

CEMENT & CONCRETE

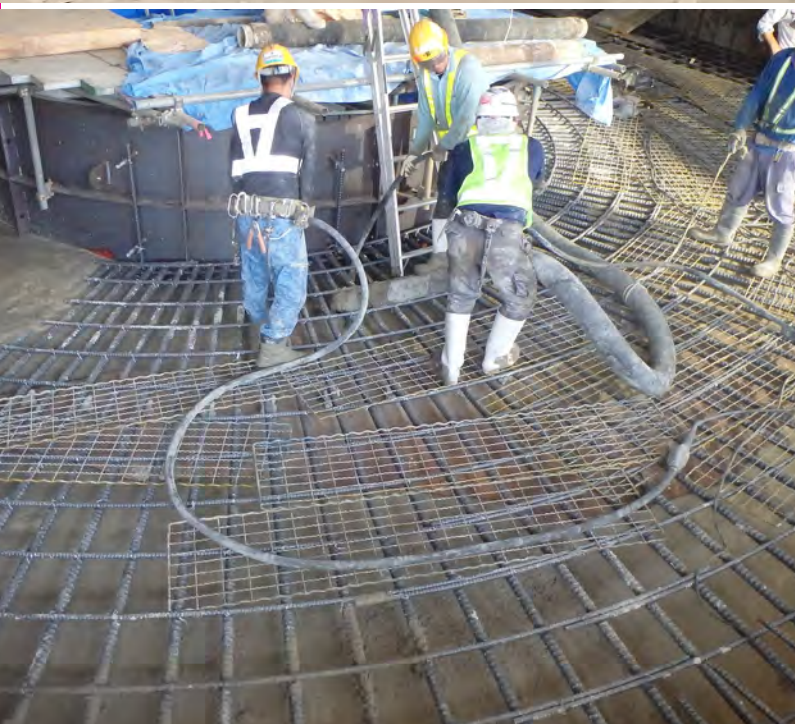
セメント・ コンクリート

令和6年9月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.931

9

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



未来をカタチに変える創造力

AE減水剤（高機能タイプ）

フローリック SV10シリーズ

AE減水剤（高機能・スランプ保持タイプ）

フローリック SL20S・R

高性能AE減水剤

フローリック SF500シリーズ

乾燥収縮低減剤

シュリンクガード/チグミガード/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.931

9

もくじ

- | | | |
|----|---|------------|
| 02 | 火山ガラスの混和材利用 過去／現在／これから | … 友寄 篤 |
| 08 | 早期交通開放コンクリートを用いたスリップフォーム工法の検討 | … 市川 翔太郎ほか |
| 14 | 高流動コンクリートを適用した
PCa製品の外観と収縮および耐久性に関する検討 | … 本田 和也ほか |
| 20 | ずいそう
DIYerとして楽しむ休日 | … 緒方 英彦 |
| 22 | 新東名高速道路 滝沢川橋(仮称)の施工 | … 草部 真子ほか |
| 30 | セメント系材料に吸収固定された
CO ₂ の定量手法確立への取り組みと今後の展望 | … 田原 和人ほか |
| 38 | 信濃川発電所(千手発電所)老朽設備取替に伴う
水車発電機基礎コンクリート工事 | … 飯塚 信彰ほか |
| 46 | 再生炭素繊維(rCF)のコンクリート分野への利用
～サーキュラーエコノミーの推進に貢献する「リカボクリート®」工法～ | … 平田 隆祥ほか |
| 52 | 荷重分布型伸縮装置を設置したRC床版の耐疲労性および製作・施工技術 | … 阿部 忠ほか |
| 60 | セメスタグラム／コンクリートに魅せられて
旧北海製罐株式会社小樽工場第3倉庫 | |

- | | |
|----|--------------------------------------|
| 07 | 第39回(2025年度)セメント協会研究奨励金
テーマ募集のご案内 |
| 29 | 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 | 10月号予告 |



今月の表紙

信濃川発電所(千手発電所)老朽設備取替に伴う水車発電機基礎コンクリート工事[新潟県／提供：東日本旅客鉄道(株)]

火山ガラスの混和材利用 過去／現在／これから

Back to the Volcanic Glass Powder

友寄 篤

1. はじめに

エアテブルを用いて入戸シラスから選別・粉碎した火山ガラス微粉末（以下、VGPと称す）の混和材としての性能が最初に報告されたのが2017年7月である。その後、2020年3月にJIS A 6209「コンクリート用火山ガラス微粉末」が制定され、2022年11月に改定された建築工事標準仕様書・同解説JASS 5 鉄筋コンクリート工事に、2024年3月には改定されたJIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に混和材として引用された。本稿は、2023年12月に行われた第55回 セメント協会 研究所講演会における同タイトルでの講演を基に、これからの実用化に向けた展望など加筆を加えたものである。

2. 過 去

小樽築港における火山灰利用のきっかけについては、「火山灰をセメントに混ぜて使用するドイツのミハエルの発明をフランスの雑誌の中に見つけ、ドイツ政府による良好な試験結果も聞いたので、日本では至る所にある火山灰をこれなら大丈夫と早速混用すること

にした」と廣井先生自身が明治40年頃に述べていたとされる¹⁾。ポルトランドセメントと火山灰を混合することは欧州発の研究成果であるが、当時は日本だけではなく米国でも大規模工事で適用が進んでいたようである。以下、火山灰を含む天然ボゾランの混和材利用の事例をアメリカコンクリート工学会（ACI）によるレポート²⁾から抜粋する。

米国での大規模工事への最初の適用は1910～1912年のLos Angelesの上水路（aqueduct）であり、体積でポルトランドセメントと等量の流紋岩質の粉末が混合されたセメントが使われたとされている。当時の米国の研究レポート³⁾から推察すると、日本と同じようにコンクリートの耐海水性が課題となっていたようで、アルカリ土壌におけるコンクリートの劣化に対する対策としても天然ボゾランを混合することが盛んに試みられていたようである。その後、1920年代から1930年代にはダムをはじめとして各種工事に適用された。この頃には、すでにマスコンの温度上昇への対策が課題となっており、多くのマスコン用セメントの研究開発が進められ、火山ガラスを含む火山灰の利用も含まれている。観光名所にもなるような著名な構造物ではサンフランシスコの栈橋、ゴールデンゲートブリッジのフェンダー（衝突防護工）、サンフランシスコ・オークランドのベイブリッジの橋脚にも25%置換された混合セメントが使われていた。事前に関西州の高速道路で1932年に試験施工を行い、その経過観察や室内試験の結果を基にし



写真1 ゴールデンゲートブリッジ

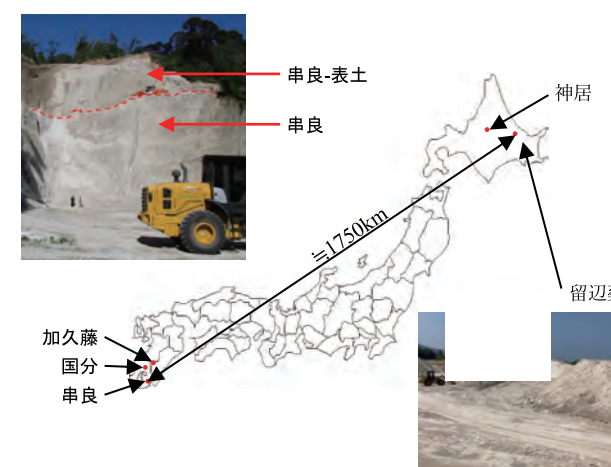


図1 火山性堆積物の採掘現場

て最終的な採用は至ったようである。アールデコの造作と相俟って鋼橋として有名なゴールデンゲートブリッジではあるが、例え防護棚とは言っても天然ボゾランコンクリートが使われていると思うと感慨深い。フェンダー（衝突防護工）とあるので、写真1に示す橋脚周りのコンクリートであろうか。自らが訪問した際には全く着目していなかったが、ここに用いられているのは火山ガラスではなく、同州モンレーで採取し燃焼したか焼シェールだったようである⁴⁾。

本誌2019年11月号（No.873）で、北海道小樽・余市、静岡県伊豆、佐賀県唐津・呼子、長崎県五島などが明治期に混和材としての火山灰の産地であったことに触れた。小樽築港以外の火山灰利用の例として1898（明治31）年に改築に着手した佐世保軍港がある。小樽築港で火山灰の混合を始めたのが1902（明

治35）年からであるので、佐世保軍港での火山灰利用が小樽築港より早いと考えられる。その後も、着工年順に示していくと、函館港（1910）、佐世保軍港けい船堀の岸壁（1911）、室蘭港（1918）、大井ダム（1921）、箱崎油槽（1923）、西之表港（1928）など⁵⁾、港湾を中心に火山灰を用いたコンクリートの利用は全国に広がっていたようである。

現代における火山性堆積物の利用はこれほど盛んではないが、続けて日本では至る所にある火山性堆積物のJIS A 6209「コンクリート用火山ガラス微粉末」適合性について既報⁶⁾を基に述べる。

3. 現 在

北海道から北見市留辺蘂町および旭川市神居町の2箇所の火山灰、鹿児島県から鹿屋市串良町、霧島市国分および宮崎県えびの町の3箇所のシラス、合計5箇所の火山性堆積物について、全て採掘業者から取り寄せたものを用いた。串良町の採掘現場で露頭を観察すると、図1に示す通り灰色の入戸火砕流堆積物（3万年前）の地表部に近い部分に黄土色の層が観察される。これまでは灰色の層から採取したものをしていたが、本報告では個別に採取を依頼した黄土色の層を用いた。国分のシラスは入戸火砕流の下層に堆積する岩戸火砕流（6万年前）と推定される層、えびの町では高純度ガラスとして市販されている加久藤シラ



ともよせ あつし / TOMOYOSE Atsushi
東京大学大学院
工学系研究科 建築学専攻
助教 博士(工学)

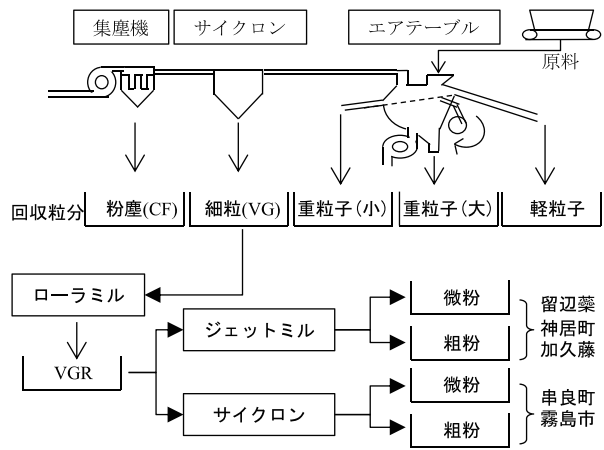


図2 VGRの製造

スをそれぞれ用いた。

それぞれの原鉱から図2に示す通り、風化が進んでいると思われる粉塵(Clay Fraction / 以下CFと称す)を集塵機で除去しながら高純度火山ガラス(Volcanic Glass / 以下VGと称す)をエアテーブルにより選別し、VGをローラーミルで1次粉碎してVGR(VG-Roller mill)を製造した。留辺薬火山灰、神居町火山灰、加久藤シラスはVGRをジェットミルで2次粉碎し、串良町2種類と霧島市はVGRをサイクロンで分級した。以下、VGの粉碎物を総称して火山ガラス微粉末(VGP)とする。

5種類の原鉱から製造されたVGPとCFについて、蛍光X線分析により化学組成を測定した。また、強熱減量は105℃で12時間以上乾燥したサンプルを1000℃で1時間強熱した後の減量から算出した。比表面積は、真空引きしながら300℃、3時間の前処理をし、窒素ガス吸着等温線を-196℃で測定し、BET法を用いて算出した。

JIS A 6209「コンクリート用火山ガラス微粉末」に規定される活性度指数試験方法を参考に、水結合材比=30%のモルタル試験を行った。ただし、基準モルタルのモルタルフローを260±10mmとなるように化学混和剤量を定め、各試験モルタルでも同一量とした。練混ぜ直後のモルタルフローと空気量を測定した後に、50φ×100mmの円柱供試体を作成し、20℃水中養生後、材齢7、28日に3体の圧縮強度を測定し、その平均値

から活性度指数を算出した。なお、CFについては留辺薬、神居町、加久藤、国分の4種類を対象とした。

実験結果を表1に示す。なお、今回の実験は全てJISに準拠した方法で実施していないが、表にはJIS A 6209で定められている項目についてはその規定値を示し、満たさない項目はセルをグレー表示、クラス分けされている活性度指数に関しては、I種とII種を満たす場合には、それぞれ赤色、橙色で色分けした。全体的な傾向は、製造過程で除去された粉塵CFでJISの規格値を満たさない項目が多かったが、北見市留辺薬町では粉末度によらず3種類のVGPともに強熱減量がJIS外であり、旭川市神居町および加久藤シラスでは粉末度の大きなRJFだけ強熱減量やSiO₂が満たさなかった。国分と串良黄土では全てのVGPでJISの規定値を満たした。また、活性度指数試験では、全ての地域のVGPでこれを満たし、国分ではCFでもII種の基準値を満たした。鹿屋市串良町の入戸火砕流堆積物以外の原鉱からVGPを製造した場合には、SiO₂および強熱減量がJISを満たさなくとも活性度指数試験を満たす結果が得られており、これらの規格値では今後の検証が必要であると考えられる。また、製造工程の集塵機で除去される粉塵CFは、強度発現での性能低下を生じない場合もあり、風化の進行程度や風化物の含有割合は地域差があるため、必ずしも粉塵を除去する必要があることも分かった。

SiO₂と強熱減量の関係を図3に示す。全体として

表1 VGPとCFの物性

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	比表面積 (cm ² /g)	活性度指数 (%)	
														7 日	28 日
留 辺 薬	RJF	71.3	0.11	12.9	1.77	0.06	0.43	0.88	3.35	5.59	0.02	5.45	215000	100.4	111.6
	VGR	71.1	0.08	12.4	1.38	0.05	0.27	0.76	3.54	5.79	0.01	4.60	93900	99.7	103.8
	RJC	71.4	0.07	12.3	1.34	0.05	0.25	0.75	3.55	5.81	0.01	4.42	73500	99.3	102.8
神 居 町	RJF	69.8	0.23	15.0	1.86	0.09	0.49	0.80	3.10	3.92	0.02	4.71	212300	107.4	108
	VGR	73.0	0.17	13.7	1.28	0.07	0.30	0.76	3.30	4.11	0.02	3.29	82300	93.1	101.5
加 久 藤	RJC	73.7	0.15	13.3	1.13	0.07	0.26	0.74	3.36	4.17	0.02	3.03	65600	101.9	106.7
	RJF	71.3	0.25	13.5	2.2	0.05	0.39	1.63	3.38	3.1	0.04	4.22	166000	103.3	107.5
国 分	VGR	72.7	0.22	12.9	2.00	0.05	0.36	1.52	3.48	3.13	0.04	3.59	72400	99.7	101.8
	RJC	73.1	0.22	12.7	1.96	0.05	0.36	1.53	3.53	3.13	0.04	3.36	42900	97.1	98
	RF	70.9	0.27	13.9	2.52	0.06	0.57	2.35	3.28	3.15	0.07	2.89	110017	100.17	104.00
串 良 黄 土	VGR	71.6	0.27	13.6	2.37	0.06	0.6	2.22	3.28	3.2	0.06	2.73	65700	96.75	98.79
	RC	72.0	0.27	13.4	2.22	0.06	0.58	2.08	3.28	3.30	0.06	2.81	42900	94.22	99.38
	RF	71.4	0.23	13.6	2.55	0.06	0.37	1.53	3.21	3.08	0.02	3.94	126500	103.03	108.10
CF	VGR	72.6	0.22	13.2	2.25	0.06	0.34	1.44	3.34	3.23	0.02	3.3	76220	97.22	98.83
	RC	73.4	0.21	12.9	2.07	0.06	0.31	1.42	3.35	3.18	0.02	3.09	40790	94.67	97.59
	留辺薬	66.2	0.20	14.1	5.18	0.08	0.91	1.21	1.75	5.08	0.02	5.28	367900	80.9	87.4
CF	神居	58.1	0.37	22.6	4.92	0.11	0.81	0.67	1.29	2.57	0.02	8.56	393400	87.3	94.9
	加久藤	63.1	0.43	17.9	5.73	0.08	0.72	1.11	1.47	2.64	0.06	6.81	334300	84.1	86.7
	国分	69	0.21	12.9	5.63	0.06	0.48	1.33	2.33	3.98	0.05	4.05	140292	95.1	101.6
JIS A 6209															
I 種		70.0 以上		15.0 以下								4.0 以下	80000 以上	100 以上	105 以上
II 種													40000 以上	95 以上	100 以上
III 種													10000 以上	90 以上	95 以上

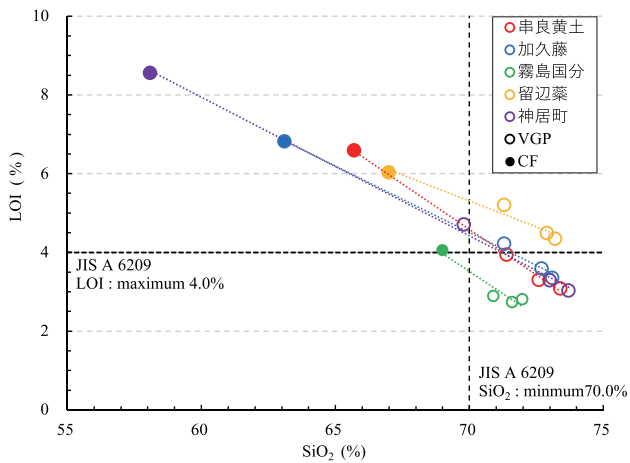


図3 SiO₂と強熱減量

SiO₂が少なくなるほど強熱減量が多くなる傾向が確認され、原鉱ごとに見るとさらに良い相関関係が見られる。マグマ由来の火山ガラスには強熱減量と等量の水分が含まれるとされるため、SiO₂が少なくなるほど含まれる水が増えていると考えられる。火山ガラスは水の働きによる水和・溶脱をしながら粘土鉱物へ変質していく。異なる地域での風化の程度をこの図から比較することは難しいが、同一原料のVGPとCFを比較すると、物理的風化作用を受けた粒子の小さなCFがVGを粉碎したVGPより風化が進んでいるとみなせる。

SiO₂とAl₂O₃+Fe₂O₃の関係を図4に示す。3成分で85%~88%を占める主要な化学組成であるが、地

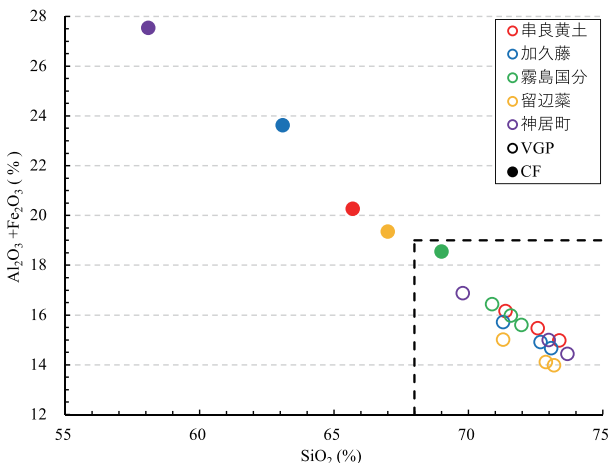


図4 SiO₂とAl₂O₃+Fe₂O₃

域によらず高い相関が認められる。コンクリート用混和材としての天然ボツランに関するアメリカの規格ASTM C618では、化学成分に関してSiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃が70%以上と定められているが、今回の試験対象とした粉末は全てこれを満たしている。今回対象とした原鉱の範囲では、活性度指数試験でJISの規格値を満たすかどうかは、3成分の合計ではなく、SiO₂が68%以上、Al₂O₃+Fe₂O₃は19%以下という化学組成で判定できる結果となった。なお、ASTMでは活性度指数試験の閾値が75%以上と定められており、JIS A 6209の様に強度発現性に優れた混和材を定める規格ではなく、コンクリートに有害な影響を与えず、強度が求め

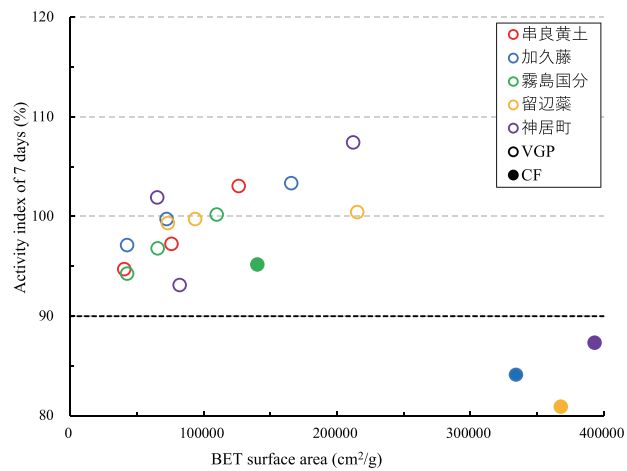


図5 7日活性度指数

られない箇所に使ってもよい天然ポゾランを定めており、規格の根底にある思想が全く異なると推測される。

BET比表面積と7日活性度指数、28日活性度指数の関係をそれぞれ図5,6に示す。いずれの材齢でも比表面積200000cm²/g程度までは地域によらず比表面積が大きくなるほど活性度指数も高くなるが、それ以上の比表面積では頭打ちとなり、400000cm²/g付近では活性度指数は低下しているように見える。霧島国分を除くと地域によらず原鉱に含まれる微粒分であるCFはこれまでの考察から風化が進んでいると考えられ、比表面積が大きいものの、材齢28日までの範囲では強度発現への寄与は少ない結果となったが、神居町および留辺蘂のCFでは7日から28日で活性度指数が高くなっているため、より長期材齢では強度発現に寄与する可能性もある。

4. これから

約2000km近く離れた火山性堆積物を原料として、同じような性能を持つ火山ガラス微粉末を製造することが可能であることが示された。しかしながら製造に関する事業化が確立されておらず、鹿児島においても流通している混和材とは言えない。それでもなお、2024年6月11日の新聞報道によれば、鹿児島県は歩車道境界ブロックなどのコンクリート2次製品などを対象として、VGPを用いたモデル工事を年度内に実施すること

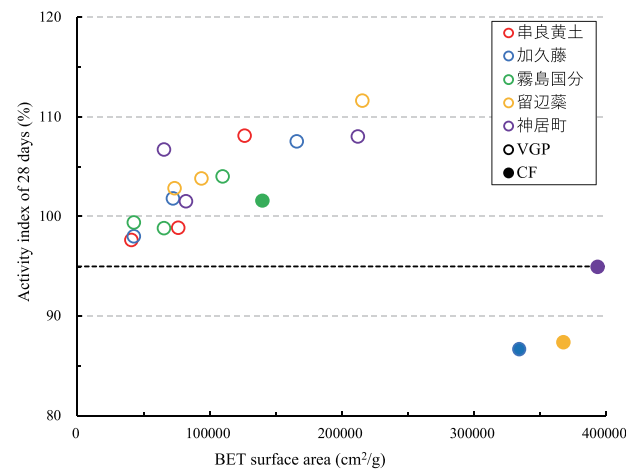


図6 28日活性度指数

を明らかにしたという。

ドイツのミハエルによる火山灰に関する最初の報告からドイツ政府による検証結果を経て、小樽築港での1902年の適用開始までそこまで時間はかかっていない。同じようなペースで進んでいるが、今後もゴールデンゲートブリッジのような構造物を陰で支えるコンクリートに採用されることを期待したい。

【参考文献】

- 1) 高橋哲郎／評伝 山に向かいて目を挙ぐ 工学博士・広井勇の生涯, pp.155～181, 鹿島出版会, 2003.
- 2) ACI Committee 232 / ACI 232.1R-12 Report on the Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete, 2012
- 3) Bates P. H., Phillips A. J. and Wig R. J. / Action of the Salts in Alkali Water and Sea Water on Cements, Technologic Paper No. 12, National Bureau of Standards, 1912
- 4) H. S. Meissner / Pozzolans Used in Mass Concrete, Symposium on the Use of Pozzolanic materials in Mortars and Concrete, STP No. 99, American Society for Testing and Materials, pp.16～30, 1950
- 5) 土木学会／日本土木史 大正元年～昭和15年, 1965
- 6) 友寄篤, 谷口円, 袖山研一, 野口貴文／各地の火山性堆積物を原料とした火山ガラス微粉末の性能, 火山性堆積物のコンクリート用混和材としての高度利用に関するシンポジウム論文集, pp.1～4, 2022

*

*

*

お知らせ

第39回(2025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若手および中堅の研究者育成のために、大学・工業高等専門学校の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(2024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又は英語を用い、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 2024年9月6日(金)～11月15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 セメント協会研究奨励金審査委員会により審査

8. 結果通知 2025年3月下旬 ※ 申請者へ結果を通知

9. 支給 2025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

早期交通開放コンクリートを用いた スリップフォーム工法の検討

Study on slipform paving using concrete for early traffic opening

市川 翔太郎 玉滝 浩司 高原 幸之助 野口 純也 坂本 寿信 浅生 和彦

1. はじめに

近年、コンクリート舗装は環境負荷低減や長寿命化、ライフサイクルコスト縮減などの社会的・経済的要請から、長寿命、高耐久性、環境面での優位性を再評価されている。こうした状況において、コンクリート舗装の適用に当たって懸念されている養生期間を短縮可能な早期交通開放型コンクリート舗装（以下、1DAY PAVEと称す）¹⁾がセメント協会によって開発された。しかし、1DAY PAVEは小規模な人力施工を対象とした補修工法として開発された技術であるため、現状では機械施工による大規模なコンクリート舗装の打換えに適用した事例は少ない。

一方で、機械施工であるスリップフォーム工法は、型枠やレールなどの設置が不要であり、セットフォーム工法に比べ機械編成が少なく、施工能力が高いため、

施工の省力化や工期短縮、コスト低減を図ることができる。

本稿では両者のメリットを活かすことを考え、1DAY PAVEをスリップフォーム工法に適用するため、室内試験、実機試験、試験施工を実施し、適用性を評価した結果について報告する。

2. 試験概要

表1に使用材料を、表2に試験項目および方法を示す。スランプと空気量の目標値はそれぞれ $8\pm 2.5\text{cm}$ 、 $5.5\pm 1.5\%$ とした。また、変形抵抗性試験は既往の文献²⁾を参考に、エッジスランプ（以下、ESと称す）は10mm以下、オーバーフロー（以下、OFと称す）は15mm以下を目標とした。写真1にES、OFの測定箇所を示す。室内試験は20℃環境で行い、フレッシュ性状は運搬時間を考慮して練上がりから30分後の値で

表1 使用材料

種類	記号	使用材料	概要
セメント	C	早強ポルトランドセメント	密度:3.14 g/cm ³
細骨材	S	砕砂	石灰石(福岡県北九州市産) 表乾密度:2.69 g/cm ³
粗骨材	G1	砕石 2010	硬質砂岩(山口県山口市産) 表乾密度:2.69 g/cm ³
	G2	砕石 1505	G1:G2=60:40, 実積率:59 %
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤	標準形または遅延形 主成分:ポリカルボン酸コポリマー
	AE	空気量調整剤	AE 剤
練混ぜ水	W	上水道水	

表2 試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101:2020 に準拠した。
空気量	JIS A 1128:2020 に準拠した。
変形抵抗性 ²⁾	スライド板を設けた箱型装置(250×250×250mm)にコンクリートを投入し、内部振動機を用いて締固めを行った。その後、表面を仕上げ、スライド板を引き抜き、スライド板の接していた試料上面中央部分の下がり量(ES)、はらみ出し量(OF)を測定した。
曲げ強度	JIS A 1106:2018 に準拠した。材齢1日まで練混ぜ時の環境温度で養生した後、 20 ± 2 ℃の水中養生を行い所定の材齢で試験に供した。

