

報告 プレキャストコンクリート製品の製造に関する環境負荷インベントリデータ

藤木 昭宏^{*1}・岩谷 祐太^{*2}・青木 雄祐^{*3}・河合 研至^{*4}

要旨：コンクリート構造物のライフサイクルにおける環境負荷量を算出する際のインベントリデータ（原単位）は、一般的なものについては土木学会などから公表されている。しかし、プレキャストコンクリート製品の環境負荷量算出を行う際のプレキャストコンクリート製品特有の材料、製造方法、施工方法などについてはデータが不足している。本報告では、プレキャストコンクリート製品の製造に着目し、既存のインベントリデータおよび自社工場の実績データなどから算出した新規インベントリデータを示し、それらの比較も行った。

キーワード：プレキャストコンクリート製品、製造、環境負荷、インベントリデータ

1. はじめに

G8 北海道洞爺湖サミットでは、2050 年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を少なくとも 50% 削減するという長期目標を世界全体の目標として採択することを求める、との認識で一致しており、我が国も 60~80%削減する目標を明確にしている。しかし、この目標を達成することは容易ではなく、あらゆる産業および家庭における相当な努力が要求される。20 世紀の大量生産大量廃棄型の社会から、21 世紀は持続可能な社会へと大きく舵を切らねばならない。

コンクリート分野においても例外ではなく、2005 年に土木学会から発刊された「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」¹⁾では、環境設計の基本的枠組みが示され、構造物の建設が、経済的便益と環境便益にどのように貢献しているかを具体的に評価することが、合理的な環境負荷低減システムを構築するためにも、また社会的説明責任を果たす上でも重要であることが述べられている。

プレキャストコンクリート製品の分野でも、使用する材料や製品の形状を工夫することで環境負荷を低減できる製品が多数開発され実際に使用されている。しかし、どの製品も同じ様に「環境負荷低減型」という扱いで、単純に製品価格だけで比較されるケースが多い。

これらの製品のライフサイクルにおける環境負荷低減量を環境性能として数値で明示することが出来れば、より環境負荷が小さいプレキャストコ

ンクリート製品が選択されるケースが増え、業界全体として建設工事の環境負荷低減を推し進めることができ、ひいてはプレキャストコンクリート業界の発展に繋がるものと考えられる。

資源の消費量や CO₂ 排出量など環境負荷量の試算を行う場合、インベントリデータと呼ばれる環境負荷の原単位が必要であり、それを材料の数量や建設機械の稼働時間などに乗じて環境負荷量を算出する。土木学会から 2004 年に発刊された「コンクリートの環境負荷評価（その 2）」²⁾にはコンクリート構造物のライフサイクルにおけるインベントリデータが一覧表として記載されており、一般的なものはある程度網羅している。しかし、プレキャストコンクリート製品特有の材料、製造方法、施工方法などはデータが不足している。

また、あらゆる分野において環境技術は日々進歩しており、より現実に近い環境負荷量を算出するためには、インベントリデータも出来るだけ新しいものに更新していく必要がある。

本報告では、プレキャストコンクリート製品の製造に着目し、自社実績データをもとに練混ぜ、締固め、養生および製造工程全体のインベントリデータの例を示すだけでなく、土木学会「コンクリートの環境負荷評価（その 2）」に記載されている既存のデータとの比較も行った。また、今後さらなるインベントリデータの充実を図るため、データの出典や計算方法など具体的に示した。

*1 ランデス株式会社 本部技術センター研究所 修（工）（正会員）

*2 広島大学 工学部第四類（正会員）

*3 広島大学 大学院工学研究科（正会員）

*4 広島大学 大学院工学研究科 准教授 工博（正会員）

表 - 1 コンクリートミキサのインベントリデータ

ミキサ容量	単位 (*)	エネルギー投入量 (GJ/*)	購入電力 (kWh/*)	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/*)
1.5m ³	m ³	0.0163	1.81	0.73	0.000235	0.000289	0.0000542
1.75m ³	m ³	0.0166	1.85	0.75	0.000240	0.000295	0.0000554
2.5m ³	m ³	0.0135	1.50	0.61	0.000195	0.000240	0.0000450
3.0m ³	m ³	0.0138	1.53	0.62	0.000199	0.000244	0.0000458

