

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1399 March 2022

港湾構造物の建設時における CO₂ 排出量算定に関する基礎的検討
— 工事実施前での CO₂ 排出量推定のための手法の整理と試算 —

中村 董, 川端 雄一郎, 辰巳 大介

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	2
1. はじめに	4
2. CO ₂ 排出量の算定を行う各種場面に関する整理	4
3. CO ₂ 排出源に関する整理	5
3.1 環境マネジメントの規格・基準類に基づくCO ₂ 排出源の整理	5
3.2 工事発注段階の事前推定におけるCO ₂ 排出量の算定に必要なデータの取得可否	9
4. CO ₂ 排出原単位の算定手法の整理	10
4.1 産業連関法	10
4.2 積み上げ法	11
4.3 積み上げ法によるCO ₂ 排出原単位の試算と産業連関法との比較	12
5. 港湾構造物の建設時におけるCO ₂ 排出量の試算	12
5.1 前提条件	12
5.2 算定対象の概要	14
5.3 試算結果と考察	15
6. おわりに	21
あとがき	21
参考文献	21
付録A ライフサイクルアセスメント(LCA)	22
付録B 積み上げ法によるCO ₂ 排出原単位の設定例	23
付録C 副産物・リサイクル系材料のCO ₂ 排出原単位の既往文献値まとめ	29

Fundamental Study on the calculation of CO₂ emissions from construction of port structures

**-Investigation on the pre-estimation method and trial calculation
of CO₂ emissions from construction of port structures-**

Sumire NAKAMURA*

Yuichiro KAWABATA**

Daisuke TATSUMI***

Synopsis

As the world moves toward carbon neutrality, efforts are underway to achieve Carbon Neutral Port (CNP) in the Japanese port sector. The importance of decarbonization or low-carbonization in terms of the construction of port structures is significantly increasing. In order to effectively promote low-carbonization, it is necessary to estimate the amount of CO₂ emissions from the construction of port structures in advance of executing construction and to implement effective low-carbon measures based on the estimation. It is pointed out, however, that the estimation of the amount of CO₂ emissions in advance of executing construction has uncertainties since the details of the construction work have not yet been determined. Therefore, it is important to clarify the boundary of the possible estimation and to sort the uncertainties.

Firstly, in this paper, for each situation in which CO₂ emissions are estimated in advance of executing construction the main entity estimating the amount of CO₂ emissions was organized. Next, the boundary of the possible estimation was clarified by organizing the CO₂ emission sources related to the construction of port structures regarding the concepts, standards, and criteria for the existing environmental management. Then the calculation methods, which are “input-output analysis” and “process analysis” were organized. Finally, the amount of CO₂ emissions from the construction of the port structure was estimated based on the CO₂ emission factors calculated by the two methods, leading to a comparison of the estimated results. Based on the results of the estimations, the trend of CO₂ emissions from each construction process, or the items such as material productions, machinery operations, and transportation, was discussed.

Key Words: port structure, construction, CO₂ emissions, low-carbonization, input-output analysis, process analysis, Carbon Neutral Port

* Researcher, Frontier Technology for Structure Group, Structural Engineering Department

** Head, Frontier Technology for Structure Group, Structural Engineering Department

*** Head, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-841-0255 e-mail: nakamura-s86s3@p.mpat.go.jp

港湾構造物の建設時における CO₂ 排出量算定

に関する基礎的検討

—工事実施前での CO₂ 排出量推定のための手法の整理と試算—

中村 董*・川端 雄一郎**・辰巳 大介***

要 旨

世界的に脱炭素化に向けた動きが活発化する中、日本の港湾分野においてはカーボンニュートラルポート(CNP)の形成に向けた取組が進められており、港湾構造物の建設における低炭素化の重要性が高まっている。低炭素化を効率的に進めるためには、工事実施前に港湾構造物の建設時における CO₂ 排出量を事前推定し、それに基づく効果的な低炭素化方策を検討することが必要である。また、事前推定にあたっては、工事の詳細が決まっておらず不確定要素がある中で CO₂ 排出量の算定を行うこととなるため、算定可能範囲の明確化や不確定要素の取り扱い等について整理が必要である。

本資料では、まず、計画—設計—施工(工事発注～工事実施)といった港湾工事のプロセスの中で、CO₂ 排出量の事前推定を行う場面毎に、算定主体や算定方法等を整理した。次に、工事発注段階において CO₂ 排出量を事前推定することを想定し、算定範囲や算定手法に関する整理を行った。具体的には、算定範囲を明確化するため、港湾工事に関連する各種 CO₂ 排出源に関する整理を行った。算定手法については、CO₂ 排出原単位の算定手法である「産業連関法」及び「積み上げ法」について特徴等を整理し、それぞれによる CO₂ 排出原単位を用いて港湾構造物の建設時における CO₂ 排出量を試算することで、原単位の算定手法の相違が CO₂ 排出量の算定結果に及ぼす影響を検討した。また、試算結果を考察することにより、工種毎や排出源毎の排出割合等といった、港湾構造物の建設時における CO₂ 排出量の特性を明らかにした。

キーワード：港湾構造物，建設，CO₂ 排出量，低炭素化，産業連関法，積み上げ法，カーボンニュートラルポート

* 構造研究領域 構造新技術研究グループ研究官

** 構造研究領域 構造新技術研究グループ長

*** 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室長
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5059 Fax：046-841-0255 e-mail: nakamura-s86s3@p.mpat.go.jp

1. はじめに

地球温暖化の進行により、海面上昇や異常気象の頻発等、地球規模で影響が深刻化している。これに対応すべく、2020年10月には、政府により2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする「2050年カーボンニュートラル」を目指すことが表明され、その具体的な見通しとして、2020年12月に経済産業省と関係省庁により「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。グリーン成長戦略では、物流・人流・土木インフラ産業分野において、建設施工におけるカーボンニュートラルの実現を目指し、ICT施工による効率化や建設機械の燃費向上が取り組まれる。更に、カーボンリサイクル産業分野ではコンクリートが着目され、CO₂吸着型のコンクリートの販路拡大やコスト低減への取組みが進められている。以上のように、構造物の建設時におけるCO₂排出削減に向けて、施工と資材調達の両側面からカーボンニュートラルへの寄与が期待されており、建設機械の省燃費化、低炭素素材の開発や副産物の積極的な活用等、低炭素化に向けた動きが加速化している。

国土交通省港湾局では、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化等を通じて温室効果ガスの排出を実質ゼロにする「カーボンニュートラルポート(CNP)」の形成に向け、取組みが進められている。CNPの枠組みでは、港湾の運用面に主眼が置かれているものの、港湾工事の脱炭素化についても柔軟にCNP形成の中に位置付け、脱炭素化に資する新技術の積極的な導入を促進し、港湾工事の総合評価落札方式における評価項目に加味していくことを検討するとされている¹⁾。2021年10月には関東地方整備局港湾空港部において護岸に関するカーボンニュートラルモデル工事が公告されており、港湾構造物の建設における低炭素化に向けた動きが活発化している。

今後、港湾構造物の建設時のCO₂排出量を効率的に削減していくためには、建設時におけるCO₂排出量の数値化と分析を行い、その結果を踏まえた効果的な削減方策を検討することが重要である。港湾構造物の整備の計画—設計—施工(工事発注～工事実施)という一連のプロセスにおいては、上流側であるほど低炭素化方策に柔軟に対応することが可能であるため、工事実施段階より前段階でCO₂排出量の事前推定を行い、低炭素化方策を検討することが有効である。一方、上流側であるほど、施工法や資材の種類等が曖昧になり不確定要素が多くなるため、網羅的にCO₂排出量を算定することが困難となる。従って、事前推定においては、算定範囲の明確化や不確定要素の取扱いについて注意が必要である。港湾構造物の建設時におけるCO₂排出

量の検討事例として、例えば、国土技術政策総合研究所資料No.651では、工事発注段階で決定された構造物の基本条件を基にCO₂排出量を推定しているが²⁾、工事発注段階における不確定要素等については十分に整理されていない。

以上を踏まえ、本資料では、まず、港湾構造物の整備の計画—設計—施工(工事発注～工事実施)といった段階毎に、港湾構造物の建設時におけるCO₂排出量を算定する場面や想定される算定主体、算定方法、データ取得の容易性を整理した(第2章)。次に、工事発注段階における事前推定を対象に、算定範囲の明確化や算定手法に関する整理を行った(第3章、第4章)。なお、近年では、環境マネジメントに関する考え方・規格基準類が整備されていることから、これらを踏まえた整理を行った。最後に、消波ブロック被覆堤を対象に、建設時におけるCO₂排出量を試算した(第5章)。

なお、本資料では、港湾構造物の建設時におけるCO₂排出量の推定に特化して検討するが、本来は維持管理や解体など、港湾構造物のライフサイクル全体を包含したCO₂排出量の評価が重要であることは言うまでもなく、将来的な研究対象と考えている(付録A)。

2. CO₂排出量の算定を行う各種場面に関する整理

港湾構造物の整備は、一般に計画—設計—施工といった段階で進められ、施工はさらに工事発注と工事実施に分類される。これらの段階の各場面において、当該構造物の建設時におけるCO₂排出量を算定する上での算定主体や方法、データ取得の容易性は異なる(表-1)。

計画段階では、構造物の整備計画においてCO₂排出量の削減方策を検討するため、CO₂排出量を事前推定することが想定される。この場合、主な算定主体は国や港湾管理者である。当段階では、構造物の配置等が主に検討されるため、構造物の具体的な断面や材料、施工法までは確定していない。したがって、例えば防波堤延長1mあたりのCO₂排出量(例:○○t-CO₂/防波堤延長1m)のような、構造物単位のCO₂排出量を用いることで、計画段階でのCO₂排出量の概算値を事前に推定することができる。

