

Ishinomaki Mill
MAP



Valuable quality by Carbon-free Fly Ash

CfFA

コンクリート用混和材
加熱改質フライアッシュ

JIS A6201 II種 | NETIS QS-100005-VE

第46回 令和2年度資源循環技術・システム表彰/一般社団法人産業環境管理協会会長賞 受賞事業

CfFA 配合生コンクリート JIS 認証工場

- ・株式会社平成生コンクリート (石巻地区生コンクリート協同組合)
- ・石菱コンクリート株式会社 (石巻市)
- ・株式会社磯上商事 (レミコン工場・大利工場) (いわき地区生コンクリート協同組合)
- ・株式会社丸吉奥山組 (山形県中央生コンクリート協同組合)

CfFAのサンプル・見積依頼書は、「CfFA製品サイト」からダウンロードできます。
必要事項をご記入の上、メール添付にて下記e-mailアドレスまでお送り下さい。



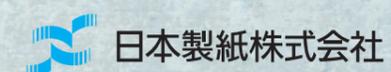
お問い合わせ
日本製紙株式会社 技術本部生産部
〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台4-6 御茶ノ水ソラシティ TEL:03-6665-1048 FAX:03-6665-0314
日本製紙株式会社 石巻工場
〒986-8555 宮城県石巻市南光町2-2-1 TEL:0225-95-6659 FAX:0225-95-7363

E-mail gpu6078@nipponpapergroup.com

使用紙:表紙/オーロラコート 157.0g/m² 本文/オーロラコート 127.9g/m² デザイン:株式会社エイチケイ グラフィックス

2020/10

[ver.8]



CfFA製品サイト



日本製紙 CfFA 検索

Carbon-free Fly Ash

日本製紙とコンクリート

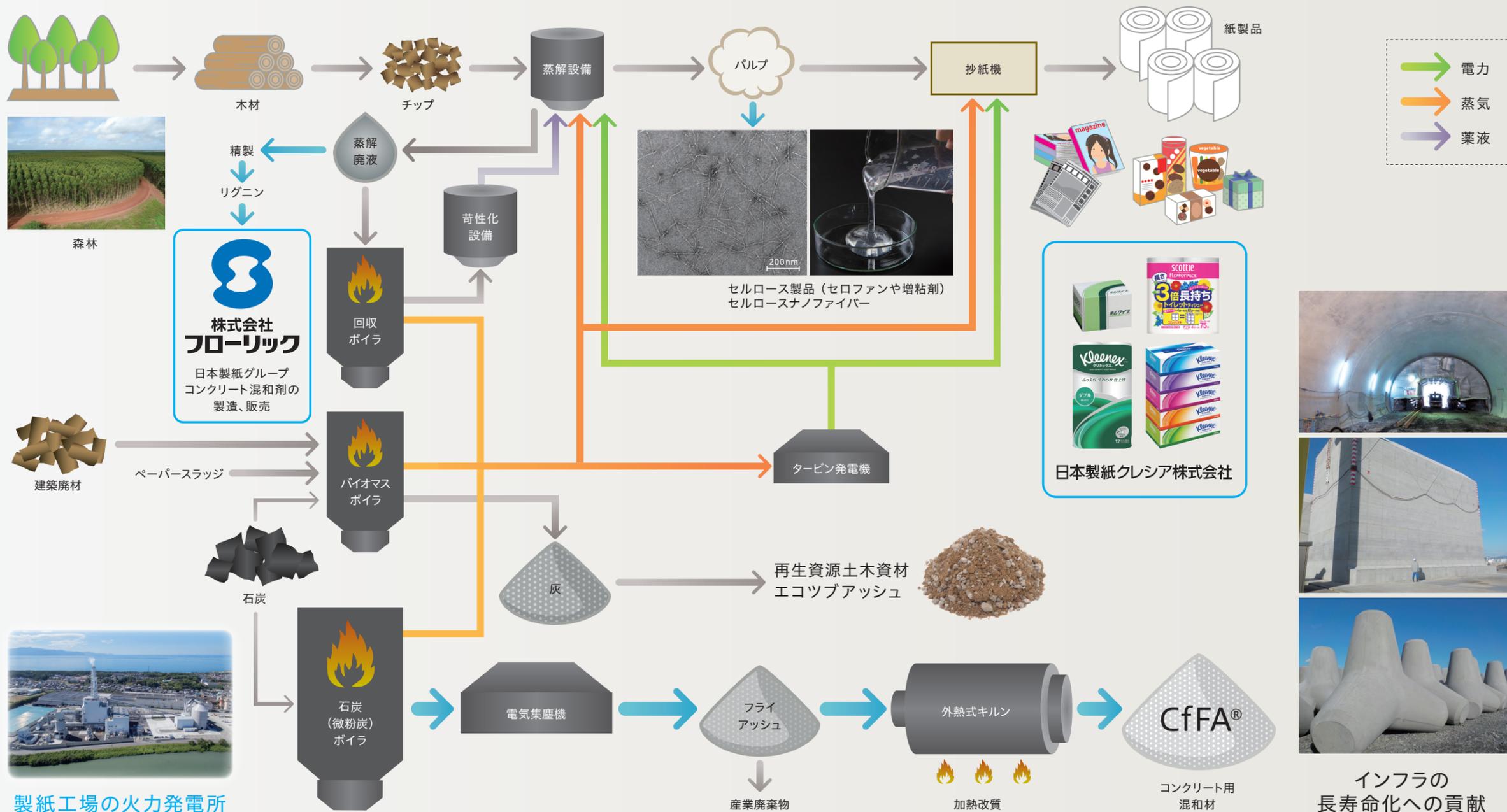
CfFA®

目次

- 01 **コンクリート用混和材
フライアッシュ**
→ P.4
- 02 **コンクリート用混和材
フライアッシュの課題**
→ P.6
- 03 **加熱改質フライアッシュ**
→ P.8
- 04 **CfFA
コンクリートの耐久性**
→ P.10
- 05 **水解紙充填袋「FLASH BAG」**
→ P.14
- 06 **施工実績**
→ P.16
- 07 **1DAY PAVE**
→ P.20
- 08 **データ集**
→ P.24
- 09 **早強ポルトランドセメントにCfFAを
配合したときの圧縮強度と塩分浸透**
→ P.28
- CfFAレポート**
→ P.30

紙を作るためには、木と水とエネルギーが必要

日本製紙は、自社独自の火力発電設備を有し、ほとんどの電力を自家発電でまかなっています。当社の主力工場である石巻工場（宮城県石巻市）では、石炭（微粉炭）ボイラーを保有しており、このボイラーから排出される石炭灰を再利用して、加熱改質フライアッシュ「CfFA」（Carbon-free Fly Ash）を製造しております。



製紙工場の火力発電所

インフラの長寿命化への貢献

01 コンクリート用混和材フライアッシュ

石炭火力発電施設（微粉炭ボイラー）で発生する石炭灰のうち、集塵機で捕集される灰を飛灰と呼び、さらに以下に示されるコンクリート用混和材としての品質規格を満たすものをフライアッシュと呼びます。フライアッシュはコンクリートの材料として優れていることが古くから知られています。

JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」との比較

		規格値 (JIS A 6201)			
		I種	II種	III種	IV種
二酸化ケイ素 (%)		45.0 以上			
湿分 (%)		1.0 以下			
強熱減量 (%)		3.0 以下	5.0 以下	8.0 以下	5.0 以下
密度 (g/cm ³)		1.95 以上			
粉末度	45μmふるい残分(%) (網ふるい方法)	10 以下	40 以下	40 以下	70 以下
	比表面積 (cm ² /g) (ブレン方法)	5 000 以上	2 500 以上	2 500 以上	1 500 以上
フロー値比 (%)		105 以上	95 以上	85 以上	75 以上
活性度指数 (%)	材齢 28 日	90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
	材齢 91 日	100 以上	90 以上	90 以上	70 以上

分類	特徴	効果
フレッシュ性状	流動性・充填性の向上	◎
	材料分離抵抗性の向上	◎
	ブリーディングの抑制	◎
硬化（初期）	水和熱の低減（温度ひび割れの低減）	◎
	初期強度は水セメント比に依存	-
硬化（中期～長期）	乾燥収縮ひずみの低減	○
	遮塩性の向上	◎
	中性化抵抗性同等（強度が同じ場合）	○
	アルカリシリカ反応の抑制	◎
	長期強度発現性の向上（組織の緻密化）	◎
	水密性の向上	◎
	自己修復性向上	-

フライアッシュの効果

1 | 長期強度の増進

ポゾラン反応による組織の緻密化が、コンクリートの強度を長期間、継続的に増進します。

2 | 遮塩性の向上

ポゾラン反応による組織の緻密化が、コンクリート内部への塩分の浸透を抑制し、コンクリートの劣化を低減します。

3 | アルカリシリカ反応 (ASR) の抑制

ASRはコンクリート中のアルカリ成分と骨材の特定成分が反応し、コンクリート中で膨張性結晶を生成し、それに伴ってひび割れが発生する現象です。フライアッシュによるポゾラン反応はコンクリート中のアルカリ成分をその反応で消費するため、ASRの抑制に大きな効果があります。

4 | 温度ひび割れの抑制

フライアッシュはセメントの一部代替が可能であるため、セメント硬化時の水和発熱が抑制されます。セメントの発熱による温度上昇時の体積膨張とその後の冷却時の体積収縮に伴う内部応力の変化で発生する温度ひび割れが抑制されます。

5 | ワークビリティの向上

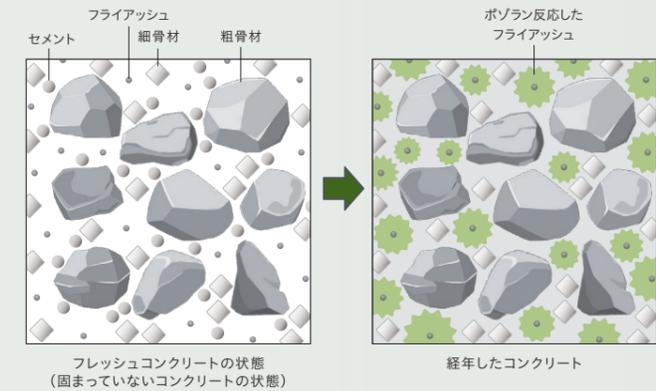
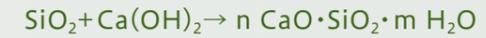
真球状のフライアッシュの粒子が配合されることで、ベアリング効果によりフレッシュ(生)コンクリートの流動性が向上し、ワークビリティ(コンクリートの打設のしやすさ)が改善します。

6 | 美しい仕上げ

ワークビリティの向上により、滑らかに仕上げることができます。またポゾラン反応により表面組織が緻密化することで、汚れにくくなります。

ポゾラン反応

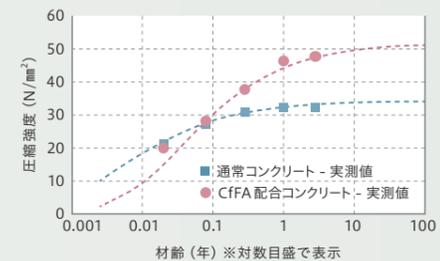
フライアッシュの主成分である二酸化ケイ素がセメントの水和反応で発生する水酸化カルシウムと徐々に反応し、不溶性鉱物質のケイ酸カルシウム水和物が生成されます。ポゾラン反応と呼ばれるこの反応は、長期間継続的に進行し、コンクリート組織の緻密化に寄与します。



ポゾラン反応によるコンクリート組織の緻密化（模式図）



フライアッシュ (CfFA) コンクリートの耐久性—長期強度の発現



CfFA 配合コンクリートは、通常コンクリートに比べ初期強度は劣りますが、ポゾラン反応の進行により長期強度は 50% 向上すると推定されます。

推定強度曲線
(CEB-FIP1990 モデルコード式)

$$f_c(t_n) = \exp \left\{ S \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} f_{c28}$$

$f_c(t_n)$: 有効材齢 t_n における圧縮強度 (N/mm²)
 f_{c28} : 有効材齢 28 日における圧縮強度 (N/mm²)
 S : セメント種類に関する材料定数

02

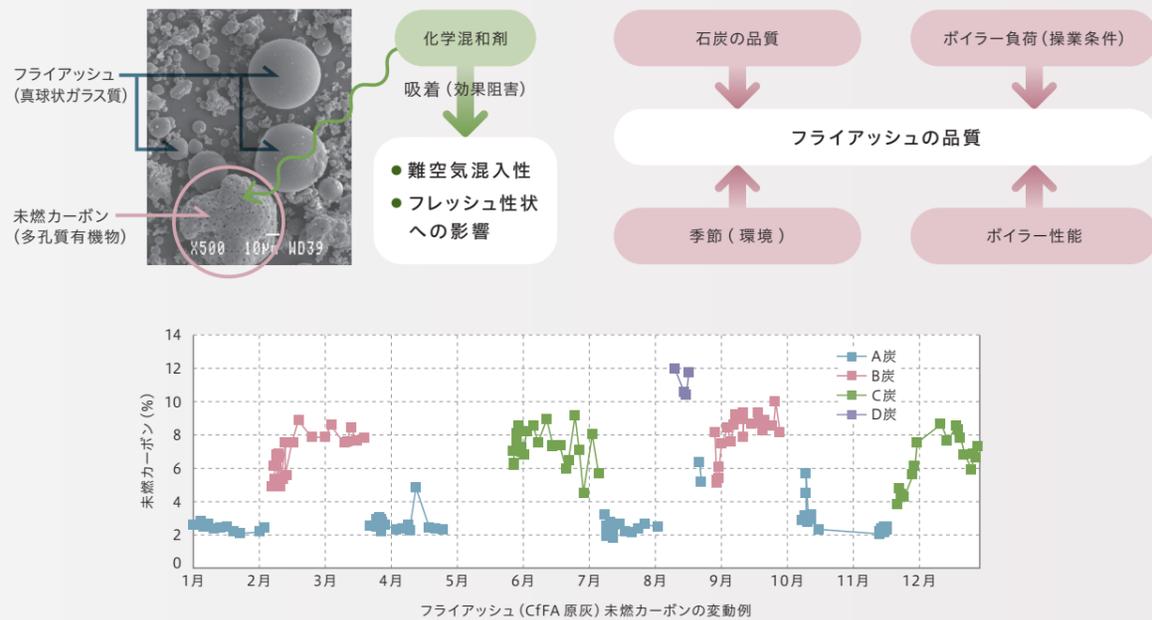
コンクリート用混和材フライアッシュの課題 監修 / 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻・教授 久田 真

フライアッシュはコンクリートの材料として優れていますが、製品としての「市場」が形成されていると言える状態にありません。それには、品質と流通の2つの問題があると考えます。

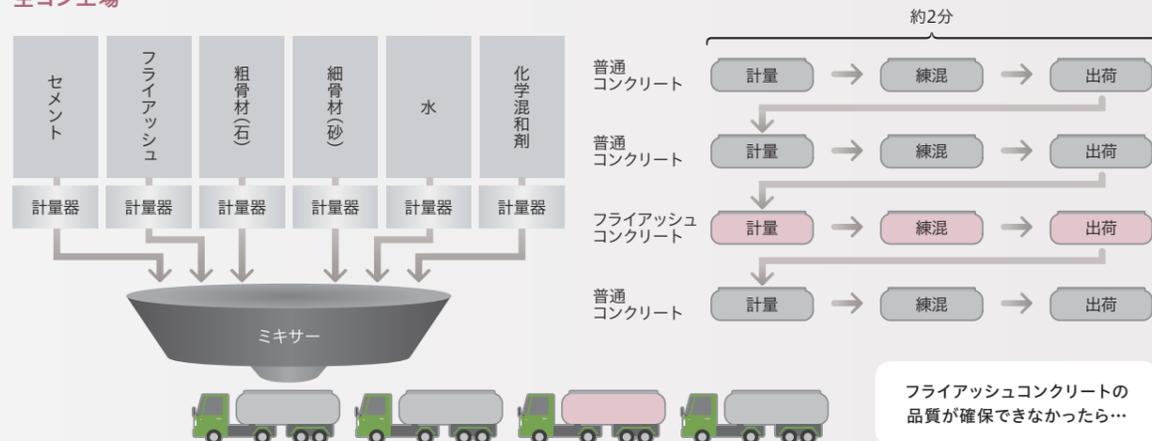
1 | 品質

コンクリート用フライアッシュはJIS A 6201として品質が規格化されており、市場での利用量はII種が大勢を占めています。また、規格項目の中で最も重要な項目のひとつに強熱減量が挙げられますが、強熱減量はフライアッシュ中に含有する未燃カーボン量を概ね表しています。未燃カーボンとは、いわば石炭の燃えカスのことですが、この未燃カーボンは多孔質体であり、コンクリートに含有する空気量をコントロールする空気連行剤 (AE 剤) を吸着すると言われております。未燃カーボンに吸着された AE 剤は空気連行性を発現することができなくなるため、未燃カーボンの存在はコンクリートの空気量を制御、管理する上で非常に厄介なものとなります。JIS A 5308 (レディー

ミクストコンクリート) では、普通コンクリートの場合、コンクリート中の空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ と定められています。従って、フライアッシュの強熱減量の規格が 5% 以下 (II種の場合) とは言え、強熱減量が 2% と 5% のときでは同じ配合でもフレッシュコンクリートの空気量を同じにすることは、AE 剤使用量の微妙な調整という観点からかなり高度な技術力を要するのが実情ではないかと思われます。さらに空気含有量はフレッシュコンクリートのスランプ (フロー) だけでなくスランプロスにも影響を与え、その結果、強熱減量のバラツキはコンクリートの製造現場では品質管理上、極めて大きな問題となります。



生コン工場

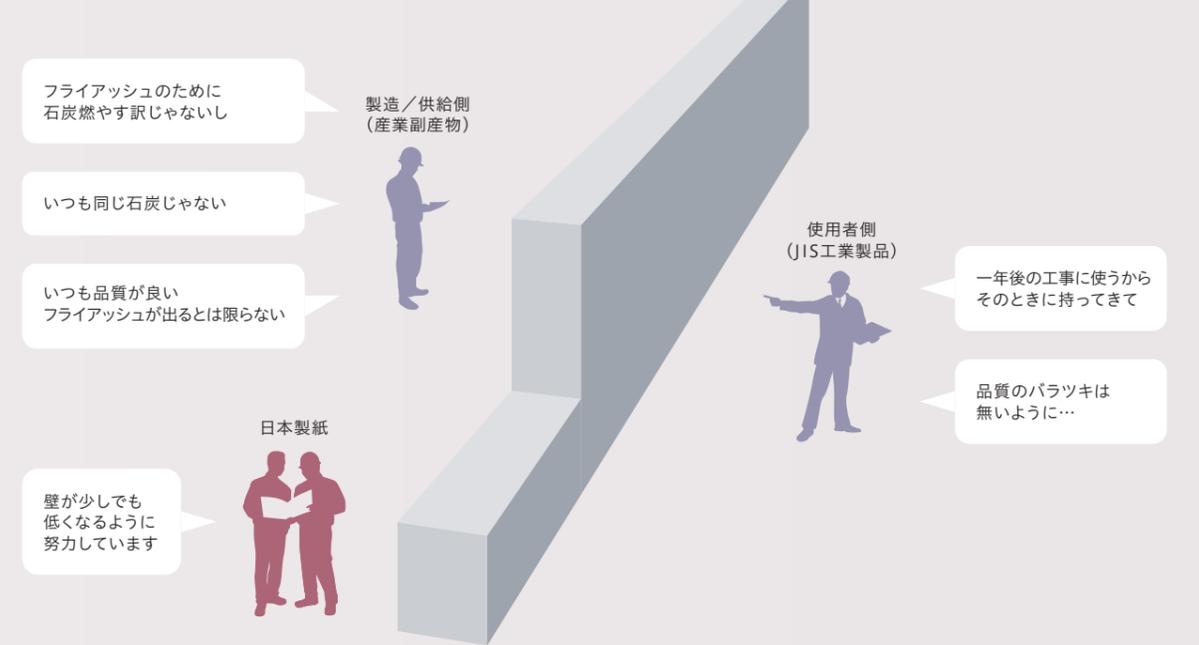


2 | 流通

使用者の目線に立てば、フライアッシュが欲しいときに安定して手に入らなければ「安心して使っていこう」というモチベーションに繋がりにくいと思います。また、建設工事はその計画が往々に変更されることが多々あり、諸事情により一年以上も延期される場合もあります。そうした中で、フライアッシュを安心して使用してもらうために供給側が確保すべき要件は、必要なときにタイムリーに供給できる体制の構築であろうと思います。さて、JIS 規格に準じた工業製品であるならば、資材として求められるのは安定した品質のはずですが、フライアッシュがどんなにコンクリート材料として優れているとしても、産業副産物である以上、主産物となる電力の変動に伴う品質の変動は避けられず、その結果、未燃カーボン量をはじめとする

フライアッシュの品質変動を積極的に制御することは不可能です。ここにフライアッシュの市場を考えるとときに大きな矛盾点があり、供給側と使用者側の間に高い壁となって立ちはだかっています。フライアッシュが気候に大きく左右される農作物のように、良いモノが採れた、採れない、豊作だ、不作だと言っているのはいつまで経ってもフライアッシュの市場形成は不可能です。そこで、日本製紙は、CfFA 製造技術を導入し、そもそも未燃カーボン量が少なく、かつ品質のバラツキが極めて少ない工業製品としての信頼性のあるフライアッシュを製造することを目指し、可能な限りの安定品質、安定供給を実現するため、フライアッシュの普及の障害となる「壁」を少しでも低くするよう、努力しております。

