

プレキャストコンクリートの製造における環境負荷低減

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○澤井浩士
ランダス株式会社 正会員 藤木昭宏
広島大学大学院工学研究科 学生会員 岩谷祐太
広島大学大学院工学研究院 正会員 河合研至

1.はじめに

現在、地球温暖化、酸性雨、海洋汚染等の環境問題の深刻化が世界中で叫ばれており、環境負荷低減への取り組みが各産業にとって緊急の課題となっている。建設活動においても同様であるが、現在の構造物は力学性能が重視されており、環境問題が定量的に考慮されることは少ない。

本研究では、構造物を製造する際使用されるコンクリートの中でもプレキャストコンクリート(PCa)に着目して、環境負荷低減を目指すこととした。PCa 製品工場での製造実績を基に、環境負荷低減の観点から、より有効な PCa を製造する方策について検討した。一般的に、PCa 製造の際の環境負荷量は PCa を構成する材料の製造に伴う環境負荷量が非常に大きな割合を占めている。そのため、一般的な PCa の材料となる天然資源やポルトランドセメントを、溶融スラグ細骨材や再生粗骨材、フライアッシュなどのリサイクル材料に置換した場合でも性能が変わらないことを検証した上で、置換前と置換後の環境負荷量を比較・評価し、置換することでの環境負荷排出量の変化を定量的に示した。

2.調査概要

PCa 製品工場へのヒアリング調査から PCa 製品の示方配合と機械の稼働における燃料消費量を得た。それらの情報を基に PCa 製造における各環境負荷を定量化した。また、数種類の示方配合のうち使用頻度の最も高い代表的な配合を基本配合として、基本配合におけるポルトランドセメントや砕砂、砕石を様々な組み合わせでフライアッシュや溶融スラグ細骨材、再生粗骨材に置換した場合のコンクリート供試体を作製し、脱型材齢 1 日、出荷材齢 7 日、材齢 28 日における圧縮強度を測定した。今回の調査では PCa の出荷材齢である材齢 7 日で、基本配合と同等の圧縮強度を有する置換後の配合に対して、製造による各環境負荷を定量化して置換前後の変化量を算出した。

また、各環境負荷とは CO₂ 排出量、SO_x 排出量、NO_x 排出量、ばいじん排出量とし、環境負荷量を算出するために必要な燃料消費に関するインベントリデータ、構成材料に関するインベントリデータには表-1、表-2 の値を用いた。また、表-3 に基本配合の詳細を示す。

表-1 燃料消費に関するインベントリデータ¹⁾

	単位(*)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /*)	SO _x 排出量 (kg-SO _x /*)	NO _x 排出量 (kg-NO _x /*)	ばいじん 排出量 (kg-PM/*)
購入電力	kwh	0.37	0.13	0.16	0.03
重油	L	3.22	58.08	1.27	
軽油	L	2.82	3.59	60.53	3.67

表-2 構成材料に関するインベントリデータ¹⁾

	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)	SO _x 排出量 (kg-SO _x /t)	NO _x 排出量 (kg-NO _x /t)	ばいじん 排出量 (kg-PM/t)
ポルトランドセメント	766.6	1.22E-01	1.55E+00	3.58E-02
砕石	2.9	6.07E-03	4.15E-03	1.41E-03
砕砂	3.7	8.60E-03	5.86E-03	1.99E-03
高炉スラグ微粉末	26.5	8.36E-03	1.02E-02	1.69E-03
フライアッシュ	19.6	6.20E-03	7.54E-03	1.25E-03
溶融スラグ骨材	430.3	1.23E-01	1.50E-01	2.49E-02
I 種再生骨材	17.7	6.28E-03	2.89E-02	2.18E-03

表-3 対象とした基本配合

設計強度 (N/mm ²)	M.S. (mm)	slump (%)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
						W	C	BF	S	G	Ad
30	20	18±2.5	1.5±1	40	40	173	346	87	661	1037	1.61

3.調査結果および考察

基本配合に対する代替材料の置換組み合わせを表-4に示す。表-4は、各配合における結合材、細骨材、粗骨材における各材料の使用比率を示している。表記のFAはフライアッシュ、溶は熔融スラグ細骨材、再は再生粗骨材をそれぞれ示す。表-5に各配合における強度試験結果を示す。強度試験の結果、基本配合と同等の性質を有する配合に対して、表-4に定量化の有無が示されている。それらの配合に対して環境負荷の定量化を行った。環境負荷の評価範囲は、材料の製造からPCa製品製造までとしたが、材料の輸送は考慮していない。環境負荷量の算出では、工場内の製品が全て基本配合で製造されるとし、基本配合に年間の製品製造量に乗じて、年間の総負荷量として求めることとした。

