

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和4年9月15日発行 ISSN0371-0718

2022
No.907

9

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(高性能タイプ)

フローリック SV10シリーズ

◆ 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

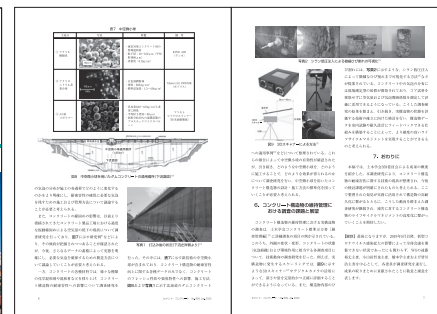
<https://www.flowric.co.jp>

セメント協会 発行図書のご案内

セメント・コンクリート お得な年間購読



カーボンニュートラルとセメントのこれから
創刊900号記念特集

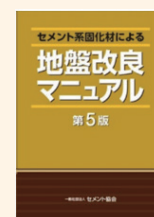


本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

最新のセメント・コンクリート技術を毎号多彩に紹介

- ・土木建築分野の特徴的な施工事例
- ・セメント化学分野の研究動向
- ・学協会の関連規格基準類の制定・改定を解説
- ・脱炭素・低炭素社会を目指すセメント産業 など

◆セメント協会では、セメントに関する基礎知識から最新技術情報、関連規格類解説など、以下のような書籍を発行しております。◆



セメント系固化材による
地盤改良マニュアル [第5版]

A5 判 502 頁 6,600 円



セメントの常識 (2020
年版オールカラー)

A4 判 72 頁 2,200 円



C3 クリップボード
[コンクリート化学編]

A4 判 123 頁 3,080 円



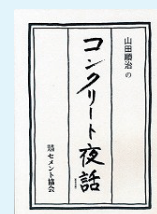
C3 クリップボード
[セメント化学編]

A4 判 134 頁 3,080 円



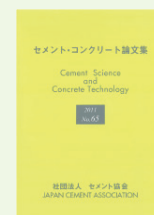
すぐに役立つ セメント
系補修・補強材料の基礎
知識 [第2版]

B5 判 197 頁 3,520 円



コンクリート夜話 (山田
順治著)

A5 判 261 頁 2,200 円



セメント・コンクリート
論文集 (No.65 2011)

A4 判 573 頁 11,524 円



セメント・コンクリート
論文集 (Vol.66 2012)

A4 判 713 頁 11,524 円



セメント・コンクリート
論文集 (Vol.67 2013)

A4 判 647 頁 11,000 円

(注) 1. 送料は図書代金と一緒に請求させていただきます。 2. 10 冊以上のご注文は同一送付先限り、送料は当協会に負担いたします。 3. お支払いは銀行振込でお願い申し上げます。 4. 恐れ入りますが、銀行振込の振込手数料は購入者のご負担でお願い申し上げます。 5. 提供いただいたお客様の個人情報は、お申し込みいただいた月刊誌・書籍の発送や案内、およびそのために必要な情報確認以外に使用することはありません。

その他、単行本や資料集など、各種ご用意しております。詳しくはホームページよりご覧ください。

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

ラーメンから、コンクリートへ。



サイズ：径
10cm から
340cm まで

サンプルはお問い合わせ下さい

ベリカバーは大切な商品を包んで守ります
あたらしい使い方を想像するのはあなたかも？

そのコンクリート 潤っていますか？

使い方は様々なベリカバー。

ラーメンの熱気を守ってきたベリカバーが新時代を迎えることとなった。

コンクリートの湿気を逃さないために生まれ変わった。

被せるだけの簡単装着で水や埃から、異物混入を防ぐ。

使い方を決めるのは手に取ったあなた。



VC 工業株式会社
VC INDUSTRIAL CO.,LTD.

【本社】

〒830-0047 福岡県久留米市津福本町 2320-16 TEL : 0942-35-5555

【東京営業所】

〒103-0003 東京都中央区日本橋横山町 3-8 UMビル7階 TEL : 03-5642-7566 (担当：梅澤、落合)

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2022 No.907

9

もくじ

2	JIS A 5308におけるコンクリートの 圧縮強度の合否判定基準の意味と妥当性	…岸 利治
10	国道18号妙高大橋架替における 連続鉄筋コンクリート舗装の施工	…大平 英生
16	コンクリートの最適打込み計画支援システム 「T-Con.PAS®」の開発	…武田 均ほか
22	寸思寸言 風流閑話	…渡邊 明
24	シリカフュームプレミックスセメント(SFPC®)を用いた 超高強度コンクリートの酷暑環境下における諸特性	…曾根 涼太ほか
32	秋田新幹線 斉内川橋りょうの架け替え ー開床式PRC単純ランガー桁におけるコンクリート打込みー	…加藤 佑基ほか
40	ドローンによる建築物調査関連の法令・研究・民間の動向	…宮内 博之
48	SDGsに合致した北陸地方における フライアッシュコンクリートの地域実装の現状と展望	…参納 千夏男ほか
56	シリーズ/セメントコンクリートを「科学」する クリンカー化合物、水和物の組成、密度などーエピソードにかえてー	…高橋 茂

9	第37回(2023年度) セメント協会研究奨励金テーマ募集のご案内
21, 39	外国雑誌の記事情報
46	論文検索サービスのご案内
61	EVENT GUIDE
63	セメント・データファイル
64	主要建設工事・資材統計
66	10月号予告

※「ずいそう」は都合により休載いたします。



今月の表紙

秋田新幹線 斉内川橋りょうの
架け替え施工・コンクリート打
設から竣工まで[秋田県/提供：
東日本旅客鉄道(株)]

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

JIS A 5308におけるコンクリートの圧縮強度の 合否判定基準の意味と妥当性

Significance and validity of the inspection criteria for compressive strength of concrete in JIS A 5308

岸 利治

1. はじめに

レディーミストコンクリートの受入れ検査では、一般に JIS A 5308「レディーミストコンクリート」で定められている検査が行われている。しかし、土木学会コンクリート標準示方書(以下、示方書と称す)施工編のレディーミストコンクリートの受入れ検査に関する条文は、JIS A 5308の分かりやすい決定論的な表現による判定基準と異なる若干難解な統計的な表現による判定基準となっている¹⁾。ただし、2012年制定版以降の示方書では、同条文の解説に、一般には多くの工事でJIS A 5308の決定論的表現に基づく判定基準が採用されている実態も併せて紹介されている。このように、レディーミストコンクリートの受入れ検査の条文と解説で異なる判定基準を併存させるに至った背景には若干複雑な経緯があるが、最近では、条文を厳格に適用してJIS A 5308とは異なる統計的な判定基準を適用すべきであるという意見や、JIS A 5308の規定自体を再び過去の統計的な表現に基づく品質規定に戻すべきであるという主張が見られるようになった。しかし、実際の受入れ検査において、JIS A 5308が定める判定基準とは異なる判定基準を適用することは、実務に少なからず混乱をもたらすと共に、

生産性の向上が求められている現在において、コンクリートの受入れ検査のあり方がその障害となる可能性を孕んでいる。そこで、本稿では、JIS A 5308と示方書における圧縮強度の判定基準の過去の変遷を概観しつつ、計量抜取検査と対比させながら、JIS A 5308における合否判定基準の意味と妥当性を論じる。

2. JIS A 5308の品質規定の 改正経緯と目的

2-1. 第1回改正における初期の品質規定の統計的表現

JIS A 5308の過去の改正については、最近、参考文献2)および3)で詳しく紹介された。JIS A 5308は1953年に制定されたのち、これまでに14回の改正が行われており、1968年に行われた第1回の改正で、『設計基準強度または指定強度を下まわる確率が1/6以上になるものであってはならない。また、いずれの1回の強度も、設計基準強度または指定強度の70%以下になるものであってはならない。』との品質規定が定められた。この品質規定の前半には、一般に「不良率の指定」と言われる統計的な表現が用いられている。

なお、1977年の参考文献4)に、「レデーミストコンクリートのJIS、土木学会コンクリート標準示方書、日本建築学会 JASS 5等における品質検査の条項でも、計量

抜取検査が主体となっている。」と記述されており、当時の検査では、計量抜取検査により、品質規定で指定した不良率を統計的に高い信頼性で保証する合否判定基準値を用いた判定が行われていたことが分かる。

2-2. 第3回改正における品質規定の決定論的表現への変更

品質規定を統計的な表現から決定論的な表現に変更した1978年の第3回の改正は、本質的な変更を伴う大きな改正であり、本稿で論じる内容にとっては特に重要である。そこで定められた品質規定は、基本的に現在と同様の決定論的な表現で第1条件と第2条件が定められた。2019年改正の現行のJIS A 5308における品質規定は以下の通りで、1978年の第3回の改正以来、実質的な変更はない。

(a) 1回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の85%以上でなければならない。

(b) 3回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上でなければならない。

検査は、上記の決定論的な表現による規定(判定基準)に適合すれば合格とすると改められ、不良率を統計的に高い信頼性で保証する計量抜取検査による判定ではなく、期待値として品質規定を確認する判定が行われることとなった。

2-3. JIS A 5308の第3回改正の目的

第3回改正の解説⁵⁾では、品質規定を初期の統計的表現から決定論的表現へと大幅に変更した意図についての詳細な説明はなく、強度に関して、『規格値は、これまでと異なり日本工業規格の他の製品規格と同様に限界値により表現したもので、いわば品質保証の条件を示していることになる。』との記述があるのみである。

ここで重要なことは、品質規定を統計的表現から決定論的表現へと変更したことで引き換えに、品質規定の内容を変更し圧縮強度の試験値が呼び強度の強度値を下回る確率を大幅に引き下げること、目標強度(配合強度)が大幅に引き上げられたという事実である。少々

分かりにくい、第3回改正で第2条件として定められた「3回の試験結果の平均値が呼び強度の強度値以上」という条件は、確率的な表現を用いていないが、数学的には不良率を4.2%に指定していることと等価である。すなわち、第3回改正以前は圧縮強度の試験値が設計基準強度を下回る確率を1/6(=16.7%)未満としていたものを、第3回改正では第2条件を規定することで、実質的に4.2%未満へと大幅に引き下げることと引き換えに、判定基準を統計的(確率的)なものから決定論的(確定的)なものへと変更したものと言える。

品質規格における不良率の指定を大幅に引き下げることとは、それを実現するために、配合設計における目標強度を大幅に引き上げることの意味している。したがって、第3回の改正は、目標強度を大幅に引き上げて配合設計において十分な安全余裕度を確保する代わりに、理解が難しく判定が若干煩雑な統計的な判定基準から理解が容易で判定が明快な決定論的な判定基準に移行することを意図したものと言える。言い方を換えれば、信頼性は高いものの難解な計量抜取検査の実施を取り止めるために、期待値による判定での検査の信頼性の低減を補完すべく、目標強度を大幅に引き上げて十分な安全余裕度を確保したものと言える。すなわち、この時の改正は、検査の信頼性の高さと安全余裕度の大きさとのトレードオフを行ったもので、安全余裕度を大きく取ることが難しい部品では検査を厳しくするが、検査が難しい部品では安全余裕度を大きく取るという設計と検査に関する2つの常道を入れ替えた措置と解釈できる。

2-4. JIS A 5308の第3回改正の背景と意義

JIS A 5308の品質規格が現在の形に改正された背景のエピソードが村田二郎博士の著作⁶⁾で紹介されていて、参考文献3)でも引用されている。昭和50年の当初に生コン業界を震撼させる大事件が起きたというもので、混和材の計量ミスによる強度不足から、すでに7分通り打ち上がっていた鉄筋コンクリート建物を取り壊し、新たにコンクリートを打ち直した事件とのことである。そし



きし としはる / KISHI Toshiharu
東京大学 生産技術研究所 教授 博士(工学)

で、それまで実施されていた計量規準型一回抜取検査に準じた方法は、合否判定に確率的な考えが入っていて、あいまいさが伴い素人にわかりにくく、国会答弁などにも差支えたとのことで、疑念が生じないような決定論的な表現に変えて欲しいとの要請があつて、1978年の第3回改正に繋がったと紹介されている。

すなわち、上記の事態を受けての第3回改正の目的そのものが、計量抜取検査の排除であつたと考えられ、当然ながら、改正前後の取り扱いによる結果がほぼ等価となるような改正が行われたものと考えられる。ここで言う「取り扱いによる結果」とは、生コンの強度値を同じとした場合の検査における合否判定基準値のことであり、合否判定基準値がこの改正の前後ではほぼ等価と考えられることは、3-2.で後述する。ここで重要なことは、品質規格の第2条件により実質的に不良率の指定を大幅に引き下げて、目標強度を大幅に引き上げた措置は、それまでの不良率の値に問題があつたからではないということである。前節で述べたように、目標強度の大幅な引き上げは、検査の信頼性の高さと安全余裕度の大きさとのトレードオフを行うためのものと解釈できる。しかし、この改正の意図が十分に説明されず、また、理解されなかったことが、この時のトレードオフによって放棄したはずの統計的な表現による判定基準が現在でも示方書の中に残存する遠因になったと考えられる。

3. 土木学会コンクリート標準示方書における検査の変遷

3-1. JIS A 5308の第3回改正以前の規定

1967(昭和42)年版の鉄筋コンクリート標準示方書⁷⁾の規定では、『コンクリートの配合強度 σ_r は、現場におけるコンクリートの圧縮強度の試験値がつぎの条件を満足するよう、これを定める。

(a) 試験値は設計基準強度 σ_{ck} の80%を P_a 以上の確率で下がってはならない。

(b) 試験値は設計基準強度 σ_{ck} を P_b 以上の確率で

下がってはならない。

ここに、 P_a および P_b は、一般の場合 それぞれ1/20および1/4とする。』となっている。

また、コンクリートの品質検査において、「圧縮強度の試験値が、一般の場合、 $0.8\sigma_{ck}$ を1/20以上の確率で下らないこと、および、 σ_{ck} を1/4以上の確率で下らないこと、を適当な危険率で推定できれば、コンクリートは所要の品質を有していると考えてよい。」という統計的な表現による合否判定基準が規定された。この時に定められた品質規定と検査における判定基準は、基本的に1980(昭和55)年版が限界状態設計法を導入した1986(昭和61)年版で改訂されるまで継承されている。ただし、1967(昭和42)年版のコンクリート標準示方書には、まだ、「レデーミクストコンクリート」の章はない。

「レデーミクストコンクリート」の章は、現場練りコンクリートも対象とできる材料・配合・計量および練りまぜ・品質管理および検査の標準を示す各章とは別に、1974(昭和49)年版⁸⁾で新設され、「レデーミクストコンクリート」の受入れ検査はJIS A 5308によると規定された。これにより、現場練りコンクリートも対象とできる一般性の高い標準を示す規定とレディーミクストコンクリートのみを対象とする規定との二本立ての構成となった。そして、現場練りコンクリートも対象とできる一般の標準を示す「品質管理および検査」では計量抜取検査の実施を前提とする統計的な表現による判定基準を維持し、生コンの受入れ検査についてはJIS A 5308が定める決定論的な表現による判定基準とする二本立てのスタイルは、「レデーミクストコンクリート」の章が新設された1974(昭和49)年制定版から1991(平成3)年版が1996(平成8)年制定版の発刊によって改訂されるまでの約22年間にわたり踏襲された。

3-2. JIS A 5308の第3回改正への対応

1978年の第3回改正でJIS A 5308が品質規格を統計的な表現から決定論的な表現に変更したことを受けて、1980(昭和55)年版で、その対応が検討された。ただし、検討の結果として、条文は1974(昭和49)年

版から変更されていない。

このような判断に至った経緯については、改訂資料で『JIS A 5308の合格条件は、合否判定が實際上明快に行われることを主眼として限界値のみを定めたものであるが、レデーミクストコンクリートの検査に式(7)(本稿注：合否判定基準の式)を適用する場合、 $K\sigma$ (本稿注：合否判定係数と標準偏差の積)を無視しても実用上さしつかえないので、JIS A 5308の検査に合格すれば所要の設計基準強度のコンクリートが得られるものと考えてよい。』と説明されており⁹⁾、結果として、1980(昭和55)年版の条文は1974(昭和49)年版から変更されずに、引き続き、「レデーミクストコンクリート」の受入れ検査はJIS A 5308によるという規定が継承された。

ここで重要なことは、指定する生コンの強度値が同じ場合に、不良率が1/4(=25%)未満であることを一般の標準を示す「品質管理および検査」の規定に従って計量抜取検査で合否判定するさいの基準値と、JIS A 5308の第2条件で定めている合否判定の基準値(呼び強度の強度値)の差が実用上無視しても差し支えないということであり、品質規定と検査方法が異なる2つの組合せの合否判定基準値がほぼ同じということである。しかしながら、次節で論じるように、計量抜取検査という検査の方法を維持したまま不良率だけを小さくすれば、その合否判定基準値は大きくなり、2つの合否判定基準値の間には乖離が生じることになる。

3-3. 限界状態設計法を導入した1986(昭和61年)の改訂

1986(昭和61)年版では、許容応力度設計法に代わって限界状態設計法が採用され、「特性値」という用語が「材料強度の特性値」として初めて定義された。そして、配合設計において「圧縮強度の試験値が、設計基準強度を下回る確率が5%以下」と規定されるとともに、品質検査の規定は、「圧縮強度の試験値が、設計基準強度を下回る確率が5%以下であることを適当な危険率で推定することができれば、コンクリートは所要の品質を有していると考えてよい。」となった¹⁰⁾。

ここで、重要なことは、品質規定における不良率を1/4(=25%)未満から5%以下に大幅に引き下げているにもかかわらず、JIS A 5308が第3回改正で行ったような検査方法の変更を行っていないことである。本来であればこの時に、JIS A 5308が第3回の改正で行ったように、検査の信頼性の高さと安全余裕度の大きさとのトレードオフを図るべく、一般の標準を示す「品質管理および検査」においても、期待値で合否を判定する検査に改めるべきであつたと言える。しかし、計量抜取検査の実施を前提とする統計的な表現による判定基準を維持したまま、不良率の数値のみを1/4(=25%)未満から5%以下に変更したことにより、計量抜取検査を放棄する機会を逸している。また、生コンは既に別条項であつたことから、一般の標準における合否判定基準値が引き上げられたことによる弊害がこの時点で広く認識されることはなかったと考えられる。

3-4. 1996(平成8)年版における判定基準の一本化

前述の通り、生コンの受入れ検査はJIS A 5308によるものとする規定は、1974(昭和49)年版で「レデーミクストコンクリート」の章が新設されて以来、約22年間にわたり踏襲されていたが、1996(平成8)年版の改訂時に、『レディーミクストコンクリートの受入れ検査は、13.5によるものとする。』と改訂されている¹¹⁾。この13.5節は、一般の標準を示す「コンクリートの品質管理および検査」であり、この改訂により約22年間にわたり続いてきた生コンの受入れ検査はJIS A 5308によるという規定を取り止めて、生コンの受入れ検査も一般の標準を示す「品質管理および検査」に再び一本化している。

この時の改訂について、改訂資料では、「生コンの受入れ検査は、従来の示方書と基本的には同じであるが、一般の標準を示す「品質管理および検査」と重複するところを省略し、解説を簡略化した」という趣旨のことしか書かれていない¹²⁾。しかし、1986(昭和61)年の改訂以前は、一般の標準を示す「品質管理および検査」の規定とJIS A 5308の規定による合否判定基準値はほ

ほぼ同じであったものの、1986(昭和61)年の改訂で、計量抜取検査の実施を前提とする統計的な表現による判定基準を維持したまま不良率の数値のみを1/4(=25%)未満から5%以下に変更したことにより、一般の標準における合否判定基準値はすでに引き上げられていたことから、この改訂時の解釈には事実誤認があったと言える。そして、約22年間にわたり続いていた生コンの受入れ検査はJIS A 5308によるという規定を取り止めて、生コンであっても受入れ検査の判定基準を一般の標準を示す「品質管理および検査」に一本化する改訂が行われた。

生コンであるにもかかわらず、購入者が行う受入れ検査を統計的な表現による判定基準に戻したこの時の改訂は、JIS A 5308の第3回改正の意図を理解せずに、安易に先祖返りさせてしまったもので、不適切であったと考えざるを得ない。ほとんどのコンクリートが生コンになった状況からして、確かに一般の標準を示す「品質管理および検査」における規定と生コンの受入れ検査の規定の一本化が必要な状況であったと考えられるが、その方向は完全に逆であり、本来はJIS A 5308と同様の決定論的な判定基準への一本化を図るべきであったと言える。この時の改訂によって、一般の標準における合否判定基準値がすでに引き上げられていたことの弊害が顕在化し、今日まで続く示方書における受入れ検査の規定と実務との乖離が恒常化したと考えられる。

なお、冒頭に述べた通り、2012年制定版および現行の2017年制定版では、解説で、『なお、国や地方公共団体が管理する土木工事共通仕様書等では、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に示される検査規定と同様の検査基準が示されている場合が多い。』と記載することで、一般に多くの工事でJIS A 5308の決定論的表現に基づく分かりやすい判定基準が採用されていることを紹介しているが、この記述は現状の深刻な不整合を表面的に取り繕うための苦肉の策として解説に追記されたものと思われる。示方書におけるコンクリートの受入れ検査の判定基準の規定は紆余曲折を経て、今日

に至るまで混乱が続いており、早急に是正されるべきと考える。

4. 計量抜取検査と設計が品質検査に求める信頼度

4-1. 計量抜取検査の本質

1978年の第3回改正において、それまで実施されていた計量規準型一回抜取検査に準じた方法を用いなくとも済むように、JIS A 5308の品質規格が決定論的な表現に改められたことはすでに述べた。しかし、計量抜取検査が品質検査の方法として望ましくない理由は、単に「合否判定に確率的な考えが入っていて、あいまいさが伴い素人にわかりにくい」⁶⁾というだけではないと考えられる。

計量抜取検査によるコンクリートの圧縮強度の合否判定基準は以下の式で表される⁴⁾。

$\bar{x} \geq \frac{1 - K_{\alpha} \frac{V}{\sqrt{n}}}{1 - K_{p0} V} \cdot f'_{ck}$
ここで、 $\bar{x}$: 試験回数n回の平均値(N/mm ²)
f'_{ck} : 圧縮強度の特性値(N/mm ²)
k_{α} : 生産者危険率から定まる係数(正規偏差)
k_{p0} : 不良率から定まる係数(正規偏差)
n : 試験回数
V : 変動係数

この不等式による合否判定基準の値は、現行の示方書が定める生産者危険率10%、不良率5%の下で変動係数を10%とすると、試験回数 n が3であれば、圧縮強度の特性値(設計基準強度)の1.1倍程度となる。ここで、仮定の話として試験回数 n を無限大にすると、不等式右辺の分子は1に漸近するので、試験値の平均値 $\bar{x}$ は、圧縮強度の特性値 f'_{ck} に $K_{p0}\sigma$ (正規偏差と標準偏差の積)を上乗せして設定される目標強度以上でなければならなくなる。すなわち、「検査」という名称が誤

解を招くが、計量抜取検査の実体は、製造において試験値が呼び強度を下回る確率が不良率以下になるように適切な目標強度が設定されて適切な製造が行われているかどうかを判定する「工程管理のための手法」であることは明白である。計量抜取検査は、品質が規格値を下回る確率が不良率以下であることを極めて高い信頼性をもって証明する手法であるが、この工程管理のために使用するべき手法を製品検査に用いることによる弊害は看過できないほどに大きいことを指摘したい。

まず、当たり前であるが、全ての工事の試験結果を用いて生コン工場の工程管理を行う必要はないことから、工程管理のための手法を個々の工事の受入れ検査で用いる必要はない。また、特に大きな弊害は、計量抜取検査の合否判定基準を厳格に適用しようとすると、呼び強度の強度値よりも大きな合否判定基準値を満足させることが目的化して、配合設計で十分な安全余裕度を設定しているにもかかわらず、更なる強度の上乗せが行われることである。本来は呼び強度の強度値の85%が下限規格値であるにもかかわらず、製造者としては、検査で不合格になった場合の影響の深刻さに備えるべく、呼び強度の強度値よりも大きな合否判定基準値をあたかも下限規格値であるかのように見なして更に過大な割増しを行って目標強度を定めた製造を行わなければならないことが強く懸念される。計量抜取検査は、「計量抜取管理」と称することにして、管理のための手法と明確に位置付けることが望ましいと考える。

4-2. 設計が品質検査に求める合否判定の信頼度

計量抜取検査による合否判定の信頼度は極めて高いが、検査における合否判定の信頼度だけを追求することは、手段が目的化して効率性などの検査の信頼性以外の要求を著しく損なう危険性を孕んでいる。JIS A 5308には設計との関わりは明示的には示されていないが、条文で規定されている品質規定の内容は設計における設計基準強度(特性値)の不良率の想定と本来は不可分の関係にある。示方書では、配合設計においてコンクリートの圧縮強度の試験値が設計基準強度(特性

値)を下回る確率が5%以下となるように目標強度を定めるとともに、設計でも試験値が特性値を下回る確率を5%と想定している。JIS A 5308の第1条件と第2条件を満たすように製造される生コンであれば、示方書が定める目標強度よりも大きな目標強度を定めて製造されるので、設計と配合設計における不良率の規定はほぼ確実に満たされると考えられる。

ここで、設計で想定している不良率をどのくらいの信頼度で保証する必要があるのかを設計側から考える。受入れ検査の判定は統計的に行うべきで計量抜取検査が必要とする主張³⁾と著者も支持するJIS A 5308が定める決定論的な判定基準で十分という主張の違いは、端的に言えば、「圧縮強度の試験値が特性値を下回る確率が5%以下であること」を高い信頼性でほぼ完全に証明しなければならないのか、あるいは、50:50の信頼性で期待値で判定すれば十分と考えるのかの違いである。そして、たとえ期待値による判定であっても、設計と配合設計において十分な安全余裕度を見込むことで、検査の信頼性の差を補完できることはすでに論じてきた通りである。

