

# 論文 プレキャストコンクリートの使用材料に着目した環境負荷評価

澤井 浩士<sup>\*1</sup>・藤木 昭宏<sup>\*2</sup>・岩谷 祐太<sup>\*3</sup>・河合 研至<sup>\*4</sup>

**要旨:** 構造物設計の際、力学性能が重視されており、CO<sub>2</sub>排出量などの環境性能が考慮されることは少ない。プレキャストコンクリート (以下 PCa)製品についても同様であるため、本研究ではある PCa 製品工場での製造実績に基づき環境負荷評価を行った上で、廃棄物や産業副産物をコンクリート用材料として使用した場合、力学性能を満足しつつ、環境負荷低減の観点からより有効な PCa 製品を製造する方策の検討を行った。その結果、フライアッシュを 20%置換することで約 18%の CO<sub>2</sub>排出量を低減でき、また熔融スラグ細骨材を 50%置換、あるいは再生粗骨材を 100%置換することでリサイクル量はそれぞれ約 10 倍、約 20 倍に増大できた。

**キーワード:** 環境負荷, プレキャストコンクリート製品, ライフサイクルアセスメント

## 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緊急の課題となっている。そのため、各産業において環境負荷低減の努力が必要であり、そのことは建設産業においても同様であり、無視できない問題となっている。建設産業においてコンクリート構造物を設計する際、耐久性、安全性、使用性などの照査が行われるが、環境負荷物質排出量といった環境性能については要求性能が明確でないケースが多く、同様なレベルで照査することは現状では困難である。しかし、今後より一層、環境負荷低減のニーズが高まり、要求性能が明確に示されるケースが増えてくると予想される。

そこで本研究では、建設活動を行う際に必要不可欠なコンクリート製品の中でもプレキャストコンクリート (以下 PCa)製品に着目し、環境性能の評価を行った。本研究で PCa 製品に着目した理由として、PCa 製品は工場での製品化されるため、現場の周辺環境の影響を受けにくく、生コンクリート製品に比べて迅速な品質の確認と安定した品質の確保が期待できる。そのため、環境負荷低減を図るため、コンクリート材料として廃棄物や産業副産物を使用した場合も、一定品質の確保が期待できると考えられるからである。また、PCa 製品は製品自体が JIS 規格を満たすことで、製品の強度や耐久性能といった力学性能を満足するため、生コンに比べて要求性能の中で環境性能を考慮しやすいと言える。以上の理由より、本研究では PCa 製品に着目して、PCa 製品工場に対するヒアリング調査結果をもとに、PCa 製品の製造における環境負荷の定量化および分析を行った上で、環境負荷低減についての検討を行う。

## 2. 調査概要

### 2.1 環境負荷評価範囲

PCa 製品のライフサイクルは一般的にセメントや骨材など原材料の製造から始まり、原材料の PCa 製品工場への運搬、PCa 製品工場での製品化、PCa 製品の現場への運搬、施工現場での PCa 製品の供用・維持管理、供用期間終了後解体、廃棄もしくは再利用となっている。本研究ではこのライフサイクルの内、原材料の製造および PCa 製品の製品化における環境負荷を評価の対象とした。原材料の製造や PCa 製品工場での製品化において排出される環境負荷は、工場の場所や立地条件にあまり影響されず、日本全国の PCa 製品製造において共通して言及できるが、運搬や施工現場での PCa 製品の使用において排出される環境負荷は、PCa 製品工場や施工現場の場所や立地条件によって排出量が大きく左右されるため本研究では検討対象から除外した。本研究で評価対象とした原材料の製造における環境負荷とは、原材料を製造する際に石炭、石油、石灰石、粘土、骨材資源、石膏といった天然資源、エネルギーが消費され、セメントや細骨材や粗骨材が製造されるが、その結果排出される環境負荷を指す。また、PCa 製品工場での製品化における環境負荷とは、PCa 製品工場では型枠組立て、コンクリート練混ぜ、打設、蒸気養生といった工程で製造されるが、各工程において消費された電力、軽油、重油に関して排出される環境負荷を指す。

