

～GBRC 環境証明第一号取得～

脱炭素社会の実現に向けた環境配慮型コンクリートの普及・促進への取り組み

Obtainment of The First Certificate of Environmentally Conscious Technology for Construction Materials
Initiative in Promotion for the Spread of Environmentally Conscious Concrete Toward Realizing a Decarbonized Society

尾崎 圭司*1、船尾 孝好*2、安田 慎吾*3

1. はじめに

近年、地球温暖化が問題となっており、1997年に気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書が採択された。2015年には国連サミットにおいて、SDGsへの取り組みの17の目標が採択され、内13目標で地球温暖化対策が求められている。また、2020年10月には日本政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言し、今後、更なる削減に向けての取り組みが必要となっており、温室効果ガスの削減は喫緊の課題となっている。

そうした中、大阪広域生コンクリート協同組合（以下、大阪広域）にはゼネコン及び生コン販売店より環境に配慮したコンクリートや、CO₂排出量を削減したコンクリートに関する問合せが入り始め、製造者側である生コン工場からゼネコン側に提案できる環境配慮型コンクリートについて検討を開始した。

大阪広域では、温室効果ガスのひとつであるCO₂の削減のため、脱炭素化に寄与する技術として、CO₂排出量を削減した環境配慮型コンクリートの開発に着手し、普通ポルトランドセメント（以下、N）にフライアッシュⅡ種を質量比で10%及び20%内割置換した配合のコンクリート（以下、それぞれN+FA10%及びN+FA20%）の標準化を行ってきた。更にCO₂排出量を削減したコンクリートを目指し、高炉セメントB種にフライアッシュⅡ種を質量比で20%内割置換した環境配慮型コンクリート（以下、BB+FA20%）を開発した。そこで、大阪広域で標準化した環境配慮型コンクリート

のCO₂削減率の妥当性に対して客観的な評価を得るために、一般財団法人日本建築総合試験所（以下、日総試）にて環境配慮型材料技術の環境証明書を取得した。本報では、脱炭素社会の実現に向けた環境配慮型コンクリートの普及・促進への取り組みの一つとした環境証明の概要、適用事例及び今後の展望について報告する。

2. 技術の概要

2.1 環境配慮型コンクリートの種類と実績

大阪広域における環境配慮型コンクリートは現状で、以下の3種類である。

- ① 高炉セメントB種を使用したコンクリート（BB）
- ② 普通ポルトランドセメントとフライアッシュⅡ種を使用したコンクリート（N+FA10%及び20%）
- ③ 高炉セメントB種とフライアッシュⅡ種を使用したコンクリート（BB+FA20%）

①は、2004年に標準化を行って以降、土木工事を中心に昨年度より過去5年間の出荷実績は約570万m³と豊富である。

②は、2012年に標準化を行い、混和材が別計量できる設備を有する大阪広域傘下40工場においてJISマーク品としてコンクリートの製造・出荷を行ってきた。また、昨年度より過去5年間の出荷実績は約21万m³であった。

③は、2023年2月より大阪広域組合工場で、順次標準化を行っている。同3月よりJISマーク品としてコンクリートの製造・出荷を開始し、2023年4月1日現在で約580m³の出荷実績と、当面の出荷予定数量を9,000m³

*1 OZAKI Keiji : 大阪広域生コンクリート協同組合

*2 FUNAO Takayoshi : 大阪広域生コンクリート協同組合

*3 YASUDA Shingo : 大阪広域生コンクリート協同組合

と見込んでおり、今後も更に需要拡大が期待される。

2.2 環境配慮型コンクリートの主な標準化内容

大阪広域で標準化している環境配慮型コンクリートの結合材の種類に応じた統一採用式及び呼び強度の範囲を表-1に、呼び強度に応じた採用水結合材比を表-2に示す。なお、基準となるNについても併せて表記する。大阪広域組合工場においては、統一採用式を用いて同一水結合材比となるように設計されているため、環境配慮型コンクリートは大阪広域組合工場で統一した標準配合（以下、統一配合）となっており、結合材の種類、呼び強度、スランプ及び単位水量を同一としている。