設計段階では、構造物の構造形式や主要諸元等の選定においてCO₂排出量の削減方策を検討するため、CO₂排出量を事前推定することが想定される。この場合、主な算定主体は国や港湾管理者、設計者である。設計段階のうち、特に基本設計段階では構造形式の選定等がなされるため、計画段階よりも構造物の断面等が具体化しているが、詳細な情報までは得ることができない。したがって、設計段階で構造形式や主要諸元等を検討する際には、例えばケ

表-1 場面毎の算定主体及び方法、データ取得の容易性

CO ₂ 排出量の算定を行う場面		主な算定主体	想定される算定方法	データ取得の容易性
計画段階	整備計画（構造物の配置、種類等）の検討	国、港湾管理者等	構造物あたりの CO ₂ 排出量（○ Δ t-CO ₂ /構造物）の概略値を活用	構造物毎の CO ₂ 排出原単位の整備が必要
設計段階	構造形式や主要諸元等の検討	国、港湾管理者、設計者等	工種あたりの CO ₂ 排出量（ Δ t-CO ₂ /工種）の概略値を活用	工種毎の CO ₂ 排出原単位の整備が必要
工事発注段階	施工方法や資材の種類等の検討	国、港湾管理者等	工事積算に基づき、資材や機械による CO ₂ 排出量を合算	一部のデータの取得が困難
工事实施段階（実施前）	材料等の調達先の選定、詳細な施工条件の検討	施工者等	詳細な施工条件や調達条件に基づき算定	詳細なデータを多く取得可能
工事实施段階（実施後）	工事实施後の実績に基づく事後評価等	施工者等	施工実績に基づき算定	実績により実態を反映したデータを取得可能

一トン 1 函あたりの CO₂ 排出量（例： Δ t-CO₂/本體工（ケーソン 1 函））のような、工種あたりの CO₂ 排出量を用いることで、各構造形式や主要諸元の違いによる CO₂ 排出量を比較することができる。

工事発注段階では、細部設計や実施設計により、構造物の断面等が具体的に決定されている。したがって、施工方法や資材の種類等の選定において CO₂ 排出量の削減方を検討するため、CO₂ 排出量を事前推定することが想定される。この場合、主な算定主体は国や港湾管理者である。具体的には、工事積算の考えに基づいて建設材料や燃料の種類・必要量等を想定し、それらによる CO₂ 排出量を足し合わせることで、計画・設計段階よりも具体的な CO₂ 排出量の推定が可能である。

工事实施段階のうち実施前では、設計で決められた材料や建設機械等の調達先等を選定する際に CO₂ 排出量を事前推定することが想定される。したがって、上述した各段階のうち工事实施段階が最も具体的な情報が網羅され、詳細な施工条件を反映した CO₂ 排出量の算定を行うことが可能となる。この場合、主な算定主体は施工者等である。工事实施段階のうち実施後では、工事実績を反映した CO₂ 排出量の算定を行うことができる。したがって、この段階では、工事前の事前推定とは異なり、CO₂ 排出量の実態把握や評価、事前の推定値の精度確認に活用することが可能である。

本資料では、第 1 章で述べた通り、工事实施前における CO₂ 排出量の事前推定を検討対象としている。工事实施前の計画—設計—工事発注といった段階のうち、現状、算定に必要な最低限の前提条件やデータを取得することができるのは工事発注段階である。したがって、本資料では、工事発注段階での建設時における CO₂ 排出量の事前推定を想定し、算定範囲の明確化や試算等を行った。

なお、計画段階における構造物あたりの CO₂ 排出量や設計段階における工種あたりの CO₂ 排出量について、現時点ではこれらを算定するためのデータが不足している。これらについては、今後、工事発注段階の多くのデータの収集・分析を進めることで、整備が可能になると考えている。これらのデータが整備されれば、構造物の詳細が決定されるよりもさらに上流側のプロセスで、CO₂ 排出量の推定結果に応じた柔軟な対応が可能になると考える。

3. CO₂ 排出源に関する整理

建設工事には様々な事業者が携わり、港湾構造物の建設に関連し、材料そのものの生産から廃棄物の処理まで、様々な活動がなされる。それらのうち、港湾構造物の建設時における CO₂ 排出源として考慮すべきものを整理する必要がある。また、考慮すべきと考えられる排出源のうち、事前推定時点で取得可能な情報による算定可能範囲に関しても整理が必要である。本章では、まず、環境マネジメントに関する既存の規格・基準類に基づき、港湾構造物の建設に関連する CO₂ 排出源を整理した (3.1)。次に、工事発注段階において CO₂ 排出量を事前推定することを想定し、3.1 で整理した各排出源による CO₂ 排出量の算定に必要なデータの取得の可否を整理した (3.2)。これらにより、工事発注段階での CO₂ 排出量の事前推定において算定可能な対象範囲を明確にする。

3.1 環境マネジメントの規格・基準類に基づく CO₂ 排出源の整理

環境マネジメントの基本的考え方として、製品等のライフサイクルアセスメント (LCA) や事業者におけるサプライチェーン排出量が挙げられる。これらの考え方に基づく規格・基準類を踏まえ、構造物の LCA 及び施工者のサ

サプライチェーン排出量の観点から、港湾構造物の建設に関連するCO₂排出源を整理する。

(1) 構造物のライフサイクルアセスメントの観点における整理

製品やサービス等の環境影響を調査する際に、検討対象による環境負荷を包括的に把握する手法として、ライフサイクルアセスメント(LCA)が挙げられる。LCAは、ライフサイクル全体(原材料の取得から製造、使用、リサイクル及び最終処分)を通じた環境影響を評価する手法である(詳細は付録Aを参照)。

JIS Q 13315-2 (ISO13315-2)では、コンクリート構造物のLCAを実施する際の、インベントリデータ等に関する基本ルールが規定されている。インベントリデータとは、LCAにおいて考慮すべき事項及びそれに対応する定量的係数のことを指し、コンクリート構造物のライフサイクルの材料製造・施工段階—使用段階—最終段階といった各段階によるアウトプットとして、どのようなものをインベントリデータとして考慮すべきかが定められている。JIS Q 13315-2はコンクリート構造物を対象にしたものであるが、港湾構造物全般を対象として当てはめると、建設(材料製造・施工段階)によるアウトプットとして考慮すべきインベントリデータとして、図-1に示す活動によるCO₂排出が規定されている。このうち、仮設材や建設機械・作業船の製造に関わる環境負荷については、通常は考慮せず、必要に応じて考慮するものとされている。以上より、構造物のLCAの実施の観点においては、港湾構造物の建設時におけるCO₂排出量として、図-1に示す活動によるCO₂排出を考慮することが望ましいと考えられる。

(2) 施工者のサプライチェーン排出量の観点における整理

上記(1)は製品やサービス等を対象とした考え方である

が、組織のLCAとして、組織のサプライチェーンを踏まえたCO₂排出量の評価が近年求められている。これは一般にサプライチェーン排出量と称される。

サプライチェーン排出量は「Scope1:事業者自らによる温室効果ガスの直接排出(燃料の燃焼、工業プロセス)」及び「Scope2:他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出(電気、熱・蒸気の生成段階)」、「Scope3: Scope1, Scope2以外の間接排出」で構成され、Scope3は表-2に示す15のカテゴリに分類される³⁾。事業者は、地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく温室効果ガス算定・報告・公表制度において、主にScope1及びScope2に対する排出責任を持つが⁴⁾、Scope3は企業の環境経営指標や格付け機関等による調査項目に取り入れられる等幅広く使用されており、サプライチェーン排出量を算定することが重要となっている。

算定基準としては、国際基準であるScope3基準⁵⁾や付帯資料(Scope3排出量の算定技術ガイダンス⁶⁾がGHGプロトコルにより発行されており、それとの整合及び日本国内の実態を踏まえた「サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン³⁾」が環境省及び経済産業省により策定されている。

これらに基づく、施工者のサプライチェーン排出量算定の観点においては、港湾構造物の建設に関連するCO₂源として図-2及び表-3に示す活動が挙げられ、これらによるCO₂排出量を考慮することが好ましいと考えられる。ただし、これらの図表は標準的な場合を想定したものであり、各種契約形態等によっては図-2及び表-3に示す通りとならない場合もある。なお、Scope3のカテゴリ11, 12について、日本建設業連合会は環境情報開示の観点において、土木構造物に関しては集計対象外として構わないとしている⁷⁾。また、仮設材や建設機械・作業船、廃棄物の運搬に関しては、契約形態に応じてScope1と判断される場合とScope3と判断される場合の両方が想定される。

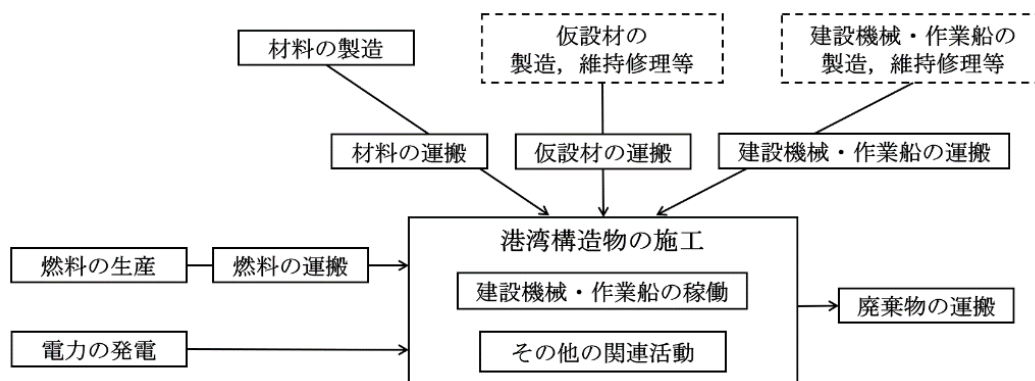


図-1 LCA 実施の観点から考慮すべき活動 (点線部分の算定は任意)