### 2.2 PCa 製品の概要

本研究では PCa 製品製造における環境負荷評価を行うために PCa 製品工場にヒアリング調査を行った。調査対象とした PCa 製品工場は、年間製造量約 40,000t (約 13,000m<sup>3</sup>)であり、擁壁、水路、道路など様々な用途で用

\*1 広島大学 大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 (正会員)

\*2 ランデス (株) 本部技術センター研究所所長 修 (工) (正会員)

\*3 広島大学 大学院工学研究科 社会環境システム専攻 (正会員)

\*4 広島大学 大学院工学研究院 社会環境空間部門 教授 工博 (正会員)

いられる水結合材比 25~40%で設計強度 30~70N/mm<sup>2</sup>の数種類のコンクリート配合を使用している。調査の結果、各種コンクリート配合と製造量および工場内の電力、軽油、重油使用量を得た。また、調査を行った PCa 製品工場ではコンクリート打設後 15 時間、設定温度 60℃の蒸気養生を行った上で、材齢 1 日で脱型、以後気中養生を行い、材齢 7 日以上で製品として出荷可能としている。

### 3. PCa 製品の環境負荷評価

本研究では、ヒアリング調査を行った工場から出荷される PCa 製品に関する環境負荷評価を行った。環境負荷評価は、ヒアリング調査で得た各材料や燃料使用量に環境負荷の原単位<sup>1)</sup>を乗じることで行われる。本研究での環境負荷評価項目は CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん排出量とした。表-1 に環境負荷原単位であるインベントリデータを示す。また、2.2 でも言及している通り本研究で調査を行った PCa 製品工場では数種類のコンクリート配合が用いられているが、計算の簡易化と単純化のため、代表的な配合を基本配合と設定し、PCa 製品工場の年間製造量全てが基本配合の製品であったと仮定して環境負荷の試算を行った。基本配合は主に小型ブロックなど

といった比較的小さな製品に対して用いられ、工場内で全製造量の約 34%を占める配合である。なお、各種配合にその製造量を乗じた和を全製造量で除して算出した PCa 製品工場での平均材料使用量と、基本配合の材料使用量に大きな差はなかったため、全製造量が基本配合を用いたと仮定した場合にも厳密に試算を行った場合と大きな差は生じず、調査を行った PCa 製品工場内では基本配合は一般的な配合であると考えられる。環境負荷評価は原材料の製造と、PCa 製品工場での製品化に分けて行い、その和を PCa 製品製造における環境負荷とする。表-2 に基本配合を、表-3 に PCa 製品工場における各種燃料消費量をそれぞれ示す。

#### 3.1 原材料製造に関する環境負荷評価

原材料製造に関する環境負荷は、各原材料使用量にインベントリデータを乗じて、それらの和をとることで算出される。各原材料使用量はコンクリート配合(kg/m<sup>3</sup>)に製造量(13,000m<sup>3</sup>)を乗じることで算出される。環境負荷物質排出量の算出例として、基本配合における CO<sub>2</sub> 排出量の算出を表-4 に示す。また、基本配合における原材料製造に関する各環境負荷物質排出量の算出結果を表-5 に示す。

表-1 インベントリデータ

材料名	単位(*)	CO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> /*)	SO <sub>x</sub> 排出量(kg-SO <sub>x</sub> /*)	NO <sub>x</sub> 排出量(kg-NO <sub>x</sub> /*)	ばいじん排出量(kg-PM/*)	リサイクル(wet-kg/*)
ポルトランドセメント	t	766.6	1.22E-01	1.55E+00	3.58E-02	148
粗骨材	t	2.9	6.07E-03	4.15E-03	1.41E-03	
細骨材	t	3.7	8.60E-03	5.86E-03	1.99E-03	
溶融スラグ骨材(電気式)	t	430.3	1.23E-01	1.50E-01	2.49E-02	1238
I 種再生骨材	t	17.7	6.28E-03	2.89E-02	2.18E-03	1000
高炉スラグ微粉末	t	26.5	8.36E-03	1.02E-02	1.69E-03	
フライアッシュ	t	19.6	6.20E-03	7.54E-03	1.25E-03	
軽油	L	2.64	2.04E-03	3.96E-02	2.01E-03	
A重油	L	2.77	1.30E-02	2.38E-03	3.00E-03	
購入電力	kWh	0.41	1.30E-04	1.60E-04	3.00E-05	