表3 配合条件(粗骨材かさ容積の選定時)

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)		粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	細骨材率 (%)	空気量 (%)
	W	C			
37	143	386	0.730	36.5	5.5
			0.760	34.0	
			0.790	31.4	

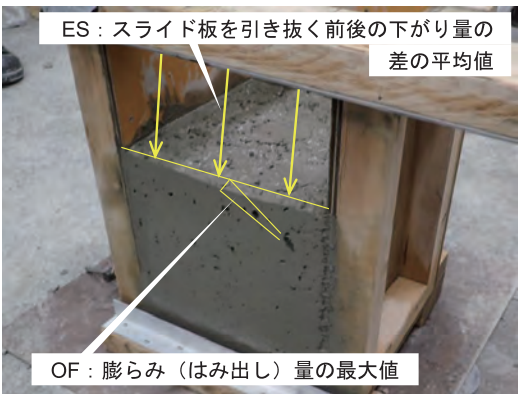


写真1 ES、OFの測定箇所

評価した。材齢1日の曲げ強度は、 3.6N/mm^2 （設計基準曲げ強度 $4.4\text{N/mm}^2\times$ 割増し係数 $1.15\times 0.7^3=3.54\text{N/mm}^2$ ）以上とした。

3. 室内試験結果

3-1. 粗骨材かさ容積の選定

表3に配合条件(粗骨材かさ容積の選定時)を示す。既報⁴⁾を参考に水セメント比は37%とし、粗骨材かさ容積は $0.730\text{m}^3/\text{m}^3$ 、 $0.760\text{m}^3/\text{m}^3$ 、 $0.790\text{m}^3/\text{m}^3$ の3水準に設定してフレッシュコンクリートの変形抵抗性および目視観察から最適な粗骨材かさ容積を決定した。

図1に粗骨材かさ容積とESおよびOFの関係を示す。変形抵抗性が最良となる粗骨材かさ容積は、ESでは $0.730\text{m}^3/\text{m}^3$ 、OFでは $0.760\text{m}^3/\text{m}^3$ であったので、

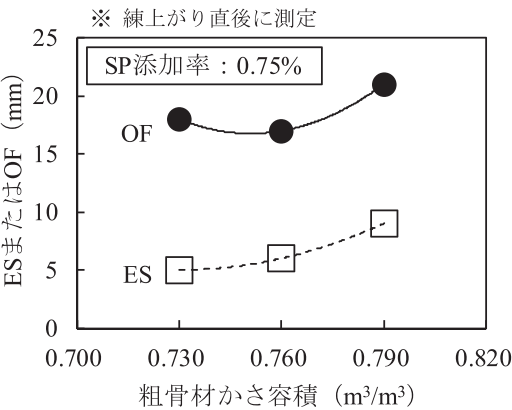


図1 粗骨材かさ容積とESおよびOFの関係

目視観察により施工性や仕上げ性を考慮し、粗骨材かさ容積 $0.760\text{m}^3/\text{m}^3$ を採用した。

3-2. 環境温度別の混和剤タイプの比較

運搬・施工時のトラブルによる遅滞を想定して、標準形または遅延形の高性能AE減水剤を使用し、環境温度別のスランプの経時変化を比較した。

図2に環境温度別のスランプの経時変化を示す。いずれの環境温度でも、標準形を使用した場合に比べ、遅延形を使用した場合の方がスランプの低下は

いちかわ しょうたろう / ICHIKAWA Shotaro
UBE三菱セメント(株)
研究所 コンクリート研究室
生コン・特殊コングループ

たまたき こうじ / TAMAKI Kouji
同上
生コン・特殊コングループ グループリーダー

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

のぐち じゅんや / NOGUCHI Junya
(株)佐藤渡辺
技術研究所 室長

さかもと としのぶ / SAKAMOTO Toshinobu
同上
所長

あさお かずひこ / ASAO Kazuhiko
同上
技術部

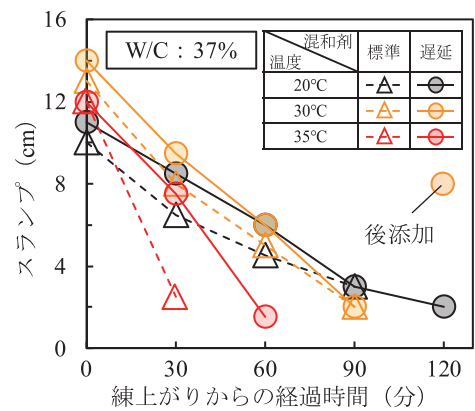


図2 環境温度別のスランプの経時変化

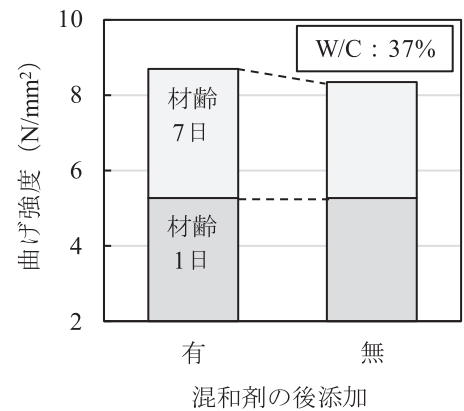


図3 混和剤の後添加が強度発現性に及ぼす影響

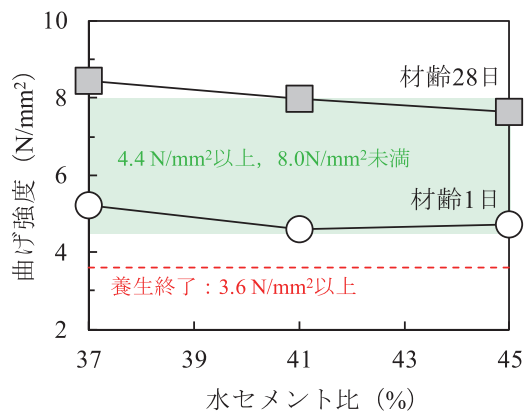


図4 水セメント比と曲げ強度の関係

小さくなる傾向にあった。特に、遅延形の使用によるスランプ低下の抑制効果は、環境温度が35℃の場合に顕著であった。

また、環境温度が30℃の場合では、練上がりから120分後に混和剤の後添加によってスランプを改善したコンクリートを用いて、後添加の有無による強度発現性への影響を調べた。図3に混和剤の後添加が強度発現性に及ぼす影響を示す。いずれの材齢でも、混和剤の後添加による強度低下はなかった。

3-3. 水セメント比の変更

水セメント比が37%のコンクリートを連続鉄筋コンクリート舗装に適用すると、鉄筋が降伏し、その後のひび割れが制御できなくなることが懸念される。そこで、水セメント比を37%, 41%, 45%の3水準に設定し、材齢1日および28日の目標曲げ強度を満足する水セメント比を調べた。

図4に水セメント比と曲げ強度の関係を示す。水セメント比が最も大きい45%の場合でも、材齢1日の目標曲げ強度の3.6N/mm²以上を満足した。一方、材齢28日の曲げ強度は、水セメント比が37%および41%の場合には8.0N/mm²以上であった。曲げ強度が8.0N/mm²を超える場合、鉄筋にかかる応力度が降伏強度を上回る可能性があったため、安全側となるよう水セメント比は45%を採用した。

3-4. 施工想定環境での強度発現性の確認

施工予定時期の日平均気温が15～17℃であったため、環境温度が15℃における強度発現性を事前に確認した。図5に環境温度別の曲げ強度の測定結果を示す。材齢1日の曲げ強度は、環境温度が20℃の場合に比べ15℃の場合では小さいが、養生終了曲げ強度の3.6N/mm²以上を満足した。また、15℃環境における曲げ強度は、材齢2日では6.1N/mm²、7日では7.2N/mm²と良好な強度発現を示しており、設計基

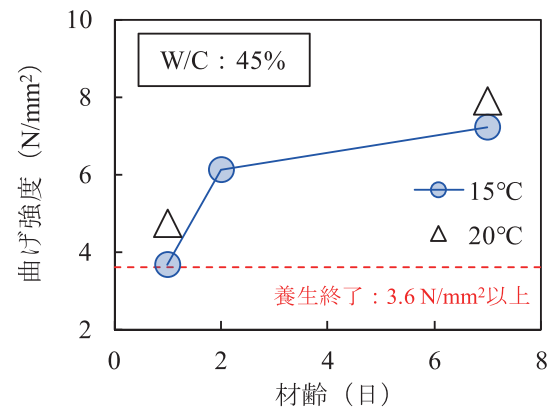


図5 環境温度別の曲げ強度の測定結果



写真2 専用トレーラー

準強度の4.4N/mm²以上を満足した。

4. 実機試験結果

生コンの出荷工場において、得られた配合(水セメント比45%, 単位水量143kg/m³, 粗骨材かさ容積0.760m³/m³, 空気量5.5%)で実機試験を行った。実機試験時の環境温度は20℃であった。

表4に実機試験の結果を示す。練上がりから30分後の各種フレッシュ性状は目標値を満足した。また、材齢1日の曲げ強度は目標値を満足し、材齢7日以降の強度増進は小さく過大に強度が発現しないことを確認した。

5. 試験施工

5-1. 概要

(1) 施工場所

施工は民間の工業用道路で実施した。当該道路では、写真2に示す専用トレーラーが300台/日程度、

表4 実機試験の結果

	スランプ (cm)	空気量 (%)	ES (mm)	OF (mm)	曲げ強度 (N/mm²)		
	練上がりから 30 分後				1 日	7 日	28 日
目標	8±2.5	5.5±1.5	≤10	≤15	≥3.6	≥4.4	—
実測	9.0	5.9	4	11	4.65	7.00	7.03

表5 舗装構造詳細

舗装種別	JPCP	CRCP
施工延長	400 m	200 m
施工幅員	4.0 m	
舗装構成	コンクリート版 30cm	
	中間層 4cm	
	上層路盤 16cm	
	下層路盤 35cm	
	路床の CBR10 %程度	
設計手法	理論的設計方法 ⁵⁾	
横収縮目地	目地間隔 6m	なし
横膨張目地	施工起終点	JPCP 接合部
仕上げ	ほうき目仕上げ後， タイングルーピングとした。	

その他大型車が260台/日程度走行している。施工区間は片側1車線の対面通行区間である。

(2) コンクリート舗装の種類

本試験施工では、施工性を確認するため、普通コンクリート舗装および連続鉄筋コンクリート舗装(以下、CRCPと称す)の2工区を設定した。なお、普通コンクリート舗装は鉄網を省略した構造(以下、JPCPと称す)とした。

(3) 舗装構造および詳細

表5に舗装構造詳細を示す。舗装構造は、舗装設計便覧に示される「理論的設計方法」⁵⁾に基づいてコンクリート版厚の設計を行い、JPCP、CRCPともに、コンクリート版厚を30cmとした。なお、コンクリートの配合は、実機試験時と同じである。

5-2. コンクリート版の施工

(1) 施工手順

図6に舗装断面を示す。まず、既設アスファルト舗装を剥ぎ取り、既設上層路盤の高さ調整を行った。そ

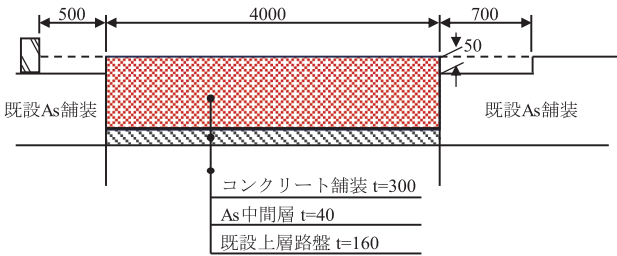


図6 舗装断面

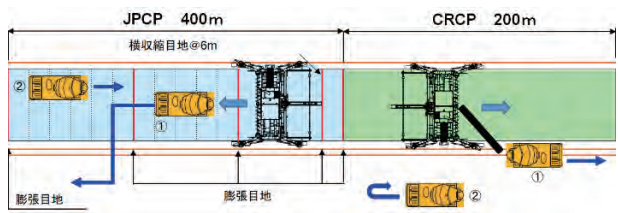
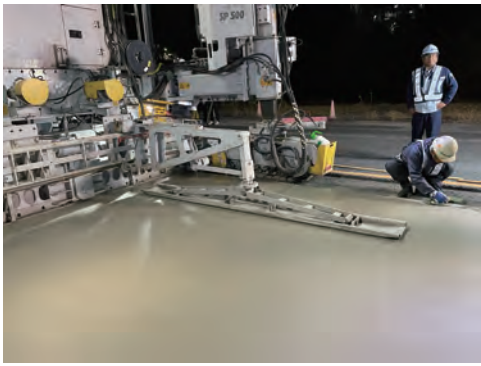


図7 機械施工図



(a)コンクリートの打込み



(b)機械ならし



(c)粗面仕上げ



(d)散水養生

写真3 CRCPの施工状況

の後、アスファルト中間層を施工した。

コンクリート版の施工には、WIRTGEN社製のスリップフォームペーバ(SP-500)を使用し、既設アスファルト舗装天端より50mm下げた箇所をスリップフォームペーバのクローラが走行しながら、コンクリート版を施工した。スリップフォームペーバが走行した箇所はコンクリート養生終了後にアスファルト舗装で復旧した。

(2) 施工状況

図7に機械施工図を示す。コンクリートは、JPCPではトラックアジテータから直接打ち込み、CRCPでは横取り機を使用して打ち込んだ。また、JPCPは日中の3日間で施工し、施工時の平均気温は約20℃、打込み量は約160m³/日であった。一方、CRCPは夜間の2

日間で施工し、施工時の平均気温は約13℃、打込み量は約120m³/日であった。

写真3にCRCPの施工状況を示す。

(3) コンクリートの受入検査

表6に受入検査結果を示す。すべての検査において基準値を満足し、施工性も良好であった。

5-3. 路面性状調査

施工直後に路面性状の調査を実施した。表7に路面性状の調査結果を示す。施工直後の路面性状は、目標とする基準値(平たん性、すべり抵抗など)を満足しており、良好な性状であることを確認した。

表6 受入検査結果

項目 基準値	採取日	スランブ	空気量	塩化物	コンクリート	外気温	エッジ	オーバー	材齢1日	材齢7日
		(cm)	(%)	含有量 (%)	温度 (℃)	(℃)	スランブ (mm)	フロー (mm)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
		8.5±2.5	5.5±1.5	0.30以下	5～35	—	10以下	15以下	3.6以上	4.4以上
10/23	1回目	6.5	5.0	0.02	22	20	4	9	4.50	6.09
	2回目	7.0	5.5	0.03	25	23	4	10	4.64	5.85
10/24	1回目	5.5	5.0	0.02	21	19	5	8	4.98	6.21
	2回目	8.0	6.0	0.02	25	23	5	9	4.57	5.72
10/25	1回目	6.5	5.0	0.02	21	19	5	8	4.98	6.10
	2回目	6.0	4.6	0.02	25	20	5	9	4.93	6.18
10/30 ^{※1}	1回目	9.5	6.0	0.01	21	16	6	10	5.26 ^{※2}	6.92
10/31 ^{※1}	1回目	9.0	6.5	0.01	23	17	7	12	4.96 ^{※2}	6.62

※1 夜間のため、工場出荷時にフレッシュ性状の検査と供試体の作製を実施した。

※2 練上がりから36時間後に試験を実施した。

表7 路面性状の調査結果

項目	単位	基準値	JPCP	CRCP
平たん性	mm	2.4以下	1.38	1.34
横断形状	mm	—	初期値計測	初期値計測
すべり抵抗 (BPN)	—	60以上	93	92
すべり抵抗 (DFT)	μ ₈₀	0.35以上	0.54	0.47
路面のきめ深さ (CTメータ)	mm	—	1.16	1.46
荷重伝達率 (目地中央部) ^{※1}	%	80以上	85.0	—
荷重伝達率 (目地隅角部) ^{※1}	%	80以上	86.3	—
ひび割れ幅 ^{※1}	mm	0.3以下	—	0.1～0.2
平均ひび割れ間隔 ^{※1}	cm	—	—	303

※1 施工完了の1か月後に実施した。

6. おわりに

コンクリート舗装工事の省力化と工期短縮を実現するため、1DAY PAVE用のコンクリートを改良して型枠不要な大型機械(スリップフォームペーバ)施工に適用した。その結果、舗装工事の省力化と工期短縮が図れ、問題なく施工することができた。また、施工直後の路面性状は、平たん性やすべり抵抗などの試験で基準値を満足した。今後は、本工法の適用実績の拡大のために、本現場の追跡調査を行い路面性状の確認や情報発信を継続して実施することで「早期交通開放型コンクリート(1DAY PAVE)を用いたスリップフォーム工法」の普及を推進していく所存である。

【謝辞】本試験施工を行うにあたりご指導頂いた東京農業大学 小梁川雅名誉教授、実機試験ならびに施工にご協力頂いた萩森興産(株)の皆様に深謝いたします。

【参考文献】

- セメント協会／早期交通解放型コンクリート舗装1DAY PAVE製造施工マニュアル 第2版, 2022
- 鈴木徹, 塚本真也, 坂本寿信, 酒井宏和, 鎌田孝行, 齊藤一之／舗装用スリップフォーム工法コンクリートの自立性, 脱型性を評価する品質管理手法について, 道路建設, No.740, pp.71～77, 2013.9
- 日本道路協会／舗装施工便覧(平成18年度版), pp.166～167, 2006
- 田中将平, 五十嵐浩行, 坂本寿信, 浅生和彦／早期交通開放型コンクリート舗装のスリップフォーム工法への適用性の配合検討, 第76回セメント技術大会講演要旨2022, pp.110～111
- 日本道路協会／舗装設計便覧, pp.166～193, 2006

高流動コンクリートを適用したPCa製品の 外観と収縮および耐久性に関する検討

Study on Appearance, Shrinkage and Durability of Precast Concrete Products with High-fluid Concrete

本田 和也 宮園 雅裕

1. はじめに

建設現場の生産性向上の観点から、プレキャストコンクリート製品（以下、PCa製品）の活用が推進されている。また、高流動コンクリートは、流動性が高く自己充填するコンクリートであるため、PCa製品へ適用することで打込み工程の効率化、締固め作業における振動や騒音の抑制といった利点を得ることができる。以上のことから、PCa製品の製造において高流動コンクリートを適用することが検討されている。

一方で高流動コンクリートは、普通コンクリートに比べると粘性が高く、型枠打込み時に巻き込まれた気泡がコンクリートの型枠面に残存することがある。この表面の気泡はPCa製品の美観を低下させるため商品価値を低下させる恐れがある。そのため、自己充填性が高い高流動コンクリートをPCa製品に適用する場合に、表面気泡が生じることを抑制するために振動締固めを過剰に行ってしまうような状況がある。

この過剰な振動締固めがコンクリートに及ぼす影響

は、振動によってコンクリート中のモルタルが液状化することで粗骨材が沈降し、水やセメントペーストが浮上することなどが報告されている^{1,2)}。振動締固めによる粗骨材の沈降は、圧縮強度や静弾性係数の低下³⁾や、表面透気係数や空隙率で表されるコンクリート品質の低下の要因⁴⁾となることが報告されている。しかしながら、これらの知見は、いずれもスランプ管理されたコンクリートを対象としたものであり、締固め不要である高流動コンクリートへの過剰な振動締固めがコンクリート性状に及ぼす影響に着目した事例は少ない。

そこで本検討では高流動コンクリートを対象に、過剰な振動締固めがコンクリート製品の外観や材料分離、収縮特性および耐久性として中性化抵抗性や遮塩性に及ぼす影響を検証した。

2. 実験概要

2-1. 使用材料および配合

使用材料を表1に示す。高流動コンクリートの種類は粉体系高流動コンクリートとし、普通ポルトランドセメントに石灰石微粉末を置換した。

コンクリートの配合を表2に示す。供試体の外観観察用供試体および収縮特性評価用供試体には配合No.1を、耐久性試験用供試体には配合No.2を用いた。外観観察用供試体と耐久性試験用供試体で異なる配合を用いた理由は、対象とした製品工場および製品が

表1 使用材料

名称	略号	備考
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度:3.15g/cm ³
混和材	LP	石灰石微粉末 密度:2.72g/cm ³
細骨材	S	山砂 表乾密度:2.57g/cm ³
粗骨材	G	砕石2005 表乾密度:2.64g/cm ³
混和剤	SP	高性能AE減水剤

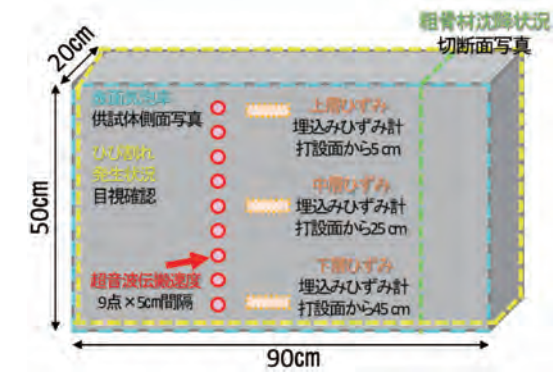


図1 外観観察用供試体

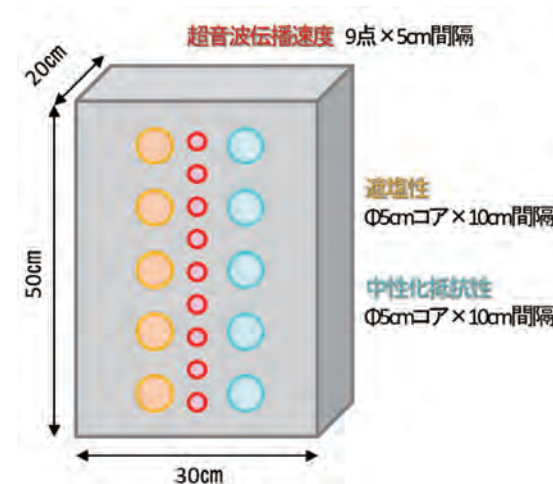


図3 耐久性評価用供試体

異なるためである。スランプフローの目標値は、高流動コンクリートの配合設計・施工指針⁵⁾に記される、粉体系高流動コンクリートの自己充填性ランク1を参考に650～750mmの範囲とし、高性能AE減水剤の使用量を調整した。

2-2. 供試体の概要および実験方法

(1) 供試体概要

外観観察用の供試体の寸法は、図1に示すように20cm×90cm×高さ50cmとした。コンクリートの練混ぜ

表2 コンクリートの配合

No.	W/C (%)	W/P (%)	単位量(kg/m ³)					SP (P*%)	備考
			W	P		S	G		
				C	LP				
No.1	38	30.1	170	447	118	673	891	1.20	外観観察用 収縮特性評価用
No.2	45	31.4	165	367	158	835	766	1.25	耐久性試験用

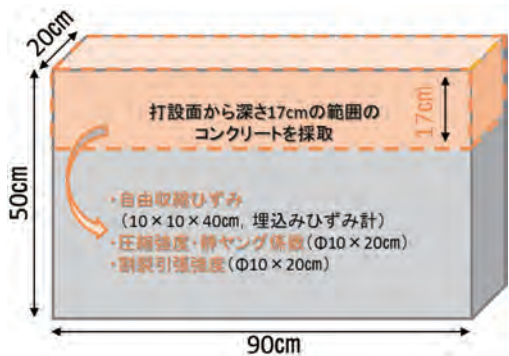


図2 収縮特性評価用コンクリート採取位置

および供試体の作製は、室温が20℃の恒温試験室で実施した。実験水準は振動締固め有または無の2水準としており、振動締固め有の供試体の作製方法は、コンクリートを1層で打ち込み、棒状バイブレータ（振動数200～258Hz、棒径28mm）で、15cm間隔各箇所60秒間の振動締固めを与えた。一般的な振動締固め時間の目安は5～15秒であるので、本検討では通常の4倍以上の過剰な振動締固めを与えている。一方、振動締固め無の供試体は、振動締固めを実施せずにコンクリートを1層で打ち込んだ。供試体は材齢1日で脱型し、室温20℃、湿度60%R.H.の試験室に静置した。

収縮特性評価用供試体は、外観観察用供試体と同様の寸法および実験水準で供試体を作製した後に、図2に示すように供試体上層部分からコンクリートを採取し、各種供試体を作製した。

耐久性試験用の供試体の寸法は、図3に示すように20cm×30cm×高さ50cmとした。コンクリート供試体の作製方法および実験水準は振動締固め方法を除いて外観観察用供試体と同様である。振動締固め有の供試体は、型枠をテーブルバイブレータ上に設置し、振動を与えながら60秒間でコンクリートを打ち込み、打込み後さらに60秒間の振動を与えた。一方、振動無の供試体は、振動を与えずに60秒間でコンクリートを



ほんだ かずや / HONDA Kazuya
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所
副主任研究員 博士(工学)



みやぞの まさひろ / MIYAZONO Masahiro
同上
知的財産部
課長 博士(工学)

表3 コンクリートのフレッシュ性状(外観観察用)

No.	W/P (%)	SP 添加量 (P*%)	スランブ フロー (mm)	50 cmフロー 到達時間 (s)	空気量 (%)
No.1	30.1	1.2	750	6.6	2.0

打ち込んだ。

(2) 実験方法

外観状況として、表面気泡率とひび割れ発生状況を評価した。表面気泡率は、材齢91日にデジタルカメラで供試体を撮影し、画像解析によって気泡径および気泡率を算出した。ひび割れ発生状況は、脱型から材齢10日までは毎日、その後は材齢14、28、56、91日で、目視観察結果を記録した。また、材料分離状況として、超音波伝搬速度比および粗骨材沈降状況を評価した。超音波伝搬速度比は、周波数が28kHzの超音波測定器を用いて、超音波発振子・受振子を供試体の両側面に当て対面法によって超音波伝搬時間を測定し、供試体厚さから算出した各測定箇所の超音波伝搬速度を平均値で除すことで超音波速度比とした。粗骨材沈降状況は、供試体を高さ方向に切断し、デジタルカメラで切断面を撮影し、撮影した画像を上層、中層、下層に3等分し、画像解析によって供試体の粗骨材面積率を算出した。

収縮特性として、コンクリートの長さ変化率と圧縮強度、ヤング係数および割裂引張強度を測定した。コンクリートの長さ変化率の計測には埋込みひずみ計を用いており、図1に示すように外観観察用供試体の実ひずみ、図2に示すように供試体上層部から採取したコンクリートから供試体の自由収縮ひずみを取得した。なお、自由収縮ひずみ用供試体は、寸法が10×10×40cmとして、供試体上層部から採取したコンクリートを均一に攪拌した後に作製した。また、外観観察用供試体の上層部分と同様の乾燥条件にするために材齢1日で脱型し、供試体底面部分をアルミ箔テープでシールした状態で、室温20℃、湿度60% R.H.の試験室に静置した。なお、供試体の体積表面積比は、外観観察用供試体の上層部が5.5cm、10×10×40cm 供試体が

2.9cmである。

圧縮強度、ヤング係数および割裂引張強度は、図2に示すように供試体上層部から採取したコンクリートから供試体を作製し、室温20℃の試験室において所定の材齢まで封かん養生し材齢3、7、28日で試験を実施した。

