

報告 実コンクリート配（調）合から試算したコンクリート材料由来の CO₂ 排出量

辻 大二郎^{*1}・小島 正朗^{*2}・親本 俊憲^{*3}・依田 和久^{*4}

要旨：東京、大阪のレディミクストコンクリート工場におけるコンクリート配（調）合を基として、セメント種別及び想定する設計基準強度 18～60N/mm² 範囲における材料由来の CO₂ 排出量を試算した。通常に使用される各種ポルトランドセメント、高炉セメント B 種の他、近年適用が増加している高炉セメント C 種・C 種相当などの低炭素型コンクリートのコンクリート 1m³ 当たりの材料由来 CO₂ 排出量を示した。また、日本建築学会の建物の LCA 指針（2006 年版）に示される CO₂ 排出量との比較や、ポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位が推移した際のコンクリートの CO₂ 排出量試算値への影響などを考察した。

キーワード：コンクリート、セメント、設計基準強度、CO₂ 排出量、高炉セメント C 種

1. はじめに

近年、脱炭素社会・カーボンニュートラル実現への意識の高まりから、建設業界においても CO₂ 排出量削減に向けた取組みが図られている。その中で、建物建設時の主に建設材料から排出される GHG（温室効果ガス）の総量であるエンボディド・カーボンの削減が重要との認識が高まっている¹⁾。エンボディド・カーボンの中でコンクリートの CO₂ 排出量は大きな割合を占めており、その削減が求められている。一方、建物設計者の実務において CO₂ 排出量の少ないコンクリートを選択するためには、セメント種類や設計基準強度（以下、Fc）が異なる場合のコンクリートの CO₂ 排出量の情報が不可欠である。

そこで、本報告は東京及び大阪の 2 地区のレディミクストコンクリート工場（以下、生コン工場）の実コンクリート配（調）合表を基として、セメント（結合材）種類毎の Fc18～60N/mm² 範囲の 1m³ 当たりの材料由来 CO₂ 排出量を試算することを目的とし、これまで既往文献・委員会報告書等で公表されている各材料の CO₂ 排出量単位を用いて試算を試みた。また、日本建築学会の建物の LCA 指針（2006 年版）²⁾（以下、LCA 指針）に示される CO₂ 排出量との比較、セメント（結合材）のみで CO₂ 排出量を試算した場合の影響、ポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位が変化した場合の影響について考察した。

2. コンクリートの材料由来 CO₂ 排出量の試算方法

2.1 コンクリート配（調）合

東京と大阪の 2 地域に分けて、Fc18～36N/mm² 範囲の JIS A 5308 の普通強度コンクリート及び Fc39～60N/mm² の工場単独取得の大臣認定（以下、MCON）高強度コン

クリートに該当するコンクリート配（調）合を調査した。

表-1 に JIS A 5308 の普通強度コンクリート（Fc18～36）におけるコンクリート配（調）合の調査範囲を示す。データ諸元として東京地域は都内生コン工場 4 社（港区 2 工場、江東区 2 工場）のコンクリート配（調）合を取り寄せて、4 工場の平均値を求めた。一方、大阪地域は大阪広域コンクリート協同組合の共通配合³⁾を用いた。

セメント（結合材）種類は建築及び土木の実工事に主に出荷しているセメント（結合材）種類を選択した。東京地域は、普通ポルトランドセメント（以下、N）、中庸熱ポルトランドセメント（以下、M）、高炉セメント B 種（以下、BB）の他、実出荷されている低炭素型コンクリート⁴⁾に使用されている高炉スラグ微粉末高含有の結合材（N と高炉スラグ微粉末を重量比 32：68 で混合）（以下、N(ECM)）の 4 種類とした。大阪地域は N、BB、低

表-1 普通強度コンクリート配（調）合の調査範囲

指定事項	地域	
	東京	大阪
	東京都内生コン工場 4工場の平均値	大阪広域生コンクリート 協同組合の共通配合 ³⁾ ※BC (ECM)のみ大阪市内 生コン工場2社の平均値
セメント種類 または 結合材種類 (記号)	普通ポルトランドセメント N 中庸熱ポルトランドセメント M 高炉セメントB種 BB 高炉セメントC種相当 N(ECM)	普通ポルトランドセメント N 低熱ポルトランドセメント L 高炉セメントB種 BB フライアッシュセメントB種相当 N(FA20) 高炉セメントC種 BC(ECM)
呼び強度	21, 24, 27, 30, 33, 40	
化学混和剤 種類	AE減水剤（呼び強度21, 24, 27, 30） 高性能AE減水剤（呼び強度33, 40） ※但し、L及びN(FA20)は全ての呼び強度で高性能AE減水剤	
スランブ	15cm（呼び強度 21, 24, 27, 30）	18cm（呼び強度 33, 40）
空気量	4.5%	
粗骨材最大寸法	20mm	
保証材齢	28日：N, M, BB, N(ECM), BC(ECM) 56日：L, N(FA20)	