さらに、設計から見れば、圧縮強度の試験値が特性値(呼び強度)を下回る確率は“おおよそ5%以下くらい”になっていれば十分で、5%以下であることが完全に保証されていなくても構造設計の信頼性が脅かされることはない。なぜなら、そのような最後まで排除することが困難な不確実性の存在は設計に織り込み済みであり、実際の耐荷力算定では、設計基準強度(特性値=呼び強度の強度値)を材料係数の1.3で除した「設計強度(=設計基準強度の約77%)」を用いて構造計算を行っているからである。ちなみに、材料係数は、「材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動、供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性が限界状態に及ぼす影響、材料特性の経時変化等」を考慮して定められている¹³⁾。設計から見て、生コンの受入れ検査の合否は、JIS A 5308が定める決定論的な判定基準に基づいて期待値で判定すれば十分と言える。

5. まとめ

生コンの使用が一般化する以前は、製造が適切に行えているかを確認する品質管理手法として、計量抜取検査が一定の役割を果たしていたと考えられる。しかし、製造者と購入者が明確に区別され、製品検査の不合格が製造への単なるフィードバックでは済まない現在において、計量抜取検査を購入者が実施する受入れ検査に再び実装することの弊害は大きく、またその必要性もないと考える。合否判定基準の妥当性を論じる際に、強度がワンランク下の製品が誤納入されたことを検出できるかどうかが論じられることがあるが、誤納入のリスクに対しては強度の検査とは別の方法で対処することも十分に可能である。重要なことは、設計・配合設計・管理・検査の各段階において、それぞれの役割を連携させつつ、それぞれが何をどのように考慮すべきかの分担であり、役割分担のバランスが適切かどうかは、全体最適化の観点から俯瞰して判断すべきものである。受入れ検査で計量抜取検査を行うことは、検査の信頼性だけを過度に重要視した局所最適化の結果として、検査のための検査となってしまう可能性が高い。全体最適化の観点からは、設計・配合設計では確率を適切に考慮し、検査では期待値を対象とするのが合理的で

ある。検査で確率を考えることは、不合格となった場合の手戻りによる負担が大きく生産的ではない。1978年の第3回改正で規定されたJIS A 5308におけるコンクリートの圧縮強度の合否判定基準の意味と妥当性を改めて深く認識することは、今後、生産性向上の観点も踏まえて大局的な見地から受入れ検査のあり方を議論する上で極めて重要と考える。

【参考文献】

- 1) 土木学会／2017年制定 コンクリート標準示方書【施工編】，2018.3
- 2) 辻幸和／ JIS A 5308における生コンクリートの強度とスランプの組合せの経緯ならびに今後の改正の方向性，月刊コンクリートテクノ，2022年1月号，Vol.41 No.1，pp.52～58，2022.1
- 3) 辻幸和／コンクリートの設計基準強度から配合強度を設定する方法，月刊コンクリートテクノ，2022年2月号，Vol.41 No.2，pp.42～49，2022.2
- 4) 町田篤彦／コンクリートの品質管理及び品質検査と統計の関係，コンクリート技術基礎教室 コンクリートのための易しい統計のはなし／（その10），コンクリート工学，Vol. 15，No.10，pp.76～82，1977.10
- 5) 日本工業規格，JIS A 5308：1978 レディーミクストコンクリート 解説，1978
- 6) 村田二郎／コンクリート茶話館，第二十四話 生コンの検査のゆくえ，技術書院，1994.3
- 7) 土木学会／コンクリート標準示方書【昭和42年版】，1967.5
- 8) 土木学会／昭和49年度版 コンクリート標準示方書，1974.9
- 9) 土木学会／無筋および鉄筋コンクリート標準示方書（昭和55年版）改訂資料，コンクリート・ライブラリー第46号，1980.4
- 10) 土木学会／昭和61年制定 コンクリート標準示方書 施工編，1986.10
- 11) 土木学会／[平成8年制定]コンクリート標準示方書 施工編，1996.3
- 12) 土木学会／平成8年制定 コンクリート標準示方書改訂資料，コンクリートライブラリー第85号，1996.2
- 13) 土木学会／2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2018.3

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2021”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

お知らせ

第37回(2023年度)セメント協会研究奨励金テーマ募集のご案内

一般社団法人 セメント協会

一般社団法人セメント協会では、セメント化学・コンクリート化学分野の研究振興と研究者育成のために、大学・工業高等専門学校研究者に対して研究助成を行っています。

本年度も下記の要領で研究奨励金のテーマ募集を行います。ご応募をお待ちしております。

1. 対象 セメント化学，コンクリート化学分野における研究（セメント系新材料，セメント系固化材，環境・リサイクルの関連研究を含む）
2. 応募資格 日本の大学または工業高等専門学校に所属する研究者（大学院生を含む）
※ただし，前年度（2022年度）にセメント協会研究奨励金の交付を受けた方は応募できません。
3. 応募条件 研究成果については，セメント技術大会，セメント・コンクリート論文集において公表すること
4. 助成金額 採用された研究1件につき原則として100万円
5. 応募方法 セメント協会ホームページから研究奨励金申請書の様式（Word）をダウンロードし，研究奨励金申請書を作成して下さい。応募入力フォームより必要事項を記入し，研究奨励金申請書を添付して下さい。応募入力完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報が送信されますので内容をご確認下さい。

セメント協会ホームページ

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

[トップページ]>[イベント・募集]>[募集/研究奨励金]

※ 一人で複数の応募はできません。

※ 必要事項を記入する際は日本語を用い，申請書の記入欄内に収めて下さい。

※ 審査条件を統一するため，研究奨励金申請書以外の添付資料は付けないで下さい。

6. 募集期間 2022年9月1日(木)～11月18日(金)必着

※ 期日を過ぎて到着したものは受け付けません。

7. 審査方法 研究奨励金審査委員会により審査

8. 結果通知 2023年3月下旬 ※ 申請者へ結果を通知

9. 支給 2023年4月以降 ※ 全額一括支給

10. 留意事項 ※ 当初の研究期間の終了後，遅滞なく全体の成果報告書を提出して頂きます。

※ 研究期間が1年を超えるときは，前年度成果の研究概要報告書(中間報告)を提出して頂きます。

※ 研究成果の公表に際して，当研究奨励金を受けて研究したことを付記願います。

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

〒114-0003 東京都北区豊島4丁目17番33号

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

国道18号妙高大橋架替における 連続鉄筋コンクリート舗装の施工

About construction of continuous reinforced concrete pavement in National highway No. 18
Myoko Ohashi replacement project

大平 英生

1. はじめに

国道18号は、新潟県上越地方と関東中京圏を結ぶ幹線道路である(図1)。妙高市に位置する旧妙高大橋は、太田切川に架かる橋長300mのPC4径間連続箱桁橋であり、1972年に当時の最新技術であるプレキャストセグメントカンチレバー工法によって架設され、50年間にわたり主要幹線道路として供用していた。橋梁定期点検により、橋桁下面のひび割れや錆が確認されたため、2009年に橋梁補修工事を実施したところ、箱桁内面のPCケーブルの一部に腐食、破断が発見された。原因は主に橋梁上面から侵入した雨水等が桁内にたまり腐食を進行させたためと考えられた、2012年より恒久対策として架替事業に着手し、令和3年8月3日に新橋を含むバイパス区間1.1kmに交通を切り替えた。

本稿は、新橋を架け替えするに当たり、国道18号のバイパス区間において、試験的に施工した連続鉄筋コンクリート舗装を報告するものである(図2、写真1)。

2. コンクリート舗装の適用

コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べ、耐久



図1 位置図

性が高くライフサイクルコストが安くなる等、多くの長所があるものの、初期費用が高く、目地による騒音や走行性が劣り、占用物等の掘り返しが困難で、養生期間が必要であることから、アスファルト舗装が大半を占めている。

本試験施工箇所である国道18号妙高大橋周辺は、山岳地帯に位置しており、豪雪地帯であることからアスファルト舗装より摩耗に対し耐久性が期待できるコンクリート舗装の採用を検討した。

コンクリート舗装の採用に当っては、騒音対策の必要がないこと、将来的に占用物等の掘り返しの可能性がないこと、残留沈下等による地盤変形の懸念がないことを主眼に検討した。

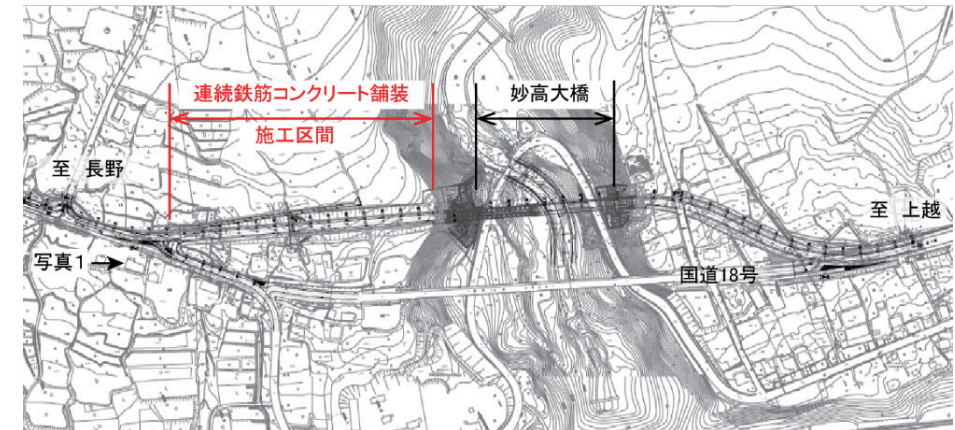


図2 平面図



写真1 連続鉄筋コンクリート舗装施工箇所

2-1. 騒音対策

コンクリート舗装はアスファルト舗装と比べると走行騒音値が高いため、家屋連単部に近接する区間等、騒音対策が必要となる場合は適用を避ける必要があるが、本区間では、近傍に家屋連単部や学校、病院等の公共施設等がない。

2-2. 占用物等の掘り返し

コンクリート舗装はアスファルト舗装と比べると掘り返しおよび舗装復旧が困難であるため、将来掘り返しの可能性のある地下占用物件がある路線等では適用を避ける必要があるが、本区間では、占用物はアスファルト舗装となる歩道への埋設となることから、掘り返しの可能性が少ない。

2-3. 残留沈下等による地盤変形

コンクリート舗装は不等沈下に追従できないため、軟弱地盤や急速施工を行った盛土箇所等のような残留沈下が懸念される区間は適用を避ける必要があるが、本区間は、舗装下面には密な砂礫が分布しており沈下の懸念は少ない。

また、施工に当っては養生期間が必要となるが、本区間は新規バイパス道路であるため、養生期間の制限はないことから、適用は可能と判断した。

コンクリート舗装における適用の検討結果より、本区間はコンクリート舗装とし、振動や騒音を軽減可能で、全国的に活用事例の多い連続鉄筋コンクリート舗装を試験的に施工することとした。



おおだいら ひでお / OODAIRA Hideo
国土交通省北陸地方整備局 高田河川国道事務所
工務第二課 課長

表1 施工概要	
工 事 名	妙高大橋架替舗装工事
工 期	令和元年 9 月 10 日～令和 2 年 7 月 31 日
施工延長	256m
交通量区分	N 5
設計 CBR	8%
舗装構成	コンクリート版：25cm 上層路盤：粒度調整砕石（M-40） t=20cm
幅員構成	2.0+3.5+3.5+2.0+2.5（内 Co 舗装 8.08）

表2 コンクリート配合				
呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	骨材最大 寸法 (mm)	W/C (%)	セメント 種類
曲げ 4.5	4.0	40	45 以下	BB

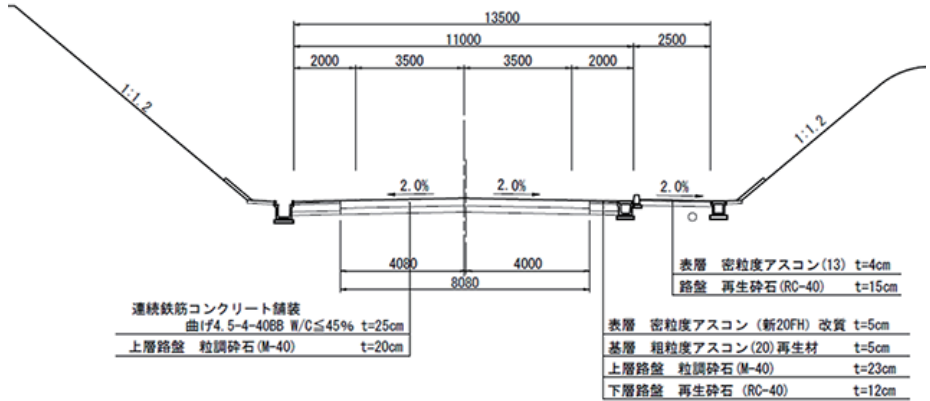


図3 標準横断面図

3. 連続鉄筋コンクリート舗装について

連続鉄筋コンクリート舗装とは、コンクリート版の横目地を省いたものであり、コンクリート版の横ひび割れを縦方向鉄筋で分散させるコンクリート舗装である。通常のコンクリート舗装は、等間隔で横目地が設けられていることから、走行時に振動、騒音等が発生するが、連続鉄筋コンクリート舗装は、横目地がないため、走行性が向上するとともに、振動や騒音を軽減することができる。また、構造的弱点である横目地がないことから、耐久性に優れる。

ただし、施工延長が100m以下の場合は、横ひび割れを計画的な間隔で発生させることが難しいことから連続鉄筋コンクリート舗装は適していないが、本施工区間は現国道18号からA1橋台までの約256mの区間で

あるため、問題なく施工可能であった。

4. 施工

本節では、令和2年度に試験的に施工した連続鉄筋コンクリート舗装の施工状況を述べる。本施工個所の概要は表1、図3のとおりである。施工に当っては、路盤整正および転圧、舗設におけるマシンコントロール技術、事前測量および出来形管理におけるレーザスキャナを用いたICT施工を行い、生産性の向上を図った。また、連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリート打設は、スリップフォーム工法にて施工を行った。

スリップフォーム工法とは、締固め装置と成形装置を備えた自走式施工機械を用い、コンクリートを所定の形状に締固め、成形しながら、型枠を設置しないでコンク



写真2 路盤整正・転圧（マシンコントロール）

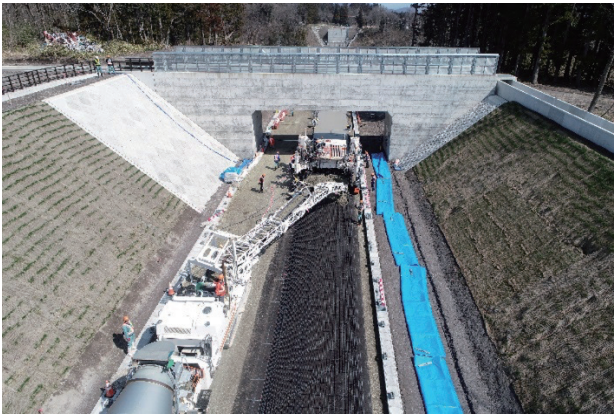


写真4 打設状況（長野県側より望む）



写真3 鉄筋組立



写真5 打設状況（新潟県側より望む）

リート構造物を連続的に打設する工法である。

4-1. コンクリート配合

スリップフォーム工法で使用するコンクリートは、施工性および仕上がりやすさ、エッジスランプが生じにくいコンクリート配合とする必要がある。

通常のコンクリート舗装のスランプは2.5cmとされているが、スリップフォーム工法では、スランプは3～5cmが配合目標値として示されており、本施工では中間の4.0cmを採用している。

本工事のコンクリート配合を表2に示す。

4-2. 路盤整正・転圧

路盤整正はモータグレーダーによりマシンコントロール技術を用いて路床の不陸整正を行った（写真2）。

連続鉄筋コンクリート舗装は1車線施工であるため、右車線のコンクリート打設時にアジテータ車等の走行で左車線の路盤が乱れることから、上層路盤の整正・



写真6 打設状況（マシンコントロール）

転圧を再度行って対応した。

4-3. 連続鉄筋組立

連続鉄筋コンクリート舗装の縦方向鉄筋の鉄筋比は通常0.6～0.7%の範囲が標準であるが、本地域のような積雪寒冷地など温度変化の大きい寒冷地では、鉄筋に生じる引張応力が高くなることから、0.7%を最小値とすることが望ましい。そのため、一般部では主筋間



写真7 粗面仕上げ



写真8 養生マット設置



写真9 縦目地材注入

隔を通常125mmのところ、110mmとし、鉄筋比を0.722%とした(写真3)。

施工に当り、コンクリート打設前の防錆対策と打設後の塩害による腐食防止のために、鉄筋組立前に防錆処理を行った。また、鉄筋組立後の降雨等の対策として、全面にシートを設置し、打設前の養生を行った。

なお、打設前の鉄網や目地材の仮配置など不要であり、養生マットのみ配置すれば良いため、準備作業は容易であった。

4-4. コンクリート敷均し・締固め・表面仕上げ

アジテータ車にて運搬した生コンクリートを縦取機で受け、荷卸しを行った。敷均し、成形、表面仕上げ等は、スリップフォームペーパーによるマシンコントロール技術を用いて施工を行った(写真4～6)。

表面仕上げは、ホウキ目による粗面仕上げを行い、養生マットによる養生を行った(写真7, 8)。

4-5. 縦目地材注入

養生後、所定の位置にドライカッターにより目地を切断し、清掃後、注入目地材を注入した(写真9)。

連続鉄筋コンクリート舗装は10mごとの横目地がないことから、通常、打設後17時間～22時間程度で実施する目地切断が不要となるため、夜間・早朝等の作業が無くなった。また、縦そり突き合わせ目地と膨張目地の目地切断、目地注入のみとなるため、工程短縮と労働時間を短縮することができた。

5. まとめ

連続鉄筋コンクリート舗装は横目地がなくなるため、走行性が向上するとともに、振動や騒音を軽減することが期待でき、出来形においても平坦性が出来形管理基準では $\sigma=2.4\text{mm}$ 以下のところを、下り線 $\sigma=0.92\text{mm}$ 、上り線 $\sigma=0.81\text{mm}$ と良好な平坦性を確保することができた。

また、材料ロスの低減や横目地切断の省略における労働時間の短縮、ワークライフバランスの向上等を図ることができた。

施工半年後にひび割れ調査を行った結果、横ひび割れの間隔は最短で1,000mm程度、ひび割れ幅は0.3mm以下と有害なひび割れは発生していない。

コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて採用される割合が圧倒的に少ない。しかし、舗装の寿命が長いことからライフサイクルコストが安いうえ、コンクリートは日本国内で材料調達が安定的に可能であり、路面温度



写真10 開通後の連続鉄筋コンクリート

を低減でき環境に優しいなどコンクリート舗装が見直されている(写真10)。

今回、妙高大橋架替事業で施工した、連続鉄筋コ

ンクリート舗装についてとりまとめたが、本報告が今後のコンクリート舗装活用の参考になれば幸いである。



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?／みんなの安全なく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

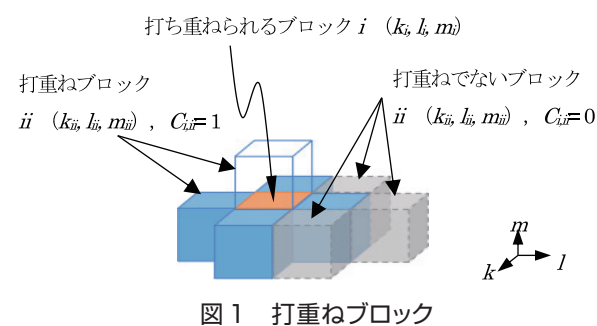
コンクリートの最適打込み計画支援システム 「T-Con.PAS®」の開発

Development of T-Con.PAS® Support System for Optimal Concrete Placement Planning

武田 均 渡部 孝彦

1. はじめに

コンクリートを連続して打ち込む場合には、先に打ち込んだコンクリートに新しいコンクリートを打重ねるまでの「打重ね時間間隔」の管理が重要である。例えば、比較的大規模で層状にコンクリートを打込む必要がある工事では、先に打ち込んだコンクリートと後から打ち込むコンクリートとを一体化するためには所定の時間内に打ち重ねていく必要がある。打重ね時間間隔が過度に長いと打重ね境界面にコールドジョイントが発生し、構造物の品質低下につながることになる。従来から、現場技術者は打重ね時間間隔に配慮して打込み順序を計画しているが、多くの場合、個人の経験に基づいてトライアンドエラー的に計画が策定されており、必ずしも最適な打込み計画が策定されていたわけではなかった。そこで、コールドジョイント発生リスクを低減し、施工品質の向上を図るため、打重ね時間間隔が短くなるような打込み順序を自動作成するコンクリートの最適打込み計画支援シミュレーション手法を開発した¹⁾。



2. 最適打込み計画支援システムの概要

本手法は逐次計算により打重ね時間間隔が短くなるような打込み順序を決定するものである。ここで、先に打ち込まれたブロック(打ち重ねられるブロック)と打重ねブロックの関係は図1に示したとおりである。計算条件として打込み区画のブロック割りや施工方法に関する情報を設定し、設定された条件下で打込み開始ブロックから最終の打込みブロックまで順次打込み順序を決定していく。各ブロックの打込み開始時刻と打込み完了時刻は、決定された打込み順序に応じて式(1)および式(2)で表される。各ブロックの打重ねが完了するまでの打重ね時間間隔は式(3)となる。ここで、各ブロックの打込み開始時刻や打込み完了時刻は打込み順序に依存するため、図2に示すように、縦にブロック番号、横に打込み順序をとった階層型ネットワークで整理した。図2に示した各ユニットの出力($x_{i,j}$)は、ブロック*i*がその順序*j*で打ち込まれるときに1、それ以外の時に0を出力する。ユニット間の重み($x_{i,j-1}$)は、ブロック*i*の打込みに要する時間

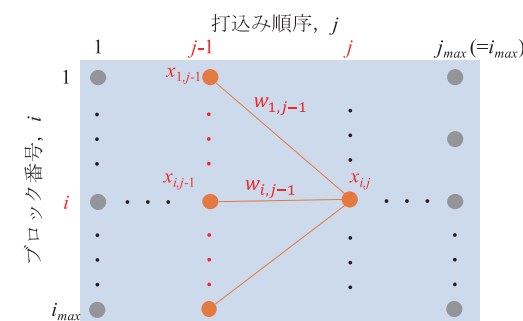


図2 ブロック打込み開始・完了時刻の計算

60	70	70	80	70	70	60
60		90		90		60
60	80	100	110	100	80	60
60		90		90		60
60	70	70	80	70	70	60

(平面) (分)

図4 打込み開始位置と最大打重ね時間間隔(計算)

である。最終的に計画打込み区画全体の中で最大の打重ね時間間隔を評価する。

$$E_{1,i} = \sum_{j=2}^{j_{\max}} \left[x_{i,j} \left(\sum_{j_1=1}^{j-1} \sum_{i_1=1}^{i_{\max}} (w_{i_1,j_1} \cdot x_{i_1,j_1}) \right) \right] \cdots \cdots (1)$$

$$E_{2,i} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} \left[x_{i,j} \left(\sum_{j_1=1}^j \sum_{i_1=1}^{i_{\max}} (w_{i_1,j_1} \cdot x_{i_1,j_1}) \right) \right] \cdots \cdots (2)$$

$$E_i = \max [C_{i,ii} \cdot (E_{2,ii} - E_{2,i})] \cdots \cdots (3)$$

ここに、 i, j : ブロック番号と打込み順序、 i_1, j_1 : j 番目以前に打ち込まれたブロックのブロック番号と打込み順序、 $x_{i,j}$: ユニットの出力(ブロック*i*が*j*番目に打ち込まれるとき1、その他0)、 $w_{i,j}$: ユニット間の重み(ブロック*i*の打込みに要する時間)、 $C_{i,ii}$: ブロック*ii*がブロック*i*に対して打重ねブロックであるかどうかを表す係数でブロック配置から計算する(ブロック*ii*が打重ねブロックの場合1、その他の場合0、図3)、 $E_{1,i}$: ブロック*i*の打込み開始時刻、 $E_{2,i}$: ブロック*i*の打込み完了時刻、 E_i : ブロック*i*の打重ね時間間隔である。

3. 打込み計画支援システムによる検討例

3-1. 打込み順序の計算例

打込み順序が違くと、どの程度打重ね時間間隔が変化するかを、簡単な施工区画に本システムを適用した例により示す。施工区画および打込みブロック配置は図3

23	24	25	26	27	28	29
19		20		21		22
12	13	14	15	16	17	18
8		9		10		11
1	2	3	4	5	6	7

打込み順序 打重ね時間間隔 (最大 80 分)

a) 1 列ごとに順番に打ち込んだ場合

12	17	20	24	26	28	29
9		16		23		27
5	8	11	15	19	22	25
3		7		14		21
1	2	4	6	10	13	18

打込み順序 打重ね時間間隔 (最大 60 分)

b) 計算による打込み順序

図3 打込み順序の計算例

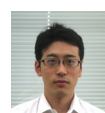
に示す単純なモデルとする。このモデルは壁または平面とみなすことができる。各ブロックの打込みに要する時間は10分、打込み開始ブロックは左下角の一個所として、打込み順序および打重ね時間間隔を計算した。図3aは1列ごとに順番に打ち進めていく例を示したもので、この場合の最大打重ね時間間隔は80分となった。図3bは本システムによる計算結果であり、打込み順序はブロックを斜めに打ち込んでいく、いわゆる「たわら打ち」状の結果となり、最大打重ね時間間隔は60分となった。このように、本システムによる打込み順序は打重ね時間間隔が最短になるように選ばれる。

3-2. 打込み開始位置と最大打重ね時間間隔の関係

打込み開始位置の選定により、最大打重ね時間間隔がどの程度変化するかを図3に示したモデルを用いて検証した。各ブロックの打込みに要する時間は3-1.と同様に10分とした。打込み口は1個所とし、全てのブロックを打込み開始位置に設定して打込み順序を計算した。打込み開始ブロックを変化させた場合の最大打重ね時間間隔を図4に示す。図は打込み開始ブロック位置にその時の最大打重ね時間間隔を示したものである。図4に示したように、左辺および右辺のブロックから打込みを始めた場合には最大打重ね時間間隔は60分、上辺および下辺から打込みを開始した場合は60分、70分または80分、中央から打込みを開始した場合には110分となった。一般に中央から打込み



たけだ ひとし / TAKEDA Hitoshi
大成建設(株) 社会基盤技術研究部
主席研究員 博士(工学)



