

高炉セメント B 種にフライアッシュを混合した環境配慮型コンクリートの開発
その 1 開発概要

正会員 ○中尾 陽一*1 同 西邨 知之*2 同 谷村賢一郎*3
同 新田 稔*4 同 山崎 順二*4 同 船尾 孝好*5

環境配慮型コンクリート 高炉セメント B 種 フライアッシュ
試し練り 実機実験 脱炭素

1. はじめに

地球温暖化対策として 2050 年のカーボンニュートラル
に向け、図 1 に示す他産業の副産物をコンクリート用混和
材料として利用した環境配慮型コンクリートの開発・実
用がゼネコンを中心に進められ、適用事例も数多くある。
しかしながら、これらはゼネコン独自の技術であり、
個々の物件対応で留まることが多かった。そこで、大阪
兵庫生コンクリート工業組合リサイクル検討 WG(以下、
リサイクル検討 WG)では、「生コン工場から提案できる環
境配慮型コンクリートの開発」を目的として、実験を行
い検討した。

具体的には、生コン工場が常備している高炉セメント B
種にフライアッシュ（以下、BB+FA）をセメントの内割
りで 20%混合したコンクリートの調合を計画し、室内実
験および実機実験を実施した。なお、BB+FA コンクリ
ートとは低炭素性と資源循環性の両方を合わせ持つ環境
配慮型コンクリートである。

2. 使用材料

本実験における使用材料を表 1 に示す。実験を実施した
生コン工場は、室内 1 工場（A 工場）、実機 5 工場（B、C、

D、E および F 工場）で行った。コンクリートに使用した
材料は各工場で標準化しているものを使用した。また、
フライアッシュ（以下、FA）は、JIS A 6201（コンクリ
ート用フライアッシュ）の規格値を満足する舞鶴産のフ
ライアッシュⅡ種を使用した。

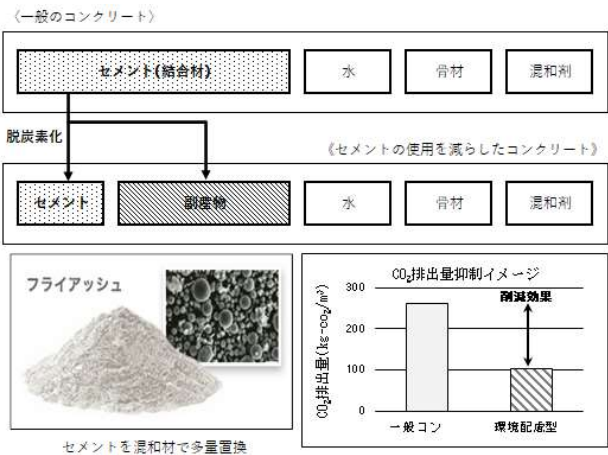


図 1 環境配慮型コンクリートの脱炭素イメージ

表 1 使用材料

名称	記	種類・品質												
	号	A 工場		B 工場		C 工場		D 工場		E 工場		F 工場		
セメント	C	高炉セメント B 種												
		N 社製 密度 3.02 g/cm³		U 社製 密度 3.04 g/cm³		T 社製 密度 3.04 g/cm³		U 社製 密度 3.04 g/cm³		N 社製 密度 3.02 g/cm³		T 社製 密度 3.04 g/cm³		
細骨材	S	S	海砂 (北九州産)	S1:S2	砕砂 (家島産)	S1:S2	砕砂 (津久見産)	S1:S2	砕砂 (北九州産)	S1:S2	砕砂 (相生産)	S1:S2	砕砂 (赤穂産)	S1:S2
		1		50:50		60:40		30:70		40:60		50:50		70:30
	S	S	砕砂 (津久見産)	(質量比)	砕砂 (北九州産)	(容積比)	砕砂 (家島産)	(容積比)	砕砂 (赤穂産)	(容積比)	砕砂 (津久見産)	(容積比)	砕砂 (津久見産)	(容積比)
		2												
粗骨材	G	G	砕石 1505 (高槻産)	G1:G2	砕石 2005 (家島産)	G1:G2	砕石 2010 (家島産)	G1:G2	砕石 2010 (赤穂産)	G1:G2	砕石 2010 (津久見産)	G1:G2	砕石 2010 (相生産)	G1:G2
		1		55:45		50:50		50:50		60:40		50:50		50:50
	G	G	砕石 2010 (高槻産)	(質量比)	砕石 2005 (津久見産)	(容積比)	砕石 1505 (家島産)	(容積比)	砕石 1505 (赤穂産)	(容積比)	砕石 1505 (津久見産)	(質量比)	砕石 1505 (相生産)	(容積比)
		2												
混和材	FA	フライアッシュⅡ種 密度 2.25 g/cm³ (舞鶴産)												
水	W	上澄水・地下水		上澄水・工業用水		上澄水・上水道水		上澄水・工業用水		上澄水・工業用水		上澄水・工業用水		
化学 混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 (P 社)		高性能 AE 減水剤 (S 社)		高性能 AE 減水剤 (T 社)		高性能 AE 減水剤 (P 社)		高性能 AE 減水剤 (F 社)		高性能 AE 減水剤 (F 社)		