表 - 2 自社工場コンクリートミキサ負荷電力と電力消費量

ミキサ種類	ミキサ容量 (m ³)	コンクリート配合強度 (N/mm ²)	コンクリートスランプ・スランプフロー (cm)	練混ぜ時間 (秒)	平均負荷電力 (kW)	電力消費量 (kWh)	コンクリート 1m ³ 当りの電力消費量 (kWh/m ³)
強制練りパン型	1.5	45.0	63.0	160	16.3	0.72	0.48
2軸強制練型	1.0	38.0	15.5	130	10.6	0.38	0.38

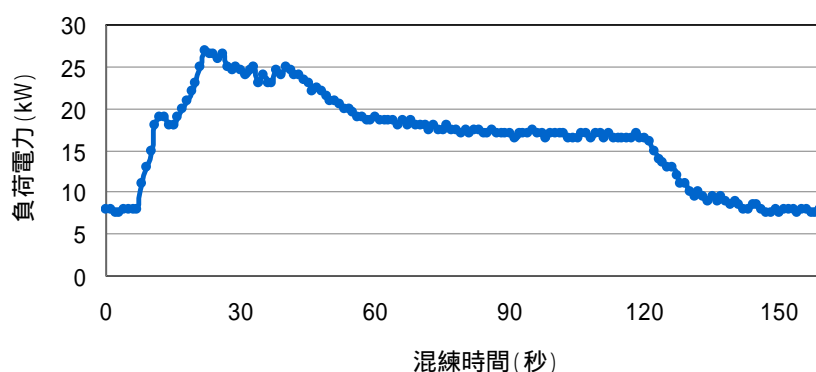


図 - 1 自社工場強制練りパン型ミキサの負荷電力

2. 練混ぜに関するインベントリデータ

2.1 コンクリートミキサ

(1)土木学会データ

土木学会「コンクリートの環境負荷評価（その2）」に容量 1.5, 1.75, 2.5 および 3.0m³のコンクリートミキサについてのインベントリデータが記載されている。その値を表 - 1 に示す。これらは練混ぜ時の電力消費量から算出されたものである^{3),4)}。

(2)自社測定データ

自社工場でコンクリート練混ぜ時のコンクリートミキサの負荷電力を測定した。その結果を表 - 2, 図 - 1 に示す。平均負荷電力に練混ぜ時間を乗じて電力消費量およびコンクリート 1m³当りの電力消費量を算出した。

強制練りパン型ミキサは容量 1.5m³で、高流動コンクリート練混ぜ時の測定結果であり、2軸強制練型ミキサ

は容量 1.0m³で、普通コンクリート練混ぜ時の測定結果である。コンクリート 1m³当りの電力消費量は、前者が 0.48kWh/m³、後者が 0.38kWh/m³であった。強制練りパン型ミキサ（容量 1.5m³）の電力消費量は、表 - 1 の土木学会のインベントリデータにおける 1.5m³ミキサの購入電力 1.81kWh/m³の 27%程度であった。

2.2 コンクリートプラント全体

(1)土木学会データ

コンクリートプラント全体のインベントリデータについてもコンクリートミキサと同様に「コンクリートの環境負荷評価（その2）」に、コンクリート 1t 製造する際の値が記載されている。この値は海外の生コン工場で収集されたデータである⁵⁾。表 - 3 にその値と単位を m³に換算した値を示す。

表 - 3 コンクリートプラント全体のインベントリデータ (土木学会)

	単位 (*)	投入量 (GJ/*)	石油換算 (kg/*)	天然ガス (kg/*)	購入電力 (kWh/*)	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/*)
生コンプラント	t	0.115	2.13	0.32	0.64	7.68	0.00342	0.0651	0.00331
(m ³ 換算)	m ³	0.26	4.90	0.74	1.47	17.66	0.00787	0.14973	0.00761

表 - 4 各燃料のインベントリデータ (土木学会)

	単位 (*)	エネルギー 投入量 (MJ/*)	石油 (kg/*)	石炭 (kg/*)	天然ガス (kg/*)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /*)	SO _x 排出量 (g-SO _x /*)	NO _x 排出量 (g-NO _x /*)	ばいじん 排出量 (g-PM/*)
購入電力	kWh	9.00	0.12	0.07	0.02	0.407	0.13	0.16	0.03
A重油	l	43.29	0.11	-	-	3.01	14.67	3.64	3.00
軽油	l	41.37	0.08	-	-	2.82	3.59	40.76	2.01
灯油	l	39.36	0.07	-	-	2.65	1.53	1.13	