わたなべ たかひこ / WATANABE Takahiko
同上
主任 修士

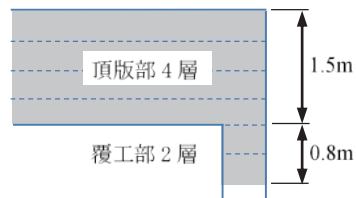


図5 高さ方向のロット割付け



写真1 施工状況²⁾

表1 打重ね時間間隔の検討結果

検討ケース (最大打重ね時間間隔)	打重ね時間間隔コンター [0分 140分] (打重ねが完了していないブロックは打込み開始からの経過時間)		
Case0 現場案 一層ごとに打込み 筒先2系統 (120.5分)			
Case1-1 計算 側圧制限なし 筒先2系統 (82.0分)			
Case 1-2 計算 側圧制限考慮 筒先2系統 (100.5分)			

を開始することはないと思われるが、打込み開始位置によって打重ね時間間隔が大きく変動することがわかった。したがって、打込み開始位置は打重ね時間間隔に留意して決定する必要がある。従来、打込み開始位置が打重ね時間間隔に影響するということはあまり意識されずに経験的に端部から打込みを開始する計画とすることが多かったと思われるが、それはコンクリートの品質を確保する上では効果的であったと考えられる。

4. 実工事における検討例

4-1. 工事概要および検討概要²⁾

対象工事はリング状の覆工部(高さ0.8m)と頂版部(厚さ1.5m)からなる円形の立坑の一部(直径24m×高さ2.3m)で、コンクリートの打込み量は700m³、高さ方

向のロット割りは6層(リング状の覆工部2層、頂版部4層、図5)、打込みブロック総数は424ブロックという工事規模である。場内運搬にはコンクリートポンプ車2台を使用した。1つのブロックの打込みに要する時間は2.5～3.0分である。施工状況を写真1に示す。

表1に検討結果を示す。表には、打込みブロックの配置と打込みの進行状況を示した。打込みの進行状況のコンターは各ブロックの打重ね時間間隔を示しているが、途中経過のコンターで打重ねが完了していないブロックは打込み開始からの経過時間を示している。ここで、検討ケースは以下のとおりである。

Case0：現場案、一層ごとに打込みを完了

Case1-1：計算、型枠の側圧制限未考慮

Case1-2：計算、型枠の側圧制限を考慮し、1層目の打込みを先行して完了

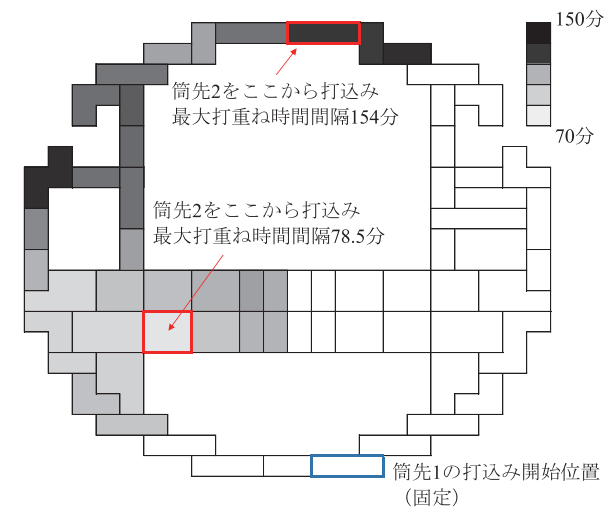


図6 打重ね時間間隔と打込み開始位置の関係

理値に対して余裕のある打込み計画の策定が可能と考えられた。

4-2. 現場案と計算結果の比較

Case0の現場案はいわゆる「まわし打ち」で1層ごとに打込みを完了していくもので、最大打重ね時間間隔は120.5分であった。現場案では覆工部の型枠に過度の側圧が作用することを防止する目的で1層ごとに仕上げていく計画が採用されている。一方、Case1-1は、側圧制限を考慮せず打ち込むものとして計算した結果である。この条件では、たわら打ち状に打ち込む計画となり、最大打重ね時間間隔は82.0分であった。次に、側圧制限を考慮したCase1-2では、現場案とCase1-1を複合したような打込み順序となり、最大打重ね時間間隔は100.5分であった。Case1-2では側圧制限のため1層目を先行して打ち込んだ影響により2層目も1層目と同様のまわし打ち状の計画となり、頂版部となる3層目以降はたわら打ちのように打ち込む計画となった。これは、各層をそれぞれ仕上げていく場合に、上層でも下層の平面的な打込み順序をトレースした方が上下層の打重ね時間間隔が短くなるためと考えられる。3層目以降では頂版部となることもあり、必ずしも1層目の影響のみでは有利な打込み順序が決まらないため、たわら打ち状の結果になったと考えられる。Case1-1、Case1-2ではそれぞれ現場案に比べ、打重ね時間間隔が38.5分および20.0分短縮される結果となり、本システムの適用により、打重ね時間間隔の管

4-3. 打込み口の配置の検討

次に、対象工事のモデルを用いて打込み開始位置と打重ね時間間隔の関係を検証した。打込み開始位置は必ず1層目にあるため、各筒先で1層目のどのブロックから打込みを開始するのが打重ね時間間隔の短縮に対して有利かを検討した。2つの筒先の打込み開始位置の組合せの代表的な結果を図6に示す。図6は最も打重ね時間間隔が短くなった打込み開始位置の組合せにおける筒先1の打込み開始位置を固定し、筒先2が分担する打込みブロック位置にそのブロックから打込みを開始したときの打重ね時間間隔をコンターで示した。筒先2の打込み開始位置によって最大打重ね時間間隔は最小78.5分、最大154.0分と変化し、打込み開始位置によってかなり大きな差が生じる結果となった。

5. 今後の展望

本稿では、コンクリートの打込み計画に着目して開発した「最適打込み計画支援システム」の概要を報告し、本システムにより品質確保の観点から打重ね時間間隔が短い最適または準最適な打込み順序を客観的に検討・評価できることを示した。検討の結果、技術者の

技能によらず、客観的に打込み計画を策定することが可能であり、従来はあまり意識されていなかった最適な打込み開始位置などの検討も容易に行えることがわかった。将来的には、本手法をコンクリート工の自律化・自動化に適用し、コンクリート構造物の品質確保と現場作業の効率化に貢献していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 渡部孝彦、武田均／打重ね時間間隔に着目したコンクリートの最適打込み計画シミュレーション手法の開発、コンクリート工学、Vol.59, No.4, pp.315～320, 2021.4
- 2) 竹中宏徳、吉田真人、水野智亮、矢部和史／生コン情報の活用等により生産性向上と品質管理の高度化を図ったコンクリート躯体工事-天ヶ瀬ダム再開発トンネル流入部建設工事-, コンクリート工学, Vol.58, No.6, pp.451～457, 2020.6.

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着材が果たした役割や有用性を、①豪雨・渇水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。



一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

セメント規格がわかる本

2015年3月20日にJIS R 5201およびJIS R 5203が改正されたことに伴い、これら試験方法規格に関する「セメント規格がわかる本」を改訂しました。今回の規格改正において変更や追加された点について詳しく解説するとともに、試験を行う上で不可欠な知識やノウハウを理解しやすいような内容となっています。

JIS R 5203：2015「セメントの水和熱測定方法（溶解熱方法）」編 A4版・60ページ・3740円（税込）・送料実費	JIS R 5201：2015「セメントの物理試験方法」編 A4版・135ページ・5500円（税込）・送料実費
---	--



お求め・お問い合わせは… 一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階 TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181



PLCのCO₂削減効果は、世界を救う

Ed Griffith

International Cement Review

[12]61～63(2021)

全世界で、セメント産業がカーボンニュートラルによる持続可能な未来を実現するために革新的な方法を模索することは極めて重要とされている。ブラジルのポトランティム・シメントス社は、北米において二酸化炭素削減のためにPortland Limestone cement（以下、PLC）の製造・販売促進をしている。本稿は、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）と同様の特性を有し、かつ環境負荷の小さいPLCに関する記事である。

ここではPLCの特徴を以下のように説明している。PLCはOPCのように橋や舗装などの構造物への用途に適用可能であり、OPC同様の性能を発揮する。これらの2種類のセメントはいずれも同じクリンカーを用いて製造させるが、その違いはセメント中の石灰石微粉末の含有量にある。アメリカのセメントの規格では、クリンカーに対する石灰石微粉末の含有量を、OPCでは5%までとする一方、PLCは5～15%までと規定されている。クリンカー使用量が低減されるため、PLCではOPCよりも約10%の二酸化炭素排出量を削減可能となる。PLCは石灰石微粉末の粒子充填と、OPCの場合よりも細かく粉砕することによる反応性向上によりOPCと同程度の強度を確保している。PLCの粉砕時間はOPCよりも少し長くなるが、最終的な環境負荷はOPCよりも低くなる。

同社は、PLCの利用は建設から解体までを考慮した

低炭素ライフサイクルで重要な役割を果たし、セメント産業の持続可能性に大きな影響を与える可能性がある」と述べている。

セラミックフィルターについて

Graziano Bertulessi, ほか

World cement

[12]52～56(2021)

近年、様々な産業で従来のバグフィルターや電気式集塵装置、選択触媒還元脱硝装置(SCR)の代替として、セラミックフィルターが導入されている。

セラミックフィルターはバグフィルターのように管状構造をしているが、高い剛性と耐熱性を有する特徴がある。またフィルターの隔壁内部に触媒を担持させることができ、アンモニアや尿素を注入することでSCRのようなNO_x制御も可能である。更に近年、6m長のフィルターエレメントの開発によってセメントキルンなど大流量の排ガスにも適用されるようになった。

セメント工場において、クリンカークーラー排ガスやキルンから煙突への主排ガスには一般的にバグフィルターが用いられている。特に前者の排ガスは高温であり、ろ布保護のための冷却が必要となるが、高耐熱のセラミックフィルターを使用すれば冷却器を省略することができる。また、後者のキルン排ガスには原料に由来するアルデヒド類や芳香族化合物などの有害な有機化合物が含まれる場合があるが、触媒型セラミックフィルターを適用することでダストに加えて、これら有機化合物も同時に除去可能である。

セラミックフィルターは既存設備を可能な限り保持した状態で導入することができ、これまで課題となっていたフィルター寿命の延伸や消耗品の削減等ランニングコストを低減する技術開発も進められている。セメント産業でもその有用性を検討すべき時期に来ている。

(39ページに続く)

風流閑話

1. ハロルド・ライトの嘆き

筆者は妙なご縁で、生前の星野哲郎氏の昵懇に与った。彼は言葉づかいの名人でかつ言葉探しの達人でもあった。「夜がジロジロ見てるから」,「夜がゲラゲラ笑うから」などというフレーズを特に愛用した、粋でユーモラスな御仁であった。

さて、雨の強さを表現する方法としていつぞや次表の如きユニークな提案がなされたことが話題となった。

雨雨	雨雨	雨雨	ばらばらと			
雨	雨	雨	雨	雨	雨	しとしとと
雨雨雨雨	雨雨雨雨	ざあざあと				

「文字の配置で視覚的なインパクトが生まれ、効果的である」と広く好評であった。

ところで、その昔、詩人ハロルド・ライトが米国の詩の雑誌に載せるため、田中冬二の詩「雪の日」の翻訳に取り掛かり、その冒頭の句「雪がしんしんと降っている」を、

The snow falls steadily

としてみたものの、日本人の心に宿る「しんしん」の実質はそんな皮相短絡的なものでは決してなく、その深層奥義に迫る適訳を見付けるべく、書物を調べたり、周りの人々に教えを乞うたりして、限りを尽くして模索し試行したが、満足できるものは遂に得られなかったと述懐していた。更に、「雨がしとしとと降る」を*Rain is falling lightly*と訳したものの、これまた心許ない限りで、日本語の奥の深さにたじろぐばかりだったとも語っていたという。

鹿児島県長崎鼻の突端にある石碑に刻まれている篠原鳳作の

しんしんと 肺碧きまで 海の旅

は筆者が学生時代、偶々旅先で目についたものだが、「当にこの所を得、この作者によってこそ生まれ」乾坤一擲の名句のように感じられ、以来、筆者の心底に強烈に焼き付いている。

さて、川端康成がノーベル文学賞を受賞したのは1968年で、サイデンステッカーという名翻訳者の補弼も得ての快挙で、もし同様な翻訳者が居たなら、島崎藤村の「夜明け前」が先に受賞したであろうとの論調が多いのは周知の通りである。

サイデンステッカーは道元禅師の歌

春は花 夏ほととぎす 秋は月

冬雪さえて 冷(すず)しかりけり

を、 *In the spring, cherry blossoms,*

in the summer the cuckoo.

in autumn the moon,

and in winter the snow, clear, cold.

と英訳しているのだが、この訳から、日本の四季とそれを愛する日本人の心情が果たして如何程読者に汲み取られるのであろうかの疑念は避け難く、また表音文字の伝える伝達力が、表意文字のそれに到底及ばないことも強く認識させられる。

2. 表意文字の威力

アルファベットの表音文字に比べ、表意文字である漢字の魅力は抜群で、日本人がその漢字を輸入して、ひらがな・カタカナを作り、17文字・31文字で天上天下・人間万事を搦め捕る機略縦横の短詩型文学：俳句・短歌などを開拓したことは文学史上の当に快哉の大革命事で、恰も大豆や塩から味噌醤油を作り、類稀なる豊潤芳香な滋味を牽き出した如き大殊勲で、芭蕉・曾良・子規らが日本文学の近代化に果たした功績は計り知れず、彼らこそ文化大革命士として顕彰されるべきではないだろうかとさえ思う。

それにしても、表意文字を発明した漢民族の思考と精神界の旺盛な活動には改めて目を瞠るばかりである。

しかも、桜は散る、梅はこぼれる、椿は落ちる、そして牡丹はくずれるなどと、花の散り方の表現を樹木の種類別に変えている国が他にあるだろうか、ふと考え込んでしまう。日本文学の、奥深く・機略縦横・余韻嫋嫋の世界を確と誇りたい。そして、このような国に生まれ、*Noblesse oblige*に与れる誇りを改めて噛み締めたい。

3. 感動こそ源泉

歌であれ、絵であれ、そして発明発見の類であれ、それが生まれる源泉は人間の感動である。「もののあわれ」に感動するのが芸術なら、科学だって、その根源は「自然の理(ことわり)」に感動することに他ならない。「感動こそ当に人間が生きる起爆源」と言えるのではないだろうか。そして、人間に与えられる最高の勲章は感激であり、それは自らが流した汗と涙の量に比例するのだと、筆者には思えてならないのである。そして、お金を稼いだ額よりも感動を重ねた実績の方を尊しとする考えは一般には貧者の負け惜しみと看過され勝ちだが、人間が心豊かに生きる上での寧ろ金科玉条ではないかと筆者には思えてならない。

Living on earth may be expensive, but

it includes an annual free trip around

the sun.

これは筆者が昔、滞米中に見付けた、確かサンノゼのパブのコースターに記されていたものである。「その趣旨通り、人間が生きるには確かに金が掛かりすぎる」と思いつつも、「月の周りを自転しながら、太陽の周りの半径1億5千万キロの円軌道を1年間公転する旅費だと思えば、安いもんだぜ」の考え方は当に肝要で、これくらいのスケールで物事を達観できれば、人間の生き方が実に軽快となり、柳緑花紅の三千世界をも存分に動き回れよう。そして、そのスタンスを以てすれば、唯我独尊・我田引水型の手強い相手に対しても、また、意気軒昂・乾坤一擲の大勝負にも泰然と対処できるはずと確信する。

4. ユーモアの効用

さて、戦時下の小学生時代、霧島下ろしが吹きすさび霜柱立つ校庭で、跣・直立不動の姿勢で聴く校長先生の朝礼の訓辞は、戦意高揚を図るものが多かった中、異色で、今も心底に深く残っているエピソードをここに披露する。

「人間にとって最も大切なことは真面目に仕事をすることで、怠け者が一番いけない。ドロボー君だって意欲的に仕事をしてるのだから、実は偉いのだ」と言われたのであった。

そのような格調高い哲学が小学生如きに届くはずはなく、今日改めて反芻して、校長先生の偉大さにひざまずく次第である。

絞首刑と言い渡された罪人に王様が言った。「最後の頼みをきいてやろう。何なりと申せ」罪人は願い出た。「自分がぶら下がるのに相応しい枝振りのものをせめて選ばせて下さい」

許可された罪人、「この樹は駄目」「その枝振りも気に入らぬ」などと言い続けて、結局、生き延びたというのだから滑稽である。

「オトウチャン、ピアノ買って」

「よしよし買ってやる。買ってやる。家を売ってでも買ってやる」

「家を売ってしまったらワタシたちの寝るところがなくなってしまうじゃない」

「そうか、それじゃ困るなあ、やっぱり買えぬなあ」こんな遣り取りで、小さい子供の頃の自分を嬉しがらせて、体よくペテンにかけた、今は亡き父親のユーモアが懐かしいと、友人の奥さんがしんみりと語っていた。

「ユーモアは人間に与えられた最高の知性である」と筆者は確信する。

子はいつも 父の背を見る 鰯雲

糠に釘 それでも母は 打ち続け

【わたなべ あきら／九州工業大学名誉教授 工博】

シリカフュームプレミックスセメント(SFPC®)を用いた超高強度コンクリートの酷暑環境下における諸特性

Properties of Ultra High- Strength Concrete Using Silica-fume Premix Cement (SFPC®) in Intense Hot Weather.

曽根 涼太 三谷 裕二 石田 征男 玉森 俊裕 藤田 仁 大野 拓也

1. はじめに

近年の地球温暖化による気温の上昇に伴ない、最高気温が35℃を超える猛暑日が増加し、荷卸し時や打込み時のコンクリート温度が35℃を超える事例が報告されている¹⁾。このような事例を踏まえて、日本建築学会が2018年に発刊した「建築工事標準仕様書JASS 5鉄筋コンクリート」²⁾ (以下、JASS 5と称す)では、事前協議や対策を行うことを前提に荷卸し時のコンクリート温度を38℃まで緩和できることが定められた。また、2019年に日本建築学会が発刊した「暑中コンクリートの施工指針・同解説」³⁾では、暑中期のうち日平均気温の日別平均値が28℃を超える場合にコンクリートの荷卸し時の温度が35℃を超える可能性が高くなることから、この期間を酷暑期として新設するなど、従来の暑中コンクリートに比べて入念な検討が必要不可欠な状況になっている。

特に、高強度コンクリートの場合では、普通コンクリー

トと比較して練混ぜ時間が長く、練混ぜ時の温度上昇が大きくなるため、酷暑期における荷卸し時のコンクリート温度が38℃を超える可能性が高まる。さらに、酷暑下でのポンプ圧送までを考慮すると、打込み時のコンクリート温度が40℃を超えることも想定される。一方、コンクリート温度が高くなると、スランプフローの低下、コールドジョイントの発生リスクの増大、内部組織の変化やこれに伴う長期強度発現性の停滞、耐久性の低下などコンクリートの物性や性能に大きな影響を及ぼす可能性が考えられる^{4,5)}。しかしながら、既往の研究の多くはコンクリートの練上がり温度が40℃を上限としており⁶⁾、40℃を超える場合について検討した例はほとんどないのが実状である。

本稿では、コンクリートの練上がり直後の温度が40℃を超える条件下において、シリカフュームプレミックスセメント(以下、SFPC®と称す)を用いた超高強度コンクリートのフレッシュ性状、打重ね許容時間、強度特性および細孔径分布を検討した。



そね りょうた / SONE Ryota
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
コンクリートソリューションチーム



みたに ゆうじ / MITANI Yuji
同上
博士(工学)



いしだ まさお / ISHIDA Masao
同上
リーダー 博士(工学)



たまもり としひろ / TAMAMORI Toshihiro
太平洋セメント(株)
中部北陸支店 技術部
部長



ふじた ひとし / FUJITA Hitoshi
同上
セメント事業本部 技術グループ



おおの たくや / OHNO Takuya
TAIHEIYO SINGAPORE PTE.LTD

表1 使用材料

材料	種類	備考
セメント	SFPC®	シリカフュームプレミックスセメント／ 密度：3.04g/cm ³ ，比表面積：6190cm ² /g
細骨材	S	山砂／表乾密度：2.56g/cm ³ ，吸水率：1.87%
粗骨材	G	硬質砂岩碎石 2005／表乾密度：2.66g/cm ³ ， 吸水率：0.44%，実積率：60.0%
化学 混和剤	SP1	高性能減水剤／ポリカルボン酸エーテル系
	SP2	高性能 AE 減水剤／ポリカルボン酸エーテル系
	AF	空気量調整剤

2. 試験概要

2-1. 使用材料および調査

表1に使用材料を示す。セメントには SFPC®，細骨材には山砂，粗骨材には碎石 2005を使用した。混和剤には、高性能減水剤(以下、SP1と称す)、高性能 AE 減水剤(以下、SP2と称す)、空気量調整剤(以下、AFと称す)を使用した。

表2にコンクリートの調査を示す。水セメント比(以下、W/Cと称す)は14%、20%、30%、粗骨材の単位かさ容積はW/Cによらず0.53m³/m³一定とした。W/C=14%および20%の調査にはSP1、W/C=30%の配合にはSP2を使用し、目標のスランプフローが得られるように添加率を調整した。スランプフローの目標値は、W/Cが14%、20%、30%の場合で、それぞれ70±10cm、65±10cm、60±10cmとした。また、空気量が2.0%以下になるようAFの添加率を調整した。

表3に目標とするコンクリートの練上がり温度および各材料の保管温度を示す。練上がり温度の目標値は33±2℃、38±2℃、45±2℃の3水準とした。水、セメント、骨材等の各材料は、所定温度の恒温槽内に保管しておき、練混ぜ直前に恒温槽から取り出して使用した。

2-2. 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、水平二軸形強制練りミキサを用い、30℃、R.H.70%の試験室で実施した。練混ぜ手順は、セメントと熱水が直接接触することを避ける

表2 コンクリートの調査

W/C (%)	混和剤 タイプ	単位量 (kg/m ³)				目標 スランプ フロー (cm)	目標 空気量 (%)
		W	SFPC®	S	G		
14	SP1	155	1107	366	846	70±10	2.0 以下
20	SP1	155	775	645	846	65±10	
30	SP2	155	517	863	846	60±10	

表3 目標練上がり温度および材料の保管温度

目標 練上がり温度 (℃)	材料の保管温度 (℃)				
	W	SFPC®	S	G	SP, AF
33±2	30	30	30	20	30
38±2	50	45	45	45	30
45±2	60	50	50	50	30

ため、ミキサに粗骨材、細骨材、水、SPおよびAFを投入し、20秒間練混ぜた後、セメントを投入し、W/C=14%、20%、30%でそれぞれ480秒、240秒、180秒間練混ぜを行った。その後300秒間静置し、30秒間練混ぜた後に排出した。

2-3. 試験項目および方法

表4に試験項目および方法を示す。フレッシュコンクリートの試験は、スランプフロー、50cmフロー到達時間、空気量、コンクリート温度および注水後の打重ね許容時間とした。注水後の打重ね許容時間は、JASS 5が提示しているコールドジョイントを発生させない一般の場合を参考に、プロクター貫入抵抗試験機による抵抗値(以下、貫入抵抗値と称す)が0.5N/mm²に達する時間を測定した。貫入抵抗値は、ウェットスクリーニングしたモルタル試料を所定の温度に設定した恒温槽内に保管し、所定の時間に取り出して測定した。

硬化体の試験は、圧縮強度、静弾性係数、細孔径分布とした。圧縮強度はJIS A 1108に準拠し、20℃水中養生では材齢7日、28日、56日、91日、簡易断熱養生では材齢28日、56日、91日に測定した。静弾性係数はJIS A 1149に準拠し、いずれの養生条件においても材齢28日、56日で実施した。細孔径分布は、材齢28日のコンクリート供試体中心部からダイヤモンドカッターを用いモルタル部分を切り出し、アセトンで水和停止後、水銀圧入式ポロシメータを用いて測定した。

表4 試験項目および方法			
	測定項目	試験方法	備考
フレッシュ 性状	スランプフロー	JIS A 1150	—
	50cm 到達時間	「コンクリートのスランプフロー試験方法」	
	空気量	JIS A 1128 「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法－空気室圧力方法」	—
	コンクリート温度	JIS A 1156 「フレッシュコンクリートの温度測定方法」	—
	打重ね許容時間	ブロクター貫入抵抗試験	33,38,45℃, R.H.90%に設定した恒温高湿槽に保管し測定
硬化性状	圧縮強度 (20℃水中養生)	JIS A 1108	試験体寸法：φ10×20 cm 材齢：7,28,56,91 日
	圧縮強度 (簡易断熱養生)	「コンクリートの圧縮強度試験方法」	試験体寸法：φ10×20 cm 材齢：28,56,91 日
	静弾性係数	JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」	試験体寸法：φ10×20 cm 材齢：28,56 日
	簡易断熱温度 上昇量	熱電対を使用した温度上昇量測定	コンクリートの内部温度が 30℃程度になるまで測定
	細孔径分布	水銀圧入式ポロシメータ	材齢 28 日の供試体を使用

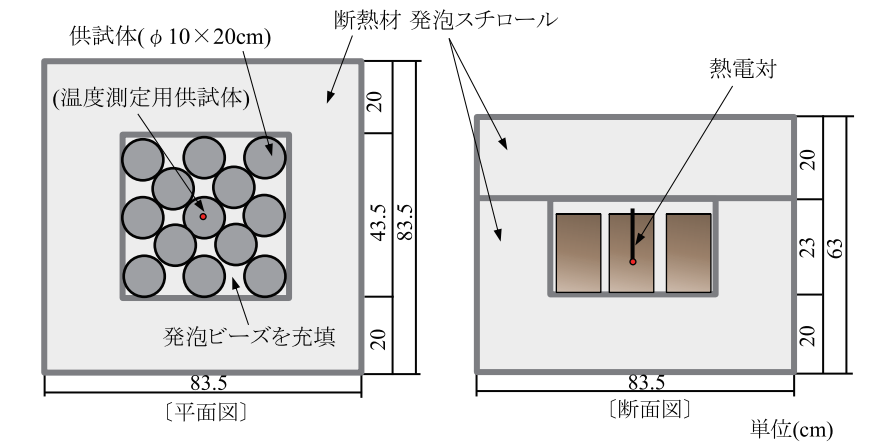


図1 簡易断熱養生の概要

2-4. 養生方法

養生方法は20℃水中養生および簡易断熱養生とした。20℃水中養生を行う供試体は、打設後24時間まで30℃，R.H.70%環境下で封緘養生し，その後20℃の水槽内で所定の材齢まで養生した。簡易断熱養生の概要を図1に示す。簡易断熱養生の供試体は，「簡易断熱養生供試体による構造体コンクリート強度の推定方法（JASS 5T-606）」に準じた方法により，供試体内部の温度が簡易断熱養生容器を設置した試験室内の温度（30℃）と同一になるまで容器内で養生した。その後，供試体を容器から取出し，20℃，R.H.70%の試験室へ移して封緘養生した。なお，簡易断熱養生容器には，6面すべてを厚さ20cmの発泡スチロール断熱材で覆う形状のものを使用した。

