

# 持続可能性の視点からの混合セメントコンクリートの環境調和型設計の高度化

福島建築環境材料研究所 2 ○福島敏夫

## Advancement of Environment-conscious Design (Eco- Design) of Blended Cement Concrete from Viewpoint of Sustainability

○Toshio FUKUSHIMA

### 1 緒言

コンクリートは、圧縮強度、耐久性、耐火性に富む優れた特性を持ち、鉄筋コンクリート (RC) 造建造物の基幹構造材料として、建築・土木分野で多量に使用される。持続可能な社会の構築のために、コンクリートにおいても、合理的な資源循環と環境負荷低減化を図る重要性が大きい。これまでも、コンクリート関連団体共同で、コンクリートサステナビリティ宣言<sup>1)</sup>がなされ、持続可能なコンクリート技術の開発が模索されてきた。昨今、厳しさの増す地球環境問題、資源・エネルギー問題、廃棄物問題への取り組みのため、改めて、国連が提唱し、日本学術会議等も宣言をしている持続可能な開発目標 (SDGs)<sup>2)</sup>に的確に対応して、カーボン・ニュートラルやカーボン・リサイクルの実効性向上を図り、資源循環と長寿命化とともに、環境調和型設計や環境調和性の評価を行う必要性も叫ばれている<sup>3)</sup>。このような背景の中で、高炉スラグ、フライアッシュなどの産業副産物・廃棄物を用いた混合セメントコンクリートの有効利用が図られることも多い。しかし、これらの混合セメントコンクリートが、普通ポルトランドセメントコンクリートと比べて、どの程度持続可能性 (サステナビリティ) の改善に寄与するのか、不明確な点も多い。このために、諸学・協会が提供し、公開しているコンクリート構成材料等のエネルギー原単位や環境負荷物質排出量のライフサイクルインベントリー (LCI) の最新データを、ビッグデータとして活用し、その調合に基づいて、各種の混合セメントコンクリートの環境負荷の比較分析を行う。総材料投入量、単位エネルギー消費量、温暖化、酸性雨、大気汚染などの地球環境への影響の評価を行い、もって、混合セメントの有効利用の意義付けを行うことを目的とする<sup>4)</sup>。

### 2 研究方法

#### 2.1 総材料投入量

統一した調合条件 (水量、粗骨材量一定、水セメント比 40、50、60%) で、混合セメントコンクリートを製造する場合、全体としてどれだけの材料を

投入する必要があるかという視点から、検討を行うことにする。Table 1 は、各種のコンクリートの調合と総材料投入量を示すものである。

Table 1 mix promotion

Type of cement concrete	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )						Total material requirement (TMR)
	Water cement ratio	Fin-aggregate ratio	Water	Cement	Sand	Gravel	
	%	%	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	
Ordinary portland cement concrete (OPC)	40	65.5	183	481	721	942	2106
	50	66.0		366	780	942	2171
	60	67.5		305	850	942	2100
Blues-lime slag portland cement (B-type) concrete (BFC)	40	63.0	183	481	717	942	2140
	50	65.7		336	789	942	2169
	60	67.3		305	717	942	2168
Fly ash portland cement (B-type) concrete (FAC)	40	62.7	183	481	708	942	2133
	50	65.4		366	781	942	2172
	60	67.0		305	834	942	2164

### 2.2 単位エネルギー消費量・環境負荷物質排出量

各種のコンクリートを構成するセメント、天然粗骨材砕石および天然細骨材砕砂などのエネルギー原単位や、環境負荷物質排出量のデータ<sup>5)-7)</sup>を入手し、それらを基に、調合に基づく計算の積み上げにより、製造に伴う単位エネルギー消費量やCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじんなどの環境負荷物質排出量を算出し、地球環境負荷評価を行う。なお、地球温暖化影響度評価は、CO<sub>2</sub>排出量で、酸性雨影響度評価は、換算 SO<sub>x</sub>=SO<sub>x</sub>排出量+0.7 ×NO<sub>x</sub>排出量、大気汚染影響度評価は、換算 SO<sub>x</sub>\*=SO<sub>x</sub>排出量+1.4 × NO<sub>x</sub>排出量+1.07×ばいじん排出量によって行った<sup>8)</sup>。