建設機械や仮設材について、基本的にはリース資産の運用が想定されるため⁸⁾、関連するCO₂排出をScope3のカテゴリ8に分類する（算定は任意）。

なお、建設業については、複数の企業で特定JVを構成し1つの建設工事を施工するケースがあり、また、元請と下請（協力会社）が一体となって生産活動を行うという他業種では見られない特徴を有している。この特徴について、日本建設業連合会では、環境情報開示の観点において、以下が基本とされている⁷⁾。

- ・ 特定JV工事について、スポンサー会社が代表して当該工事全体を自社の報告範囲とする。ただし、乙型JV工事では、各社の責任範囲が明確に区別できるため、それぞれの責任範囲を自社の報告範囲とする。
- ・ 元請と下請（協力会社）では、元請がその工事を代表して当該工事全体を自社の報告範囲とする。例えばCO₂排出量について、協力会社が持ち込んだ建設機械が排出するCO₂も元請排出量として集計する。

表-2 Scope3 のカテゴリ区分と算定対象³⁾

区分	カテゴリ	算定対象
上流	1 購入した製品・サービス	原材料・部品、仕入商品・販売に係る資材等が製造されるまでの活動に伴う排出
	2 資本財	自社の資本財の建設・製造に伴う排出
	3 Scope1,2に含まれない燃料及びエネルギー関連活動	他社から調達している燃料の調達、電気や熱等の発電等に必要燃料の調達に伴う排出
	4 輸送、配送（上流）	①報告対象年度に購入した製品・サービスのサプライヤーから自社への物流（輸送、荷役、保管）に伴う排出 ②報告対象年度に購入した①以外の物流サービス（輸送、荷役、保管）に伴う排出（自社が費用負担している物流に伴う排出）
	5 事業から出る廃棄物	自社で発生した廃棄物の輸送、処理に伴う排出
	6 出張	従業員の出張に伴う排出
	7 雇用者の通勤	従業員が事業所に通勤する際の移動に伴う排出
	8 リース資産（上流）	自社が賃借しているリース資産の操業に伴う排出（Scope1,2で算定する場合を除く）
下流	9 輸送、配送（下流）	自社が販売した製品の最終消費者までの物流（輸送、荷役、保管、販売）に伴う排出（自社が費用負担していないものに限る）
	10 販売した製品の加工	事業者による中間製品の加工に伴う排出
	11 販売した製品の使用	使用者（消費者・事業者）による製品の使用に伴う排出
	12 販売した製品の廃棄	使用者（消費者・事業者）による製品の廃棄時の処理に伴う排出
	13 リース資産（下流）	賃貸しているリース資産の運用に伴う排出
	14 フランチャイズ	フランチャイズ加盟者における排出
	15 投資	投資の運用に関連する排出
	その他	従業員や消費者の日常生活に関する排出等

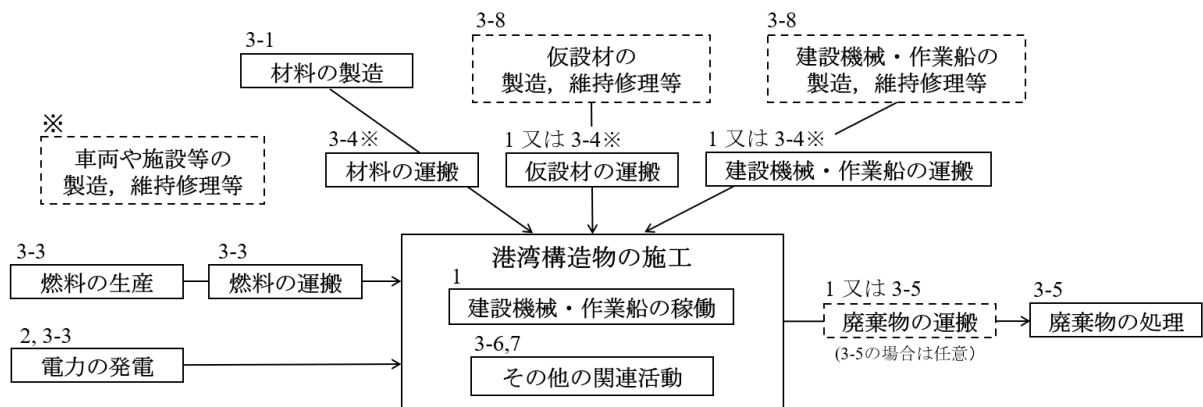


図-2 施工者のサプライチェーン排出量の観点から考慮すべき主な活動
(数字はScope及びScope3のカテゴリを示し、表-3と対応。点線部分の算定は任意。)

表-3 施工者のサプライチェーン排出量の観点における整理

		カテゴリ	港湾構造物の建設に関連する主な活動（任意）
Scope1	直接排出		建設機械・作業船の稼働 仮設材、建設機械・作業船・廃棄物の運搬
Scope2	エネルギー起源の間接排出		電力の発電
Scope3	上流	1 購入した製品・サービス	材料の製造
		2 資本財	—
		3 Scope1,2に含まれない燃料及びエネルギー関連活動	燃料の生産・運搬 電力の発電に要する燃料の生産・運搬
		4 輸送、配送（上流）	材料、仮設材、建設機械・作業船の運搬 （車両や施設等の製造、維持修理等）
		5 事業から出る廃棄物	廃棄物の処理（廃棄物の運搬）
		6 出張	その他の関連活動
		7 雇用者の通勤	その他の関連活動
		8 リース資産（上流）	（仮設材、建設機械・作業船の製造、維持修理等）
	下流	9 輸送、配送（下流）	—
		10 販売した製品の加工	—
		11 販売した製品の使用	—
		12 販売した製品の廃棄	—
		13 リース資産（下流）	—
		14 フランチャイズ	—
		15 投資	—
	その他	—	

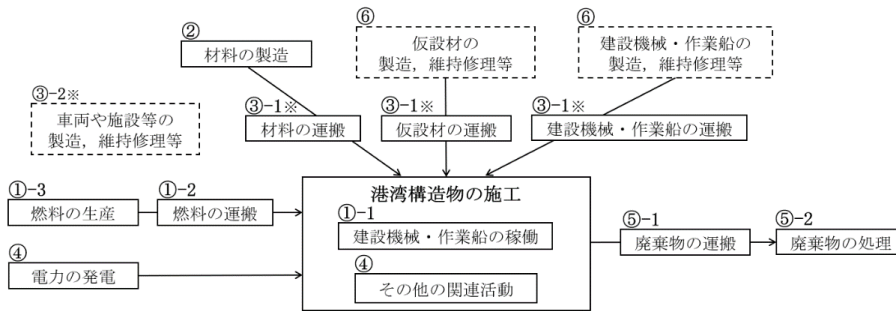


図-3 港湾構造物の建設時における CO₂ 排出を伴う活動（番号は表と対応）

表-4 港湾構造物の建設時における CO₂ 排出源の整理（算定対象は○）

CO ₂ 排出源	排出活動	LCA	サプライチェーン排出量
①機械稼働	①-1 燃料の燃焼	○	○
	①-2 燃料の運搬		
	①-3 燃料の生産		
②材料	材料の製造	○	○
③運搬	③-1 材料、仮設材、建設機械、作業船の運搬	○	○
	③-2 車両や施設等の製造、維持修理等	×	任意
④関連活動	現場事務所の運営に必要な電力の発電、従業員の通勤等	○	○
⑤廃棄物	⑤-1 廃棄物の運搬	○	○（Scope1の場合） 任意（Scope3の場合）
	⑤-2 廃棄物の処理	×	○
⑥仮設材減耗等	仮設材の製造、維持修理等	任意	任意
⑦機械減耗等	建設機械及び作業船の製造、維持修理等	任意	任意

(3) まとめ

(1)及び(2)の整理の結果を図-3及び表-4の通りまとめる。表より、①、②、③-1、④、⑤-1については、港湾構造物のLCA及び施工者のサプライチェーン排出量の両方の観点で算定対象となっており、港湾構造物の建設時におけ

るCO₂排出として考慮する重要性が特に高いと考えられる。一方、③-2、⑥、⑦についてはLCA及びサプライチェーン排出量の両方の観点において対象外又は任意で考慮することとされている。

3.2 工事発注段階の事前推定におけるCO₂排出量の算定に必要なデータの取得可否

工事実施前におけるCO₂排出量の事前推定については、推定時点において、CO₂排出量の算定に必要なデータの取得が可能かどうか大きな課題となる。本資料では、工事発注段階における事前推定を検討対象としていることから、国土交通省港湾局の港湾請負工事積算基準等に基づく工事積算の考え方により、算定に必要なデータを取得できる。3.1(3)表-4で整理した各CO₂排出源について、算定に必要なデータの工事発注段階における取得の可否を表-5の通り整理する。

「①機械稼働」、「②材料」、「⑥仮設材減耗等」、「⑦機械減耗等」については、工事積算により、機械や材料、仮設材、燃料の種類や数量といったCO₂排出量算定に必要なデータを取得可能である。CO₂排出量の具体的な算定方法として、①-1については、燃料の単位量の燃焼によるCO₂排出量（詳細については5.1(1)を参照）に燃料使用量を掛け合わせることで、CO₂排出量を算定することができる。①-3及び②については、燃料や材料のCO₂排出原単位（詳細については第4章を参照）に使用量を掛け合わせることで、CO₂排出量を算定することができる。一方、⑥と⑦について、種類、数量といった基本条件は取得できるが、これらのCO₂排出量を算定する標準的な方法は確立されていない。これらについては幾つかの仮定を基に算定した事例⁹⁾があるが、その事例においても、不確実な算定法のため検討が必要であることが指摘されている。また、①-2については、燃料の運搬距離を想定できないため、CO₂排出量を算定する上で仮定を要し、その根拠を示すことは難しい。