3. 実験結果

3-1. フレッシュ性状および打重ね許容時間

表5にフレッシュ性状試験結果および打重ね許容時間を示す。また，写真1，2には，W/C=14%の目標練上がり温度33℃および45℃におけるスランプフロー試験結果を例示する。スランプフローは，いずれのW/Cも，練上がり温度によらず標準的な混和剤添加率で目標値を満足した。また，50cmフロー到達時間は，いずれの水準も10秒程度であり，酷暑期の場合も十分な流動性を得ることができると考えられる。

空気量は，AFの添加率0.1%で，ほとんどの水準が目標値の2.0%以下となった。しかしながら，W/C=14%，練上がり温度45℃の場合のみ，空気量が3.0%となっ

表5 フレッシュ性状および打重ね許容時間

W/C (%)	SP 添加率 (C×%)		AF 添加率 (C×%)	コンクリート 温度 (℃)	50cm 到達時間 (秒)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	RT _{0.5} * (分)
14	SP1	1.75	0.10	34	8.6	78.5	0.6	740
		1.75	0.10	37	7.3	77.5	0.7	670
		1.75	0.25	47	10.1	71.5	2.0	510
20	SP1	1.10	0.10	32	7.9	63.5	1.3	295
		1.30	0.10	37	8.5	67.5	1.0	320
		1.30	0.10	46	7.7	71.0	1.3	210
	SP2	2.15	0.10	44	7.0	60.5	1.2	580
	30	SP2	1.75	0.10	33	6.4	54.0	1.2
1.80			0.10	39	10.9	51.0	1.4	280
1.85			0.10	44	9.0	57.0	1.3	255

※貫入抵抗値が0.5N/mm²に達する時間



写真1 目標練上がり温度33℃のスランプフロー（W/C=14%）

ため，AF添加率を調整し，添加率0.25%で目標値を満足した。この要因は明確ではないが，W/Cや練上がり温度の条件によって空気量が増大する可能性があるため，今後の検討課題としたい。

表5には，貫入抵抗値が0.5N/mm²に達する時間（以下，RT_{0.5}と称す）を併記しているが，練上がり温度の上昇による混和剤添加率の変化が小さいW/C=14%および30%では，練上がり温度が高いほどRT_{0.5}が早くなる傾向が認められた。また，W/C=20%，練上がり温度38℃のRT_{0.5}が練上がり温度の低い33℃の場合より30分程度遅い結果であったが，練上がり温度38℃の混和剤の添加率が33℃の場合より多くなっており，それによって凝結が遅延したことが要因の一つと考えられる。

JASS 5では，高強度コンクリートの工事における練混ぜから打ち込み終了までの時間を120分以内，打重ね時間間隔を120分以内とそれぞれ規定されている。

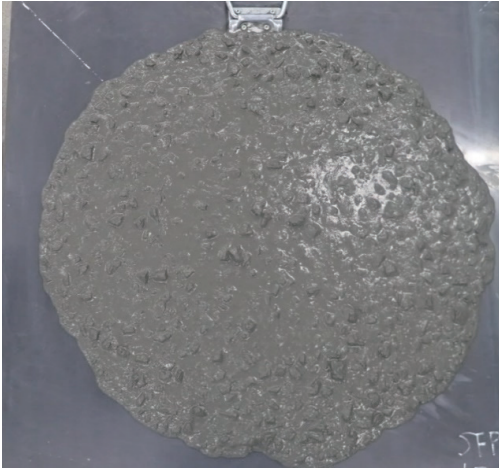


写真2 目標練上がり温度45℃のスランプフロー（W/C=14%）

したがって，RT_{0.5}が240分以上であれば，先に打ち込んだコンクリートの再振動が可能な時間内であり，コールドジョイントを防止できると考えられる。W/C=20%，練上がり温度45℃のRT_{0.5}のみが240分より短くなったものの，表5に示すように混和剤タイプの変更（SP1→SP2）および添加率の調整をすることにより，RT_{0.5}が240分以上となることを確認した。これより，他の水準でも混和剤タイプや添加率を変更することにより，RT_{0.5}を調整することができると考えられる。

3-2. 簡易断熱養生の温度履歴

図2に簡易断熱養生供試体の温度履歴を示す。いずれの水準も1～1.5日間程度で最高温度に達した。最高温度は練上がり温度45℃，38℃，33℃の順に総じて高くなるものの，温度上昇量は練上がり温度が高いほど小さい結果であった。練上がり温度45℃と33℃での温度上昇量の差は，W/C=14%，20%，30%でそれ

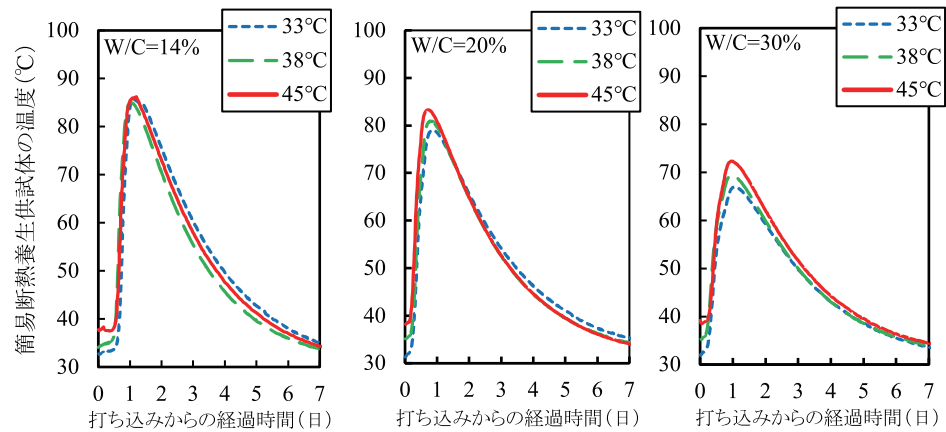


図2 簡易断熱養生供試体の温度履歴

表6 圧縮強度試験結果

W/C (%)	練上がり温度 (°C)	20℃水中養生 圧縮強度 (N/mm ²)				簡易断熱養生 圧縮強度 (N/mm ²)		
		材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 91 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 91 日
		材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 91 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 91 日
14	33	132	178	188	196	189	187	186
	38	134	177	184	200	181	190	189
	45	130	176	183	194	186	188	188
20	33	107	138	153	155	140	142	147
	38	103	147	162	167	144	145	151
	45	101	144	159	164	147	145	151
30	33	65	101	118	125	100	103	106
	38	62	101	111	129	94	101	102
	45	62	100	114	134	97	100	101

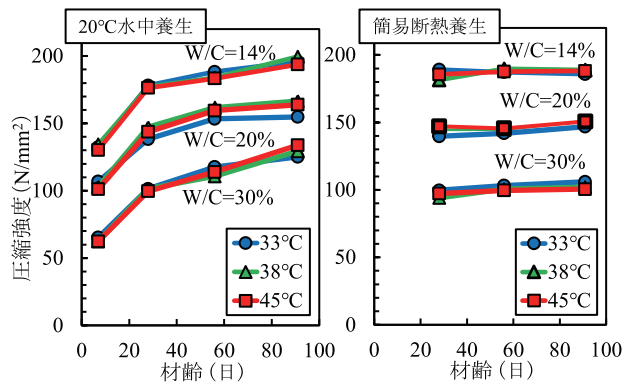


図3 圧縮強度の経時変化

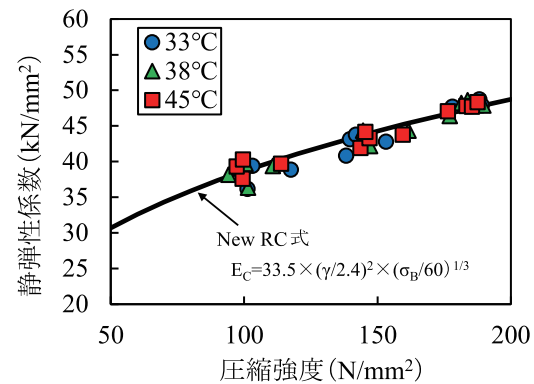


図4 圧縮強度と静弾性係数の関係

ぞれ11.4℃, 7.7℃, 6.7℃であり, W/Cが小さいほどその差は大きくなった。W/C=14%の場合には, 温度上昇量の差が練上がり温度の差12℃とはほぼ同等であったため, 練上がり温度33℃～45℃の範囲における最高温度の差は1℃未満になった。

3-3. 圧縮強度と静弾性係数

表6, 図3に20℃水中養生および簡易断熱養生の圧縮強度結果を示す。養生条件にかかわらず, すべ

でのW/Cで, 練上がり温度の違いによる強度差は認められなかった。また, 簡易断熱養生では, 水和熱によるコンクリート温度の上昇によって反応が促進され, 早期から強度が発現した。

図4に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。静弾性係数は練上がり温度によらず, おおむね一義的な関係にあることが確認された。図中にはJASS 5で示されている, New RC式による関係曲線を併記しているが, 本実験結果とおおむね良く対応していた。

表7 構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

W/C (%)	練上がり温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		$_{28}S_{91}$
		簡易断熱養生 材齢 91 日	20℃水中養生 材齢 28 日	
		材齢 91 日	材齢 28 日	
14	33	186	178	-8
	38	189	177	-12
	45	188	176	-12
20	33	147	138	-9
	38	151	147	-4
	45	151	144	-7
30	33	106	101	-5
	38	102	101	-1
	45	101	100	-1

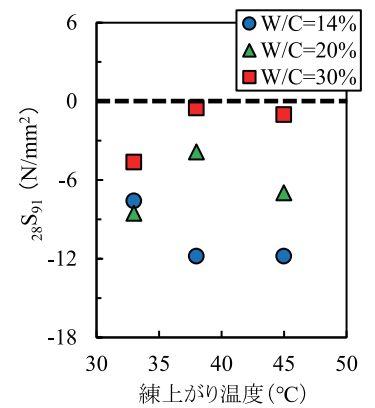


図5 練上がり温度と構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の関係

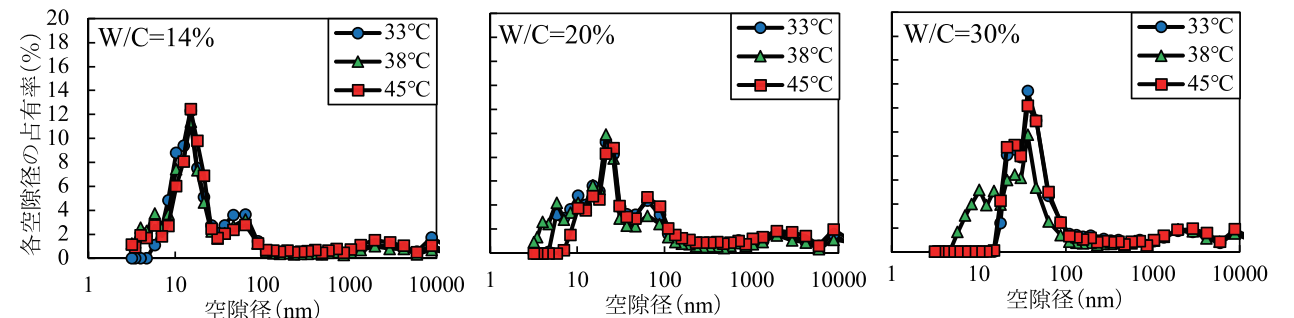


図6 細孔径分布(20℃水中養生, 材齢28日)

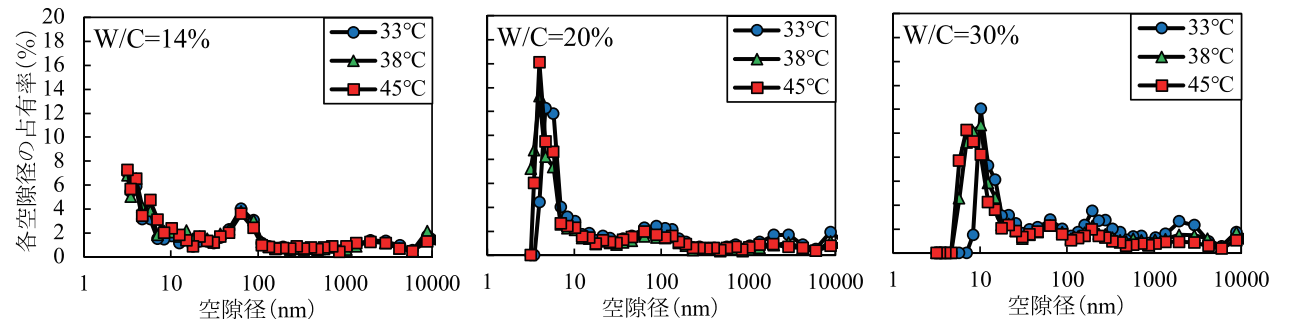


図7 細孔径分布(簡易断熱養生, 材齢28日)

3-4. 構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

表7, 図5に20℃水中養生の材齢28日強度と簡易断熱養生の材齢91日強度の差から求めた強度補正值 $_{28}S_{91}$ を示す。高強度コンクリートの調合強度を定める場合に必要となる強度補正值 $_{28}S_{91}$ は, いずれの練上がり温度, W/Cでも負の値となった。

練上がり温度で比較すると, いずれのW/Cでも, 練上がり温度45℃での構造体補正值 $_{28}S_{91}$ は, 練上がり温度が33℃および38℃の場合とはほぼ同等であり, 練上がり温度が構造体補正值 $_{28}S_{91}$ に及ぼす影響は小さい結果であった。

3-5. 細孔径分布

図6に20℃水中養生を行った供試体の細孔径分布, 図7に簡易断熱養生を行った供試体の細孔径分布を示す。20℃水中養生, 簡易断熱養生のいずれにおいても, 練上がり温度による細孔径分布の差はほとんど認められず, 強度試験結果と同様の傾向を示した。また, 20℃水中養生と簡易断熱養生で比較すると, 簡易断熱養生を行った場合は, 20℃水中養生の場合より, 細孔径のピークが小径側に移動しており, 組織がより緻密であることが確認された。これについては, 高い温度によりシリカフェームの反応が促進したことで微細な空隙が増加し, 組織が緻密化したものと考えられる⁷⁾。

4. まとめ

本研究では、SFPC[®]を用いた超高強度コンクリートの酷暑期における諸特性を評価するため、練上がり温度を33℃、38℃、45℃と変化させた条件下での、フレッシュ性状、打重ね許容時間、強度特性および細孔径分布を測定した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 練上がり温度(33℃、38℃、45℃)にかかわらず、標準的な添加率で目標のスランプフローを満足した。
- (2) プロクター貫入抵抗試験機による貫入抵抗値が0.5N/mm²に達する時間は、練上がり温度が高いほど早くなるが、混和剤タイプの変更および添加率の調整により、注水後の打重ね許容時間を十分に確保できる可能性が認められた。
- (3) 20℃水中養生および簡易断熱養生における圧縮強度は、練上がり温度によらず同程度であった。また、静弾性係数と圧縮強度の関係は練上がり温度や養生条件にかかわらず、一義的な関係で表せることが確認された。
- (4) 簡易断熱養生および20℃水中養生の強度結果

から算出した構造体強度補正值_{28S₉₁}は、練上がり温度による明確な差がなかった。

- (5) 材齢28日の細孔径分布を比較すると、練上がり温度による細孔径分布の差はほとんど認められなかった。また、簡易断熱養生を行った場合は20℃水中養生の場合より細孔径のピークが小径側に移動し、組織が緻密化している可能性が示唆された。

【参考文献】

- 1) 藤田隆仁、小山智幸、鶴田達哉、前田禎夫、岩清水隆／暑中期における九州・近畿地方のフレッシュコンクリートの温度に関する調査、日本建築学会九州支部研究報告会、第59号、pp.81～84、2020.3
- 2) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事、2018
- 3) 日本建築学会／暑中コンクリートの施工指針・同解説、2019
- 4) 長井智哉、木村仁治／暑中期における高強度コンクリートの諸特性に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.179～180、2019.9
- 5) 石中正人、鳴瀬浩康／暑中期を想定した練上がり温度が超高強度コンクリートの強度発現性に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.117～118、2013.8
- 6) 大野拓也、面来洋児、藤澤竜、多田克彦／高温作用が低発熱形セメントを用いた高強度モルタルの強度および水和反応特性に及ぼす影響、第74回セメント技術大会講演要旨、pp.140～141、2020
- 7) 三谷裕二、番地成朋、谷村充、丸山一平／高温度履歴を受けた低水結合材比シリカフェウム混和セメントの強度および水和反応特性、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.1495～1500、2009

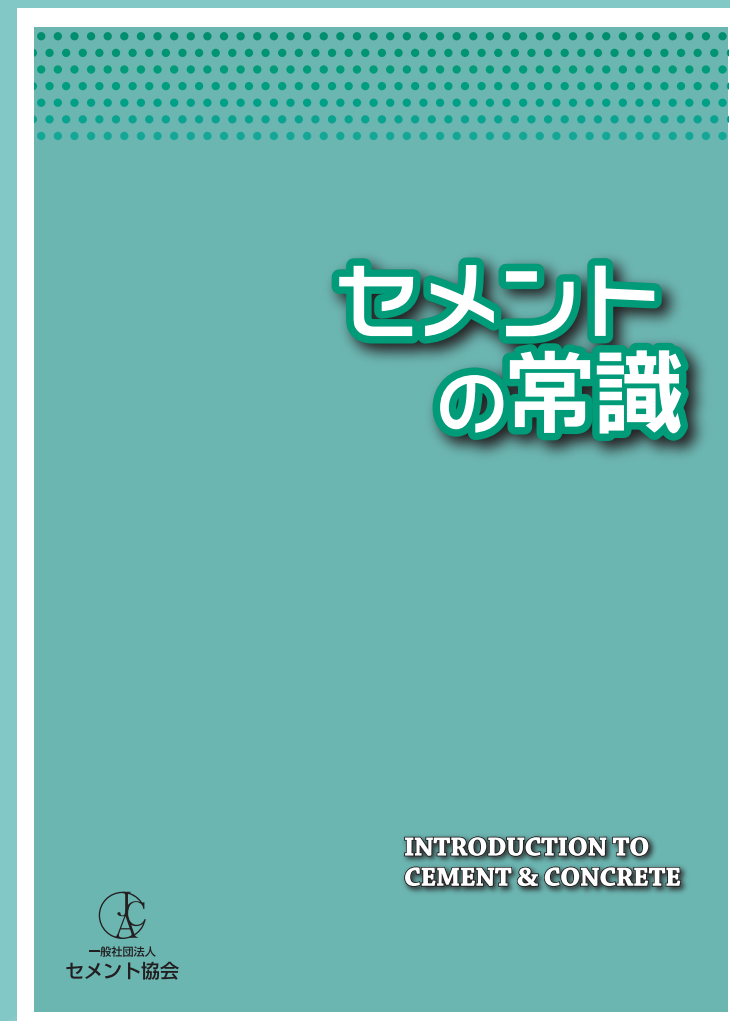
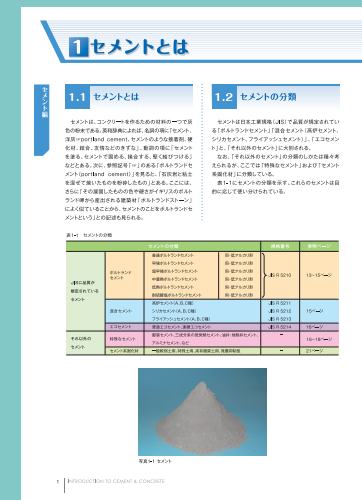
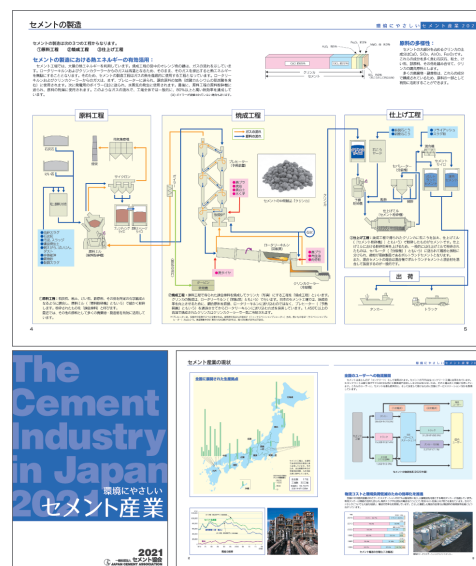
A4判・8ページ
環境にやさしいセメント産業 2021

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。

申込みは、部数と送付先を明記のうえ、下記までファックスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

[主な内容]セメント産業の現状,セメントの製造,脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン,カーボンニュートラル行動計画



「はじめて学ぶ セメント・コンクリート」をコンセプトに1973年から47年、おなじみの「常識」が第24版を迎え発行いたしました。「セメントはなぜ固まるの?」「コンクリートって何ですか?」といった初歩的な疑問から、セメント・コンクリート技術とその使い方まで、さらに環境のことを考えたセメント産業の「いま」、セメントに関する国内外の統計データをカバー。最新のJISにも対応済みです。次代を担う新人の研修から知識の再整理まで、自信を持っておすすめするお役に立てる一冊です。

A4版・オールカラー 72ページ 定価2200円(税込)
(月刊セメント・コンクリート定期購読者は1割引)

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

「セメントの常識」おすすめです。
緑の表紙の常識、新版出ました!

秋田新幹線 斉内川橋りょうの架け替え

－開床式PRC単純ランガー桁におけるコンクリート打込み－

Replacement Sainagawa River Bridge of Akita Shinkansen
－Concrete placement in PRC langer bridge with the lattice slab－

加藤 佑基 木村 正喜 浦辺 啓介

1. はじめに

斉内川は、雄物川水系の支流となる玉川に合流する秋田県大仙市を流れる一級河川である。2015年7月に発生した豪雨により、河川が氾濫したため、秋田県は早急に河川改修を進めている。

本工事は、斉内川橋りょう部の現況流下能力($Q=430\text{ m}^3/\text{s}$)を計画流下能力($Q=540\text{ m}^3/\text{s}$)に向上させるために、斉内川と秋田新幹線角館・大曲間(田沢湖線羽後長野・鏑見内間)で鉄道と交差する斉内川橋りょうを橋長54.6mから71.1mに改築するものである。施工位置図を図1に、施工後の橋りょうの写真を写真1に、施工前を写真2に示す。なお、本工事は2017年7月に着手し、2020年11月14日の夜間作業にて、新橋りょうへの架け替えを実施した。

本稿では、新橋りょうの構造形式と施工方法、桁本体のコンクリート打込み計画と実績について報告する。

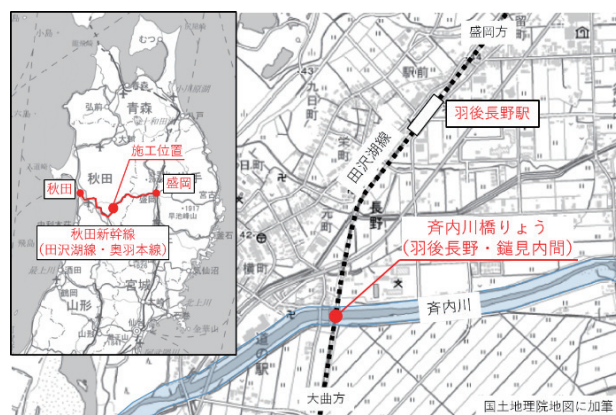


図1 施工位置図



写真1 完成後の写真(2021年4月)



写真2 架け替え前の斉内川橋りょう

かとう ゆうき / KATO Yuki
東日本旅客鉄道(株)
東北建設プロジェクトマネジメントオフィス
北東北プロジェクトセンター

きむら まさき / KIMURA Masaki
同上
プロジェクト支援ユニット

うらべ けいすけ / URABE Keisuke
鉄建建設(株)
東北支店

表1 橋りょうの構造形式

		既設橋りょう	新橋りょう
構造形式	桁	4径間デッキガーター	開床式PRC単純ランガー桁
	橋台	コンクリート橋台(無筋)	門型ラーメン橋台
	基礎	直接基礎	杭基礎(オールケーシング)
橋長		L=54.6m	L=71.1m
軌道構造		合成マクラギ直結軌道	弾性バラスト軌道

2. 構造形式

本工事では橋りょうの架け替えの際、活線横取り方式を採用した。活線横取り方式とは、現在の位置で列車を運行させながら、線路脇に構築した栈橋上で新桁を製作し、一晩で既設桁撤去および横取り架設を行う方式であり、工期・コストの観点から採用した。

新橋りょうの構造形式の選定には施工条件および現場条件より、以下に挙げる4つの条件を考慮する必要がある。

- ① 従来の線路縦断線形を変更せずに河川計画高水位(H.W.L.)を確保するため、レール面高(R.L.)から桁下面までを1.125m以下とすること
- ② 活線横取り方式が可能な構造で、施工性向上のため桁重量をなるべく小さくすること
- ③ 河川への影響を低減するため、河川内への橋脚設置が不要となる橋長71.1m、支間長68.5mを1スパンで構築すること
- ④ 維持管理、コスト、景観に配慮すること

桁高に制約がある中長スパンの橋りょうを構築する場合、一般的に下路桁形式が用いられることが多い。しかしながら、当該地域は豪雪地帯であることから橋りょうへの堆雪の配慮が不可欠であり、さらに桁重量の軽減が図れ、騒音対策、供用後の維持管理ならびに景観性を総合的に勘案し、JR東日本管内で初めて開床式PRC単純ランガー桁を採用することとした。既設橋りょうおよび新橋りょうの形式を表1に、開床式スラブの状況を写真3に示す。