表 - 5 コンクリートプラント全体のインベントリデータ (建設機械等損料表から算出)

ミキサ 容量	単位 (*)	投入量 (GJ/*)	購入電力 (kWh/*)	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/*)
0.5m ³	m ³	0.00840	0.93	0.38	0.000121	0.000149	0.0000280
0.75m ³	m ³	0.00740	0.82	0.33	0.000107	0.000132	0.0000247
1.0m ³	m ³	0.00675	0.75	0.31	0.000098	0.000120	0.0000225
1.5m ³	m ³	0.00560	0.62	0.25	0.000081	0.000100	0.0000187
1.75m ³	m ³	0.00626	0.70	0.28	0.000090	0.000111	0.0000209
2.0m ³	m ³	0.00653	0.73	0.30	0.000094	0.000116	0.0000218

(2) 建設機械等損料表から算出したデータ

また、建設機械等損料表⁶⁾に記載されているコンクリートプラント[全自動・強制練型]の電力消費量(kWh)および能力(m³/h)から算出したコンクリート 1m³当りの電力消費量(kWh/m³)に、表 - 4 に示す土木学会「コンクリートの環境負荷評価 (その2)」の購入電力のインベントリデータを乗じて算出したコンクリートプラント全体のインベントリデータを表 - 5 に示す。この電力消費量は、骨材供給装置、セメント供給装置、混和剤攪拌槽、骨材供給用のベルトコンベアを含み、セメントサイロは含まない。

表 - 3 の土木学会データと比較するとエネルギー投入量は 2~3%程度、CO₂排出量は 1~2%程度と非常に少ないことが分かる。

3. 締固めに関するインベントリデータ

3.1 振動締固め成形

(1)土木学会データ

一般的にコンクリートの締固めに使用される棒状フレキシブルバイブレータ、型枠バイブレータおよび表面振動機についてのインベントリデータも「コンクリートの環境負荷評価 (その2)」に記載されている。その値を表 - 6 に示す。

(2) 建設機械等損料表から算出したデータ

また、建設機械等損料表に記載されているコンクリートバイブレータの電力消費量(kWh)から算出した振動締固めのインベントリデータを表 - 7 に示す。

表 - 6 の棒状電気式フレキシブル 60-70mm と比較すると表 - 7 の高周波バイブレータ 60mm の値は 1.4 倍、70mm の値は 2.0 倍であり、多少大きな値となっている。

3.2 遠心力成形

遠心力成形は、型枠を遠心機に乗せ、遠心力により成形する方法である。製品表面に気泡がなく、きれいな仕上がりになるなどの特徴がある。ヒューム管、ポールお

表 - 6 振動締固めのインベントリデータ(土木学会)

	単位 (*)	投入量 (GJ/*)	石油換算 (kg/*)	購入電力 (kWh/*)	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/*)
棒状電気式 フレキシブル 60-70mm	h	0.0054	-	0.59	0.24	0.0000772	0.0000950	0.0000178
型枠用一般形 0.1kW	h	0.0005	-	0.05	0.02	0.0000070	0.0000086	0.0000016
表面振動機 エンジン直結形 締固め幅1.2m	h	0.0432	0.97	-	2.88	0.0000006	0.0000177	0.0000007

表 - 7 振動締固めのインベントリデータ(建設機械等損料表から算出)

容量	単位 (*)	投入量 GJ/*	電力消費量 kW* ²	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/*)
肩掛け(軽便)ハイクレータ 23-32mm、全長1m	h	0.0024	0.27	0.11	0.000035	0.000043	0.00000810
肩掛け(軽便)ハイクレータ 38-46mm、全長1.2m	h	0.0034	0.38	0.15	0.000049	0.000061	0.00001140
高周波ハイクレータ(インナハイク) 40mm、0.50kVA、6.0A	h	0.0024	0.27	0.11	0.000035	0.000043	0.00000810
高周波ハイクレータ(インナハイク) 50mm、0.79kVA、9.5A	h	0.0039	0.43	0.18	0.000056	0.000069	0.00001290
高周波ハイクレータ(インナハイク) 60mm、1.50kVA、18.0A	h	0.0073	0.81	0.33	0.000105	0.000130	0.00002430
高周波ハイクレータ(インナハイク) 70mm、2.30kVA、28.0A	h	0.0108	1.20	0.49	0.000156	0.000192	0.00003600
高周波型枠用ハイクレータ 0.18kVA、2.2A	h	0.0009	0.097	0.04	0.000013	0.000016	0.00000291

