

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和6年1月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.923

1

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



—未来をカタチに変える創造力—



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

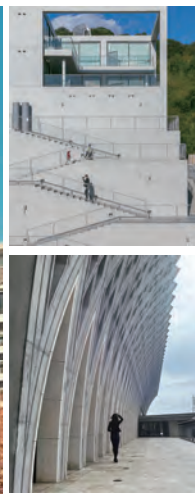
フローリック

検索

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

セメント協会主催 公式 Instagram

第2回フォトコンテスト



第1回受賞作品

テーマ

私たちの安全・安心を支えているコンクリート

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。
あなたのとおきの一枚をお待ちしています。

募集部門

携わってる部門

#携わってるフォトコン2024

現場や工場を介してセメント・コンクリートに携わっている方の部門。
製造・施工・維持・管理・補修などの職業を通して応募する方はこちら。

支えられてる部門

#支えられてるフォトコン2024

日常生活の中で「セメント・コンクリート」を通して安全・安心を感じる写真はこちら。

賞

協会長賞 **3万円 1名** 特選 2万円2名（各部門1名ずつ） 入選 1万円6名（各部門3名ずつ）
協会 SNS 賞 Amazon ギフトカード 1000 円分 10名

※Instagram1アカウントにつき2点までのご応募となり、規定応募数をオーバーしたアカウントは応募とみなしません。 ※入賞作品は、WEB・協会 PR 用、協会出版物などに無償で活用させていただきます。

応募方法

- 1 セメント協会公式Instagramをフォロー
- 2 ご自身のアカウントへ ハッシュタグ
#携わってるフォトコン2024 もしくは #支えられてるフォトコン2024 をつけて投稿
- 3 投稿後、セメント協会のアカウントへDMにてご自身の投稿を共有の上、「お名前・お住まいの都道府県・ご職業・ご年齢（〇〇代）、携わってる部門にてご応募の方は企業名・ご所属部署名」をご送信いただいて応募完了となります。

締切

2024年1月31日（水）発表…2024年2月29日（木）

※セメント協会 HP および Instagram、X（旧 Twitter）にて発表



一般社団法人 セメント協会

<https://www.jcassoc.or.jp/photocon/info.html>



セメント協会公式 Instagram
@_jca_ssoc_



迎春

令和6年

一般社団法人

セメント協会

本誌読者の皆様におかれましては、昨年中は格別のご厚情を賜り、誠にありがとうございました。ご返信ありがとうございました。

本年もセメント・コンクリートに関する有用な情報を提供すべく尽力する所存でございます。本新年号では、各団体・企業様のご協力により、新年賀詞広告を特集いたしました。引き続き変わらぬご支援、ご愛顧のほど、よろしくお願い申し上げます。



Ready-mixed & Returned Concrete
Solution Association

2024

新年賀詞



GX GX League
GX リーグ分科会

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

〒107-0052 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



花王株式会社
ケミカル事業部門

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/>



山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

お客様と共に74年、
今年もよろしくお願い
致します。

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/>



総合試験機のメーカー

株式会社 **マルイ**

全自動圧縮試験機 端面研磨機・切断機
凍結融解試験機 動ヤング率測定器
高濃度中性化促進装置 簡易透気試験器

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/>



TAKEMOTO

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(高性能・ブリーディング低減タイプ)

チューポール **EX60LB**

AE減水剤(高性能・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. 03-5577-582
<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カー
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/>



セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2024 No.923

もくじ

- | | | |
|----|--|-----------|
| 02 | 年頭ご挨拶 | … 不死原 正文 |
| 04 | 地方自治体の社会基盤の維持を目的とした管理者直営補修に向けた取り組み | … 樋原 弘貴ほか |
| 10 | 北海道新幹線へのPCaセグメント桁(PCU形桁)の適用 | … 朝長 光ほか |
| 18 | すいそう
旅に出よう! | … 森 拓也 |
| 20 | セメント系複合材におけるビニロン繊維の適用技術 | … 小川 敦久 |
| 28 | PCaボックスカルバートによる居住空間の創出 | … 多田 卓二 |
| 35 | 土木学会「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)」の概要 | … 加藤 佳孝 |
| 42 | 鉄筋コンクリート構造物に対する電気防食工法～基礎と最新の動向～ | … 山本 誠 |
| 48 | セメント協会 研究奨励金による研究より
コンクリート表層部における養生効果の持続性に関する検討 | … 横山 勇気 |
| 54 | セメスタグラム／コンクリートに魅せられて
神田神社 | |

- | | |
|------|--------------------------------|
| 9,17 | HOT NEWS |
| 56 | EVENT GUIDE |
| 57 | セメント・データファイル |
| 58 | 主要建設工事・資材統計 |
| 60 | 2月号予告 |
| 61 | 第78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

自然豊かな環境にたたずむ
4本のボックスカルバートで
構成されたPCaPC造建築
[長野県／提供：(株)北條
建築構造研究所]

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。

2024年の年頭に当たり，一言ご挨拶を申し上げます。

皆様には私たち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，まづもって心より厚くお礼申し上げます。

さて，わが国でセメント産業が始まって150年を迎えた昨年，私は，多くの困難が改善の方向に転じ，セメントのみならず各分野で明るさが増すことへの期待を申し上げました。しかし，実際に新型コロナが社会的に問題となってから4年余りが過ぎて世界的に落ち着きを見せつつあり，経済全体も回復基調とされるものの，ロシアのウクライナへの侵攻による資源価格の高騰やコロナに端を発した人手不足などの影響で当業界を取り巻く環境はむしろより一層厳しいものとなりました。結果として23年度のセメントの国内需要は，当初の見通し3800万tの達成が大変厳しい状況になっております。本年も従前にも増して気を引き締め，更なる改革を継続しなければならないと痛感しているところであります。

セメント各社にとって経営面で厳しい状況が続く中であっても，私たちセメント業界は安全・品質管理を徹底しながら生産基盤を維持し，インフラ構造物の整備・更新，国土の強靱化に不可欠な基礎素材であるセメントを安定供給していく責務があります。

次に新たな年を迎えるにあたり，セメント業界が取り組むいくつかの課題を申し上げます。

まず，2050年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みです。昨年も強調いたしましたが，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，これまでも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困難を伴います。引き続き2022年3月の「長期ビジョン」に沿って省エネルギーの推進，燃料転換や廃棄物の利用拡大，さらにCO₂の回収，再生利用などをこれまで以上に強力に取り組んでいく所存です。また，国際的にはいわゆるグリーン製品にシフトする動きも定着しつつあり，目標の達成には長期間にわたる取組みと数多くの困難を伴うことから，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をお願い申し上げます。

カーボンニュートラルの実現は業界の存続に関わるとの強い認識をもって，業界内外の英知を結集し万全

の対応を進めて参ります。

またセメント業界では廃棄物・副産物や都市ゴミなどを受け入れて原料や熱エネルギーの代替として利用し，ほとんど2次廃棄物を出しておりません。昨年度は一時的に受け入れ量が減りましたが，なお日本の廃棄物総量の5%，循環利用量の11%に当たる2487万tに達しました。セメント1tあたりの使用量は実に485kgになります。更に，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に備え，各自治体と協定を結ぶなど，今後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も大変重要な課題であり，その柱であるコンクリート舗装の普及にこれまで以上に注力して参ります。

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，長い目で見て人手不足対策にもなるほか，コンクリートがCO₂を長期にわたって固定化することや，大型車の燃費向上に効果的であることから，脱炭素にも有効であると認識されるようになりました。一昨年度に「コンクリート舗装の普及推進のための3か年行動計画」をスタートさせ，国や地方自治体やNEXCO等の関係先に対し，普及に向けての活動を行って参りましたが，今年はその最終年度となり，その成果が求められます。各社のトップの皆様自らが先頭に立ってこれまで以上の働きかけを行う必要があります。また，徐々に実績を挙げている1DAY PAVEの普及拡大につきましても同様であります。

もう一つ需要拡大への取り組みとして，需要の伸びているセメント系固化材の普及も挙げられます。固化材は近年，地震の際の液状化や洪水被害に対する防災・減災にも盛んに使用されるようになってきておりますが，例えば河川堤防の補強への使用について大学との共同研究を進めるなど，目前に迫るとされる大規模災害への抵抗力を向上させ，国土強靱化対策の一助として大いに貢献して参りたいと考えております。

一方でセメント業界は，申し上げましたように循環型社会の形成に大きな役割を果たし，極めて社会貢献度が高い産業であると自負しておりますが，一般の方々への幅広い浸透は未だ十分ではないと思います。そのためマスメディアを通じた広報活動や，工場見学会などの現場の取り組みに加え，これからの時代を担う若い世代が前向きなイメージを抱くよう，時流に即した新たな工夫なども取り入れ，より広い視野で継続的に広報活動を展開して参ります。

以上のように業界を挙げて取り組む課題を申し述べて参りましたが，内外の困難な現状を打開し将来への展望を描くため，業界内の関係者の尽力もさることながら，国や行政，サプライチェーンを含めた関係先の皆様の幅広いご理解とご協力がこれまで以上に必要となります。

今年の干支は辰年，運気が勢いよく昇るそのイメージ通り，セメント業界にとってもここ数年続いた低迷と数々の制約がひとつひとつ改善に向かう年となり，マイナスの流れを反転させ，定着する年としなければならないと念じております。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の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。

地方自治体の社会基盤の維持を 目的とした管理者直営補修に向けた取り組み

Initiatives aimed at maintenance of local government social infrastructure
directly managed by administrators

櫛原 弘貴 下河 初美

1. はじめに

全国には約70万橋以上ある内の約7割は、地方自治体(市町村)が管理しており、多くの小規模RC橋が存在している¹⁾。地方自治体では、近接目視点検が法制度化されて管理橋梁の点検が強化される中で、人口減少に伴い税収が下がり続けている。そのため、十分な社会基盤の維持修繕費の捻出が困難な状況になりつつある。現在の構造物の点検では、維持管理区分が健全度評価Ⅲ以上と判定されると、5年以内の補修対策が必要となるが、地方自治体の補修完了率は未だ低く、国に比べると大きく後れをとっている。今後は、地方自治体の社会基盤を如何に維持していくかが益々重要な課題となっており、産学官が協働で維持管理に関する仕組みづくりから点検、補修に至るまで様々な取り組みがなされてきている²⁾。

熊本県玉名市では、点検だけでなく簡易補修も直営化しており、劣化が軽微な段階で管理者自らが予防保全対策を実践(以下、DIY補修と称す)することで

将来必要となる補修対策費を抑えながら長寿命化を図っている^{3,4)}。今後は、できる限り健全度評価Ⅱの状態を維持しながら、補修費用を削減しつつ、余剰分を他の需要構造物に補填していくことが、地方自治体における社会基盤を維持する上での一つのモデルであろうと考えている。

玉名市以外にもすでにいくつかの自治体では、DIY補修の実践を進めており、それらの取組みは他の自治体にも波及していくと予想される。そのような中で、DIY補修を他の自治体でも上手く活用できるように福岡県内の自治体向けに福岡県県土整備部道路維持課、福岡県道路協会、(公財)福岡県建設技術情報センターと福岡大学が共同でDIY補修に関するメンテナンス技術講習会を2020年より開催している。メンテナンス技術講習会は、主に断面修復作業を中心に組みんでおり(写真1)、実際に断面修復の作業体験の場を提供し、DIY補修に必要な知識や知見を得ることを目的に行っている。本稿では、管理橋梁に関する各自治体での実態調査およびメンテナンス技能講習会の内容とそこから得られた知見について紹介する。

2. 管理橋梁の維持管理費に関する 実態調査(アンケート調査)

管理者直営補修の取組みの現状についてのアンケート調査結果(2020年に実施)を記す。なお、24自治



写真1 メンテナンス技能講習会の様子

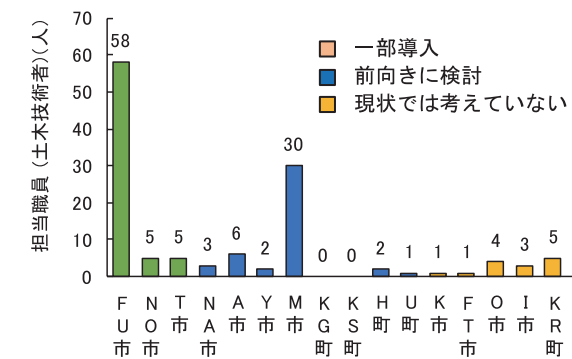


図1 担当職員数(土木技術者)

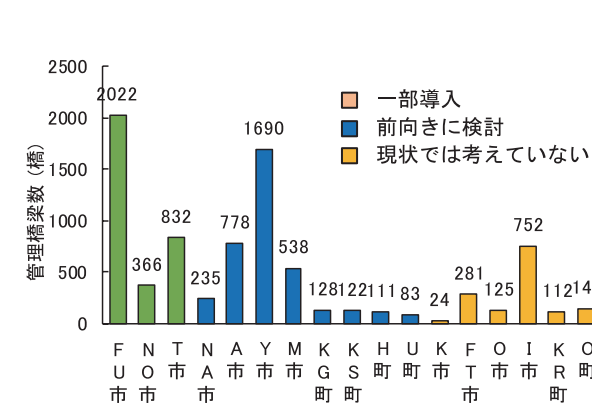


図2 各自治体における管理橋梁数

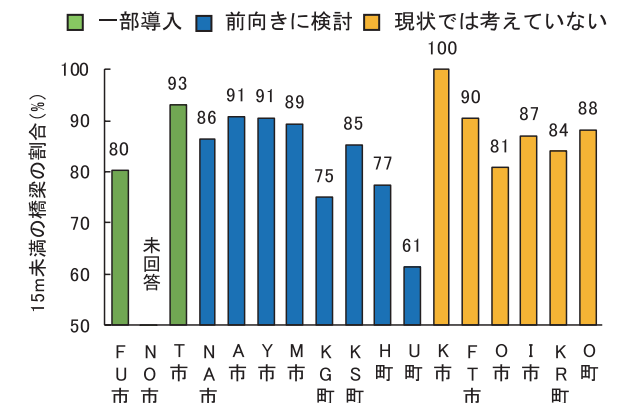


図3 橋長15m未満の橋梁割合

治体中17の自治体から回答が得られている。すでにDIY補修を「一部導入」している自治体は3自治体であり、15cm×15cmまでを目安とした断面修復作業、露出鉄筋への防錆剤の塗布作業、水切り板の設置作業による環境改善を実践していた。一方で、「今後前向きに検討」は8自治体であり、DIY補修を行うことで補修費用の軽減がなされることにメリットを挙げつつも、人員不足や技能・知識不足の解決を課題として挙げていた⁵⁾。また、「現状では考えていない」は6自治体であった。以上より、約半数の近くの自治体は、管理

者直営補修に興味を示しており、将来的には実践したいとの考えがあることから、DIY補修は今後益々波及していくと思われる。

図1には、各自治体における維持管理業務に携わる担当職員数(土木技術者)を示す。多くの自治体は、担当職員数が5名以下であり、中には1名以下もしくは技術者が存在しない自治体も散見されている。このような状況の地方自治体は、福岡県内のみならず全国に無数に存在している。

図2、図3には、管理橋梁数および橋長15m未満



はぜはら ひろたか / HAZEHARA Hirotaka
福岡大学
工学部社会デザイン工学科
准教授 博士(工学)



しもがわ はつみ / SHIMOOGAWA Hatsumi
同上
大学院建設工学専攻修士課程

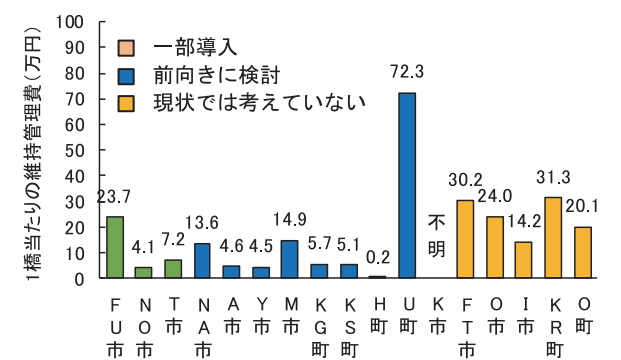
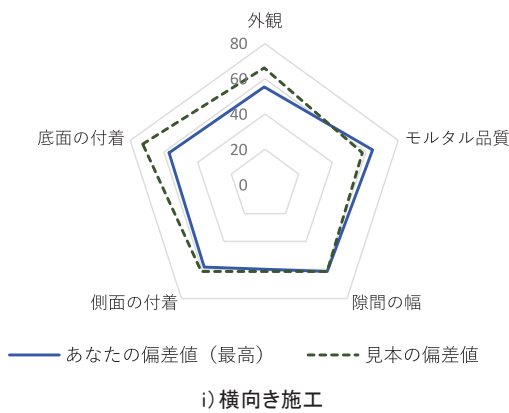


図4 1橋当たりの維持管理費



i) 横向き施工

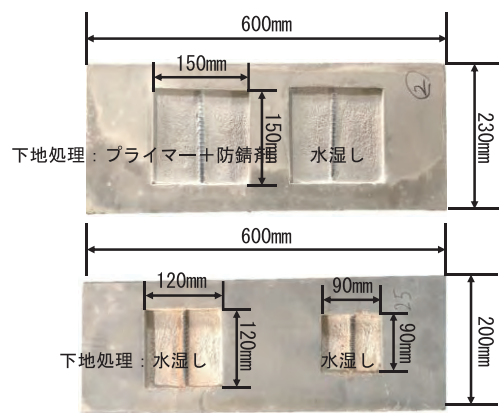
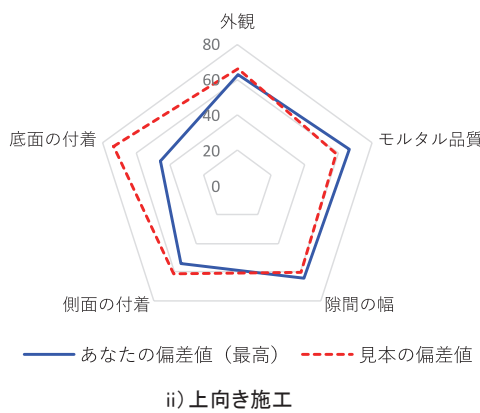


写真2 2021年度に使用した供試体



ii) 上向き施工

図5 被験者へのフィードバック

の橋梁数の割合を示している。橋長15m以下の橋梁は、比較的にアクセスが良く桁高も低いため、特別な装備を持つことなく、容易に点検やDIY補修の実施が可能なものが多い。管理橋梁の約8割は、橋長15m以下であることからDIY補修の対象となりやすい橋梁が数多く存在している。

図4は、1橋当たりの維持管理費用を示している。1橋当たりに配分できる金額が少ない自治体ほど、DIY補修に対して「一部導入」や「前向きに検討」と回答しており、維持管理費の低減に向けた方策を模索している様子が伺える。

3. メンテナンス技能講習会

DIY補修を上手く活用できるように福岡県内の自治体向けに福岡県県土整備部道路維持課、福岡県道路協会、(公財)福岡県建設技術情報センターと福岡

大学が共同でDIY補修に関するメンテナンス技術講習会を開催している。参加は、2020年度で24自治体(計24人)、2021年度で26自治体(計28人)、2022年度で20自治体(計26人)である。断面修復作業では、写真2に示すような施工範囲が異なる断面修復用の供試体を作製し、上向きや横向きでの施工体験以外にもプライマー塗布やPCMの練り混ぜ方法、鉄筋のケレンや防錆剤の塗装など多岐に渡る体験の場を提供している。

参加者らが断面修復作業を終了した後は、試験体を大学の研究室内に持ち運び、外観観察、モルタル品質(断面修復材)、界面部の隙間幅、側面部の付着性、底面部の付着性を非破壊検査により評価している。評価結果は、評価項目ごとに図5に示すように数値化し、参加者一人一人にフィードバックしている。また、試験結果を蓄積して、最終的には初心者でも品質が確保される施工条件や施工方法を記載したマニユ

表1 隙間幅の試験結果

施工向き・面積	横向き施工			上向き施工	
	150×150	120×120	90×90	120×120	90×90
平均値	0.32mm	0.22mm	0.24mm	0.31mm	0.24mm
中央値	0.25mm	0.15mm	0.15mm	0.10mm	0.05mm
標準偏差	0.31mm	0.27mm	0.27mm	0.45mm	0.32mm

表2 腐食面積率の試験結果

施工向き・面積	横向き施工		上向き施工	
	120×120	90×90	120×120	90×90
平均値	61.6mm ²	67.9mm ²	194.4mm ²	153.9mm ²
中央値	54.4mm ²	61.9mm ²	178.2mm ²	144.5mm ²
標準偏差	32.3mm ²	32.3mm ²	86.5mm ²	52.9mm ²



写真3 上向き施工における腐食発生状況

アルの作成も試みている。

つの目安になると考えられる。

4. 施工範囲や施工向き作業の違いが断面修復の諸性能に与える影響

表1には、一例として各施工向きにおける施工面積120×120mm、90×90mmの隙間幅の平均値、中央値、標準偏差を示している。横向き施工での隙間幅は、150×150mmから120×120mmにかけていずれの項目も小さくなっているが、120×120mm、90×90mmの間には明確な違いが確認されていない。一方の、上向き施工では、施工面積が120×120mmから90×90mmにかけて小さくなっている。初心者が横向き施工を行う場合は、最大施工面積を120×120mm程度までの範囲とすることで、施工者による技能差の影響を小さくすることができる。また、上向き施工を行う場合は、施工面積90×90mmの場合に横向き施工と同等の結果となることから、施工面積90×90mmが品質を確保する上での一

表2には、試験体を14日間塩水浸漬させて、さらに14日間乾燥させた後の鉄筋腐食面積率の測定結果を示している。この結果、横向き施工における腐食面積は、120×120mm、90×90mmともに隙間幅が同等であったこともあり、明確な違いを確認できなかった。上向き施工の場合には、施工面積が小さいもののほど隙間幅が小さくなっており、それに伴い腐食面積も小さくなっている。施工向きの違いでは、同一施工面積であっても上向き施工の方が横向き施工に比べて腐食面積が大きい結果であった。一例として、写真3には、上向き施工における試験体を割裂した断面を示している。上向き施工を行ったものは、写真に示すように施工者から見て右手側の底面部に鉄筋に沿った空洞が生じており、その空洞箇所に腐食が多く散見されていた。一方の、横向き施工では、側面部の界面のみに腐食が集中しているものが多かった。

管理者直営による断面修復作業においては、施工

第55回セメント協会研究所講演会を開催／セ協

(一社)セメント協会は、2023年12月1日に「第55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した。

研究所講演会は、セメント・コンクリートに関する学術研究、新技術などに関する知見を普及、啓蒙させることを目的としている。今回の講演会は、「高炉スラグ」と「火山ガラス」のコンクリート材料に着目したプログラムで参加募集を行い、会場には約60名が来場、オンラインには約340のアクセスがあり、計400名程度が聴講した。吉田研究所長の挨拶の後、下記3件の講演と活発な質疑応答が行われた。