「③-1 材料、仮設材、建設機械、作業船の運搬」に関して、CO₂排出量算定に必要な基本条件として運搬距離が

必要となる。工事積算において、回航・えい航費（施工に必要な船舶等の、入手可能と推定される場所から工事現場までの往復に要する費用）を計上する作業船や、運搬費（建設機械や仮設材の搬入・搬出や現場内小運搬等に要する費用）を積上げ積算で計上する建設機械・仮設材については、運搬距離の想定があるため、トンキロ法等の利用により、CO₂排出量を算定することができる。一方、材料や、積算で回航・えい航費を計上しない作業船、運搬費が共通仮設費率による率積算に含まれる建設機械・仮設材については運搬距離が明らかではないため、算定する上で仮定を要し、その根拠を示すことは難しい。

「⑤-1 廃棄物の運搬」に関して、解体工事等では、コンクリートガラや土砂等について、工事発注時点で運搬距離が明らかな場合があり、CO₂排出量の算定が可能である。

表-5に示す通り、工事発注段階においては、LCA及びサブプライチェーン排出量の両方で算定項目となっている排出源（表-4）であっても、排出量の算定が困難なCO₂排出源が存在することが分かる。排出量の算定が困難な排出源については、工事実施段階で工事実績に基づいた検討を行う等により、全体の排出量に占める割合等の確認や、事前推定時点における不確定要素の合理的な仮定方法の検討等を行っていく必要がある。一方、既往研究⁹⁾では、産業連関表を用いた分析により、主要資材（セメント及び骨材、生コンクリート、鉄鋼製品、アスファルト混合物）が社会資本整備に関連する総環境負荷量の80%以上とされている。工事発注段階においては②に関する情報のほとんどを取得できるため、全体のうち大部分のCO₂排出量は算定可能であることが示唆される。

表-5 CO₂排出量の算定に必要なデータの工事発注段階における取得の可否

CO ₂ 排出源	排出活動	データ取得の可否
①機械稼働	①-1 燃料の燃焼	○
	①-2 燃料の運搬	×
	①-3 燃料の生産	○
②材料	材料の製造	○
③運搬	③-1 材料、仮設材、 建設機械、 作業船の運搬	回航・えい航費を計上する作業船、運搬費を積上げ積算（貨物自動車による運搬の場合）で計上する建設機械、運搬費を積上げ積算で計上する仮設材 ○
		材料、回航・えい航費を計上しない作業船、運搬費が共通仮設費率に含有又は積上げ積算（分解・組立が必要な場合）で計上される建設機械、運搬費が共通仮設費率に含有される仮設材 ×
	③-2 車両や施設等の製造、維持修理等	×
④関連活動	現場事務所の運営に必要な電力の発電、従業員の通勤等	×
⑤廃棄物	⑤-1 廃棄物の運搬	積算において運搬距離が明らかな廃棄物 ○
		上記以外の廃棄物 ×
	⑤-2 廃棄物の処理	×
⑥仮設材減耗等	仮設材の製造、維持修理等	△
⑦機械減耗等	建設機械及び作業船の製造、維持修理等	△

4. CO₂排出原単位の算定手法の整理

本章では、CO₂排出原単位の算定手法に関する情報の整理を行う。CO₂排出原単位とは、単位量の資材の製造に伴うCO₂排出量である。原単位の算定手法は、一般に、産業連関法と積み上げ法に二分される(表-6)。これらの方法は異なる思想に基づくものであり、算出される原単位そのものの値も異なる。このため、それぞれの特徴を整理した上で、算定手法の相違が港湾構造物の建設時におけるCO₂排出量の算定結果にどのような影響を及ぼすのか、検討した。なお、算定結果への影響については第5章で検討する。

4.1 産業連関法

産業連関法とは、日本国内の各産業部門間の1年間に於ける財・サービスの生産・販売に関するやりとりをまとめた産業連関表を利用し、各部門における環境負荷量を経済的な繋がりに基づき算定するものである。国立環境研究所による3EID (Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables)^{10, 11)}では、産業連関表の更新毎に産業連関法による環境負荷インベントリデータが更新されており、100万円相当分の生産に伴い、直接的及び間接的に発生する環境負荷量である内包型原単位 (t-CO₂/百万円) が公表されている。産業連関表に付帯の部門別品目別国内生産額表を併用することにより、体積や重量を単位としたCO₂排出原単位 (t-CO₂/unit) を式(1)の通り求めることができる。

$$I_m = I_{me} \times \frac{M_p}{V_p} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 I_m は材料のCO₂排出原単位、 I_{me} は内包型原単位、 M_p は生産額、 V_p は生産量である。

産業連関法のメリットとして、表-6中の「(1)評価条件の整合性」及び「(2)環境負荷の網羅性」が挙げられる。産業連関表は国内の取引を金額ベースで集計したものであり、そこから各部門間のマテリアルフローを漏れなく把握することができる公的資料である。これにより、経済的やり取りに基づくという同一条件のもと、直接的及び間接的な環境負荷量を網羅的に把握することが可能となる。

「(3)原単位取得に要する労力」に関して、環境マネジメントが継続的かつ効果的に実施されるためには、データ収集や算定の効率性が重要である。産業連関法は、行列計算によるものであるため比較的算定に要する手間が少なく、産業連関表の公表に伴い継続的に作成されている3EID等の公開データを用いることも可能である。

「(4)更新可能頻度」に関しては、産業連関表の作成頻度は西暦の末尾が0及び5の年を対象年とする5年毎であるため、環境負荷原単位の更新可能頻度も5年毎となる。任意の時点での更新が不可能であり、例えば最新の技術による削減効果を即時的に反映することが難しい。

「(5)詳細な評価への適応性」について、産業連関法による環境負荷原単位の分類は産業連関表の列部門分類に一致し、全産業がおおよそ400の部門に分類されるため、詳細な品目毎の検討を行うことは困難である。例えばセメントには、普通ポルトランドセメントや高炉セメント等の様々な種類が存在し、原料の違い等による環境負荷原単位の差が生じるが、産業連関表の分類では「セメント」と一括りで分類される。部門別品目別国内生産額表では、列部門分類より詳細な品目毎の生産数量及び生産額が公

表-6 産業連関法と積み上げ法の特徴

		産業連関法	積み上げ法
(1)	各資材間での評価条件の整合性	各部門間で評価条件が一致	品目間で全ての評価条件を一致させるのは非常に困難
(2)	製造プロセスに関連する環境負荷の網羅性	対象資材等の製造プロセスから直接及び間接的に発生する環境負荷を総合的に包含	製造プロセスを構成する単位プロセスの環境負荷を全て把握するのは非常に困難
(3)	原単位取得に要する労力	比較的手間が少ない	各製品に対して、単位プロセス毎のデータ収集が必要となるため、手間がかかる
(4)	更新可能頻度	5年毎	任意の時点における原単位算定が可能
(5)	詳細な評価への適応性	全産業がおおよそ400の部門に分類されており、詳細な品目毎の評価は不可能	任意の品目・製造技術・地域条件等により詳細な評価が可能
(6)	時系列比較における条件の一貫性	産業連関表の部門の統廃合や各部門の概念・定義・範囲の変更等により一貫性を保つことができない場合がある	調査方法によっては一貫性を保つことが可能な場合もある

表されている。このため、式(1)により、表-7の通り原単位を種類毎に分解することが可能であるが、セメント種類によるCO₂排出原単位の差は、生産額/生産数量（単価）の差を反映するのみとなる。高炉セメントを例にすると、表-7に示す通りポルトランドセメントとほとんどCO₂排出量が変わらない。一方、原料の違いや技術的内容を考慮することができる積み上げ法によると、CO₂排出原単位は、ポルトランドセメントで850.5(kg-CO₂/t)、高炉セメントで492.8(kg-CO₂/t)となり、セメント種類で大きな差がある（付録B）。このように、詳細な評価への適応性が低いことが課題として挙げられている。

「(6)時系列比較における条件の一貫性」に関して、産業連関表や部門別品目別国内生産額表は、作表の都度、部門の設定、各部門の概念・定義・範囲等の面でいくつかの変更が行われている¹²⁾。このため、最新年次の産業連関表の部門分類に合わせ、最新年次を含む過去3年次分について再推計が行われ、接続産業連関表として公表されている。3年次分（15年分）については、部門設定等の整合性を保った状態での経時変化が確認可能となるが、長期的に見ると整合性を保つことができなくなる可能性がある。また、産業連関法において、使用する様々な統計の廃刊や項目の縮小等により、原単位の算定方法を変更せざるを得ない場合が生じ得る。このため、原単位の経時的な変化が、推計方法や部門分類の変化によるものなのか、生産技術の変化によるものなのかを断定することはできない場合がある¹³⁾。

4.2 積み上げ法

積み上げ法とは、資材製造の過程を構成する単位プロセス毎の環境負荷データを収集し、足し合わせることに

より算定するものである。なお、3.1(1)で挙げたJIS規格やISO規格は積み上げ法を前提としたものである。積み上げ法に基づく環境負荷インベントリデータの国内最大級のデータベースの1つとして、IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）¹⁴⁾が挙げられる。これは、産業技術総合研究所・産業環境管理協会が開発したものであり、約4,700種類の製品・サービスについて1年毎に更新されている。日本標準産業分類・工業統計調査用商品分類を基に分類され、細分類に該当するすべての項目についてデータが作成されており、評価したい項目に関係するバックグラウンドデータが見つからないということが生じないように作成されている¹⁵⁾。

「(1)評価条件の整合性」について、積み上げ法は算定方法の任意性が高いため、システム境界の考え方や取得するデータについて、恣意性や不統一性が生じる可能性がある。そのため、JIS Q 14044やJIS Q 13315-2等の規格への準拠等に特に注意する必要がある。

「(2)環境負荷の網羅性」及び「(3)原単位取得に要する労力」に関して、製品フローを構成する各単位プロセスの環境負荷データを積み上げるためには膨大なデータ収集を必要とし、網羅的なデータの入手は非常に困難である。

