

「コンクリート構造物のライフサイクルを通じた資源消費とCO₂の排出」であることを明記する箇所が必要であり、それを前提として、本宣言については「材料」の製造に特化する。(材料の輸送に関しては記述しない。)

ベンチマーク(現状評価)と将来

(2) コンクリート関連セクターにおける資源消費とCO₂排出の低減に向けた努力を続ける

コンクリート構造物の建設では、基本資材として骨材とセメント・鉄が用いられる。骨材は、コンクリートの容積の約7割を占め、その使用量は膨大である。しかし、これに代わる資源はない。一方、セメントの製造には石灰石・粘土などを焼成するために、また鉄の製造には鉄鉱石を製錬するために多くのエネルギーが必要である。また、これらの過程で脱炭酸が生じる。つまり、セメントや鉄の製造では、宿命的に多くのCO₂が排出される。この状況は、コンクリート関連セクターに資源消費とCO₂排出を低減する努力が求められることを意味する。現在、既にセメントのCO₂削減技術として、高炉スラグやフライアッシュなどの混和材の利用技術がある。また、日本のセメント・鉄製造における省エネ技術は世界トップレベルとされる。しかし、コンクリートに関する現行の技術だけでは地球レベルで今後要求される資源消費及びCO₂の削減を実現することは極めて困難である。

したがって、コンクリート関連セクターは、資源消費とCO₂排出の低減のための革新的な技術開発の努力を続けていく。なお、CO₂による地球温暖化については様々な議論があるが、少なくともCO₂排出低減はエネルギー消費削減に繋がる。

1. ベンチマーク(現状評価)

1.1 (天然)資源消費

コンクリート関連セクターにおける(天然)資源消費に関しては、主にコンクリート材料に起因するものが大きい。例えば、セメントに関しては石灰石の消費が主であり、鉄筋に関しては鉄鉱石と石灰石が主である。また、骨材は天然資源の利用が多いが、資源消費を抑制するためには、再生骨材の使用も考慮する必要がある。

(1) 骨材

表-1 に需給の推移を示す。2011 年度においてコンクリート用で使用された骨材は 2 億 6400 万 t に及ぶ。供給の内、「その他」の全量がコンクリート用で使用されたとした場合、コンクリート用骨材として使用された天然資源は 2 億 5000 万 t となる。

表-1 骨材の需給の推移(出典 1)

(単位：百万トン)

	年度	2007	2008	2009	2010	2011
	種別					
需要	合計	508	456	390	380	373
	コンクリート用	366	331	278	262	264
	道路用	142	125	112	118	109
供給	合計	508	456	390	380	373
	砂利(注1)	152	139	118	100	95
	碎石	336	299	258	264	264
	その他(注2)	20	18	14	16	14

(注1) 河川砂利、山砂利、陸砂利および海砂利の計

(注2) 軽量骨材、スラグ骨材、輸入骨材の合計値

【出典1】セメント新聞社：セメント年鑑 第65巻(2013)、P.419

(2) セメント

表-2 に 2010 年度におけるセメントを製造する際に使用した天然原料量を示す。セメントの製造においてはクリンカ原料として用いた石灰石の使用量が圧倒的に多く、2010 年度では約 5000 万トンの石灰石が使用された。粘土は僅か 15 万トン、珪石は 280 万トンであるが、これは天然の粘土、珪石に代わり、石炭灰や建設発生土が使用されていることによる。

[2010 年度の石炭灰や建設発生土の使用実績]

石炭灰：663.1(万 t) 589.4(万 t)

建設発生土：193.4(万 t) 171.9(万 t)

表-2 2010 年度におけるセメントを製造する際に使用した天然原料(注)

(単位：百万トン)

		ポルトランドセメント (JIS R 5210)	高炉セメント B 種 (JIS R 5211)	フライアッシュ セメント B 種 (JIS R 5213)	合計
クリンカ原料	石灰石	42.19	7.62	0.07	49.88
	粘土	0.13	0.02	0.00	0.15
	珪石	2.37	0.43	0.00	2.80
天然せつこう		0.04	0.01	0.00	0.05
少量混合成分	石灰石	1.09	0.18	0.00	1.27