中性化抵抗性および遮塩性評価の為の供試体は、図3に示すように、供試体の高さ方向に10cm 間隔で採取したΦ5cmコンクリートコアを用いた。促進中性化試験は、材齢28日でコンクリートコア側面をアルミテープで密封し、JIS A 1149を参考に温度20℃、湿度60%R.H.、CO₂濃度5%の条件で促進中性化を行い、促進材齢13週で割裂断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを求めた。塩水浸漬試験は、材齢28日でコンクリートコア側面にエポキシ樹脂によるコーティングを施し、JSCE G572を参考に濃度10%の塩化ナトリウム溶液に浸漬させて、材齢13週において、割裂断面に1/10N 硝酸銀溶液を噴霧し、塩化物イオンの浸透深さを求めた。

3. 実験結果および考察

3-1. 過剰な振動締固めが外観に及ぼす影響

外観観察用供試体に用いた高流動コンクリートのフレッシュ性状を表3に示す。スランブフローは750mmと目標値の上限であったものの、目視確認の結果、粗骨材の偏在やペースの浮きは認められなかった。

供試体の外観状況を写真1に示す。振動締固め無の表面気泡率0.32%、表面気泡の最大径15mmに対して、過剰な振動締固めを与えた場合は、表面気泡率0.01%、表面気泡の最大径2mmであり、過剰な振動締固めを与えることで、表面気泡率と気泡径が大幅

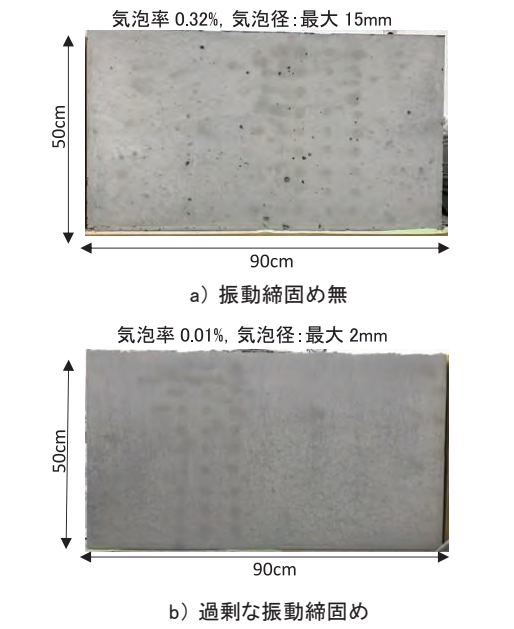


写真1 供試体外観状況(材齢91日時点)

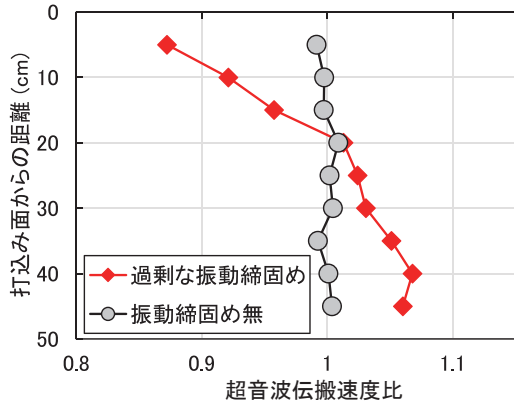


図5 超音波伝搬速度比(外観観察用供試体)

に抑制された。

次に、ひび割れ発生状況を図4に示す。振動締固め無の供試体は、打込み後91日時点でひび割れが認められないが、過剰な振動締固めを与えた供試体は、打込み後7日に供試体上部にひび割れが発生した。

超音波伝搬速度比を図5、粗骨材の分布状況を写真2に示す。振動締固め無の供試体は、供試体上層、中層、下層において、超音波伝搬速度比は一樣な分布であった。また、供試体上層、中層、下層における粗骨材面積率は34～37%とおおむね同様であった。なお、粗骨材面積率は、計画配合上の粗骨材絶対

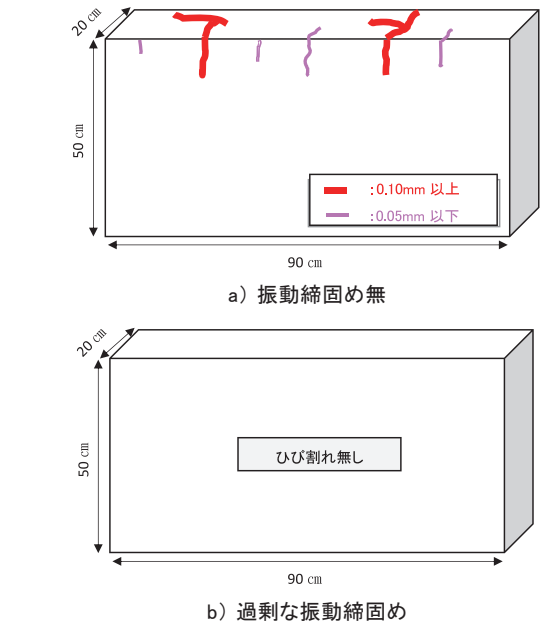


図4 ひび割れ発生状況(材齢91日時点)

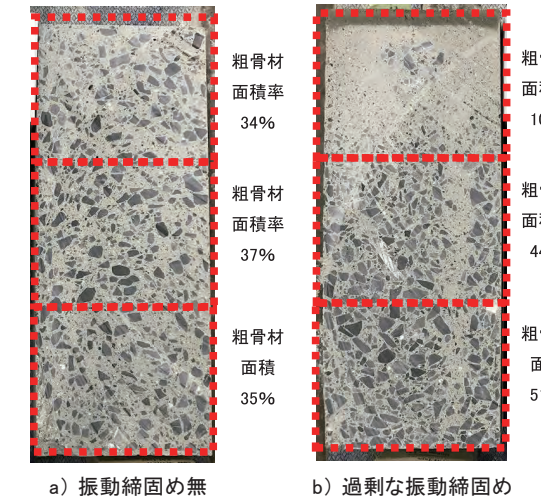


写真2 供試体断面の粗骨材分布

容積338ℓ/m³(≒33.8%)とおおむね一致した。一方、過剰な振動締固めを与えた場合、超音波伝搬速度比は、供試体上部で小さく、供試体下部で大きい。また、既往の研究と同様に過剰な振動締固めによる粗骨材の沈降^{1,2)}が認められ、供試体の上層部分には粗骨材がほとんど存在していない状態であった。

3-2. ひび割れ発生原因に関する考察

過剰な振動締固めによってひび割れの発生や粗骨材の沈降が認められた供試体上層部分に着目し、コンクリートの硬化性状と収縮特性を比較した。

表4 供試体上層のコンクリートの硬化性状						
試験 材齢 (日)	振動締固め無			過剰振動締固め		
	圧縮 強度 (N/mm ²)	ヤング [*] 係数 (kN/mm ²)	割裂引張 強度 (N/mm ²)	圧縮 強度 (N/mm ²)	ヤング [*] 係数 (kN/mm ²)	割裂引張 強度 (N/mm ²)
3	48.6	28.7	3.66	48.9	25.0	2.99
7	59.3	31.6	4.19	59.2	27.5	3.54
28	75.3	34.5	4.93	76.0	29.7	4.57

表5 コンクリートのフレッシュ性状(耐久性試験用)					
No.	W/P (%)	SP 添加量 (P*%)	スランプ フロー (mm)	50 cmフロー 到達時間 (s)	空気量 (%)
No.2	31.4	1.25	716	7.2	2.5

供試体上層の硬化性状を表4に示す。過剰な振動締固めを与えた場合、ヤング係数と割裂引張強度が低下した。これは、過剰な振動締固めによる粗骨材の沈降による影響と考えられる。

次に、外観観察用供試体の実ひずみを図6に示す。過剰な振動締固めを与えた場合、供試体上層に大きな収縮ひずみが発生した。さらに、過剰な振動締固めを与えた供試体の材齢28日における上層と下層の収縮ひずみの差は267μであり、振動締固め無の供試体の110μよりも大きな収縮ひずみ勾配が発生した。コンクリートの収縮ひずみはコンクリートに占める骨材の体積比に応じて変化する⁶⁾ので、過剰な振動締固めによって粗骨材が沈降したため大きな収縮ひずみ勾配が生じたと考えられる。また、図6には、供試体上層の自由収縮ひずみを併記している。材齢28日における実ひずみと自由収縮ひずみの差は、過剰な振動締固めを与えた供試体364μであり、振動締固め無の供試体の167μよりも乖離した。これは、無拘束状態で発生する自由収縮ひずみを、中層のコンクリートが拘束したためと考えられ、過剰な振動締固めを与えた供試体は拘束が大きいと考えられる。

以上の結果から、過剰な振動締固めを与えた供試体は、過剰な振動締固めによる粗骨材の沈降によって、供試体上層の割裂引張強度の低下や、供試体上層に作用する拘束応力の増加が生じて、収縮ひび

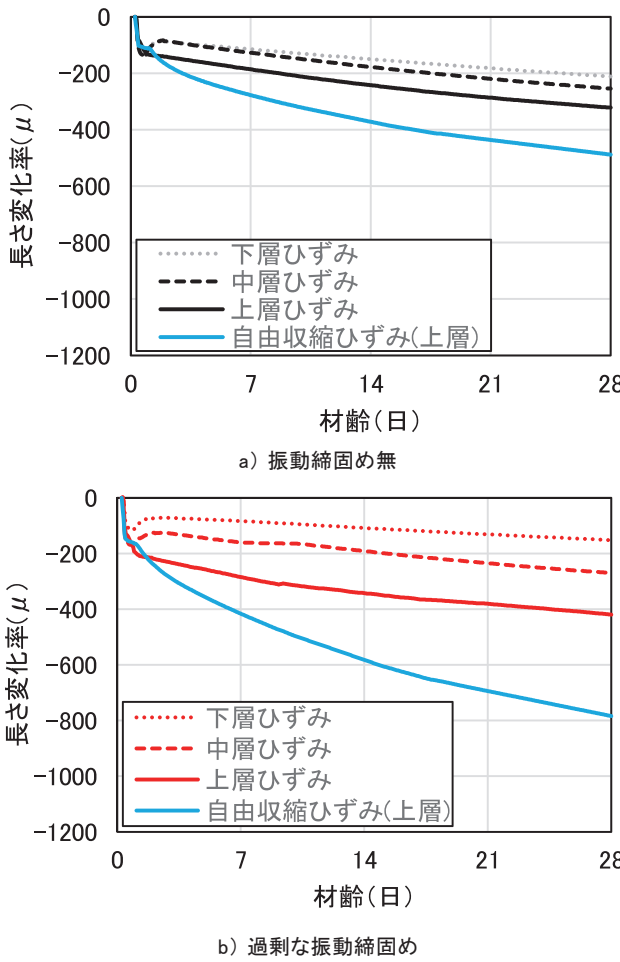


図6 コンクリートの長さ変化率

割れが発生したと推察される。

3-3. 過剰な振動締固めが耐久性に及ぼす影響

外観観察用供試体に用いた高流動コンクリートのフレッシュ性状は表5に示す通りである。本配合も目視確認の結果、粗骨材の偏在やペーストの浮きは認められなかった。

超音波伝搬速度比を図7に示す。耐久性試験用の供試体はテーブルパイプレータを用いて振動締固めを与えたが、棒状パイプレータを用いた場合(図4)と超音波伝搬速度比の分布傾向は同様であり、テーブルパイプレータを用いた場合も過剰な振動締固めによって、粗骨材の沈降が生じたと考えられる。なお、供試体の外観状況として、本ケースでは振動締固めの有無に拘わらずひび割れの発生は認められなかった。ひび割れが生じなかった原因として、耐久性試験用供試

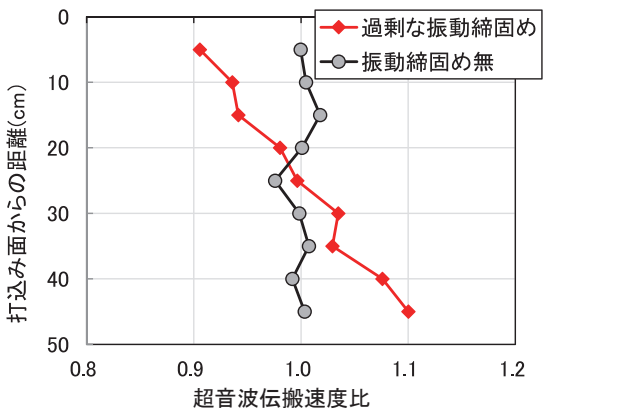


図7 超音波伝搬速度比(耐久性試験用供試体)

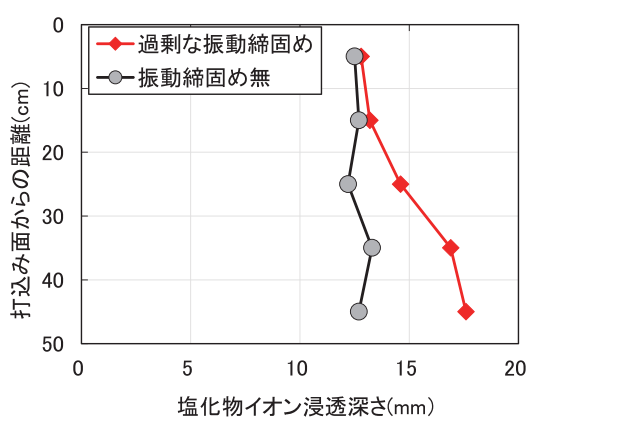


図9 塩水浸漬試験結果

体は、長辺が外観観察用供試体よりも短いことから、拘束度が小さくなり、収縮変形によって生じる拘束応力が小さかったと推察される。

過剰な振動締固めが、中性化抵抗性に及ぼす影響を図8、遮塩性に及ぼす影響を図9に示す。過剰な振動締固めを与えた供試体は、供試体の下層にて二酸化炭素と塩化物イオンともに浸透深さが大きい。骨材界面に存在する遷移帯は物質移動抵抗性を低下させることは広く知られている^{例えば8)}。本検討のように、過剰な振動締固めによって中層および下層に粗骨材が増加した場合、粗骨材の遷移帯を経路として、二酸化炭素や塩化物イオンなどの劣化因子が浸透したと考えられる。一方、過剰な振動締固めを与えても上層の中性化抵抗性および遮塩性の低下は認められなかった。これについて、スランプコンクリートを対象とした研究では、過剰な振動締固めによって、上層の表面透気係数や空隙率が増加する⁴⁾との知見もあるため、

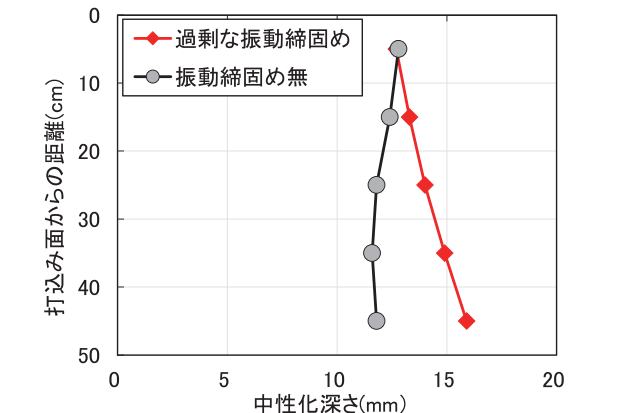


図8 促進中性化試験結果

様々なワーカビリティーの高流動コンクリートについて過剰な振動締固めの影響を確認する必要があると考える。

以上のように、過剰な振動締固めによって、供試体下層で耐久性が低下する可能性があることを確認した。

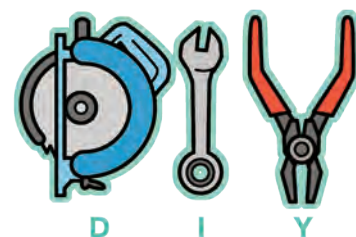
4. まとめ

(1) 本検討の範囲では、過剰な振動締固めによって、表面気泡は抑制されるものの、材料分離による粗骨材の沈降や供試体上部にひび割れが発生することを確認した。

(2) 過剰な振動締固めによって、供試体下層において中性化抵抗性の低下や遮塩性の低下が生じる可能性があることを確認した。

【参考文献】

- 岩崎明／振動によるフレッシュコンクリートの液状化と内部振動機的作用領域に関する考察，土木学会論文集，第426号/V-14，pp.1～18，1991
- 西村和朗，加藤佳孝／材料分離の評価を対象とした配合推定方法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1119～1124，2018
- 石川祥太，市山大輝，橋本紳一郎，中村敏之，吉村徹／振動締固めによる材料分離がコンクリートの諸特性に与える影響，土木学会第73回年次学術講演会，Vol.73，V-016，pp.31～32，2018
- 早川健司，加藤佳孝／施工に起因する構造体かぶりコンクリートの品質変動に関する研究，生産研究，Vol.62，No.4，pp.43～46，2010
- 土木学会／コンクリートライブラリー 136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針，pp.33～36，2012
- 岸谷孝一，佐藤嘉昭／建築材料の乾燥収縮機構，セメント・コンクリート，No.346，pp.30～40，1975
- 日本コンクリート工学会／マスコンクリートのひび割れ制御指針2016
- 内川浩／セメントペーストと骨材の界面の構造・組織がコンクリートの品質に及ぼす影響，コンクリート工学，Vol.33，No.9，pp.5～17，1995



erとして 楽しむ休日

緒方 英彦

休日の過ごし方としては、海釣り、家庭菜園に勤しんだ半農半漁の30代、体型改善のためにランニングに励んだ40代、自転車でのロングライドの楽しさを知った50代と変わってきた。体を動かすことは10代から好きで、部活でのサッカー、道場でのフルコンタクト空手に熱中した中高時代である。そういう点では、ビーズアクセサリデザイナーの資格を持つ妻とは異なり、芸術的素養はほぼない。その私が、ここ20年に渡り、たまにやる気が目覚め、断続的にはまるのがDIYである。

長女が小学校、次女が幼稚園に通う年になり、官舎から一軒家に移り住もうかとの話が家族の中であり、一心発起して家を建てた。さすがに建築は業者に任せることにしたが、外構は自分たちでやることにした。まずは、隣家との境界のブロック積みである。ホームセンターで多量のブロックを調達し、トロ舟でセメントを練って、数日かけて作った。次は、植栽である。植栽が最終的に整うまでにはかなりの年数を要したが、子供達が山で拾ってきたドングリを埋めたら成長したコナラを中心に、どこかの山で取ってきたミツマタ、桜島に自生して

いたソテツ、種から育てたブルーベリーで我が家の敷地は仕切られている。外構DIYである。

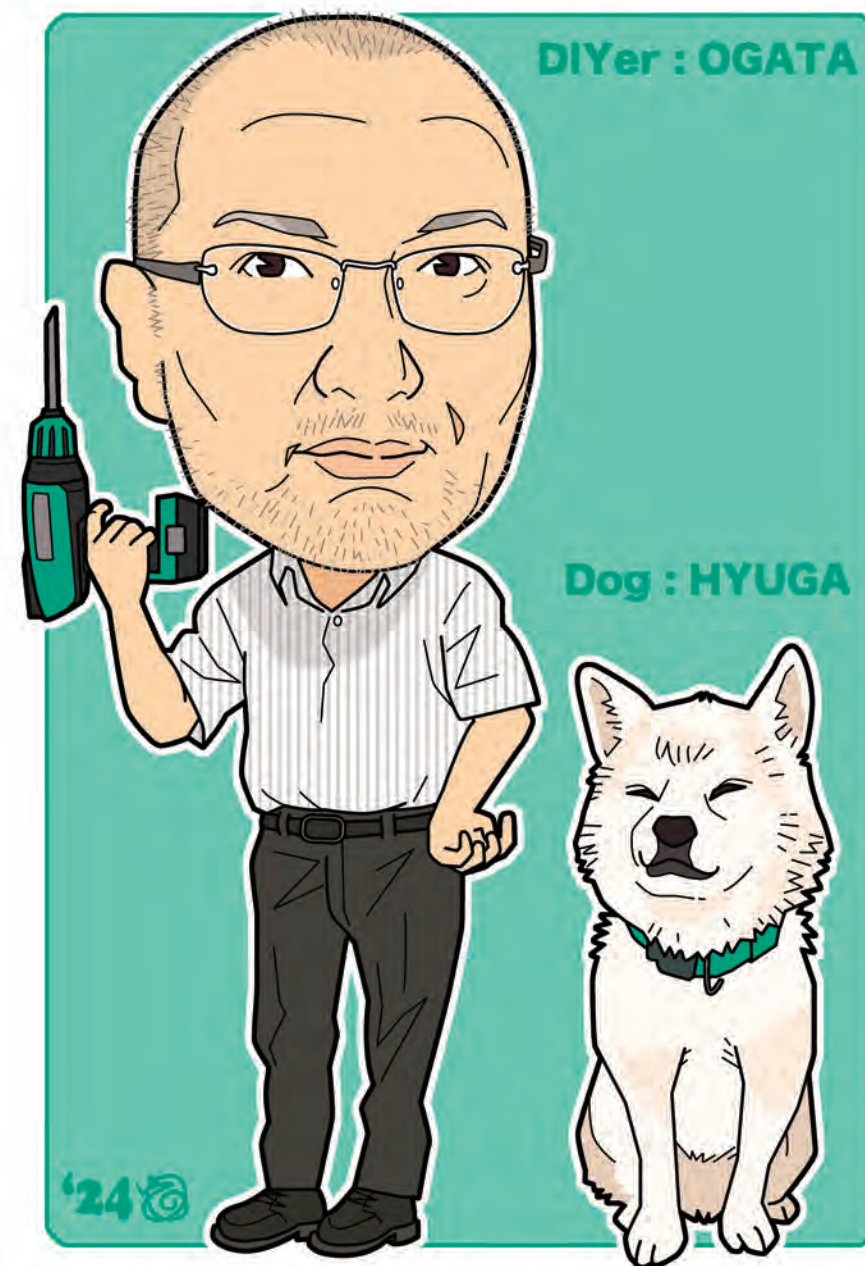
木工のDIYとしては、大学の附属演習林の加工場でスギやヒノキの製材を行っていることもあり、そこで入手した木材を利用して、洗濯物が干せるデッキと勝手口の軒下を作った。その次に作ったのは、総ヒノキ造りの犬小屋である。

少し横道にそれるが、我が家の一員である柴犬「ひゅうが」のことを紹介したい。私の故郷である宮崎との関りを少しでも残そうと、日向国にちなんで名付けた。家族の中で世話の分担も決め、私の担当は朝の散歩になった。子供達の登校時間に間に合うように家族揃って朝ご飯を食べるためには、5時半起きで散歩に出る必要があったが、これまた辛いのは鳥取の冬である。真っ暗な中、時には雪降る中、おしっこは必ず数回させなければならず、防寒着を着込み懐中電灯で路面を照らしての散歩である。“昨日、う〇こしていないから、させて来てね!”と妻に言われて送り出された日には、早々に帰ろうとするひゅうがを叱咤激励しつつの散歩となるが、この辛い朝散歩を共

有し続けたお陰か、激愛する妻ではなく私を一家の主人と認めてくれている。12歳を過ぎたひゅうがではあるが、隙を狙い私の頭を舐めるために素早い行動ができるほど元気である。

ひゅうがも年をとって家の中で過ごす時間が多かったこともあり、犬小屋があった場所に屋根付きデッキを作ることにした。ちなみに、総ヒノキ造りの犬小屋は移設してエアコンの室外機カバーに再利用した。DIYを始めた頃は、コード式電動丸ノコと電動ドライバーしかなかったが、充電式電動丸ノコ、インパクトドライバー、電動サンダー、レシプロソー、マルチツール、トリマーも揃え、ひと夏で屋根付きデッキを完成させた。これらの道具で次に挑んだのが腰壁本棚づくりである。

子供達が県外に進学し、そして鳥取から離れた地に就職したのをきっかけに、家の中の断捨離をしようとなり、子供部屋の整理からはじめたが、捨てることなく残すことになったのが多量の本である。この多量の本を置く場所として目を付けたのが腰壁である。妻の実家の腰壁が本棚になっていたことが大いに参考になった。打音検査で腰壁の中にある柱の位置を確認した後、DIYツールをフル活用して柱を傷つけることなく壁板を切断し、切断面を滑らかにするための研磨を行い、ホゾを加工し、棚板を取り付け、腰壁本棚の完成である。棚板を取り付ける高さが微妙に足らず、1箇所は縦置きではなく横置きのスペースになったが、4列4段に全ての本を収めることができた。



大満足である。

次に秘かに狙っているのは屋根裏のスペースであり、そこにシアタールームを兼ねた趣味部屋を作りたいと思っている。まずは点検口を荷物の出し入れ口として拡張することが休日DIYerとしての次の目標である。

[おがた ひでひこ／鳥取大学 大学院
連合農学研究科 教授 博士(農学)]

イラスト・タイトル 宮島幸次

滝沢川橋(仮称)の施工

Construction of Takizawakawa Bridge (Tentative Name) on the Shin-Tomei Express way

草部 真子 吉野 正道 小野 誠 東田 学 池内 弘樹

1. はじめに

新東名高速道路滝沢川橋は、神奈川県足柄上郡山北町に位置する上り線4径間、下り線6径間のPRC連続ラーメン箱桁橋である。本橋は、急峻な山岳地形に位置することから、一般的な片持ち張出し架設によるPCラーメン箱桁形式が選定され、柱頭部の施工は従来の大型ブラケット支保工で計画されていた。しかし、その大型ブラケット支保工の組立・解体は、多大な労力と期間を要することが課題であった。そこで本橋は、柱頭部の超急速施工法を開発・適用することで、その課題を解決した。

本稿は生産性向上を目的として、滝沢川橋に柱頭部の超急速施工法を適用するための検討と、その結果について述べるものである。

表1 橋梁概要および工事概要

工事名	新東名高速道路 滝沢川橋他1橋（PC上部工）工事
発注者	中日本高速道路(株) 東京支社
受注者	三井住友建設・極東興和・ドービー建設工業 特定建設工事共同企業体
工事位置	神奈川県足柄上郡山北町
構造形式	(上り線)PRC4径間連続ラーメン箱桁橋 (下り線)PRC6径間連続ラーメン箱桁橋
道路規格	第1種第2級B規格(V=100km/h)
橋長	(上り線)320.5m (下り線)368.0m
支間長	(上り線)64.2m+2@92.1m+69.1m (下り線)36.8m+4@72.5m+37.6m
有効幅員	(上り線)10.0m(下り線)10.0m
勾配	(上り線)縦断-0.300%～+1.162%横断-1.779%～+2.5% (下り線)縦断+1.162% 横断+2.285%～+2.5%
平面線形	(上り線)R=20000～R=∞ (下り線)R=∞