表 2 コンクリートの調合

工場	目標 呼び強度	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	水結合材比 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)						SP
						W	C	FA	S1	S2	G	(B×wt%)
A	24	12	4.5	51	45.9	165	259	65	406	406	982	0.175
	27			49	45.4	165	270	67	400	399	985	0.195
	30			46	44.5	165	287	72	387	386	990	0.200
	33			44	43.9	165	300	75	379	378	993	0.225
B	24	18		55	47.5	175	254	64	491	341	934	0.425
	33	21		47	47.7	180	306	77	472	328	891	0.45
	42			40	45.1	180	360	90	430	299	902	0.525
C	24	18		55	50.0	175	254	64	265	601	875	0.575
	33	21		47	50.3	180	306	77	257	578	833	0.60
	42			40	47.8	180	360	90	236	529	844	0.55
D	24	18		55	48.8	175	254	64	351	507	896	0.60
	33	21		47	49.5	180	306	77	340	494	846	0.65
	42			40	47.0	180	360	90	311	452	857	0.725
E	33	21		47	49.5	180	306	77	408	423	872	0.65
F	33	21		47	51.2	180	306	77	590	264	817	1.03

3. コンクリートの調合

コンクリートの調合は、大阪兵庫地区にて採用されている JIS 関係式 (N+FA20%、材齢 56 日) を基にセメントを高炉セメント B 種に置換えた調合とし、水結合材比を設定した。室内および実機実験におけるコンクリートの調合を表 2 に示す。

A 工場の室内実験では、造成工事における調整池の耐圧底盤等への適用を目指した目標呼び強度 24 から 33 に相当する水結合材比 4 種類の調合で実験を行った。

実機実験においては、目標呼び強度を 24、33 および 42 に相当する水結合材比 3 種類の調合とし、B から F 工場の 5 工場での 3 シーズン(冬期:1 月に 4 工場・夏期:8 月に 4 工場・標準期:11 月に 3 工場)の実験を行った。各フレッシュコンクリート目標値は、以降のその 2~4 に示す。

4. 試験項目

室内および実機実験で行ったフレッシュコンクリートと硬化コンクリートの試験項目と試験方法を表 3 に示す。

各種試験項目は、該当する JIS の規格に準拠して実施した。実機実験では、フレッシュコンクリートの試験項目の中でスランプ、空気量等について、コンクリートの練混ぜから 120 分後まで 30 分間隔で経時変化の確認を合わせて実施した。

5. まとめ

その 1 では、高炉セメント B 種にフライアッシュを混合したコンクリートの実験を行った工場の使用材料、コンクリートの調合および各種試験項目と試験方法について

表 3 各種試験項目および試験方法

試験項目		試験方法	室内	実機
フレッシュ コンクリート	スランプ	JIS A 1101	○	●
	空気量	JIS A 1128	○	●
	コンクリート温度	JIS A 1156	○	●
	塩化物含有量	JASS 5T-502	○	○
	単位容積質量	JIS A 1116	—	●
	単位水量	ZKT-210	○	○
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	○	○
		JIS A 1107	—	○

注) ●は、経時変化を確認した

述べた。

次報以降において、その 2 では、3 シーズンの実機実験より、120 分までの経時変化の評価や実機実験で得た圧縮強度と JIS 関係式との比較、S 値との関係などについて述べる。

その 3 では、土木の造成工事における実施工を目指した室内実験での各種評価について実施工で得たフレッシュ性状や硬化コンクリートの特性について述べる。

最後にその 4 では、リサイクル検討 WG の技術情報を共有して、大阪広域生コンクリート協同組合において BB+FA コンクリートの標準化を目的に実験を行った。実験には、68 工場が参画し、4 水準の水結合材比のコンクリートを各工場で 5 調合程度の試し練りを行い、実験結果に基づく関係式から標準化のための採用式を決定した取組みについて述べる。

