

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和6年3月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.925

3

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

AE減水剤（高機能タイプ）

フローリック SV10シリーズ

AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）

フローリック SL20S・R

高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

乾燥収縮低減剤

ジュリソクガード/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>

コンクリート用化学混和剤

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。

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

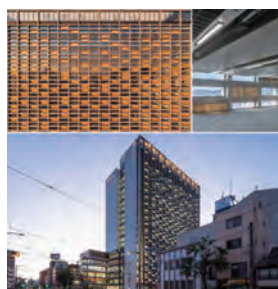
2024 No.925

3

もくじ

- | | | |
|----|---|-----------|
| 02 | ICCC 2023 第16回セメント化学国際会議とツアーの概要 | … 丸山 一平ほか |
| 10 | ジオポリマーへの炭酸塩の適用 | … 久保 雄暉ほか |
| 18 | 2022年8月豪雨に伴う五能線中村川橋梁の洗掘災害と復旧 | … 岸 滋ほか |
| 26 | ずいそう
出張の先々での楽しみ | … 原田 修輔 |
| 28 | 長崎市新庁舎
RC柱梁+木質耐震壁により意匠・構造・設備を統合したファサードデザイン | … 小俵 慶太ほか |
| 38 | アルギン酸ナトリウムの散布によるコンクリート施工時の降雨対策工法の開発 | … 桜井 邦昭ほか |
| 45 | 7th BESETO 2023 / 日中韓コンクリート舗装国際会議への参加報告 | … 中村 弘典ほか |
| 50 | 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
高炉セメントおよび高炉スラグ微粉末 | … 平本 真也 |
| 58 | セメスタグラム／コンクリートに魅せられて
旧大連航路上屋 | |

- | | |
|----|--------------|
| 60 | 外国雑誌の記事情報 |
| 62 | EVENT GUIDE |
| 64 | セメント・データファイル |
| 66 | 主要建設工事・資材統計 |
| 68 | 4月号予告 |



今月の表紙

長崎の新しいランドマーク・
長崎市新庁舎[長崎県／提
供：(株)山下設計]

ICCC 2023

第16回セメント化学国際会議と ツアーの概要



Outline of the 16th International Congress on the Chemistry of Cement in Thailand

丸山 一平 水野 哲成

1. はじめに

第16回セメント化学国際会議(16th International Congress on the Chemistry of Cement, ICCC2023)が2023年9月18日から22日までの5日間、タイ王国、バンコクのCentara Grand & Bangkok Convention Center at Central Worldにおいて、タイコンクリート協会(Thailand Concrete Association, TCA)の主催により開催された(写真1)。会議にあわせ、著者(丸山)を団長に、8名の視察団を組織し、視察を行った(図1)。旅程は、国際会議に参加した翌週、STEELFORMER社の工場等を視察した後、タマサート大学シリントーン国際工学部を訪問した。また、国際会議と視察の間にアユタヤ遺跡群の視察を行った。本稿では、会議と視察の内容を紹介する。



写真1 国際会議の会場の様子

2. タイのセメント産業

タイ・セメント協会(Thai Cement Manufacturers

Association, TCMA)によれば、タイ国内には7つのセメント製造企業12のセメント工場(キルン32本)があり、タイ全体でのクリンカ製造能力は50.3(M.Tons)である¹⁾。2017年から2022年のタイのセメントの国内需要と1人当たりの消費量の推移を図2に示す。図によれば、2022年のタイのセメントの国内需要は約2600万tであり、1人当たりの消費量は395kgである。日本の1人当たりのセメントの消費量は約300kgであることを考



まるやま いっぺい / MARUYAMA Ippei
東京大学・名古屋大学
教授 博士(工学)



みずの てつなり / MIZUNO Tetsunari
(一社)セメント協会 研究所



図1 訪問場所

表1 世界各国のセメント消費量(2020年)

国名	セメント消費 量 ²⁾ (千t)	人口 ³⁾ (百万人)	1人当たりの 消費量(kg)
中国	2,390,008	1,424.9	1,677
日本	39,251	126.1	311
インド	289,957	1,396.4	208
インドネシア	62,500	271.9	224
アメリカ	101,716	335.9	303
イタリア	17,850	59.5	300
ドイツ	30,128	83.3	362
フランス	18,053	64.5	280
イギリス	10,381	67.1	155

えると、約1.3倍消費されており、東南アジアでは景気の減速が見られるものの、日本に比べて消費量があることが分かる。また、2020年の世界各国の1人当たりのセメント消費量を表1に示す。世界各国の中でも、タイは1人当たりのセメントの消費量が多いことが分かる。

3. セメント化学国際会議

セメント化学国際会議は、1918年にロンドンで第1回が開催され、今回が16回目となる(表2)。近年は4年に1回開催されており、世界各国のセメント・コンクリートに関する企業や大学から研究者、技術者が集まり、意見交換や情報収集の場となっている。会議のプロシーディングスによると、49か国から800人以上の参加登録があり、565件以上の論文の投稿があったとの情報がある。また、初めてのペーパーレスのセメント化

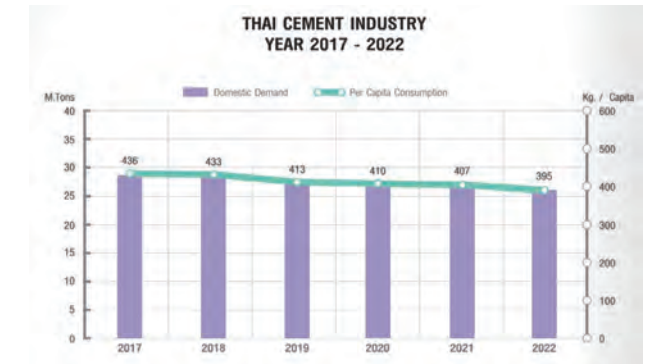


図2 タイのセメントの国内需要と
1人あたりの消費量の推移¹⁾

表2 歴代のセメント化学国際会議

(第1回)	1918年	イギリス(ロンドン)
第2回	1938年	スウェーデン(ストックホルム)
第3回	1952年	イギリス(ロンドン)
第4回	1960年	アメリカ(ワシントン)
第5回	1968年	日本(東京)
第6回	1974年	ロシア(モスクワ)
第7回	1980年	フランス(パリ)
第8回	1986年	ブラジル(リオ・デ・ジャネイロ)
第9回	1992年	インド(ニューデリー)
第10回	1997年	スウェーデン(イエテボリ)
第11回	2003年	南アフリカ(ダーバン)
第12回	2007年	カナダ(モントリオール)
第13回	2011年	スペイン(マドリッド)
第14回	2015年	中国(北京)
第15回	2019年	チェコ(プラハ)
第16回	2023年	タイ(バンコク)



写真2 デジタル端末に表示したポスター
[ICCC2023運営委員会撮影]

学国際会議として、参加者はモバイルアプリを利用し、会議のプログラムを始め、一般講演の論文およびポスターを閲覧するシステムが採用されていた。さらに、一般講演後の質疑応答では、専用のフロアにて大型のデジタル端末にポスターを表示し、対面での説明が行われていた(写真2)。

今回の会議では、TCAのThanakorn Pheeraphan教授がOrganizing Committeeの委員長を、タマサー

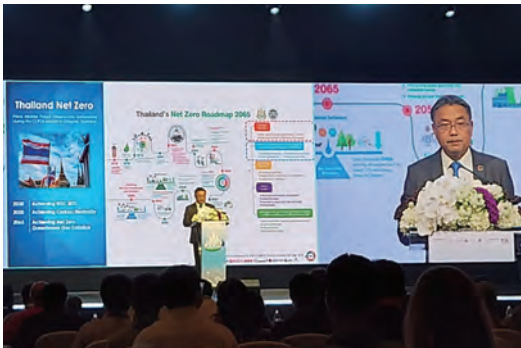


写真3 開会式でスピーチするChana Poomee氏

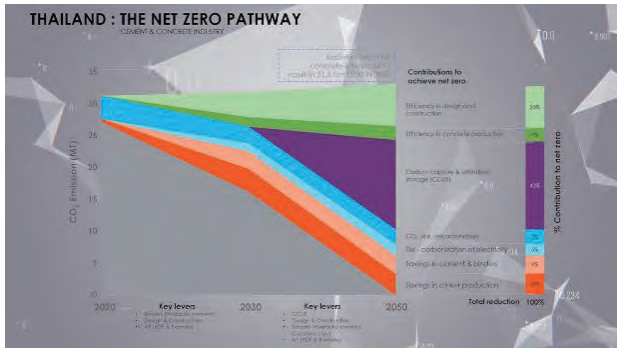


図3 タイのセメント・コンクリート産業のネットゼロに向けた取り組み⁴⁾

表3 ネットゼロに向けた取り組みとその割合⁴⁾

ネットゼロに向けた取り組み	割合
<u>Efficiency in design and construction</u> - client brief to designers to enable optimisation - design optimisation - construction site efficiencies - re-use and lifetime extension	20%
<u>Efficiency in concrete production</u> - optimized mix design - optimization of constituents - continue to industrialise manufacturing - quality control	7%
<u>Carbon capture & utilization/storage (CCUS)</u> carbon capture at cement plants	42%
<u>CO₂ sink : recarbonation</u> natural uptake of CO₂ in concrete a carbon sink	7%
<u>De-carbonation of electricity</u> decarbonization of electricity used at both cement plants and in concrete production	5%
<u>Saving in cement & binders</u> - Portland clinker cement substitution. Also expressed through clinker binder ratio. - alternatives to Portland clinker cement	9%
<u>Saving in clinker production</u> - thermal efficiency - saving from waste fuels (“alternative fuels”) - use of decarbonated raw material - use of hydrogen as a fuel	10%

ト大学シリントーン国際工学部のSomnuk Tangtermisrikul教授がScientific Committeeの委員長を務めた。また，“further reduction of CO₂-emission and circularity in the cement and concrete industry”がテーマとなっており，開会式ではTCMA会長のChana Poomee氏(写真3)により，タイのセメント・コンクリート産業のネットゼロに向けたCCUS(Carbon capture & utilization / storage)を主体とする取り組み(図3，表3)の紹介が行われた。

基調講演は，表4に示す11のトピックスで，26名の

講演者により20件のタイトルの講演があった。

日本からは，タイトル“Mechanisms of CO₂ mineralization by cementitious materials and of their reactivity in new cement formulations”(Maciej Zajac & Ippei Maruyama)の講演があった(写真4)。基調講演の内容は，Cement and Concrete Researchの特集号⁵⁾にまとめられているのでそちらを参考にされたい。

また，プログラムから数えたトピックスごとの一般講演の発表件数を表5に示す。トピックスごとの発表件数を見ると，D(Enhancing clinker substitution / Supplementary Cementitious Materials)およびF(New low carbon cements and carbonatable binders)の発表件数の割合が多かった(図4)。これらはいずれもカーボンニュートラルに関係するテーマであり，近年のトレンドが強く反映されたものと思われる。各トピックスの発表内容は，本誌次号から3回にわたって掲載される予定である。なお，会議のプロシーディングス(論文)はICCCの常設事務局のウェブサイト⁶⁾で公開されているので，興味がある方は参照されたい。

一般講演の発表の形式は，前回までと異なり，全ての発表にポスターの提出が求められており，15分間の口頭発表とポスター(110件)，5分間の口頭発表とポスター(426件)，ポスター発表のみ(72件)の3パターンに分けられていた。セッションごとに15分間の口頭発表が1～3件と5分間の口頭発表が10件程度行われた後，講演者は各自のポスターの横に移動し，質疑応答が行われた。また，ポスター発表のみは口頭発表のセッ

表4 研究のトピックスと基調講演

	トピックス	基調講演	
		講演者	タイトル
A	Future of the construction	Stuart Smith	Inspiration from construction engineers and designers
B	New dimensions in clinker production	Alexander Pisch	Clinkers for low CO ₂ cements: thermodynamic aspects and process implications
		Martin Schneider	Cement plants of tomorrow
C	Advances in hydration chemistry	Karen Scrivener & Thomas Matschei	Advances in Understanding Cement Hydration and Thermodynamics of Hydrated Systems
D	Enhancing clinker substitution / Supplementary Cementitious Materials	Bruno Huet & Mohsen Ben Haha	Low clinker systems: towards a rational and efficient use of SCMs for optimal performance
		Ruben Snellings	Future and Emerging Supplementary Cementitious Materials
E	Advances in characterisation methods & modelling	Kimberly Kurtis & Paulo Monteiro	Advances in Imaging, Scattering, Spectroscopy, and Machine Learning-Aided Approaches for Multiscale Characterization of Cementitious Systems
F	New low carbon cements and carbonatable binders	Maciej Zajac & Ippei Maruyama	Mechanisms of CO ₂ mineralization by cementitious materials and of their reactivity in new cement formulations
		Caijun Shi	Carbonatable binders: Historic Developments and Perspectives
		Fazhou Wang	Recent Progress on Carbonatable Binders
G	New findings in admixture & rheology	Robert Flatt	Chemical Admixtures: Basic Principles and Blended Cements
		Nicolas Roussel	Rheophysics of fresh cement-based materials: recent advances and new open debates
H	New technology for quality concrete	Stacia Van Zetten	Digital Tools + New Technologies in the Concrete Industry
		Sui Tongbo & Tong Rui	The digitization work of smart cement plants in China
I	Durability & reactive transport	Ueli Angst	Steel corrosion in concrete – Achilles’ heel for sustainable concrete?
		Fabien Georget	Understanding chloride ingress in concrete
J	Sustainability, circular economy, waste processing and recycling	Chi Sun Poon	Total Recycling of Concrete Waste using Accelerated Carbonation
		Narong Wonggasem	Recycled Concrete
K	Standardisation of cement and concrete	Larry Sutter & Doug Hooton	Progress toward sustainability through performance-based standards and specifications
		Christoph Muller	How standards support decarbonization and resource efficiency of cement and concrete in Europe



写真4 基調講演の様子

[ICCC2023運営委員会撮影]

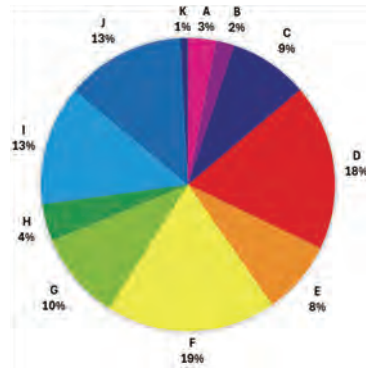


図4 一般講演のトピックスごとの割合

表5 一般講演の発表件数

	トピックス	発表件数
A	Future of the construction	19
B	New dimensions in clinker production	12
C	Advances in hydration chemistry	53
D	Enhancing clinker substitution / Supplementary Cementitious Materials	111
E	Advances in characterisation methods & modelling	49
F	New low carbon cements and carbonatable binders	114
G	New findings in admixture & rheology	59
H	New technology for quality concrete	25
I	Durability & reactive transport	81
J	Sustainability, circular economy, waste processing and recycling	80
K	Standardisation of cement and concrete	5

ションと並行して行われていた。参加登録はオンラインとオンサイト(現地)の両方が用意されていたが，一般講演はオンラインでの発表は認められておらず，聴講のみ可能となっていた。

会議の3日目(9月20日)の夜にはタイ海軍講堂(Royal Thai Navy Convention Hall)にてCongress Dinnerが開催され，タイ海軍によるバンド演奏，タイの民族



写真5 Congress Dinnerの会場の様子
[ICCC2023運営委員会撮影]



写真6 SCGのセメント工場にて
[バイオマスヤード(中央), 太陽光発電設備(右)]

舞踊などが催された後、次回のICCCのホスト国の発表が行われた(写真5)。

4. Technical Visit

Technical Visitは、会議の3日目に実施され、サイアム・シティ・セメント(SCCC)のセメント工場、サイアム・セメント・グループ(SCG)のセメント工場、および高性能コンクリート橋等の3つの見学コースが用意されていた。ここでは、SCGのセメント工場の見学について紹介する。

SCGのセメント工場はサラブリー県ケンコーイ郡にあり、国際会議の会場から車で2時間程度の森林地帯の中に位置する。主にSCGのカーボンニュートラルに向けた取り組みについて説明を聞いた後、車で工場内を移動しながら、バイオマスヤード、品質管理設備および太陽光発電設備を見学した(写真6)。

特にカーボンニュートラルに向けたSCGの取り組みの一つである“Hybrid Cement”(低炭素型セメント)については、タイ工業規格 TIS 2594-2556 “Hydraulic

Cement”(ASTM C 1157)に適合し、クリンカーファクターを5～10%削減可能であり、“Portland Cement Type I”(TIS 15)とほぼ同等のコンクリートの性能(収縮と耐摩耗性に利点あり)を有し、セメント製造全体としてセメント1t当たり約50kgのCO₂排出量の削減が可能であるとの説明があった。上記のセメント規格は、圧縮強さなどのセメントの物理的性質のみが規定されており(表6)、セメントの化学成分や混合材の置換割合の規定のない性能規定型となっていることから、混合材の置換割合の増加にも柔軟に対応できる規格となっている。

なお、TCMAから、2023年内に“Ordinary Portland Cement Type I”を“Hydraulic Cement”に置き換えることが発表されており⁸⁾、近い将来、“Hydraulic Cement”が汎用セメントになると考えられる。

さらに、SCGのセメント工場において、CCU(Carbon Capture & Utilization)の実証実験を開始するとの説明もあった。調査によると、具体的なCCUの実証実験は、タイ国内のセメント工場に日鉄エンジニアリング社が開発したCO₂回収技術ESCAP[®]を導入することにより排ガスからCO₂ガスを分離回収し、メタネーション装置

表6 Hydraulic cementとPortland cement(Type1)の規格値の比較
[参考文献⁷⁾のp.10の表から作成]

	Hydraulic cement (GU)	Portland cement (Type1)		Hydraulic cement (GU)	Portland cement (Type1)
	TIS 2594	TIS 15		TIS 2594	TIS 15
Silicon dioxide (SiO ₂), %	Not specified	—	Fineness, specific surface, m ² /kg		
Aluminium oxide (Al ₂ O ₃), %		—	Blaine air permeability	—	280 以上
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃), %		—	Autoclave expansion, %	0.8 以下	0.8 以下
Magnesium oxide (MgO), %		6 以下	Time of setting, Vicat test		
Sulfur trioxide (SO ₃), %		— Initial, minutes	— Initial, minutes	45 以上	45 以上
When C3A is 8% or less		3 以下	— Initial, minutes	420 以下	375 以下
When C3A is more than 8%		3.5 以下	Air content of mortar, volume %	—	12 以下
Loss on ignition, %		3 以下	Early stiffening, final penetration, %	50 以上	50 以上
Insoluble residue, %		0.75 以下	Compressive strength, kg/cm ²		
Tricalcium silicate (C3S), %		—	— 3 Days	130 以上	120 以上
Dicalcium silicate (C2S), %		—	— 7 Days	200 以上	190 以上
Tricalcium aluminate (C3A), %		—	— 28 Days	280 以上	280 以上
Alkalis (Na ₂ O+0.658K ₂ O), %		0.6 以下	Mortar bar expansion 14 days, %	0.02 以下	—



写真7 アユタヤでの集合写真

左から、小林真理氏(UBE三菱セメント)、水野、上河内貴氏(住友大阪セメント)、秋藤哲氏(UBE三菱セメント)、中田裕伸氏(住友大阪セメント)、丸山、高橋恵輔氏(UBE三菱セメント)、早川隆之氏(太平洋セメント)

で分離回収したCO₂ガスから製造した合成メタンをセメント工場内で石炭燃料の代替エネルギーとして利用するというものである⁹⁾。

5. 歴史的建造物の視察

9月24日にアユタヤの遺跡群において、白い涅槃仏と高い仏塔で知られる“ワット・ヤイチャイモンコン”，東西に並んだ3基の仏塔が象徴的な“ワット・プラ・シー

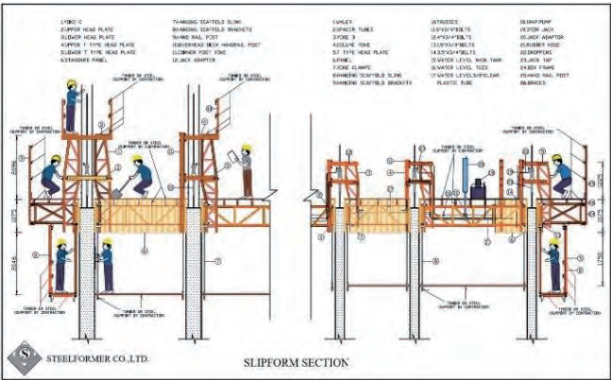


図5 スリップフォーム工法の概要¹⁰⁾

サンペット”(写真7)および木の根の間に埋もれた仏像の頭が有名な“ワット・マハーアート”を視察した。

アユタヤはバンコクから北に車で1時間程度の場所に位置しており、チャオプラヤ川とその支流に囲まれた地形から国際交易都市として繁栄し、1767年にビルマ軍の侵攻により破壊されるまで、アユタヤ王朝時代の中心的な都であった。なお、アユタヤの遺跡群はHistoric City of Ayutthaya (古都アユタヤ)として世界遺産に登録されている。

6. タイの建設産業の視察

9月25日にSTEELFORMER社のスリップフォーム工法の型枠工場を視察した。

スリップフォーム工法(図5)は、型枠をジャッキで持ち上げて上昇させながら、連続的にコンクリートを打設し



写真8 STEELFORMER社にて
[スリップフォーム工法によってつくられた建物(左)と見学の様子(中央)、作製中の型枠(右)]

躯体を構築していく工法で、工期の短縮、コストの削減といったメリットがあり¹⁰⁾、タイでは一般的に用いられている。使用されるコンクリートは、打設中は流動性がよく、打設後は型枠が外れた時点でコンクリートが自立するように早期の強度発現性が必要になる。

工場では、説明を受けながら作製中の型枠などを見学した後、スリップフォーム工法により造られた建物(写真8)を見学した。写真の建物の場合には、1時間あたり30cmの速さで、1日8時間、コンクリートの打設を行ったとの説明があった。また、彼らの型枠はワン・バンコク(One Bangkok)というアジア最大規模の開発案件でも採用されているとの説明があった。ワン・バンコクは、ルンピニー公園に隣接する地区の大規模再開発事業で、事業規模は約5000億円、敷地面積は16.7万平方メートル、建設が予定されている建物の総延床面積は140万平方メートルのアジア最大の再開発事業である。

7. タマサート大学 シリントーン国際工学部訪問

建設産業の視察と同日に、タマサート大学シリントーン国際工学部のソムヌック教授を訪問し、意見交換および研究施設の見学を行った(写真9)。

意見交換では、著者(丸山)から「最近の日本のセメント産業の概況」、「日本におけるカーボンニュートラルの取り組み」、および「Calcium Carbonate Concreteについて」、太平洋セメント社から「カーボンニュートラル戦略と

革新的技術について」、UBE三菱セメント社から「風化火山噴出物を用いた補助セメント材料の開発」、住友大阪セメント社から「多様なCa源を用いた人工炭酸塩化技術」について説明し、質疑応答を行った。

ソムヌック教授からは、タイにおけるカーボンニュートラルに向けた具体的な状況について説明があった。今のところ、コンクリート混和材(SCM)やLC³セメントなどに関する研究が主流で、セメント中のクリンカーファクターを減らす取組みが先行している状況であり、CCUS等の実用化に向けた本格的な取組みはもう少し先の話になりそうとのことであった。また、ソムヌック教授の研究チームでは、CO₂の削減を目的とした天然ボゾランやフライアッシュなどの廃棄物・副産物を混和材として併用したコンクリートの配(調)合の最適化の研究が行われており、流動性、強度発現性、および耐久性等に与える影響を詳細に分類・整理していた。特に、煨(か)焼粘土を使用したコンクリートでは流動性が低下するが、フライアッシュを併用することで流動性が改善されるという説明があった。ただし、規格上では使用するセメントがドラマティックに変化し得る可能性がある中、タイ特有の気候や風土があることから、それらを考慮した耐久性等に関する検討が重要であるとのことであった。さらに、構造性能を考慮した3Dプリントシステムの研究開発についても紹介があり、研究施設において、煨(か)焼粘土を用いた供試体や3Dプリンティングにより造形した構造体の力学特性を測定する設備などを見学した。