写真3 開床式スラブ

3. 施工方法

新橋りょうの架け替えは、以下に挙げる5つのステップで計画した。

- ① 下部工(橋台)を施工後、上流部と下流部に仮栈橋、上流部に桁製作構台を仮設する
- ② 桁製作構台上で、新橋りょうの製作を行う
- ③ 新橋りょうの製作後、桁製作構台の撤去を行い、新橋りょうを構台の高さまで降下させ、橋りょう内に軌道を敷設する
- ④ 橋りょう架け替え当夜に、クレーンを使用して既設橋りょうの撤去を行う
- ⑤ 横取り架設(ジャッキを用いて橋台や架台上にある桁を横移動させる工法)を行い、所定の位置に新橋りょうを据え付ける

架け替えまでのステップ図を図2に、横取り架設の概要図を図3に示す。横取り架設は、ダブルツインジャッキ(最大けん引力:1500kN)を4台用いて行い、重量約1500tの橋りょうを400mm/minの速度で横移動させ架け替えを実施した。架け替え当夜は、秋田新幹線を一部運休する措置が取られ、計画作業時間10時間に対し、実績は8時間55分となり、65分の余裕を持って架け替え工事を完了させた。

4. 打込み計画

新橋りょうのコンクリートの打込みでは、

- ① ランガー橋のため、アーチと補剛桁の接合部であ

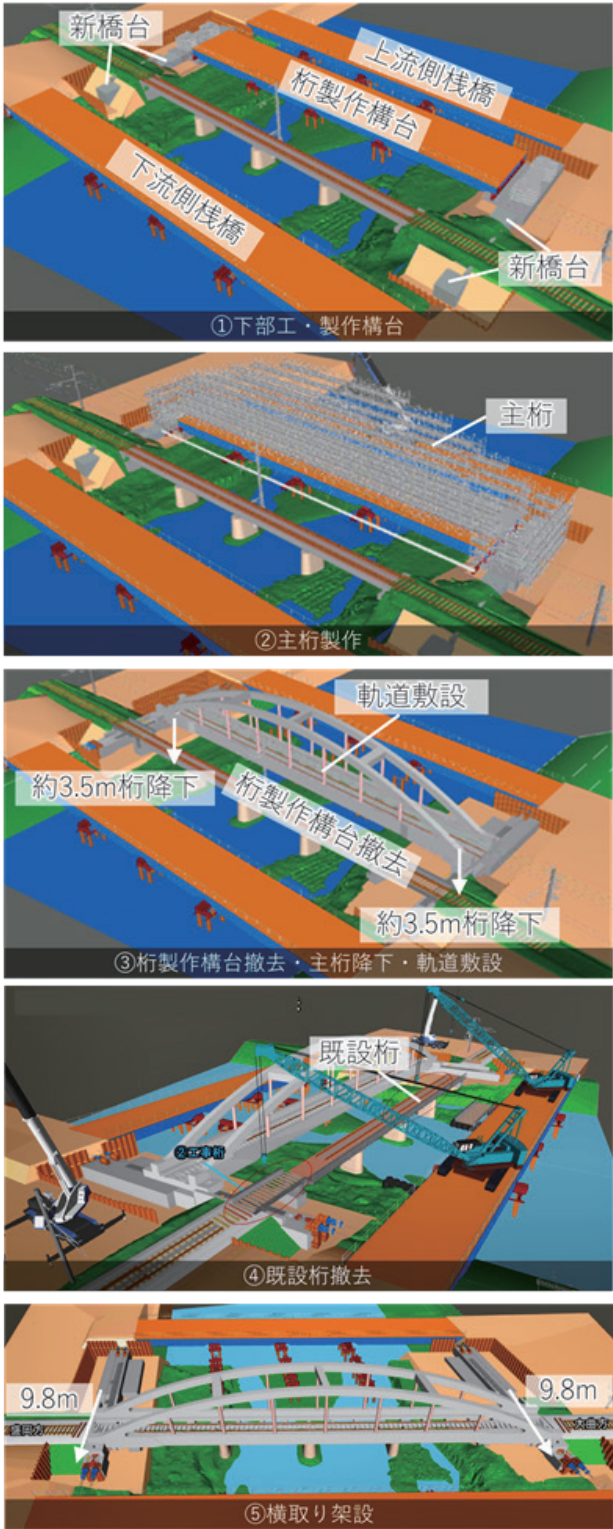


図2 施工ステップ

- るアーチ基部で鉄筋が密になること
- ② 開床式構造のため、レール受桁や横桁が交わるスラブで鉄筋が密に配置されていること
- ③ 鉄筋に加え補剛桁や横桁、鉛直材等に緊張用のPC鋼材が挿入されていること

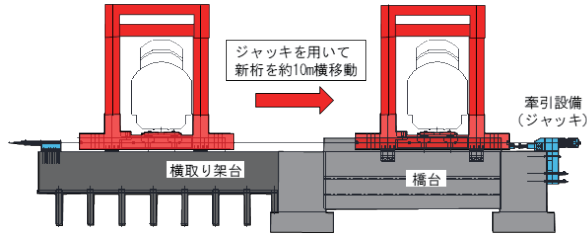


図3 横取り架設概要図

等の構造上の理由により、コンクリートの充填不良の懸念があった。図4に補剛桁の鉄筋配置図、図5に鉄筋の3Dモデルを示す。施工性とコンクリートの仕様を満足する配合と打込み計画を策定するため、コンクリートの試験練りや、アーチ基部の実物大試験体にて試験施工を実施し、コンクリート配合や打込み速度、伏枠や止枠の撤去タイミング、締固め方法、バイブレータの選定や作業人員について検証を行った。コンクリートの配合や打込み計画における課題と対策を以下に示す。

4-1. コンクリート配合

当初の配合計画では、通常のPC桁を想定しスランプを桁部で12cm、アーチ部で15cmと定めていたが、実施工ではスランプが許容範囲の下限方で納入された場合や、経時変化によって充填性が低下することが懸念された。そのため、図6、表2に示す補剛桁・レール受桁、横桁、アーチ基部、アーチ部および横継材に適用するコンクリートの選定に向け、スランプの異なる数種の配合のフレッシュ性状、その経時変化および硬化後の性状の確認を目的として、室内試験および実機試験を行った。コンクリートの仕様を表3とし、スランプ量を15±2.5cm(配合①)、18±2.5cm(配合②)、21±2.5cm(配合③)、16.5±2.5cm(配合④)に変化させて試験を実施した。試験は2020年2月13日(配合①～③)と26日(配合④)に実施し使用材料等の条件を描いて行われた。

スランプの経時変化を図7に示す。設定スランプが小さい配合①は経時変化が大きい一方で、配合②および③はスランプの経時変化が小さく、練上がり後120分でも十分な流動性を有することが確認された。そこで最

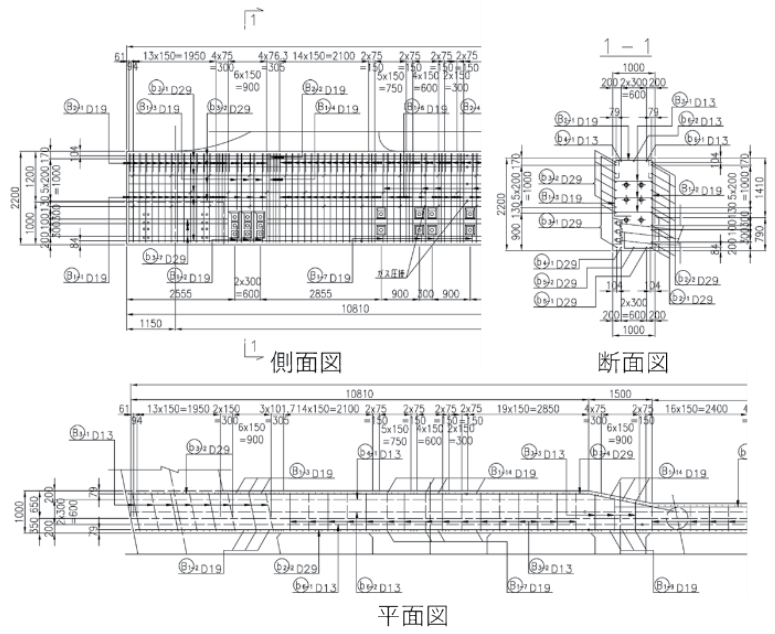


図4 鉄筋配置図(補剛桁)

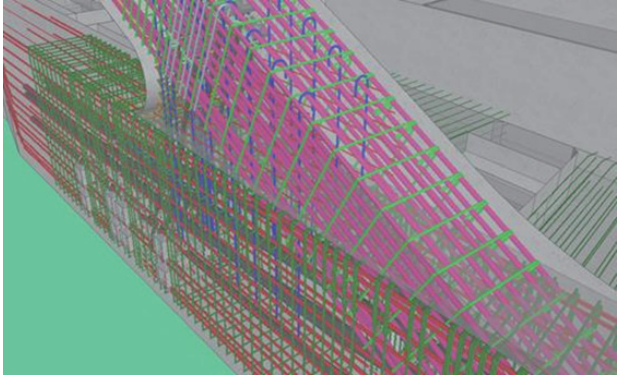


図5 鉄筋配置の3Dモデル(補剛桁)

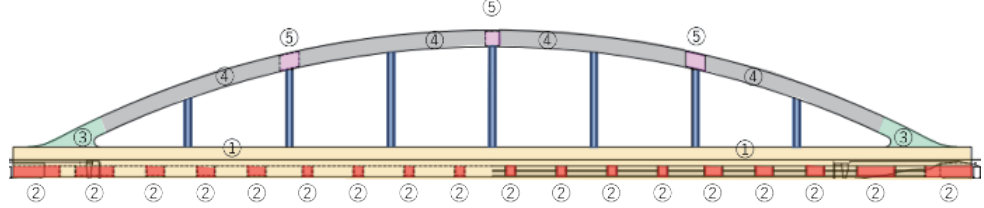


図6 部材の分類

表2 部材と設計基準強度

部材番号	名称	部材の構造	設計強度
①	補剛桁・レール受桁	主方向 PRC構造	50N/mm ²
②	横桁	横方向 PC構造	
③	アーチ基部	RC構造	50N/mm ² (合成短繊維補強コンクリート)
④	アーチ部	RC構造	
⑤	横継材	RC構造	

表3 コンクリートの仕様

部位種別	呼び強度	セメントの種類	粗骨材の最大寸法	空気量の範囲	最大W/C	スランプ量
補剛桁 レール受け桁 横桁	50N/mm ²	高炉セメント または 普通ポルトランドセメント	20mm または 25mm	4.5 ± 1.5%	50%	①15 ± 2.5 ②18 ± 2.5 ③21 ± 2.5 ④16.5 ± 2.5 (桁部のみ)
アーチ基部 アーチ部 横継材						

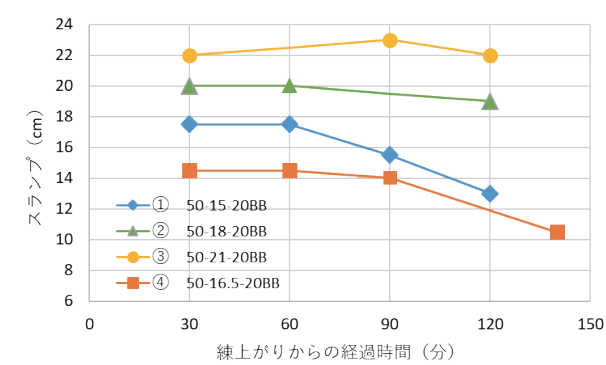


図7 スランプの経時変化

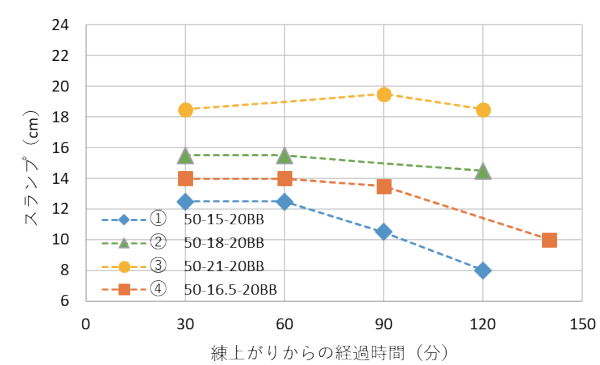


図8 下限値で納入された場合のスランプの経時変化(推定)

表4 使用するコンクリートの配合案

部位	配合	その他
補剛桁 レール受け桁 横桁	50-16.5-20BB	アルカリ骨材反応対策として 高炉セメントB種を使用する
アーチ基部 アーチ部 横継材	50-18-20BB	

表5 打込みサイクル

打設部位	補剛桁・レール受け桁・ 横桁・アーチ基部	アーチ部・横継材
打設割り	3回分割打設	2回分割打設
打設数量	1回目：162m³（1班81m³×2班） 2回目：124m³（1班60m³×2班） 3回目：114m³（1班57m³×2班） 合計：396m³	1回目：75.6m³（1班37.8m³×2班） 2回目：75.6m³（1班37.8m³×2班） 合計：151.2m³
打設時間	1回目：8:00～13:50 2回目：8:00～13:00 3回目：8:00～13:00	1回目：8:00～12:00 2回目：8:00～12:00

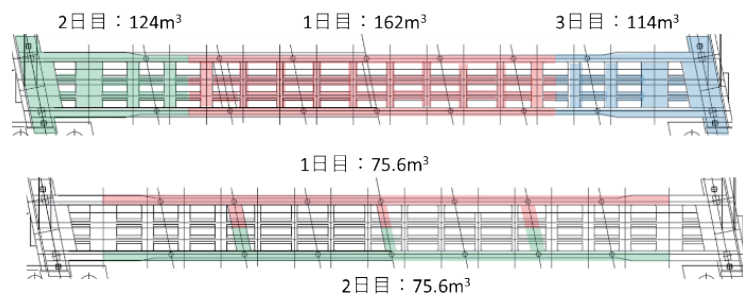


図9 打込み分割計画図(上：桁部，下：アーチ)

も厳しい条件として、荷卸し時(練上がり後30分)にスランプが許容範囲の下限値で納入された場合のスランプの経時変化を考える。図8は荷卸し時のスランプを下限値として以後の経時変化を図7の試験結果に準じた場合の経時変化を示したものである。配合①は練上がり120分後にスランプが8cm程度となり充填性が大きく低下するものと推測され、配合③は練上がり120分後でも十分な充填性を有するものと考えられる。しかし配合③はスランプが大きいことから、締固め時に補剛桁部から横桁部へ多くのコンクリートが噴出すると考えられ、パイプレータによる締固めが十分に行えない恐れがあると推測された。そのため荷下ろし時の設定スランプを配合①と②の中間の16.5cmとした配合④を検討に加えた結果、配合④のスランプは練上がりから120分後も10cm以上有することが確認された。

同様の試験はアーチ部の使用を想定した短繊維を混

入した場合でも実施し、結果として表4に示す配合を策定した。

4-2. 打込み計画

① 打込みサイクル

桁部におけるコンクリートの打込みサイクルは、構造上の理由による充填性の悪さから、長時間の打込みによる打ち重ね時間の増加や作業員の注意力低下による締固め不足を回避するため、1回あたりの打込み量を制限し3回に分けて打込みを行った。分割して打込みすることによる材齢差の影響は事前に温度解析を行い、問題がないことを確認した。また打ち継ぎ部にはひび割れ防止用の用心鉄筋を追加した。打込みサイクルの実績を表5、桁部・アーチにおける打込みの分割計画図を図9に示す。

② 打込み順序

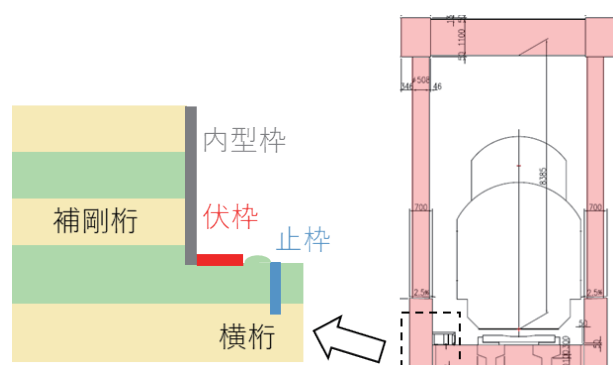


図10 補剛桁・横桁の打込みイメージ



写真5 単管パイプ設置状況

補剛桁および横桁の打込みでは、打込み前に伏枠を設置すると、緊張用の横締めケーブルが挿入されている箱抜き部への視認性が悪くなり、充填が不十分となる懸念があった。そのため、まず50cm打ち上げた後、伏枠と止枠を設置することとした。次に50cm打ち上げる際に、伏枠や止枠から横桁への噴出状況を目視することで、補剛桁と横桁の交点の吹き出し部の充填と締固めが確実に行われているのか確認した。打込み順序のイメージと写真を図10、写真4に示す。

③ パイプレータ挿入箇所の確保

パイプレータによる締固め不足を防止するため、適切な位置にパイプレータが挿入できるよう、単管パイプや角鋼管を設置した状態で鉄筋組立を行うことで、パイプレータ挿入位置を確保する計画とした。型枠天端には挿入位置やパイプレータの種類を明確にするためのマーキングを行った。単管パイプとマーキング設置状況を写真5、6に示す。

④ 透明型枠の設置



写真4 横桁への吹き出し状況確認

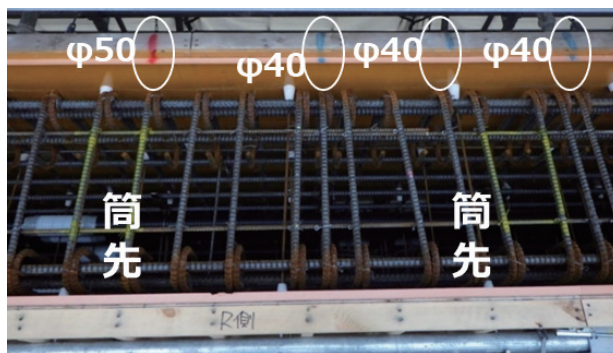


写真6 型枠天端へのマーキング状況

アーチ基部より下の補剛桁は、上部にアーチ基部の側枠が組立てられるため、打込み状態を把握することが難しく、充填や締固め状態の確認が困難であることが懸念された。そこでアーチ基部と補剛桁の一部においては、通常の型枠ではなく、目視にてコンクリートの充填確認が行えるよう透明型枠を採用した。また確実な充填が行われるよう、通常のパイプレータに加え型枠パイプレータやマルチパイプレータも併用した。透明型枠と型枠パイプレータの使用状況を写真7に示す。

⑤ 打込み体制

打込み体制を表6に示す。打込みはそれぞれ2班体制で行い、桁部は2020年4月9日、13日、14日の3日で、アーチ部は2020年5月28日、30日の2日で打込みを完了した。打込み完了後までワーカビリティを維持しつつ、所定の強度を発現することができ、型枠脱型後に全てのコンクリートが健全に打込みされていることを確認した。コンクリートの打込み中、および打込み後の写真を写真8～10に示す。



写真7 透明型枠と型枠バイブレータの使用状況

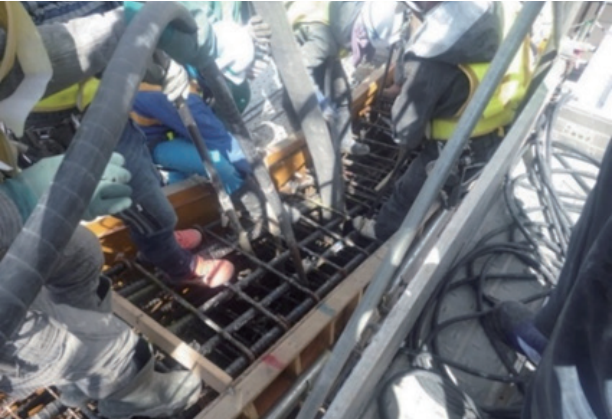


写真8 アーチ基部打込み状況



写真9 アーチ打込み状況

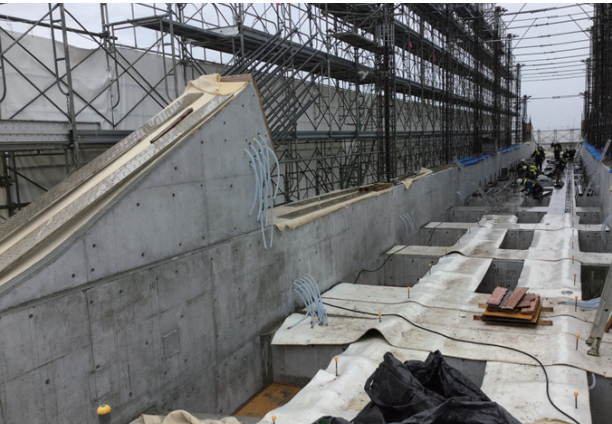


写真10 アーチ基部打込み完了

5. おわりに

本稿では、秋田新幹線角館・大曲間に位置する斉内川橋りょうの架け替え工事における、新橋りょうの構造形式と施工方法、桁本体のコンクリート打込み計画と実績について報告した。本稿が、橋りょうの改築工事やコンクリート打込み計画の策定において、一助になれば幸いである。

表6 打込み時の1班あたりの構成人員

打設構成人員 (1班あたり)	補剛桁・レール受け桁・ 横桁・アーチ基部	アーチ部・横継材
打設指揮	1人	1人
打設工	6人	3人
打設補助	3人	2人
型枠支保工点検	1人	1人
型枠叩き・伏枠設置	2人	2人
交代要員・補助	4人	2人
左官工	3人	2人
ポンプ車オペ	2人	1人
合計	22人	14人

最後に本橋りょうの設計・施工に携わった関係者の方々に誌面をお借りして、感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 小林香野, 鈴木隆裕, 井上崇, 浦辺啓介／桁重量約1500tの開床式PRC単純ランガー桁の横取り架設, 橋梁と基礎, 2021.4.
- 2) 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), 2004.4.



コンクリート中のアルカリシリカ反応を緩和するための新規混和材

Gopakumar Kaladharan, ほか

Cement and Concrete Composites

120 論文No, 104028(2021)

アルカリシリカ反応(ASR)は、コンクリート中の高pHの細孔溶液と骨材に含まれるケイ酸塩との間で生成したアルカリシリカゲルが吸水・膨張により内部応力およびひび割れを発生させるため、コンクリート構造物にとって有害な反応とされている。現在ASRの抑制方法は非反応性骨材の使用、コンクリートのアルカリ含有量の制限、混和材の使用およびリチウムベースの混和剤の使用が挙げられる。しかしこれらの方法は、材料供給量の確保やコスト面等で実施に対する課題がある。

著者らは、新しいASR抑制材を検討する上で、細孔溶液のpHを低下させるために多価イオンを持つこと、入手が容易で安価であること、危険性がなくコンクリートに悪影響を及ぼさないこと、さらに水への溶解度が高いこと等を基準に選定した。選定された酢酸カルシウム、酢酸マグネシウム、ギ酸カルシウム、臭化カルシウム、臭化マグネシウム、硝酸カルシウムおよび硝酸マグネシウムの7種類を混合材とし、反応性の高い天然骨材を使用して作製したコンクリートを用いてコンクリートバー法(ASTM C 1293)を実施した。その結果、これら混合材はポルトランドセメントに対して5質量%以下添加することで細孔溶液のpHを下げ、優れたASR緩和性能を有することが確認された。さらに、pHを低下させる能力は、これらのイオンが細孔溶液中にとどまる能力に関連しているとしている。著者らは、ここで得られた混合材によるASR緩和のメカニズムに関する知見が、将来

さらなる研究に繋がると述べている。

低炭素吹付けコンクリートに関する研究

Michael Sataya, ほか

Cement and Concrete Composites

CONCRETE 55[9]20~22(2021)

本稿では、吹付けコンクリートの性能を低下させずに製造時の二酸化炭素排出量を低減することを目的としたイギリスでの研究開発プロジェクトを紹介する。

一般的な吹付けコンクリートでの単位セメント量は400kg/m³を超えるため、通常のコンクリートと比較してクリンカーの製造時に由来した二酸化炭素排出量が増加する。高炉スラグ微粉末などの副産物を使用して単位セメント量を減らすことで二酸化炭素排出量の低減が可能であるが、凝結時間の遅延や初期強度発現性の低下、さらにヨーロッパで主に使用されている液体急結剤との適合性が問題であった。

そこで本プロジェクトでは、イギリスの複数の企業と大学が共同で高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートに適したスルホアルミン酸カルシウム(CSA)ベースの粉体急結剤の開発が実施された。大学で行った基礎検討では、Leeds大学で粉体急結剤の処方を選定し、Loughborough大学で本処方でのセメントペーストの凝結時間を測定した。その結果、セメントに対して高炉スラグ微粉末を70~80%まで置換した場合でも、CSAベースの粉体急結剤を用いることで、凝結時間を短縮でき、CEMIで作製したセメントペーストに従来の液体急結剤を混合した場合と同等であった。また、吹付け実験では、高炉スラグ微粉末含有量70%のコンクリートにCSAベース粉体急結剤を組み合わせることで24時間初期強度が吹付けコンクリートの規格(BS EN 14487など)を満足し、コアサンプルの長期強度や耐久性も実構造物の要求性能を満たした。

本プロジェクトで検討した結果から、吹付けコンクリートの性能を低下させずに、二酸化炭素排出量を60%以上低減する可能性を示している。

ドローンによる建築物調査関連の 法令・研究・民間の動向

Trend of standards act, research, and private sector for building inspection by drone

宮内 博之

1. はじめに

長年、社会問題となっている少子高齢化や技能者不足に加えて、コロナ禍により私たちの生活や職場環境にはIoTやDXが導入されるなど、デジタル化社会への変革の波が押し寄せている。一方、国やデジタル庁はデジタル時代の官民のインフラを今後5年で一気に作り上げるとしている。このような環境の中、今、ドローン技術が期待されている。

ドローンは2015年4月の首相官邸無人航空機墜落事件を契機に、同年12月にドローンに関わる航空法が改正され、社会においてもドローンが注目された。ドローンのサービス市場¹⁾は、**図1**に示すように年々増加しており、特に点検分野が顕著である。これら点検分野とは橋梁、鉄塔、基地局、発電施設、プラント、工場やビル、船舶といったインフラや設備点検が含まれており、生産設備や大規模建造物などの点検でも一部商用サービスが始まっている。また、土木建築分野でもドローンの導入・活用がされ始めている。