「(4)更新可能頻度」及び「(5)詳細な評価への適応性」については、製品フローの実態に合わせて環境負荷量を積み上げていくため、任意の品目・製造技術・地域条件による環境負荷原単位の算出や任意の時点における更新が可能である。よって、最新の情報を基に、詳細検討や技術開発の成果の即時的な反映が可能である。

「(6)時系列比較における条件の一貫性」に関して、調査方法によっては一貫性を保つことができる。

表-7 産業連関法によるセメントのCO₂排出原単位

3EID（2015年）より		部門別品目別国内生産額表より			CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)
部門名	内包型原単位 (t-CO ₂ /百万円)	品目名	生産数量 (t)	生産額 (百万円)	
セメント	110.572	ポルトランドセメント（普通）	38,438,552	269,806	776.12
		高炉セメント	11,162,070	76,612	758.92

4.3 積み上げ法によるCO₂排出原単位の試算と産業連関法との比較

3.2で述べた通り、セメント及び骨材、生コンクリート、鉄鋼製品、アスファルト混合物といった構造物の主要資材は社会資本整備に関連する総環境負荷量のカバー率が80%を超えることが既往の研究で示されている⁹⁾。本資料では、主要資材のうち、港湾構造物においても使用される数量が特に多いセメント及び骨材、生コンクリート、鉄鋼製品について、積み上げ法により、最新の統計データに基づいて、一例としてCO₂排出原単位を試算した（付録Bを参照）。

主要資材であるセメントおよび骨材、鉄鋼製品のうち、第5章の試算で用いるものについて、産業連関法及び積み上げ法によるCO₂排出原単位を表-8に示す。産業連関法は積み上げ法に比べて原単位の値が大きい。積み上げ法によれば、高炉セメントはセメントの中で、棒鋼は熱間圧延鋼材の中で、相対的にCO₂排出原単位が小さい材料であるが（付録B）、産業連関法では様々な種類のセメントや熱間圧延鋼材を同一のものとして評価することとなる（詳細は4.1を参照）。また、産業連関法では製品の生産に伴う直接的・間接的なCO₂排出量が漏れなく考慮されており、積み上げ法では考慮されていないCO₂排出まで考慮される。これら2つの要因によって原単位の値が大きく異なると考えられる。

5. 港湾構造物の建設時におけるCO₂排出量の試算

本章では、産業連関法・積み上げ法それぞれにより得られたCO₂排出原単位を用いて、港湾構造物（消波ブロック被覆堤）の建設時におけるCO₂排出量の工事発注段階にお

ける事前推定を想定し、試算を行う。これにより、CO₂排出原単位の算定手法の相違による算定結果への影響を検討する。加えて、試算結果から、工種毎または排出源毎のCO₂排出特性について考察する。

5.1 前提条件

(1) 算定対象とするCO₂排出源と算定式

工事発注段階においては、3.2で述べた通り、表-5中の「①-1 機械稼働（燃料燃焼）」、「①-3 機械稼働（燃料生産）」、「②材料」、「③-1 材料、仮設材、建設機械、作業船の運搬（一部）」、「⑤-1 廃棄物の運搬（一部）」について、工事積算に基づき算定に必要なデータを取得することができる。本試算では工事発注段階における事前推定を想定しており、これらを算定対象とする。

「機械稼働（燃料燃焼）」及び「運搬」に由来するCO₂排出量(E_f)については、式(2)により算定する。

$$E_f = I_f \times V_f \quad \text{式(2)}$$

ここで、 I_f は各燃料単位の燃焼に伴う排出量、 V_f は燃料の投入量である。

I_f については、総合エネルギー統計や地球温暖化対策の推進に関する法律施行令で示される「燃料単位数あたりの発熱量」と「単位発熱量あたりの炭素排出量」を用いることができる。なお、総合エネルギー統計においては、標準発熱量・標準炭素排出係数（日本の標準値としての総発熱量及び炭素排出係数で、概ね5年毎に更新される）と実質発熱量・実質炭素排出係数（毎年度算定できる燃料種について、標準値とは別に毎年度更新されている）の2種類が整備されている。本試算では、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条の発熱量及び炭素排出係数を用いる（表-9）。

表-8 産業連関法・積み上げ法の比較(kg-CO₂/t)

	産業連関法	積み上げ法
高炉セメントB種	758.8	492.8
砕石（骨材、捨石）	8.0	5.6
中形棒鋼	2034.2	780.0
小形棒鋼	1453.5	613.0

表-9 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条における燃料の発熱量及び炭素排出

	単位数あたり発熱量 (MJ/L)	単位発熱量あたり炭素排出量 (kg-C/MJ)	I_f (kg-CO ₂ /L)
軽油	37.7	0.0187	2.585
A重油	39.1	0.0189	2.710

V_f について、運搬については、トンキロ法により運搬距離から求められる。機械稼働については、次式により求められる。

$$V_f = P \times A \times T \quad \text{式(3)}$$

ここで、 P は機関出力(kW)、 A は燃料消費率($l/kW \cdot h$)、 T は稼働時間(h)である。機関出力は国土交通省港湾局・航空局による船舶および機械器具等の損料算定基準、燃料消費率は国土交通省港湾局による港湾請負工事積算基準を参考にすることができる。

「材料」及び「機械稼働(燃料生産)」由来の CO_2 排出量(E_m)については、式(4)により算定する。 CO_2 排出原単位の詳細については5.1(2)で述べる。

$$E_m = I_m \times V_m \quad \text{式(4)}$$

ここで、 I_m は材料や燃料の生産に関する CO_2 排出原単位、 V_m は材料や燃料の投入量である。

(2) CO_2 排出原単位

CO_2 排出原単位について、次のa)、b)に示す産業連関法及び積み上げ法それぞれによるものを用いる。

a) 産業連関法による CO_2 排出原単位

3EID^{10,11)}の内包型原単位及び産業連関表付帯の部門別品目別国内生産額表¹⁶⁾を併用し、式(1)により算定した CO_2 排出原単位を用いる。なお、3EIDでは、外洋輸送部門による国外排出量を含む場合、含まない場合といった2種類の

原単位が公表されている。外洋輸送を含む場合では、産業連関表の経済活動と整合する範囲の排出量を計上しており、外洋輸送を含まない場合では、日本の公式排出量として国連機構変動枠組条約事務局に提出する排出量を計上している。本試算では、外洋輸送部門による国外排出量を含まない場合の内包型原単位を用いる。また、輸入品の取り扱いの観点からは、輸入品に関する環境負荷量を含める場合(ただし、輸入品は国産品と同じ生産技術とする)と、含まない場合の2種類があるが、本試算では輸入品に関する環境負荷量も含む CO_2 排出原単位を用いる。本試算で用いた原単位を表-10に示す。

また、構造物の建設にはスラグ類等の副産物が用いられる場合があるが、産業連関法では副産物・リサイクル系材料に関する適切な原単位を取得するのが困難であるため、既往研究に倣い、積み上げ法に基づき算定された値を用いる(付録C)。

b) 積み上げ法による CO_2 排出原単位

本試算では、主要資材であるセメントおよび骨材、鉄鋼製品について、表-8で設定した CO_2 排出原単位(詳細は付録B)を用いる。また、石材に対しても付録Bで設定した CO_2 排出原単位を用いる。

主要資材以外の材料については、IDEA¹⁴⁾による CO_2 排出原単位を用いる。副産物・リサイクル系材料については、既往研究による CO_2 排出原単位を用いる(付録C)。

表-10 産業連関法による CO_2 排出原単位

列部門名	統合品目名	細品目名	単位	内包型原単位 (I-A) ⁻¹ ^{10,11)} (t- CO_2 /百万円)	生産額 ¹⁶⁾ (百万円/年)	生産数量 ¹⁶⁾ (単位/年)	CO_2 排出 原単位 (kg- CO_2 /単位)
セメント	構造用 セメント	高炉セメント	t	110.56	76612	11162070	758.81
砕石	砕石	砕石	千t	6.52	215344	174922	8022.84
その他の ゴム製品	再生ゴム	再生ゴム	t	3.39	4091	32799	423.17
熱可塑性 樹脂	塩化ビニル 樹脂	ポリマー	t	8.80	176974	1441330	1080.09
	ポリエチレン (低密度)	ポリエチレン 低密度(密度0.94 未満のもの)	t		282627	1520045	1635.57
洋紙・ 和紙	包装用紙	重袋用両更 クラフト紙	t	10.88	34762	341633	1106.82
合板・ 集成材	合板	普通合板	千m ³	2.42	220304	2756 (※)	193385.86
熱間圧延 鋼材	普通鋼小棒	小型鉄筋用棒鋼	t	23.06	509414	8081706	1453.54
	中形棒鋼	中形棒鋼	t		38135	432307	2034.19
石油製品	軽油	軽油	kl	5.90	3238937	42068096	454.32
	A重油	A重油	kl		701725	12887985	321.29

