

## ①コンクリートに関わる環境負荷

河合研至\*

### 1. はじめに

今月から3回にわたって、コンクリートの環境負荷評価について概説しますが、ここでの環境負荷とは、自然環境に対して及ぼす影響と考えてください。コンクリートを構成する材料が製造され、それらの材料が工場や現場に運ばれ、コンクリートが練り混ぜられ、型枠に打ち込まれ、養生されて、コンクリートは構造物として供用されます。そしてその後は、維持管理がなされ、必要に応じて補修や補強が行われ、役割を果たし終わると解体され、廃棄されたりリサイクルされたりします。これがコンクリートの一生であり、これをライフサイクルと呼んでいます。このライフサイクルの中で、コンクリートは自然環境に対してどのような影響をどれくらい及ぼしているのかを、例も交えて概説します。

コンクリートは、水、セメント、細骨材、粗骨材、混和材料で構成されています。例えば、セメントの場合、原料である石灰石は採石場で採取された後に工場へ運ばれ、工場での他の原料と一緒に粉砕されて焼成されます。

ここまでの過程を見ても、採石場で石灰石を採取するためには、ホイールローダや油圧ショベル、ダンプトラック、ベルトコンベア、粉砕機などを稼働させなければなりません。また、セメント工場へ持ち込まれて石灰石を粉砕し焼成するためには、粉砕機や分級機、キルンを稼働させなければなりません。そのためには燃料や電力が必要です。動力を得るために燃料を燃焼させると、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)や窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)、ばいじんなどを大気中へ排出します。これが、自然環境へ及ぼしている影響です。

第1回では、まず、コンクリートのライフサイクルが、自然環境に対してどのような影響を及ぼしているのかを見ていきます。

### 2. コンクリート構成材料の製造に伴う環境負荷

#### 2.1 セメント

セメントの製造工程は、図-1のようになっています。ポルトランドセメント1tの製造には、天然資源である約1.1tの石灰石が使用され、また、それぞれの工程で、

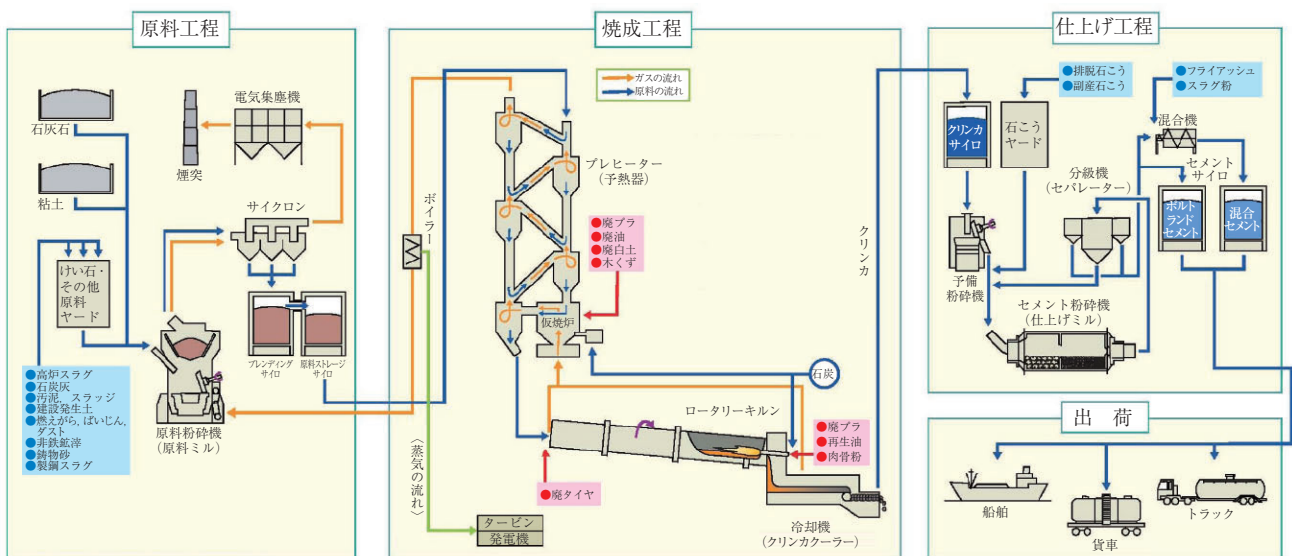


図-1 セメントの製造工程<sup>1)</sup>

\* かわい・けんじ/広島大学 大学院工学研究院 社会環境空間部門 教授(正会員)

表-1 セメント業界の廃棄物・副産物使用量の推移 (2006~2010)<sup>3)</sup>

(単位:千トン)

種類	主な用途	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
高炉スラグ	原料, 混合材	9 711	9 304	8 734	7 647	7 345
石炭灰	原料, 混合材	6 995	7 256	7 149	6 789	6 443
汚泥, スラッジ	原料	2 965	3 175	3 038	2 621	2 514
副産石こう	原料 (添加材)	2 787	2 636	2 461	2 090	1 974
建設発生土	原料	2 589	2 643	2 779	2 194	1 931
燃えがら (石炭灰は除く), ばいじん, ダスト	原料, 熱エネルギー	982	1 173	1 225	1 124	1 261
非鉄鉱滓等	原料	1 098	1 028	863	817	654
木くず	原料, 熱エネルギー	372	319	405	505	564
鋳物砂	原料	650	610	559	429	478
廃プラスチック	熱エネルギー	365	408	427	440	413
製鋼スラグ	原料	633	549	480	348	400
廃油	熱エネルギー	225	200	220	192	269
廃白土	原料, 熱エネルギー	213	200	225	204	236
再生油	熱エネルギー	249	279	188	204	195
廃タイヤ	原料, 熱エネルギー	163	148	128	103	87
肉骨粉	原料, 熱エネルギー	74	71	59	65	61
ボタ	原料, 熱エネルギー	203	155	0	0	0
その他	-	615	565	527	518	591
合計	-	30 890	30 720	29 467	26 291	25 415
セメント1t当たりの使用量 (kg/t)	-	423	436	448	451	469