高炉セメント B 種にフライアッシュを混合した環境配慮型コンクリートの開発
その 2 実機実験結果

正会員 ○新田 稔*1 同 中尾 陽一*2 同 西邨 知之*3
同 谷村賢一郎*4 同 山崎 順二*1 同 鈴木 峰人*5

環境配慮型コンクリート 高炉セメント B 種 フライアッシュ
実機実験 経時変化 コア強度

1. はじめに

その 2 では、3 シーズンに実施した実機実験結果について報告する。

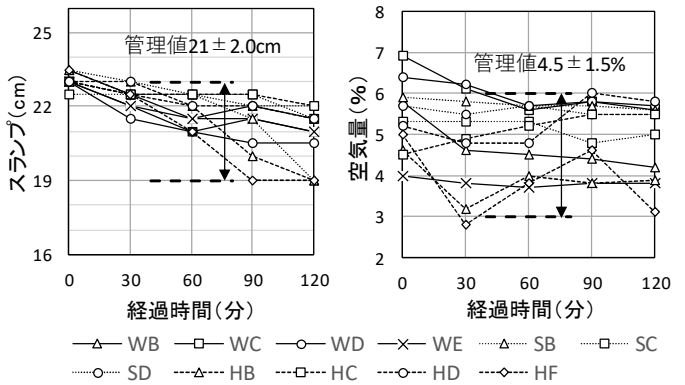
2. フレッシュコンクリート

表 1 にフレッシュコンクリートの目標値を、表 2 にフレッシュコンクリートの試験結果の一例を示す。表 2 は、荷卸し時を想定した柱模擬試験体を採用した 60 分の結果（塩化物含有量および単位水量は練上がり直後の結果）を示している。経時 60 分のフレッシュコンクリートの品質は、表 1 に示す要求性能を満足した。目標呼び強度 33 におけるスランプおよび空気量の経時変化を図 1 に示す。フレッシュコンクリートの性状および試験結果は、運搬時間による経時変化を見込むことで荷卸し時を想定した 60 分で表 1 に示す目標値を満足した。経過時間 60 分の結果は、他の目標呼び強度においても同様の結果となっており、経時変化にも問題はなかった。

3. 硬化コンクリート

3.1 圧縮強度

目標呼び強度 33 における圧縮強度結果を図 2 に示す。標準養生供試体の圧縮強度は、他の目標呼び強度



凡例 打込み時期 W:冬期 H:夏期 S:標準期 工場 B,C,D,E,F
図 1 スランプと空気量の経時変化(目標呼び強度 33)

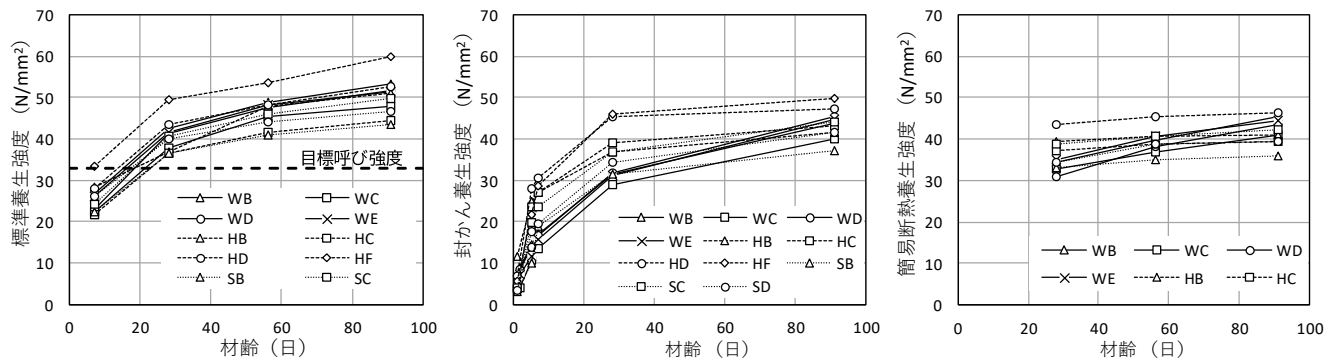
表1 フレッシュコンクリートの目標値

項目	目標値	備考
スランプ	18±2.5cm	目標呼び強度 24
	21±2.0cm	目標呼び強度 33、42
空気量	4.5±1.5%	—
塩化物含有量	0.30 kg/m³ 以下	—

表 2 フレッシュコンクリートの試験結果の一例(目標呼び強度 33)

打込み 時期	工場	経過 時間 (分)	スラ ンプ (cm)	スランプフロー			空気量 (%)	コン 温度 (℃)	外気温 (℃)	塩化物 含有量*1 (kg/m³)	単位 水量*1 (kg/m³)	単位容積 質量 (kg/m³)	
				(cm×cm)		平均							
W (冬期)	B	60	21.5	41.6	×	40.7	41.0	4.5	11	10	0.02	173.1	2270
	C	60	21.0	36.0	×	33.3	34.5	5.6	9	6	—	177.3	2214
	D	60	21.0	36.3	×	34.8	35.5	5.7	11	8	—	181.1	2239
	E	60	21.5	38.3	×	36.5	37.5	5.7	13	10	0.02	168.7	2318
H (夏期)	B	60	22.0	40.2	×	38.8	39.5	4.0	33	33	0.04	179.2	2290
	C	60	22.5	38.0	×	37.7	38.0	5.2	31	30	0.02	175.9	2234
	D	60	22.0	39.5	×	39.0	39.5	4.8	32	31	—	176.3	2356
	F	60	21.0	37.9	×	36.8	37.5	3.8	33	30	0.04	179.9	2279
S (標準期)	B	60	22.5	43.5	×	41.5	42.5	5.7	21	20	0.03	175.0	2266
	C	60	22.5	41.0	×	39.8	40.5	5.3	19	17	0.02	176.2	2222
	D	60	21.5	38.1	×	37.6	38.0	5.7	18	17	0.02	184.6	2221