### 3 研究結果

Table2 は、各種のコンクリート 1m<sup>3</sup>あたりのエネルギー原単位と環境負荷物質排出量の積算結果を示すものである。また、Fig1 -2 は、各種のコンクリートの環境負荷評価の比較を示すものである。単位エネルギー消費量 (UEC : Unit Energy Consumption) および環境負荷物質排出量は、水セメント比とともに小さくなる。W/C=50%の場合、OPC と比較すると、BFC では、エネルギー投入量は、2.77-2.23= 0.54GJ/m<sup>3</sup>低下し、CO<sub>2</sub>排出量は、381.40-266.81=114.59kg/m<sup>3</sup>低下する。また、FAC では、エネルギー投入量は、2.77-2.49= 0.28 GJ/m<sup>3</sup>低下し、CO<sub>2</sub>排出量は、381.40-326.94=54.46 kg/m<sup>3</sup>低下する。SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん

んなどの他の環境負荷物質についても、同様の傾向がある。

Table2 Evaluation of unit energy consumption and environmental load substances emissions

Type of blended cement concrete	Water cement ratio %	Unit energy consumption (GJ/m <sup>3</sup> )	Environmental load substances emissions			
			CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>x</sub> (g/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (g/m <sup>3</sup> )	Dust (g/m <sup>3</sup> )
Ordinary portland cement concrete(OPC)	40	3.14	454.5	94.2	741.7	16.0
	50	2.79	381.4	86.6	613.2	14.9
	60	2.54	333.9	82.9	528.2	13.3
Blust-furace slag portland cement (B-type) concrete(BFC)	40	2.46	306.6	84.7	485.5	12.5
	50	2.25	266.7	79.9	408.6	9.4
	60	2.08	237.6	76.5	296.9	9.7
Fly-ash portland cement(B-type) concrete(FAC)	40	2.76	386.0	82.3	621.8	14.3
	50	2.50	327.0	77.8	521.5	12.7
	60	2.30	209.8	74.6	447.6	11.3

#### 4 結論とまとめ

普通ポルトランドセメントコンクリート(OPC)、高炉セメント(B種)コンクリート(BFC)、フライアッシュセメント(B種)コンクリート(FAC)の3種について、ライフサイクルインベントリー(LCI)分析を行い、次の結論を得た。

- 1) 1m<sup>3</sup>あたりの総材料投入量は、水セメント比とともに大きくなるが、W/C=50%では、OPCが最も大きい。
- 2) 単位エネルギー消費量、地球温暖化、酸性雨、大気汚染いずれの地球環境影響度の点においても、混合セメントコンクリートが有効である。
- 3) 今後は、中性化進行等に関わる耐久性や要求される力学強度と地球環境負荷改善とのバランスに対応する必要もある。

#### 謝辞

本研究を行うに当たっては、(社)セメント協会、(社)土木学会、LCAフォーラム/(社)産業環境管理協会など、諸学・協会からの環境負荷物質排出量などのライフサイクルインベントリー(LCI)データを利用して頂きました。ここに、記して、深謝したい。

#### 参考文献

- 1) コンクリート工学会:コンクリートサステナビリティ宣言:2012年
- 2) 日本学術会議:SDGsから見た学術会議—社会と学術の関係を構築する—:  
<https://www.scj.go.jp/ja/scj/sdgs/index.html>
- 3) 福島敏夫:環境調和型材料設計・生涯設計法—持続的発展可能な環境調和型建築・都市の構築の基礎として—、日本建築学会総合論文誌第1号(地球環境建築のフロンティア)、日本建築学会、74-80(2003)
- 4) 福島敏夫、濱崎 仁、高巢幸二、各種のコンクリートの地球環境影響度評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、材料・施工、1181-1182(2009)
- 5) (社)セメント協会:セメントのLCIデータ(2022)
- 6) (社)土木学会:コンクリートの環境負荷(その2)コンクリート技術シリーズ62(2004)
- 7) LCAフォーラム/(社)産業環境管理協会:各種の製品のLCIデータ(2022)
- 8) 米国商務省国立標準・技術研究所建築・火災研究センター:BEES5.0(環境・経済の持続性を目指した建築プログラム)(2018):  
<https://www.bfrl.nist.gov/oa/software/bees>

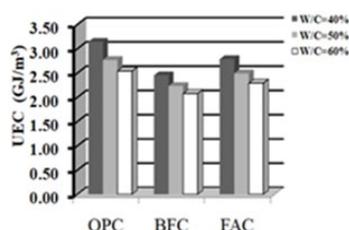


Fig.1 Unit Energy Consumption (UEC)

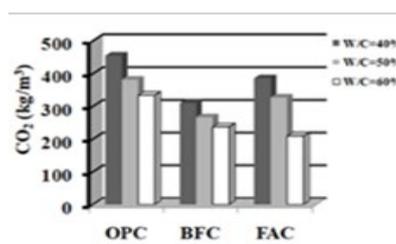


Fig.2 Evaluation of influence of global warming