

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 5 追加実験の概要と CO<sub>2</sub> 排出量・CO<sub>2</sub> 削減率

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 峯 秀和\*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  
室内実験 CO<sub>2</sub> 削減 CO<sub>2</sub> 排出量

1. はじめに

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,実験を行い検討してきた。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 (以下,BB) にフライアッシュ (以下,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。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 (以下,大阪広域協組) 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,2023 年度より JIS マーク品として標準化を行っていることをその 1 から 4) で報告した。今回,さらなる環境性への適用を視野に,BB に FA を 30%セメント置換した (以下,BB+FA30%) コンクリートの基礎物性検討のための室内実験を実施した。その 5 では,追加実験の概

要について報告する。

2. 使用材料

室内実験の使用材料を表 1 に示す。セメントおよび骨材は,工場で通常使用しているものとし,練混ぜ水は工業用水とした。化学混和剤は高性能 AE 減水剤とし,FA については JIS A 6201 (コンクリート用フライアッシュ) の規格値を満足した舞鶴産の FA II 種を使用した。

表 1 使用材料

記号	名称	種類	生産者・産地	備考
C	セメント	高炉セメント B 種	U 社	密度 3.04g/cm <sup>3</sup>
FA	混和材	フライアッシュ II 種	K 社	密度 2.25g/cm <sup>3</sup>
S1	細骨材	砕砂	兵庫県西島産	S1:S2=60:40 (容積比)
S2		石灰岩砕砂	福岡県北九州産	
G1	粗骨材	砕石 2005	兵庫県西島産	G1:G2=50:50 (容積比)
G2		石灰岩砕石 2005	大分県津久見産	
SP	化学混和剤	高性能 AE 減水剤	S 社	
AE		空気量調整剤	B 社	

表 2 コンクリートの調合

No.	目標 呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	W/C (%)	W/B (%)	FA 置換率 (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )								
						C	FA	W	S1	S2	G1	G2	SP (B*wt%)	AE
1	15	72	72	0	51.3	243	0	175	556	386	447	460	0.525	2.0A
2	19.5	63	63		49.8	278	0	175	531	369	453	467	0.475	1.5A
3	22.5	57	57		48.5	307	0	175	509	354	459	473	0.450	2.0A
4	24	55	55		48.0	318	0	175	502	3549	460	474	0.425	3.5A
5	28.5	50	50		46.8	350	0	175	481	335	464	478	0.400	4.0A
6	34.5	44	44		44.8	398	0	175	450	313	469	483	0.400	4.5A
7	30	40	40		43.4	438	0	175	427	297	472	486	0.400	6.0A
8	24	63	50	20	46.1	280	70	175	469	326	464	478	0.450	22A
9	30	55	44		44.0	318	80	175	435	302	469	483	0.400	24A
10	36	50	40		42.5	350	88	175	412	286	472	486	0.425	29A
11	24	72	50	30	45.7	245	105	175	461	321	464	478	0.400	32A
12	30	63	44		43.6	279	119	175	429	298	469	483	0.400	36A
13	36	57	40		42.0	307	131	175	404	281	472	486	0.500	43A

Development of environment-friendly concrete mixed with fly ash in blast-furnace slag cement type B. part.5 overview of additional experiments and co2 emissions/co2 reduction rate

TANIMURA Kenichiro, NAKAO Youichi  
NITTA Minoru, YAMASAKI Junji,  
MINE Hidekazu and FUNAO Takayoshi

### 3. 調合

室内実験の調合を表 2 に示す。コンクリートの調合は、No.1~7 を FA 置換率 0%のベースコンクリート、No.8~10 は BB+FA20%を標準化した調合とし、No.11~13 は FA 置換率を 30%とした。目標スランブは、No.1~2 (15cm ± 2.5cm) ,No.3~13 (18cm ± 2.5cm) 全ての調合でスランブ低下量を含まない値で設定し、目標空気量は 4.5% ± 1.5%とした。また、単位水量は 175kg/m<sup>3</sup>とし、単位粗骨材かさ容積は室内実験を実施した工場の社内規格を基に設定した。化学混和剤量と AE 助剤量は工場の実績を基に設定した。