※1 塩化物含有量および単位水量は練上がり直後の結果を示している



凡例 打込み時期 W:冬期 H:夏期 S:標準期 工場 B,C,D,E,F

図2 目標呼び強度33の材齢と圧縮強度の関係

も同様の結果であったが、材齢28日において目標呼び強度を満足していることが確認できた。封かん養生および簡易断熱養生の圧縮強度は、材齢91日では、ほぼ同様の強度増進を示したが、材齢28日までの圧縮強度は、冬期<標準期<夏期と季節によって強度増進に違いが見られた。これは、初期の養生温度の影響によりポズラン反応が活性化されたためと推察される。

3.2 標準養生強度とJIS関係式の関係

標準養生強度と大阪兵庫地区にて採用されているJIS関係式（普通ポルトランドセメント+フライアッシュ20%：N+FA20%，材齢28、56日）との関係を図3に示す。

実機実験を行った6工場の標準養生強度は、材齢28日および56日のいずれにおいても、JIS関係式と同等以上の強度発現性を有していた。

3.3 コア強度と簡易断熱養生強度との関係

柱模擬試験体のコア強度と簡易断熱養生強度の関係を図4に示す。

コア強度と簡易断熱養生強度では、簡易断熱用養生強度が若干、高い傾向を示しているものの全体的な傾向は決定係数0.956と高い相関性を示していることから同等と考えられ、構造体コンクリート強度の推定に簡易断熱養生供試体を用いることが可能であると考えられる。

3.4 実機実験で得た圧縮強度とS値との関係

構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ と材齢28日までの平均気温の関係を図5に示す。建設省告示1102号等において、高炉セメントB種にフライアッシュを混合した $_{28}S_{91}$ 値は示されていないが、告示の $_{28}S_{91}$ 値と同等の傾向を示しており高炉セメントB種等の $_{28}S_{91}$ 値を用いて構造体強度を評価出来るものと考えられる。

4. まとめ

(1)フレッシュコンクリートは、運搬時間による経時変化を見込むことにより、荷卸し時においても所要のフ

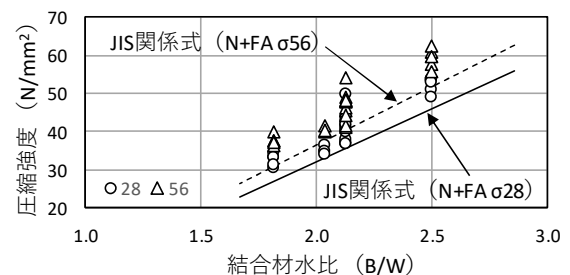


図3 標準養生強度とJIS関係式

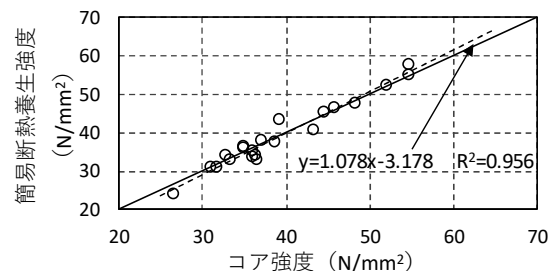


図4 コア強度と簡易断熱養生強度の関係

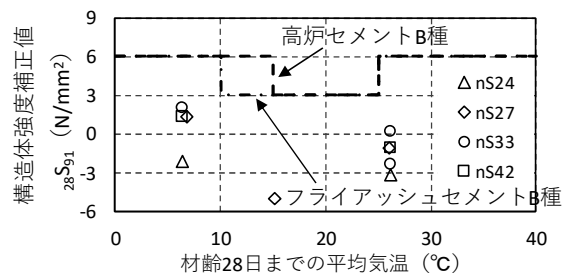


図5 材齢28日までの平均気温と構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

レッシュ性状を確保できる。

- (2) 圧縮強度は、JIS関係式と同等であり強度発現性に問題なかった。
- (3) 構造体コンクリートの推定には、簡易断熱養生供試体を用いることが可能である。

*1 浅沼組
*3 稲田已建材
*5 岡本生コンクリート

*2 関西宇部
*4 新関西菱光

*1 Asanuma Corporation
*3 INADAMIKENZAI Co.,LTD.
*5 Okamoto Concrete Corporation

*2 Kansai Ube ,ltd.