注1. 「その他」は廃酸, 廃アルカリ, ガラス・陶磁器くず, がれき類, RDF, RPF など。

注2. セメント1t当たりの使用量とは, 原料代替, 熱エネルギー源, 混合材としてセメント1tを生産するのに使用した廃棄物・副産物の量を示す。

表-2 セメントの製造に伴い大気へ排出される環境負荷物質 (2009年度)<sup>4)</sup>

(単位:kg/t)

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	ばいじん
ポルトランドセメント	771.0	0.036	0.033	0.080	1.369	0.033
高炉セメントB種	464.8	0.022	0.024	0.056	0.822	0.020
フライアッシュセメントB種	617.0	0.029	0.021	0.052	1.101	0.026

注1. 計算範囲は原料採掘~セメント製造まで (輸送分を含まない)。

注2. 購入電力分を含まない。

動力源,あるいは熱エネルギー源として,天然資源である石炭,石油コークス,C重油などが使用されています。すなわち,多量の天然資源を用いて,セメントは製造されています。例えば,石灰石の年間使用量は,約5220万t(2009年度)にもなります<sup>2)</sup>。しかしその一方で,多量の廃棄物・副産物も有効活用をしています。表-1に示されるように,2010年度ではセメント1t製造あたり約469kg,総量では約2500万t/年もの副産物・廃棄物を原料,混合材,熱エネルギー源として活用しています。その意味でセメント産業は,今や静脈産業としてなくてはならない存在となっています。

一方,1.でも触れましたが,セメントの製造工程で動力源あるいは熱エネルギー源として用いられる石炭,石油コークス,C重油などの燃料の燃焼に伴って,大気中に環境負荷物質を排出します。それをまとめたのが表-2になります。CO<sub>2</sub>に関しては,燃料の燃焼に伴って排出されるCO<sub>2</sub>以外に,原料である石灰石の焼成過程における脱炭酸反応(CaCO<sub>3</sub>→CaO+CO<sub>2</sub>↑)で排出されるCO<sub>2</sub>があります。前者を熱エネルギー由来,後者をプロセス由来として区別して扱われる場合もあります。表-2の数値にそれぞれのセメントの生産量を乗じ

ると,セメントの製造に伴い排出されるCO<sub>2</sub>量は,約3600万t(国内総CO<sub>2</sub>排出量の約3%)と試算されます。

表-2の中で,CO<sub>2</sub>,メタン(CH<sub>4</sub>),一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)は温室効果ガスと呼ばれている物質です。温室効果ガスとは,太陽からの熱を地球に封じ込める働きをする気体の総称で,1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)において採択された京都議定書では,先述の3つの気体のほか,ハイドロフルオロカーボン類(HFCs),パーフルオロカーボン類(PFCs),六ふっ化硫黄(SF<sub>6</sub>)を温室効果ガスとして規定しています。これらの温室効果ガスのおかげで,地球の平均気温は約15℃に保たれているといえますが,これらのガス濃度が上昇することで地球温暖化がもたらされるともいわれています。温室効果の程度は,それぞれの温室効果ガスによって異なり,CO<sub>2</sub>を1とした場合にCH<sub>4</sub>はその21倍,N<sub>2</sub>Oは310倍,SF<sub>6</sub>に至っては23900倍といわれています。ただし,図-2に示されるように,すべての温室効果ガスをCO<sub>2</sub>に換算した場合,国内で排出される温室効果ガスによる温室効果の大半はCO<sub>2</sub>によってもたらされており,それゆえに,地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>排出量の削減が重要視されています。

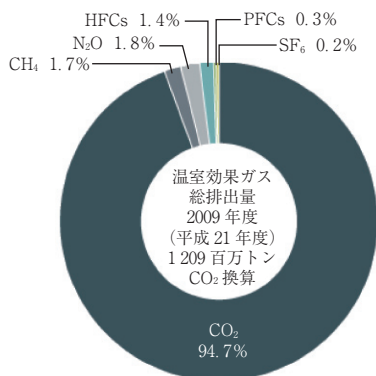


図-2 日本が排出する温室効果ガスの内訳 (2009年単年度)<sup>5)</sup>

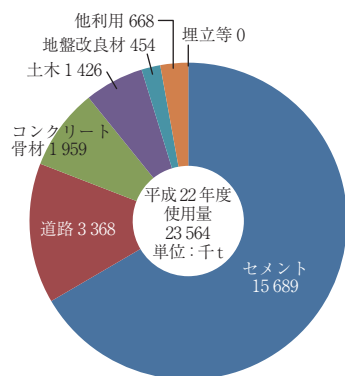


図-3 高炉スラグ使用内訳 (2010年度)<sup>7)</sup>

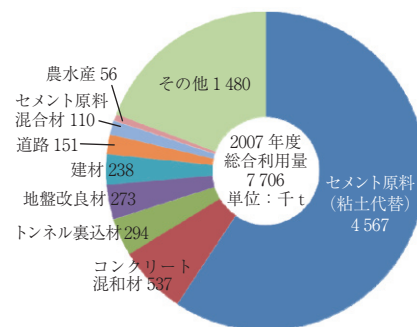


図-4 石炭灰の有効利用状況 (2007年度)<sup>8)</sup>

表-3 高炉スラグ微粉末とフライアッシュの製造に伴う環境負荷量の一例<sup>6)</sup> (単位: kg/t)