2.3 環境証明における環境配慮に関連する指標

本環境証明では環境配慮に関連する指標を定める必要があるが、証明対象となる環境配慮型コンクリートにおいてはそれをCO₂削減率とした。その削減率は、同一呼び強度、同一スランプの普通ポルトランドセメントのみを結合材に使用したコンクリート（以下、基準コンクリート）のCO₂排出量に対する環境配慮型コンクリートのCO₂排出量の削減割合から求めたCO₂削減率とし、表-3に示す。なお、耐久設計基準強度や構造体強度補正值等⁶⁾を考慮した場合、必ずしも同一呼び強度、同一スランプにおけるCO₂削減率が顧客等から要求される訳ではないことも想定し、配合ごとのコンクリートのCO₂排出量を示すことで、必要に応じてCO₂削減率が計算できるように配慮している。

2.4 本環境証明における適用範囲

本環境証明における適用範囲は、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートの呼び強度とスランプの組み合わせの範囲内で大阪広域が標準化している環境配慮型コンクリートの配合である。コンクリートの種類は普通コンクリートとし、セメントの種類は、高炉セメントB種、普通ポルトランドセメント、混和材はフライアッシュII種とした。また、呼び強度は21から45とし、呼び強度18は対象外とした。また、粗骨材の最大寸法は20mm及び40mmとした。

3. 環境配慮に関する指標とその妥当性の検証

3.1 CO₂排出量算出の前提条件

環境配慮に関する指標であるCO₂削減率を算出するためには、基となるインベントリデータを決定する必要がある。しかし、使用材料のインベントリデータは様々な仕様書や文献で挙げられているがその時期などの違いにより若干ではあるがその値は異なるため、本環境証明では表-4に示す値を用いることとした^{1)~5)}。

大阪広域組合全工場では、表-1及び表-2に示される、統一の採用式及び水結合材比を用いていることから、同一呼び強度、同一スランプの場合には、単位結合材量や単位水量は同じ値となる。一方、骨材量に関しては骨材の種類や産地の多様化が進み、各工場で定めた粗骨材かさ容積の値を用いて配合設計を行っているため、工場ごとに骨材量は若干異なる。よって、表-4に示すインベントリデータを全使用材料に用いてコンクリートのCO₂排出量を計算した場合、工場ごとに骨材量は若干異なるため、CO₂排出量も異なる結果となる。表-4によると、骨材、水及び化学混和剤のいずれのCO₂排出量も小さな値であり、CO₂削減率を計算しても全体の1%程度であること、また、大阪広域は統一配合を採用しており、組合内の同一性を重視することから、CO₂削減率は結合材のみで算出することとした。

表-1 結合材の種類に応じた統一採用式

結合材種類	化学混和剤種類	統一採用式	呼び強度の範囲
N	AE	$F_{28} = -11.5 + 23.5C/W$	21~30
	SP	$F_{28} = -14.8 + 25.9C/W$	24~30
		$F_{28} = -6.0 + 21.6C/W$	33~45
BB+FA20%	SP	$F_{56} = -16.1 + 23.6B/W$	21~36
BB	AE	$F_{28} = -12.2 + 23.1C/W$	21~30
		$F_{56} = -10.2 + 23.1C/W$	21~33
		$F_{91} = -8.2 + 23.1C/W$	21~33
	SP	$F_{28} = -13.7 + 23.1C/W$	24~30
		$F_{28} = -6.9 + 21.4C/W$	33~45
		$F_{56} = -11.9 + 24.5C/W$	27~33
		$F_{56} = -4.9 + 21.4C/W$	36~45
N+FA10%	SP	$F_{28} = -19.7 + 27.0B/W$	21~45
		$F_{56} = -19.4 + 29.1B/W$	24~45
N+FA20%	SP	$F_{28} = -23.4 + 27.8B/W$	21~45
		$F_{56} = -24.2 + 30.3B/W$	21~45

注) AE=AE減水剤 SP=高性能AE減水剤 F=配合強度

表-2 呼び強度に応じた採用水結合材比

結合材種類	化学混和剤(材齢)	水結合材比 (%)								
		呼び強度								
		21	24	27	30	33	36	40	42	45
N	AE(28)	63	57	53	49	—	—	—	—	—
	SP(28)	—	57	54	50	47	44	40	38	36
BB+FA20%	SP(56)	55	50	48	44	42	40	—	—	—
BB	AE(28)	61	55	51	47	—	—	—	—	—
	AE(56)	64	58	53	49	46	—	—	—	—
	AE(91)	68	61	56	51	48	—	—	—	—
	SP(28)	—	55	52	48	46	43	39	37	35
	SP(56)	—	—	54	50	48	44	40	39	36
N+FA10%	SP(28)	58	53	51	48	45	43	40	38	36
	SP(56)	—	58	55	52	49	46	43	42	40
N+FA20%	SP(28)	55	51	49	46	44	42	39	37	36
	SP(56)	59	55	53	50	47	45	42	40	39

