

CEMENT & CONCRETE

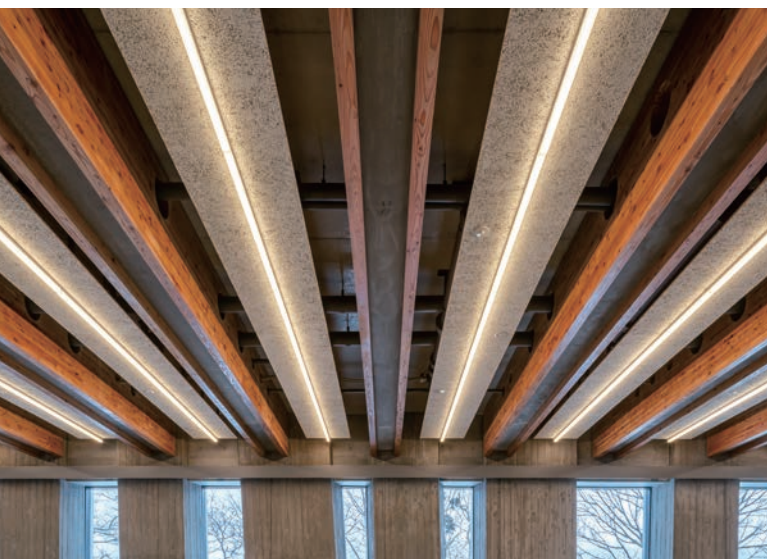
セメント・ コンクリート

令和4年4月15日発行 ISSN 0371-0718

2022
No.902

4

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO

ケミカルで社会インフラの発展を支える

Kao

きれいを ところに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

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

AE減水剤
(高機能タイプ)

ヤマソー 02NL

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤
(耐寒促進剤 タイプI)

ヤマソー ウィン

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

減水剤(遅延形) ヤマソー R

収縮低減剤 ヤマソー DS100

AE減水剤(高機能タイプ・ブリーディング低減型) ヤマソー 16NB

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤
(高機能タイプ) ヤマソー 09NL

高性能AE減水剤(収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スラブ保持剤 ヤマソー 2020

あした
明日へ繋げる

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



山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

本社 ●〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-25-5 ☎03-3552-1341 (代)
東京営業部 ●☎03-3552-1261

支店 ●大阪/☎06-6353-6051 福岡/☎092-483-8567 札幌/☎011-662-5552
営業所 ●広島/☎082-237-3083 仙台/☎022-224-0321 北陸/☎0776-28-2566
出張所 ●静岡/☎054-202-5111 高松/☎087-863-7565
事務所 ●平塚/☎0463-23-5536

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

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2022 No.902

4

もくじ

- 02 陸と海をまたがるコンクリートの新しい資源循環で水産増殖など一石四鳥を … 西川 智
- 08 JCA Report 福井ポーラスコンクリート試験施工供用 20年調査結果 …(一社)セメント協会 舗装技術専門委員会
- 14 シリカフェーム混合セメントおよび普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの発錆限界の検討 … 針貝 貴浩ほか
- 22 ずいそう ハラハラ・ドキドキ … 河井 徹
- 24 集成材を側面に配して補強したPCaPC梁の古平町複合施設新築工事への適用 … 相馬 智明ほか
- 30 2021年福島県沖地震とコンクリート構造物 … 塚原 高志ほか
- 38 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 炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定(その1) … 兵頭 彦次ほか
- 44 寸思寸言 白と黒の間から … 宮川 豊章
- 46 シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する 中性化 … 上田 洋
- 56 シリーズ 新世紀への遺産 Revival 2022 No.1 五本松ダム

37 EVENT GUIDE

50 TOPICS

53 HOT NEWS

58 外国雑誌の記事情報

61 セメント・データファイル

62 主要建設工事・資材統計

64 5月号予告



今月の表紙

TW-PC梁を適用した古平町複合施設かなえ〜[北海道/提供:大成建設(株)]

陸と海をまたがるコンクリートの 新しい資源循環で 水産増殖など一石四鳥を

Proposal of Creating a New Eco-Cycle of Concrete, Linking the Land & Sea for Greater Marine Produce

西川 智

1. はじめに

昭和40年代から日本の大都市圏を中心に大量に建設された「団地」、ダイニングキッチン、ステンレス流し台……と日本の住宅にさまざまな革新をもたらし、その中でも住宅公団（現在のUR都市機構）の集合住宅は、入居するための抽選倍率が何十倍になるほどの人気を集めました。

そこから約60年経過し、建築当初は光り輝いて見えた団地も古びてきて、間取りや機能が令和の生活には合わなくなっている上、1981年の耐震設計基準以前の構造であることから、建て替えの時期を迎えています。

私は現在、名古屋市東側の丘陵地にある昭和47年建築の大学の宿舎に入居しています。鉄筋コンクリート造4階建ての階段室型、分厚い鉄筋コンクリートの柱と梁があり、壁の室内側は鉄筋コンクリートに白ペンキを塗ってあり、外壁はクリーム色のモルタルを吹きつけた、典型的な昭和40年代公団住宅スタイルです。1981年の耐震設計基準以前の建物ですが、今の設計よりも柱も壁も梁も分厚く、壁にひび割れも、天井の雨漏りもなく、構造物としてはまだ持ちそうです。他方、壁には断熱材は無く、冬に部屋を暖房すると北側の内壁は全面結

露します。室内に洗濯機置き場がなく、ベランダに水栓があり、そこに洗濯機を置くしかありません。機能的な老朽化は進んでおり、この宿舎は数年内に廃止するという通知を受けています。この周辺には、昭和40年代から60年代に建設された県営住宅がたくさん建ち並んでいて、その中でも初期の住宅は現在建て替えが進み、いわゆる豆腐型の4～5階建が、エレベーター付きの10～14階建に順次置き換わっています。

では、この古い鉄筋コンクリート住宅の素材の由来は？また、解体された後はどうなるのでしょうか？

2. 大都市に蓄積が続く 経年鉄筋コンクリート

鉄筋コンクリート、元はセメント、砂、砂利などの骨材と鉄筋が原料です。この中で鉄以外は、日本の山河から採掘して持ってきたものです。石灰石の主成分はCaCO₃で、セメント焼成の際に1kgの石灰石から理論上は0.44kgのCO₂が放出されます。

これが、1960年代以降、日本の住宅が木造から不燃化していく過程で、鉄筋コンクリート造の集合住宅という形で大都市に蓄積してきています。そして元々はアルカリ性のコンクリートは、空気中のCO₂や雨水に溶

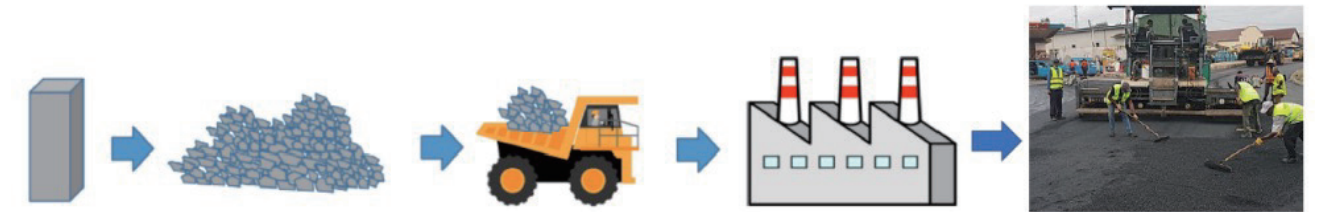


図1 老朽鉄筋コンクリート処理の現状

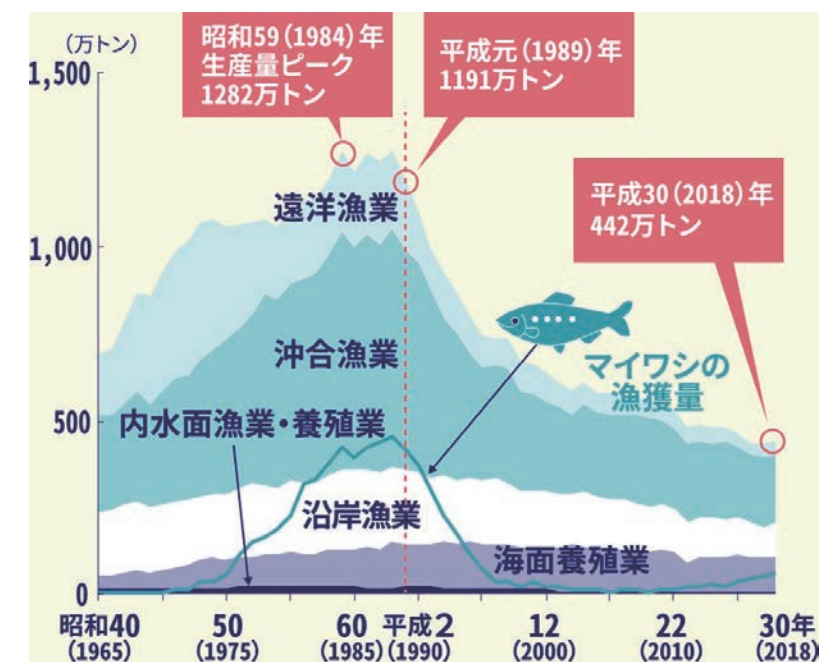


図2 数字で理解する水産業

【出典：https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/R1/O1hakusyo_info/index.html】

け込んだ炭酸で徐々に表面から中性化し、中に埋め込んである鉄筋の周辺まで中性化が進むと鉄筋が錆びて膨張し、コンクリートがひび割れ、そこからさらに雨水がしみこみ物理的に弱体化して行きます。鉄筋コンクリート集合住宅は、物理的には68年から100年の寿命があると言われています¹⁾。ただし、この物理的寿命よりも先に、1981年の耐震設計基準を満足していない、あるいは、機能的な老朽化から取り壊しや建て替えに至ります。

3. 経年鉄筋コンクリート構造物の 処理の現状

老朽化した鉄筋コンクリート集合住宅は、まず現場で

油圧重機を使って大まかに砕いてコンクリート塊にし、これをさらに鉄筋部分とその他に分離します。鉄筋は回収し、付着しているセメントをできるだけ落として、鉄スクラップとして買い取られリサイクルされます。鉄筋以外は再生砕石にリサイクルし、以前は、建替後の住宅団地の路盤材や砕石トレンチ（雨水浸透施設）に活用していました。しかしながら、最近は団地内での再利用が難しくなっており、原則は再生利用を前提として中間処理施設へ搬出し処理することが増えています。その際には、受け入れ側の指定もあり、30cm以下の大きさに現地で噛み砕いて中間処理施設に搬出し、そこでさらに処理し、路盤材や再生アスファルトとして使われることが通常だそうです（図1）。ただし、路盤材や再生アスファルトとしての需要は減少してきており、早晚、他の用途を開拓することが必要となっています。



にしかわ さとる / NISHIKAWA Satoru
名古屋大学 減災連携研究センター 教授 博士(工学)

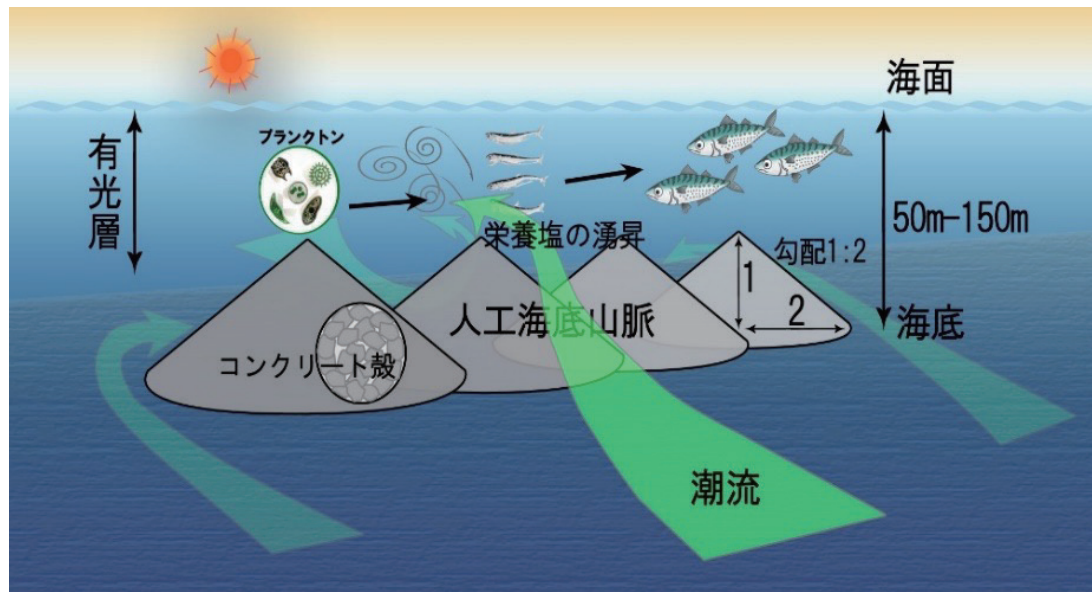


図3 人工海底マウンド礁による水産資源増殖

4. 日本近海の漁業の衰退

秋の味覚と言えばサンマ。このサンマの漁獲量はこの10年間で激減しています²⁾。2006年から2010年の5年間の平均漁獲量は27万6千トン、2016年から2020年は7万5千トンと3割以下に減少しています。10年くらい前は店頭で生のサンマー尾90円で買えたものが、昨年は360円で売っていますね。サンマのみならず2020年のサケ、スルメイカの漁獲量は過去最低レベル、日本の漁獲高はこの30年余り大きく減少しています(図2)。これらの魚種の漁獲量総量がなぜこのように激減しているのか、それには様々な要因が考えられるとされています³⁾。他方、全世界で貴重なタンパク質源として魚介類への需要は急増し、中国などが自国船での漁獲を増やすのみならず、経済力の向上に合わせて国際購入でも優位に立ちつつあります。何らかの対策を積極的に講じない限り、早晚私たちはタンパク質源の確保が困難になりかねません。それを回避するためには、日本の排他的経済水域内での漁業資源を積極的に増やすことが必要です。

5. 人工海底マウンド魚礁による水産資源増殖

魚を増やすためには、その餌となるプランクトンを増やす必要があります。そのためには栄養塩類(窒素とリン等)と日光が必要ですが、一般的に海の表層近くの海水は栄養塩類が少なく、水深数十メートル以深では栄養塩類の濃度が高いことが知られています。水面近くの海水は日光によって温められるため、下層の栄養塩類が豊富な海水は相対的に重く、この栄養塩類はなかなか表層に上がりにくい。ただし、島の周辺や海底が盛り上がっている海山の周辺では、深層の栄養塩豊富な海水が湧昇し、良好な漁場となることが知られています。この経験をもとにして、日本近海の平坦な海底に海流にぶつける形で人工的にマウンド(人工海底マウンド礁)を造成し、海底付近の栄養塩が豊富な海水を表層近くまで湧昇させ、日光に当てることにより植物プランクトンを増殖させ、魚類を増殖させる技術があり、約30年前から主に九州近辺の海域で水産庁による漁業振興策として建設されてきました。そこでは漁業資源が大幅に増殖し、漁獲量が増大す

ることが確認されています(図3)。

これまで人工海底マウンド礁を造成するためには、天然石を山から切り出して海域に運搬して海中投入するか、新たに、コンクリートブロックを造成して海中に投入してきましたので、工事費の制約もあり、限られた個所でしか実現できていません。

6. 陸域と海域をまたがる物質循環は可能か？

大都市に蓄積する経年劣化鉄筋コンクリート、日本近海の漁業資源の減少、これまで全く別の世界にあったこの2つの課題を組み合わせるとどうなるのでしょうか。老朽化した鉄筋コンクリートを適切な大きさ(50cm～1m)に切断し、人工海底マウンド礁の造成材料とすることができれば、実は、この2つの難問解決の道筋が見えてきます。

近海の漁業資源減少に対して、人工海底マウンド礁を造成する場合のボトルネックは、その造成費用です。老朽化した鉄筋コンクリートを使うことにより、従来の天然石の切り出しや新規のコンクリートブロックの造成に比べて、大幅に築造コストを下げることであれば、それが解消されます。

都市域に蓄積している経年劣化コンクリートの再生骨材としての行き詰まり、海域で有効な再生利用の用途が生まれれば、行き詰まりが解消し、現在のように細かく粉碎し、骨材と鉄筋に完全に分離することに比べて処理費用が低減します。そのことにより、都市の再生の障害が一つ減ります。

元をたどれば、鉄筋コンクリートを作る際に用いた砂や石は日本の山河にあったもの、自然の状態では降雨により山が徐々に浸食され砂礫となって川から海に流れ出ていくものです。セメントの材料となる石灰石・粘土・珪石も日本の山から切り出したものです。それらが、人工的に採取・加工され成型され、ある期間人

間の住居などとなっていたものが、海に還っていくのは、陸域から海域への自然の物質循環から大きく外れているわけではありません。鉄筋の元の鉄鉱石は海外からの輸入品ですが、鉄そのものは自然の陸域・海域に酸化鉄として広く分布しているものです。

7. 相互の信頼と合意形成の場の設定

さて、この組み合わせを実際に実現するには、どうすればよいでしょうか。実は、漁業資源の減少を解決したいと考えている海域側の関係者と都市老朽化とのリサイクル再生の行き詰まりを解決したいと考えている関係者は、これまでいわば別世界で仕事をしてきており接点がほとんどありません。

そこで、この陸域と海域のそれぞれの関係者に両者を一体となつてとらえた物質循環が、双方に大きなメリットはあることをまずはそれぞれに説明し、基礎的な理解を得た上で、関係者が一堂に会して意見交換をする場を設定する必要があります。これは全く新しい提案ですので、はじめて聞く者にとっては、さまざまな疑問や抵抗感がわいてきます。例えば、

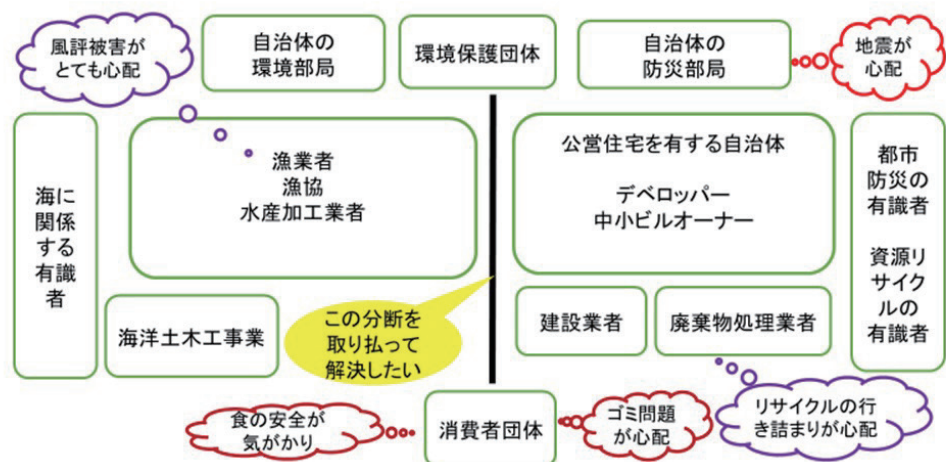
- ・そもそも鉄筋コンクリートを海中に投入して魚類や海藻に悪影響はないのか？鉄筋をいれたまま海中に投入して問題ないのか？

⇒ 今でも魚礁の造成にコンクリートブロックが用いられている。鉄は海洋生物にとっては貴重な栄養塩になる。

- ・古い住宅を解体した産業廃棄物を海に捨てるのは許せない！古い住宅にはアスベストが使われており、それを海中投入するのは問題ではないか？

⇒ 古い住宅から余計な配線や内装品などを外してきれいにした鉄筋コンクリートを切断して魚礁造成の素材にするのであるから、廃棄物ではない。アスベストの有無は必ず調べ、有る場合には必ず回収するので、海中投入することは無い。

といったところでしょうか。なにせ、はじめての組み合わ



海域と陸域を一緒に考えてみたら？

図4 陸域と海域の様々な当事者の意見交換の場の提案

せですからなんとなく気持ち悪い，という漠然とした不安が生じることは当然だと考えておく必要があります。

実は，東日本大震災で破壊されたコンクリート製の防波堤を，魚礁として活用した実績もあります。まずは関係者が一堂に会して疑問を相互に投げかけ，説明し，納得し，この組み合わせの双方へのメリットを得心した上で前に進める必要があります(図4)。

8. CO₂排出削減に大きく貢献

この老朽化した鉄筋コンクリートを人工海底マウンド礁に転用することは，CO₂排出削減に大きな効果があります。前述の通り，石灰石からセメントを焼成する際に，1kgの石灰石から0.44kgのCO₂が発生します。人工海底マウンド礁のために，新たにコンクリートブロックを作らずに済めば，その分の新規CO₂発生が防げます。また，現在の老朽鉄筋コンクリート住宅の解体は，現場で重機で細かく砕く過程と再処理工場での処理に莫大な燃料を要します。これが，大きく切断する迄で済めば，処理に係るエネルギー(CO₂排出)が大幅に削減できます。

9. CO₂吸収と固定の切り札にも

日本近海の海底に人工海底マウンド礁を造成し，海底の栄養塩を海面近くに湧昇させることができると，日光を受けて植物性プランクトンが大増殖します。この海中光合成によって，海中に溶け込んでいるCO₂が消費され，海中CO₂濃度が下がると，大気中のCO₂が海水に吸収されます。植物性プランクトンは動物性プランクトンにより捕食され，さらに小魚が食べ……という食物連鎖につながり，その魚類が私たちの食料になります。森林によるCO₂吸収の他に，この海域でのCO₂吸収量は非常に大きいことが知られています。さらに，この植物性プランクトンや動物性プランクトンは，全て魚類が食べ尽くすわけではなく，一部は貝類やフジツボなどの甲殻類が食べ，残りはマリンスノーとなって海底に沈降します。これによりCO₂が海底に固定されることになります。貝類や甲殻類は海中のカルシウムとCO₂を結びつけて炭酸カルシウムを主成分とする殻を造り固定します。このような海中生物によるCO₂の吸収・固定はブルーカーボンとも呼ばれ，日本の森林が成熟しCO₂吸収性能が低減している中で，新たなCO₂吸収源として注目されています⁴⁾。アマモなどの海藻によるブルーカーボンが注目されていますが，プランクトンによるブルーカーボンも大きな役割を果たします。

なお，貝類や甲殻類やサンゴによって合成された炭酸カルシウムが何万年か経過すると石灰石となります。

10. 4つのwinと大震災からのBuild Back Better

このように見てきますと陸域と海域をまたがる鉄筋コンクリートの物質循環を造り出すことができれば，
win 日本近海の漁業資源の増殖，
win 都市の老朽化した鉄筋コンクリートの更新促進，
win CO₂排出量の大幅削減，
win ブルーカーボンとしてのCO₂吸収
と一石四鳥の4つのwinを得る効果があります。

さらに，もし不幸にして首都直下地震や南海トラフ地震が発生した場合には，大都市で莫大な量の鉄筋コンクリートが震災廃棄物として一気に発生します。中でも鉄筋コンクリートは，焼却も減容もできません。この厄介者を合理的に資源として有効活用するルートを平時からあらかじめ造っておくことができれば，不幸にして大震災が発生した場合に，それを負の廃棄物処理としてではなく，日本の漁業資源の増殖への寄与という前向きな処理が可能となります。2015年3月に仙台で開催された第3回国連防災世界会議で採択された仙台防災枠組SFDRRでいうBuild Back Betterの一つの形になります。

11. 定量化の必要性

では，このプロジェクトを推進する上で，これから何が必要か。大きく2つあります。ひとつは7. で述べた陸域と海域の関係者の対話と信頼醸成，もう一つは，以上に述べたさまざまなコスト削減，漁獲量増大，CO₂排出削減，CO₂吸収についての定量化です。定量化し，関係者に提示できれば，この構想の実現に大きく踏み出すことが可能となります。そのため，まずは鉄筋コンクリートの処理費用の削減効果について調査を始めたところです。今後さらに，多数の関係者の皆様のお知恵をいただきながらこの構想を皆様と進めていきたいと考えております。そして成功した暁には，皆で日本近海産の美味しいお魚を満喫したいと考えております。

【参考文献】

- 1) 中古住宅流通促進・活用に関する研究会報告書、平成25年9月26日国土交通省住宅局
<https://www.mlit.go.jp/common/001002569.pdf>
- 2) 全国さんま棒受網漁業協同組合
http://www.samma.jp/tokei/catch_year.html
- 3) 令和元年度水産白書
https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r01_h/trend/1/tl_2_1.html
- 4) 海の森ブルーカーボン2021年3月国土交通省港湾局
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk6_000069.html

お知らせ

複写についてお願い

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

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

福井ポーラスコンクリート試験施工 供用20年調査結果

(一社)セメント協会 舗装技術専門委員会



1. はじめに

ポーラスコンクリート舗装とは、コンクリート中に連続空隙を形成することにより、透水性や騒音低減機能等を有したコンクリート舗装である。近年では、材料開発が進み、車道への適用も増え、2013年5月には阪神高速道路の本線路上に採用されている。ポーラスコンクリート舗装は、ポーラスアスファルト舗装の課題である、塑性流動に伴う空隙つぶれによる機能低下などの耐久性に関する課題を解決でき、インフラの長寿命化という社会的な要求に対応できると考えられている。

(一社)セメント協会 舗装技術専門委員会では、ポーラスコンクリート舗装に早くから着目し、1999年発

Results of Test Construction of Porous Concrete for Roadways in Fukui, at 20years Use.