*4 Sinkansairyoko Corporation

高炉セメント B 種にフライアッシュを混合した環境配慮型コンクリートの開発
その 3 実出荷に向けた室内実験と実施工

正会員 ○西邨 知之*1 同 中尾 陽一*2 同 谷村賢一郎*3
同 新田 稔*4 同 山崎 順二*4 同 峯 秀和*5

環境配慮型コンクリート 高炉セメント B 種 フライアッシュ
フレッシュコンクリート 圧縮強度 実施工

1. はじめに

その 3 では、実出荷に向けた室内実験と室内実験から設定した水結合材比における実機実験および実施工の結果について述べる。

2. 室内実験

2.1 使用材料および割合

使用材料は、その 1 で示した工場で標準化している材料を使用した。室内実験のコンクリートの調合は、その 1 で示した目標呼び強度 24、27、30 および 33 に該当する水結合材比 4 水準とし、スランプ 12cm±2.5cm、空気量を 4.5±1.5%とした。

2.2 実験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表 1 に示す。各目標呼び強度のスランプおよび空気量は、全て目標値を満足した。

水結合材水比と圧縮強度の関係を図 1 に示す。図中には、大阪兵庫地区で採用されている JIS 関係式（普通ポルトランドセメント+フライアッシュ 20%：N+FA20%，材齢 28、56 日）を併記しているが、関係式と同等の強度であった。

3. 実機実験

3.1 割合

実機実験の割合は、室内実験の結果と実施工の設計基準強度（Fc）24N/mm²を鑑み、その 1 で示した目標呼び強度 27 の割合で実施した。

3.2 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表 2 に、スランプと空気量の経時変化を図 2 に示す。フレッシュコンクリートの試験結果は、目標値を満足し、経時変化もその 2 と同様に運搬時間による経時変化を見込むことで荷卸し時を想定した練上がり後 60 分の時点で目標値を満足した。

表 1 フレッシュコンクリートの試験結果（室内実験）

試験項目		目標呼び強度			
		24	27	30	33
スランプ	cm	12.5	11.5	12.0	11.0
スランプフロー	cm	25.0	24.0	24.0	24.0
空気量	%	3.5	4.0	4.0	3.5
コンクリート温度	℃	15	15	15	15
塩化物含有量	kg/m ³	—	—	—	0.03
単位水量	kg/m ³	163.0	163.2	164.1	167.8

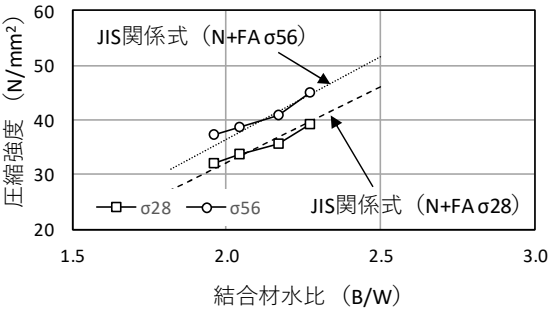
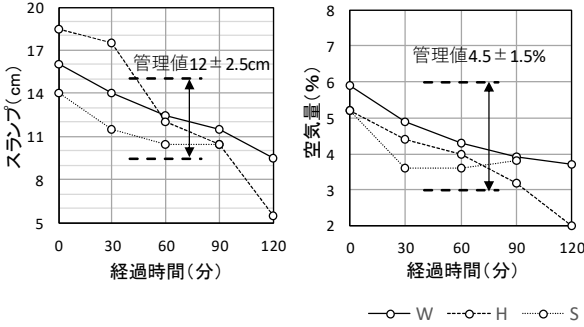


図 1 結合材水比と圧縮強度の関係



凡例 打込み時期 W:冬期 H:夏期 S:標準期

図 2 スランプと空気量の経時変化

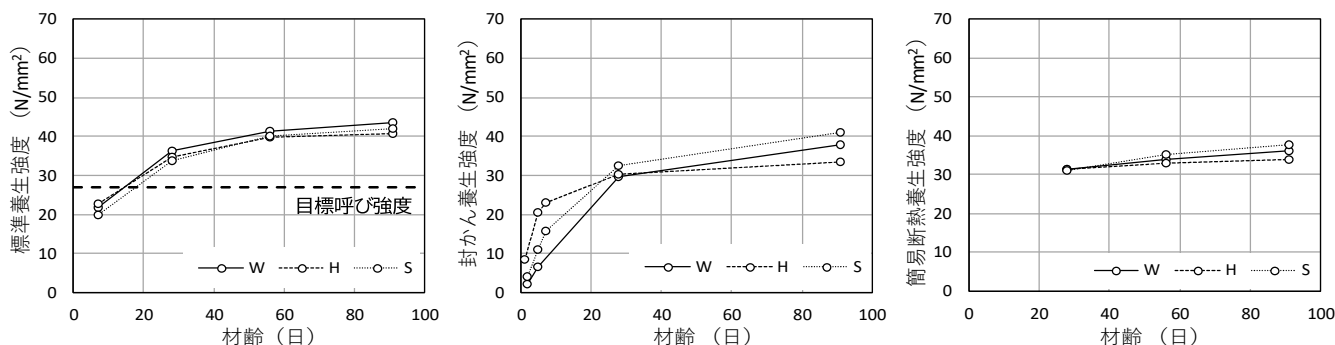
表 2 フレッシュコンクリートの試験結果（練上がり後 60 分）

打込み時期	スランプ (cm)	スランプフロー			空気量 (%)	コン 温度 (℃)	外気温 (℃)	塩化物 含有量*1 (kg/m ³)	単位 水量*1 (kg/m ³)	単位容積 質量 (kg/m ³)
		(cm×cm)	平均							
W (冬期)	12.5	24.3 × 24.0	24.0		4.3	14	10	0.04	162.0	2302
H (夏期)	12.0	23.7 × 23.2	23.5		4.0	33	31	0.03	161.7	2304
S (標準期)	10.5	23.4 × 23.4	23.5		3.6	20	15	0.04	162.0	2309

