

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和4年11月15日発行 ISSN0371-0718

2022
No.909

11

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、より強くありたいー
見つめる先は、コンクリート用化学混和剤の未来です。

◆ AE減水剤(高機能タイプ)

フローリック SV10シリーズ

◆ 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>

コンクリート専門 コンサルタント

●フレッシュコンクリート

配調合選定試験 試験体作製
RCD・CSG ダムコンクリート
繊維補強コンクリートの評価

●硬化コンクリート

強度・耐久性試験 熱特性試験
打継ぎ部の一面せん断 橋梁・トンネル関連試験

●コンクリート材料・建設材料

骨材・セメントの物理試験 補修材の性能評価
鉄筋・繊維補強材の物性試験

コンクリート 試験

構造物 調査診断

●一般建築構造物

採取コアによる試験 非破壊検査

●ダム・河川・橋梁・上下水道

劣化度調査 耐久性調査

●トンネル・洞道

ひび割れ調査 空洞調査

●原子力施設

健全性評価 現地調査 室内試験

化学分析

●化学分析

配合推定 塩化物イオン量 アルカリ量
アルカリ骨材反応性試験 有害鉱物判定
粉末 X線回折 走査型電子顕微鏡
細孔径分布

*High
Technology
and
Creative
Challenge*

建設コンサルタント

HCC 株式会社 八洋コンサルタント

本 社 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1丁目7番8号 秋葉原シグマビル10階
電話 03 (5577) 5826 (代表) FAX 03 (5577) 5829
技術センター 〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園2722番地
電話 0467 (87) 3451 (代表) FAX 0467 (57) 0618
URL <http://www.hachiyo.co.jp>

クリップボードの コンクリート化学編 出ました。

セメント協会の出版物



ブルーのカバー

**e3 (シースリー)
クリップボード**

コンクリート化学編

A4判・123頁・3,080円



グリーンのカバー

**e3 (シースリー)
クリップボード**

セメント化学編

A4判・134頁・3,080円

月刊セメント・コンクリート誌に長期連載した人気シリーズが単行本になりました。コンクリートの気になるキーワード全47項目をそれぞれ2~3ページで簡潔に解説。既刊の[セメント化学編]とともにお役に立つこと間違いなしです。

4つのカテゴリーに分類 ● フレッシュコンクリートの物性 硬化コンクリート 耐久性 いろいろなコンクリート

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・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2022 No.909

もくじ

2	高炉セメントC種を採用した本社の建設 ～各種高炉セメントの適用～	…平本 真也ほか
10	北海道新幹線への鋼管ソイルセメント杭の適用	…川中島 寛幸ほか
18	新名神高速道路 城陽第二高架橋の施工 -プレキャストセグメント工法を適用した連続ラーメン箱桁橋-	…後藤 友和ほか
26	すいそう 15cm先の火事	…鈴木 一雄
28	橋梁現場の生産性を向上させる技術開発	…大野 俊平ほか
36	環境に配慮し省力化を目指した乾式吹付補修工法の開発と特性 -太平洋エアショットワン-	…高山 浩平
42	第50回(2022年度)セメント協会論文賞・受賞論文 ポルトランドセメント硬化体のCO ₂ 吸収と生成物の変化	…梅津 真見子ほか
50	寸思寸言 性能規定化を阻む壁は石頭?	…河野 広隆
52	シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード クリンカの低温焼成と温度計測技術	…山下 牧生ほか

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
17	第54回 セメント協会 研究所講演会 ご案内
58	外国雑誌の記事情報
60	EVENT GUIDE
62	セメント・データファイル
63	主要建設工事・資材統計
65	12月号予告



今月の表紙

各種高炉セメントを用いて建設された本社建物[福岡県/提供: 日鉄高炉セメント(株)]

高炉セメントC種を採用した本社の建設 ～各種高炉セメントの適用～

Construction of headquarters with blast furnace slag cement class C

平本 真也 平山 徳重 塚原 美幸 三浦 伊織 濱砂 翔太 山之内 康崇

1. はじめに

2020年10月の菅首相(当時)による「2050年カーボンニュートラル」の宣言以降、2030年度には2013年度比で温室効果ガスを46%削減し、2050年にはカーボンニュートラルを達成するという目標が示され、国内において二酸化炭素(以下、CO₂と称す)削減に向けた各産業の活動が活発となっている。この流れの一環として、過去に例を見ない総額2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」が、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDOと称す)に造成され、カーボンニュートラル達成に向けた課題に取り組む企業に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装までの継続支援が行われる。その中で、セメントおよびコンクリート分野でもカーボンニュートラルを目標として採択されたテーマがあり、今後更なる技術開発が期待されている。

セメント産業は社会インフラを発展・維持するための建設材料を供給することに加えて、他産業から発生する廃棄物・副産物を原料や熱エネルギー源として受け入れることで、静脈産業として機能している。しかしながら、ポルトランドセメントは製造過程において、1450℃まで加熱する必要があることに加え、主原料である石灰石からの脱炭酸により、年間約4000万tのCO₂を排出¹⁾している。これは、国内における総CO₂排出量の約3.8%を占めており²⁾、CO₂の排出削減はセメント業界として重要な課題である。

普通ポルトランドセメントは高温焼成することにより製造されるため、原料およびエネルギー由来のCO₂排出量が758kg/t程度³⁾である。一方、高炉セメントB種では、銑鉄を製造する際に副産される高炉水砕スラグを粉砕した高炉スラグ微粉末を用いているため、CO₂排出量が少なく、460kg/t程度³⁾となる。

また、高炉スラグ微粉末の置換率が高いほどCO₂排



写真1 日鉄高炉セメント(株)本社事務所

出量は少ない。高炉セメントには、高炉スラグ微粉末の置換率ごとに、A種(5を超え30以下)、B種(30を超え60以下)、C種(60を超え70以下)がある。その中で、高炉セメントB種は塩害やアルカリ骨材反応対策として、国内に広く流通しているが、高炉セメントA種やC種は高炉セメントB種ほど流通していない。しかしながら、高炉セメントC種はCO₂排出量がJISに規格化されているセメント種の中で最も少なく、低炭素性を目的として採用され始めている。

混合セメントを用いたコンクリートの使用比率⁴⁾として、土木構造物に関しては、グリーン購入法の特定制達品目に指定されていることもあり94%と高い比率である。一方建築物に関しては、基礎や地下構造物で20%程度、上部構造物で0%とされており、主として公共建築物の地下躯体に使用されている状況である。つまり、今後コンクリート業界においてカーボンニュートラルを目標として、低炭素構造物の普及を図るためには、建築物に対して高炉セメントなどのCO₂低排出型セメントの適用件数を増加させることが重要となる。

本稿では、カーボンニュートラル建築物までは到達していないものの、低炭素建築物の実現を目指し、各種高炉セメントを用いて建設した当社、本社事務所(写真1)の工事記録について紹介する。

表1 建物概要

所在地	福岡県北九州市小倉北区
設計	株式会社竹中工務店
施工者	株式会社竹中工務店
用途	事務所
建築面積	747.48㎡
延床面積	1966.34㎡
建物高さ	14.35m
階数	地上3階
構造	鉄筋コンクリート造
基礎工法	直接基礎
工期	2019年9月～2020年7月

2. 建築概要

本建築物は、当社工場敷地内に点在した協力会社を集約することに加えて、災害時には防災拠点として活用することを目的とし、安全・環境・防災を満足するように建築した。詳細は表1に示すが、地上3階建ての鉄筋コンクリート(RC)造であり、工事期間としては、2019年9月から2020年7月であった。

当該建築物では、建築物で一般的に用いられているセメント種類と比較して高炉スラグ分量が多く、CO₂排出量の少ないセメントを構造躯体ごとに用いた。地下躯体は高炉セメントB種ではなく、高炉セメントC種を用いたECMコンクリート(3.にて説明)、上部躯体は普通ポルトランドセメントではなく、高炉セメントA種を用いたコンクリートとした。

3. ECMコンクリートの概要

ECMコンクリートとは、NEDOプロジェクトにより開発された「Energy・CO₂ Minimum(ECM)セメント・コンクリートシステム」の略称である。当該プロジェクトでは、1大学7企業(東京工業大学、(株)竹中工務店、鹿島建設(株)、(株)デイ・シイ、太平洋セメント(株)、日鉄高炉セメント(株)、日鉄セメント(株)、(株)竹本油脂)からなるECM研究開発チームで実用化開発を行った。コンクリートの主要構成材料である、水、セメント、

ひらもと しんや / HIRAMOTO Shinya
日鉄高炉セメント(株)
技術開発センター グループリーダー

ひらやま のりしげ / HIRAYAMA Norishige
同上
総務部 グループリーダー

つかはら みゆき / TSUKAHARA Miyuki
同上
営業部 マネジャー

みうら いおり / MIURA Iori
日鉄高炉セメント(株)
品質保証部 グループリーダー

はますな しょうた / HAMASUNA Shota
同上
企画管理部 マネジャー

やまのうち やすたか / YAMANOUCHI Yasutaka
同上
生産設備部

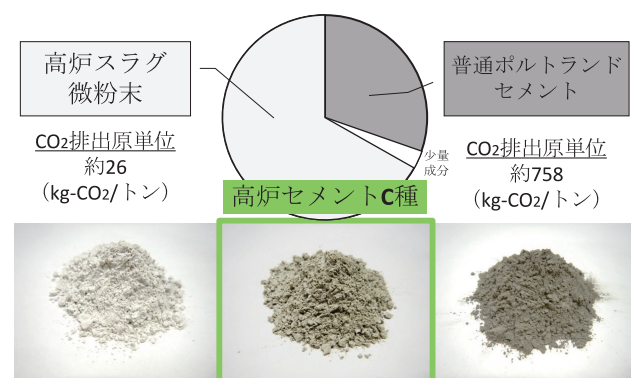


図1 ECMコンクリートに用いる高炉セメントC種の材料構成

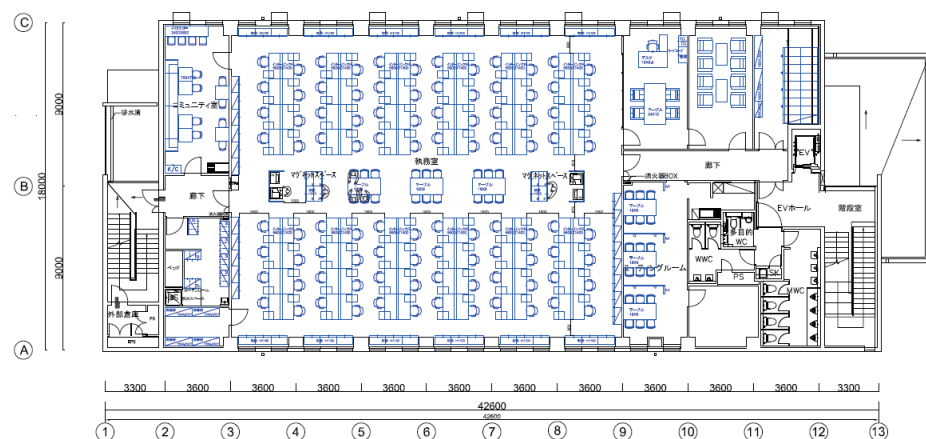


図2 平面プラン(2階)

骨材のうち、セメントは他と比較して製造時に必要なエネルギーおよびCO₂排出量が多い。つまり、セメントに関するエネルギーとCO₂を極力減少させることで、低環境負荷のコンクリートができる。そのため、ECMコンクリートではJIS R 5211「高炉セメント」における高炉セメントC種を用いている。図1に示すように、ECMコンクリートで用いる高炉セメントC種は、主として高炉スラグ微粉末および普通ポルトランドセメントで構成されており、普通ポルトランドセメント単独で使用する場合と比較して、CO₂排出量は少なくなる。

高炉セメントC種は、高炉スラグ微粉末の構成割合が多く、高炉セメントの特性が顕著となるため、塩害やアルカリ骨材反応などに対する耐久性は向上するが、初期の強度発現が小さくなる、中性化の進行が早くなるといった性質を有す。そのため、ECMコンクリートで用いる高炉セメントC種は、これらの課題のフォローのために、高炉スラグ微粉末置換率の最適化、少量成

分として石こうの種類と量を最適化することで、CO₂排出量を約60%削減しながら、初期強度の増進、収縮の低減、各劣化に対する耐久性を高めた材料である。ECMコンクリートの詳細な物性値は小島らの報告⁵⁾に詳しく記載されているため参照頂きたい。

4. 構造概要

4-1. 全体計画

図2の一例に示すように、平面形状は18.0×42.6mの長方形であり、居室部のスパンは縦方向：9.0m×2、横方向：3.6m×10である。また、安全・環境・防災対策として、3階には津波避難広場を設置した。写真2に示すように、3階床梁に対してプレストレスを導入し、2階の執務室内に柱を設置しないことで執務室全体の視認性を確保し、職場環境の一体感を向上させた。

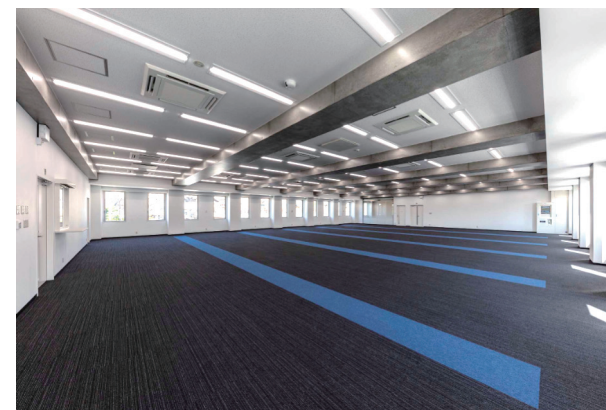
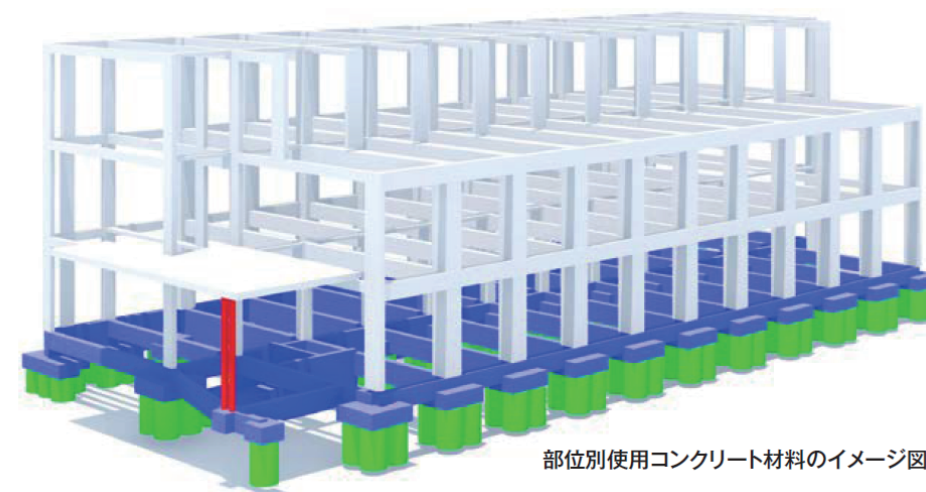


写真2 執務室

日鉄高炉セメント本社建て替え工事の概要

■ 上部躯体：高炉A種コンクリート ■ 1F床、基礎：ECMコンクリート ■ 柱状改良：ECMソイル
■ エントランス柱：高強度ECM PCa(Fc60)

高炉スラグ微粉末含有量分類／高炉A種：5を超え30%以下、高炉B種：30を超え60%以下、ECMセメント：60を超え70%以下



部位別使用コンクリート材料のイメージ図

図3 部位別使用コンクリート材料

表2 コンクリート調合

適用部位	使用セメント	種類	s/a (%)	W / C (%)	W	C	S	G	A %
					(kg/m ³)				
地上	高炉セメントA種	40-18-20	44.1	40	174	435	736	961	4.5
		42-18-20	43.2	38	176	464	707	961	
PCa柱	高炉セメントC種	60-60-20	50.2	35	160	457	885	877	2.5
地下		33-18-20	43.8	40	185	463	702	932	
犬走	高炉セメントA種	27-18-20	46.8	50	185	370	793	932	4.5
捨てコン	高炉セメントB種	18-18-20	50.1	65	182	280	890	916	

図3に示すように、本事務所は地盤改良および地下躯体、エントランス柱に高炉セメントC種、上部躯体に高炉セメントA種を用いており、CO₂削減等級⁶⁾としては、等級2の建築物となる。本工事におけるコンクリート調合を表2に示す。また、図3に示してはいないが、犬走などは高炉セメントA種、捨てコンクリートには高炉セメントB種を用いた。以下に地盤改良(ECMソイ

ル)、地下躯体、上部躯体、プレキャスト柱の工事記録を示す。なお、プレキャスト柱を除いて、本工事に用いた結合材は全てブレックス品を用いた。

4-2. 地盤改良

一般的には地盤改良用のセメント系固化材として、高炉セメントB種相当の結合材が選択される場合が多



写真3 ECMソイル施工状況



写真4 柱状改良

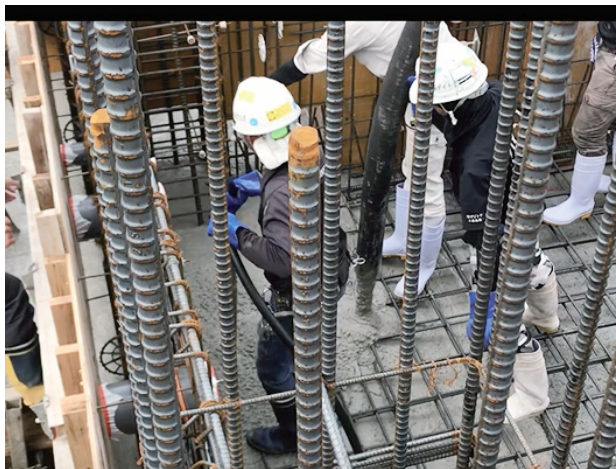


写真5 ECMコンクリート施工状況



写真6 基礎および地中梁

いが、本工事では高炉セメントC種を用いた。

写真3に施工時、写真4に施工後の状況を示す。施工区域は埋め立て地であり、地盤の状態としては当地の実質的な基盤である古第三紀の堆積岩類(N値60以上)を第四紀の沖積層(N値2～11)が覆い、その上に埋土(N値3～35)が分布していた。改良対象の主な土質は、礫混じりの砂質土であり、深層混合処理(GIコラム-S工法)により改良した。高炉セメントC種の添加量としては、350kg/m³とし、W/C=80%のセメントスラリーを用いた。品質検査としてチェックボーリングを行った結果、コア供試体の材齢28日一軸圧縮強度は、改良体の設計基準強度F_c=1500kN/m²に対して、3200～9400kN/m²程度の範囲であった。

4-3. 地下躯体

建築工事において、高炉セメントが選択されるケース

は少ないが、本工事では高炉セメントC種を用いた。

写真5に施工状況、写真6に施工後の状況を示す。普通ポルトランドセメント使用時と比較して、高炉セメントの構成材料である高炉スラグ微粉末の白さにより、コンクリートの色合いも白くなる特徴が確認された。図4に高炉セメントC種を用いたコンクリートの圧縮強度、スランプおよび空気量の測定結果を示す。標準偏差として、それぞれ2.0N/mm²、1.0cm、0.5%であった。

4-4. 上部躯体

上部躯体に関しては、普通ポルトランドセメントと同様に扱える⁷⁾高炉セメントA種を用いた。なお、本建築物は打ち放し仕上げとしているため、石灰石膏材と収縮低減型高性能AE減水剤の併用により、乾燥収縮率が450μm以下となるように調合を定めた。

図5に高炉セメントA種を用いたコンクリートの圧縮

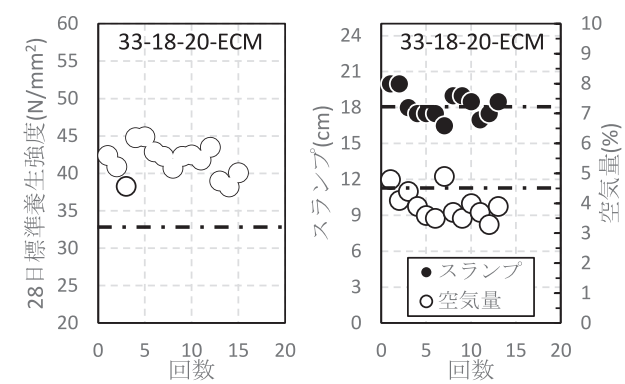


図4 圧縮強度およびフレッシュ測定結果

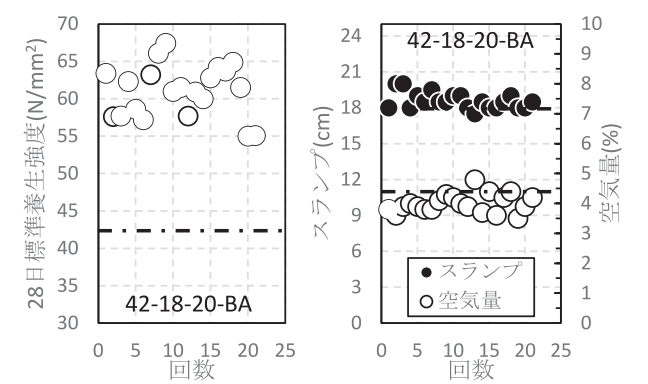


図5 圧縮強度およびフレッシュ測定結果

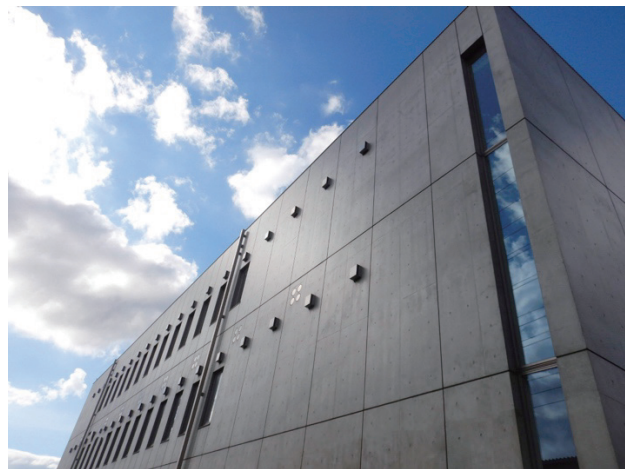


写真7 施工後2年経過時のBAコンクリート壁面



写真8 高強度ECMプレキャスト柱作製状況

強度、スランプおよび空気量の測定結果を示す。標準偏差として、それぞれ3.4N/mm²、0.7cm、0.3%であった。施工後2年経過した壁面状態を写真7に示すが、クラックなども確認されず良好な仕上がり面を維持していることを確認した。

地下躯体および上部躯体共に適切な施工管理によって良好な仕上がりとなった。なお、高炉セメントを用いたコンクリート施工において、高炉セメントは初期の養生の影響を受けやすいと報告⁸⁾されていることから、指針類に示されている適切な養生^{例えば6)}を実施するといった施工管理が重要である。

4-5. 高強度プレキャスト柱

プレキャスト製品は早期の強度発現が必要な場合が多く、高炉セメントの使用実績としては比較的少ないが、本工事では高炉セメントC種相当を用いた。

写真8に高強度プレキャスト柱の作製時の状況を示



写真9 施工後2年経過時の表層状況

すが、形状としては高さ4.1m、φ25cmの円柱部材とした。また、高強度プレキャスト柱は打ち放し仕上げとし、当社事務所玄関前の庇を支えている。据え付け後2年経過時の状況を写真9に示すが、表層の汚れやクラックは確認できず、良好な表層品質を維持していることを確認した。

前述したが、高炉セメントは初期の強度発現性が低

表3 CO ₂ 削減量の概算				
適用 部位	使用セメント	種類	適用量 (m ³)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂)
上部	高炉セメントA種	40-18-20	145.0	11.9
		42-18-20	849.5	71.8
地下	高炉セメントC種	33-18-20	419.5	86.6
合計				170.3

く、プレキャスト製品への適用において避けられる場合もある。しかしながら、現場打設と比較して型枠の転用などを含めて管理が安定しやすく、本工事によって、高炉セメントC種を用いた場合でも十分対応可能であることが確認された。そのため、「カーボンニュートラル」「i-Construction」「働き方改革」などをキーワードとした、これからの建設業の課題を解決するための一手法になることがより期待される。

5. まとめ

本工事では、各種高炉セメントを適材適所に用いて施工した。その結果として、**表3**に示すように、本事務所建設でCO₂を合計170.3t削減することができた(同呼び強度およびスランプでポルトランドセメントを用いた場合と比較)。これにより、本建築物は低炭素化の促進に貢献したとして「都市の低炭素化の促進に関する法律(エコまち法)」の認定を受けた。なお地盤改良、捨てコンクリート、犬走なども比較的多い高炉スラグ分量の高炉セメントを採用したため、実質上記値よりもCO₂削減量は多くなる。

本工事の計画から竣工までの期間において、国内では低炭素化の関心はあったものの、カーボンニュートラルまでの意識は薄かった。当時の施工プランとしては、低炭素建築物の実現を目指して、高炉セメントC種を上部躯体で用いる案もあったが、施工管理およびCO₂削減のバランスを鑑みて、普通ポルトランドセメントと同様に扱える⁷⁾高炉セメントA種を採用した経緯がある。

現在ではカーボンニュートラル、ひいてはカーボンネガティブを達成するための検討も進められている⁹⁾。こ

れに伴い、今後上部躯体に高炉セメントB種以上を使用することも考えられるが、本工事のように、上部躯体は高炉セメントA種、地下躯体(地盤改良含む)は高炉セメントC種を選択することで、品質面および施工面を維持しつつ、CO₂排出量の削減は可能となる。本工事記録が高炉セメントの建築物への利用拡大の参考になれば幸いである。

末尾になるが、当社事務所を施工頂いた(株)竹中工務店の適切な施工および管理により、無事に竣工を迎えることができた。竣工後2年までではあるが、躯体などに細かな変状も確認されない。この場を借りて感謝の意を表します。

【参考文献】

- セメント協会／カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン、2022.3
- 国立環境研究所地球環境研究センター／日本国温室効果ガスインベントリ報告書2022年、2022
- セメント協会／セメントのLCIデータの概要、2022.3
- 経済産業省／混合セメントの普及拡大方策に関する検討報告書、2016.3
- 小島正朗、辻大二郎、依田和久、橋本学／低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」の開発と今後の普及展開、セメント・コンクリート、No.900、pp.76～81、2022.2
- 日本建築学会／高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針(案)・同解説、2017.9
- 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事、pp.211～216、2018.7
- 檀康弘／高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐久性能に及ぼす初期養生の影響に関する研究、九州大学学位論文、2011.1
- 取違剛、森泰一郎、河内友一、藤木昭宏／CO₂固定型カーボンネガティブコンクリートCO₂-SUICOMの開発と今後の展開、セメント・コンクリート、No.900、pp.64～69、2022.2