① 高炉スラグ微粉末を用いたセメントの水和反応の評価 / 佐川 孝広 氏(前橋工科大学)

② カーボンニュートラル社会を実現するためのマテリアルデザイン～高炉スラグ微粉末を効果的に使うためには～ / 伊代田 岳史 氏(芝浦工業大学)

③ 火山ガラスの混和材利用 過去／現在／これから / 友寄 篤 氏(東京大学)

①では、「定量分析手法の確立」として、複数の分析・解析手法を用い、反応率や水和生成物の分析結果の妥当性を検討。結果をベースに実施した「材料・配合(例えば、置換率、化学組成)」「環境条件(例えば、温度)」「硬化体特性(例えば、水和反応、強度、空隙)」に関する研究結果を紹介した。

コンクリート分野におけるカーボンニュートラル(CN)の研究開発が加速しているが、CNばかりに囚われず、建設材料としての高炉セメント・高炉スラグ微粉末について研究を継続することは重要と考える。また、分析機器は近年大きく進歩し、分析技術は向上したが「分析技術はコンクリートの性能やメカニズムを解明するための一手法」「セメント化学からコンクリートへ」に重きを置いて今後もセメント化学の研究に取り組んでいきたいと結んだ。

②では、グリーン購入法の施行(2001年4月)以降、高炉セメントを用いたコンクリートは富配合となり、普通ポ



佐川先生

伊代田先生

友寄先生

ルトランドセメントと同じように使われ始めた。高炉セメントはCO₂排出削減の面で有効である一方、コンクリートとしては環境条件や初期養生の影響を敏感に受け、普通ポルトランドセメントよりも使用上、注意しなければならない材料であることを研究データを根拠に解説した。

「材料を知る」「良いものをつくる」という原点回帰の視点で考え直さなければならない。すなわち、コンクリート構造物の品質を確保するためには、これまでの材料(セメントや混和剤)供給側による不具合解消の努力(例えば、低発熱、収縮補償)に加えて、各種材料の特性を最大限に引き出した総合的な施工システムの構築が今後必要であるという考えを示した。

③では、火山灰は1900年代初期に小樽築港で使用され、その後、北海道余市や佐賀県で火山灰製造工場が稼働したことなどを写真や古書記録を引用して紹介した後、火山ガラスの定義、製造方法とJIS化(JIS A 6209:コンクリート用火山ガラス微粉末(2020))に至るまでの経緯を詳述した。また、九州と北海道から採取した複数のサンプルを調べた結果に基づき、化学組成(Si/AlまたはSi/(Al + Fe))や物理量(BET比表面積)など今後普及に必要な選択指標を提案した。

最後に、「火山ガラス微粉末のこれから」としてコンクリート用混和材やポルトランドセメントの少量混合成分としての利用拡大の可能性について言及。今後は火山噴出物の調査を全国に広げ、日本固有の資源として期待される火山ガラス微粉末が日本の建設産業に貢献できるよう調査・研究を継続していきたいと述べた。

向きによって弱点部や求められる補修技能が異なることが分かった。さらなる品質確保に向けて、上向き施工ではプライマーとの併用、横向き施工では上側に隙間が生じることを前提として、界面部周布に沿ったシール材の被覆等が補助工法として必要になってくるものと考えられる。今後は、品質確保に向けた具体的な補修方法を多角的に提案していきたいと考えている。

5. 今後の展開

これまでに、著者らは産官学が連携して、橋梁点検に関する講習・実習を長きに渡り実施してきた。最近では、DIY補修を実践する自治体が現れはじめてことから、新たな展開として、2020年に第1回直営補修に向けた補修講習・実習を開催するに至っている。この取り組みは、参加者からも好評であり、多くの自治体からの講習内容の要望を基に形にしたものである。今後は、断面補修のみならず、様々な補修内容を講習内容に取り入れて、バージョンアップを図っていく予定である。

また並行して、参加者の技能や補修レベルをデータ化し、蓄積することで誰でも一定水準以上の補修品質

が確保できるDIY補修マニュアルも作成したいと考えている。今後も産官学が協力し、地方自治体の当面の課題であるメンテナンスの諸問題の解決に向けてなお一層取り組んでいきたいと考えている次第である。

【謝辞】講習会の開催に当たっては、福岡県県土整備部道路維持課、福岡県道路協会、(公財)福岡県建設技術情報センターに多大なるご協力を頂いた。また、玉名市木下義昭氏には、講習会の開催に至るまでに様々なアドバイスを頂いた。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省道路局／道路メンテナンス年報(令和元年8月), http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h30/R1_03_maint.pdf
- 2) 浅野和香奈, 子田康弘, 岩城一郎／簡易橋梁点検チェックシートと橋マップを用いた住民主導型橋梁セルフメンテナンスモデルの構築と実践, 土木学会論文集F4(建設マネジメント), Vol.75, No.2, L36-L49, 2019
- 3) 木下義昭／自治体職員が直営施工を実践する手づくりの橋梁メンテナンスの構築, 土木学会論文集F5(土木技術者実践), Vol. 76, No. 1, pp. 52～65, 2020
- 4) 木下義昭, 松永昭吾, 佐川康貴／地方自治体職員によるコンクリート橋の補修の実践および補修品質向上手法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.1255～1260, 2020
- 5) 植原弘貴, 山田悠二ら／管理者直営補修の実践に向けた課題抽出と断面補修における技能評価, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.1, No.1, pp18～25, 2022.3

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2023”をお頒けします

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

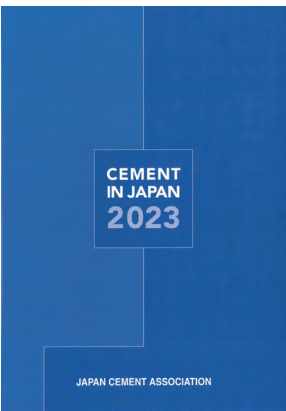
ご希望の方には無料でお届けいたします。

申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

【主な内容】

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



北海道新幹線への PCaセグメント桁(PCU形桁)の適用

Adoption of precast segmental girder (prestressed concrete U-shaped girder)
to Hokkaido Shinkansen

朝長 光 池端 文哉 河内 一樹

1. はじめに

PCU形桁(写真1)は、工場製作したU形の主桁を現場に運搬・架設し、床版コンクリートを現場打ちで合成するコンボ橋である。これまで鉄道・運輸機構(以下、JRTTと称す)では、国内鉄道で大規模な採用としては初めてとなったつくばエクスプレス線(以下、TX線と称す)をはじめ、成田スカイアクセス線の普通鉄道や、北陸新幹線の低速走行区間である稲荷千歳高架橋において工程短縮や営業線近接工事における施工性の観点から桁長20mプレテンのPCUコンボ橋(PCU形桁)を採用してきた。一方で道路橋では、主に経済性がPC橋と鋼橋とで拮抗している桁長45m～60mの長スパンのポステンPCUコンボ橋が主流となっており、桁長20m～45mのPCUコンボ橋は比較の実績が少ない範囲であった。



写真1 PCU形桁
[北陸新幹線 稲荷千歳高架橋]

近年では働き方改革や生産性向上の観点から工事計画を行うことも重要である。現在建設が進められている北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の橋梁および高架橋区間の工事では、生産性向上や冬季を考慮した施工計画等を背景に、PC技術者・技能者の確保や材料の安定供給の観点も踏まえ、(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会(以下、PC建協と称す)に協力を得ながら、多雪地域で高速走行に耐える構造として、プレキャストセグメントのPCU形桁を標準設計に採用し、桁長20m～35mの範囲にPCU形桁の適用範囲を拡大した^{1,2)}。

本稿では、今までJRTTで建設してきた普通鉄道および新幹線におけるPCU形桁の変遷を紹介するとともに、高速化への対応並びに工期短縮・働き方改革の観点から設計を行った、北海道新幹線(新函館北斗・札幌



ともなが ひかる / TOMONAGA Hikaru
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
設計部 設計第一課
課長補佐



いけはた ぶんや / IKEHATA Bunya
パシフィックコンサルタンツ(株)
交通基盤事業本部 鉄道部
副部長



かわうち かずき / KAWAUCHI Kazuki
同上
鉄道部 橋梁構造室
技術主任

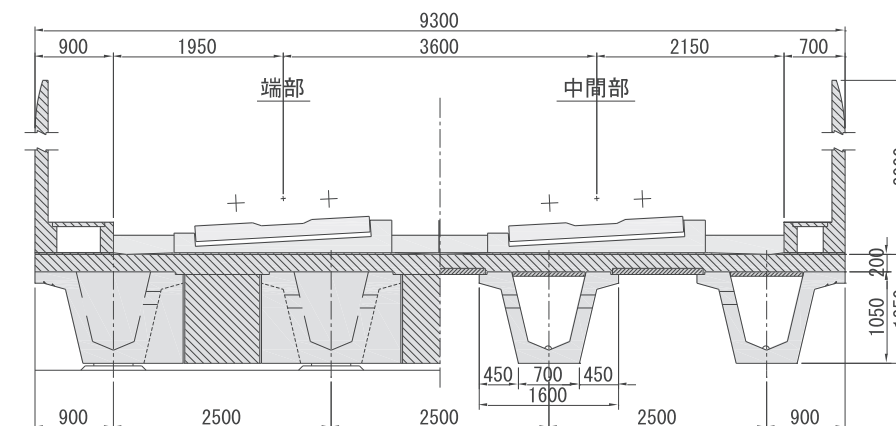


図1 TX線のPCU形桁

間)におけるPCU形桁の設計結果について報告する。

2. 鉄道建設におけるこれまでの PCU形桁

2-1. つくばエクスプレス線(2005年開業)

JRTTで初めてPCU形桁を採用したのは、つくばエクスプレス線である³⁾。

図1にTX線におけるPCU形桁を示す。ここでは、省力化施工を目的に、工場製作された桁長20mのプレテンション方式のPCU形桁を採用した。TX線は、総延長約58kmの都市高速鉄道新線であり、約29kmが橋梁・高架橋区間である。このうち高架橋区間の約9km(入出庫線を含む)をPCU形桁で施工した。主桁数は単線で2主桁、複線で4主桁である。設計列車荷重はM-15、設計速度は160km/h、縦締め鋼材はSWPR7B 1S15.2を22本、横締め鋼材はSWPR 191S21.8を4本用いている。

この線区での特徴としては、施工の省力化に当たって中間横桁の省略を行ったことである。これにより、荷重分配は床版を介して行われることとなる。そのため、主桁部および床版部の合成性能の確認、加えて荷重分配の確認をするために、現地にて実橋での載荷試験を行った。試験は実物大の供試体を用いた静的および疲労載荷試験を行い、その性能に問題がないことを確認した。

2-2. 成田スカイアクセス線(2010年開業)

成田スカイアクセス線では、路線延長10.7kmについて用地買収を含めて約4年、準備工を除いて2年程度で土木工事を完成させる必要があった⁴⁾。そのため、工期短縮策の一環として鉄道構造物では一般に用いられているラーメン高架橋を桁式高架橋に変更し、この区間のうち8割でPCU形桁を採用した。主桁数はTX線と同じく4主桁、設計速度は160km/hであり、主桁断面・ケーブル本数もTX線で採用されたものから基本的に変更はない。TX線では端横桁もプレキャストブロック構造としていたが、プレキャスト部材同士の接続に調整代を設けるため場所打ち構造に変更した。また、成田スカイアクセス線では、桁間については構造部材のためPC板を用いたが、それ以外の主桁上の型枠には樹脂型枠を用いて、クレーン揚重が必要になるPC板の敷設面積を約半分とした。軽量の樹脂型枠を用いることで、人力での敷設が可能であり、クレーン揚重が必要となる桁間のPC板の施工に比べて工程をさらに短縮した。

2-3. 北陸新幹線、稲荷千歳高架橋(2015年開業)

図2に北陸新幹線、稲荷千歳高架橋のPCU形桁を示す。北陸新幹線、稲荷千歳高架橋⁵⁾は富山駅の起点方に位置する延長601mの高架橋である。当該区間はJR北陸本線(現、あいの風とやま鉄道線)と富山地方鉄道線の2線の営業線に挟まれており、その中

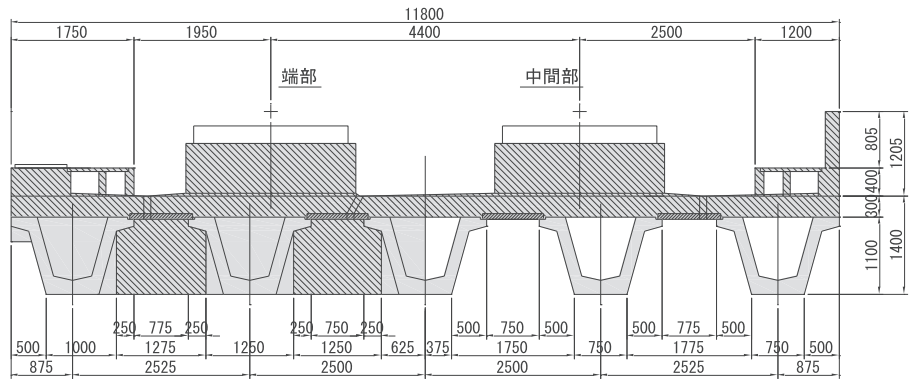


図2 北陸新幹線、稲荷千歳高架橋のPCU形桁



図3 北海道新幹線の路線概要図

で高架橋工事を行う必要があった。特に狭隘な箇所では富山地方鉄道線の上空を占有する区間や新幹線本線の橋脚とJR線との離隔が最小で5.8mしかない区間があった。

本工区では、営業線への安全性・工期短縮・狭隘箇所における施工といった制約条件、および概算工事費の比較を行い、クレーン架設によるPCU形桁を採用した。桁長は道路交通法による運搬重量の制限(38.5t)があるため、これまでの新幹線を除く普通鉄道における実績と同じく20mとした。単位長さあたりの桁重量が小さいため、PCT形桁に比べて橋脚のフーチングを小さくできた。また、TX線と同様に主桁位置の調整によって片持ちスラブの施工を不用とし、中間横桁を省略することで営業線上での施工を極力減らすことができる。これらにより、営業線に対する安全性を高めることができた。また、狭隘な区間での施工になるた

め、鉄道高架橋として一般的なラーメン高架橋では、床版を打ち込む際に地上から設置する支保工が支障し片押しでの施工となるが、PCU形桁の場合主桁を工場製作とすることで大幅な工期短縮を図った。さらに工場製作のため、架設現場の狭隘な施工環境という条件によらず品質が確保された桁を架設することができた。

当時、PCU形桁は整備新幹線での施工実績はなかったが、当該区間は富山駅周辺の急曲線区間であり、走行速度が160km/hと設定されたため、同設計速度の成田スカイアクセス線における実績を基に、PCU形桁を採用した。

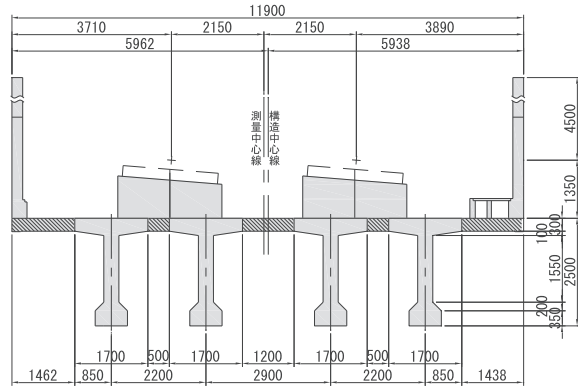
3. 北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)におけるPCU形桁

3-1. 線区の概要

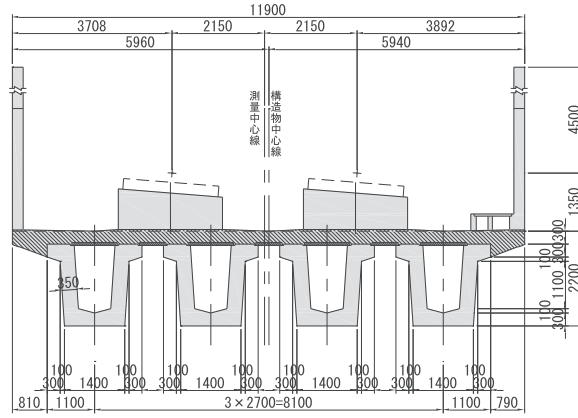
北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の線路延長は約212kmであり(図3)、2012(平成24)年6月に工事実施計画の認可を受け、新青森・新函館北斗間の開業からおおむね20年後の工事完了を予定して工事に着手した。線路延長のうち、約80%がトンネル区間、約20%が橋梁および高架橋を含む明かり区間であり、標準PCU形桁は40連の架設が計画されている。

3-2. 従来設計における課題

北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)では、営業



(a) プレキャストPCT形桁



(b) プレキャストPCU形桁

図4 標準設計検討断面

中の東北新幹線と同様の320km/hの高速運転が計画されており、これに伴い、桁の平面性保持、振動の抑制、防音壁の高さ向上による荷重増等が課題として挙げられた。さらに、当該路線のうち、橋梁・高架橋および土工からなる明かり構造の約半分の距離が集中する長万部地区では、内浦湾沿岸からの近い位置に構造物が建設されるため、塩害についての対策も必要であった。

整備新幹線では、採用頻度の高い45mまでの桁を標準桁として5mごとに設計しておき、一般部の構造計画時には標準桁を当てはめることで構造物の統一性および生産性を高めている。従来までの整備新幹線における標準桁は、20～45mの桁について主桁をPPC構造としたPCT形桁を採用してきた。桁長20～35mは4主桁、桁長40m以上では6主桁であり、現地製作したT形桁を場内運搬し架設する。近年では、主桁の製作・運搬や工程の条件のほか、現地製作に従事できる技術者・技能者確保の観点から施工段階で

プレキャストセグメント桁に変更する事例¹⁾などが増えている。しかしながら、これまでは、既設計または施工済である下部構造への影響がないように、T形桁の断面を変更せずにセグメント化することが一般的だった。セグメント桁の場合はセグメント目地部において変動作用時でも主桁下縁で圧縮を確保する必要があり、当初のPPC構造と比べると、同一断面に対して多くの鋼材が配置される。それ以外にも工場製作・運搬時に必ずしも合理的な構造となっていない問題点があった。

3-3. 北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)におけるPCU形桁の設計概要

北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)では、工期短縮、冬季の生産性向上の観点から、あらかじめプレキャストセグメント桁を採用する前提でPCU形桁を設計した。これまで採用してきた桁長20mのプレテンション式PCU形桁よりも適用できる橋長を拡大することを目的に、輸送に配慮してポストテンション方式のセグメント桁とし桁長25～35mの標準桁を採用した。ここで、プレキャストセグメントPCU形桁の適用を桁長35mまでとしたのは、調査した結果、桁長40m以上になると、セグメントを一体化した後の桁重量が160tを大幅に上回り、架設桁架設とする場合の一般的な資機材による対応が困難となると判断したためである。なお、桁長40mの標準設計では、プレキャスト部材の桁高が2.9mとなり、工場の上屋内での製作が難しくなることから、現場製作のPCT形桁としている。図4に桁長35mの検討をしたPCT形桁とPCU形桁の断面を示す。これらはいずれもプレキャストセグメント形式で設計を行ったものである。ここで、整備新幹線のPCT形桁は、桁の製作性を考慮して下フランジを設けない形状とするのが一般的であり、過去の開業路線の実績から、桁長35mの場合、桁高が2.5m程度以下になると想定して縦断線形が計画されていた。設計積雪深、最高速度、プレキャストセグメント化等の設計条件について検討を進めていく中で、桁剛性やケーブル配置の要因から、PCT形桁は下フランジを設ける必要があった。一方、PCU形桁

	25.0m		30.0m		35.0m	
	PCT	PCU	PCT	PCU	PCT	PCU
主ケーブル配置	12S12.7-8 本	12S12.7-8 本	12S12.7-8 本	12S12.7-10 本	12S12.7-10 本	12S12.7-12 本
桁高 h	1900 mm	1600 mm	2200 mm	1900 mm	2500 mm	2200 mm
主桁数 n	4	4	4	4	4	4
1 主桁当りの ブロック数 n'	5	5	7	7	9	9
架設時の上引張対策	要	不要	要	不要	要	不要
断面 2 次モーメント I (主桁 4 本+スラブ)	5.65 m ⁴	8.66 m ⁴	8.31 m ⁴	10.06 m ⁴	11.83 m ⁴	14.98 m ⁴
衝撃係数 i(単線)	0.592	0.680	0.444	0.568	0.543	0.865
動的たわみ(単線)	5.5 mm	3.1 mm	6.8 mm	4.7 mm	8.3 mm	6.3 mm

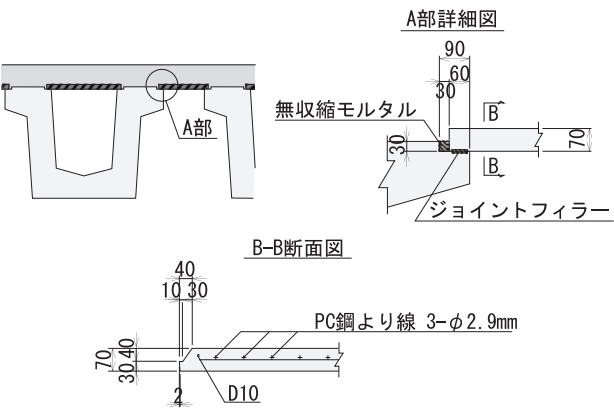


図5 PC板の埋設型枠

の桁高はPCT形桁よりも低いため、計画している縦断線形への影響はない。以下に両者を比較するに当たって設定した主な設計条件を箇条書きで示す。

- ・主桁はポストテンション方式のPC構造とした。
- ・主桁数は、複線軌道の活荷重に対して各種桁が有効に働くよう4主桁とした。
- ・主桁コンクリートの強度は50N/mm²とした。
- ・運搬時の重量制限を20t程度に制限し、桁長に応じてセグメント分割を決定した。
- ・縦締めケーブルはSWPR7BL 12S12.7、横締めケーブルはSWPR19L 1S21.8とした。

表1にPCT形桁とPCU形桁を設計速度320km/hの条件で設計した結果の比較を示す。PCU形桁は、1主桁当り2箇所のウェブを有するため、PCT形桁より相対的に桁剛性が大きくなり、桁高を抑えることが可能であった。これは、PCU形桁が下フランジにPC鋼材

を多く配置でき、効率よく軸力を導入できるという特性も有利に働いた結果である。また、同様に桁剛性が大きいPCU形桁は、主ケーブル緊張時の上側引張に対する仮設ケーブルの設置による対策が不要となり、経済性、施工性に有意なPCU形桁を採用することとした。なお、320km/hの高速走行で必要となる高い防音壁を支持する張出しスラブが短くなる点でもPCU形桁の方が有利となった。