まず、各々の配合における年間CO₂排出量を図-1、図-2に示す。図の数値について、グラフ中の数値は各配合の代替材料置換を行った場合の年間総CO₂排出量を示しており、グラフ上部の数値は基本配合に対する比を示している。図-1、図-2より、ポルトランドセメントの20%をフライアッシュに置換することで、実際の排出量の21%のCO₂排出量を低減できるという結果となった。また、熔融スラグ細骨材を置換した場合はCO₂排出量が増えているがこのことは砕砂に比べて熔融スラグ細骨材の製造に伴うCO₂排出量が大きいためである。再生粗骨材を使用した場合はCO₂排出量に大きな変化はなかった。

次に各々の配合における年間SO_x排出量を図-3、図-4に示す。図-3、図-4よりどの代替材料を置換した場合もSO_x排出量に大きな変化はないという結果となった。PCa製品工場におけるSO_x排出量は機械を稼働させるための重油の使用が大きな割合を占めているため、構成材料を変えても影響は少ないということが考えられる。

表-4 置換組み合わせ

配合名	W/B	結合材			細骨材		粗骨材		定量化の有無
		C	FA	BF	S	溶	G	再	
40NC	0.4	0.8	0	0.2	1	0	1	0	○
40FA20	0.4	0.6	0.2	0.2	1	0	1	0	
37FA20	0.37	0.6	0.2	0.2	1	0	1	0	
35FA10	0.35	0.7	0.1	0.2	1	0	1	0	○
35FA20	0.35	0.6	0.2	0.2	1	0	1	0	○
40溶30	0.4	0.8	0	0.2	0.7	0.3	1	0	○
40溶50	0.4	0.8	0	0.2	0.5	0.5	1	0	
37.5溶50	0.375	0.8	0	0.2	0.5	0.5	1	0	○
40再50	0.4	0.8	0	0.2	1	0	0.5	0.5	○
40再75	0.4	0.8	0	0.2	1	0	0.25	0.75	
40再100	0.4	0.8	0	0.2	1	0	0	1	
37.5再100	0.375	0.8	0	0.2	1	0	0	1	○
40FA20溶50	0.4	0.6	0.2	0.2	0.5	0.5	1	0	
37FA20溶30	0.37	0.6	0.2	0.2	0.7	0.3	1	0	
35FA20溶30	0.35	0.6	0.2	0.2	0.7	0.3	1	0	○
40FA20再50	0.4	0.6	0.2	0.2	1	0	0.5	0.5	
37FA20再75	0.37	0.6	0.2	0.2	1	0	0.25	0.75	
35FA20再75	0.35	0.6	0.2	0.2	1	0	0.25	0.75	○

(W/B以外の数値は、各材料の構成比率を示す。)

表-5 強度試験結果

配合名	初期強度 (N/mm ²)	7日強度 (N/mm ²)	28日強度 (N/mm ²)	基本配合に対する 7日強度比
40NC	18.1	33.1	40.6	1.00
40FA20	14.8	20.6	33.5	0.62
37FA20	12.5	27.3	38.4	0.82
35FA10	27.8	42.2	52.1	1.27
35FA20	23.1	36.4	47.3	1.10
40溶30	22.2	32.8	38.0	0.99
40溶50	19.1	25.5	37.6	0.77
37.5溶50	24.7	37.3	44.2	1.13
40再50	14.6	31.0	37.6	0.94
40再75	21.1	30.5	39.7	0.92
40再100	19.1	27.9	33.3	0.84
37.5再100	24.6	36.3	41.7	1.10
40FA20溶50	13.8	20.7	30.8	0.63
37FA20溶30	13.3	30.5	38.5	0.92
35FA20溶30	22.9	39.6	46.8	1.20
40FA20再50	13.5	19.7	30.5	0.60
37FA20再75	11.7	25.0	34.8	0.76
35FA20再75	20.6	34.6	41.3	1.05

次に各々の配合における年間 NO_x 排出量を図-5、図-6 に示す。図-5、図-6 より NO_x 排出量はポルトランドセメントの 20%をフライアッシュに置換することで、実際の排出量の 22%の NO_x 排出量を低減できるという結果となった。また溶融スラグ細骨材、再生粗骨材を使用した場合、NO_x 排出量に大きな変化は見られなかった。