表 - 8 遠心力成形機の電力消費量の例

製品	内径 (mm)	長さ (mm)	質量 (kg)	製品1個当りの 電力消費量 (kWh)	コンクリート製品1t当りの 電力消費量 (kWh/t)
遠心力鉄筋 コンクリート管	400	2430	306	37.5	123

表 - 9 遠心力成形のインベントリデータの例

	単位 (*)	エネルギー 投入量 (GJ/*)	購入電力 (kWh/*)	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/*)
遠心力成形	t	0.118	13.1	5.33	0.00170	0.00210	0.00039

よびパイルなどの製品に適用される⁷⁾。

遠心力成形のインベントリデータは土木学会「コンクリートの環境負荷評価(その2)」などにも記載がない。

製品1個当りの電力消費量について、成形機メーカーに対してヒヤリングを実施し、インベントリデータを算出した。表-8に成形機の電力消費量、表-9に遠心力成形のインベントリデータの例を示す。

3.3 即脱成形

即脱成形(即時脱型成形)は、超硬練りコンクリートを振動と加圧により締固め、成形後ただちに脱型する成形法である。プレキャストコンクリート製品の生産性向上のための機械化により発達した成形法であり、優れた経済性を有している⁷⁾。

表 - 10 養生に関するインベントリデータ（土木学会）

	単位 (*)	投入量 (GJ/*)	石油換算 (kg/*)	購入電力 (kWh/*)	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/*)
蒸気養生	m ³	0.593	9.91	10.35	38.5	0.0241	0.0317	0.0348
オートクレーブ養生	m ³	0.712	11.89	12.42	46.2	0.0289	0.0381	0.0417
ジェットヒーター	h	0.160	3.30	-	10.7	0.0005	0.0072	0.0120
一般養生	h	0.000	-	-	-	-	-	-

表 - 11 プレキャストコンクリート製品製造 1t 当りの蒸気養生用 A 重油使用量（自社工場）

	工場	工場	工場	工場
コンクリート製品製造1t当りの A重油消費量(l/t)	7.3	6.2	5.4	6.3

表 - 12 蒸気養生のインベントリデータ（自社工場，電力含まず）

	単位 (*)	投入量 (GJ/*)	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/*)
工場	t	0.316	22.0	0.107	0.027	0.022
工場	t	0.268	18.7	0.091	0.023	0.019
工場	t	0.234	16.3	0.079	0.020	0.016
工場	t	0.273	19.0	0.092	0.023	0.019

しかし、製品の形状や特性により成形方法や成形機が異なることもあり、即脱成形のインベントリデータは土木学会「コンクリートの環境負荷評価（その2）」などにも記載がない。

様々な成形機における生産能力と消費電力のデータ収集によるインベントリデータの算出が今後の課題であり、現状において示すことのできるデータはない。

4. 養生に関するインベントリデータ

(1)土木学会データ

養生についても土木学会「コンクリートの環境負荷評価（その2）」に記載されているインベントリデータを表 - 10 に示す。

(2)自社算出データ

また、自社4工場における蒸気養生用A重油の使用量から、蒸気養生のインベントリデータの算出を行った。なお、蒸気養生用のボイラーの稼働には電力も必要であるが、その量を把握できなかったこと、またA重油のエネルギー投入量に比べて微量であることが推測できるため、ここでは電力消費量は考慮しなかった。

プレキャストコンクリート製品1t当りの蒸気養生用A重油の使用量を表 - 11 に示す。4工場は工場の生産能力、製品種類が異なるが、コンクリート製品1t当りのA重油使用量は大差がない。これらの値に表 - 4 に示すA重油のインベントリデータを乗じて、各工場の蒸気養生のインベントリデータを算出した。その結果を表 - 12 に示す。表 - 10 の蒸気養生のデータをt換算して比較すると、各工場ともSO_x排出量が10倍程度大きな値となった。