(注) セメント協会が公表している「セメントの LCI データの概要(2012 年 9 月 14 日)」の原単位と生産量から計算した。生産量は、左から順に 38234(千トン)、11511(千トン)、76(千トン)であり全生産量 56050(千トン)の 88.89%にあたる。なお、輸出用クリンカ等は 5307(千トン)、9.47%である。

表-3 に 2010 年度におけるセメントを製造する際に使用した天然原料の原単位を示す。高炉セメント B 種の高炉スラグの分量は「30%を超え、60%以下」、フライアッシュセメント B 種のフライアッシュの分量は「10%を超え、20%以下」と JIS で規定されている。したがって、混合セメントはクリンカーの分量がポルトランドセメントに比較し小さいため、混合セメントの天然原料の使用原単位もポルトランドセメントに比較し、小さい。

表-3 2010 年度におけるセメントを製造する際に使用した天然原料の原単位(注)

(単位 : kg/t-セメント)

		ポルトランドセメント (JIS R 5210)	高炉セメント B 種 (JIS R 5211)	フライアッシュ セメント B 種 (JIS R 5213)
クリンカー原料	石灰石	1103	662	912
	粘土	3.5	2.1	2.9
	珪石	62.0	37.2	51.3
天然せつこう		1.2	1.2	8.2
少量混合成分	石灰石	28.4	16.0	18.8

(注) 表-2 の注に同じ

(3) 鉄筋

以下は日本鉄鋼連盟のホームページの「鉄鋼を知る」-「鉄鋼の一口知識」に記載されているものである。

銑鉄は主に鉄鉱石からつくられるが、鉄鉱石以外にも石炭、石灰石などの原料やエネルギーが多く使われる。

銑鉄 1 トンを生産するためには、大体「鉄鉱石 1.5~1.7 トン、石炭 0.8~1.0 トン、石灰石 0.2~0.3 トン、電力 10~80KWh、水 30~60 トン」(大和久重雄著『鋼のおはなし』)が必要とされる。また、1 トン当りの鉄鉱石所要量は「鉱石比」と呼んでいる。

日本の鉄鉱石、原料炭の輸入依存度はほぼ 100%で、2001 年度は鉄鉱石 1 億 2,649 万トン、原料炭 6,277 万トンが輸入された。

鉄筋コンクリートに使用される鉄筋は、そのほとんどが電炉鋼である(文献 1)。電炉鋼の原料は鉄スクラップであるので、鉄筋の製造のための天然資源の消費をどのように考えるかは難しい。

【文献 1】

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.152、2010 年 7 月 30 日

(4) 混和材

高炉スラグは銑鉄を製造する時に副生する高炉スラグを水砕して製造される。したがって、銑鉄の製造に天然資源が使用された考える場合、高炉スラグ微粉末の製造には天然資源は使用されないと考える。

また、フライアッシュは石炭火力発電所で発生した石炭灰を電気集塵機で捕集したものであり、コンクリート用フライアッシュはフライアッシュをさらに分級などにより調整したものである。し

たがって、コンクリート用フライアッシュは石炭火力発電の際に副生したものと考えると、コンクリート用フライアッシュの製造には天然資源は使用されないと考えられる。

【参考】一般財団法人 石炭エネルギーセンター「石炭灰全国実態調査報告書(平成 23 年度実績)」

表-4

(単位：千トン)

		電気事業	一般産業	合計
発生量		8559	3013	11572
有効利用量	セメント	5253 (62.7)	2380 (79.4)	
	土木	1265 (15.1)	280 (9.3)	
	建築	182 (2.2)	188 (6.3)	
	農林・水産	40 (0.5)	54 (1.8)	
	その他	1634 (19.5)	94 (3.1)	
	合計	8374	2996	11370

()の数字は使用割合(%)