### 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 3 に示す。室内実験は、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、各種試験項目は各 JIS 規格等の試験方法に準拠して実施した。スランブおよび空気量試験の許容差は、JIS A 5308 の規格値により合否判定を行ったが、性状について目視で異常が見られると判断した場合は再試験を行うこととした。

### 5. CO<sub>2</sub> 排出量・CO<sub>2</sub> 削減率

室内実験で実施した FA を置換した調合 (No.8~13) の CO<sub>2</sub> 排出量を表 4 に、目標呼び強度 36 における CO<sub>2</sub> 排出量を図 1 に示す。CO<sub>2</sub> 排出量の比較は、大阪広域協組の普通ポルトランドセメント (以下、N) を使用した標準配合とした。CO<sub>2</sub> 排出量を試算したインベントリデータ<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>は、N では 788.6(kg-CO<sub>2</sub>/t)、BB では 458.1(kg-CO<sub>2</sub>/t)、FA では 19.6(kg-CO<sub>2</sub>/t)として試算した。また、結合材以外の材料由来の CO<sub>2</sub> 排出量は小さく、今回は結合材のみの CO<sub>2</sub> 排出量で比較を行った。BB+FA20%調合のNo.8~10 について CO<sub>2</sub> 削減率は表 4 のとおり 48%~49%程度、BB+FA30%調合のNo.11~13 については 50%を上回り 55%を達成する調合が確認できた。

### 6. まとめ

(その 5) では追加実験の使用材料、コンクリートの調合及び各種試験項目と試験方法について示した。この他に、室内実験で実施した調合の CO<sub>2</sub> 排出量・CO<sub>2</sub> 削減率を試算した例を示した。

次報 (その 6) では、室内実験の結果について報告する。

### 参考文献

- 1) 中尾他：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 からその 4)、日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)、pp.99-106、

表 3 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
フレッシュ コンクリート	スランブ	JIS A 1101
	スランブフロー	JIS A 1150
	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

表 4 CO<sub>2</sub> 排出量および削減率

目標 呼び 強度	FA 置換率 (%)	結合材(kg/m <sup>3</sup> )			CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 削減率 (%)
		N	BB	FA		
24	0	316			249	0
	20		280	70	130	48.0
	30		245	105	114	54.1
30	0	360			284	0
	20		318	80	147	48.2
	30		279	119	130	54.2
36	0	409			323	0
	20		350	88	162	49.7
	30		307	131	143	55.6

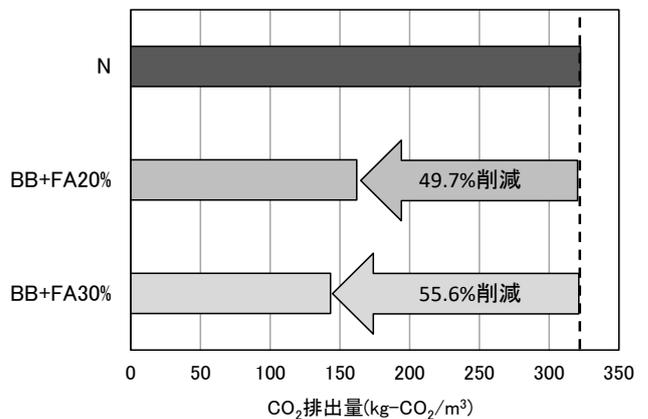


図 1 目標呼び強度 36 の CO<sub>2</sub> 排出量

- 2) セメント協会：セメントの LCI データの概要 2023
- 3) 日本建築学会：フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説、2024.03