フライアッシュ普及の壁



監修から発注者へ提言

これからの日本は益々の少子高齢化社会となり、土木建設業界における労働人口も当然ながら減少するものと推測されます。費用はもとより従前のように保守点検や修繕に労力を割り当てられない状態がすぐそこまで来ていると考えざるを得ません。そうした中で、社会インフラ整備の基幹をなすコンクリートは非常に重要な材料であり、今後、築造されるコンクリート構造物にはより一層の高耐久、長寿命化が求められ、可能な限り修理修繕をしなくて良い、手間がかからないことが望まれます。フライアッシュはコンクリートの材料として非常に優れていることは誰もが認めることです。これまで、フライアッシュが普及されてこなかった未燃カーボンの問題を CfFA は解決しました。この CfFA の技術開発は土木建築業界において特筆すべき技術と考えております。しかし、当然ながら CfFA は無償で製造できるわけ

ではなく製造コストが発生します。そのため、CfFA を配合した生コン (フレッシュコンクリート) は通常生コンに対して少し割高になります。フライアッシュを使うことで、コンクリート建造物が高耐久長寿命化することで、一番の恩恵を受けるのは発注者です。従って、恩恵を受けた発注者が製造コストはもとよりこうした技術開発に対して少しでも費用を還元して行くことで、日本の土木建築業界における技術開発が促進されて行くものと考え、そして、それによって良質な社会インフラを手にするようになる日本国民すべての恩恵になるものと考えます。コンクリート建造物の高耐久長寿命化に対しては、フライアッシュの使用は一つの方法ですが、イニシャルコストの考え方に縛られるのではなく、これからの時代はライフサイクルコストを考慮し、次世代に引き継ぐに値する良質なコンクリート構造物の構築を期待致します。

03

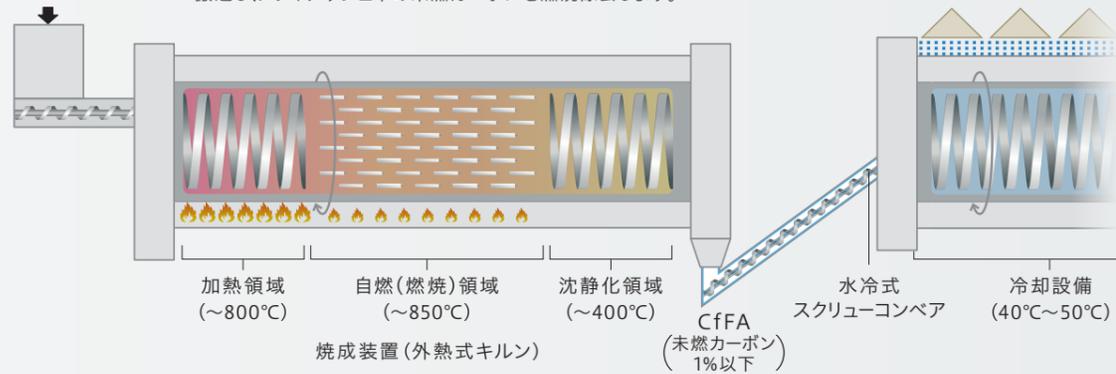
加熱改質フライアッシュCfFA(Carbon-free Fly Ash)

コンクリート材料として優れているフライアッシュをさらに普及推進していくために、使用者が一番使いやすい形で提供することを考えました。それが加熱改質による未燃カーボンの燃焼除去です。微粉炭ボイラーから排出されるフライアッシュに含まれる未燃カーボンはおよそ2～10%ですが、それを燃焼除去することで、常時強熱減量1%以下のフライアッシュの供給が可能となりました。

製造方法

原料フライアッシュ(未燃カーボン2~10%)を供給

内筒が回転し、内筒内の螺旋状や棚状のリフターがフライアッシュを攪拌しながら加熱領域・自燃領域・沈静化領域へ搬送し、フライアッシュ中の未燃カーボンを燃焼除去します。



徹底した品質管理

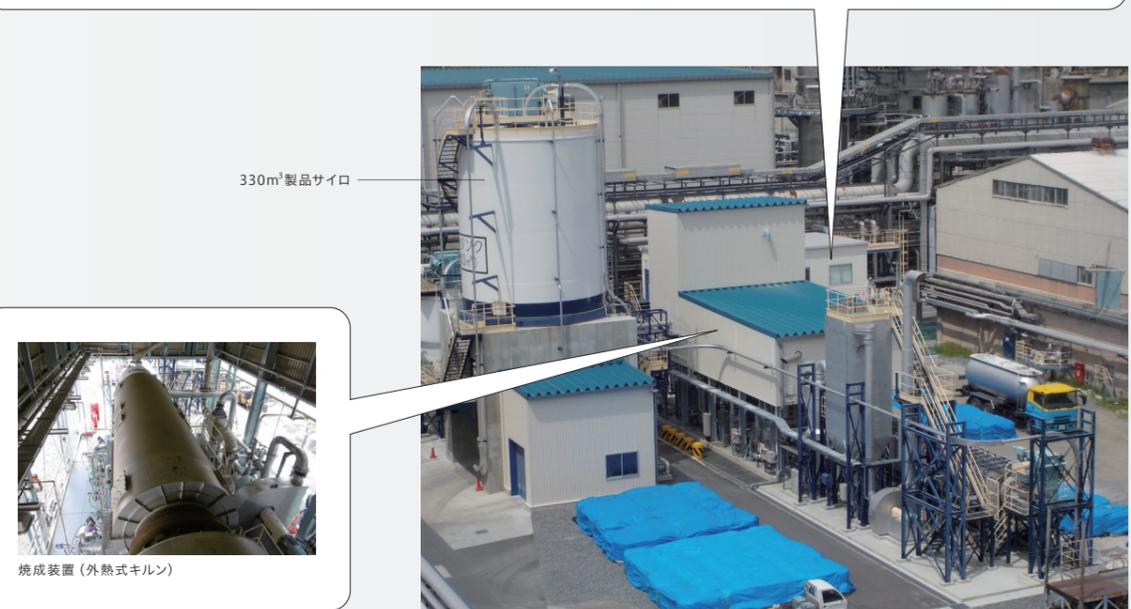
加熱改質フライアッシュ(CfFA)は、日本製紙(株)石巻工場内の製造現場で強熱減量・比表面積・密度等の品質を測定・管理し、安定した品質の製品をお客様にお届けします。



強熱減量測定



比表面積測定



焼成装置(外熱式キルン)

日本製紙石巻工場内

石炭灰(フライアッシュ)を再資源化して、タフなコンクリートをつくる。

コンクリート用混和材 加熱改質フライアッシュ(CfFA)

JIS A6201 II種 NETIS QS-100005-VE



工業製品としてのフライアッシュを目指して

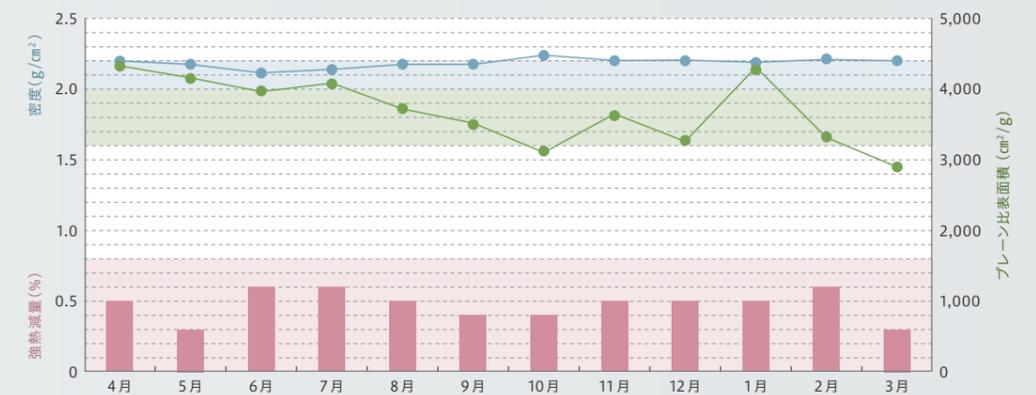
副産物であるフライアッシュを可能な限り工業製品に近づける努力をしています。



項目	JIS A6201	
	II種規格	CfFA
二酸化ケイ素(%)	45.0以上	61.9
湿分(%)	1.0以下	0.0
強熱減量(≒未燃カーボン)(%)	5.0以下	0.4
密度(g/cm³)	1.95以上	2.07
粉末度	45μmふるい残分	40以下
	ブレン比表面積(cm²/g)	2500以上
フロー値比(%)	95以上	100
活性度指数(%)	材齢28日	80以上
	材齢91日	90以上

CfFAのデータは2020年9月の測定値であり、原料となる石炭の種類などによって多少の数値の変動は生じます。

2018年度 日本製紙石巻工場 CfFA ミルシートデータ



項目	CfFA
● 密度(g/cm³)	(目標) 2.0~2.2
● 比表面積(cm²/g)	(目標) 3,200~4,000
■ 強熱減量(%)	(管理) 0.8以下

◎安定した供給

CfFAは、日本製紙石巻工場で年間を通して生産されます。(生産能力:5,000t/年) 施工タイミングに合わせ、タイムリーな出荷が可能です。お客様のニーズにより、パラ車・フレコン・紙袋での出荷が可能です。なお、本商品は日本製紙石巻工場渡しを基本としています。ご希望により運送手配を承ることが可能です。



パラ車

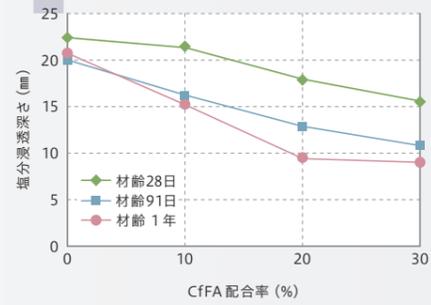
フレコン

紙袋(20kg)

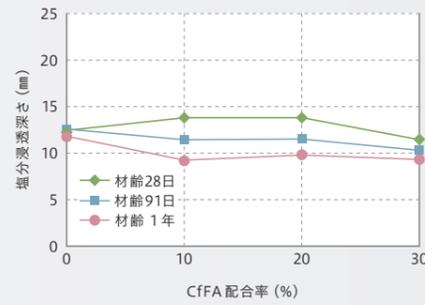
04

CfFAコンクリートの耐久性—遮塩性

普通ポルトランドセメント

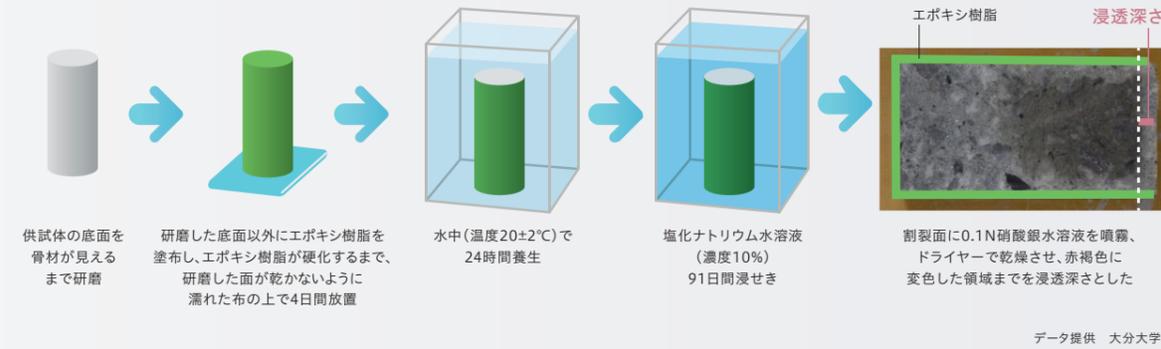


高炉セメント



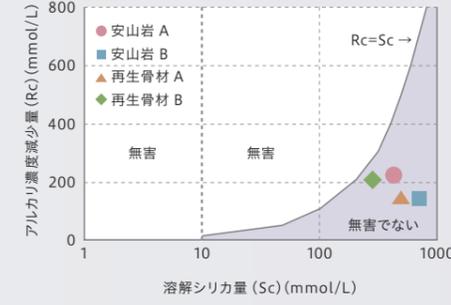
一般に高炉セメントコンクリートは遮塩性に優れていますが、CfFAを配合することで普通ポルトランドセメントを使用した場合でも、高炉セメントコンクリートと同程度の遮塩性を確保できます。

塩分浸漬試験方法 (JSCE-G572)

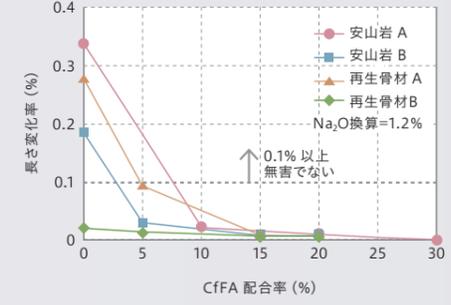


CfFAコンクリートの耐久性—アルカリシリカ反応 (ASR)

化学法結果 (JIS A 1145)



モルタルバー法結果 (JIS A 1146)

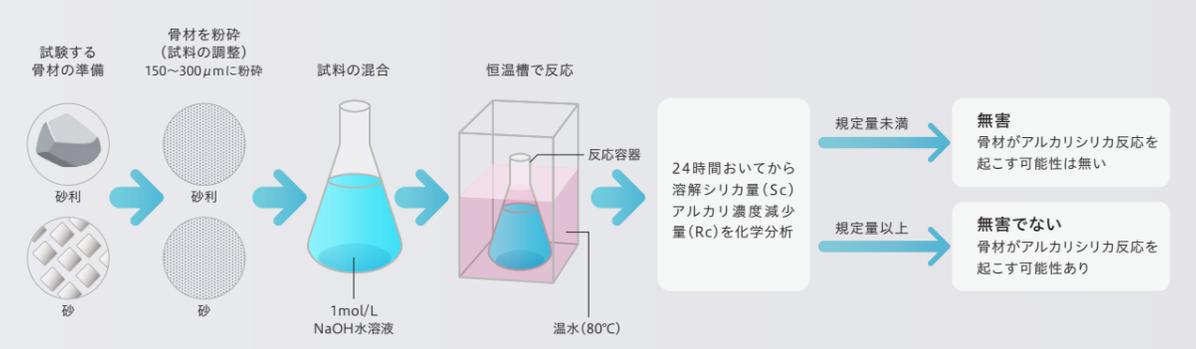


「無害でない」と診断された骨材でも、CfFAの配合によりASRが抑制されます。

その効果は配合率の増加とともに大きくなり、CfFA配合率10%以上で十分な抑制効果が有ります。

データ提供 大分大学

JIS A 1145 骨材のアルカリシリカ反応試験方法【化学法】



遮塩性の材齢依存性の管理

CfFAを配合したコンクリートと通常コンクリートに交流電流を流し、電気抵抗率^{※1}から塩分浸透性を評価^{※2}する研究です。

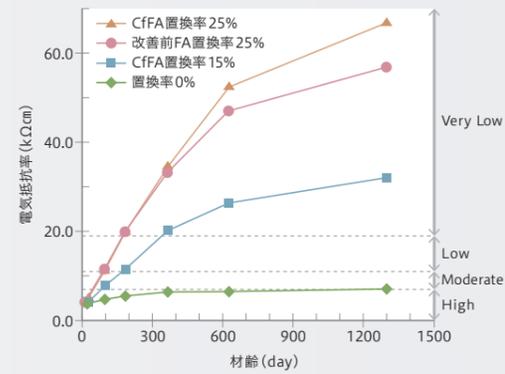
- ※1: 測定方法: 土木学会規準 JSCE-G 581
- ※2: 評価基準: AASHTO Designation: T 358-15

ベース 普通ポルトランドセメント使用の通常コンクリート
 CfFA 15% 普通ポルトランドセメント+ CfFA 15% 配合のコンクリート
 CfFA 25% 普通ポルトランドセメント+ CfFA 25% 配合のコンクリート
 ◇上記3配合とも 水結材比 W/B=55% 単位水量 W=170kg/m³

グラフに示されている通り、CfFAを配合したコンクリートは、通常コンクリートに比べ材齢が増すごとに電気抵抗率が大幅に上昇し、塩分浸透性がとても低い(遮塩性に優れている)ことがわかります^{※3}。

- ※3: 電気抵抗率はコンクリート含水率の影響を受けるため、遮塩性能の評価にあたっては、原則として飽水状態の供試体を使用します。

CfFAを使用したコンクリートの電気抵抗率による遮塩性の評価

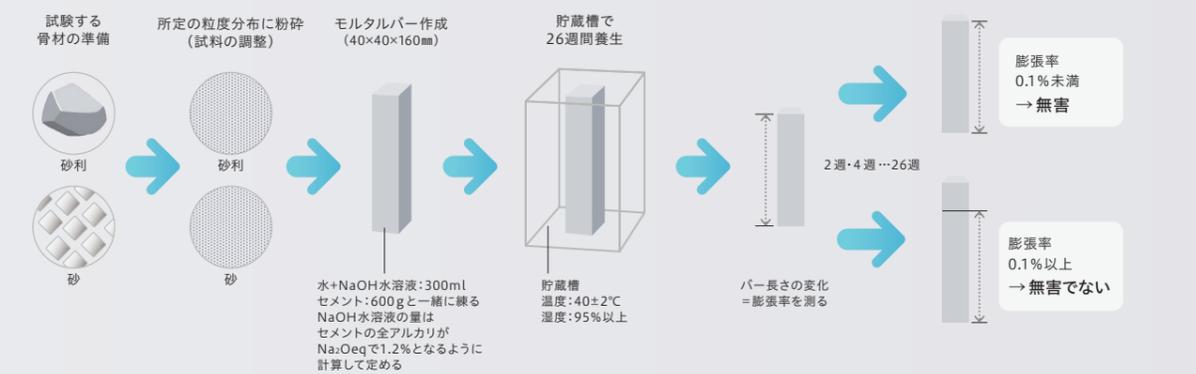


AASHTO T 358-17¹⁾に示される閾値を正しいセル定数に基づいて補正した塩化物イオン透過性のグレード²⁾。電気抵抗率が高いほど塩化物イオンの浸透性が低いことを示しており、遮塩性が高いことを示す。

- 1) AASHTO T 358-17: Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
- 2) 日本コンクリート工学会: 電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会報告書、JCI-C96、2018.9

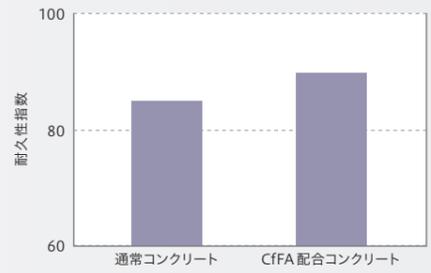
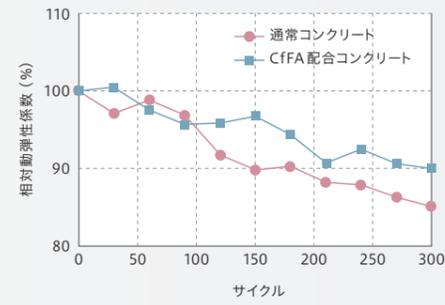
データ提供 東北大学大学院

JIS A 1146 骨材のアルカリシリカ反応試験方法【モルタルバー法】



CfFAコンクリートの耐久性—凍結融解抵抗性

JIS A 1148 : コンクリートの凍結融解試験 A 法 (水中凍結融解試験方法)



CfFAを配合することで、通常コンクリートより凍結融解抵抗性が向上する傾向が見られます。

調合	W/C (%)	W/B (%)	混和材配合率 (%)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 (B×%)	フレッシュ性状	
				W	C	CfFA	S	G		スランプ (cm)	空気量 (%)
通常コンクリート	51.1	51.1	0	184	360	-	800	922	1.0	17.5	4.8
CfFA配合コンクリート	53.3	45.4	15	183	343	60	730	938	1.0	17.5	5.5

データ提供 大分大学

CfFAのポズラン反応

フライアッシュを加熱改質処理してもポズラン活性は保持されることが確認されています。

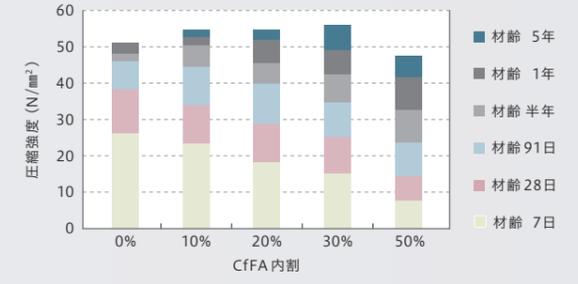
試験結果例

[室内試験結果]

No.	CfFA内割 (%)	混和剤添加率 (%/C)	AE剤 (%/C)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					試験結果				圧縮強度 (N/mm ²)					
						W	C	CfFA	S1 S2	G1 G2	SL (cm)	SLF (mm)	空気量 (%)	C.T (°C)	材齢 7日	材齢 28日	材齢 91日	材齢 182日	材齢 365日	材齢 5年
1	0	0.90	0.004	56.4	48.0	171	303	0	431 431	379 570	17.0	280×268	4.7	21	26.3	38.4	46.2	48.3	51.2	49.4
2	10	0.90	0.005	56.4	47.7	171	273	30	425 425	379 570	17.0	276×275	5.4	21	23.4	34.1	44.5	50.6	52.8	54.4
3	20	0.90	0.007	56.4	47.3	171	242	61	420 418	379 570	17.0	300×300	5.4	21	18.3	28.9	39.9	45.6	51.9	54.5
4	30	0.90	0.008	56.4	47.0	171	212	91	415 421	379 570	17.5	303×300	5.4	21	15.0	25.3	34.8	42.4	49.1	55.8
5	50	0.90	0.011	56.4	46.2	171	152	151	402 402	379 570	17.5	320×305	5.4	21	7.7	14.4	23.6	32.6	41.8	47.7