国は小型無人機に関する関係府省庁連絡会議を設置し、空の産業革命に向けたロードマップを提示し、各分野におけるドローン環境を整備するため官民連携

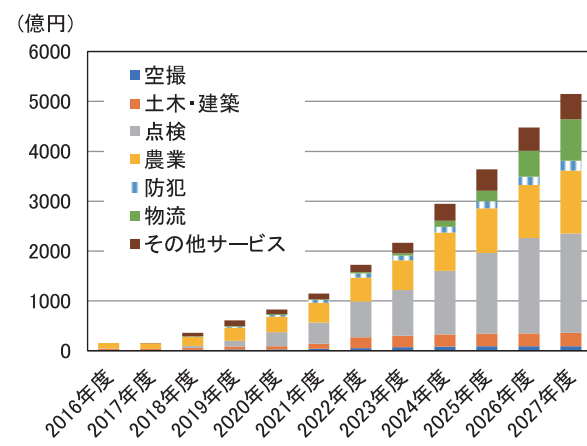


図1 ドローンサービス市場の分野別市場規模¹⁾

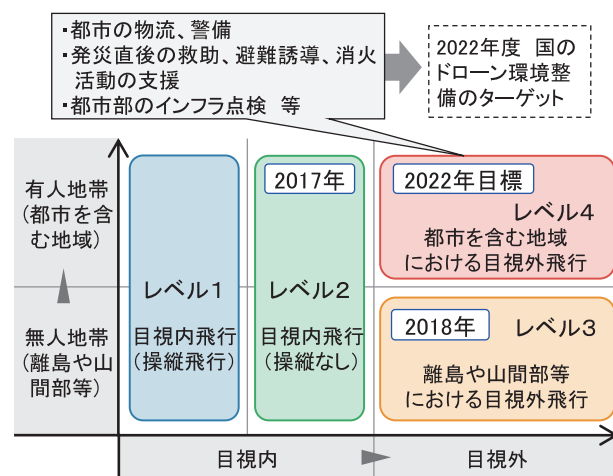


図2 ドローンの飛行形態

で推進している。ドローン利用環境に応じて、**図2**に示すようにレベル1(目視内で操縦飛行)、レベル2(目視内で自動飛行)、レベル3(無人地帯での目視外飛行)、レベル4(有人地帯での目視外飛行)に区分し、

表1 建築物調査におけるドローンの調査水準

水準	既存調査	ドローンによる調査
1次調査	目視点検等 (目視、触診等)	⇒ 非接触：俯瞰的調査 (可視画像、映像)
2次調査	非破壊・詳細調査 (変状、亀裂等の測定)	⇒ 非接触：詳細調査 (可視・赤外線カメラ等による測定)
	打音検査(足場、高所作業車等)	⇒ 近接・接触調査(狭所空間ドローン、打診等)
3次調査	微破壊試験等による直接診断 (圧縮強度、引張試験等)	⇒ 接触・微破壊調査 (削孔調査等)

2022年度はレベル4の実現に向けてドローンの制度整備の最終段階に入っている。これに伴い、航空法の改正を進めるとともに、6月からスタートした機体認証制度、そして今年度中に実施予定の操縦ライセンス制度の設置、運航ルールの拡充等、基準を整備している。

一方、建築分野から見たレベル4におけるドローン利用としては、都市の物流・警備、発災直後の救助・避難誘導・消火活動の支援、インフラ点検等多岐にわたっており、今後、都市部でのドローンが日常生活で見られる世界は近いと考えられる。一方、現段階では、建築物の点検・調査におけるドローン活用が活発化しており、産官学連携を通してドローンに関わる法令、開発、人材育成等に関わる環境整備が進められている。これより、本稿では社会的背景を踏まえて、ドローンによる建築物調査関連の法令・研究・民間の動向について解説することにした。

2. ドローンによる建築物点検・調査

建築物点検・調査はドローンに限らず、例えば**表1**に示すような調査水準に分けて実施されている。ドローンに関わる1次調査は上空から俯瞰的に都市部を撮影する、あるいは建物の全景を撮影するなど定性的な調査が多い。2次調査はひび割れ幅の計測やタイル外壁の浮きの状況を確認する等の非接触式、あるいは接触して打診検査を行うなどが考えられる。3次調査は対象物に接触して微破壊試験を実施するなどの詳細調査等が挙げられる。



写真1 係留式ドローンによる外壁調査概要

3. 研究：可視カメラ搭載ドローンによる建築物調査

3-1. ドローンによる外壁調査

ドローンによる建築物調査で実装の段階に入っている領域は外壁調査と考えられる。特に、人による目視確認ができないことへの課題や仮設足場を用いない方法への要求条件に対して、(超)高層建築物の外壁調査へのドローン活用が期待されており、ドローンにより大面積で撮影できることなどのコストメリットも高い。一方で、高層建築物を対象とする場合、建物周囲は人口地区であること、電波障害、さらに高所では目視での近接調査が難しいなどの安全面からの課題がある。この安全性の確保は、ドローン本体に内蔵されている衝突回避機能やフライアウェイを防ぐジオフェンス機能等による対策もあるが、ドローンを係留するという物理的安全技術はより有効性が高い。これより**写真1**に示すように、外壁調査では壁面から一定の離隔距離を設けて、建物屋上等上方と地上間の2点を十分な強度を有する紐等を一定の緊張力で固定し、その2点間においてドローンを係留して上下に飛行させる2点係留装置が採用され始めている。また、**図3**左図に地上から倍率10倍の双眼鏡で目視調査できた領域を、右図にドローンにより壁面を撮影し2次元のオルソ画像に変換した事例を示す。高層建築物の場合、当然ながら高層階での調査が困難となるため、ドローン



みやうち ひろゆき / MIYAUCHI Hiroyuki
(国研)建築研究所
材料研究グループ 上席研究員 博士(工学)

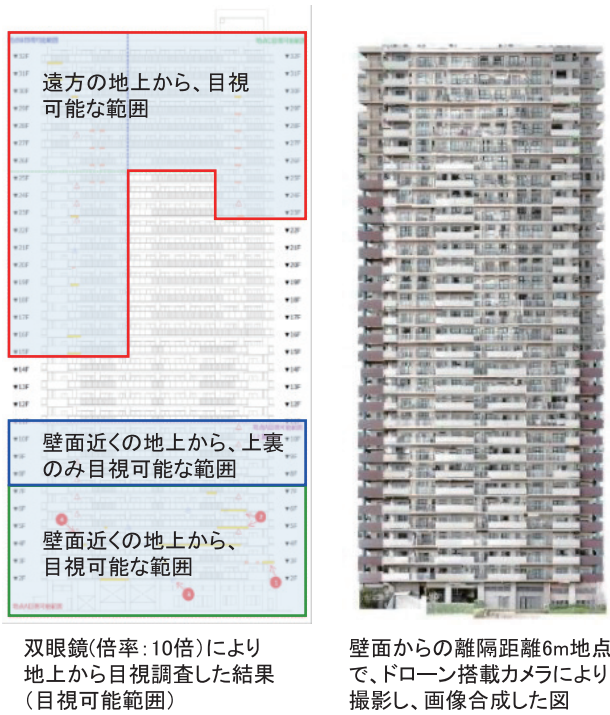


図3 双眼鏡とドローンを利用した外壁調査可能範囲

による調査の優位性が高まることが分かる。

3-2. ドローンによる屋根調査

ドローンが注目され始めた当初は、屋根調査にドローンを導入する企業が多く見られた。理由として写真2に示すように、ドローンはGPSによる自己位置推定により自律飛行による撮影が可能であり、また屋根より上の空域では障害物がないため比較的容易に屋根点検ができるからである。例えば、図4に示すように屋根全面の俯瞰的な撮影により屋根面の面積計算や排水状況を確認できる。またドレン廻りや補修面のcm単位の状況確認やひび割れ等のmm単位の詳細調査も可能である。しかし、ドローンによる屋根調査では第三者上空飛行がともなうことや、飛行技術の簡単さゆえにビジネスとして成立しにくい側面がある。これより屋根調査ではドローンの上空飛行における住民の同意や、建物群のレベルで調査するなどの工夫が必要となる。

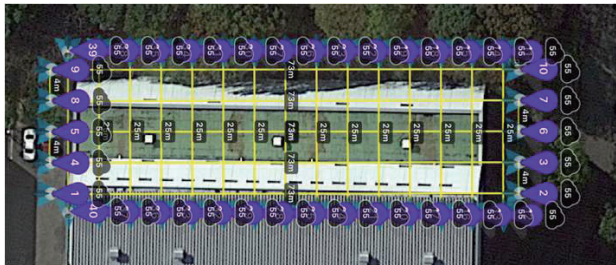


写真2 自動飛行による屋根の確認・点検

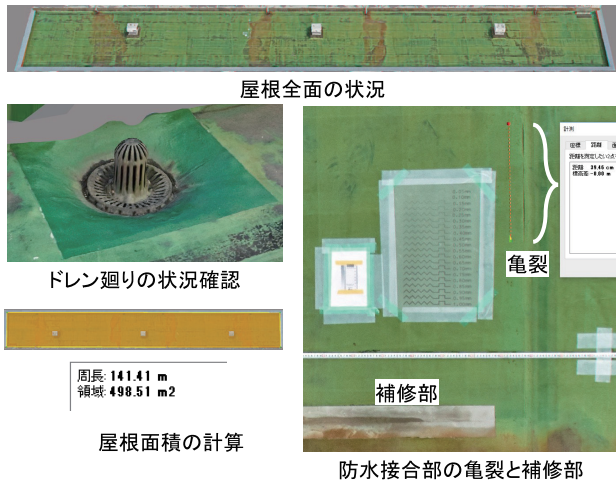


図4 3次元モデルと劣化情報の注出(1億画素)

4. 法令：赤外線装置搭載ドローンによる建築物調査

4-1. 国交省建築基準整備促進事業とNEDO事業

建築分野でドローンに関わる国の事業は、国土交通省住宅局により進められた2017-2018年度国土交通省建築基準整備促進事業T3「非接触方式による外壁調査の診断手法および調査基準に関する検討」が最初の事業として挙げられる²⁾。本事業では、建築基準法第12条における建築物の外壁調査に関して、竣工から10年を経過した建築物の全面打診調査や仮設足場設置の負担の課題を解決するために、赤外線装置を搭載したドローンによる活用が検討された。さらに、2020年度に国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)により「ドローン等を活用した建築物の外壁の定期調査に係る技術開発」も実施された³⁾。NEDO事業では写真3、4に示すドローン飛行時の風

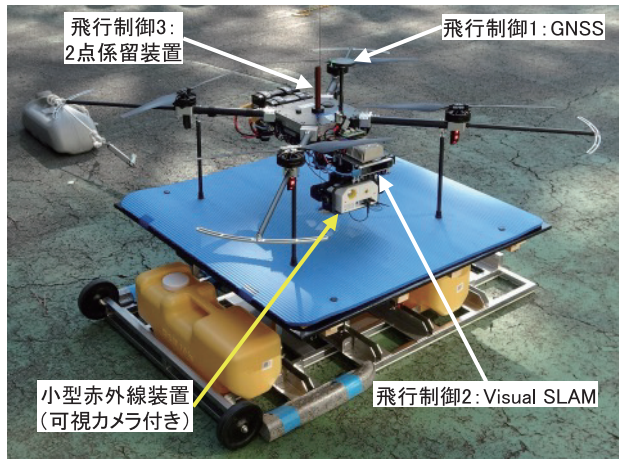


写真3 赤外線装置を搭載した近接調査用ドローンシステム³⁾

表2 H20国土交通省告示第282号
別表(11)(ろ)調査方法 改正, 施行: 令和4年4月

開口隅部、水平打継部、斜壁部等のうち手の届く範囲をテストハンマーによる打診等（無人航空機による赤外線調査であって、テストハンマーによる打診と同等以上の精度を有するものを含む。以下この項において同じ。）により確認し、その他の部分は必要に応じて双眼鏡等を使用し目視により確認し、異常が認められた場合にあっては、全面打診等（落下により歩行者等に危害を加えるおそれのある部分の全面的打診等をいう。以下この項において同じ。）により確認する。ただし、竣工後、外壁改修後又は全面打診等を実施した後10年を超え、最初に実施する定期調査等にあっては、全面打診等により確認する（三年以内に実施された全面打診等の結果を確認する場合、三年以内に外壁改修等が行われることが確実である場合又は別途歩行者等の安全を確保するための対策を講じている場合を除く。）。

などの影響下でも高い性能を維持する小型赤外線装置と、これを搭載して安全な外壁調査を可能にする近接調査用ドローンシステムが開発された。

4-2. 定期報告制度(建築基準法12条)の事例

前述の事業の検討を踏まえて、表2に示す2022年1月に平成20年国土交通省告示第282号が一部改正され、同年3月に建築基準法施行規則の一部を改正する省令等の施行の技術的助言が発出、同年4月に施行された。また、表3に示すように、日本建築防災協会が設置した「赤外線装置を搭載したドローン等による外壁調査手法に係る体制整備検討委員会」において取りまとめられた「定期報告制度における赤外線調査(無人航空機による赤外線調査を含む)による外壁調査ガイドライン」⁴⁾も作成された。これより、建築分野でのドローン

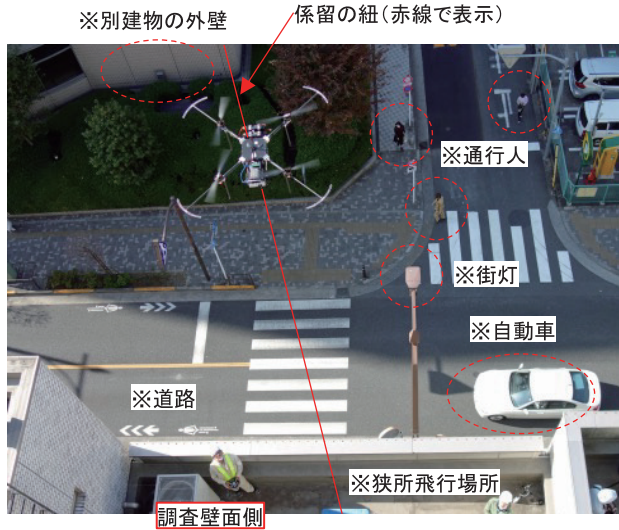


写真4 人口集中地区での飛行環境(2点係留装置を利用)³⁾

表3 定期報告制度における赤外線調査(無人航空機による赤外線調査を含む)による外壁調査ガイドライン

1. 総則
 - 1.1 目的
 - 1.2 適用範囲
 - 1.3 用語の定義
2. 実施者
 - 2.1 赤外線調査の実施者
 - 2.2 ドローンによる赤外線調査の実施者
3. 赤外線調査
 - 3.1 赤外線調査の概要
 - 3.2 赤外線調査の適用条件の把握
 - 3.2.1 適用条件
 - 3.2.2 打診との併用の必要性
 - 3.3 事前調査
 - 3.4 調査計画書の作成
 - 3.5 調査の実施（打診との併用による確認を含む）
 - 3.6 熱画像による浮きの判定
 - 3.7 報告書の作成
4. ドローンによる赤外線調査
 - 4.1 ドローンによる赤外線調査の概要
 - 4.2 ドローンによる赤外線調査の適用条件の把握及び飛行の可否と安全対策の検討
 - 4.2.1 ドローンによる赤外線調査の適用条件
 - 4.2.2 打診との併用の必要性
 - 4.2.3 ドローンの飛行の可否と安全対策
 - 4.3 事前調査
 - 4.4 調査計画書の作成
 - 4.5 調査の実施（打診との併用による確認を含む）
 - 4.6 熱画像による浮きの判定
 - 4.7 報告書の作成

の社会実装に向けて、法令の側からも赤外線装置を搭載したドローンによる活用の基盤が整備された。

5. 民間：建築物を対象としたドローン安全教育

建築分野におけるドローンの活用では、民間の協力と普及活動が必要不可欠である。またドローン活用の安全運用が非常に重要となる。ここで、民間団体の活

(1) 建築ドローン飛行管理責任者の責務と権限

責任	内容・安全の把握	常時立ち会う	中止の権限	飛行の強制は不可
----	----------	--------	-------	----------

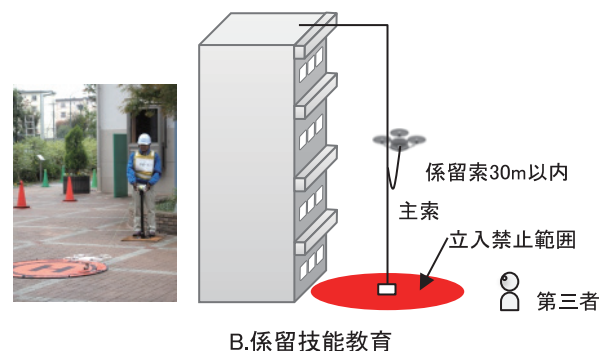
(2) 建築ドローン飛行管理責任者の職務

調整	飛行計画書	機体管理
・ドローン事業者との調整 ・近隣と調整 ・警察等 調整	・計画書の確認 ・操縦者の適性 ・機体選定の妥当性	・点検表の確認 ・飛行時間の確認 ・廃棄・使用禁止の指示

図5 JADA建築ドローン飛行管理責任者とは



A. 外壁点検・調査安全技能教育



B. 係留技能教育

図7 JADA-JUIDA連携「ドローン建築物調査安全飛行技術者コース」

動として日本建築ドローン協会(略称：JADA)の活動について紹介する。JADAではドローンの活用に関わる基礎知識、ドローン技術と安全運用、建築物の施工管理と点検・調査におけるドローンの安全活用の章から構成された「建築物へのドローン活用のための安全マニュアル」を教材として、2018年から「建築ドローン安全教育講習会」を実施している。なお、図5で示す本マニュアルで定義しているJADA「建築ドローン飛行管理責任者」は、前述の「定期報告制度における赤外線調査(無人航空機による赤外線調査を含む)による外壁調査ガイドライン」で定義されている「ドローン調査安全管理者(本ガイドラインに基づき外壁調査においてドローンを安全に管理・運用し、ドローンの操縦者へ適切な指示をする者)」に就くことが可能となっている。

さらに、図6と図7A.に示すJADAで定義している

- ドローンによる建築物の点検・調査業務
- ① 建築物の情報取得と調査計画
 - ② 建築物の調査の安全対策と管理
 - ③ 現場でのテレメトリー監視
 - ④ 建築物の変状の撮影指示
 - ⑤ 建築物の調査結果のとりまとめ

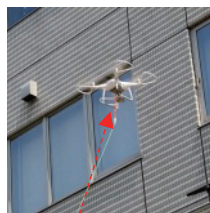


図6 建築物の点検・調査における建築ドローン飛行管理責任者の役割



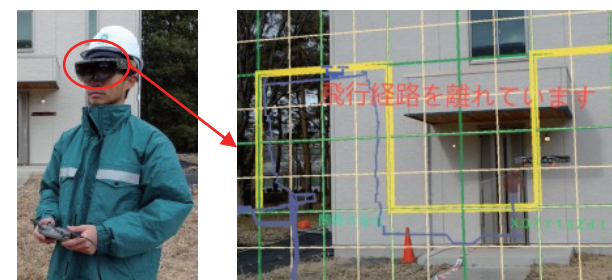
←産業用FPVマイクロドローン、及びゴーグルを装着してマイクロドローンを操縦

写真5 産業用マイクロドローンで撮影した漏水痕

建築ドローン飛行管理責任者の役割と実務を学ぶ「建築ドローン安全教育講習レベルアップ研修会(建物調査編)」をベースとして、JADAと日本UAS産業振興協議会(JUIDA)は共同で、図7B.を加えた建築物点検・調査におけるドローンの安全飛行技能者育成を目的とした教育事業を創出する検討をスタートしている。

6. 今後期待されるドローン技術

今、建築分野で独自のドローン産業が創成されようとしている。それがマイクロドローン産業である。マイクロドローンは写真5に示すような手のひらサイズの小さなドローンであり、航空法適用除外の領域となる建築狭所空間(閉空間)と言われる狭く・暗い天井裏、床下、



HoloLens装着 仮想空間上でドローン操縦状況を管理

写真6 MRとドローンによる壁面調査の安全飛行管理例

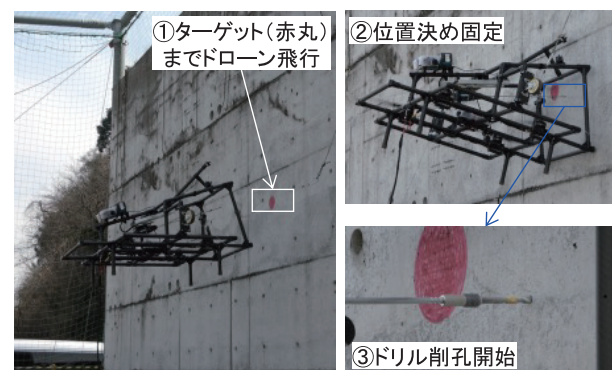


写真7 ドローンに搭載したドリルによる壁面削孔状況の例

EVシャフトなどの空間での利用が効果的である。しかし、マイクロドローンはドローン分野でも新しい領域であり環境が整っていない、これより著者等は日本建築ドローン協会内に「建築狭所空間ドローン利活用WG」を設置し、マイクロドローンに係る実態調査、ガイドラインの作成、そして操縦体験会などを実施している。

また、ドローンはフライトコントローラーという制御プログラムで自律・自動化が可能となり、カメラあるいは各種装置を搭載して、様々な技術展開が可能と考えられる。例えば、写真6に示すようにMR(複合現実)を利用したドローン利用が挙げられる。著者等はウェアラブルデバイスであるHoloLensを利用し、外壁面に対してMRによる仮想空間の飛行ルートを事前に設定し、安全なドローン飛行が可能となる技術開発を進めている。これについては外壁調査のDXや国土交通省都市局のPLATEAUなどにも関連し、デジタルツイン、メタバースなどの技術としても展開可能である。

またRC造建築物に関連する新たな技術として、建築研究所、東京理科大学、西武建設との共同研究により開発された写真7に示すドリル搭載ドローンによ



写真8 ロボットハンド搭載AIドローンにより自律して空中でボルトを掴む状況の例

る空中ドリル削孔が挙げられる。これまでのドローンは非接触式あるいは接触式による活用に留まっていたが、著者等は本技術による空中ドリル削孔を通して、アンカーの固定や中性化深さの測定などへの利用展開へと検討を行っている。さらに進んだ技術として、写真8に示すドローンに搭載されたAIカメラを利用して、対象物を検出し、その対象物を自動で捕獲するロボットハンドの開発を進めている。

このように、ドローンは無限の可能性と拡張性を持っている。しかし、それ以上にドローン技術が、様々な分野の関係者をつなぐきっかけになっていることは非常に重要な点であると考えている。

【参考文献】

- 1) 春原久徳、青山祐介/ドローンビジネス調査報告書2022、インプレス総合研究所、2022
- 2) 日本建築防災協会/国土交通省建築基準整備促進事業T3「非接触方式による外壁調査の診断手法および調査基準に関する検討」、2017-2018年度
- 3) (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構、日本建築防災協会、日本建築ドローン協会、神戸大学、日本アビオニクス、コンステック/ドローンによる安全な外壁調査を実現するシステムを開発、規制の精緻化に向けたデジタル技術の開発/ドローン等を活用した建築物の外壁の定期調査に係る技術開発、2021
- 4) 日本建築防災協会/定期報告制度における赤外線調査(無人航空機による赤外線調査を含む)による外壁調査ガイドライン、2022.3

SDGsに合致した北陸地方における フライアッシュコンクリートの 地域実装の現状と展望

Current situation and future outlook of regional implementation of
fly ash concrete in the Hokuriku district in line with SDGs

参納 千夏男 宮里 心一 鳥居 和之

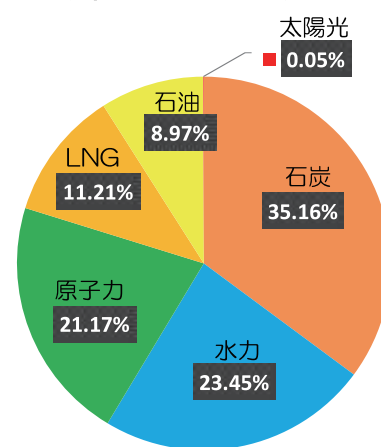
1. はじめに

北陸地方では、2011年1月に、産学官連携による委員会「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会」(委員長 金沢大学 鳥居和之名誉教授)が設立され、「コンクリート構造物の長寿命化」と「環境負荷低減」の観点から、公共土木工事へのフライアッシュ(以下、FAと略)コンクリートの適用が促進されてきた^{1, 2)}。

一方で、2015年9月には、SDGsとして、持続可能な開発目標が国連サミットで採択されたが、その中の目標12として「つくる責任 つかう責任」が掲げられ、「天然資源の持続可能な管理及び効率的な利用」や「廃棄物の発生防止、削減、再生利用及び再利用により、廃棄物の発生を大幅に削減する」ことが謳われている。

フライアッシュは、石炭火力発電所で発生する廃棄

電源構成(2020年12月時点)



発電実績(2020年1月～2021年12月)

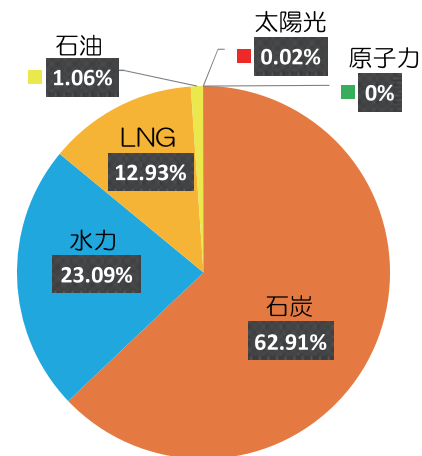


図1 北陸地方における電源構成および発電実績

物であり、近年では、カーボンニュートラルに向けた動きが活性化しており、石炭火力発電所では、石炭の燃焼により二酸化炭素が発生することから、この観点からは規模の縮小が求められているが、フライアッシュは有効に利用できる副産物でもあり、今後は、SDGsとカー

【凡例】

- 石炭火力発電所(フライアッシュ産出)
- 製鉄所(高炉スラグ産出)
- ☆ セメント工場(高炉セメント製造)