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。

- 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)
- 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。
- 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
- 助成金額 採用された研究1件につき原則として100万円
- 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。応募入力が完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報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

北海道新幹線への 鋼管ソイルセメント杭の適用

Application of steel pipe-cemented soil composite piles to Hokkaido Shinkansen

川中島 寛幸 黒田 晴

1. はじめに

現在建設中の北海道新幹線(新函館北斗・札幌)は、新函館北斗駅から札幌駅に至る延長約212kmの路線である(図1)、このうち橋梁・高架橋区間は新八雲駅(仮称)付近、長万部駅付近および倶知安駅付近に多く、当該路線総延長の約15%を占める。本線は、平地、山地、市街地を通過し、河川や道路、鉄道などのインフラと交差するため、多様な制約を受ける。

明かり工区の設計では、地質・地盤に起因した多くの課題が確認されており、これらの解消策の一つとして鋼管ソイルセメント杭工法の採用を検討してきた。本稿では、鋼管ソイルセメント杭工法の設計・施工にあたり実施した「火山灰質地盤における支持力特性」および「被圧地下水を有する地盤における施工性および杭体の品質」に関する確認試験の概要を紹介する。

2. 地質概況と鋼管ソイルセメント杭工法

2-1. 地質・地盤の特徴

鋼管ソイルセメント杭工法を採用した橋梁または高架橋が計画されている区間のうち、倶知安地区の地質概

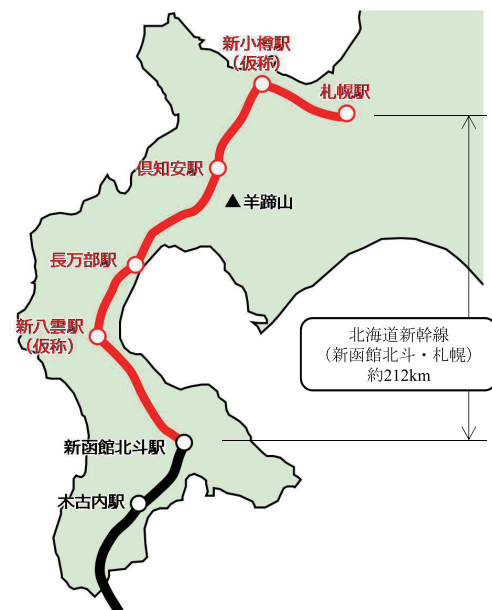


図1 北海道新幹線(新函館北斗・札幌)概要図

況を抜粋して以下に述べる。

倶知安地区は、西にニセコ連峰、南東に羊蹄山を望む倶知安盆地に位置し、火砕流堆積物や火山灰が広く分布している。

詳細設計時点の地質調査では、良質な支持層面は、GL-40～60m程度に出現することが確認されており、支持層の地質は新第三紀中新世の凝灰質な砂岩、シルト岩、または更新世堆積物である火山灰質土層の

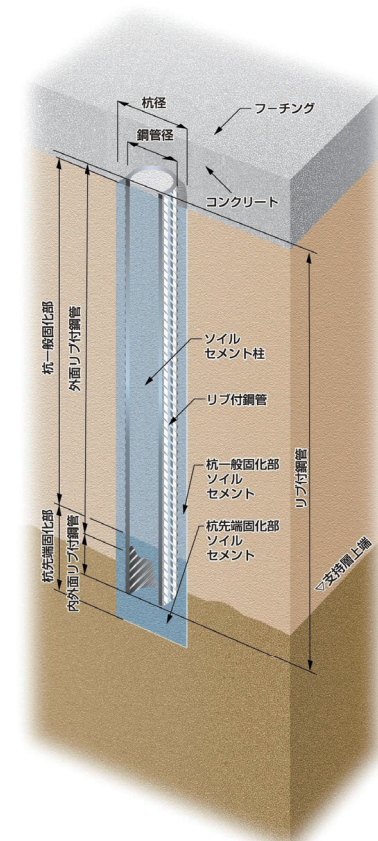


図2 鋼管ソイルセメント杭の概要図¹⁾

下部である。その上位には火山灰質の砂質土が厚さ30～50m程度堆積しており、換算N値は3～750とばらつきが大きい。GL-10～40mまでは軟弱な沖積砂質土および沖積粘性土が分布する。

また、山沿いを通過する路線であることから複数の被圧滞水層が確認され、確認された被圧水頭の最大値はGL+12mを超える。

2-2. 鋼管ソイルセメント杭工法と基礎の選定

2-2-1. 鋼管ソイルセメント杭工法

鋼管ソイルセメント杭工法は、原地盤を掘削攪拌することにより造成したソイルセメント柱と突起付き鋼管を一体化したもので、ソイルセメントを介した地盤抵抗を期待するものである(図2)。機械攪拌による施工であるため、騒音・振動、近接構造物への影響なども比較的少ない。また、場所打ち杭工法に比べて建設発生土が少なく、環境負荷低減にも寄与する。

特に、鉄道構造物に利用される杭形式の中では、最も高い周面支持力を期待できる工法であるため、良

表1 基礎形式の比較

基礎形式 計画条件			打込み杭		回転杭（鋼管杭）	中掘根固め杭	プレボーリング根固め杭	場所打ち杭				深礎杭	
			R C 杭	P H C 杭・S C 杭				鋼管杭	鋼管ソイルセメント杭	リバース杭	オールケーシング杭		アースドリル杭
支持方式	完全支持 D _f ：支持層までの深さ	D _f 0～5m	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	○
		5～10m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		10～20m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		20～30m	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	△
30～45m		×	×	○	○	△	○	○	○	○	○	×	
支持方式		45m以上	×	×	○	○	△	△	○	○	△	△	×
		不完全支持	○	○	△	○	△	△	○	○	○	△	○
		周面支持	○	○	○	×	×	△	○	○	○	△	×
地下水等	地下水位	フーチング下面以上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
		フーチング下面以下	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	△
		基礎先端以下	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
	被圧地下水	地表（水面）より0～2m 2m以上	○	○	○	○	×	△	○	△	△	×	×
施工環境		騒音振動制限有の場合	×	×	×	○	○	○	○	△	○	○	○
		隣接構造物に対する影響防止	×	×	△	△	○	○	○	△	△	△	△

質な支持層の出現深度が深い場合に有効である。また、鋼管ソイルセメント杭工法は杭孔を解放せずに施工できるため、被圧地下水を有する地盤への適性があり、過去には高い被圧環境下(最大GL+7.6m)での施工実績¹⁾もある。

地質・地盤に関する課題、施工環境および構造物条件を踏まえた基礎形式の比較は表1のとおりであり、本路線における鋼管ソイルセメント杭の有意性が見てとれる。

2-2-2. 基礎形式の選定時の課題と取組み

新幹線構造物は供用開始後の変位の制限が厳しく、標準的に完全支持杭方式の構造物が採用されてきた。本路線でも完全支持杭方式を基本とするものの、支持層深度が深い場合は工事費や工事期間の増大が懸念される。また工法によっては施工能力の観点で採用が困難となる杭種もある。このような地盤条件には、当該構造物の用途や設計限界値、地層構成を慎重に検討したうえで杭の周面支持力への依存度を大きくし、不完全支持杭や周面支持杭を採用している。

ただし、これら支持機構の杭の適用にあたっては、地盤の工学的特性の適切な評価が肝要である。鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物²⁾(以下、



かわなかじま ひろゆき / KAWANAKAJIMA Hiroyuki
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
設計部 設計第二課 課長補佐



くろだ せい / KURODA Sei
同左
北海道新幹線建設局
後志工事事務 倶知安・赤井川工事課 課員

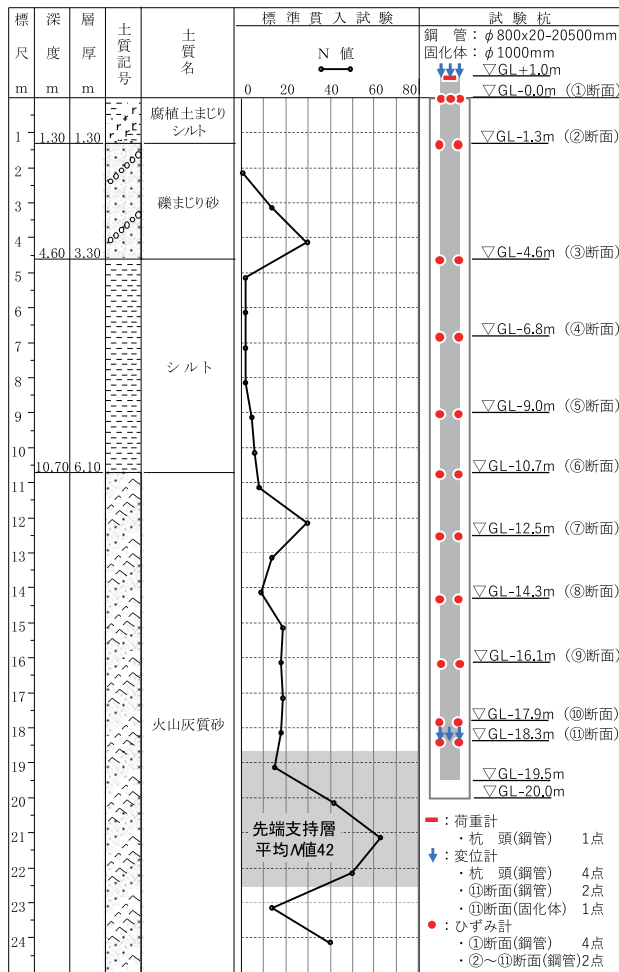


図3 地質柱状図と荷重試験杭

基礎標準と称す)に規定される設計法は、砂質土または粘性土を対象とした体系となっており、特殊土においては、N値と他の地盤諸数値との関係が一般土と異なるため、基礎標準を適用できない場合がある。このような場合、基礎構造物の設計に用いる地盤の諸数値は、試験結果を基本に定めるものとされている。また、既往の研究^{例えば3)}では、火山灰土における杭の周面支持力は、火山灰土の破碎性に起因し、砂質土の場合と異なることが指摘されている。本路線では、鋼管ソイルセメント杭工法を対象に、火山灰質地盤における支持力特性を確認することを目的に杭の押込み試験(鉛直荷重試験)を実施したので³で紹介する。

次に、高い被圧地下水を有する区間では、被圧地下水への適性が高い鋼管ソイルセメント杭工法を採用している。被圧地下水に対する鋼管ソイルセメント杭工法の安定計算について明確に規定された基準はないものの、



写真1 荷重試験状況

一般にソイルセメント柱の重量が被圧地下水による揚圧力以上であることを確認している。これは均一な濃度を保つことを前提とした未固結状態のソイルセメントと被圧地下水との圧力バランスのみを取り扱った簡易な検討であり、実際の現象では、このような理想的な状態が保たれているか未解明な点も多い。そこで、ソイルセメント柱の造成過程に着目して、被圧地下水が品質へ与える影響について確認を試みた。得られた知見を⁴で紹介する。

3. 火山灰質地盤における鉛直荷重試験

3-1. 荷重試験の概要

3-1-1. 地盤条件および荷重試験杭

試験地の地質柱状図と荷重試験杭の仕様を示す(図3)。地表面から10m程度まで沖積層が堆積し、これ以深は火山灰質砂を主とする更新世堆積物である。おおむねN値10～30程度を示すが局部的にN値50以上が連続する区間も存在する。

試験杭は、杭先端を平均N値42の薄層に着底させたソイルセメント径φ1000mm(杭径)、鋼管径φ800mmの不完全支持杭とし、火山灰質砂層の周面支持力特性を評価することに重きを置くため、ひずみ計の設置間隔を2.0m程度として計画した。

3-1-2. 荷重試験方法

荷重試験は、地盤工学会基準(JGS1811-2002)に基づく、多サイクル方式にて実施した。荷重荷重は、

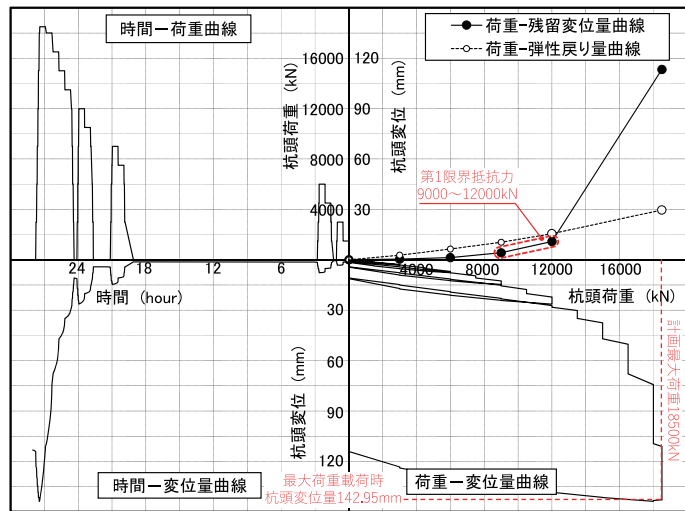


図4 試験結果総合図

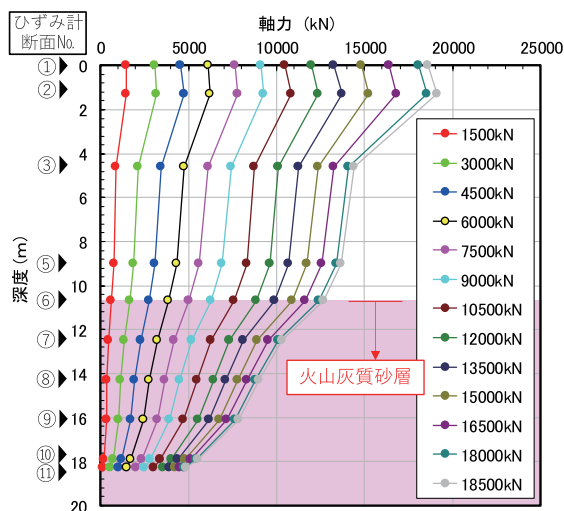
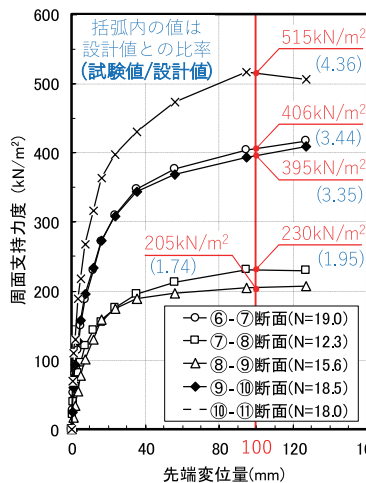
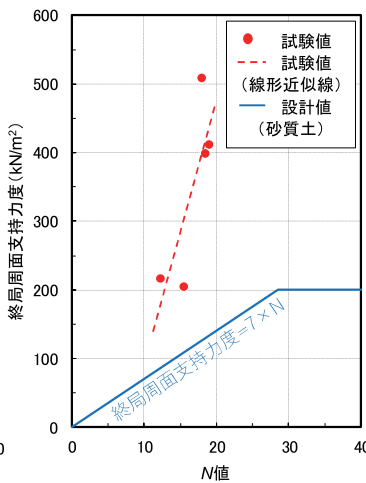


図5 軸力分布図



(a)周面支持力度-先端変位量



(b)終局周面支持力度-N値

図6 火山灰質土層の周面支持力度

第2限界抵抗力まで確認することを考慮し計画最大荷重18000kNとしたが、計画最大荷重の荷重終了時点の杭先端変位量が杭径の10%に至らなかったため、18500kNまで追加荷重を実施した。荷重間隔は、1500kNを基本とし、5サイクル13段階とした。荷重試験状況を写真1に示す。

3-2. 荷重試験の結果と設計支持力の評価

3-2-1. 試験結果

図4に荷重試験の結果総合図を示す。第1限界抵抗力は荷重～変位曲線における折れ点(降伏状態)の抵抗力であり、荷重試験の結果総合図第1象限によれば9000～12000kN付近に確認できる。誌面の都合上掲載を省略するが、logP(杭頭荷重)-logS(杭頭変位)

関係図、S(杭頭変位)-logt(保持時間)関係図およびP(杭頭荷重)-ΔS(杭頭変位変化量)/Δlogt(保持時間変化量)関係図では9000～10500kN付近であると考えられた。第2限界抵抗力は、杭先端変位量が杭先端直径(杭径)の10%(100mm)に至った杭頭荷重であり18082kNであった。

3-2-2. 軸力分布

試験杭の伝達軸力は、鋼管のひずみ値に鋼管とソイルセメント柱の合成剛性を乗じて得られる。図5に軸力分布図を示す。ここで、シルト層内に設置したひずみ計④断面については、ソイルセメントの剛性を得ることができなかったため、これを除外して伝達軸力を整理した。

3-2-3. 設計支持力の評価

図6に火山灰質砂層の各計測断面区間における周

表2 設計値と試験値の支持力比較

【先端支持力比 $p_r=0.5$ 】	設計値 ①	試験値 ②	②/①	備考
終局周面支持力度(kN/m ²)	118	205	1.74	試験値は火山灰質砂層の最小値
		320	2.71	試験値は火山灰質砂層の平均値
終局先端支持力度(kN/m ²)	6375	6108	0.96	
降伏支持力(kN)	10030	12796	1.28	設計値は既往の載荷試験結果の平均値
終局支持力(kN)	13030	18082	1.39	

面支持力度、杭先端変位量およびN値の関係を示す。

図6(a)のN値は、周面支持力度の計測断面区間における平均値である。終局周面支持力度は第2限界抵抗力時の周面支持力度²⁾であり、これに着目すると200～500kN/m²程度と大きくばらつく結果であったものの、おおむねN値と終局周面支持力度の相関を確認できる(図6(b))。

表2は、火山灰質砂層の終局周面支持力度と終局先端支持力度、試験杭の降伏支持力と終局支持力について、基礎標準の砂質土の支持力算定式に準拠した設計値と比較したものである。終局周面支持力度は、火山灰質砂層全区間の平均値と最小値を併記している。降伏支持力および終局支持力の設計値は杭先端変位量20mm時および杭径の10%時の平均相当値であり、試験値は同杭先端変位量における杭頭荷重である。

結果、本試験対象の火山灰質砂層は、砂質土相当の設計値を大きく上回る終局周面支持力であること確認した。一方で、終局先端支持力は、砂質土相当の設計値とほぼ同等の値となった。杭体の鉛直支持力の観点では、降伏支持力および終局支持力ともに砂質土相当の設計値を上回ることを確認した。

4. 被圧地下水を有する地盤における品質確認

4-1. 試験概要

4-1-1. 地質条件

試験地の地質柱状図を図7に示す。GL-19m付近およびGL-29m付近に被圧滞水層が存在し、試験実施時の地下水位はそれぞれGL+2.0mおよびGL+4.5mである。また、表3に示すとおり、本試験で造成するソイルセメント柱の被圧滞水層の深さにおける

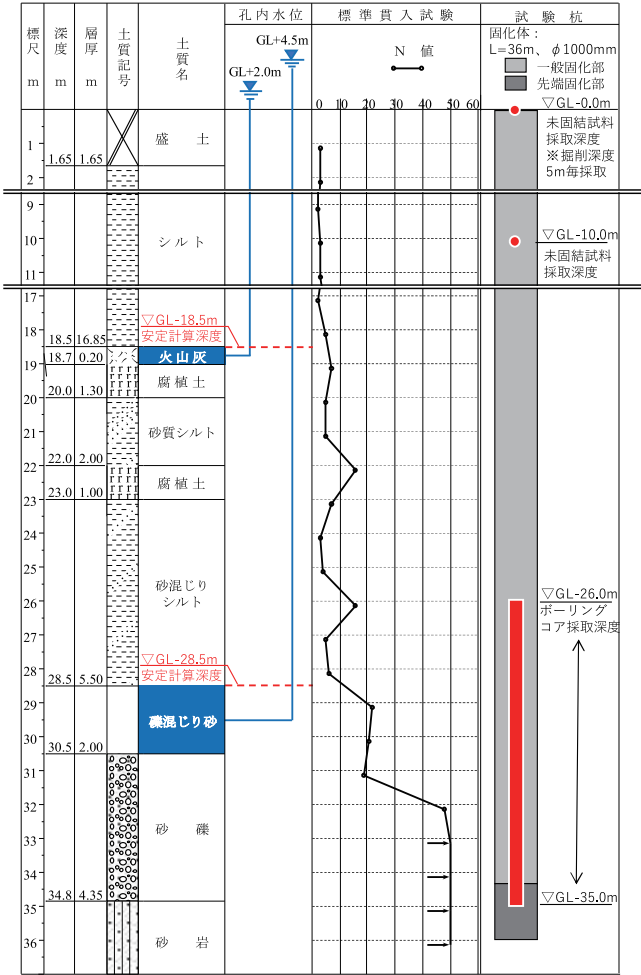


図7 地質柱状図と施工試験杭

重量は被圧地下水による揚圧力以上であることを確認している。

4-1-2. 施工試験杭の条件

本試験では、ソイルセメント柱の品質を確認することを目的としているため、鋼管を埋設せずに鋼管ソイルセメント杭打機でソイルセメント柱のみ造成した。施工試験杭の配合条件は事前に実施した配合試験により定めた(表4)。なお、当該地盤は有機分を含有することから、これに対して強度発現可能な固化材を選定した。

4-1-3. 試験内容

筆者らは被圧環境下での鋼管ソイルセメント杭の品

表3 揚圧力とソイルセメント柱の重量の比較(安定計算)

被圧滞水層深度 (GL- m)	被圧水頭 (GL+ m)	揚圧力 (kN/m ²)	ソイルセメント の単位体積重量 (kN/m ³)	ソイルセメント 柱の重量 (kN/m ²)
18.5	2.0	205.0	14.2	262.7
28.5	4.5	330.0	14.2	404.7

表4 施工試験杭の配合条件

使用部位	C (kg/m ³)	W/(C+B) (%)	T/C (%)	B/C (%)
一般固化部	300	100	0.3	0
先端固化部	1,000	60	0.6	0

※ 固化材C 練混ぜ水 W 混和剤T 増粘材B

質低下の可能性として、ソイルセメント柱自体に局所的な被圧地下水の浸透によるソイルセメント柱の強度低下や、ソイルセメント柱と原地盤の界面付近に水みちが形成されることによって期待している周面摩擦抵抗を確保できないことを考えた。

上記の仮定に基づき、試験にて確認する項目は、①ソイルセメント柱造成時の施工データおよび湧水の有無、②地表面にオーバーフローしたソイルセメントの未固結試料の単位体積重量と一軸圧縮強さ、③硬化後に採取したボーリングコアの連続性および一軸圧縮強さ、④硬化後の杭頭掘り起こしによる出来形確認とした。

4-2. 試験結果

4-2-1. ソイルセメント造成時の状況

ソイルセメント柱の施工データ(掘削速度、瞬時流量および掘削抵抗値)は、被圧環境下でない通常の鋼管ソイルセメント杭と比較して異常は見られなかった。また、掘削攪拌中のソイルセメント柱やその周辺地盤からの湧水は確認されなかった(写真2)。

4-2-2. 未固結試料の単位体積重量と強度

掘削深度5mごと、掘削完了時(GL-36.0m)および掘削攪拌ヘッド引上げ時(GL-34.3m)に地表面にオーバーフローしたソイルセメントと、造成完了直後にGL-10m地点から採取した未固結試料の単位体積重量と一軸圧縮強さを確認した(図8)。その結果、一軸圧縮強さ σ_{28} および単位体積重量 γ ともに計画値($\sigma_{28}=1.03\text{N/mm}^2$, $\gamma=14.23\text{kN/m}^3$)以上であった。本試験は主としてオーバーフローした試料を採取したものであるため施工深度との関係は把握できないものの、一軸圧縮強さと単位体



写真2 造成中の掘削・攪拌ロッド周辺の状況
[GL-29m 付近掘削時]

積重量の値が同時に低下する深度が認められないことから、被圧地下水の影響によってソイルセメントの配合条件が変化し、極端な品質低下をきたす可能性は低いと考えられる。

4-2-3. ボーリングコアの連続性および強度

被圧滞水層付近の固結後のソイルセメント柱の性状を把握するため、硬化したソイルセメント柱(GL-26～35m)のコアを採取し、一軸圧縮試験を実施した。コア採取率は管理目標値の粘性土90%、砂質土95%以上⁴⁾を満足する結果であった(図9)。また、一軸圧縮強さ σ_{28} は最小値3.80N/mm²であり、計画値を上回る結果であった(図10)。

4-2-4. 杭頭掘り起こしによる出来形確認

硬化したソイルセメント柱の杭頭部をバックホウによりGL-1.5m程度まで掘り出し、出来形を目視確認した(写真3)。出来形確認の結果、設計径1000mmに対して、実測径で1150mmであった。また、ソイルセメント柱の断面および側面を観察し、水みち跡がないことを確認した。

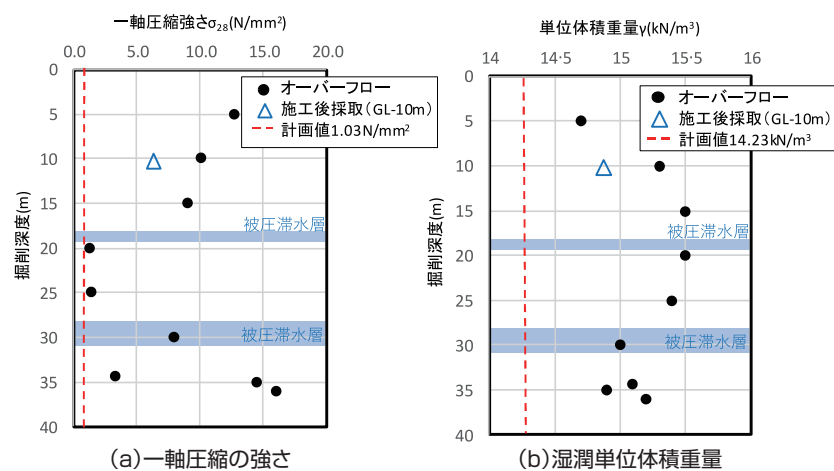


図8 一軸圧縮強さおよび単位体積重量の深度変化

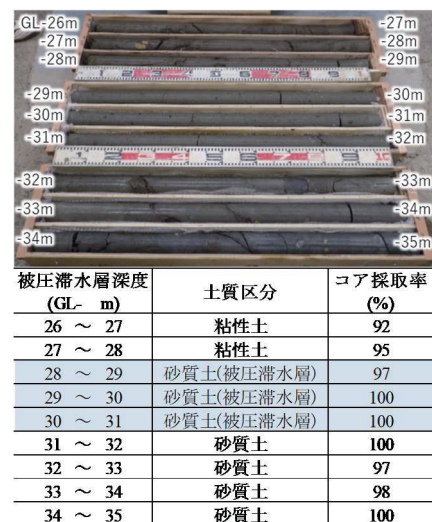


図9 ボーリングコアの採取率

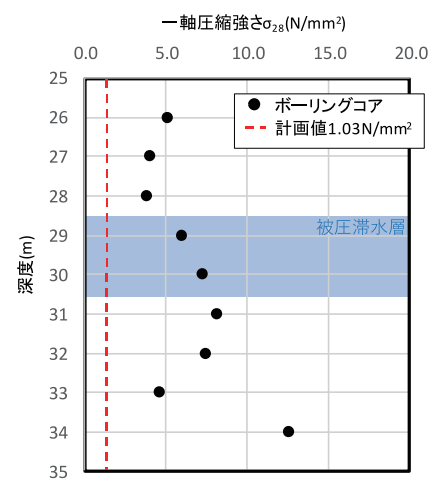


図10 ボーリングコアの一軸圧縮強さ



写真3 杭頭部掘り起こし状況

5. おわりに

北海道新幹線(新函館北斗・札幌)における鋼管ソイルセメント杭の適用に向けた取組みの一部を紹介した。

鉛直載荷試験では、火山灰質地盤における鋼管ソイルセメント杭工法の支持力評価を行い、終局周面支持力は砂質土相当の設計値を大きく上回り、終局先端支持力は設計値とほぼ同程度であることを確認した。