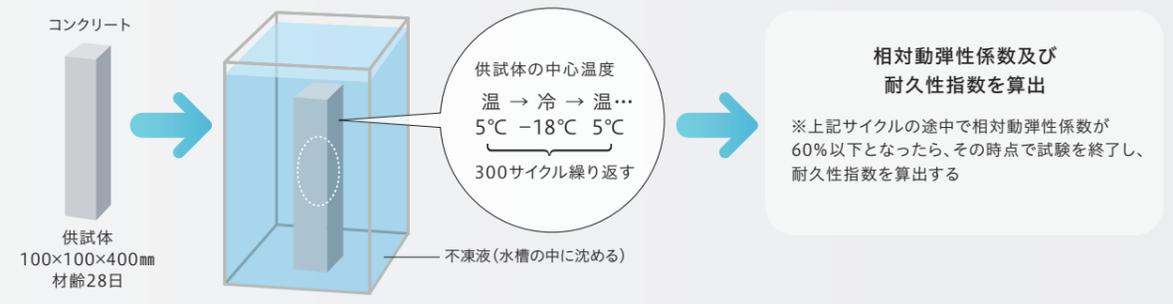
[使用材料]

セメント：C 普通ポルトランドセメント (太平洋セメント N) (密度 3.16 g/cm³)
 細骨材：S1 君津産山砂 (密度 2.61 g/cm³)、S2 児玉産陸砂 (密度 2.61 g/cm³)
 粗骨材：G1 青梅産砕石 2013 (密度 2.65 g/cm³)、G2 青梅産砕石 1305 (密度 2.65 g/cm³)
 混和剤：高機能 AE 減水剤 フローリック SV10 (リグニンスルホン酸塩とポリカルボン酸系化合物)
 AE 剤：I 種相当品
 フライアッシュ：CfFA (日本製紙石巻工場) (密度 2.15g/cm³)



データ提供：(株)フローリック

JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法 A 法



乾燥収縮ひずみ

フライアッシュを配合することで乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向が見られます。

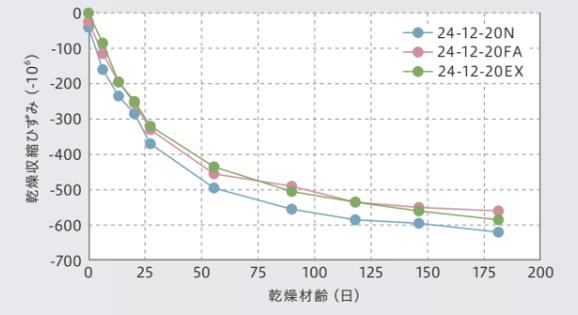
試験結果例

配合名	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
				C	CfFA	EX	W	S1 S2 S3	G1 G2	AD
24-12-20N	54.5	54.5	44.2	305	0	0	166	394 239 163	524 522	3.05
24-12-20FA	54.3	49.0	41.6	300	66	0	163	208 210 288	540 538	3.33
24-12-20EX	58.2	54.5	44.2	285	0	20	166	394 239 163	524 522	3.05

[使用材料]

セメント：C 普通ポルトランドセメント (太平洋セメント N) (密度 3.16 g/cm³)
 細骨材：S1 黒川郡大和町鶴巣産山砂 (密度 2.57g/cm³)、S2 上北郡六ヶ所村産陸砂 (密度 2.59g/cm³)、S3 登米市津山町産砕砂 (密度 2.66g/cm³)
 粗骨材：G1 石巻市漢字葛和田山産砕石 1505 (密度 2.70g/cm³)、G2 石巻市漢字葛和田山産砕石 2010 (密度 2.70g/cm³)
 混和剤：AD AE 減水剤フローリック S (リグニンスルホン酸塩・オキシカルボン酸塩)
 フライアッシュ：CfFA (日本製紙石巻工場) (密度 2.15g/cm³)
 膨張材：EX ハイパーエクスパン (太平洋マテリアル) (密度 3.16g/cm³)

乾燥収縮ひずみ経時変化



データ提供：東北職業能力開発大学校、株式会社平成生コンクリート

05

水解紙充填袋「FLASH BAG」とは…

水解紙を原紙とした「袋」です。水解紙は水によってパルプ繊維が分散する性質があるため、水によって袋を開梱することなく充填物を取り出す、あるいはそのまま投入することが可能です。FLASH BAGは、日本製紙パピリア(株)が開発した特殊な水解紙を用いています。この水解紙は、水分散性に優れたパルプ繊維を主成分としており、水に対して素早く分散します。これまでの水解紙は、水に対する分散性と強度を両立することが難しく、水解紙の袋は小さなものが主流でした。それに対して今回、開発したFLASH BAGは20kg以上の充填が可能となっており、土木建設資材、畜産、農業、など幅広い分野での使用が可能です。そして、袋ゴミの発生が無いこと、充填物が粉体の場合は粉塵を抑制できること、開梱の必要が無いため労力が削減されること、など用途によって様々な利点が考えられます。



水解紙の水分散 (模式図)

特長

◎冷水、温水、海水に速やかに分散

袋ごとミキサーなどに投入可能

- ・投入時に充填物の飛散や粉塵を抑制
- ・作業の軽減
- ・袋ゴミの発生無し

労働・作業環境の改善



5秒後



10秒後



FLASH BAGへの散水の様子



FLASH BAGに20mm骨材を充填し、3段重ねにした状態に散水した状態です。散水後、数秒で袋のパルプ繊維は解け、充填物の骨材が紙を押し破るようにして現れます。



動画はこちら▶



コンクリート用混和材

加熱改質フライアッシュ(CfFA)への適用事例



動画はこちら▶



コンクリート用混和材
加熱改質フライアッシュ
(CfFA)

◎通常の充填袋



開梱・投入(重労働・粉塵)



袋ゴミが発生

◎FLASH BAG



袋ごと投入(労働力削減、粉塵低減)

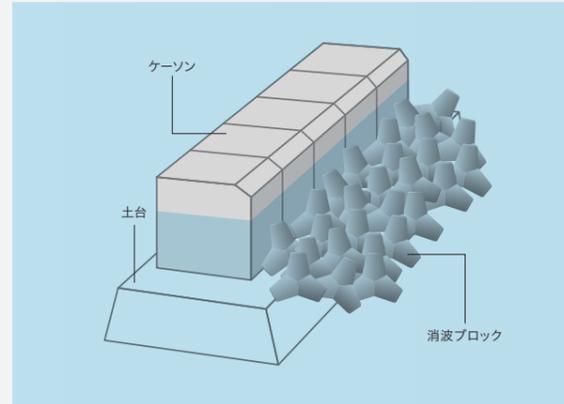
水解紙が生コン性状に与える影響は軽微です。

	単位量 (kg / m ³)									フレッシュ試験		圧縮強度 (N/mm ²)			
	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	混和剤添加率	AE剤 (A)	W	C	CfFA	S1 S2	G1 G2	水解紙	スランブ (cm)	空気量 (%)	7日	28日
なし	50.0	42.5	43.1	0.90%	3.0	167	334	59	365 367	495 491	—	11.5	4.8	32.5	47.3
水解紙 3層	50.0	42.5	43.1	1.00%	3.5	167	334	59	365 367	495 491	0.3825	11.6	5.0	31.7	46.4
水解紙 2層 + 水溶性防湿紙 1層	50.0	42.5	43.1	1.00%	2.5	167	334	59	365 367	495 491	0.4085	12.5	5.0	31.7	46.6

06 施工実績

● 国土交通省東北地方整備局発注のケーソンに CfFA が使用されています。

- ・ 仙台塩釜港石巻港区雲雀野地区南防波堤 2 函 (2017 年 2 月) 施工：りんかい日産株式会社 生コン：河南生コンクリート株式会社
- ・ 仙台塩釜港石巻港区雲雀野地区南防波堤 4 函 (2017 年 11 月) 施工：みらい建設工業株式会社 生コン：河南生コンクリート株式会社
- ・ 仙台塩釜港仙台港向洋地区 -12m 岸壁防波堤① 3 函 (2018 年 3 月) 施工：あおみ建設株式会社 生コン：河南生コンクリート株式会社
- ・ 仙台塩釜港塩釜港区真山地区岸壁 (-9m) 1 函 (2018 年 3 月) 施工：東洋建設株式会社 生コン：石巻地区生コンクリート協同組合
- ・ 仙台塩釜港仙台港向洋地区岸壁 (-14m) 8 函 (2018 年 11 月) 施工：東洋建設株式会社 生コン：石巻地区生コンクリート協同組合



防波堤 (岸壁) イメージ図



ケーソン (長さ 20m × 高さ 15.7m)

配合 (30-12-20BB)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位置 (kg / m ³)							
			C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
45.9	44.0	42.3	351	50	161	482	207	418	628	2.66

● 国土交通省東北地方整備局発注の仙台塩釜港石巻港区雲雀野地区南防波堤の消波ブロック

(40t 型テトラポッド) に CfFA が使用されました。(2016 年 7 月)

- ・ 施工：株式会社丸本組 生コン：河南生コンクリート株式会社
- ・ 施工：若生工業株式会社 生コン：石巻コンクリート株式会社



配合 (21-8-40BB)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位置 (kg / m ³)								
			C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	G3	AD
57.8	54.5	41.9	251	50	145	513	220	271	406	451	2.66

● 国土交通省東北地方整備局発注の国道 45 号線釜石山田道路 (八雲第 1 トンネル：総延長 635m) で CfFA がトンネル覆工コンクリートの一部 (起点側延長 21m) に試験打設されました。(2014 年 11 月)

- ・ 施工：株式会社熊谷組 生コン：釜石レミコン株式会社



CfFA が試験打設された「八雲第 1 トンネル」

配合 (24-15-20BB)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位置 (kg / m ³)						
			C	CfFA	W	S	G	Ex	AD
56.7	52.2	48.0	271	25	165	873	961	20	2.04

● NEXCO 東日本 (東日本高速道路株式会社) 常磐自動車道 4 車線化工事 / 好間トンネル抗門

- ・ 施工：株式会社フジタ 生コン：株式会社磯上商事



常磐自動車道好間トンネル抗門

配合 (33-21-20N)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位置 (kg / m ³)							
			C	CfFA	W	S	G	AD	バルチップ	
56.3	47.8	51.6	311	55	175	875	868	3.66	2.73	

- (仮) 鎮守大橋橋梁下部工工事に CfFA が使用されました。(2018年7月)
・ 施工: 若生工業株式会社 生コン: 石巻コンクリート株式会社



配合 (24-8-20N)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)							
			C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
55.0	47.8	44.3	280	42	154	475	328	729	312	3.08

- 宮城県石巻市発注の七窪蛇田線橋梁下部工新設工事に CfFA が使用されました。(2018年3月)
・ 施工: 日本製紙石巻テクノ株式会社 生コン: 石巻地区生コンクリート協同組合



P2 橋脚

配合 (杭: 30-18-20N、橋脚本体: 24-8-20N)

種類	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)							
				C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
杭	47.7	43.0	41.9	373	82	178	386	268	503	503	4.14
橋脚本体	54.3	49.0	41.1	289	64	157	423	286	551	551	3.21

- 石巻市蛇田支所・蛇田公民館 (基礎・土間・躯体) に CfFA が使用されました。(2019年4月)
・ 施工: 若生工業株式会社 生コン: 石巻コンクリート株式会社



配合 (33-21-20N)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)					
			C	CfFA	W	S	G	AD
50.4	43.9	46.5	341	51	172	786	943	3.75

- 日本製紙(株) 石巻工場の本事務所基礎および床コンクリートに CfFA が使用されました。(2018年3月)
・ 施工: 鹿島建設株式会社 生コン: 石巻地区生コンクリート協同組合



配合 (27-15-20N)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)							
			C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
51.1	46.0	41.6	333	74	170	403	275	524	522	3.70

- 南光運輸(株)のペレット倉庫の腰壁および床コンクリートに CfFA が使用されました。(2017年8月)
・ 施工: 日本製紙石巻テクノ株式会社 生コン: 石巻地区生コンクリート協同組合

配合
(基礎: 30-18-20N、土間: 24-15-20N、
腰壁: 27-18-20N)

種類	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)							
				C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
基礎	47.7	43.0	41.9	373	82	178	386	268	503	503	4.14
土間	54.5	49.0	42.3	312	70	170	416	287	524	522	3.47
腰壁	51.1	46.0	43.1	348	78	178	407	279	497	500	3.87



- 宮城県石巻市、日本製紙石巻エネルギーセンター(株)の燃料置場擁壁に、CfFA が使用されました。(2017年1月)
・ 施工: 鹿島建設株式会社 生コン: 石巻地区生コンクリート協同組合

配合 (27-15-20N)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)							
			C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
51.1	46.0	41.6	333	74	170	401	275	524	522	3.70



- 日本製紙(株) 石巻工場の放流口の消波ブロックに、CfFA が使用されました。(2016年9月)
・ 施工: 若築建設株式会社 生コン: 石巻地区生コンクリート協同組合

配合 (24-8-40N)

W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位数 (kg / m ³)							
			C	CfFA	W	S1	S2	G1	G2	AD
55.8	47.3	41.6	278	50	155	448	298	596	487	3.28



加熱改質フライアッシュ(CfFA)を使用した 早期交通開放型コンクリート舗装 (1DAY PAVE)

昨今の社会インフラ整備につきましては、様々な社会情勢を背景に長寿命化、高耐久化、ライフサイクルコストの縮減、環境への配慮などが求められるようになってきています。そのような中で、多くの利点を持つコンクリート舗装の価値が見直されてきています。コンクリート舗装は、交通開放に時間を要することが課題でしたが、施工後1日で交通を開放できる早期交通開放型コンクリート舗装(1DAY PAVE)がセメント協会が開発されました。汎用的な材料、設備でコンクリートが製造可能であり、全国各地で活用が進められています。

また、コンクリートの高耐久化に寄与するフライアッシュを1DAY PAVEに使用することで、ライフサイクルコストの縮減や環境負荷低減をさらに強める効果が期待されます。ここでは、日本製紙(株)石巻工場で製造される加熱改質フライアッシュCfFA(Carbon-free Fly Ash)を1DAY PAVEに使用したコンクリートの配合、物性および施工事例をご紹介します。

早期交通開放型コンクリート舗装 (1DAY PAVE) とは

① 1DAY PAVE の配合条件

1DAY PAVEは、コンクリートの打込み後の養生期間を1日に短縮したコンクリート舗装です。特殊な結合材や混和材料等を必要としないため、JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) 等に適合する汎用的な材料を用いたコンクリートが使用されます。

1DAY PAVE の配合条件

セメント種類	目標スランプ、スランプフロー	目標空気量	養生終了曲げ強度 (材齢 1日)	設計基準曲げ強度
標準として 早強ポルトランドセメント	実績ではスランプ 8~21cm、 スランプフロー 40cm	標準として 4.5%	一般に 3.5N/mm ² 以上	一般に 4.5N/mm ² 以上

② 1DAY PAVE の適用箇所

◎補修・打ち換え

- タイヤの据え切りや車両の停止・発進が繰り返される場所
→交差点、バス停、料金所、駐車場など
- 長時間の交通規制が難しい場所
→交通量の多い市街地、車線数の少ない生活道路

◎新設工事

- 工期短縮が必要な道路やヤード

CfFAを使用した1DAY PAVEの配合と物性例

① 配合およびフレッシュ性状

一般にフライアッシュを使用した場合は化学混和剤の添加率が著しく増加することが懸念されますが、CfFAを使用する場合は、適切な水セメント比を設定することで通常の添加率の範囲でフレッシュ性状の調整が可能です。

配合およびフレッシュ性状 (CfFAを細骨材代替として使用；置換率 18%)

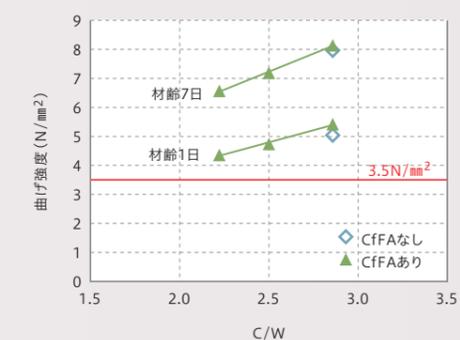
環境温度 (°C)	W/C (%)	CfFA/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						添加率 ((C+CfFA)×%)		スランプフロー (cm)	空気量 (%)	凝結時間 (h-min)	
				W	C	CfFA	S1	S2	G	SP	AE			始発	終結
5	35.0	0	41.9	165	471	0	347	348	986	0.95	0.004	41.0	4.3	9-30	13-10
	35.0	18	38.0	165	471	85	295	296	986	1.20	0.060	44.5	3.8	8-35	12-50
	40.0	18	40.3	165	413	74	325	326	986	0.95	0.010	41.5	4.5	9-35	13-25
	45.0	18	42.1	165	367	66	350	351	986	0.85	0.006	44.5	5.2	11-00	14-15
20	35.0	0	41.9	165	471	0	347	348	986	0.95	0.002	41.5	5.3	5-00	6-20
	35.0	18	38.0	165	471	85	295	296	986	1.10	0.020	41.0	4.9	4-55	6-30
	40.0	18	40.3	165	413	74	325	326	986	0.95	0.004	41.0	4.7	4-55	6-25
	45.0	18	42.1	165	367	66	350	351	986	0.85	0.004	41.5	5.4	5-00	6-15
30	35.0	0	41.9	165	471	0	347	348	986	1.00	0.008	44.5	4.9	4-30	5-30
	40.0	18	40.3	165	413	74	325	326	986	1.00	0.012	44.0	5.2	4-30	5-30

[使用材料] C：早強ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm³)、FA：CfFA (密度 2.13g/cm³、強熱減量 0.9%)、S1：山砂 (表乾密度 2.59g/cm³)、S2：陸砂 (表乾密度 2.60g/cm³)、G：碎石 2005 (表乾密度 2.65g/cm³)、SP：高性能 AE 減水剤、AE：AE 剤
[配合条件] 目標スランプフロー：40±5cm、目標空気量 4.5±1.5%、目標曲げ強度：3.5N/mm² 以上 (材齢 1日)、4.5N/mm² 以上 (材齢 7日)

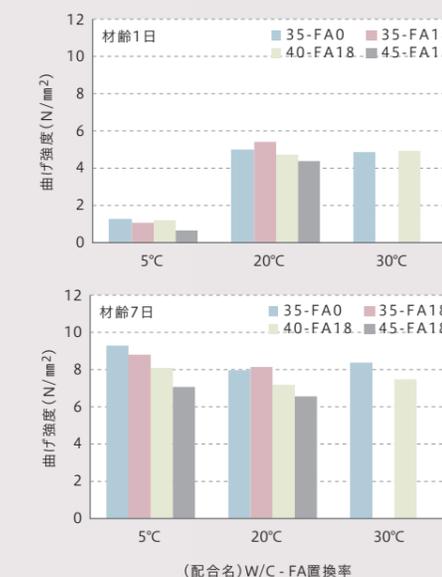
② 曲げ強度発現性

CfFAを細骨材代替で使用した場合、セメント水比 (C/W) が同一であれば、CfFA未使用時と同等の曲げ強度発現性が確保できます。環境温度に応じて水セメント比を適切に設定することで、目標とする養生終了強度を満足することが可能です。ただし、低温時には保温養生や吸熱養生などの養生温度を確保するための対策を講じる必要があります。

セメント水比と曲げ強度の関係 (20°C)



曲げ強度発現性



③ 曲げ強度と積算温度の関係

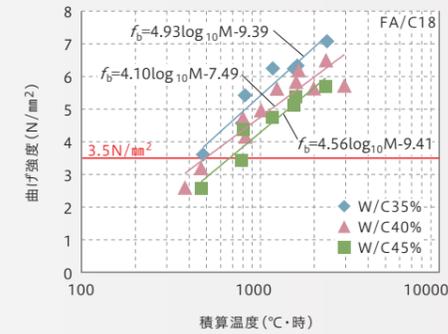
CfFAを使用した1DAY PAVEの曲げ強度発現性は、積算温度で整理できます。あらかじめ曲げ強度と積算温度の関係を求めておくことで、施工時の環境温度に応じた配合の選定や養生終了時期の判断が可能となります。

$$f_b = a \cdot \log_{10} M + b$$

$$M = \sum (\theta + A) \cdot \Delta t$$

ここに、 f_b : 曲げ強度 (N/mm²)、 a, b : 実験定数、 M : 積算温度 (°C・時)、 θ : コンクリート温度 (°C)、 A : 10 (°C)、 Δt : 温度が θ (°C) である期間 (時)

積算温度と曲げ強度の関係



曲げ強度 3.5N/mm² に達するときの積算温度

W/C (%)	積算温度 (°C・時)	24 時間平均
35	413	7°C
40	480	10°C
45	679	18°C

② レディーミクストコンクリート工場構内 (宮城県石巻市)

施工年月: 2017年5月
 施工面積: 220m² (7m×31.4m)
 コンクリート版厚: 20cm
 施工方法: コンクリートポンプによる打込み
 人力による敷均し



コンクリートの配合および試験結果

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							スランブフロー (cm)	空気量 (%)	CT (°C)	材齢 1 日 曲げ強度 (N/mm ²)
		W	C	CfFA	S1	S2	G	AD				
40.0	44.4	165	413	74	319	331	1008	5.11	42.5	4.3	24	4.41
35.0	41.9	165	471	0	340	354	1008	5.18	39.5	4.8	24	4.99