2. 橋梁概要および工事概要

本工事の概要を表1に示す。本工事には滝沢川橋のほか、柳橋上下線（PRC4径間連続ラーメン箱桁橋）の上部工工事も含まれているが、構造形式などは柱頭



くさべ まこ / KUSABE Mako
三井住友建設(株)
土木本部橋梁構造設計部



よしの まさみち / YOSHINO Masamichi
同上
第四設計グループ長



おの まこと / ONO Makoto
同上
東京土木支店土木部
現場代理人



ひがしだ まなぶ / HIGASHIDA Manabu
三井住友建設(株)
東京土木支店土木部
監理技術者



いけうち こうき / IKEUCHI Kouki
中日本高速道路(株)
東京支社秦野工事事務所
工事長



図 1 位置図

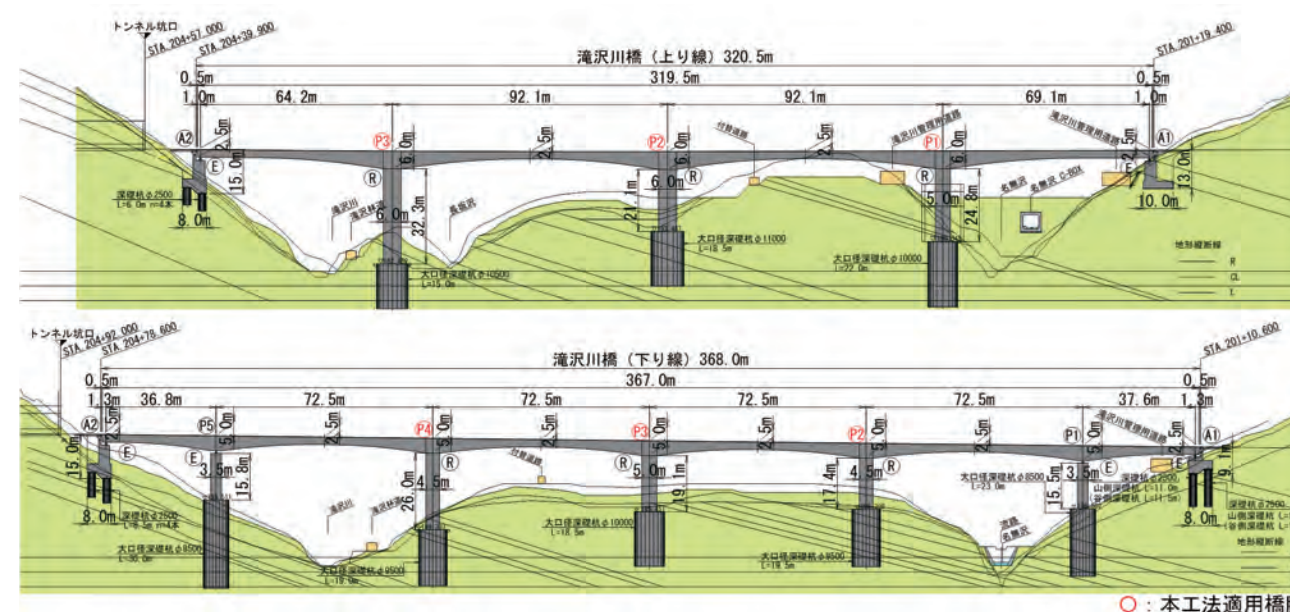


図2 滝沢川橋上下線一般図

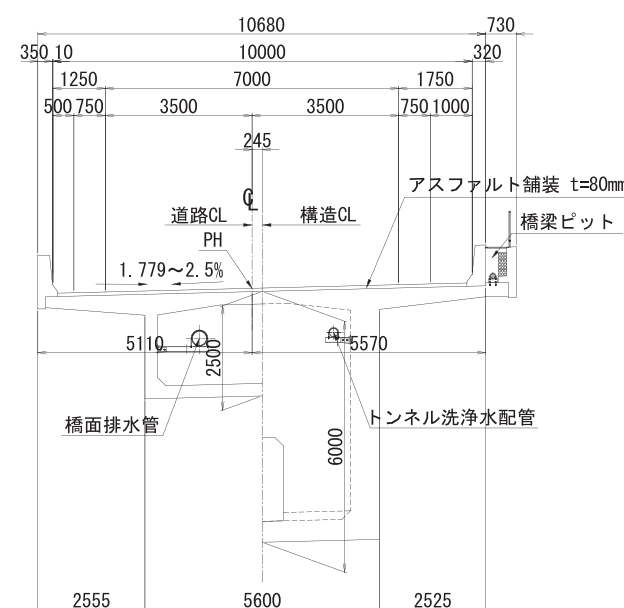


图3 上部工断面图

部の超急速施工法を適用した滝沢川橋のみを記している。本橋は、東名高速道路より内陸側となる新東名高速道路の新秦野ICから新御殿場IC間に位置する橋梁である(図1)。一般図を図2に、上部工断面図を図3に示す。橋脚基礎構造には大口径深礎杭が採用され、上下線間の離隔に構築された栈橋上り、上部工工事と下部工工事が同時に施工されている。

3. 柱頭部施工

3-1. 従来の柱頭部施工の課題

従来、張出し架設を行うPC箱桁橋の柱頭部は、移動作業車の組立に必要な12m程度の長さで構築する

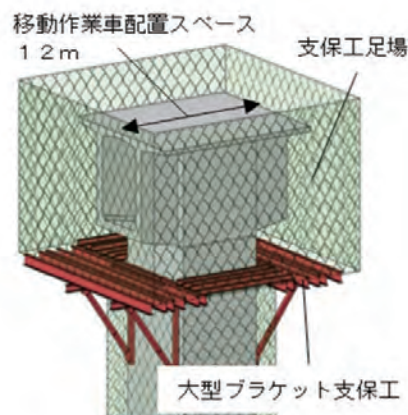


図4 柱頭部従来工法



写真1 プレキャスト部材

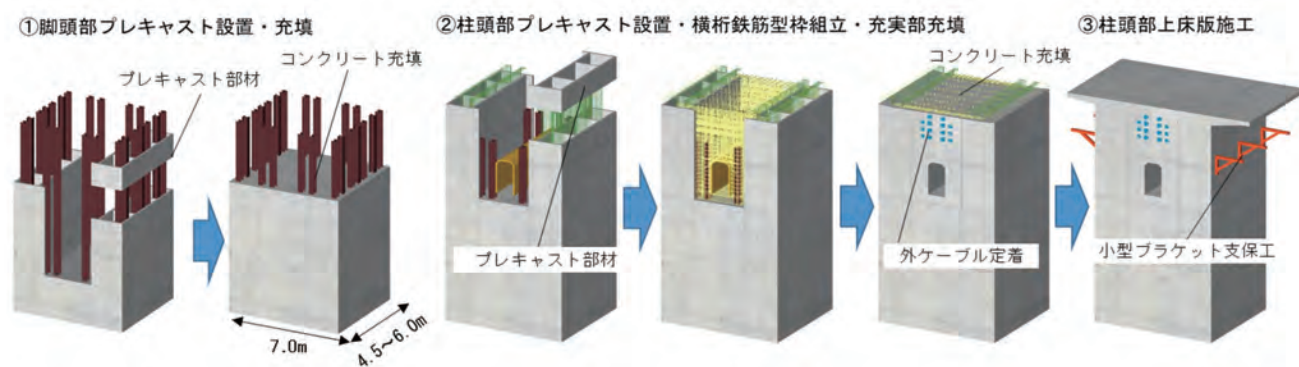


図5 柱頭部SPER工法施工手順

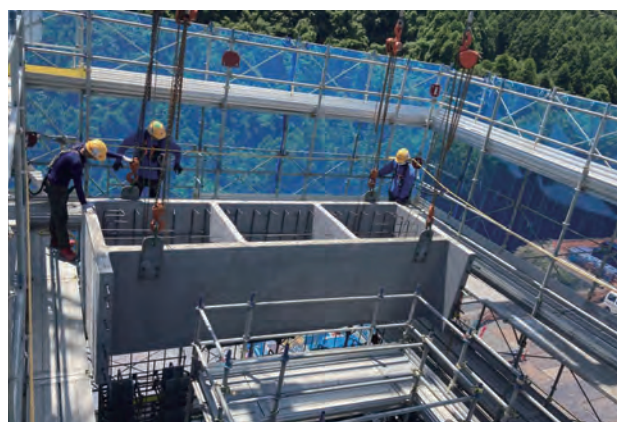


写真2 プレキャスト部材架設状況

ため、橋脚に設置する大型ブラケット支保工で構築するのが一般的である(図4)。しかし、この大型ブラケット支保工の組立・解体に多大な労力と期間を要することや、設置および撤去時の安全性の確保が課題である。また、PCラーメン橋では橋脚主鉄筋をPC箱桁に定着させることが必要であり、さらには主桁や横桁の配筋との取合いが複雑で過密となるため、その配筋作業

も生産性を低下させる要因となっている。そこで、本橋ではプレキャスト部材を用いることで大型ブラケット支保工を不要とし、プレキャスト部材に鉄筋を埋設することで現場での配筋作業を省力化し、課題解決を図った。

3-2. 柱頭部SPER工法

本橋のラーメン構造の柱頭部には、プレキャスト部材(写真1)による柱頭部横桁の急速構築工法「柱頭部SPER工法」を用いた。橋脚施工で実績のあるプレキャスト部材を用いた橋脚の急速構築工法(SPER工法)を応用している。

柱頭部SPER工法の施工手順を示す(図5)。

① 脚頭部は、鉄筋を内蔵したプレキャスト部材を架設し(写真2)、脚頭部場所打ち部の鉄筋型枠組立後、プレキャスト部材内部、充実部のコンクリートを充填する。

② 脚頭部施工用外周足場を上方に延長する方法

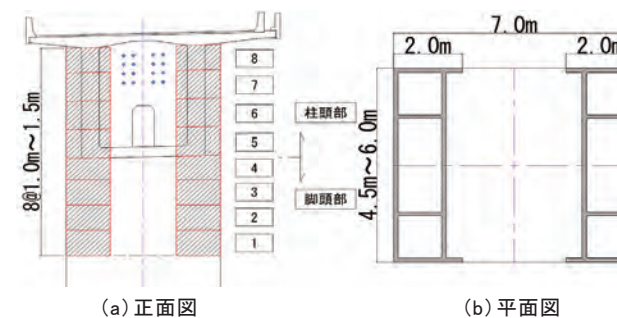


図6 プレキャスト部材の寸法および割り付け

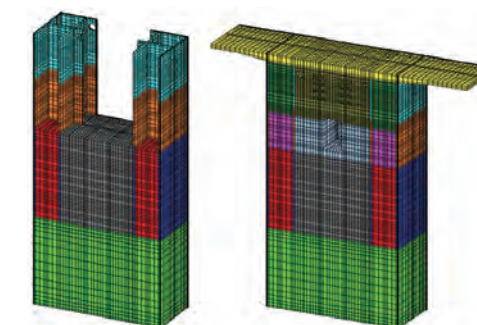


図7 柱頭部温度応力解析モデル

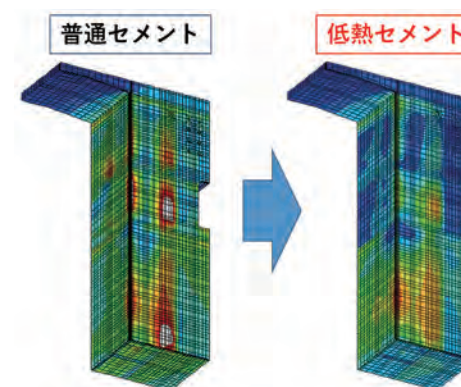


図8 柱頭部温度応力解析結果比較

で、プレキャスト部材を架設し、横桁充実部の鉄筋型枠および外ケーブル定着体の組立を行う。柱頭部場所打ち部の型枠を設置して、プレキャスト部材内部、横桁充実部のコンクリートを充填する。

③ 小型ブラケット支保工を用いて柱頭部上床版コンクリートの打ち込みおよび床版横締め鋼材の緊張を行う。

柱頭部SPER工法を用いることで大型ブラケット支保工を不要とした。しかし、柱頭部SPER工法で構築した柱頭部横桁は狭隘な柱頭部であるため、4-1.で述べる特殊移動作業車を用いて張出し施工を行うことで生産性向上効果を確保し、柱頭部の超急速施工法を



写真3 柱頭部施工完了状況

実現させている。

プレキャスト部材の寸法および割り付けを示す(図6)。プレキャスト部材長さを橋脚幅と同じ4.5~6.0mとし、運搬可能な幅としてプレキャスト部材幅を2.0mとした。また、工場の製作効率と運搬重量を勘案して最大高さが1.5mとなるように割り付けを計画した。プレキャスト部材同士の継ぎ目にはコンクリートと同等以上の圧縮強度、弾性係数を有する高弾性樹脂モルタルを用いている。

柱頭部SPER工法ではプレキャスト部材にあらかじめ必要とされる鉄筋を埋設している。その鉄筋量は柱頭部横桁に配置される鉄筋量の約5割である。鉄筋を埋設したプレキャスト部材を用いることで従来の過密配筋に対し、現場での配筋作業を大幅に低減することができた。プレキャスト部材に埋設された鉄筋はスリーブタイプの機械式継手を用いて左右のプレキャスト部材から突出している鉄筋を接続している。主桁の軸方向鉄筋はプレキャスト部材から突出させないようねじ式の機械式継手を用いており、通常の柱頭部と同様の設計を行っている。

また、プレキャスト部材を使用することで、現場で組立を行う型枠面積が約7割低減し、現場での作業を省力化した。

柱頭部施工完了状況を写真3に示す。プレキャスト部材には主桁箱桁断面形状に合わせた打継処理を行っている。

表2 コンクリートの配合							
プレキャスト部材内部・充実部コンクリート(不採用)							
設計基準 強度	W/C (%)	s/a (%)	単位置量(kg/m ³)				
			W	普通C	S	G	高性能 AE減水剤
40	42.5	46.3	160	376	820	951	C×0.76%
プレキャスト部材内部・充実部コンクリート(採用)							
設計基準 強度	W/C (%)	s/a (%)	単位置量(kg/m ³)				
			W	低熱C	S	G	高性能 AE減水剤
40	47.4	46.0	160	338	829	1001	C×0.9%
プレキャスト部材コンクリート							
設計基準 強度	W/C (%)	s/a (%)	単位置量(kg/m ³)				
			W	早強C	S	G	高性能 減水剤
50	33.5	51.9	170	487	872	786	C×1.2%



写真4 鉄筋ジベル施工状況

3-3. プレキャスト部材の検討

プレキャスト部材は、充填コンクリート打込み時に水和熱による膨張作用の影響を受けるため、詳細な温度応力解析を行い、プレキャスト部材自体への引張応力およびプレキャスト部材と充填コンクリートの界面に生じるずれせん断応力の検討を行った。プレキャスト部材内と横桁充実部における充填コンクリートの打込み日を分けることで発生応力を低減させ、さらには、発熱量の小さい低熱セメントを使用することで発生応力を低減した(図7,8)。プレキャスト部材内部の鉄筋は構造上必要な量と温度応力解析結果より必要な量を確認して決定している。プレキャスト部材と充填コンクリートの配合を表2に示す。また、養生時には打設後3日間アルミ蒸着シートをプレキャスト部材周りに巻いて保温養生を行った。

また、外ケーブル定着位置がプレキャスト部材の近傍にあることから、3次元FEM解析によりプレキャスト

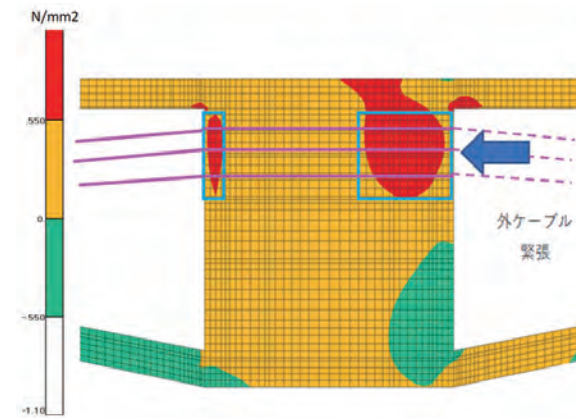


図9 すれせん断応力度解析結果

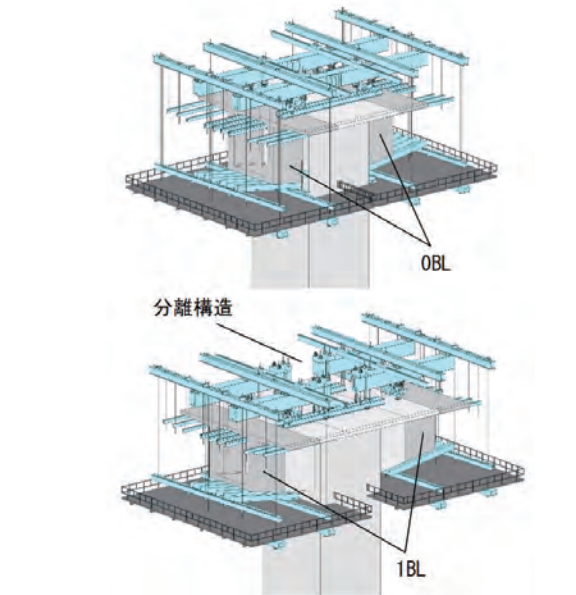


図10 ガーダー式コンパクトワーゲン

部材と充填コンクリートの界面に発生するずれせん断応力に対する検討を実施した。界面のせん断応力度図の一例を図9に示す。緊張時に外ケーブル定着高さの界面に発生したずれせん断応力に対し、プレキャスト部材に鉄筋ジベル(写真4)を配置し、せん断応力を伝達する構造とした。

4. 張出し施工

4-1. ガーダー式コンパクトワーゲン

柱頭部SPER工法で構築した柱頭部長さは4.5～6.0mで、一般的な移動作業車を配置できないため、柱頭部が狭隘でも設置が可能なガーダー式の片持ち架設用移動作業車「ガーダー式コンパクトワーゲン(特



写真5 0ブロック施工状況

殊移動作業車)」(図10)を開発した。組立時には2基のガーダーを連結することで組立に必要なスペースが低減し、プレキャスト部材によって先行して構築した狭隘な柱頭部で設置が可能となった。これまで柱頭部として横桁部と一括で構築していた範囲(以下、0ブロックと称する)をこの状態で施工する。0ブロックの下床版型枠はプレキャスト部材架設時に設置した鋼材で受けて支持をし、ウェブの型枠を保持するためのインサートをプレキャスト部材に埋めこみ、型枠の組立を可能とした。

施工手順は0ブロック施工時にはガーダー2基を連結したまま施工を行い、0ブロック施工後に前後の車輪やジャッキを組立、レールを設置し、ガーダーを分離させることで2基の移動作業車を中央で分割する。その後、張出し施工時には一般的な移動作業車と同様に施工を行っていく(写真5,6)。

柱頭部の超急速施工法では、0ブロックを張出し架設するため、標準型の移動作業車を用いた場合、張出し施工ブロック数が1ブロック増えることとなる。しかし、能力を標準型より向上させ、最大施工ブロック長さを増加させることで、0ブロックを含めたブロック数を標準型の移動作業車で施工ブロック数と同数とした。(図11)。1ブロック以降は従来の張出し施工サイクルと同様の日数で施工を進めることができるため、柱頭部SPER工法で得られた生産性向上効果を確保した。

4-2. 0ブロックのひび割れ対策

従来の柱頭部施工では、大型ブラケット支保工を使



写真6 張出し架設状況

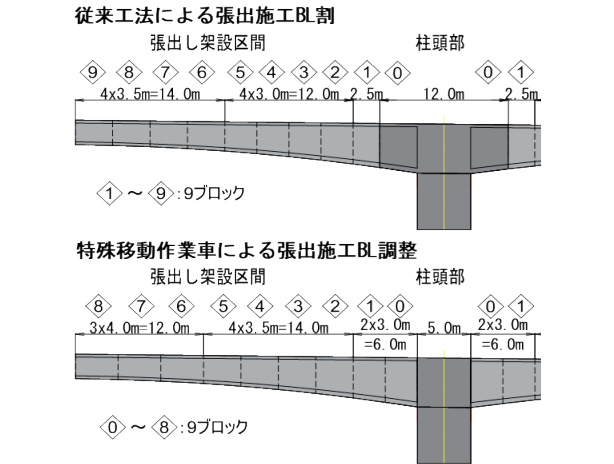


図11 施工ブロック数の調整

用するため、柱頭部横桁と柱頭部範囲である主桁部は一体打ちとなる。しかし、本計画では、柱頭部横桁部と0ブロックは分割施工となるため、0ブロック打ち込み時における柱頭部との界面に着目した温度応力解析を実施した。さらに、ラーメン構造となる柱頭部横桁の設計を従来の簡易的手法で行った場合は、0ブロックとプレキャスト部材界面に発生する応力を把握できないため、3次元FEM解析にて行った。死荷重時および設計荷重時の断面力を3次元モデルに作用させ、発生する応力を把握し、必要鉄筋量を算出した。0ブロックに温度応力解析結果と3次元FEM解析結果より算出した必要鉄筋量を配置し、有害なひび割れが発生しないように耐久性を確保している。

5. 生産性向上効果

柱頭部の超急速施工法は、柱頭部をプレキャスト化



孔溶液中のカルシウムイオンと反応し炭酸カルシウムを生成し、空隙率が減少したこと、また、生成した少量の炭酸カルシウムは、後のセメントの水和において、エトリンガイトからモノサルフェートの転移を防ぐとともに、モノカーボネートやヘミカーボネートを生成したためである。

再生材料を使用したコンクリートによる持続可能な建築

BFT International

Vol.89 [2] 32～37 (2023)

建設分野では、鉱物原料の世界的な需要の高まりによる価格高騰に加え、気候変動の緩和や炭素排出量の削減等、前例のない課題に直面している。ドイツのプレキャストメーカーのBüscher社は天然骨材の100%をリサイクル骨材で代替したコンクリート製プレキャスト部材「Büscher Wall」を開発した。ドイツでは建設廃材が年間2億5000万t以上発生し、再利用先や埋立地の確保が課題となっている。Büscher Wallは、建設廃材を加工処理したリサイクル骨材を乾燥もしくは恒久的に濡れている環境、鉄筋腐食のリスクがない環境のコンクリート部材に対して100%使用できる。部材全体の75%はリサイクル骨材で構成されることになり、二酸化炭素排出量を13%削減する。

パイロット・プロジェクトでは、リサイクル材料を用いたプレキャスト部材による住宅を初めて建築した。試算によると、一世帯の住宅を建てるのに、約200tの建設廃材を再利用できる。また、Büscher Wallは、顧客の仕様に合わせてデジタル設計を行い、工場でコスト効率ならびに資源効率に優れた形で製造され、塗装可能な状態で搬入されるため、工期を大幅に短縮することができる。

以上のことから、本技術は希少で高価な天然骨材の消費の抑制や輸送費の削減を実現し、膨大に発生する解体廃棄物を持続可能な形で再利用できる。Büscherらは、過去にはこのビジョンを揶揄されることもあったが、数年にわたる開発とDIBtによる国家技術認可の結果が、この技術が実現可能であることの証明であると結論づけている。

モノエタノールアミン(MEA)溶液を用いた新しい改良炭酸化養生：セメント系材料の水和と微細構造に及ぼす影響

Jianhui Liu, ほか

Construction and Building Materials

396 論文 No.132172 (2023)

炭酸化養生は、CO₂回収・貯留(CCS)としてCO₂を鉱物化できるだけでなく、セメント系材料の性能を向上させ、プレキャストコンクリートへの適用は効果的である。しかし、現場では生コンクリート内部にCO₂が拡散しにくいため、炭酸化養生の利用は限定的である。本研究では、モノエタノールアミン(MEA)溶液を使用した新しい改良炭酸化養生が提案された。

MEA溶液は、一般的なCO₂の吸収溶媒の一種で、燃焼後回収に広く使用されている。MEA溶液はCO₂と低温で結合し、CO₂高含有MEA溶液となる。本研究では、ポルトランドセメントを用いて、w/c=0.4で蒸留水、MEA溶液またはCO₂高含有MEA溶液を使用して、セメントペーストを作製した。作製したセメントペーストについては、圧縮強さ、水和発熱速度、TG/DTA、²⁹Si-NMRおよび微細構造を測定した。

MEA溶液を使用した場合、MEAの濃度が増加するとセメントペーストの圧縮強さが低下した。これは、MEA溶液が、初期水和を遅らせたためである。また、初期水和の遅れにより、細孔容積が増大した。しかし、これらの傾向は、硬化時間が長くなると、徐々に減少した。

一方で、CO₂高含有MEA溶液を使用した場合、セメントの初期水和に対する抑制効果は低く、長期水和に対する促進効果はより顕著であった。これは、細

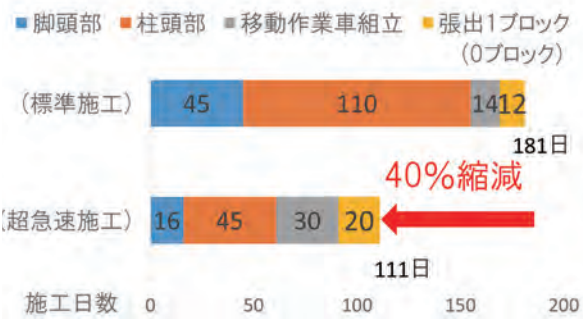


図 12 柱頭部の超急速施工法の生産性向上効果

することで、柱頭部施工の生産性を向上させ、狭隘な柱頭部で組立可能な特殊移動作業車を用いて張出し施工を行うことで生産性向上効果を確保した。生産性向上効果の確認のため、施工サイクルとしての同等の範囲を比較する。従来工法では脚頭部施工から張出し1ブロックの施工までの期間、柱頭部の超急速施工法では脚頭部施工から張出し0ブロックの施工までの期間を比較する。

従来の柱頭部施工方法では、脚頭部施工に45日、柱頭部施工に110日、移動作業車組立に14日、1ブロック施工に12日、計181日の施工期間を要していた。本工事に柱頭部の超急速施工法を適用した結果、脚頭部施工に16日、柱頭部横桁と小型支保工を用いた上床版の施工に45日、特殊移動作業車の組立に30日、0ブロック施工に20日、合計111日の期間で施工を行った。施工期間の合計としては、約40%削減することができた(図12)。

本工事では、下部工工事と同時期に施工を行っているため、必要最小限で構築された栈橋上の限られたスペース内での施工であり、資材の小運搬や車の通行による作業の一時中断などが発生した。そのため、特殊移動作業車の部材の地組スペースも限られた状況での施工となっている。そのような状況ではない条件で、本施工を進めることができていれば、施工期間のさらなる削減が可能な工法であると考える。

6. おわりに

本橋では、従来の大型ブラケット支保工による柱頭

部施工ではなく、プレキャスト部材を用いたことで現場作業の省力化、生産性向上による施工期間の削減を可能とする新たな柱頭部施工法を実現した。また、狭隘な柱頭部で組立可能な特殊移動作業車を用いて張出し施工を行うことで施工期間の削減効果を確保した。その結果、柱頭部の超急速施工法は、柱頭部施工に要する施工期間を約40%削減することができた。

低熱セメントを使用したコンクリートをプレキャスト部材内部、充実部のコンクリートに適用することでコンクリートの温度上昇を抑え、プレキャスト部材の周囲をアルミ蒸着シートで保温養生することで内外温度差を低減した。このような対策を行ったため、実施工においてひび割れは発生していない。

今後は、さらなるプレキャスト部材の組合せにより、さらなる生産性向上を実現できる施工方法の開発に繋がると考えている。

【参考文献】

- 1) 青井弘樹, 山口岳思, 中村洋文, 吉野正道, 三保雄司, 清水公将／PCラーメン橋柱頭部へのハーフプレキャスト構造の導入, 橋梁と基礎, Vol.55, pp.39～42, 2021.7
- 2) 三保雄司, 空閑健作, 蛭沢佑紀, 吉野正道／PCラーメン橋柱頭部の施工方法変革への挑戦－新東名高速道路 滝沢川橋－, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.31, pp.209～212, 2022.10
- 3) 草部真子, 小野誠, 東田学, 宮地謙介／PCラーメン橋における柱頭部の超急速施工－新東名高速道路 滝沢川橋－, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.32, pp.31～34, 2023.10

セメント系材料に吸収固定されたCO₂の 定量手法確立への取り組みと今後の展望

Attempt to establish for quantitative analysis method of absorbed and immobilized CO₂ in cementitious material and the future outlook.