\*1 新関西菱光 \*2 関西宇部

\*3 浅沼組

\*4 関電パワーテック \*5 大阪兵庫生コンクリート工業組合

\*1 Sinkansairyoko Corporation \*2 Kansai Ube ,ltd

\*3 Asanuma Corporation \*4 kanden powertek Co.,LTD

\*5 Osaka-hyoug ready-mixed concrete industrialassociation

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 6 フレッシュ性状と強度発現性

正会員 ○中尾 陽一\*1 同 谷村賢一郎\*2 同 新田 稔\*3  
同 山崎 順二\*3 同 船尾 孝好\*4 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  
室内実験 CO<sub>2</sub>削減 FA 置換率

1. はじめに

その 6 では、室内実験で実施したフレッシュコンクリートの試験結果と圧縮強度発現性の検証について報告する。

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試験結果及び圧縮強度試験結果を示す。スランプは、FA 置換率が 0~30%と変化しても性状は大きく変わらなかった。また、空気量については、図 1 に示すとおり FA の置換率が大きくなるに従って空気量調整剤(AE 剤)の添加量も大きく変動したが、適切な AE 剤添加量を設定することにより目標空気量をコントロールできる範囲であり、フレッシュコンクリートの試験結果は、スランプ、空気量ともに目標とする要求性能を満足する結果が得られた。

3. 圧縮強度の発現性

表 1 の圧縮強度結果から、FA 置換有無による同一セメント水比と圧縮強度の関係における強度発現性を図 2 に、

同一結合材水比と圧縮強度の関係における強度発現性を図 3 に示す。

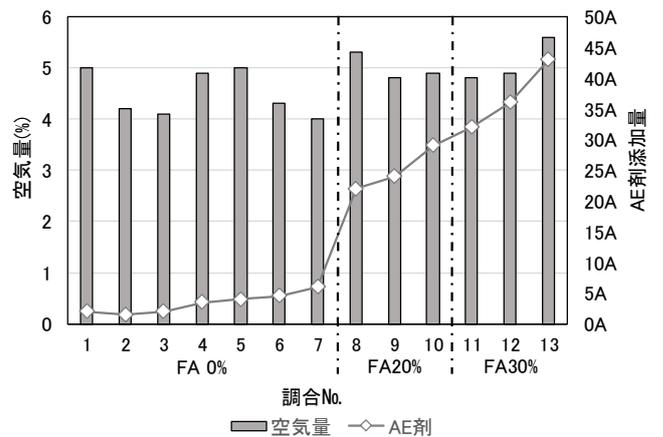


図 1 FA 置換率と空気量

表 1 フレッシュコンクリートの試験結果と圧縮強度試験結果

調査 No.	目標 呼び 強度	W/C (%)	W/B (%)	FA 置換率 (%)	目標 スランプ (cm)	フレッシュコンクリート						標準水中養生 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )				
						SL (cm)	SLF (平均) (cm)	Air (%)	CT (°C)	塩化物 含有量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位 水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位 容積 質量 (kg/m <sup>3</sup> )	7 日	28 日	56 日	91 日
						1	15.0	72.0	72.0	0	15	16.0	27.0	5.0	25	0.03
2	19.5	63.0	63.0	0	15	15.0	25.0	4.2	25	0.04	177.5	2,280	20.3	32.9	35.7	37.4
3	22.5	57.0	57.0	0	15	17.0	28.5	4.1	25	0.04	177.1	2,301	24.6	37.5	40.8	41.8
4	24.0	55.0	55.0	0	15	18.0	29.5	4.9	25	0.04	176.1	2,284	26.0	38.8	42.5	44.8
5	28.5	50.0	50.0	0	15	18.0	29.5	5.0	25	0.03	176.9	2,279	30.2	43.2	48.0	49.7
6	34.5	44.0	44.0	0	15	17.0	27.0	4.3	25	0.03	176.8	2,308	37.5	53.7	56.3	59.4
7	39.0	40.0	40.0	0	15	17.0	27.5	4.0	26	0.03	179.0	2,321	43.7	57.8	64.5	62.4
8	24.0	63.0	50.0	20	18	18.5	34.0	5.3	26	0.02	167.2	2,244	22.5	37.6	42.4	44.0
9	30.0	55.0	44.0	20	18	17.5	29.0	4.8	26	0.03	172.5	2,261	27.3	41.9	47.5	48.7
10	36.0	50.0	40.0	20	18	17.0	27.0	4.9	26	0.03	170.4	2,264	30.4	48.9	49.9	50.9
11	24.0	72.0	50.0	30	18	19.0	33.5	4.8	25	0.02	170.4	2,249	18.6	32.1	36.9	38.7
12	30.0	63.0	44.0	30	18	16.5	27.0	4.9	25	0.03	174.2	2,243	23.7	38.9	43.3	44.0
13	36.0	57.0	40.0	30	18	19.5	33.5	5.6	26	0.03	176.5	2,233	25.9	42.3	46.2	47.3