5. 製造工程全体に関するインベントリデータ

表 - 13 にプレキャストコンクリート製品工場5工場(A~E)の年間の生産量、電力消費量、重油消費量、軽油消費量を示す。即脱成形により小型のブロックを製造するC工場は生産量1t当りの電力消費量が非常に大きい。蒸気養生ではなく、ジェットヒーター養生を行うことも電力消費量が大きくなる要因である。ちなみに、灯油はジェットヒーターの燃料である。

これらの値に表 - 4 の各燃料のインベントリデータを乗じてプレキャストコンクリート製品製造工程全体のインベントリデータを算出した。その結果を表 - 14 に示す。

表 - 13 プレキャストコンクリート製品工場の年間生産量および年間燃料消費量（自社工場）

	単位	A工場	B工場	C工場	D工場	E工場
成形方法	-	・振動締固め	・振動締固め ・遠心力	・即脱(小)	・即脱(中・大)	・振動締固め ・即脱(中)
主な製品	-	・側溝 ・ボックスカルタート	・大型積みブロック ・根固めブロック ・ヒューム管	・ガーデニングブロック ・インターロッキングブロック ・コンクリート平板	・張ブロック ・積みブロック	・側溝 ・積みブロック
生産量	t	40,854	59,755	11,097	12,217	14,999
電力消費量	kWh	534,870	890,868	524,065	256,398	238,082
電力消費量/生産量	kWh/t	13.1	14.9	47.2	21.0	15.9
A重油消費量	l	220,900	437,528	11,020	23,500	66,450
A重油消費量/生産量	l/t	5.4	7.3	1.0	1.9	4.4
軽油消費量	l	23,730	42,273	7,864	7,510	10,220
軽油消費量/生産量	l/t	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
灯油消費量	l	0	0	33,196	1,565	0
灯油消費量/生産量	l/t	0.0	0.0	3.0	0.1	0.0

表 - 14 プレキャストコンクリート製品製造工程全体のインベントリデータ（自社工場）

	単位 (*)	エネルギー 投入量 (MJ/*)	石油 (kg/*)	石炭 (kg/*)	天然ガス (kg/*)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /*)	SO _x 排出量 (g-SO _x /*)	NO _x 排出量 (g-NO _x /*)	ばいじん 排出量 (g-PM/*)
A工場	t	376.5	2.21	0.92	0.26	23.3	83.1	46.2	17.8
B工場	t	479.1	2.65	1.04	0.30	30.0	111.5	57.5	23.8
C工場	t	615.1	6.04	3.30	0.94	32.1	27.9	43.1	5.8
D工場	t	300.0	2.78	1.47	0.42	16.2	32.9	34.8	7.5
E工場	t	362.5	2.45	1.11	0.32	21.7	69.1	47.1	15.1

す。工場によって成形方法や製品種類が異なることもあり、インベントリデータも工場によって異なることが分かる。特にC工場はエネルギー投入量が大きく、他の工場の2倍以上である。

6. まとめ

本報告では、プレキャストコンクリート製品の製造段階における環境負荷に着目し、既存のインベントリデータおよび自社工場の実績データなどから独自に算出した新規のインベントリデータを提示した。

新規に提示したインベントリデータには、コンクリートプラント全体や蒸気養生など既存のデータと値が大きく異なるものもあった。また、即脱成形などインベントリデータを提示できなかったものもある。これらについては今後の検討課題である。

インベントリデータの整備がプレキャストコンクリートの環境負荷低減に繋がることを期待し、より迅速に、より精度が高く、環境負荷量の試算ができるよう、引き

続きデータ収集および新規インベントリデータの提案に努めていきたい。

参考文献

- 1) コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）、コンクリートライブラリー125、土木学会、2005
- 2) 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、土木学会、2004
- 3) 生コンプラント - 装置と保守 - 、日本コンクリート工学協会、1980
- 4) コンクリートの環境負荷評価、コンクリート技術シリーズ44、土木学会、2002
- 5) Environmental Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete, R&D Serial No.2137, Portland cement association(PCA),2001
- 6) 建設機械等損料表、(社)日本建設機械化協会、2008
- 7) プレキャストコンクリート技術の可能性、コンクリートテクノ臨時増刊号、セメント新聞社、2007.10