田原 和人 亀田 博之 並木 克也 文 昱力
野田 優 宮本 慎太郎 大畑 昌輝 大島 永康

1. はじめに

温室効果ガス削減に向けた取り組みとして、製造時にCO₂を強制的に吸収させたコンクリート製品¹⁾(以下、CO₂吸収型コンクリートと称す)が一部実用化している。CCUS技術の一種であるCO₂吸収型コンクリートは、2019年に経済産業省が発表した「カーボンサイクル技術ロードマップ」でも言及され、普及拡大に向けた技術開発が行われている²⁾。このようなコンクリートの硬化後にCO₂を吸収・固定化させる技術の普及拡大に当っては、強制炭酸化前後のCO₂含有率を精度良く定量できる評価手法を確立し、標準化すること、さらにはCO₂吸収コンクリート製品のCO₂吸収量を非破

壊で求め品質管理に応用する簡易評価手法の開発が重要である。一方、セメント系材料中のCaCO₃(以下、CCと表記)由来のCO₂含有率は、一般的に示差熱-熱重量同時分析(TG-DTA)でCCの脱炭酸反応が生じる温度範囲での質量減少量から定量される。しかし、セメント中の鉱物や水和物から炭酸化によって生成するCCはCalcite、VateriteおよびAragoniteの結晶多形あるいは非晶質の状態で存在し、それぞれ熱分解挙動が異なる事や加熱によって相転移が起こることが報告されており³⁾、従来のTG-DTA法だと様々な結晶多形や非晶質のCC中のCO₂が正しく定量できない可能性も考えられる。

他方、セメント化学以外の分野で固体中の炭素含



写真1 TOC計外観

有量を測定する分析手法はいくつかある。例えば、JIS R 9011:2006 石灰の試験方法に規定される炭酸バリウム逆滴定法は試料を塩酸で分解し、生成した二酸化炭素を塩化バリウム・水酸化ナトリウム吸収液に導き、炭酸バリウムとして塩酸標準溶液で滴定して求める(以下、湿式分析と表記)。さらに、主に海洋中の溶存無機炭素の濃度測定手法として、クーロメーターが用いられている。クーロメーターは、塩酸により試料中の炭酸塩を分解させて気化したCO₂を吸収液へ導入し、吸収液のpHを一定に保つために要する電気量から炭素量を算出しCO₂に換算するため、理論上CO₂含有量を精度良く定量できる^{4,5)}。セメント・コンクリート分野では、安田らが炭酸化したセメント材料への適用を検討している⁶⁾。TOC固体試料測定システムは(以下、固体TOC計と表記)、固体試料測定装置内でセラミックボートに入れた試料にリン酸を添加し、酸により分解されたCO₂はキャリアガスによりTOC計本体内にある非分散型赤外吸光センサ(NDIR)に導かれ、無機炭素を定量する。装置外観を写真1に示す。また、炭素・硫黄分析装置(以下、CS計と表記)は、セラミックスるつぽに助燃剤(タングステン粉末など)とともに入れられた試料を、酸素ガス雰囲気下で高周波加熱し燃焼することで発生するCO₂含有量(COも含む)を赤外線吸収法で測定することで炭素濃度を求めるものである^{7,8)}。装置外観を写真2に示す。CO₂量を定量するためには、装置感度校正用の標準物質が必要になる。CS計は鉄鋼業界で多く利用されてきた装置であることから、鉄鋼の標準物質が充実している。炭素濃度が値付けされたCCの標準物質も入手可能



写真2 CS計外観

であるので、妥当性の検証が必要であるが、コンクリートに吸収・固定化されたCCの定量分析に利用可能であることが考えられる。

その他にもTG-DTAにガスクロマトグラフ質量分析計を加えて発生ガスの定量を行う熱重量・質量分析装置(TG-MS)などの活用も報告されている⁹⁾。本稿では上述した機器分析を中心に、それぞれの手法による炭酸化したセメント材料に含まれるCO₂含有量の定量精度や、その妥当性について検証した結果について事例を紹介し、併せてそれらの検証の過程でどのようなセメント水和物の熱分解が分析精度に影響を及ぼしているのかを調査した結果についても一部紹介する。さらに、非破壊でCO₂吸収量を求めるための簡易評価手法の検討状況についても紹介する。

2. 実験

2-1. 共通サンプルによる様々な分析手法による 定量結果比較

まず、いくつかの共通サンプルについて様々な分析手法によりCO₂定量値を比較した結果について述べる。分析サンプルは特級試薬のCCと非晶質SiO₂を所定の割合で混合したもの(シリーズ1)と、研究用普通ポルトランドセメント(以下、OPCと表記)を使用してW/C=50%で練り混ぜたセメントペースト硬化体を材齢7日まで封緘養生を行い、炭酸化を促すため5mm角程度まで粗粉碎し、40℃/RH60%、20%-CO₂の環境下で促進炭酸化を行い、内部がフェノールフタレインによって呈色しないことを確認したものを水和停止し、150



たばら かずと / TABARA Kazuto
デンカ(株)
青海サステナビリティー推進部
グループリーダー 修士(工学)



かめだ ひろゆき / KAMEDA Hiroyuki
同上
解析技術研究部
グループリーダー 修士(工学)



なみき かつや / NAMIKI Katsuya
早稲田大学
理工学術院総合研究所
研究助手 修士(工学)



ぶん よくりつ / WEN Yuli
同上
次席研究員 博士(工学)



のだ すぐる / NODA Suguru
早稲田大学
理工学術院
教授 博士(工学)



みやもと しんたろう / MIYAMOTO Shintaro
東北大学大学院
工学研究科
准教授 博士(工学)



おおはた まさき / OHATA Masaki
(国研)産業技術総合研究所
計量標準総合センター 物質計測標準研究部門
無機標準研究グループ
研究グループ長 博士(工学)



おおしま ながやす / OSHIMA Nagayasu
同上
分析計測標準研究部門
先進ビーム計測研究グループ
研究グループ長 博士(理学)

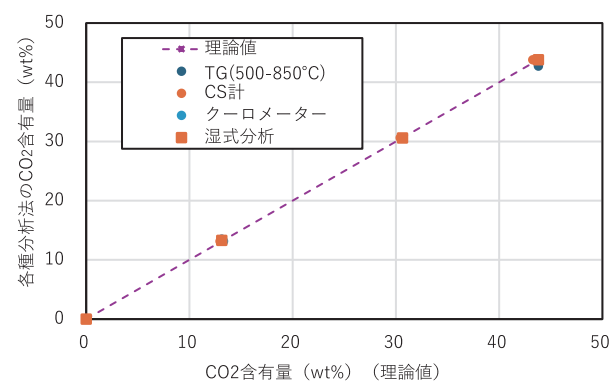


図1 共通炭酸化サンプルのCO₂定量結果(シリーズ1)

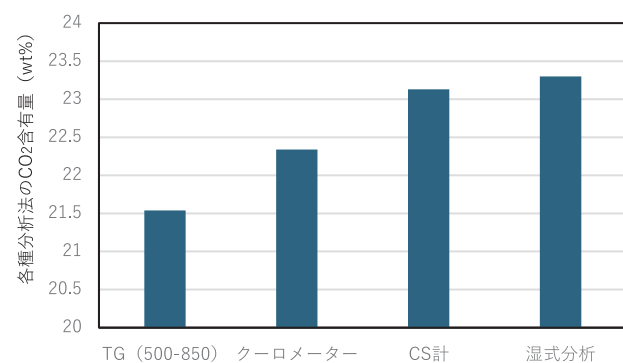


図2 共通炭酸化サンプルのCO₂定量結果(シリーズ2)

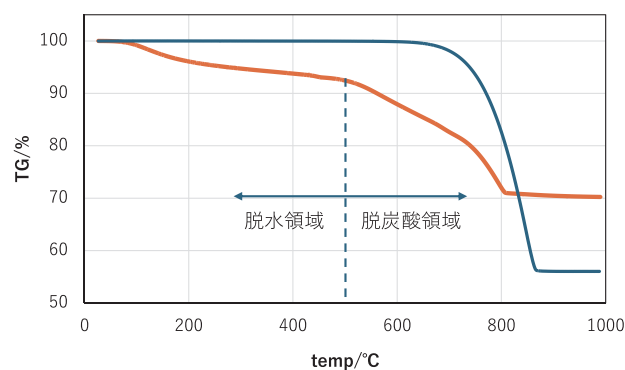


図3 CCと炭酸化セメントのTG曲線

μm以下まで微粉碎したもの(シリーズ2)を用いた。シリーズ1の分析結果を図1に、シリーズ2の分析結果を図2にそれぞれ示す。

まずシリーズ1の分析結果について見る。理論値は使用したCC試薬のCC含有量から算出した値となっている。いずれの分析手法でも理論値と一致し、精度よく定量できていることがわかる。次にシリーズ2の分析結果について見ると、最大値と最小値の乖離は含有量で約2%程度となった。特にTG-DTAによる定量値はJISに規定されている湿式分析の結果に対して乖離が大きかった。この要因について、図3にCC試薬とシリーズ2の炭酸化セメントサンプルのTG-DTAによる減量曲線を示す。CC試薬が600℃以降で急激に脱炭酸による減量が生じるのに対して炭酸化セメントサンプルは500℃までに炭酸化後に生じるゲル状水和物や炭酸化していない水和物の脱水と考えられる減量が生じ、500℃以降から緩やかに脱炭酸と考えられる減量が生じる。上記のように炭酸化セメントサンプルでは水和物からの脱水と炭酸塩からの脱炭酸が同じ領域で

生じている可能性が高く、これが定量精度に影響を及ぼしていると考えられ、分離精度を向上するためにTG-DTAの測定条件や昇温による相組成変化について検討を加えた結果を次に紹介する。

2-2. 熱分解挙動に及ぼすTG-DTA測定条件の影響

TG-DTAの測定条件を変えたサンプル(シリーズ2)の測定結果を図4,5に示す。測定は窒素雰囲気下、ガス流量100ml/minで行い、昇温速度を5℃-20℃/minに変化させた系と、試料重量を10-50mgに変化させた系の2つについて検証した。まず、昇温速度を変えた系について見ると、昇温速度が上がるに従い減量曲線は高温側にシフトした。また、昇温速度が遅いほど減量が始まる温度が低くなった。昇温速度が速すぎる場合は試料重量によっては温度が上がりきらずに熱分解しきらない場合が考えられ、昇温速度が遅い場合精度は向上するが低温から脱炭酸が生じる。次に試料重量を変化させた系について見ると、重量が多く

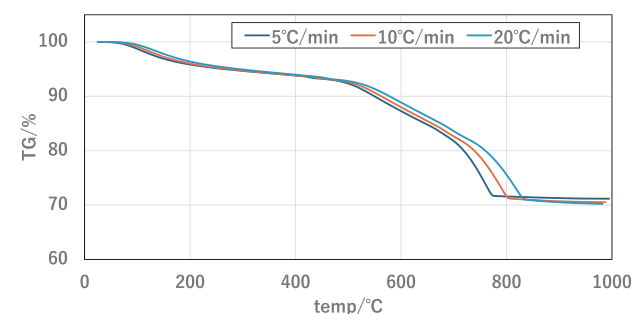


図4 試料重量別のTG曲線

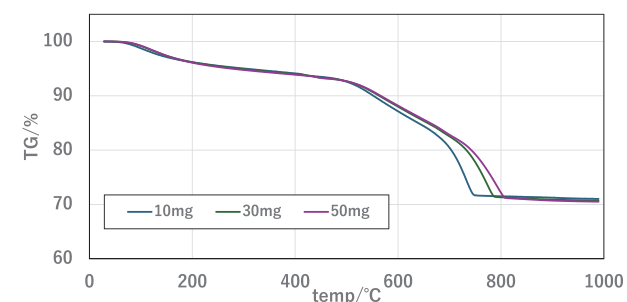


図5 昇温速度別のTG曲線

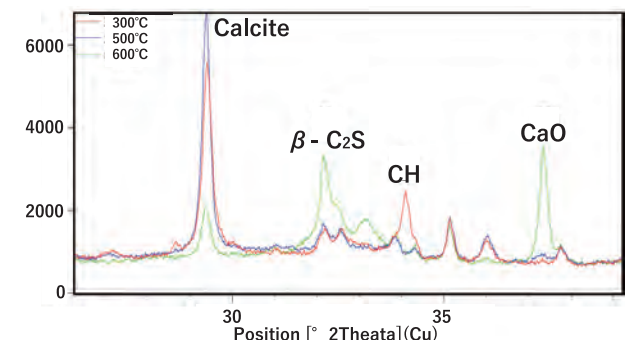


図6 各温度処理後のXRD測定結果

なるほどTG曲線が高温側にシフトした。この結果も試料重量が多い場合には熱分解に時間を要することを示唆しており、昇温速度を調整するなどの注意が必要である。これらの事象については含有されるCCの量がそれほど多くない場合の影響はそれほど大きくないと考えられるが、CCU骨材⁷⁾などを多量に使用した場合などは含まれる炭酸塩の量が増えるため、測定条件によっては完全に脱炭酸が終了する温度域がより高温となり、定量に用いる温度域を変更するなどの対策が必要であると考えられる。

2-3. 熱分解挙動に及ぼす相組成変化と未炭酸化水和物の影響

次に炭酸化セメントペーストの熱分解挙動に影響を及ぼしている要因を探るために炭酸化セメントペーストの加熱による相組成変化をXRDで観察した。図6に炭酸化セメントペーストを300℃、500℃、600℃の各温度で処理したXRDの測定結果を示す。残存していたCHのピークは300℃から500℃の間で消失した。Calciteのピークは500℃から600℃の間でピークが大幅に減少し、CaOのピークが出現していることから脱炭酸が生じてい

ることがわかる。その一方でβ-C₂Sのピークが出現していることも確認された。β-C₂Sピークの出現は炭酸化によって生じたSiO₂ゲルとCalciteあるいはVateriteなどのCCが反応することによって比較的低温域からCCの脱炭酸が引き起こされた結果を示唆している^{8,9)}。しかしながらCHの消失した温度域でCaOのピークの出現は確認できず、非晶質化した可能性も含め今後詳細な検討が必要である。

次に、合成C-S-HのDTG曲線を図7に示す。合成C-S-Hはテトラエチルオルトケイ酸(TEOS)に対してエタノールと希釈した塩酸を加え加水分解させ、TEOSとエタノール、水、塩酸をモル比1:4:2:0.06とし、CaOを使用した水酸化カルシウム飽和溶液765mLをプラスチック製容器に入れ窒素を充填しマグネティックスターラーで3日間攪拌し合成したものを使用した。結果について見ると、200℃以下の温度領域で一部脱水が生じるが、400℃から800℃の領域でも脱水が継続して生じていることが確認できる。このように炭酸化セメントペーストの熱分解挙動には、低温域でのカルシウムシロケート化合物の合成や未炭酸化水和物の脱水が大きく影響を及ぼすことがわかったが、炭酸化の進行度合に

表 1 固体TOC計の測定結果						
炭酸化	No.	理論有機炭素量	全有機炭素 (TOC)		無機炭素 (IC)	
			アセトン	真空	アセトン	真空
無	1	0	0	0.00	0.18	3.70
	2	0.98	0.43	0.76	0.70	4.51
	3	1.23	0.56	1.02	0.95	4.94
	4	1.47	0.64	1.06	1.17	4.98
有	5	0	0	0	24.9	26.4
	6	0.98	1.39	0.52	25.3	26.0
	7	1.23	1.68	0.92	25.3	26.4
	8	1.47	2.28	1.71	26.0	26.0

よってそれらの影響がどの程度なのかについては今後詳細に検討する必要がある。

2-4. 固体TOC計および管状炉CS計による有機炭素含有サンプルの分析

通常、コンクリートを製造する場合、減水剤やAE剤などの有機炭素を含む混和剤が使用されるため、それぞれの手法で無機炭素(IC)と有機炭素(OC)を分離して測定できるか検討した。測定サンプルには減水剤や増粘剤などの有機炭素を含む混和剤を使用してW/C=50%で練り混ぜ、炭酸化養生を施したものを使用し、比較として炭酸化養生を行わず封かん養生した試験体も作製した。また、OCは水和停止処理時にアセトンに溶出する可能性も考えられたため水和停止方法はアセトン浸漬後に真空乾燥を行ったものと真空乾燥のみを行ったものの2種類を使用した。固体TOC計の定量結果を表1に、管状炉CS計によるタイムチャートを図8に示す。まず表1の炭酸化養生していない系について見ると、添加量から算出した理論値に対してアセトン処理、真空処理いずれの系もOCは添加量に応じた定量値の増加がみられるものの乖離が生じていることがわかる。次に炭酸化処理を行った系について見るとこちらも同様に乖離が生じているがアセトン処理品は理論値よりも大きな値となった。この要因は定かではないが、酸によって一部分解されないICがOCとして検出されている可能性があり、さらに詳細な調査が必要である。しかしながら現状、一般的なコンクリート

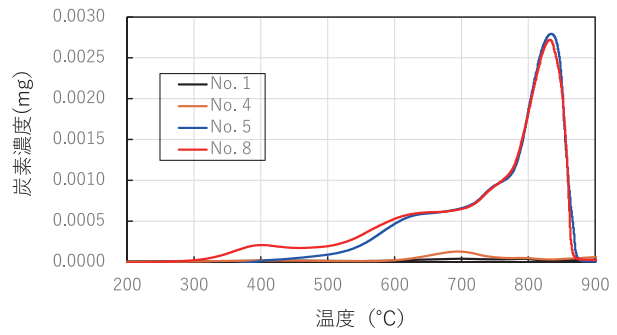


図8 CS計の測定結果

に添加されるTOCの量としてはコンクリート全体の1%未満の場合が大半であり、定量値に及ぼす影響は小さいが、TOCの量が多いような特殊なコンクリートの場合は注意が必要である。その一方で真空乾燥品は炭酸化養生を行っていない系でもICが検出されており水和停止処理の間に炭酸化してしまった可能性がある。水和停止処理方法が水和物の状態に影響を及ぼすことが報告されており¹⁰⁾、これら前処理の手法が定量に及ぼす影響も今後検討が必要である。

次に、管状炉CS計の炭素 vs. 管状炉温度のタイムチャートについて見ると、試料No.4でOCと考えられるピークが650℃付近で確認できる一方で、試料No.8ではそれを大きく超えるピークと、より低温側でもピークが確認された。これはOCを添加せず炭酸化させた試料No.5でも同様の傾向であり、明確なOCとICの分離はできなかったため熱分解の場合はOCとICの分離方法や定義について検討していく必要がある。

2-5. 簡易評価手法の開発状況

2-5-1. CO₂収支解析による定量手法

CO₂吸収型コンクリートのCO₂固定量を評価する方法は様々あるが、非破壊で定量可能な簡易手法も求められている。例えば、CO₂吸収型セメント混和材 γ -2CaO-SiO₂ (C₂S) の炭酸化反応は $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2+2\text{CO}_2+\text{mH}_2\text{O}\rightarrow 2\text{CaCO}_3+\text{SiO}_2\cdot\text{mH}_2\text{O}$ (gel-like) の反応式で表される。つまり、炭酸化養生時のCO₂収支を測定することでCO₂固定量を定量できる。早稲田大学では気相のCO₂物質収支を追跡可能な回分式反応器(BR)と流通式反応器(FR)を開発し、CO₂吸収量のその場測定を実施

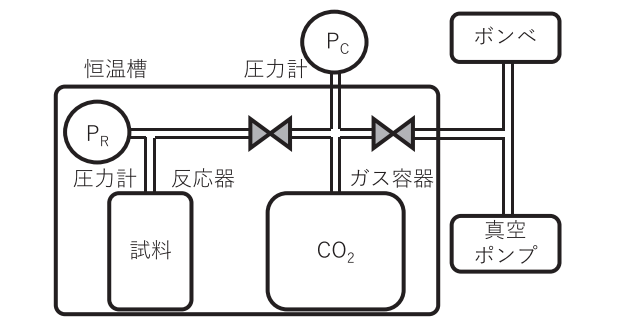


図9 BRの模式図

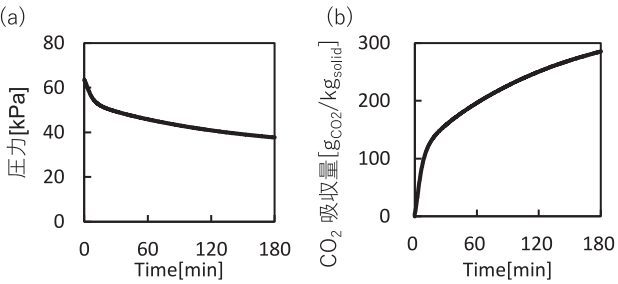


図10 BRによる(a) CO₂圧力変化 (b) CO₂吸収量

してきた。

図9にBRの模式図を示す。反応器に試料を入れポンプで真空引きし、ガス容器にCO₂を封入し、両者を導通して炭酸化する。圧力変化からCO₂吸収量をその場測定した¹³⁾。図10(a)に圧力変化を、図10(b)に圧力変化から算出したCO₂吸収量を示す。圧力追跡によりリアルタイム測定が可能であり、 γ -C₂S粉末は適度な加水条件では30、180分で158、286gCO₂/kg_{solid}と高速に炭酸化が進むことがわかった。

図11にFRの模式図を示す。反応器に粉体試料や構造体試料を設置する。バブリングにより調湿したCO₂・N₂混合ガスを供給し、反応器の出入り口の温度・湿度・CO₂濃度を測定することでH₂OとCO₂の物質収支をその場測定した¹⁴⁾。図12(a)にCO₂濃度を、図12(b)にCO₂吸収量を示す。FRでは一定のガス条件下でリアルタイムに反応を追跡できる。

最後に、BRやFRで炭酸化した試料について、形態別炭素水素分析装置(LECO ジャパンRC612C)によりCO₂吸収率を評価し、BR・FRの評価値と比較した(図13)。y = xの直線に乗っており、BR・FRにより精度よくCO₂吸収量を評価できていたことがわかる。

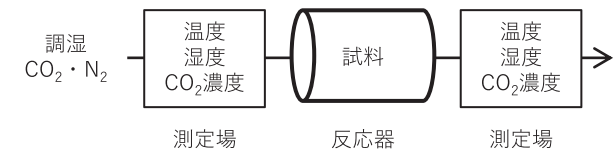


図11 FRの模式図

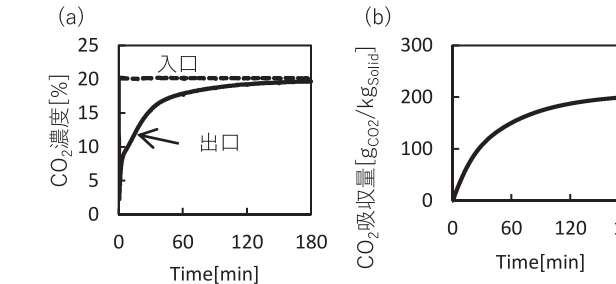


図12 FRによる (a) CO₂濃度 (b) CO₂吸収量

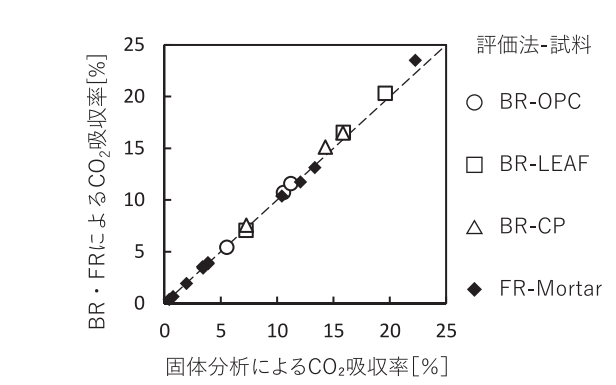


図13 固体分析と開発法によるCO₂吸収率の比較

BRによる粉末の迅速な反応評価は材料開発に、FRによる一定条件での構造体の反応評価は実機でのCO₂固定量評価に特に有効と考えられる。今後、FRでは実構造物への適用に向けたスケールアップを検討していく。

2-5-2. X線CT法の活用検討

X線CT法は、非破壊で試料内部の任意の断面像を取得できるため、医療や産業分野にて広く用いられている。X線CT法で得られる断面像の輝度はCT値とよばれ、X線の透過しづらさ(減衰係数)の相対的な指標である¹⁵⁾。試料密度や構成元素の原子番号が大きい部位ではCT値が大きくなり、断面像上でより明るく表示されるため、試料内構成物を可視化できる。

X線CT法をセメントやコンクリートの内部評価に適用する研究が行われている。例えば、骨材・モルタル・

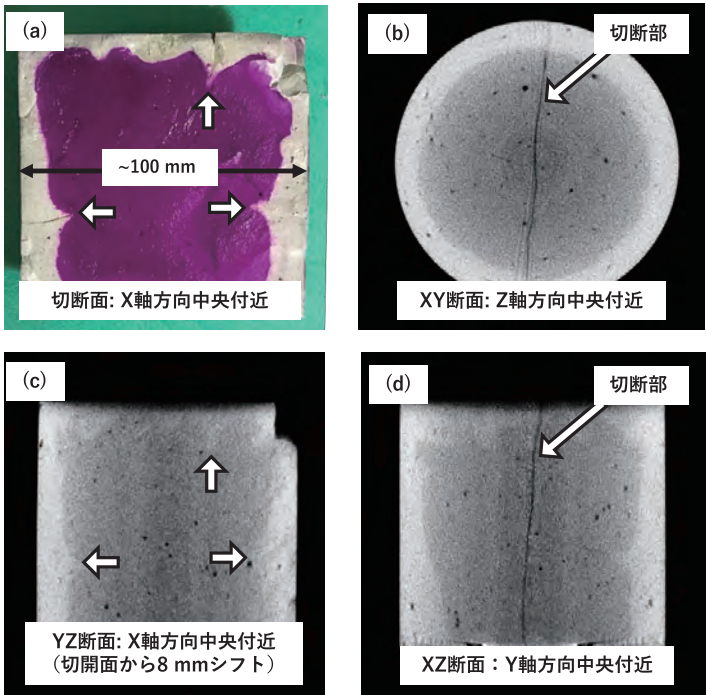


図 14 CT測定の結果

〔(a) 試料の縦 (X 軸) 方向中央付近の切断面におけるフェノールフタレイン法の測定結果, (b) 高さ (Z 軸) 方向中央部付近における CT 断面像, (c) 縦 (X 軸) 方向中央部付近 (切断面から X 軸方向に 8mm シフト) における CT 断面像, (d) 横 (Y 軸) 方向中央部付近における CT 断面像。 (a) と (c) で記入した 3 つの矢印付近にて, 類似形状を容易に確認することができる。〕

空隙などの体積率の定量化¹⁶⁾, 圧縮・乾燥・凍結融解などによる影響の可視化¹⁷⁾, 炭酸化範囲の推察¹⁸⁾などの研究報告がある。Han らによれば, セメントやコンクリートで炭酸化した領域では CT 値が大きくなったと報告されている。一方で, セメントやコンクリートの種類によって, CT 値が炭酸化でどのように変化するかについてはまだよくわかっていない。さらに, 本来 CT 値は, 試料サイズや撮像条件などに影響されるため, 炭酸化量を見積る簡易な手法とするためには, 試料に適した X 線撮像条件の最適化と他分析手法による炭酸化量の測定値などとの比較と照合が重要である。

以上の背景の下, 我々はセメント・コンクリート中の炭酸化量を簡易に見積ることを目的とした X 線 CT 法の活用方法を検討している。その一環として, X 線 CT 法によるセメント試料炭酸化部の確認試験を行ったので紹介する。

試料として, 直径 100mm, 高さ 100mm の円筒状の W/C=50mass% の普通セメントペースト硬化体を作製した。20℃環境下の型枠内で 24 時間養生し, 脱型