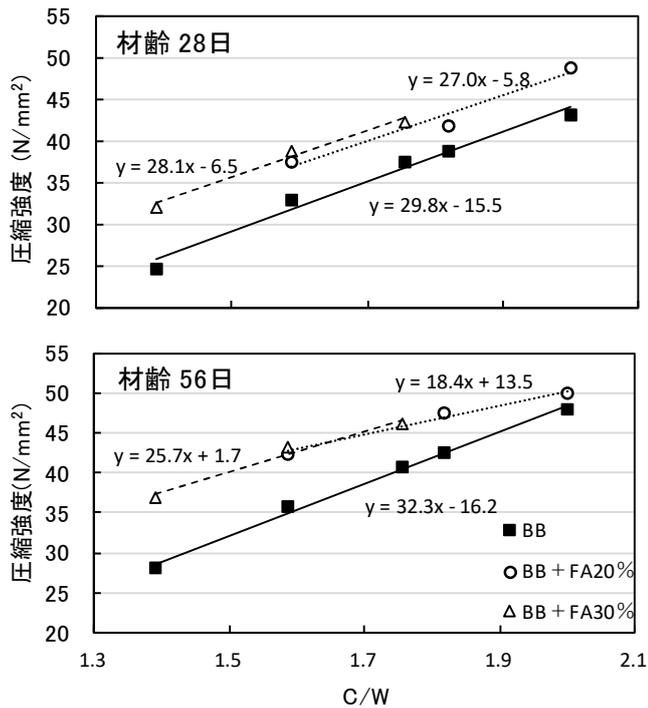


図2 セメント水比と圧縮強度の関係

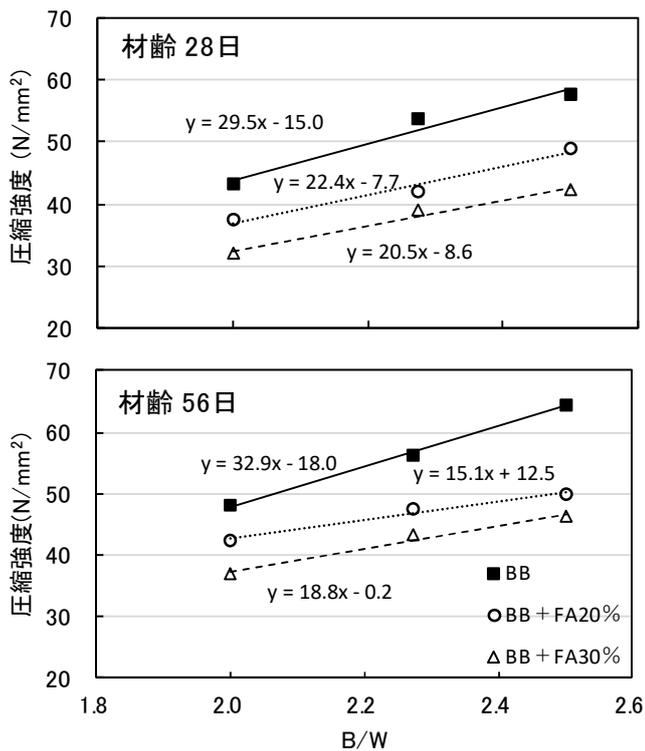


図3 結合材水比と圧縮強度の関係

同一セメント水比と結合材水比ともに材齢 28 日までは、ベースセメント (BB) と同様の傾き (ポルトランドセメント量の違いによる強度の差はあるが強度発現は同様の

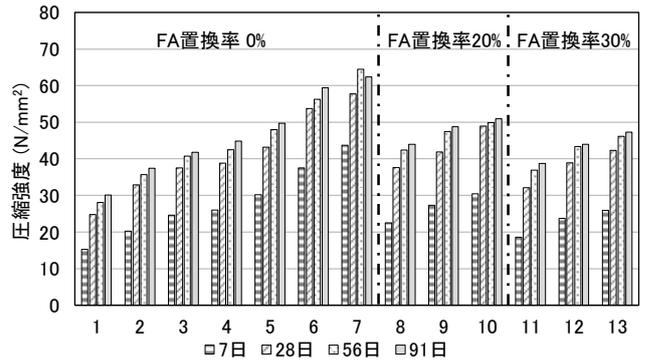


図4 材齢と圧縮強度の関係

傾向) で、材齢 56 日以降で、FA20%および 30%とベースセメントの傾きが異なり、セメント水比と結合材水比が大きくなるに従って、強度増進が見られないといった傾向がみられた。

また、図4に材齢と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は、FA 置換率 0%を基準とした場合の各材齢において、FA 置換率 20%で約-1.14%および FA 置換率 30%で約-1.31%の強度低下がみられた。FA 置換率が大きくなるに従って、強度差も大きくなることから、圧縮強度を FA 置換率 0%と同等にするには、ポズラン反応を活性化するためにアルカリ刺激剤等でフライアッシュの効果を高める必要があると思われる。

#### 4. まとめ

- (1) スランプは、FA 置換率が 0~30%と変化しても性状は大きく変わらなかった。
- (2) BB+FA の空気量は適切な空気調整剤の添加量を設定することによりコントロールできる範囲であった。