	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	ばいじん
高炉スラグ微粉末	26.5	0.00836	0.0102	0.00169
フライアッシュ	19.6	0.00620	0.00754	0.00125

注 斜字体の数値は、電力起源しか考慮していないもの (プロセス起源は不明)

また、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>は酸性化をもたらす物質として地球環境への影響が懸念されており、NO<sub>x</sub>は光化学スモッグを引き起こす原因物質でもあります。さらに、ばいじんは、大気汚染に関与します。

## 2.2 混和材

コンクリートで一般的に用いられる混和材として、高炉スラグ微粉末、フライアッシュがあります。高炉スラグ微粉末は製鉄所、フライアッシュは石炭火力発電所から排出される産業副産物です。石炭火力発電所は、電力を供給することが主たる目的であり、フライアッシュを製造するためにはありません。高炉スラグ微粉末の場合も同様で、製鉄所は鉄鋼を生産することが主たる目的です。このように主生産品以外に産業副産物が存在する場合、その事業所で排出される環境負荷はすべて主生産品の製造に伴う環境負荷とみなし、産業副産物の環境負荷はゼロとみなすのが現在では一般的です。ただし、石炭灰からフライアッシュを製造する過程など、副産物を高炉スラグ微粉末やフライアッシュといった製品に加工するまでの過程で排出される環境負荷は、高炉スラグ微粉末やフライアッシュの製造に伴い排出される環境負荷とみなされます。表-3に、高炉スラグ微粉末とフライアッシュの製造に伴う環境負荷量の一例を示します。混和材の環境負荷は、ポルトランドセメントの環境負荷と比較して著しく低く、そのために混合セメントの環境負荷はポルトランドセメントの環境負荷より小さくなっています (表-2)。

高炉スラグやフライアッシュの利用による環境負荷量の軽減は、上述のように計算上の取扱いにもよりますが、実質的に産業副産物を有効利用することは、循環型社会

の構築のためには非常に重要なことです。この有効利用によって、天然資源の使用を削減できるからです。図-3と図-4にそれぞれ、高炉スラグ、石炭灰の有効利用の現状を示します。高炉スラグのセメントには、原料としての利用と混和材としての利用が含まれますが、いずれにしても、両者ともセメント原料としての利用割合が大きいいえます。このことは、有効利用はされていますが、高炉スラグの潜在水硬性やフライアッシュのポゾラン反応性といった、その副産物が有する特徴を十分に活かした利用とはなっていないこととなります。付加価値を高めた有効利用が、今後は求められてきます。

## 2.3 練混ぜ水

蛇口をひねればきれいな水が出るというのは、日本人にとっては当たり前のことですが、世界的にみれば、水は大変貴重な資源の一つです。地球上に存在する水のうち淡水は2.5%、さらに人間が容易に使用できる水は0.01%に過ぎません。そのため、水も有効に利用することが重要となってきます。仮に、年間のコンクリート製造量をおよそ120百万m<sup>3</sup>と見積もり、種々の洗浄等で練混ぜ水と同量程度の水を使用すると仮定すると、コンクリートは年間でおよそ4000万tの水を使用していることとなります。

全国のレディーミクストコンクリート工場に対して行われたヒアリング調査によると、練混ぜ水として地下水、回収水、上水道、工業用水を利用している工場の割合は、それぞれ74.8%、55.0%、34.5%、14.1%となっています<sup>9)</sup> (注: 複数回答があるため、和は100%を超えている)。このうち、回収水の利用内訳は、上澄水が82.9%、スラッジ水が19.0%となっており、スラッジ水の利用が少ない現状にあります。これは、品質面への影響を危惧する購入者からの要求が、利用促進を阻害しているようです。

## 2.4 化学混和剤

化学工業では、一つの原料から数々の材料や製品が製造されます。これらを製造するためには、燃料や電力をエネルギーとして用いますので、そのエネルギー消費に伴う環境負荷が発生します。しかし、ある製品を製造するためにもたらされた環境負荷がどれだけかを計算する

ことは、容易ではないようです。一つの原料からいくつもの製品が造られているとき、それぞれの製品が使用した原料の割合で環境負荷を按分するのか、それぞれの製品を製造するために要したエネルギーで按分するのか、計算方法によって、結果が大きく変わってきます。また、製造工程に沿って、使用した資源や排出される環境負荷を正確に求めることは、その企業のノウハウを明らかにしてしまうことにもなりかねないようです。これらのことから、化学混和剤の製造に伴ってもたらされる環境負荷は、十分に明らかとなっていないのが現状です。

表-4、表-5は、これまでの調査等により公表されている化学混和剤の環境負荷の一例です。CO<sub>2</sub>排出量に関して、おおむね両者の調査結果は一致していますが、βナフタリンスルホン酸系のみ大きく異なっています。計算方法等が統一的に定められ、化学混和剤の種類ごとに環境負荷が整備されることが望まれます。