被圧地下水を有する地盤における品質確認試験では、施工データ、ソイルセメントの重量および強度の変化、出来形等を確認し、今回の被圧条件程度であれば被圧環境下の施工でも鋼管ソイルセメント杭の性能

を極度に低下させる可能性は少ないことを確認した。

引き続き関係者皆様のご協力のもと、安全性の向上と合理性を有した構造物を追求しながら整備新幹線の建設を進めていく所存である。

【参考文献】

- 1) 鋼管杭・鋼矢板技術協会／鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領, 2017
- 2) 鉄道総合技術研究所／鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 2012
- 3) 富沢ら／火山灰地盤における杭基礎の支持力特性に関する検討, 土木学会論文集中C(地圏工学), Vol.63, No.1, pp.125~139, 2007
- 4) 日本建築センター, ベターリピング／建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化剤を用いた深層・浅層混合処理工法-, 2018

第54回 セメント協会 研究所講演会 ご案内

一般社団法人セメント協会 研究所では、セメント・コンクリートに関する学術研究,新技術などに関する知見を普及,啓蒙させることを目的として「セメント協会 研究所講演会」を開催しております。

今回は、新潟大学の斎藤 豪 先生および島根大学の新 大軌 先生よりご講演を頂きます。関係各位お誘いのうえ、ご参加下さいますようご案内申し上げます。

日 時：2022年11月25日(金)13時00分～16時30分

開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド)

会場場所／(一社)セメント協会 研究所(東京都北区豊島4丁目17番33号)

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

演題および講演者：

セメント水和物の分析に基づく今後のセメント設計の在り方

新潟大学 大学院 自然科学研究科 環境科学専攻 工学部 建設学科 社会基盤工学コース 准教授
斎藤 豪 氏

低炭素・脱炭素社会の構築を目指したセメント系材料の研究開発

島根大学 学術研究院 環境システム科学系(総合理工学部物質化学科) 准教授
新 大軌 氏

定 員：会場50名(定員になり次第、締め切らせて頂きます。オンラインの定員はございません。)

※新型コロナウイルスの感染状況により会場での開催を中止する場合があります。

参 加 費：無 料

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

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

セメント協会ホームページ

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

〔トップページ〕>〔イベント・募集〕>〔研究所講演会〕

問合せ先：(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ 研究所講演会係

TEL 03-3914-2692 FAX 03-3914-2690 E-mail: jca_event@jcassoc.or.jp

新名神高速道路 城陽第二高架橋の施工

－プレキャストセグメント工法を適用した連続ラーメン箱桁橋－

Construction of JOYO No.2 VIADUCT

-Applied a method of precast segments to Continuous rigid frame box girder bridge-

後藤 友和 武智 愛 松井 利将 小河内 誠 得津 萌佳 前田 健太

1. はじめに

城陽第二高架橋は、新名神高速道路(大津JCT～城陽JCT・IC)のうち京都府城陽市に位置するPC連続ラーメン箱桁橋である。本橋は、現場作業の省力化、工期の短縮、コンクリートの高品質化など多くの優位性を持つプレキャストセグメント工法を採用している。

また、本橋は国道24号線に隣接した市街地での施工であることから、占有する施工ヤードが狭小となるため、現場周辺にセグメント製作用のヤードが確保できないことや騒音・振動についても考慮する必要がある。そこで、セグメントは外部のPC桁工場にて製作し運搬する計画とし、基本的な架設方法は、柱頭部は場所打ちによる施工を採用し、セグメントを大型クレーンにより張出架設する工法が採用されている(写真1)。

本稿では、プレキャストセグメントを用いた架設工法に即したセグメント製作、架設での取組みについて報告する。



写真1 クレーンによるセグメント張出架設

2. 工事概要

本橋の工事概要を表1、橋梁一般図を図1、主桁

表1 工事概要

工事名	新名神高速道路 城陽第二高架橋西(PC上部工)工事
工事場所	(自) 京都府 城陽市 寺田島垣内 (至) 京都府 城陽市 寺田大畔
構造形式	PC4径間連続ラーメン箱桁橋 L=168.000 m 上り線：トラッククレーンによる片持ち張出し架設 下り線：固定支保工による場所打ち工法 鋼・PC5径間連続ラーメン混合桁橋 L=228.000 m 上り線：トラッククレーンによる片持ち張出し架設 下り線：トラッククレーンによる片持ち張出し架設
線形条件	平面線形： R = ∞ 縦断勾配： 0.3997% 横断勾配： 2.5000 %
セグメント製作数	184個 (約30 t/個)

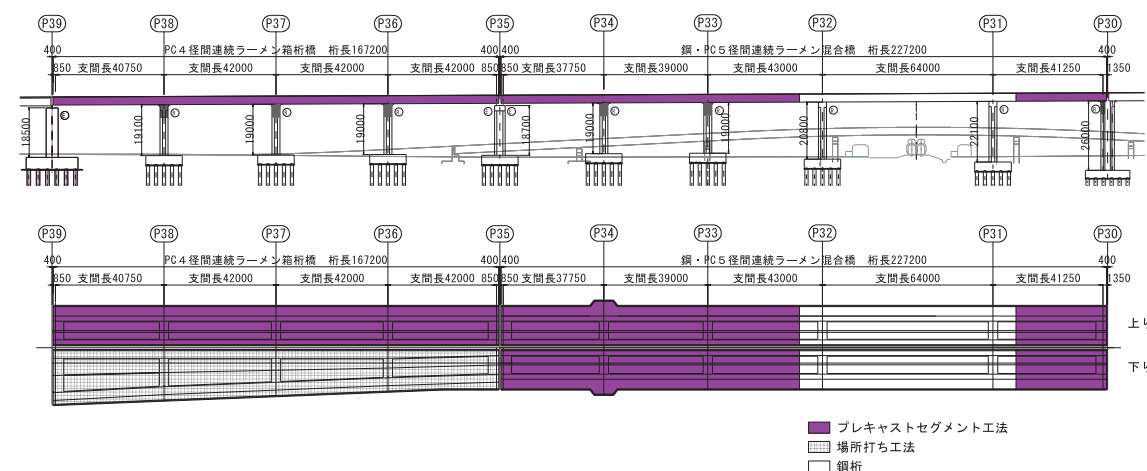


図1 橋梁一般図

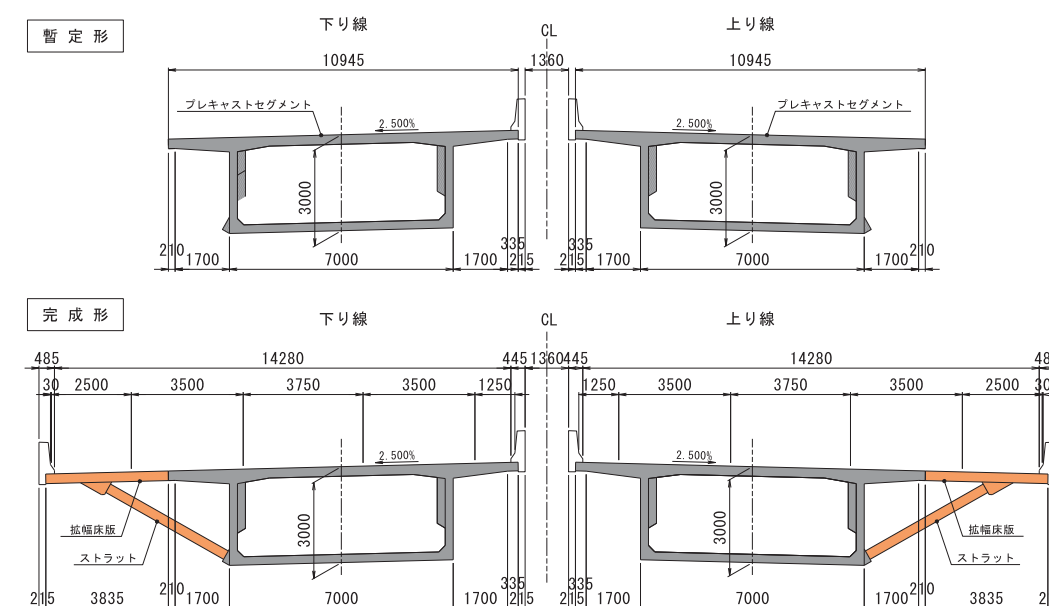


図2 主桁断面図

断面図を図2に示す。なお、本橋は箱桁部のコア断面をプレキャストセグメント工法にて架設した後に、ストラットで支持された張出し床版を施工することにより6車線化する計画となっている。

3. セグメント製作に対する取組み

3-1. ロングラインマッチキャスト方式の採用

セグメントの製作は、工場製作と現場製作に大別され

ごとう ともかず / GOTO Tomokazu
(株)ピーエス三菱
大阪支店 土木技術部

たけち あい / TAKECHI Ai
同上

まつい としまさ / MATSUI Toshimasa
同上
大阪支店 土木工部

こごうち まこと / KOGOUCHI Makoto
(株)ピーエス三菱
大阪支店 土木工部

とくつ もえか / TOKUTSU Moeka
西日本高速道路(株)
関西支社 建設事業部 構造技術課

まえた けんた / MAETA Kenta
同上
関西支社 新名神京都事務所

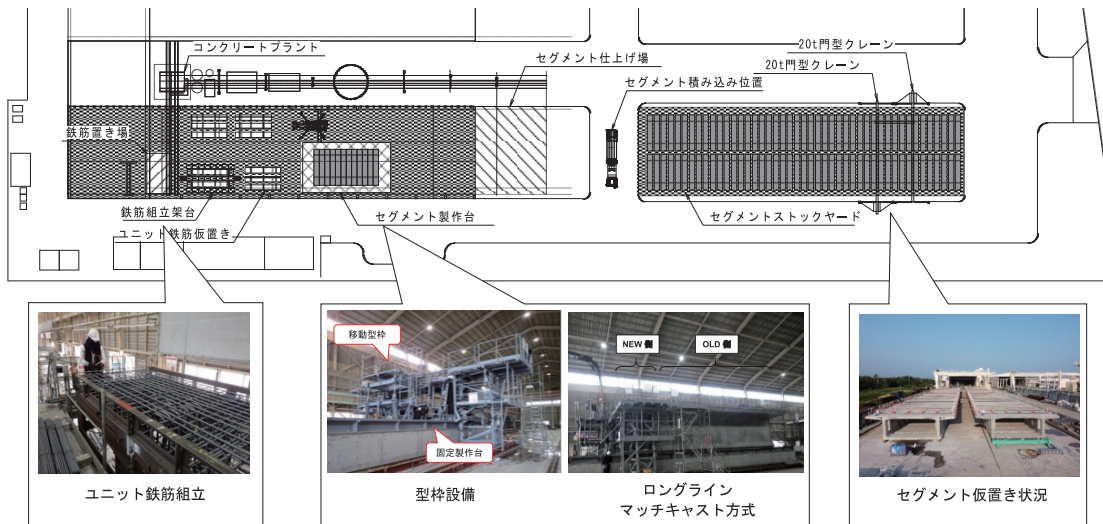


図3 セグメントの製作設備

表2 各製作方式の特徴

	ロングライン方式	ショートライン方式
概略図		
長所	- セグメント製作時の形状管理が容易 - 既設セグメントの移動が不要 - 型枠設備を複数設置することで、製作工期の短縮が可能	- 比較的狭い製作ヤードで製作可能 - 常に同じ場所でコンクリート打設作業を行うため、集中した施工管理ができる
短所	- 大規模な製作ヤードが必要（橋梁最大支間の半分以上の長さが必要） - 曲線橋の場合、製作台の線形を合わせる必要がある - コンクリート打設位置が移動するため、打設や養生の設備は移動できる構造とする必要がある。	3次元対応の製作設備とすることで、曲線橋の製作も可能である - 既設セグメントの端面を次のセグメントの型枠として使用するため、製作誤差の累積が生じやすい - 既設セグメントを若材齢で移動させる必要がある

るが、本工事では現場周辺に製作ヤードを設けることができないため、既存のPC桁工場にてセグメントを製作し、現場へ運搬する計画とした。品質上の観点から、型枠設備は工場一棟をセグメント製作専用に改良し、上屋施設内に設け、各作業場を製作順序に配慮した配置とした。セグメント製作設備を図3に示す。

現場での架設精度を向上させるには、各セグメントの形状管理の精度が重要となる。本橋は、縦断勾配および横断勾配が一定の線形条件であることや、工場の製作ヤードが長手方向にスペースを確保できたことを考慮して、ロングラインマッチキャスト方式によるセグメント製作を採用した。ロングライン方式は、固定式製作台上で型枠を移動させながら1/2径間分(最大張出し分)のセグメントを連続的に製作できるため、セグメントを移動させながら製作するショートライン方式に比べ

て、張出し架設工法に対する形状管理が容易であることが選定理由として挙げられる。各製作方式の特徴を表2に示す。

3-2. 場所打ち部との接合を考慮したセグメント形状
一般的に、プレキャストセグメント箱桁は、上下床版を水平、ウェブを床版に対して直角となるような長方形断面で製作されるため、横断勾配がある線形条件の場合は、現場での架設時にセグメントを傾ける必要がある。一方、場所打ち部は、上下床版を横断勾配に合わせて、ウェブを鉛直方向とした形状で施工される。この場合、セグメント部と場所打ち部でウェブの傾きに相違が生じるため、擦り付ける必要があるが、セグメント架設時の横断勾配の調整や擦り付け部の施工が煩雑になることが懸念された。

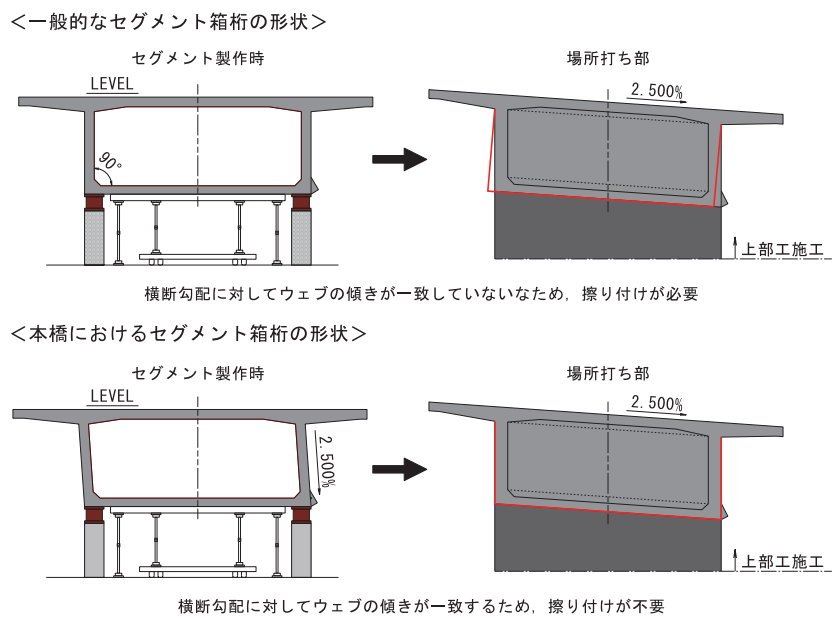


図4 セグメント形状の概要

そこで、ウェブの傾きに横断勾配を考慮した平行四辺形でセグメントを製作することで、場所打ち部とのウェブ部の擦り付けを不要とした。セグメント形状に関する概要を図4に示す。

また、セグメントを平地等に仮置きする場合、ウェブの傾きに伴い引張応力が発生することが想定されたため、FEM解析を実施し、セグメントの吊上げ時、2段積みでの仮置き時および運搬時におけるセグメントの応力分布を算出した。その結果、吊上げ時、仮置き時、運搬時ともにコンクリートの発生引張応力度が許容値を満足することを確認した。

4. 場所打ち施工部に対する取組み

4-1. 桁端部の外ケーブル定着

本橋はプレキャストセグメント工法であるため、継目部の応力照査により外ケーブルを多く必要とする構造となっている。このことから、ケーブルを定着する桁端部横桁はプレストレスによる応力が集中する恐れがある。そこで、FEM解析を用いて応力度照査を実施し、最適な横桁厚、形状および補強鉄筋の配置を検討した。しかし、鉄筋のみで補強を行う場合、太径鉄筋を多く配置する必要があり、実施工での配置が困難となった。

そこで、横桁前面に鉛直鋼棒(NAPP鋼棒 60T)を片側10本ずつ配置することで、引張応力度の更なる低減を図ったところ、下床版ハンチ部に局部的に発生していた引張応力度を6.45N/mm²から4.77N/mm²まで低減することができた。これにより、必要となる補強鉄筋量も低減され、実施工における鉄筋配置が可能となった。

桁端部横桁前面における最大主応力コンター図を図5、鉛直鋼棒の配置位置を図6に示す。

4-2. 柱頭部の施工

柱頭部には外ケーブル定着具、主桁および横桁鉄筋が高密度に配置されるとともに、上下部工を剛結するラーメン構造部では下部工鉄筋が輻輳して配置されるため、高密度配筋部へのコンクリートの打込みとなる。さらに、締固め作業高さが3.0mと比較的高いため、コンクリート投入時の材料分離や締固め不足等による充填不良の発生が懸念された。

そこで、柱頭部の側面型枠には透明型枠を使用することで、バイブレーターによる締固め状況を目視確認できるようにし、柱頭部の中心側にはコンクリート充填検知システムを設置することで、充填度と締め固め度をモニタリングできるようにした。

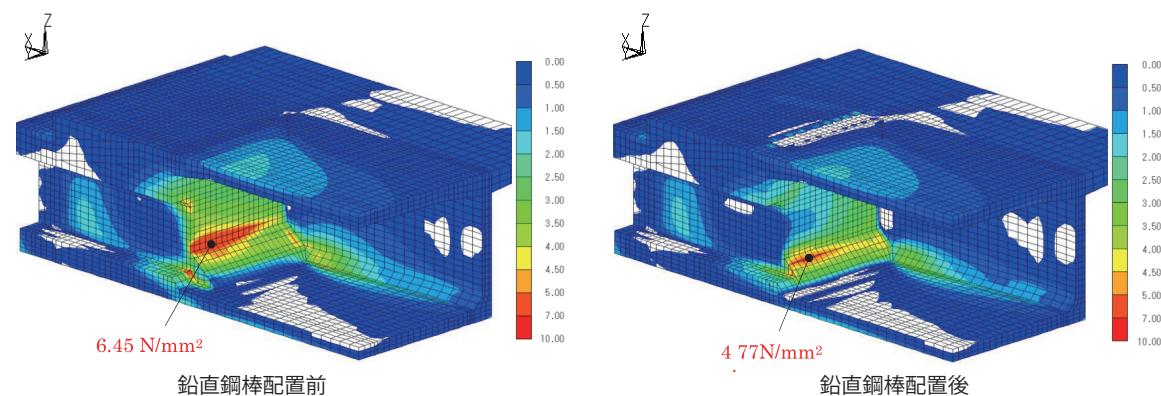


図5 桁端部横桁の最大主応力コンター図

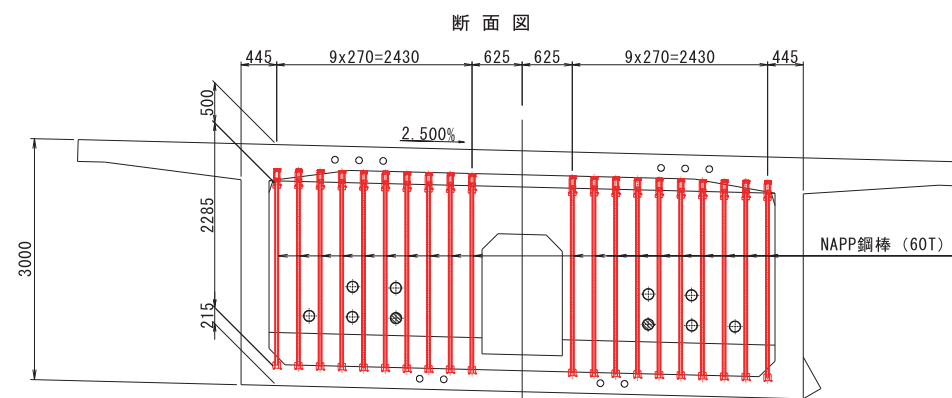


図6 鉛直鋼棒の配置位置

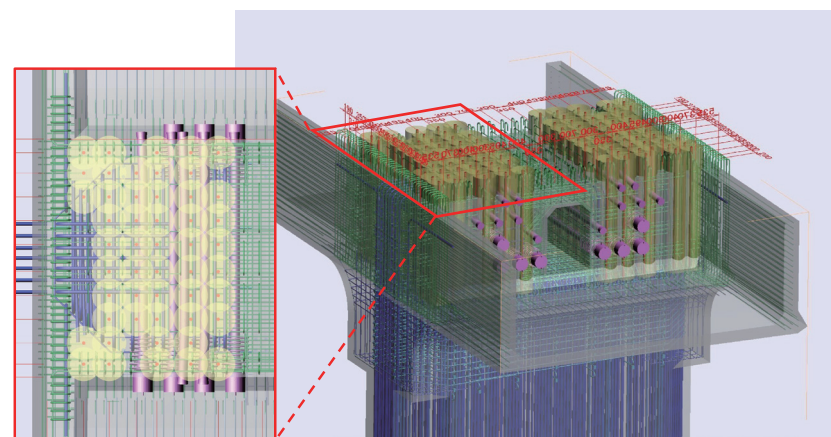


図7 CIMモデルによる有効範囲確認

充填検知システムの配置位置は、柱頭部の外ケーブル、上下部工鉄筋等を反映したCIMモデルを作成して(図7)、パイブレーターの挿入しにくい部位を事前検証することで決定した。その結果、パイブレーター挿入不可となる箇所は無いことが確認できたが、外ケーブル用鋼管直下と人通路下床版側上部には、充填不良のリスクがあるため、この2箇所を重点的に充填検知システムの配置を行った。

5. セグメントの張出し架設に対する取組み

5-1. プレキャストセグメント工法での上越し管理に対する配慮

プレキャストセグメントによる張出し架設は、架設ステップごとにコンクリートを打込む場所打ちの張出し架設とは異なり、最大張出しまでのセグメント製作を架設開始前に完了している。そのため、架設ステップごとのセグ

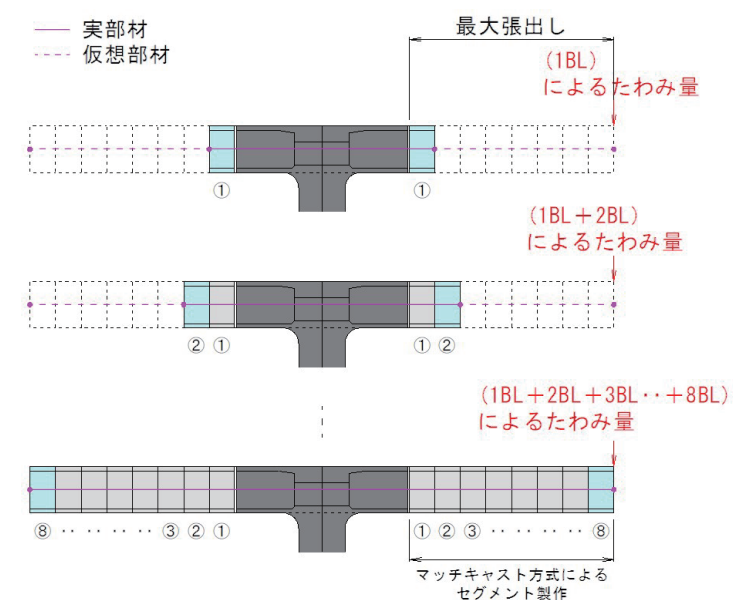


図8 各セグメントのたわみ累計を考慮したモデル



写真2 基準セグメントの架設



写真3 調整架台とロックナット付き油圧ジャッキ

メントのたわみ量が、後に架設するセグメントのたわみに累積することとなる。また、セグメントはマッチキャスト方式にて製作するため、架設時でのたわみ調整も困難である。

そこで、設計時に張出し架設開始時に最大張出しまでの部材を仮想部材としてモデル化し、各架設ステップでセグメント自重を載荷した。このモデルによって算出された累計たわみ量を、セグメント製作時の形状管理に反映させることで、架設時の上げ越し管理精度の向上を図った(図8)。

5-2. 基準セグメントの架設

基準セグメントの設置は、柱頭部施工で使用するブ

ラケットを大型化し、ブラケット支保工で直接支持する方法とした(写真2)。マッチキャスト方式にて製作したプレキャストセグメントによる片持ち張出し架設では、一般的な場所打ち施工とは異なり、架設中のたわみ調整が極めて困難であることから、基準セグメントの架設精度は、橋梁全体の出来形精度に大きく影響する。基準セグメント設置位置の調整方法として、水平方向に微調整が可能な機構を有する架台とロックナット付き油圧ジャッキを使用することで、高精度な基準セグメントの設置が可能となった(写真3)。

また、柱頭部と基準セグメントとの間の目地部には、高流動繊維補強コンクリートの打込みを行ったが、目地部コンクリートの打込みによる側圧や温度変化、地



写真4 専用セッティングビーム



写真5 引寄せ鋼棒の緊張力計測



写真6 鋼製足場ユニット

震等により設置した基準セグメントが動かないように強固に固定する必要がある。そのため、基準セグメントを所定の位置に設置した後、セグメント上では専用のセッティングビーム、鋼製ブラケットとPC鋼棒、セグメント箱桁内では固定用金具を用いて柱頭部と固定した(写真4)。

5-3. 片持ち張出し架設

基準セグメント架設完了後、橋脚の左右バランスをとりながら順次セグメントの張出し架設を行った。架設時には、セグメント同士の接合面には接着剤を塗布し、セグメントウェブ部に配置した引寄せPC鋼材にて仮固定を行ったのち、上床版に配置したPC鋼材を緊張することでセグメントを一体化した。