※合板の生産数量については木材統計調査¹⁷⁾による

5.2 算定対象の概要

図-4に断面を示す消波ブロック被覆堤のケーソン1函分の延長(15.8m)の建設によるCO₂排出量の試算を行う。

また、試算対象の工種別の数量を表-11に示す。本工事では、主な廃棄物は発生せず、運搬に関しては、回航用上蓋が算定対象となる。

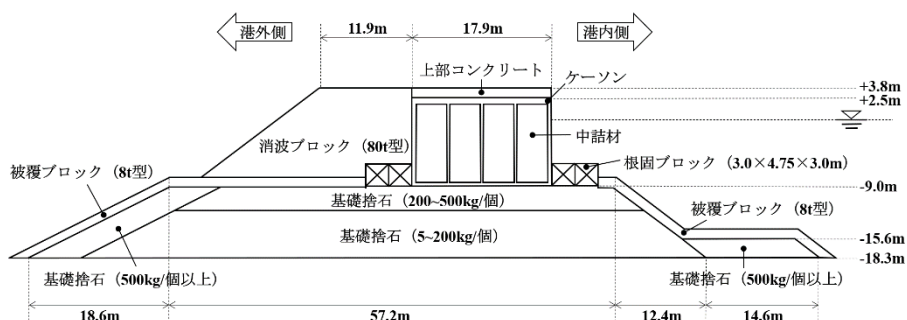


図-4 試算対象の消波ブロック被覆堤

表-11 工種別数量

工種	種別	積算要素	数量		
基礎工	基礎捨石工	捨石投入	11,314	m ³	
		捨石本均し	472	m ²	
		捨石荒均し	1,260	m ²	
本体工	ケーソン製作工	ゴム系マット(再生)設置	283	m ²	
		枠組足場架払	775	m ²	
		内足場架払	679	m ²	
		鉄筋荷卸	63,520	kg	
		鉄筋加工組立	62,534	kg	
		吊鉄筋組立	986	kg	
		通水孔取付(硬質塩化ビニール管)	3.2	m	
		型枠組立組外	3,346	m ²	
		陸上コンクリート打設(27-12-25 高炉B 最大水セメント比50%以下)	771	m ³	
		運搬	仮設材等運搬(回航用上蓋)	1	式
		ケーソン進水掘付工(仮置)	ケーソン掘付用上蓋取付・取外	1	函
	ケーソン進水				
	ケーソン回航				
	ケーソン仮置				
	ケーソン進水掘付工	上蓋取付・取外	1	函	
		ケーソン掘付(ウインチ方式)			
	中詰工	中詰材投入(銅スラグ)	2,320	t	
		中詰均し	230	m ²	
		路盤紙(クラフト紙系)	110	m ²	
		蓋ブロック工	底面工(ラワン合板)	120	m ²
型枠組立組外			176	m ²	
吊鉄筋組立	402		kg		
陸上コンクリート打設(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)	120		m ³		
蓋コンクリート工	ブロック運搬掘付(海上一連方式)	16	個		
被覆・根固工	根固ブロック工	台船バケット打設	77	m ³	
		底面工(ラワン合板)	104	m ²	
		枠組足場架払	341	m ²	
		吊鉄筋組立	1,526	kg	
		型枠組立組外	445	m ²	
		陸上コンクリート打設(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)	313	m ³	
	被覆ブロック工	ブロック運搬掘付(海上一連方式)	7	個	
		異形ブロック製作(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)	240	個	
		異形ブロック転置			
		異形ブロック運搬掘付(海上一連方式)			
異形ブロック製作(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)					
上部工	上部コンクリート工	型枠組立組外	105	m ²	
		支保組立組外	50	m	
		伸縮目地(発砲樹脂体系)	22	m ²	
		台船バケット打設(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)	316	m ³	
		異形ブロック製作(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)	51	個	
異形ブロック転置					
消波工	消波ブロック工	異形ブロック製作(18-8-40 高炉B 最大水セメント比65%以下)	51	個	
		異形ブロック運搬掘付(海上一連方式)			

施工手順を図-5に示す。本工事では、ケーソンをケーソン製作場で製作した後、据付位置近くまで50km程度回航し、仮置きを行う。その後、基礎捨石工を行い、ケーソンを据え付ける。

5.3 試算結果と考察

産業連関法及び積み上げ法によるCO₂排出量の算定結果を図-6～17に示す。

産業連関法によるCO₂排出原単位が積み上げ法より大きい（表-8）、図-6～8に示す通り、全体や工種毎等のCO₂排出量の合計値に手法間で差が生じた。しかし、図-9, 10, 13に示す通り、工種別や排出源別、材料別のCO₂排出割合は同様の傾向を示した。このことから、CO₂を特に多く排出し、大幅な削減効果を見込むことができる工事部分を特定する等の目的においては、両手法で同様の結果を得られることが分かった。

排出源別のCO₂排出割合（図-10）に関して、およそ90%は材料由来のCO₂排出量が占め、機械稼働（燃料生産）由来がおよそ1%、機械稼働（燃料燃焼）由来がおよそ10%、運搬由来がおよそ0.01%程度を占めた。このことから、建設によるCO₂排出量の大幅な削減に向けては、材料に関する低炭素化が必要不可欠である。材料由来のCO₂排出量は施工者のサプライチェーン排出量におけるScope3にあたるため、施工者において、自社排出とされるScope1とScope2だけでなく、Scope3を含むサプライチェーンの環境マネジメントを行うことが重要であることが分かる。

材料由来のCO₂排出量に関して、図-11～13より、CO₂排出原単位が大きく、使用量も多いコンクリートに由来するCO₂排出量が、全体のおよそ70%を占める結果となった。防波堤の建設によるCO₂排出量の大幅な削減に向けて、コンクリートの低炭素化が必要不可欠であることが分かる。また、基礎工の捨石について、CO₂排出原単位そのものは他の材料に比べて小さいものの（表-8）、使用量が多いため、材料全体のCO₂排出量のうち20%以上を占める結果となった。港湾においては、捨石や被覆石、根固石等の石材を要する構造物が多いため、石材に関わる低炭素化も重要な課題であることがわかった。また、主要資材以外の材料によるCO₂排出量については、産業連関法において0.3%、積み上げ法において1.3%と微小であった。商品やサービスのライフサイクルにおける温室効果ガス排出量を製品に表示する「カーボンフットプリント制度」では、各ライフサイクル段階のCO₂総排出量に対して5%以内のものについて、範囲を明示した上でのカットオフが許可されている。主要資材以外の材料はカットオフ基準以下であることから、主要資材のみを対象とした算定で十分にCO₂排

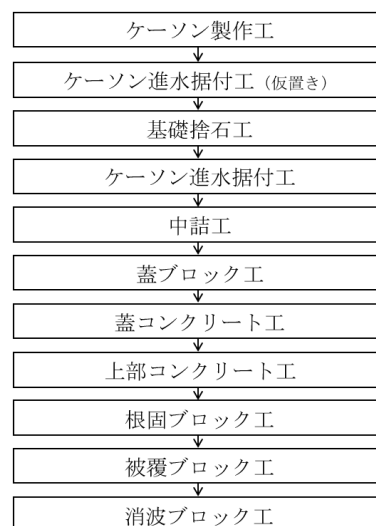


図-5 施工手順

出量を評価できることが分かった。

機械稼働に由来するCO₂排出のうち、作業船と建設機械による排出量の割合は、作業船がおよそ70%、建設機械がおよそ30%であった（図-14）。

機械稼働による燃料燃焼由来のCO₂排出量は、式(3)により算出されるため、CO₂排出量は燃料の投入量に比例する。燃料の投入量は式(4)により求められるが、式(4)を構成する機関出力 P 及び1時間あたり燃料消費量 $(P \times A)$ 、稼働時間 T とCO₂排出量の関係を図-15～17に示す。どの関係にも特に相関は見られない。これより、機関出力が大きい機械（大型機械）又は稼働頻度が高い機械が、必ずしもCO₂を多く排出すると判断することはできないことが分かった。機械稼働によるCO₂排出の削減方策を考える際には、機関出力と稼働頻度の両方を掛け合わせて考慮することにより、CO₂排出量が多く、優先的に削減対象とすることが好ましい作業船や建設機械が明らかになることが示された。

また、本試算では算定対象外である材料の輸送によるCO₂排出量について、コンクリートを例として検討する。本工事で用いられるコンクリート全量を、現場から30km離れた生コンクリート工場からアジテータ車で運搬することを仮定する。30kmという運搬距離は、コンクリートの練混ぜ開始から荷卸し地点までの時間が1.5時間以内（JIS A 5308）であることや、アジテータ車の実質的な時速を考え、設定したものである。この場合、トンキロ法や温対法律施行令第三条における発熱量及び炭素排出係数を用いると、コンクリートの運搬によるCO₂排出量はおよそ57(t-CO₂)となる。これは、本試算による全体のCO₂排出量の3.8～5.5%程度となる。割合的には小さいものであるが、全ての材料や燃料等の輸送を考慮すると一定程度大きな割合を占める可能性もあり、引き続き検討が必要である。

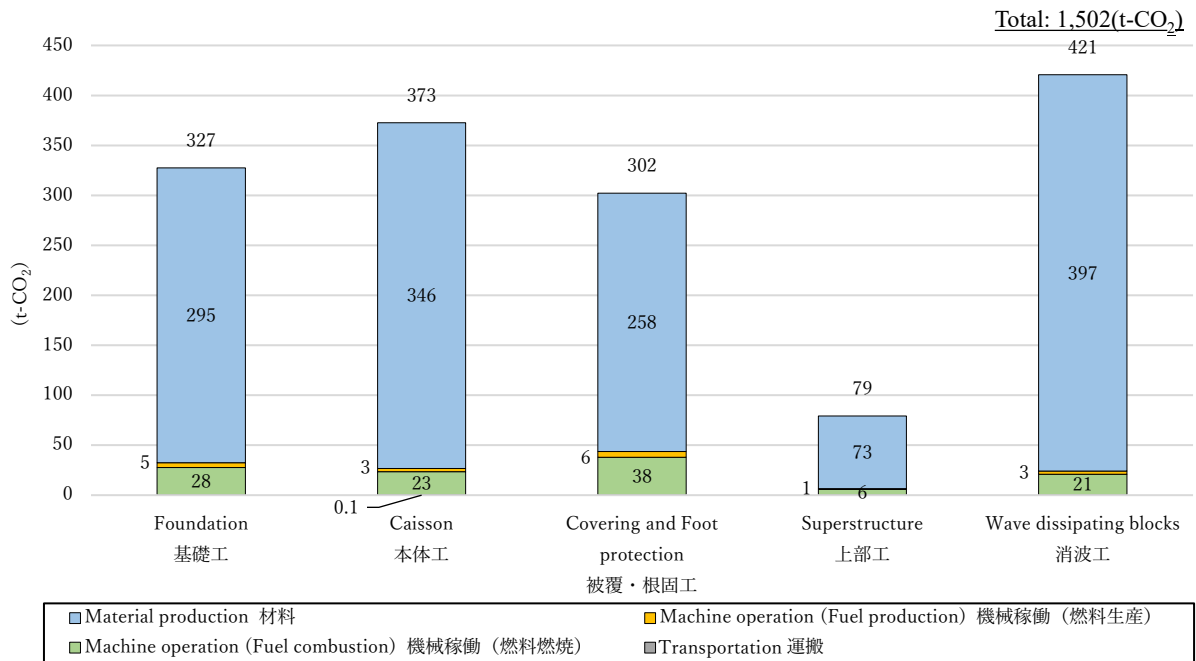


図-6 CO₂ 排出量 (産業連関法)