*1 （株）竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 建設材料グループ長 博士（工学）（正会員）

*2 （株）竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 主席研究員 博士（工学）（正会員）

*3 鹿島建設（株）技術研究所 建築生産グループ グループ長（正会員）

*4 鹿島建設（株）技術研究所 専任部長 博士（工学）（正会員）

熱ポルトランドセメント（以下，L），フライアッシュ B 種相当（以下，N(FA20)）の他，低炭素型セメントとして適用実績⁵⁾のある高炉セメント C 種（以下，BC(ECM)）を加えて 5 種類とした。

強度指定は Fc+3 を呼び強度と見なして調査した。通常の生コンクリートは，発注者側で Fc に構造体強度補正值（以下，S 値）を加算して調査管理強度とし，その値を呼び強度として発注する。S 値はセメント種類，平均養生温度毎に 3 または 6N/mm² の値を用いることが多いが，本報告では異なるセメント（結合材）種類の CO₂ 排出量の比較を容易とするために，S 値を 3N/mm² の一定条件とした。なお，呼び強度毎に同一の指定事項（セメント（結合材）種類，呼び強度，化学混和剤種類，スランプ，空気量，粗骨材最大寸法，保証材齢）での比較を試みた。

表－2 に高強度コンクリート（MCON）におけるコンクリート配（調）合の調査範囲を示す。セメント（結合材）種類は，東京地域は N，M の 2 種類，大阪地域は N，L，BC(ECM) の 3 種類とした。普通強度コンクリートと同様に一定の指定事項として，Fc39，42，45，48，54，60N/mm² の 6 つの配（調）合とした。

表－2 高強度コンクリート配（調）合の調査範囲

指定事項	地域			
	東京		大阪	
	東京都内生コン工場 4工場の平均値		大阪市内生コン工場 2工場の平均値	
セメント種類 または結合材種類 (記号)	普通ポルトランド セメント	N	普通ポルトランド セメント	N
	中熱ポルトランド セメント	M	低熱ポルトランド セメント	L
			高炉セメントC種	BC(ECM)
設計基準強度 Fc(N/mm ²)	39, 42, 45, 48, 54, 60			
化学混和剤種類	高性能AE減水剤			
スランブフロー	45cm(Fc39, 42, 45, 48)		55cm(Fc54, 60)	
空気量	2.0%			
粗骨材最大寸法	20mm			
保証材齢	28日：N, M, BC(ECM)		56日：L	

表－3 調査したセメント（結合材）種類

区別	地域	No.	セメントまたは結合材の種類	記号
普通強度	東京	1	普通ポルトランドセメント	N
		2	中熱ポルトランドセメント	M
		3	高炉セメントB種	BB
		4	高炉セメントC種相当	N(ECM)
	大阪	5	普通ポルトランドセメント	N
		6	低熱ポルトランドセメント	L
		7	高炉セメントB種	BB
		8	フライアッシュB種相当	N(FA20)
		9	高炉セメントC種	BC(ECM)
高強度	東京	10	普通ポルトランドセメント	N
		11	中熱ポルトランドセメント	M
	大阪	12	普通ポルトランドセメント	N
		13	低熱ポルトランドセメント	L
		14	高炉セメントC種	BC(ECM)