写真1 供用20年における試験施工個所の状況
[上：大野，中：今庄，下：今立]



写真2 荷卸し



写真3 ポーラスコンクリートの打設状況

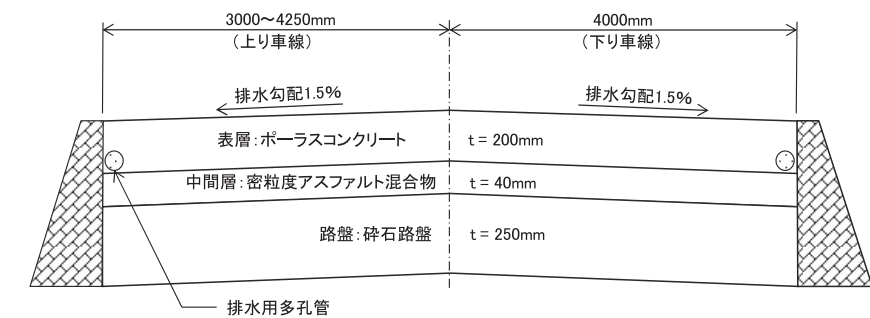


図1 舗装断面図(各現場共通)

表1 ポーラスコンクリートの配合および諸物性

配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	水 結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					曲げ強度 (MPa)		空隙率 (%)	適用現場
			水	結合材	細骨材	粗骨材	混和材	材齢 1.5day	材齢 28day		
a	13	22.5	78	346	173	1516	—	—	4.65~5.23	17.0~18.1	大野，今立a，今庄
b	13	14.3	40	280	120	1500	80	—	4.79~4.90	18.9	今立b
c	5	20.5	98	476	147	1433	—	4.17	6.70	18.1	大野上り

刊の「R11-舗装用ポーラスコンクリート共通試験結果」をはじめとし、福井県や千葉県、宮城県の実道上での試験施工及び供用性調査を実施している。

本報は、福井県にて実施した試験施工の供用20年(設計耐用年数)までの調査結果について報告するものである。

2. 調査概要

2-1. 施工概要

試験施工は、大野、今立および今庄の3か所で実施した。舗装の断面図を図1に示す。舗装構造は全ての施工個所で同一であり、版厚20cmポーラスコンクリートを表層に使用した目地有コンクリート舗装である。As中間層には4cmの密粒度As、路盤には25cmの粒調碎石を使用している。目地は、今立bが目地間隔

20mで縦断方向に直角に目地切りし、他は目地間隔4mのスキュー目地(60°)とした。使用したポーラスコンクリートは、表1に示す3配合であり、大野、今立a、今庄はa配合を、今立bはb配合を使用した。b配合はポリマー混和材を使用することにより、伸び能力を向上させ目地間隔を長くすることができるものである。

ポーラスコンクリートの打設は1999年の11月であり、ポーラスコンクリートをダンプトラックで運搬し(写真2)、高締め固め型のアスファルトフィニッシャーで打設した(写真3)。目地は、打設2日後に深さ70mmで切削した。

ポーラスコンクリート舗装は、ポーラスアスファルト舗装と異なり塑性変形による空隙つぶれは発生しないが、空隙詰まりは同様に発生する。本検討でも供用中にポーラスコンクリートの空隙に泥などのゴミが詰まり、透水性が低下したため、供用2年および3年で



写真4 ウォータージェットの状況



写真6 ウォータージェットによる研掃



写真5 既設ポーラスコンクリート切削



写真7 接着剤塗布



写真8 ポーラスコンクリート打設

大野と今庄にてウォータージェットによる透水性回復を試みた(写真4)。

また、大野上り車線では供用5年時にc配合のポーラスコンクリートを用いて5cmの切削オーバーレイ(以下、OLと示す)の試験施工を実施した。これは、透水性や、騒音低減効果が低下した場合の回復工を想定して、試験的に実施したものである。施工は、切削、研掃、接着剤塗布、コンクリート舗設、目地の順で行った。切削は、一般的な舗装切削機にて行い(写真5)、切削後にウォータージェットにて切削面を研掃した(写真6)。接着剤は超早硬型グラウトを使用し(写真7)、打設はアスファルトフィニッシャ(写真8)、目地は、既設ポーラスコンクリート舗装の目地と同じ個所に設けた。

2-2. 調査方法

主な調査は、竣工時、供用1年、3年、5年、16年、20年で実施した。本稿では、ひび割れ、平たん性、わだちぼれ、目地段差、すべり抵抗、路面透水量の調査結果を報告する。

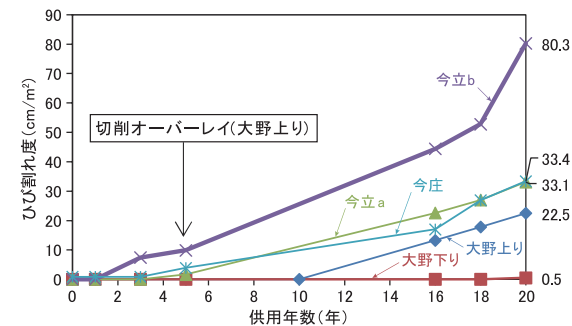


図2 ひび割れ度の推移

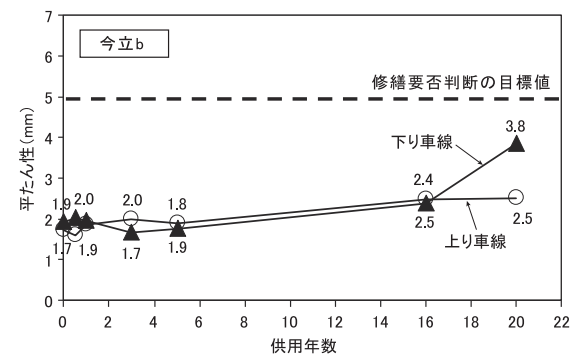


図3 今立bの平たん性の推移

3. 調査結果

3-1. ひび割れ

ひび割れ調査結果は、「ひび割れ度」を用いて評価した。OL実施の有無が異なる、大野上り車線と下り車線は別々に整理した。供用20年までの各現場のひび割れ度は、図2に示す通りである。供用年数とともにひび割れは増加しており、供用20年ではいくつかの現場で30cm/m²を超えていた。大野(下り)は、ほとんどひび割れが発生しなかったが、OLを実施した上り車線は供用10年以降でひび割れが発生した。これは、表層のOL部分と既設ポーラスコンクリートとの、付着が喪失しているためと推察される。大野(下り)車線のひび割れが少ない原因は、他の現場は交通量が2400台/日であるのに対し、大野は1000台/日であるためと考えられた。また、今立bは、特にひび割れ度が大きくなっている。これは、他の現場は目地間隔が4mであるのに対し、目地間隔が20mと広く、そり拘束係数

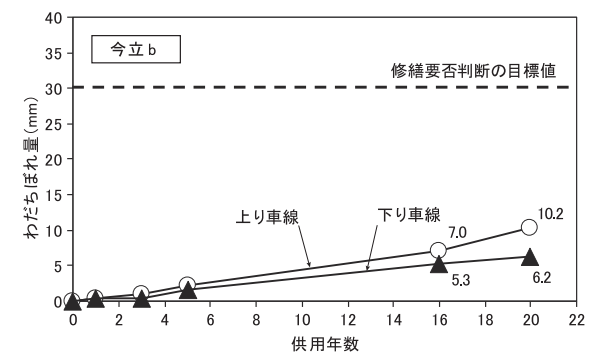


図4 今立bのわだちぼれ量の推移

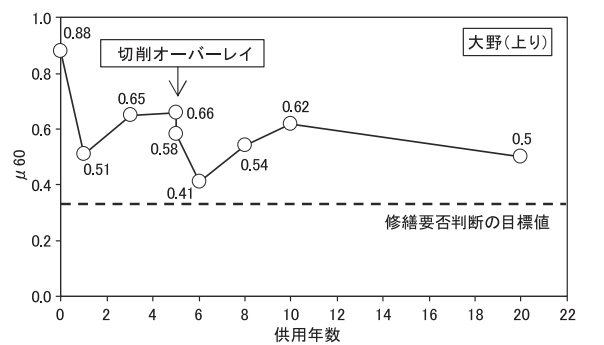


図5 大野(上り)のすべり抵抗(μ60)の推移

が大きくなり、結果として温度応力が大きかったことが原因と考えられる。しかし、供用1年の時点ではひび割れは発生しておらず、ポリマー混和材の使用は施工ひび割れの抑制には有効であったと考えられる。

3-2. 平たん性、わだちぼれ、目地段差、すべり抵抗

図3に供用20年時点で平たん性が、3.8mmと最も低下した今立bの調査結果を示す。平たん性は供用が進むにつれて低下したが、供用20年の値は、1.7~3.7mmの範囲であり、補修が必要とされる5mmに達した現場は認められなかった。

わだちぼれ量も平たん性と同様に、供用20年で最も大きい値となった、今立bの結果を図4に示す。わだちぼれ量も供用年数につれて増加したが、供用20年で最大10.2mmとすべての現場で補修の目標値を下回った。

目地段差は、今回調査した3個所の試験舗装のす

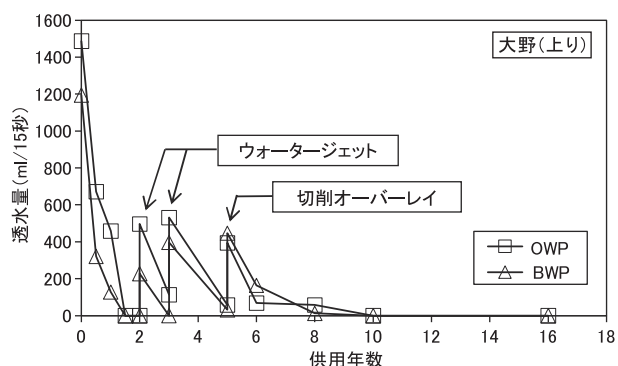


図6 大野(上り)の透水量の推移

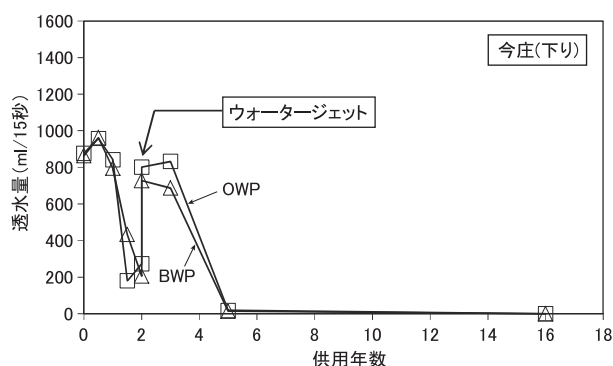


図7 今庄(下り)の透水量の推移

すべての目地において、ほぼ認められず極めて良好であった。

供用中、すべり抵抗 $\mu 60$ (DFT)が最も低くなった大野(上り)の調査結果を図5に示す。供用期間中に、補修が必要と判断される0.35を下回ることではなく、供用20年の時点では、各施工個所で0.50～0.62の範囲であった。

3-3. 透水量

透水量は、供用16年の時点で全ての試験施工個所で不透水となったため供用20年では調査を行わなかった。供用16年までの結果の一例として大野(上り)および今庄下りの調査結果を図6,7に示す。竣工時は800～1500ml/15s程度透水性を有していたが、透水量低下が発生した。

このため、ウォータージェットによる機能回復を供用2年と3年に実施したところ(写真4,9)、透水量は回復した。このことからポーラスコンクリート舗装は定期的な

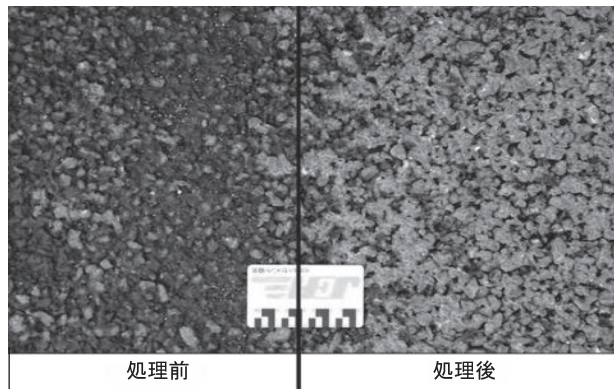


写真9 ウォータージェット前後の路面の状況

メンテナンスにより透水性を持続させることが可能であると示唆された。

4. まとめ

ポーラスコンクリート舗装は、設計耐用年数である20年が経過しても、ひび割れが生じ透水性は失われたものの、目地段差やすべり抵抗等は良好であり、走行安全性は確保されていた。

【謝辞】最後になりましたが、本試験施工および調査を実施するにあたり多大なご助力を賜りました、福井県庁土木部、奥越土木事務所、丹南土木事務所、日本道路(株)、(株)NIPPOの皆様に御礼申し上げます。

(一社)セメント協会 舗装技術専門委員会(2022年1月)

委員長：小梁川雅[東京農業大学]

副委員長：梶尾聡[太平洋セメント(株)]

委員：西澤辰男[石川高専]、上野敦[東京都立大学]、久田真[東北大学]、前島拓[日本大学]、古賀裕久[土木研究所]、藪雅行[土木研究所]、加藤亮[(株)高速道路総合技術研究所]、荒尾慶文[日本道路(株)]、村岡克明[(株)NIPPO]、児玉孝喜[鹿島道路(株)]、五島泰宏[大成ロテック(株)]、小関裕二[大林道路(株)]、永渕克己[世紀東急工業(株)]、伊藤康司[全国生コンクリート工業組合連合会]、了道久[日鉄セメント(株)]、新見龍男[(株)トクヤマ]、玉滝浩司[宇部興産(株)]、森田浩一郎[三菱マテリアル(株)]、安久憲一[住友大阪セメント(株)]

事務局：吉本徹、野田悦郎、泉尾英文、瀧波勇人

シリカフューム混合セメントおよび 普通ポルトランドセメントを 用いたコンクリートの発錆限界の検討

Rebar Corrosion Resistance of Concrete Using Silicafume Mixed Cement and Ordinary Portland Cement

針貝 貴浩 高原 幸之助

1. はじめに

現在、コンクリート中の塩化物イオン量の上限値は、コンクリートの種類や単位量によらず $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 一律に定められている。しかし、都市部における超高層建築では設計基準強度が $150\text{N}/\text{mm}^2$ を超える超高強度コンクリートが適用されており¹⁾、高強度化に伴ってセメントや混和材などの単位量が増加することでコンクリート中の塩化物イオン量も増加することが懸念される。また、超高強度コンクリートの混和材には多くの場合シリカフュームが使用されているが、国内調達ができない材料であり品質を安定的に管理することが難しい場合がある。シリカフュームの成分は原料への依存度が大きい²⁾ため、産地によっては塩化物イオンを多く含有する場合も考えられる。既往の検討²⁾ではシリカフュームを17.5%置換したシリカフューム混合セメントについて発錆促進試験を実施し、コンクリート中の塩化物イオン量が $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ を超えても鉄筋が発錆しないことを確認している。しかし、より汎用的なシリカフューム置換率

10%程度のシリカフューム混合セメントを使用したコンクリートでは、内在する塩化物イオンが鉄筋の発錆限界に及ぼす影響について検討されていない。

さらに、普通ポルトランドセメントについても製造時に活用される廃棄物・副産物量の増加に伴ってセメント中の塩化物イオン量が増加する可能性が考えられることから、塩化物イオン量と鉄筋腐食との関係を把握しておく必要がある。しかし、現状では普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに内在する塩化物イオンと鉄筋腐食の関係を検討した事例³⁾は少ないため、鉄筋の発錆限界を把握し腐食状況を的確に判定することは難しい。

そこで、本研究ではシリカフュームを10%置換した混合セメントおよび普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの発錆限界と発錆限界に影響を及ぼす要因について検討した。図1に本研究の全体像を示す。

Step1では鉄筋の発錆促進試験を実施し、セメントの種類および水セメント比(以下、W/Cと略)と鉄筋の腐食状態の関係から発錆限界を迎える塩化物イオン量について検討した。Step2では影響因子として、塩化物イオン拡散、空気拡散、水の拡散、硬化体の空隙構造を影響因子として発錆限界に及ぼす影響について検討した。

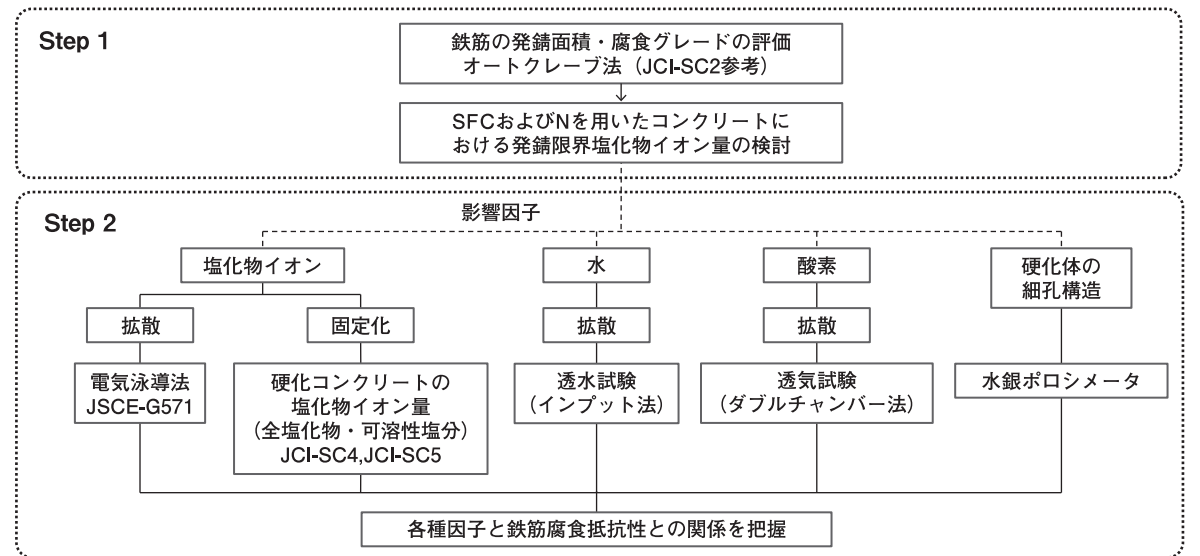


図1 本研究の全体像

表1 使用材料

Material	Type	Mark	Properties
Cement	Silica fume mixed cement	SFC	Density: $3.08\text{g}/\text{cm}^3$ Blaine: $5730\text{cm}^2/\text{g}$
	Ordinary Portland cement	N	Density: $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ Blaine: $3290\text{cm}^2/\text{g}$
Fine aggregate	Sand	S1	Density: $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ Absorption: 2.26%
	Crushed stone	S2	Density: $2.59\text{g}/\text{cm}^3$ Absorption: 1.36%
Coarse aggregate	Crushed stone	G	Density: $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ Absorption: 1.38%
Chemical admixture	Air-entraining and water reducing admixture	AE	Lignosulfonate-type
	High-range water-reducing admixture	SP1	Polycarboxylate-type
	Air-entraining and high-range water-reducing admixture	SP2	Polycarboxylate-type

表2 コンクリートの目標フレッシュ性状，調合，および目標塩化物イオン量

Mix	Air (%)	Slump /Slump flow (cm)	Types of admixture	W/C (%)	Bulk volume of coarse aggregate (m^3/m^3)	Water (kg/m^3)	Chloride contents of concrete (kg/m^3)					
							Non-NaCl*1	0.3	0.4	0.7	1.5	5.0
SFC13	2.0	70	SP1	13	0.55	175	○ (0.08)	—	—	○	○	○
SFC17	2.0	65	SP1	17	0.54	175	○ (0.06)	—	—	○	○	○
N35	2.0	60	SP2	35	0.54	173	○ (0.11)	○	○	○	○	—
N45	4.5	18	SP2	45	0.58	172	○ (0.09)	○	○	○	○	—
N55	4.5	12	AE	55	0.62	168	○ (0.07)	○	○	○	○	—

*1 Chloride contents contained in cement is shown in parentheses

2. Step1の試験概要

2-1. 使用材料および調合

表1に使用材料を示す。セメントはシリカフューム混合セメント(以下、SFCと略)および普通ポルトランドセメ

ント(以下、Nと略)を使用した。粗骨材の最大寸法は 20mm とした。表2にコンクリートの目標フレッシュ性状，調合，および目標塩化物イオン量の試験水準を示す。セメント種類とW/Cの組合せとして、SFCはW/C=13%および17%，NはW/C=35%，45%および



はりがい たかひろ / HARIGAI Takahiro
三菱マテリアル(株) セメント研究所
コンクリートグループ



たかはら こうのすけ / TAKAHARA Konosuke
同上

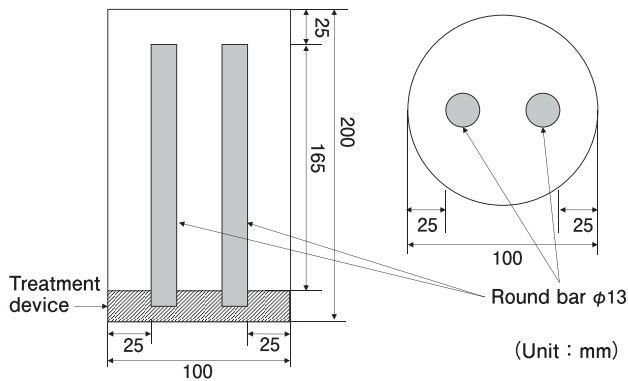


図2 供試体の概略図

表3 鉄筋の腐食グレードおよび発錆面積

Mix	Chloraide contents	Corrosion grade(ratio of corrosion area)		
		Autoclave curing 1-cycle	Autoclave curing 3-cycle	Autoclave curing 5-cycle
SFC13	Cl:0.08*	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:0.7	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:1.5	I ⁺ (1.4)	I ⁺ (3.4)	II(10)
	Cl:5.0	II(14)	II(25)	III(46)
SFC17	Cl:0.06*	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:0.7	I(0.0)	I(0.0)	I(1.3)
	Cl:1.5	I ⁺ (2.7)	I ⁺ (1.6)	II(10)
	Cl:5.0	II(12)	II(12)	II(13)
N35	Cl:0.17*	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:0.3	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:0.4	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:0.7	I ⁺ (2.8)	II(16)	II(15)
	Cl:1.5	I ⁺ (2.7)	II(34)	II(35)
N45	Cl:0.13*	I(0.0)	I ⁺ (5.5)	I ⁺ (2.3)
	Cl:0.3	I(0.0)	I(0.0)	II(8.0)
	Cl:0.4	I ⁺ (2.1)	I ⁺ (6.7)	II(13)
	Cl:0.7	II(23)	III(46)	III(60)
	Cl:1.5	III(51)	III(58)	III(64)
N55	Cl:0.11*	I(0.0)	I(0.0)	I(0.0)
	Cl:0.3	I ⁺ (2.1)	II(9.8)	II(33)
	Cl:0.4	I ⁺ (1.9)	II(11)	III(44)
	Cl:0.7	I ⁺ (2.8)	II(29)	III(46)
	Cl:1.5	II(15)	III(55)	III(56)

*No NaCl added

55%とした。細骨材には山砂および砕砂を使用し、混合比率は山砂：砕砂=0.45：0.55(体積比)とした。コンクリート中の塩化物イオン量はJIS A 5308:2019「レディーミクストコンクリート」の上限値である0.3kg/m³を基準として、少量増加させた0.4kg/m³、多量に増加させた0.7kg/m³および1.5kg/m³、さらに過剰に増加させた5.0kg/m³とした。なお、塩化物イオン量はセメントにあらかじめ含まれているもののみ考慮しNaClで調整した。

2-2. 供試体

図2に供試体の概略図を示す。供試体の各寸法

は、石中らの試験方法²⁾を参考に決定した。供試体はφ100×200mmの円柱供試体を用いて、内部にみがき棒鋼を円柱体の軸に2本並行に埋め込んだ。みがき棒鋼は研磨布を用いて表面を研磨した後、アセトンで脱脂したものを使用した。また、かぶり厚さは粗骨材の最大寸法20mmを考慮して25mmとした。供試体は材齢1日で脱型し、治具を取り外した部分についてはペーストによりキャッピングを行った。キャッピング材はW/C=35%以下では供試体と同一材料および同一W/Cのセメントペースト、W/C=35%以上ではNを使用したW/C=35%のセメントペーストを用いた。なお、