後速やかに 40℃/ RH60%, 20%-CO₂ の条件で, 28 日間炭酸化養生を行ったものを測定した。CT 測定前に試料を割裂し, その断面にてフェノールフタレイン法で炭酸化深さを確認した。その後, 切断面を再び合わせて円筒状に戻した試料を, 管電圧 320 kV にて CT 測定を行った。結果を図 14 に示す。(a) は 試料の縦 (X 軸) 方向中央付近の切断面におけるフェノールフタレイン法の結果, (b)～(d) は それぞれ高さ (Z 軸), 縦 (X 軸), 横 (Y 軸) 方向の中央部付近における CT 断面像を示す。ただし, (c) の断面位置は, 物理的な破断状況の映り込みを避けるために, (a) の切断面位置からわずかな距離 (～8mm) だけ離れている。

CT 像中に散見される黒点はボイドである。また, 試料の外周表面から深さ～10mm 程度の範囲は明るく表示されており, CT 値が大きいことが分かる。(a) における炭酸化による着色境界と(c)における明暗境界の形状が類似していることから, 炭酸化部では CT 値が大きくなることが分かる。これは, 炭酸化による試料の密度の増加や構成元素の変化を反映したものと考えら

れる。ところで, 試料の中央 (直径～20mm) 付近は暗部となっているが, これは炭酸化とは無関係なアーチファクト (CT 画像上に現れるノイズ) と推察している。

今回準備したセメント試料に対しては, X 線 CT により炭酸化部を観察できることが分かった。他の種類のセメントやコンクリートに対しても観察可能かについては, 今後確認予定である。なお, X 線 CT 装置は一般的に屋内設置型であり, 屋外で使うためには, 可搬型である超小型 X 線源を用いることが一つの選択肢である¹⁹⁾。ただし, 超小型 X 線源は, 現在のところ最大管電圧が 200kV 程度であり, 今回の撮像条件 (管電圧 320kV) に比べるとアーチファクトの影響が増大するなどの懸念点もあるため, その利用の可能性についても検討を進めたい。

3. おわりに

本稿では, CO₂吸収型コンクリートを対象にした CO₂含有量定量手法の確立への取り組みについて述べた。CO₂を含む炭酸塩の分解方法 (酸分解, 熱分解), 検出方法 (滴定, 非分散型赤外線分光法) や測定条件, 前処理条件など, 様々な要因が定量結果に影響を及ぼす。さらにセメント種や水和物種によって最適条件は変わる可能性があり, 様々な炭酸化条件, セメント種や混和材を添加した系においてさらにデータを蓄積する必要がある。また, 定量精度に影響を及ぼしていると考えられる非晶質の炭酸塩やゲル系の水和物に吸着固定されていると考えられる CO₂の分解挙動や安定性も明らかにする必要がある。

さらに, CO₂吸収コンクリートの技術の普及・拡大のためにはコンクリートそのものの“CO₂含有量”ではなく, “吸収固定した CO₂量”を明確にする必要があり, CO₂収支解析法の更なる検討や実用化に向けたスケールアップ, 様々な手法の組み合わせによって吸収固定した CO₂定量手法を確立する必要がある。

【謝辞】本成果は, (国研) 新エネルギー・産業技術総

合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21014) を受け, 革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発プロジェクトで得られた結果である。

【参考文献】

- 1) 取達剛他／炭酸化養生を行ったコンクリートの CO₂収支ならびに品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No. 1, pp.1450～1455, 2012
- 2) 取達剛／コンクリート分野における CO₂排出削減・有効利用と『CO₂-SUICOM』, 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす, Vol. 99, No.4, pp.360～365, 2020
- 3) T. Siva et al.／Enhanced Polymer Induced Precipitation of Polymorphous in Calcium Carbonate: Calcite Aragonite Vaterite Phases, J Inorg Organomet Polym, 27, pp.770～778, 2017
- 4) T. Higuchi et al.／Development of a new ecological concrete with CO₂ emissions below zero, Construction and Building Materials, Vol. 67, pp. 338～343, 2014
- 5) R. S. J. Weisburd et al.／Methods for Measurement of Dissolved Inorganic Carbon in Natural Waters, Japanese Journal of Limnology, Vol. 56, No. 3, pp. 221～226, 1995
- 6) 安田僚介他／炭酸化を受けたセメント系材料中の CO₂ 含有率評価に向けた分析方法の検討, セメントコンクリート論文集, Vol.75, pp. 442～447, 2021
- 7) 稲本勇他／鉄と鋼, vol. 80, p. 685, 1994
- 8) JIS G 1211-3:2018 鉄及び鋼—炭素定量方法—第3部／燃烧—赤外線吸収法
- 9) 渡邊賢三他／炭酸カルシウム微粉末を用いた高流動コンクリートによる省人化と CO₂削減を両立する技術に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, 2022
- 10) Ruben Snellings et al, hydration stoppage methods for phase assemblage studies of blended cements, Material and structure, 2018
- 11) 扇嘉史他／炭酸化した C-A-S-H およびその加熱による脱炭酸挙動に関する研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.77, pp. 71～79, 2023
- 12) 坂元渉他／炭酸化した C-S-H の熱分解挙動に及ぼす CaCO₃ とシリカゲルの化学反応の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.77, pp. 459～466, 2023
- 13) 高瀬美涼他／CO₂吸収型コンクリートの CO₂吸収のその場測定, 速度解析と固定量評価, 化学工学会第 88 年会, PA174, 2023
- 14) 本橋大輔他／流通式反応器による CO₂吸収型コンクリートの CO₂吸収のその場測定, 化学工学会第 89 年会, PB272, 2024
- 15) 戸田裕之／X 線 CT —産業・理工学でのトモグラフィー実践活用—, 共立出版, 2019
- 16) 天明敏行他／X 線 CT 法を用いたコンクリートの材料構成定量化法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, 2008
- 17) 麓隆行／X 線 CT 画像によるコンクリート内部の物性変化の可視化, コンクリート工学, Vol.59, No.3, pp. 239～246, 2021
- 18) J. Han et al.／Monitoring the Evolution of Accelerated Carbonation of Hardened Cement Pastes by X-Ray Computed Tomography, Journal of materials in civil engineering, Vol. 25, pp.347～354, 2021
- 19) 大島永康他／量子ビーム (X 線・陽電子・中性子) を使った先端計測・分析法, 軽金属, 73 巻 3 号, pp. 117～127, 2023

信濃川発電所(千手発電所)老朽設備 取替に伴う水車発電機基礎コンクリート工事

Shinanogawa Power Station (Senju Power Station) Water turbine generator foundation
concrete work due to replacement of aging equipment

飯塚 信彰 永井 新悟

1. はじめに

信濃川発電所はJR東日本が所有する水力発電設備の総称であり、図1の鳥瞰図に示すように宮中取水ダム、浅河原調整池、千手発電所、山本調整池、小千谷発電所、山本第二調整池、小千谷第二発電所から構成されている。信濃川発電所で発電された電力はJR東日本で使用する総電力量の約2割を担い、東京近郊や上越線を走る電車の運行を支えている重要な設備となっている。本稿では千手発電所2号機の水車発電機基礎コンクリート工事について記載する。¹⁾

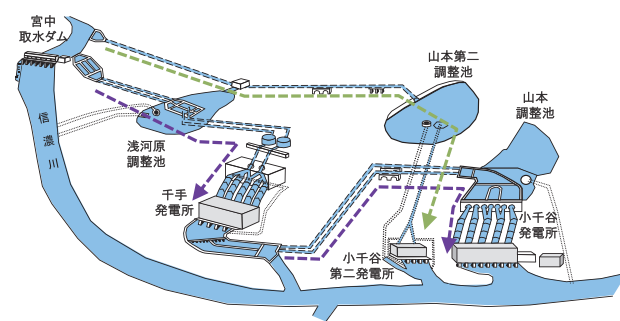


図1 信濃川発電所設備鳥瞰図

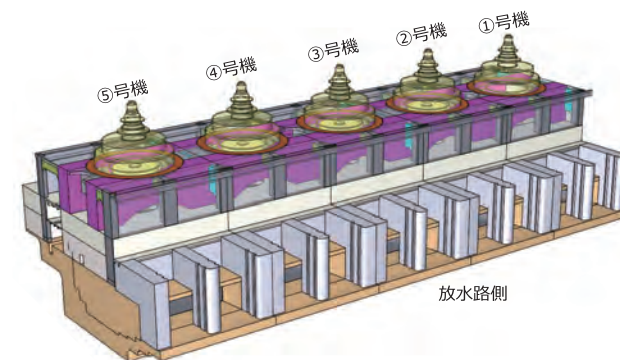


図2 千手発電所全体イメージ

2-1. 千手発電所水車発電機概要

本工事は信濃川発電所老朽設備取替プロジェクトの1つであり、経年80年を超えた千手発電所の水車発電機を取り替えるに当たり、その基礎となるコンクリート

構造物の撤去・新設を行うものである。千手発電所は図2のように、5台の水車発電機で構成されており、そのうち4台を取替、1台を撤去するものである。今回は最初に取り替えた2号機の施工を報告する。

それぞれの水車発電機は図3に示すような各部材で構成されており、水車発電機は梁部材である1階の副梁ならびにアーチ梁に支えられている。地下1階からは管路であるケーシングおよびドラフトチューブで構成されている。ケーシングおよびドラフトチューブはコン

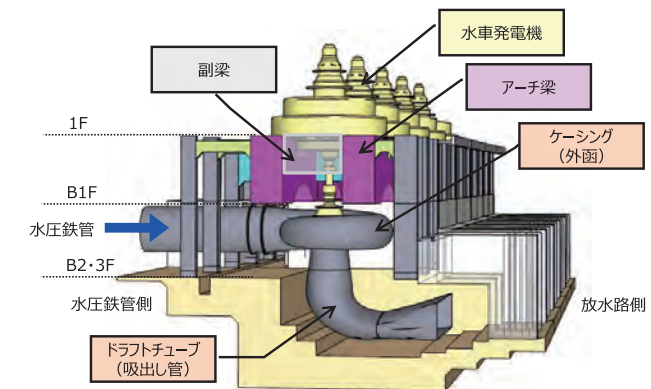


図3 水車発電機各名称

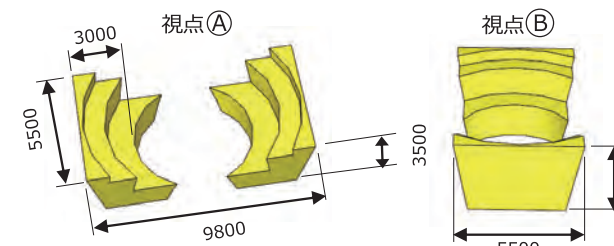
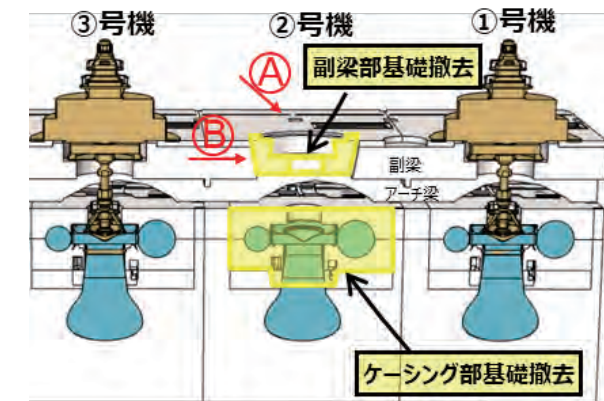


図4 2号機基礎副梁部撤去イメージモデル

クリートで巻かれた構造になっている。

2-2. 工事概要

千手発電所2号機の基礎撤去イメージモデルを図4に、基礎新設イメージモデルを図5に示す。本工事はアーチ梁に挟まれた副梁部基礎ならびにケーシング部基礎を撤去し、その後新設する発電機の形状にあわせ副梁部・ケーシング部のコンクリート基礎を新設するものである。基礎の新設は取替後の水車発電機の高さに合わせて行うため、撤去と新設の形状は異なっている。なお、隣接の水車発電機は稼働した状況で

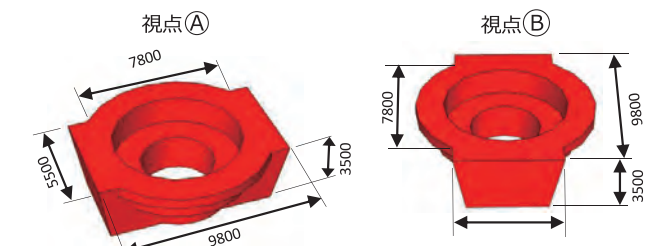
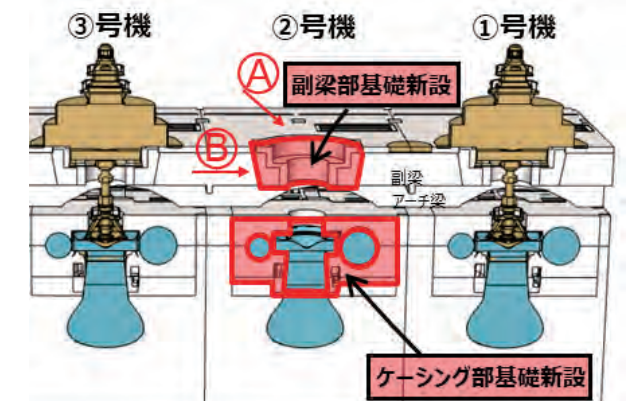


図5 2号機基礎副梁部新設イメージモデル

の施工となる。

3. 施工内容

基礎新設については(1)ケーシング部、(2)副梁部の順で施工を行った。

3-1. ケーシング部

ケーシング部基礎新設は、別工事の電気工事にてケーシングの据え付け後土木側に引き渡され、施工に着手した。ケーシング据え付け後の土木工事着手前の



いづか のぶあき / IIZUKA Nobuaki
東日本旅客鉄道(株)
東京建設プロジェクトマネジメントオフィス
プロジェクト推進1ユニット(ターミナル改良)(前 上信越建設
プロジェクトマネジメントオフィス上信越ユニット(上信越))
主任



ながい しんご / NAGAI Shingo
同上
上信越建設プロジェクトマネジメントオフィス
上信越ユニット(プロジェクト支援)
主任



写真1 ケーシング部基礎新設着手前



写真2 ケーシング下部状況



写真3 ケーシング部配筋状況

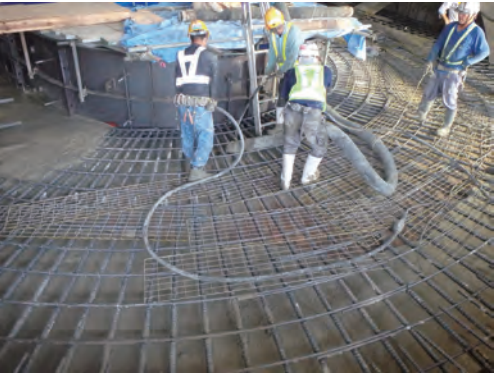


写真4 ケーシング部打設状況

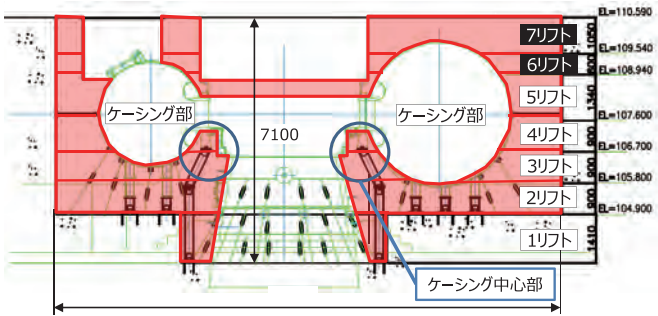


図6 ケーシング部新設打設割断面図

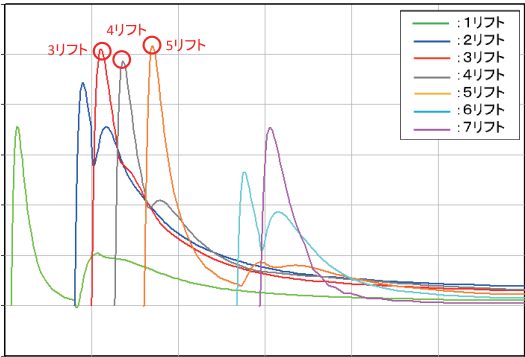


図7 温度応力解析結果

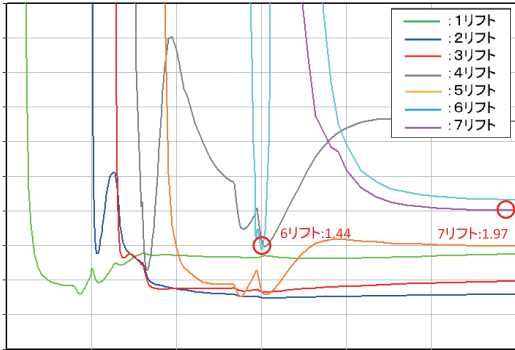


図8 温度ひび割れ指数解析結果

表1 温度ひび割れ指数とひび割れ発生確率

対策レベル	ひび割れ発生確率	温度ひび割れ指数
		安全係数
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85以上
ひび割れを発生を出来る限り制限したい場合	15%	1.40以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制御したい場合	50%	1.00以上

状況を写真1に示す。ケーシング下部は写真2に示すようにケーシングを支える架台やターンバックル、配管が通っており狭あいであった。

図6にケーシング部基礎新設の打設割断面図を示す。コンクリート基礎の高さは7.1mあるが、コンクリート打設時の浮力により、ケーシングが浮き上がることを防

表2 高流動コンクリート配合

セメント	粗骨材	細骨材	混和剤	W/C(%)	s/a(%)
BB	川砂	川砂利	高性能AE減水剤＋増粘剤	41.3	52.9
単位量(kg/m ³)					
水	セメント	膨張剤	細骨材	粗骨材	混和剤
165	380	20	872	866	4.00
					0.200

止するため、電気共同研究会の指針²⁾を参考に1層当たりの打設高さ1.5m以下および1回当たりの打ち上げ高さ0.3m以下とし、計7層(リフト)で打設を行うこととした。打設リフトの決定にあたっては、コンクリートの温度応力解析を実施し、ひび割れの発生について検討を行った。温度応力解析の結果を図7に、温度ひび割れ解析の結果を図8に示す。コンクリート温度は3～5リフト目で打設後一時的に80℃前後まで上昇することがわかる。完成後もコンクリート面が露出する上層6リフト、7リフトの温度ひび割れ指数はそれぞれ1.44、1.97であった。温度ひび割れ指数は表1³⁾に示す通り、6リフトは「ひび割れの発生をできる限り制限したい場合(ひび割れ発生確率15%)」、7リフトは「ひび割れを防止したい場合(ひび割れ発生確率5%)」を満足することを確認した。

写真3,4に配筋の状況とコンクリート打設の様子を示す。

コンクリート打設では、ケーシングならびに前述した鋼材や配管等の設備が多数あり、また、ケーシング下部が狭あいで打設の配管、締固めに必要な足場の設置が難しく十分な締固め、養生ができない。そのため、1～5リフトは表2に示す配合の自己充填性を有する高

流動コンクリートを使用することとした。なお、6,7リフトについては普通コンクリートを使用し、バイブレータによる締固めを行う計画とした。

自己充填性に関しては現場の鉄筋配置間隔が最小で200mmを下回ること、およびケーシング下部は前述の通りケーシングを支える架台やターンバックル、配管が通っており、人が入ったりバイブレーターの挿入が厳しい状況を考慮しランク2を必要性能とした。

アルカリ骨材反応の対策として高炉セメントB種(BB)を用いた。また、自己充填性を有し、かつノンブリーディングとするため高性能AE減水剤と増粘剤を添加する配合とした。また、ワーカビリティ低下の追加対策として細骨材量を減じた。

現場状況により打設箇所付近にポンプ車を配置することができず、配管打設を行う必要があった。配管距離が長いと、例えばプラントの不具合等により打設が途中で停止した場合、管内でコンクリートが硬化し、打設の継続が不可能になる可能性がある。このため、実機試験練りでは練り混ぜ後90分静置したコンクリートの性状確認まで実施した。表3に示すように必要性能を満足した。また、高性能AE減水剤と増粘剤の効果によりいずれの時間でもブリーディングは認められなかつ

表3 高流動コンクリート実機試験練り結果

試験項目	スランプ	フロー	フロー	U型	U型	空気量	コンクリート
	フロー	50cm時間	停止時間	充填時間	充填高さ		
	(cm)	(sec)	(sec)	(sec)	(mm)	(%)	温度
必要性能 (練り混ぜ5分後)	65±5	—	—	—	300以上	4.5±1.5	—
実測値	5分後	63.0×61.5	5.2	28.5	—	—	4.2
	30分後	68.0×66.5	5.5	35	18.7	364	4.3
	60分後	66.5×64.0	4.7	41.1	—	—	4.0
	90分後	66.0×63.5	4.8	30.7	23.1	342	4.3

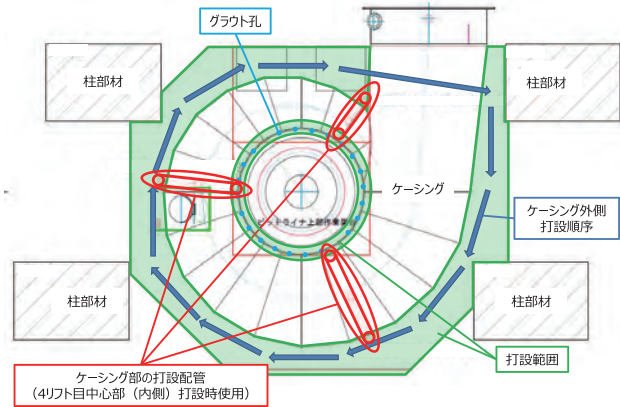


図9 打設範囲および打設配管・グラウト孔設置計画図

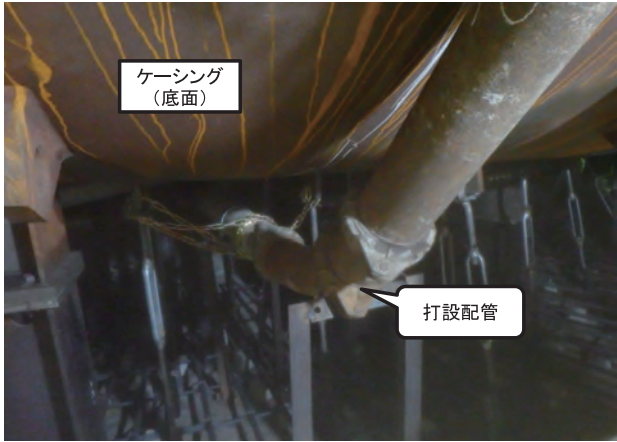


写真5 ケーシング中心部打設配管設置状況
(ケーシング底面)

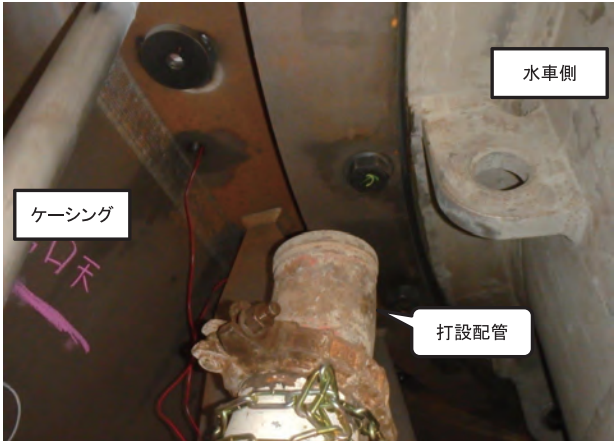


写真6 ケーシング中心部打設配管設置状況
(ケーシング内側)

た。スランプフローの状態では骨材の偏りもなく、良好な材料分離抵抗性を有しており、かつ、流動性も長時間保った良好なコンクリートが得られた。

打設について、ケーシング外側からの打ち込み順序は図9に示すように時計回りの片押しとし、1回の打ち上げ高さを300mm程度とすることで、ケーシングに対し浮力が大きくなりすぎないように計画した。また、ケーシング

外側はコンクリートの流動状況を見つつ適宜打設ホースの筒先を移動させ打設した。結果、配管の閉塞や充填不良なく施工を完了した。

4リフト打設で最も充填が困難なケーシング中心部については図9、写真5,6に示すような埋設式の打設配管を設置した。この配管を通してケーシングの中心部(内側)から外側に向けて打設することでケーシング



写真7 グラウト孔からのコンクリート漏出状況



写真9 ドローンによる副梁部切断面調査

中心部の充填不良が生じないように配慮した。ケーシング内側にはコンクリート打設後、空隙が残った場合に後からグラウトを充填させることができるようグラウト注入孔が設けられている。今回は写真7に示すようにこのグラウト孔からコンクリートの漏出を目視にて確認した。さらに、中心部には充填センサーを設置することでケーシング中心部の狭あい箇所のコンクリート充填状況をモニターで確認した。これらの対策によりケーシング中心部は密実に充填され、グラウトの注入も不要となった。

ケーシング部基礎の打設完了時の状況を写真8に示す。

3-2. 副梁部

副梁部基礎撤去について、当初はアーチ梁を含め撤去する案も存在したが、膨大な工事費・工期がかかることからアーチ梁の健全性を確認したうえ、新設す



写真8 ケーシング部基礎新設完了

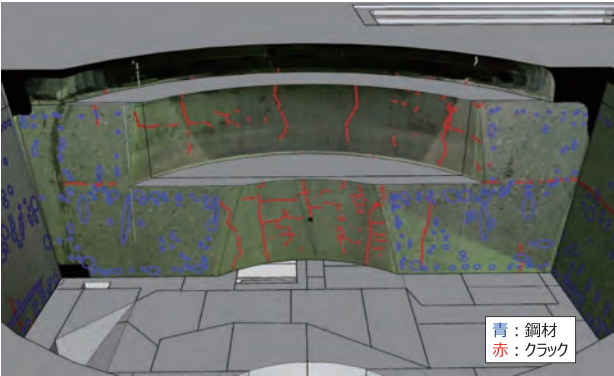


図10 副梁部切断面調査結果

るケーシングの搬入時の分割サイズを変更することでアーチ梁撤去を行わない現在の施工範囲となった。

副梁部基礎新設では、既設部と新設部を接合する必要があったため、主に接合面のせん断・ずれ補強としてあと施工アンカーを配置し、接合する設計とした。また、副梁は新旧コンクリートの噛み合わせを考慮して、鉛直より10°の角度を取って切断しており、これにより新設コンクリートの抜け落ち防止を高める構造となっている。

副梁部基礎撤去後に写真9に示すようにドローンにて切断面の鉄筋や鋼材の配置状況、クラック位置の調査を行った。従来であれば調査箇所に足場組立、人力で調査を行う必要があるが、ドローンを飛行させ撮影した写真からソフトウェアで結果を抽出することで所要工期は、3週間程度の短縮となった。図10に調査結果を示す。複数箇所鉄筋・鋼材が配置されていることがわかり、これら避けるようにあと施工アンカー

表4 副梁部コンクリート配合検討ケース

検討 CASE	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	混和材	備考
0	BB	川砂	川砂利	AE減水剤		標準配合
1	BB	川砂	川砂利	AE減水剤	膨張材	膨張材の効果の確認
2	BB	川砂	石灰岩碎石	AE減水剤	膨張材	石灰岩碎石の効果の確認
3	BB	石灰岩砕砂 (混合砂)	石灰岩碎石	AE減水剤	膨張材	石灰岩砕砂混合の効果の 確認
4	BB	川砂	石灰岩碎石	収縮低減型 AE減水剤	膨張材	収縮低減型AE減水剤の効果の 確認
5	BB	川砂	石灰岩碎石	AE減水剤 +収縮低減剤	膨張材	収縮低減型AE減水剤と収 縮低減剤の効果の確認