3-4. 生産性、施工性向上への対応

施工性では、幅の広い下フランジを有するPCU形桁は、PCT形桁より運搬時の安定性が高い。また、多雪地区で高速走行するPCT形桁は、今までにない桁高になり架設時のねじり耐力や面外方向剛性に課題があった。これらのことからPCU形桁は、運搬時や架設時の安定性・安全性に優れる構造と言える。さらに、PCU形桁は、図5に示すように、主桁間には、現場打ちする床版の底型枠として、PC板の埋設型枠を採用することで地上からの支保工を廃することとした。同様に現場打ちする横桁の打設時においても中埋めコンクリートと張出しスラブを一体で打設可能であるため、PCT形桁に比べて工程短縮と省力化が可能となった。

なお、前述のTX線で主桁内に隔壁を設けることで省略したPCU形桁の中間横桁は、桁断面の両端に設置される電柱や防音壁の荷重が大きいため、施工性は低下するが、主桁分担荷重を平準化することを目

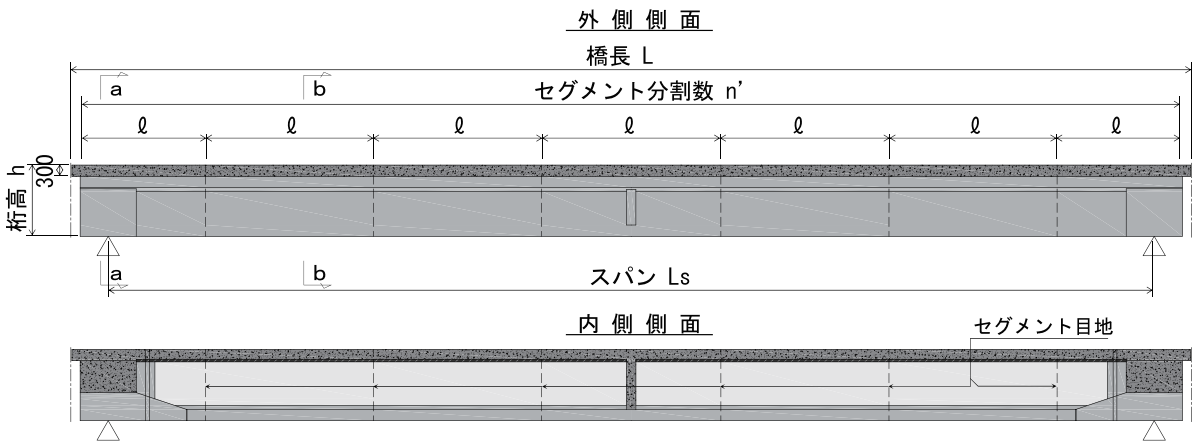


図6 PCU形桁の側面図と分割諸元

表2 各桁長におけるセグメント諸元

桁長L	25m	30m	35m
主桁重量	98.4 t	122.1 t	160.7 t
分割数n'	7	7	9
セグメント長	2.75～5.0 m	3.35～5.0 m	3.25～4.5 m
セグメント重量	12.9～19.8 t	16.5～19.8 t	16.6～19.6 t



図7 塩害検討における海岸の地域区分

的に配置することとした。

図6、表2に橋長別のセグメント長および重量を示す。セグメント割は、スパン中央が目地部とならないように奇数割を基本とし、工事期間が集中し、輸送の手配が全体工程に影響を及ぼさないよう、一般的な20t積み低床式セミトレーラの許可範囲に収めた。

また、主桁断面の細目は主桁製作時の型枠の転用を考慮して設定した。桁長によらず、主桁下面幅は1400mm、内型枠底部幅は752mm、およびウェブの傾斜角について統一を図った。なお、セミトレーラでの運搬は、その地域におけるトレーラの台数、セグメント製作工場から架設箇所までのアクセス性、冬季の道路事情や除雪の有無などの検討が必要である。また、

施工時期等の課題には、下部工の工程や工場の生産能力、他事業との競合との調整による製作・架設時期等の調整を今後行っていく。

3-5. 塩害への対応

図3の路線概要図からも分かる通り、長万部地区は内浦湾沿岸に新幹線が建設されることとなる。また、長万部地区は、図7に示す通り、鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)第Ⅲ編⁶⁾におけるS1地域に当たり、本路線は同地区内全域で沿岸からの距離1km以内に位置しているため、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食の検討を省略できない地区である。しかしながら、塩害対象区間とそれ以外で、

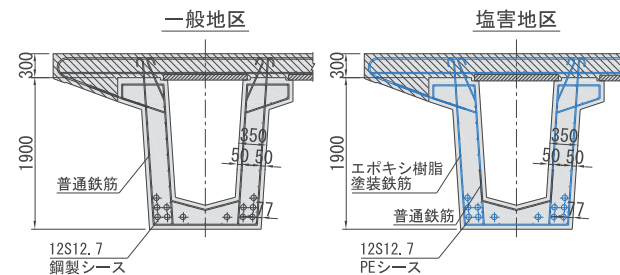
セメント・コンクリート関西発表会 2023を開催
～コンクリート研究会 90 周年記念～

図8 塩害地区の断面配筋・ケーブル配置図

桁形状を変更することは、工場製作上の型枠転用の優位性を欠くことになるため、両者を同一形状とする基本理念の下、下記の方針により設計を実施した。また、図8には一般区間と塩害区間の配筋および鋼材配置の詳細図を示す。

・プレキャストセグメント桁なので大部分の鉄筋が工場製作であり、品質が確保できること、およびセグメント重量増によるセグメント数の増加を避けるため、主桁およびスラブ等において部分的にエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる。

・シース管は、かぶりを確保できる場合は鋼製シース管を使用し、かぶりを確保できない場合のみPEシース管を使用する。ただし、同一部材内で鋼製シースとPEシースの混在は避ける。

・ケーブルのグリッド筋は、かぶりを確保すると定着部の縁端距離が大きくなり、ケーブル配置の調整が生じってしまうため、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる。

・PC板は部材厚が薄いため、鉄筋とPC鋼より線にエポキシ樹脂塗装仕様のものを用いる。

・かぶり厚による対応で鉄筋間隔を確保できない場合、主鉄筋・スターラップ・側面鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いることで断面形状を変えずに対応する。

4. まとめ

本稿では、JRTTにおいて建設してきたPCU形桁の変遷、ならびに北海道新幹線、新函館北斗・札幌間に適用予定のPCU形桁の設計概要や検討事項についてまとめた。

PCU形桁は鉄道で桁長20mのプレテン桁として採用し始めてから20年強を経て、新幹線高速走行に耐

えて、かつ橋長の適用範囲を広げるため、プレキャストセグメント桁形式に変化してきた。結果としてこれまでPCU形桁としては実績の少なかった橋長の範囲が整備新幹線では優位性を示すこととなったが、これはPC建協の目指す60m以下の橋のプレキャスト化⁷⁾に合致しており、今後も同様の桁長での採用が見込まれる。

今後の課題としては、冬季施工時におけるブロック目地部の接着剤の品質管理、冬季でのPCグラウトの養生管理、目地部に塗布する防水工の品質管理・施工サイクルといった検討が必要である。また、工事工程面ではセグメントの製造・運搬時期の平準化が重要と考える。引き続き安全に配慮しながら北海道新幹線の工事を進めていく。

最後に、今回のPCU形桁の設計では、工場製作上の合理的な断面形状の設定や現地搬入に当たってのブロック割、道内の工場の生産能力、架設歩掛の検討などについてPC建協のご意見を賜りました。感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 進藤良則, 土井充, 西恭彦, 中村龍次／整備新幹線の建設における取組み-北海道新幹線にプレキャストセグメント桁を適用-, プレストレストコンクリート, Vol.64, No.2, pp.36～39, 2022.3
- 2) 齋藤真秀, 進藤良則, 朝長光, 谷田宗一郎／鉄道・運輸機構における鉄道PCU形桁の適用と高速化に対応した設計, プレストレスト工学会 第31回シンポジウム論文集, pp.271～275, 2022.10
- 3) 柿崎孝夫, 川崎誠, 金森真／つくばエクスプレス(鉄道)に採用したPCU型桁式高架橋の開発, プレストレストコンクリート, Vol.47, No.5, pp.36～40, 2005.9
- 4) 中西孝治, 清水正志／工程短縮にみるPCU桁の省力化施工-案能架道橋外8箇所-, 土木施工, Vol.52, No.3, pp.90～92, 2011.3
- 5) 山東徹生, 河瀬日吉／北陸新幹線(長野・金沢間)のPC桁の設計について, プレストレストコンクリート Vol.56, No.2, p.49, 2014.3
- 6) (公財)鉄道総合技術研究所／鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)第Ⅲ編コンクリート構造, p.100, 2023.5
- 7) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会／PC建協の未来地図, vision2023, p.18, 2023

2023年11月9日、コンクリート研究会(会長：宮川豊章京都大学名誉教授)は日本コンクリート工学会(JCI)近畿支部協賛のもと「セメント・コンクリート関西発表会2023」を開催した。今年度も、講演会への参加方法は会場とwebを選択できる形式とし、JR新大阪駅近くの会場にて開催した。

本発表会は、同研究会が毎年行っている活動の一つであり、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等が参加している。今年度は、同研究会の90周年の記念行事として、従来の論文発表に加えセメント・混和剤の両業界から特別講師を迎え記念講演が行われた。

宮川会長の開会挨拶では、1933年にコンクリート座談会として発足された同研究会の歴史とこれまでの活動に触れ、日本のコンクリート技術発展の歴史を振り返った。また、「近年の地球温暖化や人口減少社会といった制約条件のもと増大する高齢構造物に対して、インフラ・市民社会・LCC&LCCO₂を満足させるシナリオが必要であり、具体的な2050・カーボンニュートラルへ向けた対策として丈夫で美しく長持ちするコンクリートを作ることが有効である」と述べた。また、「コロナ禍以降のコンクリートに要求されるものは、①ニューノーマル(DX技術の加速、AI活用)、②知のネットワーク化(各種データ連携による予測・事前対策)、③サイバーとフィジカル(現場に裏打ちされたサイバー活用)であり、100周年に向けて本発表会を、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ますます活用して欲しい」と述べた。

発表会では、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10件と記念講演2件の発表が行われた。10件の発表では、①スラッグや高炉スラグ微粉末などの環境配慮技術、②材料や分析・評

価方法に関する新技術、③AI技術のコンクリート分野での活用、の3つのジャンルに大別し発表が行われた。

記念講演では、コンクリート用化学混和剤協会の矢口稔技術委員から「コンクリート用化学混和剤の最新技術と今後の展望」、セメント協会・研究所の吉田雅彦所長から「セメント産業と環境～カーボンニュートラルを目指して～」と題してそれぞれの業界の技術変遷と将来展望について貴重な講演があった。

今年度も会場とwebによる併用開催となったが、会場参加が8割を超え、活発な質疑や情報交換が行われるなどコロナ禍前への回帰が実感できた。

発表会終了後、上田尚史実行委員長(関西大学)から12件(特別講演を含む)に対しての講評が行われ、併せて講演者への感謝が伝えられた。

閉会挨拶では、JCI近畿支部を代表して鶴田浩章担当理事(関西大学)より、「若い技術者からの斬新な研究報告や業界変遷を改めて聴講できたことは喜ばしい。100周年に向けて同研究会の活動継承と更に活発な意見交換の場となるよう期待している」と結ばれ閉会した。



宮川会長



旅に出よう!



森 拓也

この三年余り、新型コロナウイルス感染症で多くの我慢を強いられた。その一つが旅行だろう。私自身、コロナ発生から2年間で旅行を3回計画し、いずれもキャンセルすることになった。3年目には、旅行を計画すること自体を諦めた。それまでは、年に数回は旅を楽しんだが、それが叶わない日々が続いた。いまでは、さまざまな制約が解除され、それまでの鬱憤を晴らすように、旅行者が増えているとのことである。気持ちはよく理解できる。当たり前の日常が戻り、普通に旅を楽しめることを素直に喜びたいと思う。

旅の楽しみ方は、人それぞれ違うのだろうが、私の場合は、“ちょっとした非日常を味わう”ということだと思っている。地の食材を使った料理人の手の込んだ食事や四季折々の美しい景色は旅の大きな楽しみだが、観光地を次から次に巡るようなことは望まない。せいぜい一つか二つ、ぶらりと訪れれば十分である。あるいは、知らない街をぶらぶら歩くだけでも良い。かつて、頻繁にハワイ旅行する知人に、「ハワイのどこがいいのか」と訊いたことがある。彼曰く「ハワイは、観光しなくていいんだよ」との答えに、なるほどと感心した。そういうことなのである。

海外旅行もいいが、移動時間を考えると少し億劫であり、手軽な国内旅行が中心である。かつて埼玉に住んでいたころは、車で北関東の栃木や群馬、ちょっと頑張って福島に行くことが多かった。都内に住むようになってからは、車を持たなくなったこともあり、電車で伊豆や箱根に行くことが多くなった。家内が雑誌で見つけた観光地を選ぶこともある。家内曰く、「計画してる時が楽しいよね。」と言うが、実は計画はほぼ私任せである。とはいえ、どこでも一緒に楽しそうに来てくれることはありがたいことである。

自動車での旅は何かと便利だが、電車の旅もまた独自の楽しさがある。我が家の場合、まずは東京駅で駅弁を買うところから旅が始まる。これは家内の担当である。いろんなものを少しずつ食べるのが彼女の好みで、実に種類が多い。アサリたっぷりの深川弁当にフルーツサンドとおせんべい、などといった奇妙な取り合わせもあるが、最近の駅弁はレベルが高く、どれも美味である。車窓を見ながら優雅に弁当を味わいたいところだが、いつも、品川を過ぎるあたりでほぼ完食してしまう。

旅行先は温泉が多い。大規模ホテルの時もあるが、どちらかと言えば古風な温泉宿が好

みである。温泉マニアではないので、泉質等には拘らないが、湯船につかりながら、夜空が見えれば最高の気分である。かつて、海沿いの宿でスーパームーンを見る機会に恵まれた。月の光が海面に揺らいで光の道のように見える様子は本当に美しかった。

ぜいたくを言えば、サウナがあればなお嬉しい。じっと暑さを噛みしめながら汗を出せば、体が浄化されたような気分になる。そして、醍醐味はそのあとの水風呂である。せいぜい15℃ほどの水だが、冷水のように感じる。一気に身体を入れると、全身がキュンと締るような感覚がよい。実はこの瞬間のためにサウナに入っているのではないかとも思う。これを3,4回繰り返すのが定番で、いつも1時間半から2時間ぐらしかかる。

以前は、この後にマッサージや整体を頼んだこともあったが、最近ではあまりやらない。確かに心地いいが、その時だけのような気がするからだ。一度、ある宿でマッサージを頼んだ時のこと。部屋でしてくれるとのこと、年配の女性がやってきた。ベテランの業で丁寧に身体をほぐしてくれたが、たまたまテレビで羽生結弦の試合を放送していた。彼女は羽生の大ファンのようで、テレビをチラチラ見ている。羽生がジャンプするたびに指先に力が入り、こっちも息を止めることとなった。楽しい思い出ではあるが、二度は要らない。

旅は元気のバロメータのようにも思う。旅に出ようと思うのは、心身が元気な証拠でもある。



かつては、北海道や九州に足を延ばしたこともあったが、最近は近場が多い。ひょっとすると“元気”が落ちているのかもしれない。さて、コロナも終わりに近づいてる。少し遠くまで旅に出ようかと思っている。

[もり たくや／

(株)ピーエス三菱 代表取締役社長執行役員]

イラスト・タイトル 宮島幸次

セメント系複合材における ビニロン繊維の適用技術

State-of-the-art technology of polyvinylalcohol fiber in cement-based composites

小川 敦久

1. はじめに

ポリビニルアルコール系繊維（PVA 繊維／以下、ビニロンと称す）は、セメント複合材料の補強材として使用されている。アスベストによる健康被害が問題となり始めた1970年代後半から、欧州を中心にアスベストに代わる補強材料として、スレート屋根材等に広く使用され、長期の供用による耐久性評価も実施されてきた¹⁾。国内では、老朽化したトンネル、橋梁などの補修・補強や、震災などの自然災害への備えとして、コンクリート、モルタルの補強材としても使用されている。短繊維によるセメント複合材の補強には、補強材として必要な、引張強度、引張弾性率などの力学的物性に加えて、セメント系マトリックスとの好適な接着性、高アルカリ環境となるセメント複合材料中での耐久性などが要求される。**表1**に代表的なセメント複合材料に使用される繊維の特性値を示す²⁾。ビニロンは、銅繊維等の無機系繊維やアラミド等のスーパー繊維に比べて力学的物性は劣るものの、セメント系のマトリックスとの接着性や、アルカリ環境下での耐久性等に優れた汎用繊維である。

2. ビニロンの特徴

ビニロンはポリビニルアルコールを原料とした合成繊維である。ポリビニルアルコールは分子鎖中に非常に多くの極性の高い水酸基（-OH）を有し、極性物質や金属に対しての親和性に優れる（**図1**）。この特性を利用して、水溶性の合成繊維を製造することができ、得られる水溶性繊維は製紙用バインダー、刺繍生地などに利用されている。一方で、製造の際に加熱延伸することによって高分子鎖が結晶化し、常温範囲では容易に水に溶解しない、親水性に優れた高強度繊維を得ることができる。このようにして得られるビニロンは、セメント、樹脂などの複合材料の補強材、ロープ、タイヤコード、ジオテキスタイルなど、引張荷重に耐える補強材料としても多く使用されている。以下に、セメント等の無機系複合材料に適用される事例について述べる。

（1）力学的特性

ケイ酸カルシウムを主成分とするポルトランドセメントは、水和反応過程においてカルシウム化合物を遊離する。ポリビニルアルコールが有する水酸基はカルシウム等の2価の金属イオンとの親和性が高く、**写真1**に見られるように、ビニロン短繊維を混入したセメント複合材中で、繊維の周囲にカルシウム化合物が濃縮する現象が確認されることがある³⁾。ビニロンとセメントマトリックスとの高い接着力はこのような現象に由来していると推察される。工業的に製造されているビニロンは、

表1 代表的なセメント複合材料補強繊維とその特徴（抜粋・修正）²⁾

	ビニロン	銅繊維	耐アルカリ ガラス繊維	アラミド繊維	超高力ポリエチ レン繊維	ポリプロピ レン繊維
引張強度（N/mm ² ）	850-1940	490-980	2500	2000-2900	2200-4800	300-750
初期弾性係数（×10 ³ N/mm ² ）	23-45	200	74	62-130	70-175	1.4-2.2
密度（g/cm ³ ）	1.30	7.85	2.78	1.45	0.98	0.91
耐アルカリ性	○	○	△	○	○	○

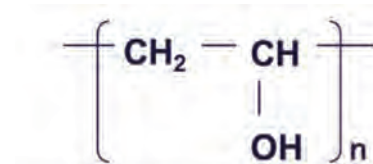


図1 ポリビニルアルコールの構造式

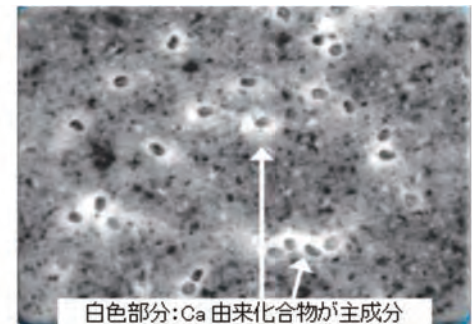


写真1 ビニロンを混入したセメント複合材料断面のSEM観察写真³⁾

表2 ビニロンの製品一覧とその代表値³⁾

銘柄名	RF4000	RFD400H	RF400H	RECS100L	RECD15	RSC15	RMS702	RMH182	H-1
繊維径（μm）	0.66	0.2	0.2	0.1	0.038	0.038	0.027	0.014	0.007
引張強度（MPa）	850	1400	1400	1230	1560	1430	1790	1940	1860
ヤング率（GPa）	23	33	33	28	41	36	45	45	43
破断伸度（%）	9.0	7.3	7.3	12.5	6.5	6.5	5.8	5.3	6
繊維長（mm）	30	18	12	12	8	8	6	6	4

*数値は保証値ではない

1800N/mm²に及ぶ引張破断強度を有し、また初期弾性率は50×10³N/mm²に迫るもので、汎用繊維としては高い機械的特性を有する。セメント複合材料に好適に用いられているビニロンの製品の例を**表2**に示す³⁾。ビニロンは上述の高い接着力とこのような高い機械的特性により、セメント複合材料の補強繊維として用いられている。

（2）耐久性

ビニロンは有機化合物を起源とする合成繊維であることから、無機系の材料との比較では一般的に耐紫外線、耐熱など耐久性に劣る。しかしながら水酸基に由来する強い極性（親水性）を有しつつもアルカリ環境下での劣化は小さく、セメント複合材料の補強材として好適である。

ビニロン補強コンクリートにおいて、プレキャスト製品等の製造にて常圧での湿熱養生に供される事例は多く、常圧の蒸気の使用は一般的である。ただし、ビニロンの融点は245℃近傍であり、また高圧の湿熱環境での使用には注意を要する。オートクレーブ養生などにて、例えば160℃以上の高圧の湿熱環境ではビニロンが溶解する場合があるため適さない。

3. ビニロンの効果

（1）ひび割れ抑制効果

短繊維の補強効果は、微小な欠陥の繊維架橋から始まる。ビニロンは、セメントの硬化初期に生じるいわゆるプラスチック収縮によるひび割れの抑制効果^{4,5)}だ



おがわ あつひさ / OGAWA Atsuhisa
（株）クラレ
繊維カンパニー 繊維資材事業部 産資開発部
主管 博士(工学)