脱型材齢については、各水準において材齢1日でも適切な脱型が可能であることを確認した。

2-3. 鉄筋腐食試験方法

上記供試体は、脱型した後、前養生として材齢7日まで20℃封緘養生を実施した。その後、JCI-SC2「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の保護腐食試験方法－オートクレープ法」に準拠した方法により鉄筋腐食試験を実施した。オートクレープ養生(以下、AC養生と称す)のサイクル数は1、3、5サイクルとし、各サイクル終了時点における鉄筋の腐食面積の測定および腐食グレードの評価を実施した。腐食面積および腐食グレードは、式(1)および下記の評価基準⁴⁾により判定した。

発錆面積率=発錆面積／測定面積×100……………(1)

I：腐食なし

I⁺：腐食していても均一な薄い緻密なさび層(黒又は茶色単色)が密着している場合。

II：部分的には斑点状のさびが見られる。さび層は、黒・茶・赤茶色など複数の色が混ざっている。

III：鉄筋が広範囲に軽度の凸凹状に腐食している。黒・黄・緑・赤茶・茶色など複数の色の混在を呈するさび層で覆われている。断面欠損は明確には認められない。

IV：鉄筋全体が凸凹状・溝状・剥離状に腐食しており、明らかに断面の欠損も認められる。

3. Step1の試験結果

表3に鉄筋の腐食グレードおよび発錆面積を示す。SFCを使用したコンクリートは塩化物イオン量0.7kg/m³では鉄筋の腐食が認められなかったが、塩化物イオン量1.5kg/m³で鉄筋腐食が生じAC養生サイクル数の増加に伴って腐食が進行した。さらに、塩化物イオン量5.0kg/m³とした場合、AC養生1サイクルから顕著な鉄筋腐食が確認され、その後SFC13ではAC養生サイクル数に伴ってさらに腐食が進行した。一方、Nを使用したW/C=35~55%のコンクリートでは塩化物イオン量が

0.7kg/m³以上で鉄筋腐食が生じた。特に、N45およびN55では腐食が顕著であり、広範囲にわたって凹凸を伴った赤、茶、黒が混在するような腐食グレードⅢに相当する錆が発生した。さらに、Nを使用したコンクリートの発錆限界について検討するため塩化物イオン量0.3kg/m³および0.4kg/m³について検討した。その結果、N35は鉄筋腐食が確認されなかったのに対して、N45は塩化物イオン量0.4kg/m³以上、N55は塩化物イオン量0.3kg/m³以上で鉄筋腐食が生じた。

4. Step2の試験概要

4-1. 塩化物イオン拡散試験

塩化物イオン拡散試験はJSCE-G571-2013「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案)」に準拠した方法によって実施し、塩化物イオンの実効拡散係数を算出した。試料は材齢7日まで前養生として封緘養生を実施し、その後AC養生1サイクル実施したものをを用いた。

4-2. 固定塩化物イオン量の測定

試料はセメントの質量に対して1.0%のNaClを添加したセメントペーストを使用し、前養生として材齢14日まで封緘養生した後AC養生を1サイクル実施した。固定塩化物イオン量は、試料に含まれる全塩化物イオン量と温水抽出塩化物イオン量の差によって算出した。全塩化物イオン量および温水抽出塩化物イオン量は、JIS A 1154:2020「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して測定した。

4-3. 透水試験

透水試験はインプット法により実施した。測定中に浸透面以外からの水の浸透を防止するため、コンクリート側面はエポキシ樹脂でシール処理してから試験を実施した。水の拡散係数は、一定の圧力の水を供試体に作用させた後、供試体を半割し浸透深さの実測値から求

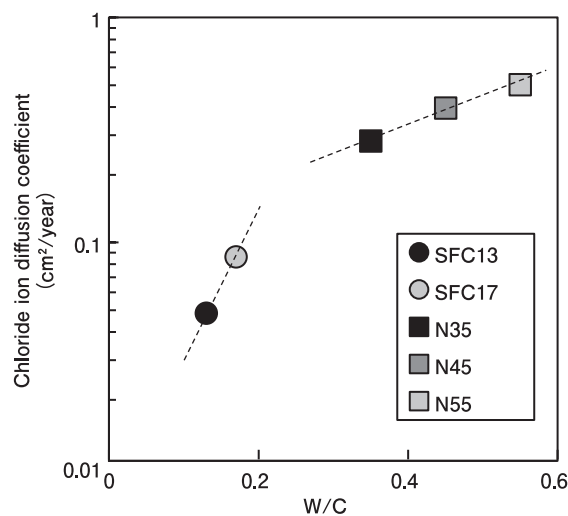


図3 各種コンクリートのW/Cと塩化物イオン実効拡散係数の関係

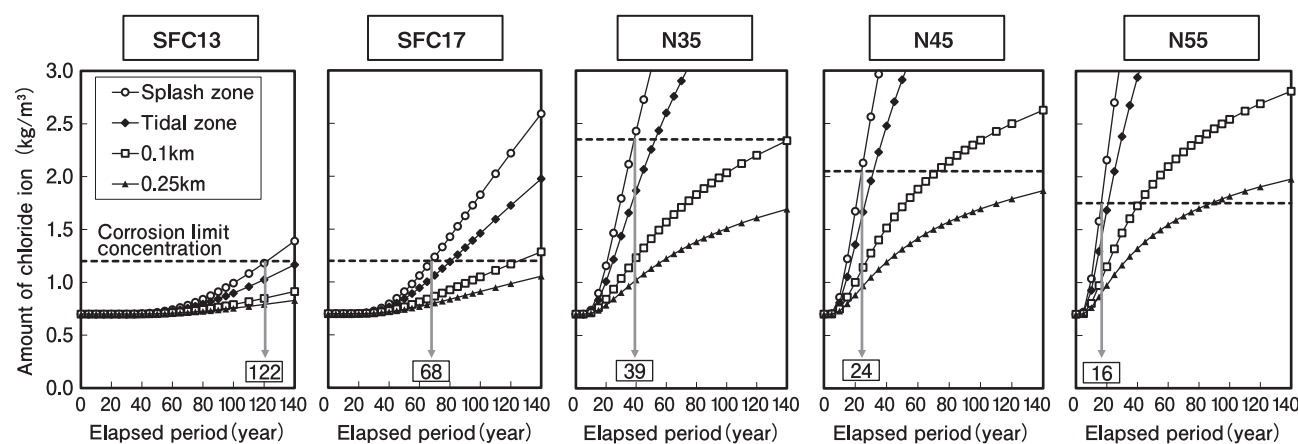


図4 塩化物イオン実効拡散係数から試算した各種コンクリートの耐用年数 (Cl^- : 0.7kg/m^3)

めた。供試体は $\phi 15 \times 15\text{cm}$ の円柱とし、材齢28日まで標準水中養生後、14日間気中養生した。

4-4. 透気試験

透気試験はTorrent法(ダブルチャンバー法)により実施した。試験用供試体は $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の円柱とし、材齢28日まで標準水中養生した後、14日間気中養生した。供試体の側面は、エポキシ樹脂によりシールしてから測定した。

4-5. 総細孔量測定

総細孔量はMicromeritics社製AutoPoreV9600を用いて、水銀圧入式ポロシメータ法によって測定した。

試料は、所定材齢まで 20°C 封緘養生、または所定サイクル数までAC養生を実施したコンクリート供試体について、中心部をジョークラッシャーで粗砕後、ふるいにより 5mm 以上 2.5mm 以下に分級したモルタル部を用いた。選別した試料は、アセトンで24時間以上浸漬し水和停止処理をした後、真空乾燥(D-dry)を実施した。また、空隙の測定範囲は、 $10\text{nm} \sim 100\mu\text{m}$ とした。

5. Step2の試験結果

5-1. 塩化物イオン拡散

図3に各種コンクリートのW/Cと塩化物イオン実効拡散係数の関係を示す。塩化物イオン実効拡散係数は

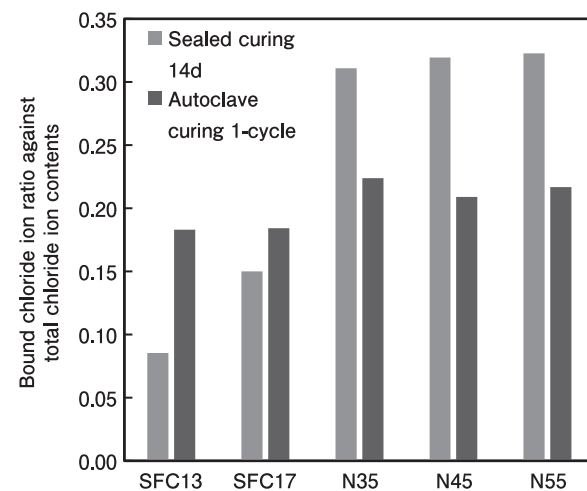


図5 試料中の全塩化物イオンに対する固定塩化物イオン比

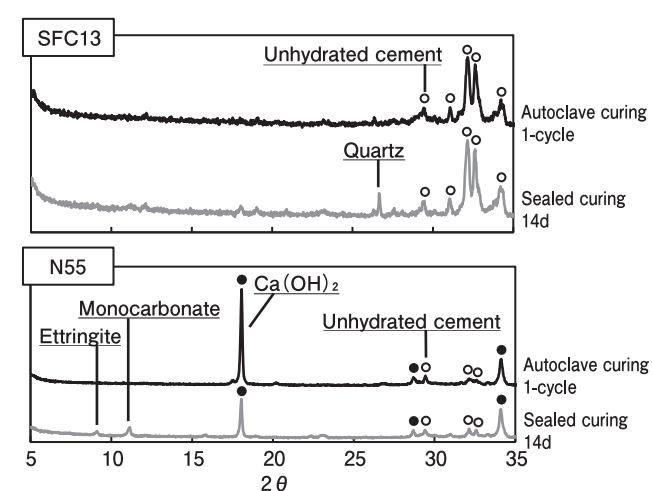


図6 SFC13およびN55のXRD測定結果

W/Cが小さいほど減少する傾向を示し、SFCを使用した低W/Cのコンクリートでは特に塩化物イオン実効拡散係数が小さいことから高い塩分遮蔽効果があると考えられる。

図4に塩化物イオン実効拡散係数から試算した各種コンクリートの耐用年数を示す。これは、内在する塩化物イオンが外来塩分などの環境影響によってコンクリート内部に拡散濃縮した場合を想定し、鉄筋周辺の塩化物イオン量が発錆限界を迎えるまでの年数を試算したものである。耐用年数の試算は日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」⁵⁾に示された塩害に対する性能の検証方法を参考に算出した。ただし、指針ではシリカフェームを用いた場合の腐食限界塩化物イオン量が 1.20kg/m^3 と設定されているため、算定に用いる初期塩化物イオン量は 1.20kg/m^3 以下の条件として 0.7kg/m^3 とした。また、鉄筋位置のコンクリート表面からの深さは 70mm とした。結果として、鉄筋近傍の塩化物イオン量が発錆限界を迎えるまで耐用年数は、W/Cが小さくなるほど長くなる傾向が確認された。特に、SFC13では飛沫帯であっても耐用年数が122年程度と長期の耐久性を示した。

5-2. 塩化物イオンの固定化

図5に試料中の全塩化物イオンに対する固定塩化物イオン比を示す。試料にはセメントペーストを使用し、ペースト中に固定される塩化物イオン量を評価した。SFCを使用した場合は封緘養生14日に比べて封緘養生14日後にAC養生を実施した試料の方が固定塩化物イオン比が大きくなったのに対して、Nを使用した場合は封緘養生14日の固定塩化物イオン比の方が大きくなった。このような結果を示した要因の一つとして、セメント水和物による塩化物イオンの固定化が考えられる。図6にSFC13およびN55のXRD測定結果を示す。SFC13ではAC養生後に未水和セメントのピークの減少やQuartzのピークの消失などが確認された。一方、N55ではAC養生前にはエトリンガイト($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)やモノカーボネート($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$)の回折ピークが確認されたが、AC養生後には消失した。既往の研究では、エトリンガイトやモノカーボネートについて、一部が塩化物イオンと反応し固定化されるとの報告⁶⁾もある。このことから、これらの水和生成物の消失が図5に示したAC養生前後における固定塩化物イオン比の差に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

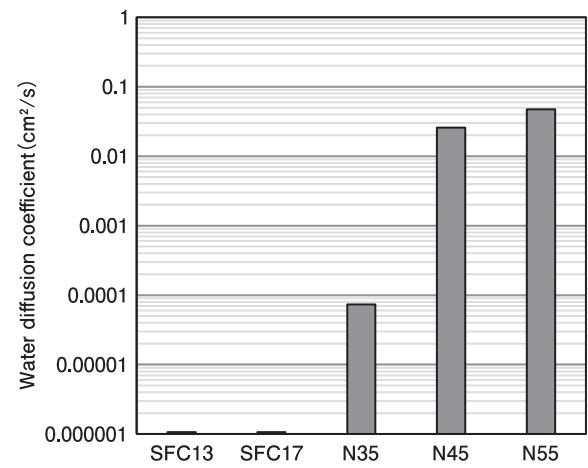


図7 水の拡散係数

5-3. 透水性・透気性

図7に水の拡散係数，図8に透気係数を示す。水の拡散係数はW/C=35%以下において顕著に低下し，透気係数はW/C=45%以下で顕著に低下した。特にSFCを使用したコンクリートの水の拡散係数および透気係数は共に極めて小さいことから，コンクリートにひび割れなどの損傷が発生していない状態では外部からの水や空気の供給はほとんどないと考えられる。

5-4. 細孔構造

図9に各試料の総細孔量の推移を示す。試料はコンクリート中のモルタル部を用いた。SFCを使用した試料はAC養生によって総細孔量が減少したのに対し，Nを使用した試料はAC養生後の総細孔量の減少は認められず，AC養生のサイクル数に伴って総細孔量が増加する傾向がみられた。Nを使用したコンクリートについては，既往の文献⁷⁾においてもAC養生後に細孔量が増加する傾向が確認されているが，その原因については明らかになっていない。

図10に各試料の封緘養生7日およびAC養生5サイクル時点の積算細孔量を示す。封緘養生7日の総細孔量は二段階で増加するような傾向がみられたのに対して，AC養生後の総細孔量は細孔径0.1μm付近から積算細孔量が鋭く立ち上がるような傾向へと変化した。このような細孔構造の変化は，AC養生によるセメ

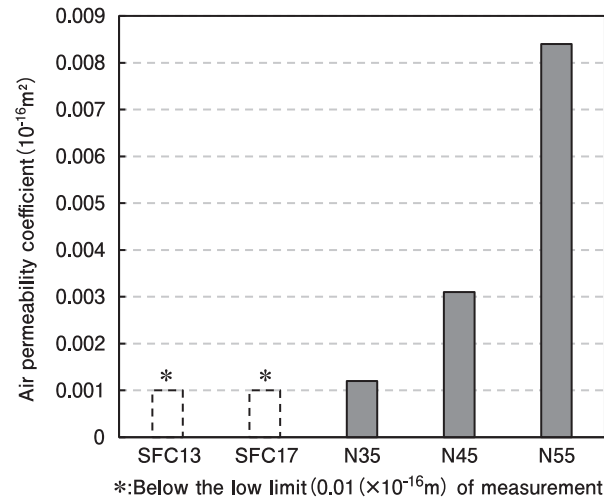


図8 透気係数

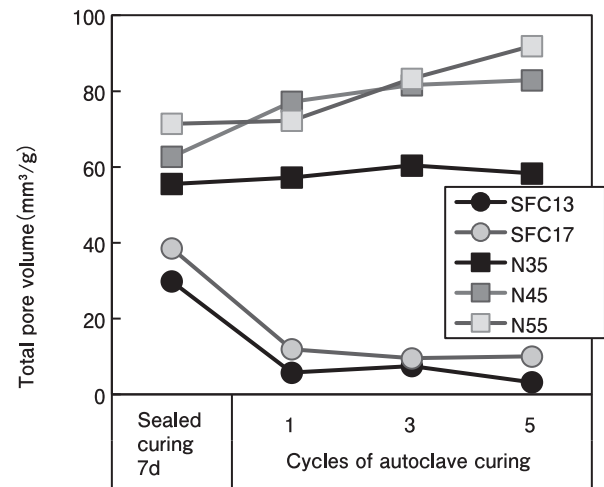


図9 各試料の総細孔量の推移

ントやシリカフュームの水和反応の促進によって生成された水和物が粗大な空隙に充填されることで生じたと考えられ，緻密な細孔構造が形成されたことが示唆された。

さらに，総細孔量と鉄筋腐食の影響因子である塩化物イオンの拡散との関係について検討した。図11に総細孔量と塩化物イオン実効拡散係数の関係を示す。塩化物イオンの拡散は硬化体の細孔構造と電気的作用の両方から影響を受けると考えられている⁸⁾が，ここでは電気的作用は考慮せず細孔構造のみで塩化物イオンの拡散性を評価した。その結果，総細孔量と塩化物イオン実効拡散係数には相関関係が認められ，細孔構造が塩化物イオンの拡散性に影響を及ぼしていることが示唆された。

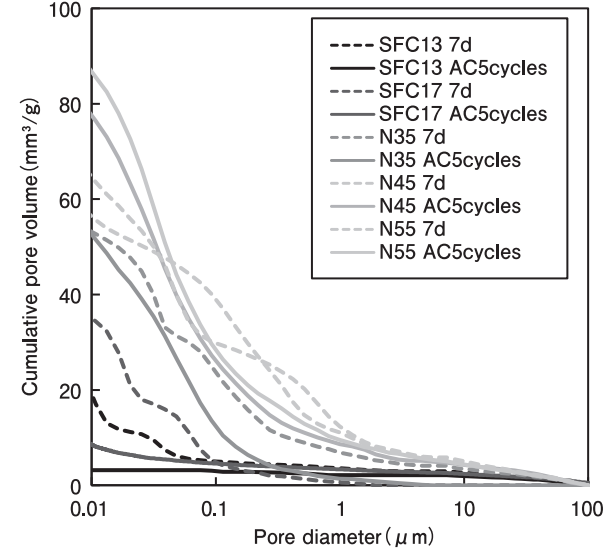


図10 各試料の封緘養生7日およびAC養生5サイクル時点の積算細孔量

6. まとめ

SFCおよびNを使用したコンクリートの発錆限界を迎える塩化物イオン量を明らかにするため，所定量の塩化物イオンを添加したW/C=13～55%のコンクリートにおいて，オートクレーブ法による鉄筋の促進腐食試験を実施した。また，鉄筋腐食を生じる影響因子として，塩化物イオン拡散，塩化物イオンの固定化，水の拡散，透気係数および硬化体の細孔構造に着目して鉄筋腐食との関係性について検討した。その結果，得られた知見を以下に示す。

- (1) SFCを使用したW/C=13～17%のコンクリートでは，塩化物イオンが1.5kg/m³含まれていても高い鉄筋腐食抵抗性を有した。
- (2) Nを使用したコンクリートはW/Cの低下に伴って鉄筋腐食抵抗性が向上し，W/C=35%では塩化物イオン量0.4kg/m³含まれていても高い鉄筋腐食抵抗性を有した。
- (3) コンクリートの物質透過性はW/Cが小さくなるほど低減する傾向を示した。特にSFCを使用したコンクリートは，Nを使用したコンクリートと比較して物質透過性が顕著に低減した。

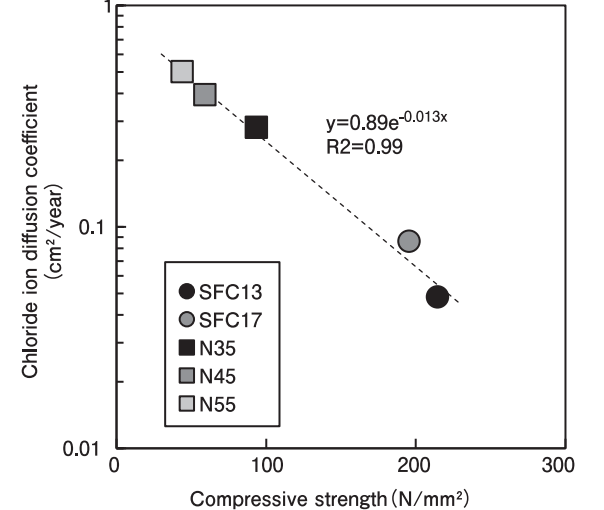


図11 総細孔量と塩化物イオン実効拡散係数の関係

- (4) セメントペーストの塩化物イオン固定化性能は，封緘養生14日ではNの方が高く，封緘養生14日+AC養生ではNとSFCで同程度となった。
- (5) モルタル部の総細孔量はW/Cの低下に伴って減少する傾向を示した。また，総細孔量の減少に伴って塩化物イオンの実効拡散係数が減少したことから，コンクリート中のモルタル部の総細孔量の低減に伴って鉄筋腐食に対する抵抗性が向上することが示唆された。

【参考文献】

- 1) 小島正朗／高強度コンクリートにおけるシリカフューム適用事例，コンクリート工学，Vol.52，No.5，pp.445～450，2014
- 2) 石中正人他／内在塩化物による超高強度コンクリートの鉄筋腐食抵抗性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.65，pp.435～441，2011
- 3) 吉瀬健二，榊田佳寛，中村成春／高強度コンクリートの塩害抑制効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.991～996，1999
- 4) 岸谷孝一他／塩害(II)，p.116，技報堂出版，1991
- 5) (一社)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説，pp.126～140，2016
- 6) 平尾宙他／塩化物イオンの固定化に及ぼすセメント組成の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.855～860，2004
- 7) 武若耕司，小林一輔／オートクレーブによるコンクリート中の鋼材の腐食促進試験，第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp.161～164，1981
- 8) 菊地道生，須田裕哉，佐伯竜彦／酸素および塩化物イオンの実効拡散係数によるセメント系硬化体におけるイオン移動性状の評価，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.346～353，2010

集成材を側面に配して補強した PCaPC 梁の古平町複合施設新築工事への適用

Application of PCaPC beams reinforced by putting glulam on the side to new construction of
Furubira-cho complex facility

相馬 智明 小山 智子 三崎 利彦 武井 健 森山 毅子彦 是永 健好 竹崎 真一

1. はじめに

古平町複合施設かなえ〜るは、北海道古平郡古平町に位置し、同町の役場庁舎、図書館、地域交流センターおよび地域防災センターが集合した複合施設である。同町は北海道で初めて「ゼロカーボンシティ宣言」を行った環境配慮に関心の高い町である。その模範を示すことになる本複合施設は、写真1に示したように、建物全体を樹木による「木立」をモチーフとしてデザインされており、地球環境への配慮とともに、豊かな施設環境の両立を具現化したものである。建築地と建物配置を図1に示す。当該地の気候は道内では比較的穏やかであるものの垂直積雪量150cmとなる寒冷地であり、また同施設は石狩湾から約250mに位置することから、塩害対策も重要な要件となる。



写真1 外観写真

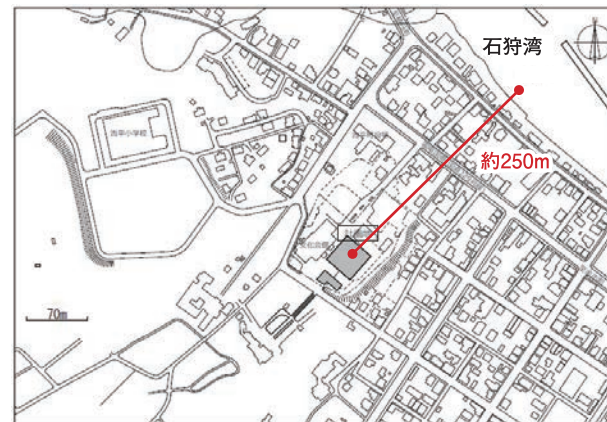


図1 建設地と建物配置

2010年に制定された木材利用促進法(現・脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律)により公共建築物の木造化、木質化が積極的に進められてきている。公共建築物である本施設でも木材利用を進めるひとつの方法として、集成材とプレキャストプレストレストコンクリート(PCaPC)梁を一体化させた木-プレストレストコンクリート(PC)複合梁(以下、TW-PC梁)を開発し適用した。PCaPC梁の左右側面に集成材が取付くことで室内空間の意匠性を向上させると同時に、集成材は製作時には型枠としての役割を担い、製作後には梁断面の一部となって構造性能も向上させる多面的なメリットを有する部材である。本稿ではこの複合施設の設計・施工と、木-PC複合梁の構成技術を報告する。

2. 建築概要

本建物は、町の賑わい中心のひとつとなることを期待された行政施設であり、災害時には防災拠点となって地域の安心・安全に貢献する。前述のとおり、地球環境への配慮と施設環境の両立を目指しており、環境性能はZEB ReadyのBELS認証取得とCASBEE Sランクを取得している。ZEB ReadyのBELS認証は北海道の公共施設で初めてのことである。

地上3階、塔屋1階建ての鉄筋コンクリート(RC)のラーメン構造で耐火建築物である本建物は、避難安全検証法のルートCによって内装制限の緩和が適

表1 建物概要

工場名称	古平町中心拠点誘導複合施設建設事業
発注者	古平町
設計	大成建設(株)一級建築士事務所 大成建設(株)札幌支店一級建築士事務所
施工	大成建設(株)札幌支店
工期	2020年4月3日～2022年2月10日
構造	鉄筋コンクリート(RC)構造
用途	複合施設(庁舎、集会所、図書館)
建築面積	1,323m ²
延床面積	3,887m ²
基礎工法	既製コンクリート杭／杭頭半剛接合構法
建物高さ	16m

