

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01409

研究課題名（和文）コンクリートの環境影響評価における前提条件のあり方

研究課題名（英文）Preconditions for environmental impact assessment of concrete

研究代表者

河合 研至（Kawai, Kenji）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・教授

研究者番号：90224716

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：コンクリートの環境影響評価においては、CO₂排出量のみにより評価が行われることが大半であるが、包括的に環境影響を評価するためには、CO₂排出量のみならず廃棄物利用など資源循環をもたらす環境影響を少なくとも考慮する必要があることが示された。高炉スラグやフライアッシュなどの混和材の環境影響に関しては、考慮の必要性が示唆されたものの、本研究の範囲ではインベントリデータの精度が十分とは判断できず、さらに詳細な検討が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多面性を有するコンクリートの環境影響を正しく評価するためには、CO₂排出量のみによる評価にとどまらず、少なくとも資源循環の環境影響をあわせて考慮する必要性のあることが示されたことに、本研究の学術的意義がある。また、カーボンニュートラルへ向けCO₂排出量のみを対象とした種々の取組みがなされるなか、わが国の環境影響評価では資源循環の重要性を改めて提示できたことに社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In the environmental impact assessment of concrete, its environmental impacts are generally assessed by only CO₂ emissions. However, to comprehensively assess the environmental impacts, it was revealed that not only CO₂ emissions but also waste use should be considered at least. For the environmental impacts of mineral admixtures such as blast-furnace slag and fly ash, although the necessity of considering their environmental impacts was suggested, the accuracy of inventory data collected in this study is regarded insufficient, and further investigation in the future will be needed.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：コンクリート 環境影響評価 CO₂排出 資源循環 混和材

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリートは多量の天然資源を消費しているにも関わらず、環境影響として評価されるのはCO₂排出量のみである。これは、セメント製造に伴うCO₂排出量が極めて多いことによるが、その一方で、セメント製造に伴う副産物・廃棄物の有効活用すなわち資源循環への貢献は全く評価されていない。また、コンクリートのCO₂排出量の削減策として取られる多くは、セメントの一部あるいは大半を、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で置換する方法であるが、これは高炉スラグ微粉末やフライアッシュにはCO₂排出量などの環境影響を配分しない考え方に基づいている。しかし、高炉スラグ微粉末やフライアッシュがLCAにおける共製品に相当するものであれば、主製品とともに環境影響が配分されるべきものとなり、コンクリートの環境影響評価は大きく変化してくる可能性を有している。

2. 研究の目的

本研究は、コンクリートの環境影響評価をいかなる前提条件の下で行うことが、真実に最も近い合理性のある評価結果を与えるものとなるのかを明らかにすることを目的とするものであり、この目的を達成するために、コンクリート用混和材の環境影響は、評価にあたりどのように取り扱われるべきものなのか、コンクリートの環境影響評価は、CO₂排出量を代表とする評価で十分に表現されるのかを検討するものである。

3. 研究の方法

高炉スラグ微粉末やフライアッシュの環境影響を検討するためには、それらのインベントリデータを明確にしなければならない。しかし、高炉スラグ微粉末やフライアッシュに関する明確なインベントリデータが存在しないため、それらの調査から開始した。

高炉スラグの場合には、転炉鋼製造時のインベントリデータから高炉スラグのインベントリデータを推定すべきではあるが、転炉鋼製造に限定したインベントリデータが存在しないため、転炉鋼、電気炉鋼を含めた、鉄鋼産業全般のインベントリデータを収集したうえで、転炉鋼、電気炉鋼、高炉スラグ、転炉スラグ、電気炉スラグなどの生産量、販売価格などから、高炉スラグのインベントリデータを推定した。上述のとおり、鉄鋼産業においては、主製品を転炉鋼ならびに電気炉鋼、共製品を高炉スラグ、転炉スラグ、電気炉スラグとみなした。

フライアッシュに関しても、石炭火力発電に限定したインベントリデータが存在しないため、公表されている統計値に基づき、フライアッシュのインベントリデータを推定した。石炭火力発電では、主製品を電力、共製品をフライアッシュならびに脱硫石膏とみなした。