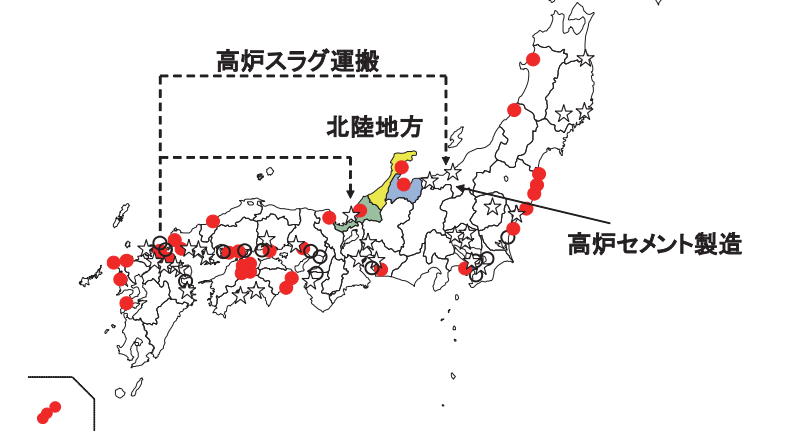


図2 全国の石炭火力発電所、製鉄所、セメント工場の位置関係

ボンニュートラルに向けた対応の両面のバランスをとる方策として、フライアッシュの利用を進めていくことが必要と考えている。図1に「北陸地方における電源構成および発電実績」を示す。

北陸地方では、水力発電所の比率が比較的高いことが特徴的であるが、2011年3月の東日本大震災の影響により、原子力発電所が停止していることから、火力発電所の稼働率が高く、また、火力発電所は、風力発電や太陽光発電により起こされる電力の負荷を調整する電源としても重要であり、バイオマスを利用することによって、二酸化炭素の排出量を削減するなどの方策をとりながら、一定量は、将来的にも稼働していくものと考えられる。

本稿では、この10数年間で、時代の要請が大きく変化してきた中で、SDGsにも合致し、進められてきた北陸地方におけるFAコンクリートの地域実装の現状を紹介し、さらには今後の展望を述べる。

2. 委員会の設立

2-1. 委員会設立の経緯

図2に示す通り、北陸地方には、公共土木工事の標準仕様である高炉セメントを用いたコンクリート(以

下、BBコンクリートと称す)の原料である高炉スラグを産出する製鉄所がないため、高炉スラグは主に九州から運搬されており、環境負荷低減の観点ばかりでなく、セメント製造のコストの面においても合理的ではなかったため、地域で産出するフライアッシュを利用したいという潜在的なニーズがあった。また、フライアッシュには、高いアルカリシリカ反応(ASR)抑制効果があることが確認されていたことから、学識経験者からは、北陸地方におけるFAコンクリートの適用が推奨されていた。しかしながら、FAコンクリートを製造できる市中の生コン工場は、ほとんどなく、また、フライアッシュセメントは、通常ダム用に製造されてきたため、汎用的には流通しておらず、FAコンクリートの利用は難しい状況にあった。さらには、公共土木工事における標準仕様はBBコンクリートであったことから、官庁に理念は理解されても、実際に適用されることは、かなり難しい状況にあった。それから、そもそもフライアッシュを産出する電力会社が、量と品質に関して安定的にフライアッシュを供給できることが大前提であったため、電力会社が、フライアッシュの供給に関して協力をする必要であった。ここで、図3に関係者間の相関図を示す。図に示すように、FAコンクリートを使うことができるようにするには、関係者が連携し、従来の仕組みに加えて、使える仕



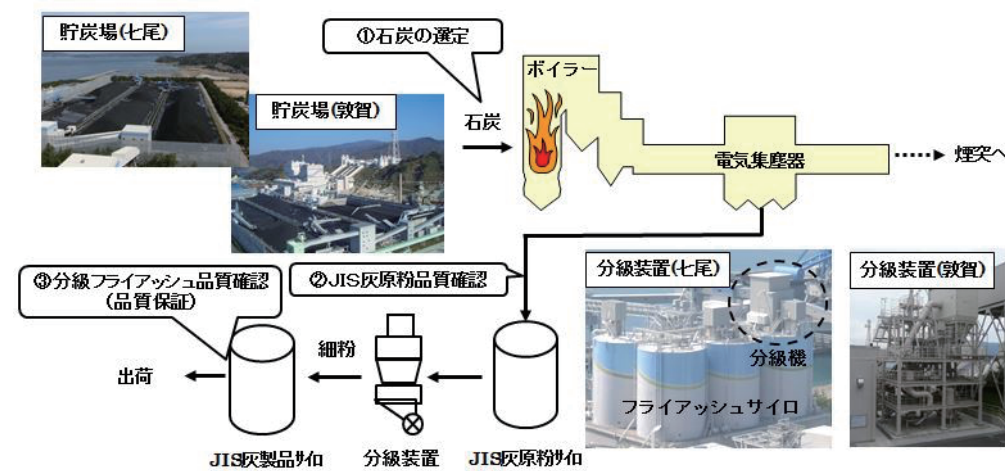
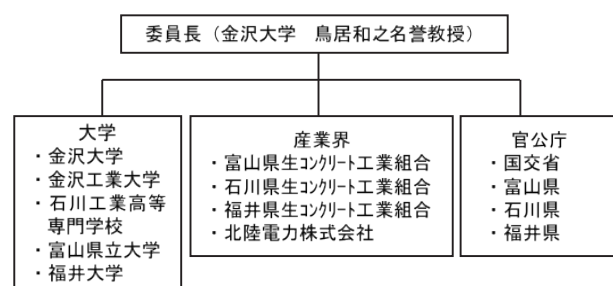
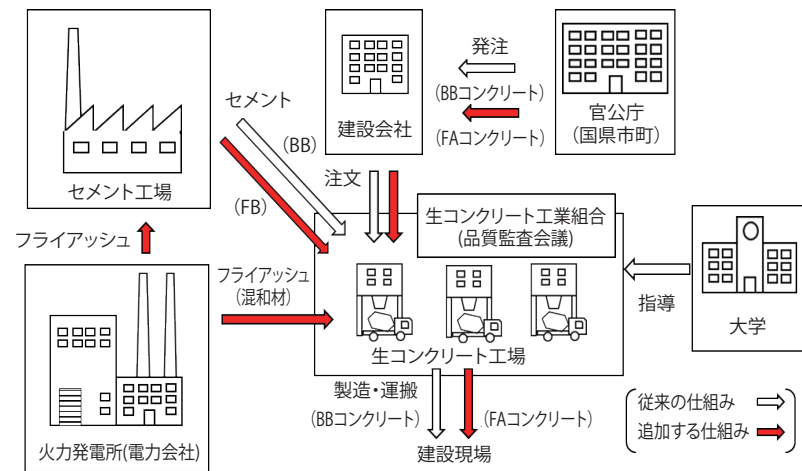
さんのう ちかお / SANNOH Chikao
北陸電力(株)
土木建築部土木技術チーム 統括課長 博士(工学)



みやざと しんいち / MIYAZATO Shinichi
金沢工業大学 工学部環境土木工学科
教授 博士(工学)



とりの かずゆき / TORII Kazuyuki
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 本社
テクニカルアドバイザー 工博



組みを追加構築する必要があると考えられた。そこで、産学官連携の検討委員会を設立し、FAコンクリートの利用促進について検討することとなった。図4に委員会の構成図を示す。第1回委員会(2011年1月24日)開催から、これまで第14回委員会(2022年1月26日)まで開催し、審議を重ねてきた。

2-2. フライアッシュの品質保証

委員会では、対象とするフライアッシュを量と品質の

比較項目		比較対象		主な測定項目
		B B	N	
	(1) 施工性向上	◎	◎	ブリーディング
	(2) 初期強度発現	◎	△	圧縮強度
	(3) 長期強度増進	○	◎	
	(4) 乾燥収縮抑制	◎	◎	乾燥収縮, 自己収縮
	(5) 発熱量抑制	☆	◎	完全断熱温度上昇量
	(6) A S R抑制	◎	☆	モルタルバー法
耐 久 性 向 上	a.透水抑制	○	○	透水量
	b.塩化物イオン浸透抑制	○	☆	塩化物イオン浸透深さ
	c.鉄筋腐食抑制	○	○	鉄筋の腐食状況
	d.凍害抵抗性	○	○	相対動弾性係数
	e.中性化抑制	☆	○	中性化深さ
	f.細孔率	○	○	細孔率

☆: 効果大 ◎: 同等もしくは効果大 ○: 同等 △: 効果小

☆：効果大 ◎：同等もしくは効果大 ○：同等 △：効果小

示す。表1に示す通り、両発電所産フライアッシュの品質は同様に確保されており、分級をすることにより、JIS規格(JIS A6201「コンクリート用フライアッシュ」)I種に近い品質となっている³⁾。

2-3. FAコンクリートの耐久性検証

委員会では、北陸地方の代表的な骨材を用いた試験を実際の生コン工場で実施し、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを15%置換したコンクリート(以下、N+Fと称す)の配合を検討した。さらに、N+Fの比較として、実際に出荷されている高炉セメントB種を使用したコンクリート(以下、BBと称す)と普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート(以下、Nと称す)の配合を大学の試験室にて製造し、各種比較試験を実施した。

年度	国交省	福島県	石川県	富山県	累計 (千道)
2011 (H23)	0	0	0	0	0
2012 (H24)	0	0	4	0	4
2013 (H25)	0	0	4	1	9
2014 (H26)	0	0	9	0	24
2015 (H27)	0	0	12	1	60
2016 (H28)	0	0	13	2	91
2017 (H29)	0	0	18	3	125
2018 (H30)	0	0	20	4	161
2019 (R1)	0	0	17	5	196
2020 (R2)	0	0	29	6	237
2021 (R3)	0	0	22	7	281

図6 フライアッシュコンクリートの施工実績の推移

品質比較試験結果の一覧表を表2に示す。表に示す通り、N+F配合の試験結果は良好であり、学の関与の元、FAコンクリートの品質を検証し、結果の客観性と信頼性を保証することができた。

2-4. モデル工事による施工実績の創成

委員会では、FAコンクリートの利用方策として、施工実績を積むことにより、標準化を指向していくこととし、官公庁での協力により、公共工事でモデル工事（試行工事）が進められた。図6にモデル工事によるFAコンクリートの施工実績の推移を示す。図6に示す通り、北陸3県（富山、石川、福井県）において、近年では、年間4万m³以上のFAコンクリートが公共工事で施工されている。モデル工事は、国、県で指定して発注し、

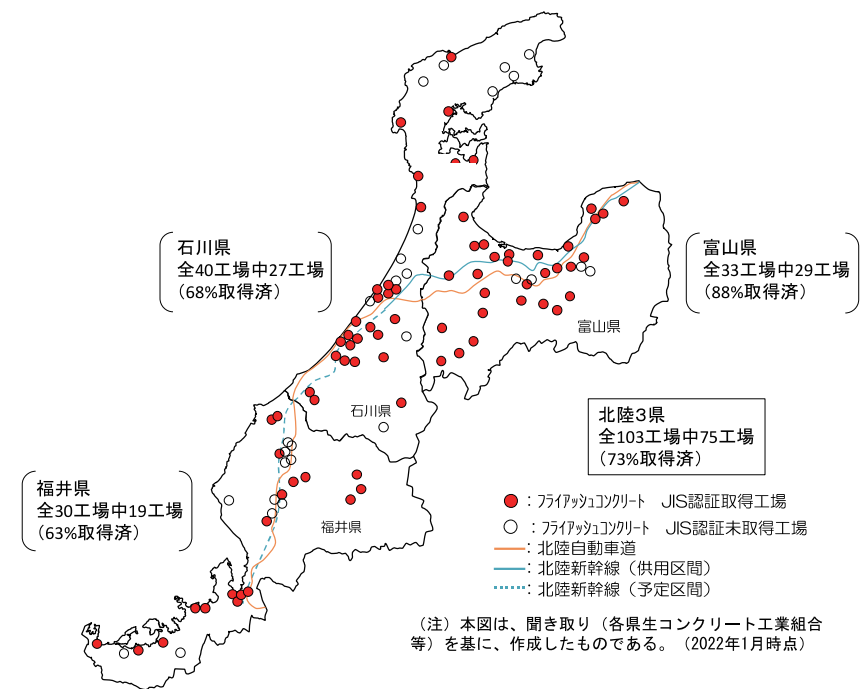


図7 FAコンクリートのJIS取得状況図

その施工地点でFAコンクリートの使用が可能であり、施工者が価格の面や品質面で了承した場合に実施されるものである。公共工事では、標準仕様のBBコンクリートの価格で積算されるため、FAコンクリートの市場価格がBBコンクリートの価格よりも高い場合には、モデル工事が成立せず、BBコンクリートで施工される場合があるが、石川県では、地区のJIS取得状況や価格面で問題がない七尾地区では、2014年度から、南加賀地区では、2018年度からモデル地区に指定し、当地区における工事は、原則的に全てFAコンクリートを使用することとしている。さらに、富山県の富山地区（富山市、上市町、立山町）では、地区の生コンクリート協同組合がFAコンクリートの価格をBBコンクリートの価格と同額にすることを決めたことを受けて、2021年7月に関係者による協議会「富山地区におけるFAコンクリート利用推進協議会」（委員長 富山県立大学 伊藤始教授）を設立し、国、県、市町で、当地区において、FAコンクリートの利用を推進していくことの合意形成がなされ、利用が拡大している。当協議会は、北陸地方における委員会の流れを踏まえて、地区で設立されたものである。このことにより、石川県七尾地区、南加賀地区、富山県富山地区では、実質的にFAコン

クリートが標準使用されていることとなっている。

2-5. FAコンクリートのJIS取得促進

図7に、北陸地方における生コン工場のFAコンクリートのJIS取得状況を示す。北陸地方では、前述したように、関係者による委員会を設立し、FAコンクリートの需要を創出してきた状況を見極めて、徐々にJISを取得するプラントが増加し、現在では、約7割の生コン工場がFAコンクリートのJISを取得するまでになった。このことにより、汎用的に使用できなかったFAコンクリートが広い地域で使えるようになったことから、地域全域での標準化の準備が整ってきたと言える。

3. フライアッシュコンクリートの施工事例

3-1. 公共工事

写真1～4に、公共工事でのFAコンクリートの施工事例を示す。写真に示す通り、堰堤、函渠、橋台、護岸ブロック等、構造物の種類を問わず、一般構造物全般にFAコンクリートが使用されている。委員会では、毎年4件程度の現場の施工状況調査を実施し、製造



写真1 堰堤の打設状況



写真2 函渠の底板打設状況



写真3 橋台の打設状況



写真4 護岸ブロック施工状況(脱枠後)



写真5 PC桁の製造状況

時と荷卸時のスランプ、空気量の変化や長期強度(91日材齢)のデータを取得し、さらには、施工者の感想を聞き取りし、FAコンクリートが良好に施工されていることを確認している。

また、北陸地方では、PC橋梁へのFAコンクリートの適用も進められている。写真5にFAコンクリートを使用したプレテンションPC桁の製造状況を示す。

3-2. 北陸新幹線工事

これまで述べてきたように、北陸地方では、FAコンクリートの公共工事への適用が進められてきた中で、北陸新幹線工事（金沢～敦賀延伸工事）が着手され、施工者である鉄道運輸機構（JR-TT）では、コンクリートの配合条件に従来の普通ポルトランドセメント、高炉セメントを使用したコンクリートに加えて、FAコンクリートを



写真6 新幹線橋梁の適用事例



写真7 新幹線スラブ基盤の適用事例



写真8 LNGタンクの全景

追記した。これは、ASR抑制対策としての意図が大きいが、実際の施工では、ブリーディング抑制対策ともなり、FAコンクリートが、構造物の耐久性向上に大きく貢献している。**写真6, 7**に橋梁、スラブ基盤での適用事例を示す。橋梁では、長尺の場所打ち杭でもFAコンクリートが適用され、ブリーディングが抑制された。また、材料分離が少なく、コンクリート表面の色むらが目立たず、仕上がりが良好であった。スラブ基盤では、沈降ひび割れや乾燥収縮ひび割れの発生を効果的に抑制することができた。

事や鉄塔基礎工事等、積極的にFAコンクリートの導入が図られた。**写真8**にLNG発電所建設工事における施工事例を示す。さらには、電柱にも、FAコンクリートの適用が図られた。電柱のコンクリートは高強度が必要であり、セメント量が多い配合であるため、アルカリ量が基本的に多く、ASRによるひび割れが発生する場合があることが明らかとなった。そのため、北陸地方の電柱では、ASR抑制対策として、2016年度から全面的にFAコンクリートを標準仕様としている。

4. 今後の展望

3-3. 電力関係工事

フライアッシュを産出する北陸電力では、大型建設工

今後の展望としては、近年SDGsの実現に向けて、

社会の動きが加速していることから、地域で持続可能な廃棄物の利用方策として、北陸地方におけるFAコンクリートの利用は、今後、ますます重要なテーマとなると考えられる。ここまで述べてきたように、北陸地方では、産学官連携により、FAコンクリートの利用が促進され、一部の地域では、実質的に標準化されており、特に、富山県富山市を中心とした富山地区においては、国の工事に大幅に利用が拡大したことから、今後、富山県内全域にFAコンクリートが拡がることが想定される。さらに、石川県では、工事量が多い金沢市を中心とした金沢地区生コンクリート協同組合が、すでにBBコンクリートとFAコンクリートとの価格差を解消しており、モデル工事の実績を堅調に伸ばしていることから、今後、実質的な標準化になっていくことが想定される。また、福井県は、FAコンクリートの利用が伸び悩んではいるものの、富山県、石川県の動向が波及していくことが想定される。

なお、フライアッシュの供給見込みとしては、北陸3県の公共土木工事の毎年のコンクリート使用量をおおよそ50万m³とすると、それに対するフライアッシュの必要量は、2.5万tであり、現在、北陸電力の石炭火力発電所では、年間約50万tのフライアッシュを産出しており、今後、カーボンニュートラルの対応により発電所の稼働が縮小したとしても、十分に供給できると考えている。

本稿の情報が、今後の全国でのFAコンクリートの有効利用を進める上で、一助となれば幸いと考えている。

【参考文献】

- 1) 鳥居和之他／骨材資源の活用を目指したアルカリシリカ反応抑制対策の提案、コンクリート工学, Vol.48, No.1, pp.44～47, 2010
- 2) 鳥居和之他／今、何故、北陸地方でフライアッシュコンクリートなのか、セメント・コンクリート, No.808, pp.18～23, 2014
- 3) 参納千夏男他／北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの利活用を目的としたフライアッシュの品質保証と地域実装、コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.233～238, 2019

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。

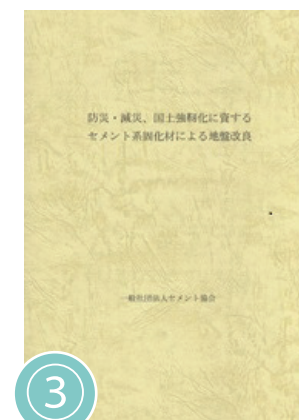
- ①東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書
- ②大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
- ③防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- ④セメント系固化材の拡がる用途と役割



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

クリンカー化合物，水和物の組成，密度など

ーエピローグにかえてー

Composition and density of clinker constituents and cement hydrates
(by TAKAHASHI Shigeru)

高橋 茂

1. はじめに

月刊「セメント・コンクリート」のシリーズ「セメントコンクリートを「科学」する」は2017年10月号のプロローグに始まり，2022年9月の本号をもって終了する。およそ5年の間に本号を含め，合計41回，掲載された。

第1回目のプロローグの最後に「コンクリートは建築物も含め社会基盤を支える建設物において重要な建設材料であることから，今後もモルタル，コンクリートについて種々の「材料科学」的な検討ならびに研究が行われることとなる。このようなことから，編集委員会はセメントおよびセメント硬化体を「科学」するという視点のシリーズは重要であると判断し，シリーズ名を「セメントコンクリートの科学」として新たなシリーズを組むこととした。具体的なタイトルなど詳細は今後の検討となるが，重複する内容は整理し，新たな情報を加える予定である。このシリーズが終了し，一冊の単行本と発刊され，それがセメントコンクリートの教科書となることを期待したい。」と記されている。

本稿は，セメントやセメント硬化体の研究を行う上で基本となるクリンカー化合物と水和物の組成，密度など

のデータを取りまとめた。本来であれば，シリーズの始めの方で取り上げられる内容であったが，エピローグにかえて取りまとめた。

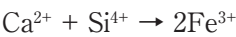
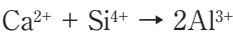
2. クリンカー化合物

クリンカーは焼成物であり，構成する化合物は固溶体であるため「クリンカー鉱物」と表記されることが多い。本稿では4つの主なクリンカー鉱物の呼称はエーライト，ビーライト，アルミネート相，フェライト相とした。クリンカーには前記の鉱物以外に種々の少量の化合物が含まれているが，これらについては化合物名を用いた。**表1**にクリンカーを構成する鉱物または化合物の化学式および密度の一覧表を示す。クリンカーの各鉱物に関しては出典を示し，複数の値を示した。

クリンカーの化学組成に関する論文の中で，有名な論文といえば，1968年に東京で開催されたセメント化学国際会議で報告された山口，高木の論文¹⁾が挙げられる。非常に精力的な内容となっている。**表2**²⁾にこの論文で報告されている普通ボルトランドセメント用クリンカーの各クリンカー鉱物の化学組成(範囲)を示す。カルシウムシリケートのエーライトおよびビーライトについてみれば，アルミニウム，鉄，マグネシウム，他の成分が固溶している。エーライトについては，アルミニウム，鉄，マグネシウムの固溶量により結晶系が変化することが研究されている。アルミネート相とフェライト相はクリンカーの焼成過程では，冷却過程で液相から析出し，アルミニウムと鉄の他の成分が固溶する。

各クリンカー鉱物への不純物の置換固溶形態を一義的に記述することは困難であると言えるが，例えばエーライトの場合では，アルミニウムと鉄の置換固溶の形態は，次のように考えられている³⁾。

<置換形態1>



<置換形態2>

表1 クリンカー鉱物および化合物の密度

鉱物名または化合物名，化学式	密度	出典	備考
エーライト (3CaO・SiO ₂)	3.17	<1>	
	3.15	<2>	*1
	3.14	<3>	
	3.18	<4>	
ビーライト (2CaO・SiO ₂)	3.28	<1>	
	3.30	<2>	*1
	3.28	<3>	β -C2S
	3.31	<4>	
アルミネート相 (3CaO・Al ₂ O ₃)	3.03	<1>	
	3.06	<2>	*1
	3.04	<3>	
	3.03	<4>	
フェライト相 (4CaO・Al ₂ O ₃ ・Fe ₂ O ₃)	3.73	<1>	
	3.57	<2>	*1
	3.77	<3>	*2
	3.73	<4>	
CaO	3.35	<4>	
MgO	3.58	<3>	
	3.58	<4>	
アルカリ硫酸塩	2.66	<4>	*3

【備考】
(*1) 典型的な値
(*2) C4AFは下記の文献による。
R.H.Bogue / The Chemistry of Portland Cement, Reinhold Pub. Co., p.387, 1955
(*3) ASTM C 1356Mではアルカリ硫酸塩として示されている。試薬メーカーが公開しているSDS(製品安全データ)ではNa₂SO₄は2.68, K₂SO₄は2.68と示されている。

【出典】
<1> (社)セメント協会／セメント硬化体研究委員会報告書, p.19, 2001年5月
下記の文献を引用している。
セメントコンクリートの反応モデル解析に関するシンポジウム 論文集, pp.116～117, 1996年
<2> H.F.W.Taylor / Cement Chemistry (ACADEMIC PRESS), p.220, (ISBN:0-12-683900-X)
<3> 藤井欽二郎／結合水の状態と性質(副題：セメント硬化体の結合水量の推算を含めて), セメント・コンクリート, No.469, pp.2～9, 1986年3月
(注) オリジナルは下記の文献。
F.M.Lea / The Chemistry of Cement and Concrete (3rd.Ed.), Edward Arnold Ltd., p.270, 1970年
<4> (社)セメント協会／セメント化学専門委員会報告 C-12(測定方法の違いによるクリンカー鉱物量の差異の検討), p.53の表-34, 2008年2月
(注) オリジナルは下記の文献。
ASTM C 1356M-1996 : Standard Test Method for Quantitative Determination of Phases in Portland Cement Clinker by Microscopical Point-Count Procedure

表2 普通ボルトランドセメントクリンカー(3種)の鉱物の化学分析値

鉱物	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
エーライト	24.10～ 25.13	1.17～ 1.30	0.61～ 0.66	71.46～ 72.76	1.10～ 1.40	0.00～ 0.05	0.03～ 0.09	0.00～ 0.18
ビーライト	31.62～ 33.17	1.61～ 2.68	0.78～ 1.25	62.38～ 63.86	0.60～ 0.79	0.05～ 0.27	0.36～ 0.46	0.32～ 0.49
アルミネート相	4.6～ 5.8	27.2～ 28.7	5.3～ 11.4	53.0～ 54.8	2.2～ 2.2	0.0～ 0.0	1.5～ 2.0	0.1～ 1.8
フェライト相	3.0～ 4.3	24.3～ 25.1	20.0～ 22.2	44.5～ 45.5	4.2～ 4.3	0.0～ 0.0	0.3～ 0.6	0.3～ 0.6

(補足説明)
1. オリジナルの文献は参考文献1)。参考文献2)は参考文献1)のデータを転載している。
2. 文献1)では，エーライトおよびビーライトは普通が4種，早強が1種，中庸熱が2種，白色が2種のクリンカーの分析値が，アルミネート相およびフェライト相は普通が3種，中庸熱が1種のクリンカーの分析値が報告されている。4鉱物の結果が示されている普通用の3種の結果を示した。



MakiとTakahashiは異なる焼成条件で焼成した試製クリンカー中のエーライトをエネルギー分散型X線分析(EDS)で点分析により組成分析を行い，その分析結果を報告している⁴⁾。それらの分析値を用い，置換形態1と置換形態2でC/Sを求めると，置換形態1では平均で2.88(範囲：2.80～2.99)，置換形態2では平均で2.81(範囲：2.68～2.92)となり，置換形態1の方がC/Sが3に近い結果となっている⁵⁾。