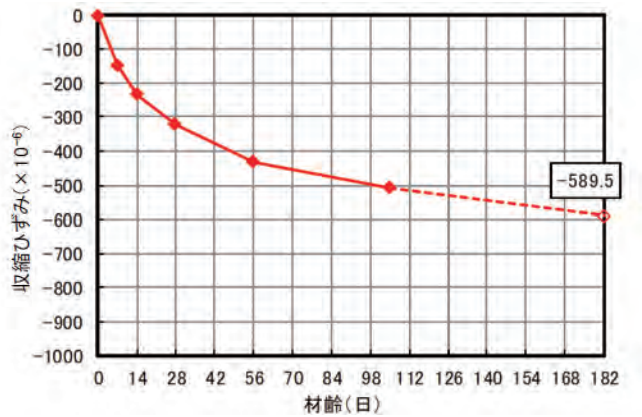


図11 副梁部コンクリート標準配合収縮量

の配置を計画した。あと施工アンカーは、当初D25・SD345を790本打設する計画であったが、鋼材によるアンカー打設への干渉やコストダウンの観点からD25・SD390のアンカーへ変更することによって約700本に削減した。一方、切断面のクラックはアンカー打設前に注入を行う計画とした。

通常、コンクリートは経年変化により乾燥収縮が起きる。今回、副梁部を撤去した閉塞された箇所に開口を有する新設コンクリートを打ち込むため、収縮によるひび割れの発生など、収縮の弊害が懸念された。発電機は新設する副梁部基礎に載るが、発電機の据付は高い精度が要求されるため、使用するコンクリートは、乾燥収縮量をできる限り抑えた配合を検討した。**表4**に示すように5種類の配合にて試し練りを行い、膨張剤、石灰岩碎石、AE減水剤、収縮低減剤などが乾燥収縮量低減にどの程度寄与するのかを確認した。供試体条件は、水中養生7日後、温度20℃、相対湿度60%の環境下で計測を行い、標準配合である検討

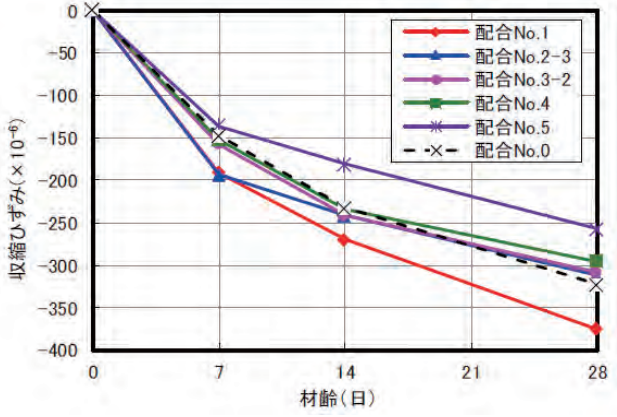


図12 副梁部コンクリート配合検討結果(収縮量)

CASE No.0は材齢105日時点の収縮量まで測定を行った。**図11**に示すように材齢182日の収縮ひずみの推定値は-589.5×10⁻⁶となった。**図12**に各配合検討CASEにおける収縮量の変化、**表5**に各配合検討CASEの収縮量計測結果と、配合検討CASE No.5の材齢182日における推定量を示す。5種類の配合検討CASEのなかでNo.5の細骨材に石灰岩碎石を使用し、膨張剤・収縮低減型AE減水剤を添加した配合の収縮量が28日材齢で-257.5×10⁻⁶となった。収縮量は材齢が経つごとに増加するもののその増加量は収まっていく。AE減水剤、収縮低減剤の初期収縮低減効果が大きく、材齢が経過しても各配合検討CASEの収縮量の関係は変わらないと推察されることことから検討CASE No.5を採用とした。また、副梁部にはパイプレータでの締固めが現地状況上で可能であることから普通コンクリートを使用した。

写真10に副梁部のコンクリート打設の状況を、**写真11**に副梁部基礎新設完了を示す。

表5 各検討ケースの収縮量(ひずみ)および推定値

配合 No.	乾燥材齢(日)の収縮ひずみ(×10 ⁻⁶)						(推定値)
	0	7	14	28	56	91	182
0	0.0	-147.5	-232.5	-322.5			
1	0.0	-190.8	-270.0	-375.0			
2	0.0	-193.3	-241.7	-312.5			
3	0.0	-157.5	-241.7	-308.3			
4	0.0	-151.7	-233.3	-295.0			
5	0.0	-135.8	-180.8	-257.5	-338.3		-462.4

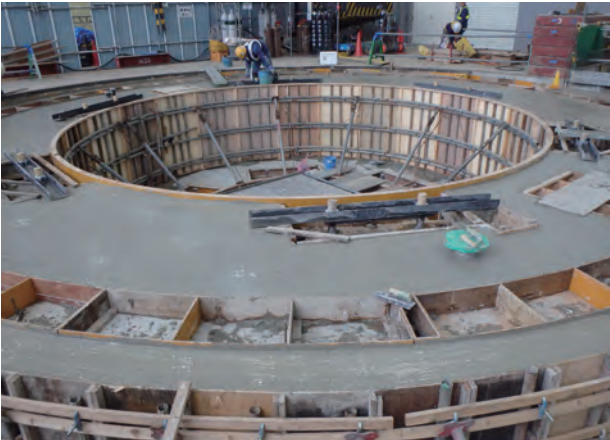


写真10 副梁コンクリート打設状況



写真11 副梁部基礎新設完了

4. おわりに

千手発電所2号機の土木工事である水車発電機基礎コンクリート撤去・新設工事は2019年9月に着手し、2020年10月に完了した。同様に土木工事の1号機については2021年10月に完了、4号機については、2023年10月に完了した。厳しい工期のなか当社として過去に経験のない水車発電機の老朽取替工事(初号機となる2号機および1,4号機)を完了させることができた。

最後にこれまで本工事に携わった各関係箇所の皆さまにこの場を借りて感謝申し上げる。引き続き千手発電所5号機取替、3号機撤去完了に向け邁進する所存である。

【参考文献】

- 1) 谷俊樹, 永井新悟, 須田聡, 木戸素子／信濃川発電所老朽設備取替(千手発電所)-土木工事-, SED, No.60, pp.76～83, 2022
- 2) 電気共同研究会／水力発電所機器据付検査基準 水力発電所現場試験指針
- 3) 土木学会／コンクリート標準示方書[施工編], [設計編], 2017



セメントハンドブック 2024年度版

インターネットからご覧下さい

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

セメントハンドブック2024年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf



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



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

再生炭素繊維 (rCF) の コンクリート分野への利用

～サーキュラーエコノミーの推進に貢献する「リカボクリート®」工法～

Application of recycled Carbon Fiber (rCF) to concrete
～“Recarbocrete®” Method Contributes to the Promotion of Circular Economy～

平田 隆祥 佐々木 智大 都築 正則 桜井 邦昭

1. はじめに

燃料電池自動車「MIRAI」¹⁾の高圧水素タンク(写真1,2)に使用されている炭素繊維強化プラスチック(以下、CFRPと称す)の使用済み端材を、コンクリート補強用繊維として短繊維の形で再生利用する技術「リカボクリート®」工法を開発²⁾した。また、このリカボクリート工法を自動車工場の部品置き場の床に適用した。

補強用繊維は、コンクリートと練り混ぜることで、粘り強さを高める繊維質の補強材である。上記の端材を利用した再生炭素繊維をコンクリートの中に練り混ぜたリカボクリートは、従来の繊維補強コンクリートと同等以上の性能を発揮する。また、CFRPの廃棄量を削減



写真1 燃料電池自動車「MIRAI」
[提供：トヨタ自動車株式会社]



写真2 「MIRAI」の高圧水素タンク
[提供：トヨタ自動車株式会社]

でき、サーキュラーエコノミー(循環型経済)の推進にも貢献する。

本稿は、建設材料への繊維利用技術の変遷を振り返るとともに、性能に優れる材料の組合せにより力学的な性能のみならず環境の課題も同時に改善できる複合材料が可能となる事例について報告する。



ひらた たかよし / HIRATA Takayoshi
(株)大林組 技術研究所
生産技術研究部
上級主席技師 博士(工学)



ささき ともひろ / SASAKI Tomohiro
同上
構造技術研究部
副課長 博士(工学)



つづき まさのり / TSUZUKI Masanori
同上
生産技術研究部
課長



さくらい くにあき / SAKURAI Kuniaki
同上
生産技術研究部
主席技師 博士(工学)



写真3 日干し煉瓦(藁)



写真4 植物繊維の籠(シクラ)



写真5 白壁／漆喰壁(麻スサ)

2. 建設材料と繊維補強

2-1. 繊維補強の歴史

繊維により建設材料を補強する知恵は、古くから用いられており、合理的な考えといえる。紀元前4000年以前から、エジプトでは日干し煉瓦に、粘土や砂と一緒に藁を練り込んでいた(写真3)。藁には日干し煉瓦を固め、均等に乾燥させてひび割れを無くす働きがある。

また、紀元前3000年頃のペルーのカラル遺跡では、葦などの水草を結んで粗いネット状の籠「シクラ」とし、この中に石を詰めてピラミッドの基礎部分に用いている(写真4)。本遺跡は、地震が多発する環太平洋火山帯に位置し、「シクラ」は石積みのピラミッドの崩壊を防ぐ世界最古の免震装置³⁾と考えられている。

一方、時代は近づき、日本の伝統技術である白壁(漆喰壁)(写真5)も、貝殻由来の石灰粉にフノリと麻スサを練り込み、ひび割れが少なく耐久性の高い土壁を

表1 建設材料と繊維利用の年表

約 9000 年前	イフタフ遺跡 (以 コンクリート原型)
約 4700 年前	ピラミッド (埃 気硬セメント間詰材)
4000 年以前	日干し煉瓦 (埃 藁添加)
約 2000 年前	パンテオン (伊 古代ローマコンクリート)
1346 年	国内 姫路城築城 (白壁・漆喰壁)
1824 年	アスブジン (英 ポルトランドセメント特許)
1867 年	モニエ (仏 金網利用セメント系植木鉢)
1879 年	エジソン (米 炭素繊維をフィラメントに利用)
1890 年	ギロン (仏 石膏添加による凝結調整)
1900 年	ハチェック (奥 石綿スレート)
1949 年	国内 レディーミクストコンクリート工場
1956 年	炭素繊維開発 (米 レーヨンを用いた製造技術)
1971 年	国内 炭素繊維工業化
1970 年代	国内 セメント/コンクリートへの繊維利用技術 鋼繊維、耐アルカリガラス繊維、炭素繊維 アラミド繊維、ビニロン繊維 ポリプロピレン繊維 など
2006 年	国内 セルロースナノファイバー開発

※奥：オーストリア、以：イスラエル

構築していた。このように、圧縮に比べて引張に弱い建設材料を、繊維で補強することは自然な考えである。

2-2. セメント／コンクリート分野の繊維利用

この知恵を、モルタルやコンクリートの性能の向上に応用したのは、比較的新しい技術といえる。1867年に、造園師のジョゼフ・モニエ(仏)が、金網で補強したモルタルのフランス特許を取得している。また、1900年にルードリッヒ・ハチェック(奥)が、モルタルに石綿繊維を練り混ぜた石綿スレートを発明した(表1)。

さらに1960年代以降に国内で研究開発が進み、1970年代初めには鋼繊維と耐アルカリ性ガラス繊維が

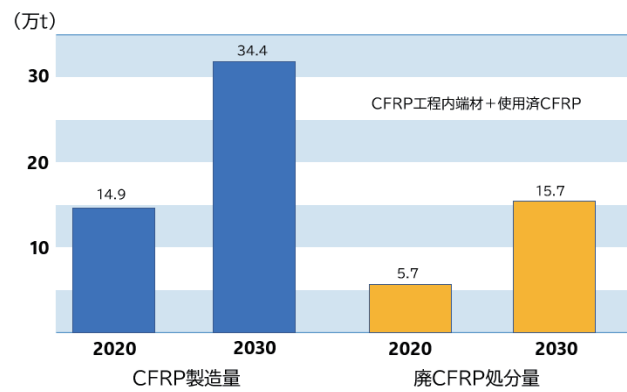


図1 CFRPの世界市場（製造量と処分量の推計）

コンクリート補強用繊維として実用化された。その後、炭素繊維やアラミド繊維、ビニロン繊維、ポリプロピレン繊維などを用いた様々な種類の繊維補強コンクリートが実用化されて利用が拡大した。

国内建設分野では、鋼繊維を用いた繊維補強コンクリートがトンネルの二次覆工や床版に多用されたが、現在はポリプロピレン繊維を用いた繊維補強コンクリートが市場の大半を占めている。

3. 炭素繊維

3-1. 炭素繊維の開発

炭素繊維の起源は、19世紀末にトーマス・エジソン（米）とジョセフ・スワン（英）が、木綿や竹を焼いて作った炭素繊維を用いて電球を発明したことに遡ると言われている。1950年代に耐熱性が要求されるロケット噴射口の材料が求められ、1956年に米国でレーヨンを用いた炭素繊維が開発された。その後、1959年にアクリル繊維を用いたポリアクリロニトリル系炭素繊維が、1963年にはピッチを用いたピッチ系炭素繊維が、相次いで日本で発明された。1971年に高機能炭素繊維の工業化に成功したのは日本企業で、その後、複数の国内メーカーも市場参入した。工業用炭素繊維は1970年代にはゴルフシャフトなどにCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics)として利用された。当初は市場の開拓に苦しみつつも、やがて欧米航空宇宙産業の需要でシェアを拡大した。

3-2. CFRP

炭素繊維は、軽くて引張強度が高く、耐久性に優れるといった特長がある。しかし、炭素繊維自体は比強度の高い「糸」で、単体では形状を保持することができない。そのため、多くがプラスチックやセラミックス、金属と複合化した材料とすることにより、高い強度や弾性と成形性を兼ね備えた加工製品として利用されている。

CFRPは、炭素繊維に熱硬化性樹脂を含浸した複合材料で、硬化した成形加工品である。部材の軽量化が可能となるため、水素を燃料とする燃料電池自動車の高圧水素タンクや航空機、風力発電の風車ブレードなどに利用されており、省エネ・カーボンニュートラルの観点から適用が拡大している。

また、建設分野では、炭素繊維の軽くて引張強度が高く、腐食しないという優れた特長から、長繊維を巻き付けたり、シートやグリッド・ロッド等に成形加工し貼り付けることで、鉄筋コンクリート構造物自体を外側から補強する方法で利用されてきた。一方、炭素繊維を短繊維の形で繊維補強コンクリートの材料として利用する研究は進んだものの、他の種類の繊維と比べて高価であったため、実適用は進んでいない。

3-3. 世界市場^{4,5)}

CFRPの2020年の世界市場は14万9千tで、2025年頃からの自動車用途の需要拡大も予測され、航空機用途や風力発電ブレード用途も含めて2030年には34万4千t規模に拡大すると推計されている。一方、CFRP加工の工程で発生した端材（CFRP工程内端材）と使用済CFRPの発生量から推計した廃CFRP処分量は、2020年に5万7千tであったものが、2030年には15万7千tに増加すると想定されている。現状CFRPは、製造量と比べて、毎年約30%がリサイクルされずに廃棄されており、廃棄量の削減が環境保全やコスト低減の観点から世界共通の目標となっている（図1）。

現状、日本の炭素繊維の世界シェアは約5割を占めており、日本が世界をリードする先端材料として、技術

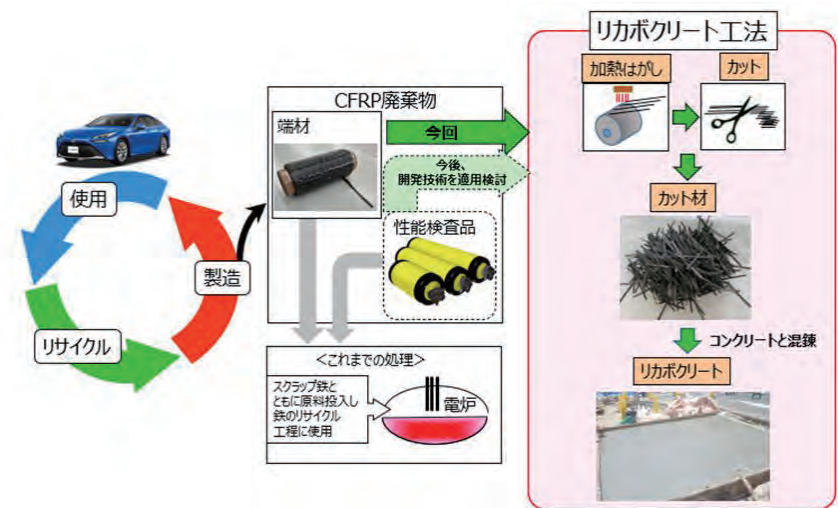


図2 資源循環と開発技術の概要



写真6 トウプリブレグ(TPP)工程内端材

力を十分に蓄積している。炭素繊維は安全保障貿易管理の対象品目にも指定されている。

4. リカボクリート®工法

4-1. CFRP再生利用技術の概要

CFRPは強靱な成形加工品であるが故に、再生加工することが難しい。そのため、例えばCFRP工程内端材は、電炉で鉄をリサイクルする工程の原料として使用する等に留まっており、本来CFRPが持つ力学特性を活かした再生利用が難しかった。また、CFRPとして一旦使用された炭素繊維を、建設分野に再生利用する事例はわずかである。

前述の背景から、自動車分野でCFRPとして一旦使用した炭素繊維を、その優れた強度特性を保持したまま再生加工し、製品としてリサイクルする技術の開

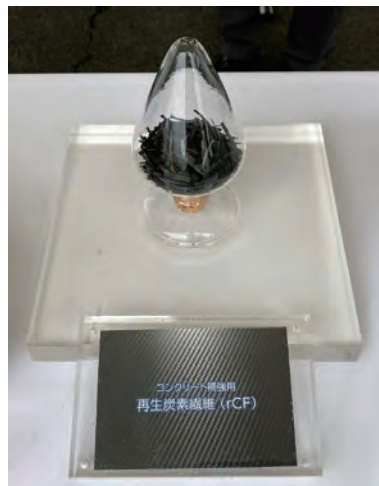


写真7 CFRPを再生したコンクリート補強用繊維

発を目標とした。CFRPの再生方法や加工方法、加工品の仕様や品質確認を積み重ね、再生炭素繊維をコンクリート補強用繊維として再生利用する新たな技術「リカボクリート(Recycled Carbon Fiber Concrete)」工法を開発した(図2)。

本開発は、燃料電池自動車「MIRAI」の高圧水素タンクを製造する段階で発生するトウプリブレグ(TPP)のCFRP工程内端材(TPP工程内端材)を用い、独自の熱加工を施した後、コンクリート補強用繊維として適切な長さ・寸法に裁断し再生加工品を製造している(写真6)。このコンクリート補強用繊維を、生コンクリートに添加することで、硬化した後のコンクリートのひび割れ抑制や靱性を向上する技術を実現した(写真7)。

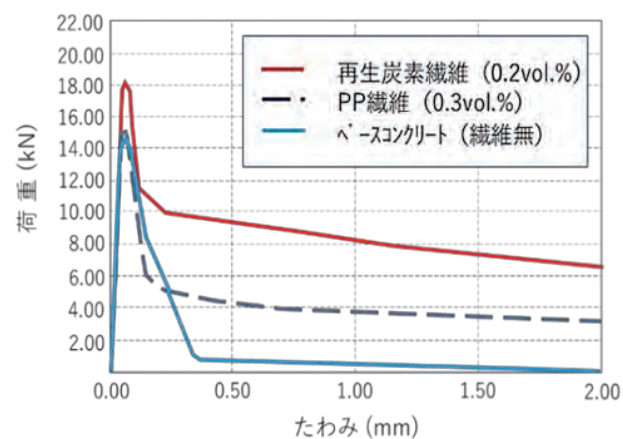


図3 コンクリート部材の曲げ靱性試験結果
〔寸法：100×100×400mm〕



写真8 曲げ靱性試験後のコンクリート断面
(黒く細長い再生炭素繊維)



写真9 再生炭素繊維の添加



写真10 リカボクリート®の打込み

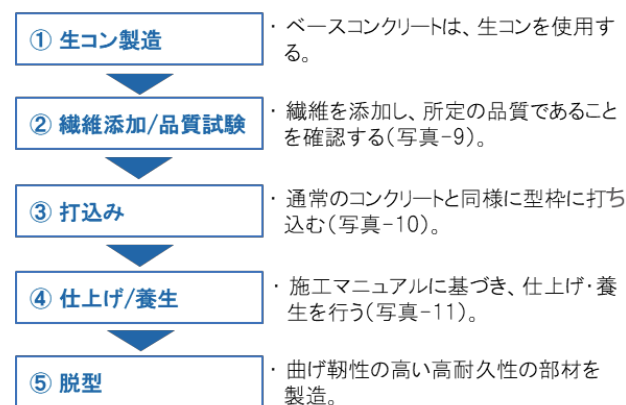


図4 適用手順

4-2. 特 長

リカボクリート工法の特長を下記に示す。

(1) 独自の熱加工により、CFRP端材表面層からCFRPをはがす技術を確立

TPP工程内端材のCFRPの性能を保ったまま、独自の熱加工により連続的にはがすことができ、使用するエネルギーを最小としたコンクリート補強用の再生炭素繊維の成形加工技術を実現した。

(2) ポリプロピレン製のコンクリート補強用繊維と比べて3分の2の添加量で同等以上の性能を発揮

今回のリカボクリートに使用するコンクリート補強用繊維は、モルタルやコンクリートに添加でき、同じ目的で従来使われてきたポリプロピレン製繊維の3分の2の添加量で、同等以上の圧縮強度や曲げ靱性を発揮する(図3, 写真8)。

(3) 再生炭素繊維の使用により環境保全やカーボンニュートラルに貢献

今回のリカボクリートに使用する再生炭素繊維は、リサイクルにより新品の炭素繊維を用いた場合と比べて、加工製品のCO₂排出量を最大15分の1程度に削減した。また、通常の床版補強鉄筋の使用との比較では、CO₂排出量を最大9分の1程度に低減した。

4-3. 実適用事例

リカボクリート工法を、自動車工場敷地内の床用コンクリートに初適用した。適用手順は、通常の繊維補強コンクリートと同様の手順で行った(図4, 写真9～11)。

ベースとなるコンクリートには、レディーミクストコンクリートを使用した。施工現場に到着したアジテータ車に、足場等を使って後部の投入口から加工した再生



写真11 仕上げ

炭素繊維を添加し、所定の時間攪拌して繊維をコンクリートの中に均一に分散した。再生炭素繊維を添加した後に、コンクリートが所定の品質であることを試験で確認した。品質が確認できたら、通常のコンクリートと同様に型枠内に打込み、その後、鋺による仕上げや養生を行った。

5. おわりに

自動車に使用するCFRPも、建設分野の繊維補強コンクリートも、優れた素材を組み合わせることで性能を向上して来た⁶⁾。これら両者の技術を融合することで、さらなる改善が期待できる。

構造物に使用するコンクリートは、その形状が長年保たれることと、構造材料として強度が担保されることが必要となる。しかし、現代のコンクリート構造物は、

コンクリートそのものが劣化する前の比較的短期間で、コンクリート中に配置された補強用鋼材の腐食により耐力の低下に至る事例が多発している。

本稿で紹介した「リカボクリート」は、CFRPの市場拡大を背景に、軽く、強く、腐食しない再生炭素繊維を利活用することで、安心・安全かつ強靱な社会づくりや歴史に残る構造物の建造に挑戦する⁷⁾。また、このようなリサイクル活動を展開することで、サーキュラーエコノミー(循環型経済)に貢献することを目指していく。

【謝辞】本研究開発の推進に際し、トヨタ自動車(株)の水素エネルギー技術関連の皆様にご多大なご指導・ご支援いただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) トヨタミライ【公式】、<https://toyota.jp/mirai/> (閲覧日：2024年6月18日)
- 2) Toyota Global Newsroom / 大林組とトヨタ自動車、炭素繊維強化プラスチックの廃棄物をコンクリート材に再生利用する「リカボクリートTM工法」を開発、<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/40055914.html> (閲覧日：2024年6月18日)
- 3) 福山洋ら / 約 3500 ～ 5000 年前の神殿遺構に用いられた基礎構造の免震効果とその再現性に関する研究、日本地震工学会論文集、第15巻、第6号、pp.77～90、2015
- 4) 炭素繊維複合材料(CFRP/CFRTP)の世界市場を調査-2035年市場予測(2021年比)-、https://www.fuji-keizai.co.jp/press/detail.html?cid=22067&view_type=2&la=ja (閲覧日：2024年6月18日)
- 5) 株式会社矢野経済研究所 / リサイクル炭素繊維の評価手法や採用状況に関する国際動向調査2022、経済産業省 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000302.pdf、(閲覧日：2024年6月18日)
- 6) 石関嘉一、吉田浩一郎 / 土木学会誌、CEリポート、高性能コンクリートの歴史、超高強度繊維補強コンクリートへの期待、vol.97, No.11, 2012
- 7) 平田隆祥、沼田裕介 / 炭素繊維強化プラスチックの廃棄物を繊維補強コンクリートに再生利用、建設機械施工、Vol.76, No.4, pp.20～24, 2024

荷重分布型伸縮装置を設置したRC床版の耐疲労性および製作・施工技術

Fatigue Durability and Manufacturing/Construction Technology of RC Slabs with Load-Distributed Expansion Joint

阿部 忠 佐々木 茂隆 深水 弘一 岡村 達也

1. はじめに

日本の橋梁数は2023年現在で約73万橋が供用され、その多くは高度経済成長期に建設されている。したがって、建設後50年が経過する橋梁も年々多くなっている。しかし、2009年に橋梁の長寿命化修繕計画事業が策定された以降は、健全性を評価し、毎年決められた予算の中で適切な修繕が実施され、長寿命化が図られている。

一方、73万橋の入口、出口および遊間部には伸縮装置が設置され、近年、伸縮装置の老朽化に伴う取替工事が実施されると同時にRC床版の損傷を軽減するための伸縮装置も開発されている。



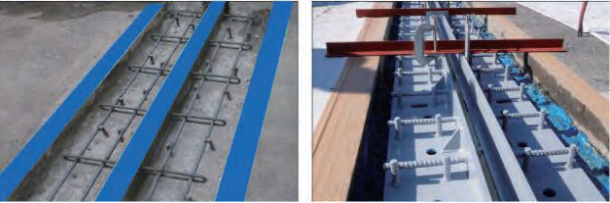
写真1 遊間の異常

そこで、本稿では新たに開発した荷重分布型伸縮装置¹⁾を設置したRC床版を用いて輪荷重走行疲労実験を実施し、耐疲労性を評価するとともに、製作・施工技術について述べる。

2. 伸縮装置の損傷状況

2-1. 伸縮装置の損傷状況

伸縮装置の損傷事例の一例を写真1に示す。写真1(1)は、橋梁定期点検要領に示す健全性の判定区分はⅢに相当する損傷である。健全性Ⅲは早期に維持管理することで長寿命化が図れる損傷である。写真1(2)は、鋼製の伸縮装置であり、遊間部に土砂の滞積や鋼材が破損し、段差も20mm以上であることから健全性の判定区分はⅣに相当し、第3者被害も予想されることから取替工事が必要となる。次に、誘導板付き伸縮装置の損傷事例を写真1(3)に示す。伸縮装置は2013年に取替工事を施し、2015年に損傷が発生した伸縮装置の損傷事例である。設置に用いたアンカー筋と誘導板が溶接されているが、既設RC床



(1)従来型伸縮装置 (2)荷重分布型伸縮装置
写真2 伸縮装置の一例

版コンクリートの土砂化等により、抜けや溶接破断が見られる。よって、誘導板付き伸縮装置にも早期に損傷が発生している。

以上のように、鋼製伸縮装置および誘導板付き伸縮装置は、大型車両の荷重変動に伴う衝撃による損傷やRC床版にも損傷が及ぶものと考えられる。よって、新設の伸縮装置には耐荷力性能・耐疲労性の向上、さらにRC床版にも優しい伸縮装置であることが要求される。