斜体字は電力起源しか考慮していないもの(プロセス起源は不明)

表-2 基本配合

設計強度(N/mm <sup>2</sup> )	Gmax(mm)	slump(cm)	Air(%)	W/B(%)	s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	BF	S	G	Ad
30	20	18±2.5	4.5±1.5	40	40	173	346	87	661	1037	1.61

(表中の BF は高炉スラグ微粉末を、Ad は高性能減水剤を示す)

表-3 PCa 製品工場における燃料消費量

	単位	使用量
電気使用量	kWh/year	539,994
重油使用量	L/year	276,400
軽油使用量	L/year	22,810

表-4 原材料製造に関する CO<sub>2</sub> 排出量(基本配合)

材料名	単位量(kg/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 排出量原単位(kg-CO <sub>2</sub> /t)	製造量(m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> )	合計CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> /year)
ポルトランドセメント	346	766.6	13,000	3,448,167	3448	3549
高炉スラグ微粉末	87	26.5	13,000	29,972	30	
細骨材	661	3.7	13,000	31,794	32	
粗骨材	1037	2.9	13,000	39,095	39	

表－5 原材料製造に関する環境負荷(基本配合)

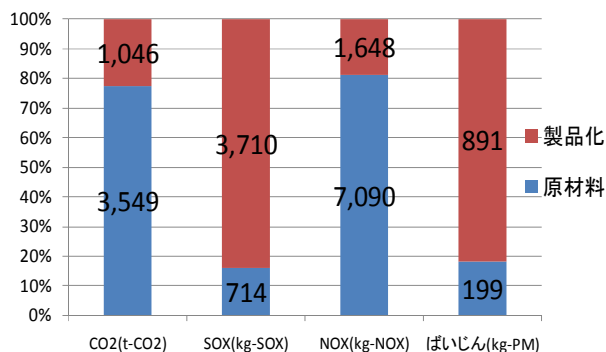
CO <sub>2</sub> (t/year)	SO <sub>x</sub> (kg/year)	NO <sub>x</sub> (kg/year)	ばいじん(kg/year)
3,549	714	7,090	199

表－7 PCa 製品工場での製品化に関する環境負荷

CO <sub>2</sub> (t/year)	SO <sub>x</sub> (kg/year)	NO <sub>x</sub> (kg/year)	ばいじん(kg/year)
1,046	3,710	1,648	891

表－6 PCa 製品工場での製品化に関する CO<sub>2</sub> 排出量

材料名	単位(*)	使用量(*)	CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /*)	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> )	合計CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /year)
軽油	L	22810	2.64	60,218	60	1046
重油	L	276400	2.77	765,628	766	
購入電力	kWh	539994	0.41	219,778	220	



図－1 環境負荷の排出割合

### 3.2 PCa 製品工場での製品化に関する環境負荷評価

工場内での製品化において排出される環境負荷は、機械を稼働させるための各燃料、エネルギー消費量にインベントリデータを乗じて、それらの和をとることで算出される。対象とする燃料、エネルギーは電力、重油と軽油である。表－6に環境負荷の算出例として、CO<sub>2</sub>排出量の算出を示す。また、工場内での製品化における各環境負荷の算出結果を表－7に示す。

### 3.3 PCa 製品製造に関する環境負荷評価

PCa 製品製造に関する環境負荷は、上記の原材料製造における環境負荷とPCa製品工場での製品化における環境負荷の和である。原材料製造におけるCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん排出量とPCa製品工場での製品化において排出される環境負荷の割合を図－1に示す。図－1より、SO<sub>x</sub>排出量とばいじん排出量は工場内における製品化がそれぞれ約84%と約82%で大部分を占める結果となった。それに対して、CO<sub>2</sub>排出量とNO<sub>x</sub>排出量は原材料の製造がそれぞれ約77%と約81%で大部分を占める結果となった。

## 4. 環境負荷低減型PCaの提案

PCa 製品製造の環境負荷を低減する場合、使用する原材料を別のもの代替する、PCa 工場での製品化の際に使用する燃料消費量を少なくするという2種類の方法が考えられる。そこで本研究ではPCa製品を製造する際に使用する天然骨材やセメントの一部を廃棄物や産業副