表－4 コンクリート配（調）合の調査結果

Fc (N/mm ²)	S値 (N/mm ²)	呼び 強度	地域	No.	指定事項					配 (調) 合										配 (調) 合 の根拠		
					セメントまたは結合材の種類	記号	混和剤 種類 (※2)	スランプ (スランブ フロー) (cm)	空気 量 (%)	Qmax (cm)	保証 材齢 (日)	W/B (%) B=C+BFS+A	単位量 (kg/m ³)									
													W	C	BFS	FA	S	G	Ad		単位 容積 重量	
18	3	21	東京	1	普通ポルトランドセメント	N	AE	15	4.5	20	28	65.0	171	263	—	—	889	977	2.69	2.300	4社平均	
				2	中熱ポルトランドセメント	M						61.9	167	270	—	—	898	976	2.75	2.311		
				3	高炉セメントB種	BB						63.2	168	265	—	—	884	980	2.71	2.297		
				4	高炉セメントC種相当 (N:BFS=32:68)	N (ECM)						65.8	171	83	176	—	875	1003	2.85	2.308		
			大阪	5	普通ポルトランドセメント	N						63.0	180	286	—	—	858	921	2.86	2.245		共通配合
				6	低熱ポルトランドセメント	L	SP					配 (調) 合なし (※3)										
				7	高炉セメントB種	BB	AE					61.0	180	295	—	—	840	924	2.95	2.239		共通配合
				8	フライアッシュB種相当	N (FA20)	SP					配 (調) 合なし (※3)										
				9	高炉セメントC種	BC (ECM)	AE					55.0	175	318	—	—	850	950	3.18	2.293	自社配合	
				28	61.0	180	295					—	—	840	924	2.95	2.239	共通配合				
24	3	27	東京	1	普通ポルトランドセメント	N	AE	15	4.5	20	28	55.0	175	318	—	—	850	950	3.18	2.293	4社平均	
				2	中熱ポルトランドセメント	M						55.0	171	311	—	—	839	985	3.11	2.306		
				3	高炉セメントB種	BB						53.3	169	316	—	—	848	984	3.16	2.317		
				4	高炉セメントC種相当 (N:BFS=32:68)	N (ECM)						53.7	169	315	—	—	829	988	3.15	2.301		
			大阪	5	普通ポルトランドセメント	N						50.8	167	105	223	—	820	985	3.52	2.300		
				6	低熱ポルトランドセメント	L	SP					53.0	180	340	—	—	799	937	3.40	2.256		
				7	高炉セメントB種	BB	AE					58.0	180	310	—	—	860	906	3.10	2.256		
				8	フライアッシュB種相当	N (FA20)	SP					51.0	180	353	—	—	776	940	3.53	2.249		
				9	高炉セメントC種	BC (ECM)	AE					56	53.0	170	257	—	64	806	953	3.21	2.250	
				28	55.0	175	318					—	—	850	950	3.18	2.293	自社配合				
30	3	33	東京	1	普通ポルトランドセメント	N	SP	18	4.5	20	28	49.1	170	347	—	—	836	960	3.87	2.313	4社平均	
				2	中熱ポルトランドセメント	M						47.4	169	356	—	—	841	957	4.47	2.323		
				3	高炉セメントB種	BB						48.1	169	351	—	—	825	960	3.79	2.305		
				4	高炉セメントC種相当 (N:BFS=32:68)	N (ECM)						44.1	171	124	263	—	785	957	4.09	2.300		
			大阪	5	普通ポルトランドセメント (※4)	N						47.0	180	383	—	—	778	924	3.83	2.265		
				6	低熱ポルトランドセメント (※4)	L	56					51.0	180	353	—	—	817	916	3.53	2.266		
				7	高炉セメントB種 (※4)	BB	28					46.0	180	391	—	—	760	924	3.91	2.255		
				8	フライアッシュB種相当	N (FA20)	56					47.0	175	298	—	74	776	924	3.72	2.247		
				9	高炉セメントC種	BC (ECM)	AE					47.0	175	372	—	—	850	950	3.72	2.347	自社配合	
				28	43.0	170	396					—	—	791	966	4.41	2.323					
36	3	40	東京	1	普通ポルトランドセメント	N	SP	18	4.5	20	28	41.6	169	406	—	—	794	963	4.47	2.332	4社平均	
				2	中熱ポルトランドセメント	M						41.5	169	407	—	—	771	966	4.38	2.313		
				3	高炉セメントB種	BB						38.4	178	148	315	—	730	926	5.01	2.297		
				4	高炉セメントC種相当 (N:BFS=32:68)	N (ECM)						40.0	180	450	—	—	714	935	3.27	2.279		
			大阪	5	普通ポルトランドセメント (※4)	N						56	45.0	180	353	—	—	768	927	4.00		2.228
				6	低熱ポルトランドセメント (※4)	L	28					39.0	180	462	—	—	691	935	4.62	2.268		
				7	高炉セメントB種 (※4)	BB	56					42.0	175	334	—	83	727	932	4.17	2.251		
				8	フライアッシュB種相当	N (FA20)	28					39.0	175	449	—	—	850	950	4.49	2.424		自社配合
				9	高炉セメントC種	BC (ECM)	AE					38.5	171	445	—	—	867	910	6.43	2.393		
				28	40.6	170	419					—	—	891	910	5.64	2.390					
45	※1	東京	10	普通ポルトランドセメント	N	SP	(45)	2.0	20	28	42.2	185	438	—	—	871	852	4.22	2.346	2社平均		
			11	中熱ポルトランドセメント	M						43.7	185	423	—	—	894	849	3.25	2.351			
			12	普通ポルトランドセメント	N						28	36.3	185	510	—	—	823	811	4.14		2.329	
			13	低熱ポルトランドセメント	L						29.7	171	578	—	—	773	893	9.22	2.415			
60	※1	東京	10	普通ポルトランドセメント	N	SP	(55)	2.0	20	28	32.8	170	519	—	—	826	893	7.59	2.408	2社平均		
			11	中熱ポルトランドセメント	M						33.5	185	553	—	—	797	840	6.39	2.375			
			12	普通ポルトランドセメント	N						33.2	185	557	—	—	792	841	5.25	2.375			
			13	低熱ポルトランドセメント	L						27.7	185	667	—	—	693	803	7.06	2.348			