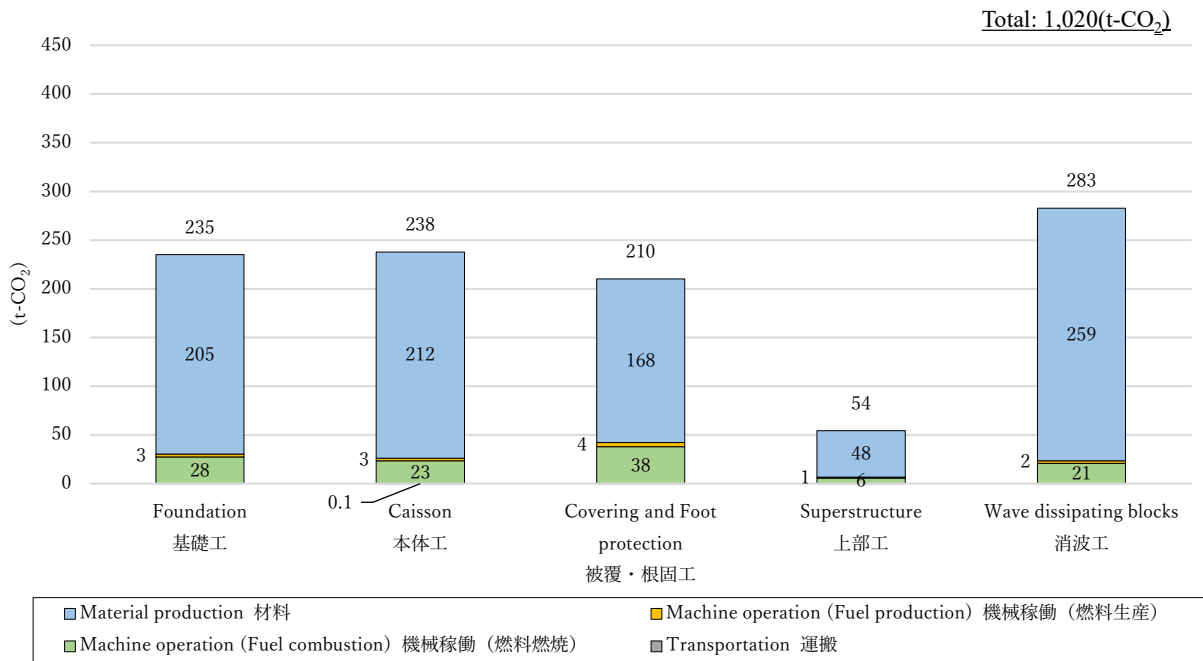


図-7 CO₂ 排出量 (積み上げ法)

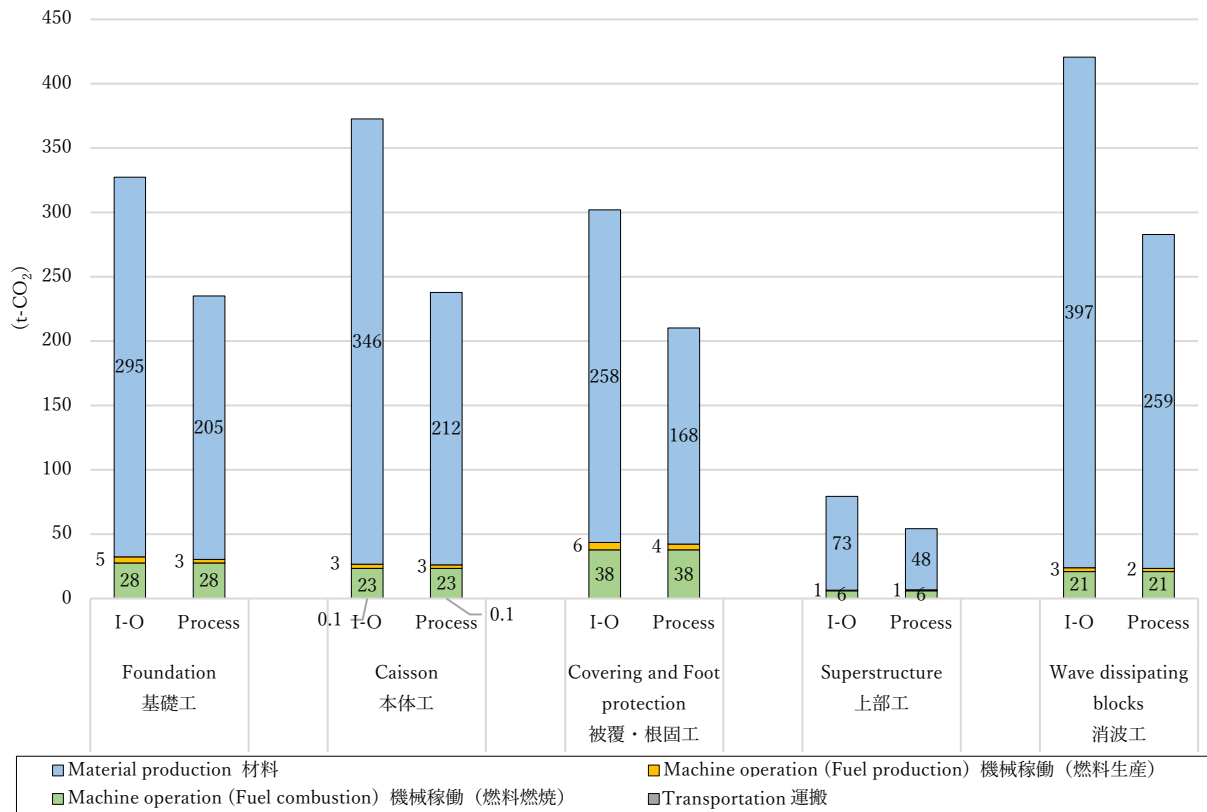


図-8 CO₂ 排出量 (I-O: 産業連関法, Process: 積み上げ法)