なお、表中のVOCとは揮発性有機化合物を指します。ここでの具体的なVOCの内容は明らかではありませんが、VOCは光化学スモッグの原因となったり、ホルムアルデヒドもVOCの一種ですが、シックハウス症候群など室内空気質汚染の原因になったりします。

AE剤の一部に、原料として内分泌攪乱化学物質(いわゆる環境ホルモン)のノニフェノールが使用されてい

て、非環境ホルモン原料への切替えが進められているようです<sup>12)</sup>。

## 2.5 骨材

平成22年の碎石生産量・出荷量はいずれも約174百万t(うち、コンクリート用約93百万t)となっており<sup>13)</sup>、毎年、骨材として多量の天然資源を消費しています。また、平成22年の再生骨材生産量・出荷量はいずれも約18百万tですが、このうちコンクリート用は生産量で58千t、出荷量で59千tに留まっています<sup>13)</sup>。再生骨材の多くは道路用として使用されています。また、コンクリートと関連の深い各種スラグの生産量とコンクリート用骨材への使用量を表-6に示します。多くはJISで品質が規格化までなされていますが、コンクリート用骨材としての利用は、高炉スラグを除き、極めて限られています。循環型社会を構築していくためには、再生骨材に限らず、スラグ骨材も含めて、リサイクル資源を有効に活用していくことが重要です。例えば、廃棄されたコンクリート塊の多くは、再生骨材として路盤材に広く活用されていますが、新たに製造されるコンクリートでは骨材として新たな天然資源を多く使用しています。これでは、真の資源循環にはなっていません。廃棄されたコンクリート塊が再び、骨材等として新たなコンクリートに生まれ変わってこそ、コンクリートにおける資源循環が成立します。当然のことながら、品質等の面から、すべてのコンクリートで再生骨材を活用していくことは現状として困難ですが、使用できるところから徐々に用途を増やしていくことが重要であると思われます。このことは、スラグ骨材についても同様です。

一方、表-7は骨材製造に伴う環境負荷量の一例を示しています。値そのものは、コンクリート構成材料の中では低い値です。ごみ熔融スラグ骨材において値が突出しているのは、ゴミの熔融過程が含まれるためです。しかし、骨材に用いなくても、ごみは減容のために熔融されるという観点では、熔融過程は骨材製造のための過程とはみなさない考え方もあります。この場合には、数値が天然骨材の数値に近く、あるいはそれ以下になるものと思われます。このあたりは、統一された考え方がまだ形成されていませんので、環境負荷量を計算するためには、早急に計算方法のルール化が必要となってきます。

表-4 各種化学混和剤成分の環境負荷量<sup>10)</sup>

成分名	メーカー	単位: kg/t			
		CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	VOC
リグニン系	A社	123	0.13	-	-
	B社	-	0.39	0.28	0.02
βNS系	C社	7.9	0.17	-	-
MS系	D社	50~150	-	-	-
PCE系	E社	150~350	-	-	-
	F社	100~150	-	-	-

※ βNS系: β-ナフタリンスルホン酸系, MS系: メラミンスルホン酸系, PCE系: ポリカルボン酸エーテル系

表-5 化学混和剤のCO<sub>2</sub>排出原単位<sup>11)</sup>

成分名	CO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> /t)
リグニン系	100~150
βNS系	150~250
MS系	50~150
PCE系	100~350

表-6 各種スラグの生産量とコンクリート用骨材への使用量

スラグの種類		生産量または発生量 (千t)	コンクリート用骨材への使用量 (千t)		調査年度	出典	骨材としての JIS規格
高炉スラグ	徐冷スラグ	5 085	粗骨材	255	平成22年度	14)	JIS A 5011-1
	水砕スラグ	19 839	細骨材	1 704			
フェロニッケルスラグ		2 292	細骨材	44	平成20年度	15)	JIS A 5011-2
銅スラグ		3 058	細骨材	152			JIS A 5011-3
電気炉スラグ	酸化スラグ	3 013	細・粗骨材	53			JIS A 5011-4
	還元スラグ		-	-			-
転炉スラグ		10 195	-	-	-	-	

表-7 骨材製造に伴う環境負荷量の一例<sup>6)</sup>

	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	ばいじん
天然粗骨材 (砕石)	2.9	0.00607	0.00415	0.00141
天然細骨材 (砕砂)	3.7	0.00860	0.00586	0.00199
石灰石骨材	2.9	0.00607	0.00415	0.00141
ごみスラグ骨材 (燃料式灰溶融)	2 293.6	0.0309	0.0376	0.00624
ごみスラグ骨材 (電気式灰溶融)	430.3	0.123	0.150	0.0249
Ⅲ種再生骨材	3.1	0.00127	0.0108	0.000655
Ⅰ種再生骨材 (一軸高度処理)	17.7	0.00628	0.0289	0.00218

注 斜字体の数値は、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-8 鋼材のCO<sub>2</sub>排出原単位<sup>16)</sup>

#	分類	CO <sub>2</sub> 排出原単位 (kg/t)	文献
1	粗鋼	840	17)
2		1 692	18)
3		648	
4	熱延鋼材	1 507	19)
5		1 180	
6	冷延鋼材	1 520	17)
7	厚板	1 240	
8	形鋼	1 250	20)
9		1 247	
10		2 176	21)
11		820	
12	鋼区別なし	1 543	17)
13	1 210		
14	1 204		
15	棒鋼	813	21)
16	鉄筋等	755	20)
17	棒鋼・形鋼	469	19)
18	線材	1 320	17)
19		1 311	20)
20	製品区別なし	1 760~1 740	22)