[使用材料] C: 早強ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm³)、FA: CfFA (密度 2.13g/cm³、強熱減量 0.6%)、S1: 山砂 (表乾密度 2.54g/cm³)、S2: 砕砂 (表乾密度 2.64g/cm³)、G: 砕石 2005 (表乾密度 2.71g/cm³)、AD: 高性能 AE 減水剤
 [配合条件] 目標スランブフロー: 40±5cm、目標空気量 4.5±1.5%

CfFA を使用した 1DAY PAVE の施工事例

① 日本製紙 石巻工場構内 (宮城県石巻市)

施工年月: 2016年3月
 施工面積: 384m² (16m×24m)
 コンクリート版厚: 20cm
 施工方法: コンクリートポンプによる打込み
 簡易フィニッシャーによる敷均し



コンクリートの配合および試験結果

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							スランブ (cm)	空気量 (%)	CT (°C)	材齢 1 日 曲げ強度 (N/mm ²)
		W	C	CfFA	S1	S2	G	AD				
35.0	38.1	165	471	50	241	375	1033	5.65	21.0	3.3	15	5.49
35.0	38.1	165	471	0	266	413	1033	5.42	21.0	3.8	15	4.39

[使用材料] C: 早強ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm³)、FA: CfFA (密度 2.08g/cm³、強熱減量 0.6%)、S1: 山砂 (表乾密度 2.57g/cm³)、S2: 砕砂 (表乾密度 2.66g/cm³)、G: 砕石 2005 (表乾密度 2.70g/cm³)、AD: 高性能 AE 減水剤
 [配合条件] 目標スランブ: 21±1.5cm、目標空気量 4.5±1.5%

③ 大学構内駐車場 (宮城県仙台市)

施工年月: 2017年9月
 施工面積: 80m² (5m×16m)
 コンクリート版厚: 15cm
 施工方法: コンクリートポンプによる打込み
 人力による敷均し



コンクリートの配合および試験結果

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	CT (°C)	材齢 1 日 曲げ強度 (N/mm ²)
		W	C	CfFA	S1	S2	G	AD				
40.0	44.4	165	413	74	130	545	992	4.87	39.0	4.1	27	5.02
35.0	42.8	165	472	0	140	583	992	5.43	44.0	3.8	26	5.72

[使用材料] C: 早強ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm³)、FA: CfFA (密度 2.13g/cm³、強熱減量 0.9%)、S1: 山砂 (表乾密度 2.55g/cm³)、S2: 砕砂 (表乾密度 2.66g/cm³)、G: 砕石 2005 (表乾密度 2.71g/cm³)、AD: 高性能 AE 減水剤
 [配合条件] 目標スランブフロー: 40±5cm、目標空気量 4.5±1.5%

加熱改質フライアッシュ(CfFA®)の配(調)合例(1) —普通セメントに対して20%相当量配合した場合—

※内割：セメントに対して質量置換 ※内外割：セメントと細骨材に対してそれぞれ質量置換

呼び強度	配合強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	混和剤 添加率 (%/C)	W/B (%) FA内割	W/B (%) FA内外割	s/a (%)	s/a (%) FA内外割	単位量 (kg/m ³)											
								W	C(N)	FA			S1	S2	G1	G2			
										内割 20%	内外割10%	ずつの場合							
18	22.8	8	1.0	60.8	67.5	46.0	47.0	159	209	52	26	26	421	423	506	504			
		12				47.8	48.8	163	215	54	27	27	434	435	484	483			
		15				48.9	49.9	170	224	56	28	28	436	438	467	465			
		18				50.0	51.0	177	233	58	29	29	439	441	449	448			
		-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	26.6	8	1.0	55.4	61.5	44.7	45.8	158	228	58	29	29	405	406	512	510			
		12				46.5	47.6	162	234	58	29	29	417	419	491	489			
		15				47.6	48.7	169	244	62	31	31	420	422	473	471			
		18				48.6	49.8	177	256	64	32	32	420	422	455	453			
		21				49.8	51.0	185	267	66	33	33	422	424	436	434			
24	30.4	8	1.0	50.9	56.5	43.4	44.6	159	250	62	31	31	387	389	516	514			
		12				45.2	46.4	163	256	64	32	32	399	401	495	493			
		15				46.2	47.5	170	267	66	33	33	401	402	478	476			
		18				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		21				48.2	49.6	186	293	74	37	37	401	403	441	439			
27	34.2	8	1.0	47.3	52.5	42.4	43.8	160	271	68	34	34	373	374	518	516			
		12				44.3	45.7	164	278	70	35	35	385	387	496	494			
		15				45.2	46.6	171	290	72	36	36	386	387	479	477			
		18				46.3	47.8	179	303	76	38	38	386	388	459	458			
		21				47.2	48.8	187	317	80	40	40	386	387	442	440			
30	38.0	8	1.0	44.1	49.0	41.5	43.0	161	292	74	37	37	359	360	518	516			
		12				43.3	44.9	165	299	74	37	37	371	372	496	494			
		15				44.2	45.8	172	312	78	39	39	371	373	479	477			
		18				45.3	47.0	180	327	82	41	41	372	373	459	458			
		21				46.2	48.0	188	341	86	43	43	371	372	442	440			
33	41.8	8	1.0	41.4	46.0	39.7	41.6	171	330	82	41	41	330	331	512	510			
		12				41.5	43.4	175	338	84	42	42	341	342	491	489			
		15				42.4	44.3	182	352	88	44	44	341	342	474	472			
		18				43.5	45.5	190	367	92	46	46	341	343	454	452			
		21				44.3	46.4	198	383	96	48	48	339	340	436	435			
36	45.6	8	1.0	38.7	43.0	38.8	41.0	180	372	94	47	47	308	310	498	496			
		12				40.6	42.8	184	380	96	48	48	319	320	477	475			
		15				41.4	43.7	191	395	98	49	49	318	319	460	458			
		18				42.5	44.9	199	411	102	51	51	318	319	440	438			
		21				43.2	45.8	207	428	106	53	53	314	316	423	421			
40	50.6	8	1.0	36.0	40.0	37.8	40.4	189	420	106	53	53	286	287	481	479			
		12				39.5	42.2	193	429	108	54	54	294	296	461	460			
		15				40.3	43.1	200	444	112	56	56	293	294	444	443			
		18				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		21				42.1	45.2	216	480	120	60	60	289	290	407	405			

※配合強度は、標準偏差の実績が無いため、より安全側で設定した。

※混和剤(AE 減水剤)量を1.0%に固定して試験練りを実施。

※CfFA®を結合材もしくは細骨材のいずれかに加味することで、水結合材比(W/B)とs/aが変動する点に留意。

※呼び強度の高い配(調)合では、単位水量が過大となるため、高性能AE 減水剤の使用を推奨。

[使用材料]

N：普通ポルトランドセメント / 太平洋セメント社製 (密度 3.16g/cm³)

BB：高炉セメント B 種 / 太平洋セメント社製 (密度 3.04g/cm³)

細骨材 S1：君津産山砂 (密度 2.60g/cm³)

細骨材 S2：児玉産陸砂 (密度 2.61g/cm³)

粗骨材 G1：青梅産砕石 2013 (密度 2.66g/cm³)

粗骨材 G2：青梅産砕石 1305 (密度 2.65g/cm³)

混和剤：フローリック SV10/ フローリック社製

AE 剤：I 種相当品

FA：CfFA®/ 日本製紙石巻工場 (2.03g/cm³)

加熱改質フライアッシュ(CfFA®)の配(調)合例(2) —高炉セメントに対して20%相当量配合した場合—

※内割：セメントに対して質量置換 ※内外割：セメントと細骨材に対してそれぞれ質量置換

呼び強度	配合強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	混和剤 添加率 (%/C)	W/B (%) FA内割	W/B (%) FA内外割	s/a (%)	s/a (%) FA内外割	単位量 (kg/m ³)								
								W	C(BB)	FA			S1	S2	G1	G2
										内割 20%	内外割10%	ずつの場合				
18	22.8	8	1.0	58.0	52.2	43.0	44.2	156	239	60	30	30	386	388	524	522
		12				44.3	45.5	161	247	62	31	31	393	395	506	504
		15				45.1	46.4	167	256	64	32	32	394	396	491	489
		18				46.9	48.2	174	267	66	33	33	403	404	466	465
		-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	26.6	8	1.0	52.5	47.3	41.7	43.1	158	268	66	33	33	366	368	524	522
		12				43.0	44.4	163	276	68	34	34	373	374	506	504
		15				43.8	45.3	169	286	72	36	36	374	375	491	489
		18				45.6	47.1	176	298	74	37	37	382	383	466	464
		21				46.2	47.8	182	308	78	39	39	381	382	453	452
24	30.4	8	1.0	48.5	43.7	40.7	42.3	161	295	74	37	37	350	351	521	519
		12				42.0	43.6	166	304	76	38	38	356	357	503	501
		15				42.8	44.5	172	315	78	39	39	356	358	487	485
		18				44.6	46.3	179	328	82	41	41	364	365	462	461
		21				45.2	47.0	185	339	84	42	42	362	364	449	448
27	34.2	8	1.0	44.5	40.1	39.6	41.5	165	330	82	41	41	330	331	515	513
		12				40.9	42.8	170	340	84	42	42	336	337	496	494
		15				41.7	43.7	176	352	88	44	44	336	337	481	479
		18				43.5	45.5	183	366	92	46	46	343	344	456	454
		21				44.1	46.2	189	378	94	47	47	341	343	443	441
30	38.0	8	1.0	41.5	37.4	38.7	40.9	175	375	94	47	47	307	308	498	496
		12				39.9	42.2	180	386	96	48	48	312	313	480	478
		15				40.7	43.1	186	398	100	50	50	312	313	464	463
		18				42.5	44.9	193	413	104	52	52	318	319	440	438
		21				43.1	45.6	199	426	106	53	53	316	317	426	425
33	41.8	8	1.0	38.5	34.7	37.2	40.3	201	464	116	58	58	263	264	455	453
		12				38.4	41.6	206	476	118	59	59	267	268	437	436
		15				39.2	42.5	212	489	122	61	61	266	264	422	420
		18				40.9	44.3	219	506	126	63	63	270	271	399	397
		21				41.5	45.0	225	519	130	65	65	267	268	385	384
36	45.6	8	1.0	36.0	32.4	35.9	39.8	215	531	132	66	66	233	234	426	425
		12				37.1	41.1	220	543	136	68	68	236	237	409	408
		15				37.8	42.0	226	558	140	70	70	234	235	394	393
		18				39.5	43.8	233	575	144	72	72	237	238	372	370
		21				40.0	44.5	239	590	148	74	74	234	234	358	357
40	50.6	8	1.0	33.5	30.2	34.2	39.3	230	610	152	76	76	200	200	393	392
		12				35.4	40.6	235	624	156	78	78	202	202	376	375
		15				36.1	41.5	241	639	160	80	80	199	200	361	360
		18				37.7	43.3	248	658	164	82	82	201	201	339	338
		21				38.1	44.0	254	674	168	84	84	196	197	326	325

※配合強度は、標準偏差の実績が無いため、より安全側で設定した。 ※混和剤(AE 減水剤)量を1.0%に固定して試験練りを実施。 ※CfFA®を結合材もしくは細骨材のいずれかに加味することで、水結合材比(W/B)とs/aが変動する点に留意。 ※呼び強度の高い配(調)合では、単位水量が過大となるため、高性能AE 減水剤の使用を推奨。

[使用材料]

N：普通ポルトランドセメント / 太平洋セメント社製 (密度 3.16g/cm³)

BB：高炉セメント B 種 / 太平洋セメント社製 (密度 3.04g/cm³)

細骨材 S1：君津産山砂 (密度 2.60g/cm³)

細骨材 S2：児玉産陸砂 (密度 2.61g/cm³)

粗骨材 G1：青梅産砕石 2013 (密度 2.66g/cm³)

粗骨材 G2：青梅産砕石 1305 (密度 2.65g/cm³)

混和剤：フローリック SV10/ フローリック社製

AE 剤：I 種相当品

FA：CfFA®/ 日本製紙石巻工場 (2.03g/cm³)

加熱改質フライアッシュ(CfFA®)の配合と圧縮強度(1) — 若材齢の圧縮強度(20℃) —

No.	配合名	混和剤 添加率 (%/C)	AE 剤 (A)	W/B (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg /m ³)					試験結果		圧縮強度 (N/mm ²)		
							W	C	FA	S1 S2	G1 G2	SL (cm)	空気量 (%)	材齢 3日	材齢 7日	材齢 28日
							1	60-8BB-20-FA 0	0.90	3.50	60.0	60.0	46.3	159	265	0
2	60-8BB-20-FA7.5	0.90	4.00	60.0	65.0	46.0	159	245	20	423 423	507 505	10.9	5.0	7.0	12.4	21.8
3	60-8BB-20-FA10	0.90	4.00	60.0	66.8	46.0	159	238	27	423 423	507 505	10.7	4.8	6.1	11.7	21.2
4	60-8BB-20-FA20	0.90	4.50	60.0	75.0	45.6	159	212	53	416 416	507 505	11.5	4.8	5.5	10.4	18.6
5	65-8BB-20-FA 0	0.90	3.00	65.0	65.0	46.7	159	245	0	436 436	507 505	8.2	4.8	6.9	13.1	22.5
6	65-8BB-20-FA10	0.90	3.50	65.0	72.5	46.5	159	220	25	432 432	507 505	8.8	4.8	5.5	10.8	18.8
7	65-8BB-20-FA20	0.90	4.00	65.0	81.1	46.2	159	196	49	427 427	507 505	10.5	5.0	4.2	8.6	16.5
8	65-8BB-20-FA20 (外割)	0.90	5.00	54.1	65.0	44.8	159	245	49	405 405	507 505	12.7	5.0	7.1	13.1	23.4
9	60-8N-20-FA 0	0.90	3.50	60.0	60.0	46.3	161	268	0	428 428	507 505	8.6	4.6	11.7	20.3	29.2
10	60-8N-20-FA7.5	0.90	3.75	60.0	65.0	46.0	161	248	20	424 424	507 505	9.6	4.9	9.8	17.2	25.4
11	60-8N-20-FA10	0.90	4.00	60.0	66.8	46.0	161	241	27	423 423	507 505	10.2	5.0	9.8	16.5	25.3
12	60-8N-20-FA20	0.90	4.50	60.0	75.2	45.5	161	214	54	415 415	507 505	11.8	4.9	7.6	13.2	20.9
13	65-8N-20-FA 0	0.90	2.50	65.0	65.0	46.8	161	248	0	437 437	507 505	7.6	4.7	10.1	18.0	26.5
14	65-8N-20-FA10	0.90	3.00	65.0	72.2	46.4	161	223	25	431 431	507 505	9.5	4.5	8.1	14.3	21.8
15	65-8N-20-FA20	0.90	3.50	65.0	81.3	46.4	161	198	50	424 424	507 505	11.2	4.9	6.4	10.8	18.5
16	65-8N-20-FA20 (外割)	0.90	4.50	54.0	65.0	44.8	161	248	50	405 405	507 505	10.2	4.7	10.4	18.2	27.3

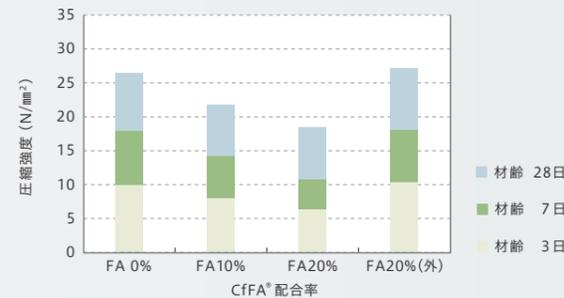
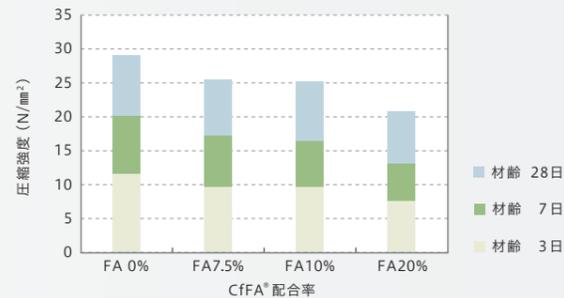
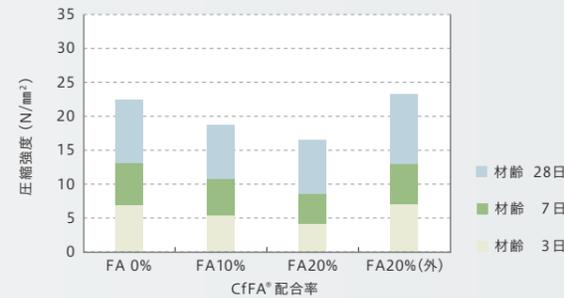
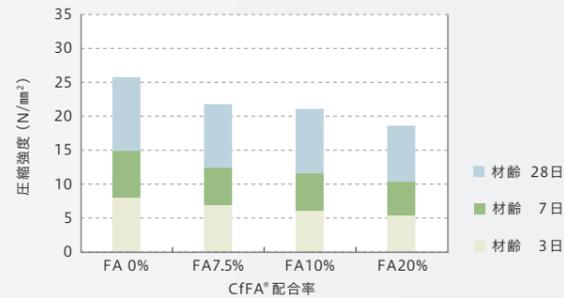
[配合名]

W/B 系統 - セメント種 - FA 配合率

[使用材料]

N : 普通ポルトランドセメント / 太平洋セメント社製 (密度 3.16g/cm³)
 BB : 高炉セメント B 種 / 太平洋セメント社製 (密度 3.04g/cm³)
 細骨材 S1 : 君津産山砂 (密度 2.61g/cm³)
 細骨材 S2 : 児玉産陸砂 (密度 2.61g/cm³)

粗骨材 G1 : 青梅産砕石 2013 (密度 2.65g/cm³)
 粗骨材 G2 : 青梅産砕石 1305 (密度 2.65g/cm³)
 混和剤 : フローリック SV10 (リグニンスルホン酸塩とポリカルボン酸系化合物) / フローリック社製
 AE 剤 : I 種相当品
 FA : CfFA® / 日本製紙石巻工場 (密度 2.03g/cm³)



加熱改質フライアッシュ(CfFA®)の配合と圧縮強度(2) — 材齢28日強度を同一にした配合(20℃) —

No.	配合名	混和剤 添加率 (%/C)	AE 剤 (A)	W/B (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg /m ³)					試験結果		圧縮強度 (N/mm ²)				
							W	C	FA	S1 S2	G1 G2	SL (cm)	空気量 (%)	材齢 7日	材齢 28日	材齢 56日	材齢 91日	材齢 365日
							1	42.5-8BB-20-FA 0	1.00	6.0	42.5	42.5	37.7	164	386	0	514 133	559 559
2	42.5-8BB-20-FA10	0.90	10.0	39.4	43.9	36.2	164	374	42	483 125	558 558	9.0	5.0	26.6	41.1	48.7	52.5	59.3
3	42.5-8BB-20-FA20	1.10	11.0	36.5	45.7	33.5	164	359	90	434 112	567 567	7.5	4.4	27.3	41.8	49.6	55.7	65.8
4	42.5-8BB-20-FA30	1.50	14.0	33.5	47.8	31.3	164	343	147	393 102	566 566	4.5	3.2	27.8	44.3	53.8	57.6	70.6
5	52.5-8BB-20-FA 0	0.80	4.5	52.5	52.5	42.0	158	301	0	602 156	547 547	8.7	4.2	20.7	33.6	38.9	42.6	50.0
6	52.5-8BB-20-FA10	0.80	6.5	48.6	54.1	41.0	158	292	33	578 149	547 547	9.7	4.8	20.0	32.7	38.5	40.8	50.4
7	52.5-8BB-20-FA20	0.90	7.5	45.1	56.4	39.8	158	280	70	549 142	547 547	8.5	4.3	19.2	32.3	37.9	41.6	50.1
8	52.5-8BB-20-FA30	1.05	11.0	41.4	59.2	37.5	158	267	115	506 131	554 554	5.9	3.7	18.8	31.5	37.9	40.1	49.5
9	62.5-8BB-20-FA 0	0.90	3.0	62.5	62.5	44.1	158	253	0	648 168	539 539	8.3	4.8	14.9	26.1	32.7	34.3	40.2
10	62.5-8BB-20-FA10	0.90	4.5	57.9	64.2	43.3	158	246	27	625 162	539 539	10.3	4.9	14.6	25.7	31.8	34.3	41.5
11	62.5-8BB-20-FA20	0.90	5.5	53.6	66.9	42.4	158	236	59	602 156	539 539	9.3	4.6	13.8	25.5	31.6	33.5	41.6
12	62.5-8BB-20-FA30	0.90	7.0	49.4	70.5	41.3	158	224	96	576 149	537 537	9.6	4.6	13.1	23.8	29.4	32.7	43.2
13	55-8N-20-FA 0	0.90	2.5	55.0	55.0	43.7	160	291	0	631 163	535 535	8.1	4.7	25.4	33.5	37.6	38.4	41.6
14	55-8N-20-FA10	0.90	4.0	51.0	56.5	42.7	160	283	31	607 157	535 535	9.9	4.8	23.5	32.0	37.5	39.1	49.1
15	55-8N-20-FA20	0.90	5.0	47.2	59.0	41.7	160	271	68	580 150	533 533	8.2	4.8	22.1	30.7	37.3	41.4	52.0
16	55-8N-20-FA30	0.90	6.0	43.4	62.0	39.4	160	258	111	535 138	541 541	6.9	4.5	21.8	31.8	40.1	42.1	55.1
17	45-18N-20-FA 0	0.90	6.5	45.0	45.0	43.6	183	407	0	576 149	490 490	18.2	4.9	31.1	41.9	44.6	46.5	51.4
18	45-18N-20-FA10	0.90	6.5	41.8	46.4	42.2	183	394	44	545 141	489 489	18.0	4.9	29.7	39.0	43.9	48.0	57.7
19	45-18N-20-FA20	1.20	8.5	38.6	48.3	39.5	183	379	95	493 128	497 497	16.8	5.0	29.2	39.8	45.2	50.1	61.3
20	45-18N-20-FA30	1.60	10.5	35.5	50.8	37.2	183	360	155	448 116	497 497	8.9	4.5	30.8	43.6	48.0	54.0	68.9
21	55-18N-20-FA 0	0.90	4.5	54.8	54.8	46.7	181	330	0	644 167	482 482	18.8	4.6	23.1	31.0	34.9	36.4	40.8
22	55-18N-20-FA10	0.80	6.5	51.0	56.7	45.7	181	319	36	617 160	481 481	18.2	4.7	21.0	29.6	34.4	36.5	46.1
23	55-18N-20-FA20	0.80	6.0	47.1	59.0	44.4	181	307	77	586 152	481 481	17.9	5.0	20.3	29.4	34.1	38.4	48.1
24	55-18N-20-FA30	1.10	8.0	43.3	61.8	41.9	181	293	125	537 139	489 489	16.1	4.5	20.0	28.5	35.3	39.9	51.7
25	65-18N-20-FA 0	0.90	3.0	64.9	64.9	48.8	181	279	0	689 178	474 474	17.9	4.8	16.8	24.3	26.9	28.2	30.9
26	65-18N-20-FA10	0.90	4.5	60.3	67.0	48.0	181	270	30	666 172	474 474	18.4	4.5	15.8	23.1	26.4	29.9	38.3
27	65-18N-20-FA20	0.90	5.5	55.7	69.6	47.0	181	260	65	639 165	474 474	18.3	4.4	15.9	23.7	28.7	32.5	43.0
28	65-18N-20-FA30	0.90	7.0	51.3	73.3	45.8	181	247	106	609 157	474 474	18.7	4.8	15.0	22.5	28.9	32.9	44.1