また，Makiら⁶⁾はWoermannら⁷⁾の文献を引用し，エーライト中のMgO含有量とAl₂O₃およびFe₂O₃含有量によりエーライトの常温安定相が異なることを報告している(図1)。

ビーライトも不純物が固溶することにより，常温で β 相となっている。不純物を含まない，純粋な2CaO・SiO₂は常温では γ 相となり，水和活性をもたない。

アルミネート相はナトリウムの固溶量によって常温安定性が異なる。一般式のNa_{2x}Ca_{3-x}Al₂O₆において，xが0.10以内は立法晶であるが，0.10～0.16の範囲では立方晶と斜方晶の混合，0.16～0.20では斜方晶となる⁸⁾。

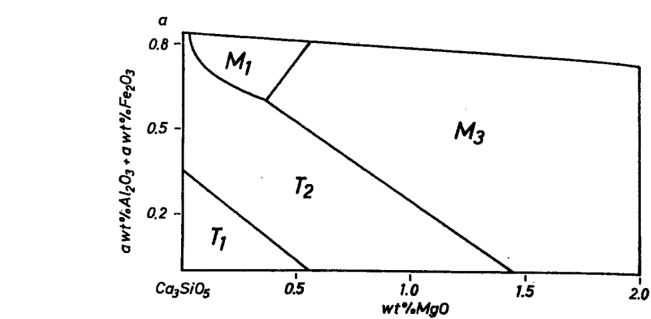


図1 エーライトのMgO、Al₂O₃およびFe₂O₃の固溶量による結晶相の変化

・3CaO・SiO₂組成の原料に外割で不純物を添加して焼成して得られたエーライトの結晶相。なお、本図はAl₂O₃: Fe₂O₃=1:1(質量比)。
・本図は(一社)セメント協会 / セメント・コンクリート化学解説付きデータ集, p.184~185(9.1.2 クリンカー構成化合物の合成の(1)エーライト)でも引用されている。

表3 二水石こう、半水石こうおよび無水石こうの密度

化学式	密度 (kg/m ³)	出典
CaSO ₄ ・2H ₂ O	2320	表1の<1>
	2320	表1の<3>
	2315	<1>
β型 CaSO ₄ ・0.5H ₂ O	2619~2637	<1>
II型 CaSO ₄	2930~2980	<1>

【出典】
<1> (社)セメント協会：C & C エンサイクロペディア, pp.53~56, 1996年7月(内田清彦, 吉田秀司：セメント用石こう<副産石こうの種類と製造過程>

フェライト相の組成式はCa₂(Al_xFe_{1-x})₂O₅で表わせ、C4AFはx=0.5の場合である。x=0.285の時の密度は3.862(kg/m³)、0.36の時は3.812(kg/m³)、0.50の時は3.732(kg/m³)であることが示されている⁹⁾。**表1**では複数の値を示したが、便宜的には3.73(kg/m³)と考えてよいと考えられる。

表3に石こうの密度を示す。セメントの製造には天然または副産の二水石こう、天然の無水石こうが使用される。半水石こうは二水石こうが、セメントの仕上げ粉砕過程で脱水されて生成したものである¹⁰⁾。

3. 水和物

種々の水和物の中で、C-S-Hの組成は範囲が広いことが知られている。例えば、内川の文献¹¹⁾では、「平均的には、常温水和ではC/S=1.21~1.96, H/S≒1.5(オリジナルは文献¹²⁾)、ポルトランドセメントの常温水和では(C+M)/S=1.25~2.5, H/S≒1.5(オリジナルは文献¹³⁾)と考えられている」と述べられている。後藤は文献¹⁴⁾を引用し、本シリーズ(セメントコンクリートを「科学」する)の「C-S-H」¹⁵⁾で乾燥条件によるH/Cと密度の変化に関し

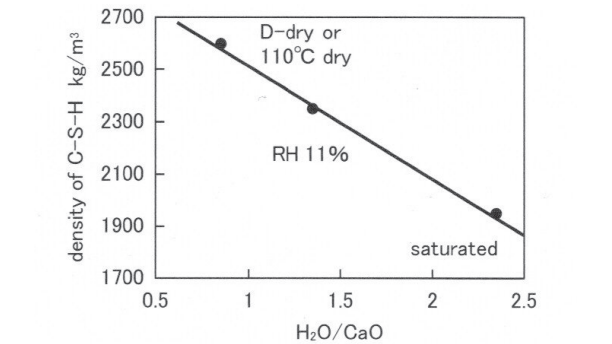
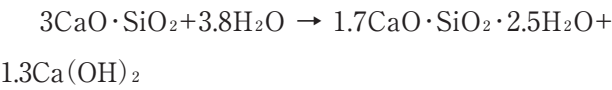


図2 C-S-Hの乾燥条件によるH₂O/CaO比と密度の関係

述べている。**図2**にその関係を示す。Saturated(飽水状態または空隙の湿度が100%に近い状態)では密度は1900~2000(kg/m³)、相対湿度11%では2300~2400(kg/m³)である。C-S-Hの周辺の硬化体中の空隙の水蒸気圧(あえて、相対湿度と表現しなかったのは、空隙径に飽和蒸気圧が変化するためである)が下がると、C-S-Hの層間の水が抜け、密度も変化すると考えられている。藤井¹⁶⁾はC3Sの完全水和物の密度2150kg/m³をもとに下記の反応式から推定した値として2110kg/m³を採用している。



H/Cは**図2**で示したように硬化体中の空隙の水蒸気圧により変化すると考えられ、一義的に決められない。なお、内川¹¹⁾が述べているH/Sが、藤井が述べているH/Sとかなり異なるのは、試料の乾燥条件が異なる可

表4 水和物の組成と密度

鉱物名または化合物名	化学式	密度 (kg/m ³)	出典	状態, 備考
エトリンガイト	3CaO・Al ₂ O ₃ ・3CaSO ₄ ・32H ₂ O	1760 1770	<1> <2>	オリジナルの文献：<5> Saturated
モノサルフェート水和物	3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaSO ₄ ・14H ₂ O	1900	<2>	Saturated
	3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaSO ₄ ・12H ₂ O	1950	<1>	オリジナルの文献：<5>
		2010	<2>	RH11%
		1990	<3>	
カルシウムアルミネート水和物	3CaO・Al ₂ O ₃ ・Ca(OH) ₂ ・18H ₂ O	1800	<1>	オリジナルの文献：<5>
		1800	<4>	オリジナルの文献：<6>
	3CaO・Al ₂ O ₃ ・Ca(OH) ₂ ・12H ₂ O	2020	<1>	
		2046	<4>	オリジナルの文献：<7>
ハイドロガーネット	3CaO・Al ₂ O ₃ ・6H ₂ O	2520	<1>	オリジナルの文献：<5>
カルシウムカーボアルミネート水和物	3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaCO ₃ ・11H ₂ O	2170	<4>	オリジナルの文献：<7>
カルシウムヘミカーボアルミネート水和物	3CaO・Al ₂ O ₃ ・1/2CaCO ₃ ・1/2Ca(OH) ₂ ・11H ₂ O	1984	<4>	オリジナルの文献：<7>
フリーデル氏塩	(α相) 3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaCl ₂ ・10H ₂ O	2065	<4>	オリジナルの文献：<8>
	(β相) 3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaCl ₂ ・10H ₂ O	2090	<4>	オリジナルの文献：<8>
水酸化カルシウム	Ca(OH) ₂	2240	<2>	
水酸化マグネシウム	Mg(OH) ₂	2400	<3>	

<1> (社)セメント協会／セメント硬化体研究委員会報告書, p.19, 2001年5月
<2> H.F.W.Taylor / Cement Chemistry (ACADEMIC PRESS), p.220, (ISBN:0-12-683900-X)
<3> 藤井欽二郎／結合水の状態と性質(副題：セメント硬化体の結合水量の推算を含めて), セメント・コンクリート, No.469, pp.2~9, 1986年3月(注)オリジナルは下記の文献。
F.M.Lea / The Chemistry of Cement and Concrete(3rd.Ed.), Edward Arnold Ltd., p.270, 1970年
<4> H.F.W.Taylor / Cement Chemistry (ACADEMIC PRESS) (ISBN:0-12-683900-X)の6.1.2で述べられている内容。
<5> セメントコンクリートの反応モデル解析に関するシンポジウム 論文集, pp.116~117, 1996年
<6> E.Aruja / Acta.Cryst., Vol.14, p.1213
<7> R.Fischer and H.-J.Kuzel / Cement & Concrete Research, Vol.12, p.517, 1982年
<8> J.Kuzel / Neues Jahrb. Mineral Monatsh, p.193, 1966年

能性がある。上記の事情が、セメントの水和の研究においては、大きな障害となっていると言える。

表4にカルシウムシリケート水和物(C-S-H)を除いた水和物の化学式および密度の一覧表を示す。エトリンガイトやモノサルフェート水和物に代表されるカルシウムアルミネート系水和物は空隙の水蒸気圧の影響による結晶水量の変化が小さく、組成も変化することがほとんどない。**表4**の出典から分かるように、これらのデータは古くに報告されたものであるが、通常の温度、湿度条件では、これらの値を用いても問題がないと考えられる。

4. エピローグにかえて

各クリンカー鉱物は2.で述べたように固溶体であるため、組成は一定ではなく、密度は文献によって値がや

や異なるものの、それらの値の差は小さい。クリンカーの各鉱物の組成はBogueの式^{脚注)}に代表されるクリンカーの鉱物組成を計算において重要である(詳細は文献17)を参照されたい)。

水和物の組成と密度は、ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H。最近、アルミニウムの置換を考慮したC-A-S-Hについても多くの報告がなされている)に関しては、3.で述べたように、それらの値には幅があり、セメントの水和の研究においては、現在でも「やっかい」な課題といえる。

クリンカーと水和物の組成と密度は反応系と生成系の

脚注)Bogueの式はエーライトを3CaO・SiO₂、ビーライトを2CaO・SiO₂、アルミネート相を3CaO・Al₂O₃、フェライト相を4CaO・Al₂O₃・Fe₂O₃とし、各鉱物への不純物を考慮しない組成が前提の数式である。

体積変化を議論するさいに必要な基本的な値である。

この体積変化は硬化体の空隙量の変化とも言え、コンクリートの各種物性の検討において重要である。そういう意味で、1.で述べたように、シリーズの始めの方で取り上げられる内容であったかもしれないが、「セメントコンクリートを「科学」する」さいの基本的なデータとしてエピソードにかえてまとめた。

なお、本稿で引用した文献は、大変に古いものが多いが、クリンカー鉱物や水和物の組成や密度は基本的なデータであるが故である。それらのデータの中で、C-S-H (C-A-S-H)に関しては、研究の目的によっては、今後もその値の妥当性が議論される可能性があるといえる。

本シリーズのプロローグ(セメント・コンクリート, No.848, 2017年10月)では、セメント・コンクリート誌の過去のシリーズの名称と連載期間(1980年1月号の「コンクリート技術者のためのセメント化学雑論」に始まり、2011年10月号の「C3クリップボード(コンクリート化学編)で終了。)がリストアップされている。本シリーズも含め、その内容は多岐にわたり、多くの情報が示されている。

本シリーズがそれらのシリーズに加わり、「セメントコンクリートを科学する」ことに資することに期待したい。

[たかはし しげる／元(一社)セメント協会 博士(工学)]

今月号をもちまして本シリーズを終了いたします。これまでご寄稿いただいた執筆の皆様をはじめ、読者の皆様、また関係者の皆様に心よりお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) G.Yamaguchi and S.Takagi / The Analysis of Portland Cement Clinker, Proceedings of the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement (Tokyo, 1968), Vol.1, pp.181~218, 1969年
- 2) (社)セメント協会／セメント化学専門委員会報告 C-12(測定方法の違いによるクリンカー鉱物量の差異の検討), p.18~19の表-2.5, 2008年2月
- 3) H.F.W.Taylor / Cement Chemistry (ACADEMIC PRESS), p.8の1.2.2(Tricalcium silicate solid solutions), (ISBN:0-12-683900-X)
- 4) I.Maki, S.Takahashi / Redistribution of Impurity During Recrystallization of Alite in Portland Cement Clinker, Cement & Concrete Research, Vol.14, pp.413~418, 1984年
- 5) (一社)セメント協会／セメント・コンクリート化学 解説付きデータ集, p.179, 2016年6月
- 6) I.Maki, H.Haba, S.Takahashi / EFFECT OF RECRYSTALLIZATION ON THE CHARACTERS OF ALITE IN PORTLAND CEMENT CLINKER, Cement & Concrete Research, Vol.13, pp.689~695, 1983年
- 7) E.Woermann, W.Eysel, Th.Hahn / Chemical and structural of solid solution of tricalcium silicate, ZEMENT-KALK-GIPS, Vol.22, pp.414~422, 1969年
- 8) H.F.W.Taylor / Cement Chemistry (ACADEMIC PRESS), p.24のTable 1.6, (ISBN:0-12-683900-X)
- 9) H.F.W.Taylor / Cement Chemistry (ACADEMIC PRESS), p.29のTable 1.7, (ISBN:0-12-683900-X)
- 10) (社)セメント協会／C & C エンサイクロペディア, pp.53~56, 1996年7月(内田清彦, 吉田秀司／セメント用石こう<副産石こうの種類と製造過程>
- 11) セメント協会／コンクリート技術者のためのセメント化学雑論, pp.51~56, 1985年5月(増補)(内川浩:「セメントゲル」ってなあに)
- 12) J.A.Gard, K.Mohan, H.F.W.Taylor and G.Gliff / Journal American Ceramic Society (巻, 頁等の記載はなし)
- 13) E.E.Lachowski, K.Mohan, H.F.W.Taylor and A.E.Moore / Journal American Ceramic Society (巻, 頁等の記載はなし)
- 14) H.F.W.Taylor / Chemistry of Cement Hydration, 8th International Congress of Chemistry of Cement, Vol. I, pp.82-110, 1986年
- 15) 後藤誠史 / C-S-H (シリーズ:セメントコンクリートを「科学」する), No.889, セメント・コンクリート, 2021年3月
- 16) 藤井欽二郎 / 結合水の状態と性質(副題:セメント硬化体の結合水量の推算を含めて), セメント・コンクリート, No.469, pp.2~9, 1986年3月
- 17) (社)セメント協会／セメント化学専門委員会報告 C-12(測定方法の違いによるクリンカー鉱物量の差異の検討)の第2章(計算による方法), pp.8~39, 2008年2月

お知らせ

複写についてのお願い

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

EVENT GUIDE イベントガイド

講習会「複合構造におけるコンクリートの収縮・クリープの影響に関する最新動向」

開催日: 2022年9月21日(水)
会場: 東京工業大学レクチャーシアター(東京都目黒区)とオンライン(Zoom)
参加費: 会員5,000円, 非会員7,000円, 学生会員4,000円
定員: 会場100名, オンライン150名 ※申し込み先着順
申込方法: 土木学会 HPより申込み
問合せ: 土木学会 研究事業課(担当: 岡崎)
メール: okazaki@jsce.or.jp

第6回 技術基準の国際化セミナー「道路・橋梁アセットマネジメントの海外展開について～ラオス国の事例～」

開催日: 2022年9月27日(火)
会場: JICA 地球ひろば(東京都新宿区)とオンライン(Zoom)
参加費: 無料
定員: 会場30名, オンライン300名 ※申し込み先着順
申込方法: 土木学会 HPより申込み
問合せ: 土木学会 国際センター(担当: 澁谷・荒井)
電話: 03-3355-3452

構造工学における有限要素法の基礎と応用講習会

開催日: 2022年10月4日(火)~5日(水)
会場: ライブ配信(Zoom)

参加費: 会員6,000円, 非会員8,000円, 学生無料
定員: 200名※申し込み先着順
申込方法: 土木学会 HPより申込み
問合せ: 土木学会 構造工学委員会 継続教育小委員会(事務局担当: 岡崎)
メール: okazaki@jsce.or.jp

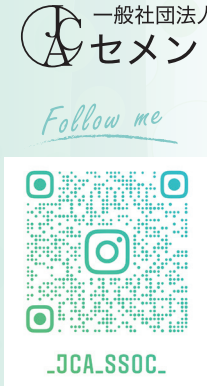
講習会「建築物の耐久設計支援ガイドブック」

開催日: 2022年10月12日(水)
会場: 建築会館ホール(東京都港区)とリアルタイム動画配信(クラストリーム)
参加費: 会員9,000円, 後援団体会員11,000円, 会員外14,000円
定員: 会場100名※申し込み先着順
申込方法: 日本建築学会 HPより申込み
問合せ: 日本建築学会 講習会「耐久設計支援ガイドブック」係
電話: 03-3456-2057

第35回疲労シンポジウム

開催日: 2022年10月20日(木)~21日(金)
会場: 沖縄北部雇用能力開発総合センター(沖縄県名護市)
参加費: 主催・協賛学協会会員8,000円(昼食込), 非会員10,000円(昼食込), 学生会員2,000円, 学生非会員3,000円
申込方法: 日本材料学会疲労部門委員会 HPより申込み
問合せ: 日本材料学会
電話: 075-761-5321

お知らせ



一般社団法人セメント協会 公式インスタグラム

ひたむきに…黙々と…。

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。

そんな「コンクリートの底力」を紹介しております。

ぜひご覧ください。

アカウント名…_jca_ssoc_
https://www.instagram.com/_jca_ssoc_/

お知らせ

J-STAGEで、セメント・コンクリート論文集を無償公開しています

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

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載号
講習会「複合構造におけるコンクリートの収縮・クリープの影響に関する最新動向」	2022年 9月21日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 (担当：岡崎)	okazaki@jsce.or.jp	本号 p.61
第6回 技術基準の国際化セミナー「道路・橋梁アセットマネジメントの 海外展開について～ラオス国の事例～」	2022年 9月27日	東京都 および オンライン	土木学会 国際センター (担当：澁谷・荒井)	03-3355-3452	本号 p.61
コンクリートに用いる粉体系材料の環境安全品質に関する研究委員会報告会	2022年 9月29日	オンライン	日本コンクリート工学会 「粉体系材料報告会」係 (担当：岡田)	03-3263-7204	8月号 p.58
アンボンドプレストレストコンクリート構造部材の曲げ挙動に関する研究委員会報告会	2022年 9月30日	オンライン	日本コンクリート工学会 「アンボンドPC報告会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	8月号 p.58
構造工学における有限要素法の基礎と応用講習会	2022年 10月4日～ 10月5日	オンライン	土木学会 構造工学委員会 継続教育小委員会 (事務局担当：岡崎)	okazaki@jsce.or.jp	本号 p.61
構造ヘルスモニタリングと目視点検の融合」に関する講習会	2022年 10月6日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 (担当：岡崎)	okazaki@jsce.or.jp	7月号 p.60
第8回材料WEEK	2022年 10月11日～ 10月14日	京都市 および オンライン	日本材料学会	075-761-5321	8月号 p.58
講習会「建築物の耐久設計支援ガイドブック」	2022年 10月12日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会 「耐久設計支援ガイドブック」係	03-3456-2057	本号 p.61
第40回初心者のための疲労設計講習会	2022年 10月12日～ 10月13日	京都市 および オンライン	日本材料学会	075-761-5321	6月号 p.57
第22回 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム	2022年 10月13日～ 10月14日	京都市 および オンライン	日本材料学会「コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	4月号 p.37
第35回疲労シンポジウム	2022年 10月20日～ 10月21日	沖縄県	日本材料学会	075-761-5321	本号 p.61

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

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

セミナー・講座名	実施日	申込期間	会場名	定員	空き状況	参加費	土木学会CPD(単位)
コンクリート舗装の基礎知識(約33分)	2021年3月1日(月)9:00～ 2022年9月30日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2022年9月30日(金)	WEB	上限なし	○	無料	0.7
セメント系固化材の基礎知識(約45分)	2021年3月1日(月)9:00～ 2022年9月30日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2022年9月30日(金)	WEB	上限なし	○	無料	0.9
セメント系補修・補強材料の基礎知識(約29分)	2021年3月1日(月)9:00～ 2022年9月30日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2022年9月30日(金)	WEB	上限なし	○	無料	0.5
地盤改良に関する試験について(約31分)	2021年12月24日(月)9:00～ 2023年3月31日(金)17:00	2021年3月1日(月)～ 2023年3月31日(金)	WEB	上限なし	○	無料	0.5

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

生 産

(単位:千t, %)

種類		項目		22年	22年
		5月	前年比	6月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,737	92.9	2,948	110.3
	早強・超早強	222	103.8	205	95.4
	中庸熟	93	113.6	67	130.8
	低熱	22	84.2	14	92.8
	耐硫酸塩	0	－	1	－
	その他	0	－	0	－
	小計	3,075	94.1	3,236	109.5
混合セメント	高炉	744	97.9	783	88.5
	シリカ	0	－	0	－
	フライアッシュ	7	458.1	2	106.3
	その他	19	18.1	71	87.1
小計		770	89	856	88.4
その他のセメント		11	83.9	16	88.6
計		3,854	93	4,107	104.2
輸出用クリンカ等		701	106	434	95.8
合計		4,555	94.8	4,541	103.3

販 売

(単位:千t, %)

地区	22年			22年		
	5月	前年比	構成比	6月	前年比	構成比
北海道	129	98.7	4.7	170	89.6	5.1
東北	213	93.0	7.7	284	97.8	8.5
関東一	669	100.2	24.1	791	97.6	23.7
関東二	270	109.7	9.7	329	116.3	9.9
北陸	116	92.8	4.2	147	94.8	4.4
東海	319	98.7	11.5	376	96.1	11.3
近畿	399	102.2	14.4	463	101.9	13.9
四国	88	98.9	3.2	109	95.6	3.3
中国	166	94.0	6.0	195	100.3	5.9
九州	354	112.5	12.8	407	109.3	12.2
沖縄	48	90.9	1.7	64	123.1	1.9
計	2,772	100.9	100.0	3,335	100.9	100.0

8月号本欄の数値の一部に誤りがありました。以下に訂正するとともにお詫び申し上げます。

・販売 22年4月の計「3,064」

・輸出 22年5月アジアの小計「761」

需 給

(単位:千t, %)

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

セメントハンドブック 2022年度版 インターネットからご覧下さい

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

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



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



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

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)							(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490	
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717	
2021年6月	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	
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141	
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552	
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655	
4	13,561	3,979	279	2,292	3,043	2,333	341	
5	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880	
6	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721	

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省)							(単位:万㎡)	
	合計	構造別						用途別	
		木造	鉄骨鉄筋コン クリート造	鉄筋コンクリ ート造	鉄骨造	コンクリートブ ロック造	その他	居住用	非居住用
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806
2021年6月	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
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392
6	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479

※万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)								(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)
		計	製造業	計	国の機関				
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497
2021年6月	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
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	194,534
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875	193,576
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341	202,497
4	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028	201,690
5	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	-

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)							(2020年平均=100)		
	総平均	セメント	生コンクリ ート	セメント 製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機 械
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3
2021年6月	104.2	100.5	101	101.7	143.5	102.3	123.2	119.1	100.1	99.8
7	105.4	100.5	101.3	101.9	157.5	102.3	125.8	123.1	101.5	100.2
8	105.5	100.5	101.8	102.3	163.4	103	129.6	126.4	101.8	100.2
9	106	100.5	102.1	102.2	169	103	131.6	128.2	102.4	99
10	107.5	100.5	102.1	102.1	170.1	103	133.6	130.3	103.4	99.7
11	108.2	100.5	102.3	102.2	169.9	103	137.4	133.7	104.5	99.5
12	108.4	100.5	102.6	102.3	169.5	103	138.5	136.6	105	99.5
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.1	101.6
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.6	102
3	111.3	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.4	101.6
4	113	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.4	101
5	113	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.4	101.8
6	114	110.8	106	106.2	166.8	106.3	157.1	158.3	111	103.6
7	114.5	110.8	106	106.9	165.9	106.3	157.7	159.8	112.8	104.4

※企業物価指数が2020年基準に変更

品目 年月		主要セメント製品出荷高Ⅰ（出所：経済産業省）					
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞コンクリート ブロック (千個)	護岸用コンクリート ブロック (t)	道路用 コンクリート製品 (t)
		管 (t)	ポール (t)	パイプ (t)			
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943	227,056
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604	223,770
2021年6月		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
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355	165,266
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450	176,941
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976	162,267
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209	141,401
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545	123,967
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521	145,665

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2019年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年6月		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
2022年1月		8,771	46,513	2,315	96,860
2		15,218	47,744	2,474	91,643
3		20,647	61,261	2,758	103,188
4		15,969	55,963	2,527	98,544
5		14,242	45,414	2,338	91,205
6		16,974	54,503	2,695	107,363

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
上村 豊	デンカ(株) エラストマー・インフラソリューション部門 セメント部技術課長
河村 直彦	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)
岸 利治	東京大学 生産技術研究所 教授
黒岩 秀介	大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)
黒田 泰弘	清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員
古賀 裕久	(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員
小西 正芳	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 技術参与
小林 竜平	竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー
坂井 悦郎	東京工業大学 名誉教授
坂井 吾郎	鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員
棚野 博之	(国研)建築研究所 材料研究グループ シニアフェロー
野口 貴文	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
平田 隆祥	(株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師
平本 真也	日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー
前田 禎夫	麻生セメント(株) 品質技術部 部長
森川 嘉之	(国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
山路 徹	(国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長
弓削 祐夫	UBE三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
窪木 康雄	(一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長
野崎 隆人	(一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 委員長
大石 英男	(一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事
中山 英明	(一社)セメント協会 研究所長

一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

- 環境配慮型建築材料の開発と課題
- インド高速鉄道におけるコンクリート構造物
- JR京葉線・幕張豊砂駅の設計と施工
- 混合成分がセメントの水和および水和物に及ぼす影響
- 爆発に対する鋼繊維補強PFC®(無孔性コンクリート)パネルの防御効果
- 乾式吹付補修工法「太平洋エアショットワン」の特性
- トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発
- 続・コンクリート鳥居 赤城・小泉稲荷・貫前神社の大鳥居を探る
- 寸思寸言(宮川豊章)
- ずいそう(岸和博) ほか



高炉スラグ細骨材を適用した新名神高速道路・つめた谷橋(下り線)の拡幅工事

セメント・コンクリート No.907 9月号
2022(令和4)年9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



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