表－3 に調査したセメント（結合材）種類を、表－4 にコンクリート配（調）合の調査結果を示す。ただし表には計 81 つの配（調）合のうち、計 44 つ（Fc18, 24, 30, 36, 45, 60N/mm²）の配（調）合を示している。紙面の都合で Fc21, 27, 39, 42, 54N/mm² の計 37 つの配（調）合は記載を省略している。

2.2 使用材料の CO₂ 排出量原単位

表－5 に、本報告での試算に用いたコンクリートの使用材料の CO₂ 排出量単位を示す。

（1）水

文献⁶⁾の委員会報告書に示される浄水量 1m³ 当たり二酸化炭素排出量（データ出展 H17 水道統計）の全国平均値である 189.9g-CO₂/m³ を用いて、水の密度を 1g/cm³ として換算し 0.1899kg-CO₂/ton とした。

（2）混和材料

文献⁷⁾の学会指針には、高炉スラグ微粉末（以下、BFS）：26.5kg-CO₂/ton、フライアッシュ（以下、FA）：19.6kg-CO₂/ton が示されている。一方、文献⁸⁾の委員会テキスト及び文献⁹⁾の学会標準仕様書には BFS：35.6kg-CO₂/ton、FA：29.0kg-CO₂/ton と示されており、後者の方が大きな値となっている。本報告では、国が主導する J-クレジット制度の方法論¹⁰⁾が、前者の文献⁷⁾を根拠として BFS：26.5kg-CO₂/ton、FA：19.6kg-CO₂/ton を用いているため、この値を CO₂ 排出単位として用いることとした。

（3）セメント

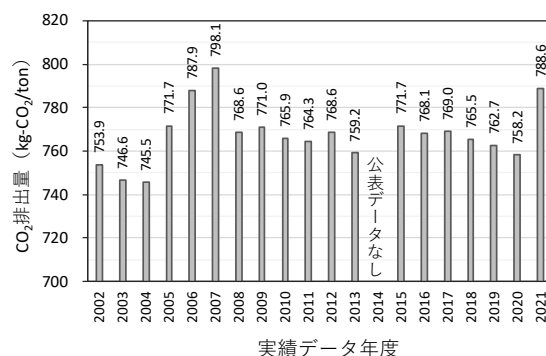
セメント協会が毎年公表しているセメントの LCI データの概要¹¹⁾に記載の CO₂ 排出量の最新値（2021 年度実績データ：2023 年 2 月 16 日公表）を用いて、ポルトランドセメント 788.6 kg-CO₂/ton 及び高炉セメント B 種 458.1 kg-CO₂/ton とした。本報告では N, M, L は同じポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位を用いた。なお、セメント協会の計算手法では、A. 石灰石脱炭酸起源、B. 化石燃料燃焼起源および C. 廃棄物燃料起源の 3 つの CO₂ 排出量を加算のち、焼却不要による削減として C. 廃棄物燃料起源と同値を差し引いて CO₂ 排出量を導いている。

また、図－1 に文献¹¹⁾の過去 20 年データ（2002～2021 年度）で公表されているポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位の推移を示す。実績データ年度によって大小のばらつきがあり、最小値 745.5 から最大値 798.1 kg-CO₂/ton と 50 kg-CO₂/ton の開きがあるため、用いる実績データ年度によってコンクリートの CO₂ 排出量の試算結果への影響が小さくないと考えられるため、試算に用いる実績データ年度の付記は必須である。

表－3 の高炉セメント C 種（BC(ECM)）（No.9）は収縮ひび割れ抵抗性改善のために通常よりも多くの石膏を添加して三酸化硫黄量（SO₃ 量）を 3.5% に高めており、重量比で N：BFS：石膏＝30：65：5 で構成されている⁵⁾。

表－5 試算に用いた各材料の CO₂ 排出量単位

使用材料		記号	CO ₂ 排出量単位 (kg-CO ₂ /ton)	根拠
水		W	0.1899	文献 ⁶⁾
結合材	ポルトランドセメント	N, M, L	788.6	文献 ¹¹⁾
	高炉セメント B 種	BB	458.1	文献 ¹¹⁾
	高炉スラグ微粉末	BFS	26.5	文献 ⁷⁾
	フライアッシュ	FA	19.6	文献 ⁷⁾
細骨材		S	3.9	文献 ⁸⁾
粗骨材		G	3.9	文献 ⁸⁾
化学混和剤		Ad	350	文献 ¹²⁾