[配合名]

W/B 系統 -
 スランプ・セメント種 -
 粗骨材最大寸法 -
 FA 配合率

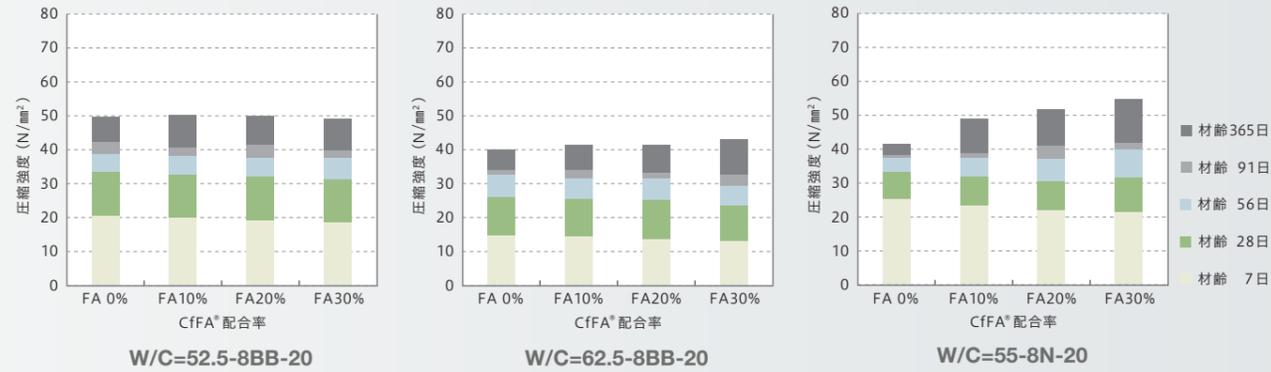
[使用材料]

N : 普通ポルトランドセメント / 太平洋セメント社製 (密度 3.16g/cm³)
 BB : 高炉セメント B 種 / 太平洋セメント社製 (密度 3.04g/cm³)
 細骨材 S1 : 山砂 / 宮城県黒川郡大和町鶴巣産 (密度 2.57 g/cm³、粗粒率 2.69)
 細骨材 S2 : 砕砂 / 宮城県登米市津山町産 (密度 2.66 g/cm³、粗粒率 2.97)
 粗骨材 G1 : 砕石 1505 / 宮城県石巻市湊字葛和田山産 (密度 2.70g/cm³、粗粒率 6.38)
 粗骨材 G2 : 砕石 2010 / 宮城県石巻市湊字葛和田山産 (密度 2.70g/cm³、粗粒率 7.04)
 混和剤 : 高機能AE減水剤フローリックSV10(リグニンスルホン酸塩とポリカルボン酸系化合物)
 AE 剤 : I 種相当品
 FA : CfFA® / 日本製紙石巻工場 (密度 2.15g/cm³)

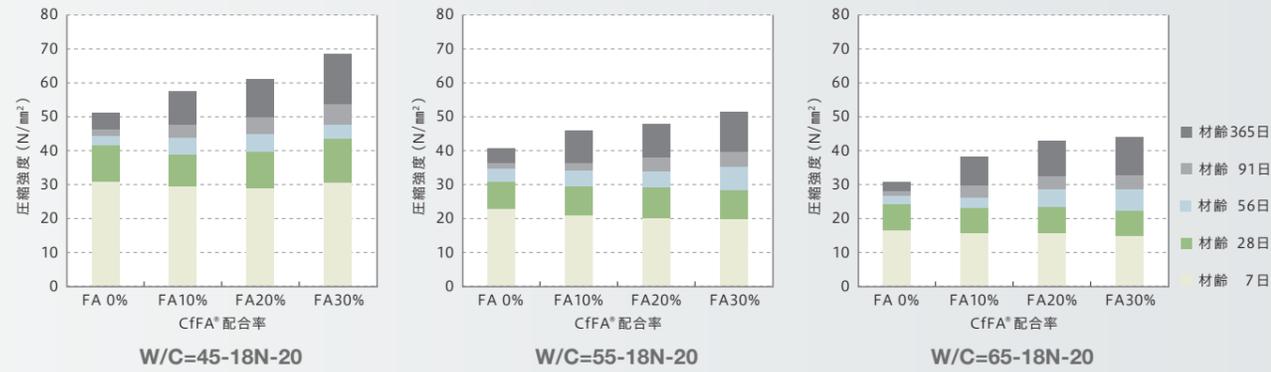
土木配合



土木配合



建築調合



[使用材料]

C：早強ポルトランドセメント / 太平洋セメント社製 (密度 3.14g/cm³)
 FA：CfFA / 日本製紙石巻工場製 (密度 2.22g/cm³)
 細骨材 S1：千葉県君津産山砂 (表乾密度 2.61g/cm³、吸水率 1.95%、粗粒率 2.48)
 細骨材 S2：埼玉県児玉産陸砂 (表乾密度 2.64g/cm³、吸水率 2.11%、粗粒率 2.77)
 粗骨材 G1：東京都青梅産砕石 2013 (表乾密度 2.66g/cm³、吸水率 0.49%)
 粗骨材 G2：東京都青梅産砕石 1305 (表乾密度 2.64g/cm³、吸水率 0.81%)
 混和剤 SP：高性能 AE 減水剤 SF-500S / フローリック社製

No.	圧縮強度 (N/mm ²)						
	材齢 1日	材齢 3日	材齢 5日	材齢 7日	材齢 14日	材齢 28日	材齢 91日
1	15.3	33.7	37.6	39.7	45.7	49.3	50.5
2	11.3	24.1	27.5	29.4	33.3	36.0	35.8
3	10.0	21.4	23.6	26.5	30.6	32.8	32.9
4	17.4	34.5	38.9	41.0	44.6	48.2	54.4
5	18.8	35.5	41.2	41.5	47.6	49.6	57.7
6	12.8	26.1	30.1	32.0	36.5	40.6	43.9
7	11.4	23.1	26.7	26.8	30.3	33.2	37.2

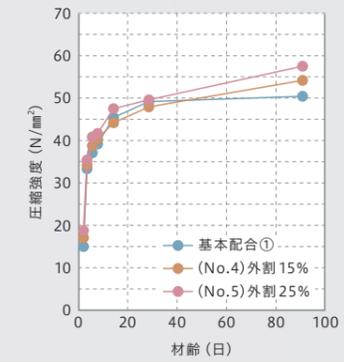


図-1: W/C=47% のときの強度発現の傾向

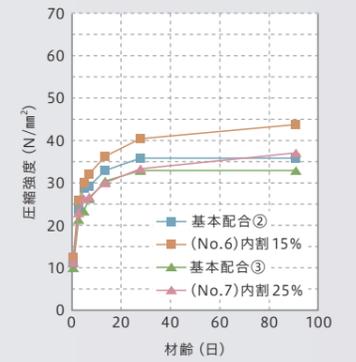


図-2: 同 W/C での強度発現の傾向

- 圧縮強度の発現の傾向は、特に若材齢では W/C に支配される。
- ポゾラン反応が開始していると考えられる 91 日材齢では基本配合よりも圧縮強度は高くなった。

2 | 塩分浸透

[試験方法]

φ100×200mm 円柱供試体を作製し材齢 28 日まで 20℃ 水中養生を行った。その後、供試体の上部と下部をそれぞれ 25mm カットし、打ち込み側の円形一面を残しエポキシ樹脂で被覆した試験体を作製した。試験体を 20℃、濃度 10% 塩化ナトリウム水溶液に浸漬させた。所定の期間の浸漬後、試験体を割裂し、割裂面に 1/10N 硝酸銀水溶液を噴霧し、呈色の測定を行い塩分浸透深さとした。

No.	浸透深さ (mm)	浸漬期間 (月)			
		3	6	9	12
1	基準配合①	16.4	27.8	27.5	29.1
2	基本配合②	25.0	33.4	41.8	40.9
3	基本配合③	29.4	42.5	49.9	56.4
4	外割 15%	13.1	18.6	20.0	20.4
5	外割 25%	12.0	17.5	16.3	16.2
6	内割 15%	16.7	24.7	25.5	22.7
7	内割 25%	17.2	23.7	23.9	23.8

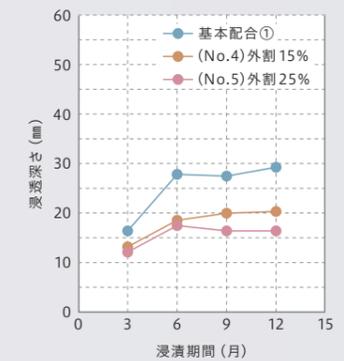


図-3: W/C=47% のときの塩分浸透深さ

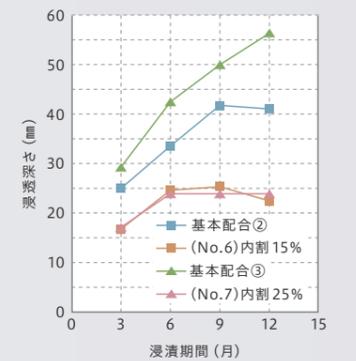


図-4: 同 W/C での塩分浸透深さ

- CfFA を配合することで、塩分浸透を抑制されることが確認された。

09 早強ポルトランドセメントに CfFA を配合したときの圧縮強度と塩分浸透

1 | 圧縮強度の発現傾向

[配合]

呼び強度 40N に割増係数を乗じた配合強度 48.4N/mm² (材齢 28 日) を目標の圧縮強度として、基本配合①の水セメント比を 47% と設定した。

No.	種別	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							化学混和剤添加率 ^{※2}		フレッシュ性状		
					C	FA	W	S1	S2	G1	G2	PS	AE	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
1	基準配合①	47.0	47.0	49.0	362	0	168	431	436	456	453	0.70	0.008	17.5	4.9	23
2	基本配合②	55.2	55.2	50.3	308	0	168	454	459	456	453	0.60	0.007	14.5	5.9	22
3	基本配合③	62.7	62.7	50.1	271	0	168	468	474	456	453	0.85	0.004	17.5	5.6	22
4	外割 15%	47.0	40.9	47.2	362	54	168	431	404	456	453	0.70	0.010	17.5	6.0	23
5	外割 25%	47.0	37.5	45.8	362	91	168	431	383	456	453	0.70	0.010	16.5	5.5	23
6	内割 15%	55.2	47.0	49.0	308	54	168	454	436	456	453	0.55	0.006	17.0	5.1	22
7	内割 25%	62.7	47.0	49.0	271	91	168	468	436	456	434	0.50	0.006	16.5	5.5	23

データ提供 (株)フローリック

CfFA

CfFAのコンクリートへの利用に関する研究会

研究会代表：
 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 教授
 東北大学大学院工学研究科インフラマネジメント研究センター長
 久田 真

研究会 WEB サイト
<https://cffa-research-society.org/>



石炭火力発電施設から排出されるフライアッシュをコンクリート材料として使いこなすことは、これまで現場サイドの一つの課題でありました。そのため、設備や現場技術あるいは薬品による「改善」が試みられてきましたが、現状のフライアッシュの普及状況をみれば、「普通・容易」に使いこなすまでには至っていない状況と言わざるを得ません。

天然素材の石炭を燃やした後の灰（フライアッシュ）は副産物であり、完全な品質の均一性を求めることは極めて困難です。それでも、ある一定の品質が保たれ、安定供給されるのであれば、フライアッシュの使いこなしは容易になるものと考えられます。このような考え方にに基づき、日本製紙株式会社石巻工場では、2016年1月から工場内で排出されるフライアッシュを加熱改質して未燃カーボンを1%以下に除去し、コンクリート材料として容易に使いこなせる加熱改質フライアッシュ CfFA(Carbon-free Fly Ash)の製造を開始しました。このことは、排出時点からフライアッシュを“使いこなし”、普及を推進するための新たな「改善」が始まったこととなります。

役員名簿

代表	久田 真	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻・教授
副代表	佐藤 嘉昭	大分大学・名誉教授
副代表	杉山 隆文	北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門・教授
副代表	伊達 重之	東海大学工学部土木工学科・教授
副代表	徳重 英信	秋田大学大学院理工学研究科システムデザイン工学専攻・教授
企画委員会委員長	徳重 英信	秋田大学大学院理工学研究科システムデザイン工学専攻・教授
企画委員会副委員長	根本 浩史	清水建設株式会社土木技術本部基盤技術部コンクリートグループ・リーダー
技術委員会委員長	新田 裕之	東栄コンクリート工業株式会社・代表取締役
技術委員会副委員長	磯上 秀一	株式会社磯上商事・代表取締役
技術委員会副委員長	伊達 重之	東海大学工学部土木工学科・教授
顧問	三浦 尚	東北大学・名誉教授

今日の日本では、橋梁や道路、トンネルなどの老朽化対策ならびに今後の日本の持続可能なインフラ整備のあり方に関する議論が活発に行われております。プレキャスト・コンクリート(PCa)製品は、熟練工不足の解消や建設工事の更なる生産性向上などの必要性からその役割は非常に大きくなりつつあります。また、レディミクスト・コンクリートについても、安全で安心なインフラ整備の実現のためには、塩害や凍害、アルカリシリカ反応性などの多岐に渡る劣化損傷に対して抵抗性を有する高い品質のコンクリートが要求されるようになっております。そして、これらの要求に対してフライアッシュが適した材料であることは良く知られています。

本研究会では、CfFAを用いてフライアッシュを使いこなし、より一層の高品質なコンクリートの利用普及を推進するとともに、建設工事の生産性向上や利用者の「安全・安心」に資する長寿命なインフラ整備の実現に貢献したいと考えております。

本研究会は、具体的活動としてワーキンググループ(WG)でのマニュアル作成があります。本研究会の前身である「CfFAのPCa製品への利用に関する研究会」において、2018年3月に『CfFAコンクリートを用いたPCa製品の製造マニュアル』を発刊致しました。その後、現在の体制となった第I期(2018年度～2019年度)の活動として「CfFAコンクリートの製造施工マニュアル」を2019年10月に発刊致しました。2020年度から第II期の活動として、前マニュアルのブラッシュアップや新しい知見の習得を目指して活動を行っています。WGへ参加される委員の皆様には、CfFAの諸物性を含め種々のデータを把握して頂き、また、新たなチャレンジを通じて、委員相互の情報共有や意見交換を通じ、業界の中でも幅広いコネクションを作って頂く契機にして頂きたいと考えております。そして、本マニュアルを通じて、コンクリート材料としてフライアッシュやCfFAが世に広く認知され、普及していくことを切に願っております。

研究会会員企業・団体

■ プレキャストコンクリートメーカー

- ・川田建設株式会社
- ・希久多工業株式会社
- ・共和コンクリート工業株式会社
- ・工藤コンクリート株式会社
- ・昭和コンクリート工業株式会社
- ・石菱コンクリート株式会社
- ・東栄コンクリート工業株式会社
- ・株式会社東北ヤマックス
- ・永井コンクリート工業株式会社
- ・中川ヒューム管工業株式会社
- ・株式会社ホクエツ
- ・前田製管株式会社
- ・丸栄コンクリート工業株式会社
- ・株式会社丸万コンクリート
- ・株式会社ヤマウ
- ・横江コンクリート株式会社

■ レディミクストコンクリート

- ・株式会社磯上商事
- ・株式会社高野コンクリート
- ・株式会社平成生コンクリート
- ・株式会社丸吉奥山組
- ・石巻地区生コンクリート協同組合
- ・いわき地区生コンクリート協同組合

■ セメント

- ・宇部三菱セメント株式会社
- ・住友大阪セメント株式会社
- ・太平洋セメント株式会社
- ・株式会社トクヤマ

■ ゼネコン

- ・株式会社安藤・間
- ・株式会社奥村組
- ・鹿島建設株式会社
- ・株式会社熊谷組
- ・清水建設株式会社
- ・大成建設株式会社
- ・西松建設株式会社
- ・日本国土開発株式会社
- ・日本製紙石巻テクノ株式会社

■ 化学混和剤メーカー

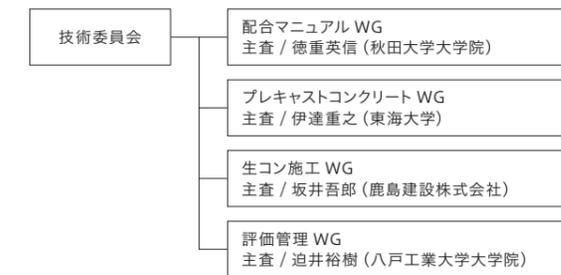
- ・GCPケミカルズ株式会社
- ・花王株式会社
- ・竹本油脂株式会社
- ・株式会社フローリック
- ・ポゾリスソリューションズ株式会社

■ CfFA製造・販売

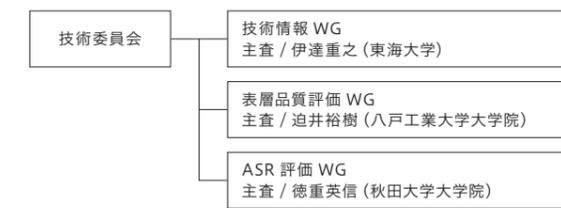
- ・日本製紙株式会社
- ・日本製紙 MFA 東北有限責任事業組合

CfFA Research Society

第I期(2018～2019年度)



第II期(2020年度～)



新しい環境づくりをめざして
東栄コンクリート工業株式会社



本社工場

〒990-2345
 山形県山形市富神台19番地
 TEL 023-643-1144
 FAX 023-645-5396
<http://www.toeicon.co.jp/>



代表取締役 新田 裕之



弊社では、現在、一部の製品に毎日 CfFA (加熱改質フライアッシュ) を混入していますが、未燃カーボンの量が非常に少ないため空気が安定しています。高流動コンクリートにも使用しており、一部の特殊製品では脱型時強度が大きく出ています。ポゾラン反応が進んでいない状況での現象なので、充填効果によるものではないかと推測していますが、副次的な効果も得られています。

弊社もこれまで山形県内で産出されるフライアッシュを使ったコンクリート製品の開発に取り組んだ経緯があります。しかしながら、非 JIS 灰のフライアッシュを使って欲しいとの要望には様々な問題があり、苦労の連続でなかなか上手く行きませんでした。ひとつは寒冷地であるため AE コンクリート仕様が絶対条件なのですが、ロット毎に未燃カーボンの量がばらつくため、空気量のコントロールがとても難しいという問題がありました。また、未燃カーボンの含有量が多い場合には製品の表面に黒ずみとなって現れることも大きな問題となりました。この問題を解決

するため様々な試行錯誤を行いました。良いアイデアが浮かばず苦慮しておりました。そこにプレフォームをミキサーに入れるという手法に出会いました。プレフォームを作る機械の設備導入も行いましたが、今度はフライアッシュの品質が年々悪化の一途を辿り、とてもコンクリート用として使えるレベルでなくなりました。そういったことを経験したためか私の頭の中からは「フライアッシュ」という文字は消えかかっていた。やはり、未燃カーボンの量が安定しない限り、空気量をコントロールするのは不可能で品質管理上とても無理であるとの結論に至り、フライアッシュには全く興味が無くなっておりました。

そうした折りに2015年にCfFAとの出会いがありました。JIS A 6201Ⅱ種に適合し、かつ加熱改質処理によって未燃カーボンの量が1%以下に均質化されている魔法のようなフライアッシュとの出会いであります。これによって、フライアッシュの弱点であった空気量の安定化と黒ずみが解決できます。

改めてフライアッシュには様々な効能があり、材料と

して使いこなすことができれば、塩害や凍害、アルカリシリカ反応などの多岐に渡る劣化現象に対して抵抗性を有する高品質なコンクリートを製造することが可能となります。また、粉体として活用することで高流動コンクリートの製造も可能であります。

