

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和4年10月15日発行 ISSN0371-0718

2022
No.908

10

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO

ケミカルで社会インフラの発展を支える

KAO

きれいをここに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

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

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 02NL

収縮低減剤 ヤマソー DS100

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤 (高機能タイプ・フリーディング低減型) ヤマソー 16NB

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤 (高機能タイプ) ヤマソー 09NL

AE減水剤 (耐寒促進剤 タイプI) ヤマソー ウイン

高性能AE減水剤 (収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

硬化促進剤 ヤマソー ウインS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

減水剤 (遅延形) ヤマソー R

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020

あした
明日へ繋げる

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



山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

本社 ●〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-25-5 ☎03-3552-1341 (代)
東京営業部 ●☎03-3552-1261
支店 ●大阪/☎06-6353-6051 福岡/☎092-483-8567 札幌/☎011-662-5552
営業所 ●広島/☎082-237-3083 仙台/☎022-224-0321 北陸/☎0776-28-2566
出張所 ●静岡/☎054-202-5111 高松/☎087-863-7565
事務所 ●平塚/☎0463-23-5536

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

セメント・コンクリート 10

CEMENT & CONCRETE
2022 No.908

もくじ

2	建築材料の資源循環に関する課題と技術開発	…小山 明男
10	インド高速鉄道におけるコンクリート構造物	… 築嶋 大輔ほか
18	トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発	… 松本 修治ほか
26	ずいそう 私、撮り鉄なんです！	… 岸 和博
28	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	… 橋野 哲郎ほか
36	JR京葉線の新駅／幕張豊砂駅の設計・施工	… 伊藤 隼人ほか
44	寸思寸言 守るも攻むるも	… 宮川 豊章
46	混合成分がセメントの水和および水和物に及ぼす影響	… 高橋 茂ほか
52	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	… 河野 克哉ほか

17	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
59	外国雑誌の記事情報
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	11月号予告



今月の表紙

竣工を迎えた新名神高速道路・つめた谷橋(上り線)と高炉スラグ細骨材および施工の様子[架橋場所・滋賀県／提供：(株)ピーエス三菱]

建築材料の資源循環に関する課題と技術開発

Issues and Technology Development for Resource Recycling of Building Materials

小山 明男

1. はじめに

わが国において、環境汚染や資源枯渇への危機感がクローズアップされ始めたのは1970年代の初頭で、当時は各種の公害対策やエネルギー問題への対応などが行われた。その約20年後の1990年代に入ってから、建設廃棄物の不適切処理に関する課題が認識され始め、各種リサイクル法などが制定され、Sustainability（持続可能性）や資源循環といった課題への対応が行われるようになった。同時に、地球温暖化問題がクローズアップされ始めたのもこの頃である。昨今では、菅元首相の国会所信表明演説におけるカーボンニュートラル宣言によって、低炭素化への取り組みが活発化している。2050年までに温室効果ガスの排出を日本全体としてゼロ（カーボンニュートラル）にすることが宣言され、さらに地球温暖化対策推進本部の会合においては、2030年までに2013年度比46%減の削減目標が示された。また、廃プラスチックの海洋投棄問題など、さまざまな環境影響に関する話題は、事欠かない状況が続いている。

そこで本稿では、環境配慮型の建築材料の開発を志向する中で、それが求められる背景や考え方について、環境配慮のなかでも筆者が特に注力している資源循環に関することを中心に述べる。

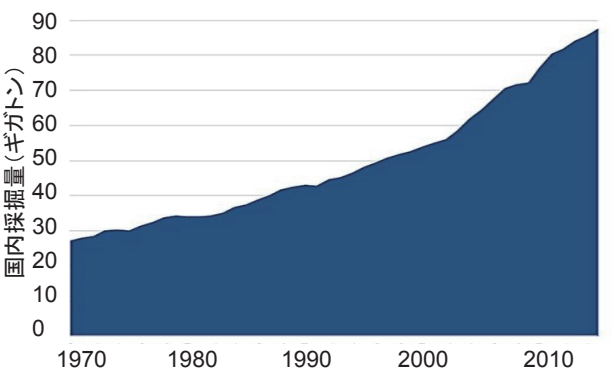


図1 世界の資源採掘量の推移²⁾

2. 建設分野と資源循環問題

建設（建築・土木）分野は、わが国の資源消費量や廃棄物排出量の多くを占めている。輸入資源の多くは、石油・石炭および天然ガス等のエネルギー資源であるのに対し、国内資源の80%以上は岩石・砂利および石灰石で、そのほとんどは建設工事に消費されている。また、産業廃棄物排出量（年間約4億t）の約2割は建設廃棄物である¹⁾。すなわち、我が国の資源問題において、建設分野は重要な位置を占めている。

この資源問題は世界的な課題でもあり、世界の資源採掘量（各国の資源採掘量の総計）を図1に示す。1970年に約300億t資源消費されていたものが、2014年には900億t近く、つまり50年も経たないうちに3倍に

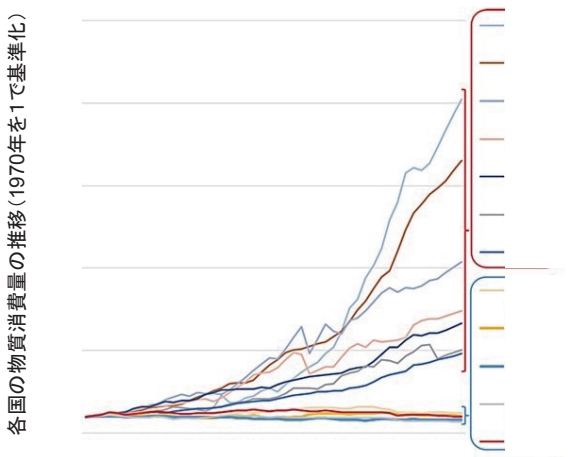


図2 各国の国内資源消費率の推移²⁾

表1 建築材料の分類例

	無機材料	有機材料
天然材料	・石材 ・土 ・骨材 ・水	・木材 ・竹材 ・草
人工材料	・セメント ・コンクリート ・ガラス ・石こう ・れんが ・陶磁器質タイル ・鉄鋼 ・非鉄金属	・プラスチック ・塗料 ・接着剤 ・合成繊維 ・集成材 ・紙

も膨れ上がっている。さらに2060年には1900億tに増加するといわれており、この問題の重要性が理解できる。また、図2は主要国別に1970年を基準として資源消費の推移をみたものである。1970年以降、先進国の資源消費は頭打ちで、BRICsをはじめとした非先進国の開発によって資源消費が激増したことがわかり、経済発展・豊かさの享受と裏返しの問題といえる。これらのことから、国の違いに依らず経済発展の礎を築くには、鉄鋼、コンクリートをはじめとした建設資材は不可欠といえる。一方で、これらの資源消費には、それを輸送や加工するエネルギーの消費、消費し終えた後の廃棄物処理などが必ず付加されることから、将来的にも建設材料における環境配慮の重要性がわかる。

3. 環境配慮型建築材料とは

建築分野では、建築物のライフサイクルのなかで最も

環境負荷を与えているのが使用段階といわれている。建築物の使用段階におけるエネルギー消費が多いため、かつそれによって生じるCO₂排出量が、わが国のCO₂排出量の約1/3を占めるためである。そのため近年の取り組みには、省エネや創エネによるZEB（net Zero Energy Building）、ZEH（net Zero Energy House）の普及推進³⁾がある。実際、国として改正建築物省エネ法が施行され、一定規模以上の建築物には省エネ基準への適合義務が課せられ、小規模な住宅であっても省エネ措置に関する説明義務が課せられている⁴⁾。

その一方で、昨今は建築物に用いる材料・製品の製造にかかるCO₂排出量などの環境負荷についても注目が集まっている。では、環境配慮型の建材とはどのようなものかを考えてみる。

表1は初学者向けに建築材料を紹介するさいに使うもので、天然・人工材料、無機・有機材料に単純区



こやま あきお / KOYAMA Akio
明治大学 理工学部
教授 博士(工学)



写真1 不法投棄現場の例

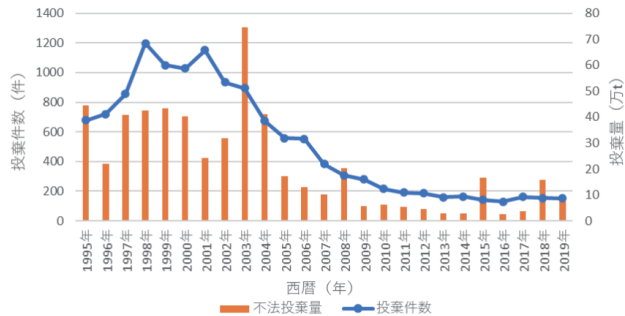


図3 不法投棄量および件数の推移

表2 RC環境配慮指針における環境配慮の種類⁵⁾

(1) 省資源型
再生資源の使用や使用後にリサイクルに供することが可能な資材・構成材を使用すること、あるいは材料を高強度化することで部材断面を低減することなど、天然資源の使用量を削減する環境配慮
(2) 省エネルギー型
資材の製造、移送・運送、建築物の施工、建築物の供用、解体工事、廃棄物の処理等に要するエネルギーを削減するような構成材や機器およびシステムを用いるといった環境配慮
(3) 環境負荷物質低減型
地球環境、地域環境、作業環境など、様々な空間規模の環境に対して負荷要因となる地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、生態系破壊、公害（大気・土壌・水質の汚染など）、異常気象現象、室内衛生環境などに影響を及ぼす有害物質（たとえば、CO ₂ 、NO _x 、SO _x など）の発生の低減に資する環境配慮
(4) 長寿命型
建築物およびその構成材の耐久性の向上に寄与し、鉄筋コンクリート造建築物の耐用年数を増加させることにつながる環境配慮

分けしたものである。一般的には、天然材料と人工材料を比較すると、天然材料を使うことが環境配慮という意識がある。確かに木材であれば、樹木の生長過程でCO₂を吸収しており、これを住宅などに活用することで、長期間にわたり炭素が貯蔵され続ける。

では、天然材料だけを使えばよいかといえれば必ずしもそうではなく、大量に安定した品質の建築材料を用いることで、安心して暮らせる構造物が造られることを考えれば人工材料も欠かせない。

写真1は山に20名ほどの人が立っているが、実はこの山自体が不法投棄された木材チップである。人間が処理を誤れば、環境にやさしいといわれる木材であっても環境汚染を引き起こすことになる。なお、図3に示すように、この20年で総量は激減しているものの不法投棄量の約70～80%は建設廃棄物といわれており¹⁾、建設分野での廃棄物処理の適正化は重要な課題である。

環境配慮とは、環境負荷を少しでも減らそうということであるが、地球環境(温暖化、酸性化、オゾン層破壊など)、地域環境(大気汚染、土壌汚染、水質汚濁など)、局所環境(室内空気質汚染、騒音、振動など)のように、環境影響にはさまざまなものがある。それ故、どの環境負荷を減らすものが環境配慮といえるのかは難しい問題である。

建築材料分野における環境配慮を示した一つの例として、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)」(以下、RC環境配慮指針と称す)がある。RC環境配慮指針では、鉄筋コンクリート造建築物そのものおよびその工事における環境影響の大きさに鑑み、建築主、設計者・監理者、製造者、施工者などの関係者の理解が得られやすくすることを意図して、表2に示す4つの型を提案し、環境配慮の目標となるように位置づけている。

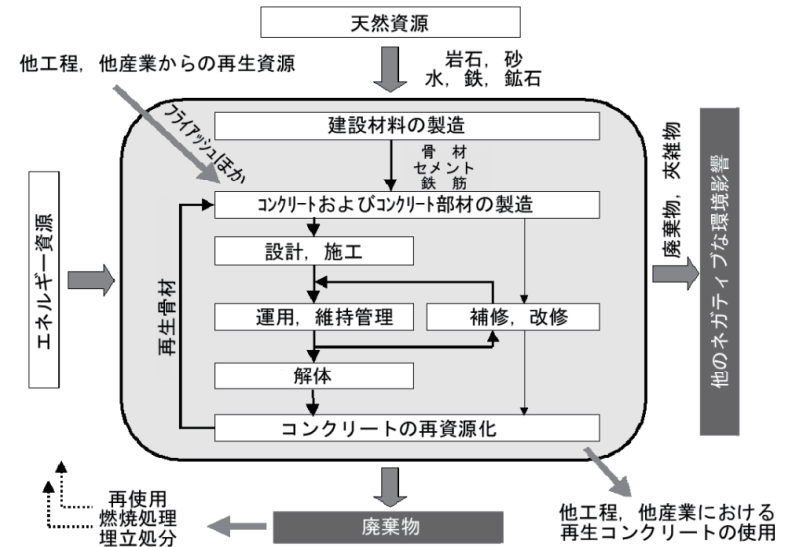


図4 RC建築物のライフサイクルと環境影響⁵⁾

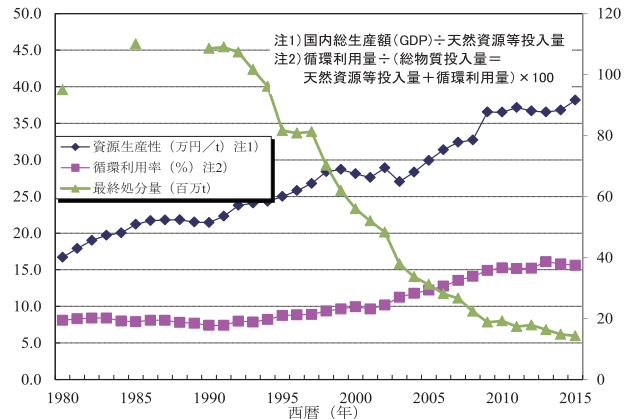


図5 物質フロー指標の推移⁶⁾

鉄筋コンクリート工事による環境影響の及ぶ範囲が、図4に示すライフサイクル全体(設計段階、生産・製造段階、施工段階、供用段階、解体段階および廃棄段階)なのか、特定の段階なのかを明確にした上で環境配慮を実施することが重要である。

建築物に関わる主体者(建築主、設計者、施工者、材料製造者、解体業者、処理業者等)は、とすれば自らが関わる時間・空間の範囲だけを意識する状況に陥りがちであるが、ライフサイクルの各段階での活動は相互に関連しており、環境負荷低減や環境改善の効果は部分最適が全体最適に成り得ないことを認識すべきである。つまり、この建築材料を使えば必ず環境配慮になるということではなく、またCO₂排出量を減らすことだけが環境配慮ではない。それぞれの状況に応じて、できる範囲の環境配慮をすることが求められる。

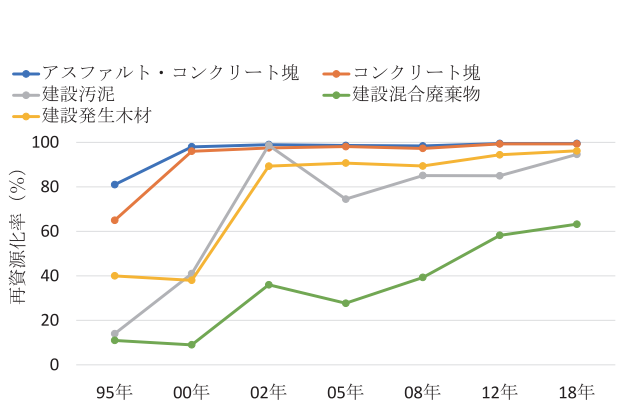


図6 建設廃棄物の再資源化率の推移⁷⁾

4. 資源循環に関わる環境配慮型建材の開発

4-1. 建設分野における資源循環の必要性

図5は、わが国の物質フロー指標(資源生産性、循環利用率および最終処分量)の推移を示したものである。1tの資源でどれだけの付加価値を生むかを測る資源生産性は着実に向上しており、効率的なモノづくりができていることがわかる。また、循環利用率は格段とまではいえないが向上し、最終処分量が急減していることから、着実に資源循環が進んでいることがわかる。

一方、図6に示す建設廃棄物の再資源化率の推移をみても、建設リサイクル法の施行以来、着実に再資源化が進み、アスファルト・コンクリート塊およびコンクリート塊に至っては、ほぼ100%近い再資源化率を達成している。これは、写真2に示すようにコンクリートであれ

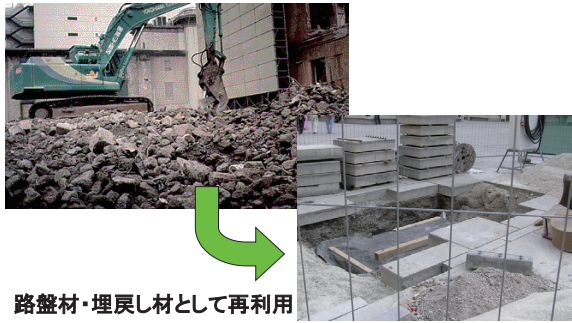


写真2 コンクリート塊の再資源化例



図7 建設発生木材の再資源化用途

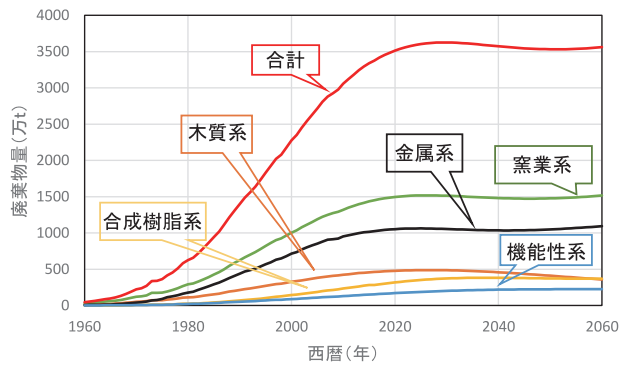


図8 各種建材の廃棄物発生量予測⁸⁾

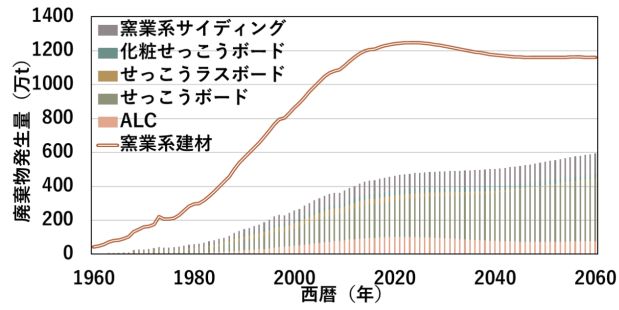


図9 窯業系建材の廃棄物発生量予測

ば路盤材等への利用が、図7に示すように木材であれば製紙用、ボード用および燃料料などへの利用が進んでいるためである。

ここまでのデータをみると、建設分野における資源循環は量的には満たされている状況で何ら問題は無いように感じる。しかし、建築物にはさまざまな建材が使用されており、今後はコンクリートや木材だけでなく、石こうボードなど各種建材の発生量の増大が予測される。そこで筆者らは、建設混合廃棄物となりやすい建材を

中心に、廃棄物量予測および再資源化率向上による廃棄物量削減効果について試算し、建設廃棄物における再資源化の重要性について検討した⁸⁾。これは、合板、石こうボードなど出荷量の統計データが収集可能な87種類の建材を対象として、簡易な計算で廃棄物量予測を行ったものである。その結果は図8に示す通りであり、各種建材の廃棄物排出量は今後増加し、着工面積のピークである1980年頃に建設された建物の多くが解体時期を迎えるため、2030年頃にピークがくる

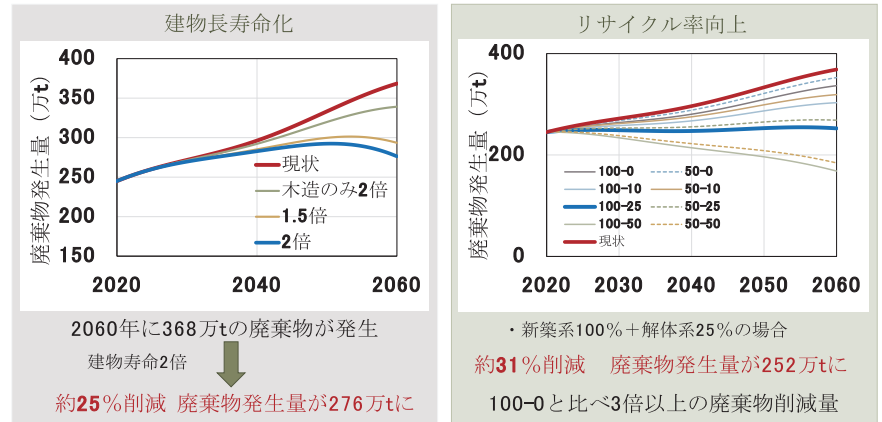


図10 石こうボードの廃棄物削減に関する試算

表3 各種建材のリサイクルの現状

建材系	建材	リサイクル用途および率	
		製造の際発生する副産物	解体系廃棄物
木質系	繊維板	新材の原料へマテリアルリサイクルされている（一部サーマルリサイクル）	化粧板や塗装仕上げ等がされたものは分別が難しくサーマルリサイクルされている。しかし、製造メーカーが回収し、マテリアルリサイクルしているものもある。
窯業系	石こうボード	新材の原料へマテリアルリサイクルされている	30%はセメント原料やセメント系固化材へリサイクルされている
	ケイカル板	カルシウム源として他のものと混ぜて全セメント原料としてリサイクルされている	完全な分別がなされている場合にはマテリアルリサイクル可能
	ALCボード	ALC原料としてマテリアルリサイクル可能	塗料等が付着しているためALC原料へのリサイクルは難しいが、ロータリーキルンで焼却させることで、セメント原料へのリサイクルは可能
プラスチック系	ビニール床シート	おおそ95%は新材へマテリアルリサイクル可能	異物混入のためリサイクルは不可

と予想される。ただし、図9に示すように、高度成長期に新建材と呼ばれた石こうボードやサイディングなど、現在は再資源化がそれほど進んでいない建材の廃棄物発生量は増大する点には留意すべきである。

次に、これら建材の廃棄物を削減する方策について検討を行った結果を図10に示す。これは石こうボードを例に、建築物を長寿命化した場合と、廃棄物を新築系と解体系に分けて、それぞれのリサイクル率を向上させた場合で示している。これによると、建築物の寿命を現在の2倍程度に延ばさないと、廃棄物発生量の現状維持ができない。また、リサイクルが比較的しやすい新築系廃棄物100%のほか、リサイクルが現状では困難な解体系廃棄物の25%を再資源化しなければ現状維持ができない。

表3は、現在のリサイクルの状況をメーカ等へヒアリ

ングした結果である。これによると、自社製造工場で発生する廃棄物はリサイクルされている例があるものの、解体系廃棄物では技術的に困難なものも多く、この種の建材は、新たなリサイクル技術の開発やリサイクルされた建材等の利用先を考える必要がある。

4-2. リサイクル建材の開発例

筆者らは、コンクリート塊を破碎した再生骨材をコンクリート部材に用いる研究を継続して行っているが、再生骨材コンクリートについては、すでにJIS化されており、技術的な課題は整理されている。廃棄物を元となる材料に戻すリサイクルの場合には、ヴァージン原料を用いた場合に比べて、どうしても品質の低下は避けられない。しかし、廃棄物由来でコンクリート原材料の品質が若干低下しても、水セメント比などの調合によって、コンクリー