ソムヌック教授の研究チームでは、多くの研究者が丸となり、多方面にわたる非常に先進的な研究を取り組



写真9 タマサート大学シリントーン国際工学部にて
[シリントーン国際工学部の建物(左)、意見交換の様子(中央)、集合写真(右)]



写真10 ICCC2027の開催地

んでいた事は非常に印象的であった。

8. おわりに

今回の会議では、カーボンニュートラルに関係したテーマで多くの報告があった。二酸化炭素排出量削減に向けては、補助セメント材料(SCMs)の使用によるクリンカー比率の削減やコンクリート等への二酸化炭素の固定化などさまざまな検討が行われている。一方で、セメントの製造やコンクリートに使われる材料は地域性があることから、カーボンニュートラルの達成に向けては各国の事情を加味したシナリオが必要ではないだろうか。

今回の第17回セメント化学国際会議は2027年11月29日から12月3日に、National Council for Cement and Building Materials(NCB)の主催により、インドのニューデリーで、開催されることが決定した(写真10)。次回も日本から多くの研究者、技術者が参加することを期待したい。

最後にお世話になった皆様にこの場を借りて御礼申し

上げます。特に、視察・訪問先の調整等にご尽力を頂いた株式会社竹中工務店、太平洋セメント株式会社の皆様に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 2022: TCMA Activities Report (https://www.thaicma.or.th/en/ebo-ok_detail/1/147)
- 2) セメント協会/セメントハンドブック2023年度版
- 3) 総務省統計局/世界の統計2023 (<https://www.stat.go.jp/data/sekai/0116.html>)
- 4) ICCC2023ウェブサイト (<http://www.iccc2023.org>) (2024年1月閲覧)
- 5) <https://www.sciencedirect.com/journal/cement-and-concrete-research/special-issue/10JVHT26ZWP>
- 6) <https://www.iccc-online.org/archive/>
- 7) TCMA -Handbook- Hydraulic Cement (https://www.thaicma.or.th/en/environmentally/environment/environmentally_friendly_cement_products)
- 8) https://www.thaicma.or.th/en/news_detail/1/1811/7 (2024年1月閲覧)
- 9) <https://www.eng.nipponsteel.com/news/2023/20230112.html> (2024年1月閲覧)
- 10) STEELFORMER社ウェブサイト (<https://slipform-steelformer.com>) (2024年1月閲覧)

ジオポリマーへの炭酸塩の適用

Application of Carbonates to Geopolymers

久保 雄暉 石田 剛朗 高原 幸之助

1. はじめに

日本政府が2050年のカーボンニュートラルを目指すことを宣言するなど、地球温暖化対策として低炭素化への取り組みが求められている。その一つとして、CO₂を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発が進められている。例えば、排ガス等から回収したCO₂と、廃棄物や産業副産物等から抽出したCaとを反応させて炭酸カルシウムを生成し、有効利用する技術が挙げられる。将来、このような人工炭酸カルシウムの製造量が増加していくと予想され、その用途拡大も望まれる。

また、CO₂を固定し有効利用するための炭酸塩としては、炭酸カルシウムの他にも、炭酸ナトリウムや炭酸カリウム、炭酸マグネシウムが挙げられる。炭酸ナトリウムや炭酸カリウムは、炭酸カルシウムと比較して水への

溶解度が高く化学的に不安定ではあるものの、CO₂の有効利用先としての可能性を有していると考えられる。

一方、建設材料のCO₂排出量を減らす取り組みも行われており、その一つとして、ジオポリマーが挙げられる。国内において、ジオポリマーは、セメントを使用せず、フライアッシュや高炉スラグ微粉末等の活性フィラーと、水ガラスや水酸化ナトリウム等の刺激剤を組み合わせて生成する硬化体の総称、と一般に定義される。セメントコンクリートと比べCO₂排出量が低減できることや、各種産業副産物を有効利用できることに加えて、強酸、高温に対する抵抗性に優れ、重金属や放射性廃棄物などの固定能力を有することから国内外で研究開発が行われている。

本稿では、ジオポリマーの更なる低炭素化と炭酸塩の用途拡大を目的として、CO₂を固定化したと想定した炭酸カルシウムおよび炭酸ナトリウムをジオポリマーに適用する検討を行った。

2. ジオポリマーの概要¹⁾

ジオポリマーはダビドビッツが提唱した用語であり、無機ケイ酸がアルカリ刺激作用で縮重合した状態の硬化体を示している。当初は、活性フィラーとしてメタカオリンが使用されていたが、その後使用される活性フィラーは多様化しており、マトリックスを構成する反応生成物も活性フィラーによって異なる。メタカオリンやフライ

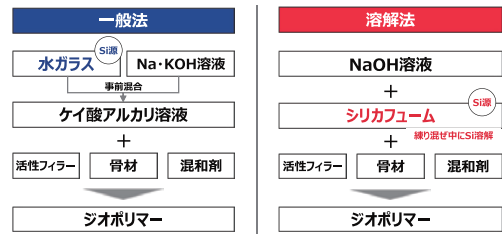


図1 ジオポリマーの作製方法の分類

表1 使用材料

種類	記号	材料名	摘要
アルカリ刺激剤	SC	炭酸ナトリウム	富士フイルム和光純薬社製
	SH	苛性ソーダ水溶液	食品添加物35% 苛性ソーダ
水	w	上水道水	ー
シリカフューム	SF	シリカフューム	密度:2.27g/cm ³ 、BET比表面積:16.9m ² /g
活性フィラー	FA	フライアッシュ(Ⅱ種)	密度:2.30g/cm ³ 、ブレーン比表面積:4160cm ² /g
	BS	高炉スラグ微粉末	密度:2.88g/cm ³ 、ブレーン比表面積:4820cm ² /g
	CC	炭酸カルシウム	密度:2.71g/cm ³ 、ブレーン比表面積:7470cm ² /g
細骨材	S1	海砂	表乾密度:2.58g/cm ³
	S2	砕砂	表乾密度:2.66g/cm ³
化学混和剤	Re	遅延剤	グルコン酸ナトリウム、富士フイルム和光純薬社製
	Ad	AE減水剤	主成分:ヒドロキシ系複合体とリグニンスルホン酸誘導体
	DF	消泡剤	主成分:非イオン界面活性剤(ポリオキシアルキレン誘導体混合物)

表2 シリカフュームおよび活性フィラーの化学成分

	化学成分(質量%)												
	ig.loss	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
シリカフューム	1.47	91.7	0.42	2.44	0.48	0.44	0.12	0.56	0.58	0.02	0.03	0.10	0.036
フライアッシュ(Ⅱ種)	2.66	60.3	21.3	4.27	6.46	1.24	0.40	0.59	1.23	0.98	0.41	0.04	0.003
高炉スラグ微粉末	1.20	32.6	14.1	0.22	41.89	6.05	1.66	0.19	0.24	0.74	0.01	0.22	0.008
炭酸カルシウム	43.90	0.04	0.02	0.02	55.45	0.37	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	未測定

アッシュ等のCaが少ない活性フィラーを使用した場合、ゼオライトに類似したアルミノケイ酸塩構造の非晶質物質(N-A-S-H)が生成するのに対し、高炉スラグ微粉末等のCaを多く含む活性フィラーでは、カルシウムケイ酸塩構造の非晶質物質(C-A-S-H)が生成するとされている。ジオポリマーはこれらの生成物が複雑かつ相互に影響しあって構成される硬化体であり、その反応メカニズムも全容は解明されていない。

各機関や研究者によりジオポリマーの作製方法は異なるが、本稿では2種類に分類することとする(図1)。1つ目は、アルカリ溶液中のSiを水ガラスから供給する方法(以下、「一般法」と称する)である。多くの機関が一般法を採用しており、強度増進を目的としてフライアッシュの一部を高炉スラグ微粉末で置換するケースが多い。2つ目は、シリカフュームのような粉体を添加してSiを供給する方法であり、「ケイ素成分粉体添加その場溶解法」²⁾(以下、「溶解法」と称する)と呼称される。

ジオポリマーを検討する際に課題となるのは、凝結時間の制御と強度発現性の確保である。一般法では、フライアッシュのみを活性フィラーとした場合、可使時間(打込み、成形が可能な時間)は120分以上と長い³⁾が、高炉スラグ微粉末で一部を置換した場合、可使時間は20~60分程度に短くなり、遅延剤を使用しても可使時間の延長効果は薄い。一方、溶解法では、シリカフュームを溶解させるために一般法よりもアルカリ濃度を高く設定する必要がある⁴⁾が、遅延剤を使用することで可使時間を120分以上確保することが可能であり、強度発現性も確保できる。可使時間の長さ等を考慮して、本稿では、溶解法を採用してジオポリマーを作製した。

3. 実験概要

使用材料を表1に、シリカフュームおよび活性フィラーの化学成分を表2に示す。本稿では、炭酸カルシウム



くぼ ゆうき / KUBO Yuki
UBE三菱セメント(株) 研究所
コンクリート研究室 建材製品グループ
研究員



いしだ たけお / ISHIDA Takeo
同上
グループリーダー 博士(工学)



たかはら こうのすけ / TAKAHARA Konosuke
同上
コンクリート研究室
室長

表3 ジオポリマーモルタルの基本配合											
A/W (mol比)	Si/A (mol比)	単位水量 (kg/m³)	L/F (vol比)	BS/F (vol%)	単位量(kg/m³)						
					L			F		S	
					SH	w	SF	FA	BS	S1	S2
0.20	0.30	206	1.20	10	261	36	45	421	59	679	703
				30	261	36	45	328	177	679	703
				50	261	36	45	234	295	679	703
				70	261	36	45	140	414	679	703

※Gna: 1.0(F×wt.%), Ad: 0.4(F×wt.%), DF: 0.012(F×wt.%)



図2 試験フロー

を活性フィラーとして、炭酸ナトリウムをアルカリ刺激剤として使用しジオポリマーへの適用を検討した。前述のとおり、ジオポリマーの作製方法は溶解法であり、シリカフュームがアルカリ溶液に完全に溶解するものとして配合計算を行っている。活性フィラーに関しては、入手の容易さを考慮し、フライアッシュはⅡ種灰を、高炉スラグ微粉末は石こう添加品を使用した。炭酸カルシウムには、石灰石を粉砕・分級した重質炭酸カルシウムを使用した。また、炭酸ナトリウムは試薬を使用した。実験においては、活性フィラーにフライアッシュと高炉スラグ微粉末のみを、アルカリ刺激剤に苛性ソーダのみを使用した基本配合を基準として、活性フィラーの一部を炭酸カルシウムで置換、またはアルカリ刺激剤の一部を炭酸ナトリウムで置換し、その効果を検証した。ジオポリマーモルタルの基本配合を**表3**に示す。配合設計上の空気量は2%とした。遅延剤は細骨材に置換して添加し、減水剤および消泡剤は外割で添加した。配合において、A/W（アルカリ溶液中の水に対するアルカリのmol比）、Si/A（アルカリ溶液中のアルカリに対す

るSiのmol比）、単位水量、L/F（アルカリ溶液と活性フィラーのvol比）は一定とした。BS/F（活性フィラー中の高炉スラグ微粉末の割合）は10、30、50および70 vol%（以下、BS10、BS30、BS50およびBS70）とした。炭酸カルシウムおよび炭酸ナトリウムを使用する場合の水準・配合については後述する。

試験フローを**図2**に示す。練混ぜにはホバートミキサを使用した。フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、シリカフューム、遅延剤および細骨材を投入して30秒間空練りした後、苛性ソーダ、水および混和剤を投入して90秒間練り混ぜを行い、かき落としを行った後、再度90秒間練混ぜを行った。なお、炭酸カルシウムおよび炭酸ナトリウムを使用する場合には、空練り前に投入した。測定項目は、練上がり温度、15打フロー（JIS R 5201 準拠）および材齢28日の圧縮強度（Φ5×10cm）とした。養生条件は、20℃封かん養生と、最高温度60℃3時間の蒸気養生後に20℃気中養生を行う2種類とした。

また、使用材料のCO₂排出原単位を**表4**に示す。数値の根拠や出典は、表に記載の通りであり、これらの数値と配合量から、各水準のジオポリマーにおける材料由来のCO₂排出量を算出した。

4. ジオポリマーへの炭酸カルシウムの適用

試験水準を**表5**に示す。活性フィラー中の高炉スラグ微粉末の割合（BS/F）は10、30、50vol%の3水準、活性フィラー中の炭酸カルシウムの割合（以下、CC/F）は0、30、50、70vol%（以下、CC0、CC30、CC50

表4 使用材料のCO ₂ 排出原単位 ^{1,3)}							
CO ₂ 排出原単位(kg-CO ₂ /t)							
L			F			S	
SC ※5	SH ※1	SF ※3	FA ※2	BS ※2	CC ※4	S1 ※2	S2 ※2
~415	164	20	20	27	~440	4	4

※1:参考文献1)に基づく
※2:参考文献3)に基づく
※3:参考文献3)を参考に、FAと同値とした(FAと同様にCO₂排出源は製造時の分級電力のみと仮定)
※4:CO₂を固定して作製と想定した炭酸カルシウム中のCO₂の割合から算出(作製時等のCO₂排出量は無視)
※5:CO₂を固定して作製と想定した炭酸ナトリウム中のCO₂の割合から算出(作製時等のCO₂排出量は無視)
注)水及び化学混和剤のCO₂排出原単位は「0」とした。

表5 試験水準

水準	BS/F (vol%)	CC/F (vol%)
CC0	10,30,50	0
CC30		30
CC50		50
CC70		70

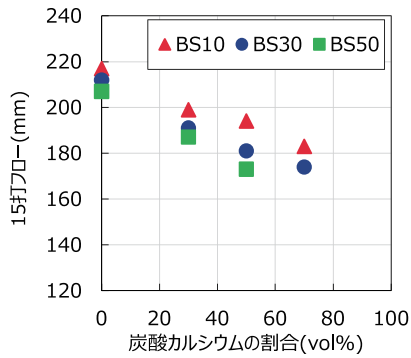


図3 15打フロー

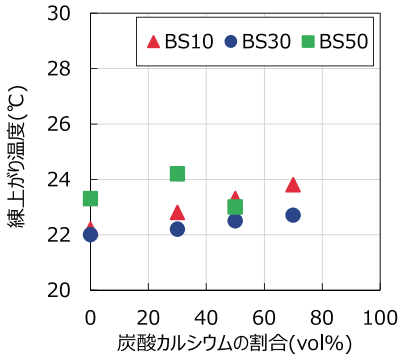


図4 練上がり温度

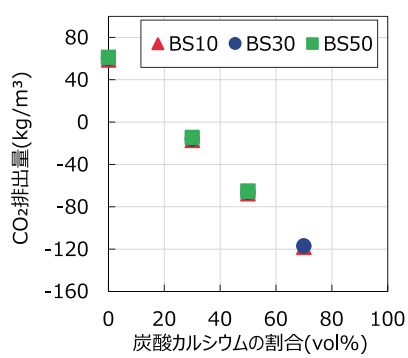


図5 CO₂排出量

およびCC70)の4水準とした。高炉スラグ微粉末、炭酸カルシウム以外の活性フィラーはフライアッシュであり、例えばBS10-CC30の場合、BS10vol%、CC30vol%、FA60vol%となる。

4-1. 15打フロー

15打フローを**図3**に示す。CC/Fが増加するほど、15打フローが低下する傾向が見られた。これは、フライアッシュに比べ炭酸カルシウムのプレーン比表面積が大きいために粘性が増大したことが要因の一つと考えられる。また、同一のCC/Fの場合、BS/Fが増加するほど15打フローが低下する結果となった。本検討の範囲内では、炭酸カルシウムを活性フィラーとして使用した場合、流動性の低下におよぼす影響が大きいといえる。

4-2. 練上がり温度

練上がり温度を**図4**に示す。BS10およびBS30では、CC/Fが増加するほど練上がり温度が緩やかに上昇する傾向が見られた。一方、BS50では、CC30で練上がり温度が最大となった。練上がり温度の上昇は、何らかの反応熱や摩擦熱が原因と考えられる。

4-3. CO₂排出量

CO₂排出量を**図5**に示す。本検討での配合条件では、CC/Fを30vol%以上とすることで、カーボンネガティブ化が可能であることが分かった。ただし、本検討における炭酸カルシウムのCO₂排出原単位は、CO₂を固定して作製されたと想定した炭酸カルシウム中のCO₂の割合から算出しており、作製時等のCO₂排出量は無

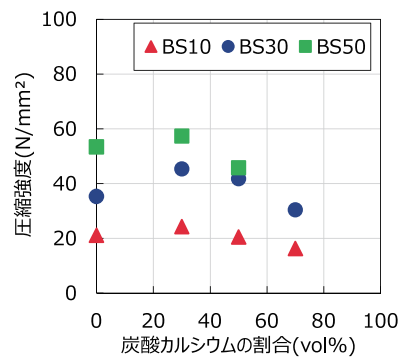


図6 圧縮強度(60℃3h蒸気養生, 材齢28日)

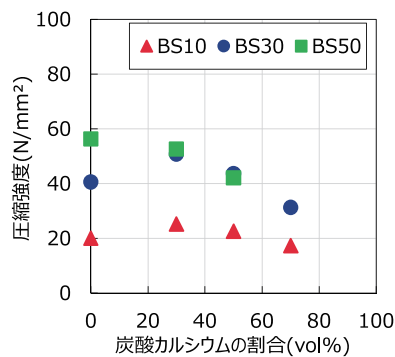


図7 圧縮強度(20℃封かん養生, 材齢28日)

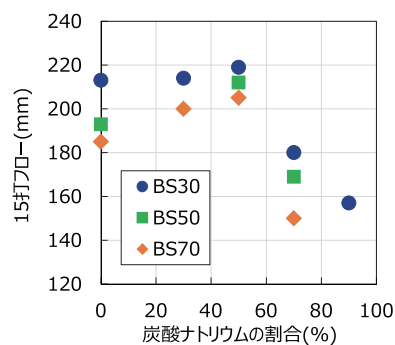


図9 15打フロー

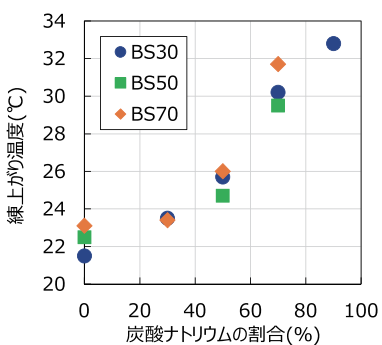


図10 練上がり温度

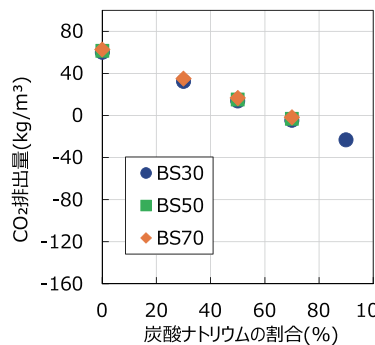


図11 CO₂排出量

表6 試験水準

水準	BS/F (vol%)	アルカリ構成比	
		SC (%)	SH (%)
SC0	30,50,70	0	100
SC30		30	70
SC50		50	50
SC70		70	30
SC90		90	10

※BS50－SC30は未実施

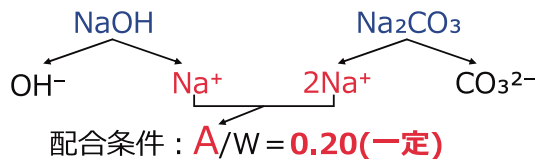


図8 炭酸ナトリウムの刺激剤利用の概略図

に炭酸カルシウムを適用した際の反応メカニズムの全容は未解明であるが、セメントコンクリートよりも高アルカリの環境下(A/W=0.20の場合、pHは約15)で炭酸カルシウムが反応しやすくなっている可能性があると考えられる。

5. ジオポリマーへの炭酸ナトリウムの適用

試験水準を表6に示す。活性フィラー中の高炉スラグ微粉末の割合(BS/F)は30, 50, 70vol%の3水準、炭酸ナトリウム(SC)および苛性ソーダ水溶液(SH)に含まれるNaの合計量を基準としたときの、炭酸ナトリウムに由来するNaの割合は0, 30, 50, 70, 90%(以下、SC0, SC30, SC50, SC70およびSC90)の5水準とした。図8に示すように、アルカリ溶液中の水に対するアルカリのmol比(A/W)は0.20で一定とし、炭酸ナトリウムは完全溶解すると仮定して配合計算を行った。

門田ら⁴⁾は、練混ぜ直後の炭酸ナトリウムと高炉スラグ微粉末の反応について、以下の式(1)のように、溶解したCO₃²⁻と高炉スラグ微粉末から溶出したCa²⁺が反応して微細なCaCO₃が沈殿し、液中のNa⁺濃度が上昇すると考察している。

視している点に留意が必要である。

4-4. 圧縮強度

養生条件ごとの材齢28日の圧縮強度を図6, 7に示す。CC0と比較してCC30では圧縮強度が増加し、CC50以降は低下する傾向が見られた。CC30での強度増加の要因は、炭酸カルシウムからCaが供給されることで、ジオポリマーの生成物の一つであるC-A-S-Hの生成量を増加させたことが考えられる。また、CC50以降の強度減少に関しては、活性フィラー中のフライアッシュの割合が過度に減少することで、SiやAlの供給量が減少し、N-A-S-HおよびC-A-S-Hの生成が停滞した可能性が考えられる。また、養生条件の違いによって、圧縮強度に大きな差は認められなかった。

主成分が炭酸カルシウムである石灰石微粉末がセメントコンクリートに利用される場合、その用途は流動性改善や水和熱低減などであり、結合材とは見なされない。一方、ジオポリマーの活性フィラーとして炭酸カルシウムを使用する場合、本検討の範囲内では、30vol%までは圧縮強度が増加しており、流動性の低下に留意する必要はあるものの、有用な結果となった。ジオポリマー

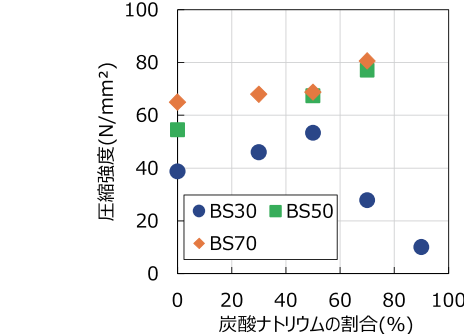


図12 圧縮強度(60℃3h蒸気養生, 材齢28日)

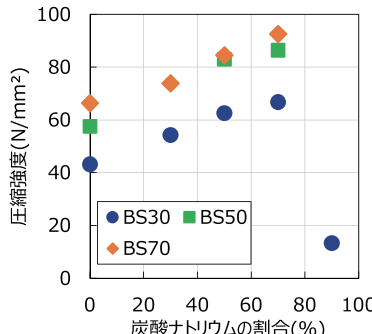


図13 圧縮強度(20℃封かん養生, 材齢28日)



ナトリウム塩は比較的溶解度が高いため、Na⁺は沈殿等せずイオンのまま液中に残存しやすい。液中のイオンは電気的中性条件(陽イオンの価数×濃度の積算値=陰イオンの価数×濃度の積算値)を満たす必要があるため、Na⁺が残存すると、水のイオン積に従ってOH⁻が増加し、pHが上昇すると考えられる。これを踏まえて以下に考察を示す。