1.2 CO₂の排出

(1) 骨材

骨材を製造におけるCO₂の排出は、掘削または採掘に用いる重機の燃料によるもの、破砕機およびふるいに使用する電力によるものが主である。

砕石、砕砂については「砕石等統計年報」(経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課)が公表されており、電力および燃料(灯油、軽油、重油)の消費量が示されている。

全国の2012年までの消費量を表-5に示す。これらの消費量に電力または燃料の排出係数を乗じてCO₂の排出量ができる。

また、各エネルギーの排出係数は表-6の値を用いた。

表-5 骨材の生産におけるエネルギーの使用量

暦年	生産量 (千t)	使用量				原単位(**/t-骨材)			
		購入電力 (千kWh)	灯油 (kL)	軽油 (kL)	重油 (kL)	購入電力 (千kWh)	灯油 (kL)	軽油 (kL)	重油 (kL)
2008									
2009									
2010									
2011									
2012									

表-6 各エネルギーの排出係数

(温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度)

エネルギー	単位	排出係数
購入電力 (*)	t-CO ₂ /kWh	電気事業者別の値を用いる
ガソリン	t-CO ₂ /kl	2.32
灯油	t-CO ₂ /kl	2.49
軽油	t-CO ₂ /kl	2.58
A重油	t-CO ₂ /kl	2.71
B・C重油	t-CO ₂ /kl	3.00

(*) 算定できない場合は代替値(0.000550)を用いる。

(2) セメント

セメントは石灰石の脱炭酸、製造に要する熱エネルギーおよび電力エネルギーによる CO₂ 排出原単位を表-7 に示す。「セメントの LCI データの概要(2012年9月14日)」では、産業廃棄物の燃焼による CO₂ 排出は、産業廃棄物の焼却が不要によるとの理由で相殺し、合計を算出している。セメントの種類別の排出原単位は(天然)資源の消費と同様に、ポルトランドセメントが大きく、混合材の割合にしたがい、小さくなる。

表-7 セメントの種類別の CO₂ 排出原単位(注)

(単位: kg/t-セメント)

起源	ポルトランドセメント (JIS R 5210)	高炉セメント B種 (JIS R 5211)	フライアッシュ セメントB種 (JIS R 5213)
石灰石の脱炭酸	467.7	280.6	386.5
化石エネルギー	298.2	186.2	232.6
産業廃棄物等の燃焼	57.2	34.3	47.3

(注) 表-2 の注に同じ

(3) 鉄筋、鉄製の資材

鉄筋および鉄製の資材に関しては、日本コンクリート工学協会の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.152-153)で、CO₂ 排出原単位が示されているが、データの適用には問題があることが述べられている。今後のデータの蓄積が必要である。

(4) 混和材

高炉スラグ微粉末については、日本コンクリート工学協会の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.121)でデータが2例、紹介されている。1つの例は40.36(kg/t-スラグ微粉末)、もう1つの例は104.8(kWh/t-スラグ微粉末)となっている。電力の排出係数は電気事業者、製造した年により変化するが、排出係数を表-6 で示した代替値(0.000550[t-CO₂/kWh])を用いると後者の例は57.64(kg/t-スラグ微粉末)と計算される。

フライアッシュについては、分級を行う際の電力エネルギーについて日本コンクリート工学協会の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.124-125)で報告されている。分級機による差が大きいが、電力エネルギーは 8~25(kWh/t-フライアッシュ)の範囲にあり、平均的には、15(kWh/t-フライアッシュ)とされている。この電力原単位と排出係数を表-6 で示した代替値(0.000550[t-CO₂/kWh])を用いると 8.25(kg/t-フライアッシュ)と計算され、その値は小さい。