図－1 ポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位の推移

セメント製造用に用いられている石膏の CO₂ 排出量単位が定かではないが、粉碎エネルギーのみで製造されることから CO₂ 排出量は大きくないと考え、本報告では高炉スラグ微粉末の 26.5kg-CO₂/ton と同値として見なした。したがって、BC（ECM）の CO₂ 排出量単位は 252.1 kg-CO₂/ton（788.6×0.3+26.5×（0.65+0.05））とした。

（4）骨材

文献⁸⁾の学会テキストに記載の砕砂 3.9 kg-CO₂/ton、砕石 3.9 kg-CO₂/ton を参考とし、本報告では細骨材（S）を 3.9 kg-CO₂/ton、粗骨材（G）を 3.9 kg-CO₂/ton を用いた。

（5）化学混和剤

文献¹²⁾の委員会報告書に記載のある化学混和剤の CO₂ 排出量単位 PCE 系（ポリカルボン酸系）の 100-350kg-CO₂/t の最大値 350kg-CO₂/t を用いた。

2.3 コンクリートの CO₂ 排出量の試算方法

コンクリートの各使用材料（W, C, BFS, FA, S, G, Ad）の単位量（kg/m³）に表－5 に示した各使用材料の CO₂ 排出単位を乗じた値の総和を算出し、コンクリート製造時の材料由来 CO₂ 排出量の試算値とした。

なお、本報告では製造時の中でもコンクリート材料由来の CO₂ 排出量のみを対象としており、コンクリート製造や建設現場への輸送に係る CO₂ 排出量は対象としない。輸送を考慮する場合は、別途、具体的な生コン工場と施工場所との距離、アジテータ車種などの情報が必要となる。また、コンクリート製造に係る CO₂ 排出量は、産業連関表（2005 版）を基とした LCA 指針²⁾の学会指

針 LCA 評価ツールの複合原単位には 28.9kg-CO₂/m³ を用いており、製造の CO₂ 排出量を考慮する場合はこの値等を参考に別途加算するなどの対応が必要である。

3. 試算結果と考察

3.1 試算結果

コンクリートの材料由来 CO₂ 排出量について合計 81 つの試算値を表-6 に示す。表には参考として日本建築学会の建物の LCA 指針²⁾に示されている Fc24, 27, 30, 36, 42, 50N/mm² の CO₂ 排出量を No.15 (ポルトランドセメント), No.16 (BB) として記した。ただしその際、材料由来のみの CO₂ 排出量とするために、コンクリート製造に係る CO₂ 排出量 28.9kg-CO₂/t を差し引いた。

また、セメント (結合材) 種類と Fc 毎のコンクリート CO₂ 排出量について、東京地域 (No.1~4, No.10~11) を図-2 に、大阪地域 (No.5~9, No.12~14) を図-3 に示す。どのセメント (結合材) も Fc が大きいほど CO₂ 排

出量単位の大きいセメント (結合材) 量が大きくなるため、CO₂ 排出量が増加する傾向がある。

3.2 考察

(1) セメント (結合材) 種類及び Fc の影響

東京地域では N と M コンクリートの普通強度範囲 (Fc18~36) の CO₂ 排出量はほぼ同値であるが、高強度範囲 (Fc39~60) では Fc が大きいほど CO₂ 排出量は N > M となり差が大きくなる。これは M は Fc が大きいほど S 値が小さいことにより同 Fc での水セメント比が大きくなり、結果としてセメント量が低減されている影響と考えられる。また、普通強度範囲 (Fc18~36) における同 Fc での CO₂ 排出量の比較では、BB は N, M の 58~60%程度、N (ECM) は N, M の 35~42%程度と小さいことが分かる。

大阪地域の普通強度範囲 (Fc18~36) では、CO₂ 排出量が大きい順に N>L>N(FA20)>BB>BC(ECM)であった。L が N より小さいのは、L は保証材齢 56 日管理のた