5-1. 15打フロー

15打フローを図9に示す。式(1)のようにCaCO₃の沈殿が生じると流動性の低下を招く可能性も考えられたが、SC0と比較して、SC30, SC50ではいずれのBS割合でも15打フローが増加した。一方、SC70以降では15打フローが大幅に低下し、BS50-SC90およびBS70-SC90では流動性の悪化が著しく、練混ぜ不可であった。これは、炭酸ナトリウムの量が過多で練混ぜ直後には溶解し切らず、炭酸ナトリウムがフィラー

のまま残存したことが一因である可能性が考えられる。

5-2. 練上がり温度

練上がり温度を図10に示す。いずれのBS割合でも、炭酸ナトリウムの割合が増加するほど練上がり温度が上昇した。これは何らかの反応熱や摩擦熱によると考えられるが、炭酸カルシウムと比べ炭酸ナトリウム使用時の温度上昇量は大きく、溶解度(溶解熱)の差が一因と推察される。

5-3. CO₂排出量

CO₂排出量を図11に示す。本検討における配合条件では、炭酸ナトリウムの割合を70%以上とすることで、カーボンネガティブ化が可能であることが分かった。ただし、前述の通り、作製時等のCO₂排出量は無視している点に留意が必要である。

5-4. 圧縮強度

養生条件ごとの材齢28日の圧縮強度を図12, 13に示す。BS30の場合、SC0と比較して、封かん養生

ではSC70まで、蒸気養生ではSC50まで圧縮強度が増加し、以降は急激に低下した。一方、BS50およびBS70の場合、いずれの養生条件でも炭酸ナトリウムの割合が増加するほど、圧縮強度が増加した(ただし、SC90は前述のとおり練混ぜ不可)。式(1)の反応が進み、炭酸ナトリウムが完全に溶解したとすると、炭酸ナトリウムを使用した場合のpH上昇の上限値はSC0と同じと考えられるにも関わらず、圧縮強度が増加した水準が多く見られる。これらの原因については、本稿の範囲内においては明らかにできなかったため、今後の検討課題としたい。

また、SC70では蒸気養生のBS30のみ強度が低下したが、この原因は、相対的に高炉スラグ微粉末からのCa²⁺溶出量が少ないためにCO₃²⁻の消費速度が遅く、炭酸ナトリウムが溶解し切っていない状態のまま蒸気養生により反応が促進され、硬化体の骨格が早期に形成されたためではないかと考えられる。

炭酸ナトリウムを苛性ソーダ水溶液に置換し刺激剤として使用した場合、本検討の範囲内では、炭酸ナトリウムの割合が50%までは流動性が向上し、50～70%までは圧縮強度が増加するなど、有用な結果が得られた。当初は式(1)に基づくアルカリ溶液のpH上昇による硬化反応の刺激を想定していたが、それだけでは説明の困難な結果も見られた。炭酸ナトリウム使用時のジオポリマーの反応メカニズムは不明な点が多いため、その解明については今後の課題としたい。

6. まとめ

本稿では、ジオポリマーの更なる低炭素化と炭酸塩の用途拡大を目的として、CO₂を固定化したと想定した炭酸カルシウムおよび炭酸ナトリウムを、溶解法で作製したジオポリマーに適用する検討を行った。その結果を以下に示す。

- ジオポリマーの活性フィラーとして、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末および炭酸カルシウムを併用した場合、炭酸時カルシウムの使用量が増加するほど

流動性は低下し、30vol%までは圧縮強度が増加した。流動性の低下に留意する必要があるものの、有用な結果であった。

- 炭酸ナトリウムを苛性ソーダ水溶液に置換し、ジオポリマーの刺激剤として使用した場合、炭酸ナトリウムの割合が50%までは流動性が向上し、50～70%までは圧縮強度が増加するなど、有用な結果であった。
- 試算の結果、炭酸カルシウムおよび炭酸ナトリウムをジオポリマーに適用することにより、CO₂排出量を削減でき、更なる低炭素化が可能であった。
- 炭酸カルシウムおよび炭酸ナトリウム使用時のジオポリマーの反応メカニズムは不明な点が多く、その解明については今後の課題としたい。

【参考文献】

- 日本コンクリート工学会／建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会報告書、2017
- 佐藤隆恒，上原元樹，南浩輔，山崎淳司／ジオポリマー硬化体の種々の配合，作製法における生成物とpH等諸性質との関係，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.2325～2330，2016
- 土木学会／コンクリート技術シリーズ62 コンクリートの環境負荷(その2)，2004
- 門田浩史，新大軌，堀口賢一，坂井悦郎／Na₂CO₃水溶液の高炉スラグ・フライアッシュ系結合材による固化，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp.52～58，2013



2022年8月豪雨に伴う五能線中村川桥梁の 洗掘災害と復旧

Restoration of Nakamura River Bridge on the Gono Line that was damaged
by scouring due to heavy rain in August 2022

岸 滋 安田 祐輔 滝沢 聡

1. はじめに

2022(令和4)年8月2日以降、東北・新潟地方において低気圧に伴う前線による影響で豪雨が発生し、鉄道沿線でこれまでの観測記録を超える雨量が観測された。五能線では、豪雨により橋りょうや斜面など約70箇所で被害を受けた。そのうち青森県鯉ヶ沢町にある中村川桥梁では、一連の豪雨に伴う河川増水により、河川内の橋脚で急激な河床低下が発生し、洗掘による沈下・傾斜被害が確認された。

鉄道の河川桥梁では、近年の激甚化する豪雨に伴い河川増水による洗掘災害が多く発生している。特に洗掘被害を受けた桥梁の復旧に当たっては、被災橋脚を撤去・新設するのが一般的であり、仮締切設備等を設置する必要があるため、復旧に長時間を要することが課題である。

表1 中村川桥梁諸元

項 目		諸 元
構造 諸元	上部工	上路プレートガーター (ヲ540号) 支間長 12.9m×3連
	橋脚・基礎	躯体:RC造 基礎形式:直接基礎
しゅん功		1931(昭和6)年

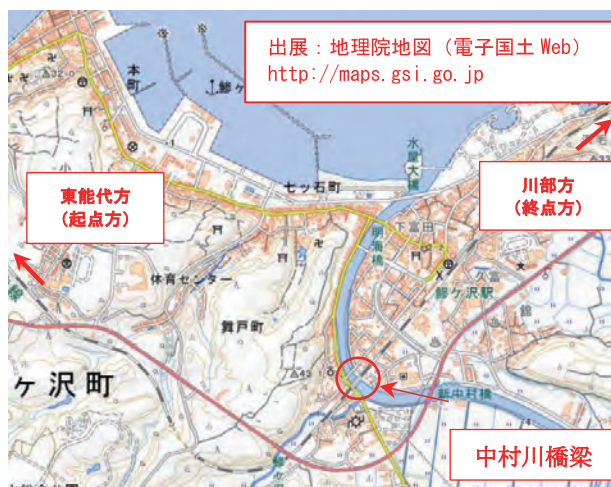


図1 中村川桥梁位置平面図

本稿では、洗掘による被害を受けた中村川桥梁について、被災橋脚を再利用して復旧した取り組みについて報告する。

2. 中村川桥梁の概要

中村川桥梁の諸元を表1に示す。当該桥梁は、青森県内を流れ日本海へ注ぐ二級河川中村川の河口部に位置する桥梁である(図1)。

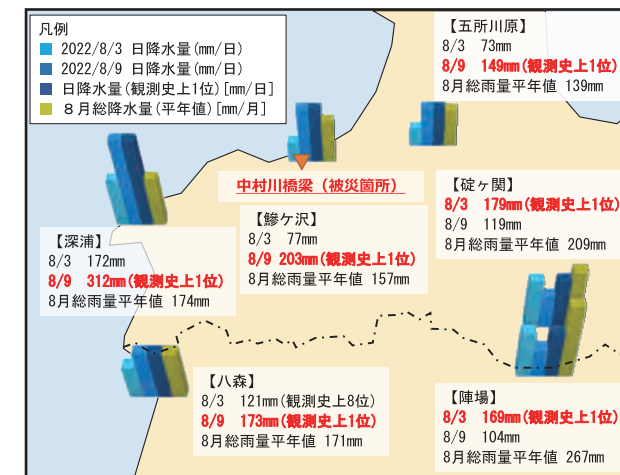


図2 2022年8月豪雨状況(秋田・青森県内)
[気象庁HP アメダス観測記録より作成]



写真1 中村川桥梁被災状況写真

3. 2022年8月豪雨の状況

2022(令和4)年8月2日から3日および8月8日から13日にかけて、低気圧が東北地方を通過し、前線が北陸地方へ南下し停滞した。この影響により、東北地方と北陸地方を中心に断続的に猛烈な雨が降り、記録的な大雨となった。

この影響により、青森・秋田県内では観測史上1位を記録する雨量を観測し、各地で甚大な被害が確認された(図2)。特に五能線では、今回の豪雨により運転を見合わせ、8月18日よりバスによる代替輸送を行った。

当該桥梁近傍のアメダス鯉ヶ沢観測所では、日降水量が観測史上第1位を記録(日降水量:203mm 2022年8月9日観測)した。また当該桥梁の桁下水位は、運転中止値を超過した。

4. 被災状況

4-1. 概況

中村川桥梁の被災直後の状況を写真1に示す。一連の豪雨により、2P橋脚において洗掘による橋脚の沈下・傾斜が確認された。

当該桥梁では、平常時に1P橋脚付近が滞筋となっていたが、河川増水により滞筋が2P橋脚付近に遷移し、上流側からの流下物が2P橋脚上流側に堆積したことにより、洗掘が進行したと推定された。

4-2. 被災箇所の詳細調査

当該桥梁の被災状況把握のため、近接目視調査を行った。調査は、沈下・傾斜した2P橋脚および橋桁(2~3連目)を中心に実施した。



きし しげる / KISHI Shigeru
東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター
副長



やすだ ゆうすけ / YASUDA Yusuke
同上
秋田土木設備技術センター
主務



たきさわ さとし / TAKISAWA Satoshi
同上
構造技術センター
マネージャー



写真2 2P橋脚被災後全景写真

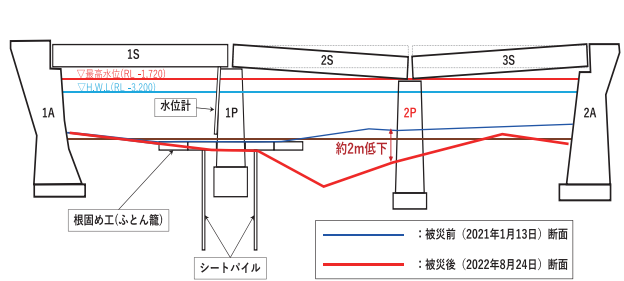


図3 河床断面図

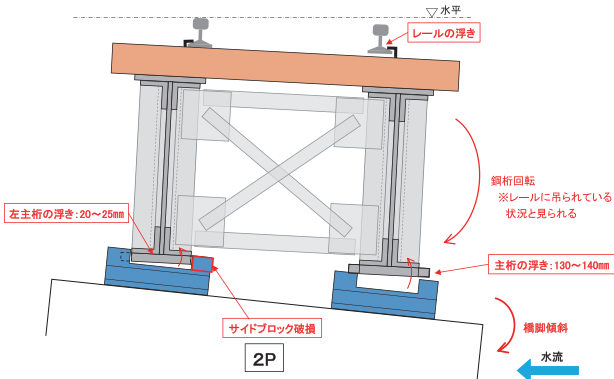


図4 中村川橋梁橋桁損傷概要図

2P橋脚では、上流側へ約500mm、東能代（起点）方へ約40mm水平変位し、約300mmの沈下が確認され、5.4°の傾斜（上流側：95/1,000rad、起点方：36/1,000rad）が確認された。ただし、躯体に明瞭な欠損といった損傷は確認されなかった。また橋脚周辺では、最大約2.0m河床が低下していた（写真2、図3）。

橋桁では、左右主桁の支点位置の移動や浮き上がりが見られ、一部サイドブロックの破損も確認されたが、大きな損傷は確認されなかった（図4）。

次に、橋脚基礎部の健全性を判断するため、2P橋脚へ衝撃振動試験を実施した。試験の結果、被災した

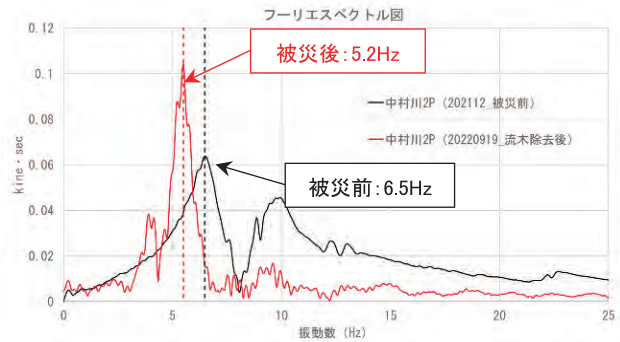


図5 衝撃振動試験結果（2P橋脚）

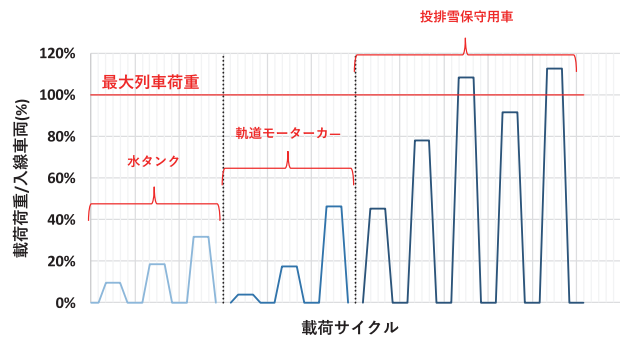


図6 静的載荷試験での載荷イメージ

2P橋脚の固有振動数は、5.2Hz（被災前：6.5Hz ※被災前後の低下率22%）であり、固有振動数は被災前後で著しく低下していなかった（図5）。

5. 早期復旧に向けた取組み

5-1. 復旧に向けた方針

被災した2P橋脚および橋桁（2、3連目）の復旧に向けて詳細調査を行った結果、致命的な損傷は確認されなかった。ただし、橋脚が大幅に傾斜（上流側に95/1,000rad）していること、橋脚周辺で約2.0m河床が低下し固有振動数が低下していることから、橋脚基礎の支持性能を確認し、支持性能に応じた対策を行うこととした。

そこで、2P橋脚の支持性能の確認のため、予備載荷試験、静的載荷試験を行った。試験では、橋脚への載荷荷重を当該線区の最大列車荷重まで段階的に増加させるために、①水タンクによる予備載荷試験、②保守用車（軌道モーターカー・投排雪保守用車）による静的載荷試験を実施した（図6）。

表2 静的載荷試験での判定基準

		警戒値	中止値
沈下量		20mm 以下	50 mm以下
傾斜角	1 サイクル	2/1,000rad 以下	6/1,000rad 以下
	累積	20/1,000rad 以下	30/1,000rad 以下



写真3 ブラケット・サンドルによる仮支承



写真4 水タンクによる試験状況

試験では、沈下量および傾斜角を計測し、計測値の判定基準は橋脚基礎の短期支持性能の設計限界値から警戒値、安全性の設計限界値から中止値をそれぞれ定めた¹⁾。また傾斜角については、1サイクルごとの警戒値・中止値に加えて、累積値として基礎の安定レベル2相当を警戒値、安定レベル3相当を中止値として定めた²⁾（表2）。

5-2. 予備載荷試験（水タンク）

試験に当たり、橋桁支承部は、ブラケットおよびサンドルによる仮支承として仮復旧した（写真3）。

試験では、2P橋脚付近の桁上に複数の水タンクを配置し、最大12t（最大列車荷重の32%）まで注水載

表3 試験結果（水タンク 最大12t載荷）

計測項目	沈下量	傾斜角	
	最大値	直角方向 +：上流 -：下流	線路方向 +：起点 -：終点
1mm	3 mm	- 1/1,000rad	- 1/1,000rad
3mm	3 mm	- 1/1,000rad	- 1/1,000rad
5mm	2 mm	0	- 1/1,000rad
除荷後	2 mm	0	+ 1/1,000rad

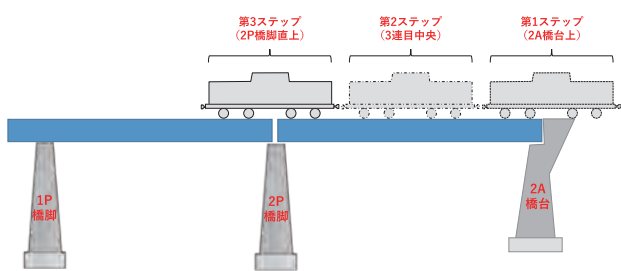


図7 保守用車による載荷イメージ

荷した（写真4）。注水載荷後、1分、3分、5分経過時に沈下量および傾斜角を計測し、5分経過時に排水除荷し、除荷後にも計測を行った。

試験の結果、最大荷重（12t）載荷時に最大沈下量3mm、最大傾斜角1/1,000radといずれも判定基準の警戒値以下であった（表3）。

5-3. 静的載荷試験（保守用車）

試験は、①軌道モーターカー（最大荷重18t：最大列車荷重の46%）、②投排雪保守用車（最大荷重43t：同113%）の順で実施した。試験に当たり、橋桁支承部は水タンクと同様に仮支承の状態とし、橋脚基礎部周辺は碎石および砂により被災前の地盤高相当まで埋戻しを行った。なお、埋戻し後に衝撃振動試験を行い、固有振動数は6.4Hz（被災前：6.5Hz）まで改善した。

試験では、2A橋台側から停車位置を徐々に近づけながら橋脚上に作用する荷重を徐々に増加させて載荷した（図7）。試験の結果、投排雪保守用車での最大荷重（43t）載荷時で最大沈下量2mm、最大傾斜角1/1,000radといずれも判定基準の警戒値以下であっ



写真5 載荷試験状況(投排雪保守用車)

表4 試験結果(投排雪保守用車 最大43t載荷)

計測項目	沈下量	傾斜角	
	最大値	直角方向 +: 上流 - : 下流	線路方向 +: 起点 - : 終点
1mm	2 mm	0	0
3mm	1 mm	0	0
5mm	1 mm	0	- 1/1,000rad
除荷後	1 mm	0	0

た(写真5、表4)。

5-4. 走行・制動試験

試験で使用する保守用車は、軌道モーターカーとし、15km/h、35km/hで車両を通過、停止・始動させ沈下量と傾斜角を計測した。

試験に当たり、橋桁支承部の復旧を行った。まず桁座天端が水平になるように、線路方向に1,670mm、線路直角方向に2,100mm、高さ最大617mm嵩上げし、既設橋脚とはアンカー筋(D13)により一体化を図った。なお嵩上げ部コンクリートは、24-12-20Hの普通コンクリートとした。

また、支承は既存のものを再利用し、サイドブロック破損箇所へ移動制限装置を追加設置した。なお移動制限装置の設計水平震度は、既存同等のkh=0.25、アンカーボルトはD25(M22)×埋込長250mm(SD345)を使用した(図8、9)。

試験の判定基準は、次のように定めた。沈下量は、2P橋脚フーチング底面の鉛直地盤ばね定数と走

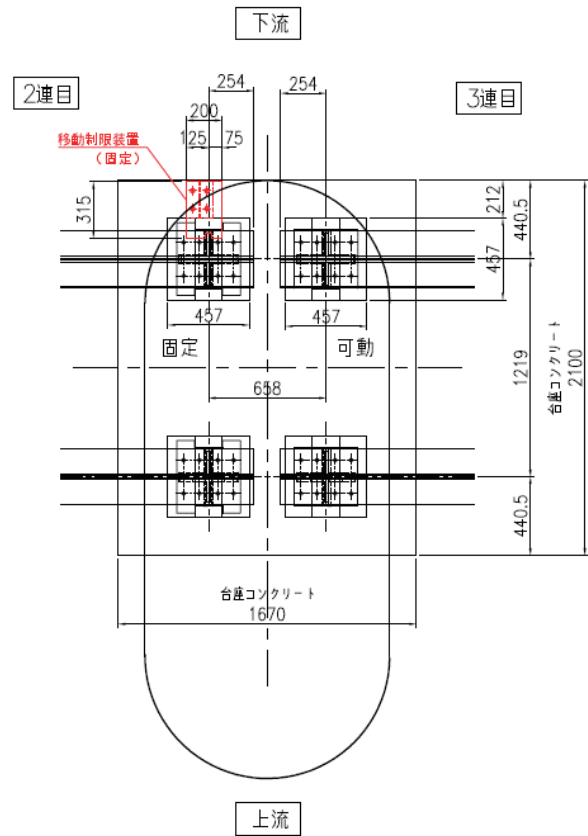


図8 桁座嵩上げ部概要図(平面図)

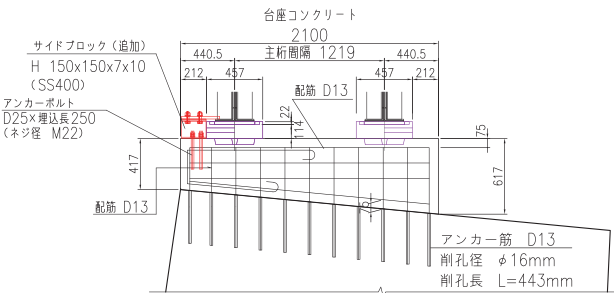


図9 桁座嵩上げ部概要図(断面図)

表5 走行・制動試験での判定基準

		判定基準
沈下量		0.1 mm
傾斜角	走行試験	1/10,000rad
	制動試験	0.2deg

行車両通過時の最大支点反力から得られる沈下量(=0.1mm)とした。傾斜角は、走行試験では計測機器の最小分解能(=1/10,000rad)とし、制動試験では当該区間の軌道整備基準値に達する傾斜角(=0.2deg)で定めた³⁾(表5)。

表6 走行・制動試験結果

走行試験	沈下量 (mm)	傾斜角 (1/10,000rad)	
	最大値	直角方向 +: 上流 - : 下流	線路方向 +: 起点 - : 終点
15km/h	0.056	0	0
35km/h	0.034	+1/10,000	0
制動試験	沈下量 (mm)	傾斜角 (deg)	
	最大値	直角方向 +: 上流 - : 下流	線路方向 +: 起点 - : 終点
15km/h	0.018	-0.003	-0.007
35km/h	0.010	-0.006	-0.008

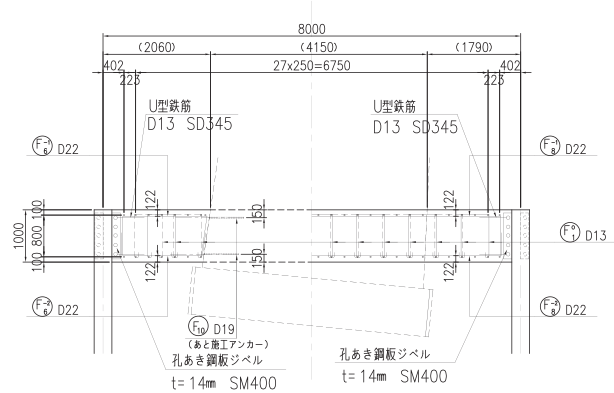


図11 基礎コンクリート詳細図

礎部の補強を行った。これは、仮土留に用いるシートパイル(鋼矢板)と直接基礎のフーチングを接合させる構造で、洗掘防止や耐震性能の向上が図られる(図10)。

本橋梁では、2P橋脚の基礎部周辺に鋼矢板(Ⅳ型)を設置し、既設橋脚フーチング上部に基礎コンクリートを新たに打設し、鋼矢板および既設橋脚フーチングとの一体化を図る構造とした。

本橋梁への適用に当たっては、中間支持型シートパイル基礎を適用した。鋼矢板の根入れ長の検討にあたり、地盤抵抗モデルとして、①既設フーチングへの鉛直地盤抵抗モデル・②鋼矢板への鉛直、水平地盤抵抗モデルを適用し、当該橋梁周辺のボーリングデータから根入れ長を算出(=8.4m)した⁴⁾。また基礎コンクリートは、30-12-20Hの普通コンクリートとした。