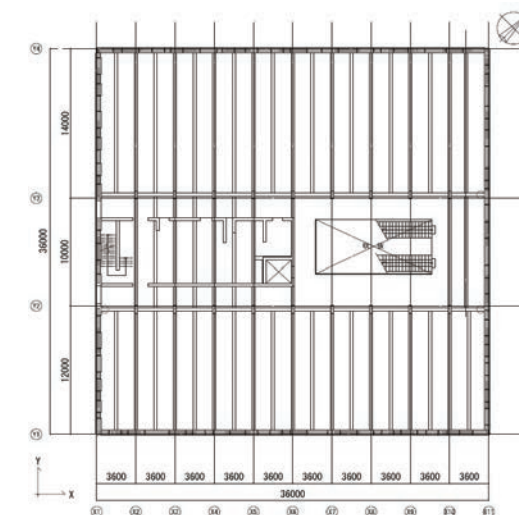


図2 基準階の平面プラン

用されている。工事期間は2020年4月から2022年2月までの22か月であった。建物概要を表1に示す。

3. 構造計画

3-1. 全体計画

本建物の耐震安全性は、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」により、耐震等級I類の指定を受けている。

平面形状は図2に示すように、36m×36mの正方形であり、スパンはX方向：3.6m×10、Y方向：12m、10m、14mである。構造架構の概略を図3に示す。外周には垂直な部材がほとんどなく、数種類の角度に傾いた壁柱をランダムに配置しているのが大きな特徴である。また壁柱の外側には断熱材を貼り付け

そうま ともあき / SOMA Tomoaki
大成建設(株) 技術センター 主任研究員 博士(農学)

こやま さとこ / KOYAMA Satoko
同上 設計本部 室長

みさき としひこ / MISAKI Toshihiko
同上 札幌支店 作業所長

たけい けん / TAKEI Ken
同上 札幌支店 課長

もりやま きしひこ / MORIYAMA Kishihiko
大成建設(株) 建築本部 課長

これなが たけよし / KORENAGA Takeyoshi
同上 技術センター 名誉研究員 博士(芸術工学)

たけざき しんいち / TAKEZAKI Shinichi
同上 技術センター 主任研究員 博士(工学)

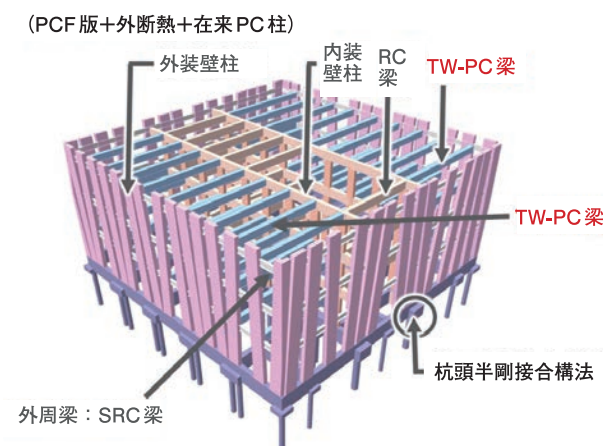


図3 構造架構概略

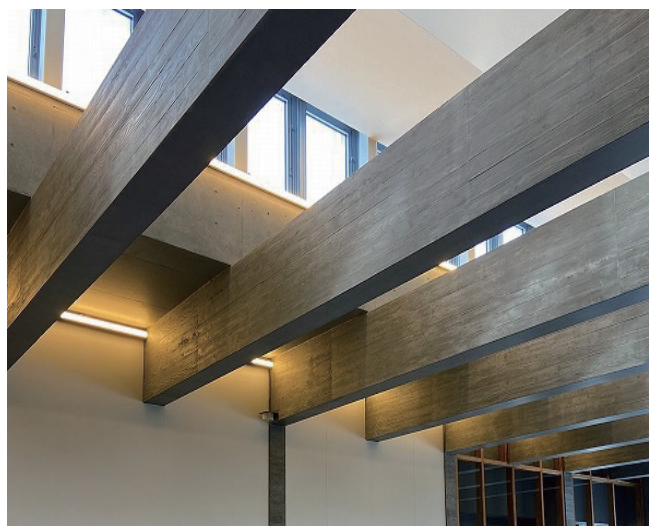


写真2 最上階木目模様梁

たプレキャストコンクリート壁型枠(PCF)版が取り付けられており、内側は浮造り加工した焼きカラマツ本実型枠によってコンクリート表面に木目模様を転写した打放し仕上げとなっている。

人が集まるゾーンには、“温かい木立に人が集まる”というコンセプトのもと、柱のふかし内に温水チューブを埋込む内壁暖房を採用している。斜め壁柱が配された外観デザインは木々が自然に並ぶ様を表現しており、壁柱以外の部分はサッシュとなっている。ZEBの実現が設計条件となっていたため、熱損失を防ぐために開口部面積の制限があり、壁柱はその制限に考慮した見つけ幅としている。

意匠性を考慮して全ての外周壁柱を傾斜させたいところであったが、構造的なバランスに配慮して、Y2、

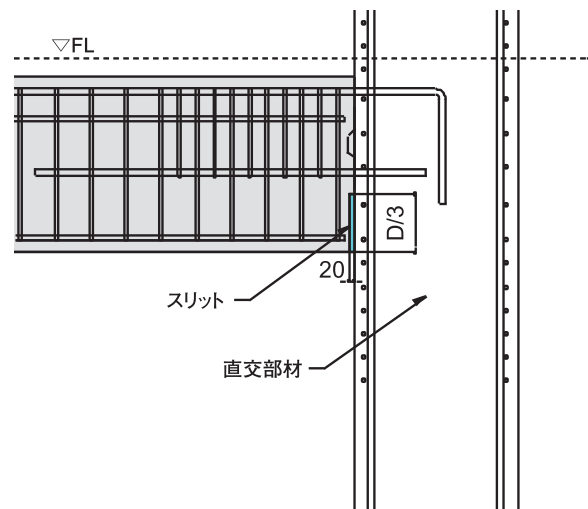


図4 梁端部取合い詳細図
[柱-梁接合部]

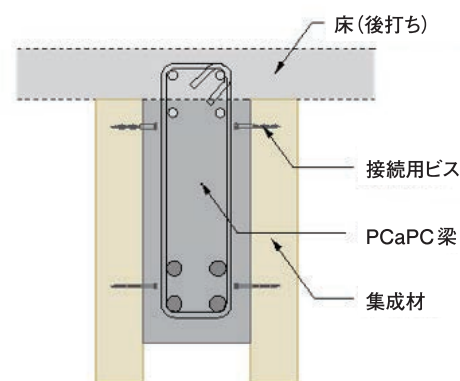


図5 TW-PC梁の断面図

Y3通りを含め、外周壁柱58本のうち19本を垂直に配置した。

構造形式は前述の通り、RCのラーメン構造を基本とし、12mと14mのロングスパン部分は後述するTW-PC梁とし、外周壁柱を結ぶ梁は、短スパンとなるため鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)梁とした。他の部材はすべてRCとしている。また、建物中央部分の吹き抜け空間(スパン10m)の最上部の梁7本は、写真2に示すようにコンクリート表面に木目模様を転写した打放し仕上げのPCaPC梁とした。

TW-PC梁は1.8mピッチで配置している。TW-PC梁の端部は、図4に示すように、面外曲げを伝達させないように梁の上端筋のみを定着する納まりとし、梁下端には梁成の1/3のスリットを設けた。スリット部にはスタイロフォームを取付けている。斜めの壁柱がランダムに

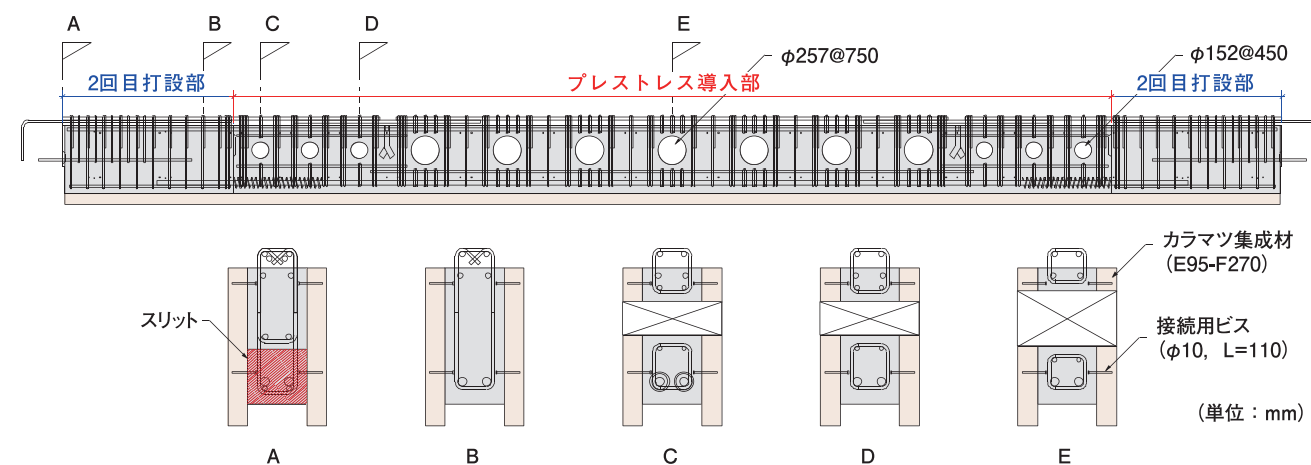


図6 TW-PC梁形状の一例

配置されるため、TW-PC梁端部は、柱、直交梁、柱・直交梁接合部の3種類と接合される。TW-PC梁の全長は、それらのパターンに従って異なっており、全10種類となった。

建物正面入り口上には、壁柱間に生じるねじれを抑えるための梁を設けている。塔屋部分では、腰壁上から鉄骨造としており、Y方向は妻壁に耐震壁を設けて地震力を負担している。

基礎は杭基礎であり、杭頭半剛接合構法を採用しており、大地震時に杭頭および基礎梁への応力負担を低減している。

3-2. TW-PC梁の設計

RC造建築物での木質空間を実現するため、PCaPC梁に集成材を左右から合成したハイブリッド梁、TW-PC梁を開発し、本建物に初めて適用した。集成材に挟まれたPCaPC梁は、梁下端の主筋として配したD35を高強度鉄筋PCSD590(東京鉄鋼(株)社製)とし、これを緊張材として利用するプレテンション方式のPCaPC梁である。梁断面の概要を図5に示す。PCaPC梁の両側面に集成材が接続用のビスで留め付けられており、PCaPC梁の製作時にはそれらの集成材が型枠として利用されている。この集成材は合成梁として断面性能を向上させており、ハイブリッド部材として曲げ性能の向上にも寄与している。TW-PC梁は2階からR階梁まで各層で合わせて120



写真3 室内写真

本を適用している。本建物に適用した断面は、PCaPC梁は270mm×750mm(R階は850mm)で、集成材は幅90mmのカラマツ集成材(E95-F270)である。

TW-PC梁は最も長いもので約13mとし、その全長を工場で製作するプレキャスト製品である。中央部分の10.6mの範囲をプレストレス導入部として先行打設し、その両端をプレストレス導入後に打設し製作している。従来のPCaPC梁では、プレストレス導入部分のみを工場製作とし、梁両端部と直交部材との接合部は現場打コンクリートとしていたが、木質部の見え方に配慮して集成材を梁の途中で継ぐことなく、梁の全長に渡って一本の集成材一例で構成するために、全長を工場製作とした。

TW-PC梁形状の一例を図6に示す。先行打設するプレストレス導入部分は、PCaPC梁であり、下

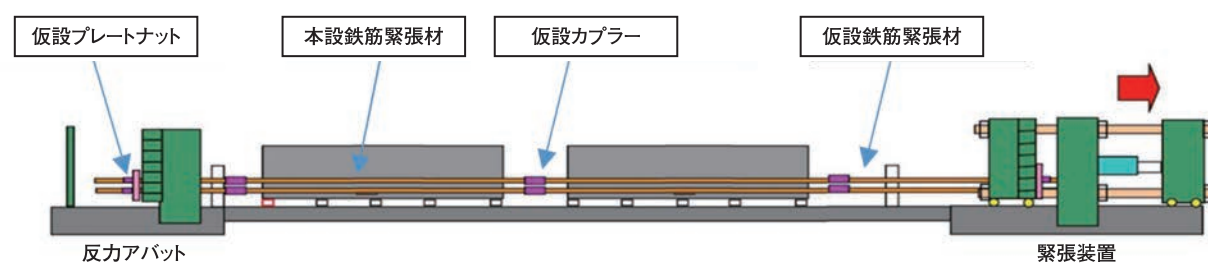


図7 製作時の部材配置状況図

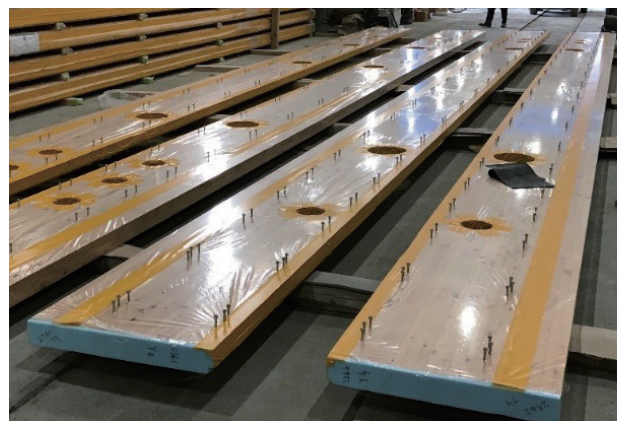


写真4 集成材へのビス取付けとPEシート養生

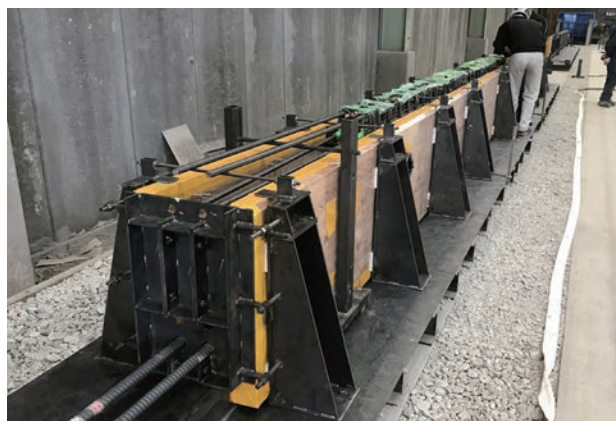


写真5 TW-PC梁の製作状況

端主筋のD35にPCSD590を緊張材として用いて、プレテンション方式によりプレストレスが導入されている。2回目打設部分の鉄筋は、梁端部の小口から差込むことで設置した。複合施設ということもあり梁スリーブが多く、梁中央部には径257mmと径152mmのスリーブをそれぞれ@750, @450で最大16か所設けている。

今回、PCaPC梁に集成材を合成させたことにより、木材が吸収したCO₂を炭素として貯蔵しているとみなすことができ、また集成材はPCaPC梁製作時に一般的に用いる鋼製型枠の代替となり、さらに仕上げ材を兼ねることが出来るため、環境負荷低減に大きく貢献している。

本建物は耐火建築物であるため、集成材の耐力は考慮せず設計しているが、実大曲げ加力実験により、PCaPC梁単体に比べてTW-PC梁の曲げ剛性は10～20%、耐力は約50%向上していることを確認している。梁の曲げ剛性が上昇するため床振動を低減することが可能となり、上層の居住性が向上してい

る。また、プレストレスの導入にあたり下端主筋を緊張材とする構法を用いることにより、梁幅をより小さくすることで梁断面をスリム化することが可能となり、幅90mmの集成材との意匠的なバランスがよく、写真3に示したように、視覚的にリズムカルな木質空間を提供するものとなっている。

4. TW-PC梁の製作・施工

4-1. TW-PC梁の製作

TW-PC梁部材は計120本で、それらのすべてを會澤高圧コンクリート(株)鶴川工場で製作した。製作期間は2020年6月中旬～10月上旬の約4か月間であった。製作においては、工場の製作ライン(長さ約50m)に梁2本を1セットとし、2本/日を製作の基本サイクルとした。製作ラインの部材配置図を図7に示す。

コンクリートは設計基準強度 $F_c=70\text{N/mm}^2$ 、プレ



写真6 TW-PC梁の架設状況



写真7 施工完了時のTW-PC梁

ストレス導入時強度 $F_p=60\text{N/mm}^2$ とした高流動コンクリートを使用した。プレストレス導入のための緊張材は、PC鋼より線ではなく、梁の下端筋と兼用した降伏点 590N/mm^2 の緊張材4本とした。この緊張材は、緊張材として日本建築センターの評定を取得したPCSD590を使用し、初緊張力は計1,920kNとした。

集成材の接続用ビスの配置状況および養生状況を写真4に示す。接続用ビスは集成材の上下部に一般部2本、端部3本をそれぞれ@600で配置している。このビスピッチは、同ビスの1面せん断試験の結果から得られたせん断性能値に基づいて決定している。また、打設翌日にプレストレスを導入するため、強度の発現を促進する目的で蒸気養生を行っている。この蒸気養生の水分による集成材の変色や変形の防止と、集成材とコンクリートの界面におけるコンクリートの硬化不良の防止を目的として、集成材には耐水塗料を塗布し、さらにポリエチレン(PE)シートで集成材

全体を包み養生した。

TW-PC梁の製作状況を写真5に示す。製作時に集成材を型枠として兼用するが、コンクリートの側圧により集成材に面外変形が生じないよう、鋼製の支柱を約1mの間隔で設置し、部材の断面寸法精度を確保しながら集成材の面外変形を抑える製作計画とした。

4-2. TW-PC梁の施工

TW-PC梁の架設状況を写真6に、施工完了状況を写真7に示す。TW-PC梁と柱および外周梁との接合部は場所打ちコンクリートとなるため、TW-PC梁を支保工で受ける計画とし、部材架設は2工区に分けて行い、1日平均11本(最大14本)を架設した。架設手順は、接合部の納まり上、柱配筋後とし、部材架設後に桁梁の配筋を行う手順とした。TW-PC梁はプレストレス導入後に生じるむくりのバラツキも小さく、精度良く架設することができた。

5. おわりに

古平町複合施設かなえ〜るに、北海道産のカラマツ集成材とPCaPC梁を一体化させたTW-PC梁を初適用した。TW-PC梁の製造時にはコンクリートの硬化促進のため蒸気養生を行うため、型枠として利用する集成材には変形抑制、汚損防止のための耐水養生を行うなどの工夫が必要であった。また集成材とコンクリートを一体化する接合具としてビスを選択し、外側から接合具が見えないようにして、梁の意匠性に配慮した。

今回適用されたTW-PC梁は、RC造の建物を相当量の木材を利用して木質化させることができる部材である。脱炭素社会の実現に寄与するひとつの部材構成技術として広く社会に紹介して適用物件を増やしながら、木材利用を促進していく予定である。

2021年福島県沖地震と コンクリート構造物

Damage to concrete structures in the 2021 Fukushima earthquake

塚原 高志 上野 智之 木野 淳一

1. はじめに

2021年2月13日深夜、福島県沖を震源とするマグニチュード7.3の地震(以下、福島県沖地震と呼ぶ)が発生した。この地震により、宮城県、福島県において最大震度6強を観測している。

鉄道構造物は1995年の兵庫県南部地震以降、耐震性能の低い構造物に対して耐震補強が進められている。東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本と呼ぶ)においても、大地震時にぜい性的な破壊を生ずる恐れのある「せん断破壊先行型」の高架橋柱の補強に始まり、順次耐震性能の低い構造物の補強をすすめてきた。その成果として、福島県沖地震においては構造物の倒壊のような致命的な損傷は発生しなかった。しかしながら、列車の運行前には補修を行う必要がある被害がいくつか発生した。

表1 JR東日本における主な被害状況¹⁾

■東北新幹線		
主な被害		個所数
電柱被害	折損 ■	20本
	ひび割れ、傾斜他	約40本
架線断線		6本
架線金具等の損傷		約550個所
土木設備被害 ◆ [高架橋等の被害 (橋脚含む)]	柱損傷	10本
	サイドブロック損傷	3個所
	中層梁損傷	約60個所
	スラブ軌道突起部損傷	1個所
軌道変位・損傷		約220個所
駅設備被害 ▲	駅構内漏水	1個所
	その他(内装材等 破損)	約20個所
合計		約940個所

【参考】在来線における主な被害状況

主な被害		個所数
電柱被害	折損等	2本
土木設備被害	停車場設備損傷	1個所
軌道変位		約20個所
駅設備被害	駅構内漏水	1個所
	その他(内装材等 破損)	約10個所
合計		約40個所

表1に福島県沖地震での主な被害状況を示す。耐震補強が進んでいる高架橋柱および橋脚の被害は、耐震性が比較的高いため現時点では無補強の10本であった。この被害の程度も深刻なものではなく、早期に復旧することができた。中層梁損傷は約60個所となっているが、これらは中規模地震での構造物の変形を制限するための部材であり、構造物の耐震性能を大きく損なう部材ではないことから、耐震補強の対象とはなっていない部材である。また、桁のサイドブロック損傷も同様であり、3か所で被害が発生したが、これら

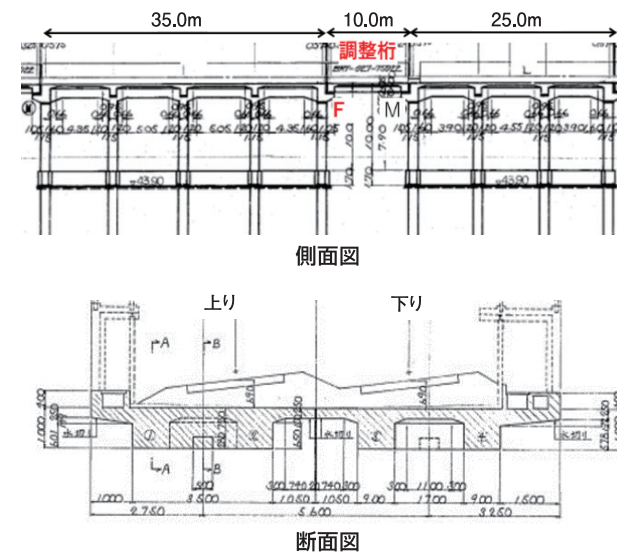


図1 調整桁一般図

は大規模地震で桁の落下の恐れがない個所での損傷であり、また桁の変位量も大きなものではなかった。電柱については折損が20本と、大きな被害が出た個所があった。これは、電柱の耐震補強は土木構造物に比べて着手が遅く、かつ対象数量が多量で、さらに電車の走行時間に一切作業ができないという悪条件から耐震補強の完了個所がまだ多くはないためである。

主なコンクリート構造物の被害と復旧状況を次章以降で報告する。

2. ラーメン高架橋調整桁の サイドブロック損傷

桁の移動を制限する装置であるサイドブロックが損傷した桁の事例として、一般図を図1に示す。本高架橋は1層4径間RCラーメン高架橋1基、1層3径間RCラーメン高架橋2基とそれらをつなぐ単線並列の調整桁(RC単純桁、L=10.0m)4連、その他RC単純桁1連(L=7.3m)で構成されている延長約134mの高架橋である。基礎形式は杭基礎で、φ1200の場所打ち杭であり、27mの深さまで施工している。

2-1. 被害状況

損傷状況を写真1に示す。本高架橋では、L=10.0m



写真1 損傷状況



写真2 応急復旧状況

の桁の線路直角方向に配置したRCサイドブロックが基部から損傷し、コンクリートのひび割れおよび剥離が発生した。損傷したRCサイドブロックは、地震により線路直角方向に桁から水平力を受けたことで損傷したと推定される。また、調整桁の桁受け部にはRCストッパーが埋設されているが、固定・上り線側のRCストッパーはコンクリートが完全に粉砕し、移動制限機能を失っていた。固定・下り線側は上り線側ほど大きな損傷は見られなかったが、RCストッパーの基部は脆弱化し、内部の鉄筋のみで桁からの水平力に抵抗している状態であった。

2-2. 復旧

写真2に応急復旧後の写真を示す。線路直角方向における移動制限機能の回復として、新たにH鋼とアンカーボルト(異形棒鋼)による鋼製ストッパーを損傷し

つかはら たかし / TSUKAHARA Takashi
東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター 主席

うえの ともゆき / UENO Tomoyuki
同上 構造技術センター

きの じゅんいち / KINO Junichi
同上 構造技術センター 課長 博士(工学)