## 2.6 鋼材

鋼材は建設材料としてのみならず、広く工業材料、工業製品として利用されており、多量の天然資源を消費しています。さらに主原料である鉄鉱石は、輸入に依存しています。

鋼材には転炉鋼と電炉鋼があります。転炉鋼は鉄鉱石、石炭コークス、石灰石を主な原料とし、高炉で銑鉄となり、転炉で鋼材が製造されます。一方、電炉鋼はスクラップ鉄と石灰石を主な原料とし、電気炉で鋼材が製造されます。鋼材の製造に伴う環境負荷量の計算方法は、まだ確立していません。転炉鋼、電炉鋼それぞれの製造過程で発生する環境負荷を足し合わせることで、転炉鋼、電炉鋼それぞれの環境負荷量を求めることは可能となりますが、電炉鋼の原料となるスクラップ鉄は、転炉鋼で製造されたものを多く含むことから、電炉鋼の製造に伴う環境負荷では、転炉鋼の製造に伴う環境負荷の一部を担うべきであるという考え方があります。すなわち、転炉鋼と電炉鋼のすべてを鋼材として、環境負荷を

求めるべきであるという考え方です。表-8には、鋼材の製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量の各種文献値を示しています。このように、様々な値が提示されています。この中のどの値が正しいというものではなく、製造過程の計算方法によって、このように異なる値となってくるということですが、環境負荷量を計算する立場からすれば、業界から統一した数値が、早期に示されることが望まれるところです。ただし、いずれにしましても、鋼材はセメントと並んで大きなCO<sub>2</sub>排出源となっていることは否めません。

## 3. コンクリートの製造・施工に伴う環境負荷

レディーミクストコンクリートやプレキャストコンクリート製品の製造に伴う環境負荷、レディーミクストコンクリートやプレキャストコンクリート製品を現場へ輸送するときの環境負荷、建設現場における各工種で発生する環境負荷が、このコンクリートの製造・施工に伴う環境負荷に含まれます。

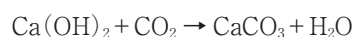
これらの環境負荷は、建設機械や輸送機械の稼働のための、燃料消費あるいは電力消費に伴って発生する環境負荷が大半を占めます。一例を表-9に示しますが、これらは建設機械等損耗算定表に記載の規格値を基に燃料消費量を計算し、環境負荷量を求めたものです。燃料の消費に伴う環境負荷量については、後述の7.を参照ください。

なお、建設機械等の使用に伴う環境負荷に関し、機械の製造に伴う環境負荷も加算して算出する考え方もあります。この考え方に従えば、セメントの製造に伴う環境負荷には、セメント工場の建設に伴う環境負荷も加算して考えることとなりますが、現状ではこの考え方は一般的ではありません。

## 4. コンクリート構造物の供用に伴う環境負荷

「供用中にコンクリートが自然環境に影響を及ぼすのか？」と不思議に思われるかもしれませんが、供用中にもたらされる作用として主に、CO<sub>2</sub>固定と蓄熱があります。

コンクリートのCO<sub>2</sub>固定とは、いわゆるコンクリートの中酸化(炭酸化)です。セメント水和物である水酸化カルシウム(Ca(OH)<sub>2</sub>)が大気中のCO<sub>2</sub>と反応することによって、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)を生成しCO<sub>2</sub>を固定化します。



これだけを見ると、コンクリートはCO<sub>2</sub>を固定する環境にやさしい材料と捉えがちですが、供用中に固定されるCO<sub>2</sub>量以上に、製造時にはCO<sub>2</sub>を排出していることを忘れないでください。CO<sub>2</sub>固定材としてコンクリートを製造するとしたら、それは本末転倒の話です。トータルとしてみれば、CO<sub>2</sub>を多量に排出することになることを、くれぐれも留意してください。

もう一つの蓄熱作用は、都会に住む方々はヒートアイ

表-9 コンクリートの製造・施工に伴う環境負荷量の一例<sup>6)</sup>

		単位 (*)	CO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> /*)	SOx (kg-SOx/*)	NOx (kg-NOx/*)	ばいじん (kg-PM/*)	
生コン	コンクリートミキサ	1.5 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	0.73	0.000235	0.000289	0.0000542
		1.75 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	0.75	0.000240	0.000295	0.0000554
		2.5 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	0.61	0.000195	0.000240	0.0000450
		3.0 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	0.62	0.000199	0.000244	0.0000458
コンクリート工	アジテータトラック	0.8~0.9 m <sup>3</sup>	h	10.0	0.00769	0.0747	0.00628
		1.6~1.7 m <sup>3</sup>	h	21.9	0.0169	0.164	0.0138
		3.0~3.2 m <sup>3</sup>	h	25.7	0.0198	0.192	0.0161
	コンクリート ポンプ車	ブーム式 40~45 m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>	0.62	0.000475	0.00924	0.000468
		配管式 40~45 m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>	0.43	0.000330	0.00642	0.000325
締固め	棒状電動式フレキシブル (60~70 mm)		h	0.24	0.0000772	0.0000950	0.0000178
養生	蒸気養生		m <sup>3</sup>	38.5	0.0241	0.0317	0.0348
	オートクレープ養生		m <sup>3</sup>	46.2	0.0289	0.0381	0.0417
バックホウ	クローラ型	平積 0.6 m <sup>3</sup>	h	51.7	0.0398	0.774	0.0393
クローラクレーン	機械ロープ式	16 t 吊	h	17.8	0.0137	0.267	0.0135
トラッククレーン	油圧式	16 t 吊	h	16.5	0.0127	0.124	0.0104
ホイールクレーン	油圧式	排ガス対策 16 t 吊	h	38.9	0.0299	0.408	0.0295
発動発電機	ディーゼルエンジン 駆動	排ガス対策 10 kVA	h	5.9	0.00458	0.0624	0.00452
		排ガス対策 45 kVA	h	19.2	0.0148	0.201	0.0146