なお鋼矢板と基礎コンクリートとの接続部には、孔あき鋼板ジベル(t=14mm SM400)を設置し、U型鉄筋(D13 SD345)を配置する構造とした。また既設橋脚と基礎コンクリートは、あと施工アンカーD19で接続する構造とした(図11)。

施工に当たっては、鋼矢板打設時に橋脚が沈下・傾斜することが懸念されるため、変位制限として切梁を設置し、橋脚へは傾斜計を設置し、橋脚の挙動を常時計測しながら運転再開前までに打設を完了した。また盛土掘削時にも、傾斜計により2P橋脚の挙動を常時計測し、作業中に著しい傾斜角が計測された際には、列車抑止し点検を行うこととした。

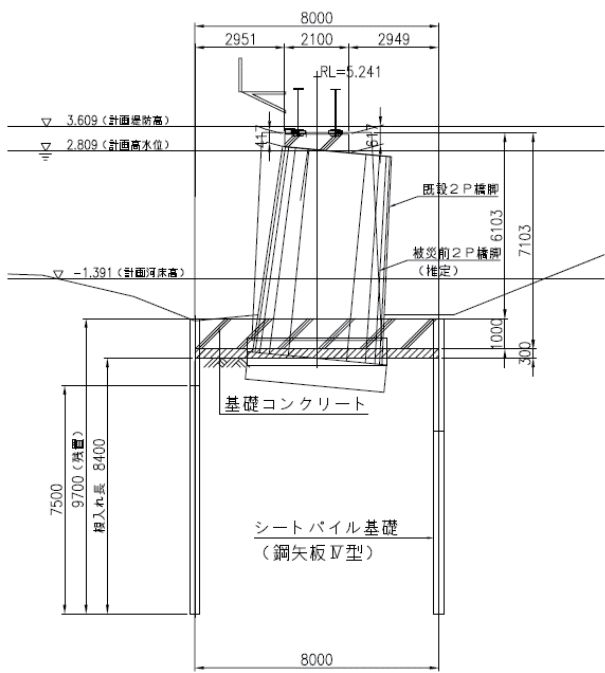


図10 シートパイル基礎工橋軸直角方向断面図

試験の結果、列車通過時や急制動による沈下や傾斜がわずかに見られたが、列車通過後の沈下量や傾斜角は判定基準以下であった(表6)。

以上より、橋脚基礎の支持性能は確保されていると判断し、営業列車による試運転を経て、2022年12月23日に徐行により運転再開した。

6. 恒久対策

恒久対策としては、シートパイル基礎工による橋脚基



写真6 復旧完了後全景写真

表7 災害復旧工程表

工種	2022年												2023年														
	8月			9月			10月			11月			12月			1月		2月		3月		4月					
	1	15	31	1	15	30	1	15	31	1	15	30	1	15	31	1	15	31	1	15	28	1	15	31	1	15	30
【① 既設橋脚再利用】：実施工程																											
準備・調査																											
上部工および橋脚補修																											
シートパイル基礎工																											
2023.3 恒久復旧完了																											
【② 橋脚再構築】：検討工程																											
準備・調査																											
橋桁仮受(ベント工)																											
橋脚再構築																											
4月下旬 運転再開																											

7. まとめ

【参考文献】

- 1) 鉄道総合技術研究所編／洗掘被災橋りょうの再供用による応急復旧マニュアル，2021
- 2) 鉄道総合技術研究所編／鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，丸善出版，2012
- 3) 加藤健二，鈴木博人，田中淳一／洗掘検知装置の概要と警報発令基準値の設定方法，SED，No.17，pp.168～175，2001
- 4) 鉄道総合技術研究所編／鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル(案)(第3版)，平成26年3月

中村川橋梁では，当初被災した2P橋脚を撤去・新設し復旧することを検討していたが，2P橋脚の健全性を判定し，再供用を前提に復旧方針を検討した。健全度の判定では，不安定化した基礎部へ載荷試験(予備載荷試験，静的載荷試験，走行・制動試験)を行い，恒久対策としてシートパイル基礎を行った。その結果，2022年12月23日に運転再開し，2023年3月に恒久対策が完了した(写真6，表7)。

近年の激甚化する豪雨により，鉄道河川橋梁での洗掘被害が今後懸念されるところであるが，今後の災害復旧に対し，本稿が同種の洗掘災害の復旧等の一助となれば幸いである。最後に，中村川の災害復旧に際し，多大なるご協力を頂いた(公財)鉄道総合技術研究所に感謝申し上げます。

出ました。

クリップボードの
コンクリート化学編



ブルーのカバー
e3 (シーシリーズ)
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 (シーシリーズ)
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



出張の先々での楽しみ

原田 修輔

読者の皆さんも何かと仕事で地方に出張されることが多いと思う。斯く言う私も約50年という長きにわたって会社務めをしてきたので、学会、技術指導、現場調査、クレーム処理などで全国各地を巡った。振り返ってみると全国に都道府県47ある中で、訪れていないところは愛媛県を残すのみとなった。こういった出張では各地の旧所や名所を訪れることはできなかったが、出張先が都市部だけでなく鄙びた地方や人里離れた山間部の場合もあり、移動途中の昼食や宿泊時の夕食で各地の特産や珍味を味わうことができた。

例えば、山間部の現場に行けば、熊や鹿の刺身、猪鍋、山菜など初めて食する珍味に巡り合ったこともあるし、海の近くに行けば都会では高級料理なるものを割安で贅沢に頂けた時もあった。未知への体験やお得感を味わえ、ハードな出張であっても至福な時を過ごすことができ、次の仕事への活力となることもあった。誌面を借りて幾つかの楽しい思い出を披露したい。

秋田の河口堰の建設現場にマスコンの温度応力の検討で呼び出された時に、採れたての新鮮な「じゅんさい」を口にする機会に恵まれた

が、経験したことのない食感と喉越しを味わった。また、「ミズ」という山菜もこの時初めて頂き、暫らくこの山菜の虜になったことがあった。「ミズ」の正式名は「ウワバミソウ」とのこと、茎の部分は見かけが「フキ」に似ているものの食感は全く異なり「シャキシャキ、ネバネバ」と独特である。この「ミズ」は秋口になると茎と葉の付け根にハート型の紫色をした「ミズのコブ」と呼ばれる小さな実が付くが、これも大変美味しい。紫色の「ミズのコブ」は茹でることで緑色に変化し、こちらも山芋のように「シャキシャキ、ネバネバ」と食感が独特である。東北へ出張し時間に余裕があった時には、地元の市場や八百屋に立ち寄って「ミズのコブ」を探してしまうことも屡々で、この味と食感に魅せられ病み付きになったことが懐かしい。

この他に山菜では、「ワラビ」や「タケノコ」の印象が深く残っている。ワラビでは灰汁抜きをした長さ30cm程度の紫ワラビの茎をそばの麺のように何本も吸って食した時の感動が未だに忘れられない。ワラビに形状が良く似たもので「コゴミ」や「ゼンマイ」があり、こちらも珍味だが、味も食感もワラビとは全く異なる。紫ワラビはとても柔らかく、口いっぱいに頬張って

食することで感じる甘みとヌメリ感と香りは独特である。

タケノコでは孟宗竹のタケノコが最も一般的で美味だが雪国で採取される根曲がり竹も絶品だ。根曲がり竹を熊に荒らされる前に地元の方が命懸けで競って収穫されたものを地場のお店で地酒と一緒にいただいたが格別だった。

山菜について縷々ご紹介したが、思い起こせば山菜に興味があったわけではない。たまたま新入社員で配属された職場が山里に近く、職場の周りは雑木林に囲まれ、先輩社員の方々が昼の休憩時間に山菜の収穫物を手に職場に戻ってくるのを目にしたのが始まりだ。タラの芽、アケビの新芽、タケノコ、アケビ、山芋、零余子(むかご)、山栗など四季折々に収穫される山菜は多種にわたる。職場の先輩はこれらの収穫物を自宅で調理して会社に持ってこられ、お昼にご相伴に預かって野趣あふれた味を堪能させてもらった。というより、先輩の収穫物に興味津々な私を見て、先輩が慈悲心でお裾分けして下さったということである。会社に入るまでは全く知らなかった山菜の奥深い世界を教えて頂いた先輩には感謝の気持ちで一杯である。

最近では出張する機会もめっきりと減り、旅先で珍味と出会うような僥倖に恵まれることは少なくなってきた。人生も白秋の頃を迎え、健康と体力維持のために週末はウォーキングをするように努めているが、雑木林や雑草だらけの

野原の近くを歩いている時に、何気なく山菜じゃないかと目を凝らしている自分がいるのは、当時の先輩からこれまでに仕込まれた性であろうか。ゆっくりと時間が取れるようになれば、今度はプライベートでこれまでに訪れた各所を巡り、彼の地の旧所や名所を訪れるとともに山野の珍味を再び堪能したいものだと思う今日の頃である。

〔はらだ しゅうすけ／

全国生コンクリート工業組合連合会 常務理事〕



長崎市新庁舎

RC柱梁+木質耐震壁により 意匠・構造・設備を統合したファサードデザイン

New Nagasaki City Hall
Facade design integrating Architectural design, Structure, and Facilities
by RC Frames and Wooden Earthquake-Resistant Walls

小俣 慶太 大塚 直

1. はじめに

長崎市新庁舎は、旧市庁舎が抱えていた老朽化や耐震強度不足を解決する庁舎として、2023(令和5)年1月に開庁した。旧市庁舎は複数棟に分かれ、窓口機能が分散配置されていたため、新庁舎ではこれらを集約し、組織規模に応じた面積の執務室を積層することで高層化(建物高さ90.86m)し、都市の中心を示すランドマークの役割を持つ建築となった(写真1)。計画に際し、防災拠点庁舎として高い耐震安全性を確保し、市民の安全と安心を守るだけでなく、社会的要請としての省エネルギー化や脱炭素にも取り組むことが技術的なテーマとなった。そこで、免震構造を採用し、免震上部架構において鉄筋コンクリート(RC)造(一部プレキャスト(PCa)部材や、プレキャストプレストレストコンクリート(PCaPC)部材を採用)の格子フレームと木質耐震壁を組み合わせ、高い剛性を持つ「外殻構造」として免震効果を高めた。木質耐震壁には、長崎県産材の杉を利用したCLT(Cross Laminated Timber)



写真1 建物全景



写真2 RC柱梁とCLTパネルによるファサード

のパネルを用いており、外皮の断熱性能と耐震性能を向上させている(写真2)。

本稿では、断熱効果や日射遮蔽効果を高めつつ、建物の外観・内観を構成する鉄筋コンクリート格子フレームに関する内容を主としながら、計画の概要や、

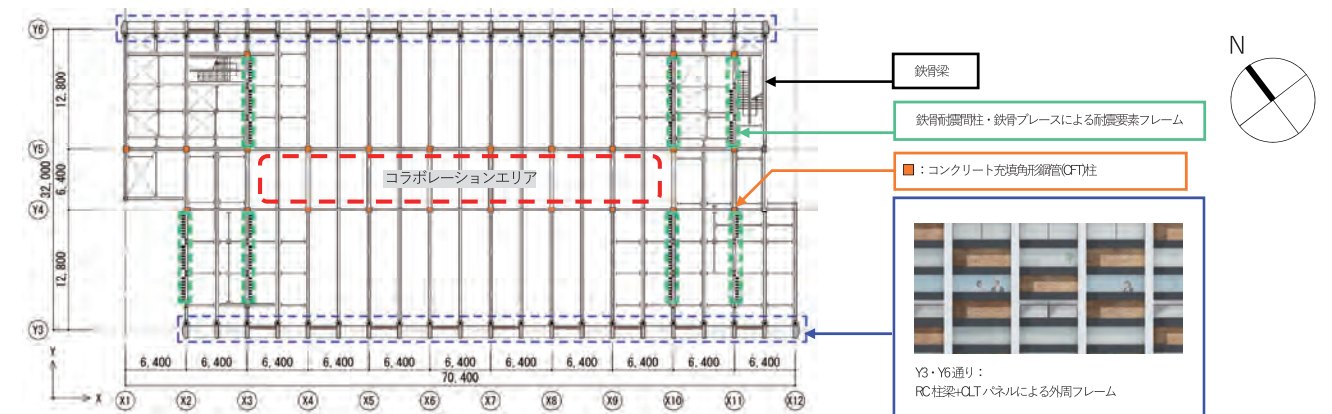


図1 基準階(7階～上部)略伏図



図2 オフィス内の環境イメージ



写真3 基準階・執務室内観

プレキャスト部材やPC圧着工法の採用による工期短縮の工夫について述べる。

2. 建物概要

敷地形状に合わせ、長手方向の壁面を南北に向けた建物形状としている。基準階の執務室は、建物中央をコラボレーションエリアとし、両サイドにコアを持つ平面形状(70.4m×32.0m)とした(図1)。執務室南北面の外皮は、扁平部材を用いた格子状のRC柱梁により構成しており、柱はプレキャストコンクリート

(PCaRC)造、梁は現場打ちRCおよびPCaPC造を採用している。これらの部材を、柱は@3200mmで配置し、梁は高さ方向に@1330mmで階高を3分割する配置としている。

この架構では、格子フレーム面からサッシ(自然換気機能付)面を800mm程度後退させることで日射遮蔽効果を持たせており、格子フレーム内に組み込んだCLTパネル(断熱性能を見込む)と共に環境装置としての役割を担う(図2)。また、この架構はデザインの特徴でもあり、超高層建物としての柱梁の概念を脱したプロポーション(見付け寸法400mm)で統一し、簡潔な外観を構成している。内部空間にも、天井を張らずに直吊りした放射空調の金属パネルを採用しており、RC格子フレーム、CLTパネルと共に力強い素材感を持ったインテリアを構成している(写真3)。これらの外皮構成や、内部での設備システムの組み合わせにより、ZEB Readyの認証を取得している。

建物の外皮性能の評価値の一つで、年間熱負荷係数の基準値に対する設計値の割合であるBPIは0.88(1以下で省エネ基準相当)、建物の利用に伴う直



おだわら けいた / ODAWARA Keita
(株)山下設計
構造設計部
主管



おおつか なお / OTSUKA Nao
同上
第2設計部
主管



図3 全体構造架構パース

接的なエネルギー消費量の基準値に対する設計値の割合であるBEIは0.50(数値が小さいほど省エネの程度が大きい)である。

- ・建物の概要を次に示す。
- ・建築主：長崎市
- ・所在地：長崎県長崎市魚の町4番1号
- ・主要用途：庁舎(事務所)
- ・建築面積：4,022.69m²
- ・延床面積：51,752.46m²
- ・高さ：90.86m
- ・階数：地下1階，地上19階，塔屋1階
- ・設計監理：山下設計・建友社設計・有馬建築設計事務所 特定設計業務共同企業体
- ・施工：清水・西海・長崎土建 特定建設工事共同企業体(建築工事)
- ・PC緊張工事施工：(株)建研
- ・構造形式：免震構造(免震層=1階床下)，ブレース・耐震壁付ラーメン構造
- ・構造種別：地下RC，地上S(一部RC・PCaRC・PCaPC・SRC)造
- ・基礎形式：直接基礎

3. 構造計画

3-1. 構造計画概要

災害時の防災拠点として機能する庁舎とするため、

極めて稀に発生する地震動に対しても安全性を保持し、損傷を最小限に抑えることを目的として免震構造を採用した。免震層は1階床下に配置しており，地下1階の駐車場以外の庁舎の主要機能(執務室や窓口，議場等)は全て免震層上部の地上階に計画している。地上階の建物形状は，図3に示すように1～5階の低層部に対して6階～上部の南側外壁面がセットバックし，高層階において図1で示した平面形状となる。建物全体の構造種別は，高層，ロングスパン建物への適用性の高い鉄骨造を基本としているが，高層(塔屋を含め20層)となる部分の建物内側(主にY4，Y5通り)の柱は，強度，剛性，変形性能に優れたコンクリート充填角形鋼管(CFT)柱とした。

一般に，鉄骨造の高層建物は架構の水平剛性が小さく，免震構造であっても地震時には上階に向かい加速度や変形が増幅する傾向にある。これを抑制するには，免震上部架構の水平剛性を免震層に対して十分高くし，免震効果を向上させる必要がある。そこで，鉄骨造の高層建物では外装材をカーテンウォールとすることが多い中，剛性確保の為に，建物長手(X)方向の外壁面を鉄筋コンクリート造の柱梁により構成した。また，そのフレームの内部に木質耐震要素(CLTパネル)を配置し，更に水平剛性を付与した。

建物短辺(Y)方向は，EV，階段室等が配置される両サイドのコア周囲に，鉄骨耐震間柱や鉄骨ブレースによる耐震要素を配置して剛性を高めた。計画初期の段階で，短辺方向を含めた建物全体のRC化の検討を行ったが，地震時に大きな引張力が作用する箇所では断面寸法が過大になることや，建物重量を軽減してファサードを構成するRC柱梁断面を極力スリム化することを優先した結果，採用を見送り，RC造と鉄骨造のハイブリッドとして設計した。

地下階(免震層下部・駐車場)は，外周部に土圧壁を配置したRC造耐震壁付きラーメン構造とした。基礎底版レベル(設計GL-10.1m)で，N値が概ね60以上，せん断波速度V_sが1,000m/s以上となる凝灰角礫岩層に位置する為，直接基礎を採用した。

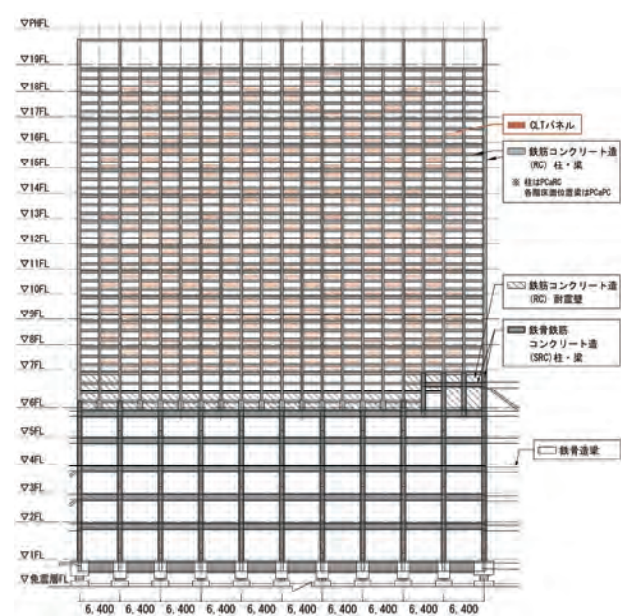


図4 外殻フレーム略軸組図(Y3通り)

3-2. 外殻構造の計画概要

高層部の長手方向外壁面を構成するY3，Y6通りの架構のうち，Y3通りの略軸組図を図4に示す。格子状に配置したRC柱梁は設計基準強度F_c = 60N/mm²の高強度コンクリートを用いており，断面寸法は柱幅400mm×奥行1,250mm，梁幅1,200mm×梁せい400mmとした。フレーム最外端位置の柱と，南側フレーム(Y3通り)の1～5階部分を除き，全部材を同一寸法で統一した。

南側フレーム(Y3通り)では，1～5階の低層部分が建物内側となるため，6F～上層部で3,200mmのピッチで配置した柱を1～5階において6,400mmのピッチに縮約し，階中間の梁(床スラブが取り付けられない中段梁)を設けない架構形式とした(Y6通りでは1～5階でも柱を縮約せずに3,200mmのピッチとする)。柱本数を縮約した1～5階部分では，フレームの剛性，耐力の確保のため，構造種別をSRC造とした。柱本数の切り替え階となる部分(6階)では，下層で柱抜けとなる部分において柱梁フレーム内にRC造の耐震壁を挿入し，上階からの柱軸力を左右の柱に伝達させている。6階では耐震要素の平面的な配置位置のバランスを取るため，北側外壁面(Y6通り)でもRC耐震壁を設けている。このように，6階では外壁面に開口を多く確保

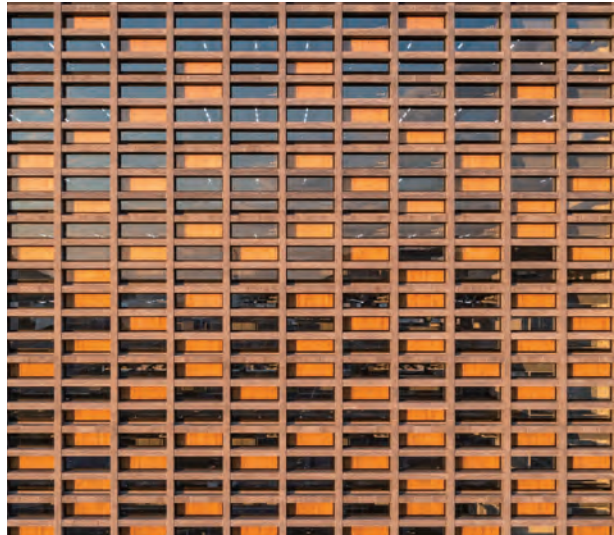


写真4 南側外壁面

することができないため，この階を機械室として計画している。

フレーム内に組み込むCLTパネルは強度区分S60A，幅はぎ有り，7層7プライの構成で厚さ210mmとし，RC柱梁の内法に対して10mm小さい幅2,780mm×高さ760mm～1,055mmとした。木質系部材と非木造架構では，非木造部の施工誤差を踏まえてどう接合するかが課題となるが，本計画ではCLTパネルとRCとの10mmの隙間にエポキシ樹脂を注入する接着工法を採用した。

RC柱梁は，建物の外観デザインや，建物内部からの眺望等の観点から，極力見附幅を小さく設計することに注力した。CLTパネルに地震時のせん断力を負担させていることがRC柱梁の断面縮小に寄与していることは言うまでも無いが，柱の長期軸力を極力均等化することや，地震時の変動軸力(特に，フレーム最外端位置の柱に生ずる引張力)を抑制することも重要であった。柱の長期軸力の均等化については，1階柱が3,200mmのピッチで並ぶY6通りで，各柱の直下位置に鉛直剛性がほぼ均等な免震装置を配置して対応している。また，変動軸力の抑制については，CLTパネルの配置を工夫することによって対応している。CLTパネルは，市松状の配置を基本としつつ，建築計画上，窓やガラリーを計画している箇所等を避けながら，応力負担に応じて配置位置や枚数を調整しているが(写真4)，

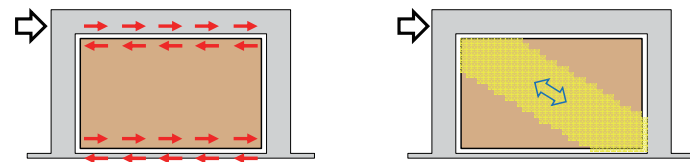


図5 CLTパネル接着工法の地震時抵抗システム

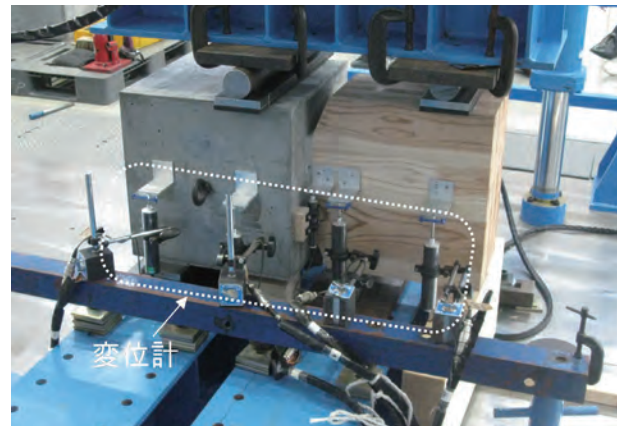


写真5 接着接合部のせん断強度試験（要素実験）

RC柱梁を細かく配置したことにより、CLTパネルの配置も細やかに調整することが可能となっており、地震時に柱に生ずる引張力も効果的に抑制している。

建物長辺(X)方向に作用する地震力（極めて稀に発生する地震に対応する設計用せん断力）に対し、CLTパネル(Y3, Y6通り)のせん断力負担割合は、建物全体に対して25～40%強であり、RCフレームと合計すると、約80%のせん断力を外殻構造にて負担する結果となる。