(a) 桁外側のサイドストッパー

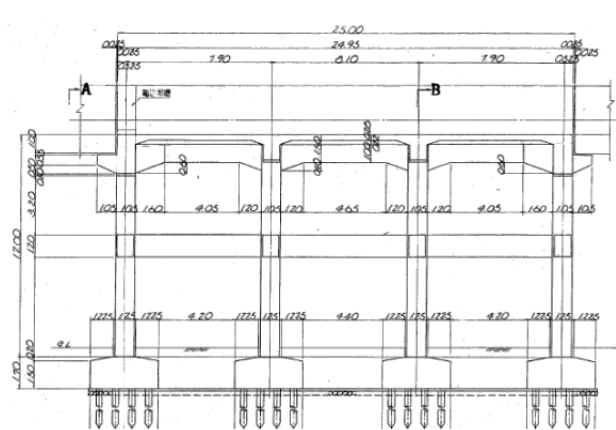


(b) 桁内側のサイドストッパー

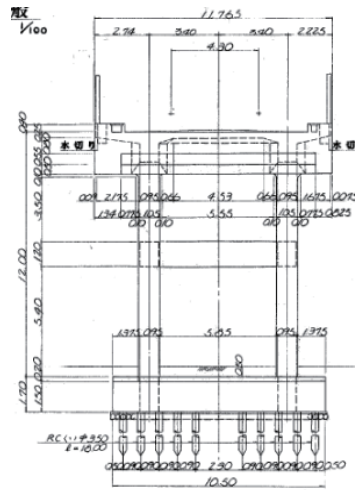
写真3 本復旧状況

たRCブロック位置に設置した。損傷したRCブロックは桁からの水平力が鋼製ストッパーへ均等に伝達されるよう断面復旧し、さらに緩衝材としてゴム板を設置した。可動側のRCストッパーは健全であるため、固定側が負担する桁半分の荷重に対してアンカーボルトやH鋼など必要な鋼材量を決定し、配置した。

写真3に本復旧後の写真を示す。今回と同程度の地震が発生した場合、当該桁は単線並列桁のため、それぞれの桁が左右バラバラに動き、桁同士が衝突する可能性がある。そのため、地震時に左右どちらに動いても個々の桁の移動を制限できるよう、上下線の桁間にそれぞれ1連分の桁水平力の半分を負担することができる鋼製ストッパーを設置し、それぞれのストッパーに防錆処理を施すことで本復旧とした。なお、軌道復旧への影響はなかったため、桁の位置調整は行っていない。線路方向には、桁かかり長が十分確保されており桁座が落橋防止構造として機能するものの、移動制限機能には、固定支承である側のRCストッパーが損傷していたため、両端ともに可動支承になっており、満足しない状態である。そのため、線路方向にも移動制限機能の回復を図ることとした。



側面図



断面図

図2 高架橋構造一般図

3. ラーメン高架橋中層梁の損傷

3-1. 被害状況

ラーメン高架橋中層梁の損傷は、主に線路直角方向に設置されている中層梁に生じた。損傷の程度に違いはあるが、曲げおよびせん断ひび割れが認められた。

図2に中層梁が損傷した高架橋事例の構造一般図を示す。なお、本高架橋は、全20基で、1層ラーメン高架橋5基、2層3径間RCラーメン高架橋8基、2層4径間RCラーメン高架橋7基が混在し、それらをつなぐ調整桁(RC単純桁、L=8～10m)で構成されている。延長約800mの高架橋で、高さ(地中梁天端～スラブ天端)は10～13m程度である。基礎形式は杭基礎で、φ350のRC杭を地中18m程度の深さまで施工している。



写真4 中層梁の損傷状況

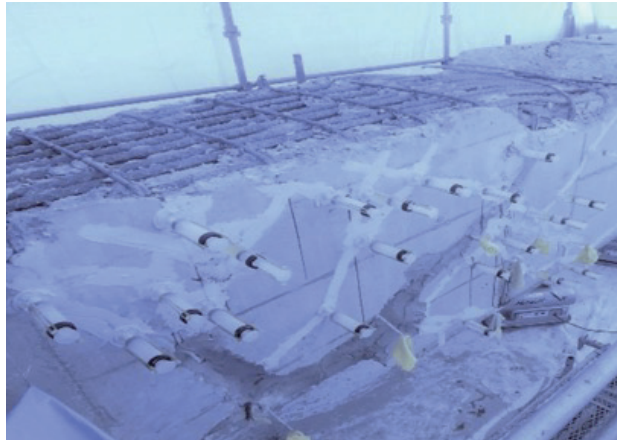


写真5 中層梁の復旧状況

損傷の大きかった箇所は、2層3径間で、一方の調整桁はL=8m、もう一方の調整桁はL=10mである。当該高架橋柱は、上下層ともに鋼板巻き立て補強にて耐震補強を実施済である。

中層梁の損傷状況を**写真4**に示す。せん断ひび割れが貫通し、かぶりコンクリートが剥落していた。同一ブロック内4本の中層梁全てにおいて、せん断補強鉄筋の一部が破断していた。

3-2. 復旧

復旧は、東北地方太平洋沖地震時の復旧方法と同様の方法で実施した。復旧状況を**写真5**に、復旧完了状況を**写真6**に示す。復旧方法は、従来構造物への性能回復を目的としている。損傷の大きかった中層梁の復旧手順は、初めに浮いたかぶりコンクリートを撤去し、軸方向鉄筋内部のコアコンクリートの損傷状況を確認した。コアコンクリート内のひび割れ個所に樹脂注



写真6 中層梁の復旧完了状況

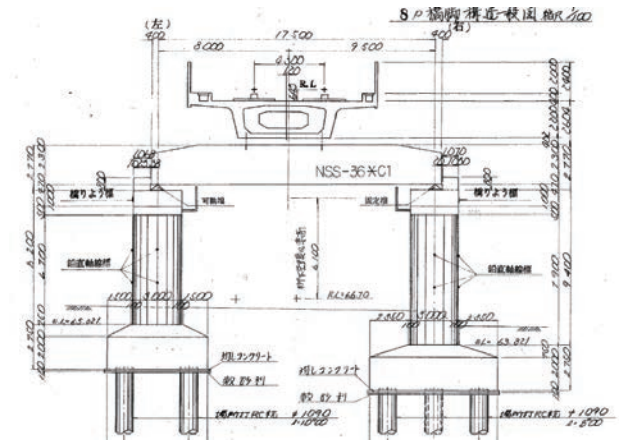


図3 橋りょう断面図

入を実施し、次に破断していたせん断補強鉄筋をフレア溶接にて復旧した。その後、断面修復を行い、復旧を完了した。軽微なひび割れは、コンクリートに浮きが生じていないことを確認し、シーリング後、樹脂注入により補修した。

4. 柱損傷 (RC橋脚の鉄筋途中定着部損傷)

RC橋脚の鉄筋の途中定着部を中心にかぶりコンクリートの剥落とひび割れが生じた。当該橋脚の線路直角方向の断面図を**図3**に示す。本橋りょうは他線との交差部にあたり、PC箱桁橋りょう(橋長350m：175m×2連)が鋼製馬桁形式で支持されている。馬桁を支持する橋脚は直径5.0m、高さ9.4mの単柱式円形橋脚である。橋脚基部から4.6mの位置で軸方



(a)全景
(b)鉄筋の途中定着部
写真7 被災状況

向鉄筋が途中定着されている。

4-1. 被害状況

被害状況を**写真7**に示す。損傷を受けた橋脚は馬桁の固定支承側である。鉄筋の途中定着部で軸方向鉄筋が面外方向に変形しており、かぶりコンクリートが剥落するとともにコアコンクリートにもひび割れが生じていた。剥落が生じた範囲では重ね継手で閉合されていた帯鉄筋が外れていた。また、鉄筋の途中定着部を起点として躯体に斜めひび割れが生じていた。

本損傷は馬桁の固定側支承を介して地震時の水平力が作用したことで鉄筋の途中定着部に曲げ損傷が生じ、それに伴い軸方向鉄筋、帯鉄筋の変形や躯体への斜めひび割れが生じたものと考えられる。

4-2. 復旧

復旧方針として、損傷を受けた構造物の性能を地震前の状態に回復させる応急復旧を行い、その後、将来発生する大規模地震に対して崩壊しないことを目的とする本復旧を行うこととした。

対象橋脚はコアコンクリートにはひび割れが発生しているのみで比較的健全な状態であったことから、応急復旧として、躯体に発生したひび割れへのエポキシ樹脂の低圧注入とフレア溶接継手により閉合した帯鉄筋の追加配置を行い、無収縮モルタルによるかぶりコンクリートの断面修復を実施した。



(a)全景



(b)近景

写真8 損傷箇所

5. 柱損傷 (RC橋脚の基部損傷)

RC橋脚の基部が損傷した事例を示す。損傷した橋脚は他線上空を跨ぐ馬桁の橋脚であり、右側橋脚のみが損傷を受けていた。橋脚上の馬桁や上部工の桁に損傷はなく、軌道変位等も確認されなかった。当該橋りょうの上部工は、合成桁(支間27.58m)4連が鋼製箱桁(L=16.0m~20.5m)である馬桁上に架設されており、下部工はRC造の矩形断面(H=9.5m~13.0m)となっている。下部工基礎はRC杭(Φ1.5m, L=28.0m)となっている。

5-1. 被害状況

主な損傷は橋脚の基部でかぶりコンクリートの剥落、浮き、帯鉄筋の変形、軸方向鉄筋の変形が確認された(**写真8**)。変状規模としては、右側側面のフーチング上面から高さ1.45m、幅2.4mの範囲で軸方向鉄筋が120mm程度面外方向に変形しており、帯鉄筋は軸



写真9 損傷したPC電柱

方向鉄筋の変形個所の一部で外れていた。

損傷は、馬桁の固定支承側で発生しており、橋脚右側面の被害が顕著であった。また、帯鉄筋のフックが設計上の135°ではなく直角フックになっており、軸方向鉄筋の変形に対する拘束力が不十分であったと考えられる。このことから、損傷原因としては地震時の慣性力を受ける馬桁の固定側橋脚であり、帯鉄筋のフック形状の不備が本損傷の原因の一つと考えられる。

5-2. 復旧

コアコンクリートにひび割れが生じていたことから、エポキシ樹脂によるひび割れ注入を低圧で行った。また、帯鉄筋としてD16鉄筋をフレア溶接継手にて追加設置を行い、無収縮モルタルによりかぶりコンクリートの断面修復を行った。軸方向鉄筋が面外方向への変形した個所では、コアコンクリートと鉄筋の間に隙間が存在し、断面修復材が十分に充填されない可能性があるため、空隙に対してあらかじめモルタルを充填した。断面修復により断面寸法を増加すると橋脚全体の剛性に影響を及ぼす可能性があるため、断面修復は鉄筋の最低かぶり厚を満足する程度(30mm)とし、極力もとの断面から変化しないよう留意した。

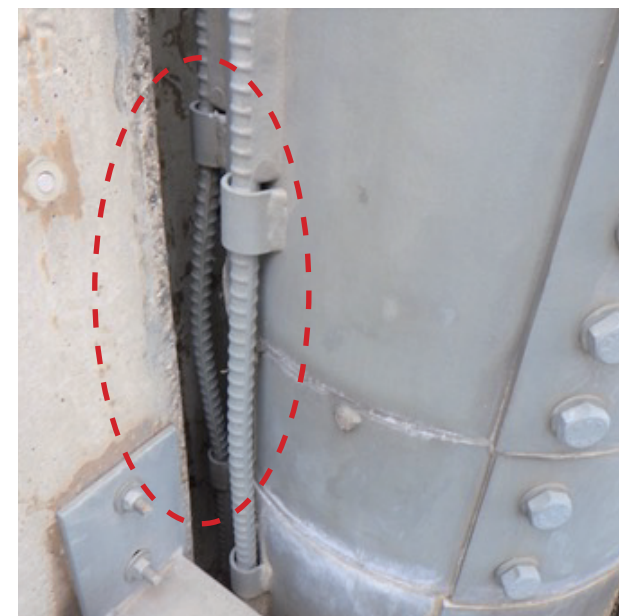


写真10 補強されたPC電柱の損傷例

6. 電柱の被害状況

東北新幹線の電柱は、主にPC電柱が使用されている。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震などで多数のPC電柱が折損したことから、被害を受けた個所を鋼管柱に交換するとともに、それ以外の個所についてもPC電柱の鋼管化あるいは耐震補強を進めてきた。しかしながら、福島県沖地震においてもPC電柱の折損事象が発生した(**写真9**)。

今回折損した電柱は、耐震対策が行われていない電柱、あるいは2011年以前に部分的な中詰め補強を行った電柱であった。

一方、東北地方太平洋沖地震以降にJR東日本で新たに開発したPC電化柱の高じん性化補強工法²⁾で補強された電柱には地震直後の調査で柱折損による倒壊は発生しておらず、耐震補強の効果が確認される結果となった。そこで、福島県沖地震で電柱が折損した個所の近傍に存在する高じん性化補強電柱について、近接しての目視および打音調査を行った³⁾。調査対象は福島～白石蔵王間の2か所、計19本である。

調査の結果、2本について目視検査の結果として、**写真10**に示すような補強鉄筋の変形が認められた。

打音検査の結果としては、鉄筋が変形していた2本の電柱を含め、異音はなく、内部コンクリートは大きな損傷を受けていないことが想定された。以上の状況から、無対策PC電柱が折損するような大きな地震動を受けた場合でも、鉄筋の伸び能力を活用した高じん性化補強手法はその性能を実験で確認した通り発揮しており、電柱の折損・倒壊を防ぐことができる有効な工法であることが確認された。

7. おわりに

福島県沖地震では鉄道コンクリート構造物の被害が生じ、一時的に列車の運休が生じた。しかし、これまでの耐震補強の成果から土木構造物の致命的な被害を防止できていたこと、PC電柱の耐震補強について

も補強個所の折損は生じなかったことから、これまで進めてきた耐震補強は効果があることが確認された。地震に強いコンクリート構造物の実現のため、今後も引き続き鉄道コンクリート構造物の耐震対策を進めていく所存である。

[参考文献]

1) 福島県沖地震に伴う東北新幹線の被害と復旧状況等について、東日本旅客鉄道株式会社プレスリリース、2021年2月26日
2) 佐々木、野澤、築嶋、金子／新幹線用コンクリート製電柱の地震被害とその対策、コンクリート工学、Vol.53, No.7, pp.622～628, 2015.7
3) 木野、佐々木、村上、國井／高じん性補強した電柱の地震後の損傷調査、SED、No.58, pp.122～129, 2021.11

一般向け環境パンフレット
セメントは安全で快適な暮らしを支えるサポーター

セメント協会ではとくに難しくなりがちな社会資本整備への取り組みや循環型社会への貢献を楽しいイラストや写真・グラフを多用してわかりやすく解説したパンフレットを作成しています。

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

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



[おもな内容] 1. みんなの安全な暮らしを守るコンクリート 2. セメントってどんなもの？ 3. 世界トップクラスの省エネ技術 4. 廃棄物をセメントの原料に 5. セメント工場がなかったら日本はゴミの山？ 6. 未来を守るセメント工場

炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定(その1)

CO₂ sequestration by carbonation of cement-based materials(Part1.)

兵頭 彦次 星野 清一

1. はじめに

炭酸化は、二酸化炭素(CO₂)がセメント系材料の中に拡散するとともに水和物と反応し、主に炭酸カルシウムを生成する化学反応である。炭酸化することにより、本来アルカリ性であるセメント硬化体は中性に近づく。中性領域がコンクリート内部の鋼材近傍に達すると、鋼材の不動態被膜が失われ、腐食の発生につながる。そのため、炭酸化は古くから鉄筋コンクリートの耐久性問題として認識されていた。

一方、気候変動に対する社会の認識が高まりつつある中、近年は、セメント系材料がCO₂を吸収し炭酸塩として固定化する側面にフォーカスした評価や技術アプローチに関心が集まっている。セメントがコンクリートとして使用され、解体・再利用される段階で、自然に大気中のCO₂を吸収し、安定的に固定する。このような効果を、植生や土壌による大気中のCO₂吸収と同じ概念¹⁾とみなし「カーボンシンク」としての効果を明らかにしようとする研究が進められている。また、強制的に

炭酸化することによってコンクリートの硬化を促進したり、再生骨材の弱点となる付着モルタルの物性を改善するなど、CO₂を吸収固定しながらコンクリートや骨材の機能を向上させる技術などが検討されている。

ここでは、炭酸化を利用したセメント系材料のCO₂

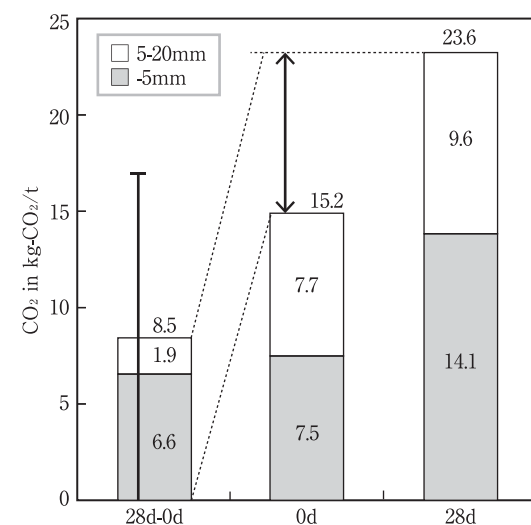


図2 再生砕石 1tあたりのCO₂固定量



図1 CO₂固定可視化実験

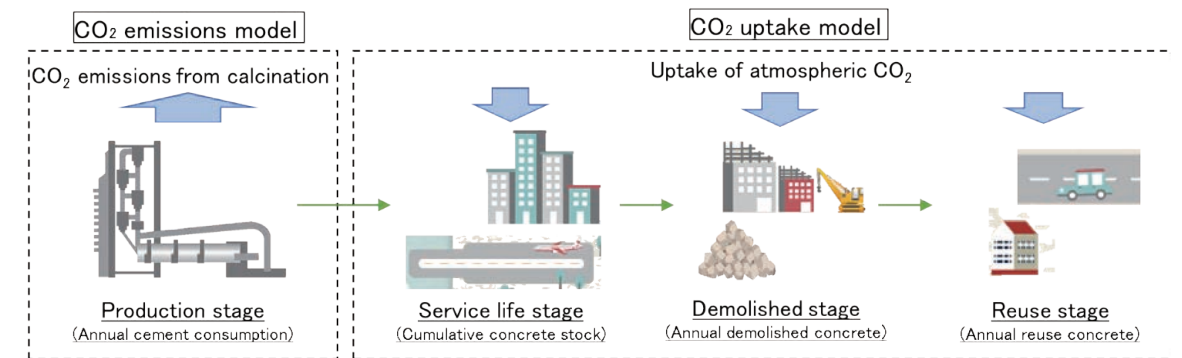


図3 ライフサイクルを通じたセメント・コンクリートのCO₂排出・吸収モデル

吸収固定に関する近年の動向について、2回にわたって解説する。第1回目である本編では、セメント・コンクリートのライフサイクルの中で、大気中のCO₂を自然吸収する量を評価する取組みについて記述する。

2. ライフサイクルを通じたセメント・コンクリートのCO₂吸収量評価

2-1. セメント・コンクリートのライフサイクル

生産されたセメントは、主に生コンクリートやコンクリート製品の原料として使用される。コンクリートは建築物や社会インフラの基盤材料として数十年～百年単位で使用され、その供用期間中に部材表面から大気中のCO₂を吸収する。

供用後、使命を終えたコンクリート構造物や建築物の多くは解体される。解体されたコンクリートは、主に再資源化施設に運ばれ、破碎、粒度調整等の工程を経て再生砕石やコンクリート用再生骨材に再資源化される。再資源化の過程において、コンクリートは供用中に比べて細粒化されることにより、大気との新しい接触面を形成し、急速にCO₂を吸収することが知られている²⁻⁵⁾(図1, 2)。

2-2. CO₂吸収量評価の研究動向

セメントおよびコンクリートのライフサイクルを図3に示すようにモデル化し、大気中からのCO₂の自然吸収量を国単位で算定する研究が、2000年頃から海外

を中心に行われている。表1に、各国のコンクリートのCO₂吸収率に関する評価事例⁶⁻¹⁵⁾を示す。コンクリートが吸収したCO₂量の程度をあらわす尺度としてCO₂吸収率を用いている。これは、セメントの製造過程で脱炭酸により発生したCO₂量に対するコンクリートのCO₂吸収量の割合であり、コンクリートが吸収できるCO₂の最大量が脱炭酸分に相当するという仮定に基づくものである。コンクリートのCO₂吸収率は、供用中の場合7～30%、解体・再利用段階も含めたライフサイクル全体の場合10～57%と算定され、研究者・評価機関により結果が大きく異なっていることがわかる。これは、算定モデルや条件、国のコンクリートの使用状況が異なることによると考えられる。

近年、これらを標準化し、CO₂吸収量を会計・報告する方法論が開発されている。IVLスウェーデン環境研究所は、これまで提案されたCO₂吸収量算定手法を、入力情報の大小や精度レベルに応じてTier1, 2, 3の三つのモデル分類し、IPCCへの報告形式に沿った形に再構成するとともに、各提案モデルの算定手法を正規化し、統計情報が少ない場合でも報告できるTier1モデルを構築した¹⁶⁾。

Tier1モデルは、式(1)～(5)に示す形で示されており、基本的な入力データは、その国で1年間に消費されたセメントの脱炭酸由来のCO₂排出量となっている。これによれば、供用段階のCO₂吸収量はセメントの脱炭酸由来のCO₂量の20%、解体段階は2%、リサイクル段階は1%とされ(式(1), (5)), ライフサイクルの中でコンクリートはセメントの脱炭酸由来のCO₂

表1 コンクリートのCO₂吸収率の評価結果

Authors	CO ₂ uptake(%)						
	Gaida and miller	Jacobsen and Jahren	Pade and Guimaraes				Nygaard and Leemann
Year	2000-2001	2002	2003				2012
Country	USA	Norway	DK	NO	SE	IS	Switzerland
Life cycle	-	14-19	57	33	33	34	-
Service life	7.5	-	24	16	18	28	7.5

DK: Denmark, NO: Norway, SE: Sweden IS: Iceland

Authors	CO ₂ uptake (%)						
	Anderson et al.	Yang et al.	Fitzpatrick et al.	Xi et al.	Vermeulen et al.	Andrade and Sanjuan	Hyodo et al.
Year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020
Country	Sweden	korea	Ireland	Global study	Netherlands	Spain	Japan
Life cycle	14-19	29-34	-	43	37	-	10-25
Service life	-	10	15	-	30	11	9-23

排出量の23%を吸収することになる。また、モルタルの使用量や再資源化されたコンクリートの統計値がわかる場合には、CO₂吸収量を修正できるオプション(式(2)，(3)，(4))も用意されている。

(1) 供用段階のCO₂吸収量

i) 1年間に消費されたセメントからの脱炭酸由来のCO₂排出量(CO₂,emi,cal)がわかる場合：

$$CO_2,uptake,use=0.20\times CO_2,emi,cal\cdots\cdots(1)$$

ii) 消費セメントのうちのモルタルへの利用割合(MR)がわかる場合(ただし10%<MR<30%)：

$$CO_2,uptake,use=0.20+0.015(MR-10)\cdots\cdots(2)$$

(2) 解体・再利用段階のCO₂吸収量

i) リサイクルプラントに持ち込まれた解体コンクリート量(Mdem)がわかる場合：

$$CO_2,uptake,dem=10kg\text{-}CO_2/m^3\times Mdem\cdots(3)$$

ii) リサイクルされたコンクリート量(Mre)がわかる場合：

$$CO_2,uptake,re=10kg\text{-}CO_2/m^3\times Mre\cdots\cdots(4)$$

iii) 解体およびリサイクルコンクリート量がわからない場合：

$$CO_2,uptake,dem+re=(0.02+0.01)\times CO_2,emi,cal\cdots(5)$$

2-3. 国内における算定結果

国内では,解体コンクリートを対象にCO₂吸収量に関する実験的研究²⁾や全国的な調査³⁾がなされ,土木学会コンクリートライブラリー No.134⁴⁾にこれらの成果が盛り込まれている。一方,海外のように,供用されているコンクリートストックが吸収するCO₂量の算定

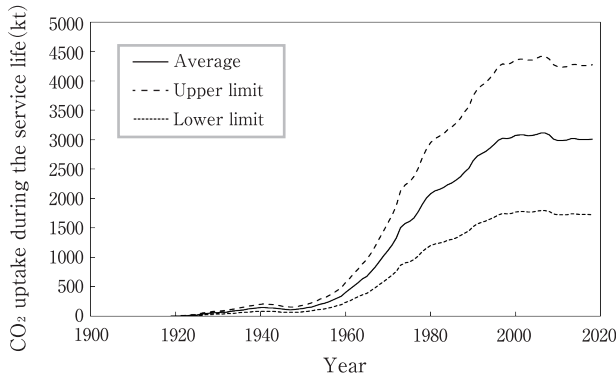


図4 日本国内におけるコンクリートストックの1年あたりのCO₂吸収量

事例は、これまで十分に検討されていなかった。

図4は、国内のコンクリートの中性化設計式や統計情報に基づき、1年間に日本国内のコンクリートストックが吸収するCO₂量を算定した最近の検討結果¹³⁾である。本結果は、1919年～2018年の期間に国内で消費されたセメントが全てコンクリートとして使用され、ストックされていると仮定したものである。これによれば、2018年における供用段階のコンクリートのCO₂吸収量は,170～420万t-CO₂(平均300万t-CO₂)と見積もられている。また、国内では,ほぼすべての解体コンクリートがリサイクルされている現状を踏まえたうえで評価したライフサイクル全体のCO₂吸収量は,210～510万t-CO₂であった。これは、同年のセメント製造によって排出された脱炭酸起源のCO₂排出量の10%～25%(平均18%)に相当する。