(注) 各排出量における単位の分母(\*)は、各分類の単位欄に示す単位が、その位置に入ることの意味する。例えば、CO<sub>2</sub>排出量について、コンクリートミキサであれば単位はkg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>、アジテータトラックであれば単位はkg-CO<sub>2</sub>/hとなることを表す。

ランド現象で十分に体験されていることと思います。コンクリートは内部に多くの空隙を有していますので、熱を蓄え長時間をかけてその熱を放出する性質を持っています。建築物において、この特性を有効に活用すれば、空調設備の稼働に伴う環境負荷を大幅に軽減できる場合もあります。

#### 5. コンクリート構造物の維持管理に伴う環境負荷

コンクリート構造物の維持管理に伴う環境負荷には、点検等の作業に伴う環境負荷、補修・補強等の工事に伴う環境負荷が含まれます。機械等の稼働に伴う環境負荷は、施工時と同様であり、また、補修・補強に伴いコンクリートが使用される場合には、構成材料や施工で述べた内容と同様の環境負荷を伴います。しかし、2.4でも触れましたように、化学製品を用いた場合の環境負荷については、十分には明らかとされていません。製品によっては、手袋やマスクの着用などを要し、人体に影響を及ぼす物質が含有されていることもあります。補修材料などは極めて多種多様であり、これらの環境影響を網羅することは容易ではありませんが、正しく環境負荷を把握するためには、個々の製品の環境負荷を個別に明らかとしていく必要があります。

#### 6. コンクリートの解体・廃棄・再利用に伴う環境負荷

コンクリートの解体や廃棄に伴う環境負荷も、基本的には建設機械の稼働等に伴う環境負荷となります。また、廃棄という行為は、固形廃棄物を発生させることとなります。平成20年度のコンクリート塊、アスファルト

ト・コンクリート塊の年間排出量は、それぞれ3130万t、1990万tとなっています<sup>23)</sup>。このうち、コンクリート塊では97.3%、アスファルト・コンクリート塊では98.4%が再資源化されており<sup>23)</sup>、最終処分されている量はわずかですが、いずれも路盤材等としての利用が大半を占め、2.5でも触れましたように、コンクリート用骨材として再利用されているものはごく限られています。コンクリートが本来のリサイクルを成し遂げていくためには、解体されたコンクリートが、コンクリートへ再生されていくことが今後必要となってきます。

ただし、コンクリートを解体するがゆえに生じてくる環境負荷の問題もあります。それはコンクリートに含有する微量成分の溶出の問題です。通常はコンクリートの中に封じ込められた状態であっても、解体し微粉碎することによって溶出しやすい状態に変化する危険性があります。この点に関しては、報告事例や研究事例が少なく、解体コンクリートの有効利用を考えていく上では、今後明らかとおかなければならない点となります。その一方で、コンクリートを微粉末とすることは、コンクリートの中性化を促進させます。換言すれば、CO<sub>2</sub>をコンクリートが固定しやすくなります。この点については、後述の8.を参照ください。

#### 7. エネルギー・輸送に伴う環境負荷

コンクリートに限ったことではありませんが、様々な活動の場ではエネルギーを消費し、また、物資の搬出入には輸送を伴います。輸送も動力源となる燃料の消費によってなされますので、輸送はエネルギーの消費によってなされるといえます。これらのエネルギーの消費におい

表-10 各種エネルギーの原単位の一例<sup>6)</sup>

エネルギー種	単位 (*)	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /*)		SO <sub>x</sub> 排出量 (g-SO <sub>x</sub> /*)		NO <sub>x</sub> 排出量 (g-NO <sub>x</sub> /*)			ばいじん排出量 (g-PM/*)	
		採掘～輸送	使用時	採掘～輸送	移動・建機	採掘～輸送	移動*	建機**	移動*	建機**
石炭 (輸入一般炭)	kg	0.06	2.36	0.76		1.17				
燃料用 LPG	kg	0.50	3.03	3.04	18) 参照	2.27	18) 参照		18) 参照	
ガソリン	ℓ	0.36	2.31	1.72	0.59	1.29	18) 参照		18) 参照	
灯油	ℓ	0.15	2.50	1.53		1.13				
軽油	ℓ	0.18	2.64	1.55	2.04	1.15	19.77	39.61	1.66	2.01
A 重油	ℓ	0.24	2.77	1.67	13.00	1.26	18) 参照	2.38	18) 参照	3.00
C 重油	ℓ	0.25	2.97	1.68	56.40	1.27	18) 参照		18) 参照	
石油コークス	kg	0.24	3.31	1.62		1.20				
天然ガス (国産)	Nm <sup>3</sup>	0.07	2.79	0.81		1.02				
LNG (輸入天然ガス)	kg	0.53	2.79	0.78		1.07				
都市ガス	Nm <sup>3</sup>		2.15			-				
購入電力	kWh	0.407		0.13		0.16			0.03	
アセチレン	kg		3.38							