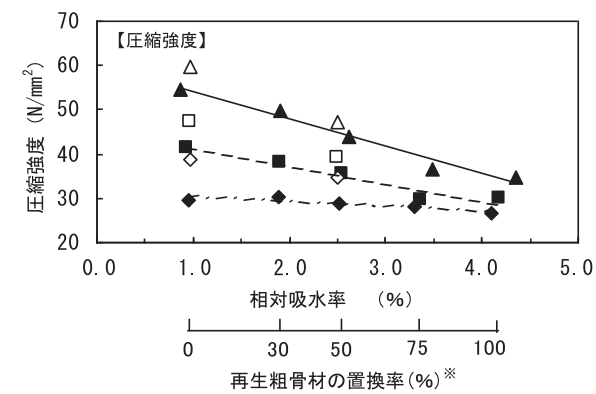


図 11 再生骨材コンクリートの品質⁹⁾

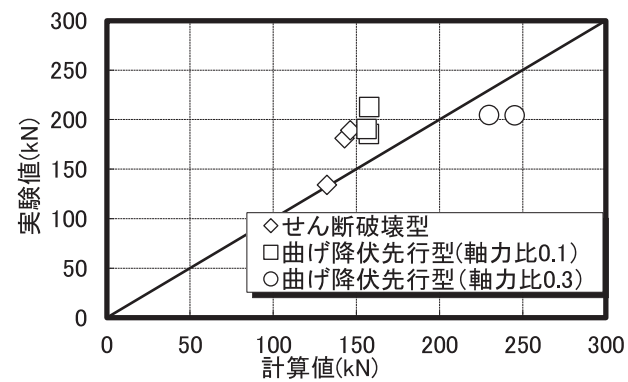


図 12 再生骨材コンクリート柱の耐力予測¹⁰⁾

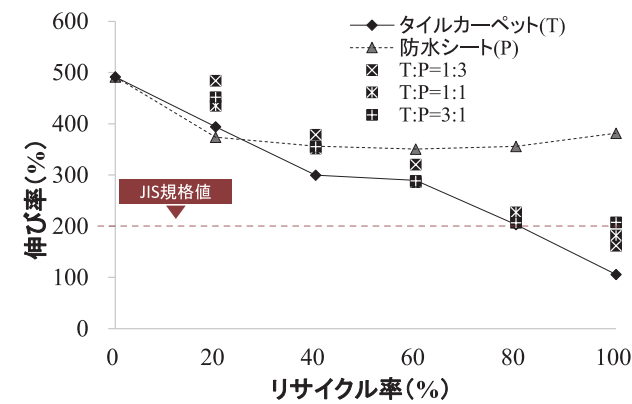


図 14 再生塩化ビニルシートの品質

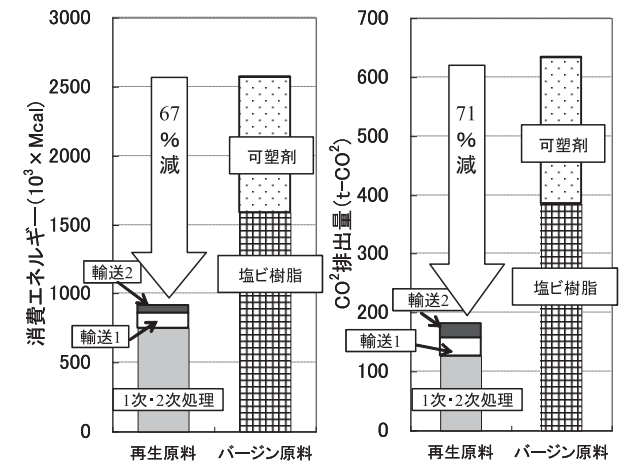


図 15 再生塩ビシートの環境負荷試算¹¹⁾

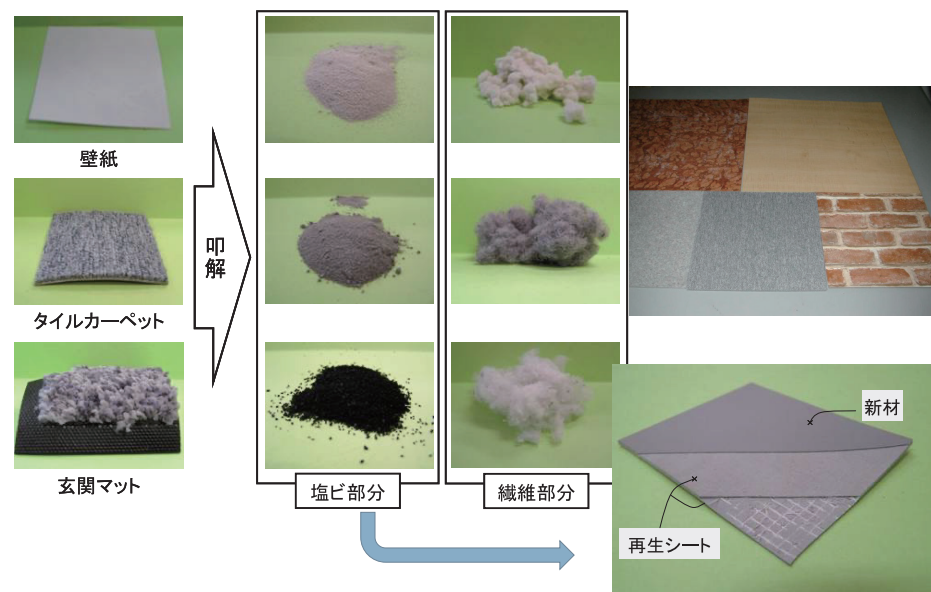


図 13 再生塩化ビニルシート

ト自体の必要性能を得ることは可能である。例えば、**図 11**に示すように、骨材群としての品質に応じて再生骨材コンクリートの品質は予測できるため、普通骨材との混合比率を変化させて、必要な性能を得ることも可能である。また、材料的な品質だけでなく、構造部材としての性能を評価した例を**図 12**に示す。これによると、再生骨材コンクリート部材であっても建築学会から発刊されている既往の指針類による耐力計算式によって適切に評価が可能となっている。

次の事例として、再生塩化ビニルシートについて**図 13**に示す。建築分野では、床材、壁紙、防水材などに塩化ビニル(以下、塩ビと称す)が使われており、マテリアルリサイクルが課題とされてきた。筆者らは、複合建材であるタイルカーペットや壁紙から塩ビ粉末を抽

出し、これを原料にシート化する技術開発を行った。この場合も、**図 14**に示すように再生塩ビ粉末の量が増え、リサイクル率が上がると、再生塩ビシートの品質が低下する。しかし、一定量の混合であればJIS規格を満足する品質は得られる。また、**図 15**には、再生塩ビシートの環境負荷試算結果を示す。塩ビ樹脂は石油から重合過程を経て製造されるため、ヴァージン原料の環境負荷が大きく、再生塩ビシートの環境負荷が相対的に減らすことができる。

ここで言えることは、資材の種類によっては、リサイクルすることが、資源循環を可能にするだけでなく、他の環境影響(エネルギー消費やCO₂排出量)を削減することにもつながることが特筆すべき点である。一般的に、リサイクルは無駄に手間とコストとエネルギーを消費して

しまうことが課題となる。しかし、一部の環境負荷を改善することに注目した技術が、他の環境影響も含めた全体的な最適解を見つけることになる場合もあり、さまざまな資材について技術開発の方向を検討することが重要である。

5. まとめ

環境配慮のなかでも資源循環を中心に、その必要性と開発事例の一部を紹介した。筆者らは、建築材料の環境影響について研究を行っているものの、多様な環境問題のなかで常々環境配慮型の建築材料とは何かを模索しているが、明確な答えを持ち合わせているわけではない。ただし、将来の世代のために間違いなく必要な環境や資源問題に取り組んでいきたいと考えている。

また本稿は、「第53回 セメント協会 研究所講演会(2022年3月15日開催)」にて「環境配慮型建築材料の開発と課題」と題して筆者が講演した内容から抜粋したものである。講演では、リサイクルするにあたって障害となる廃棄物の処理における現状の課題(アスベストなどの有害物、解体工事における廃棄物分別等)、あるいは建築材料における環境影響の評価に関する問題などについても触れたが、誌面の都合上省略した。これらについては、別途執筆する機会があれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 環境省／令和3年版 環境・循環型社会・生物多様性白書、<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r03/pdf/full.pdf>(2022年8月28日確認)
- 2) UNEP-IRF／「UN Environment International Resource Panel Global Material Flows Database」
- 3) 経済産業省、環境省／ZEHの普及促進に向けた政策動向と令和4年度の関連予算案、<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001474255.pdf>(2022年8月28日確認)
- 4) 国土交通省／改正建築物省エネ法、<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/shoenehou.html>(2022年8月28日確認)
- 5) 日本建築学会／鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説、2008.9
- 6) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部企画課循環型社会推進室／物質フロー指標の推移、https://www.env.go.jp/recycle/circul/mate_flow.html(2022年8月28日確認)
- 7) 国土交通省／平成30年度建設副産物実態調査結果、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/d11pdf/fukusanbutsu/jittachousa/H30sensuskekka_sankou2.pdf(2022年8月28日確認)
- 8) 迫田、小山／建材のリサイクルによる建設廃棄物の排出量抑制に関する基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、材料施工、pp.493～494、2018.9
- 9) 日本建築学会／再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)、2014.10
- 10) 鳥山、小山他／再生骨材コンクリートを用いた柱部材の構造性能に関する実験的研究、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.347～350、2003.3
- 11) 小山、永本他／叩解法を用いた塩化ビニル系建設廃棄物の再資源化技術開発、日本建築学会技術報告集、第14巻28号、pp.399～404、2008

インド高速鉄道におけるコンクリート構造物

Concrete Structures Planned in the Indian High Speed Railway Project

築嶋 大輔 vu-nhat-linh

1. はじめに

インド西部に位置する都市 Mumbai-Ahmedabad 間を結ぶインド高速鉄道(Mumbai-Ahmedabad High Speed Railway: 以下, MAHSRと称す)は2015年に日本方式の採用が日印で決定され, 2017年9月の起工式を経て, 2020年12月からは本格的な土木工事が始まっている。MAHSRは, インドにおける高速鉄道構想(図1)の実施第1号となる。

本稿では, MAHSRにおけるコンクリート構造物の設計および施工(桁架設)について紹介する。

2. MAHSRの概要

インドでは, 人口増加と近年の急激な経済成長に伴い, 国内輸送の重要性が急増している。また, 2022年7月, 国連の世界人口に関する報告によると, インドの人口は, 現在14億1200万人で, 2023年には中国を抜いて世界一になり, その後も人口増加が続くと想定されている。

MAHSRは, インド第2の大都市マハラシュトラ州の Mumbaiと, 商工業都市であるグジャラート州の Ahmedabadとの間を12駅, 約508kmで結ぶ路線で, 最高速度320km/hでの高速運行により, 移動時間は従来の約7時間から約2時間に短縮され, 交通網の効率化と地域の経済開発の促進につながるものと期待されている。MAHSRの駅配置および土木工事の工区分けを図2に示す。

土木工事は, 鋼橋(トラス桁)製作パッケージの他に図2に示す8つの工区に分割され, 現在2つの工区(C-4, C-6)で工事が進められている。

3. 設計概要

土木構造物の設計には, 日本の設計基準が採用され, 設計作業は独立行政法人国際協力機構(JICA)の支援による「インド国高速鉄道建設事業詳細設計調査」の一環として日本国内で実施された。

3-1. 構造種別

本プロジェクトの構造物配置計画は, 用地取得を最小化するため, 高架橋(桁式)を基本としている。構造種別ごとの延長割合を図3に示す。全線の90%以上が高架橋と橋梁となっている。

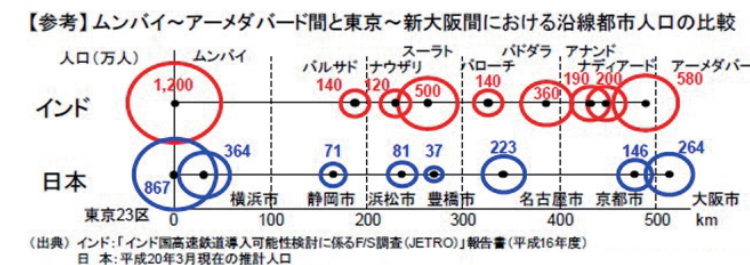
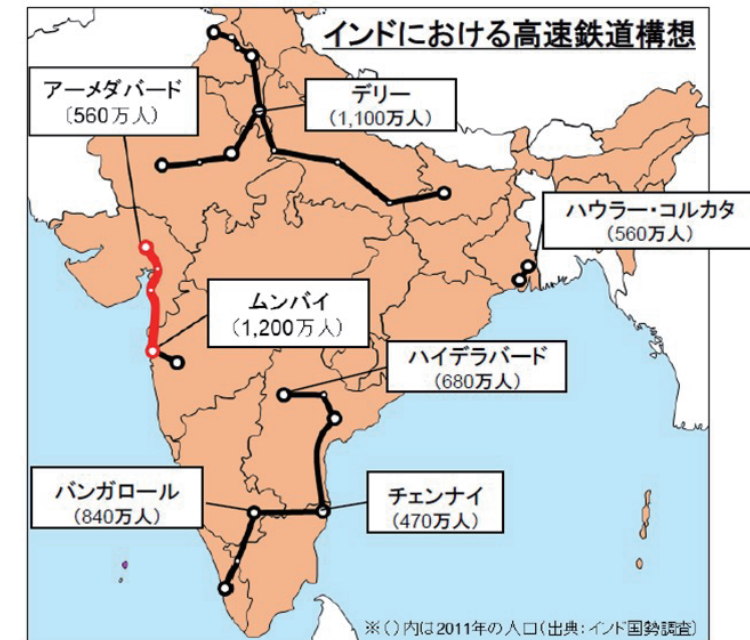


図1 インドにおける高速鉄道構想¹⁾



図2 駅配置と土木工事の工区割り

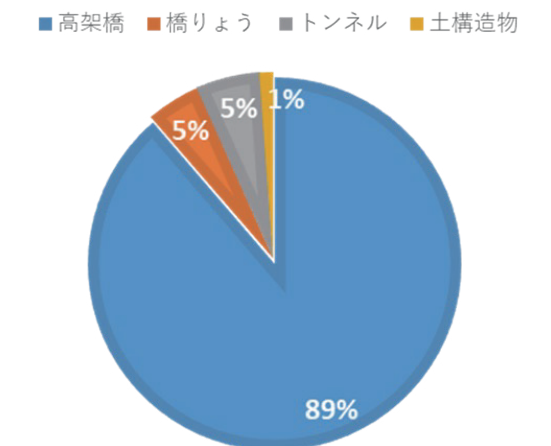


図3 構造種別ごとの延長割合

つきしま だいすけ / TSUKISHIMA Daisuke
日本コンサルタンツ(株) インド高速鉄道推進本部 副部長

ヴ ニャットリン
同上 主任

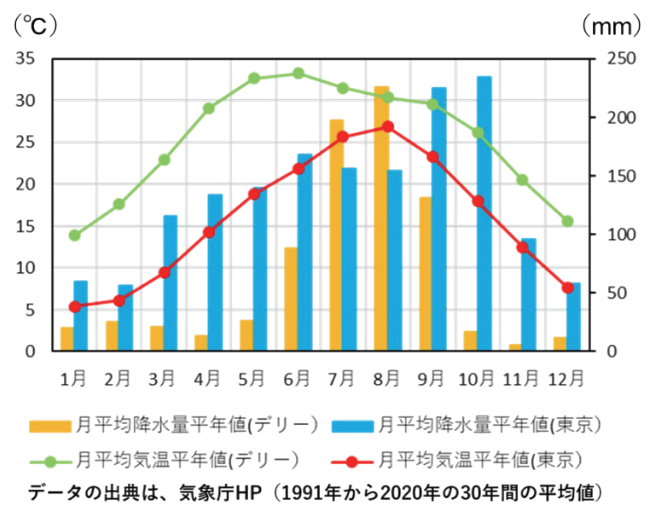


図4 東京とデリーとの気候比較(気温と降水量)

3-2. 設計基準

構造物の設計は、日本の設計基準を基本とし、材料強度や環境条件、地震の影響などはインドの特性値を反映させたMAHSR専用の設計基準(Design Basis Report：以下、DBRと称す)が用いられた。

(1) 材料

異形鉄筋の強度は、インド国内で主に流通している降伏強度500N/mm²(Fe500D)が用いられ、鉄筋の疲労強度に関するS-N線パラメータ(*a*_r,*k*)は、現地生産の鉄筋を用いた疲労試験結果を基に設定されている。

コンクリートの配合は、インドの国内基準に従い最大水セメント比は40%、最小単位セメント量はRC構造で350kg/m³、PC構造で430kg/m³(ただし、最大500kg/m³)と規定されている。

(2) 環境条件

インドと日本の環境条件の違いとしては、気候(温度)条件が挙げられる。設計で用いる温度に係する作用条件は、現地の気象情報を基に定められている。

参考までに、デリーと東京の年間の月平均気温および降水量に関するデータを図4に示す。デリーの気温は高いものの、設計の温度作用として考慮する寒い時期と暑い時期の「温度差」という意味では、東京との差異は少ない。ただし、施工面では、日本の基準に置き換えれば、一年の半分以上は暑中コンクリートとしての

施工管理が求められる気候である。なお、インドでは打設時のコンクリート温度は40℃以下と定められており、日本の基準よりも5℃だけ緩和されている。

降水量に関しては、東京に比べ年間の雨量は少なく、乾季と雨季が明確に分かれているため、コンクリート構造物の耐久性に影響する乾湿の繰り返しという面では、東京よりもマイルドな環境ではないかと思われる。また、当然ながら凍害の心配をする必要もない。

(3) 地震の影響

地震の影響は、インド高速鉄道公社(NATIONAL HIGH SPEED RAIL CORPORATION LIMITED：以下、NHSRCLと称す)と協議の上、インドの国内基準や設計実績も考慮して震度法による設計を採用し、基準の設計水平震度は0.15と設定されている。

3-3. 標準設計とDFM

約508kmに渡る線路延長のうち、駅や特定の交差点物を跨ぐ橋りょうを除く陸上の高架橋では、施工者が現地の状況に合わせてスパン割などの構造物の配置計画を行う。そのため、施工者が現地に合わせて設計を実施する必要があるが、インドの施工者が日本の設計基準が基になっているDBRを理解し、現地で一から設計することは困難であることが想定された。

そこで、適用が想定される桁形式、スパン、橋脚高さ、基礎形式に対応した標準設計図面を作成するととも

表1 PC桁の標準設計のバリエーション

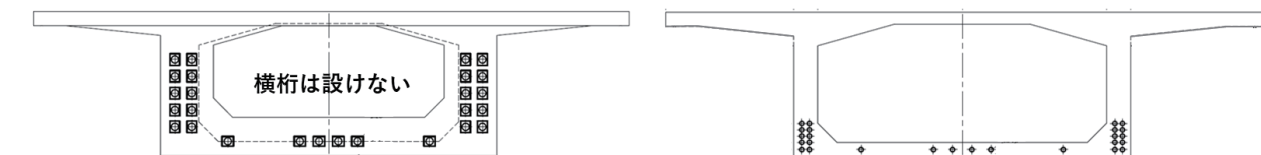
桁タイプ	架設工法	橋長(L)
単純I桁	クレーン架設	20m,25m,30m,35m
単純箱桁	スパンバイスパン架設(SBS)	30m,35m,40m,45m,45m(FSLM桁通過対応)*
	押出架設(ILM)	30m,35m,40m,45m,45m(FSLM桁通過対応)*
	フルスパン架設(FSLM)	30m,35m,40m

*SBSおよびILMのL=45mは、通常設計に加え、施工済みの桁上を運搬中のFSLM桁が通過できるように対応した設計も用意している。

表2 橋脚の標準設計のバリエーション

橋脚高さ	上部工パターン	
	PC箱桁	PCI桁
7,10,13,16,22,25,28m	L=30,35,40,45m	L=25,30,35m

FSLM桁



SBS桁

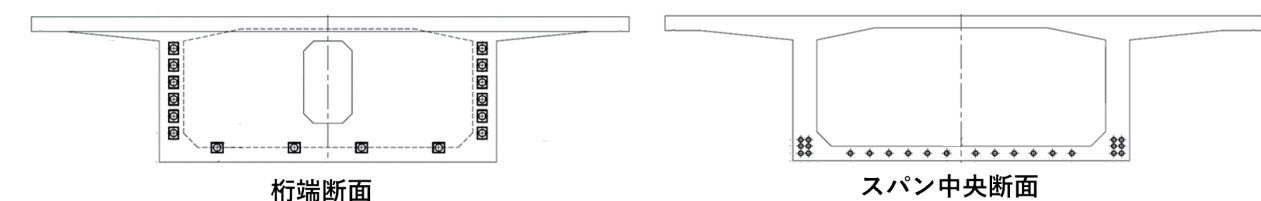


図5 箱桁の標準設計断面のイメージ

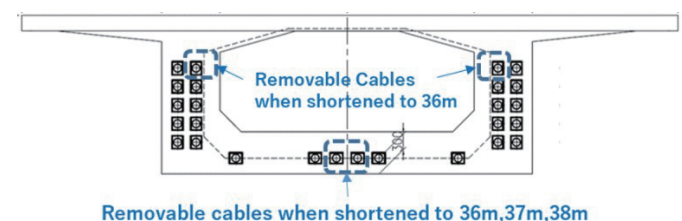


図6 桁長短縮に伴い省略できるケーブル

に、それらを現地の状況に応じて施工者が微調整するための方法を示した図面最終化マニュアル(Drawing Finalize Manual：以下、DFMと称す)が用意された。

(1) 標準設計図面

陸上の桁式高架橋を例に、桁および橋脚の標準設計のバリエーションを表1,2に示す。桁形式はI形桁および箱桁とし、架設方法に応じて橋長20m～45mの図面が用意された。橋脚は、支持する桁形式に応じて、高さ7m～28m(3mごと)の図面が用意された。

基礎構造は直接基礎と杭基礎について、表2の橋脚の各パターンに、さらに複数の地盤区分(直接基礎

で5パターン、杭基礎で3パターン)を想定した標準設計図面が用意された。

標準設計箱桁の断面のイメージを図5に示す。

(2) DFM

DFMには、現地条件に応じたスパン、橋脚高さ、地盤区分に応じて標準設計図面を調整し、図面を最終化(施工図を作成)する方法が示されている。

例えば、桁長の調整方法については、5m差ごとに用意された標準設計図面を1m～4mまで短くする方法が1mごとに記載されている。40m桁について桁長短縮に応じて省略できるPCケーブルを示した例を図6に

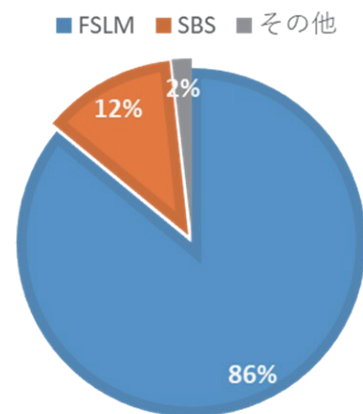


図7 架設工法別施工延長の割合

示す。この他、スパンバイスパン架設(Span by Span : 以下、SBSと称す)桁では、桁長短縮のために長さを調整できるセグメント、およびセグメント短縮時の鋼材配置の調整方法などが示されており、施工者は設計計算をすることなく図面を最終化することができる。

4. 施工(桁架設)

4-1. 桁架設工法

インド高速鉄道プロジェクトでは、90%以上が桁式の高架橋と橋梁であり、桁架設工程が工事工程に大きく影響する。

工区延長が約240kmと最も長いC-4工区での桁架設方法の延長割合を図7に示す。全体の86%の延長でフルスパン架設(Full Span Launching Method : 以下、FSLMと称す)が計画されている。

FSLM架設のために設置する桁製作ヤード(発進基地)は16か所計画されており、1か所の桁製作ヤードから架設される範囲は概ね5km~40kmとなっている。なお、SBS桁のためのセグメント製作ヤードは7か所桁計画され、1か所の製作ヤードから架設される範囲は概ね0.4km~9kmとなっている。

4-2. FSLM

MAHSRでは、その優れた施工性から、世界各地で採用され実績をあげているFSLMが採用されている。

桁は、桁製作ヤードで安定した品質管理の下で製



写真1 桁製作ヤード(FSLM発進基地)



写真2 箱桁鉄筋籠吊り上げ状況

作され、保管される。完成した桁は、すでに架設した高架橋上を運搬路とし自走式台車で架設位置まで運搬され、現地で待機している架設機により架設される。製作ヤードと直結した高架橋上が運搬路となるため、運搬ルートに制約されることなく完成形の桁を架設位置まで運搬することができる。

FSLMで建設されている中国高速鉄道(200km/h~350km/h)の延長は、すでに40,000kmに達し、2030年には45,000kmになると計画されている。

MAHSRにおいても、FSLMを採用することで1.5桁/日の架設速度が期待されている。

(1) 設備

桁製作ヤード(発進基地)は架設延長に応じて、コンクリートプラント、桁製作ヤードおよびストックヤードが確保される(写真1)。FSLMの桁製作では、鉄筋組立とコンクリート打設は、それぞれ別の場所で行われ、1つの桁全ての鉄筋をくみ上げてからクレーンで桁打設位置まで運搬される(写真2)。

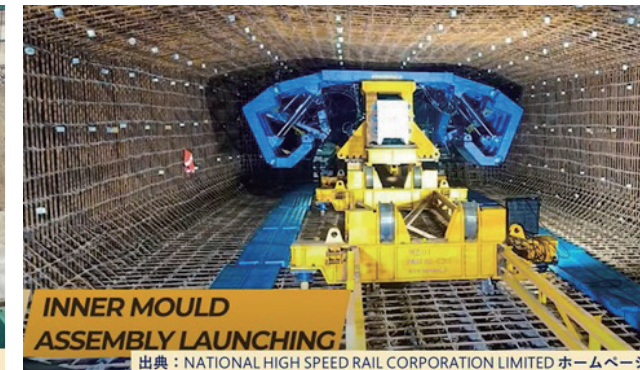


写真3 内型枠設置状況

[写真右のように折り畳まれた状態で桁内に挿入され、挿入後に油圧ジャッキにより所定寸法に拡張される]



写真4 FSLMに用いられる架設設備

箱桁の内型枠は鉄筋をセットしてから、桁軸方向に挿入、撤去できる特殊な構造となっている(写真3)。そのため、FSLM用の箱桁には内型枠の設備に対応できるよう、横桁が設けられていない(図5)。

桁運搬架設に用いられる重機類を写真4に示す。

製作ヤード内での桁の運搬には、自走式の大形ク

レーン(STRADDLE CARRIER)および桁発進基地で高架上に桁を吊り上げるためのクレーン(BRIDGE GANTRY)が配備される。

高架橋上での桁の運搬には多軸式の自走式運搬台車(GIRDER TRANSPORTER)が用いられ、架設位置には運搬台車から桁を吊り上げて架設するフルスパン



筆者撮影

写真5 BRIDGE GANTRYによる桁吊り上げ～
GIRDER TRANSPORTER積載

架設機(LAUNCHING GANTRY)が待機している。

(2) 架設手順

製作された桁はストックヤードに置かれたのち、STRADDLE CARRIERにより高架脇の発進基地まで運搬され、BRIDGE GANTRYにより高架上のGIRDER TRANSPORTERに載せられ(写真5)架設箇所へと運搬される。

架設箇所に到着すると、LAUNCHING GANTRYが桁を吊り上げられながら所定の位置まで前進させ(写真6)、降下して架設となる。

GIRDER TRANSPORTERは、LAUNCHING GANTRYが完全に桁を吊り上げた時点で次の桁を運搬するために高架上を自走して製作ヤードに戻る。この繰り返しである。

5. おわりに

MAHSRにおけるコンクリート構造物の設計施工について特徴的な事柄を紹介した。今回紹介したFSLMによる桁架設は日本での実績はないが、その圧倒的な建設スピードから、すでに海外での新規路線建設のスタンダードになっている。