写真2 リング試験体用型枠³⁾

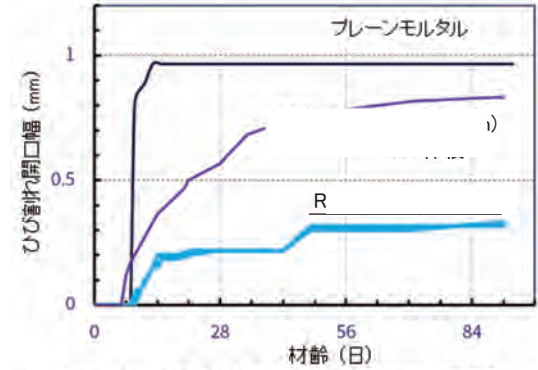


図2 リング試験体外周のひび割れ経過観察³⁾

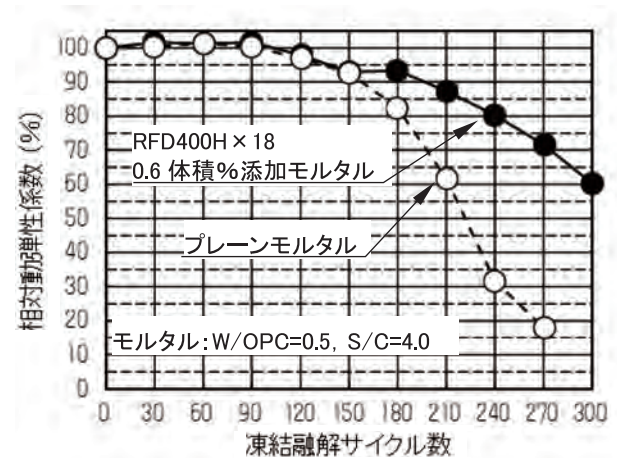


図3 相対動弾性係数評価例(凍結融解 A法)³⁾

けでなく、乾燥収縮ひび割れのような硬化後に生じる欠陥・ひび割れの抑制にも効果を発揮する。硬化後のひび割れのため、開口拡大応力が高くなり、セメントとの親和性、強度、弾性率に優れるビニロンは効果が高い。図2にASTM C1581 "Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage" によるひび割れ発生傾向を評価するリング状供試体によるひび割れ発生試験結果を示す。W/C=0.55, S/C=4.0にてモルタル単独およびビニロン添加量0.3体積%のモルタルを製造、写真2の型枠に流し込んで成形した。20℃環境で湿布養生し、打ち込みから24時間経過後に外枠を外して上下面のみシリコンコーキング材でシール処理し、20℃、40%RH環境下で静置して、試験体外周に発生するひび割れの開口幅の経時変化を観察した結果が図2である。短繊維補強によって収縮率までは低減できないためひび割れを防止することは

困難であるが、ビニロン補強モルタルでは、無補強モルタル、また他の補強繊維添加モルタルに比べてひび割れ開口幅が小さく、乾燥収縮ひび割れの開口の拡大に対して効果が高い³⁾。同様に、セメント製品の割れ・欠け、剥落防止にも効果を発揮する。2000年前後、高度成長期のインフラ構造物の補修・補強に短繊維補強コンクリートが検討され、道路、鉄道等の構造物への使用が拡大した。ビニロンはこのような割れ欠け、剥落防止にも高い効果が認められ、トンネル、高架橋上部工等に適用された^{7,8)}。これらの事例では火災時の爆裂抑制などにも効果が認められることが明らかにされている。また図3に示すようにビニロン補強による凍結融解耐久性向上効果についても期待できることから、ビニロン補強モルタルによる法面補強や法枠の事例も多い^{4,9)}。

(2) 曲げ、引張補強

短繊維の補強効果をより積極的に活用する事例として、曲げ・引張補強材としての活用も多く、このような

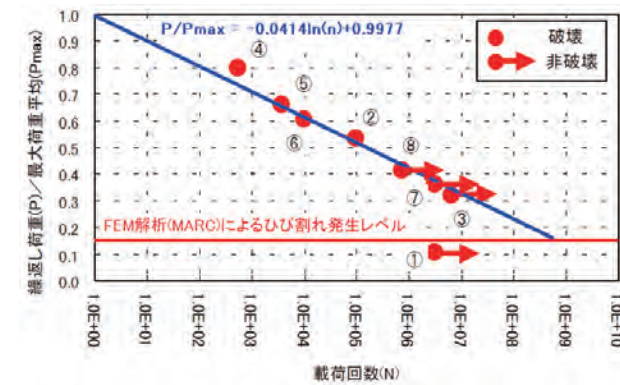


図4 車両走行における道床を想定したビニロン補強モルタル試験体の載荷回数と荷重の関係³⁾



写真3 SHCCを用いた柱の加力実験例²¹⁾

事例にもビニロンが活用され、インフラ構造物の長寿命化と同時に施工における簡略化を達成するため、鉄筋の削減・減殺まで考慮される事例がある。例えば、鉄道軌道構造物の長寿命化・メンテナンスの削減および施工の簡略化を目的とした、まくらぎ直結軌道用コンクリート道床が検討されて実用に供された。良質なバラストの入手の困難さから、鉄道高架ではコンクリート道床の適用が増加している。特にカーブ区間や分岐部は車両走行による繰返し荷重や構造の複雑さにより過密配筋になる。これら課題に対し、ビニロンを1.5～2.0体積%添加したコンクリート、モルタルによる道床が検討され、100万回を超える繰返し車の車両荷重に耐えうることが明らかになった¹⁰⁾。この研究成果をもとに短繊維補強コンクリート道床の施工手引きが発刊され、活用されている(図4)^{11,12)}。

建築構造物への適用では、個別認定取得などの課題から適用事例はあまり多くないが、例えば、袖壁付きRC柱へのビニロン補強コンクリートの適用によって靱性能を向上させることが可能であることを確認された事例などがある¹³⁾。

その他、プレキャスト部材にても積極的に曲げ、引

張特性を活用した事例がある。プレキャスト階段踏板において、鋼板との複合踏板では重量が増大し周辺構造の粗大化などの問題があるため、ビニロン補強コンクリートを用いることで曲げ強度・衝撃強度に優れる踏板が製造され、実用化されている¹⁴⁾。

(3) 高靱性

ひび割れ部に存在する短繊維の架橋効果は開口部の応力伝達によるため、マトリックスとの付着が重要である。近年実用化が進んでいる超高強度繊維補強コンクリート(UHPC, UFCなどと略される)¹⁵⁾において、初期ひび割れ応力よりも高い最大曲げ応力を達成するような極めて高い破壊靱性を有する部材として、橋梁などにビニロンは好適に使用されている^{16～18)}。

また、適正な接着力を有する繊維を使用し、マトリックスの破壊靱性を適正化することで、終局破壊に至るひび割れ開口の前に別の場所にひび割れが発生することで、ひずみに応じて応力が増加し、見かけ上変形性能が増大するような、複数ひび割れ型高靱性セメント複合材料(SHCC, ECCなどと呼称される)の実用研究がなされた^{19,20)}。これに対し、ビニロンの高い接着力を適正に制御した繊維を開発、SHCCに適用された。

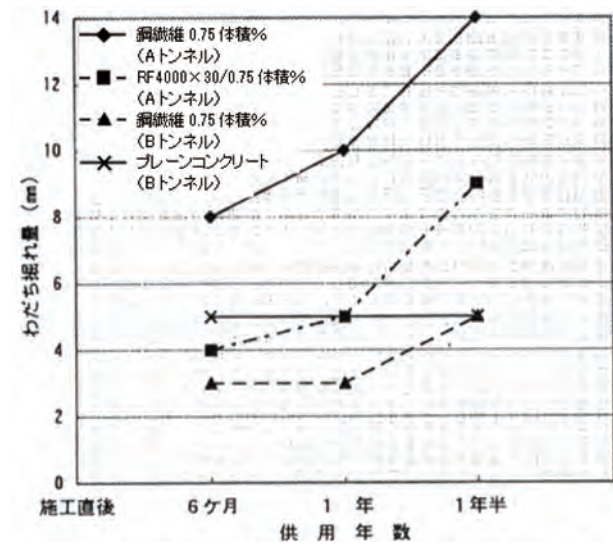


図5 オーバレイ舗装された繊維補強コンクリートのわだち掘れ深さ観察結果²⁵⁾

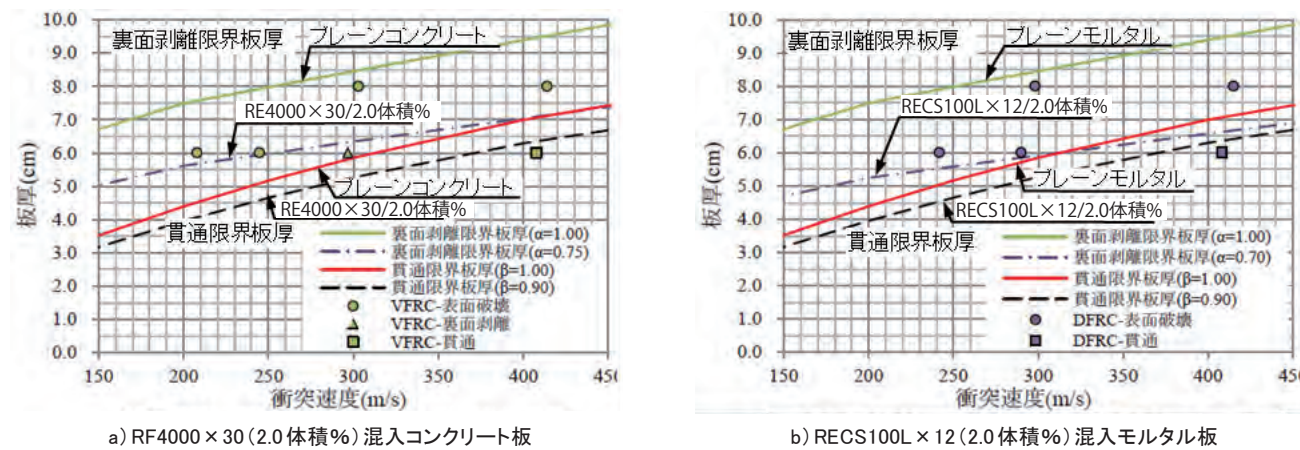


図6 高速飛翔体の衝突実験によるビニロン補強セメント複合材料の板厚低減効果³²⁾

写真3はビニロンを2.0体積%添加したSHCCによる柱の加力実験である²¹⁾。左がSHCC試験体であるが、帯筋を用いることなく同強度のコンクリートのおよそ100倍の水平変位まで軸力を保持した。このような優れた破壊靱性を活用し、高層RC建築構造物のコア壁をつなぐ連結梁に適用されている²²⁾。

(4) 耐摩耗性

その他のビニロンの活用例として、コンクリート舗装の事例がある。コンクリート舗装は国内では一般道での適用事例は少ないものの、空港、港湾、道路など需要に応じ実施されている^{23,24)}。車輪の通行によって表面のモルタルが磨滅し粗骨材が露出、露出した粗骨材が脱離する際に周辺の組織を破壊することで摩耗が急激に進行する。コンクリート舗装の摩耗を防ぐには、最

初に発生するモルタルの補強が有効であることから、短繊維補強は耐摩耗性向上に効果が期待できるため、当該用途においてもビニロンが適用されている²⁵⁾。**図5**はその際のわだちの観察結果であるが、同時に隣接区画で使用された鋼繊維補強コンクリートに比べてわだち掘れが少ないことは興味深い。これは摩耗が進んで表面に露出した鋼繊維は粗骨材と同様に脱落する際に周囲の組織を破壊するが、ビニロンはマトリックスと同程度に磨滅し、表面への露出が少ないためであろうと推察する。

(5) 衝突、爆発

わが国では、地震だけでなく津波、河川氾濫、火山噴火などの自然災害を受けてきたが、近年は竜巻などの気象災害が増加しており、またテロや犯罪の重篤化

への懸念から、避難施設や構造物の防護対策などの研究も進められている。これらの事象で想定される速い外力に対する破壊挙動とそれに応じたりスク、防護に対する考え方が検討され、各建設系学術団体でこのような突発的事象に対する考え方が示されている^{26～29)}。具体的な事象への研究として、車両衝突、落石、波浪などの外力における破壊現象やその防護として車両止め、ロックシェッド、消波ブロックなどへのビニロン補強コンクリート適用が検討され効果が確認されている^{30,31)}。

一方、爆発や竜巻等による飛来物や銃弾などは音速に迫る、あるいは音速を超える速度となる。高速衝突では衝撃波によって衝突裏面にコーン上のひび割れ・剥離が生じて大きな損傷となり、剥離片の裏面への飛散による二次被害の問題が大きい。こういった局部破壊現象に対する防護に関してビニロン補強コンクリートが検討された。**図6**は50gの半球状鋼製飛翔体の衝突実験による、衝突速度、板厚と破壊様式の関係を示したものである。実験の結果、補強なしに比べて貫通限界板厚は約10%、裏面剥離限界板厚は25～30%の低減効果が認められた³²⁾。同様に接触・近接爆発における破壊にも研究がなされており、ビニロン補強による破壊抑制効果が確認されている³³⁾。現在このような短繊維補強による効果について、防護設計への活用を視野に入れた活動が進められている。

(6) 環境負荷低減

近年、産業活動による温室効果ガス(GHG)の削減が提唱されているが、建設産業ではセメントの製造において投入されるエネルギーの削減が困難で、セメント製造の脱炭素を困難にしている。特に屋根材、壁材として使用されるようなセメント板では、一般的なコンクリート、モルタルに比べて原材料に占めるセメントの割合が非常に多く、脱炭素の実現が難しい。これに対し、セメントの数十%を高炉水砕スラグや炭酸カルシウムに置換し、原材料が占める製造エネルギーを削減した配合でもビニロンは顕著な補強効果を示し、高い曲げ強度を達成できる^{34,35)}。

また近年、シリカ、アルミナ等の成分を含む活性フィラー

と、反応を活性化させるアルカリ溶液を用いてシリカとアルミナからなる反応生成物からなるジオポリマーの研究開発がなされた³⁶⁾。原料となる活性フィラーは、スラグ、フライアッシュなどの産業廃棄物や、火山灰、メタカオリンなどの自然鉱物由来の成分が使用でき、耐熱、耐酸など優れた性質を示す。何より石灰石を焼成して得られるセメントに比べて投入エネルギーが非常に少なく、セメントを使用するコンクリート比較で70～90%の炭酸ガスを削減可能である。ビニロンはジオポリマーコンクリートの補強材としても有用で、鉄道のまくらぎへの適用が検討され実用に供されている³⁷⁾。ジオポリマーの製造には活性剤として水酸化ナトリウムや水ガラスなどの強アルカリが用いられるが、ビニロンはその高い耐アルカリ性によって好適な補強繊維であることが見いだされている。

4. 最後に

アスベスト代替を機として、半世紀近くにわたってビニロンは建設資材の重要な補強材料として建設産業・インフラを支えてきた。その後自然災害への対策や、環境問題への意識の高まりなどを通じて材料を含めて建設技術の革新が進んでいる。1950年代にビニロンが国産化されてから70年以上の時を経ているが、その素材の有する特長からまだ多くの活躍の場を有しており、今後さらにその特長を強化することで、持続的な社会の構築に貢献していきたい。

【参考文献】

- 1) de Lhoneux, B. et. Al. / Durability Study of PVA Fibres in Fibre-Cement Products, Conference: Concrete for a Sustainable Agriculture, pp.275～284, April 2002. など
- 2) 菊田ら／繊維補強コンクリートの構成要素と材料の基本性能, コンクリート工学, Vol.50, No.5, 2012.5
- 3) (株)クラレ・カタログより
- 4) NETIS 公開番号: CG-070010 法面モルタル補強用ビニロン繊維<クラテック>(掲載終了), など
- 5) Naaman, A. E. et. Al. / Influence of Different Fibers on Plastic Shrinkage Cracking of Concrete, ACI Materials Journal, ACI, No.102, Vol.1, pp.49～58, 2005
- 6) 浜田ら／ビニロン短繊維によるコンクリートの収縮ひび割れ抑制に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.319～324, 2000

コンクリート補強用短繊維・剥落対策用シート ～高機能繊維ビニロン～

概要

形態は短繊維、3軸メッシュと、
ご用途に合わせてお選びいただけます

高強度※
高弾性率※

※一般合成繊維に対し

耐アルカリ性

セメント
との
高接着性

＜繊維物性比較＞

素 材 (短繊維)	引張強度 (MPa)	伸 度 (%)	弾性率 (GPa)	比 重	備 考
ビニロン繊維	850～1790	5.8～12.5	23～45	1.30	
ポリプロピレン繊維	300～750	10～15	1.4～2.2	0.91	水に浮く
スチール繊維	490～980	—	200	7.85	錆びる
耐アルカリガラス	2500	2	74	2.78	アルカリに弱い

出典※

菊田貴恒・三橋博三，繊維補強コンクリートの構成要素と材料の基本的性能，
コンクリート工学特集＊高機能・高性能化する繊維補強コンクリート，Vol.50，No.5，2012.5（ビニロン繊維除く）



ポリプロピレン繊維

ビニロン繊維

スチール繊維

仕様・用途例

●コンクリート補強用短繊維



法面モルタル吹付け（現場）



橋梁床版の補強材（現場）



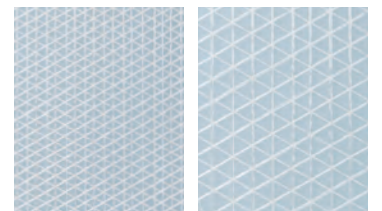
高耐久性埋設型枠

●コンクリート剥落対策用シート

ビニロン製シート

老朽化したコンクリートの構造物へ貼り付けることで、
コンクリートの剥落を抑制するビニロン製シート。
耐アルカリ性を有する高強度・高弾性なシートです。

タイプ	サイズ	目 合
	幅 × 長さ cm × m	mm
3軸	100×100	10
	100×100	20



- 7) 細田ら／合成短繊維添加によるコンクリート片の剥落対策，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.275～280，2003， など
- 8) 馬場ら／高温加熱を受ける繊維補強コンクリートの特性，土木学会論文集，No.781，V-66，205 / 212，2005.2， など
- 9) 稲田ら／法枠の繊維補強に関する実験的研究（その1）室内基礎試験，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.61，No.2，2006， など
- 10) 向井ら／ 繊維補強道床コンクリートを用いた弾直軌道の性能試験，土木学会第57回年次学術講演会（平成14年9月），IV-454，pp/907～908，2002
- 11) 高橋ら／短繊維補強コンクリートを用いたまぐら直結軌道の試験施工，日本鉄道施設協会誌，第51巻，第7号，2013.07， など
- 12) コンクリートを用いたまぐら直結軌道用コンクリート道床の設計・施工の手引き，2015.01
- 13) 磯ら／ PVA-FRCを用いた袖壁付きRC 柱の各種要因による構造的な影響コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.115～120，2013 など
- 14) 末森ら／高靱性繊維補強モルタル調合に関する基礎的研究，日本建築学会学術講演梗概集（材料施工），A-1，813～814，2009， など
- 15) コンクリートライブラリー 113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），土木学会，2004
- 16) 藤岡ら／超高耐久橋梁を実用化した徳島自動車道別荘谷橋の施工，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，vol.30，pp393～396，2021， など
- 17) 長谷ら／ビニロン繊維補強コンクリートによる既設RC床版の上面打替え補強効果，構造工学論文集，Vol.63A，pp.1263～127，2017.3
- 18) 濱口ら／ PVA 繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの材料特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.295～300，2015， など
- 19) コンクリートライブラリー 127 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針（案），土木学会，2007
- 20) 岡田ら／複数ひび割れ型繊維補強セメント複合材料（HPFRCC）の研究の現状と構造利用の事例，コンクリート工学，Vol.44，No.3，pp.7～12，2007，など
- 21) 笠原ら／高靱性型セメント系複合材料を用いた梁，柱部材の構造的な性能に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第67巻，553号，pp.89～95，2002，など
- 22) 丸田ら／プレキャストECC連結梁を用いた高層RC新架構の実現，コンクリート工学，Vol.43，No.12，2005
- 23) 中村ら／ハイブリッド有機繊維コンクリートによる 道路橋床版補強工法－HFRCによる橋梁床版補強工法，建設の施工企画，pp.11～17，2013.3， など
- 24) 伊藤ら／ PVA 短繊維の混入が消波ブロックの耐荷力に及ぼす影響，土木学会第60回年次学術講演会（平成17年9月），5-324，pp.647～648，2005， など
- 25) 高橋ら／積雪寒冷地における各種積層コンクリート舗装の特性に関する一考察，第7回北陸道路舗装会議技術報文集，D-6，pp.291～294，1997
- 26) 避難施設的设计における基礎技術と留意点，防衛施設学会，2023
- 27) 衝突作用を受ける構造物の局部破壊に関する評価ガイドライン，防衛施設学会，2018， など
- 28) 構造工学シリーズ29 衝撃作用に対する構造的な照査法の基礎と応用，土木学会，2023
- 29) 建築物の耐衝撃設計の考え方，日本建築学会，2015
- 30) 岩波ら／繰り返し衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の破壊性状港湾航空技術研究所資料2010.6
- 31) 栗橋ら／ PVA 短繊維混入による4 辺支持 RC 版の耐衝撃性向上効果に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.52，pp.1249～1260，2006.3，など
- 32) 上野ら／高速衝突を受ける繊維補強セメント系複合材料板の局部破壊低減効果に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.517～522，2014.7
- 33) 森嶋ら／接触爆発を受けるPVA 繊維補強モルタル版の局部破壊に及ぼす材料因子の影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.85，No.771，pp.779～789，2020.5
- 34) 国際公開番号 WO2022/004643 A1 繊維により補強された硬化体 など
- 35) 国際公開番号 WO2023/080122 A1 多孔質の成形板
- 36) 建設分野におけるジオポリマー技術の現状と課題」に関するシンポジウム 委員会中間報告 論文集，日本コンクリート工学会，2016
- 37) 佐藤ら／石炭灰を原料とした短繊維補強ジオポリマー短まぐらぎの試作，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.2023～2028，2013

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

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



一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

kuraray

株式会社 クラレ 繊維資材事業部 東京原料資材部原料資材課

〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-4 常盤橋タワー
TEL:03-6701-1371 FAX:03-6701-1376

PCaボックスカルバートによる居住空間の創出

Creation of Living Space with PCa Box Culvert

多田 卓二

1. はじめに

本建物は、2階建てのプレキャスト・プレストレストコンクリート(PCaPC)造で、4本の筒状ボックスカルバートより構成され、ボックスカルバート内部および大判ガラスで囲まれた中央の吹抜け部分に居住空間を創出したものである(写真1)。建築主・意匠設計は、家具やアート作品などのデザインを手掛ける会社であり、年々増え続けていく作品やサンプルを保管・展示し、宿泊機能を備えることでゲストハウスとしても利用できる建物として計画された。

建築地は、長野県北佐久郡御代田町で、軽井沢駅から西へ車で約20分の浅間山を望む立地に、周辺はアカマツが生い茂り、敷地のすぐ横に小川が流れる静かで自然豊かな環境である(写真2)。

2. 建物概要

本建物の概要を以下に示す。

建築主・意匠設計：(有)nendo

建築用途：作品保管庫 兼 ゲストハウス

建 築 地：長野県北佐久郡御代田町



写真1 竣工写真



写真2 上空写真

規 模：地上2階

構造種別：プレキャスト・プレストレスト

コンクリート造 一部鉄骨造(屋根)