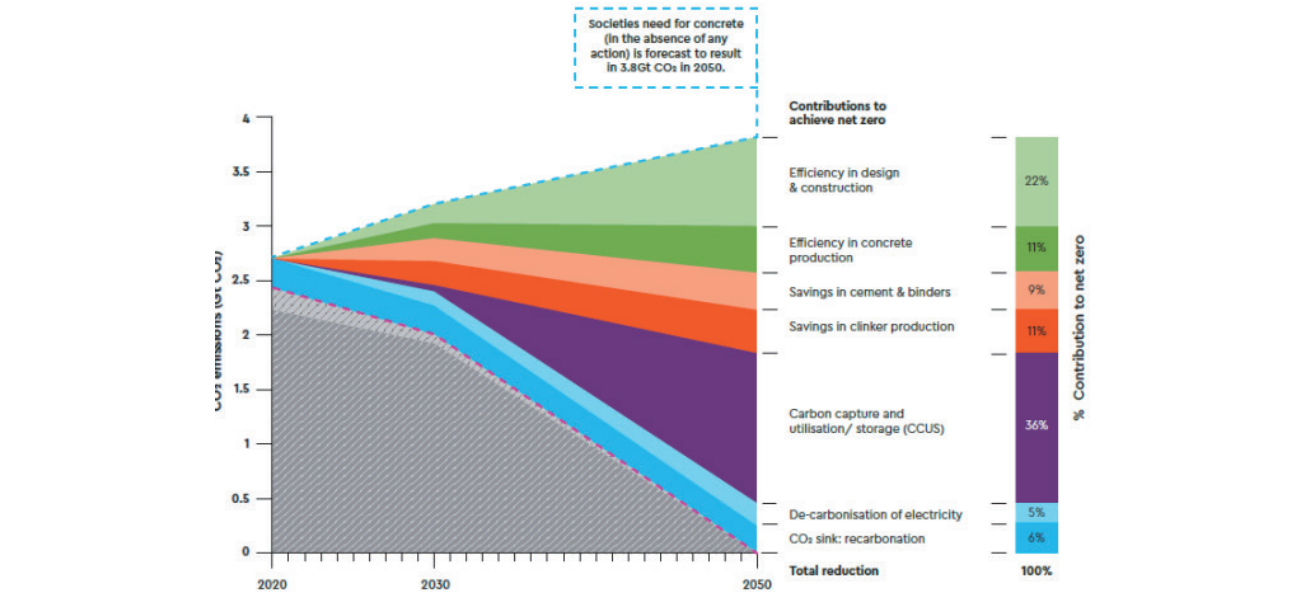


図5 GCCAのネットゼロ・ロードマップ

3. 標準化に向けた取組み

コンクリートがライフサイクルを通じて大気中のCO₂を吸収する現象は、すでに公的な評価機関においても認識されており、IPCCやIEAのレポート^{17,18)}にも記述されている。一方,これを会計・報告する国際的な仕組みが整っていないことから、現在、GCCA(Global Cement and Concrete Association)を通じて、広範囲で組織的な活動が展開されている。GCCAは、セメント・コンクリートサプライヤーが参画する世界的な組織であり、2021年秋にはセメント・コンクリート全体で2050年カーボンニュートラルを目指すロードマップを公開した¹⁹⁾(図5)。このロードマップでは、セメント・コンクリートがライフサイクルの中で大気中から自然に吸収するCO₂を”CO₂ sink: recarbonation”として取り込んでいる。

太平洋セメントは、GCCA内に設置されたロードマップ策定作業部会に立上げ当初から参画し、セメント・コンクリート分野におけるCO₂削減レバーやシナリオを世界各国のメンバーと審議してきた。また、日本国内でのセメント・コンクリートの実態や解体コンクリートの再利用状況・リサイクル制度等の情報を共有し、CO₂吸収評価を社会実装するうえでの課題やその算

定手法について議論を深めてきた。今後、GCCAでは、国際的な評価機関での認証・導入を拡大し、標準化を進めていく予定である。

4. おわりに

コンクリートは、水に次いで2番目に多く利用されている物質であり、膨大な量のストックが存在する。セメントが製造過程で排出するCO₂だけでなく、コンクリートとして使用時あるいは解体・再利用時に吸収する側面を考慮することにより、セメントが地球環境に及ぼす影響を正しく評価できるものと考えられる。



ひょうどう ひこつぐ
太平洋セメント(株) 中央研究所 第1研究部
セメント技術チームリーダー 博士(工学)



ほしの せいいち
同上 カーボンニュートラル
技術開発プロジェクトチーム 修士(工学)

【参考文献】

- 1) J. Gajda, F.M. Miller / Concrete as a Sink for Atmospheric Carbon Dioxide: a Literature Review and Estimation of CO₂ Absorption by Portland Cement Concrete (PCA R&D Serial No. 2255a). Portland Cement Concrete. 2000.
- 2) 黒田泰弘, 菊地俊文 / 解体コンクリートによる二酸化炭素の固定: コンクリート工学論文集. 2009, 20(1), pp.15~22.
- 3) 神田太朗, 曾根真理, 岸田弘之 / コンクリートの供用および再資源化による二酸化炭素の固定に関する全国調査. コンクリート工学. 49(8), 2011, pp.9~16.
- 4) 土木学会 / コンクリート構造物の補修・解体・再利用におけるCO₂削減を目指して補修における環境配慮および解体コンクリートのCO₂固定化(コンクリートライブラリー 134). 2012.
- 5) (公社)土木学会 / 土木学会コンクリート委員会「CO₂削減を考慮したコンクリート構造物の解体, 再利用, 補修技術に関する調査研究小委員会(219委員会)」CO₂固定視覚化実験より[<http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/download/CO2.wmv> (2022年3月31日確認)]
- 6) S. Jacobsen; P. Jahren / Binding of CO₂ by Carbonation of Norwegian OPC Concrete. Third CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of Cement and Concrete: Supplementary Papers. 2001, pp.329~338.
- 7) Claus Pade; Maria Guimaraes / The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective. Cement and Concrete Research. 2007, 37(9), pp.1348~1356.
- 8) Peter V. Nygaard; Andreas Leemann / Kohlendioxidaufnahme von Stahlbetonbauten durch Karbonatisierung (Carbon dioxide uptake of reinforced concrete structures due to carbonation). Cemsuisse Projekt 201106. 2012. (in German)
- 9) Ronny Andersson, Katja Fridh, Håkan Strippel, Martin Häglund / Calculating CO₂ Uptake for Existing Concrete Structures during and after Service Life. Environmental science & technology. 2013, 47(20), pp.11625~11633.
- 10) Keun-Hyeok Yang, Eun-A Seo, Sung-Ho Tae / Carbonation and CO₂ uptake of concrete. Environmental Impact Assessment Review. 2014, 46, pp.43~52.
- 11) Daragh Fitzpatrick, Mark G. Richardson, Éanna Nolan / Sequestration of carbon dioxide by concrete Infrastructure: A preliminary Investigation in Ireland. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. 2015, 10(1), pp.66~77.
- 12) Fengming Xi, Steven J. Davis, Philippe Ciais et al. / Substantial global carbon uptake by cement carbonation, Nature Geoscience. 2016, 9(12), pp.880~883.
- 13) Edwin Vermeulen / Balans tussen emissie en opname CO₂: Hoe zit het nu werkelijk met de CO₂-emissie en -opname door beton (Balance between emission and CO₂ uptake. What about the CO₂ emission and absorption by concrete?). 2017. (in Dutch)
- 14) Carmen Andrade, Miguel Ángel Sanjuán / Updating Carbon Storage Capacity of Spanish Cements. Sustainability. 2018, 10(12), e4806.
- 15) 兵頭彦次, 星野清一, 平尾 宙, 野村幸治 / ライフサイクルを通じたコンクリートのCO₂吸収量算定に関する研究. セメント・コンクリート論文集. 2020, Vol.74, pp.333~340
- 16) Håkan Strippel, Christer Ljungkrantz, Tomas Gustafsson, Ronny Andersson / CO₂ uptake in cement containing products: Background and Calculation Models for IPCC Implementation. IVL Swedish Environmental Research Institute. 2018.
- 17) IPCC / 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- 18) International Energy Agency / Energy and technology Perspective 2020.
- 19) <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW.pdf>

読者の皆様へ

本誌は、1947年の創刊以来75年にわたり、セメントとコンクリート技術の向上と普及を目指し発行を続け、去る2022年2月号をもって通算900号に到達いたしました。

これもひとえに読者の皆様のおかげと、関係者一同感謝いたします。

本4月号ですが、ご一読いただくとお分かりのように今回の900号を記念し、また皆様へのサービス向上の一環として本号よりオールカラー化とし、誌面を一新いたしました。

これにより、複雑な図面や表、現場を紹介する写真はより鮮やかに、より見やすく、より理解しやすくなると思われます。

本誌モットーのひとつでもある「難しいことをよりやさしく」をまずは視覚的に実践し、これに合わせてさらに充実した内容を皆様にお届けすることで、お仕事・ご研究に役立つことができるよう精進していく所存です。

引き続きのご愛読をよろしくお願いいたします。

編集部

白と黒の間から

白と黒

はっきりカタをつけてよ♪、とその昔歌って迫ったのは昭和の歌姫山口百恵で、その詞は阿木燿子のものであった。カタと呼ぶかどうかはともかく、とかく白黒はっきりさせろと要求される状況の時がある。白黒はっきりさせなければならない時は確かにある。特に工学的な最終判断をしなければならない場合は、白黒はっきりさせなければいけないことがほとんどであろう。それが理学との違いである。目の前に問題となっている状況があり、データをもとに何らかの行動を起こさなければならないような場合である。仕事の大きな方針を決めるような時もそうであるかもしれない。

私自身も何かにつけ白黒はっきりさせたがっていた時があった。若い時は特にそうであったように思う。しかし人生において、白あるいは黒とはっきり区分できる課題はどの程度あるのだろうか？白黒をつけるためには、微妙な部分を切り捨てて、最悪の事態を想定した形で決断することになるだろう。そのような時、われわれが生きているという現実そのものが本来白と黒の間グレーゾーンの中にあるという自然な状態が否定されているような気がしないでもない。きわめて不自然で不気味で非人間的なのである。しかも無理に白黒はっきりさせようというところで、いわゆるコロナ警察などが生まれ、社会が妙にぎくしゃくするようになる。ならない。

白黒はっきりさせることができないあるいはしてはならない課題も多いと思っている。私は、いろんな思いが行き交うグレーゾーンは必要だと考えている。しかも、グレーゾーンという一種の混沌の沸き立ちの

中から、豊かで鮮やかな未来が生まれ出てくるのだと思う。まだ実現していない未来のイメージあるいはひな形とでもいうべきものが、私たちの過去の経験を通じて今眼の前に現れ出てくる。そこで初めて私たちの単なる個々の体験を超える真実を得ることができるのだらうと考えている。

ビッグデータ

真実は個々の体験を超えるように言ったが、個人の一人ひとりを足し合わせた群衆は、個々人とは違う行動を示すことはよく知られている。普段は温厚で善良な市民が、好きなサッカーチームが負けた時にフーリガンとなり集団で荒れ狂うなどは典型的だろう。個々人を単純に足し合わせても全体にはならないのだ。個々人のリズムは残しつつも、全体としてのリズムの中に流されてしまうのである。その結果、集団は新しい巨大な顔を見せる。しかも、前世紀末以来、我々の種々の活動は、実空間とサイバー空間という二種類の空間で展開されてきているが、コロナ禍を契機に、サイバー空間での活動の比重が高まった。そのため、その巨大な顔が一層巨大で無気味になりかねないことを懸念している。

現在AIが第三次のブームで、そのポイントは深層学習だと聞いている。そのようなAIの利用でビッグデータの活用が求められている。ビッグデータで新しい巨大な顔の発見が期待されているらしいのだ。しかし、個々のコンクリート構造物そのものに対する対応に役立つには範囲が限られるだろうと思っている。何故なら、上に述べたように個と群は違うからである。しかも、個々の構造物のデータに信頼性が無ければビッグデータは意味をなさない場合がある。

私もいろんなところでビッグデータの検討のお手伝いをしたが、最終結論はデータの信頼性、ばらつきの程度が不統一で問題がある、ということで終わってしまったプロジェクトはきわめて多い。真実は白と黒のみではないから、ばらつきそのものも当然考

慮の上でビッグデータは解釈される。しかし、私のAIに対する期待が大きすぎるだけに、AIで種々の決断を下そうとする場合、AIがうまく利用できる基本的な条件を見極めておく必要があると考えている。見極めておかなかった場合、過剰な期待を抱いてしまい、得られなかった成果に対する人々の落胆が極めて大きくなり、AIに対する信頼性が不幸な形でまたゆらぎかねないと思うからである。

わが国におけるコンクリート構造物の基本的な課題は、気候のゆらぎつまり変動と人口減少の下におけるインフラの強靱化および維持管理に集約される。その中で、気候変動による自然作用の予測、既設構造物の劣化度評価さらには省力・効率化などの対策としてAIやビッグデータの利用に期待されるところは大きい。

気候変動

地球温暖化による気候変動のもと、これからの社会が持続可能であるためには、都市集中型のシステムから分散型のシステムへの転換が必要であろうと言われている。これは同時に新型コロナウィルスのパンデミック予防とも深くかかわる。あるいは、世界的に多発しているテロ対策とも関連する。これらのことはポストグローバル化の一面を有している。そのような今、地域が発展しているかどうかという時間軸よりそれぞれの地域の持つ多様性を表現できる空間軸が重要になるものと思われる。

気候変動やパンデミックに対する完璧でみんなが喜んで受け入れる解決方法は今のところ存在しない。しかも気候変動の抑制に効果があるとされるクリーンなエネルギーに対する幻想は思考停止を生み出してしまいかねない場合がある。例えば、持続的な森林管理がなされることを前提として、木材は環境中の炭素循環量に対して中立つまりカーボンニュートラルな特性を持つとされ、木造や直交集成板造は環境に優しいとされる。しかし現在の森林管

理は必ずしも適切な管理は行われていないのが実態である。その場合、バイオマス燃料由来の温暖化ガス排出や再生可能資源・エネルギーの消費が生じることも多く、大きな環境負荷に転化するらしい。つまり、環境に良いか悪いかは考え方の枠組みつまり評価方法によって違うのである。

したがって、環境的な面から材料を選択する場合、改善しようとする構造物の環境性の明確な設定や、負荷の量だけでなく質の部分も考慮することが重要となる。単なる一般的なイメージで決め込むと、すでに述べた思考停止状態となり、全く逆の結果になりかねない。コンクリート構造物についての環境評価についてはこれらの前提条件を明確にしておくことが必要だと思っている。

成熟社会へ

人口減少下における成熟社会の特徴は、少子化、高齢化、人口減少、経済の低成長などだけではない。市民が生活の質の向上を求めてやまない点も成熟社会の大きな特徴だとされているらしい。もの言う大衆が多くなり、注文が多くなるのである。その活力を逆利用して、市民参加の維持管理をお願いしてメンテナンスネットワークを構築することも可能だと思う。しかも、亀の甲より年の劫で、白黒明確にし過ぎない現場の知恵を持っているベテランも多い。人口減少社会においては、意欲を持ち、十分な経験を持ち、現役との軋轢が少ないベテランへの権限委託など、新しいアプローチが要求されている。

これらのようなアプローチについては種々の形で試行したうえで実行するのが良いだろうと思っている。大きな方針については、早く白黒つけなければならない。しかし、市民社会に具体的にかかわってくる肌身に迫るアプローチには、人間関係をきしませない、遊間が適切に取られたゆりのある白と黒の間が要求されるからである。

中性化

Carbonation (by UEDA Hiroshi)

上田 洋

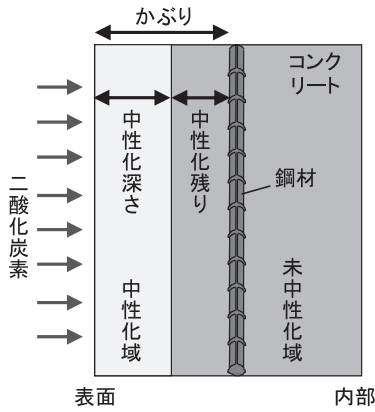


図1 コンクリートのかぶりと中性化深さ，中性化残りとの関係

1. はじめに

コンクリートの中性化は，古くて新しい課題である。中性化による鋼材腐食は，コンクリート構造物に生じる一般的な劣化の一つとされ，コンクリート構造物の維持管理に関する多くの教科書でも，中性化が始めの方に記されている。一方で，中性化による鋼材腐食には水が関与しており，この中性化と水との関係を正しく理解することが重要であるが，こちらについては現在体系化が進められている。

本稿では，コンクリートに生じる中性化およびこれに起因した鋼材腐食について概説するとともに，水との関係についても述べることにしたい。

2. 中性化による鋼材腐食

コンクリートの中性化がいつ頃から話題になったかは定かではないが，張¹⁾は1928年の文献で『炭酸瓦斯の為めコンクリートが変質して行く状態は外国では既に以前から検査して居る様であるが，我国では殆ど此の点に着目して居る技術者が不在の様である。』と記していることから，少なくとも100年近く前から海外においては知られていたようであり，日本でも着目はされていないが，この情報は入っていたようである。

コンクリートの中性化は，大気中の二酸化炭素(CO₂)によってコンクリート中にある細孔溶液のpHが低下する現象で，主として式(1)に示すように，セメントの水和に

よって生成する水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)が²⁾，CO₂と反応して炭酸カルシウム(CaCO₃)と水(H₂O)を生成することにより生じる。

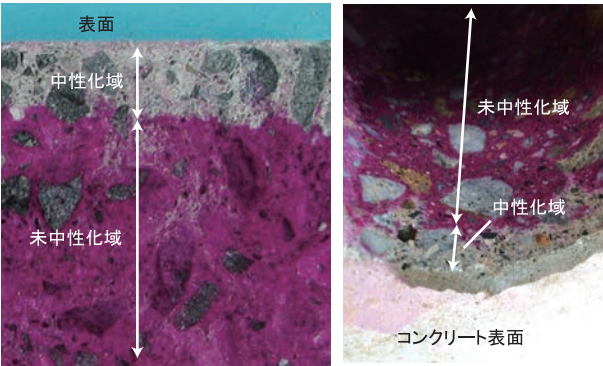
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \cdots \cdots (1)$$

このpH低下により，鋼材表面に形成される不動態皮膜が破壊され，鋼材腐食を引き起こすとされる。ちなみに，中性化という言葉は化学の世界では用いられない，コンクリート分野の技術用語である。また，英語ではCarbonation(炭酸化)と呼ばれることから，日本のコンクリート分野における独特の用語であるともいえる。

中性化は，図1に示すように，一般にコンクリートの表面から進み，中性化を生じた領域のコンクリート表面からの深さ(中性化深さ)が鋼材近傍に達すると，鋼材の腐食が進むと言われている。コンクリートのかぶりから中性化深さを差し引いた部分を中性化残りと呼ぶ。中性化残りが10mmまで減少すると鋼材腐食が進むという取扱いをしていることが多い。

3. 中性化深さの測定

中性化深さの測定方法は，JIS A 1152：2018「コンクリートの中性化深さの測定方法」に規定されている。図2(a)に示すように，コンクリート供試体の割裂面やコンクリート構造物のはつり面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し，コンクリート表面から赤紫色に呈色した部分までの距離を測定する。フェノールフタレイン溶液は，フェ



(a) コンクリート割裂面における測定 (b) コア採取孔を用いた測定

図2 フェノールフタレインによる中性化深さ測定の例

ノールフタレイン1.0gをエタノール(95)90mLに溶解させ，水で100mLにして用いる。なお，測定に注意を要する点はあるが，図2(b)に示すように，コンクリートコアの採取孔を用いて中性化深さを知ることできる。

この測定方法は，前述の張の報告¹⁾の中でも，『その検査法としては破面にPhenolphthaleinの0.5%のアルコール(アルコールは90%以上のものがよい)溶液を少しづつ注ぎ掛けると炭酸瓦斯に犯されて居る部分を残して他は全部美しい赤色に着色されるといふ方法を用ゐる。』と記されており，歴史のある測定方法である。

4. 中性化の進行予測

中性化の進行を予測する式は数多く提案されているが，基本的な式は式(2)に示す通りである。

$$y = a \sqrt{t} \cdots \cdots (2)$$

ここに，y：中性化深さ(mm)，a：中性化速度係数(mm/√年)，t：建設時からの経過年数(年)である。

図3の曲線は，中性化の進行予測に関する一つの例である。一般に，水セメント比が低くコンクリートが緻密であると，中性化速度係数は低くなる。また，コンクリートが乾燥していると，CO₂がコンクリートの細孔内を透過しやすくなるので中性化速度係数が大きくなり，コンクリートが湿潤状態の場合には，細孔内に水が存在することによりCO₂がコンクリートの細孔内を透過しにくくなるので，中性化速度係数は小さくなる。

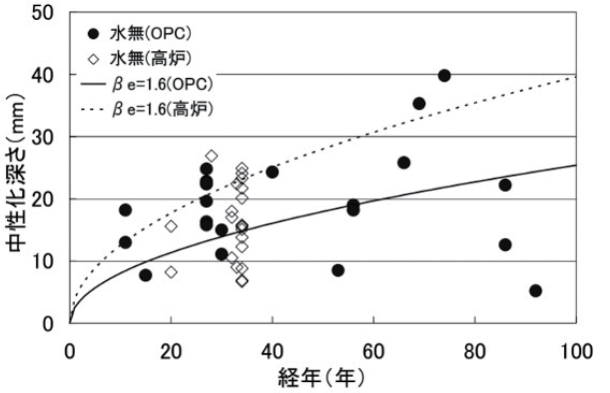


図3 経年に伴う中性化の進行²⁾

なお，高炉セメントを使用したコンクリートでは，中性化速度係数が大きくなると言われており，図3の曲線もそのようになっているが，一方でこの図のプロットは実構造物における中性化深さの測定結果であり，普通ポルトランドセメントと高炉セメントとの間に目立った違いはみられないと報告されている²⁾。

5. 中性化を取り上げることの意義

このように，中性化は鋼材腐食を誘発する現象であるため，コンクリート構造物の維持管理においてはありがたくない存在である。中性化は，コンクリート構造物に及ぼす他の代表的な劣化機構，例えば塩害，凍害，化学的侵食，アルカリシリカ反応などが限られた条件下の構造物で対象となるのに対し，ほぼ全てのコンクリート構造物が関係することに特徴がある。したがって，中性化が取り上げられることにより，ほぼ全てのコンクリート構造物に耐久性の概念が与えられることになった。あまり語られることはないが，この概念はコンクリート構造物の維持管理に重要であり，この概念を与えた中性化に関する研究開発の功績は大きいと考えている。

6. 鋼材腐食に及ぼす水の影響

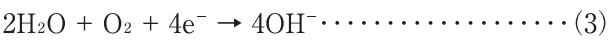
中性化が鋼材腐食を誘発する一方で，鋼材腐食には水が大きく影響する。このことは古くから知られていた



写真1 桁受部における鋼材露出³⁾

が、中性化に比べると体系化が遅れていた。これは、コンクリート中の水分挙動を捉えにくいことが大きな原因の一つであったと思われるが、近年この分野の研究開発が活発化してきている。

鋼材腐食の化学反応は複雑であるが、一般に式(3)および式(4)にて表現されることが多い。



これらの式によれば、両化学反応の出発物質は H_2O 、 O_2 および Fe であり、化学反応を生じるためにはこれらの物質が必要になる(図4)。また、電子の移動が水溶液中で行われると考えれば、反応場としても H_2O が必要になる。すなわち、水はこれらの化学反応の出発物質および反応場として必要であり、鋼材の腐食反応に大きな影響を及ぼしている。

また、式(3)に示す反応を生じるためには、水と酸素が同時に存在することが必要である。このため、例えば溶存酸素が少ない水の中にある場合には、水があっても酸素が供給されにくいいため鋼材腐食を生じにくい。このため、一般に乾湿繰返しを生じる箇所で鋼材腐食が進みやすくなる。

7. 中性化と水の影響

中性化の影響が水の影響と独立していれば個別に考えれば良いのであるが、実際には水の影響が中性化

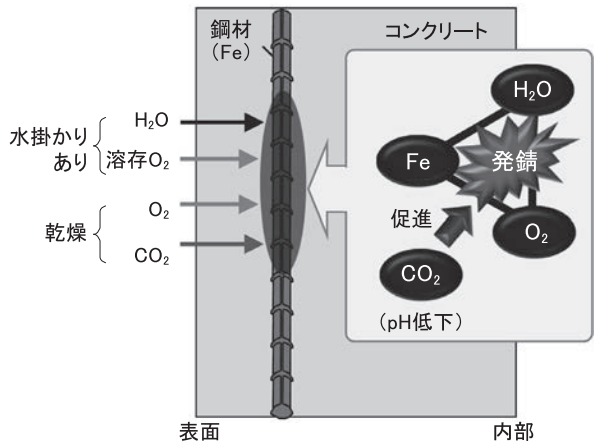


図4 鋼材腐食に及ぼす水と酸素および二酸化炭素の影響

と密接に関係しており、両者の関係を適切に理解しないと、コンクリート構造物に対して誤った対応をしてしまう可能性がある。そこで、中性化と水との関係について考えてみる。