引寄せPC鋼棒は、FEM解析で接合面に対する応力分布を把握した上で本数、配置位置を決定した。

また、上床版に配置したPC鋼材を緊張するまでの間、架設セグメント重量を受け持つ必要があるため、安全率を通常の1.5倍とし、各ウェブの引寄せPC鋼棒1本(合計2本)にロードセルを設置して緊張力の経時変化を計測した(写真5)。

上床版に配置した架設ケーブルを緊張する際に用いる緊張足場は、ユニット化した専用鋼製足場を使用し、地上で架設セグメントに設置することで、高所作業を削減した(写真6)。

また、橋面防護(手摺、巾木、ネット等)を設置するが、本橋は国道24号線に隣接しているため、橋面防護の組立て時には資機材の飛来落下に対し、細心の注意を払う必要がある。そこで、橋面防護は、架設地点へのプレキャストセグメント搬入後、運搬トレーラー上で手摺、巾木、落下物防止ネットを事前設置し、その状態で吊り上げて架設を行った。



写真7 橋梁全景(2022年8月)

6. おわりに

本橋は、2020年1月よりセグメント製作(約15個/月)を開始し、2021年2月に製作を完了している。セグメントの現場搬入・架設は、2020年10月より開始しており、大型クレーンによる張出架設は完了している。現在は、施工ヤード条件や隣接工事との関係により、大型クレーンによる架設が不可能となった橋梁に対して、移動式架設機を用いた張出し架設の準備中である(写真7)。

主桁のセグメント化による「工場一括管理による品質の向上」と、「現場作業の省力化・迅速化」は、今後も時代のニーズに合致すると考えられ、本橋もその一例になり、プレキャスト部材の発展に繋がれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 西日本高速道路(株)／設計要領 第二集 橋梁建設編、平成28年8月
- 2) 武智、後藤、得津、小村／城陽第二高架橋の設計・製作—プレキャストセグメント工法—、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、Vol. 30、pp.385～388、2021.10

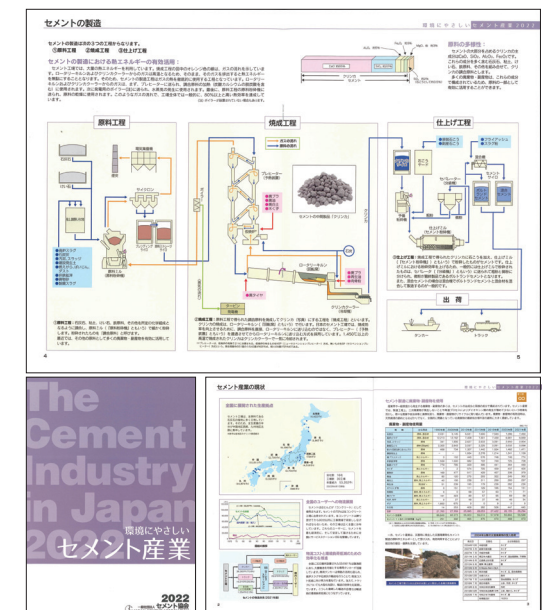
A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2022

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

申込みは、部数と送付先を明記のうえ、下記までファックスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

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



15cm 先の火事

鈴木 一雄

2006年夏、その日の朝は6時過ぎに早起きが苦手な大学2年生だった次男の「火事だァ!」の声で始まった。ノートパソコンを含む仕事道具、洋服、靴を持って、避難のため自宅の3階から1階の出口へ向かう途中で、子供2人のパソコンのハードディスク10個を渡され、かなりの重量の荷物となった。このため、隣家に接する壁を頼りに、階段を降りた。自宅はRC造の4階建てで、隣家に接する壁は触れることができる程度ではあるが、かなりの熱を感じ、隣家からの出火が想像された。自宅は片側3車線の国道に面しており、隣家との間隔はおよそ15cmと極めて狭くなっている。

外へ出ると隣家である木造の看板製作会社(1階が事務室で2階が倉庫の建物)からすでに炎と黒煙が吹き出し、火事場特有のニオイがしていた。この時東から西に向かって微風を感じつつ、荷物を持って100mほど離れた義父の事務所へ。現場には消防車とレスキュー車が1台ずつ到着しており、消防士によるホースの接続作業を横目で確認しつつ避難を開始した。わが家の女性陣の避難は迅速で被害を免れていた。2人の子供たちは、家から先に出る旨の声を聞いていたた

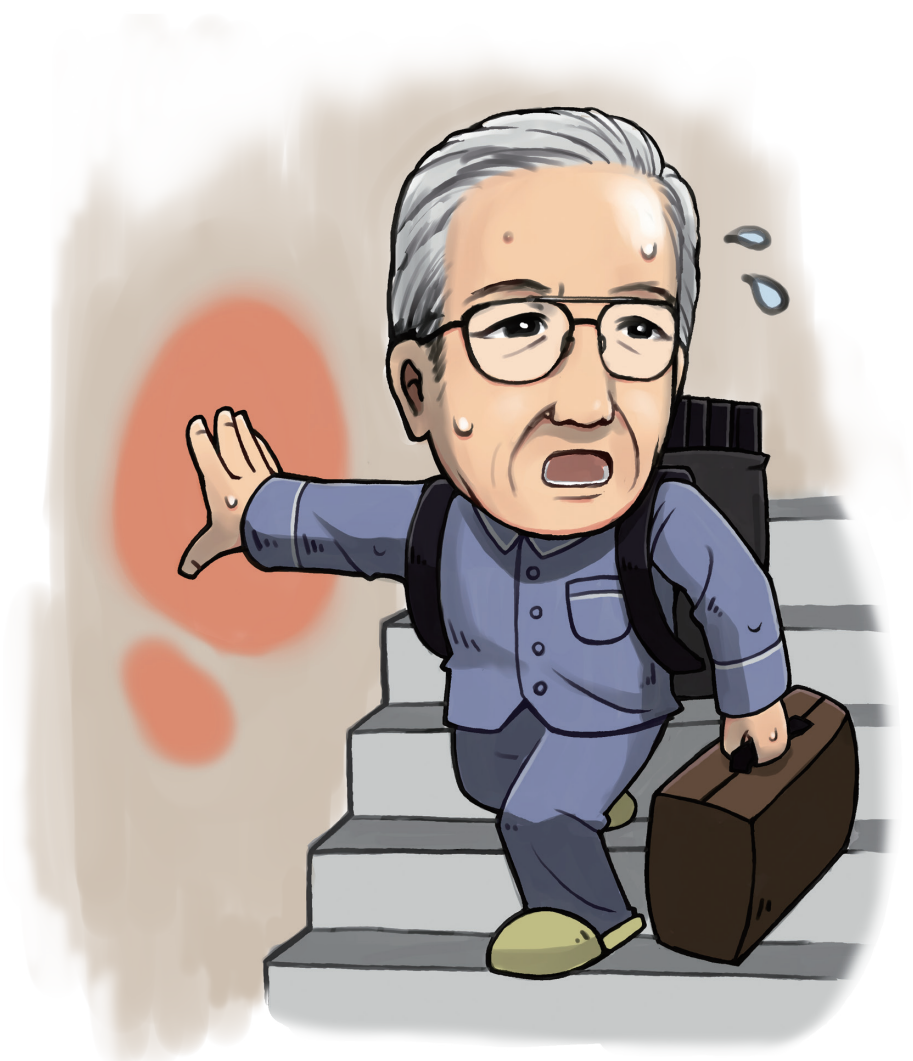
め、私が避難を開始した時点では視界の中にはいなかった。この時点では未だ規制テープは設けられておらず、6m程の歩道を、炎と煙とを避けつつ歩行者は通行できる状態で、後刻聞いたところによると風上で、子供たちは、火事場泥棒の監視を行っていたとのことであった。

消防車のサイレン、木造建物の焼けるときにはじける音、野次馬のどよめきを聞きながら、避難した。避難場所である義父の事務所(RC造の5階)のロビーに入ったときには、火事場の喧噪は聞こえず、安堵したことを覚えているが、同時に自分が持っている荷物の重さを改めて実感した。荷物の退避を終え、自宅へ戻ると歩道には規制テープが貼られ、パイプ長テーブルに図面がおかれて消火の責任者、数人の消防士と警察官などが打ち合わせていた。消防車8台が自宅前の国道にとまっており、交通整理の警官が出て1車線のみ通行となっていた。当然自宅に入ることは制限されていた。この時点では家の中からは、出入口の半分より高い部分から煙が吹き出しており、類焼しているものと推測された。自宅の入り口付近にて消火作業を見守っているうちに、風の関係で黒煙の一部を吸

い込むはめになった。看板製作過程では金属のフレームにアクリル、塩ビ、ポリプロピレン等を貼り付けており、原材料であるこれらが焦げるような強烈なニオイで思わず咳込んだ(電気コードが焦げたときより更に強烈なニオイ)。

はたして、2時間もすると隣の看板製作会社は半焼の段階で鎮火され、煙の量も著しく減少した時点で、消防隊員が家に入り、屋内の安全が確認されたとのことで、家に入ることが許された。

自宅では、隣家に接する壁面には窓がなく、3階のバス・トイレに付けた直径10cmの削孔だけで、これには換気扇が取り付けられていた。この換気扇は、ポリプロピレン製の羽根を持っており、これがステンレス製フードガラリ(換気扇からの雨水浸入防止のための壁に設けられた設備)を通して隣家の炎が浸入したことになる。換気扇の羽根の材料であるポリプロピレンが焼けていることから、その温度は極短時間にしろ発火点である300～440℃に達したものと思われた。この熱により室内は天井まで煤が付着し、入口のビニール製のカーテンも溶けて無くなっていたが、外部からの放水による効果のためか、かろうじて木製の扉は燃えることなく室内への炎の浸入を阻止しており、家財は損傷することなく維持された。ちなみに、自宅の西側(風下)は木造3階建ての商店で、自宅が火除けとなったため



か全く火災の影響を受けていなかったが、更に風下(4mの路地を挟んだ西側)の木造の商店は飛び火により若干の被害を受けたようである。

このように人生初めて経験した火事であったが、被災経験を通じて、冷静な行動と準備が大切であること、およびセメント・コンクリートを用いているRC造の優位性を改めて痛感した次第である。

[すずき かずお／

元全国生コンクリート工業組合連合会
常務理事]

橋梁現場の生産性を向上させる技術開発

Development of technology to improve productivity at bridge construction sites

大野 俊平 中村 健太 三瓶 晃弘

1. はじめに

昨今、生産年齢人口が減少する中、わが国の建設業界において「働き方改革」や「i-Construction」など生産性向上が推進されており、橋梁の現場でもICT技術導入などによる業務の効率化および省力化は急務となっている。

今回、ICT技術を導入した現場は、張出し架設工法で施工される橋梁現場である。張出し架設工法は3～4mを1ブロックとし、バランスを取りながら左右に橋体を伸ばしていく架設工法である。1ブロックの施工サイクルとして10日前後を要し、張出しブロックごとの施工管理が必要となるため、ブロック数の多い長大橋ほど、管理断面が増加するため、日々の施工管理に多くの労力を要している。

本稿では、各種ICT技術導入による橋梁現場の日常管理業務効率化・省力化について述べる。

2. 概要

2-1. 対象橋梁

今回、ICT技術の導入を試験的に導入した橋梁は、橋長約185mのPC3径間連続ラーメン箱桁橋であり、P1、P2両橋脚ともに、左右11ブロック(全22ブロック)を張出し架設工法により施工するものである。図1に橋梁概要図を示す。

2-2. 導入技術

日常管理業務の効率化・省力化を図るとともに、人為的ミスを排除することを目的として以下7項目のICT技術を導入した。

- ① 地形測量データに基づく3次元橋梁モデルを活用した施工計画
- ② 3次元橋梁モデルによる鋼材干渉および鉄筋組み立て順序の事前チェックシステム
- ③ PC鋼材の緊張作業における自動緊張管理システム
- ④ 橋梁桁変位自動計測システムを用いた橋体計測システム
- ⑤ 移動作業車自動据付装置
- ⑥ 3次元レーザースキャナを使用した鉄筋測定および出来形測定
- ⑦ 3次元橋梁モデルを活用した帳票・施工図自動作成システム

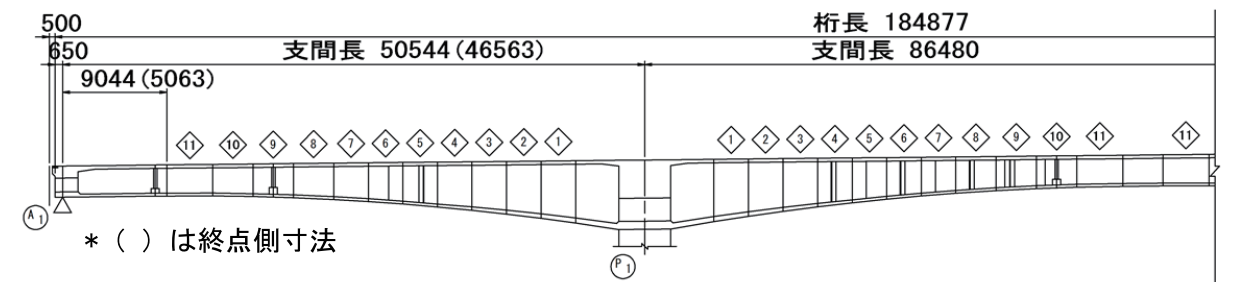


図1 橋梁概要図

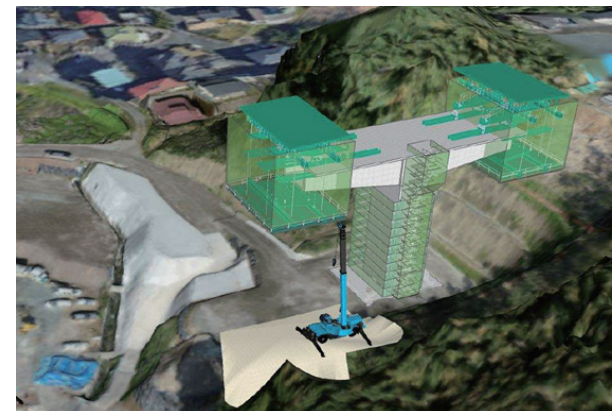


図2 クレーン配置検討モデル

以上に示すICT技術を導入することで、日常管理業務の効率化・省力化を図るとともに、人為的ミスを排除することを実現した。

3. ICT技術導入による効果

3-1. 地形測量データに基づく3次元橋梁モデルを活用した施工計画

ドローンによる地形測量データに基づいて作成した3次元モデルに、施工ステップを追った橋梁データを合成し、障害が発生する施工ステップを抽出、その対策を施工計画に反映させた。移動作業車や昇降設備などの大型機材・設備の搬入・搬出、組立・解体手順を施工ステップごとにシミュレーションすることで作業ヤードを有効活用した、適切で安全な施工計画を立案した。クレーン配置位置検討に使用した3次元モデルを図2に、実際のクレーン配置状況を写真1に示す。

3-2. 3次元橋梁モデルによる鋼材干渉および鉄筋組み立て順序の事前チェックシステム



写真1 クレーン配置状況

設計図面は柱、梁といった各部材の構造一般図、鉄筋配置図、PC鋼材配置図が別々に作成されている。そのため、鋼材同士の干渉や空きを確認するには、各図面を重ね合わせるという作業が必要となる。また、2次元CADデータ図面の確認では、鋼材同士の干渉を見落とす懸念があり、鋼材組立時に手戻りが発生する可能性があった。

3次元CADにより鉄筋およびPC鋼材の配置を再現した3次元モデルを作成し、鋼材同士が干渉していないかを3次元モデル上で確認、干渉箇所は鋼材位置を移動するなど事前対策を行った。また、本橋梁の柱頭部および側径間部横桁はパイプクーリングによるひび割れ対策を実施しており、クーリングパイプも合わせて3次元モデル化することで、パイプ配置が可能な位置を確認し、決定した配管位置を、クーリング計画へ反映させた。

また、3次元モデル上において鋼材の組立て手順を再現・事前確認することで、組立て作業の手戻り防止を図った。作成した3次元モデルを図3に、交錯部の干渉確認図を図4に示す。



おおの しゅんぺい / OONO Shunpei
鉄建建設(株)
土木本部 橋梁技術部 課長



なかむら けんた / NAKAMURA Kenta
同上
九州支店 土木部 工事係長



さんぺい あきひろ / SANPEI Akihiro
同上
土木本部 i-Con推進部 課長

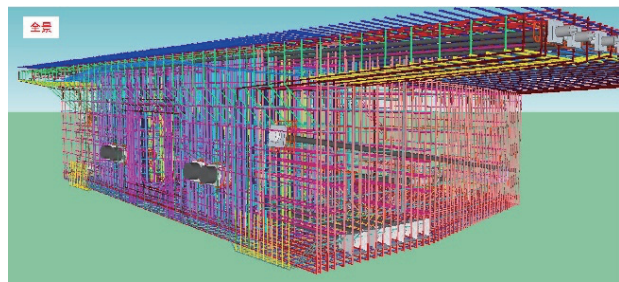


図3 3次元モデル(側径間)

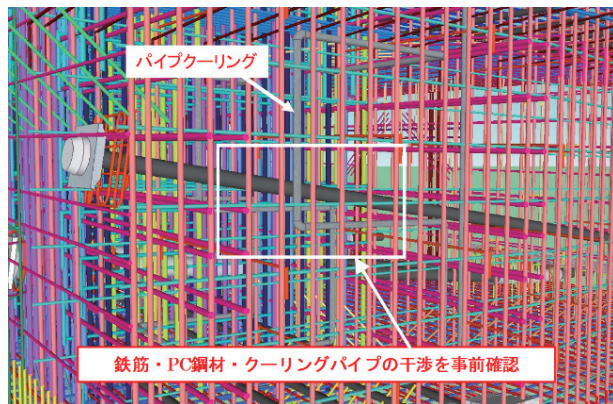


図4 干渉確認図

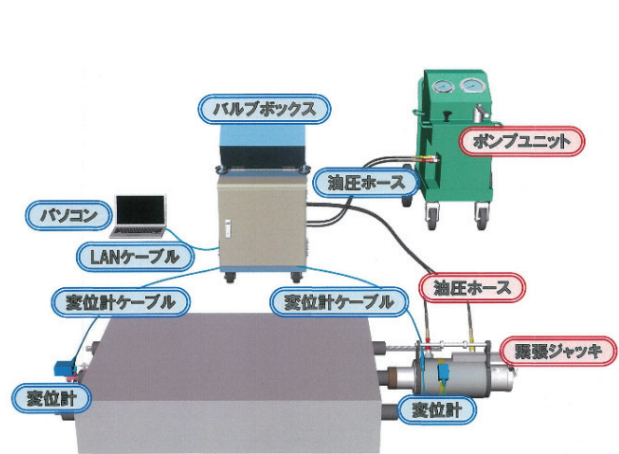


図5 自動緊張管理システムの概要図(片引き)



写真2 自動緊張施工状況

3-3. PC鋼材の緊張作業における自動緊張管理システム

通常の緊張作業は、作業指揮者1名、緊張グラフの管理者1名、ポンプ操作者1名、伸び・引込み量測定者2名、計5名程度の人員を要する作業である。また、緊張グラフ管理および伸び・引込み量の測定は人為的に行われるため、緊張管理に誤差が生じ、緊張精度が低下する懸念がある。そのほか、緊張作業中の伸び・引込み量測定は、緊張ジャッキおよび固定側定着具後方側面での作業となるため、安全についても注意を払う必要があった。

そこで、作業人員の省力化、緊張精度および作業環境の改善を図る目的で自動緊張管理システムを導入した。システム導入により、ポンプ操作、伸び・引込み量測定は自動化され、作業指揮者は緊張グラフの管理

を兼務することが可能となり、緊張作業を2～3名程度で実施することが可能となった。また、自動化により人為的な測定誤差が排除され、緊張精度の向上も図れた。さらに、緊張作業中の測定作業も不要となるため、安全性も向上した。自動緊張管理システムの概要図を図5に、自動緊張の施工状況を写真2、緊張ジャッキの設置状況を写真3、緊張管理画面を写真4に示す。

3-4. 橋梁桁変位自動計測システムを用いた橋体計測システム

張出し架設工法の橋梁では、「コンクリート打設」「PC鋼材緊張」「移動作業車の前進」といった施工サイクルの繰り返しのなかで、橋面高さが随時変動する。そのため、施工サイクルごとに橋面高さを測定し、設計値との比較・補正を行うことが、施工精度確保の上で極めて



写真3 緊張ジャッキ設置状況

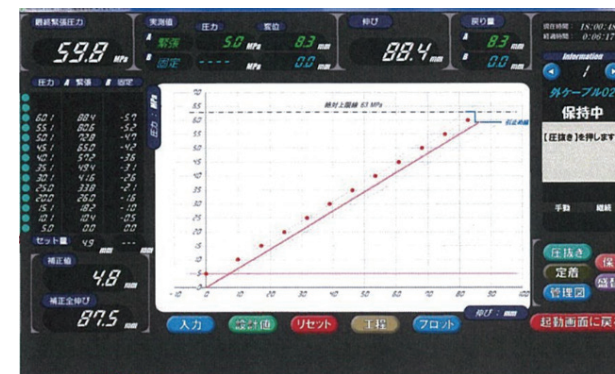


写真4 緊張管理画面

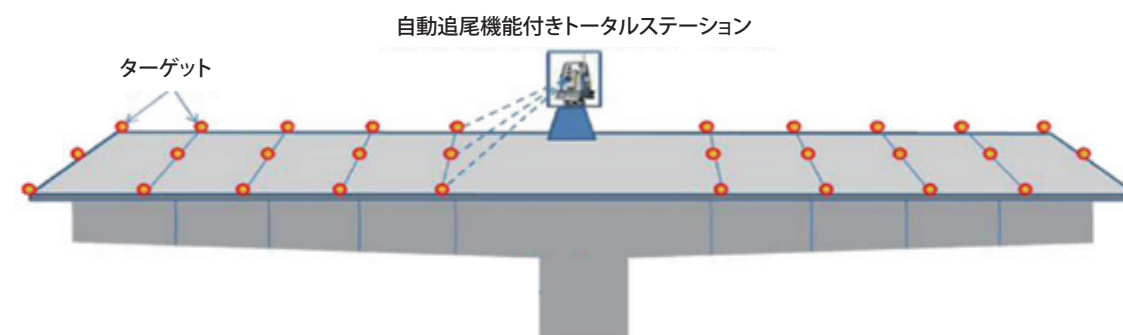


図6 橋梁桁変位自動計測システム概要図



写真5 計測状況概要図

重要となる。橋面高さは通常、レベルを用いて現場担当者2名で測量する。橋長が長く、施工ブロック数が多い橋梁では、測定回数および測定点が多くなるため、測量業務に多くの時間を要しているのが現状である。

橋面高さの測定・管理に橋梁桁変位自動計測システムを採用した。橋面上に設置した自動追尾式トータルステーションにより各張出ブロック先端部に設置したターゲットを前述した各ステップで自動計測した。計測結果は、

事務所のパソコンに送信し、弊社開発の上越し管理システム上にステップごとに計測結果として保存させた。計測業務を自動計測とすることで、日々の測量業務を省力化し、計測データについても管理システムに直接送信とすることで、データ整理の簡略化が図れた。橋梁桁変位自動計測システムの概要図を図6に、計測状況の概要を写真5に示す。

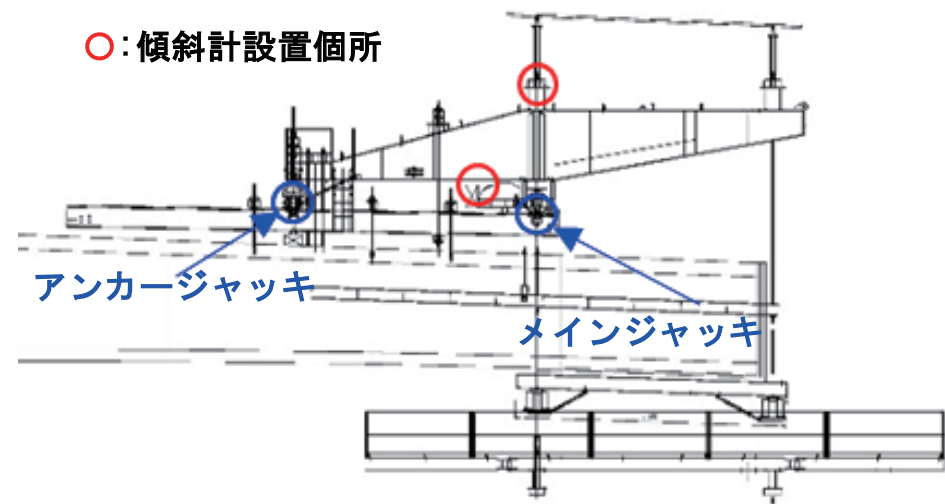


図7 ジャッキおよび傾斜計の設置箇所



写真6 自動据え付け施工状況



写真7 操作パネル画面

3-5. 移動作業車自動据付装置

移動作業車(以下、作業車と称する)の前進・据え付けは、最初に橋面に敷設したレール上の作業車を所定位置まで前進させ、作業車前方のメインジャッキと、後方のアンカー鋼棒により橋面固定する。その内、最後に作業車を水平に据え付ける作業は、現場担当者が作業車の左右主構高さをレベルで確認しながら、作業員が手動で各ジャッキの操作を行うのが一般的である。そのため、現場担当者と作業員の意思伝達の不確かさやジャッキの操作ミス等により作業車の据え付けが不十分となる懸念があり、万が一作業車が転倒した場合には、高所からの墜落等、重大事故につながる可能性があった。

作業車の据え付け作業の一部を自動化し、人為的ミスの排除を可能とする移動作業車自動据付装置を開発

した。本装置は、作業車に設置した3次元無線傾斜計により作業車の姿勢制御を行い、水平となるまでジャッキを自動で伸縮させるシステムである。操作ジャッキおよび傾斜計の設置箇所を図7に、施工状況を写真6に示す。据え付け作業は、作業従事者手元の操作パネルで一元管理することができ、傾斜計の出力は操作パネルに数値として表される。本装置の導入により、作業車の傾斜状況を確認しながら安全に据え付け作業することが可能となった。操作パネル画面を写真7に示す。