表-6 コンクリートの材料由来 CO₂ 排出量の試算結果

コンクリートの種類	地域	No.	セメント（結合材）種類と保証材齢		コンクリート1m ³ あたりの材料由来CO ₂ 排出量の試算値（kg-CO ₂ /m ³ ）													
					普通強度コンクリート（JIS A 5308）							高強度コンクリート（MCON）						
			F _C (N/mm ²)	18	21	24	27	30	36	39	42	45	48	54	60			
			S (N/mm ²)	3	3	3	3	3	3	各工場による（※1）								
			呼び強度（指定強度）	21	24	27	30	33	40	各工場による（※1）								
			化学混和剤種類	AE	AE	AE	AE	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP			
SL・（SLF）(cm)	15	15	15	15	18	18	(45)	(45)	(45)	(45)	(55)	(55)						
空気量（%）	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0						
普通	東京	1	普通ポルトランドセメント	N	28日	215.0	234.1	253.3	275.0	281.5	320.4							
		2	中熱ポルトランドセメント	M	28日	220.6	239.3	257.5	279.4	288.8	328.5							
		3	高炉セメントB種	BB	28日	129.4	140.9	152.1	164.5	168.9	194.4							
		4	高炉セメントC種相当	N (ECM)	28日	78.2	89.8	96.6	105.4	112.5	133.2							
	大阪	5	普通ポルトランドセメント	N	28日	233.3	257.0	275.9	297.3	309.9	362.8							
		6	低熱ポルトランドセメント（※2）	L	56日	—	—	252.3	270.4	286.2	323.3							
		7	高炉セメントB種	BB	28日	142.9	157.6	169.5	183.3	186.9	219.5							
		8	フライアッシュB種相当（※2）	N (FA20)	56日	—	203.8	211.7	223.7	244.3	272.9							
		9	高炉セメントC種（※3）	BC (ECM)	28日	89.1	89.1	89.1	95.6	103.2	123.0							
高強度	東京	10	普通ポルトランドセメント	N	28日							331.9	338.0	359.7	384.3	423.8	465.2	
		11	中熱ポルトランドセメント	M	28日							338.4	338.4	339.1	350.9	384.5	418.5	
	大阪	12	普通ポルトランドセメント	N	28日							332.2	335.7	353.5	375.2	405.5	444.3	
		13	低熱ポルトランドセメント（※2）	L	56日							337.4	339.4	341.4	359.1	400.0	447.0	
		14	高炉セメントC種	BC (ECM)	28日							122.2	127.7	137.8	146.6	162.5	178.6	
参考※4 （LCA指針 ²⁾ ）	15	ポルトランドセメント	—	—	—	—	280.8	299.5	321.6	323.4	—	398.3	—	467.4 (※5)	—			
	16	高炉セメントB種	BB	—	—	—	—	204.4	217.5	233.0	234.2	—	286.8	—	335.3 (※5)	—		

※1: S 値、指定強度は工場によって異なるため「各工場による」とした。

※2: No. 6, No. 12 の L 保証材齢 56 日および No. 8 の N (FA20) 保証材齢 56 日は、SP 配 (調) 合のみ公表されているため、AE 配 (調) 合の代わりに記載している。

※3: No. 9 (BC (ECM)) の呼び強度 21~27 は水セメント比の上限を 55% としており、同一配 (調) 合となっている。そのため試算値は同じとなっている。

※4: 文献²⁾ 学会指針の値を参考に記した。なお、本表においては複合原単位に記載のあるコンクリート製造時 CO₂ 排出量 28.9kg-CO₂/m³ を差し引いた値を記した。

※5: 文献²⁾ 学会指針の値にある Fc50 の値として記す。

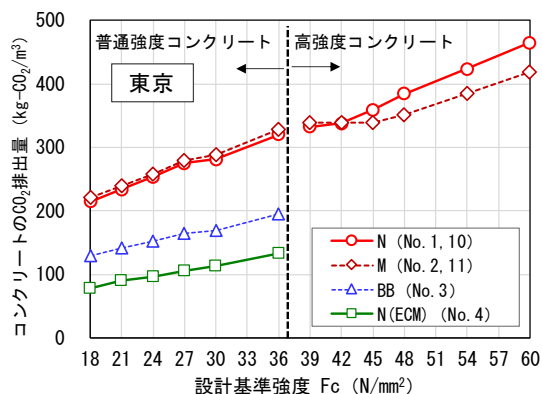


図-2 セメント種、Fc 毎のコンクリートの CO₂ 排出量の試算値 (東京)

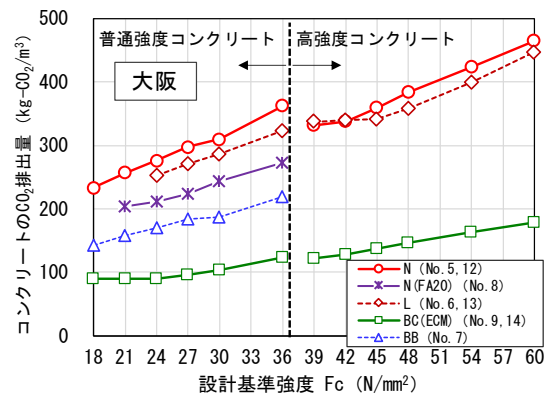


図-3 セメント種、Fc 毎のコンクリートの CO₂ 排出量の試算値 (大阪)

めセメント量が低減されている影響が考えられる。また、同 Fc での CO₂ 排出量の比較では N(FA20)は N の 75～79%程度、BB は 60～61%程度、BC(ECM)は 32～38%程度と小さいことが分かる。

なお、N (No.5)、BB (No.7)、N(FA20) (No.8) の CO₂ 排出量試算値は、配 (調) 合の諸元とした標準配合表³⁾に付記されている CO₂ 排出量よりも 7～8kg-CO₂/m³ 程度大きい値となった。この要因として計算時点でのポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位の実績データ年度に違いがあることが推測される。