筆者も中国でのFSLM桁製作ヤード(工場)および架設現場を見る機会があり、そこで製作される桁は、25mの車両長に対して最も共振にくい桁長40mに



筆者撮影

写真6 LAUNCHING GANTRYによる桁架設状況

規格化され、システム化された品質管理の下で製作される。その一方で、架設現場には数名の作業員がいるのみで簡単に桁が架設されていく様子に衝撃を受けた。中国の圧倒的な工事量を背景に、トライアルと改善を繰り返してきた結果なのだろうと思う。

MAHSRでは、インド国内でも初めてとなるFSLMによる桁架設が開始されたところで、現地で発生する様々な課題を日印の技術者が協力してひとつひとつ解決しながら着実に工事が進められている。

【参考文献】

- 1) 国土交通省／報道発表資料，2015.
<http://www.mlit.go.jp/common/001113196.pdf>
- 2) インド高速鉄道プロジェクトについて，土木計画学研究・講演集 vol.57，57-41-01
- 3) 新華網日本語，<http://jp.news.cn/2022-06/11/c-1310619962.htm>

*

*

*

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

トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発

Development of automatic casting system for secondary tunnel lining concrete

松本 修治 手塚 康成 坂井 吾郎

1. はじめに

近年、建設業界では作業員の高齢化による技能者不足が深刻化しており、国交省では生産性を向上するための重要な施策として「i-Construction¹⁾」を掲げ、建設作業の機械化、自動化を推進している。山岳トンネルの分野では、危険作業となる掘削の自動化に加え、狭隘な移動式型枠内で窮屈な姿勢での苦渋作業を余儀なくされているトンネル覆工コンクリート(以降、覆工コンクリートと称す)の施工の機械化、自動化が求められている。そこで筆者らは、覆工用に開発した高流動コンクリート²⁾(以降、覆工用高流動コンクリートと称す)を用いることで内部振動機による締固め作業を不要にするとともに、人力による配管の切替え作業を不要にした新しい打設配管装置や打上がり高さを自動制御する打設制御装置などを組み合わせた自動打設システムを開発した。本稿では、この覆工コンクリートの自動打設

システムの概要と実規模の模擬トンネルに適用した実績について紹介する。

2. 自動打設システムの概要

現在の一般的な覆工コンクリートの施工では、内部振動機による締固め作業や配管の切替えに伴う配管内部に残留したコンクリートの廃棄および清掃作業を、狭隘な移動式型枠内でおおむね5～6名の作業員によって行っている。本自動打設システムは、これらの作業をなくし、省人化を図るためにコンクリート技術および各種装置を組み合わせたものである。

自動打設システムは、図1に示すように、①締固めが不要な覆工用高流動コンクリート、②配管内に残留するコンクリート(以降、廃棄コンクリートと称す)の削減と回収が容易で、人力による配管の切替えを不要にした新しい打設配管装置、③左右分岐配管の高速切替装置、④打上がり高さを自動制御する打設制御装置の4つで構成される。④により、トラックアジテータの入替え時を含め、コンクリートポンプの圧送開始や停止などの稼働状況に合わせて、②、③を自動で制御することで、人の手を全く介さずに、型枠延長の中央下部から順番に吹き上げてコンクリートを打ち込むことを可能とした。また、打上げ高さは、自動で左右均等に調整される。これらにより、技能労働者の技量によらず高い品質を確保しつつ、苦渋作業の低減や施工の省人化



まつもと しゅうじ / MATSUMOTO Shuji
鹿島建設(株)
技術研究所 土木材料グループ 主任研究員



てづか やすなり / TEZUKA Yasunari
同上
土木管理本部 土木工務部 トンネルグループ 担当部長



さかい ごろう / SAKAI Goro
同上
技術研究所 主席研究員 博士(工学)

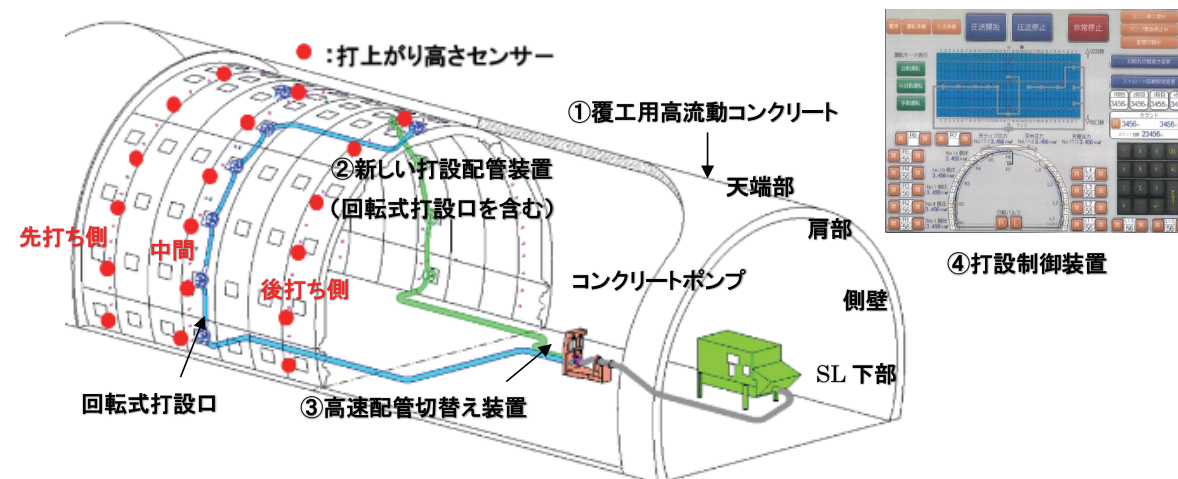


図1 自動打設システムの概要



図2 従来の打設配管装置

写真1 覆工用高流動コンクリート

および安全性向上を実現できる。

2-1. 覆工用高流動コンクリートの技術

自動打設システムでは、覆工用高流動コンクリートを用いることで締固め作業を省略する。覆工用高流動コンクリートは、写真1に示すようなスランプフロー 500～600mm、単位セメント量 450kg/m³以下としたものである。また、使用する混和剤は、覆工コンクリートの施工に適するように新しく開発したものである。覆工コンクリートは、閉鎖された空間に打ち込むため、背面空洞を防止する目的でブリーディングを抑制することが重要である。また、設計基準強度を18N/mm²程度とする場合が多いなか、限られた個所から打ち込み、流動させながら充填させるため、単位セメント量を極力増やさずに材料分離抵抗性を確保する方法が求められる。さらに、施工サイクルを確保するために材齢18時間程度

で脱型するため、高性能AE減水剤で流動性を高めても強度発現の遅延を防ぐことが必要である。そこで、ブリーディング抑制成分と増粘成分を含有し、可使用時間を確保しつつ強度発現の遅延を生じにくいポリカルボン酸塩を主成分とした特殊な高性能AE減水剤³⁾を開発した。この混和剤を用いることで、ブリーディング量は半分程度にまで低減しつつ、粘性を増加できる。また、覆工用高流動コンクリートの材齢18時間における圧縮強度は、スランプ15cm程度の覆工コンクリートと同程度にできる。

2-2. 人力による配管切替えを不要にした新しい打設配管装置

従来、覆工コンクリートの施工では、図2に示すような打設配管装置を用いて移動式型枠で閉鎖された空間にあらかじめ設置した複数の打設口からコンクリート

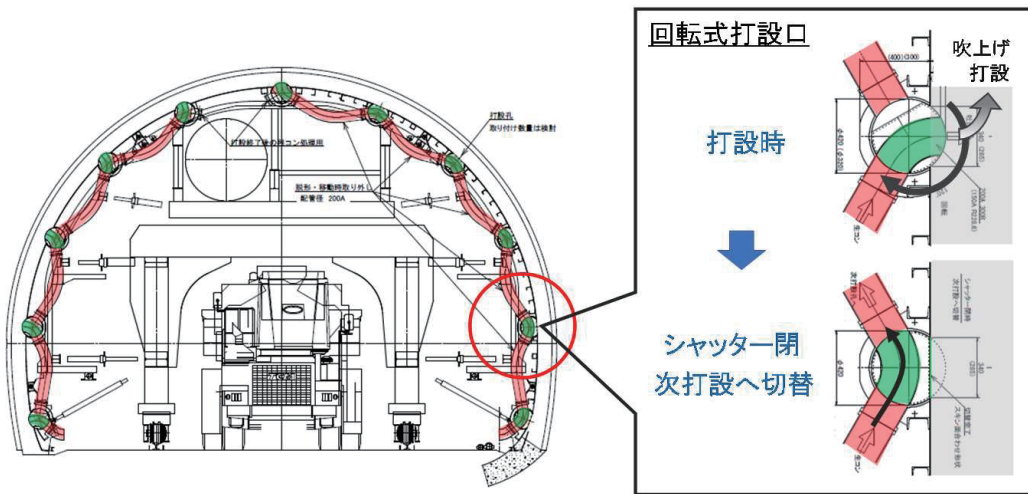


図3 新しい打設配管システム

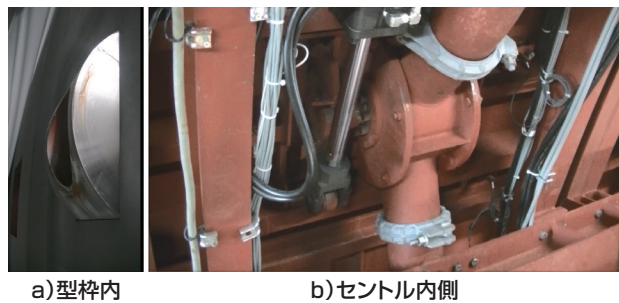


写真2 回転式打設口

を打ち込むため、打設口ごとにコンクリートを投入する配管が必要となり、配管を次の打設口に切り替える際に廃棄コンクリートが多量に発生する。そのため、打設作業中に廃棄コンクリートの回収と配管清掃などの作業が必要となる上、回収後の廃棄コンクリートを処分しなくてはならない。そこで、人力による配管の切替えを不要にした新しい打設配管装置を開発した。この装置は、図3および写真2に示すように、圧送配管と回転式打設口が一体化したものであり、打込み時には打設口が型枠内部に接続されているが、打込みが完了すると打設口が回転して型枠表面で接続口の蓋が閉まると同時に、次の打設口への配管ルートが開通される構造となっている。これにより、打設中の廃棄コンクリートの回収や配管清掃が不要となる。さらに、最終の天端打設前の配管切り替え時には、図4に示すようにポンプを逆転させ左側の配管内のコンクリートを回収し右側の配管へ圧送できるため、廃棄コンクリートの削減が可能である。

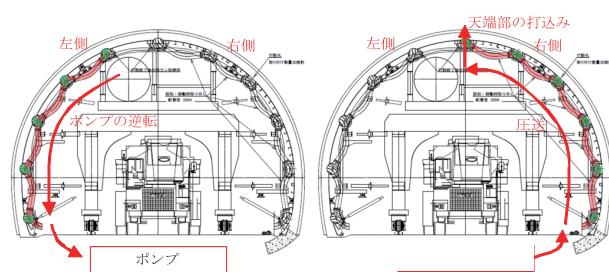


図4 廃棄コンクリートの削減の仕組み

2-3. 左右分岐配管の高速切替装置

従来の打設配管装置は、図2に示すように左右の打設口ごとに独立した配管系統(7系統程度)を作業員が手動で切替装置を操作して行うため、配管切替に時間を要しており、また、配管切替の度に、切替え前に接続していた配管に残留したコンクリートが漏れ出るため、その都度、清掃も必要であった。2-2.で述べた新しい打設配管装置は、左右1系統ずつの2系統を切り替えるだけで良いことから、従来の左右の配管切替装置の課題を改善するため、コンクリートポンプの稼働状況に連携して自動で左右の分岐配管を高速で切替え可能な装置を開発した(写真3)。本装置は、密封型スイング式で、電気信号を用いた油圧制御により3秒間で左右分岐配管を切り替えることができる。

2-4. 打上がり高さを自動制御する打設制御装置

本装置は、回転式打設口を切替えるタイミングなどを事前に設定することで、型枠に設置した複数の静電容



写真3 配管系統の高速切替装置

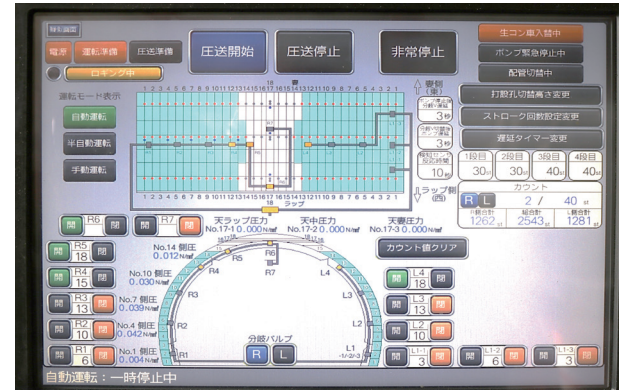


写真4 打設制御装置のモニター画面

表1 覆工用高流動コンクリートの配合

SF (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gvol (L/m ³)	単位量 (kg/m ³)					
					W	C	S1	S2	G	VSP
550	4.5	50.0	52.7	317	175	350	743	186	840	4,375

C:普通ポルトランドセメント、密度 3.16 g/cm³、S1:川砂、表乾密度 2.63g/cm³、S2:山砂、表乾密度 2.66g/cm³、G:砂利、密度 2.66g/cm³、VSP:特殊混和剤

表2 試験項目および方法

試験項目	方法	目標値	頻度	1ブロック 目 基本計画	2ブロック 目 改善後
スランプフロー	JIS A 1150	550±50mm	全台	○	○
空気量	JIS A 1128	4.5±1.5%	AM/PM の2回	○	○
コンクリート温度	JIS A 1156	5～35℃	AM/PM の2回	○	○
U形充填試験	JSCE-F 511-1999, ランク2	300mm 以上	AM/PM の2回	○	○
V漏斗流下時間	JSCE-F 512-2011	3～13 秒	AM/PM の2回	○	○
透気試験	Torrent 法	—	全21点	○	○
圧縮強度	JIS A 1108	—	5か所のコア	-	○
静弾性係数	JIS A 1149	—	5か所のコア	-	○

量式センサでコンクリートの充填状況を検知しながら、左右のコンクリートの高さが同じになるように自動制御して、計画どおりに打設するものである。また、トラックアジテータの入替えによる打込みの停止と再開は、コンクリートポンプ車のホッパに設置した液面計により制御する。ホッパ内のコンクリートが減少して液面計の下限を感知すると圧送を自動停止し、トラックアジテータ入替後に投入したコンクリートを感知すると自動で圧送を再開する。天端部の打込みは、図1に示す型枠に設置した3箇所(先打ち側、中間、後打ち側)の圧力計により制御する。天端の吹上げ口より打込みを行い、事前に設定した圧力値に到達するとコンクリートの打込みを自動停止する。さらに、打込み状況は、写真4に

示す打設制御装置の画面によって、リアルタイムで見える化することが可能である。これらの打設速度や進捗などの打設履歴は、記憶媒体に記録されるため、脱型後の表面の仕上がりに関連付けことができ、次回以降の施工に反映させてPDCAを回すことで品質向上を図ることが可能となる。

3. 実規模の模擬トンネルへの適用検証

3-1. 概要

トンネル断面が内空幅10m、内空高8m、覆工厚0.3m、1ブロック当たりの延長が10.5mの実規模の模擬トンネルの2ブロックに自動打設システムを適用した。

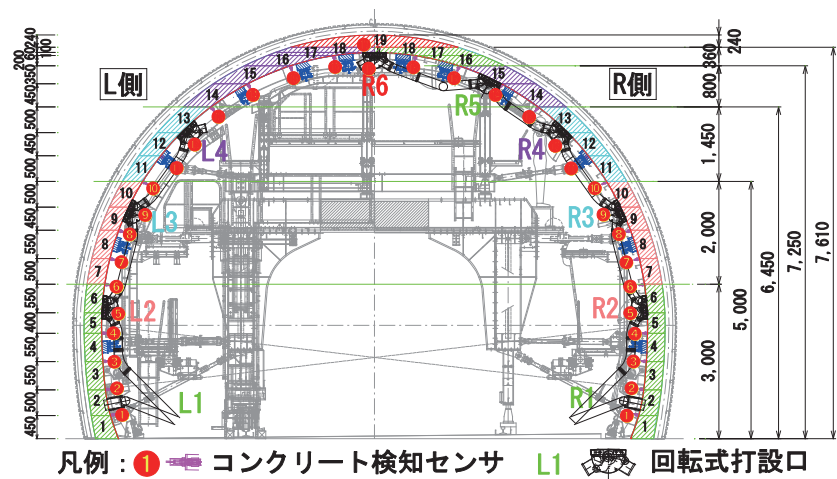


図5 回転式打設口・コンクリート検知センサ配置図

本稿では、覆工コンクリートの自動打設システムの実現性を検証することを目的として、基本的な打設計画（以降、基本打設計画と称す）で打ち込んだブロックに加え、夏期に、打設速度と夏期仕様の混和剤に変え、覆工コンクリートの仕上がりおよび硬化後の品質への影響を確認した結果について述べる。

覆工用高流動コンクリートの使用材料および配合は、表1に示すものを用い、事前の室内および実機試験での試し練りで目標性能を満足する配合を選定した。また、表2に試験項目および方法を示す。2ブロックとも各種フレッシュ性状試験に加え、硬化後の品質として透気試験を実施した。なお、2ブロック目のみφ100mmのコアを各位置で採取し、圧縮強度試験と静弾性係数試験を行った。

3-2. 基本打設計画(1ブロック目)

自動打設システムを搭載した型枠には、図5に示すように、回転式打設口が周方向約2m間隔で11個所、コンクリートを検知する静電容量式センサが高さ方向約5cm間隔で34個×3断面の合計102個設置されている。コンクリートの打込みは、自由落下による空気の巻き込みを防止するため、打設口からすべて吹上げによる方式とした。天端部も両側の肩部より吹上げで打込み、型枠がコンクリートで1層(150mm)覆われた状態としてから天端吹上げ口に切り替える計画とした。また、左右の分岐配管の切替えは、左右の打上がり

高さの差が20cm以下となるように打込み量(コンクリートポンプのストローク回数)を設定した。コンクリートの打設速度は、一般的な覆工コンクリートの打設実績である時間当り10~20m³/hに設定し、打上がり速度を1段目の打設口は1.5m/h、2段目以降は2.0m/hで計画した。覆工用高流動コンクリートは可能な限り供給を止めずに、連続的に打ち込むことが重要であるため、計画したコンクリートの時間当たりの打込み量に合わせて、吐出量が一定となるように設定した。天端部の吹上げによる打込みは、覆工厚0.3m分のコンクリートの自重の2倍(14kPa)⁴⁾を下限として参考にしつつ、具体的には、過去の人力による打設において、密実な充填を確認している型枠天端部に設置した圧力計の管理値(図1の先打ち側50kPa、中間40kPa、後打ち側20kPa)のいずれか一つでも超過した場合に自動停止する計画とした。

3-3. 基本打設計画(1ブロック目)での適用結果

覆工用高流動コンクリートのフレッシュ性状は良好で、全ての装置がトラブルなく順調に稼働し、打設計画どおりに覆工コンクリートを打ち込むことができた。

図6にスランプフローの測定結果を示す。最初の数台は上限値近くを推移したものの、台数を重ねるごとに、目標中心値付近に収束しており、安定したフレッシュ性状での製造が可能であった。また、空気量は平均4.6%、U形充填高さは、自己充填性ランク2で平均

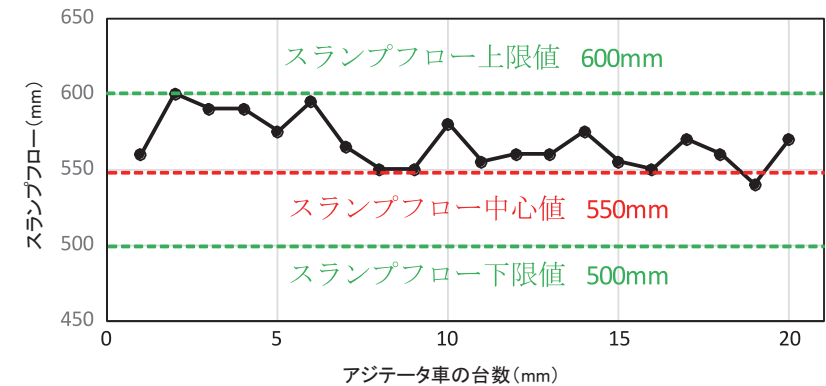


図6 スランプフローの測定結果(1ブロック目)

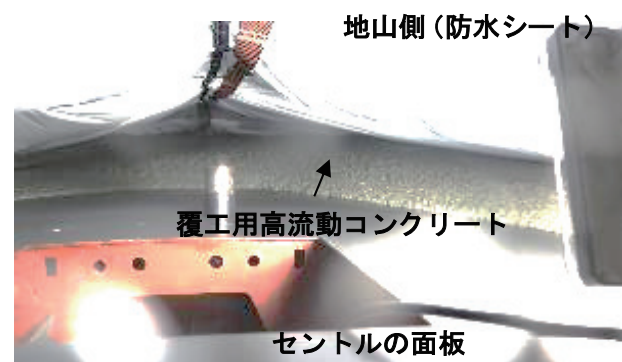


写真5 コンクリートの充填状況(1ブロック目)

341mm、V漏斗流下時間は平均3.4秒と全てで目標範囲内であった。なお、コンクリート温度はいずれも31℃程度であった。

写真5に覆工用高流動コンクリートの充填状況を示す。コンクリートは、どの部位でも材料分離することなく先端となる棲型枠まで流動し、隅々までほぼ水平に充填されていく状況が確認された。なお、セトルにかかる側圧は、一時的に液圧になることもあったが、最大70kPa程度の結果で、覆工用中流動コンクリートと同程度⁵⁾であった。

また、天端部の圧力監視による自動制御においては、天端部の充填圧力の管理値のうち、今回の施工では最初に後打ち側の圧力が20kPaを超過し、打設を自動停止した。このとき棲型枠からモルタルの流出が目視確認され、また天端部地山側に設置したコンクリート充填検知センサが全て充填を検知していることが確認できたことから、追加のコンクリート打込みを行うことなく

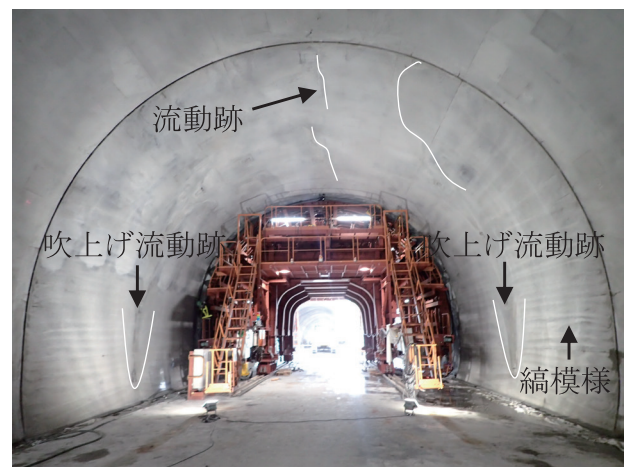


写真6 覆工コンクリートの仕上がり(1ブロック目)

打設完了と判断した。翌日に棲型枠を脱型した結果、コンクリートが隅々まで確実に充填されていることが確認できた。

写真6に覆工コンクリートの仕上がり(1ブロック目)を示す。一般に打込み時のコンクリートの落下に伴うエントラップトエアによって、トンネル断面で幅員が最も広くなる高さの位置であるスプリングライン(以降、SLと称す)下部に表面気泡が発生しやすいものの、吹上げで打込みを行ったことで、今回の覆工コンクリートに表面気泡は発生しなかった。一方で、SL下部から天端部にかけて、コンクリートを吹き上げた流動跡や左右の打込み切替えにより生じるコンクリートの打込みの停止と再開タイミングに合わせたような縞模様が認められた。これらは、計画の打設速度が遅かったことに加え、コンクリート温度が31℃と暑い時期の打設であったことから、型枠内で流動性が低下したコンクリートを吹き上げることとなり、ごく表層部分において、コンクリートの一体性が

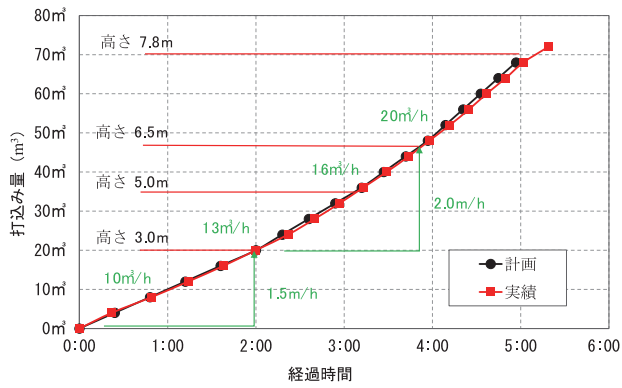


図7 経過時間と打込み量の関係(1ブロック目)



図8 覆工コンクリートの表層品質

損なわれたことが影響したものと考えられる。

図7に経過時間と打込み量の関係(1ブロック目)を示す。計画に対し自動打設による実績との差異は、各トラックアジテータにおいて5分以内であった。ここで人力による従来施工では、締固めや配管清掃などの作業に不確定要素が多く、打設の進捗を予測しづらいことから煩雑な配車調整が必要だった。これに対して、本システムを用いることで、計画通りに打設が進捗することから、施工管理の省力化に大きく寄与することを確認した。また、生コン工場の出荷管理も容易となり、トラックアジテータの待機時間も短くでき、結果として、所定のワーカビリティを満足しないコンクリートがポンプに投入されるリスクを低減でき品質確保にも寄与するものと考えられた。