建築面積：284m²

延床面積：301m²

建物高さ：6.1m

竣 工：2022年7月



ただ たくじ / TADA Takuji
(株)北條建築構造研究所
主管

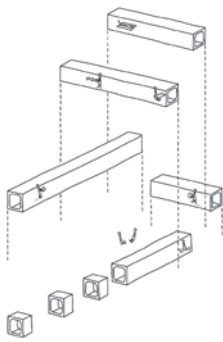


図1 意匠コンセプト

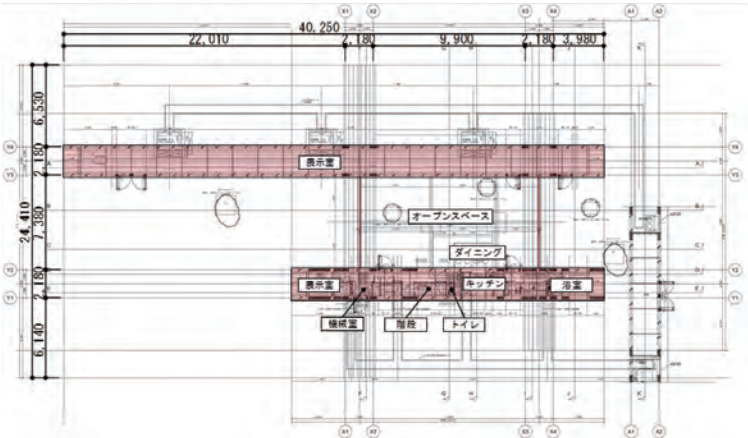


図2 1階平面図

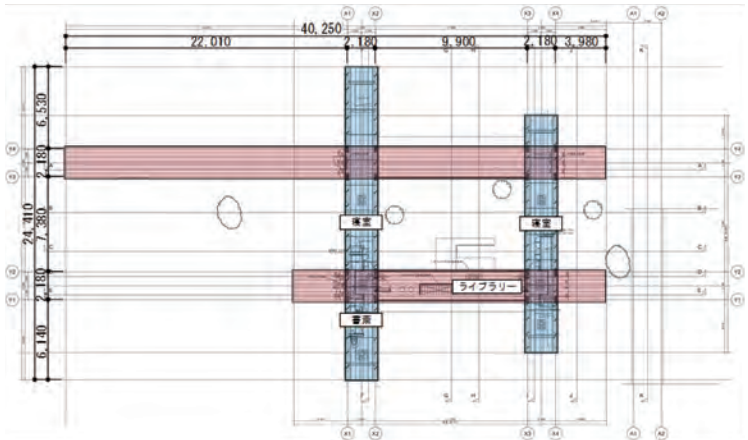


図3 2階平面図

構造設計：(株)北條建築構造研究所

設備設計：(有)ZO設計室

施工会社：(株)新津組

PC工事：(株)ピーエス三菱

3. 意匠コンセプト

当初の意匠コンセプトは、単純にボックスカルバートのピースを並べて、内部を倉庫として利用し、将来的

に収めるものがあれば継ぎ足せばよいというものがあった。しかし、湿気対策として空調が必要であり、気密性を確保するにはただ並べるだけでは成立しないことから、しっかりとした建築物とすることが求められた。こうした経緯により、4本のボックスカルバートを井桁状に組むデザインに至り、その中央部に鉄骨屋根をかける計画となった(図1)。1階には約40mの細長い作品保管庫のほかにキッチンや浴室、トイレ等の水回り、2階には寝室と書斎が配置されている(図2,3)。

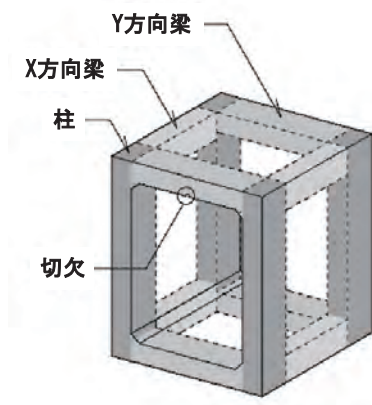


図4 部材構成

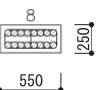
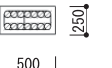
1階柱		2階大梁	
断面		断面	
$F_c=54 \text{ N/mm}^2$		$F_c=54 \text{ N/mm}^2$	
主筋	16-D16 (SD345)	BxD	500x250
帯筋	D6 ①-75	上端筋	7-D16
仕口部帯筋	D6 ①-75	下端筋	7-D16
		あばら筋	D6 ①-75
		腹筋	—

図5 断面リスト

4. 構造計画

意匠コンセプトを受けて、まずプレストレスにより各ピースの一体化を図る計画とした。各ピースについては、土木で使用される既製品を採用することを検討したが、一般確認申請（ルート3）を適用するために、柱および梁配筋を内蔵したPCa部材を新規に製作した（図4）。現場にてPC鋼より線またはPC鋼棒で各ピースを圧着させることで、PCa部材間を連続する鉄筋は設けない計画とした。

上部構造は、柱および梁を内蔵した63個のピースにより構成した。ボックスカルバートを構成する柱、梁、壁および床の部材せいはすべて250mmとし、各ピースの大きさは約2.5m四方で、搬入可能な重量約12tから決定した（写真3）。

PCa造を採用した理由として、意匠コンセプトの実現や積雪により冬季に施工ができない地域であるため現場での工期を短縮する狙いがあるが、部材せいが250mmと小さく配筋が非常に密となるため、精度の観



写真3 搬入状況

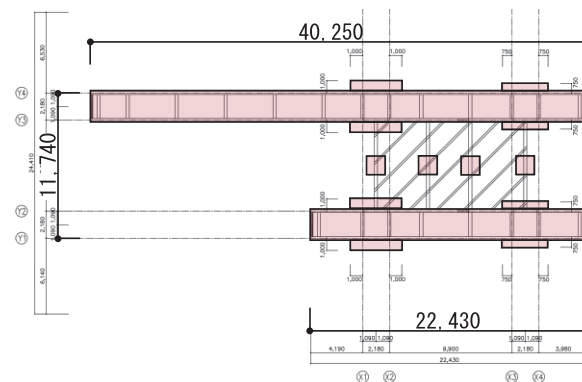


図6 基礎伏図

点からも現場打ちより、PCa造が適していると判断した（図5）。

基礎はベタ基礎または独立基礎による砂礫層を支持層とする直接基礎とし、一部浅層混合処理工法による地盤改良を施した。

基礎および基礎梁は現場打ちコンクリート造とし、井桁交差部の軸力が大きい部分では、基礎を広げて不同沈下に配慮した（図6）。

5. 構造設計

構造計算は、各ピースに内蔵した柱および梁を線材置換したモデルにより行った（図7）。架構形式は、純ラーメン架構または耐震壁を有するラーメン架構で、各方向において上下階で架構形式が異なる（図8）。保有水平耐力の検討に当たっては、各方向、各階ともにDS=0.55として、純ピロティ架構となる方向には、1階の全体崩壊形を確認してQun分布にて保有水平耐力

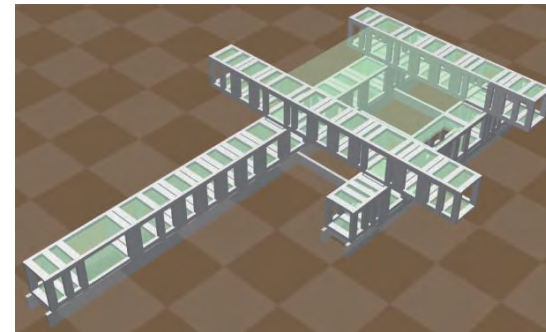


図7 解析モデル

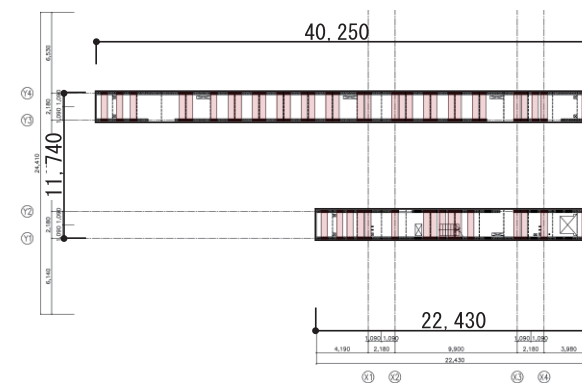


図9 1階床伏図

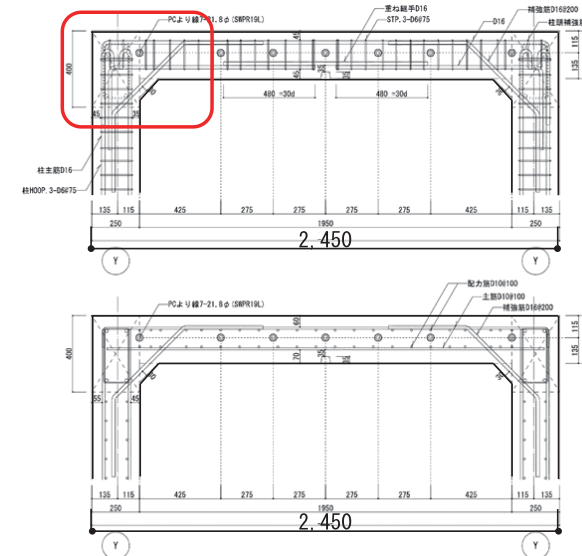


図11 配筋納まり図

の算定を行い、応力が集中する井桁交差部には柱および梁を密に配置した（図9,10）。

また、ボックスカルバートの入隅部分にはハンチを設けて、大梁主筋の水平定着長を確保するとともに柱梁接合部の検定を満足させた（図11,写真4）。

隣接するPCa部材同士はPC鋼より線またはPC鋼棒により圧着し、2N/mm²以上の圧縮力を与えて形状

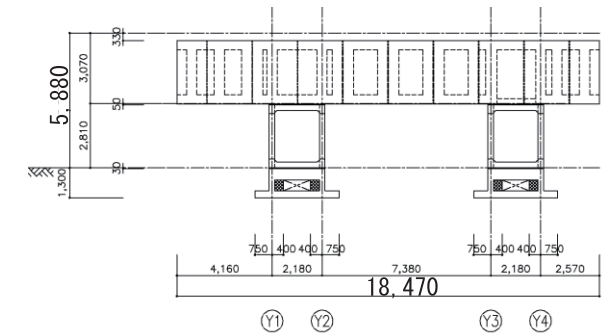


図8 軸組図

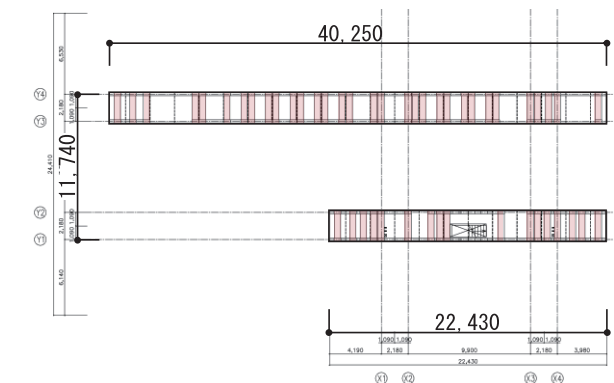


図10 1階屋根伏図



写真4 ボックスカルバート断面

を保持した。壁部材のせん断耐力は、RC造耐震壁のせん断耐力式が適用できず、圧着面の摩擦耐力から算定した。

壁、床および屋根の開口を考慮した配線計画を行い、プレストレスによる圧縮力の偏りが少なくなるように配慮した。床および屋根にPC鋼より線を配置することを基本とし、床開口がある部位は壁内にPC鋼棒を配

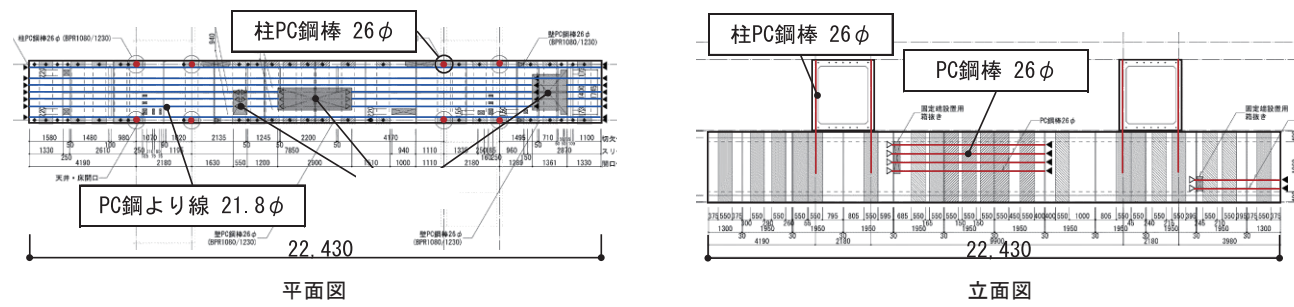


図 12 配線図

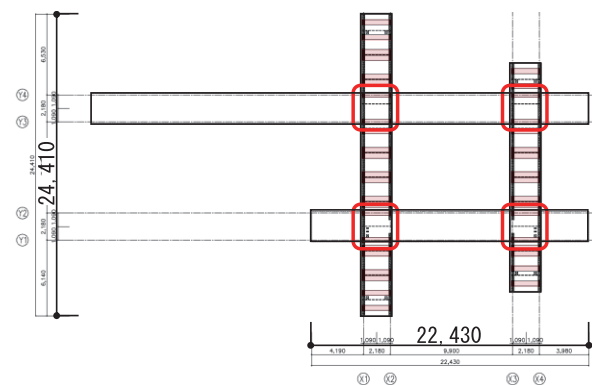


図 13 2階床伏図

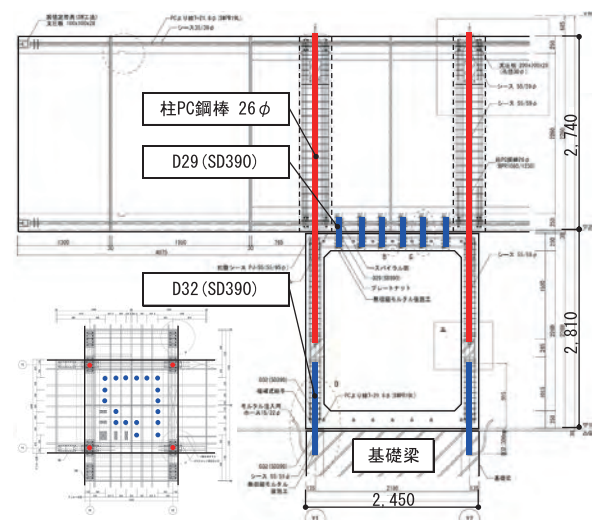


図 14 上下階接続部

置した(図 12)。

6. 上下階接合部

1階と2階は井桁交差部の4箇所ではしか接していないため、地震時において2階が負担する水平力を安全に1階に伝達する機構が課題であった(図 13)。

そこで、井桁交差部における上下階のPCa部材同士は、柱内のPC鋼棒に加えて、床に配置したダウエル鉄筋により接合し、PC鋼棒のプレストレス圧着による摩擦抵抗力とダウエル鉄筋によるせん断抵抗力により、水平力伝達が可能であることを確認した。また部材間には無収縮モルタルを充填している(図 14)。

1階のPCa部材と基礎梁は鉄筋により緊結し、柱または壁が負担している引張力およびせん断力が鉄筋を介して基礎に伝達可能であることを確認した。

7. 片持ち部

最大で約6.5mとなる2階の片持ち部分について、地震時の上下動により井桁交差部に生じる応力および変形を把握するためにFEM解析を行った(写真 5、図 15)。

また、片持ち部分に水平力が作用した場合に上下階接続部に生じるせん断力および曲げモーメントに対して構造安全性に問題ないことを確認した。

8. 鉄骨屋根

中央の吹抜け上部には鉄骨屋根を採用し、外周部を薄く見せたいという意匠要望に応えるために変断面(h=150~300)のH形鋼をX型に配置した(図 16、17、写真 6)。



写真 5 片持ち部

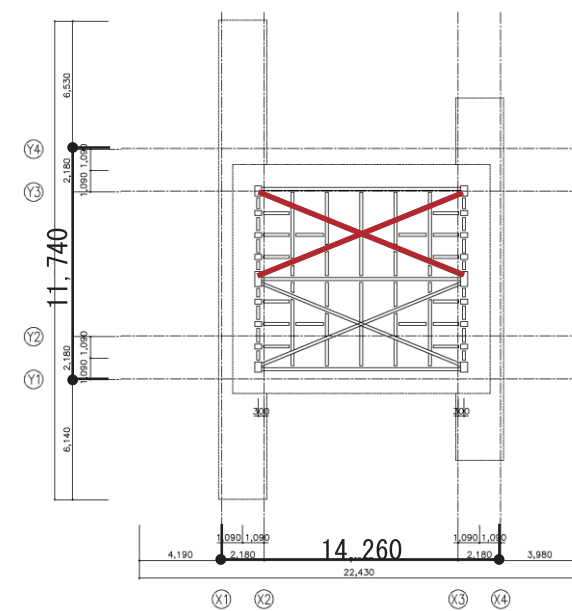


図 16 屋根伏図

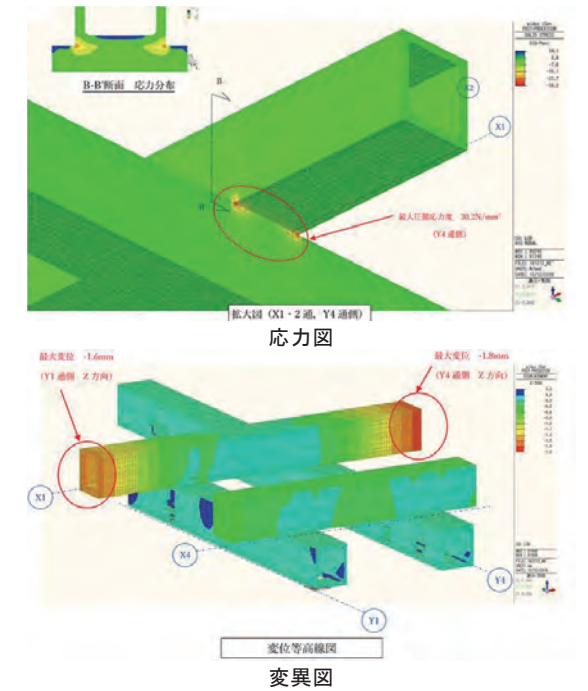


図 15 FEM解析

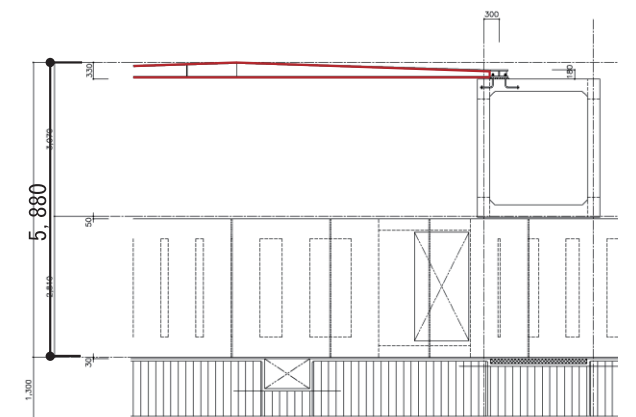


図 17 断面図



写真 6 鉄骨屋根

9. 施工概要

敷地が狭く、周辺のアカマツを極力残すことに配慮

したため搬入経路に制限があり、設計段階からクレーン配置および架設順序を検討し、その施工手順をPC鋼材の配線計画に反映させた。



写真7 建て起こし



写真8 架設状況

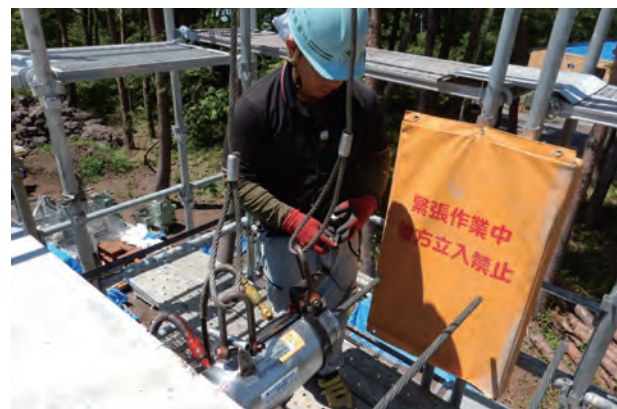


写真9 緊張状況(通常ジャッキ)



写真10 緊張状況(ボルトテンショナー)



写真11 内観(吹抜け部)



写真12 内観(ボックスカルバート内)

施工時のPCa部材の建て起こし、架設状況および緊張状況を示す(写真7,8,9)。部材内の緊張にはスペースに限りがあるため、ボルトテンショナーを採用した(写真10)。

としては4本のボックスカルバートで構成するシンプルな発想でありながら、建築的なアプローチではなく、土木やプロダクトデザインを組み合わせたモノづくりの考えから、個性的な外観と空間が生まれた(写真11,12)。

10. おわりに

本建物は、2022年7月に無事竣工を迎えた。形状

土木学会 「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)」の概要

Summary of recommendations for mix design and construction of mechanically-compacting flowable concrete

加藤 佳孝

1. はじめに

土木学会コンクリート委員会では、コンクリートライブラリー 148「コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案」の提案の一つである「締固めを必要とする高流動コンクリートの選択が可能な規定を検討、整備する」を受け、2018年に「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会(358委員会)」(加藤佳孝委員長)を第3種委員会として設置して、技術的な問題について集中的に調査研究を行った。その後、民間企業等の共同委託事業として、「締固めを必要とする高流動コンクリートの施工に関する研究小委員会」(渡辺博志委員長)を第2種委員会として設置し、2023年にコンクリートライブラリー 161「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)」(以下、CL 161と称す)を発刊するに至っている。この間、2019年のJIS A 5308の改正により、普通コンクリートにスランプフロー(以下、SFと称す)タイプが追加されている。なお、2023年制定コンクリート標準示方書[施工編]の目的別コンクリートには、締固めを必要とする高流動コンクリートが追加された。締固めを必要とする高流動コンクリー

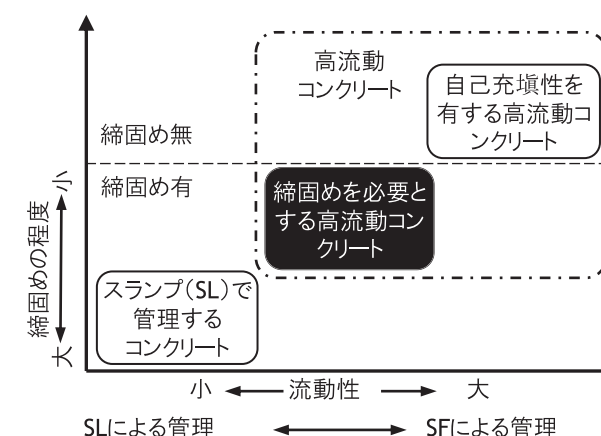


図1 流動性と充填に必要な締固めの程度の関係

トは、流動性がSFで管理されるコンクリートのうち、締固めをすることを前提にしたコンクリートである(図1)。

本稿では、この指針(案)の概要とポイントについて解説する。

2. CL 161の構成

CL 161は指針(案)、土木学会規準、資料編の3つで構成されており、構成の概要を図2に示す。

[指針(案): 本編]では、設計図書に示されたコンクリート構造物を構築するために、性能規定の原則に基づいて施工を行う場合の基本的な考え方を示している。施工に関する照査について言及しているが、その標準的な方法の提案には至っておらず、委員会での議論を資料編I編にまとめている。



