)和文または英文の本文(iii)参考文献(iv)講演に必要な図・表・写真とします。
 - (b) 本文は「1. 目的 2. 方法 3. 結果 4. 考察 5. 結論」等を簡潔に記述してください。
- (2) 「4. ウェブサイト」で提供しているテンプレートのご利用を推奨いたします。
- (3) 原稿は，元データ(MS-word)を講演申込みの際にご提出ください。

注 4：著作権について

講演要旨の著作権(著作財産権)はセメント協会に帰属(譲渡)いたします。ただし，講演要旨の著者が，自らの用途のために利用することについては制限いたしません。

4. ウェブサイト：<https://confit.atlas.jp/jcalab23>

5. 講演申込および講演要旨原稿提出 締切日時：

2023年2月27日(月) 必着

6. 大会までのスケジュール

講演の申込から大会当日までのスケジュールは，以下を予定しております。

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1) 講演申込・原稿提出 締切 | 2月27日(月) 必着 |
| 2) 申込・原稿受理通知 | 自動返信メールを送信 |
| 3) 版下原稿の確認 | 3月中旬～4月上旬 |
| 4) 講演要旨販売開始 | 5月上旬 |
| 5) セメント技術大会 | 5月17日(水)～19日(金) |

7. 申込・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 「セメント技術大会 担当」

E-mail jca_event@jcassoc.or.jp

TEL 03-3914-2692

8. 講演分類

希望する講演分類番号(1～39のいずれか)を下表より選び、第1希望および第2希望をご記入ください。

表 講演分類一覧

大分類	中分類	小分類	分類番号
セメント	製造技術		1
	クリンカー鉱物		2
	種々のセメント	混合セメント	3
		混合材	4
		特殊セメント	5
	セメント系新材料		6
	セメント系固化材		7
	セメント系補修材		8
	セメントの水和		9
	C-S-Hの長期安定性		10
	セメント、モルタルの性質と物性		11
	分析技術		12
	環境・リサイクル		13
コンクリート	材料	化学混和剤	14
		混和材	15
		骨材	16
	フレッシュコンクリート	流動性	17
		高流動コンクリート	18
	コンクリートの試験方法(含む分析技術)		19
	コンクリート製品		20
	コンクリートの施工		21
	コンクリート舗装		22
	特殊コンクリート	高強度コンクリート	23
		繊維補強コンクリート	24
		ポーラスコンクリート	25
		マスコンクリート・低発熱コンクリート	26
		景観コンクリート	27
	物性	膨張・収縮	28
		ひび割れ	29
		クリープ	30
		一般	31
	耐久性	塩害・鋼材腐食	32
		中性化	33
		ASR	34
		化学的侵食・溶脱	35
		凍結融解	36
		一般	37
	コンクリートの診断・補修		38
	環境・リサイクル		39

以 上

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