3-4. 打設速度および混和剤の種類変更後(2ブロック目)の計画

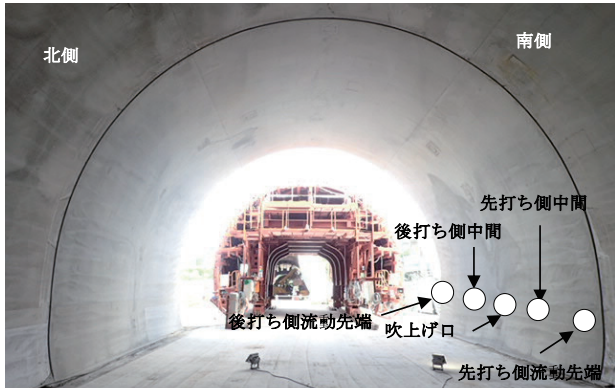


写真7 覆工コンクリート仕上がり(2ブロック目)

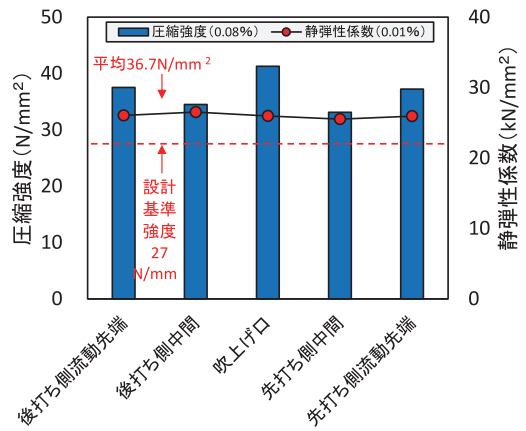


図9 コアによる圧縮強度および静弾性係数(2ブロック目)

2ブロック目の適用では、打設速度の変更、夏期に向けた混和剤種類の変更、型枠振動機の稼働が覆工コンクリートの仕上がりおよび硬化後の品質への影響を確認することを目的に実施した。具体的には、基本打設計画から、時間当たりのポンプの吐出量を2～4m³/h程度増やして20～22m³/hとして打設を行うこととした。また、混和剤は、時間経過に伴う流動性の変化を小さくするための調整を行った夏期仕様とし、さらに美観向上のために、天端部では、1.5mピッチで設置した型枠振動機の全28台を10秒程度稼働させることとした。

3-5. 打設速度および混和剤の種類変更後(2ブロック目)の適用結果

スランプフローの全平均は561mm、空気量は平均4.6%、U形充填高さは、自己充填性ランク2で平均349mm、V漏斗流下時間は平均3.6秒と全てで1ブロッ

ク目と同程度となり、目標範囲内であった。なお、コンクリート温度も1ブロック目と同様に31℃程度であった。

写真7に覆工コンクリートの仕上がり(2ブロック目)を示す。打設速度を速くし、天端部のみ型枠振動機を用いることで、スムーズに吹き上げて打込みができ、1ブロック目の仕上がりとは比べ、流動跡が目立たない綺麗な仕上がりとなった。

図8に覆工コンクリートの表層品質評価の結果を示す。硬化後の覆工コンクリートの品質評価として、材齢90日程度で、覆工コンクリートの表面水分率が5.5%以下となった時にトレント法による透気試験を実施した。測定箇所は、SL、肩下、肩上の両サイドと天端部のそれぞれで、後打ち側、中間部および先打ち側の全21点で行った。透気試験の結果は、1ブロック目と2ブロック目ともにブロック内でのばらつきは小さいものの、既往の評価方法⁶⁾では、1ブロック目は「一般」であるのに対し、2ブロック目では「良」であった。また、これは一般的な覆工用中流動コンクリート⁷⁾と同程度の評価結果であった。本適用においては、夏期において、打設速度を早くし、夏期仕様の混和剤に変え、さらに型枠振動機を併用することで、覆工コンクリートの表面の仕上がりが改善するとともに、表層品質の向上効果も得られる結果となった。

図9に圧縮強度および静弾性係数の試験結果を示す。吹上げ口のみ圧縮強度が平均に対して4.6N/mm²ほど大きくなっているが、その他の部位は同程度で変動係数は約8%と小さかった。なお、吹上げ口の圧縮強度は、圧入時の圧力が影響した可能性が推察された。静弾性係数は、どの部位も同程度で、変動係数は約1%と圧縮強度と同様に小さかった。また、ブリーディングが集積しやすい後打ち側、先打ち側のどちらの流動先端でも圧縮強度および静弾性係数の低下は認められず、設計基準強度を満足していることを確認した。これは、混和剤に含まれる増粘成分の効果で最大5m程度流動させる覆工コンクリート特有の打込み条件においても材料分離することなく打ち込めたためと考えられた。

4. おわりに

覆工コンクリートの自動打設システムを模擬トンネルに適用した結果、全ての装置がトラブルなく順調に稼働し、実現性を確認できた。この自動打設システムを用いることで、打設履歴も記憶媒体に記録されるため、脱型後の表面の仕上がりとの関連付け、現場での覆工コンクリートの品質向上に向けたPDCA活動が容易になると考えられる。また、打設状況をネットワーク配信することもでき、遠隔地での打設監視および遠隔臨場としての活用も可能となることも可能と考えられる。さらに、型枠振動機による軽微な締固めを必要とする覆工用中流動コンクリートに対応するための型枠振動機の自動制御装置も完成している。今後は、覆工用高流動コンクリートだけでなく覆工用中流動コンクリートのいずれにおいても美観および品質の向上を含めた制御パラメータの最適化を図り、型枠セット、打設および養生に至るすべての工程を自動で行う統合システムの構築を目指す。

【参考文献】

- 1) 堂山修治, 竹下正一, 堤 英彰, 城澤道正／i-Construction(建設現場の生産性革命)の推進と建設現場の安全性の向上に向けて, 土木学会論文集F6(安全問題), Vol. 73, No.2, pp.I_1-I_6, 2017.
- 2) 松本修治, 佐藤崇洋, 坂井吾郎, 手塚康成, 青柳隆浩, 西岡和則／山岳トンネルにおける覆工用高流動コンクリートの適用実績, トンネル工学報告集, 第27巻, I-17, 2017.11.
- 3) 作榮二郎, 亀島健太, 松本修治, 坂井吾郎／ブリーディング低減成分を含有した増粘剤一液型高性能AE減水剤を使用した覆工用高流動コンクリートの基本特性, 第75回年次学術講演会, V-434, 土木学会, 2020.
- 4) 谷藤義弘, 村崎慎一, 森 俊介, 中間祥二, 桜井邦昭／中流動コンクリートの適用によるトンネル覆工の施工性改善と品質向上, 第65回年次学術講演会, VI-319, 土木学会, 2010.
- 5) 松本修治, 佐藤崇洋, 北村義宜, 坂井吾郎／覆工用高流動コンクリートの実施における移動式型枠の発生応力および作用する側圧を含む各種検証結果, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, 2018, pp.1185～1190.
- 6) R.Torrent and G.Frenzer／A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the “covercrete”, International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), pp.985～992, Sep.1995.
- 7) 松本修治, 橋本学, 松垣和明, 手塚康成, 青柳隆浩／新型テレスコピックセメント工法および塗布型の水分逸散抑制剤による養生の効果, 第72回年次学術講演会, VI-167, 土木学会, 2017.

私、撮り鉄なんです！

岸 和博

「えっ？撮り鉄なの？」という声が聞こえそうです。撮り鉄にとって肩身が狭くなるニュースが時々流れ、撮り鉄であることを語り難い雰囲気があります。「ニュースに出てるのは撮り鉄ではありません！」と思いながら、このテーマを選びました。

さて、〇〇鉄を調べてみると、乗り鉄、撮り鉄、模型鉄…。沢山の“鉄”が出てきました。かつては総称で鉄道マニアと呼ばれていましたが、今は、鉄オタや鉄ちゃんとも呼ばれ、中身も細分化されています。私の撮り鉄はSL鉄で、蒸気機関車の撮影鉄です。始まりは小学生だった1970年10月に東京駅を出発した「さよなら蒸気機関車」を見た時です。1970年頃、地方ではまだSLが多数走っていました。両親の出身地の九州に遊びに行ったさいには直方、後藤寺など筑豊に撮影に行きました。筑豊はSLのパラダイスでした。東京付近では只見線、小海線、中央西線などで走っていました。大人ならそう遠くない場所ですが、小中学生にとっては子供だけでは行くことが難しい場所でした。それでも、時刻表と睨めっこをして撮影計画を立てるだけでもワクワクしました。これらの比較的近い路線ですら実行困難だったので、伯備線(岡山県)のD51(デゴイチ)三重連(SLを三両連結)などは憧れ

であり、撮影は夢のまた夢でした。

高校生になり1年の春休みに北海道への単独撮影旅をしました。上野⇄青森間は“特急はつかり”を利用し、青函連絡船、函館からは夜行急行で函館本線、室蘭本線経由で岩見沢に行き、撮影後、更に石北本線の夜行急行で網走へ。連絡船が函館に到着するさい、船内で北島三郎さんの「函館の女」が流れていたこと、網走駅の駅弁“かにめし”が美味しかったことを今でも覚えています。帰りはこの逆コースで白老のユースホテルに一泊し室蘭本線で撮影。雪とSLのコントラストは美しいものでした。

その後、SLの廃止が急速に進み、今ではSLやまぐち号に代表される観光列車が走るのみとなりました。私の方は、大学生になってSL鉄より楽しい遊びを覚えて撮り鉄は長期休止状態となりました。しかし、撮り鉄は休止しても各駅停車等乗り継いで遠くに行くことは続けていました。青春18きっぷは強い味方です。そして、撮り鉄を再開したのは2010年あたりからです。

SL撮影は煙を出して走る地点を探すことから始まります。上り坂や駅の発車シーンなどです。煙は少なくとも背景に季節の花などが

ある地点も良いですね。有名撮影地点は本やWebに出っていますが、自分で探すのは楽しいです。以前は地図を見て「この辺かな？」と当たりを付けていましたが、今は移動中の列車で走行音(上り坂は音が変わります)や景色などをもとに場所を見つけています。ただ、私は運転免許を持っていないので駅から徒歩やバス等で行けることが必須の条件です。車でSLを追いかけて何度も撮影する方達もいますが、それができない私は一発勝負です。SLが走っている路線は超が付くローカル線が多いので、撮影地点まで行くのに使う列車自体が少なく大変です。10～20秒足らずの撮影のために撮影場所到着～SL撮影～帰りの列車までトータルで数時間かかることもしばしばです。とても非効率な趣味に思えるかも知れませんが、私にはこの時間も含めてSL鉄なのです。車を運転しないのでその時間はあらかじめ買

い込んでおいたお酒を呑んで待ちます！
SLは老朽化が進んでおり、予期せぬ故障に出くわす時もあります。やまぐち号の撮影に出かけた時のこと。撮影地点まで、いつもの各駅停車で移動していましたが、列車内に違和感が。やまぐち号の出発駅の新山口で降りた時に違和感の正体が分かりました。撮り鉄がいない！何と前日、機関車が故障して運休になっていたのです。「ここまで来て黙って帰れない！」と思い、旧小野田セメントの徳利窯を見に行くことを思い付きました。小野田駅に着くと乗り換えの小野田線の本数がこれまた少ない。小野田駅から徒歩で向かいました。途中、硫酸の運搬に使われていた陶器



の硫酸瓶や“セメント町”と書かれた地名表示板を見ることができ、想定外の収穫でした。やはり、しぶとさは大切ですね。

SL撮影にまつわる思い出話でしたが、少しは撮り鉄を理解頂けたでしょうか。老朽化、脱石炭と環境は厳しいですが、一日でも長くSLには頑張っ

て欲しいと思います。最後に、この執筆により、私は撮り鉄、乗り鉄、時刻表鉄、そして呑み鉄であることを再認識できました。

[きし かずひろ／三菱マテリアル(株) 戦略本社 経営戦略部 関連事業室 顧問／前本誌編集委員長]

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

Expansion work of Tsumetadani Bridge (outbound lane) using granulated blast furnace slag sand

橋野 哲郎 河中 涼一 田邊 睦 福田 雅人 井田 和輝

1. はじめに

新名神高速道路亀山西JCT-大津JCT(仮称)間では、6車線化工事が事業認可された区間の拡幅工事が行われている。上記区間に架橋されたPRC2径間連続2主版桁橋のつめた谷橋(下り線)は、暫定2車線で供用中であるが、本拡幅事業で主桁を1本増設して完成形3車線に拡幅される。既設橋に新設のPC桁を接合する場合、新設桁のクリープ・乾燥収縮が既設桁に拘束されて不静定力が生じるため、新設桁のプレストレス導入完了から接合までに長期の養生期間を設ける必要がある。しかし、供用中の車線を規制しながら実施する本橋の拡幅工事は、安全性確保の観点からも工程短縮が望まれた。そこで、新設桁をプレキャストセグメント化し、さらにクリープ・乾燥収縮度低減のため主桁コンクリートに高炉スラグ細骨材を用いた。高速道路橋梁の主桁コンクリートに、高炉スラ

グ細骨材(granulated Blast Furnace slag Sand：以下、BFSと称す)を天然砂と全量置換して用いるのは初の試みであった。

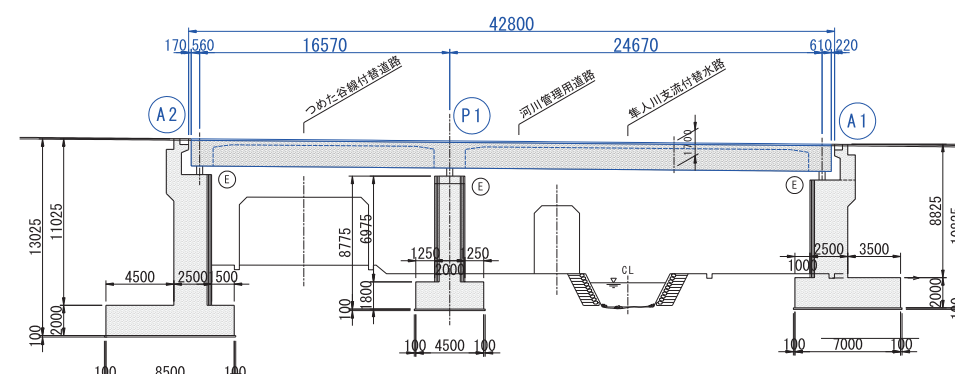
本稿では、セグメント工法への変更と高炉スラグ細骨材の適用について、さらにBFSのクリープ・乾燥収縮低減効果を実橋計測で検証した結果について報告する。

2. 工事概要と工程短縮の背景

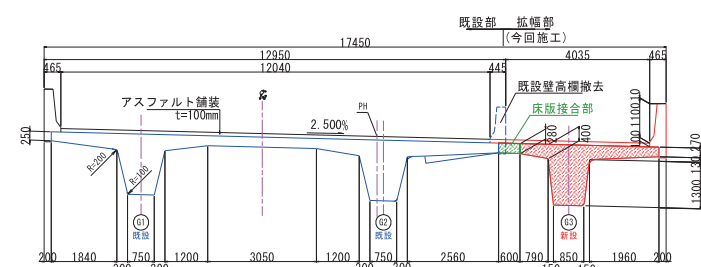
写真1は拡幅以前に暫定2車線で供用していたつめた谷橋(下り線)の全景である。本橋は2007年に暫定2車線のPRC2径間連続2主版桁橋として供用を開始し、13年後の2020年初旬に完成3車線への拡幅工事が発注された。拡幅後の構造は、暫定形と同様に版桁構造であり、主桁を1本増設することで3主版桁橋とするものである。橋梁一般図を図1に示す。拡



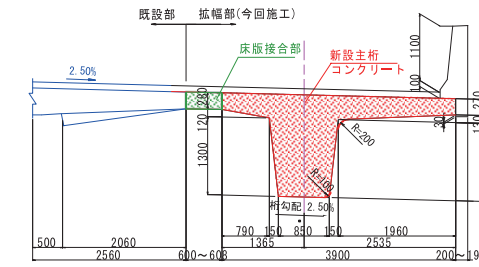
写真1 拡幅前の暫定供用



側面図



断面図



新設桁照査断面図

図1 橋梁一般図

幅は、新設桁の構築後に既設橋の壁高欄を撤去し、新設桁と既設桁を床版の接合によって一体化する順で行う。しかし、材齢が異なるPC桁を接合する場合、材齢の若い新設桁のクリープ・乾燥収縮が既設桁に拘束されることによって、新設桁に不静定力が生じる。その対策として、当初設計では現場で新設桁を構築した後、クリープ・乾燥収縮の進行を待たために180日間の養生期間を設けてから既設橋と接合する計画となっていた。一方、本工事は車線を路肩側にシフトする規制を行い、暫定2車線を供用しながら拡幅工事を行うため、通行車両の安全性確保の観点から、早期に工事を完了して規制を解除することが望ましかった。

また、本橋は、6車線化事業における先行供用予定区間に位置しており、この区間では本橋の拡幅工事がクリティカルパスであったため、工程を短縮する方法を検討した。

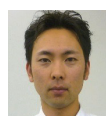
3. 架設工法の変更と 詳細設計による工程短縮

3-1. セグメント工法への変更

本工事では、施工工程を短縮するために、当初は場所打ち施工で計画されていた新設主桁の架設方法を、詳細設計で工場製作のプレキャスト部材を現場へ



はしの てつお / HASHINO Tetsuo
(株)ピーエス三菱 大阪支店
土木技術部 部長



かわなか りょういち / KAWANAKA Ryoichi
同上
土木技術部 博士(工学)



たなべ あつし / TANABE Atsushi
同上
土木技術部



ふくだ まさと / FUKUDA Masato
西日本高速道路(株) 関西支社
新名神大津事務所 甲賀西工事長



いだ かずき / IDA Kazuki
同上
甲賀西工区

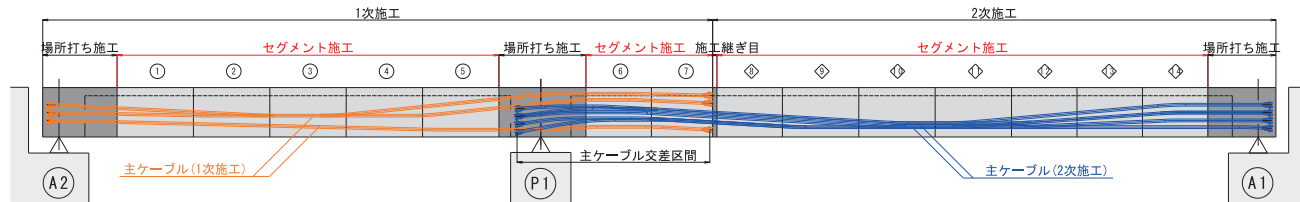


図2 セグメントおよび主ケーブル配置概要図



写真2 高炉スラグ細骨材(BFS)

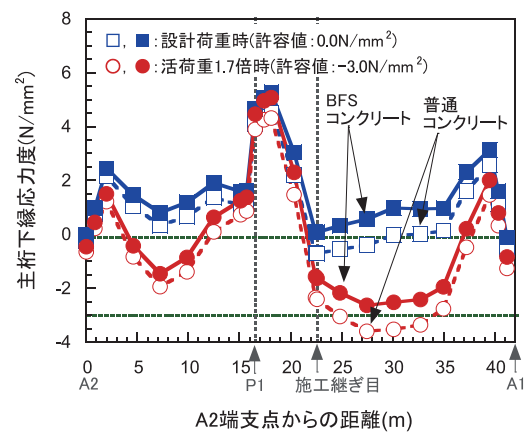


図3 主桁下縁応力度

運搬して架設するセグメント工法に変更した。ただし、支承や横桁の施工が必要となる支点部は場所打ち施工とした。新設桁のセグメント配置概要を図2に示す。

3-2. 高炉スラグ細骨材の採用検討

3-2-1. クリープ・乾燥収縮の低減

セグメント工法の採用に加え、さらなる工程短縮のためには、新設桁のプレストレス導入完了から接合までに設ける180日の養生期間も短縮する必要があった。そこで、写真2に示すクリープ・乾燥収縮を低減可能な材料であるBFSを用いたコンクリート(以下、BFSコンクリートと称す)の適用を検討した。既往の研究によると、本工事で使用したBFSを用いたコンクリートは、天然砂を用いた場合に比べてクリープが30%程度、乾燥収縮ひずみも30%程度小さくなる試験結果が得られていた¹⁾。

3-2-2. 解析によるBFSの適用効果の検証²⁾

新設桁のクリープが既設桁に拘束されて生じる不静定力は、平面格子解析を用いて算出した。新設桁に与える自重とプレストレスのクリープによる断面力はDischingerの近似式を用いて算出し、主桁の剛性も

クリープの影響を考慮して低下させた。図3は、新設主桁に砕砂を適用した普通コンクリートを用いた場合と、BFSコンクリートを用いた場合の新設主桁下縁応力度を示している。図中の□および○は、普通コンクリートを用いた場合の設計荷重時および死荷重に活荷重の1.7倍を加算した場合の照査結果を示している。点線は各荷重状態における許容値を表しており、設計荷重時は0.0N/mm²、活荷重1.7倍照査は-3.0N/mm²である。この図より、普通コンクリートを用いた場合はP1-A1において設計荷重時と活荷重1.7倍照査時のいずれも発生応力度が許容値を超過していることが分かる。一方、図中の■および●は、BFSコンクリートを用いてクリープを30%低減した場合の設計荷重時および活荷重1.7倍照査時の結果を示している。この図より、BFSコンクリートのクリープ低減効果によって新設桁が既設桁に拘束されて生じる不静定力が減少し、いずれの場合も許容値を満足していることが分かる。

さらに、格子解析の妥当性を検証するため、三次元FEMモデルを用いた逐次解析(応力履歴理論法)を行った。解析モデルは既設桁を含めた全体モデルとし、施工段階ごとに自重とPC鋼材による緊張力を与えて実

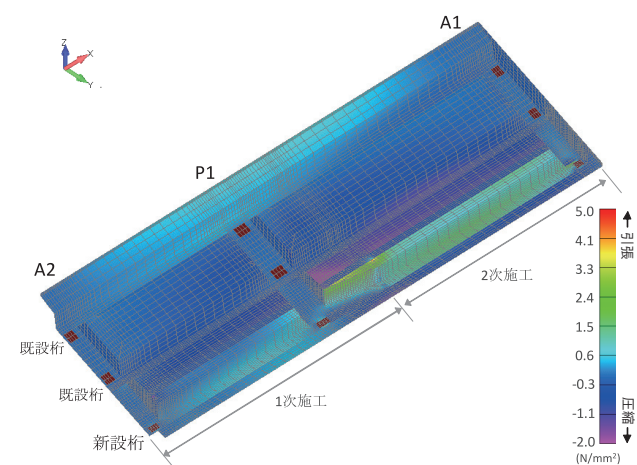


図4 主桁接合後のクリープによる応力度

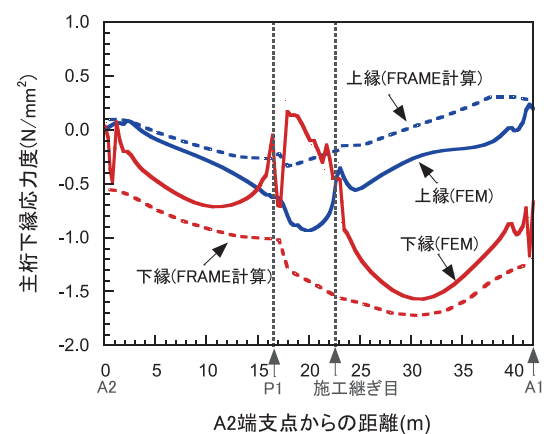


図5 新設桁に生じるクリープによる応力度

橋の施工ステップを再現した。図4はFEMを用いた逐次解析より得られた、新設桁と既設桁を接合した後に新設桁のクリープによって橋梁全体に生じる応力度の濃淡図である。この図より、新設桁G3は既設橋にクリープ変形を拘束されることで全体的に引張力が、既設桁には反作用として圧縮力が作用していることが確認できる。

図5はDischingerの近似式を用いたFRAME解析およびFEMを用いた逐次解析から得られた新設桁上下縁のクリープによる応力度を示している。新設桁のクリープが拘束されることで生じる新設桁下縁の引張応力度は、FRAME計算において支間の長いP1-A1径間の支間中央付近で最大になるが、FEMでも同様の結果が得られた。また、A2-P1間およびP1-A1間のいずれの支間部でもFEMよりFRAME計算結果の方が大きな引張応力度が生じており、FRAME計算を用いた

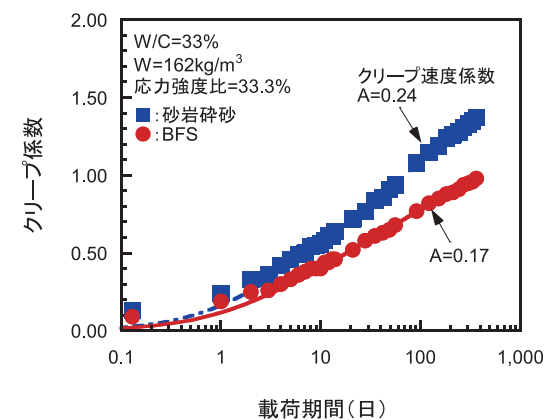


図6 BFSコンクリートのクリープ試験結果

設計の方が安全側となることが確認できた。

3-2-3. BFSコンクリートのクリープ試験

本橋のコンクリートを供給する生コンプラントにて、BFSを用いたコンクリートの供試体を作製し、JIS A 1157に準拠した圧縮クリープ試験を行った。試験では、生コンプラントが使用している硬質砂岩砕砂を用いたコンクリートでも同条件で供試体を作製し、比較のために圧縮クリープ試験を行った。コンクリートの水セメント比はいずれも33.0%で、載荷開始材齢はいずれも材齢15日とした。図6に、圧縮クリープ試験の結果を示す。この図から、BFSを用いたコンクリートのクリープひずみは天然砂を用いた場合より小さくなっていることが分かる。また、クリープ速度係数は、BFSコンクリートが0.17、砂岩砕砂を用いたコンクリートが0.24となり、既往の研究どおりBFSコンクリートのクリープ低減効果が約30%であることが確認できた。ここで、クリープ速度係数Aは、実