2-2. 既往の伸縮装置の一例

既往の伸縮装置の一例を写真2に示す。写真2(1)は、本稿では従来型の伸縮装置と称し、伸縮部の縦鋼板に鉄筋を溶接し、設置ではアンカー筋を打ち込みし、超速硬コンクリートを打ち込みしている。次に、写真2(2)は本稿では荷重分布型伸縮装置とし、縦鋼板に鉄筋が溶接されている。設置にはアンカー筋を打ち込み、超速硬コンクリートを打ち込みする。

3. 本実験に用いる伸縮装置の使用材料および寸法

3-1. 供試体材料

3-1-1. RC床版の使用材料

伸縮装置を設置するRC床版供試体のコンクリートには、普通セメントと5mm以下の砕砂および5mm～20mmの碎石を使用した。コンクリートの設計基準強度は、道路橋示方書・同解説²⁾(以下、道示と称す)に規定する24N/mm²を目標とした。28日でのコンクリートの圧縮強度は31.2N/mm²である。次に、供試体の

表1 接着剤の性能

項目		浸透性接着剤	付着用接着剤
外観	主剤	無色液状	白色ペースト状
	硬化剤	無色液状	青色液状
混合比(主:硬)		10:3	5:1
硬化物比重		1.2	1.42
圧縮強度		104.4N/mm ²	102.9N/mm ²
圧縮弾性係数		3.172N/mm ²	3.976N/mm ²
曲げ強さ		92.8N/mm ²	41.6N/mm ²
引張せん断強さ		58.2N/mm ²	14.9N/mm ²
付着強さ		2.6N/mm ² 以上 >1.0N/mm ²	3.7N/mm ² 以上 >1.0N/mm ²

鉄筋にはSD345、D13を用いる。

3-1-2. 伸縮装置に用いる鋼材

新に開発した標準タイプおよび雪国タイプの荷重分布型伸縮装置の縦鋼板には厚さ12mmの溶接構造用圧延鋼板SM400、標準タイプの荷重分布鋼板には厚さ9mmの一般構造用圧延鋼板SS400を用いる。また、横筋であるジベル筋および縦筋にはSD345、D16、伸縮装置軸方向の鉄筋にはD13を用いる。

3-1-3. 浸透性接着剤および付着用接着剤

実橋の伸縮装置の取替工事では、破損した伸縮装置をブレーカ等で衝撃を与えながら撤去している。これによってRC床版に新たなひび割れの発生が懸念される。そこで、設置工事で発生する新たなひび割れ補修には低粘度エポキシ系接着剤(以下、浸透性接着剤と称す)を用いる。また、撤去後にRC床版コンクリートと流動性モルタル、速硬コンクリートとの付着力を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤と称す)を用いる。ここで、浸透性接着剤(KSプライマー)および付着用接着剤(KSボンド)の特性値を表1に示す。表より付着強度はそれぞれ2.6N/mm²、3.7N/mm²以上であり、付着強度の基準は1.0N/mm²以上である。実験供試体では、RC床版コンクリート表面に浸透性接着剤を塗布し、その後、付着用接着剤を塗布する。また、鋼材表面にも付着用接着剤を塗布し、超速硬コンクリートを打設する。

3-1-4. 伸縮装置設置に用いるセメント系材料

従来型の伸縮装置の設置には超速硬コンクリートを用いる。このコンクリートは、材齢3時間で道示に規定



あべ ただし / ABE Tadashi
日本大学
名誉教授 博士(工学)



ささき しげたか / SASAKI Shigetaka
(株)橋梁保全研究所
代表取締役 博士(工学)



ふかみ こういち / FUKAMI koichi
山王(株)
代表取締役



おかむら たつや / OKAMURA Tatsuya
住友大阪セメント(株)
建材事業部

表2 超速硬コンクリートの配合条件				
練り上げ量 (25l)			圧縮強度	
セメント 骨材	粗骨材	水・減水剤 遅延剤	材齢 3時間	材齢 24時間
30kg	25kg	4.0kg	25.4N/mm ²	51.9N/mm ²

表3 超速硬流動性モルタルの配合条件			
示方配合			圧縮強度
水材 料比	練り上げ量 (約 13.5l)		材齢 3 時間
	プレミックス	水	
18	25kg	4.5l	26.8N/mm ²

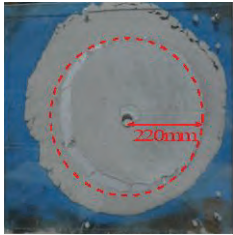


図1 φ30mmの孔から流動性モルタル充填した範囲
(1) 隙間 5mm (2) 隙間 10mm

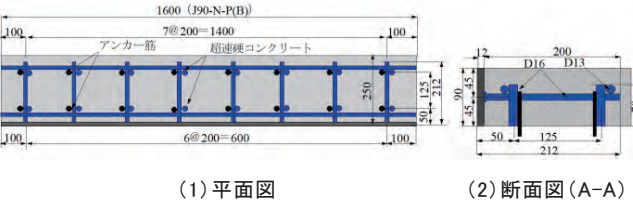


図2 従来型伸縮装置の寸法(単位：mm)

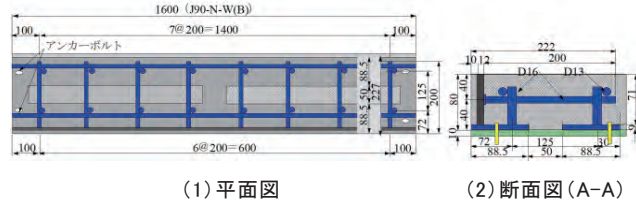


図3 荷重分布型伸縮装置の寸法(単位：mm)

するコンクリートの設計基準強度24N/mm²以上となる。よって、セメントには超速硬セメントを用い、最大寸法15mmの骨材が配合された本装置専用のプレミックス材(ジェットバック特注品)を用いる。ここで、超速硬コンクリートの配合条件を表2に示す。実験時の3時間後の圧縮強度は25.4N/mm²である。

次に、荷重分布型伸縮装置はコンクリート表面から10mmの位置に設置する。この隙間には超速硬流動性モルタル(フィルコンSスーパー)を充填する。ここで流動性モルタルの配合条件を表3に示す。

次に、φ30mmの孔からコンクリート表面の不陸を考慮して隙間5mmと隙間10mmについて流動性モルタルの充填範囲を図1に示す。充填は充填用のジョウロを用いた。コンクリート表面には浸透性接着剤を0.5kg/m²、付着用接着剤を0.9kg/m²塗布した。充填方法は流動性モルタルを流し込み、ハンマーで衝撃を与えながら充填した。隙間5mmの場合の充填範囲は半径175mm、隙間10mmの場合は200mmである。

よって、充填孔の間隔はこれを考慮して決定する必要がある。

3-2. 伸縮装置供試体の寸法

従来型を模擬した標準タイプの伸縮装置および標準タイプの荷重分布型伸縮装置の2種類である。それぞれの伸縮装置の寸法および形状を図2,3に示す。

3-2-1. 標準タイプの従来型伸縮装置

従来型の伸縮装置(写真2(1))の寸法は図1に示すように、厚さ12mmの縦鋼板に200mm間隔で横筋が溶接され、その横筋に縦筋を溶接する。また、表面からかぶり30mmの位置にD13の鉄筋を軸方向に2本配置した構造である。本供試体には図2に示すように、伸縮装置の設置には長さ1,600mmを設置した。この供試体をJ90-N-Pとする。

3-2-2. 標準タイプの荷重分布型伸縮装置

標準タイプの荷重分布型伸縮装置は写真2(2)に示す従来型伸縮装置の縦鋼板および縦筋の下面に図

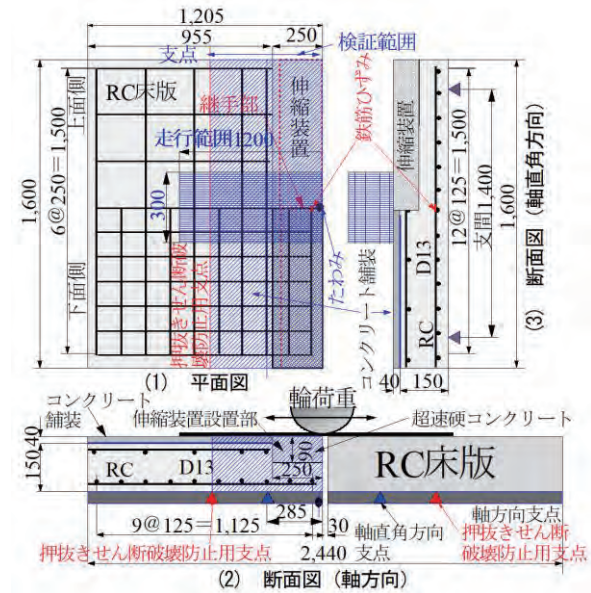


図4 RC床版供試体寸法(単位：mm)

3に示すように、厚さ9mmの荷重分布鋼板を溶接した構造である。荷重分布鋼板には幅50mm×長さ700mmを切り抜き、ここから超速硬流動性モルタルを充填する。伸縮装置の設置には長さ1,600mmを設置し、供試体をJ90-N-Wとする。

3-3. 伸縮装置を設置するRC床版供試体の寸法

伸縮装置を設置したRC床版の張出部付近の疲労損傷を検証することから、RC床版は1980年改定道示²⁾に準拠し、実験装置の輪荷重幅300mmを考慮して実床版の3/5モデルとする。ここで、RC床版供試体寸法を図4に示す。図4に示すように、供試体の支間は1,400mm(全幅1,600mm)、軸方向の全長は1,205mm、床版厚は150mmである。RC床版の鉄筋にはD13を用いる。引張主鉄筋の間隔は125mm間隔、圧縮側は250mm間隔とした。

伸縮装置の設置は図4に示すようにRC床版の張出部端部に250×50mmの切り欠きを設け、高さ90mmの伸縮装置を設置する。ここで、伸縮装置の設置後の厚さ190mmに対してRC床版厚が150mmであることからRC床版部が40mmの段差が生じる。そこで、この40mm厚の舗装が必要となる。

一般的にはアスファルト舗装を舗設するが、本供試



写真3 輪荷重走行疲労実験状況

体は輪荷重走行中に舗装面の早期の損傷、剛性不足に伴う押抜きせん断破壊を防止するために、本供試体には超速硬コンクリートで40mmの舗装を実施する。また、輪荷重の走行によりRC床版とコンクリート舗装との界面は、はく離しやすいことから表1に示す付着用接着剤を塗布して一体化する。なお、施工法は6章で説明する。

実験では、伸縮装置を設置したRC床版の張出部付近の疲労損傷を検証することから、RC床版の両側に橋軸方向に支点(図4、青▲)を設置する。

4. 輪荷重走行疲労実験および等価走行回数

4-1. 輪荷重走行疲労実験

本実験は伸縮装置上を輪荷重が一定な荷重で連続走行する輪荷重走行疲労実験を行う。ここで、輪荷重走行疲労実験状況を写真3に示す。輪荷重走行疲労実験における荷重条件は荷重100kN、120kNで30,000回走行ごとに荷重を10kN増加する。輪荷重走行疲労実験は図4に示すように、伸縮装置を設置したRC床版と遊間部の幅30mmを開け、同一高さのRC床版を設置し、伸縮装置を設置したRC床版の健全性IVを想定し、たわみが4.0mmに達した時点で実験を終了する。耐疲労性の評価は等価走行回数を得て評価する。

4-2. 等価走行回数

本実験では、段階荷重載荷による輪荷重走行疲労実

表4 等価走行回数

供試体 名称	等価走行回数 合計 (回)	等価走行回 数比
J90-N-P	2,976,530	—
J90-N-W	6,617,353	2.22

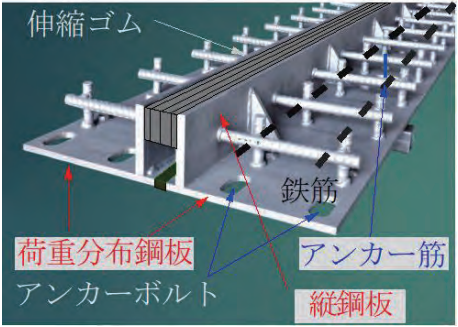


図5 実橋梁に設置した荷重分布型伸縮装置



(1)旧伸縮装置および養生 (2)はつり作業 (3)はつり完了

写真4 伸縮装置の撤去作業およびはつり作業

験を行ったことから耐疲労性の評価は等価走行回数 N_{eq} を式(1)より算出して評価する。なお、式(1)におけるRC床版のS-N曲線の傾きの逆数の絶対値には $m=10.5$ を適用する²⁾。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{P} \right)^m \times n_i \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 P_i ：載荷荷重(kN)， P ：基準荷重(78kN)， n_i ：実験走行回数(回)， m ：S-N曲線の傾きの逆数(=10.5)

5. 結果および考察

従来型の伸縮装置の長さ1,600mmの伸縮装置の中央を輪荷重が走行した場合の供試体J90-N-Pの等価走行回数を表4に示す。式(1)にS-N曲線の傾きの逆数 $m=10.5$ を適用した等価走行回数は 2.976×106 回である。次に、長さ1,600mmの伸縮装置の中央を輪荷重が走行した場合の供試体J90-N-Wの式(1)でのS-N曲線の傾きの逆数 $m=10.5$ を適用した等価走行回数は 6.617×106 回であり、供試体J90-N-Pの等価走行回数の2.22倍である。

以上より、荷重分布型伸縮装置の等価走行回数が

大幅に向上することから実用的であることが評価された。

6. 施工手順

荷重分布型伸縮装置の耐疲労性が評価されたことから、本稿で提案する図4に示す構造が熊本県の橋梁に採用された。熊本県では2橋目である。そこで、熊本県での伸縮装置取替事例に基づいて施工手順を述べる。

伸縮装置の取り替え工事において、荷重分布型伸縮装置を設置する橋梁は、橋長17,400mm、幅員9,200mm、地覆幅600mm、伸縮装置の設置寸法は幅員8,000mmである。よって、伸縮装置は2,000mmの長さで幅員に併せて片側4体、計16体製作する。

6-1. 荷重分布型伸縮装置の概略

実橋に用いた荷重分布型伸縮装置の概略を図5に示す。

6-2. 旧伸縮装置の撤去およびはつり作業

伸縮装置の撤去作業およびはつり作業状況を写真4に示す。



(1)浸透性接着剤の塗布 (2)浸透性接着剤の混合 (2)付着用接着剤の塗布 (2)付着用接着剤の混合

写真5 浸透性接着剤および付着用接着剤の塗布および混合



(1)伸縮装置の設置 (2)アンカー筋の溶接 (3)流動性モルタル充填

写真6 伸縮装置の設置および流動性モルタルの充填

旧伸縮装置撤去前には、写真4(1)に示すように、伸縮装置の両側にはシート養生を行った。

次に、旧伸縮装置の撤去作業は、ブレーカやチツパ等で撤去した。この場合、衝撃による微細なひび割れや骨材のはく離が懸念される(写真4(2))。本設置にはこれらの損傷を補修するために浸透性接着剤を用いた。はつり後は伸縮装置が設置される寸法の確認を行った(写真4(3))。

6-3. 浸透性接着剤・付着用接着剤の混合状況

浸透性接着剤・付着用接着剤の塗布および混合状況を写真5に示す。まず、遊間部には、補強用の流動性モルタルを打ち込む前に、止水バックアップ材を設置する。設置後、写真4(2)に示したように、ブレーカでののはつりによって発生する微細なひび割れ補修として、浸透性接着剤(表1)を 0.5kg/m^2 を塗布した(写真5(1)，①)。浸透性接着剤は表1に示すように、主材と硬化剤があり、混合比は主剤10に対して硬化剤は3、すなわち10：3の混合である(写真5(1)，②)。浸透性接着剤はアンカー打ち込みの際に発生する0.05mm以上のひび割れにも浸透する。硬化時間は、常温で4時間から8時間程度であるが付着用接着剤および流動性モルタルの発熱効果により短縮される。

次に、RC床版コンクリートと流動性モルタルとの付着力を高めるために付着用接着剤を 0.9kg/m^2 を目安

に塗布した(写真5(2)，①)。混合条件は表1に示すように、主材と硬化剤があり、混合比は主材5に対して硬化剤は1、すなわち5：1の混合である(写真5(2)，②)。同時に伸縮装置の荷重分布鋼板下面にも付着用接着剤を 0.9kg/m^2 を目安に塗布した(写真5(2)，①)。

6-4. 伸縮装置の設置および流動性モルタルの充填

伸縮装置の設置および流動性モルタルの充填状況を写真6に示す。

荷重分型伸縮装置の本設置(写真6(1))においては、両端部の4角をM16のアンカーボルトで締め付け固定した。また、アンカー筋を打ち込み伸縮装置の縦筋、あるいは圧縮鉄筋と溶接した(写真6(2))。アンカー筋の本数は、床版のはつり面の不陸状況等も考慮し、発注者との事前打ち合わせにより決定するが、伸縮装置2mで8～12本程度を目安とする。設置が終了した後はただちに流動性モルタル充填を行った(写真6(3))。伸縮装置の荷重分布鋼板には流動性モルタルの充填用のジョウロが設置できるように $\phi 30\text{mm}$ の充填孔を200mm間隔で設けた。設置作業と同時に流動性モルタルの練混ぜ準備を行い、設置と同時に充填が開始できるよう作業を行い、また、10mmの隙間から流動性モルタルが漏れないように止水用バックアップ材の設置を要確認する。なお、付着用接着剤の硬化時



写真7 流動性モルタル充填完了および付着用接着剤の塗布



写真8 超速硬コンクリートの打ち込み



写真9 表面仕上げおよびSM止水材の充填

間は120分であることから、ジョウロを挿入し、ただちに順次、移動しながら必要な量を充填し(写真6(3))、充填にはハンドバイブレータなどを用いて振動を与えながら行った。

なお、充填範囲は3-1-4.で述べたように、200mm間隔で十分に充填される結果を述べた。

6-5. 付着用接着剤塗布

流動性モルタル充填完了および付着用接着剤塗布状況を写真6, 7に示す。流動性モルタル充填後を写真7(1)に示す。充填後、荷重分布鋼板上面および鉄筋等の鋼材と超速硬コンクリートの接合面および既設RC床版側面に付着用接着剤を塗布した(写真7(2), (3))。塗布量は、0.9kg/m²を目安とした。

6-6. 移動式プラントおよび超速硬コンクリート打ち込み

移動式プラントおよび超速硬コンクリート打ち込み状況を写真8に示す。

鋼材に付着用接着剤塗布と同時に超速硬コンクリートを移動プラント車(超速硬コンクリートモービル車)で練混ぜ開始する(写真8(1))。試験は写真8(2)に示すように、スランプ試験(写真8(2))および材齢3時間で圧縮強度が24N/mm²以上発現するかの圧縮試

験も実施する。練り混ぜ後、ただちに伸縮装置設置部に打ち込みを実施した(写真8(3))。

6-7. 表面仕上げおよびSM止水材充填、

表面仕上げおよびSM止水材充填状況、を写真9に示す。

超速硬コンクリートを打ち込み終了後、表面を平滑に仕上げし、ほうき仕上げを行った(写真9(2))。次に、遊間部にはSM止水材を充填(SMジョイント)し、平滑に仕上げた後、養生し(写真9(3))、完成した施工幅および施工延長を確認後、交通規制を解除した。荷重分布型伸縮装置の設置は、片側車線4.0mを両端部2箇所で行ったが、8時間施工が可能な施工技術であった。また、アンカー筋を2mで40本程差し込む従来型伸縮装置補修工法に比べて、荷重分布型伸縮装置補修工法は、2mで8~12本と70~80%少なく、これにより大幅な時間の短縮が図れる工法であると同時に、ハンマーでの打ち込みによる損傷も少なく、耐荷性能に優れた構造であるとともに耐久性向上にも大きく寄与するものと考えられる。なお、アンカー筋が少ない分、荷重分布鋼板下面にはφ6mm、長さ80mmの丸鋼を十字型に配置し、伸縮装置一体につき5箇所に設けてあることから曲げ変形によるズレに対し、付着用接着剤との併用ではなく離・浮きが抑制でき



写真10 完成状況

と考えられ、新技術である。

最後に完成後を写真10に示す。

7. まとめ

【参考文献】

- 1) 深水弘一／道路橋の伸縮装置及び道路橋伸縮装置の施工法、特許第6567920号、2019.8
- 2) 日本道路協会／道路橋示方書・同解説I、II、1980
- 3) 阿部忠、佐々木茂隆、野口博之、水口和彦、川井豊／伸縮装置を設置したRCはりの静的耐荷力および修正 Goodman の関係式を用いた耐疲労性の評価、構造工学論文集、Vol.69A、pp.871~883、2023

荷重分布型伸縮装置は従来型の伸縮装置に比べてRC床版との接着面に荷重分布鋼板を設けることで輪荷重がRC床版に広く分布され、耐疲労性が大幅

お知らせ

セメント・コンクリート関西発表会 2024

主催：コンクリート研究会

会場：2024(令和6)年 11月12日(木) 10:00~17:30

アットビジネスセンター大阪本町 1607号室

大阪府大阪市中央区安土町2丁目3-13 大阪国際ビルディング

※リモート(Zoom)でも参加可能

内容：1)一般講演12編 2)特別講演(仮題)阪神高速の建設、リニューアル工事について

定員：100名

参加費：8,000円(懇親会費含む) / 3,000円(発表会聴講のみ又はリモート参加の方)

申込方法：10月18日(金)までに右記QRコードからGoogleFormでお申込みください。

併せて参加費を下記送金先口座にお振込みください。

送金先口座：

・銀行：三井住友銀行 大阪本店営業部(店番号:101)
・口座番号：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、ご送金下さいませようお願いします。
(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。

問合せ先：住友大阪セメント(株) 中村 士郎 E-mail: snakamura@soc.co.jp



小樽運河と歩み続けて一世紀 ～今、新たな100年への船出を迎えて～

この鉄筋コンクリート造4階建の巨大な建物は、1921(大正10)年に設立された北海製罐倉庫(株)(後の北海製罐(株))の3番目の倉庫として、小樽運河完成の翌年1924(大正13)年、運河の造成地に建設され、本年10月末で完成から丁度100年になります。

建設当時は北洋漁業が盛んで、カムチャツカ半島の水産物加工場向けに製造した、サケ・マスの缶詰用の缶を保管する倉庫等として使われていました。

運河側の外壁には、製品を効率よく搬出するためのスパイラルシュートや荷物を揚げ降ろしするためのエレベーター(リフト)など、当時の最新設備が設置され、運搬用設備をまとめて外壁に配置したことで、建物内部に広い収納空間を設けることができました。

造成地に建設するということも配慮してか、基礎もしっかりと作られています。主要なコンクリート基礎は二辺約3mの四角形で、その下に25本の木杭が約58cm間隔で並べられているとのこと。

この建物は我が国の大正期コンクリート建築を知る上でもたいへん貴重な存在です。

様々な方面で大活躍してきた倉庫でしたが、築後世紀近くが経ち、老朽化による維持管理問題等により一線を退き、2020(令和2)年9月に解体方針が示されると、広く市民からの存続を切望する声が多数寄せられ、小樽市は民間組織「第3倉庫活用ミーティング」を立ち上げ、保全・活用の方角性を模索することとしました。

そこで倉庫の見学会やオープン勉強会、ライトアップ、展示会等を開催するとともに、保全・活用のアイデアを募集。議論を重ね、導き出された活用コンセプトは「これまでの100年」から「これからの100年へ」です。



旧北海製罐株式会社 小樽工場第3倉庫

所在地: 北海道小樽市港町4
建築年: 1924(大正13)年
構造: 鉄筋コンクリート造地上4階建

建物全長: 約100m
最大幅: 約20m(手宮側・北面)
最小幅: 約15m(札幌側・南面)

1990(平成2)年、小樽市都市景観賞を受賞
2012(平成24)年、事務所棟、工場、旧第2倉庫とともに小樽市指定歴史的建造物第76号に指定
これまでに小説や絵画、映画等にも数多く取り上げられている



▲第3倉庫(左:運河側、右:海側)



▲運河側に運搬用設備を集約(左:エレベーター(リフト)、右:スパイラルシュート)



▲100年の歴史を物語る外壁



▲小樽市 都市景観賞受賞記念プレート・1990(平成2)年

2021(令和3)年には劣化調査も実施され、外壁については経年による壁面の剥がれや鉄筋の露出などが見られた他、テラスの手すりや外階段などは腐食が進んでいることが判明しましたが、調査範囲内でのコンクリートおよび鉄筋の健全性は担保されていると判断されました。

その後、同年12月に第3倉庫の建物および土地は小樽市に無償譲渡され、倉庫の保全と活用を軸にNPO法人の活動も開始。

今後の活用について市民や観光客の意見を募ろうと、建物の一部の一般公開や、地元クリエイターらによるアクセサリー等の販売イベントが行われるなど、北運河と呼ばれる地域が再び脚光を浴びています。

第3倉庫の本格的な保全・活用に向けての活動はまだスタートしたばかりですが、小樽の魅力や歴史などを発信する場の一つとして、これからも末永く後世に継承されていくことでしょう。

写真・文 井川幹雄(セメント協会)



▲JR小樽駅前から、天狗山方面を望む



▲北海道のみならず、日本を代表する観光地の一つである小樽運河は、2023(令和5)年、誕生から100年を迎えた



▲旧日本郵船株式会社小樽支店



▲日本銀行旧小樽支店(現:金融資料館)

当時流通していた石炭やニシン、豆類等は、相場商品として資産運用の対象とされ、為替や保険など、金融機能の必要性から沢山の銀行が小樽へと進出した。1893(明治26)年には日本銀行小樽派出所が開設され、いつしか小樽の色内は「北のウォール街」とも呼ばれるようになった。色内一帯には旧日本郵船小樽支店(国指定重要文化財)や、日本銀行旧小樽支店(小樽市指定有形文化財)など、時代を代表する近代建築が数多く建てられた。



◀小樽港の方を向いて置かれている広井 勇(ひろい いさみ)の胸像(運河公園内)
広井は高知県出身、札幌農学校(現:北海道大学)卒業の土木工学者
元東京帝国大学教授で、「港湾工学の父」と呼ばれた

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



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

閲覧
無料マルチデバイス対応
クラウド型で
専用ソフト不要

※画像はイメージです

好きな時にいつでも読める

月刊セメント・コンクリート 電子ブック版

2024年10月号 (No.932) よりスタート
毎月15日頃発行

ゲストとして電子ブック版を見る

電子ブック版 月刊セメント・コンクリート
※PC・モバイル端末共通(ブラウザ)<https://cemecon.actibookone.com/>

おすすめ 無料ユーザー登録をして電子ブック版を見る

無料ユーザー登録をすることで
印刷・PDFのダウンロードが可能になります。<https://cemecon.actibookone.com/register/step01>

※サービス開始時期は告知日より前後する場合がございます。※本サービスの閲覧およびダウンロードのご利用には別途通信料がかかります。※本サービスに関するスマートフォンやタブレット、PCの操作や設定などに関するお問い合わせ・ご相談はお受けできません。※無料ユーザー登録の際にお預かりした個人情報は、セメント協会ホームページに示しておりますプライバシーポリシーに基づき厳正に管理いたします。※その他、月刊誌に関する詳細等はセメント協会ホームページをご覧ください。

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION電子版に関する
お問い合わせ一般社団法人セメント協会 広報部門／出版担当
TEL: 03-5540-6175