CLTパネルは床コンクリート打込み後に横から嵌め込むことでフレーム内に納めており、鉛直荷重を負担しない部材のため、耐火性能が要求されず、現しとしている。これにより、外観を特徴付け、内部からは手で触れることを可能とした。建物全体でのCLTの設計数量は約300m³である。

4. CLTパネルのせん断抵抗機構および破壊機構

RCフレーム内部にCLTパネルを嵌め込み、接着接合する工法は、水平力に対してCLT上下面とRCの接着面がせん断抵抗し、接着接合部がせん断破壊

する破壊形式となる(図5)。本建物は免震構造であり、極めて稀に発生する(レベル2)地震に対しても、接着接合部がせん断破壊しない設計としているが、想定外の外力に対してせん断破壊した場合にも、その後もCLTが圧縮ストラットを形成して水平力に抵抗し続けることを実験により確認しており、冗長性の高い構法となっている。以下に、設計時に行った要素実験とフレーム実験の概要について示す。

4-1. 接着接合部のせん断強度試験（要素実験）

RCフレームとCLTパネルを接着接合する工法は耐震改修を主として開発が進められてきた経緯があり¹⁾、高強度コンクリートを用いた場合の接着接合部のせん断耐力の設定について十分な技術的蓄積が無かった。そのため、本建物で用いる高強度コンクリート($F_c=60\text{N/mm}^2$)によるRC躯体と、CLTの接着接合部のせん断耐力を測定する要素実験を行い、せん断耐力を設定した(写真5)。せん断耐力は、5つの試験体のせん断破壊時の平均せん断応力度5%下限値に基づき、 $\tau=3.27\text{N/mm}^2$ とした。

4-2. 1/2 試験体による正負交番漸増載荷試験

RCフレームにCLTパネルを挿入することによる水平剛性の増大効果や、接着接合部のせん断破壊後の地震時挙動の把握を目的として、フレーム試験体を用いた実験も行った(写真6)。試験機の性能の都合上、実断面の1/2のスケールで1スパン1層分の試験体を製作し、水平力加力時の変形角・破壊状況が実大フレームとおおむね一致するよう柱梁の配筋を設定した。目標変形角(CLT部分)が1/2000から1/30になるまで水平力を漸増させる正負交番の载荷を行った。

実験の結果、接着接合部のせん断破壊時における

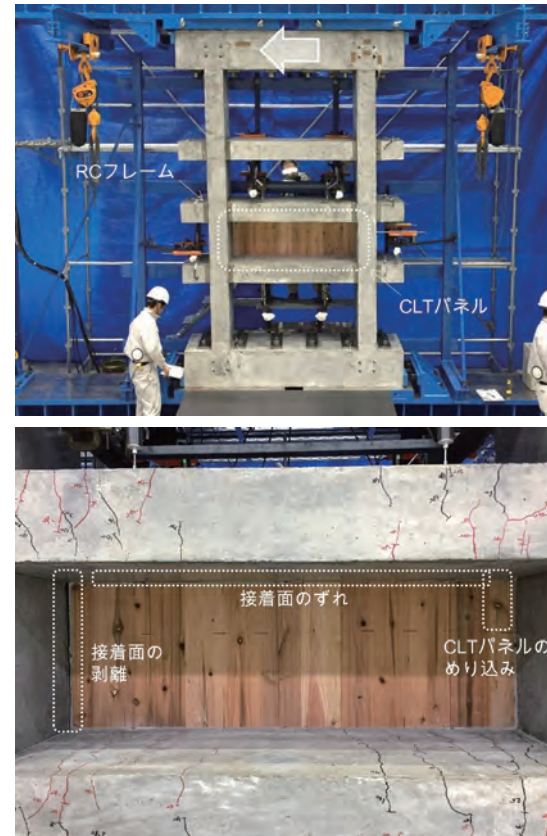


写真6 フレーム実験（最終変形角1/30の状況）

架構変形角は、CLTパネル部分で1/312であり、その時点の純ラーメン部分の変形角は1/149であった。

本建物の設計では、CLTパネルを等価なせん断剛性(CLTのせん断弾性係数 $G=0.60\text{kN/mm}^2$)を持つブレースに置換して応力解析を行っている(図6)。ブレース部分に、せん断応力度が $\tau=3.27\text{N/mm}^2$ (接着接合部のせん断耐力)に達した後に剛性が0となるバイリニアの復元力特性を適用し、実験を模擬した解析を行ったところ、実験結果と解析結果はおおむね一致し、解析手法の妥当性が確認できた。図7はCLTを設置した部分(下から2段目)の荷重と変形角の関係を示している。縦軸は試験体の頂部に加力した水平力Pであり、横軸の変形角は、上下梁位置の変位差を梁芯間の高さで割って算定した値である。

5. PCa部材・PC圧着工法による工期短縮

本建物のような超高層で、かつ細かくRC柱梁を配

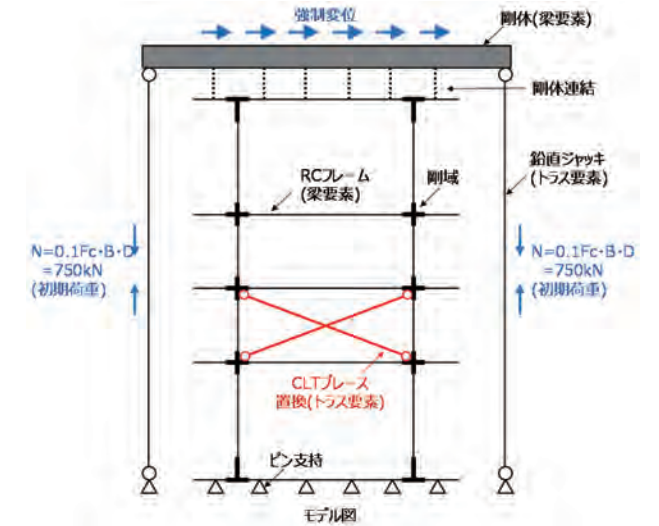


図6 解析モデル

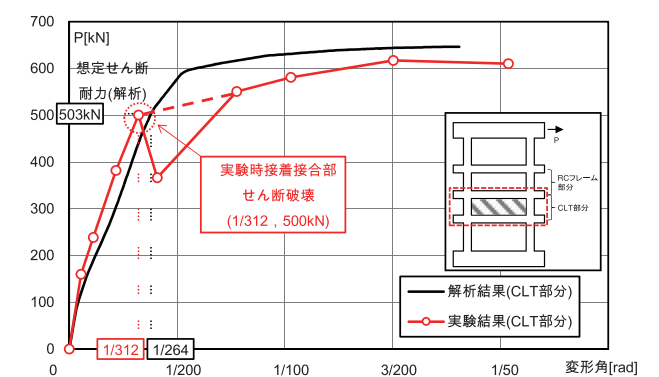
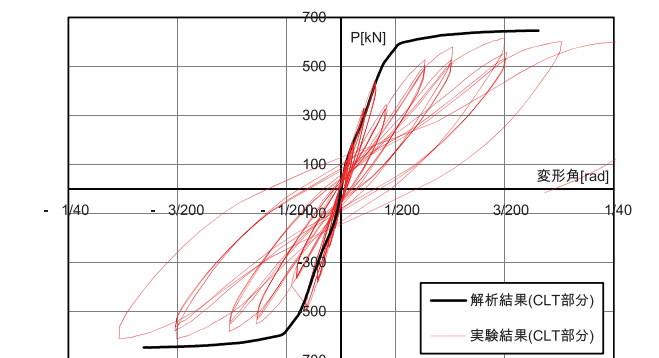


図7 実験結果と解析結果の荷重-変形曲線
[縦軸：頂部水平力P 横軸：CLT設置部分の変形角]

置した建物の場合、工期短縮が重要な課題となる。そこで、現場打ちのRC部材とPCa部材を適材適所に採用し、工事費にも配慮しながら工期短縮の工夫を行った。

まず、柱は全てPCaRC柱とし、FLの位置で階ごとにピースを分割した。また、各階のFL位置で、床スラブが取り付け梁もPCa化し、PC鋼材を配線した

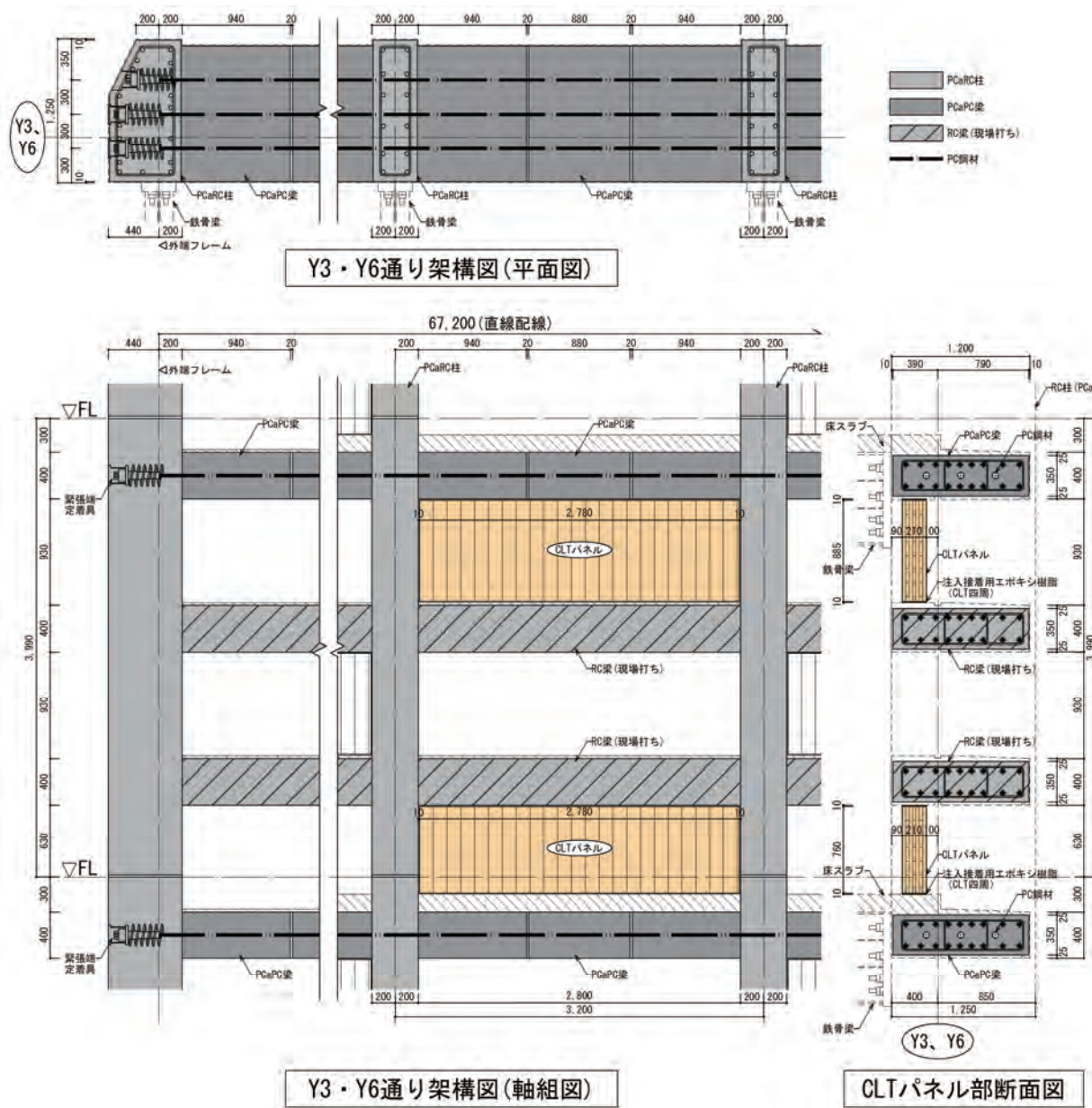


図8 外殻フレーム詳細図

PCaPC 梁とした(図8)。

本計画での梁にPC 鋼材を配線する主たる目的は、PC 圧着工法の採用による工期短縮である。一般的に、応力的な観点から構造計算上プレストレス力に期待した設計を行う場合、梁部材はロングスパンであることが多く、3.2m のスパンで計画した本建物の場合、構造計算上はPC 鋼材の配線は必須ではない。ただし、各階 FL 位置の梁は床荷重を受け、階中段の床スラブが取り付けられない梁に比べて長期応力が大きいため、プレストレス力を用いずに中段梁と同一の梁せい(350mm)として設計する場合は、中段梁に比べて配

筋量が過大となる。そのため、PC 鋼材の配線によって、配筋納まりについても簡素化できていると言える。

3.2m スパン(内法2.8m)のPCaPC 梁部材は、スパン内に2カ所の目地(幅20mm)を設け、3分割(両端940mm、中央880mm)した。両端の940mmの部分は柱ピースと一体としてT 字形状(外端部はL 字形状)となり、このT (L) 形状のピースと梁スパン中央部の小さなピース(長さ880mm)をPC 鋼材(7-SWPR7B-φ12.7mm)にプレストレス力を導入することで圧着した。

PCa 部材のピース分割は、分割数や各ピースの長さ等、想定できる組み合わせが複数存在する。また、



写真7 PCaRC 柱ピースの架設状況



写真8 緊張工事の状況

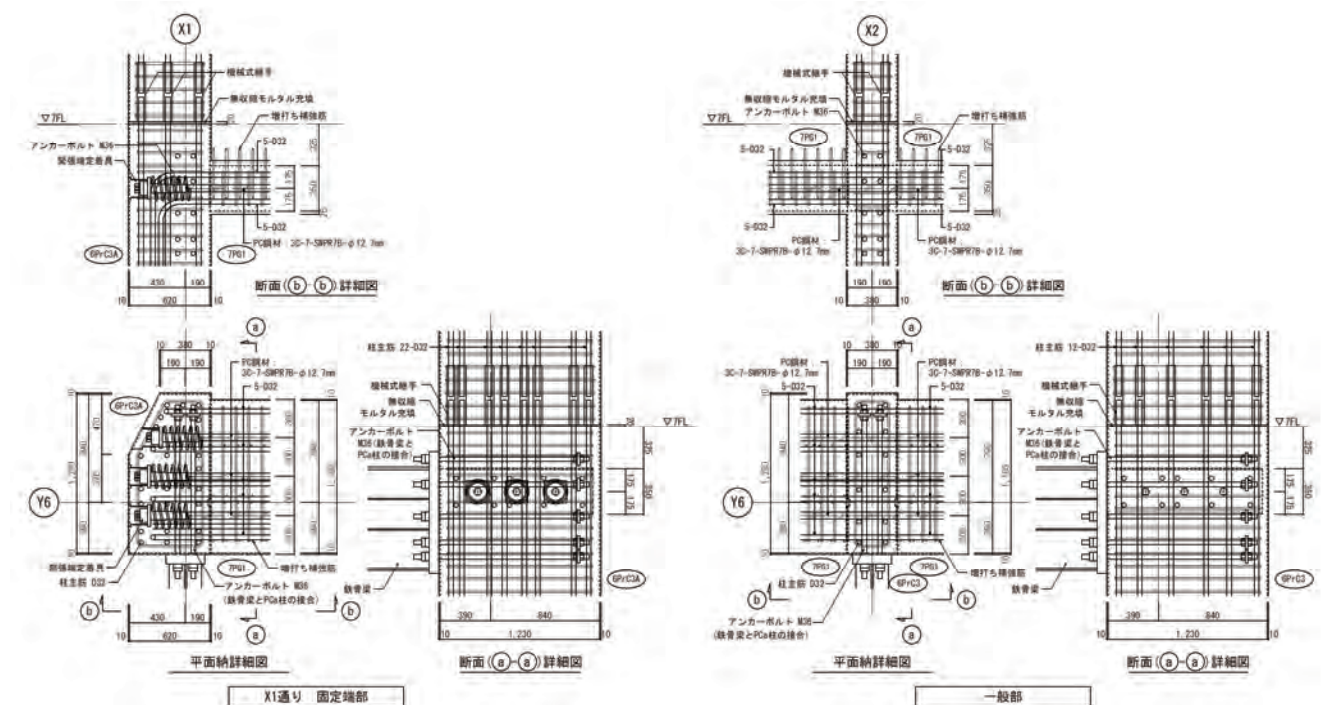


図9 PCa 部材・PCaPC 部材詳細図

柱梁の接合でも設計当初の段階からPC 圧着工法を採用する考えではなく、当然ながら通常の異形鉄筋にて構成する案も検討した。このように、ピース分割、接合方法とも、設計段階で複数案を比較検討した結果、コスト、工期、工場から現場への輸送効率等の観点から最も合理的なPC 圧着工法を採用した。PC 鋼材は、建物長手(X) 方向の全幅(67.2m) にわたって配線し、片引きによってプレストレス力の導入を行っている。なお、PCa 化やPC 圧着工法の採用により、基準階の鉄骨1 節(3 層)あたりのサイクルは、以下の内訳により68 日で施工可能となった。

・鉄骨建方	：10 日
(建物中央のコラボレーションエリア側の鉄骨)	
・PCa 建方+PC 緊張+各層床版の施工	：18 日×3 層=54 日
・CFT 柱コンクリート充填	：4 日
合計	：68 日/1 節3 層躯体

PCaRC 柱ピースの架設状況と、緊張工事の状況写真をそれぞれ写真7, 8に示す。

PCaRC 柱と、PCaPC 梁の接合部では、直交方向(建物内側)から鉄骨大梁がベースプレート、アンカーボルトを介して取り付く(図9)。PCaPC 梁のせいが350mm と小さく、梁主筋とPC 鋼材のレベルには調整代がほとん



写真9 階中間梁の施工状況

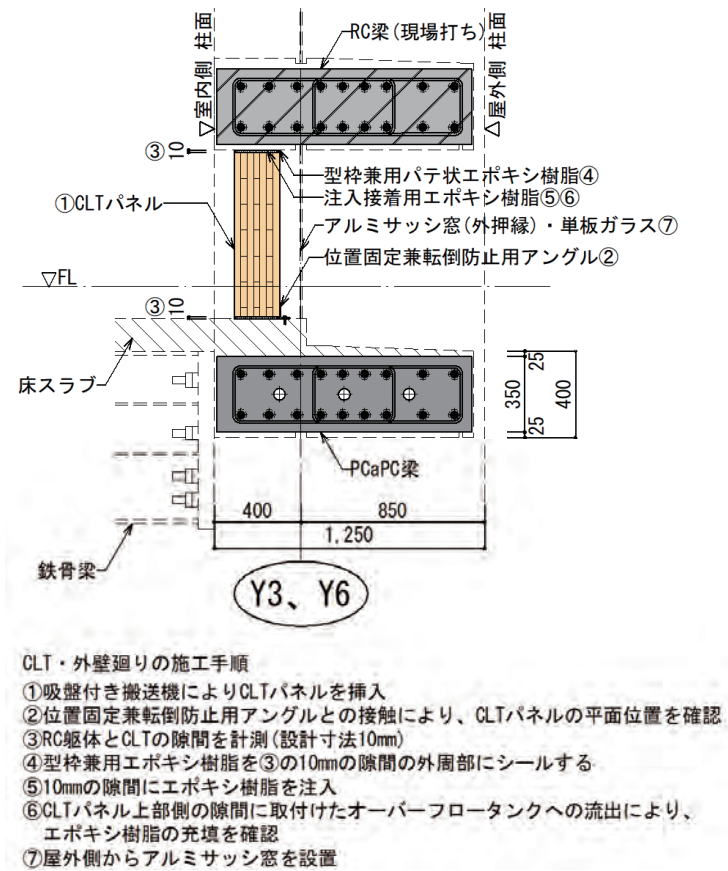


図10 CLT・外壁廻りの断面図・施工手順

ど無いため、アンカーボルトの配置が梁主筋とPC鋼材に干渉しないように、鉄骨梁のレベルに応じてボルトピッチを調整し、様々な接合パターンを設定した。

階中間の床スラブが取り付けられない梁部材には、工程上は各階床スラブの打込み後の施工でもクリティカルパスに影響しないため、コストを優先して現場打のRC梁とした。階中間の梁は、全箇所同一の外形寸法であるため、鋼製型枠を採用して型枠の転用を可能とした

(写真9)。

6. CLTパネルの施工

外殻RCフレームは部材のPCa化によって精度良く施工することができ、これにより各階コンクリートの打込み後に行うCLTパネルの取り付けについてもスムーズに実施できた。図10にCLT、外壁廻りの施工手順、写真10にCLTの施工状況写真を示す。

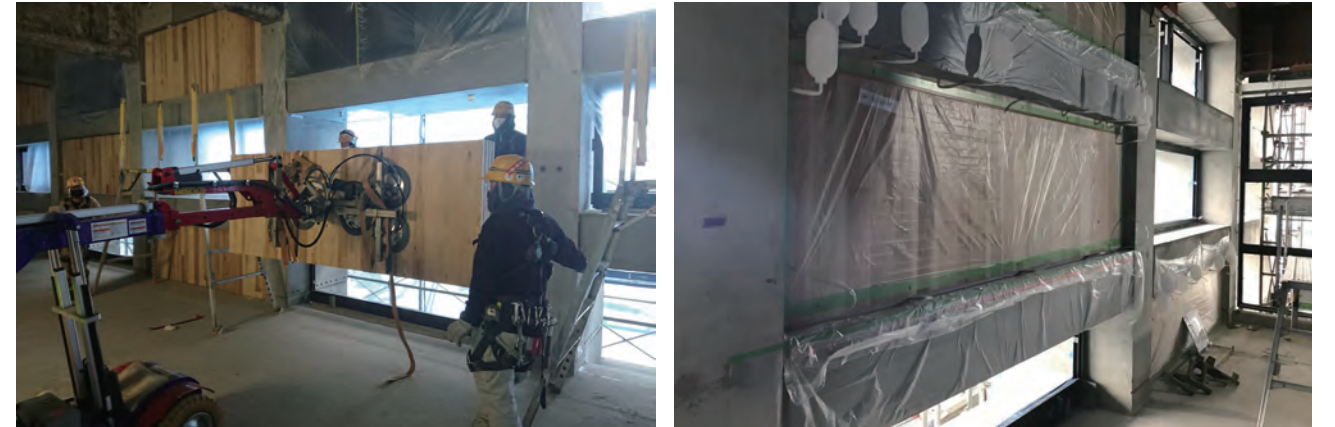


写真10 CLTパネルの施工
[左：吸盤付き搬送機による設置、右：エポキシ樹脂の注入]

7. おわりに

社会的要請として脱炭素や省エネルギー化が求められる中、本建物では扁平なRC柱梁を用いた格子フレームと、そのフレーム内部に挿入した木質耐震パネル(CLT)によって外観、内観デザインを構成しつつ、免震効果を高め、構造体に断熱効果や日射遮蔽効果を持たせた。超高層建築物のRC化の取り組みでは工期短縮が課題となる中、部材のプレキャスト化や、プレストレスを用いた圧着工法のメリットを活用したことによ

り、特徴的な構造デザインが実現可能となった。実験や設計の内容についてご指導、ご協力を頂いた五十田博教授(京都大学生存圏研究所)他、設計・施工期間においてご協力いただいた方々に、感謝の意を示します。

【参考文献】

- 1) (一財)日本建築総合試験所／木質耐震壁接着工法―構造用LVL・CLTを用いたRCおよびSRC建物の耐震補強工法―(改定2), GBRC 性能証明第14-18号 改2, 2017.6.23