(5) 化学混和剤

(5.1) 減水性による単位セメント量の低減

化学混和剤の中で最も多く、広く一般に使用されている減水性は、界面活性剤のセメント粒子の分散作用により、コンクリートの所要の流動性を損なうことなく必要な単位水量を低減する機能を有している。コンクリートの強度は一般に水セメント比で決まることから、化学混和剤の使用による単位水量の低減は、単位セメント量の削減をもたらし、その結果、単位セメント量に由来するコンクリート 1m³当たりの CO₂ 排出量を削減しているといえる。表-1 に一般的な建築用コンクリートの調合を例としたコンクリートの種類別の CO₂ 排出量を示す。プレーンコンクリートに対し、AE 減水剤コンクリートは 30.5(kg-CO₂/m³)、高性能 AE 剤コンクリートは 44.7(kg-CO₂/m³)が削減される計算となる。なお、コンクリート 1m³当たりの化学混和剤の使用量は非常に少ないため、コンクリート 1m³における化学混和剤の CO₂ 排出量は非常に小さい[2]。

表-1 化学混和剤の使用によるコンクリートの CO₂ 削減効果試算例

(参考文献[1]にプレーンコンクリートを参考として追加した)

コンクリートの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					CO ₂ 総排出量 (kg-CO ₂ /m ³)
			括弧内の数値はCO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /m ³)					
			W	C	S	G	Ad	
AE減水剤コンクリート	50	46.6	180	360 (276.0)	801 (3.0)	935 (2.7)	0.93 (0.1)	281.8
高性能AE減水剤コンクリート	50	47.8	170	340 (260.6)	842 (3.1)	935 (2.7)	3.5 (1.2)	267.6
(参考) プレーンコンクリート	50	48.6	200	400 (306.6)	799 (3.0)	916 (2.7)	0 (0)	312.3

注)・使用材料の種類と CO₂ 原単位は以下の値を用いた。

- ・普通ポルトランドセメント=(766.6kg-CO₂/t)、天然細骨材(砕砂)=(3.7kg-CO₂/t)、
- ・天然粗骨材(砕石)=(2.9kg-CO₂/t)、AE 減水剤(リグニン系)=(123kg-CO₂/t)、
- ・高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)=(350kg-CO₂/t)

レディーミクストコンクリート分野において、水セメント比が 40~60%の通常のコンクリートに対する高性能 AE 減水剤使用による CO₂ 排出量削減の全体像を推測するため、構成材料の中で単位セメント量の削減に絞って下記の条件から算出すると、高性能 AE 減水剤使用による CO₂ 排出量の削減量は約 27 万トンと推測できる。

[算出した条件]

- ① AE 減水剤の使用割合を 80%、高性能 AE 減水剤の使用割合を 20%とする。
- ② 水セメント比 40~60%の AE 減水剤配合より単位水量を 10kg/m³ 減水すると単位セメント量は平均で約 20kg/m³ 削減となる。

③ レディーミクストコンクリート出荷量（2011年度）は8,690万m³

(5.2) コンクリートの高強度化に構造物の総コンクリートの使用量の低減

コンクリートの高強度化によりコンクリート構造物建造において、総コンクリートの使用量を減らすことができる。これにより材料に起因するCO₂、資材の輸送ならびに建設に伴うCO₂の排出量削減することができる。以下に事例の一覧を示す。

【土木構造物】

- ・横断歩道橋 → 詳細のPDF
- ・橋梁 → 詳細のPDF
- ・橋脚 → 詳細のPDF

【建築構造物】

- ・事務所ビル用のRC純ラーメン構造 → 詳細のPDF

参考文献

- 1) 堺 孝司：インフラ（コンクリート構造物）の環境マネジメント、コンクリート工学、Vol.47、No.9、pp.17-23、2009.9
- 2) 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、pp.127-128、2010.7

(6) グリーン購入法における品目

国の資源消費抑制に関する施策として2001年4月、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律、いわゆるグリーン購入法）が施行された。再生資源を利用した製品など環境負荷を低減する製品の市場を創出・発展させることを目的とし、国や国の機関、自治体が率先的に環境物品等を購入することを規定し、事業者にもできる限り環境物品等を選択することを求めています。