3-6. 3次元レーザースキャナを使用した鉄筋測定および出来形測定

主桁の鉄筋測定および出来形測定は、スチールテープやノギスなどを使用して2~3人で測定するのが通常であり、写真の撮影・整理なども含め、大きな労力を

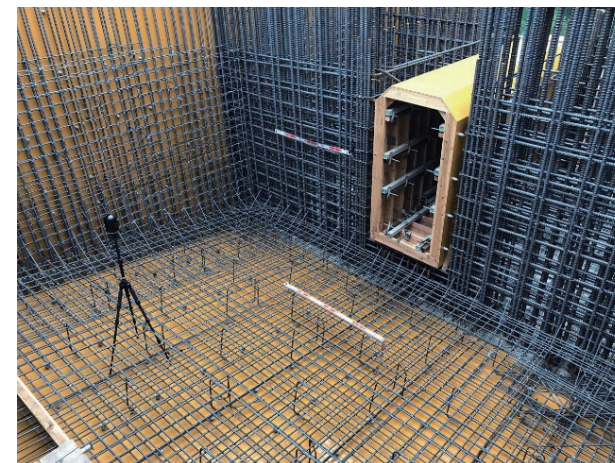


写真8 鉄筋計測状況

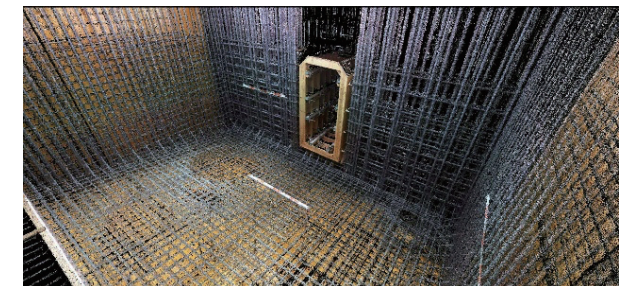


図8 3次元レーザースキャナ出力図

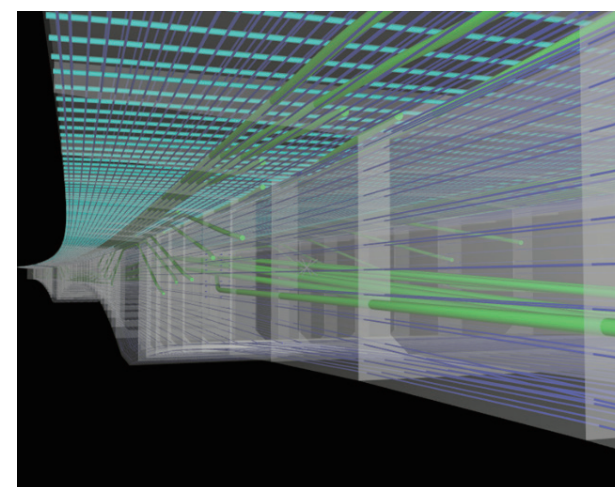


図9 3次元橋梁モデル(側面)

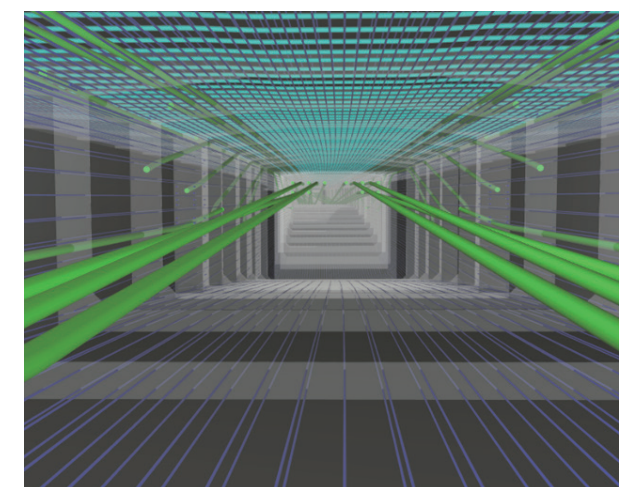


図10 3次元橋梁モデル(断面)

要する作業である。

3次元レーザースキャナを使用して鉄筋測定(径・配置間隔・本数)および出来形計測を行うことで、現場作業の一部を省力化することができた。写真8に3次元レーザースキャナによる鉄筋測定状況、図8にその出力図を示す。

3-7. 3次元橋梁モデルを活用した帳票・施工図自動作成システム

出来形管理の調書は、設計図面の断面寸法、鋼材本数・位置などを確認し、各計測個所の出来形データを各種調書に手入力して作成しているのが現状であり、日々の施工管理の中で多くの労力を要している業務の一つである。

また、各ブロック打継部にはコンクリート打設時に小口

型枠を設置するが、小口型枠の加工には、小口型枠の寸法・鉄筋・PC鋼材位置が分かる型枠加工図面をブロックごとに別途作成する必要があった。

出来形管理の調書作成および施工図の作成に掛かる業務を省力化するために、調書および施工図を一括出力する帳票・施工図自動作成システムを開発した。設計プログラム(PC-BOXII)の入力2次元データを元に橋梁躯体構造のほか、PC鋼材および主鉄筋位置を3次元モデル化し、全張出し施工ブロックの各種調書および施工図を全自動作成とした。

出力成果物としては型枠検測簿、出来形検測簿、グラウト注入量管理表、PC鋼材検測簿および小口型枠施工図の作成が可能であり、出来形管理の調書作成にかかる労力が一部省力化された。作成した3次元橋梁モデルを図9,10、出力した小口型枠設計図

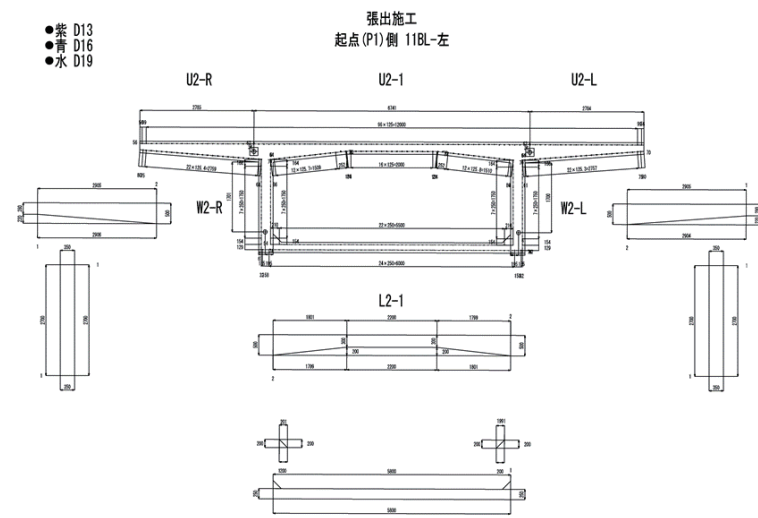


図 11 小口型枠設計図

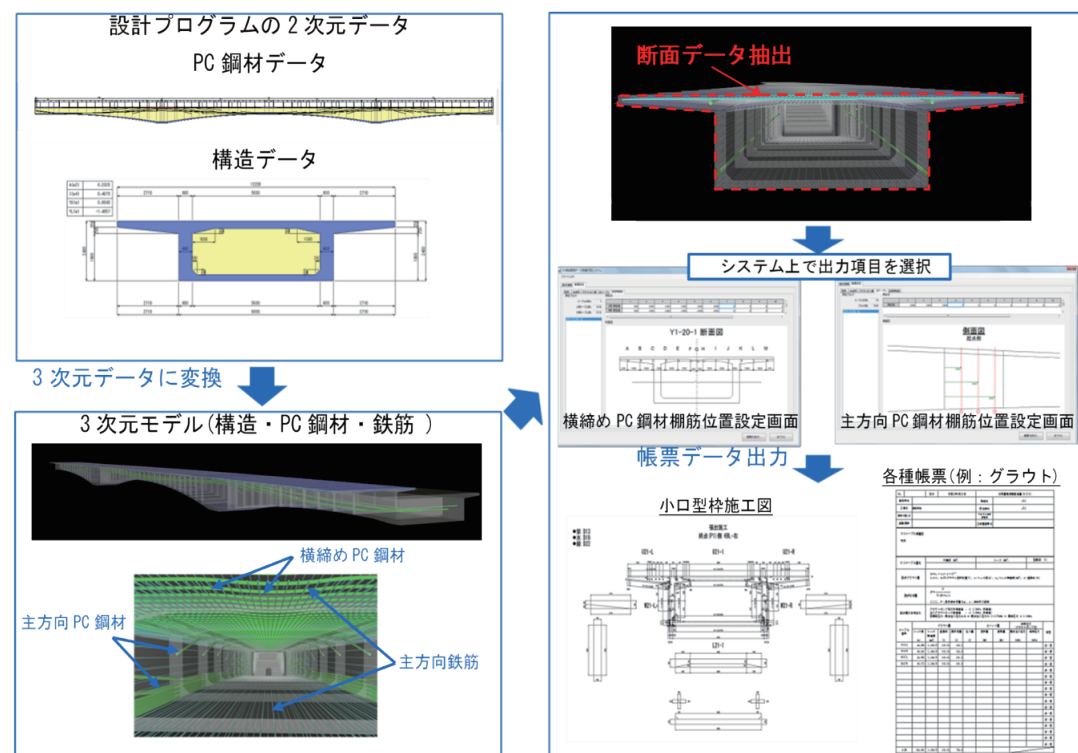


図 12 施工図・帳票自動作成システム

を図 11，施工図・帳票自動作成システムの概要を図 12に示す。

4. さいごに

今回紹介した各種 ICT 技術の導入により，日常業務が効率化・省力化され，生産性の向上を図ることができた。また，作業の一部に ICT 技術を導入，自動化す

ることで，サイクル施工における人為的なミスを排除し，安全・品質・出来形の向上を図れたうえ，手戻り作業もなく施工を終えることができた。

現在，橋梁現場において ICT 技術の導入は急速に進んでおり，今後も新規技術の開発等さらなる発展が期待されている。今後，ICT 技術を導入する現場への参考となるよう，当現場での実績を整理，精査していきたいと考えている。

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

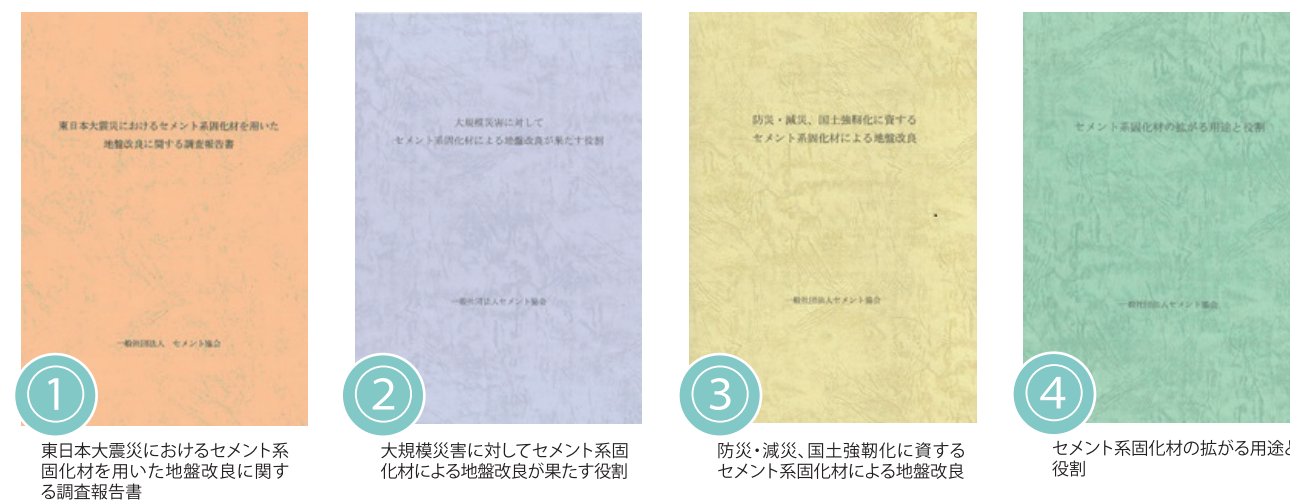
セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ，頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から，国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え，防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット（A4判・16ページ）を作成しました。様々な自然災害時に対し，強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を，①豪雨・渇水に備えるセメント，②津波・高潮に備えるセメント，③土砂災害に備えるセメント，④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ，各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセ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



一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

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。

- お知らせ
- 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

環境に配慮し省力化を目指した 乾式吹付補修工法の開発と特性

－太平洋エアショットワン－

Characteristics of dry spray repair method "Taiheiyo Air Shot One"

高山 浩平

1. はじめに

わが国では1960年代以降の高度経済成長期に建設された多くの社会資本ストックが高齢化を迎え、これらの補修・補強工事の重要度が増している。劣化が進行したコンクリート構造物に対しては「断面修復工」が多用されており、各機関より多くの補修工事が発注されている。一方で建設現場における労働者不足により人員確保が困難となる場合があり、こうした補修工事においても機械施工による省力化や施工効率の向上が望まれている。

このような背景を踏まえ、今後の補修工事に向けて環境配慮・省力化をターゲットとした乾式吹付工法「太平洋エアショットワン」を開発した。本稿では本システムの概要と特長および施工事例を紹介するものである。

2. 乾式吹付工法の概要

コンクリート構造物の断面修復工は、劣化部位を除去して、ポリマーセメントモルタルによる埋め戻しを行う方法が一般的である。これまでその方法としては人力でモルタルを塗り付ける左官工法と、練り混ぜたモルタルをポ

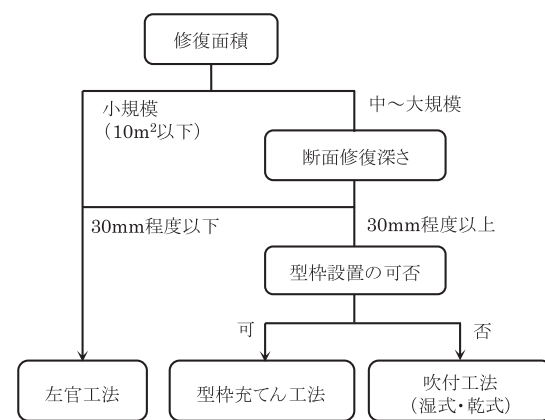


図1 施工工法選定の一例

ンプ圧送し吹付ける湿式吹付工法が用いられてきた。しかしながら、これらは1回当たりの施工塗厚の制限がともなう点から大規模の断面修復工には時間を要し、施工能力を向上させるためには作業員数を増加させる必要があった。一方で、こうした大規模施工部位では、型枠の設置が必要である型枠充填工法が用いられるなど、図1に示すような選定方法で、現場状況に応じて適正な施工方法が選定されている。

乾式吹付工法は、粉体と練混ぜ水をそれぞれ独立した経路で施工部位まで圧送させ、ノズル先で瞬時に混合しモルタル吹付けを行う工法である。これまで法面吹付や耐火材の吹付工事に多く用いられているが、近年では補修モルタルへの適用が増加している。その機構から、湿式吹付工法とは異なりミキサによる事前の練り混ぜが不要であり、また、長距離圧送が可能である点や、時間当たり1m³といったスピード施工能力を保有

表1 湿式、乾式吹付工法の比較

吹付工法	湿式吹付工法	乾式吹付工法
吐出能力	～0.4m³/h 程度	～1.2m³/h 程度
1層施工厚さ	最大 30mm 程度	最大 200mm 程度
圧送距離	～40m 程度	～200m 程度
粉じん量	比較的少ない	比較的多い
作業工程	比較的多い	比較的少ない

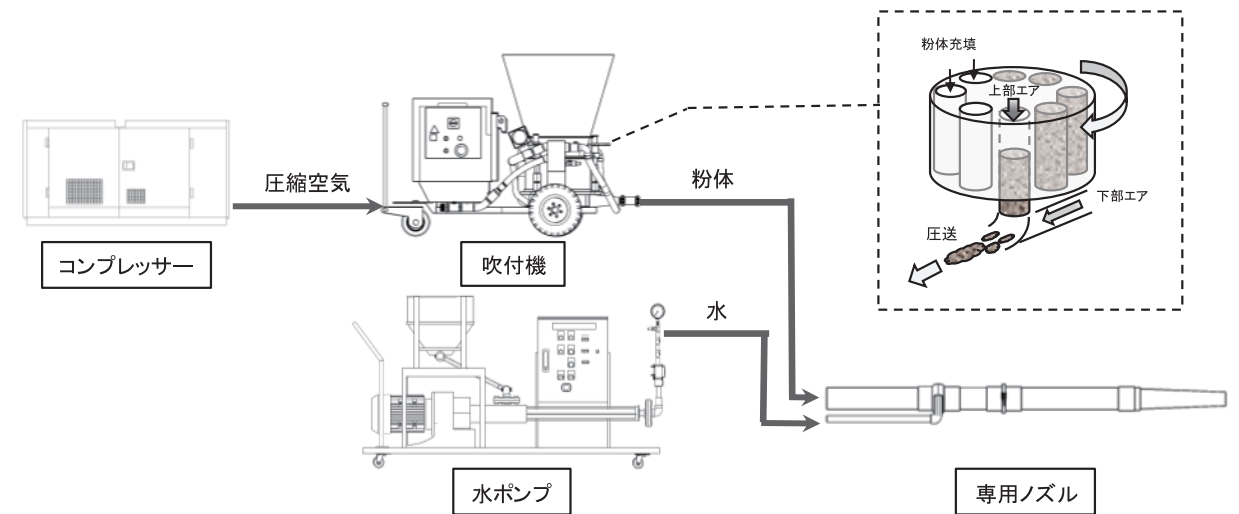


図2 吹付システムの概要

している点から施工効率に非常に優れる工法である。

表1に湿式・乾式吹付工法の比較を示す。一方で従来の乾式吹付工の課題としては、周囲への粉じんの飛散や水量管理の難しさが指摘される場合があった。以下に紹介する「太平洋エアショットワン」は、このような課題に対応した乾式吹付工法であり、橋梁やトンネル、擁壁、ボックスカルバート、栈橋などのコンクリート構造物の断面修復工事に適用するものとして開発を行った。

3. エアショットワンの概要

3-1. システムおよび施工方法

図2に本システムの概要を示す。本システムは圧縮空気を供給するエアコンプレッサー、粉体（プレミックス材）を圧送する吹付機、練混ぜ水を圧送する専用水ポンプ、およびプレミックス材と水を瞬時に混合させモルタルを吐出する専用ノズルから構成される。吹付機は内部の回転するローター内に充填されたプレミックス材を圧

縮空気によって連続圧送する仕組みとなっており、プレミックス材の供給量はローター種類の選定と、回転数のインバーター制御により調整・管理を行う。1時間当たりのモルタル吐出量は図3に示すローター出力とモルタル吐出量の関係より、補修を行う躯体の状況や施工条件に応じて決定する。最長200mの輸送が可能であり、本システムを施工部位から離れた位置に固定し、ホースとノズルのみを施工箇所に移動しながら吹付作業を行うことができる。このため暗渠、水路、狭いトンネルといった特殊作業環境においても適用が可能であり、従来の湿式吹付工法や左官工法における練混ぜプラントの移動の手間を省くことができる。システム配置の一例として、橋梁補修工事における配置を図4に示す。

また施工完了後の圧送ホース内の清掃が不要であり、作業効率に優れる利点がある。専用水ポンプは0.1kg/分単位で流量のコントロールが可能であり、適正水比の範囲内でモルタル軟度の微調整を行う。また施工記録として吹付時の水量の記録を保存し、確認する



たかやま こうへい / TAKAYAMA Kouhei
太平洋マテリアル(株)
開発研究所 機能性材料グループ

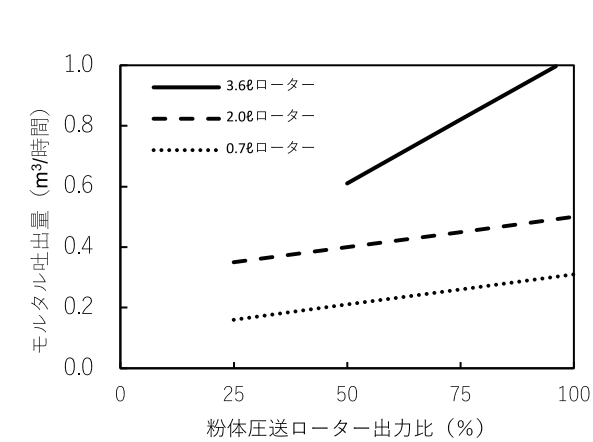


図3 ローター出力とモルタル吐出量の一例



写真1 施工手順

ことが可能である。

施工手順を**写真1**に示す。あらかじめ目標となる吐出量から水量およびプレミックス材供給量を設定する。練混ぜ水がノズル先まで供給されている状態で、プレミックス材を吹付機内部のホッパーへ投入し、圧縮空気を用いて粉体圧送を行う。圧送されたプレミックス材と練混ぜ水はノズル部位で合流し、自動的に混合が行われ、輸送時の圧縮空気を利用して吹付作業を行う。吹付作業終了後、表面をコテ作業によって平滑に仕上げ、適切な養生を経て施工完了となる。

また、本プレミックス材を左官ミキサやハンドミキサにより混練し、左官工法や湿式吹付工法に使用することも可能とした。

3-2. 施工能力

本システムのローターの種類を変えることにより吹付量

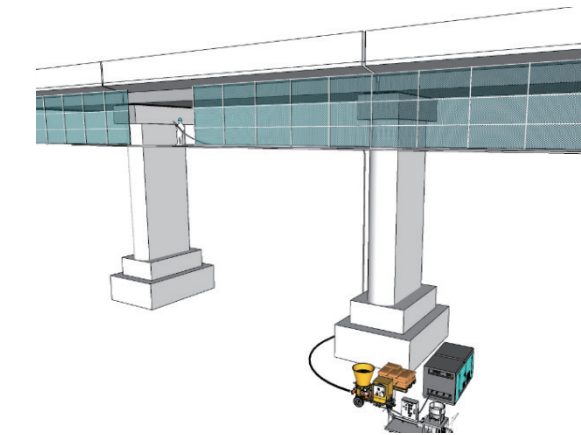


図4 吹付システム配置例



写真2 吹付状況

は時間当たり0.15～1.2m³の調整が可能である。これにより大断面へのスピード施工や、吹付量を小さくすることで仕上げ時の調整や補修箇所の小さい部位への適用も期待できる。また、**写真2**に示すような1層で最大200mmの厚付け施工が可能であり、複数回の吹き重ねを不要としている。このため打継箇所を少なくできることから、層間に発生するドライアウトや浮き等の欠陥リスクを抑制することができる。

3-3. 施工環境負荷低減性

施工環境への負荷を低減するため、以下の特長を有している。

(1) 低粉じん性

専用吹付ノズルの使用と本システム用に開発した専用プレミックス材との組み合わせにより、吹付作業時の粉じん発生量を大幅に低減した。**写真3**に対策を講じない



写真3 粉塵発生状況の比較
[左：対策を実施していない乾式吹付工，右：本工法]

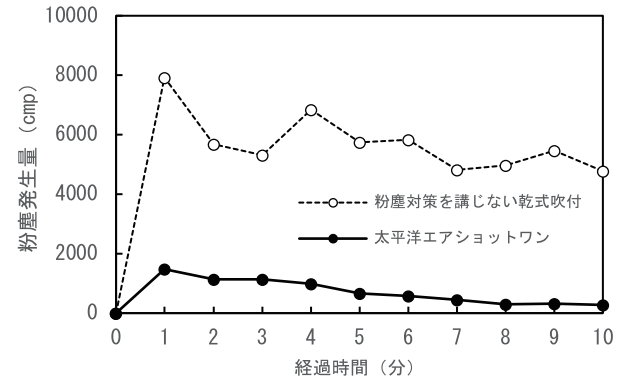


図5 粉塵量の測定結果

表2 太平洋エアショットワンの性能例

試験方法	試験項目	物性例
NEXCO 試験法 432	ひび割れ抵抗性	ひび割れ発生なし
	コンクリートとの付着性 (材齢 28 日)	2.6N/mm²
	振動試験	有害なひび割れや剥離・剥落なし
	コンクリートとの付着性 (振動試験後)	2.8N/mm²
	鉄筋背面への充填性	有害な空隙なし
	寸法安定性	0.035%
	熱膨張性	1.2×10 ⁻⁵ /℃
	中性化抵抗性	中性化深さ 0.0mm (26 週)
	凍結融解抵抗性	相対動弾性係数 101%
	遮塩性	拡散係数 0.196cm²/年
	圧縮強度	58.1N/mm²
	静弾性係数	24.4kN/mm²

乾式吹付工と本システムの吹付状況の比較を、**図5**に粉じん量の測定結果の一例を示す。粉じん量の測定は、密閉空間の壁面に10分間連続して吹付施工を実施し、ノズルマン位置での粉じん量を測定した。対策を講じない従来の乾式吹付工と比較して粉じん量を約1/8程度まで低減できることが確認された。

(2) 混和用ポリマーエマルションが不要

専用プレミックス材中に粉末再乳化樹脂を配合している。そのため、ポリマーエマルションを混練する必要がなく、計量の手間や、廃液および廃缶の処理を不要とした。

(3) 荷姿の軽量化

従来のセメント系プレミックス製品は25kg袋が一般的であるが、労働基準法の重量物の作業制限を考慮し、使用されるプレミックス材の荷姿は18kg袋とした。これにより、材料投入時における作業員の負荷を軽減した。

3-4. 断面修復材としての性能

本システムに使用する専用プレミックス材は、混和用のポリマーエマルションを必要としない、水だけで混練する一材型の断面修復用ポリマーセメントモルタルであり、中・東・西日本高速道路(株)「構造物施工管理要領」吹付工法・左官工法による断面修復材および、東京港埠頭(株)「栈橋劣化調査・補強マニュアル」断面修復材の性能照査試験適合材料である。**表2**に性能例を示す。

(1) 鉄筋背面への充填性

NEXCO 試験法 432に準じて、鉄筋背面への充填性試験を実施した。型枠を天井面に設置して上向き方向への吹付施工を行い、硬化後所定位置で試験体を切断した。**写真4**に示す充填状況の結果から、鉄筋周囲や鉄筋背面における有害な空隙の発生がないことが確認された。



写真4 鉄筋背面への充填状況

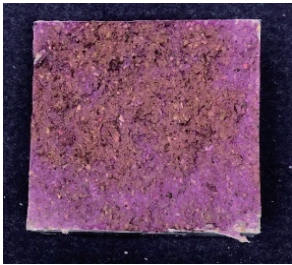


写真5 中性化深さ(促進26週後)

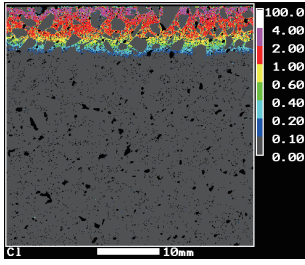
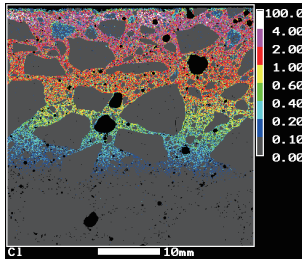


写真6 塩化物浸透状況(6か月浸漬後)