- (3) 同一セメント水比と結合材水比ともに材齢 28 日までは、ベースセメント (BB) と同様の傾き (ポルトランドセメント量の違いによる強度の差はあるが強度発現は同様の傾向) で、材齢 56 日以降で、FA20%および 30%とベースセメントの傾きが異なり、セメント水比と結合材水比が大きくなるに従って、強度増進が見られないといった傾向がみられた。
- (4) 圧縮強度は、FA 置換率 0%を基準とした場合の各材齢において、FA 置換率 20%で約-1.14%および FA 置換率 30%で約-1.31%の強度低下がみられた。
- (5) FA 置換率が大きくなるにつれ強度低下があることから圧縮強度を FA 置換率 0%と同等にするには、ポズラン反応を活性化するためにアルカリ刺激剤等でフライアッシュの効果を高める必要があると思われる。
- (6) 強度発現性については、外気 (室内) 温度・コンクリート温度や単位ポルトランドセメント量の影響など複数要因が考えられる。今後、各種物性試験と併せて、引き続き検証するものとする。

\*1 関西宇部 \*2 新関西菱花  
\*3 浅沼組 \*4 大阪兵庫生コンクリート工業組合  
\*5 岡本生コンクリート

\*1 Kansai Ube ,ltd \*2 Sinkansairyoko Corporation  
\*3 Asanuma Corporation \*5 Okamoto Concrete Corporation  
\*4 OSAKA-HYOGO READY-MIXED CONCRETE INDUSTRIAL ASSOCIATION