※：トラック等公共道路を走行するものの燃料消費による排出原単位

※※：建設機械稼働時の燃料消費に伴う排出量原単位

(注) 各排出量における単位の分母(\*)は、各エネルギー種の単位欄に示す単位が、その位置に入ることの意味する。例えば、CO<sub>2</sub> 排出量について、燃料用 LPG であれば単位は kg-CO<sub>2</sub>/kg、ガソリンであれば単位は kg-CO<sub>2</sub>/ℓ となることを表す。

表-11 輸送に伴う環境負荷量の一例<sup>6)</sup>

		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/*)
トラック	ガソリン 2t	km・t	0.200	0.0000600	0.000250	0.000250
	ディーゼル 2t	km・t	0.233	0.000179	0.00174	0.000146
	ディーゼル 4t	km・t	0.153	0.000118	0.00115	0.0000964
	ディーゼル 10t	km・t	0.122	0.0000941	0.000914	0.0000768
	ディーゼル 20t	km・t	0.0714	0.0000549	0.000534	0.0000448
ダンプトラック	ディーゼル 10t	km・t	0.117	0.0000901	0.000875	0.0000735
アジテータトラック	0.8~0.9 m <sup>3</sup>	km・m <sup>3</sup>	0.392	0.000302	0.00587	0.000298
	1.6~1.7 m <sup>3</sup>	km・m <sup>3</sup>	0.442	0.000340	0.00663	0.000336
	3.0~3.2 m <sup>3</sup>	km・m <sup>3</sup>	0.276	0.000213	0.00414	0.000210
	4.4~4.5 m <sup>3</sup>	km・m <sup>3</sup>	0.253	0.000195	0.00379	0.000192
貨車		km・t	0.0219	0.00693	0.00844	0.00140
船舶	500t 級	km・t	0.162	0.00280	0.00470	0.0000721
	1000t 級	km・t	0.0999	0.00172	0.00289	0.0000444
	2000t 級	km・t	0.0615	0.00106	0.00178	0.0000273
	5000t 級	km・t	0.0324	0.000559	0.000937	0.0000144
	10000t 級	km・t	0.0199	0.000344	0.000577	0.00000886

(注) 各排出量における単位の分母(\*)は、各輸送の単位欄に示す単位が、その位置に入ることの意味する。例えば、CO<sub>2</sub> 排出量について、トラックであれば単位は kg-CO<sub>2</sub>/(km・t)、アジテータトラックであれば単位は kg-CO<sub>2</sub>/(km・m<sup>3</sup>) となることを表す。

て、様々な環境負荷を排出することになります。表-10は、各種エネルギーの使用による環境負荷量の排出の一例を示しています。なお、購入電力の環境負荷量は全国平均値を示しています。電力構成（水力、火力、原子力など）の相違によって、各電力会社の環境負荷量は異なります。また、昨今の情勢を鑑みれば、今後の購入電力の環境負荷量は表中の値とは大きく変化することが予想されます。表-11は輸送に伴う環境負荷量の一例を示していますが、それぞれの輸送手段における走行距離と輸送量に応じて、環境負荷量は増加することとなります。

## 8. おわりに

ここでは、コンクリートのライフサイクルを構成する

それぞれの段階で、自然環境に対してどのような影響が及ぼされるのかを見てきました。天然資源の消費以外にも、自然環境に及ぼす影響は様々ありますが、定量的にその影響の程度が明らかとなっているものは少なく、そのために、比較的信頼性のあるデータが整いつつあるCO<sub>2</sub> 排出量、SO<sub>x</sub> 排出量、NO<sub>x</sub> 排出量、ばいじん排出量を中心として概説しました。

ただし、CO<sub>2</sub> 排出量、SO<sub>x</sub> 排出量、NO<sub>x</sub> 排出量、ばいじん排出量に関しても、トータルとしての話は全くしませんでしたので、ここで少し触れたいと思います。

ある仮定条件の下で鉄筋コンクリート 100 m<sup>3</sup> のライフサイクルを考えた場合について、環境負荷量が計算された結果を図-5と表-12に示します。図-5に示される

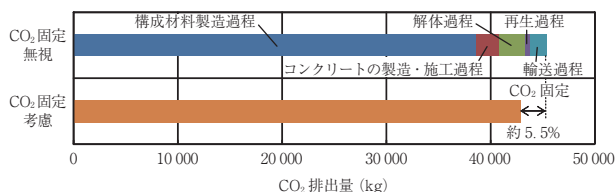


図-5 CO<sub>2</sub>固定を無視した場合と考慮した場合のCO<sub>2</sub>排出量の比較 (100 m<sup>3</sup>の鉄筋コンクリートのライフサイクルをある仮定条件の下で計算した結果)<sup>24)</sup>

表-12 各工程が占める割合 (100 m<sup>3</sup>の鉄筋コンクリートのライフサイクルをある仮定条件の下で計算した結果)<sup>25)</sup>