表3 各種付着耐久性試験測定例

試験方法	養生条件	付着強度
JSCE-K561	標準養生	3.92N/mm ²
	水中養生	3.72N/mm ²
	多湿養生	3.13N/mm ²
	低温養生	4.55N/mm ²
	乾湿繰返し養生	2.48N/mm ²
	温冷繰返し養生	2.78N/mm ²

(2) 中性化抵抗性

JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準じて試験を行い、一般的なコンクリートと比較し、写真5に示すように中性化抵抗性が極めて高いことが確認された。

(3) 遮塩性

JSCE-G 572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」に準じて浸漬を6か月間行い、JSCE-G 574「EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法」に準じて塩化物イオン分布の

測定を行った。写真6に示すように遮塩性が極めて高いことが確認された。

(4) 接着性

各種養生条件下でコンクリートとの付着性試験を実施した。試験結果を表3に示す。プレミックス材の最適な配合設計と、圧縮空気を利用した吹付圧力を利用する機構のため、躯体コンクリートの細部までモルタルが充填される。このため、躯体との一体化を図ることができ、耐久性試験についても安定した付着強度が得られたと考える。



写真7 栈橋補修状況
[左：吹付補修状況，右：仕上後の状況]

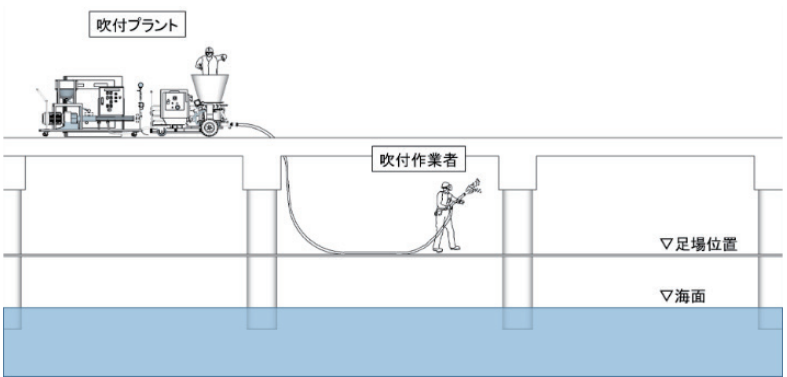


図6 栈橋補修におけるシステム配置

以上の点から断面修復材に求められる性能を有しており、各種劣化因子に対応する耐久性が確認された。高耐久性により、再補修までの期間を長く確保でき、コンクリート構造物のライフサイクルコストの低減に寄与するものとする。

4. 適用事例

本工法は、塩害等の影響を受け、鉄筋腐食を伴う劣化が確認された栈橋への適用事例がある。施工時のシステム配置例を図6に示す。吹付プラントを栈橋上部に設置し、ホースおよびノズルを施工部位まで延長させ吹付施工を行った。

補修手順として①劣化部のはつり除去、②ケイ酸リチウム系アルカリ性付与材による躯体コンクリートへのアルカリ性付与と表面の素地強化、③鉄筋や周囲のコンクリートに対して亜硝酸塩系材料による防錆処理、④断面修

復工の埋め戻しとして、「太平洋エアショットワン」による乾式吹付施工を実施した。塩害の影響により、断面修復工が必要なコンクリート構造物に対し、補修工法全体による耐久性向上を図る手法が採用された。吹付補修状況を写真7に示す。従来の湿式吹付工法と比較して、飛躍的に施工速度・施工効率が向上した。

5. おわりに

「太平洋エアショットワン」は従来の断面修復工法の様々な課題を解決し、補修施工現場の省力化、工期短縮および環境改善を実現した。わが国が推進する社会資本の維持・修繕にはインフラメンテナンスサイクルの効率化・高度化が急務であるが、本工法がその一助となるようインフラ管理者、設計者、ならびに施工業者への浸透を図るとともに、さらなる耐久性の向上と施工性の改善に努めていきたいと考えている。

第50回(2022年度)セメント協会論文賞・受賞論文

ポルトランドセメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化

CO₂ Absorption and Products in Carbonated Portland Cements

梅津 真見子 黒川 大亮 森 泰一郎 坂井 悦郎

1. はじめに

大幅なCO₂削減を目指すカーボンニュートラルなどのプロジェクトと関連してカーボンキャプチャーやカーボンミネラルイゼーション¹⁾などの技術も着目され、当分野の関連する雑誌でも特集号が組まれている^{2,3)}。低炭素型セメント系材料としても、セメント中のクリンカ含有量を低下させることに加えて、CO₂との反応による固定化も注目され始め⁴⁾、 β -C₂S、 γ -C₂S、C₃S₂、CSなどのケイ酸カルシウム、製鋼スラグ、高Caフライアッシュなどの多くの材料が対象となっている⁵⁾。特にケイ酸カルシウム化合物のCO₂との反応や固定量についてはすでにいくつかの研究があり、炭酸化生成物としては、カルサイト、アラゴナイト、バテライトおよび非晶質ケイ酸カ

ルシウム炭酸塩水和物とシリカゲルとされている⁶⁾。また、合成したC₃S、 γ -C₂S、C₃S₂、CSの化合物のCO₂の固定量は約20%程度であり、 γ -C₂Sが約30%で最大との報告もある⁷⁾。さらに水和物も含めて理論的な最大CO₂吸収量(10⁻²gCO₂/gpowder)も求められており、CHで59.5、C-S-Hで35.9、エトリンガイトで38.9、C₂Sで51.2、C₃Sで57.9、そしてC₃Aでは48.9とされている⁸⁾。また、CO₂固定化を新材料に利用する検討もなされており、フレッシュコンクリートへのCO₂の吹き込み、あるいはワラストナイト、ランキナイト、 γ -C₂SセメントやMgOセメントなどが検討されている⁹⁾。ケイ酸カルシウム化合物などの炭酸化反応に関しては、すでに述べたように固定化による新材料とも関連させているため^{1,7)}、高濃度のCO₂ガスによる炭酸化の研究が多く、低CO₂濃度の炭酸化によるセメント硬化体の生成物組成の変化を検討した例は少ない。

一方、コンクリートやコンクリート構造物に関しては、中性化として多くの研究がなされている。しかし、セメント硬化体のCO₂吸収量や生成物の組成などの検討は十分とは言い難い¹⁰⁾。例えば、セメントは製造時にCO₂を排出するが、コンクリートの炭酸化によりCO₂を吸収し、これを加味すると、供用時と最終段階までにCO₂吸収は23%程度となるとの報告もある¹¹⁾。したがって、ライフサイクルを考慮したコンクリート廃棄物や構造物のCO₂吸収量と関連して¹²⁾、セメント硬化体のCO₂固定化や生成物の組成変化などを再整理する必要がある。

表1 使用したセメントの化学組成

材料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl	F.CaO	LOI
N	20.8	5.6	3.2	64.0	1.2	2.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.03	0.4	2.3
MPC	23.0	3.9	4.2	63.0	1.1	2.0	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.01	0.2	1.0
LHC	26.3	2.8	3.0	63.3	0.6	2.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.01	0.2	0.8

(mass%)

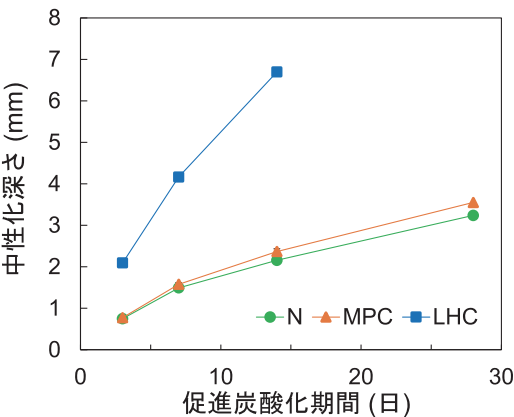


図1 中性化深さ

本稿では、温度20℃、相対湿度60%、CO₂濃度5%の促進炭酸化における普通(N)、中庸熱(MPC)、および低熱ポルトランドセメント(LHC)硬化体のCO₂固定量と生成物の組成変化について述べる。

2. 材料と試験体の調製

セメントペーストは表1に化学組成を示す普通ポルトランドセメント(N:密度3.15g/cm³、粉末度3290cm²/g)、中庸熱ポルトランドセメント(MPC:密度3.22g/cm³、粉末度3240cm²/g)、および低熱ポルトランドセメント(LHC:密度3.25g/cm³、粉末度3340cm²/g)を用いた。W/C=0.5とし、2×2×8cmの試験体を成形した。材料分離を防止するため増粘剤(花王(株)製のビスコトップ)をセメントに対して2mass%添加した。養生方法は、20℃で湿空養生3日後脱型し、さらに4日間湿空養生した後、14日(表記:7-14d)と28日(表記:7-28d)炭酸化養生を行った。また、比較のため21日(表記:21d)と35日(表記:35d)湿空養生した試料を用いた。炭酸化養生はCO₂濃度が5%、温度が20℃、相対湿度が60%とした。フェノルフタレインアルコール溶液により中性化深さを測定し、無色(中性化)部と着色(未中性化)部

を切り出し分析試料とした。所定の材齢に達した試料は、多量のアセトンを用いて水和停止を行い、アスピレーター(0.04MPa)で48時間減圧乾燥させた。

図1に各PC硬化体の中性化深さを示した。LHCの中性化速度は最も大きく、MPCの方が若干速いが、Nとはほぼ同様な傾向を示した。セメントの種類で中性化深さに違いはあるものの、炭酸化養生14日と28日後の試料の中性化部と未中性化部を分析対象とした。

3. 生成物の変化

3-1. 未中性化部の水和生成物

未中性化部の水和生成物は水酸化カルシウム(CH)、C-S-H(C-A-S-H)、カルシウムアルミネート系水和物であった。図2に35dの未中性化部と7-28dの中性化部におけるカルシウムアルミネート系水和物のXRDパターンを示した。Nの未中性化部は、少量混合成分として石灰石微粉末(LSP)が添加されているので、エトリンガイト(AFt)に加えて、モノカーボネート(MC)も生成している。MPCとLHCの未中性化部では、主にAFtのみが生成している。モノサルフェート(AFm)ではなくAFtが生成しているのは、表1にPCの化学組成を示したが、



うめつ まみこ / UMETSU Mamiko
東京工業大学 物質理工学院 特任助教
(現大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室) 博士(理学)



くろかわ だいすけ / KUROKAWA Daisuke
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
セメント化学チーム 博士(工学)



もり たいいちろう / MORI Taiichiro
デンカ(株) 青海工場 青海サステナビリティ推進部
グループリーダー 技術士(化学)



さかい えつお / SAKAI Etsuo
東京工業大学 名誉教授 博士(工学) 技術士(化学)

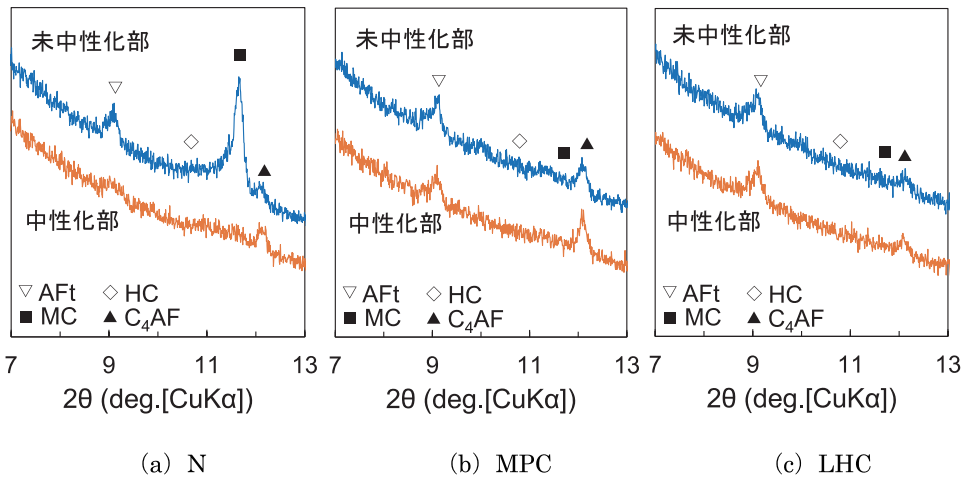


図2 材齢35日の未中性化部と中性化部におけるX線回折パターン(7～13°)

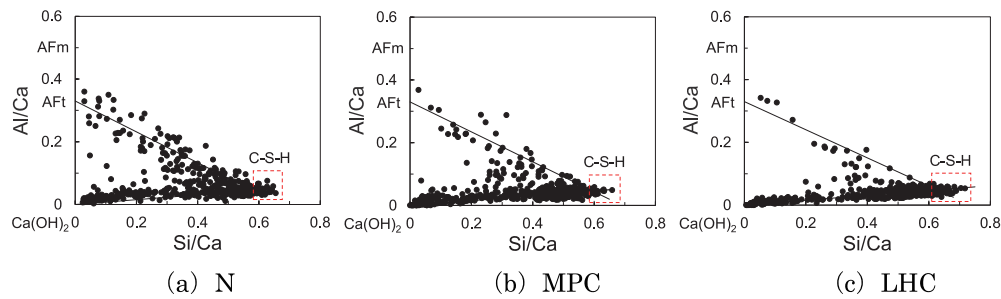


図3 N, MPC, LHC硬化体の未中性化部におけるC-S-Hの組成分析

表2 C-S-Hの組成

サンプル	Ca/Si	Al/Si	Ca/(Si+Al)
N	1.65	0.07	1.54
MPC	1.63	0.07	1.52
LHC	1.57	0.07	1.47

Al₂O₃に対するSO₃がMPCとLHCでは、Nより大きいことが影響している。

図3にSEM-EDSによる多点分析に基づく、未中性化部の試料(21d)のSi/Ca比とAl/Ca比の関係を示した。測定はエネルギー分散型X線分光分析器付電子顕微鏡(SEM-EDS(KEYENCE社製VE9800およびEDAX社製genesis-XM2))を用い、傾向線は宮原の方法に準じた^{13,14)}。一般にPC硬化体では、AFm相とC-S-Hの混合相が生成するが、NにはLSPが添加され、MPCとLHCではNよりSO₃/Al₂O₃比が大きい。そのため、本研究のPC系では、AFtとMCあるいはAFtのみが生成する。AFtはSi/Ca=0、Al/Ca=0.33付近に分布する。CHやAFtから測定点にそって傾向

線を引き、交点の周辺から高Si/Ca比の測定点が単一のC-S-H(C-A-S-H)の組成と考え、図中の点線で囲んだ測定点の平均をC-S-Hの組成とした。表2に示すように、セメントの種類によりC-S-HのCa/Si比は若干異なるが、材齢21dのNは1.65、MPCは1.63、LHCは1.57であった。これは、各PCのCaOとSiO₂の含有量と反応率に関連している。また、Ca/(Si+Al)比は、それぞれ1.54、1.52および1.47であった。Al/Si比は、全ての硬化体で0.07を示し、PCの範囲で大きな差は見られない。

なお、SEM観察用の試料作製と測定は次のようにした。エポキシ樹脂を40℃に温め、硬化剤を加え、2分間練り混ぜた。その後、樹脂と試料を型枠に入れて硬

表3 材齢7と21日の未中性化部と7-14日の中性化部のCH量

サンプル	7d 未中性化部	21d 未中性化部	7-14d 中性化部
N	22.24	22.20	13.21
MPC	16.61	21.55	11.72
LHC	12.39	17.61	8.60

(mass%)

表5 ビーライトの反応率

未中性化部	7d	21d	35d
N	15.31	12.72	20.56
MPC	15.47	21.00	30.67
LHC	12.54	24.90	27.68
中性化部		7-14d	7-28d
N		54.27	56.75
MPC		56.73	49.80
LHC		58.93	55.77

(mass%)

化させ、観察面を鏡面研磨することで平面を得た。アスピレーターで24時間以上乾燥した後、SEM-EDSによる測定を行った。加速電圧15kV、観察倍率1000倍で、1試料につき25以上の視野を観察し、1視野あたり20点を分析し、合計500点以上について未反応粒子を避けて分析した。

表3にCH量を示した。21dの未中性化部のCH量は、Nで22.20mass%、MPCで21.55mass%、LHCで17.61mass%であった。一般に、CH量はTGの405～515℃の減量より求めるが、本研究ではTG-DTG曲線の変曲点から脱水温度を決め、その温度での減量から求めた。

3-2. 中性化部の生成物変化

図2に示したカルシウムアルミネート系生成物において、Nの中性化部では、MCのピークが消失し、AFtもほとんど観察できない。一方、MPCとLHCの中性化部ではAFtのピークは小さくなっているが、消失していない。AFtは炭酸化によりアルミナゲル、石こう、炭酸カルシウムを生成するとされている¹⁵⁾。しかし、炭酸化を受けても本研究の範囲では、MPCやLHCではNと異なり、AFtが残存している。これは、MPCとLHCでは、SO₃/Al₂O₃比が大きいために、炭酸化でAFtが分解し

表4 エーライトの反応率

未中性化部	7d	21d	35d
N	85.17	86.40	89.19
MPC	86.49	90.31	93.32
LHC	86.88	88.40	91.86
中性化部		7-14d	7-28d
N		90.34	94.64
MPC		92.81	95.23
LHC		96.90	95.75

(mass%)

表6 鉱物組成

セメント	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
N	55.0	18.4	9.3	9.8
MPC	43.4	33.4	3.3	12.9
LHC	28.5	54.0	2.4	9.0

(mass%)

ても、分解して生成したゲル状水和物とSO₃成分との反応によりAFtが再度生成したためと考えられる。

表3に7-14dの中性化部と21dの未中性化部のCH量を比較して示した。21dの未中性化部では、MPCがNに近く、LHCは他のPCより小さな値を示した。中性化部のCH量は未中性化部の半分程度に減少しているが、完全に消失することなく残存している。PCの中では、LHCのCHの生成量が最も小さいが、残存量も著しく小さい。したがって、7-14dの中性化部と21dの未中性化部のCH量の差は、N、MPCおよびLHCで、それぞれ8.99、9.83および9.01mass%となり、CHに関するCO₂固定量としては、ほぼ同等となった。

表4、5に7d、21d、35dの未中性化部と、7-14dと7-28dの中性化部のエーライトとビーライトの反応率を示した。また、表6に各PCの構成化合物の比率を示した。7dの湿空養生のみの試料において、エーライトとビーライトの反応率は、全てのPCでほぼ等しいので、エーライトの含有量が多いNの生成物量は最も大きい。ビーライトの反応率は、全てのPCにおいて、21dと35dの未中性化部で約13～25%と20～30%を示すが、中性化部では約50～60%とより大きな値を示し、炭酸化養生によりビーライトの反応が促進された。これは既報¹⁶⁾の結果と一致する。

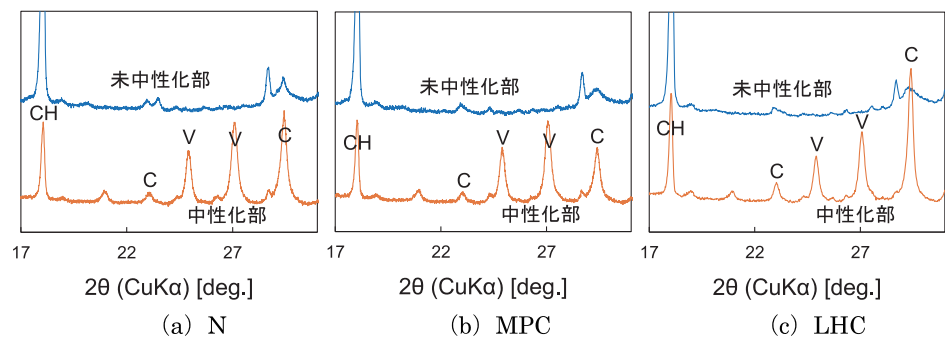


図4 材齢35日の未中性化部と中性化部におけるX線回折パターン
[C : Calcite, V : Vaterite, CH : Ca(OH)₂]

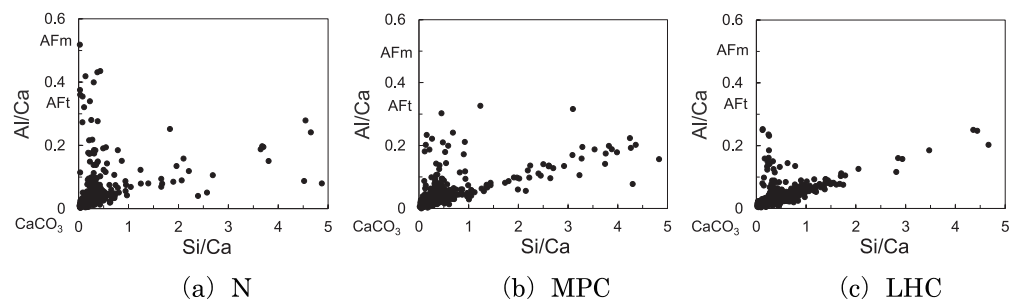


図5 N, MPC, LHC 硬化体の中性化部における組成分析

炭酸化によるCO₂固定と関連する水和物量は反応量(反応率×含有量)が関係する。湿空養生7dのエーライトの反応量(反応率×含有量)はN : 46.8mass%, MPC : 37.5mass%, LHC : 24.7mass%, ビーライトではN : 2.82mass%, MPC : 5.17mass%, LHC : 6.75mass%で、エーライトとビーライトの反応量の合計はそれぞれ49.62mass%, 42.67mass%, 31.45mass%となる。しかし、7-14dにおける中性化部の反応量を求めるとエーライトではN : 49.67mass%, MPC : 40.05mass%, LHC : 27.61mass%, ビーライトではN : 9.98mass%, MPC : 18.94mass%, LHC : 31.80mass%, 両者の合計は59.65, 58.99, 59.41mass%で、生成物量としてはほぼ等しくなる。炭酸化におけるビーライト反応促進の影響があり、長期ではPCの種類による差は小さいが、初期の反応率とエーライト量が多いNの反応量が最も大きい。

図4に7-28dの中性化部と35dの未中性化部におけるXRDパターン(17~31°)を示した。未中性化部ではCHの生成が主体である。一方、中性化部でもCHのピー

クは表れているが、主な生成物はカルサイトとバテライトである。アラゴナイトの生成を指摘する報告もあるが¹⁷⁾、ここではカルサイトとバテライトが主な生成物であった。NとLHCではバテライトに対してカルサイトのピークが大きく、MPCではほぼ同等となった。LHCに関しては、既報¹⁶⁾に比べてカルサイトのピークがバテライトより大きい。なお、CO₂固定という観点からは、炭酸カルシウムの種類の影響は少ない。

中性化部の炭酸化した試料は、湿空養生の未中性化試料とは異なり、図5に示すようにC-S-HのSi/Ca比が広く分布していた。測定点はSi/Ca比が1.0以下ではCaCO₃のラインに沿って分布しているが、Si/Ca比が大きくはずれたSi主体の生成物も存在しており、生成物のSi/Ca比を明確に決めることはできなかった。

IRスペクトルの結果は、全てのPC硬化体で同様の傾向を示した。湿空養生で未中性化部では、960cm⁻¹のSi-O伸縮振動によるC-S-Hの吸収を示したが、中性化部ではSi-Oの伸縮振動の吸収が1000cm⁻¹付近の高波数にシフトしている¹⁸⁾。C-S-Hは炭酸化により炭

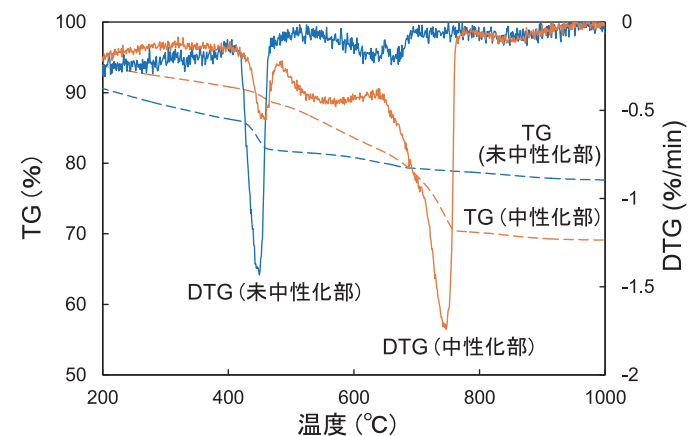


図6 N硬化体(材齢21日)の未中性化部と中性化部におけるTGとDTG曲線

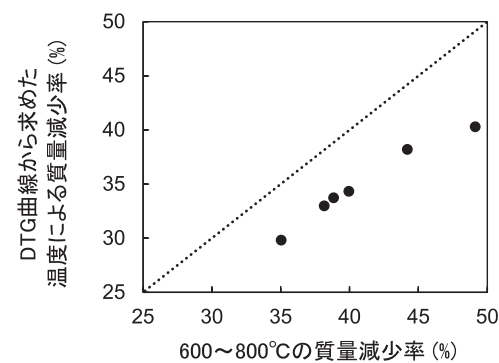


図7 600~800℃の固定温度とDTG曲線から求めた温度による質量減少率の関係

酸カルシウムと低Ca/Si比のC-S-Hに変化し、この際、Si-Oの伸縮振動が高波数側にシフトするとされており、中性化部では炭酸化反応によりC-S-Hから炭酸カルシウムとゲル状水和物に変化したことがわかる¹⁸⁾。なお、7-14dの中性化部のIRスペクトルには870cm⁻¹に炭酸カルシウムの吸収が現れた。

本研究のSEM-EDSの結果からも、全てのPCで炭酸化によりゲル状生成物が生成しているものと推察される。さらに、このゲル状水和物のSi/Ca比は広く分布していることから、特定な組成の生成物ではなく、異なる組成の混合物と考えられるが、さらに詳細な検討が必要である。

4. CO₂固定量

セメント硬化体による炭酸カルシウムと他の生成物によるCO₂固定量について検討する。

図6にNの7-14d(中性化部)と21d(未中性化部)のTGとDTG曲線を示した。なお、TGの測定は昇温速度10℃/min., 窒素ガス雰囲気中で行った。TGとDTG曲線から、未中性化部と中性化部で412~482℃付近の減量、吸熱、640~775℃付近の減量、吸熱現象が生じていることがわかる。なお、吸熱・発熱に関しては、TG-DTA曲線から求めたが、図6ではこの曲線を省略している。最初の減量、吸熱は脱水、二番目は脱炭酸である。しかし、それぞれが混在もしている。DTG曲線を使用することにより減量の開始温度や終了温度を決めやすい結果となっており、減量のある程度正確に知ることができる。従来、TGによる固定した温度による脱炭酸は600~800℃を用いていた。両者の減量の関係は図7のようになり、従来の固定温度による質量減少率の方がDTG曲線から求めたものより5%程度大きな値を示した。最近の研究ではDTG曲線により脱炭酸温度を決定している場合が多く¹⁾、炭酸カルシウムの脱炭酸の温

表7 全CO₂固定量(TC-CO₂固定量), 炭酸カルシウムによるCO₂固定量(TG-CO₂固定量),
ゲル状水和物によるCO₂固定量(TC-TG CO₂固定量)