産物に置換することで環境負荷の低減を図る。図－1の結果より、原材料における環境負荷を低減できれば、PCa製品製造における環境負荷の中でも特にCO<sub>2</sub>排出量とNO<sub>x</sub>排出量を大きく低減できる。本研究では、細骨材の一部を熔融スラグ細骨材(電気式、密度2.83g/cm<sup>3</sup>、吸水率0.32%)に、粗骨材の一部を再生粗骨材(再生粗骨材L、密度2.5g/cm<sup>3</sup>、吸水率6.82%)に、セメントの一部をフライアッシュ(密度2.2g/cm<sup>3</sup>)に置換することを検討した。

PCa 製品は製品出荷時に要求性能を満足することが必要のため、本研究では様々な組み合わせで基本配合の原材料に置換を行ったコンクリート供試体を作製し、圧縮強度試験を行った。各コンクリート供試体に関する置換組合せを表－8に示す。表－8の40NCとは基本配合を示し、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。また、配合名は最初の数値がW/Bを示し、その後に基本配合に対する置換材料名と置換率を示している。表－8に示した各配合の強度試験結果を表－9に示す。各コンクリート供試体を作製する際に、スランプ値と空気量は混和剤を用いることで基本配合の設計範囲内の結果を得ることができたので、圧縮強度が脱型強度である材齢1日で10N/mm<sup>2</sup>と、設計条件である材齢7日で30N/mm<sup>2</sup>を満足する配合は、置換を行った際にも製品の品質基準を満たすとし、現実的に利用できる配合と仮定した。本研究では、35FA10、35FA20、40溶30、37.5溶50、40再50、37.5再100、35FA20溶30、35FA20再75の8配合が基本配合の設計条件を満たす配合であるという結果となった。そこで本研究ではそれらの8配合の内35FA20、37.5溶50、37.5再100、35FA20溶30、35FA20再75の5配合に関して環境負荷評価を行い、ヒアリング調査から得た情報を用いて算出したPCa製品製造の環境負荷と比較・検討を行った。表－10に基本配合と5配合の計6配合についての詳細を示す。

## 5. 環境負荷低減型PCaの環境負荷評価

圧縮強度試験結果より、基本配合の設計強度を満たす配合に対して、環境負荷評価を行い、各配合の比較を行った。図－2にCO<sub>2</sub>排出量結果を示す。グラフ中の数値

表-8 各コンクリート供試体の材料組合せ

配合名	W/B	結合材			細骨材		粗骨材	
		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

(表中のFAはフライアッシュ、BFは高炉スラグ微粉末、  
溶は熔融スラグ細骨材、再は再生粗骨材を示す)

表-9 圧縮強度試験結果

配合名	1日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	7日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	28日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	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

表-10 環境負荷評価を行った各配合の詳細

配合名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
						W	C	BF	S	G	Ad		
40NC	33.1	20.5	1.4	40	40	173	346	87	661	1037	1.61		
35FA20	36.4	20.5	0.8	35	42	152	260	87	87	704	1017	2.80	
37.5溶50	37.3	20	2.5	37.5	40	162	346	87	353	388	1019	1.51	
37.5再100	36.3	20.5	1.3	37.5	42	162	346	87	705	0	947	2.23	
35FA20 溶30	39.6	20.5	0.7	35	42	152	260	87	87	493	233	1017	2.67
35FA20 再75	34.6	19	1.2	35	42	152	260	87	87	704	254	709	3.24

(表中のFAはフライアッシュ、BFは高炉スラグ微粉末、溶は熔融スラグ細骨材、再は再生粗骨材を示す)

は排出量を意味し、グラフ上部の数値は基本配合に対する排出量の比を意味する。また、原材料と燃料における排出量がわかるように排出源を分けてグラフを作成した。グラフからわかるように、本研究ではPCa製品工場における製品化の工程、燃料消費量は変えず、使用する原材料を廃棄物や産業副産物に置換した場合の環境負荷評価を行っているため、燃料消費における排出量は各配合同じ値となっている。また、熔融スラグ細骨材の製造において排出される環境負荷は、廃棄物は熔融スラグ細骨材の製造の有無に関わらず減量化のため熔融処理されるため、環境負荷排出量を考慮しないという考え方もある<sup>2)</sup>。そのため、本研究では熔融スラグ細骨材の製造において排出される環境負荷は原材料製造において排出される環境負荷と区別して評価を行った。