なお、セメントのインベントリデータに関しては、セメント協会が公表しているLCIデータを利用した。

高炉スラグ、フライアッシュに対して環境影響を配分する方法として、本研究では、重量配分とコスト配分の2種類の方法を検討し、配分なしの場合と比較を行った。重量配分では、それぞれの主製品、共製品に対して生産量に応じて環境影響を配分し、コスト配分では、それぞれの主製品、共製品に対して販売価格に応じて環境影響を配分した。なお、フライアッシュの主製品である電力に関しては、重量としてカウントできないため、電力を単位発熱量で熱量換算し、それを石炭の単位発熱量で除して石炭重量に換算することで、この石炭重量を等価な電力重量とみなすこととした。

CO₂排出量以外の環境影響を含め、統合化して評価を行う方法として、本研究では第三版日本版被害算定型影響評価手法(LIME3)を用いた。LIME3では、影響領域を地球温暖化、大気汚染、光化学オキシダント、鉱物・化石資源消費、森林資源消費、水消費、土地利用、廃棄物の8領域に分類して評価できるが、本研究では、土地利用を除く7領域を対象として評価を行った。土地利用の環境影響の一部は鉱物・化石資源消費などで考慮されており、土地利用を加えて評価することは、環境影響をダブルカウントする可能性があるため、土地利用はすべて評価対象外とすることとした。

4. 研究成果

高炉スラグ、フライアッシュに対して環境影響を配分したところ、CO₂排出量に関し、それぞれ表1、表2の試算結果となった。鉄鋼産業、フライアッシュのそれぞれにおいて、重量配分で主製品、共製品の数値が同一となっているのは、環境影響を重量で案分しているため単位重量当たりで示した場合には環境影響が同一となるためである。また、鉄鋼産業においては、転炉鋼製造過程と電気炉鋼製造過程は別工程として扱ったため、両者で重量配分によるCO₂排出量の数値が異なっている。高炉スラグでは重量配分で1357kg-CO₂/t、コスト配分で141kg-CO₂/t、フライアッシュでは重量配分で3109kg-CO₂/t、コスト配分で903kg-CO₂/tとなった。高炉スラグ、フライアッシュのいずれにおいても、重量配分の場合には、セメント製造に伴うCO₂排出量(789kg-CO₂/t)を上回る非常に高い値が示され、この重量配分をそれぞれのCO₂排出量として適用した場合には、セメントを高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で置換することによって、

表1 鉄鋼産業におけるCO₂排出量を共製品にまで配分した試算結果

	転炉鋼	高炉スラグ	転炉スラグ	電気炉鋼	電気炉スラグ
重量配分	1357kg-CO ₂ /t (53.7%)	1357kg-CO ₂ /t (16.6%)	1357kg-CO ₂ /t (7.7%)	281kg-CO ₂ /t (19.6%)	281kg-CO ₂ /t (2.3%)
コスト配分	1925kg-CO ₂ /t (71.0%)	141kg-CO ₂ /t (1.6%)	17kg-CO ₂ /t (0.1%)	314kg-CO ₂ /t (27.3%)	3kg-CO ₂ /t (0.0%)

混和材を使用した方がCO₂排出量は高い数値を示すこととなる。CO₂排出量の削減策として講じられている、現行の混和材利用は、状況が一変すること

を意味している。ただし、LCAにおいては、共製品に対して環境影響を配分する場合、経済的価値に基づいて配分されることが一般的な考え方であることから、今回の結果においても、コスト配分を適用する方が合理性は高い可能性がある。その場合においても、フライアッシュにおけるコスト配分のCO₂排出量は、セメント製造に伴うCO₂排出量を上回るものとなるが、本研究における調査において、インベントリデータとして十分な収集ができていないか、収集したインベントリデータの信頼性は十分であるかについては、なお精査を必要とするものと考えられる。また、フライアッシュの環境影響における重量配分での、電力の重量換算方法に関しても、その妥当性をさらに検証していく必要がある。