かとう よしたか / KATO Yoshitaka
東京理科大学
創域理工学部社会基盤工学科
教授 博士(工学)

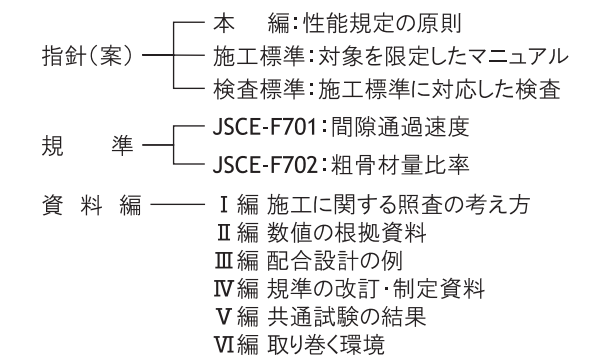


図2 CL 161の構成

〔指針(案)：施工標準〕では、一般的な構造形式の構造物に対する施工の標準を示している。ここでは、適用範囲を設定した上でマニュアルとしての活用を念頭において作成しているが、その根拠となる情報を資料編II編に、配合設計の例を資料編III編にまとめている。また、フレッシュコンクリートの品質の評価方法として新たな試験規準も整備しており、CL 161にはその規準と、関連する情報を資料編IV編として収録している。これらの検討は委員会で開催した試験に基づいており、すべての試験結果について資料編V編にまとめている。

資料編VI編では、SFで管理するコンクリートの現状や、締固めを必要とする高流動コンクリートの位置づけに関するアンケート調査結果、関連する文献調査についてまとめている。

なお、この指針(案)は、2017年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕(以下、〔施工編〕)をもとに作成していることに留意されたい。

3. 〔指針(案)：本編〕の内容について

3-1. 利用により得られる効果

近年のコンクリート構造物を取り巻く環境は、複雑な断面形状や高密度配筋化等の構造条件の多様化に加え、働き方改革、労働人口減少・高齢化、ICT・AI等の技術の普及を背景として、不具合発生リスクの低減とともに、安全で快適な労働環境を実現しつつ建設事業の生産性向上の一要素として建設施工の省力

化・効率化および品質の確保が求められている。

締固めを必要とする高流動コンクリートは、一般のコンクリートに比べて流動性と施工方法に関する選択の自由度が高まるため、コンクリートの施工における品質の確保および施工の省力化・効率化に有効であり、現場での作業の負担が軽減される可能性も十分にある。締固めを必要とする高流動コンクリートで使用する材料のコストは、一般のコンクリートよりは高くなる場合も想定されるが、このコンクリートを使用することによってもたらされるメリットを総合的に勘案すれば、工事全体としては経済的に有利になる場合も多い。

3-2. 施工に関する照査

施工では、設計図書等に記される硬化コンクリートの品質を確保することが求められる。〔施工編：施工標準〕では、打込みの最小スランプが16cm以下のコンクリートを対象に、施工方法に応じた最小スランプと使用材料の単位量の上限や下限を設定することで品質を担保してきた。本来、構造物の性能確保に必要な硬化品質が担保されれば、フレッシュコンクリートの品質や施工方法を限定する理由はなく、状況に応じた最適解を施工者が選択できるのが性能規定の原則である。

施工に関する照査では、施工方法とフレッシュコンクリートの品質の両者の組合せを考慮して検討し、構造物が設計図書どおりに構築できる組合せとなるまで検討を繰り返すことになる。施工方法を仮に設定し、その条件を考慮した上で、適切なワーカビリティと強度発現性を有するフレッシュコンクリートの品質を設定し照査を実施するのが一般的な方法である。ワーカビリティは、〔施工編〕で「材料分離を生じることなく、運搬、打込み、締固め、仕上げ等の作業のしやすさ」と定義されており、「材料分離を生じることなく」は、コンクリートの特性が構造物において均質であることであり、これに加えて「作業がしやすい」ことで、作業効率を高めたり、作業に伴う不具合発生のリスクを低減したりすることなどが重要であることを意味していると解釈できる。

そこで、〔指針(案)：本編〕では、作業のしやすさ

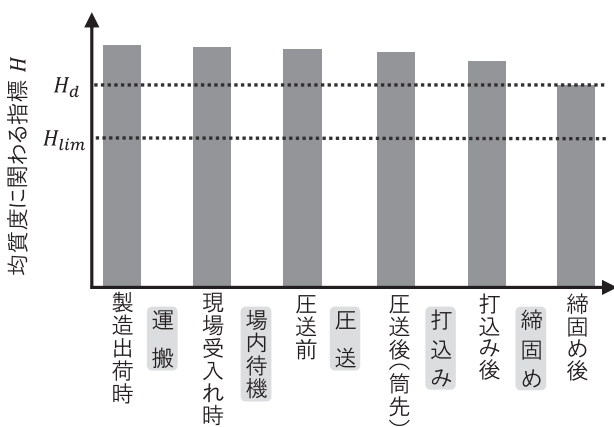


図3 施工の影響による均質度の変化イメージの例

については「3.2.2 施工方法の設定」で考慮し、設定した特定の施工方法に対して、「3.2.3 フレッシュコンクリートの品質の設定」で設定したフレッシュコンクリートを用いて施工した場合の品質の変動を考慮し、充填されたフレッシュコンクリートの均質度が限界値を下回らないことを確認することで、ワーカビリティに関する照査に代える方法を採用している。なお、指針(案)では、構造物中の硬化コンクリートの均質性に関わる充填されたフレッシュコンクリートの品質変動の尺度として「充填されたフレッシュコンクリートの均質度」を用いており、例えば、施工に伴うフレッシュコンクリート中の粗骨材の沈下量、施工に伴うフレッシュコンクリートの空気量の変動の程度や、型枠への未充填の程度等で表現される指標である。すなわち、単にフレッシュコンクリートの品質の変動とは異なる指標である。

均質度に対する照査では、充填されたフレッシュコンクリートの均質度の限界値 H_{lim} の応答値 H_d に対する比に安全係数 γ_p を乗じた値が、1.0以下であることを確かめることにより行うことを原則としている(式(1))。

$$\gamma_p \frac{H_{lim}}{H_d} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

均質度に対する照査の対象は、締固め後の型枠内に充填されたコンクリートの均質度であるが、これには、運搬、打込み、締固め等の作業や、フレッシュコンクリートの品質の経時変化が影響すると考えられる(図3)。

表1 均質度が低下する影響因子と現象の例	
影響因子	均質度が低下する現象の例
練混ぜ時間	(1), (3)
運搬時間	(3)
圧送距離	(3)
自由落下高さ	(1)
打込み間隔	(1)
一層の打込み高さ	(2)
締固め時間	(1), (2), (3)

表中 (1)：粗骨材の分離、(2)：水の分離、(3)：空気量の変化

施工プロセスにおいて、均質度が低下する影響因子と均質度が低下する現象について表1に示す。充填されたフレッシュコンクリートの均質度を確保するためには、表中の各作業において、均質度の低下が生じないように施工方法とフレッシュコンクリートの品質の組合わせを選択する必要がある。

なお、指針(案)では、均質度に対する照査の標準的な方法を示すことはできなかった。その主な理由は、均質度に影響する要因の抽出はできたものの、それらの影響を定量的に表現するために必要となる実験データ等が不足していることにある。資料編I編には、委員会にて議論した成果をまとめており、今後の参考資料として活用頂ければ幸いである。

4. 〔指針(案)：施工標準〕の内容について

指針(案)では、施工に関する照査(均質度に対する照査)の標準的な方法を示すことができなかったため、〔指針(案)：施工標準〕は、対象とする施工方法およびフレッシュコンクリートの品質の組合わせを限定したマニュアルとして整備している。委員会で検証実験を行った結果、過度なブリーディングが発生せず、空気量の変動も小さいと予想されたことから、均質度が低下する現象としては、粗骨材の分離に着目して整理している。

対象とする標準的な施工方法について、〔施工編：施工標準〕との違いは、締固めと打込みに伴う流動距離である。なお、打込みに伴う流動距離とは、振動を

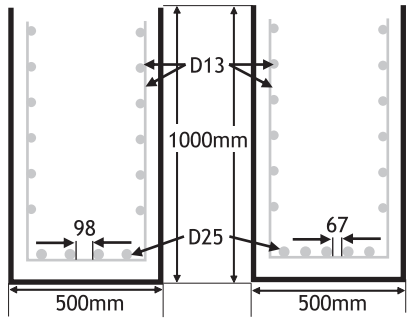


図4 試験体断面の概要

加えることなくコンクリートが打込み位置から型枠内を自然に流動する距離を意味している。ここでは、これらの設定条件の根拠について概説する。また、フレッシュコンクリートの品質としては、4-3.で詳述するが、2つのタイプ(タイプ1：SF45cm、タイプ2：SF55cm)を想定して検証実験を実施している。

4-1. 振動締固め

棒状バイブレータからの距離25cm、37.5cm、50cmの位置に加速度センサを設置し、各位置で測定された最大加速度の値と締固め完了エネルギーから締固め完了時間を算出した。その結果、タイプ1およびタイプ2のいずれの場合も、棒状バイブレータからの距離が50cmまでは5秒以下となった。したがって、締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め完了時間を5秒と想定した場合、その影響範囲は50cm程度であり、棒状バイブレータの挿入間隔は50～100cmが有効と考えられる。

以上の結果から、一箇所当りの振動時間は5秒程度、締固めの挿入間隔は50～100cmに設定した。

4-2. 打込みに伴う流動距離

流動性が高いために打込みに伴い自然にコンクリートは流動するが、このとき、流動する距離が過度に大きいと、特に先端部での材料分離が懸念された。そこで、壁部材を模擬した型枠への充填実験を実施し、粗骨材の分離状況を確認した。

試験体の断面を図4に示す。タイプ1、タイプ2のそれぞれに対して、鉄筋の最小あきが98mmと67mm、

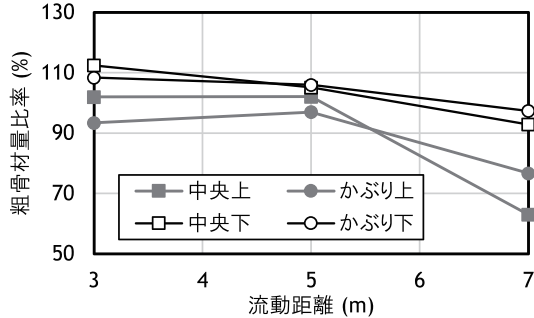


図5 流動距離と粗骨材量比率の例(タイプ1)

スターラップの配筋ピッチは140mmと90mmとした。かぶりはいずれも40mmとした。

検証実験では、タイプごとに4配合を実施した。測定結果の一例を図5に示す。縦軸の粗骨材量比率は、JIS A 1112の洗い分析試験により単位粗骨材量を求め、配合上の単位粗骨材量に対する比率を示しており、横軸は流動距離を示している。凡例は試料の採取位置を示しており、中央は試験体断面の中央、かぶりはかぶり部、上は最上層、下は最下層であり、いずれも採取した試料量は2Lである。流動距離が5mまでの範囲では、型枠の内部(中央上)およびかぶり部(かぶり上)から採取した試料は、極端な材料分離は目視では確認されず、粗骨材量比率はいずれもおおよそ80%を上回る結果であった。一方、流動距離が7mの先端部では、タイプ1の1配合、タイプ2の2配合では、試料上部で目視により明らかな材料分離が確認され、粗骨材量比率は40%以下であった。以上の結果から、コンクリートの打込み時の流動に伴うモルタルと粗骨材の材料分離による硬化コンクリートの品質への影響を考慮し、打込みに伴う流動距離は5m以下とした。また、1層当たりの打込み高さを50cm以下とすれば、打込みに伴う流動距離は5m以下になり、流動に伴う材料分離を抑制できることも確認している。

4-3. フレッシュコンクリートの品質

締固めを必要とする高流動コンクリートの利用によって得られる施工上の効果は、作業のしやすさと不具合発生リスクの低減である。これらの効果を十分に発揮させるためには、構造条件に対して、施工方法とフ

表2 構造条件および施工方法とフレッシュコンクリートの品質の関係の概念的整理の例

項目		各項目の大小等 特に必要なフレッシュ品質	
構造条件	鋼材の最小あき	小 間隙通過性	大 —
	打込みに伴う流動距離	短い —	長い 流動性 材料分離抵抗性
施工方法		短い 流動性	長い 材料分離抵抗性

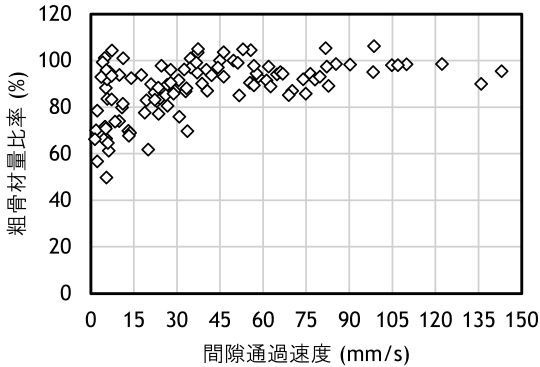


図6 ボックス試験の結果の例(タイプ1)

レッシュコンクリートの品質の組合せを検討する必要がある。表2に示すように、設計図書に示される鋼材の最小あきから、間隙通過性の検討の必要性を判断する。さらに、施工上の効果に期待する内容から判断する場合、例えば、打込みに伴う流動距離を大きくし、締固め時間を短時間にしたい場合は、高い流動性と高い材料分離抵抗性を有するフレッシュコンクリートの品質を設定する必要がある。

[指針(案)：施工標準]では、一般のコンクリートと同等の間隙通過性を有する場合(鋼材の最小あきの目安が125mm程度以上)をタイプ1、これと比較して高い間隙通過性を有する場合(鋼材の最小あきの目安が60～100mm程度)をタイプ2とした。この前提の下で、各タイプのフレッシュコンクリートの品質の目標値を表3のように定めた。なお、粗骨材量比率はJSCE-F702(以下、沈下量試験と称す)、間隙通過速度はJSCE-F701附属書1(規定)(以下、ボックス試験と称す)に従って得られた結果を意味する。

[指針(案)：施工標準]では、振動締固めによるフレッシュコンクリートの流動および間隙通過の性状につ

表3 フレッシュコンクリートの品質の目標値

フレッシュコンクリートの品質		
タイプ1	流動性	材料分離抵抗性
	SF 450 mm	粗骨材量比率 40 %以上 間隙通過速度 15 mm/s 以上
タイプ2	流動性	材料分離抵抗性および間隙通過性
	SF 550 mm	粗骨材量比率 40 %以上 間隙通過速度 40 mm/s 以上

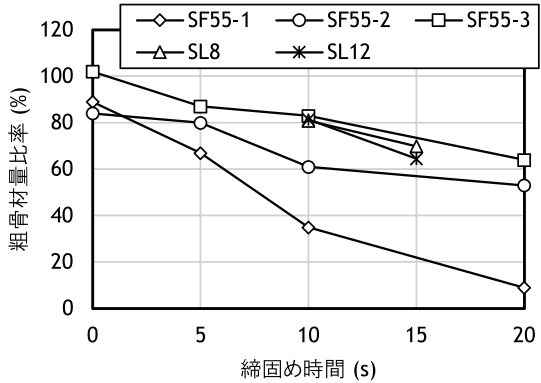


図7 締固め時間と粗骨材量比率(沈下量試験)

いてはボックス試験で評価できると考えた。さらに、振動締固めの影響を受けやすい振動バイブレータ付近では、縦方向に粗骨材が分離しやすい可能性があり、この性状を沈下量試験によって評価することを考えた。以降、ボックス試験により確認する性状を横方向の材料分離、沈下量試験により確認する性状を縦方向の材料分離と表現している。

4-3-1. 振動締固めに伴う横方向の材料分離の観点

ボックス試験の測定結果の例として、タイプ1の間隙通過速度とB室の粗骨材量比率の関係を図6に示す。粗骨材量比率が80%以上程度確保できる間隙通過速度は、タイプ1では15mm/s以上であり、同様にタイプ2では40mm/s以上であった。なお、4-2.で紹介した試験を、この閾値に基づいて整理すると、先端部で粗骨材の分離が確認された配合は、いずれの場合も閾値を下回る間隙通過速度であった。

4-3-2. 振動締固めに伴う縦方向の材料分離の観点

タイプ2とスランプ(以下、SLと称す)コンクリートについて、締固め時間と沈下量試験による粗骨材量比率

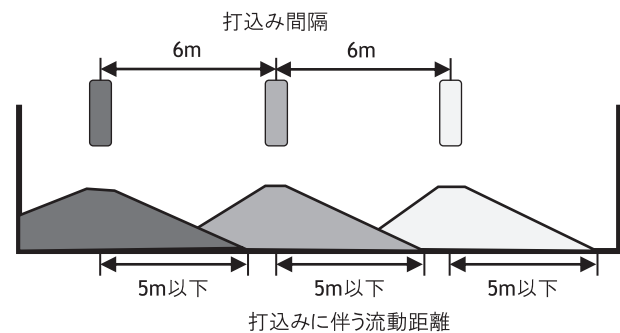


図8 打込み間隔の設定例

の関係を図7に示す。[施工編：施工標準]に示されているSLコンクリートの締固め時間の上限は15秒であり、そのときの粗骨材量比率は、SL8cm、SL12cmでそれぞれ70%、64%であった。一方、タイプ2で最も小さな粗骨材量比率となったSF55-1では、[指針（案）：施工標準]で設定した締固め時間5秒で67%となり、SLコンクリートと同等の粗骨材量比率の結果となった。すなわち、このコンクリートを用いた場合、[施工編：施工標準]と同等の品質を確保できると考えられる。沈下量試験では、材料分離の傾向を捉えやすくするために締固め時間10秒を採用しており、SF55-1の結果に基づくと、目標とするフレッシュコンクリートの品質を満足する粗骨材量比率の下限值は35%となるが、検討数が少ないことも考慮して安全側の40%と設定した。

4-4. 施工における留意点

4-4-1. 配合およびフレッシュコンクリートの品質

タイプ1の単位水量は165～175kg/m³程度、単位粉体量は350～450kg/m³程度、細骨材率は45～55%程度のものが多い。タイプ2の場合は、間隙通過性が求められるため単位粗骨材量を減じる必要があり0.30～0.33m³/m³程度で、単位水量は175kg/m³程度、単位粉体量は増粘剤を使用しない場合で400～450kg/m³程度のものが多い。なお、単位水量は、骨材によっては175kg/m³以下とすることが難しく、過度に混和剤の使用量を増やすよりも単位水量を増やす方が所定のフレッシュコンクリートの品質を得やすいこともある。

[指針（案）：検査標準]では、所定の品質を満足していることを、コンクリートの納入伝票および製造時の計量印字記録に基づいて検査することを標準としている。ただし、製造や運搬の影響によりフレッシュコンクリートの品質は変動するため、この品質変動に対する検査指標としてSFを用いることを標準としている。そのため、試し練りでは、粗骨材量比率および間隙通過速度の目標値を満足するSFの上限および下限を確認し、この結果に基づいて、品質管理や検査における品質変動の許容範囲を設定する。

計画配合を試験室の小型ミキサを用いて選定した場合には、実際の工事に用いるプラントのミキサと練混ぜ性能が異なることが多い。また、工事開始時の外気温や使用材料のロット等の製造条件が、配合選定時とは異なる場合が多い。そのため、工事開始前には、プラントのミキサで試し練りを行い、所定の品質のコンクリートが得られることを確認する。

4-4-2. 運搬、打込み、締固めの特徴

コンクリートポンプによる圧送性は、一般のコンクリートに比べて向上することが多い。

コンクリートの打込みは、4-2.で紹介したように、打込みに伴う流動距離が5m以下となる間隔で行う。打込み間隔の例を図8に示す。部材の形状や鋼材の配置状況から、打込みに伴う流動距離が5mを超える恐れがある場合は、流動を制御するために一時的な型枠を設置する等の対策を講じるのがよい。また、流動中に棒状パイプレータ等で振動を加えると材料分離を助長し、コンクリート構造物の品質を低下させる恐れが

あるため、棒状パイプレータは流動の停止後に締め固めるためにのみ用いる。

4-1.で紹介したように、棒状パイプレータの挿入間隔の目安は50～100cmとし、高密度に配筋された箇所等、施工現場の状況に応じて、挿入間隔を狭くするのがよい。また、締固め時間の目安は5秒程度であるが、過剰な振動により材料分離が生じないことに注意する必要がある。棒状パイプレータの使用が困難で型枠に近い場所や、部材厚さが小さい場合は、型枠パイプレータの活用も検討するとよい。

5. 今後の展望

人口減少に伴い、今後益々人材の確保が難しくなる状況が想定される中で、品質を確保しつつ、作業負担を可能な限り低減することが極めて重要な視点になる。ワーカビリティの定義にある「作業のしやすさ」の視点を評価する産業にならないければ、人材の確保

は、より一層困難を極めるであろう。

2050年のCNの実現に向けて、短期的には混和材を大量に使用したコンクリートの利用が想定される。土木学会でも、2018年に混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）を発刊しているが、ここで対象としたのは[施工編：施工標準]を基本としたSLコンクリートである。一般的に、混和材を大量に使用したコンクリートのW/Cは小さくなるため、フレッシュコンクリートの粘性は増加し、材料分離にくいコンクリートとなる。つまり、現在汎用的に用いられているSLコンクリートよりも流動性を高めたコンクリート（締固めを必要とする高流動コンクリート）として、施工の効率化を実現できる可能性を秘めているといえる。

このように、今後の社会ニーズを考えると、流動性を高めたコンクリートを標準的に用いる産業に向かうことは必然と考えられ、CL 161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）が、その技術的な参考資料になることを期待している。