前述のように、中性化はコンクリートが乾燥していると進行しやすいので、中性化のみに着目すると、コンクリートが乾燥している方が湿潤であるよりも中性化域が鋼材近傍に速く到達するため、鋼材腐食を誘発しやすいことになる。しかしながら、実際には乾燥環境では水が少ないため鋼材腐食を生じにくい。写真1は、コンクリート高架橋の桁受部における事例である³⁾。桁受のコンクリートにおいて、腐食した鋼材の一部が露出している。この付近はかぶり不足していると考えられるが、その範囲全体で鋼材露出を生じてはおらず、上部工から水が回る個所でのみ鋼材が露出しており、水掛かりのある個所で鋼材腐食を生じやすいことがわかる。

したがって、中性化残りのみに着目し、中性化残りが少ない部位から優先的に補修を行う計画を立てると、実際には乾燥により鋼材腐食が進みにくい個所から優先的に補修されることにもなりかねない。図5は、中性化と水の影響について検討した基礎試験の例である⁴⁾。鋼材腐食には水の影響が極めて大きく、中性化により腐食がさらに促進される。また、あくまでこの試験条件下ではあるものの、中性化が進んで乾燥して

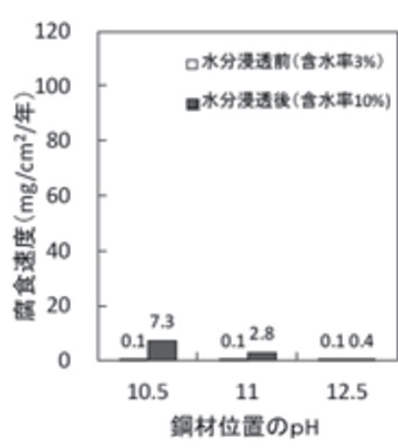


図5 中性化と水分浸透の有無による鋼材腐食速度の違い⁴⁾

いる状態よりも、中性化が進んでおらず水が作用する状態の鋼材腐食速度がやや速い。

実構造物で、中性化による鋼材露出を生じている個所の多くは、かぶりが不足しかつ水がかかる個所である。このような個所では、コンクリートに浸透した水が鋼材位置に達しやすく、かつ中性化も鋼材近傍に達しやすいことから、鋼材位置への水分浸透と中性化によるpH低下の両方が生じ、鋼材が発錆する環境を満たしやすいと考えられる。このような中性化と水との関係を受けて、例えば土木学会コンクリート標準示方書[設計編]⁵⁾では、2017年の制定時にこれまでの「中性化に伴う鋼材腐食に対する照査」が、「中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査」に変更されている。

8. 中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する維持管理

以上のことから、中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対して大きな影響を与える因子は、鋼材位置への水と酸素の到達、鋼材近傍における細孔溶液のpH低下であり、これらを知るために現場または現場から採取した試料で測定する項目としては、かぶり、水掛かり、コンクリート中の水分浸透速度、中性化深さ、鋼材腐食状態などがあげられる。なお、これらを直接測定することが困難な場合には、別項目の測定結果から推測した

り、施工時の資料を参照したりして推定することとなる。中性化と水の浸透に伴う劣化に対する維持管理を行う上では、中性化と水の影響とのバランスを知った上で、得られる情報をもとに鋼材腐食の進行を推定することが重要である。

9. おわりに

コンクリートの中性化は、石灰石(CaCO_3)がセメントとなって自由な造形の構造物を構築することに大きく貢献し、それがやがて元の CaCO_3 に戻っていく姿であるともいえる。また、カーボンニュートラルの視点からみれば、コンクリートの中性化は二酸化炭素の吸収に大きく貢献している。中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食を、水の制御などを組み合わせて抑制することができれば、中性化そのものを悪者扱いする必要がなくなってくる。今後、このような視点で研究開発が進み、実務に還元することができれば、中性化もまた新たな時代に入っていくことができると思われる。

【うえだ ひろし／(公財)鉄道総合技術研究所
材料技術研究部長】

【参考文献】

- 1) 張 忠一／コンクリートの腐蝕について、業務研究資料、Vol.16, No.9, pp.1340-1352, 鉄道省大臣官房研究所, 1928
- 2) 松田芳範, 上田 洋, 石田哲也, 岸 利治：実構造物調査に基づく中性化に与えるセメントおよび水分の影響、コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.629～634, 2010
- 3) 上田 洋／水の動きからみたコンクリート構造物のメンテナンス, RRR, Vol.68, No.4, pp.22～25, 2011
- 4) 鈴木浩明, 飯島亨, 上田洋／水分浸透とコンクリート中の鋼材腐食速度との関係、第44回土木学会関東支部技術研究発表会, V-15, 2017
- 5) 土木学会／2017年制定 コンクリート標準示方書[設計編], 2018

*

*

*

グリーンイノベーション基金に セメント分野から採択

1月28日、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)は、同機構が公募した「グリーンイノベーション基金事業」のうち「CO₂回収型セメント製造プロセスの開発」の実施先として太平洋セメント(株)と住友大阪セメント(株)の事業を採択した。

グリーンイノベーション基金事業

わが国が2020年10月に行った2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする「2050年カーボンニュートラル」の宣言を踏まえ、経済と環境の好循環につなげるための新たな成長戦略として「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。この課題に取り組もうとする

企業の挑戦を後押しするため、過去に例を見ない総額2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」がNEDOに創設され、研究開発・実証から社会実装までを見据えた中、官民で目標を共有して、企業等の取り組みに対し10年間の継続的支援を行おうというもの。

プロジェクトには、ここで紹介するセメント・コンクリート分野以外にも、洋上風力発電の低コスト化、次世代型太陽電池の開発、大規模水素サプライチェーンの構築、再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造、製鉄プロセスにおける水素活用、燃料アンモニアサプライチェーンの構築、CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発、

表1 「グリーンイノベーション基金事業/CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」実施予定先の一覧¹⁾

(1) コンクリート分野

【研究開発項目1】CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

【研究開発項目2】CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

採択テーマ	実施予定先	
革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び品質評価技術の開発	研究開発項目1, 2	鹿島建設(株), デンカ(株), (株)竹中工務店
CO ₂ を高度利用したCARBON POOL コンクリートの開発と舗装および構造物への実装	研究開発項目1, 2	(株)安藤・間, (株)内山アドバンス, 灰孝小野田レミコン(株), 大阪兵庫生コンクリート工業組合, 大成ロテック(株), (一財)電力中央研究所
コンクリートにおけるCO ₂ 固定量評価の標準化に関する研究開発	研究開発項目1, 2	東京大学

(2)セメント分野

【研究開発項目3】製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証

【研究開発項目4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

採択テーマ	実施予定先	
CO ₂ 回収型セメント製造プロセスの開発	研究開発項目3	太平洋セメント(株)
	研究開発項目4	住友大阪セメント(株)

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「グリーンイノベーション基金事業／CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」実施予定先一覧を基に作成 <https://www.nedo.go.jp/content/100941883.pdf>

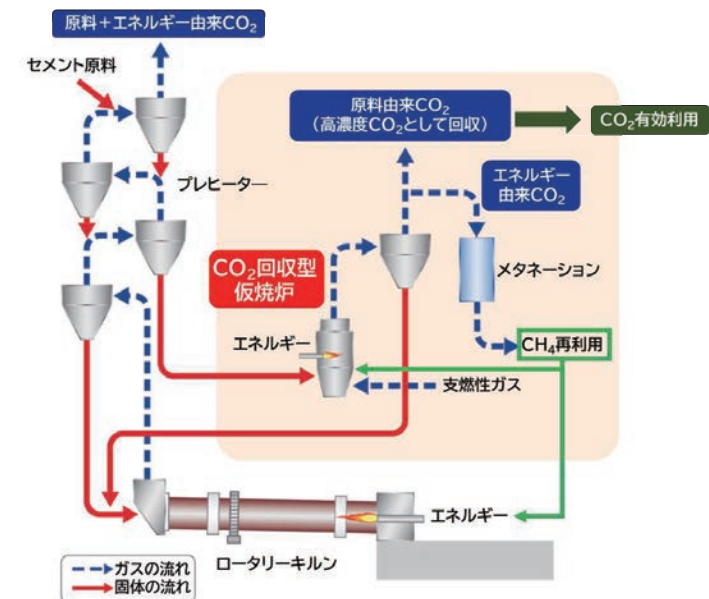


図1 CO₂回収型セメント製造プロセス概念図²⁾

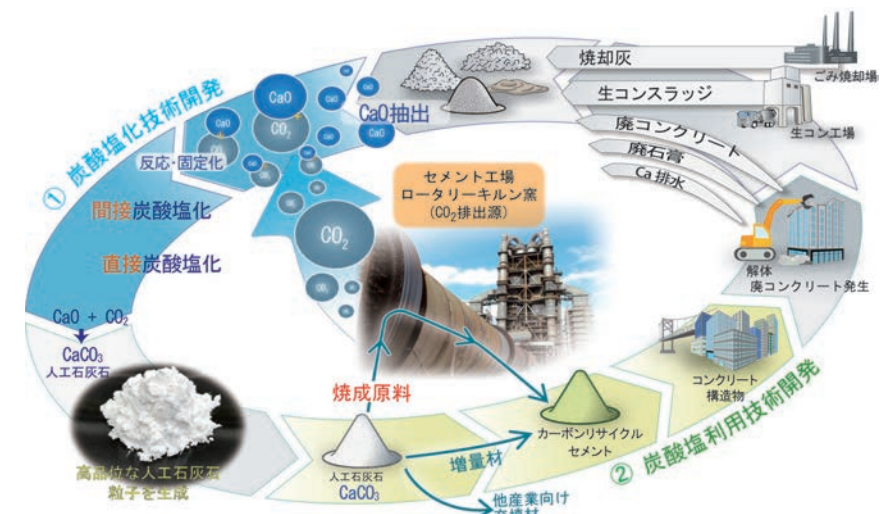


図2 多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の概念図

次世代蓄電池・次世代モーターの開発、次世代デジタルインフラの構築、次世代航空機の開発、次世代船舶の開発、など幅広い分野にわたり今後展開されることとなる。2021年8月に最初のプロジェクト(大規模水素サプライチェーンの構築)が着手され、続いて順次立ち上げが進み各分野でスタートしている状況だ。

CO₂を用いたコンクリート等
製造技術開発プロジェクト

セメント・コンクリート関連で実施予定となった「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」では、表1に示したようにセメント分野とコ

ンクリート分野からなり、それぞれに研究開発項目が2つある。このうちセメント分野では採択テーマ「CO₂回収型セメント製造プロセスの開発」に対し、**【研究開発項目3】製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証**、を太平洋セメント(株)が、**【研究開発項目4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立**、を住友大阪セメント(株)が実施先として採択された。

製造プロセスにおけるCO₂回収技術の
設計・実証／太平洋セメント(株)

同社では現在、ロータリーキルンからの排ガスに含まれるCO₂を分離・回収する技術(化学吸収法:

第50回セメント協会論文賞 受賞論文の決定

セメント協会は、セメント・コンクリート論文集に掲載された論文の中から、特に優秀と認められた論文に「セメント協会論文賞」を授与しており、この度、第50回(2022年度)セメント協会論文賞を下記の2件に決定した。

論文賞の選考は学識経験者を交えた論文賞選考委員会によって行われた。表彰式は5月18～20日に赤坂インターシティコンファレンス(東京都港区赤坂1-8-1 赤坂インターシティ AIR 3F・4F)で開催の「第76回セメント技術大会」2日目午後に行われる予定。

(敬称略)

セメント硬化体のCO₂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

梅津真見子 東京工業大学
黒川 大亮 太平洋セメント(株)
森 泰一郎 デンカ(株)
坂井 悦郎 東京工業大学

セメントおよび高炉セメント硬化体の乾湿繰り返しによる微細構造変化
セメント・コンクリート論文集 Vol.75 pp.181-187

金 志訓 室蘭工業大学
山嵯 悠 伊達市役所
北垣 亮馬 北海道大学
濱 幸雄 室蘭工業大学

セメント協会研究奨励金の交付決定

セメント協会は、セメント化学およびコンクリート化学の研究振興ならびに研究者の育成を図ることを目的に「セメント協会研究奨励金」を交付しており、この度、第36回(2022年度)交付対象者を下記の5名に決定した。

審査は学識経験者を交えた研究奨励金審査委員会によって行われ、1987年の第1回から今回までに延べ約350名の研究者に研究奨励金を交付している。なお、2023年度の募集については、本誌8月号および当協会ホームページ(<https://www.jcassoc.or.jp>)等でも紹介の予定。

(敬称略・順不同)

氏名	所属*	研究題目
Zhai Qi	北海道大学工学院 環境循環システム専攻 修士課程	有機・無機促進剤による高炉スラグセメントの初期強度発現の改善
佐藤 賢之介	山梨大学 大学院総合研究部工学域土木環境工学系 特任助教	ASR生成物の共存がエトリンガイトの二次生成および膨張挙動に及ぼす影響
吉田 亮	名古屋工業大学 社会学専攻 准教授	吸水膨潤により空隙を閉塞するケイ酸ゲルの生成機構と新しい補修コンセプトの創出
小池 賢太郎	鹿児島大学 学術研究院 理工学域工学系 助教	乾湿繰り返しがコンクリート表層部での塩分浸透性状に及ぼす影響の評価
王 眺	東京大学 大学院工学系研究科・社会基盤学専攻 特任助教	炭酸化によるC-A-S-HゲルのCl ⁻ 吸・脱着メカニズムの解明とシミュレーションに関する研究

※)交付対象者の所属は申請時のものである

アミン法)の開発を進めており、今回のプロジェクトでは、プレヒーターからコンパクトな設備で効率良くCO₂を回収が可能な同社独自かつ世界初となる「CO₂回収型仮焼炉」の開発に着手する。そして回収したCO₂の有効利用技術では、廃コンクリートを炭酸塩化させセメント原料として活用するといった炭素循環型技術の開発に取り組むことに加え、セメント製造プロセスに適したメタネーションシステムの開発にも取り組む予定(図1)。

① CO₂回収型セメント製造プロセスの開発
セメント製造工程から発生するCO₂のうち約60%が主原料である石灰石に起因するものであり、仮焼炉通過時に約900℃という高温に熱せられることでCO₂が発生(脱炭酸:CaCO₃→CaO+CO₂)する。同社ではこの点に着目し「CO₂回収型仮焼炉」の開発を進める。この仮焼炉では、支燃性ガスとして従来の大気に代えて、酸素を用いることで高濃度CO₂をコンパクトな設備で回収することが可能となり、さらに本技術では、既存のプレヒーターとロータリーキルンを活用することにより高い熱効率とリサイクル原料の活用を維持することができる。

② メタネーションシステムの開発
回収した高濃度のCO₂を水素と反応させることでメタン(CH₄)に転換するもの。本事業では、(株)IHlに再委託することで、セメント製造プロセスに適したメタネーションシステムの開発を行うという。この転換されたメタンをセメント製造用の熱エネルギーとして再利用することで、化石エネルギーの使用量を削減することが可能となるという。

本事業の実証期間は2021年度から最長で2030年度までの10年間を計画しており、以降は実機への展開を見込んでいる。

多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立／住友大阪セメント(株)

この事業は、廃コンクリートや一般焼却灰などカル

シウム(Ca)を含有する多様な廃棄物等からCaOを抽出し、セメント生産工程で分離されたCO₂と再結合させることにより、人工石灰石(CaCO₃)を生成(炭酸塩化)し、これを原料としたカーボンリサイクルセメント(CRC)を製造することでセメント産業でのカーボンニュートラルを目指すもの(図2)。

① 炭酸塩化技術開発
間接または直接に炭酸塩化する2方式(IDC方式:バイポーラ膜電気透析(BMED)を利用し、Caを高効率に抽出して、高品質な炭酸塩を回収・製造することが可能な方式による炭酸塩製造、DC方式:廃棄物の前処理等でCO₂を大量に直接吸収させる、より安価に処理可能な方式による炭酸塩製造)により多様なCa含有廃棄物に適した複数の炭酸塩化技術を開発・検証し、最適なCaO抽出・CO₂固定化技術の確立を図るもの。

② 炭酸塩利用技術開発
生成した炭酸塩がカーボンリサイクルセメントの焼成原料またはセメント成分となる増量材などとして利用可能かを検証し、そのコンクリートとしての性能(強度他)を満たす材料開発を行うとともに、設計・施工に係るガイドラインの作成を行い、社会実装を目指すもの。

このプロジェクトは同社を幹事とし、三菱マテリアル(株)(現UBE三菱セメント(株))、大成建設(株)の3社と、山口大学、九州大学(2022年度より京都工芸繊維大学)、東京工業大学、東京大学の4大学との産学連携で技術開発を進め、2030年での技術確立およびその社会実装を目指して進めて行くという。

【参考文献】

- 1) NEDOホームページ／https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101510.html
- 2) 太平洋セメント(株)ホームページ／<https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/220128.pdf>

第53回研究所講演会を開催／セ協

3月15日、(一社)セメント協会は「第53回セメント協会研究所講演会」をオンラインで開催。全国各地からセメント・コンクリートに関わる幅広い業種の研究者・技術者ら391名が聴講した。

冒頭、中山英明研究所長から、一昨年3月に開催を予定していたがコロナ禍により中止となり、2018年以来実に4年ぶりの開催となったこと、近年注目を集める環境に関係した話題の提供とセ協が普及に力を入れているセメント系固化材とコンクリート舗装のマニュアル改訂をテーマにしたことで聴講の皆様のお役に立てることを希望すると挨拶があった。

講演会は2部に分かれ、[セメント・コンクリートに関する最近の研究報告]として環境関連をテーマに、①セメント製造における廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標／河合研至氏(広島大学大学院先進理工系科学研究科教授)、②環境配慮型建築材料の開発と課題／小山明男氏(明治大学理工学部教授)、③社会環境材料としてのセメント系材料の可能性と最近の研究／大宅淳一氏(日本大学理工学部助教(現准教授))の3件、また[セメント協会研究所の活動成果報告]として④セメント系固化材による地盤改良マニュアル[第5版]のポイント／泉尾英文氏((一社)セメント協会研究所コンクリート研究グループサブグループリーダー)、⑤早期交通開放型コンクリート舗装1 DAY PAVE 製造施工マニュアル[第2版]のポイント／岸良竜氏(太平洋セメント(株)中央研究所第2研究部主任研究員)の2件、計5件の講演が行われた。

①では、「セメント製造は多量のCO₂を排出する」はよく知られているものの「セメント製造は資源循環の11%を担っている」はコンクリートをよく知っている人でも認識が低いという観点から、土木学会での研究委員会(環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会)での検討を中心に、リサイクル資源における処理の



河合 研至氏



小山 明男氏



大宅 淳一氏

困難さを表す重み付けにリサイクル率を活用することで、廃棄物・副産物の資源化を表す指標を示し、その指標の有用性を確認するため資源循環型産業であるセメント産業、製鉄産業、製紙産業とを比較検討した結果、指標の妥当性を確認。一方、リサイクル率の減量化量の取り扱いには注意が必要とし、さらに指標を用いて多様な環境側面をどうやって統合化していくか、現状では重みの付け方が見出されていないという課題が残るなど今後検討の余地が残されている。今後は研究を通じてセメント産業が廃棄物や副産物を多量に使用していることをより多くの人に知っていただきたいと希望を述べた。

②では、環境配慮型とは環境影響の改善に資するものと定義した上で、有機・無機系など数多くある建設材料を簡単に選ぶことはできないのが現状であるとし、代表的な各種の建設材料を環境側面から検証した結果を紹介。環境配慮(資源循環)における課題として再資源化、すなわち最終製品としての性能の重要性、大企業と零細企業の関係から建設業界としての取り組み方、使用者から見た経済性と評価への理解といった今後の普及活動がポイントになるとした。なお、環境側面は多様で多面的であることから答えは一つではないが、低炭素・資源循環・環境安全品質はいずれも必須の課題であり、使用者と発注者も含めた建設分野に携わる多くの人々の理解と合意が必要で、今後も課題の多い分野と言えようと結んだ。

③では、かねてから社会環境材料としてのセメントと

呼称していることからその基本的な部分を資源の循環利用の面から概説。SDGsでセメントに関係すると思われるゴールを示し、その方策例を紹介した。そこで注目される混合セメントの研究動向として「普通ポルトランドセメント中の間隙相の初期水和におよぼす亜硝酸カルシウムの影響」と「低粉末度と超微粉末の高炉スラグを併用した高炉セメントの材齢初期における水和特性」の2件を紹介。最後にCO₂の排出量削減は大きな課題であり、副産物・廃棄物の使用量をより増やしていくこと、あるいは天然原料を使用せずに済む方法を探っていくことが循環型社会の構築につながるが、これらを進めることには様々な障害があるため、より検討をしていくべきとした。

④では、これまでほぼ9年ごとに改定を重ねている「固化材マニュアル」の最新第5版について、前回版との

違いを中心に改定のポイントについて具体例を交えて紹介した。特に新設の章である「災害に強いセメント系固化材」では、地震や土砂災害に対応した事例からその効果を示している。また好評の実施例では全てを刷新、これまでの実施例はインデックスを付けて過去の版にも対応するなど、よりユーザー側の視点に立ったマニュアル作りを行ったと述べた。

⑤では、2016年3月に発刊した「早期交通開放型コンクリート舗装1 DAY PAVE 製造施工マニュアル」がこの4月に6年ぶりに改訂されることに際して、この間の1 DAY PAVEの施工実績や動向を紹介するとともに、要望の多かった舗装の構造を拡充して章に格上げ、施工事例も14件から29件になり、Q&A集も付けるなどの充実を見せているという。なお、この第2版はセメント協会ホームページより無償で公開の予定。

お知らせ

改良地盤の震災・適用調査報告書
無料ダウンロードできます。

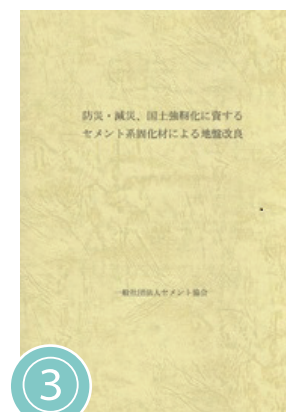
- ①東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書
- ②大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
- ③防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- ④セメント系固化材の拡がる用途と役割



① 東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書



② 大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割



③ 防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良



④ セメント系固化材の拡がる用途と役割

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

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

新世紀への遺産2022

リバイバル Revival
しんせい いさん

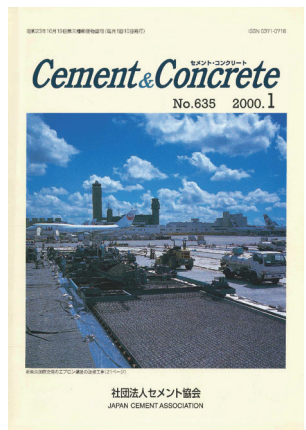
No.1 五本松ダム

2000年1月号
No.635 掲載

現在本誌にて不定期連載中の「Cのイメージ／コンクリート名所案内」の前身にあたる「一枚の写真／シリーズ新世紀への遺産」はミレニアムを記念して2000年1月号（No.635）から2005年7月号（No.701）まで計63件の特徴的で記憶に残るセメント・コンクリート構造物を紹介して参りました。

このほど創刊900号を迎えるにあたり、当時の構造物がおよそ20年を経過した最近の様子をお伝えするコーナーをスタートします。

長寿命・高耐久をうたう中、100年を超えるものについて20年は短い時間かもしれませんが、その間のメンテナンスなどの情報や周囲の風景の変化などもお伝えできればと考えております。



2000年1月号（No.635）掲載時の文章

わが国最古の重力式コンクリートダム・五本松ダム（通称：布引ダム）は、1900（明治33）年4月、兵庫県神戸市に全国で6番目の近代式上水道をもたらした。着工は1897年で、設計は英国人技師のウィリアム・K・バルトンである。規模は堤高33.33m（10ft）、堤頂長110.3m、総貯水量41万m³（竣工時は75万m³）で戦後つくられたダムと比べるとごく小さいが、人力を中心とした建設技術とわが国コンクリートダムの創始を考えると、当時の技術者魂とエネルギーが怒涛のように迫ってくる感じがした。

1995年1月の阪神・淡路大震災でもさしたる被害もなく、堤体へのグラウト工事を施した程度とさく。最近、石貼り表面についた苔や汚れを洗い落として、写真のような美しさを取り戻している。

今後、若干の補修を予定しているようだが、ダムとしての役割は100年を経た今も変わることはない。新世紀を迎えても神戸の人々に清涼とした水道水を供給しつづけるであろう。