(2) LCA 指針の CO₂ 排出量との比較

図-4 に、No.15 (ポルトランドセメント)、No.16 (BB) の LCA 指針での CO₂ 排出量²⁾と本報告における N、BB の CO₂ 排出量試算値の比較を示す。N、BB とも東京・大阪の平均値をプロットした。Fc36 の N を除いて、同 Fc での CO₂ 排出量は LCA 指針の値の方が 20～80kg-CO₂/m³ 程度大きかった。特に普通強度範囲 (Fc24～36) の BB 及び高強度範囲 (Fc42～48・50) において、その差が大きい傾向があった。LCA 指針で想定しているコンクリート配 (調) 合や各使用材料の CO₂ 排出量単位が異なっていることが影響していると考えられる。

(3) 高炉セメント C 種・C 種相当の CO₂ 排出量削減量

同 Fc において N の代わりに高炉セメント C 種または C 種相当のコンクリートへ代替した場合の 1m³ 当たりの CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/m³) を図-5 に示す。東京地域は N から N (ECM) を差し引いた値、大阪地域は N から BC (ECM) を差し引いた値をプロットした。Fc が大きいほど CO₂ 排出削減量は大きくなる傾向が見られた。また、大阪地域の方が東京地域より大きい傾向があり、Fc36 の比較では 50kg-CO₂/m³ 程度大きかった。

(4) 全使用材料と結合材のみの CO₂ 排出量の比較

図-6 にコンクリートの全使用材料の CO₂ 排出量試算値と結合材 (C+BFS+FA) のみの CO₂ 排出量試算値との比較を示す。81 つの配 (調) 合の結果の回帰式から高い直線関係の関係があり、原点回帰の傾きは 0.973 倍であることが分かる。すなわち、簡便に結合材のみでコンクリートの CO₂ 排出量を試算した場合でも、1.03 倍 (1/0.973) することで、コンクリートの全使用材料の CO₂ 排出量を高い精度で推定することが可能と言える。

(5) ポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位の変化の影響

コンクリートの CO₂ 排出量は表-5 の各材料の CO₂ 排出量単位を見ても、特に値の大きいポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位に大きく影響を受ける。図-1 に示したポルトランドセメントの CO₂ 排出量の推移から、試算に用いる実績データ年度の違いにより結果にかなりの差が生じることが予測される。

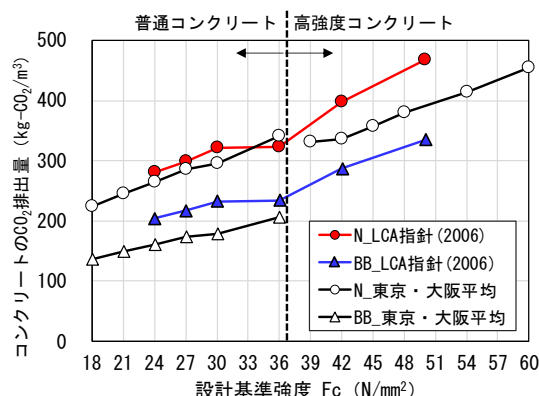


図-4 AIJ-LCA 指針²⁾と本報告試算値の比較

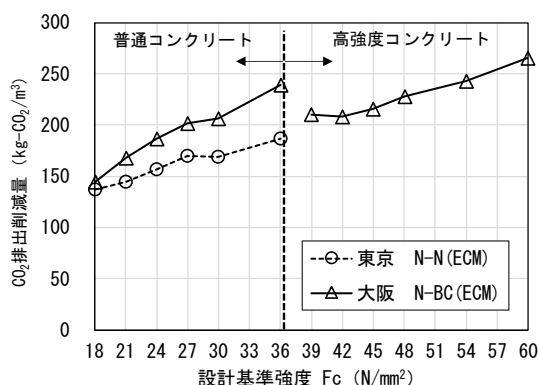


図-5 高炉セメント C 種・C 種相当使用時の 1m³ 当たりの CO₂ 排出削減量 (N 比較)