次に各々の配合における年間ばいじん排出量を図-7、図-8に示す。図-7、図-8よりばいじん排出量はポルトランドセメントの 20%をフライアッシュに置換することで、実際の排出量の 15%のばいじん排出量を低減できるという結果となった。また、溶融スラグ細骨材を使用した場合、ばいじん排出量は大きく増大し、再生粗骨材を使用した場合は大きな変化は見られないという結果となった。

以上のように、フライアッシュを置換した場合は各環境負荷を低減できるが、溶融スラグ細骨材や再生粗骨材を置換した場合は環境負荷を低減することはできないという結果となった。しかし、溶融スラグ細骨材や再生粗骨材を置換することで砕砂や砕石の使用を低減することができ、天然資源の延命化を図ることができると考えられる。また、溶融スラグ細骨材は廃棄物を焼却処理する過程で製造される再生材料である。廃棄物は溶融スラグ細骨材の製造の有無に関わらず焼却処理が行われるため、溶融スラグ細骨材の使用に関する環境負荷は考慮しないという考え方があ。その場合、溶融スラグ細骨材を代替材料として使用することによって CO₂ 排出量などが増大するという結果が、基本配合と同等程度であるという結果になると考えられる。

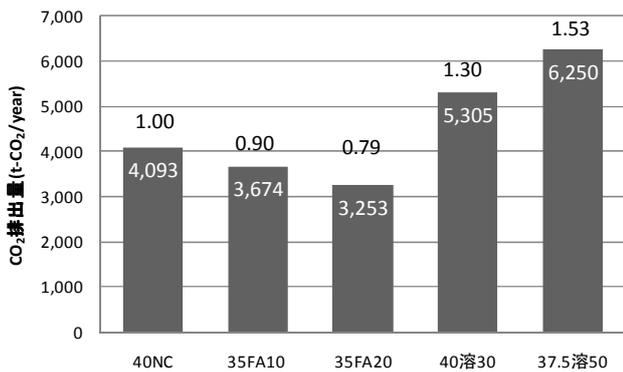


図-1 代替材料を置換した場合の年間総 CO₂ 排出量

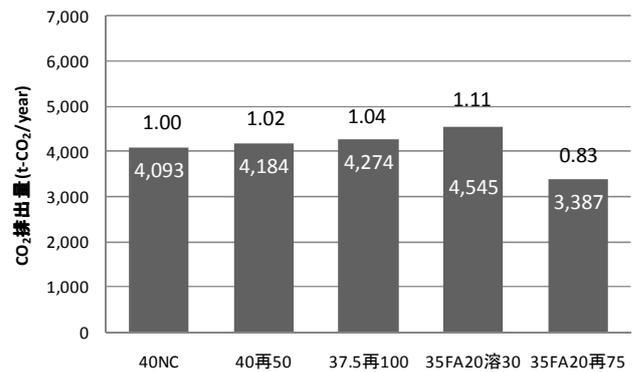


図-2 代替材料を置換した場合の年間総 CO₂ 排出量

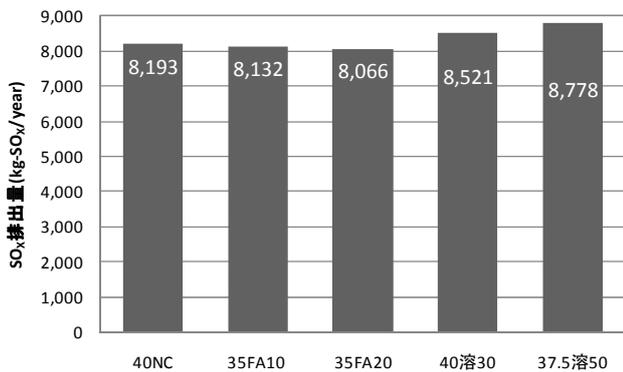


図-3 代替材料を置換した場合の年間総 SO_x 排出量