写真左：補強されたコンクリートは水面下のため見えないが、上部と同じ風合いの天然石で仕上げられている。

写真右：余水吐を渡る管理橋の鋼材も建設当時のものを一部再生して活用している。

その後の五本松ダム

左ページの当時の記事にあるグラウト工事（1995～97年）は、阪神淡路大震災の災害復旧工事として行われ、その後竣工から100年という節目を機に本格的なリニューアル工事が行われた。

2001年3月に始まった工事は、資機材搬出入用トンネル（延長320m）の設置からスタートし、堤体補強・堆積土砂の撤去・水辺環境整備を三本柱に進められた。

貯水池の水をいったん全て抜いたあと、一部風化が進んでいた岩盤をコンクリートで補強、堤体上流部をコンクリートで増築することにより耐震補強を行った。

また、建設当時は759,000m³を誇った有効貯水量も、100年の間にこの地を幾度となく襲った風水害により、約340,000m³の堆砂が蓄積されていたが、補強工

事が行われている水の無い空の約2年を利用し、約200,000m³の堆砂を撤去した結果、貯水量は600,000m³と大幅に回復した。

さらに、一帯は市民の憩いの場でもあることから、休憩所や野鳥観察所も設置されるなどの整備も行われ2005年3月に竣工、現在に至っている。ダムは新神戸駅の裏からハイキングがてら登って行くのがおすすめだが、脚力に自信のない御仁には新神戸ロープウェイの中間駅から少し下れば比較的楽に訪れることができる。

2006年に近代化遺産「布引水源地水道施設」の一部として国の重要文化財として指定されている。

〔文と写真：編集部〕



超高強度繊維補強コンクリートの腐食抵抗性

M. Valcuende, ほか

Construction and Building Materials

306. 論文NO, 124914(2021)

超高強度コンクリート(UH)を使用することで構造物の耐久性を向上できる。本研究では、鋼繊維量と蒸気養生温度の異なるUHに対して、促進中性化試験と塩分浸透試験を行った。UHの圧縮強度は130～170MPaの範囲であり、比較対象として圧縮強度50MPaの高強度コンクリート(HC)も用意した。

促進中性化試験は角柱供試体(40×40×160mm)を対象に、CO₂濃度3%の条件で行った。HCでは試験開始から200日程度で供試体中心まで中性化していたのに対して、UHにおいては促進1年後においても中性化は確認されなかった。

塩分浸透試験では塩化物イオンの拡散係数や、φ50mmの円柱供試体中心に埋設した鉄筋の腐食電流密度を求めた。UHにおける拡散係数は蒸気養生を行った方が室温で養生を行った場合よりも小さくなった。さらに、ボルタンメトリー法により腐食電流密度を求めた結果、0.007～0.025μA/cm²の範囲であった。この値は、ASTM規格やRILEM指針のいずれにおいても無視できるほど小さい値と規定されている。HCでは、試験開始後2ヶ月頃から腐食電流密度が増加し始め、材齢1年時点ではこの12倍の値まで増加した。これに対して、UHの塩分浸透抵抗性は時間の経過によらず安定していた。また、鋼繊維量の影響は小さく、UHにおいては塩分浸透にはほとんど抑制しないものと考えられた。試験により

得られた見かけの拡散係数から鉄筋の腐食開始寿命を計算したところ、UHでは平均でHCの約150倍であり、きわめて高い抵抗性を確認した。

温度、相対湿度、炭酸ガス濃度がコンクリートの

中性化に及ぼす影響

Peng Liu, ほか

Magazine of Concrete Research

72[18]936～947(2020)

コンクリートの中性化反応に関して、これまで周辺環境が中性化反応に及ぼす影響についてはほとんど検討されていなかった。本報では、中性化時の温度、相対湿度、炭酸ガス濃度がコンクリートの物性に及ぼす影響を検討した。

実験に用いたコンクリートには普通ポルトランドセメントの他に結合材としてフライアッシュを使用し、3種の異なる強度クラスの配合で練り混ぜた。

温度および炭酸ガス濃度が高くなるほど中性化深さは増加し、圧縮強度は低下した。温度が高くなるほど、炭酸ガスの浸透と中性化反応が促進され、炭酸ガス濃度が高いほど、試料表面と内部の炭酸ガス濃度勾配が大きくなり、炭酸ガスが浸透しやすくなったと考えられる。また、中性化により水和生成物が分解するため、圧縮強度が低下したと考えられる。これらの傾向はコンクリートの強度クラスが低いほど顕著に表れた。相対湿度は60-80%RHのときに最も中性化深さが大きくなった。中性化後の供試体を圧縮強度試験に供した際に表面ひずみを測定したところ、温度および炭酸ガス濃度が高いときにひずみは小さくなった。

中性化後のコンクリートの相組成や生成物をXRDおよびSEMを用いて分析した。生成した炭酸カルシウムの多形は中性化温度によって異なり、30℃のときにアラゴナイトが生成し、それ以下の温度ではバテライトが生成した。また、炭酸ガス濃度が高いほど炭酸カルシウムの粒子径が大きくなった。

持続可能社会に向けたコンクリート製品のアクション

Pan-United Corp Ltd.

International Cement Review [9]59～61(2021)

現在、世界の二酸化炭素排出量の8%をセメント製造が占めているとされ、業界内では排出量削減に向けた様々な取り組みがなされている。本稿では、シンガポールのコンクリート製品会社Pan United社の取り組みについて取り上げている。

同社では、コンクリート製品に高炉スラグや廃コンクリートからの回収材料を使用し、セメントや天然原料の使用量を減らすことで二酸化炭素排出量を従来品と比較して30%低減させた製品を開発した。そのうち、高炉スラグを使用したコンクリート製品はシンガポールの全コンクリート使用量の25%を占めている。また、排出量削減の別のアプローチとして製品の高耐久化にも取り組んでおり、用途に合わせた強度・耐摩耗性などの性能を付与した種々の製品を供給することで補修回数の低減に努めている。加えて、カナダのCarbon Cure Technologies社と連携し、セメント製造プロセス中に発生した二酸化炭素を回収し、コンクリート製品に注入する技術の実装にも取り組んでいる。同技術によるコンクリート製品はセメント使用量を5%低減し、従来コンクリートと同等の強度・作業性を担保しているという。

一方で、Pan United社は施工時のエネルギー消費量にも着目し、コンクリートスラブ施工に適する高強度・高耐久の自己充填コンクリートを開発した。これらは、作業の省力化に伴って電力消費量を削減し、従来作業と比較して二酸化炭素排出量も削減させるとしている。

同社は、今後も脱炭素化による持続可能な社会形成にむけて製造・施工の観点から多角的に取り組んでいくという。

ニューラルネットワークによるジオポリマーコンクリートの配合設計の最適化

Ankur Bhogayata, ほか

ACI Materials Journal 118[4]91～96(2021)

ジオポリマーコンクリート(以下、GPCと称す)は、ケイ酸アルミニウムを主成分とした粉体とアルカリ溶液を用いており、持続可能な建設材料として期待されている。しかし、原料の化学組成が多様なため、画一的な配合設計手法は確立されていない。そこで、ニューラルネットワークを用いてGPCの配合設計を最適化する研究が行われているが、硬化後の品質に及ぼす要因は明らかではない。

本稿ではニューラルネットワークを用いて実験と既往研究のデータからGPCの圧縮・引張強度を予測すると共に、強度に影響をおよぼす要因を検証している。

実験と既往研究の合計150体のデータを準備し、その内105データを学習用、45データを検証用として使用した。ニューラルネットワークは5層とし、データの重み付けを行うニューロン数を変えた8モデルを構築した。入力値は単位水量、NaOHのモル質量等の6種類とし、各モデルで混合比率を変えて学習・検証し、強度予測を行った。

その結果、圧縮強度の予測値は実験値より大きくなった。NaOHのモル質量が圧縮・引張強度に影響する因子であり、特に引張強度よりも圧縮強度に対してより影響を及ぼす傾向を示した。

今後、ニューラルネットワークの各要因に対するデータの分類、重み付け算出方法、入力値の範囲を検討する必要があるが、将来的にGPCの最適な配合設計技術に繋がることが望まれる。

耐水性を改善した石こう系複合材料

Ekaterina N. Potapova, ほか

ZKG Cement Lime Gypsum 74[5]32～37(2021)

近年、ロシアでは環境に配慮した建設材料が求められており、石こう系複合材料もその対象の一つである。これは優れた断熱特性や遮音特性を有するが、耐水性の低さが適用分野に制限をかけている。既往の研究

著者らはこの検討で得られた耐水性を改善した石こう系複合材料に関して、ドライミックスモルタルや低層住宅への適用が期待できると述べている。

World Cement [8]20~26(2021)

2020年にはドイツの同社の操業中の工場において、既存の仮焼炉に間接煅焼装置を組み込むプロジェクトであるLEILAC2が始動した。LEILAC2では、約10万トン／年のCO₂分離、電気や低炭素の代替燃料の熱源としての適用可能性の確認等を目的としており、設備コストは約1600万ユーロ、運用コストは20～25ユーロ／tCO₂程度の規模と予想されている。同プロジェクトにより工場規模へのスケールアップの実現可能性が実証されれば、新たなCO₂回収技術の選択肢が提供され、セメント・石灰産業にその展開が加速することが期待される。

(單位：千t.%)

項目 種類		21 年 12 月		22 年 1 月	
			前年比		前年比
ポルトランドセメント	普 通	3,150	100.7	2,556	100.1
	早強・超早強	316	99.8	297	106.3
	中 庸 熱	69	99.5	59	79.1
	低 熱	29	128.6	19	100.1
	耐 硫 酸 塩	0	-	0	-
	そ の 他	0	-	0	-
	小 計	3,564	100.8	2,932	100.1
混合セメント	高 炉	912	93.3	736	97.4
	シ リ カ	0	-	0	-
	フライアッシュ	1	44.0	4	282.1
	そ の 他	113	104.8	91	112.8
	小 計	1,027	94.3	830	99.1
その他のセメント		14	91.8	13	103.5
計		4,605	99.3	3,776	99.9
輸出用クリンカ等		487	73.1	356	82.1
合計		5,093	96.0	4,132	98.1

※単位は千t 以下四捨五入したため、かならずしも統計に合致しない

(単位：千t.%)

		21 年 12 月	22 年 1 月
アジア	韓 国	25	47
	中 国	166	77
	台 湾	18	28
	香 港	140	193
	マ カ オ	0	0
	フ ィ リ ピ ン	77	23
	シンガポール	259	153
	マ レ ー シ ア	0	0
	ブ ル ネ イ	0	0
	バングラデシュ	0	0
	ス リ ラ ン カ	0	40
	小 計	685	561
その他	大 洋 州	214	246
	南 米	87	41
	ア フ リ カ	0	0
	小 計	301	287
合 計		986	848

(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	2009	58,378	88.6	41,976	85.4	11,054	103.6	53,030	88.6	4,468	101.1	756	81.9	42,732	85.3	5,300
	2010	56,050	96.0	41,040	97.8	9,967	90.2	51,007	96.2	4,083	91.4	574	75.9	41,614	97.4	5,428
	2011	57,579	102.7	41,912	102.1	10,006	100.4	51,918	101.8	4,212	103.2	738	128.8	42,650	102.5	5,532
	2012	59,488	103.3	43,754	104.4	9,632	96.3	53,387	102.8	4,140	98.3	822	111.4	44,577	104.5	6,173
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,336	96.5	20	90.0	38,670	94.4	6,445	

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

年月	建設工事受注動態統計(出典：国土交通省) (単位：億円)						
	総数	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他
29	153,276	30,880	5,816	16,808	38,159	45,600	4,507
30	148,302	27,462	6,460	17,585	37,781	44,460	4,043
令和元	159,670	29,306	6,352	19,177	41,351	47,625	3,871
2	172,674	38,941	5,468	22,850	43,647	46,984	4,452
2年12月	14,725	2,094	570	2,230	3,895	4,884	142
3年2月	13,048	2,917	431	2,292	2,976	2,922	585
3	35,302	12,094	1,283	4,936	9,359	5,590	426
4	13,508	2,782	509	2,789	3,255	2,882	349
5	13,874	2,397	167	2,837	2,782	4,510	669
6	21,581	3,246	442	2,626	4,285	8,910	469
7	19,058	2,731	573	1,622	4,882	7,341	572
8	16,066	2,192	358	1,950	4,670	4,673	651
9	20,200	3,315	509	2,494	6,211	5,845	386
10	15,410	2,288	273	1,669	5,368	4,471	238
11	12,176	1,630	285	1,498	3,505	3,738	579
12	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456
4年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141

年月	建築着工(出典：国土交通省) (単位：万 m²)								
	統計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋 コンクリート造	鉄骨 コンクリート造	鉄骨造	コンクリート ロック造	その他	居住用	非居住用
29年度	13,468	5,616	248	2,426	5,079	9	90	8,171	5,297
30	13,107	5,593	147	2,265	5,005	8	90	8,007	5,100
令和元	12,494	5,483	148	2,270	4,493	8	92	7,696	4,798
2	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492
2年12月	917	428	23	124	338	0.3	5	562	356
3年2月	859	378	20	146	308	0.4	7	496	334
3	1,043	418	58	237	377	0.4	6	616	427
4	1,053	443	12	205	388	0.4	6	633	421
5	1,042	438	11	200	388	0.5	6	614	428
6	1,085	486	18	161	412	0.5	7	657	428
7	1,066	477	11	202	370	0.4	6	658	408
8	954	462	7	153	326	0.4	8	641	313
9	995	466	18	162	343	0.5	6	625	370
10	1,209	488	22	162	531	0.4	6	676	533
11	1,012	467	14	175	346	0.7	9	638	374
12	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475
4年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324

※単位は万㎡以下四捨五入したため、かならずしも統計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出典：国土交通省) (単位：億円)								
	統計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化 工事高(月末)
		計	製造業	計	国の期間				
29	148,962	101,501	21,739	36,600	25,020	99,487	49,475	97,736	170,719
30	158,590	116,269	24,410	31,126	21,051	110,581	48,009	102,594	181,913
令和元	149,286	106,114	23,680	30,140	20,014	98,813	50,472	150,692	179,841
2	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713
2年12月	15,466	15,185	2,390	4,191	2,598	10,863	4,603	10,352	171,740
3年2月	12,435	8,189	1,257	3,293	2,475	7,719	4,716	8,549	174,625
3	36,395	26,029	3,932	8,640	6,502	24,517	11,878	23,559	191,713
4	7,252	4,965	1,141	1,711	1,044	4,238	3,034	4,130	188,230
5	7,470	4,666	940	2,440	1,674	4,576	2,894	4,477	186,330
6	13,631	9,020	1,807	3,611	2,036	9,074	4,557	8,590	187,713
7	8,925	6,244	2,042	2,324	1,373	6,069	2,855	5,598	188,502
8	8,766	6,304	2,156	2,059	1,370	6,285	2,481	5,517	187,949
9	15,826	12,450	1,699	2,780	1,935	11,984	3,842	11,695	190,553
10	9,753	7,135	2,003	2,202	1,555	6,806	2,947	6,243	190,874
11	10,676	7,495	2,213	2,269	1,498	6,782	3,894	6,496	191,232
12	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900
4年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	-

※受注高 10 億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(日本銀行調べ) (平成 27 年平均＝100)											
	総平均	建設用 材料	セメント	生 コンクリート	コンクリート 製品	製材	砂利・ 碎石	普通鋼鋼材	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・ 鉱山機械
30 年均(C.Y.)	101.3	104.1	100.8	105.4	101.5	103.4	101.4	113.2	112.5	119	104.5	101
令和元年	101.5	105.5	104	109	105.2	104.6	102.8	107.9	114.1	124.4	106.8	101.9
30 年度平均(F.Y.)	101.5	104.9	101.5	105.8	101.9	103.8	101.2	114.8	113.7	122.6	105.2	101.3
令和元年	101.6	105.5	104.3	110.4	106.7	104.8	101.2	107.8	113	123.4	107.7	101.9
2 年 12 月	100.3	104.3	104.3	113.5	109.3	104.3	107	110.9	106.6	118.2	108.4	103.2
3 年 2 月	101.3	105.7	104.8	114.1	111.2	106	108.1	115.9	114.3	124.1	108.9	104
3	102.3	106.4	104.8	114	110.8	108.2	108.1	117.5	115.6	127.1	108.7	103.4
4	103.2	107.8	104.8	114	110.5	114.5	108.1	120.6	119.4	130.3	109	103
5	103.9	109.4	104.8	114.1	111.4	127.8	108.1	123.5	121.6	134.8	108.9	101.6
6	104.8	112	104.8	114.2	112.4	147	108.2	131.1	129	139.1	109	102.1
7	106	115.2	104.8	114.6	111.2	161.5	108.2	135.3	132.2	143.6	110.5	102.6
8	106.2	117.3	104.8	115.1	111.7	167.2	108.5	139	136.6	147.5	110.9	102.7
9	106.6	120.2	104.8	115.4	111.2	172.4	108.5	141.2	138.6	149.6	111.3	101.4
10	108.1	122.7	104.8	115.5	111.4	173.4	108.5	145.7	140.9	152	112.4	102.1
11	108.9	123.6	104.8	115.9	112.8	173.1	108.5	150.9	145.3	156.1	113.4	101.9
12	108.9	123.8	104.8	116.2	110.9	172.4	108.5	152.7	146.4	159.4	113.8	102
4 年 1 月	109.8	124.3	104.8	116.9	112.1	168	108.5	153.9	147.1	161.1	114.9	104.2
2 月	110.7	124.6	104.8	116.9	113.7	167.6	108.5	154.2	147.6	163.4	115	104.6

※企業物価指数が27年基準に変更

品目 年月		主要セメント製品出荷高Ⅰ（経済産業省調べ）					
		遠心力鉄筋コンクリート製品		パイル(t)	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)	護岸用コンクリート 製品(t)
		管(t)	ボール(t)				
30年12月		15,684	38,275	94,444	5,777	62,336	229,842
元年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943	227,056
2年12月		12,208	37,450	118,215	6,317	60,604	223,770
3年2月		10,995	31,809	102,573	5,530	67,552	207,576
3		10,568	36,209	129,166	5,919	47,709	195,053
4		8,771	36,053	130,227	6,324	39,889	166,713
5		7,419	34,256	115,640	5,215	30,549	136,657
6		9,699	39,098	137,448	5,699	31,022	159,043
7		9,551	38,510	106,324	5,198	32,456	152,126
8		8,048	34,922	81,217	4,646	29,695	137,336
9		10,623	38,849	106,581	5,247	34,553	161,519
10		11,770	39,770	112,008	5,755	42,042	186,720
11		12,691	42,554	108,094	5,708	47,180	196,659
12		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364	185,559
4年1月		11,076	34,446	98,983	4,091	55,355	165,266

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(経済産業省調べ)			
		PC 製品		木毛・木片・ セメント板(千枚)	気泡コンクリート 製品(m ²)
		はり・けた(t)	その他(t)		
30年12月		8,796	45,558	2,207	142,204
元年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2年12月		17,054	55,845	1,738	110,898
3年1月		11,086	59,864	2,455	94,198
2		13,036	55,228	2,437	89,579
3		16,053	56,330	2,734	103,003
4		12,884	41,403	2,646	95,735
5		7,358	34,817	2,249	81,549
6		10,439	36,530	2,675	97,276
7		9,869	37,805	2,655	106,963
8		7,888	27,448	2,429	93,426
9		10,495	38,030	2,742	109,780
10		11,778	50,928	2,745	117,155
11		14,667	45,639	2,847	115,458
12		15,948	54,642	2,595	118,751
4年1月		8,771	46,513	2,315	96,860

セメント・コンクリート編集委員会

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

小堺 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

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

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

塚田 哲也 敦賀セメント(株) 生産部 品質技術グループリーダー

二戸 信和 (株)デイ・シイ 技術センター 技術開発課長兼技術サポート課長

野口 貴文 東京大学 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

前田 禎夫 麻生セメント(株) 品質技術部 部長

宮川 美穂 G C Pケミカルズ(株) 技術部 R&Dマネージャー

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

市原 克彦 (一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事

中山 英明 (一社)セメント協会 研究所長

編集委員会の動き

本誌の編集企画にご尽力をいただいた、セメント・コンクリート編集委員会・岸和博委員長(三菱マテリアル(株))および北詰昌樹委員(東京工業大学)、植田厚元委員(委員長代行、三菱マテリアル(株))、河村浩幸委員(宇部興産(株))、黒澤功委員、斎藤準護委員((一社)セメント協会)は3月号をもって退任されました。ここにこれまでの各位のご支援・ご尽力に感謝の意を表します。

なお、本号より編集委員長に小堺規行氏(住友大阪セメント(株))、編集委員に森川嘉之氏((国研)港湾空港技術研究所)、弓削祐夫氏(U B E三菱セメント(株))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)
日 鉄 高 炉 セ メ ン ト (株)
日 鉄 セ メ ン ト (株)
東 ソ ー (株)
(株) ト ク ヤ マ
琉 球 セ メ ン ト (株)
荻 田 セ メ ン ト (株)
太 平 洋 セ メ ン ト (株)

敦 賀 セ メ ン ト (株)
(株) デ イ ・ シ イ
デ ン カ (株)
麻 生 セ メ ン ト (株)
U B E 三 菱 セ メ ン ト (株)
明 星 セ メ ン ト (株)
日 立 セ メ ン ト (株)
住 友 大 阪 セ メ ン ト (株)

2022 No.903 CEMENT & CONCRETE

5月号 予告 セメント・コンクリート

- 希少糖のセメント・コンクリート分野での活用
- 石灰石微粉末の特性とセメントへの利用
- 日本建築学会「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針」の改定ーその概要と今後の展望ー
- 偏心拡底掘削による大底面積場所打ちコンクリート拡底杭「花びら拡底杭工法」の開発
- セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード / 炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定(その2)
- シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する 遮蔽コンクリート
- ずいそう(大西利勝) ほか



新幹線の橋りょうにおいて国内最長スパンとなったエクストラドーズド橋《北陸新幹線 細坪高架橋の施工》

セメント・コンクリート No.902 4月号

2022(令和4)年4月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者 乾 敏一
編集者 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



セメント・コンクリート論文集 Vol.76(2022年度) 論文募集のご案内

一般社団法人セメント協会

セメント協会では、セメント・コンクリート論文集 Vol.76(2022年度)に掲載するための論文を募集いたします。「セメント・コンクリート論文集投稿要領」および「セメント・コンクリート論文集原稿執筆要領」をご高覧のうえ、ふるってご応募ください。

● 1. 論文の申込み

1. 1 申込み方法 セメント協会ホームページ <https://www.jcassoc.or.jp/>
トップページ「イベント・募集」>>募集「セメント・コンクリート論文集」
>>募集要項
から論文申込み(下記 URL)の申込みフォームに必要事項すべてを明記の
うえ、締切日までにお申込ください。
1. 2 提出原稿 査読原稿の PDF ファイル
(「原稿執筆要領」および「投稿要領」をご参照ください)

● 2. 論文投稿受付期間 2022年4月1日(金)～5月31日(火)17時(厳守)

● 3. 公開までのスケジュール(予定)

- 1) 申込みの送信：5月31日(火)17時まで
- 2) 申込み受理の通知：申込み受理から1週間以内
- 3) 原稿(PDF ファイル)の提出：審査番号通知から3日以内
- 4) 査読：6月下旬～8月下旬
- 5) 1次審査結果の通知：9月下旬
- 6) 著者の審査結果に対する応答(修正原稿の提出)：10月中旬～11月上旬
- 7) 2次審査結果の通知：11月中旬
- 8) 版下原稿の著者校正：版下原稿到着より2週間以内
- 9) 公開：2023年3月

● 4. 投稿のための費用 無料

● 5. 論文賞の授与

セメント・コンクリート論文集(過去2ヵ年)に掲載された論文の中から特に優秀と認めた論文に対し、『セメント協会論文賞』を授与いたします。

● 6. セメント・コンクリート論文集の公開

採択された論文は、国立研究開発法人科学技術振興機構のJ-STAGE上にて公開いたします。

● 7. 提出および問合せ先(事務局)

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

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

THE ANNUAL MEETING OF CEMENT AND CONCRETE ENGINEERING

*Premier établissement
de la
fabrique d'Asano
actuelle construit en 1871.*

1873年、東京・深川に建設された国内初のセメント工場「^{セメント}撰綿篤製造所」
セメントの製造技術は150年で大きく進歩し、これからも時代に応じて進化し続ける。

|| 第76回 ||

セメント技術大会

2022年5月18日(水)~20日(金)

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

一般研究発表

セメント製造技術および
セメント・コンクリートの
研究発表

- セメントの製造
- セメントの水和
- 環境・リサイクル
- コンクリートの耐久性 等



特別講演

5月19日(木) 15:30~17:00

脱炭素社会実現に向けた
イノベーションと社会実装公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)
理事長・研究所長 山地 憲治 氏◆開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド) ◆参加費：無料 ◆<https://confit.atlas.jp/jcalab22>
(聴講にあたっては事前申込が必要となります
(上記URLよりお申し込みください))

一般社団法人 セメント協会

問合せ先：技術情報グループ TEL.03-3914-2692

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