写真3 BFSコンクリート初の現場打ち



写真4 セグメントのミスト養生

験によって得られた載荷期間とクリープ係数の関係を式(1)に示される曲線により回帰して求めたものである。

$$\phi(t) = A \cdot \log_e(t+1) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\phi(t)$ ：載荷期間 t (日)におけるクリープ係数、
A：クリープ速度係数である。

3-2-4. BFSコンクリートの採用決定

BFSコンクリートのクリープ低減効果を考慮した解析と物性試験の結果より、本橋の新設桁には、セグメント桁部および場所打ち部のいずれにもBFSコンクリートを採用することが決定した。セグメント工法とBFSコンクリートの採用により、大幅な工程短縮が可能となった。

4. BFSコンクリートを用いた主桁の施工

4-1. セグメントのコンクリート打設

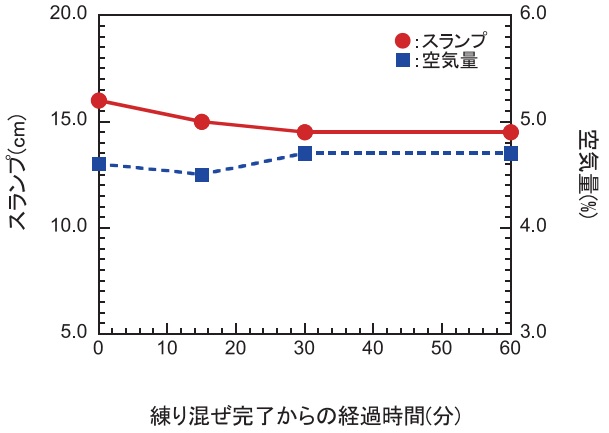


図7 フレッシュ性状の経時変化



写真5 セグメント完成

新設桁のセグメント部材は、プレキャスト製品工場の敷地内に型枠を設置して製作した。**写真3**に示すとおり、BFSコンクリートは、近隣の生コンプラントで練り混ぜて運搬し、コンクリートポンプ車で型枠に打ち込んだ。細骨材の全量をBFSに置換したコンクリートを場所打ち施工に適用するのは本工事が初の試みであったため、事前に生コンプラントで実機を用いた試験練りを行った。**図7**は、そのさいに行ったフレッシュ性状の経時変化確認試験結果である。この図に示すとおり、練り混ぜ完了後、60分経過後もスランプおよび空気量は良好な性状を維持できることを確認した。

4-2. セグメントの養生

BFSコンクリートには脱枠後の水中養生が求められるが、本工事に用いる高さ1.7mのセグメント部材を養生プールに浸漬することは現実的ではないため、**写真4**に示すとおり、ミスト養生を行った。ミスト養生は、最



写真6 セグメント架設

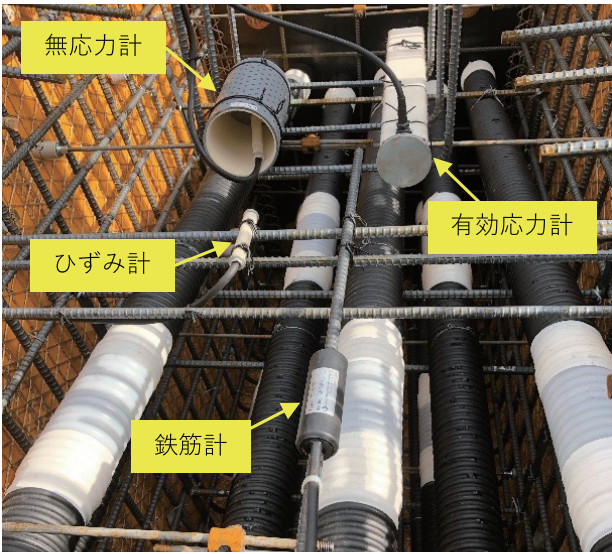


写真8 計測機器の設置状況

短で7日間と設定したが、本工事のセグメント製作では28日間のミスト養生を実施した。養生完了後の完成状況を**写真5**に示す。

4-3. セグメントの架設

セグメントの架設は、**写真6**に示すように、A2-P1間の交差道路に360tクレーンを設置し、水路を越えたA1側のセグメントまで架設した。

4-4. 既設排水桝のあと埋め

暫定形で供用していた本橋は、拡幅側の路肩に排水桝が設けられていたが、完成形の路肩に排水桝を移設するため、暫定形用のFRP製排水桝を撤去してあと埋めする必要があった。床版上面の断面修復に用いる



写真7 撤去した排水桝のあと埋め

表1 埋設した計測器一覧

計測器	機 能	備 考
埋設ひずみ計	コンクリートの全ひずみを計測	・コンクリートに直接埋設 ・測温機能付き
鉄筋計	鉄筋の応力変化を計測	・コンクリートに直接埋設 ・測温機能付き ・鉄筋の静弾性係数を用いてひずみに換算
有効応力計	荷重変化による応力変化を計測	・コンクリートの静弾性係数を用いてひずみに換算
無応力計	コンクリートの収縮を計測	・無応力容器内に埋込ひずみ計を格納 ・周囲の応力変化を遮断してひずみを計測 ・測温機能付き
熱電対	外気温を計測	・データロガー格納ボックス近傍の日陰温度を計測

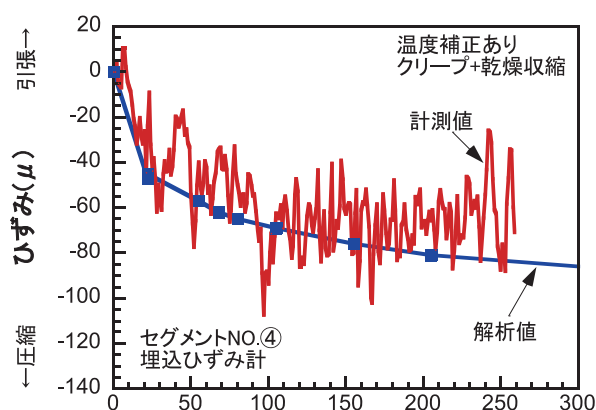
あと埋め材料は、既設コンクリートと極端な静弾性係数の差が生じないように規格が設けられている³⁾ため、これに適合する補修材を選定して用いた。**写真7**にFRP排水桝撤去後のあと埋め施工前と、あと埋め材充填時の状況を示す。

5. 実橋計測

高速道路橋梁の主桁コンクリートにBFSを天然砂と全量置換して用いるのは初の試みであったため、BFSコンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を確認するために、主桁のひずみを計測した。計測器は、P1～A2径間のセグメントNo.4とA1～P1径間のセグメントNo.9の2カ所に設置した。**写真8**は主桁セグメントの型枠内



写真9 実橋における計測状況

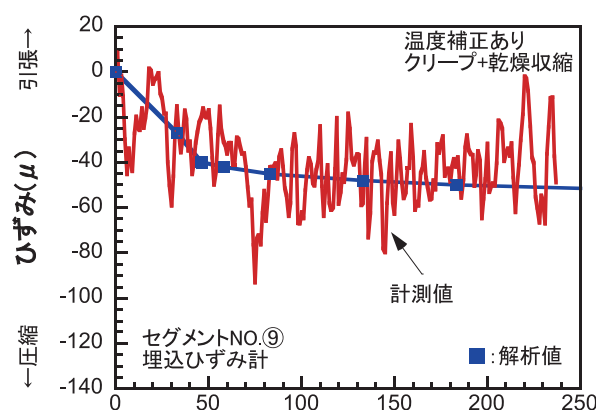


1次施工完了からの日数(日)

図8 セグメントNo.4のひずみ変化と解析結果

に配置された計測器の状況、表1は使用した計測器の一覧、写真9は新設主桁の構築後の計測状況である。図8および図9は、それぞれ一次施工および二次施工の主ケーブル緊張後に得られたセグメントNo.4およびNo.9のひずみ変化の計測値とFEM解析の結果を比較したものである。図中の四角は、BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を考慮して1,000日まで実施したFEM 解析結果の一部を示している。一方、ひずみの計測値は、埋込ひずみ計から得られたクリープ・乾燥収縮など全てを含む全ひずみ ε_{cd} で、1時間ごとに計測した値を24時間毎に平均した値である。ただし、全ひずみ ε_{cd} は、式(2)を用いてひずみ計とコンクリートの線膨張係数の差に関する補正を行った値である。

$$\varepsilon_{cd} = C_{\varepsilon} \times \varepsilon_i + \Delta t \times (C_{\beta} - \gamma) \dots \dots \dots (2)$$



2次施工完了からの日数(日)

図9 セグメントNo.9のひずみ変化と解析結果

ここに、 ε_{cd} :全ひずみの補正值、 C_{ε} :校正係数($\times 10^{-6}/1 \times 10^{-6}$)、 ε_i :初期値からの計測値の変化量($\times 10^{-6}$)、 Δt :初期値からの温度の変化量(℃)、 C_{β} :補正係数で $10.7(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ 、 γ :コンクリートの線膨張係数で $10.0(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ である。

これらの図より、全ひずみの計測値は、温度の影響などにより日々変動しているものの、その中央値はBFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮の低減効果を考慮したFEM解析結果とおおむね一致していることが分かる。よって、本橋に採用したBFSコンクリートのクリープ・乾燥収縮の低減効果を確認できたと判断した。

6. おわりに

本拡幅工事は、2022年5月に無事故無災害で竣工した。新設桁の完成および拡幅部の橋面の状況を



写真10 工事完了全景



写真11 橋面(舗装前にA1側より)

写真10,11に示す。近年では、BFSコンクリートの高い耐久性への関心と持続可能な開発への取り組みが相まって、その採用事例も増えている。さらに本稿では、BFSコンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を活かしてPC橋改築工事の工程短縮を実現した事例を紹介した。今後も、コンクリートの高耐久、環境負荷低減および生産性向上を目的として、BFSコンクリートの同種工事への適用が検討される場合もあると考えている。そ

のさいは、本報告が参考となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 藤井隆史、綾野克紀／高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの強度、収縮、クリープおよびアルカリシリカ反応抑制効果に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 40, No. 1, pp. 99～104, 2018. 7
- 2) 橋野哲郎、河中涼一、丹野篤、福田雅人／高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートのPC橋拡幅工事への適用、第30回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、pp.605～610, 2021.10
- 3) 東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)／構造物施工管理要領、pp.Ⅲ81～Ⅲ82, 2020.7

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

JR 京葉線の新駅／ 幕張豊砂駅の設計・施工

Design and Construction of Makuharitojosuna Station

伊藤 隼人 小瀧 郁穂 鈴木 健一 竹次 拓登

1. はじめに

幕張豊砂駅(以下、当駅という)は京葉線新習志野・海浜幕張間の両駅からそれぞれ約1.7kmに位置し、幕張新都心中心部を補完する地区(拡大地区)として大型商業施設が開業するなど開発が進んでいるエリア(図1)である。当駅は新都心中心部や新習志野駅周辺との連携、一体性、回遊性の向上、交通渋滞の緩和や地域の環境負荷低減を目指し整備されているものであり、2020年5月より工事に着工し、2023年春の開業を予定している。

京葉線は東京湾沿岸の貨物輸送を担う貨物線として1967(昭和42)年に着工したが、昭和50年代になると造成地の土地利用が住宅主体へと変化し大半が旅客



図1 幕張豊砂駅位置図

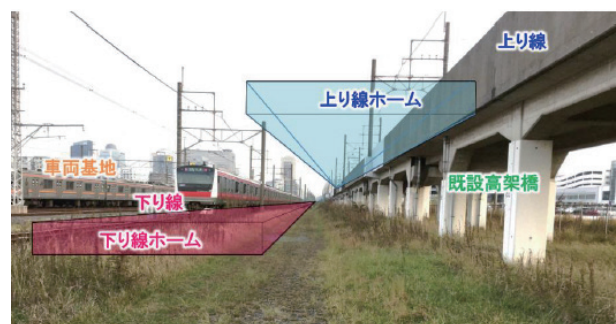


写真1 幕張豊砂駅付近の線形(施工前)

線に変更された。着工当時、当駅付近には貨物駅が計画され、当該区間のみ下り線を地平とし、上り線高架下を交差させて連絡する計画となっていたため、現在も上下線の高さが異なる(写真1)。

本稿では、今回、当駅の設計と施工における課題と取り組みについて報告する。

いとう はやと / ITO Hayato
東日本旅客鉄道(株) 東京プロジェクトマネジメントオフィス
プロジェクト支援ユニット 構造計画 副長

こたき いくほ / KOTAKI Ikuho
同上
指導係

すずき けんいち / SUZUKI Kenichi
同上
東京工事区 副長

たけなみ たくと / TAKENAMI Takuto
同上
プロジェクト推進土木ユニット(総武・東北) 主任



図2 完成イメージ図

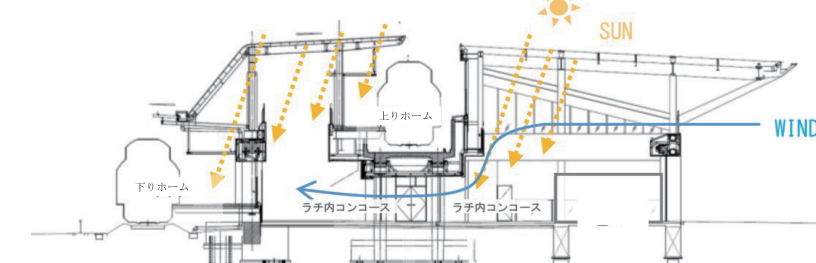


図3 環境に配慮した計画

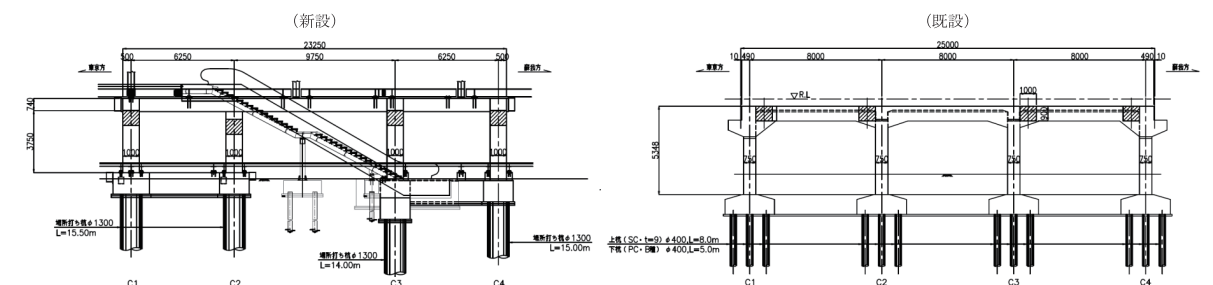


図4 線路方向断面図(R17)

2. 計画概要／駅づくりのコンセプト

当駅は「あらゆるお客さまが使いやすい駅」として、ユニバーサルデザインを意識して計画した。上り線が高架、下り線が地平であるため、上下線ホームに高低差が生じるが、スロープやエレベーター、エスカレーターを設置し円滑な移動を提供する動線とした。また、当駅は「街と鉄道をつなぐ駅舎」として、街に向かって開かれ、開放的なコンコース空間が形成されるように計画した(図2)。コンコース内やホーム中央部は膜屋根根にすることで自然採光を確保して日中の照明エネルギーを削減し、コンコース上部に開口部を設けて熱溜まりを解消し「通風・採光など環境に配慮した計画」とした(図3)。

3. 設計概要

3-1. 全体概要

R17高架橋の線路方向断面図を図4、線路直角方向断面図を図5に示す。また、計画の全体概要を表1に示す。

3-2. 設計における課題と取り組み

当駅は上下線の新設ホームに高低差のある変則的な2面2線式ホームとなる。当初、上り線と下り線を別構造とし、それぞれ桁式ホームを構築する計画であった。

図6に示す上下線を別構造とする案では、以下2つの課題があった。

(1) 上り線新設RC高架橋と既設高架橋を別構造と

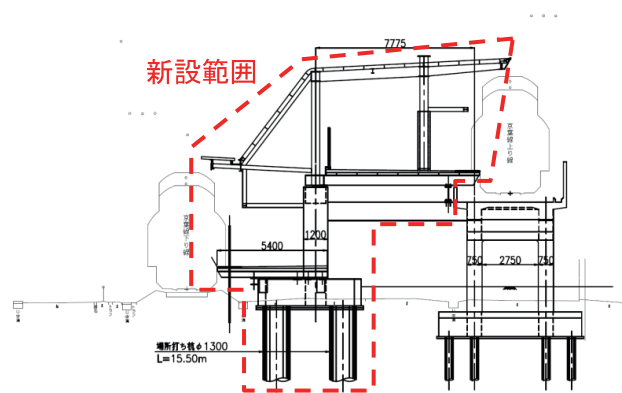


図5 線路直角方向断面図(R17)

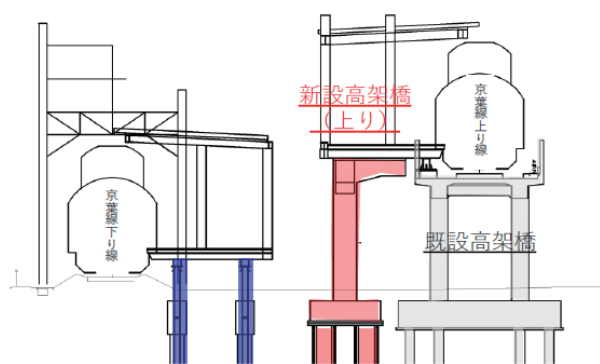


図6 当初設計段階の構造計画案(上下線別構造)

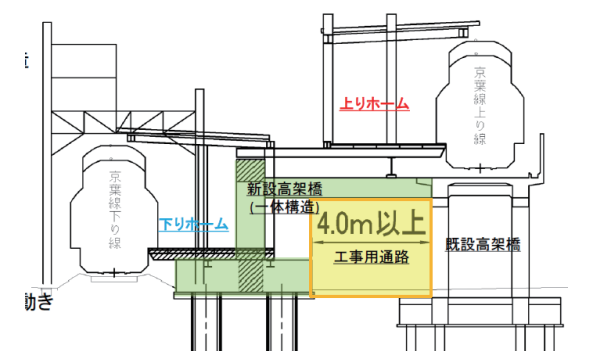


図8 一体構造案

すると、地震時に位相差が生じ、上り線ホームが車両と衝突する恐れがある。

(2) 上り線ホームを受け持つ新設RC高架橋構築後、上下線間に重機作業や資機材搬入のための空間が確保できなくなる。そのため、上り線ホームの工事では軌道上からの夜間作業や資機材の小運搬作業が生

構造形式	RCビームスラブ式ラーメン高架橋(既設)と 新設高架橋との一体化
基礎形式	1柱あたり2杭基礎(地中梁形式)
基礎杭	場所打ち杭(オールケーシング工法) 杭径φ1.3m・杭長15m・52本
構造寸法	地中梁天端からスラブ天端までH=4.490m (線路方向) 径間・ブロック数:2径間×2ブロック, 3径間×5ブロック 橋長:L=17.00m(2径間), 23.25m(3径間) (線路直角方向) 既設柱から新設柱間隔:7.755~7.791m
昇降設備	階段2基, EV1基, ESC2基
ホーム	桁式, 2面2線, 延長210m
コンクリート量	約1,885m ³ (うち杭は約1,063m ³)
鉄筋量	約356,500kg(うち杭は約153,000kg)

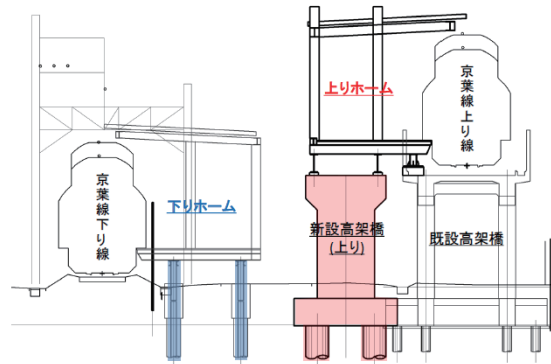


図7 固有周期を考慮した独立構造案

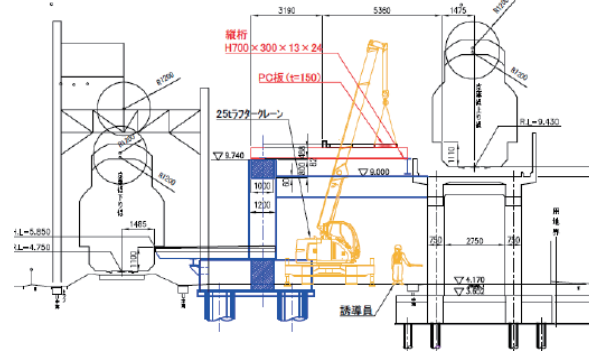


図9 軀体構築後の線間での作業イメージ

じ工期やコストの増大に繋がる。

(1)の課題に対し、線路直角方向の固有周期が同等となる柱の断面形状を検討した。その結果、線路方向1000mm×線路直角方向2500mmの断面が必要となり、上載荷重に対し大きな柱断面となった(図7)。そこで、下り線側に柱、縦梁を構築し、横梁を既設高架

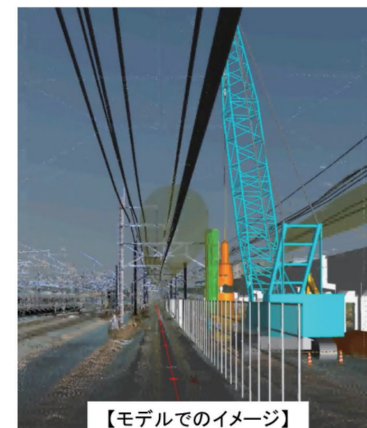


図 10 3Dモデルと実現場

橋に接合することで、横梁で上り線ホーム、地中梁で下り線ホームを支持するRCラーメン高架橋とした(図8)。新旧高架橋を一体化させたことで、地震時に同一の動きをするため、上り線ホームが車両と衝突する恐れがなくなった。

(2)の課題に対しても、新旧高架橋を一体化させたことで、線間での作業空間が確保された。新設高架橋は、その上部にホーム桁およびPC版を敷設する格子状の構造とした。これにより上り線ホームの工事では新設横梁を避けての上下線間の地上からの重機作業や、資機材の搬入ルートが確保され昼間施工が可能となった(図9)。さらに、新設地中梁は地表面に、新設縦梁は新設横梁よりも高い位置に設けることで、上下線ホーム桁を直接支持させるとともに土砂の掘削量を削減した。当初の上下線別構造案では、下り線ホーム桁下にH鋼基礎杭、上り線新設高架橋に場所打ち杭が必要であったが、一体とするRCラーメン高架橋とすることで、下り線ホーム下の場所打ち杭のみとし、H鋼基礎杭を不要とすることができた。構造形式や施工計画の検討により、当初の課題解決に加え、部材のスリム化や新設部材の削減を実現した。

4. 施工概要

4-1. 施工における課題と取組み

4-1-1. 場所打ち杭

新設高架橋は1柱2杭で杭長15m, ϕ 1.3mの場所打

ち杭とした。軌道中心から4mと線路に近接するため、孔壁防護の観点からオールケーシングを採用した。

(1) 列車運行時間帯での施工

杭は列車運行時間帯に施工するように計画したが、大型重機械が営業列車に極めて近い位置で稼働するため、運転士が不安を感じる可能性があった。施工時の乗務員目線でのイメージ図を3Dモデル(図10)で作成し、乗務員に周知することで列車運行時間帯での施工への理解を得た。また、列車接近時の作業の一時中断、線路防護網の設置、架空電線監視人の配置やレーザーバリアの設置、クローラクレーンの移動、ブーム起伏・旋回を同時に行わないこと等、安全対策を徹底した。施工中の計測監視は常時監視とし、軌道はリンク型計測器により、既設高架橋は水盛式沈下計および傾斜計により管理した。

(2) 杭頭が地表面に突出することへの施工時の配慮
場所打ち杭の施工において、以下2つの懸念事項
が考えられ、杭頭不良(杭径不足・充填不良等)が生
じる恐れがあった。

① 杭頭が極めて浅い位置であることから、ケーシング下端が、杭頭通過後、ただちに地表から抜けてしまい、コンクリートをケーシング引抜き跡に充填するためのヘッド差が確保できないこと(図11)。