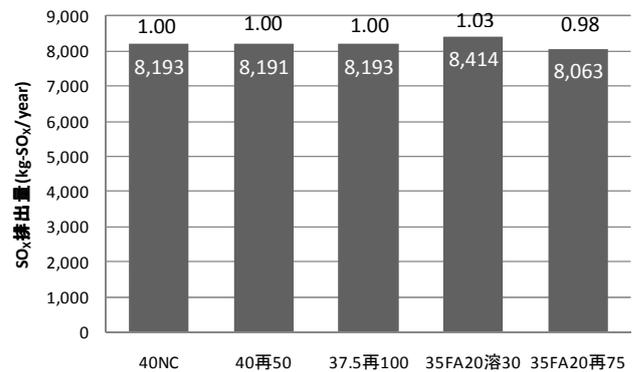
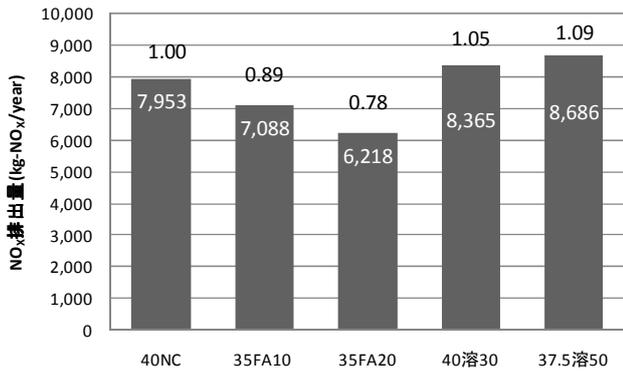
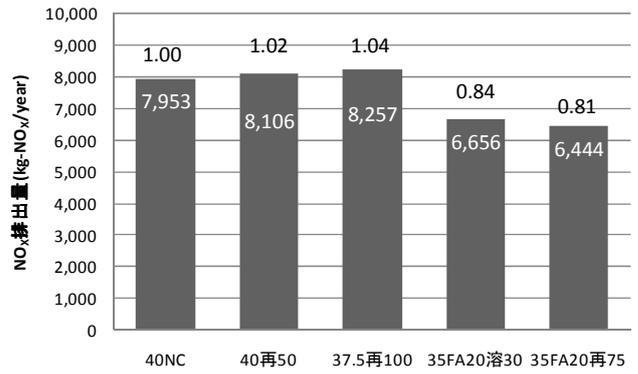


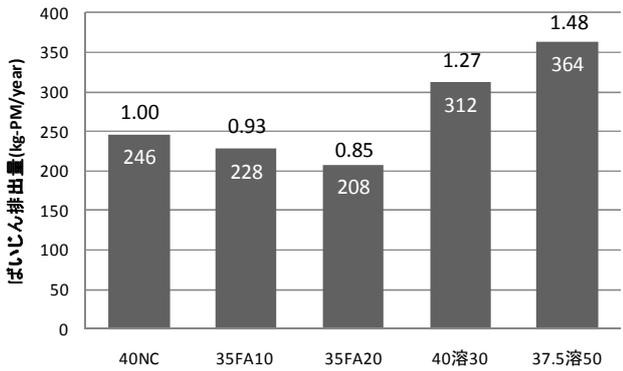
図-4 代替材料を置換した場合の年間総 SO_x 排出量



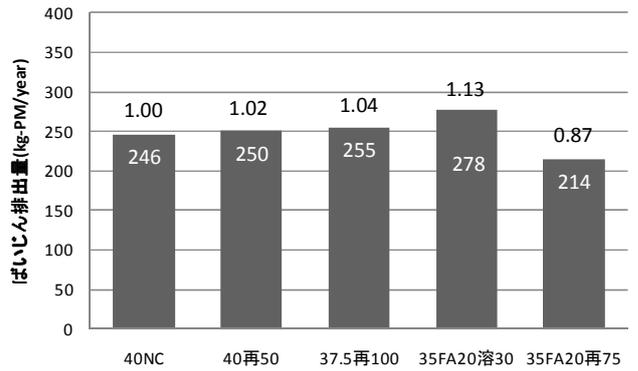
図一五 代替材料を置換した場合の年間総 NO_x 排出量



図一六 代替材料を置換した場合の年間総 NO_x 排出量



図一七 代替材料を置換した場合の年間ばいじん排出量



図一八 代替材料を置換した場合の年間ばいじん排出量

4. 結論

本研究では、PCa を製造する際に発生する環境負荷を低減するために、PCa の構成材料に様々な組み合わせで代替材料を置換した場合の PCa 製品工場で排出される環境負荷量を算出した。その結果以下のことが明らかとなった。

- (1) 環境負荷の低減を考えると、最も低減効果の大きい配合はセメントの 20% をフライアッシュに置換した場合であり、年間総 CO₂ 排出量は約 21%、年間総 NO_x 排出量は約 22%、ばいじん排出量は約 15% それぞれ低減できる。
- (2) 砕砂や砕石を熔融スラグ細骨材や再生粗骨材に置換した場合、環境負荷の面から見れば改善されないが、天然資源の枯渇化といった面から見れば、環境問題の解決に貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その 2），コンクリート技術シリーズ 62