上記の高炉スラグ、フライアッシュの環境影響を考慮して、高炉セメント(BB)、フライアッシュセメント(FB)の環境影響を統合化して試算した結果を、普通ポルトランドセメント(PC)の環境影響と比較して図1に示す。図中の正は環境貢献、負は環境負荷を表しており、セメント製造における廃棄物の活用は、本来埋立てられるものが回避されたとして、環境貢献とみなしている。また、図中の数値は、すべての影響領域を合計した数値である。ここで、高炉セメント、フライアッシュセメントにおける高炉スラグ、フライアッシュの混合率はそれぞれ42.6%、15.5%と仮定した。上述した高炉スラグ、フライアッシュのCO₂排出量が反映された結果として、高炉セメントの重量配分、フライアッシュセメントの重量配分、コスト配分における環境影響では、地球温暖化の環境影響が普通ポルトランドセメントの環境影響を上回る数値を示している。また、特に環境影響に対して重量配分を行った場合に、配分なしとは結果が大きく変動することが示された。高炉セメントの重量配分においては、地球温暖化のみならず、水消費、鉱物・化石資源消費においても、配分なしとは大きく異なる高い数値が示され、地球温暖化(CO₂排出量)のみによる環境影響評価は、全体的な環境影響を大きく過小評価する可能性が示唆された。セメント製造における廃棄物利用の埋立て回避は、地球温暖化を上回る環境貢献をもたらしており、高炉スラグにおける重量配分を除き、統合化した合計値は正の値を示している。環境影響の統合化手法として本研究において用いたLIME3は、国内の地理的条件を考慮した環境影響評価手法であるがゆえに、廃棄物に関する環境影響が結果に強く反映されている点は考慮する必要があると考えられるものの、環境影響評価をCO₂排出量を代表とする評価によって実施することは、誤った評価結果をもたらす可能性があることが示唆された。本研究の範囲では、環境影響評価を行うにあたって、CO₂排出量に加えて、少なくとも廃棄物利用などがもたらす資源循環の環境影響を考慮する必要があることが示された。

以上の研究成果を総括すると、コンクリートの環境影響評価においては、CO₂排出量のみならず廃棄物利用など資源循環がもたらす環境影響を少なくとも考慮すべきであり、高炉スラグやフライアッシュなどの混和材の環境影響は、考慮の必要性が示唆されたものの本研究の範囲ではインベントリデータの精度が十分とは判断できず、さらに詳細な検討が必要と考えられる。

表2 石炭火力発電におけるCO₂排出量を共製品にまで配分した試算結果

	電力	フライアッシュ	脱硫石膏
重量配分	926kg-CO ₂ /10 ³ kWh (98.2%)	3109kg-CO ₂ /t (0.2%)	3109kg-CO ₂ /t (1.6%)
コスト配分	941kg-CO ₂ /10 ³ kWh (99.9%)	903kg-CO ₂ /t (0.1%)	151kg-CO ₂ /t (0.1%)

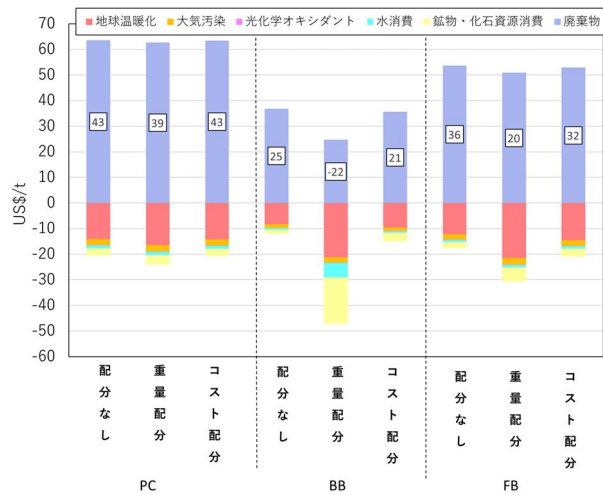


図1 LIME3による各種セメントの環境影響評価結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 室園 環, 桐野 裕介, 新見 龍男, 河合 研至
2. 発表標題 混合セメント使用による環境負荷低減効果の定量化
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本 唯良, 河合 研至, 小川 由布子
2. 発表標題 鉄鋼製造プロセスの副産物の環境負荷を考慮したセメント産業の環境影響評価
3. 学会等名 第75回土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------