図-2の結果より、CO<sub>2</sub>排出量はセメントの20%をフライアッシュに置換することで約18%低減できるという結果となった。また、熔融スラグ細骨材の製造に関するCO<sub>2</sub>排出量を考慮した場合、熔融スラグ細骨材を使用することでCO<sub>2</sub>排出量は約1.47倍と増大するが、熔融スラグ細骨材の製造に関する環境負荷を考慮しない場合と再生粗骨材を使用した場合、CO<sub>2</sub>排出量に大きな変化は見られなかった。この結果からCO<sub>2</sub>排出量はセメントの製造が排出量の大部分を占めているため、セメント使用量を低減した場合はCO<sub>2</sub>排出量を低減できるが、熔融スラグ細骨材や再生粗骨材で置換して砕砂や砕石の使用量を低減した場合は低減できない結果となった。

図-3に各配合におけるSO<sub>x</sub>排出量の結果を示す。図-1よりSO<sub>x</sub>排出量の大部分はPCa製品工場における製

品化の工程で排出されているため、廃棄物や産業副産物を置換した場合、SO<sub>x</sub> 排出量に大きな変化はないという結果となった。

図-4に各配合におけるNO<sub>x</sub> 排出量の算出結果を示す。図-4よりNO<sub>x</sub> 排出量はセメントの20%をフライアッシュに置換することで約20%低減できるという結果となった。CO<sub>2</sub> 排出量の算出結果と同様に、NO<sub>x</sub> 排出量もセメントの製造が排出量の大部分を占めているため、セメント使用量を低減した場合はNO<sub>x</sub> 排出量を低減できるが、細骨材や粗骨材の使用量を低減した場合は低減できない結果となった。

図-5にばいじん排出量の算出結果を示す。図-5よりばいじん排出量結果もSO<sub>x</sub> 排出量結果と同様に、排出量の大部分がPCa製品工場における製品化の工程で排出されているため、大きな変化はないという結果となった。

以上でフライアッシュや溶融スラグ細骨材、再生粗骨材をPCa製品材料に使用した場合のCO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>およびばいじん排出量に関する評価を行った。その結果、フライアッシュを使用することでセメント使用量を低減できるため環境負荷低減に効果的であった。その一方、溶融スラグ細骨材や再生粗骨材を使用した場合、細骨材や粗骨材使用で排出される環境負荷は少ないため、環境負荷低減に効果的ではなかった。しかし、溶融スラグ細骨材や再生粗骨材は、廃棄物をコンクリート用材料として再利用したものであるため、使用する目的は廃棄物処分量の低減と、砕砂や砕石など天然資源の消費を抑制するためである。そこで本研究では産業副産物や廃棄物を処分する代わりに再利用した量をリサイクル量として評価を行った。本研究においてリサイクル量は、溶融スラグ細骨材、再生粗骨材およびセメントの使用によって発生する。表-1からわかるように本研究で用いた環境負荷原単位では、フライアッシュは産業副産物であるにもかかわらず、リサイクル量はないとしている。このことは、フライアッシュは産業副産物をコンクリート用材料に再利用されているのではなく、製品として製造されていると考えられているためだと考えられる。図-6にリサイクル量の結果を示す。図-6より、リサイクル量は砕砂使用量の50%を溶融スラグ細骨材に置換することで約10倍、砕石を再生粗骨材に100%置換行うことで約19倍と大きく増大するという結果となった。また、フライアッシュ置換を行った場合リサイクル量は約25%減少するという結果となった。

以上より、PCa製品材料にフライアッシュを用いることで、特にCO<sub>2</sub> 排出量とNO<sub>x</sub> 排出量といった環境負荷排出量を低減できる。一方溶融スラグ細骨材や再生粗骨材を用いることでリサイクル量増大の面から、環境負荷を低減できるという結果となった。また、図-2から図