英文パンフレット

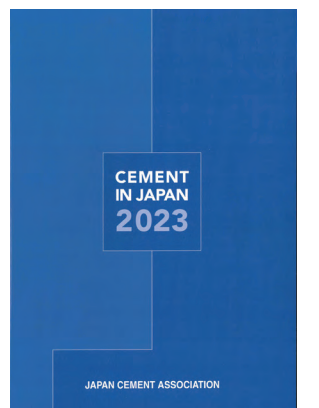
“CEMENT IN JAPAN 2023”をお頒けします

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

ご希望の方には無料でお届けいたします。
申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

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



アルギン酸ナトリウムの散布による コンクリート施工時の降雨対策工法の開発

Development of New Construction Method During Concrete Work in Rainy Situations
by Applying Sodium Alginate Solution to Prevent Rainwater Penetration

桜井 邦昭 伊佐治 優 井上 裕太 田中 基 上垣 義明 阿合 延明 三森 耀介

1. はじめに

降雨時にコンクリートを打ち込むと、打込み表面のペースト分が流出するとともに、雨がコンクリート中に混入し、硬化後の品質が低下するおそれがある。このため、コンクリートの打込みは、雨天には行わないことが原則であり、気象情報から当日の天候を予測して、実施の可否あるいは施工時間帯を選定するのが一般的である。

一方、特に夏期において、午前中から正午過ぎにかけては晴天であったにも関わらず、その後、積乱雲の発生により天候が急変し、短時間に多量の雨が降る場合もある。気象庁HPのデータ¹⁾に基づき作成した全

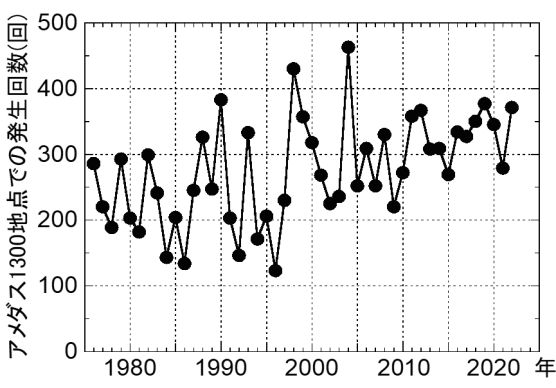


図1 1時間降水量50mm以上の年間発生回数

国1,300地点での1時間降水量が50mm以上(予報用語では「非常に激しい雨」に相当)の年間発生回数を図1に示す。年ごとにばらつきはあるものの、全国で年間200~300回程度発生しており、その回数が増

さくurai くにあき / SAKURAI Kuniaki
(株)大林組 技術研究所
生産技術研究部
上席研究員 博士(工学)

いさじ ゆう / ISAJI Yu
同上
生産技術研究部
主任

いのうえ ゆうた / INOUE Yuta
同上
生産技術研究部

たなか もとき / TANAKA Motoki
同上

うえがき よしあき / UEGAKI Yoshiaki
(株)大林組
生産技術本部 技術第一部
上級主席技師

あごう のぶあき / AGO Nobuaki
ポリスソリューションズ(株)
キーアカウントマネジメント
混和剤部長

みつもり ようすけ / MITSUMORI Yosuke
同上
技術開発センター AS技術開発

表1 2021年の全国各地の降雨日数

都市名	発生回数(回/年)			
	≧1mm/日	≧10mm/日	≧30mm/日	≧50mm/日
札幌	122	39	8	2
秋田	175	66	11	4
仙台	106	33	11	5
新潟	162	75	10	2
東京	107	49	24	12
名古屋	111	58	23	7
福井	175	87	30	8
大阪	99	52	25	9
松江	151	59	14	8
広島	92	57	29	7
福岡	102	48	16	9
那覇	131	59	26	14
平均	128	57	19	7

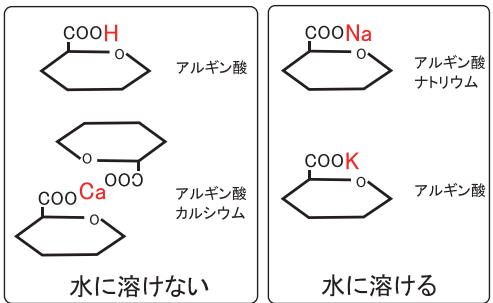


図3 アルギン酸の性質

[文献⁵⁾を基に作図]

加傾向にある。なお、文献²⁾や気象庁HP³⁾によれば、一つの積乱雲によりもたらされる降雨の継続時間は30分から1時間程度である。また、同様に気象庁HPのデータ⁴⁾に基づき、2021年に全国12都市で日降水量が1mm, 10mm, 30mm, 50mm以上となった日数を表1に示す。都市によってばらつきはあるものの、年間の約1/3は多少なりとも雨が降っていることがわかる。施工時に降雨が生じた場合、写真1のように施工範囲をシートで覆うことが多いが、設置に労力を要するとともに、雨の重みでシートが破損することもある。

雨天によりコンクリート施工が中止・延期になると、工事全体の工程が遅延する。また、昨今の働き方改革の推進に伴い、実質的な営業日数は減少しており、工程を守るためには多少の降雨が予測される日でもコンクリート施工を行わざるを得ない場合も生じると推測される。

そこで、施工中に降雨となった場合でも、コンクリートの品質低下を生じさせない容易な対策工法を開発し



写真1 シートによる降雨対策の例

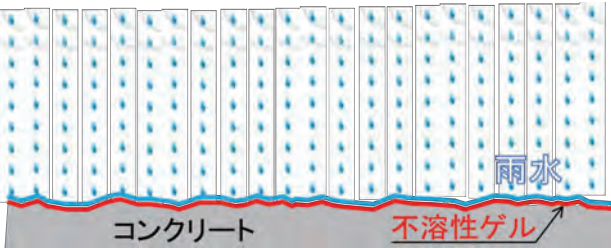


図2 降雨対策の概念図

た。具体的には、アルギン酸ナトリウム水溶液(以下、水溶液という)をコンクリートの打込み上面に散布することで、この水溶液とコンクリート(セメント)中のカルシウムを反応させ、水に不溶なゲルを生成し、コンクリート表面と雨との接触を防ぐものである(図2)。

本稿では、水溶液の散布によるコンクリートの打込み時の降雨対策工法の概要を示す。

2. アルギン酸ナトリウムによる 不溶性ゲルの生成

アルギン酸は、昆布やワカメなどの海藻(褐藻類)の藻体に含まれる天然多糖類であり、文献^{5~7)}によれば次のような性質がある(図3)。アルギン酸自体は水に溶けない物質であるが、分子中にカルボキシル基を有しており、ナトリウムやカリウムなどの一価のアルカリイオンと反応して塩(アルギン酸ナトリウム、アルギン酸カリウムなど)になると水溶性になる。このうち、アルギン酸ナトリウムは温水や冷水に容易に溶けることから、増粘剤、ゲル化剤、安定剤などとして、幅広い産業で活用されている。

一方、多価のアルカリイオンの場合は、水に不溶な塩となりゲル化する特徴を有する。特に、カルシウムイオンはアルギン酸との親和性が高く、両者を混合すると速やかに反応して不溶性ゲル(アルギン酸カルシウム)



写真2 アルギン酸ナトリウムによる不溶性ゲルの生成



写真3 アルギン酸ナトリウム水溶液の散布状況

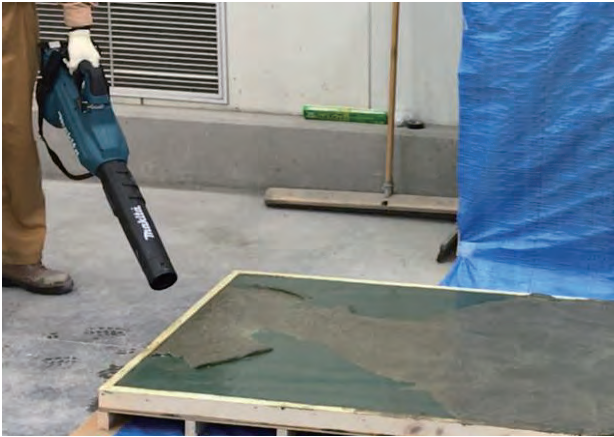


写真4 不溶性ゲルのブローによる除去状況

を生成する。食品業界では、この性質を利用して、人工クラゲや人工キャビアなどを製造している。

今回、このようなアルギン酸の性質を利用して、アルギン酸ナトリウム水溶液をコンクリートの打込み面に散布することで、コンクリート中のカルシウムと反応させて不溶性ゲルを生成し、降雨との接触を防止する工法を開発した。

アルギン酸ナトリウムの濃度を0.5%とした水溶液をコンクリート表面に散布した後の不溶性ゲルの生成状況を写真2に示す。なお、アルギン酸ナトリウムを溶解した水溶液は本来無色であるが、散布後のコンクリート表面での不溶性ゲルの生成状況を目視で確認しやすいように、青色の染料で着色した状態で用いている。散布の2～3分後には不溶性ゲルが生成されており、ゲルの厚さは0.3mm程度であった。

3. 降雨対策工法の特長

本章では、アルギン酸ナトリウム水溶液を散布することによる降雨対策工法の特長を示す。

3-1. 水溶液は打込み面に容易に散布できる

この水溶液は、写真3に示すように、市販の噴霧器で容易に散布することができる。検証実験を行ったところ、面積16m² (4m×4m) のコンクリート面への散布に要する時間は約100秒であった。この結果を用いると、仮に、実工事での打込み作業時に15分間で対策を行うとした場合、1人で約150m²の面積を散布できることになる。

3-2. 降雨後、不溶性ゲルは容易に除去できる

雨が止んだ後は、不溶性ゲルを取り除いてコンクリートの打込み作業を再開することになる。不溶性ゲルは、写真4に示すように、ブローにて局所的に風を与えることで容易に取り除くことができる。上記と同様に、面積16m²のコンクリート面に生成した不溶性ゲルの除去に要した時間は約150秒であった。

対象面積を150m²とすると所要時間は25分程度となる。

一般に、コンクリートの許容打重ね時間間隔の目安は、日平均気温が25℃以下の場合、2.5時間とされて

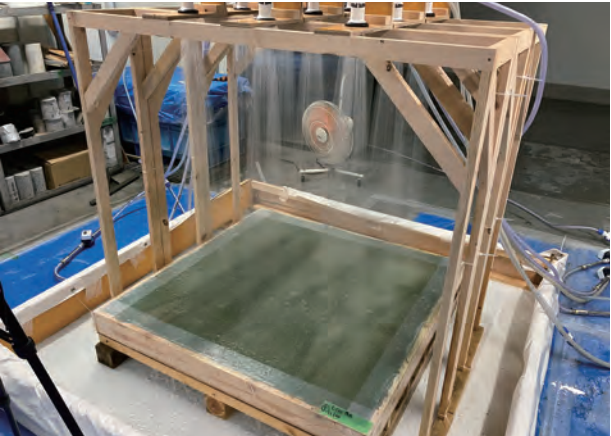


写真5 降雨実験の状況(降雨強度 1,900mm/h)

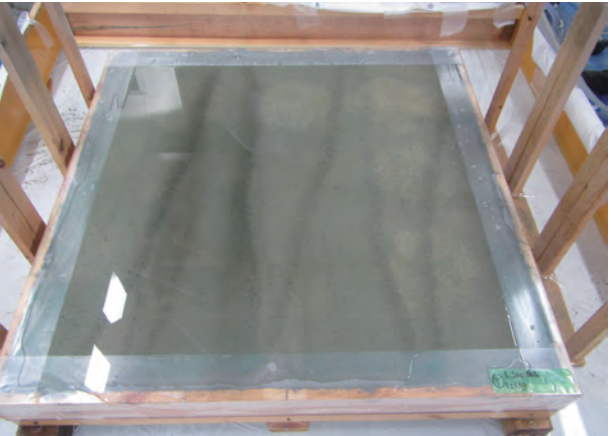


写真6 降雨実験後の試験体表面の状況

表2 不溶性ゲルの一時的な存在が品質に及ぼす影響

アルギン酸ナトリウム水溶液の散布の有無	ブリーディング率 (%)	許容打重ね時間間隔 (h-m)	28日圧縮強度 (N/mm ²)
なし(比較用)	2.1	2-10	34.3 (一体で打設)
あり	1.6	2-20	34.7

いる。また、上述のように、大半の場合、1つの積乱雲によりもたらされる降雨の継続時間は30分～1時間程度といわれている。このため、降雨の予報をキャッチしてから、水溶液を散布(15分程度)した後、降雨中は作業を中断(1時間程度)し、降雨後に不溶性ゲルを除去(25分程度)しても、十分にコンクリートの打込み作業を再開できる。

3-3. 強雨に対しても打込み表面を保護できる

水セメント比55%のコンクリート表面に、アルギン酸ナトリウム水溶液を750g/m²散布して、写真5に示すように、1,900mm/hの雨を30分間降らせる実験を行った。現実にはあり得ないほどの強雨であるが、不溶性ゲルの損傷は全く認められなかった(写真6)。なお、不溶性ゲル表面を流下する水のpHは、環境省の定める一般排水基準(pH5.8～8.6)を満足しており、実工事において、降雨が不溶性ゲルの表面を介して現場外に流出しても問題ないことも確認している。

3-4. 不溶性ゲルは許容打重ね時間等に影響しない
本工法を用いる場合、降雨中は、コンクリート表面

を不溶性ゲルが覆うことになる。このゲルの存在が、ブリーディング特性や許容打重ね時間間隔へ及ぼす影響を検討した。試験結果を表2に示す。水セメント比55%のコンクリート表面に水溶液を散布して不溶性ゲルを生成させた90分後に、ゲルを取り除いて、ブリーディングおよび打重ね時間間隔を調べたところ、ゲルの存在の有無はこれらには影響しないことを確認した。また、90分後にゲルを取り除いて、コンクリートを打ち重ねた供試体の圧縮強度は、一体で打ち込んだ場合と同等であった。

3-5. 長時間の降雨後の打継ぎ対策も可能である

先述のように、一つの積乱雲によりもたらされる降雨の継続時間は30分～1時間程度であることが多い。このため、大半の場合は、降雨の終了後に不溶性ゲルを除去して、打込み作業を再開できると考えられる。しかし、降雨が長時間継続し、降雨前に打ち込んだコンクリートが硬化してしまうことも想定される。このような場合の対策として、アルギン酸ナトリウム水溶液に遅延成分(糖類)を混和した水溶液を散布する方法も開発した。この方法により、降雨に対してコンクリート表面を

表3 多目的人工気象再現室の性能	
気象条件の種類	設定可能範囲
温度	-30℃～+60℃
湿度	20%RH～80%RH
降雨	20mm/h～200mm/h
風速	3m/s～10m/s
日射	70,000Lx～100,000Lx
降雪	200mm/日～1,000mm/日

表4 使用材料		
種類	記号	物理的性質など
セメント	C	高炉セメントB種, 密度3.04g/cm ³
水	W	上水道水
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.59g/cm ³ , 吸水率1.86%, 粗粒率2.84
粗骨材	G	碎石2005, 表乾密度2.73g/cm ³ , 吸水率0.55%, 実積率59.5%
混和剤	WR	AE減水剤(高機能タイプ)
	AE	空気量調整剤(100倍溶液で使用)

保護できるだけでなく、翌日以降にハイウォッシャーにて表面のペースト分を除去し、打継ぎ処理も行うことができる。詳細は次章にて述べる。

4. 多目的人工気象再現室での暴風雨による検証

本章では、遅延成分を混和した水溶液（以下、遅延剤入り水溶液という）をコンクリート面に散布することで、降雨に対して表面を保護できること、降雨が長時間となった場合でも打継ぎ処理を行えることを、気象を再現できる試験室で検証した実験の概要を示す。

4-1. 多目的人工気象再現室の概要

多目的人工気象再現室は、温度、湿度、降雨、風速、日射、降雪の6種類の気象条件を、単独もしくは複合して設定することができる装置であり、地球上の様々な地域の気象を再現できる。装置の性能を表3に、外観を写真7に示す。今回は降雨200mm/h、風速8m/sの暴風雨を再現して実験した。なお、この雨は予報用語で「猛烈な雨」と呼ばれる最も強い雨に



写真7 多目的人工気象再現室の外観

表5 コンクリートの配合									
目標 スランプ の範囲 (cm)	目標 空気量 の範囲 (%)	W/ C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 (C×%)	
				W	C	S	G	WR	AE
12±2.5	4.5±1.5	55.0	46.0	160	291	837	1032	1.0	0.002

分類される。

4-2. 実験概要

使用材料を表4、コンクリート配合を表5に示す。コンクリートを試験練りミキサで製造した後、幅1.2m×1.2m×厚さ0.1mの型枠3体に打ち込み、表面をコテで平滑に仕上げた。

打ち込みから15分後に、2体の試験体に市販の噴霧器を用い、アルギン酸ナトリウムと遅延成分を混合した水溶液を750g/m²散布した。散布の15分後に、上述の条件で風雨を30分間作用させた。残り1体は比較用であり、水溶液は散布せずに、風雨に晒した。

遅延剤入り水溶液を散布した試験体のうち1体は、風雨の終了から15分後に、ブローにて表面の不溶性ゲルを取り除いた。もう1体は、そのまま存置して、72時間後にハイウォッシャーにてゲルと表面のペーストを除去し、打継ぎ処理が行えることを検証した。

なお、72時間後としたのは、今後の働き方改革の推進により週休2日が一般的となることを想定し、金曜日に打設した際に長時間の降雨に見舞われ、やむを得ず翌週の月曜日に洗い出し作業を行うとした場合でも、



写真8 多目的人工気象再現室での風雨実験状況

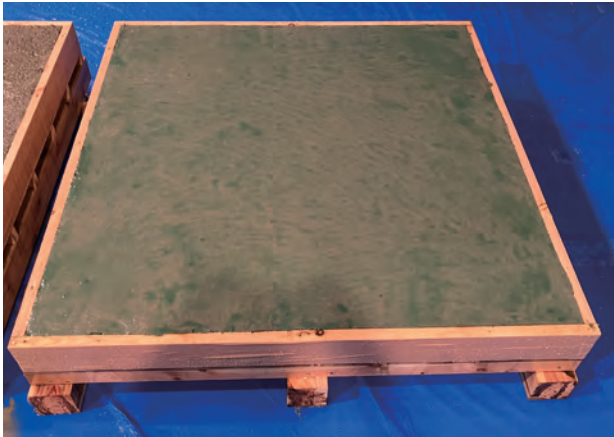


写真10 水溶液を散布した試験体の状況



写真12 72時間後に洗い出した後の状況

良好な洗い出しが行えることを検証するためである。

4-3. 実験結果

(1) 風雨実験

実験状況を写真8に示す。遅延剤入り水溶液を散布していない試験体の実験後の状況を写真9に、散布した試験体を写真10に示す。

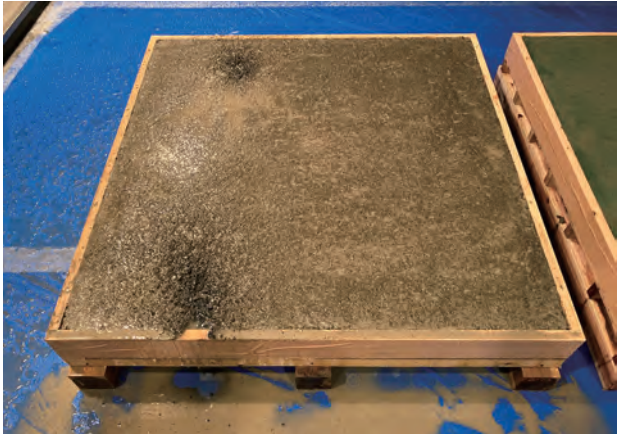


写真9 水溶液を散布しない試験体の状況

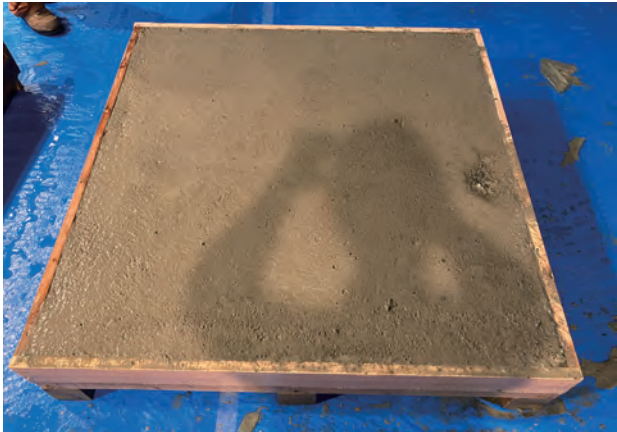


写真11 水溶液を散布した試験体の不溶性ゲルの除去後の状況

散布しない試験体は降雨によりコンクリート表面のペースト分が流され、試験体外に流出していた。一方、散布した試験体は、表面に生成した不溶性ゲルが降雨で破損することなく30分間の風雨終了まで残存していた。また、風雨終了の15分後にブローにて不溶性ゲルを除去すると、写真11に示すように、コンクリート表面は当初の状態を保っていた。

(2) 洗い出し実験

風雨実験の終了後に、そのまま存置した試験体を72時間後にハイウォッシャーを用いて、表面の洗い出しを行った。洗い出し後の試験体表面の状況を写真12に示す。ゲルおよびペースト分が取り除かれ、粗骨材が露出できることがわかる。

以上より、遅延剤入りの水溶液を散布することで、猛烈な雨に分類されるような強い雨が作用しても打込み表面を保護できること、降雨後、不溶性ゲルは容易

に除去でき、コンクリートの打込み作業を再開できること、降雨が長時間となった場合でも、最大72時間後に打継ぎ処理が行えることを確認した。

5. おわりに

本稿では、アルギン酸ナトリウム水溶液をコンクリート表面に散布し不溶性ゲルを生成することで、コンクリート表面と降雨との接触を防止できる対策工法の概要を示した。また、水溶液に遅延成分を混和することにより、降雨が長時間となった場合の打継ぎ処理も併せて行えることを示した。

冒頭でも示したように、昨今の異常気象等により天候が急変する場合が増加する一方で、働き方改革の推進により、現場が実際に稼働できる日数は減少していくと想定される。

今後、実規模の試験施工により効果を検証した後、

高品質なコンクリート構造物を効率よく構築するための工法として、実工事に適用していく予定である。

【参考文献】

- 1) 大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化, 気象庁ホームページ, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, (閲覧日: 2023年12月26日)
- 2) ニュートン編集部編著／空を見るのが楽しくなる天気, ニュートンプレス, pp. 42～43, 2022.10
- 3) 積乱雲ってどんな雲, 気象庁ホームページ, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/tenki_chuui/tenki_chuui_p2.html, (閲覧日: 2023年12月26日)
- 4) 各種データ・資料, 気象庁ホームページ, <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, (閲覧日: 2023年12月26日)
- 5) 宮島千尋／アルギン酸類の概要と応用, SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業), Vol. 65, No. 12, pp.444～448, 2009.12
- 6) 佐藤隆哉, 寺松泰英, 中根俊彦／アルギン酸カルシウム微粒子の開発と化粧品への展開, SEN'I GAKKAISHI(繊維と工業), Vol. 52, No. 1, pp. 20～26, 1996.1
- 7) アルギン酸ナトリウム, キミカホームページ, <https://www.kimica.jp/products/NaAlgin/>, (閲覧日: 2023年12月26日)