昨今の骨材事情には大変に厳しいものがあり、良質の骨材が枯渇してきており、JIS規格による判定で「無害」と判定されるものの「無害でない」領域に限りなく近い骨材が多く存在しています。また、モルタルバー法の試験では26週の膨張率が0.10%未満のものが「無害」とされていますが、12週での膨張率が0.03%を下回っているような骨材であっても、26週目に0.10%近くまで急激に膨張する骨材もあります。

したがって、JR東日本では独自の判定方法基準を決めています。膨張率が26週で0.05%未満の骨材を「E無害」、0.05%以上～0.10%未満かつ13週から26週までの膨張の増加割合が8週から13週までの膨張の増加割合に対し小さい骨材を「準有害」、26週で0.10%以上、もしくは膨張率が26週で0.05%以上～0.10%未満であっても13週から26週までの膨張の増加割合が8週から13週までの増加割合に対し大きい骨材を「E有害」と区分しております。大変厳しい基準なので、通常の骨材ではなかなかクリアできない状況にあります。当然、弊社もJR東日本様様の案件を作らせて頂いておりますのでCfFAを混入し混合セメントとしての配合により基準を満足できる対策を講じております。

このように、骨材事情がこれまでと違って非常に厳しくなっている状況を考慮すれば、フライアッシュの活用はアルカリシリカ反応の抑制対策を含め非常に効果的であります。

弊社の本社工場（山形市）では以前よりCfFA受入用サイロにローリーにて荷受けしCfFAを活用してきました。この度、神町工場にもCfFA専用の受入サイロを新設し、2工場で常時CfFAを使用できる体制を整えました。また、橋脚用埋設型枠パネル製作の工場には予備のサイロ設備がありませんので袋詰めにしたCfFAを荷受けし全ての工場でフライアッシュコンクリートが製造できる体制を整えております。

また、現在弊社では、2015年9月に国連で開かれたサミットの中で世界のリーダーによって決められた、国際社会共通の目標である「SDGs(Sustainable Development Goals) 持続可能な開発目標」に取り組んでおります。

2030年までの長期的な開発の指針として、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択されました。弊社も少しでも持続可能な社会を作るためにCfFAの活用を通して社会に貢献できればと考えております。



東栄コンクリート工業(株)は「SDGs」に取り組んでおります

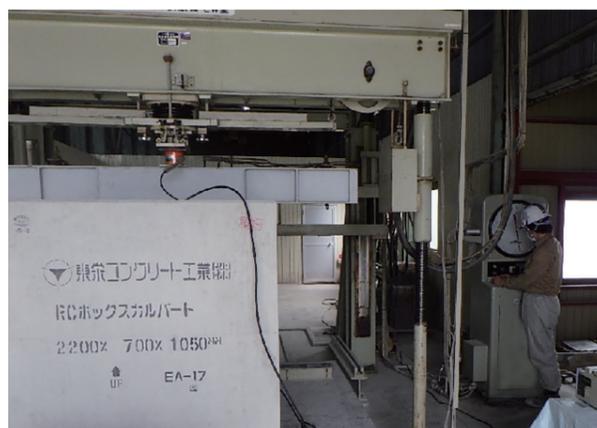


写真-1: ボックスカルバート製品検査 (JR 東日本)

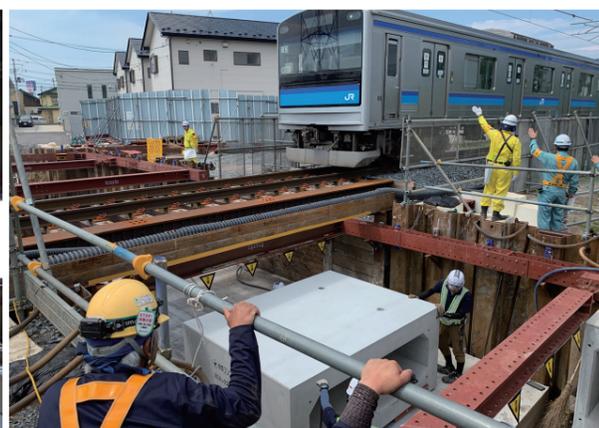


写真-2: ボックスカルバート設置工事



写真-3: L型側溝 (LS3)



本社工場



神町工場

写真-4: CfFA専用サイロ

川田建設株式会社



那須工場 堀池一男



那須工場

〒324-0037
 栃木県大田原市上石上1848
 野崎第二工業団地
 TEL 0287-29-2711
 FAX 0287-29-3638
<http://www.kawadaken.co.jp/>



(1) 那須工場の紹介

川田建設(株) 那須工場は、栃木県大田原市にあるプレキャストコンクリート製品工場です(表-1)。当工場の生産品目は、橋梁部材、鉄道、地下貯水槽などの土木製品と、超高層ビルやスタジアムなどの建築製品であり、これらの製品を東北・関東・北陸・中部地方に供給しています。当工場では、橋梁部材のJIS認証と建築用プレキャスト部材の品質認定(N認定・H認定)を取得しております。とくに、圧縮強度120N/mm²の超高強度コンクリートを用いた建築製品を提供できるという強みがあります。

(2) CfFA コンクリートの導入

プレストレストコンクリート(PC) 橋は耐久性の高い構造物ですが、凍結防止剤散布地域でさらなる品質耐久性の向上が求められることがあります。当工場では、CfFA コンクリートを用いることで、塩害、凍害、アルカリシリカ反応(ASR)に強いプレキャスト PC 部材を2015年に開発しました。

CfFA コンクリートを用いたプレキャスト PC 部材の開発に際しては、コンクリートの耐久性に関する各種の検証実験を実施しました。その結果、CfFA を早強ポルトランドセメントの外割12~20%、水結合材比を30~40%程度としたCfFA コンクリートは、以下の特長が確認されました。

- ① 塩化物イオン浸透に対しては、早強コンクリートに比べ1/4以下の拡散係数となる(図-1、表-2)。
- ② 凍結融解に対しては、空気量4.5%のAEコンクリートとすることで、十分な凍結融解抵抗性を有する(表-3)。

表-1: 川田建設(株) 那須工場の概要

工場名	川田建設株式会社 那須工場
所在地	栃木県大田原市上石上1848番地 野崎第2工場団地内
工場規模	敷地面積: 88,440m ² 建築面積: 7,467m ² 製品ストックヤード: 16,350m ²
生産能力	土木製品: 年間 35,000t (14,000m ³) 建築製品: 年間 30,000t (12,000m ³) 年間計: 65,000t (26,000m ³)
生産品目	橋梁 JIS 製品 (JIS A 5373)、建築製品、その他
JIS 認証	JIS A 5373: 認証番号 TC0308121
PC部材品質認定	N認定: 認定番号 JPA-NJ2004 (Fc=60N/mm ² 以下) H認定: 認定番号 JPA-HJ2004 (Fc=70~120N/mm ²)
ISO	ISO9001、ISO14001、OHSAS18001

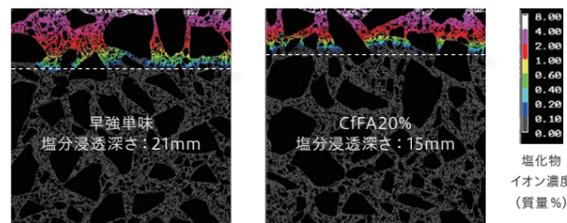


図-1: EPMA 面分析結果の例 (10%NaCl 水溶液浸せき1年)

表-2: 拡散係数算出結果

配合	拡散係数 (cm ² /年)
早強単味	0.60
CfFA 12%	0.15
CfFA 20%	0.05

注) CfFA 12%とCfFA 20%の拡散係数は浸せき6か月以前を早強単味と同じ拡散係数として6か月以降の拡散係数を差分法により求めた。

表-3: 凍結融解試験結果

配合	相対動弾性係数
CfFA 20%	100%

注) JIS A 1148 A 法(水中凍結水中融解)300サイクルを実施し、試験体の動弾性係数を測定した。

- ③ ASR に対しては、CfFA を単位セメント量の外割20% (内割16.7%) とすることで、十分な ASR 抑制効果が得られる(表-4)。

(3) CfFA を用いたプレキャスト PC 部材の適用

CfFA を用いたプレキャスト PC 部材は2015年度に栃木県より発注された行屋橋に初採用されました(写真-1、2)。本橋は栃木県那須町に架設された支間長24.0mのプレテンション方式PC単純T桁橋で、プレキャストPC桁にCfFA コンクリートが適用されました。また、実物大の試験桁を作製し、曲げ載荷試験を実施することで構造上の安全性を確認しました(図-2)。なお、現在までに3橋の実績があり(表-5)、いずれも凍結防止剤散布地域に適用されております。

(4) おわりに

近年、コンクリート構造物のアルカリシリカ反応などの劣化問題は減少しているものの、依然として劣化が顕在化した事例も報告されています。コンクリートは建設材料として大量に使用されており維持管理の重要性が認識されています。今後、コンクリート構造物の長寿命化や環境負荷低減、耐久性向上を図ることが必要となります。これらの諸観点からフライアッシュがコンクリート用混和材として多く活用されることを期待します。

表-4: ASR 促進試験結果

配合	膨張率
早強単味	1.0% 以上
CfFA 20%	0.0%

注) 反応性骨材を使用したコンクリート試験体を作製し、デンマーク法(50°Cの飽和 NaCl 水溶液に91日浸せき)による促進試験を実施した。

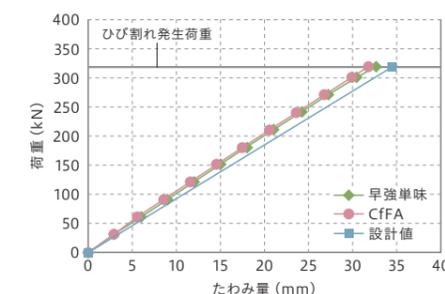


図-2: 曲げ載荷試験の結果

表-5: CfFA を用いたプレキャスト PC 部材の実績

橋梁名	発注者	CfFA 置換率	完成年度
行屋橋*	栃木県	12% (外割)	2016
登米沢橋**	東北地整	20% (外割)	2019
掛田橋**	東北地整	20% (外割)	施工中

* (株)ゼロテクノ四国(現:住友共同電力(株))製のCfFA

** 日本製紙(株)製のCfFA



写真-1: CfFA プレキャスト PC 桁の製作状況



写真-2: 行屋橋の完成状況

CfFA

株式会社 磯上商事



いわきレミコン工場

〒971-8125
 福島県いわき市
 小名浜島字館下17
 TEL 0246-58-7522
 FAX 0246-58-5496
<http://www.isogami.co.jp>



代表取締役 磯上 秀一



弊社はいわき地区生コンクリート協同組合の組合員としていわき地区に生コンを供給しています。いわきレミコン工場（いわき市小名浜）と大利工場（いわき市好間）の2工場体制で、両工場で2018年1月にCfFA配合生コンクリートのJIS認証を取得しました。

弊社のCfFAとの出会いは参加した研修会でたまたま目にした記事を見たことでした。福島県浜通り地方には火力発電所が多くあり、大量の石炭灰が排出されています。昔から石炭灰のフライアッシュ（以下、FA）はコンクリート材料として非常に優れていることが判っている訳ですから、当然、それらをコンクリート材料として利用することを検討した経緯があります。しかし、どうしても強熱減量（未燃カーボン）のバラツキが生コンクリート中の空気量に影響を与え、制御することができませんでした。幾度かJIS認証を受けようとチャレンジしましたが難しい結果となっていました。

CfFAは未燃カーボンを燃焼除去したFAですが、それを工業的に製品化したFAはこれまでに無かったものになります。さっそくサンプルを取り寄せ、試験した

ところ、空気量変動がほとんど起きませんでした。つまりはFAの唯一の弱点が克服されたことになり、あとは耐塩性、アルカリシリカ反応（ASR）抑制効果、美麗性の向上、流動性の向上などFAの利点の良いところ取りが可能になります。ハンドリングもセメントなどの通常の材料と比較しても何ら遜色なく、ほとんど手のかからない材料です。多少大袈裟かもしれませんが、昔からFAを知っている者にとっては信じられない品質のFAです。

品質の良い生コンクリートを出荷することは生コン会社に課せられた使命だと考えます。弊社はその手段の一つとしてFAの使用を選択したと言うことです。コンクリートは社会インフラの根幹となる材料ですが、社会インフラの整備には膨大な税金が投入されています。コンクリートの寿命は40～50年と言われていますが、そんな期間で更新を行えば、我々の子孫に多大な税金負担を課すことになります。そう言った悪循環は避けなければなりません。そのためには永く耐久性のあるコンクリートが必要で、トータルとして見たときのライフサイクルコストの低減に努力すべきと考えます。

ただし、良いモノを作るには製造費がアップします。混和材用のサイロが無ければ設備投資を行ってCfFA受入のためのサイロ新設が必要になります。設備投資を行わず、旧態依然の状態でも利潤を求める経営方針も“有り”なのかもしれません。特にこの業界は管理手法が古く、旧態依然を好む傾向にあり、新しいことへのチャレンジ意欲に乏しい感があります。しかし、製造費アップや設備投資は経営方針に則して、どれだけ許容できるかどうかの判断であって、弊社はその使命と管理のための労力を考えれば投資をした方が早いと考えました。このチャレンジは業界に先駆けてのことかもしれませんが、これからの労働人口の減少の時代において、このようなチャレンジを避けては若い人たちに見向きもされない業界や企業になってしまいます。また、東北地方には骨材事情が悪くASR抑制対策が必要な地域がたくさんあります。FAはASRの“特効薬”になり得る訳ですから弊社に続いてCfFAの採用にチャレンジする企業がたくさん出てくることを期待しています。そのために弊社が既に蓄積した技術を開示することに何ら躊躇はありません。

さて、弊社は2020年2月に戸建住宅における鉄筋コンクリート（RC）の魅力一般市民に広く認知してもらうために、CfFAを使って100年設計とした試作棟をいわき市に建築致しました。現在、RC造比率は戸建住宅で30%以下と低い比率です。しかし、東日本大震災や西日本豪雨などの激甚災害ではRC造の堅牢さや耐久性が際立ったことも事実であり、その優位性も認知されつつあります。しかし、RC造は木造に比べて建設

費が高い、工期が長い、メンテナンス費用が高いなどの課題がありました。そこで、CfFAを使用した上で、ひび割れの入りにくい配合設計でメンテナンス費用の低減を図るとともに、FAによる生コンクリートのワーカビリティ向上によって打設時間の短縮を目指しました。そして、実際に試験棟は約3ヶ月の短工期で竣工することができました。CfFAを使用することで従来のRC造の課題を克服した試験棟や擁壁をたくさんの方に見学頂きたいと思っております。なお、弊社は、ワーカビリティについて加振変形試験機を用いて定量評価を行いました（写真-3～5）。その結果、CfFAの置換率が大きくなるにつれてスランブフローも大きくなること示されました（図-1）。

最後に、弊社は「CfFA」が今後の生コンクリートの品質要求・品質改善に対して色々な可能性を持っていること」を確認しましたが、更なる目標を新たに立てCfFAの性能を検証しつつ実用化を進めていく方針です。『打つ手の無限』を合言葉に。

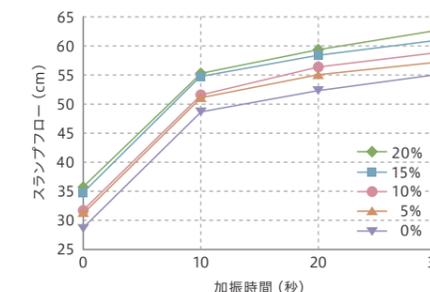


図-1: 加振時間とスランブフロー



写真-1: 建築試験棟 40-18-20N(CfFA 内割換算 15%配合)



写真-2: 土庫擁壁 27-18-20N(CfFA 内割換算 30%配合)



写真-3: 加振変形試験機

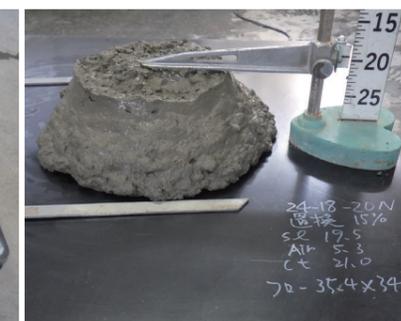


写真-4: 加振前



写真-5: 30秒加振後

CfFA

丸吉奥山組



〒994-0075
山形県天童市大字蔵増乙
1420番地
TEL 023-653-5651
FAX 023-653-5530
http://www.marukichi.jp/



レミコン部 副工場長 丸子 祐二

CfFA専用サイロ

(1) 背景

弊社は、1901年に創業した総合建設業であり、地元天童市を中心に山形県内各地の道路工事や砂防ダムなどの土木工事および学校や個人住宅の建築工事など公共と民間を問わず請け負っております。そして、1968年に生コンプラントを開設し、現在、山形中央生コンクリート協同組合の組合員として山形県村山地方を中心に生コンの供給も行っています。

さて、弊社は創業120年を越えましたが、企業として当然ながらこの先の事業継続性を考える必要があります。事業環境としては、昨今、我が国ではインフラ維持管理に関する取り組みが大きく変化し新たなステージが見据えられている印象があります。また、世界に目を向ければ国連でSDGs(持続可能な開発目標)が策定され、持続可能な経済・社会づくりのために具体的に17の目標が掲げられました。地方の建設業・生コン業者と言えども、事業環境の変化への対応、および世界や我が国が考える持続可能な経済や社会づくりに即応して行くことが求められていると考えています。そこで、SDGsの17の目標から「つくる責任、つかう責任(Goal 12)」と「気候変動に具体的な対策を(Goal 13)」を弊社の事業に組み込むことに致しました。



(株)丸吉奥山組は持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています

(2) フライアッシュコンクリート

その目標に対する具体的な取り組みを検討した結果、フライアッシュを配合した生コンクリートを標準化し、社会に提供していくことに思い当たりました。すなわち、高耐久化と長寿命化、そして環境負荷低減を同時に満足する生コンクリートを提供したいと考えました(詳細は後述)。同時に、現在、国土交通省が推進しているi-Constructionの重点項目の一つにコンクリート建造の生産性向上が謳われており、土木公共工事を多く受注している弊社としてもその取り組みが必要と考えていました。そうした中で、フライアッシュを利用し高流動化・省力化・高耐久化・高品質化(長寿命化)となる生コンの確立を目指すことは理に叶っていると考えております。一方、コンクリートの材料としてのフライアッシュは品質が安定せず、実用化するにしても高いハードルを覚悟するところでしたが、タイミングよくCfFAに出会うことができました。そして、CfFAを配合した生コンクリートの製品設計はISO9001:14001を参考とし、配合設計、品質検証、製造プラントのシステム変更など約1年にわたって準備を重ねました。さらに、プラントでのCfFAの受入用として50tの専用サイロも新設しました。その結果、2020年3月末に山形県初となるフライアッシュコンクリートのJIS認証を取得し、同年4月よりCfFAを配合した生コンクリート(以下FAコンと略す)の提供が可能となりました(表-1)。ここまで辿り着けたのはCfFAが強熱減量の増減による空気量変動のリスクを回避できることが一番の決め手でした。

(3) FAコン標準化の理由

① 品質面:

i. 天然骨材の枯渇や採取規制

近年、生コンクリート製造にあたり、主要材料

である天然骨材資源の採取規制が全国的に広がり、粒形・密度・吸水率等品質に優れた骨材が使用できず、コンクリートの充填性低下・単位水量増加による材料分離・有害ひび割れ発生が懸念されています。

ii. 単独・複合劣化の問題

現在、建設後50年を過ぎた社会資本インフラの増加により事後保全から予防保全への転換が進められています。そして、山形県では、コンクリート構造物の劣化として、凍害・塩害・ASR(アルカリシリカ反応)が挙げられます。これらの劣化は、単独もしくは複合的に起こりますが、複合的な場合は劣化速度も速く、また、その損傷の程度も大きいとされています。例えば、橋梁は冬期間の凍結防止剤の散布によるASRが深刻化しています。凍結防止剤の主成分は塩であり、溶解することでナトリウムイオンとなり、アルカリ分としてコンクリートに供給されることで無害骨材と判定された骨材でも後にASRを引き起こすことがあるとされています。

従って、今後JIS製品を製造するにあたり、その要求事項を満足するが、構造物が置かれる環境や立地条件を考慮し長期耐久性を確保するための複合的な対策(多重防護設計)が必要と考えます。設計時に単独因子による劣化に対してのみ考慮された防護措置では、複合因子による劣化が起きた場合には設計と実構造物の品質乖離が大きくなり早期劣化が顕著になります。多重防護の観点から、ASR抑制に大きな効果のあ

るフライアッシュの使用は予防保全に大きな寄与があるものと考えています。

② 環境面

コンクリート製造は、電気・燃料・材料等から地球温暖化の原因となるCO₂を大量に排出し、多大な環境負荷をかけています。一般的にコンクリート1m³当たり250~300kg程度のCO₂が排出されるとされており、JISや仕様書での環境配慮の規制は特になく、いわゆる『出しっぱなし』状態が現状です。

フライアッシュはCO₂排出量が少ない材料でありセメント代替えによるCO₂削減や資源の循環利用にもなり環境面で良い材料と判断します。そして、FAコンは同時に高耐久化、長寿命化が図られるため、ライフサイクルコストの低減にも繋がり環境保全や持続可能な社会に貢献するものと考えます。