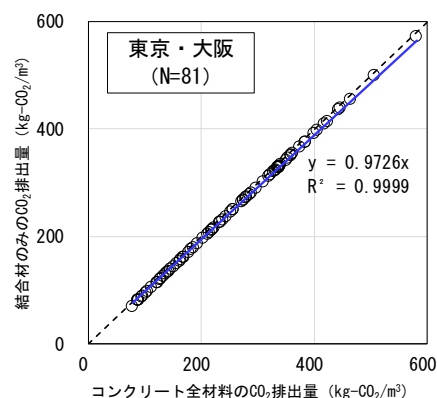


図-6 全使用材料と結合材のみの CO₂ 排出量の比較

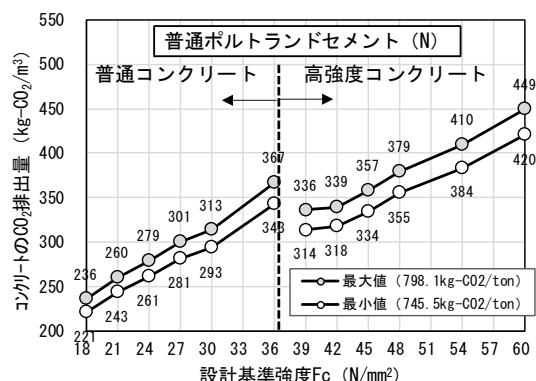


図-7 ポルトランドセメントの CO₂ 排出量単位の変化による影響

図-7に大阪地域のN(No.5およびNo.12)の配(調)合を基として、過去20年の実績データ年度のうちポルトランドセメントのCO₂排出量単位のうち最小値745.5 kg-CO₂/tonを用いた場合と最大値798.1 kg-CO₂/tonを用いた場合で、コンクリートのCO₂排出量試算値を比較した図を示す。Fcが大きいかほど試算値の差は大きくなり、Fc18で15 kg-CO₂/m³程度、Fc60では29 kg-CO₂/m³程度もの差が生じている。試算に用いる実績データ年度の影響が小さくないことを留意する必要がある。

また同様に、同一強度であってもスランプ、空気量、粗骨材最大寸法、化学混和剤種類、保証材齢、単位水量などの指定事項、および打ち込み時期に応じたS値の設定などが異なれば、配(調)合の水セメント比(水結合材比)や単位水量が異なることで単位セメント量(単位結合材量)の大小に小さいながら影響することに留意する必要がある。

4. 結論

本稿にて得られた知見を以下に記す。

- (1) 東京、大阪の生コン工場におけるコンクリート配(調)合を基として、一定の指定条件下(化学混和剤種類、スランプ、空気量、粗骨材最大寸法、保証材齢など)において、セメント(または結合材)種別及び想定する設計基準強度18~60N/mm²範囲における材料由来のCO₂排出量を試算した。
- (2) 本報告で試算したNコンクリートのCO₂排出量試算値とLCA指針(2006年版)に示されるCO₂排出量では、本報告の試算値の方が小さい傾向があった。
- (3) Nコンクリートを低炭素型コンクリート(高炉セメントC種またはC種相当)に代替した場合のCO₂排出削減量は、Fcが大きいかほど大きくなる傾向がある。
- (4) コンクリートの結合材のみでCO₂排出量を試算した場合でも、1.03倍することでコンクリートの全使用材料のCO₂排出量に高い精度で推定することが可能である。
- (5) ポルトランドセメントのCO₂排出量原単位は、コンクリートのCO₂排出量の試算値に大きく影響するため、試算に用いるポルトランドセメントの実績データ年度に常に留意する必要がある。

参考文献

- 1) 伊香賀俊治：エンボディド・カーボン削減の重要

性と展望，令和4年度東京都環境建築フォーラム(2023.3.24)参照：

https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/green_building/forum.files/230324forum1.pdf (閲覧日：2023年12月12日)

- 2) 日本建築学会：建物のLCA指針—温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール—(2006.11)，一般建築物用LCAツールVer.4.04更新版(2006.6.29公開)
- 3) 大阪広域生コンクリート協同組合ホームページ参照：<https://www.osaka-kouiki.or.jp/documents/> (閲覧日：2023年11月24日)
- 4) 高木俊輔ほか：高炉スラグ高含有コンクリートの場所打ち杭およびマッドスラブへの大量使用，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.529-530，2019年9月
- 5) 辻大二郎ほか：高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの基礎躯体への適用，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.539-540，2015年9月
- 6) 水田連：「首都圏における低炭素化を目標とした水循環システム実証モデル事業」首都圏水循環検討委員会報告書，p.4-7参照：<https://www.suidanren.or.jp/cms/wp-content/uploads/首都圏水循環委報告書.pdf> (閲覧日：2023年11月24日)
- 7) 土木学会：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125，2005年)，p.15，解説表3.2.3 構成材料の原単位
- 8) 日本コンクリート工学会：コンクリートの環境テキスト(案)[改定版]，p.127，2015
- 9) 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年版)，p.230，解説表3.10 CO₂削減率の例
- 10) J-クレジット制度EN-S-040Ver.4.0「ポルトランドセメント配合量の少ないコンクリートの使用」参照：https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/EN-S-040_v4.0.pdf (閲覧日：2023年11月24日)
- 11) 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年2月16日
- 12) 日本コンクリート工学協会：コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化に関する研究委員会報告書，pp.127-128，2010.7