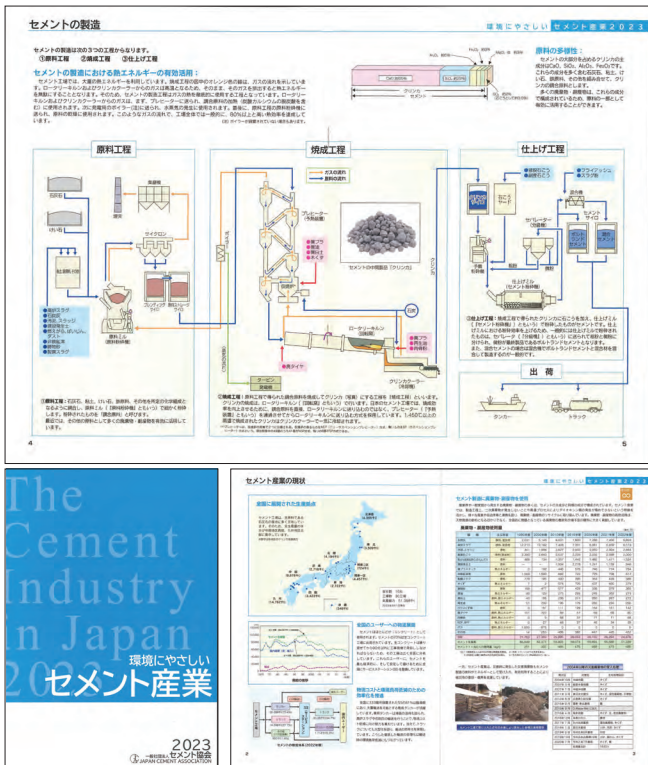
A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2023

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



7th BESETO 2023／ 日中韓コンクリート舗装国際会議への参加報告

7th BESETO 2023／Report on the Japan-China-Korea Concrete Pavement International Conference

中村 弘典 西澤 辰男

1. はじめに

本国際会議は、中国、韓国および日本の3か国で、

コンクリート舗装の技術的な問題を率直に議論しようとの

趣旨で、韓国の中央大学のCho教授より発案され¹⁾、

2014年に初回が開催されました。この会議はBESETO

と称されており、これは3か国の首都名(Beijing-Seoul-

Tokyo)に由来します。これまでのBESETOの開催状況

を表1に示します。会議は毎年開催され、ホスト国

は3か国の持ち回りです。学術的な議論ばかりでなく、

ざっくばらんにお互いの状況について意見交換ができる

ユニークな会議で、参加人数は増加傾向にあります。

6th BESETO 2019以降はコロナ禍で開催が見送られて

きましたので、7th BESETO 2023は4年ぶりの開催

となりました。

7th BESETO 2023の概要を表2に示します。ホス

ト国は韓国で、韓国の東側に位置するカンヌン市で開

催されました。カンヌン市は2018年開催の平昌冬季オ

リンピック・パラリンピックの会場になった港町です。日

表1 BESETOの開催状況

回	開催年	ホスト国	開催場所	参加人数
1	2014	韓国	ソウル・中央大学	約20名
2	2015	中国	上海・同济大学	約20名
3	2016	日本	東京・東京農業大学	約30名
4	2017	韓国	釜山・釜山大学	約40名
5	2018	中国	太原・山西省交通研究所	約50名
6	2019	日本	札幌・北海道大学	約50名
7	2023	韓国	カンヌン・江陵原州国立大学	51名

表2 7th BESETO 2023の概要

開催地	韓国カンヌン市
期 日	2023年8月1日～8月3日
内 容	1・2日目: 研究発表会(江陵原州国立大学) 3日目: 現場見学会(韓国高速道路)
参加者	51名 韓国: Cho教授(中央大学)などの33名(うち学生17名) 中国: Huang教授(東南大学)などの13名 日本: 西澤名誉教授(石川高専)などの5名

本からの参加は、西澤辰男名誉教授(石川工業高等

専門学校)、藪雅行氏(土木研究所)、種綿順一氏(大

成ロテック)、横山昂洋氏(大林道路)と筆者の5名で

す。1日目と2日目は研究発表会が、3日目には供用中

の韓国高速道路での現場見学会が行われました。

2. 研究発表会

研究発表会は1日目と2日目に開催されました。講演プ

ログラムを表3に示します。研究発表は、4つのセッションに大別され、まずはSpecial Sessionとして、各国1

名より、それぞれの国における最新の技術や用途など

について講演がなされました。その後、日本、中国、



なかむら ひろのり / NAKAMURA Hironori
(一社)セメント協会 研究所
コンクリート研究グループ



にしざわ たつお / NISHIZAWA Tatsuo
石川工業高等専門学校
名誉教授 工博

表3 7th BESETO 2023 Conference Program

● Special Session – Smart Tech. Application in Concrete Pavement

1	IoT in Korea Concrete Pavement: Construction and Condition Assessment - Yoon Ho Cho, Professor (Chung-Ang Univ.)
2	Status of Pavement and Efforts to utilize new technology in Japan - Masayuki Yabu, Team Leader (Public Works Research Institute)
3	Characteristics of Hollowed Continuously Reinforced Concrete Pavement - Xiaoming Huang, Professor (Southeast Univ.)
-	Discussion - Presiding by Yoon Ho Cho, Professor (Chung-Ang Univ.)

● General Session I – Concrete Pavement Issues of JAPAN

4	FWD Dynamic Back-calculation Methods for Structural Evaluation of Transverse Joint in Concrete Pavement - Tatsuo Nishizawa, Professor Emeritus (National Institute of Technology, Ishikawa College)
5	Durability of small-scale repair technology for Concrete Pavement - Masayuki Yabu, Team Leader (Public Works Research Institute)
6	Long-term Performance of Porous Concrete Pavement for Roadways in Japan - Hironori Nakamura, Researcher (Japan Cement Association)
7	Development of a Multi-Layer Precast Concrete Pavement - Takahiro Yokoyama, Researcher (Obayashi Road Corporation)

● General Session II – Concrete Pavement Issues of CHINA

8	Application and Structural Behavior of Continuously Reinforced Concrete (On line) - Wujun Zhou, Associate Professor (Huazhong University of Science and Technology)
9	Influence of Roughness of Base Top Surface on PCP Slabs and Relevant Treatment Measures (On line) - Yumin Zhou, Associate Professor (Tongji Univ.)
10	Research on Dynamic Interaction Behavior between Heavy Truck and Rigid Pavement - Changbin Hu, Professor (Fuzhou Univ.)
11	Vibration Mixing Promotes Construction of Transportation with High Quality - Feilong Zhang ,Senior Engineer (Detong Intelligent Technology Co.,Ltd)
12	Structure and Properties of Ordered Layered Cementitious Hydrogel Composites Based on Ice Templates - Yangzezhi Zheng, Doctoral Student (Southeast Univ.)

● General SessionIII – Concrete Pavement Issues of KOREA

13	Fundamental Study for Generation of Tire-Pavement Interaction Noise - Sung-Woo Lee, Professor (GangNueng-WonJu National Univ.)
14	Investment of IOT Device for Pavement Quality Control in Field - Hyun Sik Hwang, Representative (GIL Solution Company)
15	Chloride Penetration for Concrete Road using Yoon's Test - In Suck Yoon, Professor (InDuk Univ.)
16	Life Cycle Assessment of Highway Pavements considering Pavement-Vehicle - Seoung Hwan Han, Senior Research Adviser (Korea Expressway Corporation(Research Institute))
17	How to make Old Concrete Pavement more Sustainable - Sung IL Jeon, Senior Researcher (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
18	Prediction of Blow-up Potential in Concrete Pavement - Young Kyu Kim, Research Professor (GangNeung-WonJu National Univ.)
19	Improvements in the Design and Construction of Transverse Construction Joints in Continuously Reinforced Concrete Pavement - Hee Jun Lee, Doctoral Student (Texas Tech Univ.)



写真1 活発な議論の状況

韓国の順番に、3つのGeneral Sessionが行われました。Special SessionとGeneral Sessionを合わせると



写真2 研究発表終了後の集合写真⁵⁾

計19件の講演があり、いずれの講演に対しても活発な議論がなされました(写真1)。



写真3 KEC職員からの現場紹介



写真5 LMC bridge deck pavement⁵⁾

中国からは、コンクリート舗装の自重を低減するため中空とした連続鉄筋コンクリート舗装(表3の3)や、パイブレーションミキサ(同11)に関する講演などがあり、自由な発想で独創的な取り組みがなされている印象を受けました。韓国からは、IoTを用いたコンクリート舗装の施工・品質管理(同1)やタイヤと路面の相互作用による騒音(同13)、高速道路のLCA評価(同16)に関する講演があり、日本と同様の問題に取り組まれていました。

日本からは、コンクリート舗装における横目地の構造評価のためのFWD逆解析手法(同4)やコンクリート舗装における小規模補修技術の耐久性(同5)、複層型プレキャストコンクリート舗装の開発(同7)に関する講演がありました。

筆者は車道に適用されたポーラスコンクリート舗装の長期供用性について報告しました(同6)。報告内容は、セメント協会舗装技術専門委員会(委員長：小梁川名誉教授(東京農業大学))の活動成果^{2,3)}を取りまとめたものです。発表後のディスカッションでは、供用



写真4 供用中の高速道路を見学



写真6 路面の研削状況

20年後も目地部の段差やわだち掘れが小さいなど構造的には問題ないものの、排水性や騒音低減の機能維持が難しいとの見解や、目地施工のタイミングに関するコメントなどをいただきました。韓国ではポーラスコンクリートは車道には適用されていないようで、文献⁴⁾の用途例でも歩道や駐車場などが例示されています。各国の講演やディスカッションを通じて、諸外国の様々な状況を知ることができました。

3. 現場見学会

現場見学会は最終日の3日目に開催されました。Korea Expressway Corporation (KEC) のカンヌン支社の案内により、供用中の高速道路(Donghae Expressway(東海高速道路))を視察することができました(写真3,4)。視察現場は、Latex modified Concrete (LMC)で打ち換えられた道路橋床版上のコンクリート舗装(写真5)とポストテンション方式のプレストレスコンクリート舗装(Prestressed Concrete Pavement (PTCP))の2か所でした。

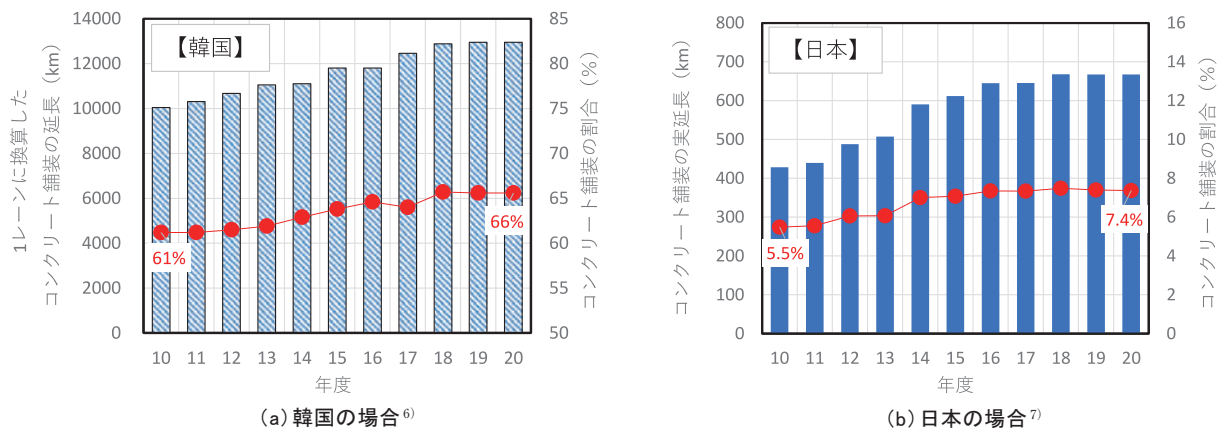


図1 高速道路におけるコンクリート舗装の使用状況

表4 韓国高速道路におけるコンクリート舗装の配合の変遷⁹⁾

Year	Slump (mm)	Air (%)	Water/binder ratio	Water	Unit weight (kg/m ³)			Admixtures		
					Binder	Sand	Gravel	AE (%)	WR (%)	
1986	30-50	3-6		153-170	Cement	356-378	—	595-694	1135-1272	0.03
1996	40-60	4-6	0.45	151	Fly ash	336	—	678	1162	0.15
2002	40-60	4-6		147		326	—	692	1122	0.3
2010	40-60	5-7	0.43	150		280	70	630	1150	0.02

LMCは道路橋床版上に厚さ5cmで舗設されたもので、目立った損傷はありませんでした。韓国では10年以上前からLMCを使用しているようで、LMCと床版を付着させることが高耐久性を実現するうえで重要とのことです。一方で、PTCPは韓国でも一般的な舗装ではないようですが、橋梁ジョイント部付近におけるひび割れや、コンクリート舗装端部における目地材の損傷が一部で認められたものの、供用上大きな問題ではありませんでした。また、視察現場には路面の機能回復を目的に、路面を数mm研削している区間がありました。その一部では、写真6のように車輪走行位置のみを研削していることから、韓国では合理的な対応が許容されているのではないかと思います巡らす瞬間となりました。

帰路はソウルまで高速道路を利用しました。道中多くのコンクリート舗装を走りましたが、思いのほか平坦性が良くいささか驚くとともに、コンクリート舗装への練度の高さが示唆されました。

4. 帰国後の取組み

研究発表会と現場見学会を通じて、韓国高速道路

でコンクリート舗装を多く採用している状況とアルカリシリカ反応 (ASR) に苦慮した過去があることが強く印象に残りました。この2点に関しては、帰国後に、韓国の参加者より既往文献を紹介いただくなどして調査しました。

(1) 高速道路におけるコンクリート舗装の使用状況

高速道路におけるコンクリート舗装の使用状況を図1に示します。韓国のデータは、研究発表会(表3の1)の資料を基に、日本のデータは、道路統計年報を基に作成しました。高速道路でのコンクリート舗装の割合は、両国ともに増加傾向にあるものの、その値には大きな違いがあります。韓国の高速道路は2020年度で約66%がコンクリート舗装であり、コンクリート舗装の使用量が多い状況が明確となりました。

(2) アルカリシリカ反応の対策

韓国でもコンクリートに使用される骨材はASRに対して安全であると考えられていましたが、2004年にコンクリート舗装でASRによる典型的なひび割れが報告されました⁸⁾。これを受けて、韓国高速道路ではコンクリート舗装の配合が見直され(表4)、2010年よりセメントの一部をフライアッシュに置換することによる対策がなされています。

5. おわりに

BESETOは、コンクリート舗装を題材とした学術的な議論や意見交換ができるユニークな会議であることを実感しました。次回の8th BESETOは、2024年7月頃に中国で開催される見込みです。研究発表会、現場見学会のいずれも充実したものになることが期待できますので、コンクリート舗装に関わる全ての方々に参加をお勧めいたします。

最後に7th BESETOに携わられた方々と、このような機会を与えて下さったセメント協会舗装技術専門委員会に関係する方々に、この誌面をお借りして謝意を表します。

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

一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



セメント規格がわかる本

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

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

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



高炉セメントおよび高炉スラグ微粉末

Blast Furnace Slag Cement & Ground Granulated Blast Furnace Slag

平本 真也

1. はじめに

地球温暖化を影響とした異常気象による災害が多発しており、国内外問わず温暖化対策に向けた活動が注目されている。また、気候変動に関する政府間パネルの報告書で温暖化の原因は人類の活動に伴う温室効果ガスの発生によるものと結論付けられ、その中でも二酸化炭素（以下、CO₂と称す）やメタンの影響が大きいとされている。CO₂の排出に着目すると、セメント産業ではポルトランドセメントの製造過程にて、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、日本では年間約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。そこで、セメント協会では「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」¹⁾を策定し、その対応の一つとして、高炉セメントB種の高炉スラグ分量の増加による「クリンカ／セメント比の低減」を挙げている。つまり、高炉セメントを含めた混合セメントの積極的な使用は脱炭素社会を構築する上で重要な手法であると考えられる。

参考として、セメント生産量と高炉セメント生産比率の推移を図1に示す³⁾。高炉セメントはオイルショック（1948年・1953年）、コンクリートクライシス（1980～1985年頃）、グリーン購入法品目指定（2000年）などといった、コンクリートの耐久性能および環境性能への関

心の高まりに伴い生産比率が拡大した経緯がある。また、2015年に温暖化などの気候変動への国際的な取り組みとして、COP21でパリ協定が採択され、2030年までの目標・取り組むべき非エネルギー起源のCO₂削減対策の一つ⁴⁾として、混合セメントの利用拡大が挙げられた。しかしながら、2000年以降はおおむね20%程度を推移もしくは減少する傾向となっている。

このような情勢の中、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」の宣言において、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た。そのため、国内でCO₂削減に向けた各産業の事業および研究活動が活発となっており、今後の更なる技術開発が期待されている。特に、セメント系材料技術開発を実施する上で高炉セメントと高炉スラグ微粉末が用いられることが多く、脱炭素素材として広く認知されている。

本稿では製造時のCO₂排出量が小さい材料として利用されている高炉セメント（高炉スラグ微粉末）に関する基礎情報を交え、課題や展望について概説する。

2. 高炉スラグについて

2-1. 高炉スラグの使用用途

図2に高炉スラグの製造イメージを示す。高炉で銑鉄を製造する際、鉄鉱石、コークス、石灰石などを投

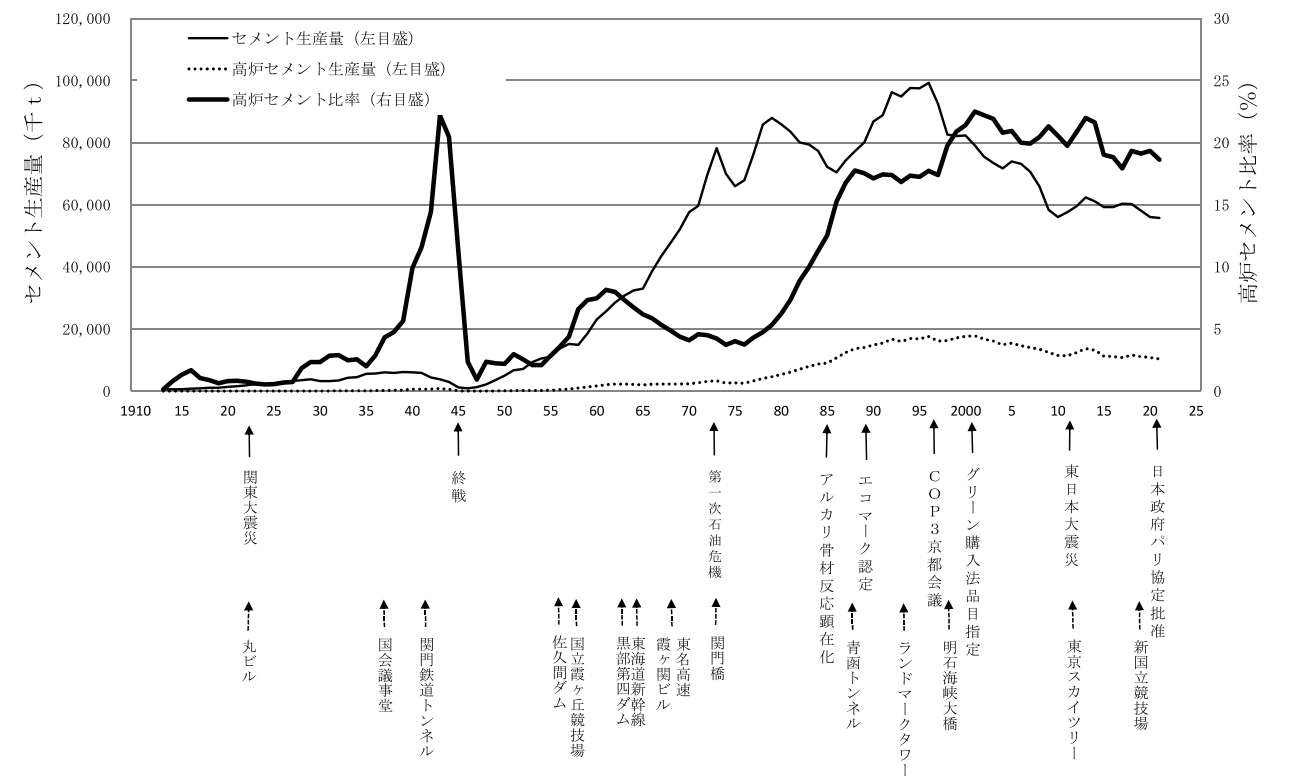


図1 セメント生産量と高炉セメント比率³⁾

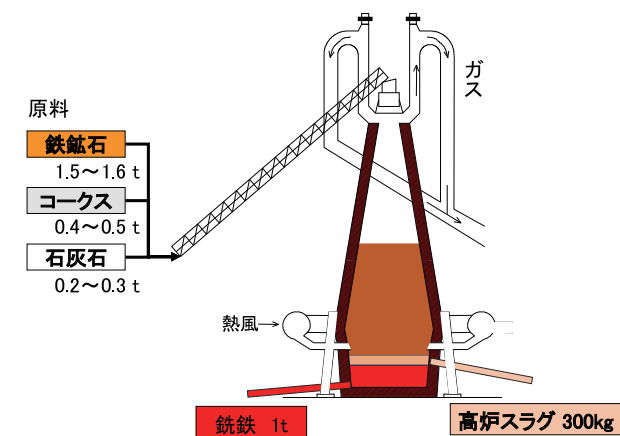


図2 高炉スラグの製造

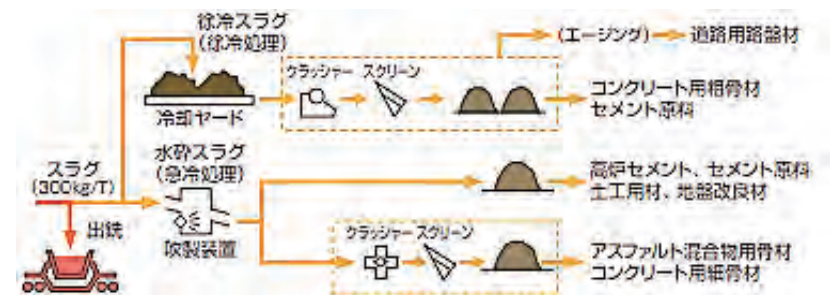


図3 高炉スラグの種類⁵⁾

入し熔融する。そして、溶融物の密度差を利用して銑鉄および高炉スラグ（鉄より密度が小さい）が分離回収される。上記製造工程で、銑鉄1t当たりおよそ300kg

程度の高炉スラグが副産される。高炉から副産直後の高炉スラグは1400℃を越える高温溶融状態にあるが、図3⁵⁾に示すように、冷却方法によって徐冷と水砕の2

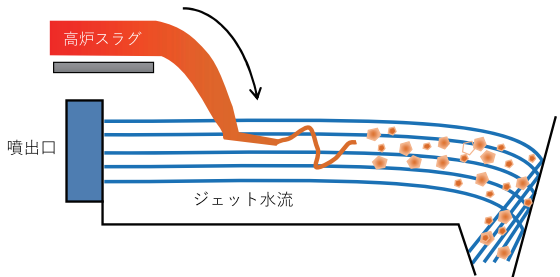


図4 水砕化イメージ

表1 高炉スラグの使用用途(2022年度)⁶⁾

用途	徐冷スラグ(千t)	水砕スラグ(千t)
道路用	2,039	235
地盤改良用	7	2
土木用	236	55
セメント用	97	16,355
骨材用	55	833
その他	192	216
計	2,626	17,696

表2 コンクリート用高炉スラグ微粉末

項目	単位	材齢	3000	4000	6000	8000
粉末度	cm ² /g	-	2750 以上	3500 以上	5000 以上	7000 以上
		-	3500 未満	5000 未満	7000 未満	10000 未満
活性度	%	7 日	-	55 以上	75 以上	95 以上
		28 日	60 以上	75 以上	95 以上	105 以上
		91 日	80 以上	95 以上	-	-
フロー値比	%	-	95 以上	95 以上	90 以上	85 以上
酸化マグネシウム	%	-	10.0 以下			
三酸化硫黄	%	-	4.0 以下			
強熱減量	%	-	3.0 以下			
塩化物イオン	%	-	0.02 以下			