(4) 未来に残すコンクリート

今後、弊社はSDGsの推進も含め以下の4点を進めていくことにしています。① CfFAの多様な配合の検討、② 耐久性データの蓄積、③ 表層品質の更なる向上、④ ゼロカーボンコンクリートへの挑戦。これらを推進し、継続的に技術向上に努めることで、未来に残すことが可能なコンクリートを提供できるものと信じています。

最後に、丸吉奥山組は、今後CfFAの更なる普及と持続可能な社会の実現に貢献し、時代の変化に対応できる持続可能な企業を目指していきたいと思ひます。

表-1: FAコンクリートJIS認証製品(CfFA配合製品)

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スラブまたはスランプフロー(cm)	呼び強度(N/mm ²)														
			18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	55	60		
普通コンクリート (普通ポルトランドセメントまたは高炉セメントB種)	20	8、10、12、15、18	○	○	○	○	○	○	○	○							
		45					○	○	○	○	○	○					
		50						○	○	○	○	○					
		55															
	60																
	40	5、8、10、12、15	○	○	○	○	○										



桜川橋りょう

〒162-8557
東京都新宿区津久戸町 2-1
TEL : 03-3235-8646
FAX : 03-3266-8525
https://www.kumagaigumi.co.jp



東北支店 武田 隆

東日本大震災により甚大な被害を受けて、BRT(Bus Rapid Transit) 専用道として整備が進められている JR 気仙沼線において、レベル1津波対応として 6.4m 嵩上げされる堤防整備に伴って改築された桜川橋りょうに CfFA を混和したコンクリートを適用しました。桜川橋りょうは橋長 74m、橋幅 6.0m、ライズ 7.0m の PRC ランガー桁(下路橋形式)で改築されました(図-1)。

早期強度の確保とアルカリシリカ反応(ASR)抑制対策が必要になった橋りょう上部工の場所打ちコンクリートに、普通ポルトランドセメントに CfFA を混和したコンクリートを適用するにあたって実施した種々の検討結果をまとめて示します。

コンクリートの配合条件(設計条件)を表-1に示します。これに加えて、現場条件として、骨材の ASR 対策を行い、かつ、材齢 9日での PC 緊張を目標として配合を検討しました。

コンクリート打設時期の日平均気温(10~11月、10~15℃)と現地生コン工場の配合から、PC 緊張に必要な圧縮強度 34N/mm²が発現する材齢を予測した結果、材齢 9日 で PC 緊張を行うためには呼び強度 45

以上の配合にする必要がありました。

設計条件においてセメントの種類として高炉セメント B 種が規定されていましたが、強度発現に有利な普通ポルトランドセメントをベースに ASR 抑制に効果のある CfFA を使用することとしました。生コン工場との協議で CfFA 専用サイロの確保が困難であったことから、水溶紙で梱包した CfFA を直接ミキサに投入して混練することとしました。また、単位水量の上限値 175kg/m³ から水量の低減を図ることについて検討を行いました。

普通ポルトランドセメントに対して質量比 15% の CfFA を混和したコンクリートについて試験練りを実施して水結合材比と圧縮強度の関係を求めた結果、PC 緊張時の目標強度 42.5N/mm² を確保するために必要な水結合材比は 33.1% となりました。

水溶紙は、不溶性繊維であるパルプ(セルローズ)の間をカルボキシメチルセルローズ(CMC)で繋ぎとめた紙で、水により CMC が分散しパルプがバラバラになる原理を利用しています。水溶紙の CMC が水に分散するためにコンクリートのフレッシュ性状が変化することが予想されたことから、水溶紙の分散に必要な水量を把握

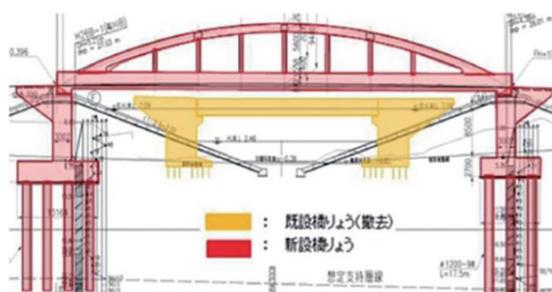


図-1: 桜川橋りょう改築概要

表-1: コンクリートの配合条件(設計条件)

部材名	打設量	スラブ or スラブフロー	備考
補剛桁	538.7m ³	12±2.5cm	合成短繊維補強455g/m ³
アーチ・横継材	162.5m ³		
鉛直材	12.5m ³	60±10cm	ノンブリーディング型高流動コンクリート、鋼管に充填
共通事項	・設計基準強度 f'ck=40N/mm ² ・PC 緊張時の圧縮強度 34N/mm ² (f'ck×0.85) ・セメントの種類: 普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種 ・空気量 4.5±1.5%、粗骨材最大寸法 20mm ・W/C 50%以下、単位水量 175kg/m ³ 以下		

して、フレッシュ時の性状確保に必要な最小単位水量を決定するために、水溶紙の種類と量を変えて試験練りを実施しました。また、袋試作品についての検討結果から実際に製袋で使用する水溶紙の使用量を決めて、コンクリートの配合を決定しました(表-2)。

補剛桁の打込みでは、CfFA77.3kg/m³を混和しつつ 538.7m³のコンクリートを製造することから、効率化のために以下の対策を実施しました。

- (1) CfFA をプラント混練単位 2m³(1バッチ)ごとに7袋(22.08kg/袋)投入するように梱包し、人力投入しやすい重量に設定しました。
- (2) CfFA の投入箇所をプラント内の砂計量器放出シュートとしました。ここにアクセスするために、プラント外部に足場を組立て、CfFA の荷揚げ場所としてステージを構築しました(写真-1)。足場上にはローラーコンベアーを設置し、効率よく運搬する設備を整えました。

製造時には投入箇所に専任担当者を配置して投入管理を行い、問題なくコンクリートの製造を完了しました。実施工では、現場養生供試体を用いて材齢 9日 で PC 緊張に必要な圧縮強度が得られていることを確認し、予定工程通りに工事を進めることができました。

CfFA を使用することにより安定的に高品質なコンクリートを確保することができ、積極的に使用していくことによって、コンクリートの長寿命化や資源の再利用に伴う環境負荷低減に貢献できるものと考えられます。



写真-1: CfFA 投入設備

表-2: 決定配合

部材名	W/C %	W/(C+F) %	細骨材率 %	配合表 (kg/m ³)						水溶紙の有無	備考
				セメント N	混和材 CfFA	水 W	骨材の種類		SP		
							細	粗			
補剛桁	38.8	33.0	37.5	438	77.3	170	595	1,025	4.635	有	
アーチ・横継材	38.8	33.0	37.5	438	77.3	170	595	1,025	5.408	有	合成短繊維補強455g/m ³
鉛直材	40.0	34.0	47.9	435	76.8	174	756	850	9.472	無	ノンブリーディング型高流動



技術研究所 齋藤 隆弘



大沢水門全景（岩手県下閉伊郡山田町）

技術研究所
〒300-2612
茨城県つくば市大砂 387
TEL：029-865-1521
FAX：029-865-1522
https://www.okumuragumi.co.jp



岩手県下閉伊郡山田町にある大沢川水門は、二級河川大沢川の山田湾河口に建設中の水門であり、東日本大震災時の津波により破壊された旧大沢川水門を取り壊し、新たに建設中の防潮堤と一体型の水門として計画されました。この大沢川水門の翼壁部に使用する鉄筋コンクリート部材は河川水面に接していますが、満潮時に河川内に流入する海水に含まれる塩分がコンクリート内部に侵入するため、当該部材は鉄筋の腐食リスクが高い環境に曝されると予想されます。

こうした環境にあるRC構造物の鉄筋を海水による劣化から守るためには、鉄筋を保護する役割を果たすコンクリートを塩分が浸透しにくい緻密なものにし、且つ、密実に施工する必要があります。そこで、コンクリートに混和することにより、コンクリートを緻密化することが知られるフライアッシュを材料として適用することと致しました。

しかし、フライアッシュは石炭火力発電施設の産業副産物で、微量の未燃炭素を含みます。この未燃炭素は、フレッシュコンクリートの流動性や空気量を制御する各種化学混和剤を吸着することでその効果発現を阻害し、硬化後のコンクリートの物性に影響を及ぼす場合があります。そのため、フライアッシュを使用して高耐久、長

寿命化を目指した実構造物を築造しようとしても、実際に生コンを供給する生コン会社で空気量を含む品質管理がどこまで可能であるのかが重要なポイントになります。今回の工事における生コン会社は、これまでフライアッシュ配合の生コンを出荷した経験が少なく、配合や品質保証に対して高いハードルが予想されました。そこで、化学混和剤の効果阻害を引き起こすことが無い加熱改質フライアッシュ「CfFA」を混和材として採用することし、少しでも生コン製造現場での負担を軽減し、安定した生コン供給体制を取れるように致しました。

今回の実工事への適用に合わせ、フライアッシュ、および CfFA の基礎的な物性把握も行い、以下のような結果を得ることもできました。

- (1) 通常のフライアッシュを使用した場合と比較して、フレッシュコンクリートの空気量や流動性が安定する
- (2) 鉄筋間の通過しやすさを示す間隙通過試験の結果、通過時間が通常生コンに対しておおよそ半分に低減、つまり間隙通過速度が約2倍に向上したことから、コンクリートの充填性の向上が期待できる(写真-1、図-1)

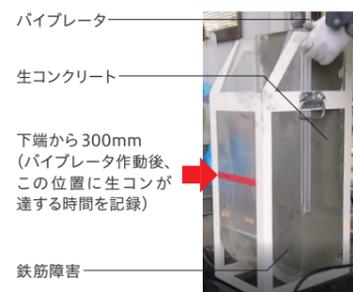


写真-1：間隙通過試験装置

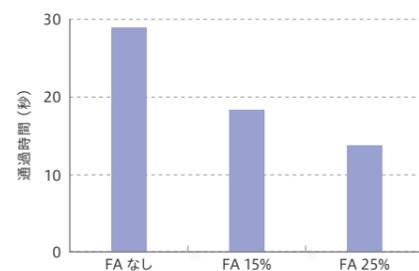


図-1：間隙通過時間

(3) 塩化物イオンの通過しやすさの目安となる電気抵抗率試験結果を●に示す。セメントの15%をCfFAに置換した場合、無添加の場合と比べて、塩化物イオンの透過しやすさに関するグレードが、5段階のうち「High(高い)」と「Moderate(中庸)」の境界から「Very Low(とても低い)」まで向上した。このことから、コンクリート構造物の耐久性向上が期待できる。

(4) 加熱処理前のフライアッシュ原粉と CfFA の色調を写真-2、3に示す。未燃炭素の影響により原粉は濃灰色を呈しているが、CfFA はフライアッシュ本来の色彩である乳白色を呈している。フライアッシュ原粉をコンクリートに用いる場合、未燃炭素の量によっては、その影響により打重ね部に色むらが発生し美観を損ねる恐れがあるが、CfFA を使用することにより、美観上のリスクも低減できる。

(実工事への適用)

大沢川水門は、津波・高潮による陸地への海水流入を防ぐための水門となります。水門の構造物の最も海側に位置する下流側翼壁部は、満潮や波浪の影響を受けやすいコンクリート構造物であり、その最下部(下床～3.3m)は、鉄筋腐食のリスク発生が懸念されました(図-2)。大沢川水門の構築にあたり、塩分の浸透を抑制することで将来的な劣化のリスクを低減することに加え、コンクリートのワーカビリティを改善し施工効率の向上を図るため、この部位のコンクリートに、1m³あたり40kgのCfFAを使用しました。混和量(使用量)

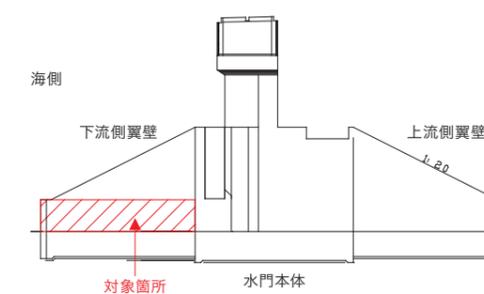


図-2：翼壁工図面

は、耐久性、施工性の向上効果と経済性、プラントでの投入の作業性等を考慮して決定しました。なお、CfFAは20kg/袋の「FLASH BAG(水解紙充填袋)」を使用し、CfFAが内梱された袋のままミキサーに投入することで作業の軽減を図りました。

また、今回使用したコンクリートの設計スランプは8cmで、普通コンクリート使用の場合でもポンプ圧送で稀に脱水等の材料分離に起因するポンプ閉塞等が発生する恐れがあります。しかし、今回、CfFAを使用したことで同スランプでも材料分離によるポンプ閉塞等が発生することなく、安定した空気量を確保したうえで、良好な施工性を確認することができました(写真-4)。

最後に、現場所感として、同スランプの通常コンクリート打設と比較して、CfFAを使用したコンクリートは流動性が良く広がりやすく充填性が良い、また、打設時にポンプ車の筒先の投入間隔を広げられるため、広い面積の打設時には盛替え時間を削減でき、よりフレッシュな状態のコンクリートを打込むことができる、との話がありましたこと添えさせていただきます。



写真-2：加熱処理前



写真-3：CfFA



写真-4：打設後写真



准教授 皆川 浩



東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 基盤構造材料学講座 建設材料学分野

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022-795-7430 FAX: 022-795-7429
http://cm.civil.tohoku.ac.jp/tohoku-u_concrete_home.htm



研究室のある人間・環境系教育研究棟



実験室の様子 (左から、供試体作製室、環境試験室、分析装置室)



「五十年経ずしてコンクリートを語るなかれ」。これは廣井勇博士の箴言です。廣井博士のご功績は数多い所ですが、有名なものは何といっても小樽北防波堤であると思います。小樽北防波堤は日本国内初となる本格的なコンクリート製の防波堤で、供用開始から110年以上経ても今なお現役で活躍しています。機能が陳腐化せず、厳しい外力や環境作用にも頑強に抵抗する性能を維持する源泉は、綿密な計画・設計・施工によるものであることは誰もが認める所です。また、100年にわたる耐久性試験用に6万個に及ぶ供試体を作製し、100年にわたって耐久性試験が継続されていることも特筆すべき点です。これらの事績は、廣井博士の工学や自らの仕事に対する真摯さの現れであると思います。

さて、その小樽北防波堤に用いられたコンクリートですが、ポゾランの一種である火山灰が結合材として用いられています。ポゾランは長期にわたって反応を継続し、コンクリートの長期強度などの向上に寄与する材料です。翻って、CfFAもポゾランです。フライアッシュによるコンクリートの高性能化に関する取組みは枚挙に暇がないところですが、果たして、廣井博士の箴言に倣った取組みはどれほどあるのでしょうか?本研究会には是非とも骨太の取組みをお願いしたいところです。

…と、上から目線でモノを申しましたが、斯く言う私も反省すべき点が多々あります。そのうちの一つが P.10 の下図です。この図は水結合材比 55%、20°C・水中養生のコンクリートの電気抵抗率の経時変化を示しています。電気抵抗率は遮塩性と相間性の強い物性値であり、例えば、AASHTO T 358-17: Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's

Ability to Resist Chloride Ion Penetration では、電気抵抗率を用いた遮塩性評価手法が規格化されています。コンクリートが水で飽和している場合、電気は主として空隙水中のイオンを媒体として流れます。空隙構造が緻密であればイオンの移動は妨げられ、電気抵抗率は高くなります。ここで、P.10 の下図を見ていただきたいのですが、CfFA の置換率が高いほど、電気抵抗率は経時的に増加していることが認められます。ポゾラン反応が継続して、空隙構造が緻密化していると推測されます。ここまでは従来までに得られているフライアッシュの知見と差異はありません。さらに、見ていただきたい点は、CfFA を使用したケースと改質前の原灰を使用したケースです。材齢が1年程度では両者に差はみられません。この時点で私は改質の有無が遮塩性に及ぼす影響はないと考えていました。しかし、最近になって測定したデータでは、3.5年経過時点で両者の差異が明瞭に見えるようになってきました。

改質前の原灰にはかなりの未燃カーボンが含まれていること、3.5年経過時点での電気抵抗率の差異は拡散係数に換算すると15%程度の違いであることに留意しなければなりません。また、メカニズムも明らかではありません。しかし、電気抵抗率の増加傾向からみて両者の差異の拡大は継続することが予想されますし、構造物の供用期間は100年に及ぶことを考えれば、フライアッシュを加熱改質する意義は遮塩性の観点からも少なからずあると判断できます。廣井博士の箴言を顧みて、たかだか1年程度の結果のみでコンクリートの性質を判断してはならないと猛省した次第です。

さて、私が所属する東北大学大学院工学研究科土木工学専攻・建設材料学研究室は、青葉山キャンパスの

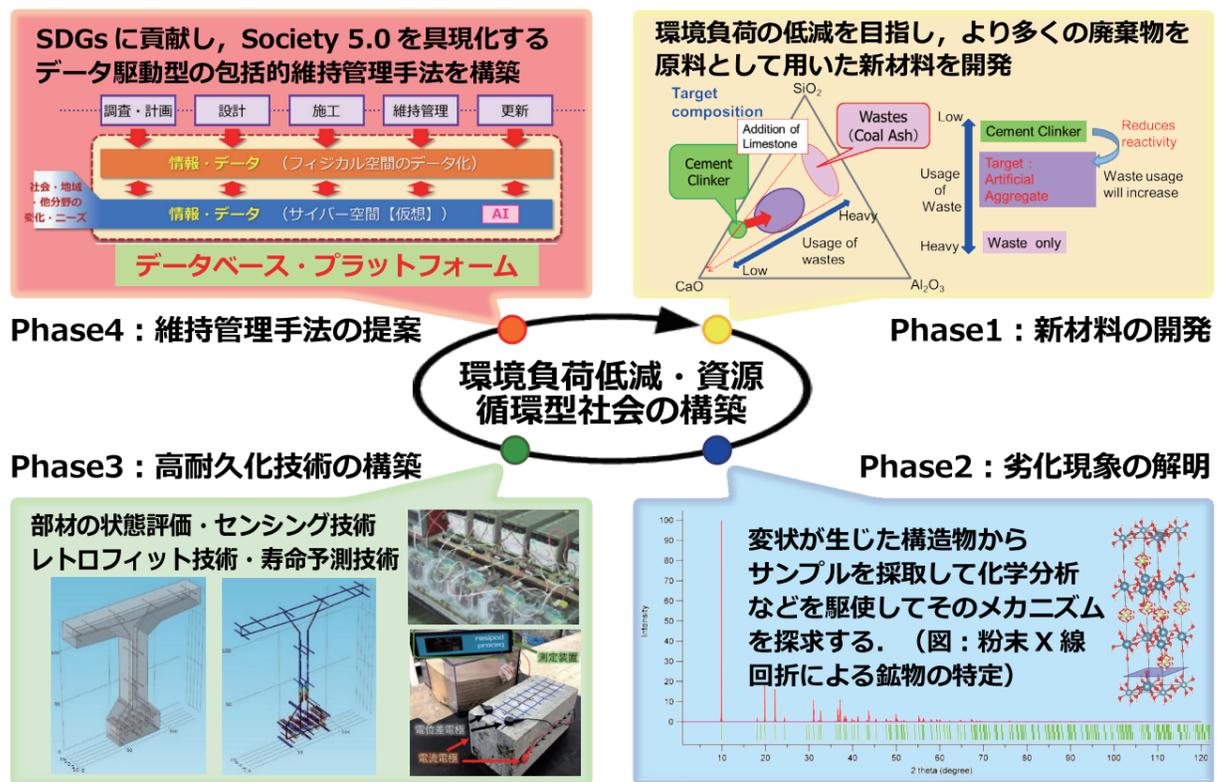
Research & Development Collaborator Report

人間・環境系教育研究棟に居を構え、教授・久田真、准教授・私こと皆川浩、助教・宮本慎太郎の3名の教員によって運営されています。対して、学生は大学院生9名(社会人博士課程2名含む)、学部4年生3名の合計12名が所属しています(2020年度)。教員1名あたりの学生数が少なく、本学の「研究第一主義」の伝統と理念を実現できる教育体制が整えられています。また、修士進学率が80%以上であることの特徴を活かし、卒業研究に着手する時点で修士論文まで見据えた研究計画を立案し、研究成果を深化させることに努めるとともに、専門性の高い人材の育成に力を入れています。実験施設としては、社会環境工学実験棟、総合研究棟、レアメタル・グリーンイノベーション研究開発センターに実験室があり、主に供試体の作製、環境試験、化学分析を行うための設備・装置類がそれぞれに設置されています(冒頭写真)。

本研究室の研究テーマを下図に示します。材料学、

熱力学、電気化学、セメント化学に基づいた視点から、主としてコンクリート構造物の維持管理技術(環境外力評価、物性センシング技術、劣化シミュレーション、健全度診断手法、長寿命化技術、インフラマネジメント)、および産業副産物や災害廃棄物(石炭灰、高炉スラグ、太陽光パネルガラス廃材、震災・津波がれき焼却灰、レアメタル残渣等)といった未利用資源を有効活用した環境負荷低減型建設材料に関する研究・開発を行っています。

また、研究室では、常に「それは何故か?どうしてか?」をモットーとしつつ、メカニズムの解明や原因の追究だけに留まらず、得られた成果の社会的なインパクトや建設分野でどうすれば役に立つかなどについても議論を深めています。そのため、民間企業の方々との共同研究はもとより、国や地方自治体など、社会基盤を管理する立場にある行政が抱えている様々な課題や、地方創生や業界の活性化などに資する研究を進めています。