※1 塩化物含有量および単位水量は練上り直後の結果を示している

Development of environment-friendly concrete mixed with
fly ash in blast-furnace slag cement type B.
Part.3 Laboratory experiments and execution for manufacturing.

NISHIMURA Tomoyuki, NAKAO Youichi,
TANIMURA Kenichiro, NITTA Minoru,
YAMASAKI Junji, MINE Hidekazu



凡例 打込み時期 W:冬期 H:夏期 S:標準期

3.2 硬化コンクリート

材齢と圧縮強度の関係を図3に示す。標準養生の圧縮強度は、材齢28日において目標呼び強度を満足していることが確認できた。封かん養生および簡易断熱養生の圧縮強度も、材齢28日において設計基準強度を超える強度が得られている。

4. 実出荷

4.1 実出荷の概要

実出荷したコンクリートは、実機実験と同様に設計基準強度 24N/mm² に対して水結合材比を 49%に設定(目標呼び強度 27)し、スランプを 12 cm、空気量 4.5%とした。

4.2 フレッシュコンクリートの性状

荷卸し地点での試験結果を表3に示す。目標スランプおよび空気量の荷卸し地点での試験結果は、目標値を満足しており、ワーカブルなフレッシュ性状が確認できた。

4.3 硬化コンクリートの強度発現

実施工での各養生方法での圧縮強度の強度発現を図4に示す。各養生共に材齢28日において設計基準強度を十分に満足していることが確認できた。図5に標準養生強度に対する各養生方法による強度比を示す。外気温が 25℃を超えている期間であり、高炉セメントの水和反応は温度依存性が大きい、初期強度も現場水中養生強度が最も高くなっている。長期強度の発現性は高炉スラグ微粉末の潜在水硬性とフライアッシュのポズラン反応の効果もあり、標準養生と同等以上の強度増進を確認することができた。図6に材齢と呼び強度の関係を示す。材齢と呼び強度比の関係は、材齢28日において1.25から1.42(平均:1.33)であった。

5. まとめ

高炉セメントにフライアッシュを混合した環境配慮型コンクリートは、土木配合における低スランプのコンクリートにおいても、フライアッシュの効果により、ワーカビリティや圧送性が良好であり、十分な強度発現性を有するコンクリートであることが確認できた。

表3 フレッシュコンクリート試験結果

試験項目	午前	午後
スランプ (cm)	13.0	14.0
空気量 (%)	3.7	4.2
コンクリート温度 (°C)	27	29

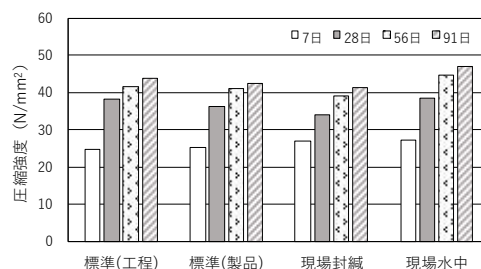


図4 養生方法での圧縮強度発現

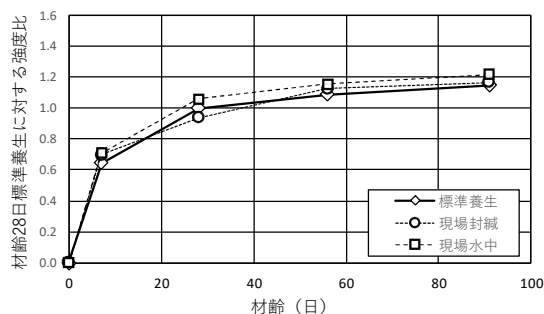


図5 材齢28日標準養生強度に対する強度比

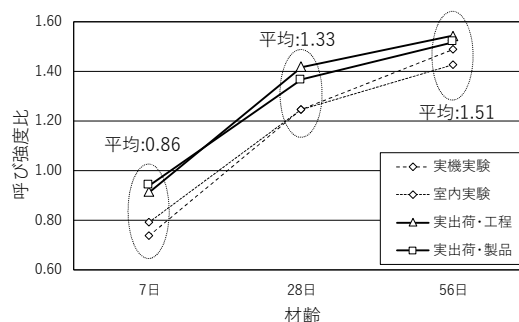


図6 材齢と呼び強度比

*1 稲田已建材 *2 関西宇部
*3 新関西菱光 *4 浅沼組
*5 関電パワーテック

*1 INADAMIKENZAI Co.,LTD. *2 Kansai Ube ,ltd.
*3 Sinkansairyoko Corporation *4 Asanuma Corporation
*5 KANDEN POWER-TECH CORPORATION