② 杭天端と余盛の境界に鉄筋が介在しないよう帯筋を下側にずらしたことで、帯筋が集中配置され、コンクリートの流動を妨げること(図 12)。

①の対策として、下端1.2mの範囲において、ケーシ

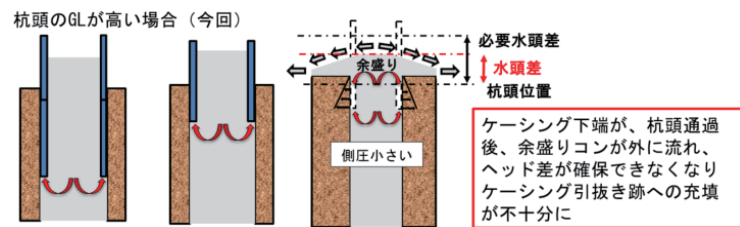


図 11 ① ケーシング引抜跡への充填不足

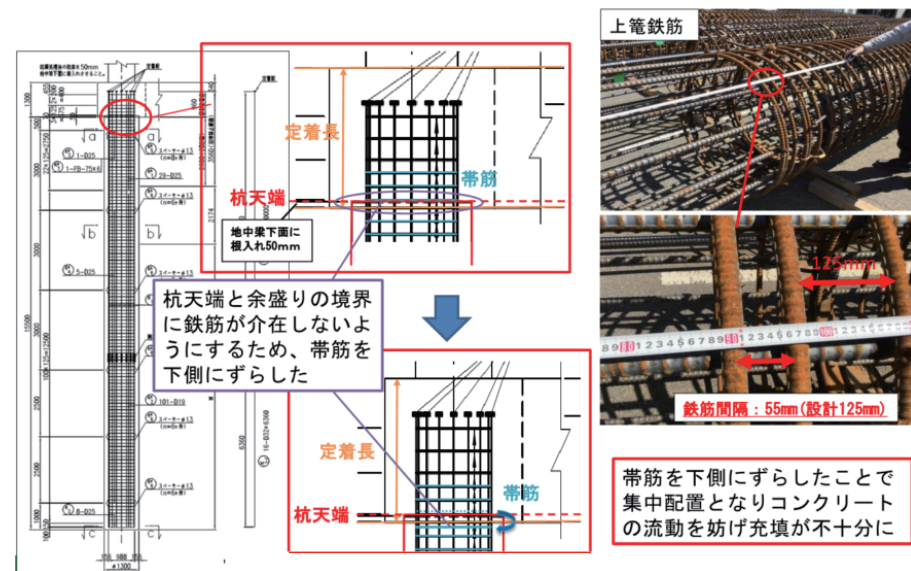


図 12 ② 帯筋によるコンクリート流動妨げ

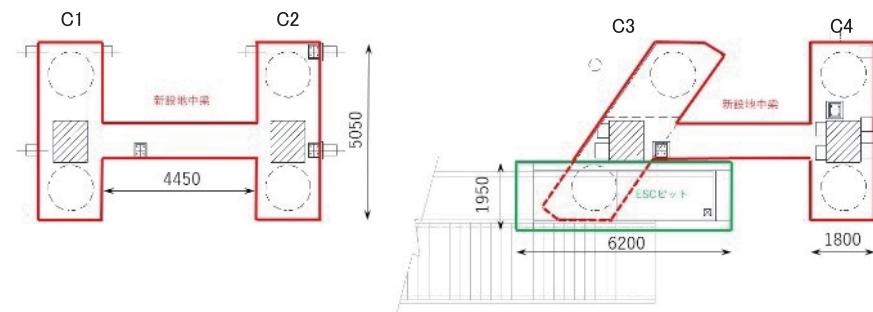


図 13 地中梁の形状(R18平面図)

ングの引抜速度を低下させた。具体的には、1ストローク(0.7m)20秒の間に、5秒停止を3回加え、35秒程度で引き上げを行った。また、ケーシング撤去後、全周機撤去前に、鉄筋かご側8箇所バイブレータによる締固めを実施した。バイブレータを2本使用し、GL-1.2mの範囲まで挿入し、0.4m間隔で各5秒程度実施した。さらにケーシング引抜きの際のバイブレータ施工開始前に刃口先端が地中に挿入された状態でバキュームによる口元の清掃を実施した。

②の対策として、杭天端・余盛境界付近の帯筋のう

ち1本は打ち込み後に設置することとした。さらに、間隔の狭い箇所が発生しないよう、等間隔に配置するようにした。

4-1-2. 地中梁およびESCピット

地中梁は、線路直角方向の杭同士をつなぐ横地中梁とC1-C2、C3-C4の横地中梁中央部をつなぐ縦地中梁とで構成され、2組のH型の地中梁が基本となっている(図13)。また、掘削ボリュームの低減および下り線ホーム受け桁の支持(支柱の省略)を目的に、そのほとんど

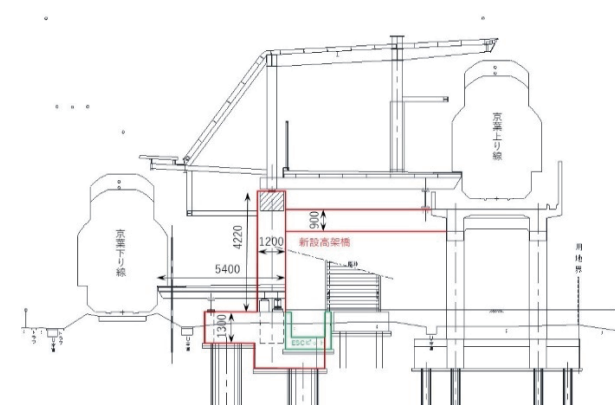


図 14 ESCピット部断面図

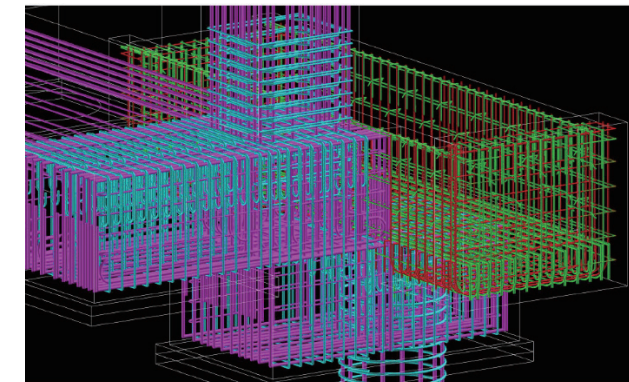


図 15 3D配筋図

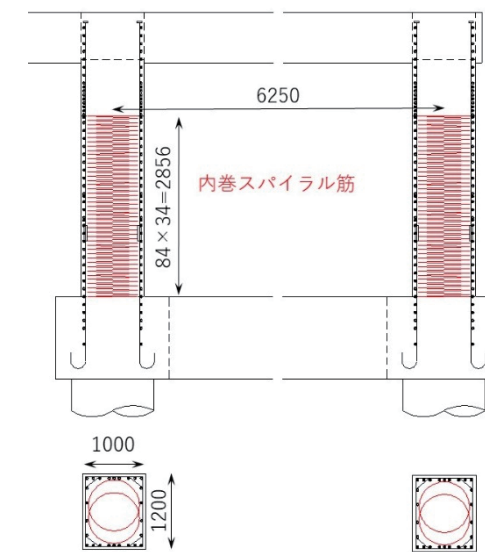


図 16 柱形状および配筋図

を地上部に露出させた形状とした。

・地中梁とESCピットの配筋

横地中梁がESCピットと一体化した構造となる箇所では、地中梁が段違い形状となる(図14)。ピット底盤は杭頭鉄筋と、ピット線路側側壁は柱の定着筋と干渉するなど、鉄筋が極めて輻輳していた。配筋の厳しい箇所では、既設電柱との干渉を回避するため、地中梁が斜めに配置されており、特に複雑な配筋となっていた。そこで地中梁、ESCピットそれぞれの図面を重ね合わせた3次元配筋図(図15)を新たに作成し、視覚イメージを共有することで、鉄筋位置の把握、合理化やコンクリートの打設位置の検討などに活用した。また、ピット下部はバイブレータが挿入困難であるため、当該地中梁は高流動コンクリート(自己充填性レベル：

ランク2)を用いることとした。

4-1-3. 柱部

新設高架橋は、横地中梁と縦地中梁との交点部に柱を設ける構造となる。柱の断面形状は線路方向に1.0m、線路直角方向に1.2mの長方形となっており、耐震性能向上を目的に配置する内巻きスパイラル筋は、2つのスパイラル筋を組み合わせ配置した(図16)。

・高流動コンクリートの使用と打込み時の工夫

柱の軸方向鉄筋は、当初、地中梁から突出させた鉄筋と機械式継手で接合する計画であったが、鉄筋が輻輳する地中梁側にも鉄筋配置の精度が求められ、継手部での誤差を考慮するとグラウト注入タイプの継手を採用することとなりスリーブが大きくなる。そのため継手

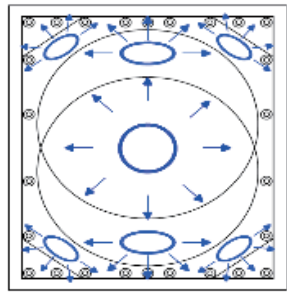


図 17 コンクリート打込み時のサニーホース挿入箇所(○部)

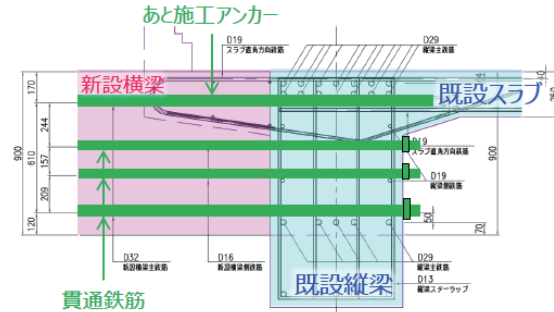


図 18 接合鉄筋の配置

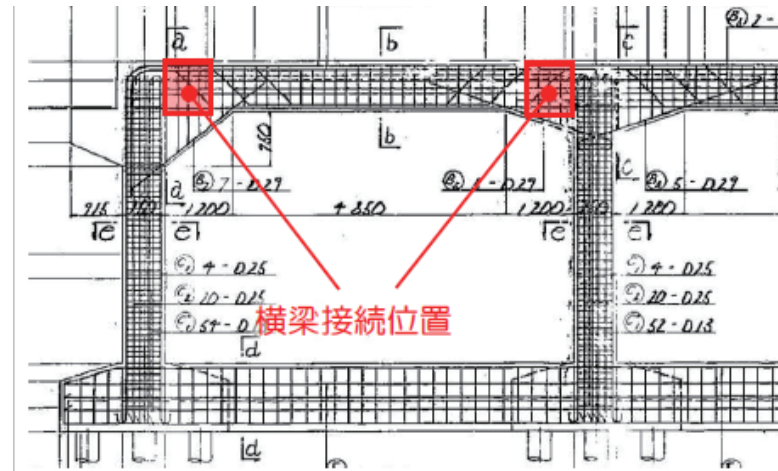


図 19 新設横梁の接合位置

同士の間隔が小さくなることでコンクリートが充填されにくくなる懸念があったことから、施工段階で機械式継手をガス圧接に変更した。配筋が密であることを考慮し、高流動コンクリート(自己充填性レベル：ランク2)を用いた。コンクリート打込み時にスパイラル筋外部を先行して打込むと、その内部にモルタル分のみが入り込むことが考えられたため、スパイラル筋内外を並行して打設するよう配慮した(図17)。

4-1-4. 上層梁部

新設高架橋は、その上部にホーム桁およびPC版が敷設され、線間から作業を行うためスラブを設けない格子状の構造となる。既設高架橋と接合するため、新設横梁の天端高さは既設上層梁(スラブ)と同じ高さとしているが、新設縦梁は上りホーム受桁の支点を兼ねることから、その天端は新設横梁より740mm程度高くなっている。

新設横梁と既設高架橋との接合箇所の既設高欄は撤去し、接合後、新設横梁にあらかじめ仕込んだ差し筋から立ち上げて復旧した。既設と新設の接合部には防水工を施した。

・新設高架橋の横梁と既設高架橋の接合構造

新設高架橋の横梁と既設高架橋との接合構造を図18に示す。接合鉄筋は4段とし、下側3段は既設縦梁に鉄筋を貫通させて背面側をボルト定着させ、最上段は既設スラブと干渉し貫通できないためあと施工アンカーとして配置する。柱梁の交差部は鉄筋が密なため、交差部を避けて柱に隣接する位置に接合鉄筋を配置した(図19)。最上段のあと施工アンカーが既設スラブの折り曲げ鉄筋に支障した場合は、コアによるコンクリート実強度を用いてあと施工アンカーの定着長を見直した。鉄筋の干渉により設計位置に接合鉄筋を設けられないことを想定し、あらかじめ設計上の余裕から許容移動量(鉛直方向下側へ70mmまで)を求め、これを満足で

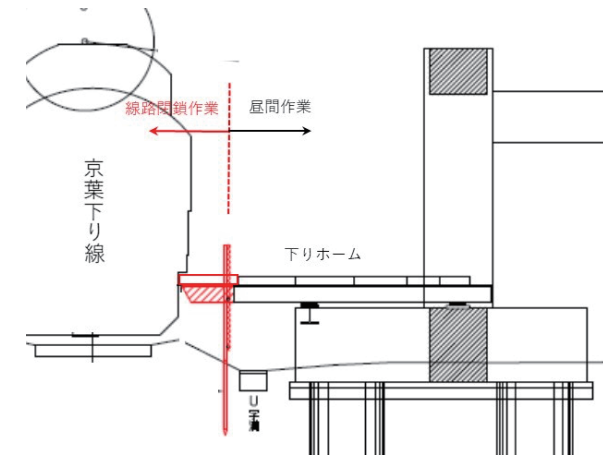


図 20 ホームの構造(下り線)

きない箇所は別途接合鉄筋の配置を検討することとした。結果、26箇所中2箇所、配置を見直すこととなった。

4-1-5. ホーム部

下り線ホームを図20に示す。

・新設横梁間からの列車運行時間帯での重機作業

PC版受桁は、下り線ホームでは縦地中梁と軌道側に設けた縦桁で、上り線ホームでも同様に新設縦梁と軌道側の縦梁で支持する。軌道中心から2.0mの位置に列車防護網を設け、それより内側を一般部、軌道側をホーム先端部として扱った。一般部の施工は、列車運行時間帯に躯体構築後の上下線間の地上に

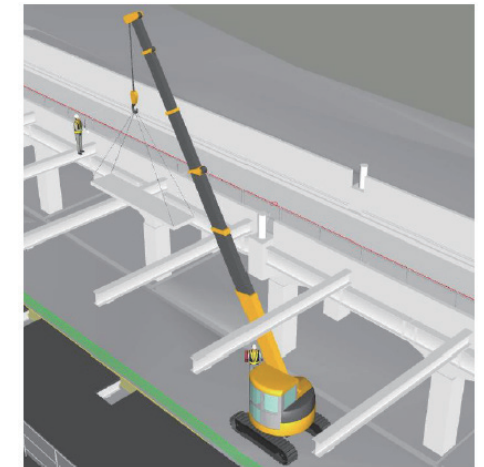


図 21 上り線ホームPC版架設の3Dモデル

重機を配置し新設横梁間から作業する。そこで、重機の配置やブーム操作、荷揚げ作業について3Dモデルを用いたシミュレーションを行うことで安全かつ円滑な施工を実現した(図21)。

5. おわりに

当駅は、2023年春の開業を目指し、駅舎およびコンコースの構築やホーム上の仕上げ作業を進めているところである。今後も安全第一で関係者と協力を重ねながら進めていく所存である。本稿が今後の計画の参考になれば幸甚である。

英文パンフレット

“CEMENT IN JAPAN 2022”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



守るも攻むるも

攻めと守り

“守るも攻むるも”というくろがね黒鐵という言葉がすぐに思い浮かぶのは軍艦マーチを知っている世代だろう。昔はパチンコ屋の定番でよく聞けた。私自身が高校まで住んでいた家はパチンコ屋の裏にあったのでよく聞いた。高度経済成長期に大人になられた方々は、攻めという言葉がお好きであった。攻撃は最大の防御などとも言われた。確かに攻めの方が守りと比べて派手で威勢が良く華があってスローガンとしては使いやすい。20世紀にあっては、コンクリート技術でも、攻めである設計施工が中心であった。守りである維持管理、補修補強などは技術としてかえりみる必要もないという雰囲気だった。「華の建設涙の維持管理」などと言われた時代であったのである。

腐食事故による直接的損失と腐食対策費との和として得られる腐食コストは、腐食対策が増えると腐食事故は少なくなるので、ある額の対策費で腐食コストは最小になるとされる。これはコンクリート構造物における事故による直接的損失と種々の対策費との関係も同様である。しかも、土木分野の維持管理費の割合は1990年台半ばの15%程度から2010年代半ばの約60%と大きく増加し、対策が設計施工から維持管理へ比重を移したことがわかとされている。コンクリート構造物に関しても同様な傾向がみられ、設計施工の攻めと守りとしての維持管理のバランスを適切にとることが要求されているのだ。

そのような今、昔の古い常識、花の建設涙の維持管理などというセンスを若い人たちに押し付け、その足を引っ張ることだけはやめて欲しいと思う。

維持管理、補修補強ほど技術的に面白い課題はない。何しろ身近で専門家ではなくとも市民とともに対応可能な簡単なテーマから頭をひねりにひねって手を打たなければならないような困難な内容まで、血沸き肉躍る興奮を得られること受けあいである。普通の調理人が作る定食が設計・施工であるとすれば、腕の良いコックが作る一品料理まで含められるのが維持管理なのである。

攻めと守りの一体化

設計施工にBIM/CIMを利用しようという試みは多く、そのデータはまた維持管理にも利用できるはずである。国交省のポータルサイトなどでは、“BIM/CIM (Building / Construction Information Modeling, Management)とは、調査・計画・設計段階から BIM/CIM モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、情報を充実させながらこれを活用すること”と紹介されている。攻めである計画、調査、設計、施工から、守りである維持管理までを通して3次元モデルを活用し、情報共有を容易にし、これらの作業システムを効率化することと言ってよいだろう。要するに攻めと守りの一体化を図ることができるのである。

BIM/CIMを活用した場合、社会資産としての土木構造物の価値が明確になって拡大し、それにかかわるデータにも価値が生まれるとも言われる。言い換えれば、データにかかわる活発な市場が成立するだろうと思う。わが国は従来、情報やデータはタダだと考えている人が多かった。これからは、それらが適切に評価される時代になるのだろうと考えている。

ところで、そのような攻めと守りをうまく生かす手法として、AIが注目されている。AIによる技術開発、研究は、これまでの研究開発スタイルと全く異なる。従来の仮説を立てて検証するというスタイルとは大きく違う。とにかくよく分からないがAIを使ってみて、うまくいくかへたをうってしまうかどちらかと

いう感じで進むイメージが強い。中々危うい感じがしなくもなく、気疲れしておられる方も多いようである。しかし、AIは所詮手段である。あまり神経質にはならず使って行く方がよいだろうと思う。

横綱土俵入りには不知火型と雲竜型がある。不知火型は両腕を挙げてせりあがり、攻めのみであるのに対して雲竜型は一方の腕を挙げ他方の腕を懷に構えて攻めと守りの両方が表現され、攻めと守りのバランスが取れているとも言われる。BIM/CIMをうまく使いこなした場合は雲竜型といってよいのだと思う。したがって、これからのコンクリート技術は雲竜型を見習う必要があると思っている。

攻めて守ったその後

ノーサイドという言葉がある。ラグビーで試合終了をいうらしい。試合が終わった瞬間に敵味方の区別がなくなってどちら側もなくなり、戦いのあとはお互いの健闘をたたえ合うこととなる。女傑佐藤愛子の「戦いすんで日が暮れて」という小説もあるが、本来は健闘を称えあえるといいのだと思う。

攻めと守りのバランスを心掛けても、勝つ時は勝つし、負ける時は負けることになる。Win-Winとはなかなかいかないのが実態である。誰かは勝ち、誰かは負けるのである。その後は、うまく収めて行く必要がある。その収める手続きには種々のものがある。ご近所のご隠居さんから弁護士に至るまでの仲介人に任せるという方法もある。その場合種々のお手当が必要であり、仲直りの手続きが必要となる。特に共食は世界的に見ても仲直りの手続きとしてよく用いられてきた方法である。

共食によって心が通じるという思想は、言葉を超える交流の手段となるから、異なる国の人々との接触の際にも有効に働いた。古代日本には、外国の使者を迎えるために、“共食者(あえたげびと)の制”が設けられていたそうである。今コロナによって共食の機会はきわめて抑えられてきている。しかし、家族という自然な一体感ではなく、もともとは赤の他

人とともに社会で生きてゆく現代という場合の一体感をえるためには、グローバル・スタンダードとして共食が必要であると思っている。共食という行為が無くなることはありえないだろう。

ノスタルジー

最初に軍艦マーチを取り上げたが、パチンコ屋の裏に住んでいたため、軍艦マーチというとノスタルジーを感じる。ノスタルジーというと懐かしさを感じさせるのだが、ノスタルジーとはギリシャ語の「ノストス」(家郷)と「アルゴス」(苦悶)を合わせて、近代に考案された言葉だと聞いて驚いた。なんとなくその昔からある言葉だろうと思っていたからである。しかし考えてみると、昔は故郷を遠く長く離れることは少なく、きわめて稀なことであっただろうからそのような感情を抱く場面は少なかったはずであり、そのような言葉が一般化するはずがない。しかし、ほとんどの人が自宅から遠く巣立っていく近代以降にあっては、そのような感情が一般化するのだろう。

何はともあれ、戦いの後にはノスタルジーを掻き立てられるように思う。ノスタルジーというと何となく甘く感傷的なイメージがあるが、故郷は必ずしも楽園ではない。日本の歴史を二分する一番大きな指標は飢餓で、1960年代がそのイメージが無くなっていった時だと言われる方も多い。第二次世界大戦の前の東北地方の大飢饉は我々には他人事のように思えてしまうのが現実であるが、故郷は厳しい時もあったのである。同様に戦後あるいは高度成長期の心情もわからない人が多くなっているだろうと思う。

いつまでも高度成長期の夢に浸っている時ではないのである。双葉山、大鵬さらに稀勢の里も選んだ雲竜型の技術の展開に期待している。

【みやがわ とよあき／京都大学 特任教授 工博】

混合成分がセメントの水和および水和物に及ぼす影響

The Influence of Minor Constituents in Portland Cements for Hydration and Hydrates of Cements

高橋 茂 黒川 大亮 森 泰一郎 松澤 一輝 坂井 悦郎

1. はじめに

CO₂排出量の削減は地球温暖化対策の重要な手法であり、現在は、あらゆる産業においてCO₂排出量の削減が求められている。

セメント産業におけるCO₂排出は、主にクリンカの焼成で使用する熱エネルギーに由来する部分とクリンカの主原料である石灰石の脱炭酸に由来する部分に大別される。

前者はキルンの高性能化や低温焼成技術によって一定のCO₂削減が可能である。後者に関しては、アウインービーライトセメントの使用といった手法もあるが、このような大幅に組成が変更されたものを除くと、普通ポルトランドセメントと早強ポルトランドセメントに現行JIS規格で5mass%まで認められている少量混合成分の混合率増加などがCO₂排出量削減の有効な手法といえる。

この手法に関し、系統的な検討が行われ、関連する

論文がセメント・コンクリート論文集のVol.73(2019年)とVol.74(2020年)に「少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発」と題して5編^{1~5)}、掲載されている(これらの研究の一部は国立大学法人東京工業大学物質理工学院内に設置された次世代セメント材料共同研究講座にて行われたものである)。

本解説は、主に参考文献4)のデータを引用し、混合成分がセメントの水和に及ぼす影響について概説する。

2. クリンカ鉱物の水和反応

3CaO・Al₂O₃(アルミネート相)はCaSO₄、Ca(OH)₂、CaCO₃などが共存する系でAFt相、AFm相と呼ばれる水和物を生成して水和する。したがって、共存する化合物により生成する水和物は異なる。なお、4CaO・Al₂O₃・Fe₂O₃(フェライト相)の水和反応も同様([Al₂O₃]が[Al₂O₃]_x(Fe₂O₃)_{1-x}])に考えることができる。

表1 基材セメントの鉱物組成

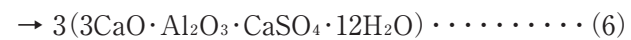
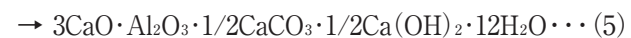
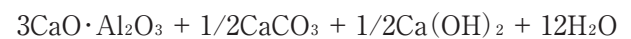
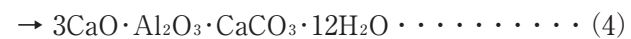
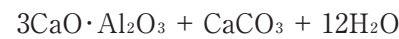
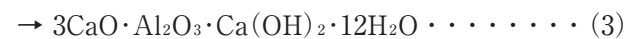
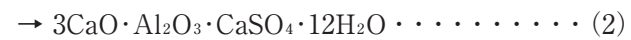
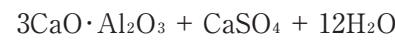
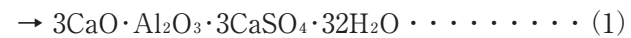
記号	C3S	C2S	C3A	C4AF	合計(*1)	CaSO ₄ (*2)	比表面積(cm ² /g)
OPC(A)	60.4	15.8	9.0	9.0	94.2	3.42	3340
OPC(F)	61.9	12.4	10.9	7.9	93.1	3.88	3550

*1) C3S～C4AFの合計。

*2) セメントのSO₃の化学分析値を用い、CaSO₄として計算した値。

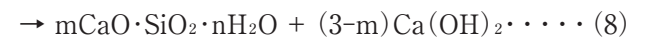
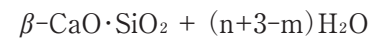
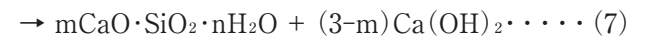
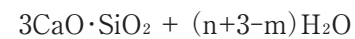
表2 混合成分の記号と品質

混合成分	記号	備考	密度(g/cm ³)	ブレーン比表面積(cm ² /g)
石灰石微粉末	LSP	200mesh	2.74	4230
高炉水砕スラグ	BFS	石膏無添加	2.98	4280
フライアッシュ	FA	JIS II種	2.34	3680