大分大学

理工学部創生工学科建築学コース

〒870-1192 大分県大分市大字旦野原 700 番地 TEL: 097-554-7862 FAX: 097-554-7938

http://www.arch.oita-u.ac.jp/a-zai/concrete.html



理工学部



クリープ試験装置



拘束ひび割れ試験装置

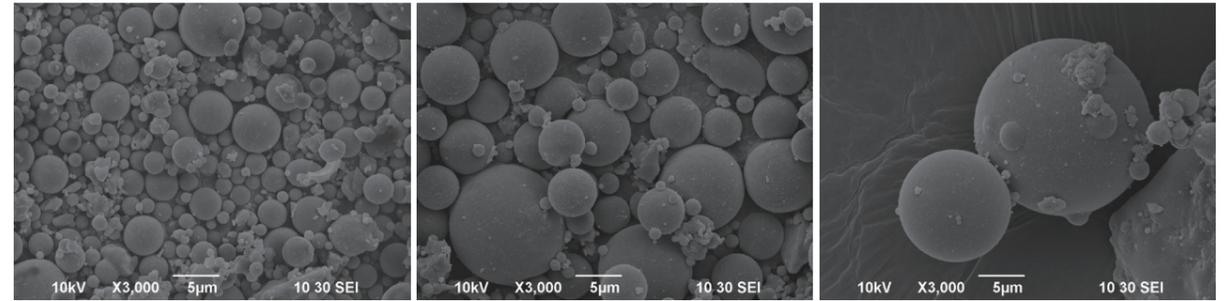


教授 大谷 俊浩



助教授 秋吉 善忠

Research & Development Collaborator Report



分級した CfFA の SEM 画像 (左より I 種、II 種、IV 種相当の CfFA)

現在、国内には多くのコンクリート構造物が存在し、その多くは補修や補強を行いながら延命化を図って行く必要があります。また、建設現場では、環境問題の改善や作業環境の改善を目的として、構造物の高品質化と生産性向上が必ず求められるようになり、各企業も技術力向上の努力が行われています。当研究室ではそれらの問題を解決するために、コンクリート構造物の長寿命化や環境負荷低減につながるようなコンクリートに関する研究を行っています。現在は次のような研究を行っており、特に加熱改質フライアッシュ (CfFA) を混和材料として使用したコンクリートの基礎物性、力学特性や耐久性に関する研究を行っています。

- ・ 混和材コンクリートの乾燥収縮ひび割れ抵抗性
- ・ 混和材コンクリートの中性化抵抗性および鉄筋腐食抵抗性
- ・ CfFA によるアルカリシリカ反応 (ASR) 抑制効果
- ・ CfFA による自己治癒効果
- ・ CfFA を用いた補修モルタルの開発 など

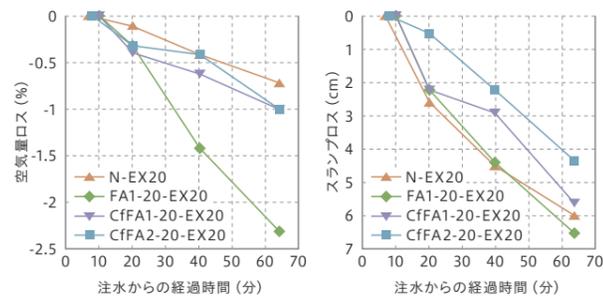


図-1: 空気量ロスおよびスランプロスの経時変化

CfFA の製造技術は本研究室において佐藤嘉昭名誉教授が中心となって確立したもので、CfFA はフライアッシュの問題点である未燃炭素を 1% 以下に低減させるものです。これにより AE 剤の未燃炭素への吸着が抑制され、空気量の確保も容易となります。さらに、図-1 はいずれも膨張材を 20kg/m³ 混和した調合で、フライアッシュ置換率を 20% としたときの、フレッシュコンクリートの空気量とスランプ値の経時変化を示したものです。図中の FA1 は強熱減量が 4.1% の JIS II 種に適合する改質前の灰で、CfFA1 は FA1 を改質したもの、CfFA2 は他の工場での原粉を改質したものです。改質前の FA1 に比べて、CfFA を混和したコンクリートは空気量の減少やスランプ値の低下が抑制できていることがわかります。このことは、運搬時のコンクリートの空気量の減少やスランプ値の低下が抑制できることを意味し、打込み時のコンクリートの品質の安定化につながることも、施工性の向上による構造物の品質や耐久性の向上にもつながります。さらに分級装置^(注1)を用いた場合には JIS I 種、II 種および IV 種に相当する粒度の CfFA を製造することも可能で、様々な用途に対応できるようになっています。

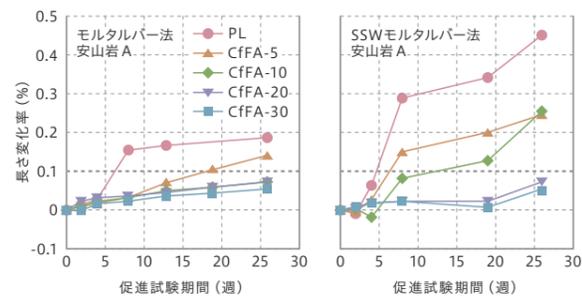


図-2: モルタルバー法および SSW モルタルバー法における長さ変化率の経時変化

たとえば細かな微粉末の I 種はひび割れ補修材に、粗粉の IV 種は細骨材代替としての利用なども可能です。

近年、ASR に関して、海岸付近や凍結防止剤が散布されるコンクリート構造物において、塩分が供給されることで ASR の被害が大きくなることが報告されています。現在、そのような塩分が供給される環境を想定した試験によって、CfFA の抑制効果を検討しています。塩分供給環境下による ASR 評価試験方法として、SSW モルタルバー法^(注2)が提案されています。この方法は、従来のモルタルバー法と基本的な方法は同一ですが、40℃・湿潤状態で行う促進試験の際、モルタルバー法は真水を吸水させた紙で供試体表面を覆うのに対し、SSW モルタルバー法では 20% 濃度の塩化ナトリウム水溶液を吸水させた紙を使用するものです。図-2 はモルタルバー法と SSW モルタルバー法における CfFA 置換率 0、5、10、20、30% のモルタルの長さ変化を示しています。塩分が供給されることで、膨張

量が増大し、ASR の劣化の程度が大きくなっていますが、CfFA 置換率の増加とともに膨張量が小さくなっていることがわかります。抑制効果の目安となる 26 週時点での長さ変化率 0.1% を、モルタルバー法では CfFA 置換率 10% 以上で、SSW モルタルバー法では 20% 以上で下回っており、塩分が供給される環境においても CfFA によって ASR の抑制効果が期待できます。

本研究室では実験室レベルでの実験を行いながら、実環境における耐久性についても検討しており、学内には CfFA を混和したコンクリートによる鉄筋コンクリート製 2 階建ての実物大の住宅模型の建設や、コンクリート舗装の試験的な施工を行っています (写真-1 および写真-2 参照)。今後は、促進試験結果から実環境における各種耐久性予測が行えるように、日々研究を進めています。

注1: 日本製紙石巻工場は分級装置を導入していない
 注2: (参考文献) 三浦 尚、山本 晃子: 外部から侵入する塩化ナトリウムがアルカリ骨材反応に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol.47, pp. 408-413, 1993 年



写真-1: CfFA コンクリートを用いた実物大の RC 造住宅模型



写真-2: CfFA コンクリートを用いたコンクリート舗装



教授 伊達 重之



博士課程 瀧川 瑞季

東海大学 工学部 土木工学科 建設材料学研究室

〒259-1292
神奈川県平塚市北金目 4-1-1
TEL: 0463-58-1211
FAX: 0463-50-2426
<http://www.ev.u-tokai.ac.jp/cml/>



ゼミの活動の様子

“建設工事の生産性向上”

近年の建設業において最も注目され、だれもが一度は聞いたことのあるフレーズだと思います。一口に生産性向上と言っても様々なアプローチが存在することはご存じのとおりです。当研究室では、2016年に本格始動した i-Construction でも注目されているプレキャストコンクリート製品に関連した研究をメインテーマとして活動しております。プレキャスト製品の製造技術に関する基礎的な研究から、新材料や新しい養生方法などを活用した製品性能・生産性の向上に関する様々な開発案件に対して、材料工学的な視点から鋭意研究を進めております。一方、コンクリート施工の合理化、維持補修関連技術・製品の開発といったテーマについても併せて取り組んでおります。

フライアッシュは、現場打ちコンクリートはもちろん、プレキャストコンクリート製品にも活用されています。フライアッシュ活用のメリットとデメリットについては本稿の読者の方々にはよくご存じだと思いますので詳細な記述は控えます。多少のデメリットがあっても、施工性や耐久性向上などの利益を享受できるため、広く活用されており、中でも、「比較的入手が容易であること」、「セメントに較べて安価であること」などが採用のインセンティブになっているものと推察されます。また、近年では SDGs が世界的に推進されており、サステナブルなビジネスの可能性が追及されています。この点においても、環境負荷低減に有効なフライアッシュの活用は非常に魅力的であることは言うまでもありません。事実、欧州を本拠とする世界的なセメントのリーディングカンパニーでは、域内での調達困難なフライアッシュを世界各国から調達すべく、専門の部署を立ち上げて

いと聞いております。今まさに、フライアッシュが再評価されていると言えます。なかでも、CfFA は極めて良質な製品であり、当研究室でも数年前から基礎的な評価を行っておりますが、一般のフライアッシュにない特徴・メリットがあることが判ってきました(後述の記事を参照)。構造物の品質向上が期待できると考えられます。

今後 CfFA が様々なプレキャスト製品に活用されることは想像に難くないだけでなく、世界的なフライアッシュ需要の高まりを背景に、CfFA 製造技術についても注目され、普及が進むかもしれません。CfFA によって日本のみならず諸外国においても“建設工事の生産性向上”につながることを期待してやみません。

(伊達重之)

当研究室で行っている CfFA に関する研究について、いくつかご紹介させていただきます。

フライアッシュをプレキャスト製品に活用する取り組みは元々ありましたが、活用技術の確立まで行っていないという報告がされています。またフライアッシュに含まれている未燃カーボンがコンクリートの諸性能に悪影響を及ぼすという可能性があることも積極的活用に対する懸念材料であったと考えられます。そこでフライアッシュ (JIS A 6201Ⅱ種、以下、FA と略) と CfFA を使用し、性能比較をすることで未燃カーボンがコンクリートの施工性能ならびに硬化後の性能への影響を確認しました。また、セメントに対する置換率も変化させ、影響の度合いも確認しました。今回は基礎的な研究として FA と CfFA をそれぞれ使用したモルタルを作製し、混和材量はセメント

Research & Development Collaborator Report

に対しそれぞれ 15%、30% 置換しました。実験項目は施工性能と硬化後の性能に関するもので、下記のとおりです。

● 施工性能に関する実験

モルタルの流動性とその保持効果を確認するため、JIS R 5201 に準拠し、モルタルフロー試験を行いました。また、モルタルのレオロジー特性 (塑性粘度) と充填性能を確認するために羽根沈入式粘度測定試験とモルタル加振ボックス充填試験を行いました。

この結果、CfFA 配合品は流動性の保持効果が高く、セメントに対する置換率が増加するにつれ、その傾向が強いことが確認されました。また、塑性粘度が低減され、間隙通過速度が速くなったことから CfFA を使用することで通常の FA よりも施工性能が向上することが確認されました。図 -1 に充填性能に及ぼす効果について示します。

● 硬化後の性能に関する実験

硬化後のモルタルの性能を確認するために JIS A 1108 「コンクリートの圧縮試験方法」に準拠し圧縮強度を測定、強度の増進効果を確認しました。液体窒素を用いて急激な凍結作用を繰り返す簡易凍結融解試験を行うことで寒冷地特有の凍結劣化に対する耐久性の確認も併せて行いました。

この結果、強度増進効果は両者に有意な差がないことが確認されました。また、凍結融解抵抗性については、通常の凍結融解試験 (A 1148: 2010) では両者に有意な差は認められませんでした。一方、液体窒素を用いた簡易凍結融解試験後の供試体表面の状態を図 -2 に示します。CfFA を使用したほうが表層のダメージが明らかに少ないことが確認されました。また、今回の実験範囲において、CfFA 添加の効果を FA と比較すると表 -1 のようになりました。

- ・セメントに対して CfFA を置換したほうが施工性および硬化後の性能が向上
- ・セメントに対する置換率が高いほうがより性能が向上
- ・CfFA の使用で表面美観が向上

今回の結果で注目していることは CfFA を使用することで施工性能の向上に伴い、コンクリート打ち込み速度が向上するため表面気泡の低減が期待できることです。プレキャスト製品の一品質として表面美観が重視されているため、CfFA の活用によるプレキャスト製品の諸性能向上の幅は FA を大きく上回ると考えます。

今後は塩害劣化を含む未確認の耐久性に関する実験や表面気泡の定量化を行っていくことで CfFA の材料特性を把握し、プレキャスト製品の性能向上だけでなく、品質の安定化へ貢献していきたいと考えています。

(博士課程 瀧川瑞季)

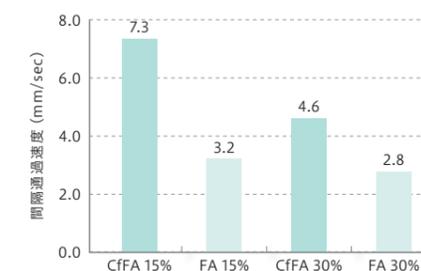


図 -1: 充填性能に及ぼす CfFA の効果

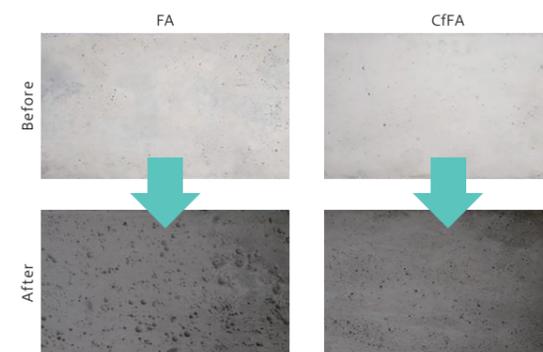


図 -2: 簡易凍結融解試験 (置換率 30%)

表 -1: 性能向上についての総合評価

W/P=30% S/P=2.0	置換率	
	15%	30%
FA	△	△
CfFA	○	◎

※ P: 結合材を指す

秋田大学大学院 理工学研究科 システムデザイン工学専攻 土木環境工学コース 環境材料工学分野

〒010-8502
秋田県秋田市手形学園町1番1号
TEL: 018-889-2367
FAX: 018-837-0407
http://www.gipc.akita-u.ac.jp/~civil/



実験室(手前から、すり減り試験機、凍結融解試験機、中性化促進試験機)



1day pave 舗装用コンクリート試験施工(秋田大学コンクリート工学実験室)



教授 徳重 英信

「ポゾラン(pozzolan)」とはイタリア語の「pozzolana」を語源とし、もとは火山灰やシリカ(SiO₂)を含んだ砂や粉を指していました。天然ポゾランが約2000年前の古代ローマ時代の建造物(いわゆるローマン・コンクリート)に使用されていることは、例えば、土木学会コンクリートライブラリー No.131「古代ローマコンクリート」などにも紹介されています。また日本では、1897年～1908年にかけて廣井勇博士(札幌農学校卒業生)の手により施工された小樽港北防波堤において、北海道の火山灰がコンクリート用ポゾランとして利用されています。ポゾランは、その主要な組成化合物の一つであるSiO₂と、セメント水和の過程で生成されるCa(OH)₂とがゆっくりと反応して、けい酸カルシウム水和物を造ってペーストマトリックスを密実化する「ポゾラン反応」を起こさせます。この密実化などにより、各種耐久性や長期強度の発現などが期待されています。

我々が今日用いるポゾランは、主に高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフュームといった、いわゆる産業副産物を原料とした人工材料です。それ以外にも、例えばもみ殻灰などの農業副産物の燃焼灰もその有効利用が1970年代からアメリカでは検討されており、本研究室でもその可能性に関する研究を行っています。

さて、そのポゾランの近年の主役の一つであるフライアッシュの品質は、JIS A 6201に定められているとおりです。しかしコンクリート用材料として用いる場合に、特に未燃炭素と活性度指数を主とした品質のばらつきにおいては、どうしても原料となる石炭の種類の変動を引きずってしまうことは致し方なく、かつてはその品質

変動などからも、様々な研究者を含めた利用者から利用拡大を敬遠されていたように思います。しかしフライアッシュ製造事業者にとっては、例えばフライアッシュの品質確保のために石炭種類を固定化することは、石炭火力のそもそもの目的である発電事業コスト等の面からも無理難題であり、これまで製造側とユーザー側の相互の様々な努力によって、安定化が図られてきているように思います。例えば秋田県は他地域に先駆けて、平成22年にフライアッシュをコンクリートに混和して用いることを標準化した先進県です。これは東北電力の能代火力発電所の立地(地産)、また地元の能代生コンクリート協同組合加盟社が様々な試験データと性能評価データを蓄積して努力(地消)を行ってきたこと、さらにフライアッシュ自体の品質安定化においては、製造側が適切な飛灰の分級を行い活性度指数による品質管理を徹底する、という努力によるものです。さらに、プレキャストコンクリートについても平成24年に秋田県としての使用基準が、また平成27年には石炭灰リサイクル再生砕石の使用基準も制定されており、地産地消の取組と益々の利用拡大が期待されています。

さて、フライアッシュの品質の安定化、特に未燃炭素の減量化については、フライアッシュをコンクリートに混和して用いる際にとても重要な要素であり、CfFAは加熱改質によりこの品質の安定化がなされたフライアッシュです。特に東北地方などの積雪寒冷地では、AE剤による確実なエントレインド・エアの導入が必須ですが、この未燃炭素はAE剤を吸着することがよく知られています。例えば本研究室で行った図-1に示す実験結果(樹脂酸塩系AE剤の使用量とフライアッシュ混和量の関係、空気量4.5～6.0%)では、加熱改質前の原灰を

Research & Development Collaborator Report

用いた場合は、フライアッシュ混和量を増やすとほぼ直線的にAE剤使用量が増加する傾向が認められました。しかしこの原灰を加熱改質したCfFAにおいては、あるFA混和量からはAE剤使用量を増やさなくても適切な空気量の導入が認められ、空気量の効率的な確保が容易になります。

一方、1990年のスパイクタイヤ禁止以降、道路構造物では凍結抑制剤(NaCl)散布が激増しており、例えば近年の東北地方では年間で20ton/kmの散布量を超す路線もあります¹⁾。このような状況でコンクリートへのNa⁺イオンの供給は、従来ではASRに対して無害と判定された骨材の遅延膨張の懸念が増しており、予防保全としてのポゾランの利用が開始されているところです。ASRに対するCfFA混和による膨張抑制効果について、例えば本研究室で行った図-2に示す実験結果(膨張ひずみと材齢の関係、W/C=50.0%のモルタル、SSW試験²⁾に準拠)において、東北地方産の「無害でない」骨材を用いたモルタル(Plain)の膨張ひずみは約3週～8週で1000μを大幅に超えました。しかし、CfFAを混和した場合には、いずれの配合でも40週の試験で250μ以下の膨張抑制効果が認められる結果を得ています。

これらの実験で用いたCfFAは日本製紙石巻工場で製造されたものであり、特に宮城県を含めた周辺地域にとっては、まさに地産地消で品質も安定(未燃炭素量の減量化)させた優秀なポゾランとして、その利用拡大が期待されることです。その利用拡大のためには、研究会(P.30参照)として様々なデータの取得と性能の

照査が益々必要なところでもあり、研究会会員の方々の様々な情報と意見の交換はもとより、CfFA混和コンクリートの製造・施工・供用における実際の技術・研究開発とアカデミックな研究との相互の知見の錬磨育成が必要です。

特に本研究室では、ポゾランを用いたコンクリートの凍害、および(凍結抑制剤散布を想定した)ASRを中心とした劣化機構に対するアプローチと耐久性照査についての研究を推進してきています。これ以外にも、日本海からの冬季の季節風による飛来塩分環境と凍結抑制剤散布環境の調査によるNaCl供給環境に関する調査研究、コンクリートのすり減り抵抗性に関する研究などの耐久性に関する研究、またポーラスコンクリートを用いた環境調和・復元型基盤材料の研究開発や、新素材を用いた新しいコンクリート補修・補強材料の研究開発、さらに近年では秋田県内道路構造物の点検・診断共有データベース構築に向けた研究などを行っています。

建設材料の基本は地産地消です。CfFAの利用拡大に伴い、ゆっくりと、しかし確実に、良質な構造物が地域に展開されていくことを強く期待しています。

参考文献:

- 1) 国土交通省東北地方整備局「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)」平成29年3月
- 2) 三浦 尚、山本 晃子: 外部から侵入する塩化ナトリウムがアルカリ骨材反応に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol.47、pp. 408-413、1993年

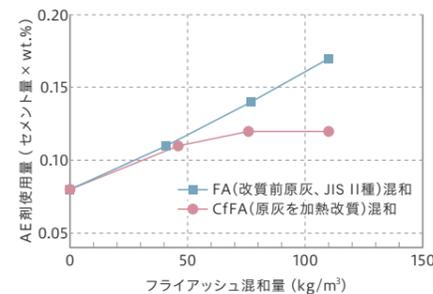


図-1: AE 剤使用量とフライアッシュ混和量の関係

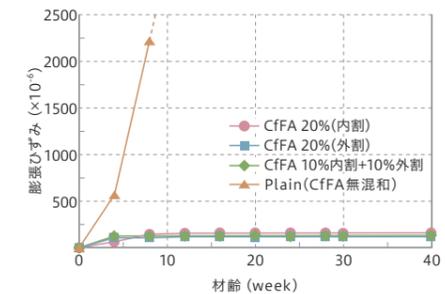


図-2: ASR 膨張ひずみと材齢の関係