図-6より35FA20再75を用いた場合、全ての環境負荷物質排出量を低減でき、なおかつリサイクル量増大効果もある配合であるという結果となった。

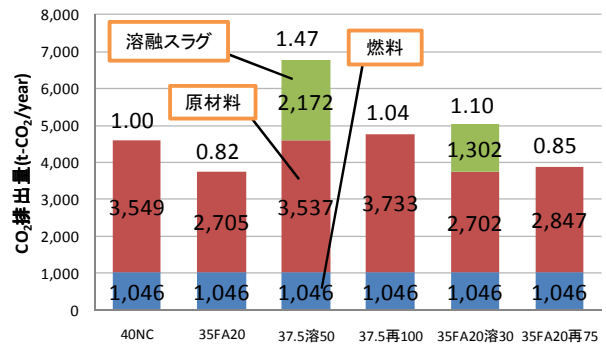


図-2 CO<sub>2</sub> 排出量結果

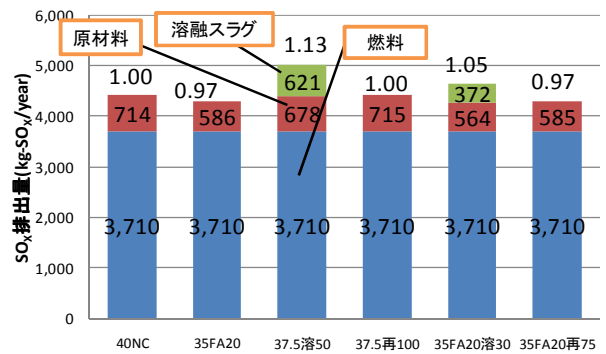


図-3 SO<sub>x</sub> 排出量結果

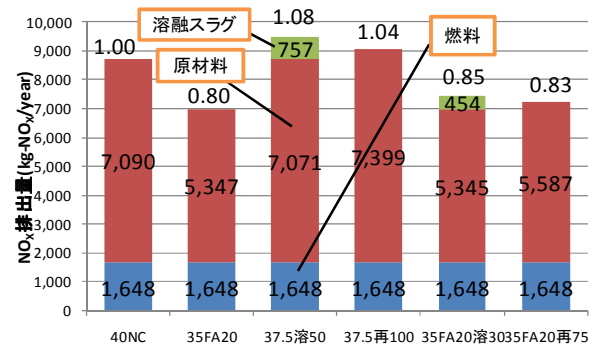


図-4 NO<sub>x</sub> 排出量結果

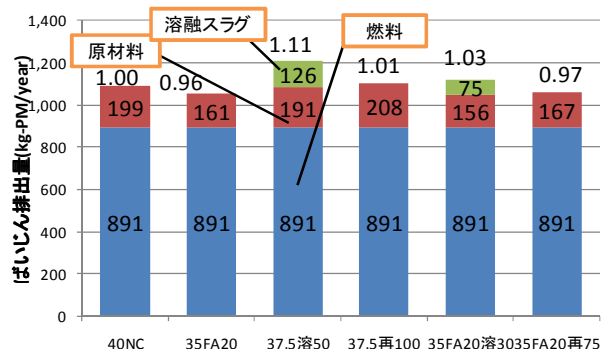


図-5 ばいじん排出量結果

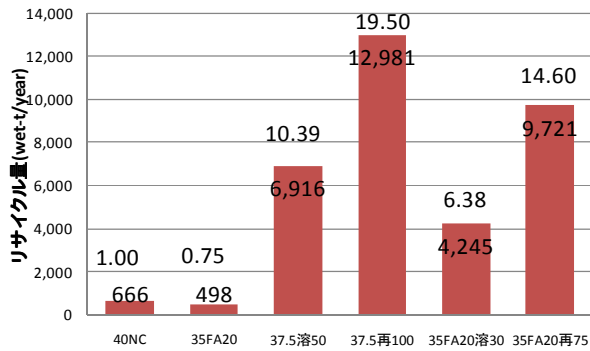


図-6 リサイクル量結果

## 6. コスト面からの考察

本研究ではPCa製品の環境負荷評価を行うことで環境性能を明らかにし、環境性能向上方法を提案した。しかし、一般的にコンクリート製品は力学性能とコストが重視されるため、環境負荷低減を図ったPCa製品に関して、力学性能とコストを無視することはできない。本研究では、力学性能に関しては供試体を作製し、圧縮強度試験を行っているため、コストについての考察を行う。