	CO <sub>2</sub> 排出量 (%)	SOx 排出量 (%)	NOx 排出量 (%)	ばいじん排出量 (%)
材 料	84.9	63.2	40.6	27.9
施 工	4.9	9.5	16.0	19.2
解 体	5.3	14.9	28.7	31.4
廃棄・リサイクル	1.2	1.9	1.6	2.1
輸 送	3.6	10.5	13.1	19.4

CO<sub>2</sub> 排出量についてみると、1 m<sup>3</sup> あたりに換算してトータルでおよそ 454 kg の CO<sub>2</sub> を排出していることとなります。セメント販売高や生コンクリート出荷量の統計値から大雑把にはありますが見積りしますと、年間に約 5800 万 t の CO<sub>2</sub> 排出とコンクリートは関わっていることとなります。これは国内の総 CO<sub>2</sub> 排出量の約 5% に相当します。このことから、コンクリート産業における CO<sub>2</sub> 削減の努力は、国内の総 CO<sub>2</sub> 排出量を削減することに大きく貢献することがわかります。

また、4. と 6. のところで、コンクリートの CO<sub>2</sub> 固定について触れましたが、図-5 は供用中あるいは解体時の CO<sub>2</sub> 固定を考慮すると、総量として CO<sub>2</sub> 排出分の 5.5% はコンクリートが吸収していることとなることも表しています。これによれば、鉄筋コンクリート 1 m<sup>3</sup> あたりに換算してトータルで排出している CO<sub>2</sub> 量は約 429 kg となります。CO<sub>2</sub> 固定を考慮するかしないかで、これだけの差が生じてきます。

一方、図-5 でも明らかですが、表-12 をみると、コンクリートのライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 排出量の圧倒的な割合を、コンクリート構成材料の製造に伴う排出が占めていることがわかります。この点では、コンクリートに使用する材料の工夫をすることが、CO<sub>2</sub> 排出量の削減につながることを示唆しています。しかし、SOx 排出量、NOx 排出量、ばいじん排出量では、構成材料の製造が圧倒的な割合を占めるには至っていません。種類によって異なりますが、施工、解体、輸送も比較的高い割合を占めています。これは、建設機械や輸送機器として用いられるエネルギー・燃料の種類が異なることに起因します。このように、コンクリートのライフサイクル全

体としてみると、着目する環境負荷の種類によって、ライフサイクルのどの段階の影響が大きいのかが異なります。したがって、環境負荷を考慮するためには、コンクリートが関係する環境負荷を的確に定量化し、全体を見渡して評価することが重要となってきます。

上記のような、コンクリートが関係する環境負荷をどのように数値化するのか、数値化されたものをどのように評価すればよいのかについて、第 2 回では説明をしていきます。

#### 参考文献

- 1) セメント協会ホームページ [http://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jd3\\_01b.pdf](http://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jd3_01b.pdf) を一部改変
- 2) セメント協会：セメントの LCI データの概要, p.2, p.7, 2011 年 8 月 1 日より算出
- 3) セメント協会ホームページ <http://www.jcassoc.or.jp/cement/ljpn/jg2a.html>
- 4) セメント協会：セメントの LCI データの概要, p.7, 2011 年 8 月 1 日
- 5) 環境省：平成 23 年版環境・循環型社会・生物多様性白書, p.156
- 6) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 62 コンクリートの環境負荷評価 (その 2), p.39 の差替え表, 平成 16 年 9 月 30 日
- 7) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報 (平成 22 年度実績), p.3, 平成 23 年 7 月
- 8) 日本フライアッシュ協会ホームページ <http://www.japan-flyash.com/pdf/fcuse10.pdf> より作成
- 9) 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, p.52, 2010 年 7 月 30 日
- 10) 土木学会：コンクリートライブラリー 125 コンクリート構造物の環境性能照査指針 (試案), p.52, 平成 17 年 11 月 1 日
- 11) 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, p.128, 2010 年 7 月 30 日
- 12) 土木学会：コンクリートライブラリー 111 コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題, pp.35~39, 2003 年 5 月
- 13) 経済産業省ホームページ「平成 22 年砕石等統計年報」<http://www.meti.go.jp/statistics/sei/saiseiki/result/xls/agyear22.xls>
- 14) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報 (平成 22 年度実績), pp.3~4, 平成 23 年 7 月
- 15) 日本コンクリート工学協会：平成 23 年度 コンクリート技士研修テキスト, p.12, 平成 23 年 6 月 1 日
- 16) 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, p.153, 2010 年 7 月 30 日
- 17) 未踏科学技術協会：「環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書 (別冊)—金属インベントリデータ, 1995. 11
- 18) 国立環境研究所：産業連関表による環境負荷データブック (3EID)—LCA インベントリデータとして, 2002
- 19) 土木学会：土木建設業における環境負荷評価 (LCA) 研究小委員会委員会報告, 1997. 8
- 20) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 62 コンクリートの環境負荷評価 (その 2), pp.32~40, 2004
- 21) 日本コンクリート工学協会：環境時代におけるコンクリートインベントリ, pp.4~45~4~47, 2008
- 22) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼業における地球温暖化対策の取組, <http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/joukyo/docs/siryol.pdf>, 平成 21 年 11 月
- 23) 環境省：平成 23 年版環境・循環型社会・生物多様性白書, p.228
- 24) Kikuchi, T. and Kuroda, Y.: Carbon Dioxide Uptake in Demolished and Crushed Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.9, No.1, pp.115-124, 2011
- 25) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 62 コンクリートの環境負荷評価 (その 2), p.36, 2004