国土交通省では、グリーン購入法に基づいた資材・工法を特定調達品目として選定し、公共工事で優先して調達することとしています。現状、品目数は55ですが、コンクリート関係で、天然資源消費抑制にかかわる品目は表-1の様になります。混合材の製造に伴うCO₂排出原単位が小さく、また、副産物であることから直接の資源の消費とならないことから、資源消費の抑制につながると位置付けられている。したがって、コンクリートの要求性能に応じ、高炉セメント、フライアッシュセメントの使用することやコンクリート用混和材としての高炉スラグ微粉末、コンクリート用フライアッシュの使用することは、資源の消費を抑制、CO₂の排出削減の手段として有効であるといえる。

表-1 特定調達品目

品目分類	品目名	判断基準
混合セメント	高炉セメント	○高炉セメントであって、原料に30%を超える分量の高炉スラグが使用されていること。
	フライアッシュセメント	○フライアッシュセメントであって、原料に10%を超える分量のフライアッシュが使用されていること。
コンクリート用スラグ骨材	高炉スラグ骨材	○天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂若しくは砕石の一部又は全部を代替して使用できる高炉スラグが使用された骨材であること。
	電気炉酸化スラグ骨材	○天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂若しくは砕石の一部又は全部を代替して使用できる電気炉酸化スラグ骨材が使用された骨材であること。
セメント	エコセメント	○都市ごみ焼却灰等を主原料とするセメントであって、製品1トンにつきこれらの廃棄物が乾燥ベースで500kg以上使用されていること。

2. 将来(今後の課題)

2.1 材料

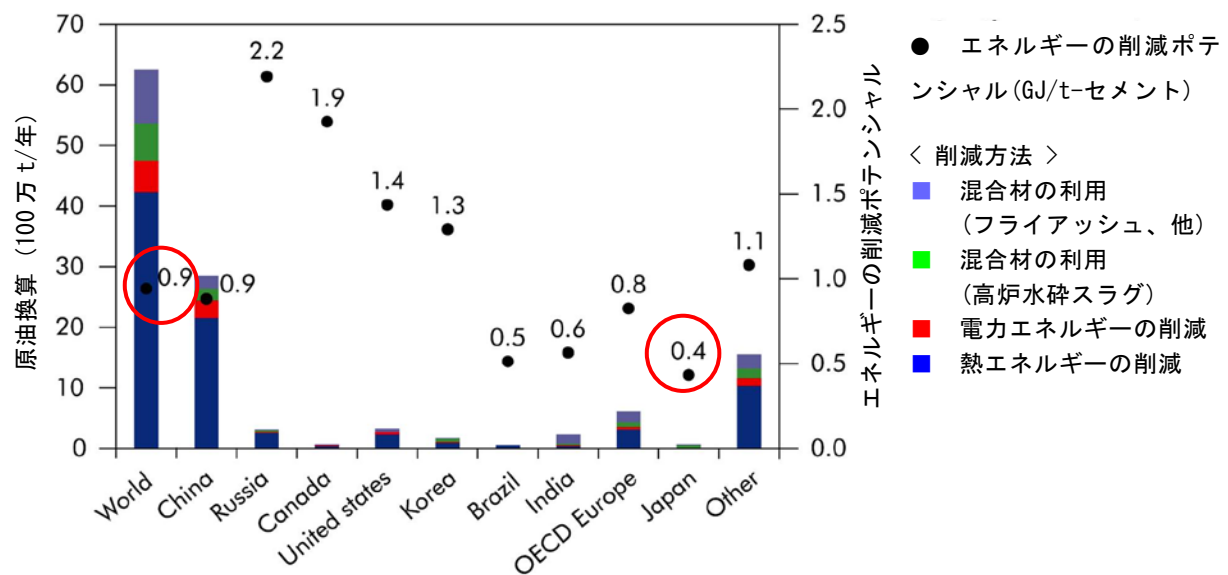
(1) 骨材

現時点では、1. で述べたように骨材は天然のものが使用されている。一方で近い将来、天然骨材の枯渇の問題も顕著となっていくことが考えられるので、骨材のリサイクル、スラグ骨材の使用について検討されていくものと考えられる。

また、良質の骨材の入手も困難となる可能性があり、例えばアルカリシリカ反応性を有する骨材の使用が増加する可能性もあり、その場合はアルカリシリカ反応性の抑制効果のある高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末、フライアッシュセメントまたはコンクリート用フライアッシュを必要に応じて使用することとなる。