高炉セメント B 種にフライアッシュを混合した環境配慮型コンクリートの開発
その 4 「BB+FA コンクリート」の標準化

正会員 ○谷村賢一郎*1 同 中尾 陽一*2 同 新田 稔*3
同 山崎 順二*3 同 西邨 知之*4 同 平田 孝博*5

環境配慮型コンクリート 高炉セメント B 種 フライアッシュ
室内実験 CO₂削減 標準化

1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル達成に向けた、大阪広域生コンクリート協同組合における環境配慮に資する取組みとして、普通ポルトランドセメント（以下 N と称す）にフライアッシュⅡ種（以下 FA と称す）をセメントの内割で混合した FA 置換率 10%および 20%の「N+FA コンクリート」を 2011 年に標準化している。今回その 1 からその 3 で報告した通り、大阪兵庫生コンクリート工業組合（リサイクル検討 WG）において、高炉セメント B 種（以下 BB と称す）に FA を置換した「BB+FA コンクリート」の配合設計および構造体強度補正值（S 値）の確認実験を 3 シーズンで実施した。

このような背景の中、大阪広域生コンクリート協同組合は、リサイクル検討 WG によって得られた技術情報を共有し、さらなる環境配慮を指向した「BB+FA コンクリート」の一定水準での標準化に取り組むこととした。本報その 4 では、室内実験の結果を基に採用式を決定し、最終的に標準化することを目的とし、68 工場が行った実験結果について述べる。

2. 使用材料

実験に使用するセメント、骨材については、各工場で通常使用しているものとした。練混ぜ水は、回収水（上澄水）とし、回収水（上澄水）が使用できない場合は原水を使用した。化学混和剤は、全ての調合で高性能 AE 減水剤とし、FA については、JISA 6201（コンクリート用フライアッシュ）の規格値を満足した舞鶴産の FAⅡ種を使用した。

3. 実験水準と調合条件

実験水準と調合条件を表 1 に示す。実験水準は N+FA を標準化した際に行った実験を基に 4 水準の W/B（水結合材比）を設定し、各工場 5 配合程度を振分けて実施した。目標スランブは、スランブ低下量を含まない指定スランブとし、目標空気量は、4.5%とした。単位水量は、N+FA と同一の単位水量とし、FA 置換率は単位セメント量に対して 20%を内割とした。また、単位粗骨材かさ容積は社内規格を基

表 1 実験水準と調合条件

W/B (%)	スランブ (cm)	単位水量 (kg/m ³)	空気量 (%)	FA置換率 (%)
60,47,39,33 ※33%は参考値	8	160	4.5	20
	12	165		
	15	170		
	18	175		
	21	180		

表 2 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法（引用規格）	許容差など
フレッシュコンクリート	スランブ	JIS A 1101	指定スランブ：±1.5cm 21cm：±2.0cm
	スランブフロー	JIS A 1150	参考値
	空気量	JIS A 1128	4.5%±1.0%
	コンクリート温度	JIS A 1156	参考値
	塩化物含有量	JASS 5T-502	0.30kg/m ³ 以下
	単位容積質量	JIS A 1116	参考値
	ブリーディング	JIS A 1123	参考値
	単位水量	工場の方法による	参考値
硬化コンクリート	圧縮強度 標準養生	JIS A 1132 JIS A 1108	材齢7・28・56日 各材齢3本×3セット

に各工場で最適と思われる値で調合設計を実施した。

4. 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表 2 に示す。室内実験に関しては JIS A 1138（試験室におけるコンクリートの作り方）に準じて行い、各種試験項目は JIS の規格に準拠して実施した。スランブ試験、空気量試験の許容差については表 2 の値とするが、合否については JIS A 5308 の規格値により判定を行った。

5. 実験結果

5. 1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリート試験結果を表 3 に示す。スランブ試験結果は、目標値からの差の平均が 0.47 cm、空気量試験については 0.01%であり、全工場 JIS の規格を満足する値であった。単位水量試験結果は全工場±15 kg/m³以内であ

った。ブリーディング量の試験結果を図1に示す。実験を実施した全ての調合で JASS 5 の水密コンクリートに示されている $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ を満足する結果であった。

5. 2 強度発現性と結合材水比－強度式

図2に、68工場で実施した水結合材比60%、47%、39%、33%の4水準のBB+FAコンクリートの標準養生供試体の強度を平均して材齢ごとに示した。当協同組合傘下の工場において、普通ポルトランドセメントNを使用したW/C47%のコンクリートが呼び強度33、W/C39%が呼び強度42程度に相当することを考慮すると、BB+FAコンクリートの材齢56日における強度発現性は、Nの28日での強度発現性と概ね同程度であるとみなすことができる。そこで、全68工場で実施したBB+FAコンクリートの材齢56日標準養生強度の全データを図3にプロットした。