表-3 環境配慮型コンクリートのCO₂削減率

環境配慮型 コンクリートの種類	CO ₂ 削減率 (%)	CO ₂ 削減率 の算出方法
BB+FA20% (SP) 置換率内割20wt%	48~52	①使用材料のうち、結合材由来に限定してCO ₂ 排出量を算出 ②同一呼び強度、同一スランプの基準コンクリートに対するCO ₂ 排出量の削減割合
BB (AE) 又は (SP)	37~47	
N+FA20% (SP) 置換率内割20wt%	13~28	
N+FA10% (SP) 置換率内割10wt%	5~21	

表-4 使用材料のインベントリデータ^{1)~5)}

材料の種類		CO ₂ 排出量 (kg/t)
結合材	普通ポルトランドセメント	788.6
	高炉セメントB種	458.1
	フライアッシュII種	19.6
	細骨材	2.0
	粗骨材	3.7
	水	0.149
	AE減水剤 リグニン系	123
	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸エーテル系	100から350

3.2 CO₂排出量及び削減率の算出方法

上述したように環境配慮型コンクリートのCO₂排出量及びCO₂削減率の算出は、表-4に示すインベントリデータのうち、結合材のみを用いて行い、その結合材の単位量は統一配合のものを用いる。また、環境配慮型コンクリートのCO₂削減率は、同一呼び強度、同一スランプの基準コンクリートのCO₂排出量に対する削減割合として求める。なお、算出の具体例を表-5に示す。

3.3 CO₂排出量及び削減率の算出結果

3.2節で示した算出方法から導いたCO₂排出量の範囲を、粗骨材の最大寸法(Gmax20mm及びGmax40mm)ごとにそれぞれ表-6.1及び表-6.2に、CO₂削減率の範囲を表-7.1及び表-7.2に示す。また、結合材の種類とCO₂排出量の範囲の関係を図-1に、結合材の種類とCO₂削減率の範囲の関係を図-2に示す。図中に示すように、CO₂排出量はNを用いた場合、粗骨材の最大寸法20mmの配合で最大で405kg/m³に対し、BBを用いた場合は235kg/m³となりCO₂排出量を大幅に抑えられることが分かる。

そのため、Nと比較して求める各環境配慮型コンクリートのCO₂削減率は、BBの場合は36.6%から46.5%、BB+FA20%の場合は47.8%から51.6%、N+FA10%の場合は5.4%から21.2%、N+FA20%の場合は12.5%から28.0%が削減できることが示され、CO₂削減効果があることが確認できる。

表-5 結合材のみのインベントリデータでの算出の具体例

配合名 項目	普通21-8-20-N 材齢28日(AE)	普通21-8-20-BB+FA 20%材齢56日(SP)
①単位結合材量(kg/m ³)	N=270	BB=233 FA=58
②CO ₂ 排出量 (kg/m ³)	単位結合材量×インベントリデータ 1000	
	$\frac{270 \times 788.6}{1000} = 213$	$\frac{233 \times 458.1}{1000} = 106.73$ $\frac{58 \times 19.6}{1000} = 1.13$ 106.73+1.13=108
③CO ₂ 削減率 (kg/m ³)	$\frac{N \text{ CO}_2 \text{ 排出量} - \text{BB+FA CO}_2 \text{ 排出量}}{N \text{ CO}_2 \text{ 排出量}} \times 100$ $\frac{213 - 108}{213} \times 100 = 49.3\%$	

表-6.1 結合材の種類に応じたCO₂排出量の範囲(Gmax20mm)

結合材の種類	材齢 (日)	呼び強度 の範囲	スランプ (cm)	CO ₂ 排出量 (kg/m ³)
N(AE)	28	21	8~21	213~250
		24~30	8~15	235~289
N(SP)	28	24	15~21	242~256
		27~30	12~21	248~292
		33~45	8~21	277~405
BB(AE)	28	21	8~21	128~150
		24~30	8~15	142~175
	56	21	8~21	122~143
		24~33	8~15	134~179
	91	21	8~21	115~135
		24~33	8~15	128~172
BB(SP)	28	24~30	12~21	142~176
		33~45	8~21	164~242
	56	27~33	12~21	144~176
		36~45	8~21	172~235
BB+FA20% (SP)	56	21~36	8~21	108~167
N+FA10% (SP)	28	21	15~21	209~221
		24~45	8~21	215~356
	56	24	15~21	209~221
N+FA20% (SP)	28	27~45	8~21	207~320
		21~45	8~21	185~317
	56	21	18~21	189~194
		24~45	8~21	185~294