混合成分を含まないクリンカと石こうから構成されているセメントでは、水和直後は式(1)の3CaO・Al₂O₃と石こうとの反応によりエトリンガイトが生成する。その後、液相中の硫酸イオン(SO₄²⁻)濃度は低下し、式(2)または式(6)の反応が進む。さらに、水和が進み液相中の硫酸イオンが消費された後は、式(3)の反応が進みカルシウムアルミネート水和物(3CaO・Al₂O₃・Ca(OH)₂・12H₂O)が生成すると考えられている。炭酸カルシウムが共存する系では、式(4)または式(5)によりモノカーボアルミネートまたはヘミカーボアルミネートが生成する。

カルシウムシリケート(3CaO・SiO₂、2CaO・SiO₂)の水和反応式の一般式を下記に示す。mとnは条件により異なるといわれているが、藤井⁶⁾はm=1.7、n=2.5と報告している。



近年はAlを含むC-A-S-Hの研究報告が多くみられるが、後藤⁷⁾は「C-S(A)-H」のような表記がよいのではないかと述べており、C-S(A)-Hは価数が一致しないものの、Si(+4価)の一部をAl(+3価)が置換している構造と考えられる。後述するC-S(A)-Hの組成では、この立場で解析を行っている。

3. カルシウムアルミネート系水和物

表1に示した少量混合成分を含まないポルトランドセメント(以下、「基材セメント」と表記)に表2に示した石灰石微粉末(記号:LSP)、高炉スラグ微粉末(記号:BFS)およびフライアッシュ(記号:FA)を実験室で内割添加しセメントのセメントペースト(W/C=0.5)を作製した。その後に密封養生した試料の粉末X線回折図を図1～3に示す。

図中の記号で、例えば「(A)+LSP5+BFS5」はポルトランドセメント(A)にLSPを5%、BFSを5%、合計10%の混合成分が内割で含まれていることを示す。

OPC(F)の3CaO・Al₂O₃量はOPC(A)よりも1.9mass%高いが、両者の粉末X線回折図において大きな差は認められないため、定性的に結果を述べる。



たかはし しげる / TAKAHASHI Shigeru
元東京工業大学
物質理工学院材料系 博士(工学)



くろかわ だいすけ / KUROKAWA Daisuke
太平洋セメント(株)
中央研究所 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ー推進部 技術士(化学)



まつざわ かずき / MATSUZAWA Kazuki
元東京工業大学
物質理工学院材料系 博士(学術)
(現 (一財)電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部)



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

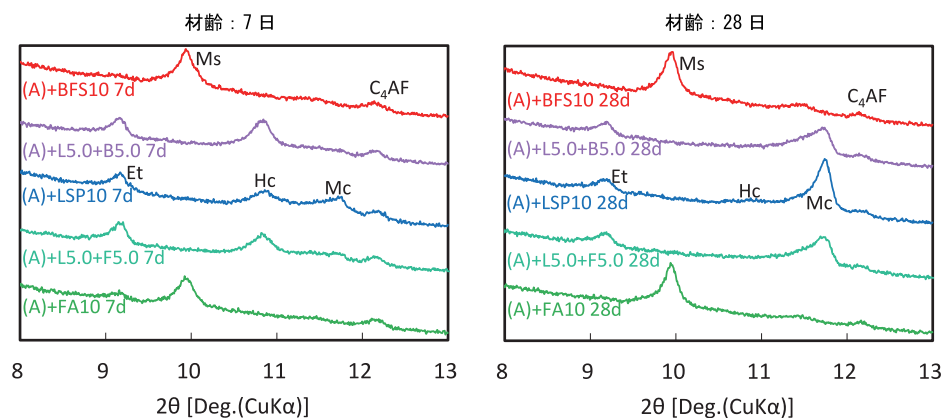


図1 OPC(A)に混合成分を10%混合したセメントペーストの回折図⁴⁾

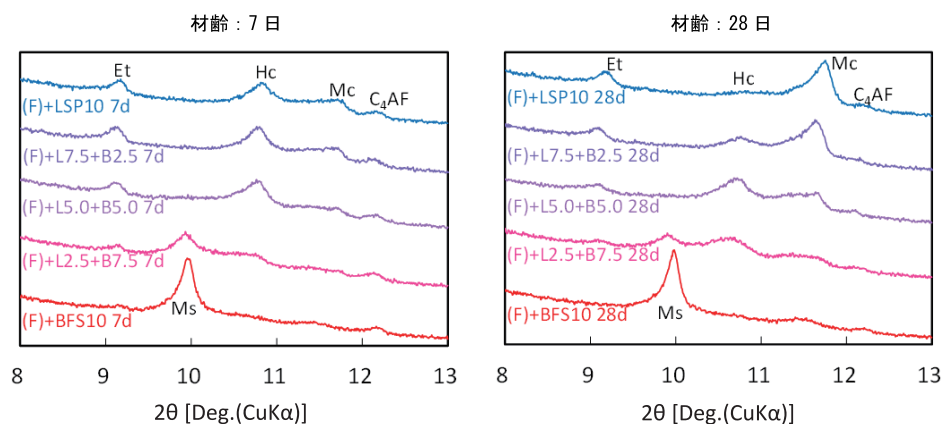


図2 OPC(F)にLSPとBFSを合計で10%混合したセメントペーストの回折図⁴⁾

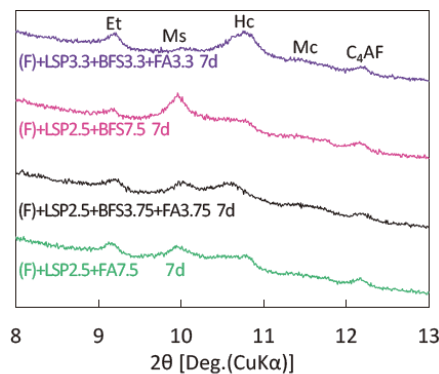


図3 OPC(F)にLSP, BFS, FAを合計で10%混合したセメントペーストの回折図⁴⁾

BFSまたはFAを単独で含む系では、材齢7日、材齢28日ともカルシウムアルミネート系の水和物のほとんどはモノサルフェート水和物(記号: Ms)である。一方、石灰石を含む系(石灰石の単独、高炉水砕スラグまたはフライアッシュとの組合せ)では、材齢7日、材齢28日ともMsの生成は認められず、エトリンガイト(記号: Et)とヘミカーボアルミネート(記号: Hc)またはモノカーボアルミネート(記号: Mc)が共存する。HcとMcでは、材齢7日ではほとんどがHcであり、材齢28日ではHc

の強度が減少または消滅し、Mcの回折線が明瞭となり、材齢が進むにつれ、Hcと炭酸カルシウムが反応してMcの生成が進むことを示している。これは、材齢の進行とともに石灰石が徐々に溶解し、炭酸イオンが徐々に供給されたことによると考えられる。

また、図3のLSP, BFS, FAの3種の混合成分を含む複合系では、上記で述べた混合成分の影響が複合的に表れているといえる。

以上の結果はAFm相の安定性によると考えられ、

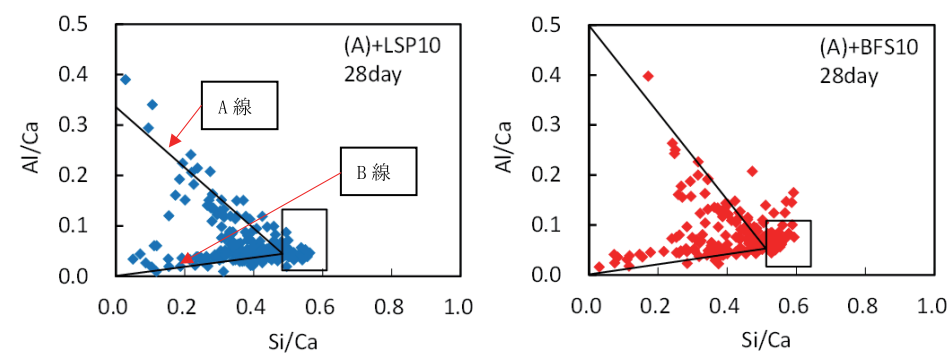


図4 少量混合成分を内割添加したセメントのセメントペーストSEM-EDS多点分析例⁴⁾

宮原らの文献⁹⁾においても、図中の直線(傾向線)の引き方に確立されたものはないと指摘されているが、Y軸切片を持つA線のY切片の値は、(A)+LSP10では0.333、(A)+BFS10では0.5としている。これは、粉末X線回折の結果から(A)+LSP10はエトリンガイトが、(A)+BFS10はモノサルフェート水和物が生成しており、それらの水和物の組成(エトリンガイトのAl/Ca=0.333、モノサルフェート水和物のAl/Ca=0.5)に対応させY切片を拘束している。また、B線は原点を通る直線としており、分析領域におけるC-S(A)-Hの割合が高くなるほど、Si/Caが大きくなるという考え方に基づく。

表3 OPC(A)を基材としたセメントのC-S(A)-H組成(mol比)

セメント	Ca/Si	Al/Si	(Si+Al)/Ca	Ca/(Si+Al)
(A)+LSP5+BFS5	1.92	0.10	0.57	1.74
(A)+LSP5+FA5	1.90	0.10	0.58	1.73
(A)+LSP10	1.95	0.09	0.56	1.78
(A)+BFS10	1.85	0.13	0.61	1.64
(A)+FA10	1.87	0.13	0.61	1.64

表4 OPC(F)を基材とした10OPCのC-S(A)-H組成(mol比)

セメント	Ca/Si	Al/Si	(Si+Al)/Ca	Ca/(Si+Al)
(F)+LSP5+BFS5	1.89	0.10	0.59	1.71
(F)+LSP5+FA5	1.94	0.10	0.57	1.76
(F)+LSP10	1.96	0.10	0.56	1.79
(F)+BFS10	1.86	0.13	0.61	1.65
(F)+FA10	1.89	0.14	0.60	1.67

炭酸イオンを層間に持つモノカーボアルミネートが最も安定であり、次いで硫酸イオン、水酸化物イオンの順と考えられる。硫酸イオンの方が水酸化物イオンより安定と考えるのは、Msの生成が認められる材齢では、式(3)の反応により生成するカルシウムアルミネート水和物(3CaO・Al₂O₃・Ca(OH)₂・12H₂O)が認められないことによる。

以上の結果から、石灰石を含むセメントは材齢が進んでもエトリンガイトが残存していることが特徴であり、初期強度の増進や乾燥収縮への低減など長期的な硬化組織の安定化に寄与すると考えられる。

4. セメントペースト中のC-S(A)-Hの組成

図4に材齢28日のセメントペーストの破断面を

SEM-EDSで点分析した分析例を示す。水和物は小さく、点分析の分析領域(一例として半径3μm⁸⁾)を考慮すると、点分析結果は複数の水和物の情報が含まれていると考えられる。そのため、宮原ら⁹⁾は横軸にSi/Ca比、縦軸にAl/Ca比をとって点分析結果をプロットし、C-S-Hの単一相と考えられる領域を決定し、解析を行った。その手法に準じて少量混合成分を含むセメントペースト中のC-S(A)-Hの組成(図中の□で囲まれた領域の分析点の平均値)を求めた結果を表3と表4に示す。

表3と表4を比較すると、基材の鉱物組成の差によるC-S(A)-Hの組成の差は小さいと考えられるが、混合成分の違いによる差が認められる。

値数が異なるもののAlがSiを置換すると仮定した場合のCa/(Si+Al)比(モル比)は、LSPを10%内割添加した場合は1.78と1.79であるのに対し、高炉スラグ微粉

表5 発熱過程の解析結果

組成		発熱量 (J/g) *1,*4			誘導期の発熱速度 (J/h)/g *2,*3,*4	第 2 ピークの発熱速度 (J/h)/g *3,*4
OPC	LSP	1 日	3 日	7 日		
100	0	150	231	321	1.26 (1:50~2:25)	9.79 (12:15~13:10)
95	5	144 {142}	227 {219}	317 {304}	1.29 (2:00~2:35) {1.19}	9.67 (12:25~13:05) {9.30}
90	10	145 {135}	227 {207}	315 {288}	1.36 (1:40~2:25) {1.13}	9.72 (11:55~12:25) {8.81}

(※1) 全ての材齢で水和 1 時間からの積算発熱量（例えば、材齢 1 日は 1～24 時間の発熱量）

(*2) 誘導期における最小値

(*3) ()は区間の時間

(*4) { } は OPC の値に OPC の含有割合を乗じた値

末を10%またはフライアッシュを10%添加した場合は1.64~1.67の範囲となっており低い。この結果は、石灰石微粉末を含む場合は、炭酸カルシウムの溶解により液相中のCaイオン濃度が増加し、その結果としてCa/(Si+Al)比が高いC-S(A)-Hが生成した可能性が考えられる。また、高炉スラグ微粉末を混合した場合は、高炉スラグ微粉末はCaOが低く、Al₂O₃が高いことから、Ca/(Si+Al)比が低くなることが考えられる。フライアッシュを混合した場合は、フライアッシュのボゾラン反応により、カルシウム分が消費され、逆にフライアッシュからアルミニウム分が供給されたことによるものと考えられるが、ボゾラン反応の程度の確認は行っていない。

その他の組合せは、石灰石微粉末5%と高炉石碎スラグ5%またはフライアッシュ5%であり、上記で述べた結果の中間的な値を示した。

5. 石灰石微粉末を内割添加したセメントの 水和発熱過程と結合水量

基材セメントとしてセメント協会が販売している研究用セメント(Lot G) (記号: OPC) [鉱物組成 (mass%): C3S=59.2, C2S=16.7, C3A=7.4, C4AF=9.7, Total=93.0, CaSO₄=3.43 (mass%) (SO₃の分析値を換算)]を用いてLSPを内割添加したセメントの水和発熱過程をコンダクションカロリメータによって測定した結果を表5に示す。本結果はW/C=0.5とし、注水して3分間、練混ぜたセメントペーストを7.5±0.5gの範囲でポリプロピレン製容器に量り採り、ただちに装置にセットした。この方法は、一般に「外練り」と呼ばれ、注水直後の発熱の測定はできないものの、均一に練混ぜを行うこと

ができる。発熱過程の解析は注水から1時間以降としている。

誘導期の発熱速度はLSPを内割添加した場合、LSPを含まないOPC単独よりも高い値を示した。

また、第2ピークの発熱速度はLSPを内割添加した場合はOPC単独よりも、やや低い値を示した。しかし、単純にOPCの値にOPCの含有割合を乗じた値(表中では{ })と比較すると、LSPを内割添加したセメントで高い値を示している。

発熱量はLSPを内割添加した場合は、どの材齢でも OPC 単独よりも、やや低い値を示したが、単純に OPC の値に OPC の含有割合を乗じた値(表中では { })と比較すると、高い値を示している。

以上の結果から、発熱過程の測定からも、LSPの添加によりC3Sの水和が促進されることが示唆され、例えば文献10)で述べられている結果と同様である。

6. まとめ

本解説は、石灰石微粉末、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの混合が水和に与える影響について、生成するカルシウムアルミネート系水和物、 $C-S(A)-H$ の組成、水和発熱過程に着目して述べた。混合成分の混合量は内割で10%とした場合の結果である。

石灰石微粉末の混合は水和の促進効果が大きい。また、単独または他の混合成分との混合使用の場合、カルシウムアルミネート系水和物としてエトリンガイトが残存することから、長期的な硬化組織を安定化すると考えられる。また、高炉スラグ微粉末とフライアッシュの単独の混合の場合は、生成するカルシウムアルミネート系

水和物は混合成分を含まない場合とほぼ同じと考えられ、 $C-S(A)-H$ の $Ca/(Si+Al)$ に大きな差は認められない結果となっている。

以上の結果から、少量混合成分の増量は、複数の混合成分の混合使用(複合系)も含めて、水和反応の観点では特段、問題とならないと考えられる。

セメントの製造に伴うCO₂の排出削減の手法として現行JISの「少量混合成分」の増量は有効であるといえるが、現在の普通または早強ポルトランドセメントと同等の品質を確保することが重要である。これらについては、1.はじめにで述べた文献の結果をまとめた文献11)や環境影響評価も示している文献12)を参照されたい。

[参考文献]

- 1) 中口歩香, 森泰一郎, 松澤一輝, 黒川大亮/少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その1 セメントの品質評価～, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.429～435, 2019

- (2) 田原和司, 森泰一郎, 黒川大亮, 松澤一輝／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その2 コンクリートの基礎物性～, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.436～442, 2019
- (3) 松澤一輝, 黒川大亮, 森泰一郎, 坂井悦郎／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その3 セメントペーストの反応性～, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.443～450, 2019
- (4) 松澤一輝, 森泰一郎, 黒川大亮, 坂井悦郎／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その4 少量混合成分と水和生成物の関係～, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.380～387, 2020
- (5) 平野耀子, 松澤一輝, 森泰一郎, 黒川大亮／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発～その5 セメントの水和熱とコンクリートの熱特性における関係解析～, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.388～395, 2020
- (6) 藤井欽二郎／結合水の状態と性質, セメント・コンクリート, No.469, pp.2～9, 1986
- (7) 後藤誠史／C-S-H, セメント・コンクリート, No.889, pp.51～56, 2021
- (8) セメント・コンクリート化学 解説付きデータ集(報告書), セメント協会, pp.170～171, 2016
- (9) 宮原茂禎, 岡本礼子, 武田均, 坂井悦郎／炭酸ナトリウムを刺激剤としたスラグセメントペーストのC-S-Hの組成, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, pp.69～75, 2015
- (10) 坂井悦郎, 中川晃次, 三原敏夫, 大門正機／No.6 フィラーセメント, わかりやすいセメント科学, セメント協会, pp.54～62, 1993
- (11) 松澤一輝, 森泰一郎, 黒川大亮, 坂井悦郎／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発, セメント・コンクリート, No.897, pp.42～49, 2021
- (12) 黒川大亮, 平尾健, 森泰一郎, 松澤一輝, 坂井悦郎／低炭素・資源循環社会に貢献するセメントの品質設計, セメント・コンクリート, No.891, pp.2～8, 2021

セメント・コンクリート関西発表会2022

主 催：コンクリート研究会 **日 時：**2022年11月1日(火)10：00～17：00

会 場：TKP 大阪御堂筋カンファレンスセンター ジョイント【6C+6D】及び Web 参加（Zoomによるオンライン併用）
大阪市中央区淡路町3-5-13 創建御堂筋ビル 6階（Web参加者には、申し込み後アドレス送付）

定 員：100名（会場）

参加費用：7,000円（発表会聴講のみおよび Web 参加の方は資料代として2,000円）

講 演：特別講演／ PC 橋の維持管理や大規模更新・修繕について(PC建設業協会関西支部・大久保孝氏、
橋野哲郎氏ほか一般発表13件)

申し込み方法・申込先・参加費お支払方法・締切

FAXまたはE-mailで送信願います(締切10月17日(月), 参加費振込を完了のこと)。

※受領処理を行うために、送金明細(所属・お名前・住所・送金日)を必ずご記入ください。

申 込 先：麻生セメント(株) 豊田 誠二 FAX(06)6222-2202 または E-mail：seiji.toyota@aso-cement.jp
送金先口座：

・三井住友銀行 大阪本店営業部(店番号:101)普通口座 6611760 口座名義:コンクリート研究会 会長
宮川豊章(コンクリートケンキュウカイ カイチョウ ミヤガワ トヨアキ)

(注1)必ずご所属(もしくは聴講される方)がわかるよう送金下さいますようお願い致します。

(注2)振込手数料は、申込者でご負担願います。参加費は、理由の如何を問わずご返金できません。

Web参加の方には、申し込み確認ができた後、開催日の約1週間前にwebアドレスを送ります。

Web参加者にはテキストも事前に発送いたします(領収書を同封いたします)。

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

Protective effects of steel fiber reinforced PFC[®] panels against explosion

河野 克哉 別府 万寿博 岸良 竜 溝口 愛実 小島 克仁

1. はじめに

1-1. 爆発を受けるコンクリート構造物

最近では、重化学プラントや火薬工場における爆発事故だけでなく、紛争やテロで爆弾が使用されることで、コンクリート構造物に甚大な被害が与えられる状況を一般の人々もテレビやインターネットで目の当たりにするようになった。

爆発は、物理的あるいは化学的な反応に起因するエネルギーがごく短時間に開放されて気体の急速な膨張を生じる現象であり、音、光、熱などとともに大きな圧力が発生する。爆発のうち、音速以上で伝播するものを爆轟、音速に達しないものを爆燃と呼ぶ。爆轟は、衝撃波をともなって毎秒数kmの超高速でほぼ一定に伝播し、瞬間的に発生する圧力は数十万気圧に達する。このため、爆轟を受けた構造物の変形や破壊は、きわめて大きくなる¹⁾。

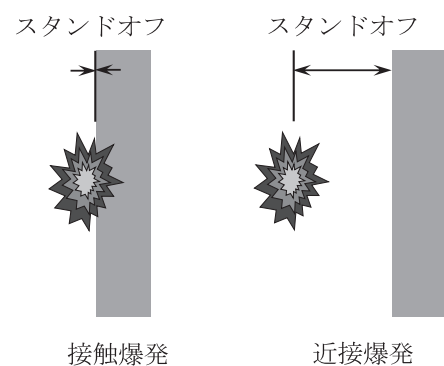


図1 スタンドオフと爆発の種類

コンクリート部材に爆発が作用するとき、図1に示すように、爆発起点から部材表面までの距離(スタンドオフと呼ぶ)によって接触爆発と近接爆発に分けられ、いずれの場合にもコンクリート部材は局所破壊を生じる。爆発物の質量が増加したり、爆発物との距離が短縮したりすると、図2に示すように、爆発面(表面)のコンクリートが剥離・飛散するクレータ(表面陥没)を生じ、さらに爆発の反対面(裏面)にもスポール(裏面剥離)が生じる



(a) 損傷無し (b) クレータ (c) クレータとスポール (d) 貫通

図2 爆発によって生じるコンクリート部材の局所破壊

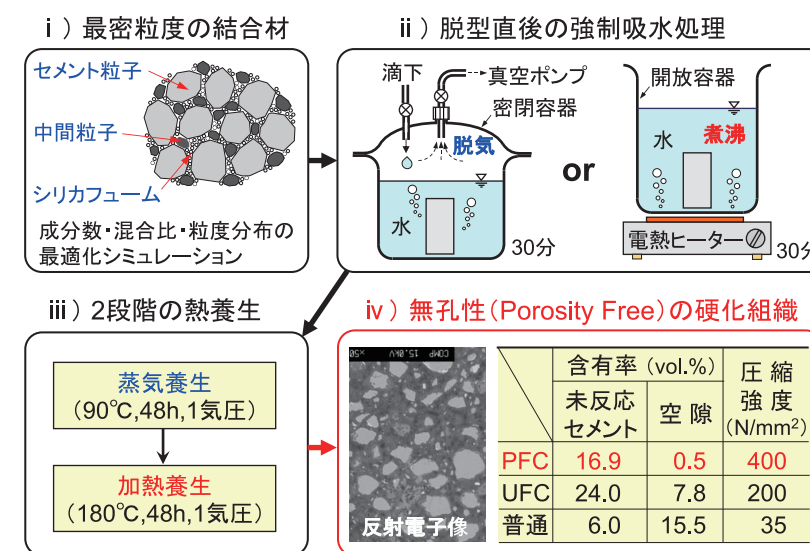


図3 PFCの概要

ようになり、局部に集中した破壊が起こる。爆発の衝撃波は、コンクリートの表面側から圧縮応力波の形で入射してクレータを生じさせて、その波が反対の裏面側に達すると自由端面で反射して引張応力波となり、そのときの引張応力がコンクリートの引張強度を超えればスポールを生じさせる。さらに、コンクリートに強い衝撃波が作用すると、クレータとスポールの規模が拡大し、それぞれが接続して貫通孔となる¹⁻³⁾。

隙が消失する。また、PFCには、その硬化マトリクスの強度発現を最大限に発揮できるように粗骨材を使用せず、脆性破壊を抑制するために短繊維を混入している。なお、短繊維の混入はマトリクス中に気泡を巻き込んでマクロ空隙となり、鋼繊維補強PFCの圧縮強度は最大で380N/mm²程度となる。

筆者らは、これまで鋼繊維補強PFCパネルを衝突外乱の種類とその作用速度に応じた衝撃実験を行っており、波浪・土石流・落石のような毎秒数m～数十mの低・中速の衝撃では重錘落下衝撃試験を、航空機やミサイルのような毎秒数百mの高速の衝突では高速飛翔体衝突試験で、いずれの場合も衝撃に対する高い抵抗性を確認した^{6,7)}。しかし、爆発のような超高速の衝撃問題については検討しておらず、本研究では鋼繊維補強PFCパネルを接触爆発試験に供して、その防御効果を検証した。

1-2. PFCの特徴と防護パネルへの適用

PFC(Porosity Free Concrete, 無孔性コンクリート)は、通常の型枠に流し込んで成型することで圧縮強度400N/mm²以上の硬化マトリクスが得られる材料である^{4,5)}。図3に示すように、PFCは、最密粒度となる結合材を使用し、脱型直後の強制吸水処理とその後の2段階の熱養生によって、マトリクス中に存在するミクロ空

こうの かつや / KONO Katsuya
太平洋セメント(株) 中央研究所 研究開発推進部
高機能コンクリートチーム
リーダー 博士(工学) 技術士(建設部門)

べっぶ ますひろ / BEPPU Masuhiro
防衛大学校 建設環境工学科
教授 博士(工学)

きしら りょう / KISHIRA Ryo
太平洋セメント(株) 中央研究所 研究開発推進部
高機能コンクリートチーム
主任研究員 博士(工学) 技術士(建設部門)

みぞぐち まなみ / MIZOGUCHI Manami
太平洋セメント(株) 中央研究所 研究開発推進部
高機能コンクリートチーム
修士(工学)