表-11に参考資料<sup>3)</sup>から引用した各材料のコストを示す。表-11のコストは材料本体の価格と運搬費用の合計金額である。なお、熔融スラグ細骨材と再生粗骨材のコストは得ることができなかつたため、熔融スラグ細骨材は砕砂と、再生粗骨材は砕石と同じ価格であると仮定した。表-10と表-11を用いて各配合の材料についてのコストを算出した。図-7に各配合における材料の年間コストの算出結果を示す。材料コストは、廃棄物や産業副産物をPCa製品用材料に使用した場合、フライアッシュはセメントに比べて値段が安いのでコストの低減となるが、基本配合と同等の強度レベルとするために水結合材比を低く設定した結果、材料使用量、混和剤使用量が多くなるのでコストの増大となる。また熔融スラグ細骨材は砕砂に比べて密度が大きいため置換の際に使用量が多くなりコストの増大になり、再生粗骨材は砕石に比べて密度が小さいため置換の際に使用量が少なくなりコストの低減となった。それらの要因によって各配合のコストは上下し、フライアッシュを使用した場合コストは低減でき、再生粗骨材を使用した場合はコストの増減はあまり見られず、熔融スラグ細骨材を使用した場合コストは増大するという結果となった。しかし、近年CO<sub>2</sub>排出量は排出権取引がされているため(2010年12月28日付日本経済新聞によると1264.6円/t-CO<sub>2</sub>で取引されている)CO<sub>2</sub>排出量低減で利益を得ることが可能である。また、熔融スラグ細骨材や再生粗骨材を使用することで廃棄物処分量を低減できるが、そのことは廃棄物処分に必要な安定型処分場使用量(平均12,000円/m<sup>3</sup>)を節約でき、結果として利益を得ることにつながると考えられる。

表-11 材料のコスト

材料名	円/t
ポルトランドセメント	9,600
高炉スラグ微粉末	7,600
砕砂	3,100
砕石	2,600
高性能減水剤	148,000
フライアッシュ	6,400
熔融スラグ細骨材	3,100
再生粗骨材	2,600

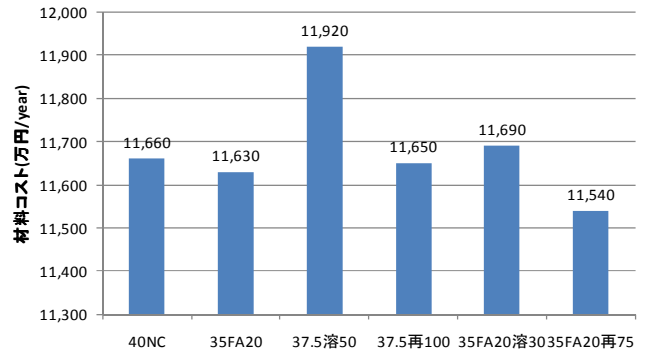


図-7 各種配合における材料の年間コスト

## 7. まとめ

本研究では、PCa製品の製造に関する環境負荷評価と環境負荷低減の提案を行った。これらの結果から明らかとなった事項について以下に示す。

- (1) PCa製品製造におけるCO<sub>2</sub>排出量とNO<sub>x</sub>排出量はそれぞれ全体の約77%と約81%が原材料製造で排出され、SO<sub>x</sub>排出量とばいじん排出量はそれぞれ約84%と約82%がPCa製品工場での製品化の過程で排出される。
- (2) PCa製品製造の際使用するセメントの20%をフライアッシュに置換することでCO<sub>2</sub>排出量は約18%低減できる。また、熔融スラグ細骨材を50%置換した場合リサイクル量は約10倍に、再生粗骨材を100%置換した場合リサイクル量は約19倍に増大させることができる。
- (3) 基本配合に対してフライアッシュ20%置換と再生粗骨材75%置換を行った場合、全ての環境負荷物質排出量を低減でき、なおかつリサイクル量を増大させることができる。

## 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、pp.39-40、2004.9
- 2) 社団法人産業環境管理協会：LCA概論、LCAシリーズ、pp.86-93、2007.11
- 3) 財団法人建設物価調査会：建設物価2008.10