(2) セメント

図-1 に IEA 発行の「エネルギー技術展望(2010)」で報告されているセメント産業におけるエネルギーの削減ポテンシャルとその方法を示す。削減手段としては熱エネルギーの削減ポテンシャルの割合が 67.7%と大きいのが、次いで混合材の利用が 24.3%となっている。日本のエネルギー削減ポテンシャルは全世界的で比較し、低く、削減の余地が少ない。これはセメントの製造における省エネルギーが進んでいるためであるが、排熱発電の導入なども進められている。一方、国内販売における混合セメントの比率は 22.8~27.0%(2008 年度~2012 年度)となっている。混合材の利用促進、混合セメントの使用促進に関しては、結合材としての要求性能に深く係ることから、コンクリートに関連するステークホルダーとのコミュニケーションにより議論されていくと考えられる。



削減の方法		全世界の年間の削減ポテンシャル(*) (原油換算、100万t)	削減ポテンシャルの 割合(%)
熱エネルギーの削減		42.1	67.7
電力エネルギーの削減		5.0	8.0
混合材の利用	高炉水砕スラグ	6.1	9.8
	フライアッシュ、 他	9.0	14.5
合計		62.2	100.0

(*) 図より読み取った値

図-1 エネルギーの削減ポテンシャルとその方法(IEA 発行の「エネルギー技術展望(2010)」)

(3) 混和材

高炉スラグやフライアッシュに関しては、汎用的に使用される場合は(2)セメントで述べたとおりである。しかし、製品としてはジオポリマーコンクリートの研究も行われている。

ジオポリマーは、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を特殊な溶液で固化し、セメントを使用しない新材料です。ジオポリマーの反応は、フライアッシュ・高炉スラグ微粉末中成分 SiO₂、Al₂O₃ のアルカリ状況下での重縮合が主となります。セメントコンクリートに比べてジオポリマーコンクリートは CO₂ 排出量を 80%程度削減できるとの報告もあります。既に PC 枕木の試作¹⁾や外構ブロック²⁾としての適用例があります。

1) 上原元樹：ジオポリマー法による環境負荷低減PCまくらぎの開発，鉄道総研月例発表会講演要旨，2011

2) 西松建設：セメントを用いない環境に優しい新製品（ジオポリマー）を開発～実構造物の外構に初適用～，西松建設ホームページ，2012

2.2 構造物の建設における低炭素化およびライフサイクルに評価

社会経済活動その他の活動に伴って発生する CO₂ の相当部分が都市において発生していることから、都市の低炭素化を促進することを目的とした「都市の低炭素化の促進に関する法律」（略称：エコまち法）が平成24年12月に施行された。この制度では、低炭素建築物（CO₂ の発生抑制措置を講じている市街化区域内等に建築される建築物）の認定基準が示され、コンクリート関連の具体策として、高炉セメント又はフライアッシュセメントを構造耐力上主要な部分に使用することが挙げられています。また、供用時のエネルギー消費に伴う CO₂ の排出削減として高断熱性の建築物にも焦点が当てられている。低炭素建築物として認められますと、住宅ローン減税などさまざまな優遇措置が受けられることから、発注者のニーズも高まるものと考えられます。

一方、コンクリート構造物のライフサイクルを通じた CO₂ の排出量を評価することも重要である。図-1 にコンクリート構造物のライフサイクルを通じた CO₂ の排出量の概念図を示す。

この評価には各段階でのインベントリデータ(各項目間のバウンダリが明確にされていることを前提として)の充実も必要であり、コンクリートに関連するステークホルダー同士の連携が期待される。

(1) 材料の製造に伴う排出量

(2) コンクリート構造物の建設に伴う排出

(3) コンクリート構造物(建築物)の供用時に伴う排出

(4) コンクリート構造物の補修に伴うの排出

(5) コンクリート構造物の解体に伴う排出

図-1 コンクリート構造物のライフサイクルを通じた CO₂ の排出量の概念図