表3 ガラスを構成する酸化物⁷⁾

種類	酸化物種類
網目形成酸化物	SiO ₂ , GeO ₂ , P ₂ O ₅ , B ₂ O ₃ など
中間酸化物	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ など
網目修飾酸化物	CaO, MgO, Na ₂ O, K ₂ O など

種類が存在する。高炉徐冷スラグは高炉水砕スラグと同じ化学成分であるが、自然冷却をすることで結晶化が進んでいるため反応性が低い。そのため、主に道路用路盤材、コンクリート用粗骨材などに使用されている。一方、高炉水砕スラグは、**図4**に示すように、高圧の水を吹き付けて急冷したものであり、ガラス質（非晶質）の砂状物質となるため反応性が高い。そのため、高炉水砕スラグは**表1⁶⁾**に示すように、主に粉碎し高炉スラグ微粉末として、セメント用の混和材・混合材として使用されている。

セメント用の混和材として、**表2**に示すようにJIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」では粉末度が異なる4種類が規格化されている。最も汎用的に用いられている高炉スラグ微粉末は4000であり、3000は反応熱を抑え温度ひび割れを抑制したい場合、6000はPCa製品などで初期強度発現を高くしたい場合、

表4 高炉水砕スラグおよびソーダライムガラスの化学組成例（一部を抜粋）

種類	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
	(%)			
高炉水砕スラグ	34	42	13	7
ソーダライムガラス	72	10	2	3

8000は充填材などで微細ひび割れへの注入性能を得たい場合に利用されるケースがある。

2-2. 高炉水砕スラグの構成

高炉水砕スラグは常温下で水と混ぜてもポルトランドセメントのように硬化をしないが、pH12程度以上のアルカリ環境下とすることで水和反応が開始し、硬化する特徴（潜在水硬性）を有す。これは高炉水砕スラグのガラス構造および構成する成分によって生じる現象である。ガラスの構造は各酸化物が無秩序に繋がることで形態を維持しているが、酸化物の種類⁷⁾を大別すると**表3**のように分けることができる。また、**表4**に示す様に、高炉水砕スラグに関しては、一般的なガラス（例として瓶などに使用されるガラスを示す）と比較すると、網目修飾酸化物（CaOなど）、中間酸化物（Al₂O₃など）が多い構成である。

表5 高炉スラグのガラス構造を構成する酸化物の結合強さ⁸⁾

種類	酸化物 MmOm におけるM	原子価	Mox当りの解 離エネルギー kcal/mole	配位数	単一結合に 対する強さ kcal/mole
網目形成 酸化物	Si	4	424	4	106
	Al	3	402-317	4	101-79
中間 酸化物	Ti	4	435	6	73
	Al	3	317-402	6	53-67
網目修飾 酸化物	Mg	2	222	6	37
	Ca	2	257	8	32
	Na	1	120	6	20
	K	1	115	9	13

表6 セメント種類ごとのCO₂排出量¹⁰⁾

セメント 種類	CO ₂ 排出源		計
	石灰石 脱炭酸	電力 エネルギー	
ポルトランドセメント	477.2kg/t	311.4kg/t	788.6kg/t
高炉セメントB種	269.0kg/t	189.1kg/t	458.1kg/t
削減率	44%	39%	42%

表5に高炉水砕スラグを構成する各酸化物の単一結合に対する強さ⁸⁾を示すが、例えば、網目形成酸化物であるSiの結合強さと比較して、網目修飾酸化物であるCaの結合強さは小さい。そのため、修飾酸化物の割合が比較的多い高炉水砕スラグはSiO₂を基本としたガラスネットワークが切断されやすい特徴がある。

これにより、水和反応が開始するきっかけ（ポルトランドセメントなどのアルカリ刺激、高温履歴など）を与えることで、ガラス構造に含まれるアルカリイオン類が溶出し水和が進行する。

2-3. 品質

高炉水砕スラグの品質の中で化学成分とガラス化率が重要となる。反応性は化学成分から算出される塩基度（CaO、MgO、Al₂O₃の合計をSiO₂で除した値）によって示され、塩基度が高いものほど反応性が高く、強度発現も大きくなる。ガラス化率についてはガラス質（非晶質）の割合によって示され、こちらも高いものほど反応性は高くなる。また、高炉方式による製鉄工程では、熔融状態の銑鉄と高炉スラグを分離するために高炉スラグの粘性を低くする必要がある。高炉スラグの粘性はCaO、MgO、Al₂O₃の比率から決定⁹⁾されると

して、比較的狭い範囲で化学成分の調整が行われている。そのため、国内で生産されている高炉水砕スラグは、塩基度1.70以上、ガラス化率95%以上と安定した品質を有している。

2-4. 環境性

コンクリートの主要構成材料である、水、セメント、骨材の内、セメントは製造時に必要な天然資源・エネルギー・CO₂排出量が比較的多い。つまり、セメントに関する環境負荷を極力減少させることで、省資源かつCO₂排出量の少ないコンクリートができる。高炉スラグをセメント混合材・混和材として有効利用することで得られる主な効果としては、クリンカ量を減少させることができるため、天然資源の使用削減とCO₂の発生抑制が可能となる。参考として、**表6**にポルトランドセメントおよび高炉セメントB種のCO₂排出量¹⁰⁾を示すが、ポルトランドセメントと比較して高炉セメントB種では約40%程度削減できていることがわかる。高炉スラグのCO₂の排出に関するインベントリは、主たる生産物である銑鉄に付与されており、副産物である高炉スラグは副産された時点でゼロとなっている。そのため、主として乾燥と粉碎に必要なエネルギーに伴うCO₂発生分が

表7 低炭素等級に応じた結合材種類 ¹²⁾	
水準	使用する結合材の種類
低炭素等級0	ポルトランドセメント
低炭素等級1	次のいずれか ・高炉セメントA種 ・フライアッシュセメントA種、B種、C種 ・ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、火山ガラス微粉末を混合したもの。ただし、それらの質量分率が結合材量の5%を超え30%以下であるもの。
低炭素等級2	次のいずれか ・高炉セメントB種 ・ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、火山ガラス微粉末を混合したもの。ただし、それらの質量分率が結合材量の30%を超え60%以下であるもの。
低炭素等級3	次のいずれか ・高炉セメントC種 ・ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、火山ガラス微粉末を混合したもの。ただし、それらの質量分率が結合材量の60%を超えるもの。

表8 高炉セメント

種類	高炉スラグの分量(%)	混和材の品質
A種	5を超え30以下	(CaO+Al ₂ O ₃ +MgO)/SiO ₂ が1.6以上
B種	30を超え60以下	
C種	60を超え70以下	

加算¹¹⁾されている。

高炉スラグ微粉末や高炉セメントは「環境にやさしい」という性能が認識され、各方面で利用が推進されている。例えば「都市の低炭素化の促進に関する法律（エコまち法）」では税制上の優遇措置が受けられる条件の一つとされている。「建築環境総合性能評価システム（CASBEE）」では資源の有効性やエコマテリアルの観点から、利用することで加点が行われる。さらに、「Jクレジット制度」においても、高炉スラグ微粉末を含む混和材をより多く利用することで、削減したCO₂量をクレジット化できる。このように、省資源およびCO₂排出量の少ない材料の利用促進をさせるための環境整備が進んできている。

日本建築学会では「建築工事標準仕様書（JASS5）」¹²⁾において、①資源循環性、②低炭素性、③環境安全性について、環境を性能と捉えた改定がなされた。参考として低炭素等級の区分を表7に示すが、結合材種類によって定まるものであり、高炉スラグや混和材分量が多いものを用いると等級は高くなる。

3. 高炉セメントの種類

高炉セメントは表8に示すようにJIS R 5211「高炉セメント」に規定された3種類の高炉スラグの分量によって規格化されている。高炉セメントB種は普通ポルトランドセメントと同様に汎用的になっており、沖縄や一部離島を除いた国内に広く流通している。高炉セメントB種以外の高炉セメント種類（A種、C種、C種以上の高含有）の使用に際しては、生コンクリート工場でのサイロの制約などの問題があり、広くは流通していない。しかしながら、高炉セメントC種はJISに規格化されているセメント種類の中で最もCO₂排出量が少なく、低炭素性を目的として採用された実績が増えている。また、高炉セメントA種に関しても普通ポルトランドセメントと同等に扱えることに加えて、低炭素性を有することから採用されるケースがある。

4. 各高炉セメントの現状

以下に各高炉セメントの現状を概説するが、それぞれの品質は、「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を

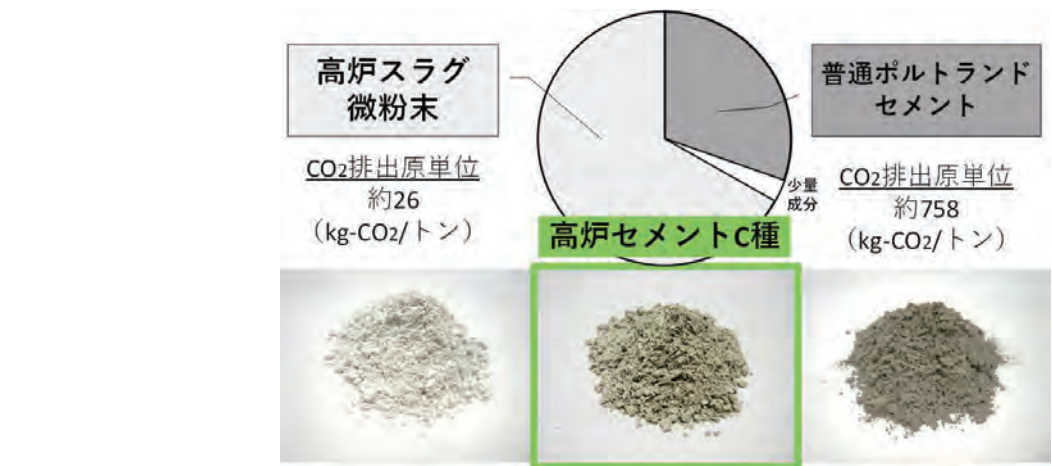


図5 ECMコンクリートに用いる高炉セメントC種の材料構成

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」¹³⁾および「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」¹⁴⁾に詳しく記載されているため、参照頂きたい。

4-1. 高炉セメントA種

高炉セメントA種は、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を生コンクリート工場で混合することで、高炉セメントA種相当の品質を有するコンクリートを製造可能といった報告¹⁵⁾もある。建築分野において、地上躯体にスラグ分量の多い高炉セメントを適用する場合、初期強度発現の面から対策が必要であるが、高炉セメントA種はJASS5¹²⁾の解説にて普通ポルトランドセメントと同等の品質であると示されている。つまり、地上躯体へ高炉セメントA種を適用することで、ポルトランドセメント使用時と同等の管理でCO₂排出量を削減することが可能となる。

4-2. 高炉セメントB種

高炉セメントB種は、適切な初期養生¹⁶⁾を施せば、ポルトランドセメントと同等の品質が得られることに加えて、塩害やアルカリ骨材反応の劣化対策としても広く用いられている。また、「国等による環境物品等の調達 の推進等に関する法律（グリーン購入法）」では特定調達品目に指定されていることから、土木構造物などでの使用実績が多い状況である。

4-3. 高炉セメントC種

高炉セメントC種は、低炭素化の機運を受け、実用化に向け各方面で検討が進められている。その中の一例として、JIS R 5211「高炉セメント」における高炉セメントC種に該当するセメントを用いたECMコンクリートの適用実績¹⁷⁾が増加している。ECMコンクリートとは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の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。

図5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、製造時の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、高炉セメントの特徴が顕著となるため、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品質を有す。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品質は小島らの報告¹⁸⁾に詳しく記載されているため参照頂きたい。

5. 高炉セメントの普及拡大への取り組み

混合セメントを用いたコンクリートの使用比率¹⁹⁾として、土木構造物に関しては、グリーン購入法の特定調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、地上構造物で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。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。しかしながら、高炉セメントの種類ごとに特徴が異なるように、高炉セメントに限らず、各種結合材で得意とする領域は異なる。そのため、適材適所に低炭素材料を適用²⁰⁾できるような状況になることも望まれる。

6. おわりに

今後、低炭素化を目指した各種高炉セメントの適用を鑑みると、コンクリート品質の安定性確保は重要であるが、高炉セメントや高炉スラグ微粉末の流通やコンクリートの製造などの課題を解決する必要がある。一方で、材料の輸送も含めると、低炭素化を図る上で地産地消の考えも重要となる。そのため、地域環境を踏まえた上で、適材適所で各材料を適用可能な仕組みを整備することも今後の課題である。しかし、地球温暖化問題について、2050年にカーボンニュートラルの達成と目標が定まっていることから、早急な整備が望まれる。末尾ではあるが、低炭素性を有し、結合材として優れた特長をもつ高炉スラグの利用が、地球環境や地域環境の保護の観点から、さらに拡大することを期待したい。



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 技術開発グループ
グループリーダー

【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
- 鉄鋼スラグ協会／鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用(2023年版)、p.85、2023.4
- 環境省／地球温暖化対策計画、2016.5
- 鉄鋼スラグ協会／環境資材 鉄鋼スラグ、2022.11
- 鉄鋼スラグ協会／鉄鋼スラグ統計年報(2022年度版)、p.23、2023.10
- 伊藤節郎／ガラスの基礎と応用、エレクトロニクス実装学会誌、Vol.6、No.2、pp.185～189、2003
- Kuan-Han Sun／Fundamental Condition of Glass Formation、Journal of the American Ceramic Society、Vol.30、Issue.9、pp.277～281、1947
- 日本鉄鋼協会／鉄鋼便覧、p.16、1962
- セメント協会／セメントのLCIデータの概要、2023.2
- 土木学会／コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案)、コンクリートライブラリー 125、p.15、2005
- 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、2022
- 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
- 土木学会／高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針、コンクリートライブラリー 151、2018
- 金子樹／汎用性の高い環境配慮型コンクリートの開発～H-BAコンクリート～、セメント・コンクリート、No.912、pp.42～48、2023.2
- 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
- 日経BP／鉄鋼スラグ製品採用現場探訪記16「グラングリーン大阪」新築工事のうち北街区賃貸棟工事、日経コンストラクション、2023.7
- 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
- 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
- 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／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～、セメント・コンクリート、No.909、pp.2～8、2022.11

セメント協会 発行図書のご案内

セメント・コンクリート お得な年間購読

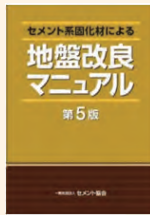


本誌は 1947 年の創刊以来、75 年以上にわたり日本のセメント・コンクリート技術を支えてまいりました。「セメコン誌」は、いま必要な情報、明日のお仕事・ご研究に役立つヒントを毎月お手元にお届けいたします。

最新のセメント・コンクリート技術を毎号多彩に紹介

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

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



セメント系固化材による
地盤改良マニュアル [第
5 版]

A5 判 502 頁 6,600 円



セメントの常識 (2020
年版オールカラー)

A4 判 72 頁 2,200 円



C³ クリップボード
[コンクリート化学編]

A4 判 123 頁 3,080 円



C³ クリップボード
[セメント化学編]

A4 判 134 頁 3,080 円



すぐに役立つ セメント
系補修・補強材料の基礎
知識 [第 2 版]

B5 判 197 頁 3,520 円



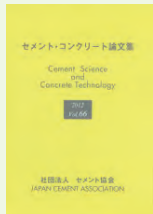
コンクリート夜話 (山田
順治著)

A5 判 261 頁 2,200 円



セメント・コンクリート
論文集 (No.65 2011)

A4 判 573 頁 11,524 円



セメント・コンクリート
論文集 (Vol.66 2012)

A4 判 713 頁 11,524 円



セメント・コンクリート
論文集 (Vol.67 2013)

A4 判 647 頁 11,000 円

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

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

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

セメスタグラム



コンクリートに魅せられて



Reborn：近代日本を支えた港町 門司 ～もう一つの日本の玄関口～

「旧大連航路上屋」は1929（昭和4）年に門司税関1号上屋として建てられました。上屋とは陸揚げされた貨物（輸入品）や船積みする貨物（輸出品）を二時的に保管し、荷捌きを行うための施設です。

当時は大連や台湾、欧州等、約40航路が月に約180便も就航していて、国内航路を含めて年間600万人近い乗降客があり、横浜や神戸と並ぶ国際旅客ターミナルとして重要な役割を果たしてきました。

この上屋は、国会議事堂や横浜税関などを手がけたことで有名な官庁建築家であり、当時の大蔵省管轄管財局工務部長だった大熊喜邦氏が設計を担当しました。幾何学模様を取り入れた、いわゆるアール・デコのデザインが特徴です。

門司の歴史を辿ってみると、江戸時代までは塩田が広がる小さな漁村でしたが、1887（明治20）年頃、渋沢栄一や浅野総一郎、安田善次郎、大倉喜八郎ら中央財閥の錚々たる面々が主要株主となり、築港が認められました。

1889（明治22）年、門司港は筑豊の石炭や米を積み出す特別輸出港の指定を受け、最盛期には入港隻数では3年連続全国1位、横浜、神戸、大阪に次ぐ第4位の貿易港に成長しました。

1891（明治24）年には九州鉄道が門司駅まで開通し、起点として本社も置かれ、陸海ともに九州の表玄関となりました。

ところが、第二次世界大戦の戦況悪化とともに門司の繁栄は急速に衰微していったのです。

旧大連航路上屋

きゅう だい れん こう ろ うわ や

福岡県北九州市門司区西海岸
鉄筋コンクリート造2階建
設計：大熊 喜邦
1929（昭和4）年竣工

◀この建物は、大連航路の便数が一番多かったことから、いつしか「大連航路上屋」、「大連航路待合室」などと人々から呼ばれるようになった。



関門鉄道トンネルが1942（昭和17）年に開通すると、最寄りの大里駅が門司駅に改称されて九州における陸路の玄関口となり、鉄道におけるウエイトも低下してしまいました。

戦争の為の重要な拠点でもあった門司でしたが、度重なる空襲と関門海峡に落とされた5000発近い感応機雷の影響で海峡は完全に封鎖され、戦後約80年が経過した現在も不発弾処理が行われています。その後は石炭の輸出货量も減少し、貿易港としての役割も次第に下降していきました。

そして、関門国道トンネルが1958（昭和33）年、関門橋が1973（昭和48）年に開通するなど、「海峡七路」と称される多様な交通網が完成すると、それまで陸上と海上交通の結節点としての役割を担ってきた関門地域は、本州と九州の通過点となり、明治から昭和初期にかけての重厚な近代建築群がまるで時が止まったかのように取り残されました。

そのうえ、1963（昭和38）年に北九州市が誕生すると市政の中心は小倉に移り、雪崩を打つように商社、新聞社、日銀等が離れ去り、門司の町は輝きを失っていきました。

しかし、門司港はこのままでは終わりませんでした。

かつての名建築が点在するノスタルジックな街並みは、1988（昭和63）年から、歴史的建造物を保存活用する整備事業を開始。1995（平成7）年に都市型観光拠点「門司港レトロ」としてランドオープンしました。見事復活を遂げたのです。

一時米軍に接収されていた「旧大連航路上屋」も1972（昭和47）年に返還後は門司税関の仮庁舎や公共倉庫として利用されていましたが、2006（平成18）年から整備事業が始まり、完成当時の姿を取り戻し、人と人をつなぐ交流施設として、2013（平成25）年にリニューアルオープンし、各種イベントや文化、芸術の発表など、門司港の新しい魅力を伝え続けています。

門司港は夜景が美しいことでも知られ、北九州を代表する人気観光スポットとして、年間200万人以上の観光客が国内外から訪れるようになり、かつての賑わいが戻ってきています。

写真・文 井川幹雄（セメント協会）



▲1階正面ファサードにはチケット売り場等とおぼしき円筒形のブースが左右に設けられている。



▲アール・デコ風に装飾された大階段が、出国検査を済ませた旅客を2階へと誘う。



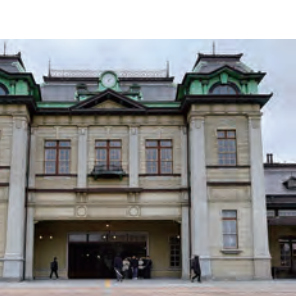
▲2階には待合室とコリドー（回廊）が続く。目の前いっぱい広がった船の姿で、今まさに航海に出ようとする期待感や高揚感最高潮に。



写真左上：1984（昭和59）年当時はまだ、上屋の前は岸壁だった。



写真右上：現在、上屋の前は埋め立てられ道路に。残された係船柱が、乗船場だった頃を偲ばせる。



◀かつて門司港駅は九州鉄道の起点だった。



▲上屋の改修工事の際には、コンクリートの強度や中性化、鉄筋の腐食・位置等の検査が実施された。



▲1階にある日本有数の映画・芸能資料館「松永文庫」では、門司出身の故松永 武氏が寄贈した大正期から現在におよぶ貴重な映画資料等5万点超の一部が公開されている。

このコーナーはセメント協会公式インスタグラムに掲載された全国の個性あふれるコンクリート構造物のいろいろな情報を織り交ぜながら隔月で紹介しております。また、セメント協会公式インスタグラムでは、この他に数多くの構造物をアップしています。QRコードよりご覧ください。



セメント協会 Instagram 記事「旧大連航路上屋」
https://www.instagram.com/_jca_ssoc/

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) 常務執行役員 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 智章	U B E 三菱セメント(株) 技術戦略部 部長
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 研究開発推進部 部長
浦野 真次	清水建設(株) 技術研究所 建設基盤技術センター 主任研究員
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)
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 客員研究員
流 龍成	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー
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 上級首席技師
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
窪木 康雄	(一社)セメント協会 セメント系固硬化材普及専門委員会 委員長
宮脇 賢司	(一社)セメント協会 セメント系固硬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
吉田 雅彦	(一社)セメント協会 研究所長

一般社団法人 セメント協会加盟会社

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

○ICCC2023 世界のセメント・コンクリート研究の動き①
○コンクリート構造物の耐久性の向上、既設構造物の延命化、さらに脱炭素化を目指して～近未来コンクリート研究会の活動～
○埼玉コンクリートインフラの現状と予防ー地域特性から見たこれからの維持管理の形ー
○異強度場所打ち杭「T-CROWN PILE®」の適用
○竹チップ混合固化土の材料特性
○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 ジオポリマーを含むアルカリ活性材料
○土壌に含まれる重金属等不溶化の最新動向
○超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート®」を用いた道路橋床版のリニューアル技術
○セメント協会研究奨励金による研究より／CO₂排出量、廃棄物・副産物利用の両側面を考慮したセメントの環境影響評価
○ずいそう(宇治公隆) ○寸思寸言(宮川豊章) ほか



RC柱部材の軸方向鉄筋にフレア溶接継手を配置して復旧した鉄道RCラーメン橋台

セメント・コンクリート No.925 3月号
2024(令和6)年3月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者 乾 敏一
編集者 小宮山 慎一郎
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



第78回 THE ANNUAL MEETING OF CEMENT
AND CONCRETE ENGINEERING

セメント 技術大会

2024年5月15日(水)~17日(金)

会 場:

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

形 式: **会場(ライブ配信)** 参加費: **無料**

●聴講にあたっては事前申込が必要となります
(下記QRコードよりお申し込みください)

特別講演 5月16日(木) 15:30~16:45

**カーボンニュートラル実現に
向けたグリーンイノベーション
基金事業の取組**

国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事 **弓取 修二 氏**



一般研究発表

**セメント・コンクリートの
材料科学の研究発表**

○セメント製造技術
○セメント系新材料

○セメントの水和
○コンクリートの耐久性等

○環境・リサイクル

一般社団法人 **セメント協会** 問合せ先: 研究所 技術情報グループ TEL.03-3914-2692

セメント技術大会
ホームページはこちら