わたしたちの暮らしのサポーター

セメント

安全で快適な暮らしを支えています。

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

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

(一社)セメント協会

広報部門 FAX 03-5540-6181



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

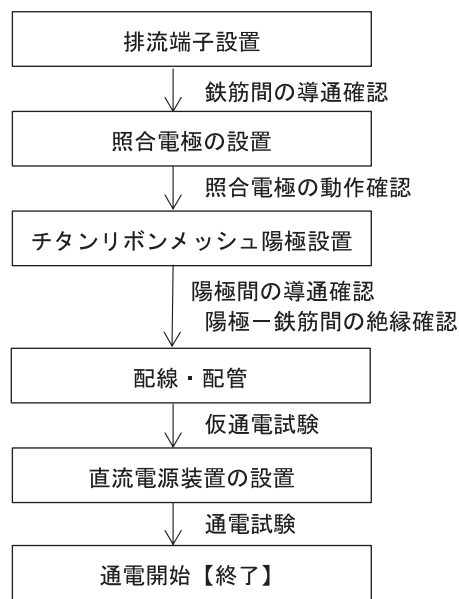


図3 施工フロー

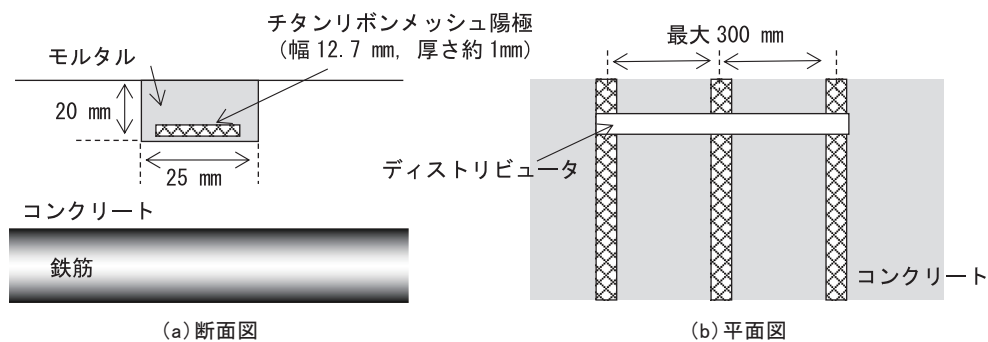


図4 チタンリボンメッシュ陽極設置の概要

2-3. 電気防食工法の施工

現在、電気防食工法では、電気防食用の陽極材の形状による種類や設置方法の違いにより、10以上の方式がある。陽極材の形状では、面状、線状、点状方式があり、現在の主流は線状陽極方式である。面状陽極方式では、陽極材を設置する部分全てのコンクリート表面の処理が必要であるが、線状陽極では、最大で300mmの間隔を開けて陽極を設置することができるため、既存コンクリート表面の処理が容易である。以下では、線状陽極方式であるチタンリボンメッシュ陽極方式の一般的な設置方法を簡単に説明する。

図3には、施工のフローを示す。まず、内部鉄筋には、排流端子と呼ばれるステンレスの端子をアーク溶接などで設置する。設置後は、対象とするコンクリート中の鉄筋が電氣的に接続(導通)されていることが重

要であるため、それを確認する試験(導通確認試験)を実施し、排流端子の一部がコンクリート表面に露出するようにモルタルで埋め戻す。その後、陽極材の設置では、図4に示すようにコンクリート表面に陽極設置溝として幅25mm、深さ20mmの溝を設ける。陽極設置溝には、幅12.7mm、厚さ約1mmのチタンリボンメッシュ陽極を平面に設置する。その後、相互のチタンリボンメッシュ陽極をディストリビュータと呼ばれるチタン製の板で電氣的に接続し、ディストリビュータの一部をコンクリート表面に露出させて陽極被覆材(専用のモルタル)で陽極設置溝を埋め戻す。なお、陽極同士を接続した後は、陽極同士が電氣的に導通していること、および内部鉄筋と陽極材が電氣的に繋がっていない(絶縁状態)ことを確認する。

これら作業が終了した後、直流電源装置のプラス側

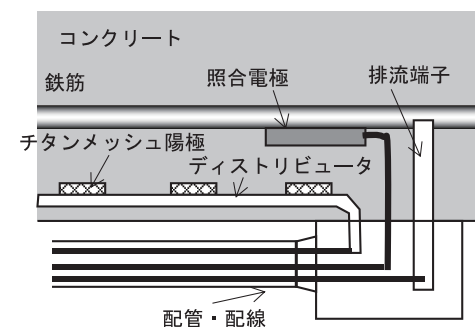


図5 電気防食施工後の概要

をディストリビュータ(チタンリボンメッシュ陽極と接続されている)、マイナス側を排流端子(内部鉄筋と接続されている)に電線を用いて接続する。なお、電気防食では、その適用期間中に内部鉄筋の防食状態を管理するため、埋込型の照合電極と呼ばれるセンサーを防食対象の鉄筋周辺に設置し、これらも直流電源装置の収納箱などで電線で繋ぎ、維持管理段階で測定を可能とする。図5には、電気防食の施工後の概要を示す。

全ての作業が終了した後、初期の防食電流量を試験により決定し、電源装置から防食電流を供給し、防食が開始される。

上記は、作業空間が十分に確保できる場合の一般的な設置方法であるが、橋梁の桁端部などでは、橋脚の天端部分と橋梁下面との隙間が200mm程度あるいはそれ以下と非常に狭い場合がある。このような橋梁下面へのチタンリボンメッシュ陽極の設置では、陽極材をV型に加工し、専用の溝切カッターを用いるなどする方法も開発(図6)されている。

3. 鉄筋コンクリート構造物の電気防食工法の設計から管理

鉄筋コンクリート構造物における電気化学的防食工法では、2001年に(社)土木学会によってコンクリートライブラリー 107「電気化学的防食工法 設計施工指針(案)」(以下、CL107と称する)が発刊され、設計、施工および維持管理に関して広く用いられてきた。電気化学的防食工法とは、電気防食工法、脱塩工法、

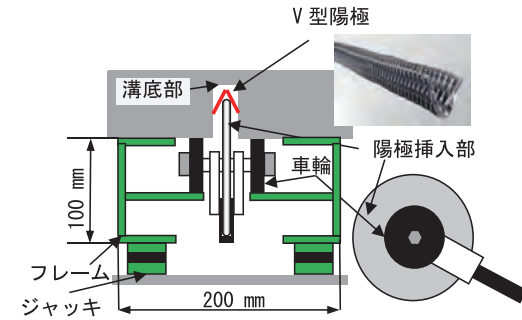


図6 V型陽極押し込み装置の概要

再アルカリ化工法および電着工法を総じて呼ばれるものであり、各工法について示されている。したがって、電気防食工法に関しては、本指針(案)に示されている。しかし、CL107の発刊から約20年が経過し、その間に得られた知見などを反映することが重要であるとの視点から、改訂作業が進められ、2020年にコンクリートライブラリー 157「電気化学的防食工法指針」(以下、CL157と称する)として改訂され、発刊されるに至った。

CL157では、性能照査型の設計、施工、維持管理体系とし、指針は共通編と工法別標準として示されている。共通編では、電気化学的防食工法に共通する事項が示されており、工法別標準では、各電気化学的工法に関して、それぞれ示されている。本稿では、電気防食工法に着目して、改訂のポイントを簡単に紹介する。

電気防食工法標準では、1章「概要」、2章「適用範囲」、3章「設計」、4章「施工」、5章「維持管理」の構成となっている。また、この指針では、電気防食工法に関する設計、施工、維持管理のケーススタディ、実施例など充実した付属書が同時に設けられた。

電気防食工法の設計では、防食管理のための項目を設定する必要があるが、表1にCL107とCL157を比較^{2,3)}して示す。注目されたいのは、CL107では防食基準とされていたが、CL157では防食管理指標として示されたことである。CL157では、指標の項目が分極量、復極量であり、その水準は100mV以上を標準とするとされている。加えて、この指標で適正に防食効果を判定できない場合は、他の指標を設定してもよいことも示された。つまり、CL107では、防食効果の基

表1 CL107防食基準とCL157防食管理指標の比較

CL107 ²⁾	防食基準 (1) 防食電流を流す前後の鋼材の電位変化量を基準として、防食状態を管理する。 電位変化量の基準は、鋼材の電位をマイナス方向に 100 mV 以上変化させることを基準とする。 (2) PC 鋼材は、飽和硫酸銅電極（CSE）基準で－1000 mV より貴な電位に設定しなければならない。
CL157 ³⁾	防食管理指標 (1) 設計防食期間にわたって防食効果が発揮されるように防食管理指標を設定する。 防食管理指標は、その項目を鋼材の分極量あるいは復極量とすること、およびその水準を 100 mV 以上とすることを標準とする。 (2) 分極量または復極量で適正に防食効果を判定できないことが想定される場合は、鋼材の分極量あるいは復極量とは異なる防食管理指標を設定してもよい。 (3) PC 鋼材ではインスタントオフ電位も防食管理指標の項目とし、その水準は－1000 mV vs CSE（飽和硫酸銅電極）よりプラス（貴）側の電位を保つこととする。

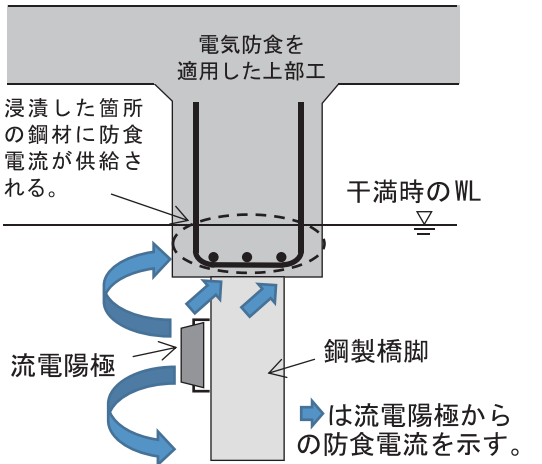


図7 下部工の流電陽極からの防食電流の流れの概念

準として、「電位変化量がマイナス方向に100 mV 以上であること」のみで判断されていたが、CL157では、構造物の状況に応じた指標を用いることが示され、後に示す維持管理でも幅を持つことができるようになった。なお、PC構造物に対しては、基本的には同様であるが、インスタントオフ電位に対する電位であることが明記されている。

ここで、構造物の状況に応じた指標について、一部を簡単に解説する。例えば、栈橋などの港湾構造物では、下部工（橋脚）が鋼構造物であり、上部工が鉄筋コンクリート構造物であることが多い。一般的に下部工に対しては、垂鉛－アルミニウム合金などの流電陽極による電気防食の適用が標準である。このような構造物の上部工の鉄筋コンクリート構造物に電気防食工法を適用した場合、干満の影響により上部工の一部が海水中に没することが考えられる。この時、海水中

に没したコンクリート中の鉄筋には、下部工を対象とした流電陽極材の防食電流が供給されることになる(図7)。このような構造物で電気防食の防食効果を確認するために復極量を測定する場合、その測定値に影響を及ぼすことになる。ここで、復極量に関して簡単に解説すると、電気防食工法を適用した構造物では、通常防食電流が常に供給されているため、内部鉄筋の電位は、自然電位よりもマイナス側に移行している。防食管理では、供給している防食電流を一時的に停止することにより、停止直前の電位としてインスタントオフ電位を測定し、この電位と通電を停止して24時間後の電位（OFF電位：通電時よりもプラス側の電位になる）の差を復極量とし防食効果を評価することが一般的である。したがって、復極量を測定するために防食電流を停止している状態で、干満により、下部工の防食電流がコンクリート中の鉄筋に供給された場合、その電流によって、マイナス側に電位が移行され、正確なOFF電位が測定されず、復極量が小さくなる場合がある。そこで、CL157では、このような影響が考えられる構造物では、干満の影響を受けない時間帯(時期)を考慮することが必要であることが解説で示されている。また、防食電流の供給を停止した後に内部の鉄筋がプラス側に移行(復極)するためには、式(1)、(2)で示すように水と酸素が必要となる。したがって、コンクリートの含水状態が高いような場合、例えば、波しぶきが常に当たるような部位や地下水などの影響で常に湿っているような部位では、酸素の供給が少なくな

るために、復極し難い状況となる。先に示したように、復極量を測定する場合、通常24時間の通電停止期間を設けるが、この期間では酸素が不足するため、復極速度が遅くなることがあり、24時間以上の通電停止期間が必要となる。これらに関しても解説で示されている。

本稿では、施工に関しては、誌面の関係上詳しくは触れないが、図3に示しているように各施工のタイミングで電気防食工法のシステムを適切に施工できていることを確認するための試験が設けられている。CL157では、これら試験における注意事項なども記載されており、施工者にとって参考となる。

次に、維持管理に関して紹介する。維持管理における点検では、初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検および緊急点検がある。各点検では、実施者、実施の時期と頻度、調査の項目などが示され、構造物の管理者が使用しやすくなっている。日常点検、臨時点検では、その実施者は構造物の管理者とすることが標準とされており、調査の項目も分かりやすく記載されている。また、近年の維持管理では、遠隔モニタリングシステムが導入されることもあり、定期点検では、遠隔モニタリングシステム自身が正常に稼働していることを確認することが明記された。これは、遠隔モニタリングシステムを適用するにあたり、非常に重要であると考える。

最後に、防食効果の評価および判定では、事前に定めた防食管理指標を確認するだけでなく、対策が必要と判定された場合の対策が節として明確にされたことが重要であると考える。そこには、「電気防食システムの修復と更新」、「通電量の見直しと調整」、「電気防食システムまたは防食管理指標の見直し」について記載されている。特に、「電気防食システムまたは防食管理指標の見直し」に示される防食管理指標の見直しでは、鋼材の状態や環境の変化を考慮したうえで、新たな防食管理指標を選定するとされている。例えば、分極量または復極量を防食管理指標としていた場合、点検時に水準として100 mV 以上が満足できな

かったとする。この時、先に示したように分極量や復極量の測定時期や時間を変更して判定し、さらに満足しない場合は、オフ電位の値を確認し、その水準を満足するのであれば、その後オフ電位を水準として見直しすることも可能となる。その他には、防食電位による管理も解説されているが、これらの見直しは、簡単に行うものではなく、構造物の置かれる環境の変化を十分に考慮して新しい防食管理指標を選定することが重要であることに注意されたい。

4. おわりに

本稿では、現在広く知られるようになってきたコンクリート中の鉄筋の腐食のメカニズム、電気防食工法の原理に加え、一般的な施工方法に関して解説し、2020年度に発刊されたCL157に関してかいつまんで説明した。鉄筋コンクリート構造物に対する電気防食工法は、十数年前と比較して、土木技術者の中で認知され、実績も徐々に増加してきているが、未だ補修工法の最終手段としての位置づけが大きいように感じている。また、電気防食工法を適用した構造物では、電気防食工法そのものの維持管理も必要となるとともに、専門的な用語なども多く維持管理し難いと感じられる技術者も多いと考える。

CL157では、これまでの知見を踏まえて、電気防食工法がより適用しやすく、維持管理しやすいものとして新たに改訂された。今後は、鉄筋コンクリート構造物の長寿命化の一助として、電気防食工法が適切に使用され、土木技術者が管理しやすい工法となることを期待している。

【参考文献】

- (公財)日本コンクリート工学会／電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会報告書，p.151，2018.9.21
- 土木学会／コンクリートライブラリー 107 電気化学的防食工法 設計施工指針(案)，p.67，2001.11.25
- 土木学会／コンクリートライブラリー 157 電気化学的防食工法指針，p.51，2020.9.7

コンクリート表層部における養生効果の持続性に関する検討

Changes in curing effect on surface quality of concrete

横山 勇気

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化因子である液状水や塩化物イオンは、コンクリート表層部から内部へ侵入する。そのため、構造物の耐久性を確保するには表層品質が重要な役割を果たす。表層品質に関してはこれまで数多くの研究者により研究^{1,2)}が行われ、表層品質を評価する試験が複数提案^{3~5)}されている。表層品質の向上を目的とした養生手法も数多く開発^{6,7)}されており、表層品質に関する試験結果より、養生を適切に施すことで表層品質が向上することが確認されている。表層品質の試験は、海外の規定⁸⁾により、材齢1~3か月での実施が推奨されている。この規定を参考に国内でも、多くの場合、同様の期間で試験が実施⁹⁾されている。しかし、長期耐久性を考えた場合、現状の試験期間はごく初期の材齢にとどまっており、既往の研究において数年オーダーで検討した事例^{10,11)}は少なく、表層品質の長期的な変化や養生効果の持続性については不明な点が多い。

そこで著者らは中規模供試体を対象とし、数年間オーダーの表層品質の変化を分析することで、材齢初期の施した養生効果の持続性を検証することとした。



よこやま ゆうき / YOKOYAMA Yuki
愛媛大学大学院
理工学研究科理工学専攻 環境建設工学講座
助教 博士(工学)



写真1 中規模RCラーメン模擬高架橋¹²⁾

本項では、その研究内容の一部を紹介する。

2. 検討概要^{12,13)}

2-1. 供試体概要

写真1に本研究で使用した中規模RCラーメン模擬高架橋を示す。本模擬高架橋は、異なる配合や養生条件により作製された柱供試体とスラブにより構成されており、本研究では柱供試体のコンクリート表層部を検討対象とした。柱供試体を覆うスラブの下面には、水切りが設置されており、同一の柱供試体で降雨の影響の有無が比較可能な設計となっている。表1に柱供試体の概要、表2に配合、スランブおよび空気量の試験結果、図1に形状・寸法を示す。表1,2よりセメントは、普通ポルトランドセメント(N)または高炉セメントB種(BB)が用いられている。水セメント比(W/C)は、Nの供試体では32.0, 58.0, 64.8%(W/C58.0%の打込み時に約20kg/m³加水)の3種類(以下、N32, N58, N64.8), BBの供試体では、57.5%の1種類(以下、

表1 柱供試体の概要¹²⁾

配合名	セメント 種類	水セメント比 (%)	養生方法	養生終了時の材齢(日)
N58	N	58.0	早期脱型	1
			示方書 相当	5
			密封	28
			給水	28
N64.8*		32.0	示方書 相当	5
N32			早期脱型	1
		示方書 相当	5	
BB57.5		BB	57.5	早期脱型
	示方書 相当			7

*W/C58%の配合の打込み時に外割で20kg/m³加水

表2 柱供試体の配合、スランブ、空気量の試験結果¹²⁾

粗骨材の最大寸法(mm)	セメント種類	スランブ(cm)	水セメント比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)							
						水W	セメントC	細骨材S1	細骨材S2	粗骨材G1	粗骨材G2	混和剤Ad1	混和剤Ad2
20	N	13.0	58.0	4.5	45.2	168	290	572	254	506	513	2.90	-
		22.0	64.8*2	5.8	45.2	184	284	560	249	496	503	2.84	-
		59.5*1	32.0	4.5	47.4	170	532	530	238	429	437	-	8.78
	BB	14.5	57.5	5.1	44.9	167	291	567	251	506	513	2.91	-

*1:スランブフロー値, *2:W/C58%の配合の打込み時に外割で20kg/m³加水したものを1m³に換算

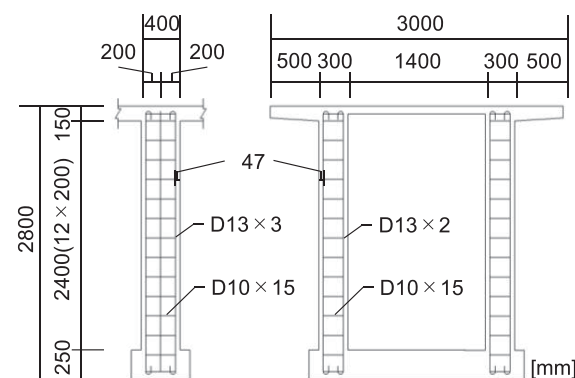


図1 柱供試体の形状・寸法¹²⁾

BB57.5)である。N32の目標スランブフローは60cm, その他の柱試験体の目標スランブは12cm, 目標空気量は全ての供試体で4.5%に設定されている。図1より、

柱供試体の高さは2800mm, 断面は300×400mm, かぶりは47mmである。養生方法は、早期脱型(材齢1日にて脱型)とコンクリート標準示方書相当の養生(Nでは5日脱型, BBでは7日脱型)の2種類を基本としている。N58の柱供試体では、密封養生(材齢5日にて脱型後, フィルムにより材齢28日まで密封)や給水養生(材齢1日にて脱型後, 養生マットにより材齢28日まで水を供給)の条件が加えられており、複数の養生による影響が比較可能となっている。

2-2. 試験概要

(1) 表層品質に関する試験

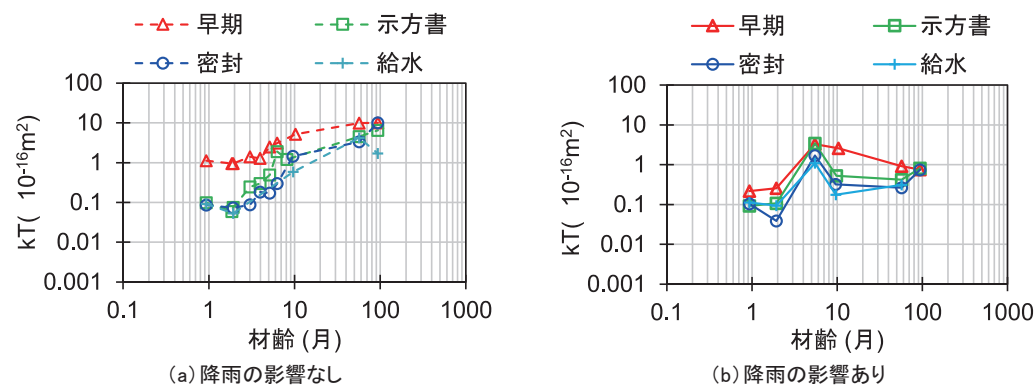


図2 kTの経年変化(N58)¹²⁾

本研究では柱供試体の表層品質を表層透気試験 (Torrent法)³⁾と表面吸水試験 (Surface Water Absorption Test)⁴⁾により評価した。表層透気試験は、降雨の影響がある箇所と降雨の影響が無い箇所、材齢1～6、9～10、56、94か月時点で実施した。評価指標は、表層透気係数(以下、 kT と称す)である。測定位置の高さは1000～1350mmとし、1～3点の測定箇所の平均値を用いて評価した。表面吸水試験は、降雨の影響がある箇所と降雨の影響が無い箇所、材齢95か月時点で実施した。評価指標は、注水完了時から6分間の吸水量を用いた。測定位置の高さは1000mm、1350mmとし、2点の測定箇所の平均値を用いて評価した。

(2) 空隙構造分析

空隙構造は水銀圧入ポロシメトリー (MIP)により分析した。MIPで使用する試料は、材齢96か月時点で各柱試験体の高さ1000mmの箇所からコアサンプルを採取した後、表層から10mm間隔で切断し、粗骨材を取り除くとともに、細骨材が大半を占めていないことに留意しつつ、5mm角の立方体となるよう作製した。試料は、24時間アセトンに浸せきさせた後、D-dry法により24時間乾燥させた後に分析に用いた。細孔径が10nmに相当する圧力を超えると細孔が破壊される可能性が指摘されている¹⁴⁾。そこで本検討では、測定する空隙の最小径は10nmとした。なお、物質移動に関与していると考えられている閾細孔径を算出するに当たり、本検討では酒井らの手法¹⁵⁾を参考とし、セメントペースト体積の16%に相当する水銀が圧入された時点の細孔