表-6.2 結合材の種類に応じたCO₂排出量の範囲(Gmax40mm)

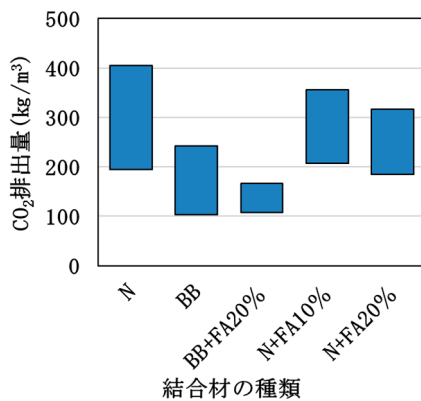
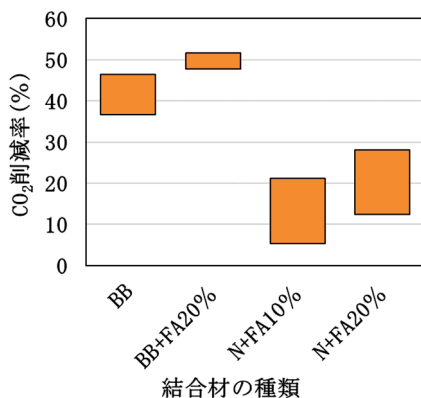
結合材の種類	材齢 (日)	呼び強度 の範囲	スランプ (cm)	CO ₂ 排出量 (kg/m ³)
N(AE)	28			194~274
BB(AE)	28	21~30	5~15	116~166
	56			111~159
	91			104~153

表-7.1 結合材の種類に応じたCO₂削減率の範囲 (Gmax20mm)

結合材の種類	材齢 (日)	呼び強度の範囲	CO ₂ 削減率 (%)	
			N(AE)	N(SP)
BB(AE)	28	21~30	39.2~40.3	—
		24~30	—	36.6~38.0
	56	21~33	41.7~43.0	—
		24~33	—	38.8~41.3
	91	21~33	43.9~46.5	—
		24~33	—	41.3~44.2
BB(SP)	28	24~30	41.3~42.6	—
		24~45	—	39.4~40.8
56	27~45	44.6~44.8	41.7~43.6	
	BB+FA20% (SP)	56	21~30	49.3~51.6
		24~36	—	47.8~50.0
		N+FA10% (SP)	28	21~30
24~45	—			5.4~12.6
56	24~30		16.1~20.2	—
	24~45		—	13.6~21.2
N+FA20% (SP)	28	21~30	13.1~19.3	—
		24~45	—	12.5~22.0
	56	21~30	20.6~25.9	—
		24~45	—	18.8~28.0

表-7.2 結合材の種類に応じたCO₂削減率の範囲 (Gmax40mm)

結合材の種類	材齢 (日)	呼び強度の範囲	CO ₂ 削減率 (%)
			N(AE)
BB(AE)	28	21~30	39.4~40.2
	56		41.7~43.2
	91		44.1~46.4

図-1 結合材の種類とCO₂排出量の範囲の関係図-2 結合材の種類とCO₂削減率の範囲の関係

4. 運用体制

本環境証明における環境配慮型コンクリートについて、その製造、出荷及び環境配慮の指標 (CO₂削減率) の取り扱いについては、以下の運用体制とすることとした。

- ① 環境配慮型コンクリートの製造工場は、大阪広域組合工場であること。
- ② 環境配慮型コンクリートは、JIS A 5308の認証を取得していること。
- ③ 環境配慮型コンクリートの配合には、統一配合を使用すること。
- ④ 本環境証明に関する問い合わせや取扱いは、大阪広域が行うこと。

5. 適用事例

大阪広域では、新たな拠点として大阪市南港に位置する自社ビルを建設中である。その杭工事において、環境配慮型コンクリートであるBB+FA配合を全量使用することが決定しているため、当該工事で使用する具体的な配合から計算したCO₂排出量及びCO₂削減率を表-8と図-3に示す。