サンプル	TC-CO ₂ 固定量		TG-CO ₂ 固定量		TC-TG	
	7-14d	7-28d	7-14d	7-28d	7-14d	7-28d
N	30.67	37.35	16.80	17.72	13.88	19.63
MPC	26.05	28.95	13.11	14.83	12.94	14.12
LHC	24.97	28.86	14.51	15.10	10.46	13.77

(mass%)

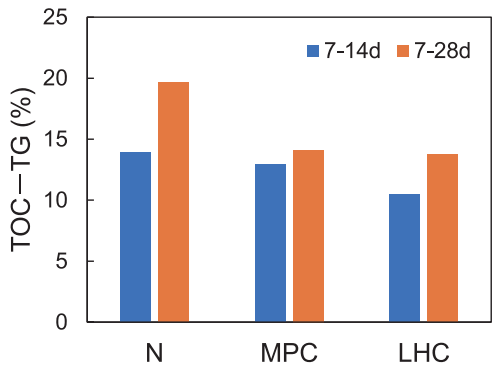


図8 ゲル状水和物によるCO₂固定量

度範囲をより正確に決定していると思われることとCO₂固定量を安全側(少な目に)に評価すると考え、本研究ではDTG曲線により定めた温度による減量をTG-CO₂固定量とした。このTG-CO₂固定量は主に炭酸カルシウムによる固定量と考えることができる。また、図6の炭酸化部のTG-DTG曲線には、炭酸カルシウムの脱炭酸による減量の温度と考えられる640～775℃のピークの他に、480～640℃のブロードなピークが確認できる。既報のTG-MSクロマトグラムの結果から、400～600℃付近のブロードなピークにおいても炭酸ガスが発生していることが示されている¹⁹⁾。本研究では全てのCO₂固定量を評価するために、TGに加えTC(固体燃焼式炭素量測定装置SHIMADZU CORPORATION TOC-5000A)もあわせて測定した。TCの測定は酸素をキャリアガスとし、900℃の燃焼炉に試料を注入し、燃焼させて二酸化炭素を生成させ、発生した二酸化炭素を非分散型赤外線ガス検知器により定量した。

表7に7-14dと7-28dの中性化部におけるTCによるCO₂固定量(TC-CO₂固定量)とTG-CO₂固定量を示した。7-14dと7-28dのTC-CO₂固定量の差は小さく、7-14dの炭酸化により、吸収量は飽和しつつある。7-14dのN、MPCおよびLHCのTC-CO₂固定量は、

それぞれ30.67、26.05、24.97mass%であり、7-28dでは37.35、28.95と28.86mass%となった。また、図8に示したTC-CO₂固定量とTG-CO₂固定量の差は7-14dと7-28dにおいて、Nでそれぞれ13.88、19.63mass%、MPCで12.94、14.12mass%、LHCで10.46、13.77mass%である。ペースト試料中には増粘剤中の炭素およびNに少量混合成分として含まれている石灰石起源の炭素が少量含まれているが、TC-CO₂固定量は炭酸化によって生成した炭酸カルシウム量と水和物や未水和セメントが固定したCO₂量の含量と評価される。したがって、TC-CO₂固定量とTG-CO₂固定量の差は水和物や未水和セメントが固定したCO₂量の含量と考えられる。TC-CO₂固定量とTG-CO₂固定量の差はNが大きく、MPC、LHCの順となっている。炭酸化部のPCのエーライトとビーライトの反応率はほぼ同等であるが(表4、5)、Nはエーライトの含有量が大きいため初期材齢で水和物量が多いと推定される。さらに、表3に示した水酸化カルシウムの量もNが大きく、MPC、LHCの順になっている。水酸化カルシウム量の大小はカルシウムシリケート水和物の大小を間接的に示すと考えられ、炭酸化部においてカルシウムシリケート水和物も炭酸化してCO₂を固定したと考えると、TC-CO₂固定量と

TG-CO₂固定量の差は上記の順になる。なお、LHCはビーライトの含有量と炭酸化中の反応率の増大により、7-28dにおいて他のPCに追いつく傾向がある。また、全てのPCでTC-CO₂固定量はTG-CO₂固定量より大きな値を示した。これはCO₂が炭酸カルシウムとして固定化されることに加えて、硬化体の10～20%程度がカルシウムシリケート水和物やゲル状水和物などの他の化合物に固定化されているものと考えられる。なお、セメント・コンクリートのCO₂固定量は、中性化深さなどからの推察ではなく、直接測定した数値で議論する必要があると思われる。

5. まとめ

5%CO₂濃度の促進炭酸化における普通(N)、中庸熱(MPC)、および低熱(LHC)ポルトランドセメント(PC)硬化体のCO₂吸収量と生成物の組成変化について検討した。本研究の範囲で明らかになった点は以下のようである。

- (1) 水和したPC硬化体のC-S-HのCa/Si比は、N、MPCおよびLHCで1.65、1.63および1.57であった。全てのPCの炭酸化反応において、カルサイトとバテライトとSiを主体とするゲル状水和物を生成し、CO₂を固定化する。また、炭酸化によりSi/Ca比が大きな、広く分布した生成物が生成する。
- (2) SO₃/Al₂O₃比がNより高いLHCやMPCでは炭酸化でAFtが分解しても、分解して生成したゲル状水和物とSO₃成分との反応によりAFtが再度生成すると推定した。
- (3) PC中のエーライトは未中性化部も中性化部もほぼ同様な反応率を示したが、ビーライトの反応率は中性化部で大きな値を示した。
- (4) 固体燃焼式炭素量測定装置(TC)により求めた全CO₂固定量は、TGにより求めた炭酸カルシウムとして固定されたCO₂固定量より大きな傾向を示した。したがって、硬化体の質量の10～20%

程度が炭酸カルシウム以外の化合物としてCO₂を固定化しているものと考えられる。

【謝辞】本研究は東京工業大学次世代セメント材料共同研究講座の活動の一環として実施したもので、関係各位に感謝致します。

【参考文献】

- 1) P-C. Chiang and S-Y. Pan / Carbon Dioxide Mineralization and Utilization, Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2017
- 2) 日本コンクリート工学会 / 特集カーボンニュートラルに貢献するコンクリート技術, コンクリート工学, Vol.59, No.9, 2021
- 3) セメント協会 / 特集カーボンニュートラルとセメントのこれから, セメント・コンクリート, No.900, 2022
- 4) E. Gartner and H. Hirao / A review of alternative approaches to the reduction of CO₂ emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete, Cement & Concrete Res., Vol.78, pp.126～142, 2015
- 5) C. Shi et al. / Recent progress in low-carbon binders, Cement & Concrete Res., Vol.122, pp.227～250, 2019
- 6) 後藤誠史他 / カルシウムシリケート化合物の炭酸化による硬化, 無機マテリアル, Vol.5, pp.23～27, 1998
- 7) W. Ashraf and J.Olek / Carbonation behavior of hydraulic and non-hydraulic calcium silicate : potential of utilizing low-lime calcium silicates in cement-based materials, J. Mater Sci., Vol.51, pp.6173～6191, 2016
- 8) M. Boumaaza et al. / The CO₂-binding capacity of synthetic anhydrous and hydrates : Validation of a test method based on the instantaneous reaction rate, Cement & Concrete Res., Vol.135, 106113, 2020
- 9) D. Zhang et al. / Review on carbonation curing of cement-based materials, J. CO₂ Utilization, Vol.21, pp.119～131, 2017
- 10) T. Chen and X. Gao / Effect of carbonation curing regime on strength and microstructure of Portland cement paste, J. CO₂ Utilization, Vol.34, pp.74～86, 2019
- 11) R. Anderson et al. / Carbonation as a methods to improve climate performance for cement based materials, Cement & Concrete Res., Vol.124, P.105819, 2019
- 12) A.Iizuka et al. / Development of a New CO₂ sequestration process utilization the carbonation of waste cement, Ind. Eng. Chem. Vol.43, pp.7880～7887, 2004
- 13) 宮原茂禎 / アルカリ刺激剤を使用したスラグコンクリートの特性と水和物の組成, 東京工業大学博士論文, 2018
- 14) 宮原茂禎, 坂井悦郎 / 解説SEM-EDSによるC-S-H(C-A-S-H)の組成分析技術, セメント・コンクリート, No.892, pp.22～27, 2021
- 15) 金尚奎他 / エトリンガイトの炭酸化反応, Gypsum&Lime, No.237, pp.85～91, 1992
- 16) 坂井悦郎他 / 低熱ポルトランドセメント硬化体の炭酸化反応, J. Ceram. Soc. Japan, Vol.107(6) pp.561～566, 1999
- 17) 金尚奎他 / 水酸化カルシウムおよびケイ酸カルシウム水和物の炭酸化反応, Inorganic Materials, Vol.2, No.254, pp.18～25, 1995
- 18) 鈴木一孝他 / Ca/Si比の異なるC-S-Hの炭酸化, セメント・コンクリート論文集, No.43, pp.18～23, 1989
- 19) S. Goto et al. / Calcium silicate carbonation products, J. Am. Ceram. Soc., Vol.78, Issue11, pp.2867～2872, 1995

性能規定化を 阻む壁は石頭？

1. 世の中は「性能規定化」へ？

建設分野の各種規準類の「性能規定化」の必要性が叫ばれてから四半世紀が経過する。90年代、WTO加盟国は非関税障壁の撤廃が求められた。ISOに規準がある材料規格や試験法はISOに従い、設計規準等は性能規定型にして、技術的な障壁をなくすよう求められた。さらに95年の阪神淡路大震災後の耐震設計の大幅見直しと、80年代から問題となっていた塩害などの耐久性照査法確立への要望も後押しになり、2002年に土木学会コンクリート標準示方書(以下、コン示)は性能規定化の大改訂が行われた。その後、多数の規準類が性能規定の体系に書き換えられてきた。

それに対応し、土木の現場の技術的対応が性能規定化の方向に向かうかと思われたが、そうはなっていない。むしろ逆に向っているような印象さえある。性能規定化では、「照査」ができれば多様な技術が使えるため、技術革新・技術開発や様々な合理化が進むとも期待されていたのだが…。

2. 仕様規定がお好き？

「性能規定」に対するのは「仕様規定」である。予め決めた仕様に基づき、設計や材料選定、施工などを行うもので、型にはまった技術とも言えよう。実際には「性能規定」と「仕様規定」は常に共存し、その割合が多いか少ないかが自由度につながる。

例えば、コンクリートの施工性として、昭和初期のコン示では、「相当なつき方で、型枠の隅々までいきわたる程度のウオーカビリチー」が要求されている。完全に性能規定的である。多くの現場技術者は「で

は、どうやったらよいの?何か例示して」となろう。それで戦後、スランプの標準値が示された。仕様規定的になり、標準値を使うのが標準となる。

話は飛ぶが、公共事業ではどうも「性能規定」は人気がない。「仕様規定」が幅を利かせている。型にはめる方が管理や説明がしやすいためであろう。かつては建設省の現場では、事務所長等の判断で結構新しい技術を試していた印象がある。よく事前に土木研究所に相談があった。こういう相談は楽しい。一方、つまらないのは「会計検査に指摘された」である。竣工検査でひび割れが発見され、不適格物件だと烙印を押されたがどうにかならないか、という相談である。ほとんどは全く問題のないものだが、ほかに指摘事項が見つからなければひび割れでも指摘しておこう、という感じであろうか。会計検査院の研修の講師を何年か務めたが、「問題のあるひび割れ、問題のないひび割れ」の話を毎回行った。その効果があったかどうかはわからない。話がずれたが、公共事業が「仕様規定」に向かうのは、会計検査も一因だっただろう。標準以外のことを行うと説明を要求される。説明は面倒である。ならば、「標準(仕様規定)でやっておこう」。

JISの試験法規格では、仕様規定的に定量的な記述が可能な場合はそれに越したことはない。しかし、幅広く多様な材料を対象とする場合、どうしても「〇〇となるように、△△する」というような定性的な記述が必要となる。数値を示すと必ずその範囲内に収まらないことが生じるし、数値を示さないと客観性がないとの指摘が出てくる。なんだか回りくどい記述になっていたりするが、そういうジレンマが背景にある。

3. 厳しくすれば安心？

「検査は厳しければ良し」という問題もありそうだ。2001年に「土木コンクリート構造物の品質確保について」が国交省から通達された。90年代に多発した品質問題に対応するためである。99年の当時の建設省・運輸省・農水省合同の全国構造物実態調査

の結果を受けた対応である。調査では、塩害やASRなどの劣化の状況も明らかになったが、一方で不適切な施工が原因の、かぶり不足、ひび割れ等が多数あることが明らかになった。このため重要構造物に対し、竣工時の鉄筋の配筋・かぶり測定、ひび割れ発生状況調査などを行うことが通達された。

これを受け、現場での過剰反応が生じた。例えば、ひび割れ発生状況調査は、維持管理のために竣工時の幅0.2mm以上のひび割れを記録することを求めた。なのに、現場では「0.2mm以上は補修しろ」、「ひび割れは補修しろ」、「ひび割れは許容しない」、「ひび割れの発生した構造物は壊して作り直せ」と言うところまで出てきた。

いろいろと背景はあるだろう。発注者の現場技術力の低下(文章理解能力の低下?)、「厳しければ良し」の発想、などなど。こうした対応で気になるのは、合理性を欠く厳しすぎる要求は必ず「ごまかし」を生むことである。コンクリート構造物のひび割れなどの、白とも黒とも言えない灰色の事象を判断するには、現場を多数見た経験がものを言う。その経験をもとに、真に問題のあるひび割れでなければ許容する、というような折り合いをつけるのが現場の技術であるのだが、現在はなかなかそういう現場技術が育たないのだろう。いきおい「厳しくすれば安心」となるのだろう。

4. スランプ8cmはどこから？

2017年に国交省が土木用の生コンのスランプを従来8cmから12cmに変更する通達を出した。「おやつ」と思った。一歩前進だが、問題が解決するのか疑問に思った。

もともと「土木用はスランプ8cm」は技術的要求で決まったのではない。前述したようにコン示では、スランプ値を一律には規定していない。旧建設省でスランプ8cmを示していたのは、『積算の根拠』としてである。スランプが小さいほど安価なので、使えそうな範囲で最も固いものを「積算の標準」としたのである。それがいつの間にか、「スランプ8cmが標準」「8cmでなけれ

ばならない」になってしまった。それが関係者の頭にガッチリと固定されてしまった感がある。「スランプ8cmの石頭」である。

通達では、12cmだけを使えとは言っていないが、12cm以外のスランプも使えるんだということを、現場で認識してもらえるかが問題である。この懸念は、前項の過去の事例を見ればご理解いただけると思う。石頭を柔らかく頭に変えていくのは至難のことである。

5. 高流動・中流動を現場で使えるようになるか？

2021年に国交省が「コンクリート構造物の設計・施工段階における生産性向上の取組」を通達した。前項の「スランプの見直し」と、プレキャストの活用が示されている。

「スランプの見直し」は、決して従来の8cmを12cmに置き換えるということにとどまらない。気になるのは、12cmに置き換えればそれで問題なし、とも読めてしまうことである。というか、現場はそう読むだろうと思う。これでは生産性向上につながるか疑問である。現在は、従来の流動化や高流動に加え、中流動と呼ばれるようなコンクリートも数多く開発されている。現場ごとに最適な技術も変わろう。もちろん出来上がった構造物の品質確保は第一優先ではあるが、生産性向上を進めるにはもっと多様な技術を現場展開できるような意識を、発注者と施工者の双方がしっかりと持つことが重要であろう。

性能規定を基本とする技術の展開の必要性は、決してコンクリート分野だけの話ではない。「そもそも我々は何のために」の考え方は、土木分野全体あるいは日本全体で必要だろう。少しでも石頭を柔らかくしたいものである。ちなみに、筆者は最近、年齢とともにかなり石頭化が進んでいる。反省、反省！

【かわの ひろたか／
京都大学 経営管理大学院 客員教授 博士(工学)】

クリンカの低温焼成と温度計測技術

Technology for low temperature burnt clinker and high-accuracy temperature measurement of clinker in kiln

山下 牧生 島 裕和

1. はじめに

セメント産業は、国内では電力、鉄鋼に次ぐ二酸化炭素(CO₂)排出量が多い産業であり、この排出量削減は重要な課題となっている。セメントの製造工程の中で最もエネルギーを消費するのが、クリンカの焼成工程である(表1)。これは、焼成工程で石灰石を脱炭酸し、1450℃程度の高温焼成を行っていることによる。わが国のセメント産業は、主として製造設備の高効率化などによる省エネルギー化にいち早く取り組んでおり、現在では世界トップクラスのエネルギー効率となっているが、脱炭素社会の実現に向けて、これをさらに向上させる努力が必要である。

脱炭素社会に向けた省エネルギーを進めるために、クリンカの使用量を減らして、混合材料割合を大幅に拡大したセメントの研究が進められている。一方で、クリンカの製造工程では大量の廃棄物や副産物が処理されており、わが国の最終処分場の残余年数の延命に貢献していること、また、クリンカをほとんど使用しないセメントをすべての用途のコンクリートに適用するのは難しいと考えられる。かかる状況から、今後も一定量のクリンカは必要とされ、製造エネルギー削減は継続的な課題である。

クリンカの焼成温度を下げても、現状と同等の品質のクリンカおよびセメントが得られれば、焼成エネルギーの削減につながる。クリンカの低温焼成については、鉍化剤を使用して液相の生成温度や粘性を下げても、低温で効率的にエーライトを生成させる研究がある^{2,3)}。また、液相成分であるC₄AFやC₃Aを増やして、低温で焼成し

たセメントに関する研究も進められている^{4,5)}。

現状、セメントキルンでのクリンカ焼成では、窯前での焼成帯温度をモニタしながら、微粉炭などの使用量を調節しているが、さらなる投入エネルギー量の最適化を図るためには、キルン内温度の精密計測が必要である。クリンカの焼成時に鉍化剤を使用すると、液相の物性やこれに関連するクリンカの造粒性状に影響し、微粒分(ダスト)量に変化して、従来の放射温度計による計測が難しくなる可能性がある。本稿では、鉍化剤を使用した低温焼成技術に加えて、ダストの影響を受けにくいクリンカ温度の高精度計測技術について概説する。

2. クリンカの低温焼成

2-1. 鉍化剤を用いた低温焼成

クリンカの焼成に高温を要するのは、主としてエーライトの生成温度が他のクリンカ鉍物に比較して高く、生成速度も遅いためである。エーライトの生成反応は、焼成工程で生成するクリンカ融液(液相)へのCaOの溶解と拡散が律速となっている。このため、液相が生成する温度が低いほど、液相の粘度が低いほど、液相の量が多いほどエーライトの生成反応は促進される。鉍化剤とは、焼成工程におけるクリンカ中の溶融液相の性状に影響を及ぼし、鉍物の生成温度の低下や生成促進に寄与する成分のことである。

一般に、添加成分の電気陰性度が高いほど、液相の粘度は低下する。図1に、イオンの電気陰性度と液

表1 各工程で使用するエネルギー割合の一例

	原料工程	焼成工程	仕上工程
熱	<0.5%	>99%	<0.5%
電力	30%	33%	37%

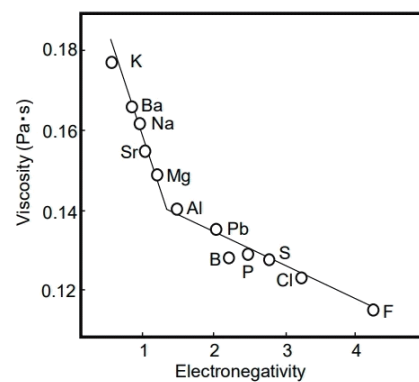


図1 電気陰性度と粘性の関係⁶⁾

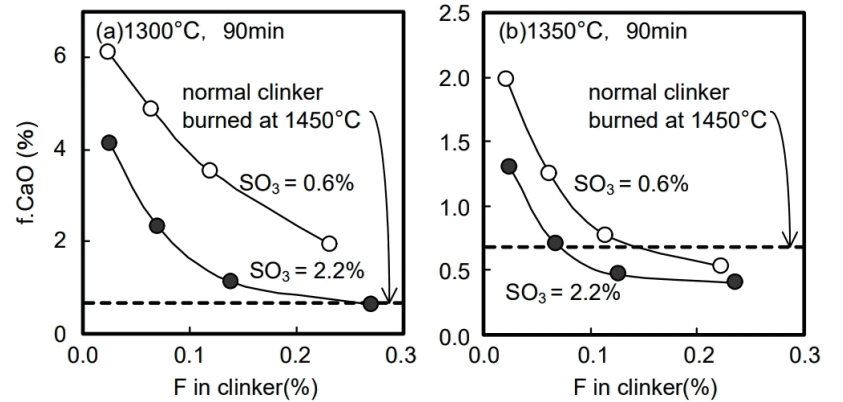


図2 クリンカ中の鉍化剤(F, SO₃)とf.CaOの関係³⁾

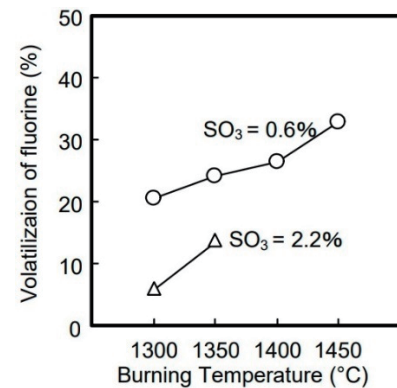


図3 クリンカ中のふっ素の揮発率³⁾

相の溶融液の粘度の関係を示す。ふっ素(F)は最も電気陰性度が高く、これに次ぐのが塩素(Cl)および硫黄である。

Fはかねてより鉍化剤として作用することが知られており、これを高めた低温焼成の研究は古くから認められる²⁾。一方で、Fが過剰となるとセメントの凝結が遅延する。また、Fは環境基準に定められた成分であり、硬化体からの溶出が問題となる可能性がある。F以外の鉍化剤成分は、電気陰性度の高いClや硫黄を含む化合物が確認されている。Clは品質規格の中でセメント中の含有量に制限があるだけでなく、クリンカ製造工程に悪影響を及ぼすため適当でない。FとSO₃を同時に高めることで、1300℃および1350℃で焼成したクリンカの

表2 低温焼成セメントの仕様

焼成温度	F(%)	SO ₃ (%)	
	クリンカ	せっこう	
1450℃	0.024	0.6	1.5
1350℃	0.067	2.2	0.8
1300℃	0.220	2.2	0.8

ブレン値：3250±50cm²/g

f.CaOを1450℃で焼成したクリンカ(ベースクリンカ)と同等に調整できる(図2)³⁾。SO₃はそれ自体が鉍化剤として作用することに加え、焼成帯におけるFの揮発率を下げることで焼成帯でのFの残留時間を長くし、エーライトの生成を助長する効果もあると考えられる(図3)。

2-2. 鉍化剤を増やして作製したセメントの性状

鉍化剤成分を調整して、電気炉にて1350℃で焼成したクリンカを用いたセメント(表2)の凝結は、鉍化剤無添加にて1450℃で焼成したものとほとんど差が認められなかった。材齢28日の強さが若干高まったのは、Fによりエーライトの生成量が増加したことや、添加石こう量を調整した影響と考えられる。

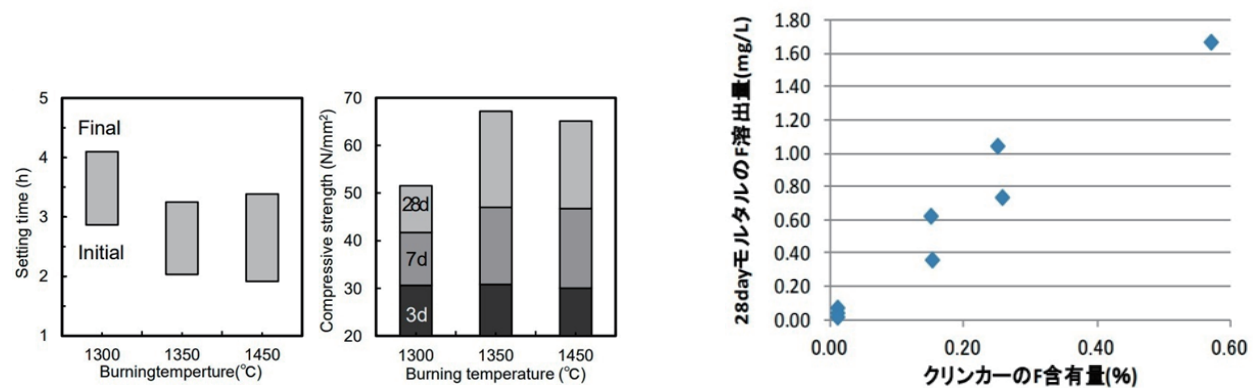


図4 鉍化剤を調整した低温焼成セメントの性能³⁾

図5 クリンカ中のFと溶出量との関係⁷⁾

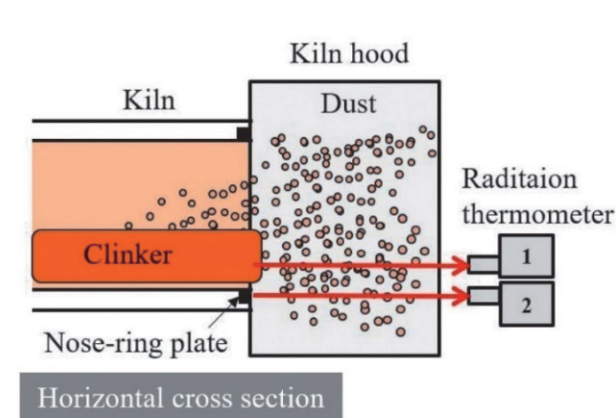


図7 水平断面図⁹⁾

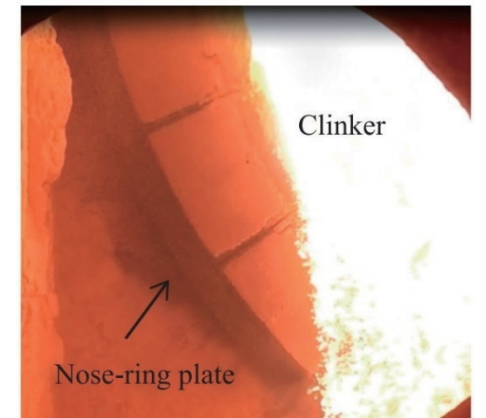


図8 キルン内のクリンカと落口金物⁹⁾

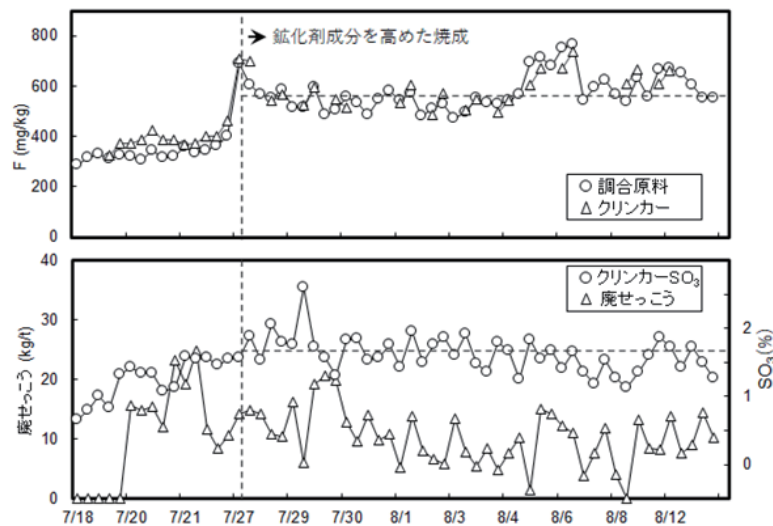


図6 鉍化剤成分を高めたクリンカ製造例

一方で、鉍化剤成分をさらに増やして1300℃で焼成した場合、セメントの凝結時間が遅延し、材齢28日の強さが低下した(図4)。これらは、Fを0.2%まで高めたことによる凝結遅延効果と、焼成温度の低下によりピーライトの活性が低下したためと思われる。焼成温度をさらに下げるには、鉍物組成の変更や、促進剤の使用などにより、現行品との品質差が少なくなるような調整が必要と考えられる。