こじま かつひと / KOJIMA Katsuhito
同上
高機能コンクリートチーム

表 1 鋼繊維補強PFCの使用材料		
材 料	種 類	物 性
結合材 (B)	PFC プレミックス粉体	最密粒度、密度 2.97g/cm ³
細骨材 (S)	高強度砂	最大寸法 0.3mm、密度 2.61g/cm ³
短繊維 (F)	鋼繊維	直径:0.2mm、長さ 15mm、密度 7.84g/cm ³ 、 引張強度 2800N/mm ² 、引張弾性率 200kN/mm ²
混和剤 (Ad)	高性能減水剤 (SP)	PFC 専用、ポリカルボン酸系
	消泡剤 (DF)	PFC 専用、ポリアルキレングリコール

表 2 普通コンクリートの使用材料		
材 料	種 類	物 性
セメント (C)	普通ポルトランドセメント	最密粒度、密度 2.97g/cm ³
細骨材 (S)	山砂	表乾密度 2.61g/cm ³ 、吸水率 2.01%、粗粒率 2.74
粗骨材 (G)	碎石	表乾密度 2.66g/cm ³ 、吸水率 0.43%、最大寸法 20mm
混和剤 (Ad)	AE 減水剤 (WRA)	リグニンスルホン酸系
	AE 剤 (AE)	アルキルエーテル

表3 鋼繊維補強 PFC の配合											
No.	W/B (%)	V _F (%)	単位量 (kg/m ³)					フロー*2 (mm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	
			W	B	S	F	Ad *1				
							SP	DF			
1	14	2.0	190	1356	930	157	B×1.40%	B×0.02%	250	4.2	304
2		3.5				275	B×1.40%	B×0.02%	213	2.8	316

*1 水に一部に内割で置換 *2 落下振動なし

No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
			W	C	S	G	Ad *3				
							WRA	AE			
3	60	47	160	267	862	996	C×0.25%	C×0.002%	9.0	4.6	30.8

*3 水に一部に内割で置換

2. 実験方法

2-1. 試験体パネルの概要

(1) 材料と配合

使用した材料を**表 1**ならびに**表 2**に、コンクリートの配合を**表 3**ならびに**表 4**に示す。普通ポルトランドセメント(以下、Cと称す)を用いる場合には、結合材(以下、Bと称す)として最大粒子の低熱ポルトランドセメント(比表面積 3500cm²/g)と最小粒子のシリカフューム(比表面積 20m²/g)に対して、中間粒子となる SiO₂微粉末を添加したものを用いた。この結合材は、鈴木らの多成分粒子ランダム充填シミュレーション⁸⁾にて算出される各粒子混合物の空間率が最小となるように、粒子径と粒度分布を調整の上、各粒子の混合割合を最密粒度となるように処方したプレミックス粉体である。細骨材(以下、Sと称す)には高強度砂を用い、混和剤(以下、Adと称す)にはいずれも専用の高性能減水剤(以下、

SPと称す)と消泡剤(以下、DFと称す)を併用した。PFCに混入する短繊維(以下、Fと称す)は、高強度な材質の高炭素鋼繊維とした。水結合材比(以下、W/Bと称す)を14%ならびにSの絶対容積を355L/m³とし、鋼繊維の体積混入率(以下、V_fと称す)はコンクリート体積に対して外割で2.0%ならびに3.5%の2水準とした。フロー(落下振動無し)は、SPの添加量を調整して、V_f=2.0%の場合に250mm、V_f=3.5%の場合に213mmとなった。

普通コンクリートを用いる場合には、C、山砂、普通碎石を用いた。また Ad には AE 減水剤(以下、WRA と称す)ならびに AE 剤(以下、AE と称す)を使用した。水セメント比(以下、W/C と称す)を60%とし、細骨材率(以下、s/a と称す)を47%とした。WRA ならびに AE の添加量を調整し、スランプは9.0cm、空気量は4.6%となった。なお、普通コンクリートの場合には、鋼繊維を混入していない。

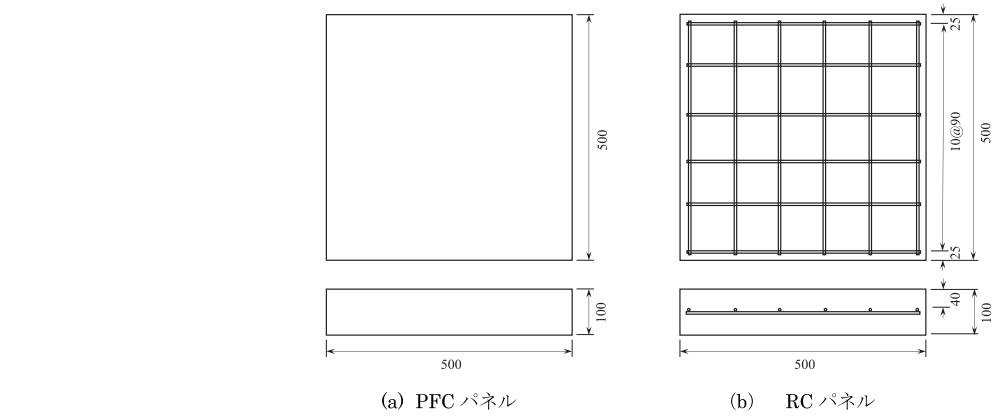


図 4 試験体パネルの概要

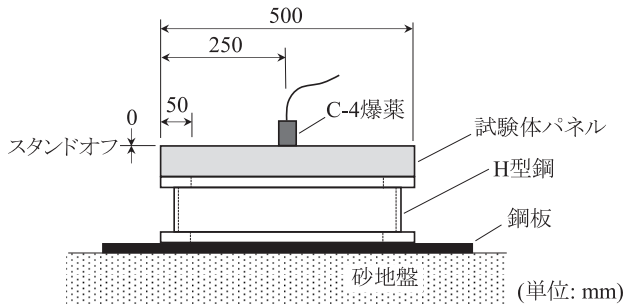


図 5 接触爆発試験の概要

(2) 練混ぜならびに養生

PFCの場合、オムニミキサにて練り混ぜた後、所定の型枠に打ち込んで封緘養生(20℃)を行い、材齢48hで脱型した。脱型後は、以下のi)～iii)に示した処理と養生を順次行った。

i) 脱気吸水処理：密閉容器中で真空まで脱気した後、水を滴下して完全に水没させてから30分間ほど外部の水を供試体内部に補給した。

ii) 蒸気養生：昇温・降温速度15℃/h、最高温度90℃、最高温度保持時間48h、1気圧の条件とした。

iii) 加熱養生：昇温・降温速度60℃/h、最高温度180℃、最高温度保持時間48h、1気圧の条件とした。

普通コンクリートの場合、強制ミキサにて練り混ぜた後、所定の型枠に打ち込んで材齢24hで脱型した。脱型後は湿布で覆い、湿潤養生(20℃)に供した。

(3) 試験体パネルの概要

図 4に示すように、試験体パネルは、いずれのコンクリートの場合も縦500mm×横500mmの正方形で、厚さを100mmとした。また、鋼繊維補強PFCを用い



写真 1 試験体パネルとC-4爆薬の設置状況

た場合(以下、PFCパネルと称す)は内部に鉄筋を配置せず、比較用として普通コンクリートを用いた場合(以下、RCパネルと称す)には格子状の異形鉄筋を内部に配置した。コンクリートの圧縮強度は、PFCパネルの場合にV_f=2.0vol.%で304N/mm²ならびにV_f=3.5vol.%で316N/mm²で、RCパネルの場合には30.8N/mm²となった。

2-2. 接触爆発試験の概要

爆発試験は、直径4mの爆発ピット内で**図 5**ならびに**写真 1**に示すように試験体パネルを静置した。C-4爆薬(密度1.4g/cm³)を用いて、その質量を30、40、50、70、150、250、400gの7水準に変化させた。なお、爆薬の質量が異なる場合にも高さや直径が等しい円柱状に成型し、爆薬の形状による影響を小さくした。4辺単純支持条件のパネル中央に円柱状の爆薬底面がパネル表面に直接触れる形で設置し、爆薬の中心部に埋め込んだ6号電気雷管にて起爆した。

種 類	RCパネル		PFCパネル($V_f=2.0\%$)		PFCパネル($V_f=3.5\%$)	
爆薬量	40 (g)	150 (g)	50 (g)	250 (g)	70 (g)	400 (g)
表 面						
裏 面						

図6 裏面剥離前ならびに貫通後の各試験体パネルの状況

種 類	断 面 ／ 爆薬量 70(g)
RCパネル	
PFCパネル ($V_f=2.0\%$)	
PFCパネル ($V_f=3.5\%$)	

図7 各試験体パネルの断面状況(爆薬量 70g)

3. 実験結果ならびに考察

3-1. 接触爆発を受けたパネルの破壊状況

図6は、C-4爆薬量を変化させたときのRCパネル、 $V_f=2.0\%$ ならびに $V_f=3.5\%$ のPFCパネルの表面と裏面を観察した一例であり、写真は爆薬量が少ないときに各パネルの表面にクレータのみが形成されたもの(裏面にはスポールを生じずにひび割れのみが発生)と、爆薬量を増やしたときの各パネルに貫通孔が形成されたもの(表面のクレータと裏面のスポールが連結)である。

裏面にスポールが発生する前ならびに貫通孔が形成された後の爆薬量は、いずれもRCパネルの場合よりもPFCパネルの場合に、さらにPFCの鋼繊維混入量が多い場合に増加した。図7は爆薬量70gのときの各試験体パネルの断面を示したものであり、爆発による衝撃波は、パネルの表面から圧縮波として伝わって裏面の自由端に達すると反射して引張応力波となり、PFCパネルの断面内には層状の亀裂が発生した。この内部のひび割れ間に鋼繊維が架橋することで、裏面の剥離を

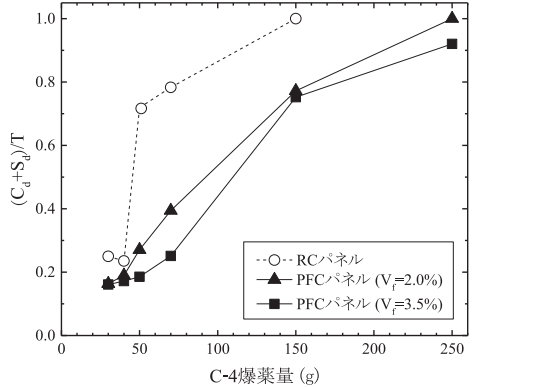


図8 無次元化損傷深さとC-4爆薬量の関係

抑制したことがわかる。

3-2. 接触爆発によるパネル損傷程度の評価

図8は、表面のクレータ深さ(C_d)と裏面のスポール深さ(S_d)の和をパネル厚さ(T)で除した値(無次元化した損傷深さ)とC-4爆薬量の関係を示したものである。すなわち、 $(C_d+S_d)/T=0.0$ のときは全く損傷しておらず、 $(C_d+S_d)/T=1.0$ になったときには貫通したことを意味する。この図から、RCパネルの場合は爆薬量の増加にともなって無次元化損傷深さが急激に増加するのに対し、PFCパネルの場合には徐々に増加した。また、 $V_f=2.0\%$ のPFCパネルにくらべて、 $V_f=3.5\%$ のPFCパネルの方が同じ爆薬量に対する無次元化損傷深さは小さくなった。

図9は、無次元化損傷深さと換算パネル厚さ($T/W_{TNT}^{1/3}$)の関係を示したものである。なお、換算パネル厚さの算出では、C-4爆薬の質量を一般に基準爆薬となっているTNT爆薬と等価な質量に置き換えた¹⁾。また、図中には、森下ら⁹⁾が普通鉄筋コンクリートパネルの接触爆発において提案する無次元化した表

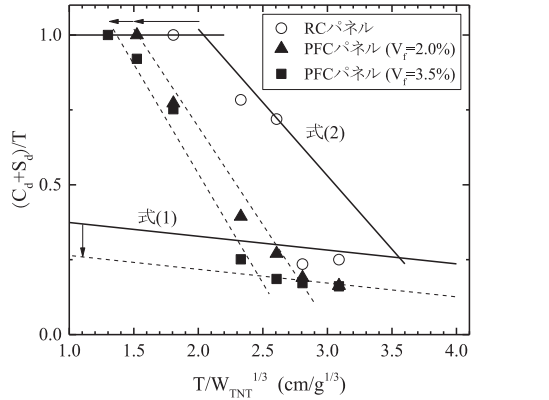


図9 無次元化損傷深さと換算パネル厚さの関係

面クレータ深さの式(1)と、無次元化した表面クレータ深さと裏面スポール深さの和(無次元化損傷深さ)の式(2)による算出結果を併記した。

$$Cd/T=-0.046\cdot(T/WT_{NT}^{1/3})+0.42\cdots\cdots(1)$$

$$(Cd+Sd)/T=-0.49\cdot(T/WT_{NT}^{1/3})+2.0\cdots\cdots(2)$$

ただし、 $2.0\leq T/WT_{NT}^{1/3}\leq 3.6$

ここで、 Cd/T ：無次元化表面クレータ深さ、 $:(Cd+Sd)/T$ ：無次元化損傷深さ、 $T/WT_{NT}^{1/3}$ ：換算パネル厚さ

RCパネルならびにPFCパネルの無次元化表面クレータ深さは、いずれも式(1)から算出される値よりも小さい。とくに、PFCパネルの場合には、その傾向が顕著であり、縦軸に鉛直下向きで移動させた直線に沿う形となった。無次元化表面クレータ深さは、 $V_f=2.0\%$ ならびに $V_f=3.5\%$ のPFCパネルの場合、いずれも式(2)から算出される値から約0.11を減じた値となる。

また、RCパネルの無次元化損傷深さは式(1)から算出される値にほぼ一致したものの、PFCパネルの無次元化損傷深さは異なっており、横軸に水平左向きで移動させた直線に沿う形となった。PFC中の鋼繊維量を増加させるほど、式(2)は水平左方向への移動量が大きくなる。PFCパネルの場合、無次元化損傷深さは、式(2)から算出される値に対して、 $V_f=2.0\%$ で約0.75倍、 $V_f=3.5\%$ で0.67倍の値に相当した。

4. まとめ

接触爆発に対する鋼繊維補強PFCパネルの防御効

果を検証した。本研究で得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 鋼繊維補強PFCパネルは、普通鉄筋コンクリートパネルに比べて、裏面スポール限界ならびに貫通限界の爆薬量が多くなり、大きな爆発にも抵抗できる。

(2) 鋼繊維補強PFCパネルは、爆発の表面から伝播した圧縮応力波が自由端の裏面で反射した引張応力波で断面内部に層状亀裂を生じるものの、そのひび割れ間に架橋した鋼繊維が裏面のスポールを抑制している。

(3) 鋼繊維補強PFCパネルにおける損傷深さとパネル厚さの関係は、接触爆発に対する普通鉄筋コンクリートパネルの既往式に新たな係数を設定することで算定可能となる。

【参考文献】

- 防衛施設学会／爆発作用を受けるコンクリート構造物の安全性評価－評価手法と対策技術－，pp.3～60，2018
- 石川信隆，大野友則，藤掛一典，別府万寿博／基礎からの衝撃工学－構造物の衝撃設計の基礎－，森北出版，pp.129～130，2008，
- 横山隆／衝撃工学の基礎と応用，共立出版，pp.7～9，2014
- 河野克哉，中山莉沙，多田克彦，田中敏嗣／450N/mm²以上の圧縮強度を発現するセメント系材料の製造方法と硬化組織の変化，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.1443～1448，2016
- 河野克哉，森香奈子，安田瑛紀，多田克彦／PFC®(無孔性コンクリート)の開発とそのマトリクスの繊維補強による実用化，セメント・コンクリート，No.857，pp.28～36，2018
- 河野克哉，栗橋祐介，多田克彦，小室雅人／圧縮強度400N/mm2を有するコンクリート梁の耐衝撃挙動に及ぼす鋼繊維混入率の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.1087～1092，2017
- 河野克哉，別府万寿博，岸良竜，溝口愛実／飛翔体衝突に対する繊維補強PFC®[無孔性コンクリート]の耐衝撃性，セメント・コンクリート，No.894，pp.25～30，2021
- 鈴木道隆，市場久貴，長谷川勇，大島敏男／粒度分布のある多成分粒子ランダム充填層の空間率，化学工学論文集，Vol.11，No.4，pp.438～443，1985
- 森下政浩，田中秀明，伊藤孝，山口浩／接触爆発を受ける鉄筋コンクリート版の損傷，構造工学論文集A，Vol.46，No.3，pp.1787～1797，2000

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



5, 20, 40℃養生下におけるアルミン酸カルシウムセメントの水和に及ぼす塩化ナトリウムの影響

Zhongping, ほか

Advances in Cement Research

33[2]84～95(2021)

塩害はコンクリート構造物の劣化要因の一つである。化学的に結合したCl⁻はセメント硬化体中を移動しないため、コンクリートの塩化物固定能力は耐塩害性を評価する上で重要な指標とされている。アルミン酸カルシウムセメント(CAC)は塩化物固定能力が高く、Cl⁻の大部分はCACの水和物であるCAH₁₀のOH⁻と置換しフリーデル氏塩やその類似体に固定される。一方、CACの水和は温度の影響で相転移を起こしやすく、高温環境下では多孔質の構造に変化する。また、塩化物固定能力は温度と細孔溶液中のCl⁻濃度の影響を受けることが知られている。本稿ではCACの塩化物結合能力と水和特性を明らかにするために5, 20, 40℃で養生したCACセメントペーストの水和に対する塩化ナトリウム(NaCl)含有量の影響について検討している。

塩化物固定能力はNaClの添加量の増加とともに高くなったが、過剰に添加するとその傾向は鈍化した。また、5, 20℃の初期におけるCACの水和は少量のNaClによって促進され、CAH₁₀の増加による組織の緻密化と強度の増加が確認された。一方、40℃の塩化物固定能力は材齢1日で最も高く、材齢の経過に伴い低下した。これは、結晶構造が緻密なC₃AH₆への相転移が進行し、Cl⁻が結合しにくかったためと推察さ

れた。また、40℃ではNaClの添加による相転移の促進によって粗大な空隙が増加し、強度は低下した。

これらの結果より、比較的低温環境ではCACに少量のNaClを添加することで、高い強度発現性と塩化物固定能力を得ることが可能であることが分かった。本稿の結果は、CAC構造物へ海砂等のNaClを含む資源の活用に応用できる可能性を示した。

フライアッシュのキャラクタリゼーション

Matteo Magistri, ほか

International Cement Review

[8]83～86(2021)

現在セメント産業では多くのCO₂削減技術が検討されている。そのうち混合セメントは、非常に一般的で効果が期待できる技術であるが、近年は良質な混合材料(SCMs)が不足している。

フライアッシュ(FA)はSCMsとして広く用いられているが、一方で品質の安定性が課題となることもある。一般にFAの品質は、化学組成や強熱減量などで評価されることが多いが、これらの手法で良質とみなされたFAでも実際にコンクリート用混合材料として使用すると良好な性能が得られない場合もある。

著者らは上記の問題を解決するため、様々な手法で分析を行い、FAの粒子形状がコンクリートのワーカビリティに大きく影響することを示している。試験では、球形のFA粒子を使用することでコンクリートのワーカビリティが大きく改善した。この理由を、球形粒子のボールベアリング効果から説明している。一方、FAが非球形粒子であっても粒子自体が細かい(平均粒径約5μm)場合には、ワーカビリティが改善した。これに対して、粒子が細かいことによる空隙充填効果が得られること、また粒子が細かい場合には粒子形状がコンクリートのワーカビリティに影響しにくくなるため、ワー

カビリティーの改善効果に繋がったと説明している。

現代のセメント生産において、混合セメントを増産する場合には低品質のFAが使用される可能性が高まる。これに対して著者は、本研究から得られた技術によりFAのキャラクタリゼーションを詳細に評価し、必要に応じて特性を改善していく事が非常に重要であると述べている。

脱炭素社会へ向けた準備

Tahir Abba, ほか

World Cement

[10]25~28(2021)

風力や太陽光を動力源とする水電解装置等のグリーン水素製造技術の進展によって、水素や副生酸素はセメント産業において重要な熱供給源となり得る。これまで水素はコストや安全性の観点から焼成燃料として活用されてこなかったが、セメント製造のカーボンニュートラル化に向けて化石燃料を水素やバイオマスで代替する方法が検討されている。

水素の燃焼特性として高い断熱火炎温度と低い放射熱伝達が挙げられる。特に後者はクリンカ品質の問題や熱量原単位の悪化に繋がる重要な課題となるため、既存の石炭や石油コークス同様の燃焼特性が維持されるよう最適化が不可欠となる。キルンバーナにおいては中央部に設けた専用ノズルから水素を導入し、隣接するバイオマスチップ等を急速に加熱、着火する方法が有効と考えられる。この燃焼方法により水素火炎の放射熱伝達の不足を補うことができる。なお、煅焼炉への適用方法としては、水素の燃焼ガスを3次空氣に導入することでホットスポットの発生リスクを低減する方法等が挙げられる。

水素の燃料利用に関する研究としては、2019~2021年にかけて英国で実証試験が行われており、キ

ルンで水素50%・バイオマス50%、煅焼炉でバイオマス83.3%・プラズマ16.7%を混焼し、化石燃料由来のCO₂排出ゼロを達成した。今後は、水電解の副生酸素を活用した酸素燃焼技術との統合を目指した研究開発が進められていくことが予想される。

リン含有クリンカを使用したセメントの水和活性と強度発現性

Lilan Xieh, ほか

Materials

14[3]508(2021)

クリンカ中のリンは、セメントの強度発現性等に大きな影響を与えるため、様々な研究がなされている。その多くは試薬を用いてリンの量を調整しており、実際のクリンカ製造で用いられるリン高含有の原料を用いた研究は少ない。そこで、本研究ではfluorapatiteを含んだ石灰石を原料として試製したクリンカおよびセメントを対象に検討を行った。

クリンカのP₂O₅含有濃度を0~2.5%まで増加させた際、モルタル圧縮強度は1.0%までは増加したが、それ以降の濃度では低下した。圧縮強度の低下について、水和発熱速度やX線回折の測定結果、電子顕微鏡観察観の結果などから考察した。P₂O₅含有濃度増加による強度発現性低下は、エーライト量が減少しビーライト量が増加したことに加えて、水和活性の低いα'-C₂S-XC₃Pが生成したことによると考えられた。リンの固溶によるC₂Sの水和活性の変化に関する既往の知見と異なる部分はあったが、これはリンの量の調整に試薬ではなく、実際のクリンカ製造で用いるリン高含有の原料を使用したためと推測された。実用的な点からは、P₂O₅含有濃度が2.0%までの範囲であれば、中国国家標準規格のP・II42.5を満足するため、リン高含有原料の利用によって原価低減に寄与する。

EVENT GUIDE イベントガイド

第12回道路橋床版シンポジウム

開催日：2022年10月26日(水)・27日(木)
会場：オンライン(Zoom)
参加費：会員8,000円、非会員10,000円、学生会員4,000円
定員：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：土木学会鋼構造委員会 担当事務局
メール：momoi@jsce.or.jp

2022年度日本建築学会支部共通事業

「建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事」改定講習会【東京④会場】

開催日：2022年11月7日(月)
会場：東京都立産業貿易センター浜松町館4階 展示室北(東京都港区)
参加費：会員17,000円、後援団体会員19,000円、会員外22,000円
定員：190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：日本建築学会関東支部「JASS 5講習会」係
電話：03-3456-2050

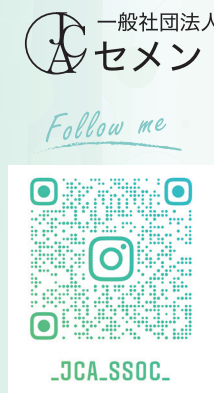
第69回海岸工学講演会

開催日：2022年11月8日(火)~11日(金)
会場：横須賀市ヴェルクよこすか
(横須賀市立勤労福祉会館)
参加費：無料
申込方法：土木学会HPより申込み
問合せ：土木学会海岸工学委員会
(研究事業課 担当：林淳二)
電話：03-3355-3559

第10回河川堤防技術シンポジウム

開催日：2022年12月14日(水)
会場：東京都(TKP市ヶ谷カンファランスセンター)およびオンライン(Zoom)
参加費：会員2,000円、学生会員2,000円、非会員2,000円、学生非会員4,000円
申込方法：土木学会HPより申込み
問合せ：土木学会地盤工学委員会(事務局担当：林)
電話：03-3355-3559

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_/](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。

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

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

○北海道新幹線への鋼管ソイルセメント杭の適用

○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り組み

○プレキャストセグメント工法を活用した新名神・城陽第二高架橋の施工

○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

○橋梁現場の生産性を向上させる技術開発

○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—

○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

○第50回セメント協会論文賞受賞論文／セメント硬化体のCO₂吸収と生成物の変化

○寸思寸言(河野広隆) ○ずいそう(鈴木一雄) ほか



高炉セメントC種をはじめとする各種高炉セメントを採用した本社建物の建設

セメント・コンクリート No.908 10月号
2022(令和4)年10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



一般社団法人 セメント協会加盟会社

八 戸 セ メ ン ト (株)	敦 賀 セ メ ン ト (株)
日 鉄 高 炉 セ メ ン ト (株)	(株) デ イ ・ シ イ
日 鉄 セ メ ン ト (株)	デ ン カ (株)
東 ソ ー (株)	麻 生 セ メ ン ト (株)
(株) ト ク ヤ マ	U B E 三 菱 セ メ ン ト (株)
琉 球 セ メ ン ト (株)	明 星 セ メ ン ト (株)
荻 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)

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