直径を閾細孔径とした。

(3) 中性化深さの測定

中性化深さは、材齢19、96か月時点でコアサンプルの採取時に形成された孔、もしくははつり面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧することで測定した。測定位置の高さは1000～1400mmとし、4点の測定点数の平均値を用いて評価した。

3. 検討結果^{12,13)}

本項では、N58より得られた結果を示す。その他の配合条件の柱供試体から得られた結果は参考文献に記載されている。

3-1. kTの経年変化

図2に kT の経年変化を示す。降雨の影響を受けない場合は、材齢の経過に伴い kT は増加し、材齢94か月時点では給水養生を施した柱供試体を除き、 kT に養生による明確な差異は見られない。一方、後述する吸水量や空隙構造の試験結果では、材齢95、96か月時点でも養生による差異が確認された。本結果を踏まえると、構造物の材齢が進行するにつれ、水分逸散を抑制する程度の養生効果は、表層透気試験では適切な評価が難しくなることが考えられる。なお、他の屋外暴露した供試体を対象とした調査結果にも同様の傾向が確認されている¹²⁾。コンクリート中の透気性に強く影響を及ぼす要因として含水状態と空隙構造が挙げられ、Buenoらにより、表面含水率を考

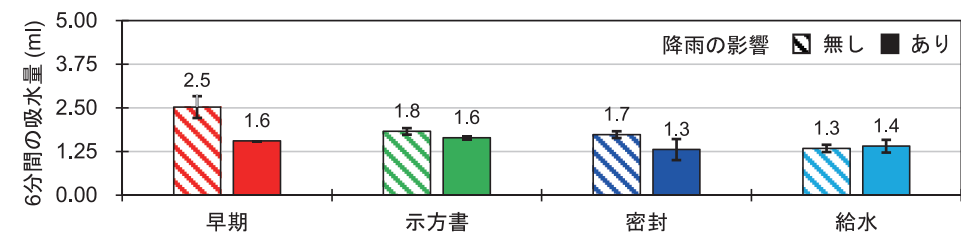


図3 6分間の吸水量(N58)¹²⁾

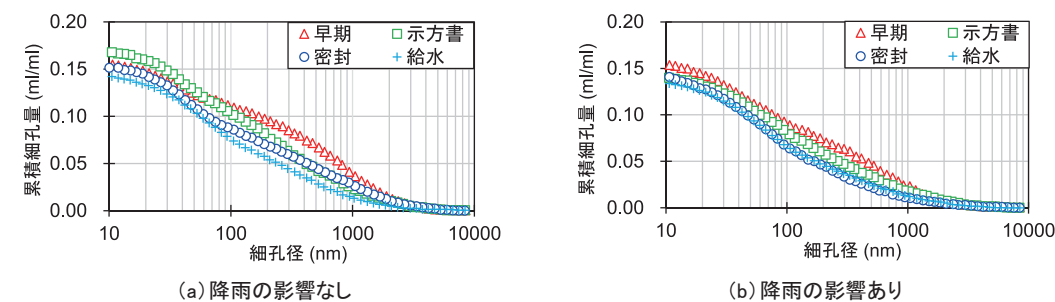


図4 累積細孔量(N58, 0～1cm)¹²⁾

慮したうえで kT を補正する手法が提案されている¹⁶⁾。今後は、表面含水率を踏まえて kT の経年変化に関する分析を進めることで、養生による差異について考察を深める予定である。

降雨の影響を受ける場合は、材齢1か月時点では降雨の影響を受けない場合と異なり、養生による明確な差異が見られないが、材齢が経過するに伴い養生の影響は kT に表れ、材齢6か月までは kT が増加している。材齢10か月以降は kT が減少しており、降雨の影響が無い箇所では見られなかった傾向を示している。その後、養生方法により kT の増減の程度は異なるが、材齢94か月時点では養生方法による kT の明確な差異は見られない。供試体作製から間もない材齢1か月時点では、コンクリート中の含水率は比較的高く、養生方法による差は表れにくいことに加え、降雨の影響により、早期脱型した柱供試体の表層部も湿潤状態となり kT が低下したと考えられる。しかし、示方書相当や密封、給水養生を施した柱供試体の表層品質までは品質が向上しなかったために、材齢の経過に伴い養生による差異が表れ、その後、コンクリート中の水分が逸散し、含水率が低下することで kT は次第に増加する。材齢が1年以上経過すると、水分逸散に伴う含水率の変化に比べ、降雨などの周辺環境が kT へ及ぼす影響が卓越する。その結果、 kT は増加せず、材齢94

か月では養生による差異が見られなくなったと推察した。

3-2. 吸水量

図3に材齢95か月時点における6分間の吸水量を示す。降雨の影響が無い場合は養生条件が良くなるにつれ、吸水量が低下した。養生による吸水量の差異も最大で2.2mlとなり、養生方法の違いを確認することができる。降雨の影響を受ける場合には、養生方法による6分間の吸水量の差異は0.3mlに収まり、養生による明確な差異が見られない。 kT の経年変化の考察で前述したように、降雨により含水状態や水和度に違いが生じ、空隙構造にも影響が及んだことが要因として考えられる。

3-3. 累積細孔量

図4に材齢96か月時点の柱供試体のごく表層部(0～1cm)の累積細孔量を示す。降雨の影響を受けない場合は、空隙構造にも養生の差異が見られるが、降雨の影響を受ける場合は、降雨の影響を受けない場合に比べ、細孔径が60～1000nmの範囲における累積細孔量の養生による差異が減少している。降雨の影響を受ける箇所では、表層部に水分が定期的に供給されることで、未水和セメントの反応が進行し、より緻密な空隙構造が形成される。その結果、降雨の影

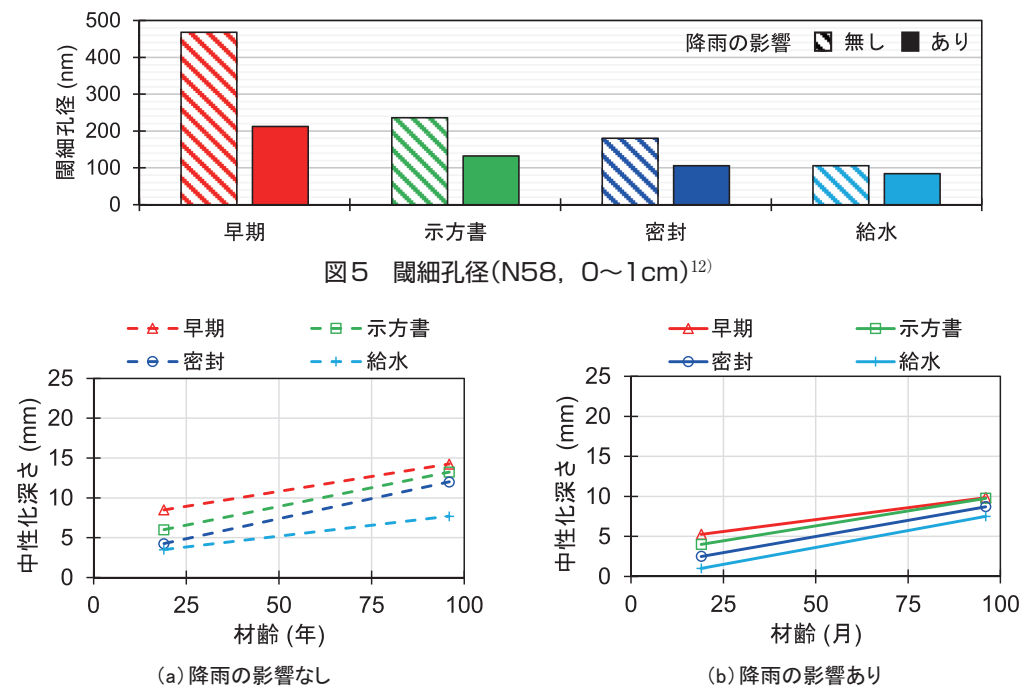


図5 閾細孔径(N58, 0~1cm)¹²⁾

(a) 降雨の影響なし

(b) 降雨の影響あり

図6 中性化深さの経年変化(N58)¹³⁾

響が無い場合に比べ、養生方法による空隙構造の差異が小さくなったと考えられる。

3-4. 閾細孔径

図5には図4で示した累積細孔量から算出した閾細孔径を示す。降雨の影響を受けない場合は、養生による閾細孔径の差異は最大で約360nmである。一方、降雨の影響を受ける場合の養生による閾細孔径の差異は最大で約130nmであり、降雨の影響を受けない場合に比べ、養生による差異が約1/3に減少している。上述したように、降雨の影響を受けることにより、未水和セメントの反応が進行することによって空隙構造が緻密になった結果、養生の差が縮小したと考えられる。

3-5. 中性化深さ

図6に中性化深さの経年変化を示す。降雨の影響を受けない場合は、材齢の経過に伴い中性化深さは増加するものの、給水養生を施した柱供試体では、他の養生方法と比べて中性化の進行が抑制されており、養生方法による差異は最大で6.5mmである。降雨の影響を受ける場合は、降雨の影響を受けない場

合に比べ、中性化深さは小さい。材齢96か月時点では、養生による中性化深さの差異は最大で2.3mmとなり、降雨の影響を受けない箇所の約1/3倍である。降雨の影響を受ける箇所は、コンクリート表層部の含水状態が降雨の影響を受けない箇所と比較し、高い状態に維持されやすく、未水和セメントの反応が進行し、空隙構造が緻密になることに加え、水分により閉塞される空隙の割合が高まることにより、CO₂の浸透が抑制されたと考えられる。

4. おわりに

本研究は養生を施すことを否定するものではない。材齢初期に移流によりコンクリート内部へ塩化物イオンが浸透する塩害や、コンクリートの品質そのものが問われる凍害に関しては、養生による表層品質の向上効果は大きいと考えられる。乾燥収縮ひび割れの抵抗性向上に対しても、養生は有効である。一方、中性化のような比較的緩やかに進行する現象に着目した場合、材齢の経過に伴い養生による明確な差異が見られなくなる可能性がある。養生効果の持続性は、今後実験結果を蓄積することにより、詳細が明らかになるかと思わ

れるが、鉄筋コンクリート構造物のより合理的な耐久性確保の実現のためには、構造物の置かれる環境や生じ得る現象、使用材料を十分考慮したうえで、適切な養生を施すことが重要であると考えられる。

【謝辞】本研究は、セメント協会研究奨励金(2019年度)および道路政策の質の向上に資する技術研究開発(2016~2018年度)による研究助成を受けて実施しました。また、本成果を取りまとめるにあたり、ご指導いただいた東京大学生産技術研究所岸利治教授に感謝の意を表します。

【参考文献】

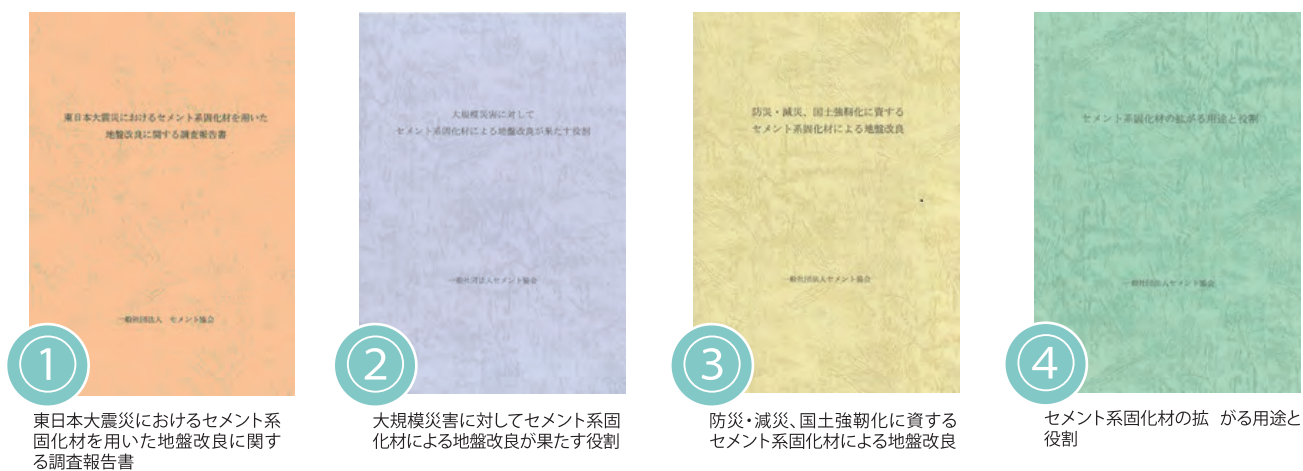
- 1) 早川健司, 水上翔太, 加藤佳孝／表面透気試験による構造物かぶりコンクリートの品質評価に関する基礎的研究, 土木学会論文集E2, Vol.68, No.4, pp.385~398, 2012
- 2) 蔵重勲, 廣永道彦／透気係数の含水依存性を考慮したコンクリート表層品質の非破壊評価法の一提案, セメント・コンクリート論文集, Vol.65, No.1, pp.225~232, 2011
- 3) Roberto Juan Torrent / A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, Vol.25, No.6, pp.358~365, 1992
- 4) 林和彦, 細田暁／表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集E2, Vol.69, No.1, pp.82~97, 2013
- 5) 西尾壮平, 半井健一郎, 半井恵介, 矢野康平／散水の目視によるコ

- ンクリートの水分抵抗性評価, コンクリート工学, Vol.60., No.8, pp.653~660, 2022
- 6) 臼井達哉, 宮原茂禎, 坂本淳, 岸利治／排水・湿潤連続養生によるコンクリートの耐久性向上技術, コンクリート工学, Vol.53, No.10, pp.867~873, 2015
- 7) 渡邊賢三, 坂井吾郎, 坂田昇, 石田哲也／水分逸散抑制養生が表層品質に及ぼす影響, 土木学会論文集E2, Vol.74, No.4, pp.247~255, 2018
- 8) SIA 262/1, Norme Suisse / Construction en béton-Spécifications complémentaires, Annexe E: Perméabilité à l' air dans les Structures pp.31~33, 2013
- 9) 細田暁, 小松怜史, 中川恵理, 佐藤和徳／コンクリート構造物の品質向上の取組みと非破壊試験による効果の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1273~1278, 2015
- 10) 幸田圭司, 宮本慎太郎, 皆川浩, 久田真／1年間屋外曝露した養生条件が異なるコンクリートの諸物性の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.697~702, 2015
- 11) M.A. Sanjuán, R. Muñoz-Martínez / Variability of the concrete air permeability coefficient with time, Building and Environment, Vol.32, No.1, pp.511~55, 1997
- 12) 横山勇気, 酒井雄也, 岸利治／屋外暴露された中規模柱試験体を対象とした養生効果の多角的検証, コンクリート構造物の養生効果の定量的評価と各種養生技術に関するシンポジウム論文集, pp.223~240, 2019
- 13) Yuki Yokoyama, Toshiharu Kishi / The effect of curing condition on the middle-scale concrete specimens exposed to actual condition, ConMat'20, Fukuoka Japan, 2020
- 14) 吉田亮, 岸利治／水銀の漸次繰返し圧入による空隙の連続性抽出と有効圧力範囲に関する研究, 生産研究, Vol.60, No.5, pp.516~519, 2008
- 15) 酒井雄也, 岸利治／臨界浸透確率に基づく閾細孔径の抽出とコンクリート中の液状水移動の定量評価, 土木学会論文集E2, Vol.72, No.2, pp.83~96, 2016
- 16) Verónica Bueno, Kenichiro Nakarai, May Huu Nguyen, Roberto Juan Torrent, Isao Ujike / Effect of surface moisture on air-permeability kT and its correction, Materials and Structures, Vol.54, No.2, 2021

お知らせ

改良地盤の震災・適用調査報告書 無料ダウンロードできます。

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



弊会ホームページ(<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/kokazaihokoku01.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



コンクリートに魅せられて



1300年の歴史を持ち、 多くの人々の篤い崇敬を受ける 「江戸総鎮守」

神田神社は、都心の神田や日本橋、秋葉原、大手町、丸の内など108町会の総氏神様として、また、青果市場、魚市場の人々からも篤く崇敬されており、「神田明神」の名でも親しまれている。

社伝によると、730(天平2)年に出雲氏族の真神田臣・まかんだおみにより、現在の東京大手町・将門塚周辺に創建されたという。

やがて江戸幕府が開かれると幕府の尊崇する神社となり、江戸城が拡張された1616(元和2)年、江戸城の表鬼門守護の場所にあたる現在地に遷座した。

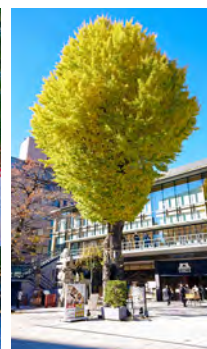
明治に入ると、正式の社号を神田明神から神田神社に改称し、東京の守護神として「准勅祭社」、「東京府社」に定められた。

旧社殿は、1782(天明2)年に江戸幕府によって造営された木造権現造・総朱漆塗で、江戸時代後期の神社建築を代表する社殿であったが、1923(大正12)年9月、関東大震災により焼失してしまった。残ったのは石の鳥居と社殿の礎石だけだったと言われている。

そこで神田神社では社殿復興を目指して、1934(昭和9)年、建築家大江新太郎らの設計により、当時としては画期的な鉄骨鉄筋コンクリート、総朱漆塗造の権現造で再建された。

社殿は小屋組を鉄骨にして荷重を軽減し、柱間を少し狭めるなどして木造建築の姿に近づけ、鉄骨鉄筋コンクリート造ということを感じさせない工夫が施されている。

拝殿の手前を土間にし、その先を畳敷きの床にすることによって、参拝者が靴を履いたまま立つて拝れできるとともに、神職が床において祭式を行うこともできるといふ、現代社会に対応した構造が、昭和初期の段階で採り入れられている。



神田神社

かんだじんじや

東京都千代田区外神田
鉄骨鉄筋コンクリート造・総朱漆塗(御社殿)
設計:大江新太郎、佐藤功一 顧問:伊東忠太

現社殿は1934(昭和9)年再建
2003(平成15)年9月、本殿、幣殿、拝殿などが国の登録有形文化財(建造物)に指定。

〔御祭神〕
一之宮 大己貴命(おおなむちのみこと)(だいく様)
二之宮 少彦名命(すくなひこなのみこと)(えびす様)
三之宮 平将門命(たいらのまさかどのみこと)(まさかど様)

〔御神徳〕
家庭円満、縁結び、家内安全、商売繁盛、社運隆昌、除災厄除、病氣平癒、開運招福など

戦後は結婚式場・明神会館など境内の建造物が次々と再建され、1975(昭和50)年には総檜・入母屋造二層建の随神門が再建される。および、江戸時代に負けない神社の姿を取り戻した。その他にも、境内には数多くの摂末社が祀られている。

2003(平成15)年には本殿、幣殿、拝殿、神饌所、瑞垣、宝庫、西門、東門が国の登録有形文化財(建造物)に指定された。

祭礼・神田祭は二年に一度執り行われているが、日本三大祭・江戸三大祭の一つにも数えられる。

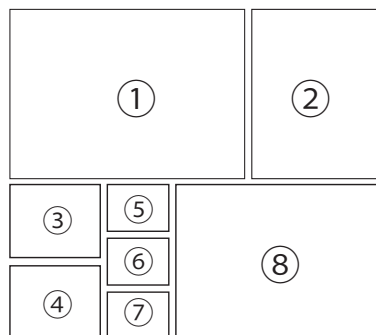
正月には大勢の人々が初詣に訪れ賑わうのは勿論のこと、商売繁盛や社運隆昌などを祈願する企業人の姿がテレビのニュース番組で紹介されるのもよく目にする。

同神社は最近では「ラブライブ」などのアニメやライトノベル作品の舞台となり、聖地巡礼地ともなっている。

さらに昨年は、視聴者を巻き込んだ「考察」も話題となり、人気を博したテレビドラマ「VIVANT」の主要ロケ地ともなり、訪れる人もより一層増えたのではないかと考察する。ドラマでは公孫樹の木の根元に小さな祠が祀られていて、物語の重要なアイテムの一つとなっていた。

神田神社は2030(令和12)年に創建1300年の節目を迎えるに当たり、今日この瞬間にも、そして未来においても常に新しく瑞々しい場所であり続けるよう記念事業を通して伝統と先人たちの想いを受け継ぎ文化発信を推進している。

写真・文 井川幹雄(セメント協会)



①大祓(おおはらえ/おおはらい)…私たちが日常生活の中で、知らず知らずに犯してしまった罪穢れを人形(ひとがた)に託して身体を清め、心新たに生活を営むべく、大きな力を得る大切な行事が『大祓』で、無病息災を祈るため、茅や藁を束ねた茅の輪を神前に立てて、これを∞形に左・右・左と三回くぐる。六月の大祓を夏越し(なごし)の祓、十二月の大祓は年越の祓とも呼ばれる。

②だいく様尊…1976(昭和51)年に建立された一ノ宮・だいく様の石像。高さ約6.6メートル、重さ約30トン。石造りとしては日本一のだいく像とされている。

③④えびす様尊像…二ノ宮の祭神・えびす様の像は、大海原を木の実の船(天乃羅摩船(アメノカガミノフネ=ガガイモの実とされる)に乗り、イルカやタイ、フク、トビウオなどに守られながら渡る様子が表現されている。

⑤神馬・神幸号「明(あかり)」…2010(平成22)年5月15日信州佐久高原生まれの牝馬。名前の「明(あかり)」は、明るく平和な世を願った名前で、神田明神の「明」の文字をいただいたとのこと。

⑥銭形平次…野村胡堂の名作「銭形平次捕物控」に登場する銭形平次が、神田明神下の長屋に住み、その周辺を舞台に活躍したことから建てられた石碑。傍らには、平次の子分「八五郎」の碑もある。

⑦マンホール蓋…神田祭をイメージした蓋で、2020(令和2)年6月27日に奉納された。文化交流館「EDOCCO」に展示されている。

⑧随神門…1975(昭和50)年に昭和天皇即位50年を記念して再建された。外周には四神が、内周には大黒神話がモチーフになった彫刻が施されている。金箔が施された「繫馬」の彫刻は、平将門公に由来するもの。

このコーナーはセメント協会公式Instagramに掲載された全国の個性あふれるコンクリート構造物のいろいろな情報を織り交ぜながら隔月で紹介していきます。どうぞご期待ください。セメント協会公式Instagramでは、この他に数多くの構造物をアップしています。下記QRコードよりご覧ください。



セメント協会 Instagram
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/



セメント協会(神田神社)
<https://www.instagram.com/p/CfaGAaUvN1m/>

セメント・コンクリート No.923 / 2024.1 令和6年1月15日発行

定価 1100 円 本体 1000 円 ⑩ 送料別

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