クリンカ中のFの増加に伴って、モルタル硬化体からの溶出量は増加したが、クリンカ中のF含有量がおおむね0.2%以下であれば、環境基準(0.8mg/L)を満たすことが確認されている(図5)。

2-3. 実機による鉍化剤成分の調整

クリンカ中のFおよびSO₃の調整に、各種の産業廃

棄物や副産物を起源として供給できる可能性がある。例えば、F源に関してはフッカル汚泥、SO₃源としては石こう系廃棄物が考えられる。

フッカル汚泥は、均一化処理を経て原料工程で添加することでクリンカ中のF含有量を制御可能である。また、石こう系廃棄物を焼成工程のメインバーナー側から添加することで、クリンカ中のSO₃の制御につながっている(図6)。クリンカ中の鉍化剤成分は、焼成反応性だけではなく、前述のように品質や溶出にも影響する。このことから、低温焼成を実現するには、全自動分析システムなどを活用した原料への鉍化剤成分の投入制御や、均一化が重要な課題になると思われる。

焼成温度を100℃低下させることで、焼成熟エネルギーは2~3%削減できるとされている⁷⁾。他方、クリンカ中のSO₃を増やすことで、被粉碎性が低下し、仕上

工程での電力原単位が増加する可能性がある。低温焼成の効果を最大化するためには、そのクリンカに適した仕様または設備を最適化し、総合的にエネルギーを管理する対策が必要と考えられる。

3. 焼成温度計

3-1. はじめに

セメント製造の焼成工程でさらなる省エネルギーを実現するためには、精細な温度計測に基づく焼成温度の管理が必要である。セメント工場では、焼成帯の温度計測値を指標の1つとして熱エネルギーの投入量を制御している。

現状、セメントキルン内で焼成されたクリンカの温度は、放射温度計を用いて測定されている。放射温度計は、物体から放射される温度に応じたエネルギー(光)を検出し、温度に換算している。しかし、放射温度計と被計測体(クリンカ)の間には、2次空気により舞い上がったクリンカのダストがあるため、ダスト濃度が高い場合に測定精度が低下するという問題があった。また、鉍化剤添加による低温焼成では、液相の物性が変化してクリンカの造粒に影響し、ダスト量に変化して、計測温度の不確定さが増加する可能性があると考えられる。低温焼成を安定的に実現するためには、ダストの影響を受けにくい高精度温度計測技術が必要である。

3-2. ダストキャンセル法

放射温度計には、異なる二つの測定波長を使って、温度に換算する二色温度計を2台使用した(図7)。測定精度を低下させるダストの影響を除くために、クリンカを測定する温度計1の他に、ダストの影響を把握するための温度計2を用いてクリンカの温度を補正するダストキャンセル法を考案した^{8,9)}。

この方法では温度計を2台並べて設置することで、2つの測定光路上でのダストの影響は同じと見なしている。このとき各温度計が測定する対象は、温度計1がクリンカ、温度計2がキルン出口の外周に設置されている構造体(耐火レンガを固定するためのものであり、キルン落口金物：Nose-ring plateと呼ばれる)である(図7,8)。キルン落口金物はキルン内部のシェル周辺で最も温度の低い物体であり、このことがダストキャンセル法の重要なファクターとなっている。

また、理論的に計測精度が向上する測定波長を検討した。キルン落口金物の温度が800~1000℃とした場合、0.90μm/1.55μmの波長の組み合わせでは計測誤差が10~45℃であるのに対し、0.65μm/0.90μmの組み合わせでは2~14℃と計測誤差が縮まることがわかった。

3-3. スポットでの温度測定方法の検討

実機において、ダストキャンセル法による温度測定の精度を検証するために、クリンカ温度をスポットで実測した。測定には光ファイバー温度計を用いた。光ファイバー温度計は、基本原理は放射温度計と同様であるがレン

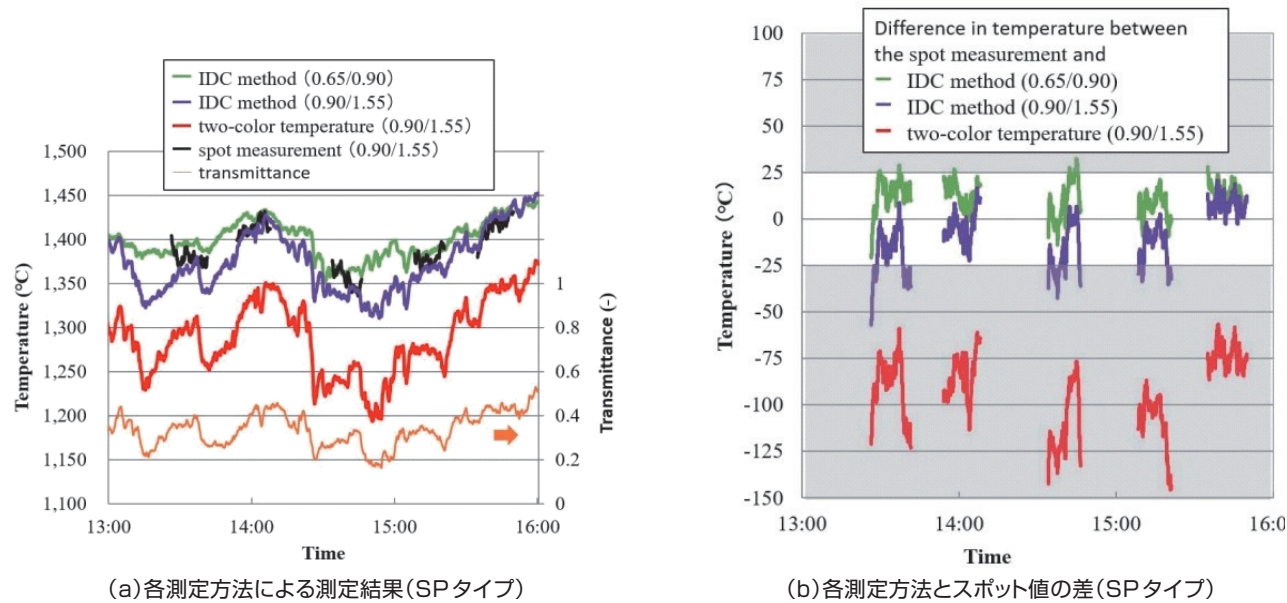


図9 ダストキャンセル法によるクリンカ温度の測定(SPタイプ)⁹⁾

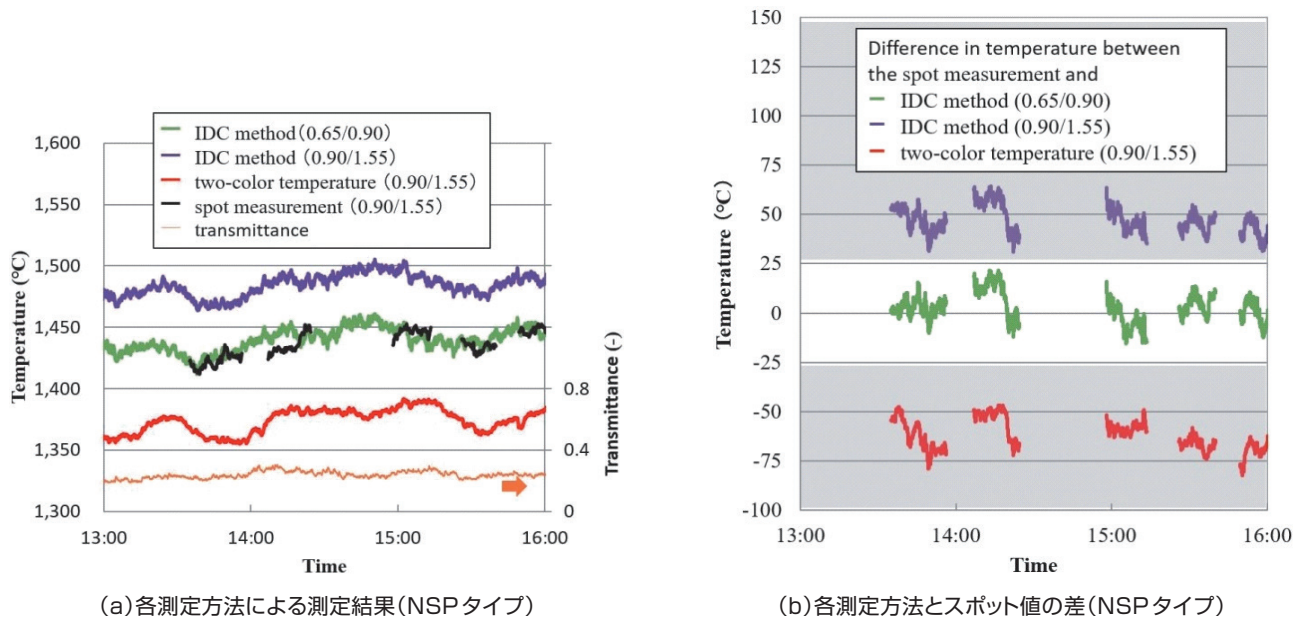


図10 ダストキャンセル法によるクリンカ温度の測定(NSPタイプ)⁹⁾

ズの位置が異なる。放射温度計では集光部が本体に付属するレンズであるのに対し、光ファイバー温度計では光ファイバーを本体に接続し、その先端にレンズを取り付ける。このため空間的な制限のある本体を測定対象に近づけずに測定を行うことができる。焼成帯に位置するクリンカの温度測定においては、光ファイバーのレンズをクリンカから近い場所に位置させることで、ダストの影響を大幅に小さくできる。

実際には、特殊な水冷プローブを用いて耐熱対策を

施した光ファイバー温度計を、クリンカから約50cmまで近づけた。時間当たり数百tのクリンカが落下する流れの至近に水冷プローブを近づけており、水冷プローブの冷却性能を考慮するとこの方法での長期測定は難しく、あくまでもスポット測定の範囲に留まる。

3-4. 実機での測定精度の検証

ダストキャンセル法によるクリンカ温度の測定は、SPタイプおよびNSPタイプのキルンで各々実施した。結果の

一例を図9, 10に示す。図には、従来型の二色温度計での測定結果および、ダストキャンセル法での計算過程で求めることができるダストの透過率を示した。透過率が大きいほどダスト濃度が低いことを意味している。

SPタイプのキルンでは、ダストの透過率が0.2~0.5まで幅が認められた。ダストの透過率が大きいほど従来の温度計の温度は高く示されており、ダスト濃度が低ければ従来の温度計でも、測定値は真値に近づく傾向が認められる。ダストキャンセル法と光ファイバーでのクリンカ測定温度を比較すると、その差は-10℃~+25℃であった。また、NSPタイプのキルンでは透過率が低い傾向にあるものの、測定誤差は同様であった。ダストキャンセル法の採用と、測定波長の最適化(0.65/0.90μm)により、SPタイプおよびNSPタイプの双方にて、スポット温度との差を±25℃以内に収めることができた。なお、本ダストキャンセル法により、SPキルンタイプおよびNSPキルンタイプの各々について、現在も連続測定が行われている。なお、本高精度温度計は経済産業省とNEDOの助成を得て開発されたものであり、温度計測機メーカーから販売されている。

4. まとめ

本稿では、セメントクリンカの製造エネルギー低減策として鉍化剤による低温焼成技術とキルン内のクリンカ温

度計測技術について概説した。

クリンカ原料中の鉍化剤成分(FとSO₃)を高めることで、焼成温度を現状より100℃低減しても、品質を維持したセメントが作製できる。さらに鉍化剤成分を増やして焼成温度を下げると、セメントの凝結遅延、長期での強度低下、硬化体からのFの溶出などが問題となる。低温焼成を実用化するためには、全自動分析システムなどを活用した原料中の鉍化剤成分の制御技術や均一化が課題となる。

キルン焼成帯でのクリンカ温度を精度よく計測するために、従来測定の誤差要因であったダストの影響を2系統の放射温度計を用いて除去する方法(ダストキャンセル法)を開発した。鉍化剤使用による低温焼成でキルン内のダスト量に変化しても、精度の高い温度測定が可能となり、焼成におけるエネルギー投入量の適正化に結び付くことが期待される。今後、本温度計をセメントキルンの運転操作に長期間活用することで効果の検証や精度の向上が望まれる。

	やました まきお / YAMASHITA Makio UBE三菱セメント(株) 研究所 セメント研究室 副室長 博士(工学)
	しま ひろかず / SHIMA Hirokazu UBE三菱セメント(株) 上席執行役員 博士(環境学)

【参考文献】

- 1) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会／「第7回資料1-5 セメント協会の低炭素社会実行計画フェーズIIの概要」, 2014年12月, 2014
- 2) 吉川知久／「鉍化剤を用いたセメントクリンカの低温焼成」, 無機マテリアル, No. 18, pp. 20~24, 2011
- 3) M. Yamashita, et al. / "Low-Temperature Burnt Portland Cement Clinker Using Mineralizer, " Cement Science and Concrete Technology, Vol. 65 pp. 82~87, 2011
- 4) 茶林啓司他／「鉍物組成の調整によるクリンカ焼成温度低減に関する研究」, セメントコンクリート論文集, Vol. 66, pp. 217~222, 2012.
- 5) 安藝朋子他／「省エネルギー型汎用セメントの開発」, セメントコンクリート論文集, Vol.68, pp. 103~109, 2014
- 6) V. V. Timashev／"The Kinetics of Clinker Formation. The Structure and Composition of Clinker and its Phases, " 7th ICCS, Paris, Vol. 1, Theme 1, pp. 1-3/1-3/20, 1980
- 7) 経済産業省／「革新的セメント製造プロセス基盤技術開発評価用資料, 第1回革新的セメント製造プロセス基盤技術開発事後評価検討会資料6」, 2015
- 8) M. Yamamoto, et al. / "Development of Technology for High-accuracy Temperature measurement of Clinker in Kilns : Part1 - Theory of the Dust-canceling Method and Application to an Existing Kiln, " Cement Science and Concrete Technology, Vol. 71 pp. 571~578, 2017
- 9) M. Yamamoto, et al. / "Development of Technology for High-accuracy Temperature measurement of Clinker in Kilns : Part2 - Improvement of Measurement Accuracy for Practical Application, " Cement Science and Concrete Technology, Vol. 71 pp. 579~578, 2017



グラントスラブの反りと乾燥収縮 – 南アフリカの知見から
Roderick Rankine, ほか
Concrete
55[7]17～20(2021)

グラントスラブでは、コンクリートの乾燥収縮ひずみがスラブ下面側より打設面側が大きくなることによって、スラブの端部が上向きに反る現象が生じることがある。本稿は、南アフリカの知見を中心に、グラントスラブの反りによる損傷を抑制するための方策についてまとめている。

ACIのグラントスラブに関する指針では、乾燥収縮と反りの対策としてコンクリートの配合は可能な範囲で単位水量を小さくし、最適な骨材の量と種類を選択することが示されている。一方、SANS (South African National Standards)では、スラブの反りによる悪影響を低減する目的で、経験則などに基づいたガイドラインが示されている。ここでは、スラブの最大寸法は厚さの30倍または4.5mまでと規定しており、設計者によってはスラブの最大寸法を厚さの25倍か4mのうち小さい方を採用している。また、200mmよりも厚さの薄いスラブでは反りによる過度な悪影響が生じることが判明している。

著者らは、グラントスラブの反りによる悪影響を最小限に抑えるために、スラブ形状としては、適切な厚さを確保して最大寸法を4m以下とすること、材料としては、適切な単位水量、粗骨材を設定した収縮の小さいコンクリートを使用することを推奨している。さらに、入札段階で事前に反りの発生リスクを発注者に十分理解してもらうことも合わせて重要であると述べている。

ポンドアッシュ – 粉殻灰を混合したセメント安定処理土の道路用の土木資材としての性能評価
Deepak Gupta, ほか
Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering
9[1]159～169(2017)

持続可能な社会の実現に向け、産業廃棄物の有効利用が求められている。筆者らはインド国内に数百万トン保管されている石炭灰(ポンドアッシュ)と、多量に排出されている粉殻灰の再資源化を目的に、土壌のセメント安定処理への適用について検討している。

試験は、カオリン粘土に対してポンドアッシュを30～45%、粉殻灰を5～20%、普通ポルトランドセメントを0～4%添加し、締固め特性や路床等の強度指標であるCBR値を評価するとともに、SEM、EDSおよびXRDにより水和生成物等を確認した。

締固め試験では、密度の小さなポンドアッシュと粉殻灰の添加や、セメントによる土粒子の凝集作用による空隙率の増加にともない、最大乾燥密度は低下し、軽量の安定処理土が形成した。CBR値は、ポンドアッシュおよび粉殻灰を併用して添加することで高くなった。これは、セメントによる硬化作用の他に、シルト分の多いカオリン粘土に砂分の多いポンドアッシュと粘土分の多い粉殻灰が添加されたことで充填性が向上し、貫入抵抗が大きくなったためと考えられる。なお、最大のCBR値はカオリン粘土に対してセメントを4%、ポンドアッシュを40%、粉殻灰を10%添加した配合であった。また、SEMおよびEDSの観察では、セメントを添加した場合にゲルや針状の生成物の形成が確認された。XRDパターンの解析からは、カオリナイトと石英の回折強度の低下等の変化が認められた。これは、ボゾラン活性を持つポンドアッシュや粉殻灰の他に、カオリン粘土中のシリカ分もセメントとボゾラン反応によりC-S-Hを生成していると考えられる。

また、著者らは重回帰分析によりポンドアッシュ、粉殻

灰、セメントの含有量を調整することで任意の強度特性の安定処理土を設計できる可能性を見出しており、擁壁や堤防、路床改良等に適用することで、建設業界の持続可能性に寄与すると考えている。

X線イメージングによるセメントペーストのひび割れ部における水分挙動の迅速な可視化および定量化
Fan Zheng, ほか
Cement and Concrete Composites

125. 論文NO.104293(2002)

コンクリートのひび割れは、劣化要因である水の浸透を促進する。既往研究では、ひび割れ部での水分移動は中性子源を用いる手法等により評価されているが、中性子源の取扱いが難しいこと等の理由から検討例は少ない。

本稿ではセメントペースト内部の水分移動をX線透過像で評価している。実験には角柱供試体(20×10×40mm)を用い、底面(20×10mm)の長手方向中央に幅0.5mm、長さ10mm、深さ13mmのひび割れを設け、底面をCsCl水溶液に接触させた後、約10秒ごとにX線透過像を取得した。X線透過像の輝度値とCsCl水溶液濃度との関係から検量線を予め作成し、検量線に基づいて輝度値を水分量に換算した。

結果、ひび割れ部での水の移動分布を2次的に可視化・定量化できた。吸水開始から約3分後にひび割れ部が水で満たされ、約6分以降はひび割れ部からセメントペーストへ楕円状に水分浸透部が広がることがわかり、既往研究と同様の傾向となった。また、水分移動が安定した時点の水の浸透深さは、ひび割れを設けない場合の約2倍に増加しており、ひび割れによりセメントペーストへの水の浸透が促進されることを確認した。

本手法は、容易で短時間にコンクリート中の局所的な水分移動の様子を定量できる。将来的には、各種コンクリートの劣化現象と水分の関係解明につながる可能性

がある。また、本手法により水分移動の予測モデルの構築が期待される。

シランおよびシロキサンによるセメント系材料の耐久性向上効果
Dimitry Davydov, ほか
Concrete Engineering International
25[2]38～41(2021)

シランやシロキサンに代表される有機ケイ素は防水材として建設材料に使用されている。有機ケイ素はセメントマトリクスと結合し、疎水性を示すことが知られている。本稿は、シランやシロキサンの優れた防水性に着目し、水分に起因する劣化であるASRおよび凍結融解作用に対する耐久性を評価したものである。

ASRへの対策はアルカリ含有量の少ない材料や反応性を持たない骨材を使用することも有効であるが、最も信頼性の高い方法は水分の供給を防ぐことである。反応性骨材を使用したコンクリートのASR促進試験では、シラン単体およびシランとシロキサンのエマルジョンを使用した場合に、ASRによる膨張を大幅に低減した。また、UV光源下での光学顕微鏡による観察から、シランとシロキサンがアルカリシリカゲルへの水の接触を阻害し、ゲルの膨張を防いでいることが確認された。

凍結融解作用に対しては、凍結融解サイクルを与えた供試体の圧縮強度で評価した。300サイクル後、未処理(Blank)の圧縮強度は試験前に比べ60%低下したが、シランとシロキサンのエマルジョンおよびPCE(ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤)を併用した水準(GroupP&S)では強度の低下は3%に留まった。また、試験後の供試体の外観は、Blankでは表層部に大きな損傷がみられたが、GroupP&Sの損傷は軽微であった。

以上より、防水材として使用されるシランやシロキサンは、水分に起因するASRや凍結融解作用に対し、コンクリートの耐久性を向上させることが示された。

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

生産

項目		22年		22年	
		7月	前年比	8月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,803	96.7	2,803	97
	早強・超早強	223	114.4	227	110.8
	中庸熱	60	86	61	103.7
	低熱	15	66.5	26	129.1
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	0	-
	小計	3,101	97.3	3,118	98.3
混合セメント	高炉	814	89.5	762	95.4
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	2	49.2	2	48.9
	その他	76	81.1	66	61.9
	小計	893	88.6	830	91.3
その他のセメント		12	86.2	7	121.5
計		4,006	95.2	3,955	96.8
輸出用クリンカ等		231	64.2	488	110.7
合計		4,236	92.7	4,443	98.1

販売

地区		22年			22年		
		7月	前年比	構成比	8月	前年比	構成比
北海道		190	90.8	5.9	170	104.0	5.8
東北		281	95.8	8.8	242	96.1	8.2
関東一		753	97.2	23.6	692	102.6	23.4
関東二		304	109.5	9.5	275	111.0	9.3
北陸		138	85.9	4.3	129	94.8	4.4
東海		349	90.1	10.9	333	106.1	11.3
近畿		433	96.4	13.6	408	103.4	13.8
四国		101	87.0	3.2	99	106.1	3.4
中国		184	97.1	5.8	167	105.2	5.7
九州		389	100.1	12.2	371	118.1	12.6
沖縄		67	112.7	2.1	62	101.0	2.1
計		3,189	96.5	100.0	2,950	104.9	100.0

輸出

地域・仕向地		22年	22年
		7月	8月
アジア	韓国	37	50
	中国	0	0
	台湾	27	18
	香港	130	101
	フィリピン	75	50
	シンガポール	207	189
	マレーシア	0	0
	小計	476	408
その他	大洋州	170	370
	中南米	0	48
	小計	170	418
合計		646	826

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)						
	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8月	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
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238
8	17,167	2,753	302	1,235	5,671	5,744	532

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8月	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	
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498	
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397	

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)									(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)	
		計	製造業	計	国の機関					
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,712	
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497	
2021年8月	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	202,288	
7	9,176	8,716	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222	
8	10,334	10,115	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649		

※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.) 2020年度平均(F.Y.)	100 99.8	100 100.1	100 100.2	100 100.5	100 100.2	100 101.7	100 101.2	100 100.7	100 100	100 100.3
2021年8月	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	106.2	101.6
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.7	102
3	111.4	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.5	101.6
4	113.1	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101
5	113.1	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8
6	114.2	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6
7	115	110.8	107	107.7	165.8	107.3	158.3	159.8	113.6	104.4
8	115.5	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	159.2	160.6	114.3	105
9	116.3	111.1	108.5	109.5	161.5	107.7	159.3	161.9	115	105.3

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(出所:経済産業省)				
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック (千個)	護岸用 コンクリートブロック (t)
		管 (t)	ボール (t)	パイプ (t)		
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604
2021年8月		8,048	34,922	81,217	4,646	29,695
9		10,623	38,849	106,581	5,247	34,553
10		11,770	39,770	112,008	5,755	42,042
11		12,691	42,554	108,094	5,708	47,180
12		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945

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8月		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
7		13,715	46,576	2,593	103,755
8		12,514	40,051	2,538	100,701

セメント・コンクリート編集委員会

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

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

委員

石橋 忠良 J R東日本コンサルタンツ(株) 技術統括

伊藤 康司 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長

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

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

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

岸 利治 東京大学 生産技術研究所 教授

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

黒田 泰弘 清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員

古賀 裕久 (国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

小西 正芳 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 技術参与

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

坂井 悦郎 東京工業大学 名誉教授

坂井 吾郎 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員

棚野 博之 (国研)建築研究所 材料研究グループ シニアフェロー

野口 貴文 東京大学 大学院 工学系研究科 教授

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

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

前田 禎夫 麻生セメント(株) 品質技術部 部長

森川 嘉之 (国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長

山路 徹 (国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長

弓削 祐夫 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

廣川 誠一 (一社)セメント協会 常務理事

中山 英明 (一社)セメント協会 研究所長

○超速硬型の超高性能繊維補強セメント系複合材料の橋梁

床版上面増厚への適用

○国道10号花見地区コンクリート舗装修繕工事－ライフサイクルコスト低減に向けた取組み

○セメント硬化体の炭酸化反応に関する理論的解析

○インターロッキングブロック用コンクリートのすり減り抵抗性における骨材粒度の影響

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

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

○フェロクロムスラグをコンクリート用骨材へ－その有効活用に向けた基礎性状の把握－

○シリーズ／セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード アンモニア混焼セメントキルンの技術開発

○第50回セメント協会論文賞受賞論文／セメントおよび高炉セメント硬化体の乾湿繰り返しによる微細構造変化

○ずいそう(須田久美子) ほか



一般国道42号新宮紀宝道路・熊野川河口大橋(仮称)のコンクリート施工

セメント・コンクリート No.909 11月号
2022(令和4)年11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