場所打ち杭の1本あたりのコンクリートの打込み量は約80m³である。また、総本数は123本の予定でコンクリートの総数量は約9,000m³となる。なお、配合は呼び強度33、スランプは21cmである。

この場所打ち杭にN配合を使用した場合には、1m³中のCO₂排出量は311kg/m³であり、場所打ち杭のCO₂総排出量は2,799tとなる。一方、BB+FA配合の場合には1m³中のCO₂排出量は、159kg/m³であることから、CO₂総排出量は1,431tとなる。

つまり、1,368tのCO₂削減量が見込まれ、今回の杭工事においてCO₂削減率は48.9%となる。

表-8 大阪広域自社ビルでのCO₂削減量と削減率

項目	33-21-20-Nの場合	33-21-20-BB+FAの場合
杭総本数	123	
生コン総数量(m ³)	9,000	
CO ₂ 排出量 (kg/m ³)	311	159
CO ₂ 排出量 総計(t)	2,799	1,431
CO ₂ 削減量と削減率	1,368t 48.9%	

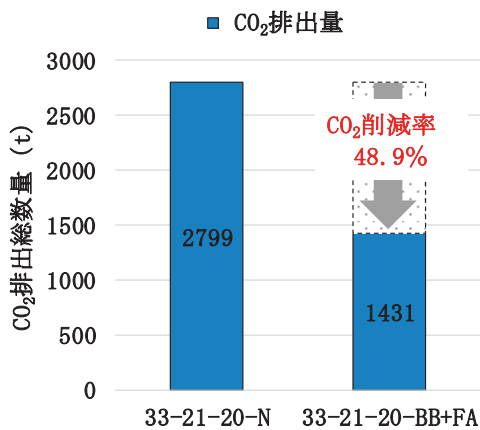


図-3 BB+FA配合のCO₂排出量及び削減率

6. 今後の展望

日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説JASS5 鉄筋コンクリート工事2022 (以下、JASS5 2022)⁷⁾では、新たに環境性が加えられ、資源循環性、低炭素性及び環境安全性についてその性能が定義されており、今後施工者はJASS5 2022への対応が益々求められる。そうした中、大阪広域が標準化している環境配慮型コンクリートのBB+FA配合は特にCO₂削減率が高く、本報「3. 環境配慮に関する指標とその妥当性の検証」で算出されたCO₂削減率は48%以上である。

そこで、大阪広域で標準化している環境配慮型コンクリートの付加価値を高めることを目的に、環境配慮型コンクリートのCO₂削減率に対し、大阪広域が独自に定める基準による等級分けなどを提案したいと考えている。現段階での等級案を表-9に示す。なお、今後更にCO₂排出量を削減したコンクリートの開発や等級のあり方などの詳細な検討を進めていくこととしている。

表-9 CO₂削減率の等級案

CO ₂ 削減率の等級	CO ₂ 削減率の目安 (%)	結合材の種類
ランク I	45 以上	BB+FA20%
ランク II	30 以上 45 未満	BB
ランク III	15 以上 30 未満	N+FA20%
ランク IV	5 以上 15 未満	N+FA10%

7. まとめ

本報では、日総試で取得した環境配慮型材料技術の環境証明の概要、適用事例及び今後の展望について報告した。特に適用事例においては、大きなCO₂削減効果が得られることが確認できた。

今後も、大阪広域として継続して地球温暖化対策に取

組んでいく。また、新たな環境配慮型コンクリートの開発にも積極的に取り組み、CO₂削減率に応じた独自のランク (等級) 分けなどを継続して検討したいと考えており、環境配慮型コンクリートの普及・促進に務めていきたい。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人セメント協会：セメントのLCIデータの概要、2023.2.16
- 2) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査コンクリートライブラリー125、2005
- 3) 全国生コンクリート工業組合連合会：環境負荷低減に関する実態調査報告書Ⅱ、2022.3
- 4) 大阪市水道局：https://www.city.osaka.lg.jp (2023年4月閲覧)
- 5) 大塚拓：CO₂の排出を抑えるフライアッシュの有効利用、コンクリート工学、vol. 59, No9, pp782-787, 2021.9
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説、2016
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS5 鉄筋コンクリート工事 2022

【執筆者】



*1 尾崎 圭司 (OZAKI Keiji)



*2 船尾 孝好 (FUNAO Takayoshi)



*3 安田 慎吾 (YASUDA Shingo)