水結合材比33%(B/W=3.03)を除く3点で最小二乗法により一次回帰した実験式と、図中に破線で示した既に当協同組合で標準化されているN+FA(材齢56日)の結合材水比と強度の関係式は、傾きがやや異なるもののほぼ類似した強度発現性を示している。この図から、BB+FAコンクリートの材齢56日における結合材水比－強度式は、実験式のy切片を5%安全側に移行した図中の採用式を標準化のための水結合材比の設定に適用することとした。

なお、W/B=33%については工場ごとの強度発現性の変動がその他のW/Bよりも大きく更なる検討が必要と判断したため、今回の標準化の範囲には含めないこととした。

6. まとめ

- (1)フレッシュコンクリートのスランプ、空気量はJISの規格を満足する結果が得られた。
- (2)単位水量試験は全工場で $\pm 15\text{kg}/\text{m}^3$ 以内の結果であり、ブリーディング試験結果についても全ての調合で $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ を満足する結果であった。
- (3)コンクリートの強度発現性はBBにFAを20%内割置換した場合でも初期強度発現の遅れも無く、標準化に設定した材齢56日まで問題の無い強度発現が得られた。

7. おわりに

JIS 認証の68工場で実験を行い、得られた強度関係式から採用式を決定し、標準配合を作成した。これによりCO₂排出量が抑制でき、CO₂削減率48%から52%が達成できる。現在標準化されている「N+FAコンクリート」より安全側の関係式を選択する結果となったが、温暖化対策のひとつとして「BB+FAコンクリート」の標準化が実現できた。今後、環境配慮型コンクリートとして有効活用されるよう、利用を促進していく所存である。

【謝辞】

BB+FAのコンクリート標準化にあたり、実験工場をはじめ、関係各位に多大なるご支援とご協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

表3 フレッシュコンクリート試験結果
(目標値からの差)

	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位水量 (kg/m^3)
平均	0.47	0.01	-1.13
標準偏差	0.84	0.56	3.70
最大	2.5	1.3	8.1
最小	-2.0	-1.3	-12.7

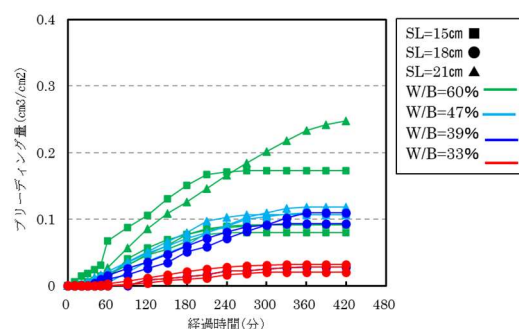


図1 ブリーディング量

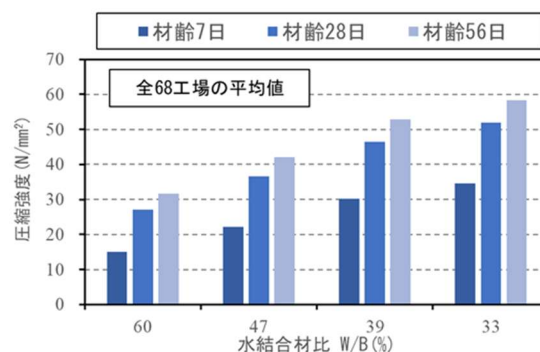


図2 材齢別、各W/Bの強度発現性

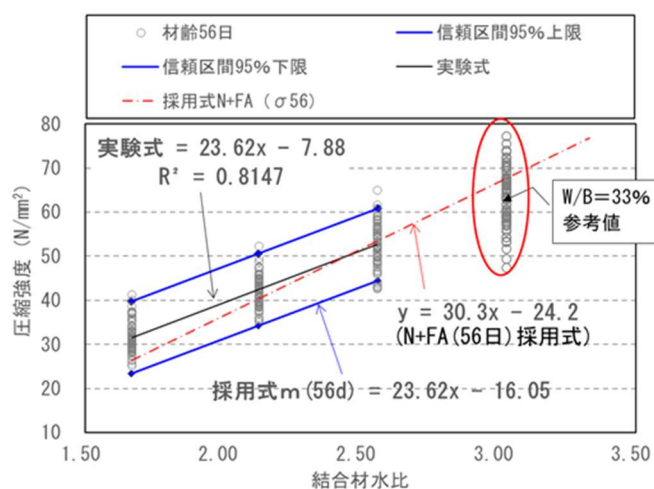


図3 実験強度と「N+FA」採用式との関係

*1 新関西菱光 *2 関西宇部
*3 浅沼組
*4 稲田已建材 *5 千石

*1 Sinkansairyoko Corporation *2 Kansai Ube ,ltd
*3 Asanuma Corporation
*4 INADAMIKENZAI Co.,LTD *5 Sengoku Corporation