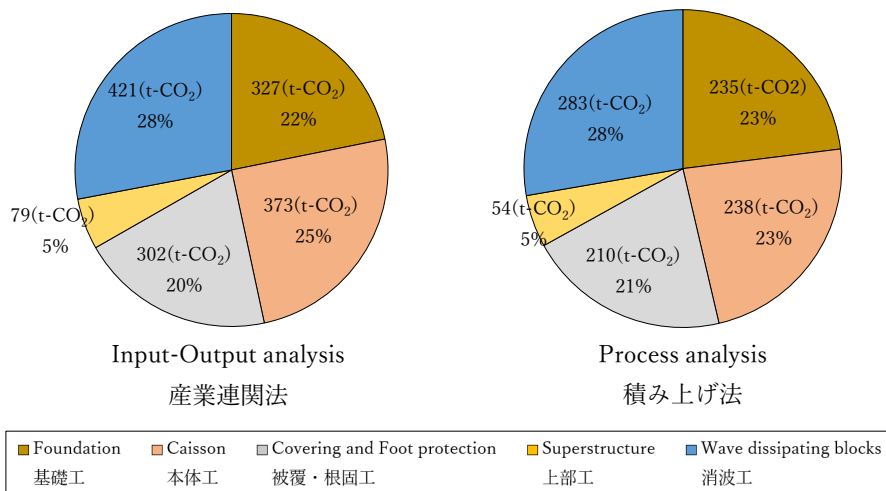


図-9 工種別 CO₂ 排出割合

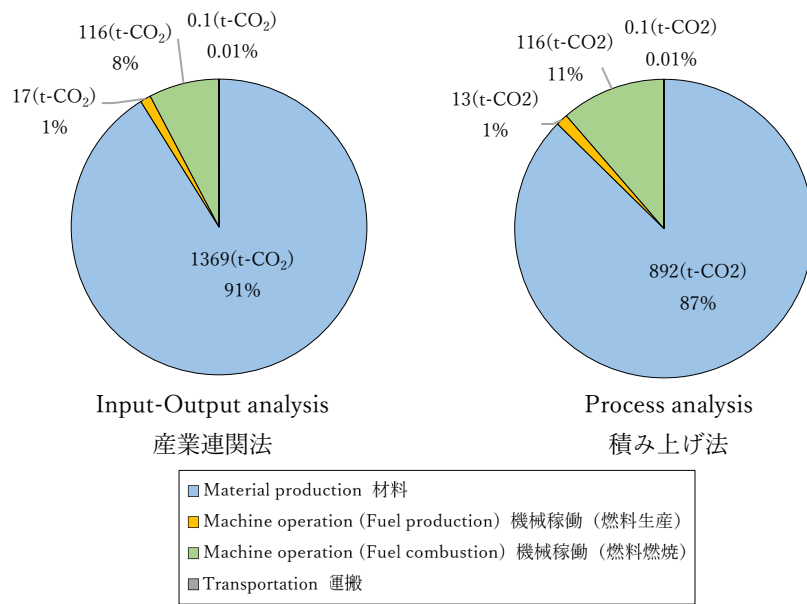


図-10 排出源別 CO₂ 排出割合

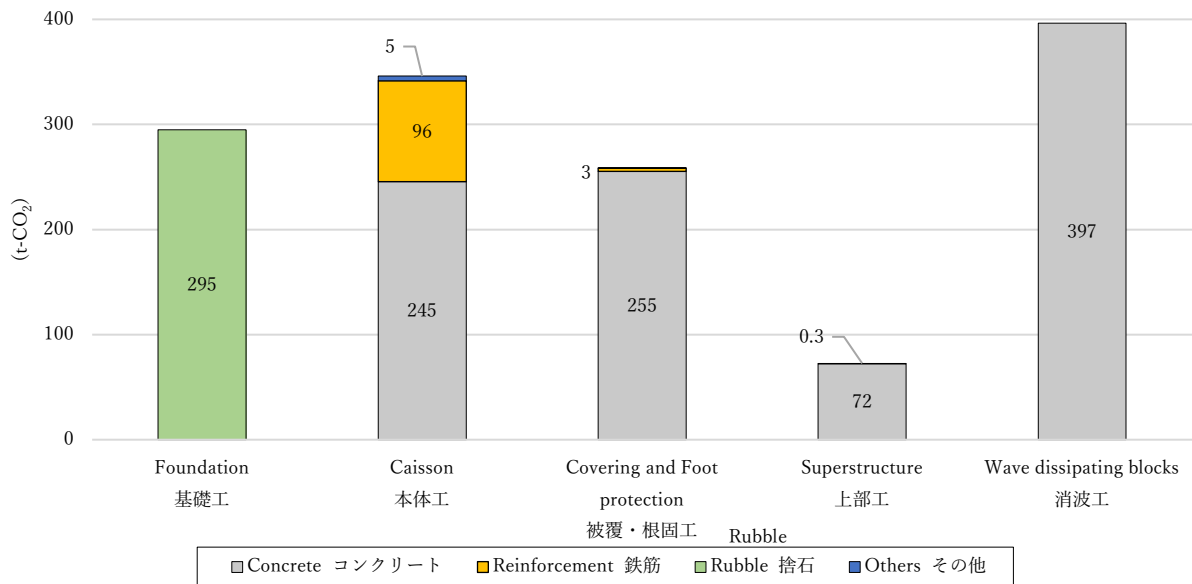


図-11 材料由来 CO₂ 排出量 (産業連関法)

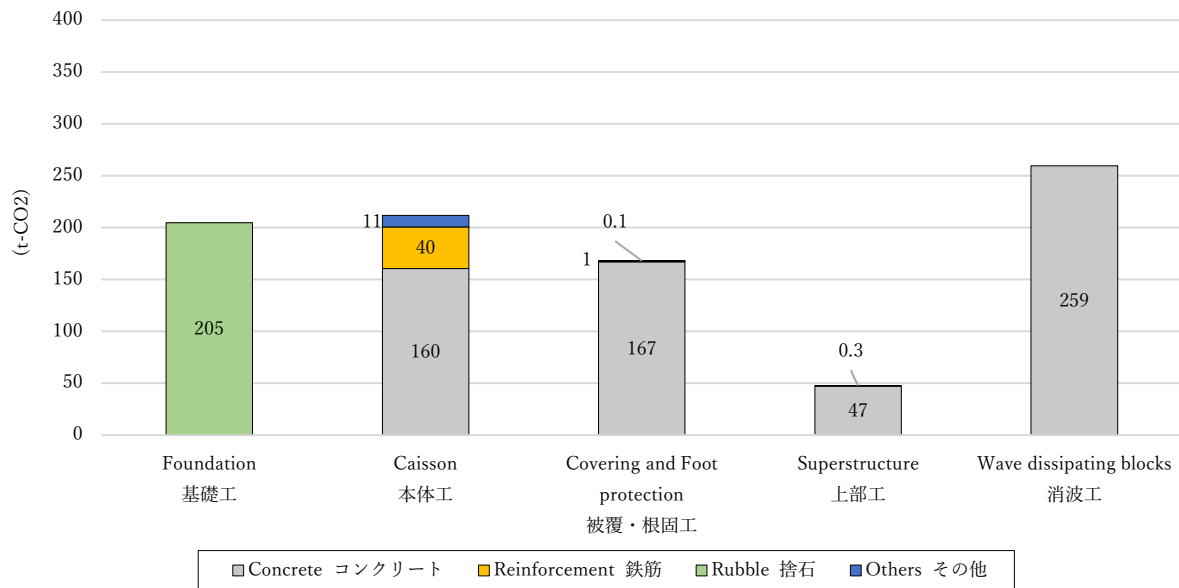


図-12 材料由来 CO₂ 排出量 (積み上げ法)

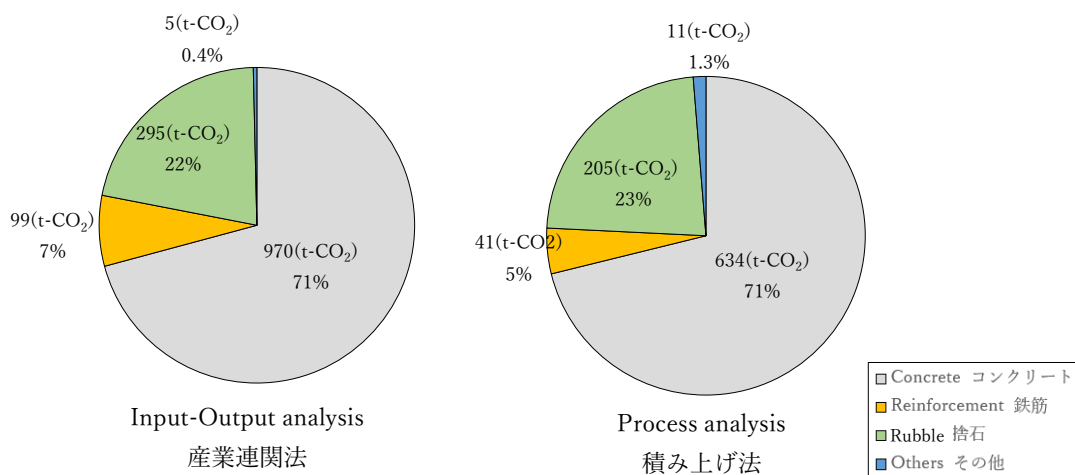


図-13 材料別 CO₂ 排出割合

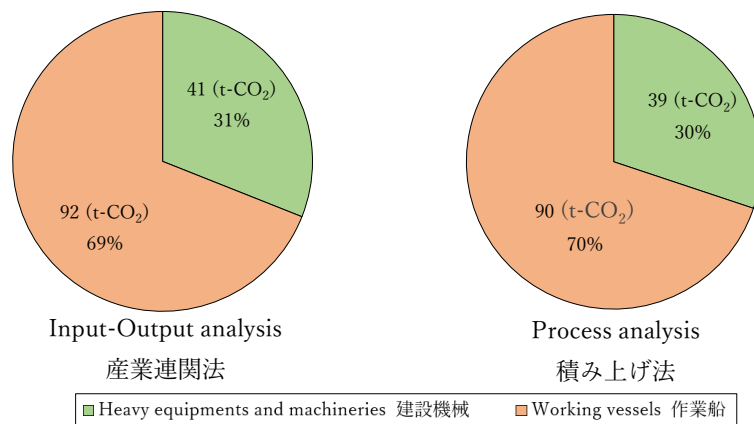


図-14 機械別 CO₂ 排出割合

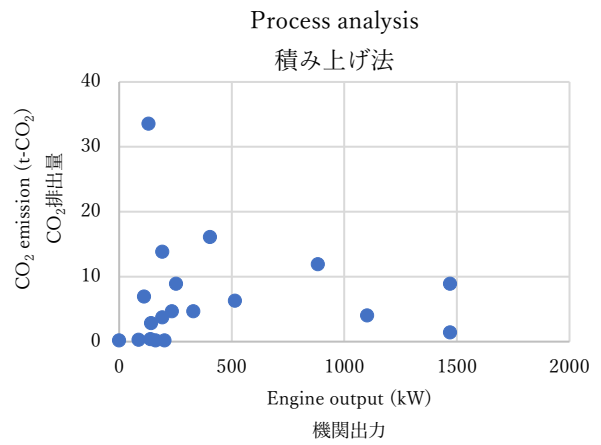
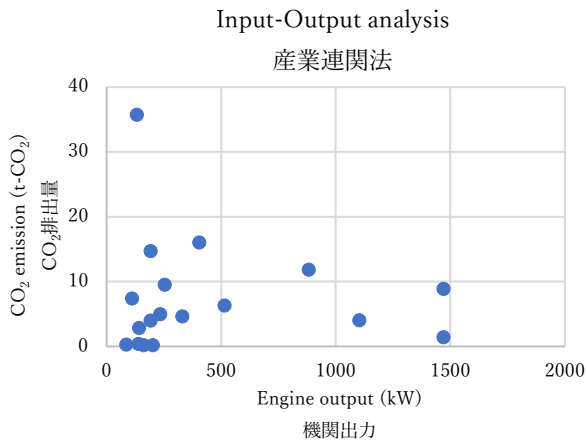


図-15 機関出力—CO₂排出量関係

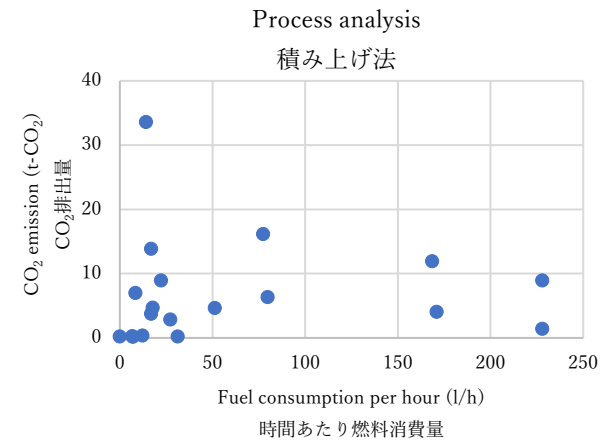
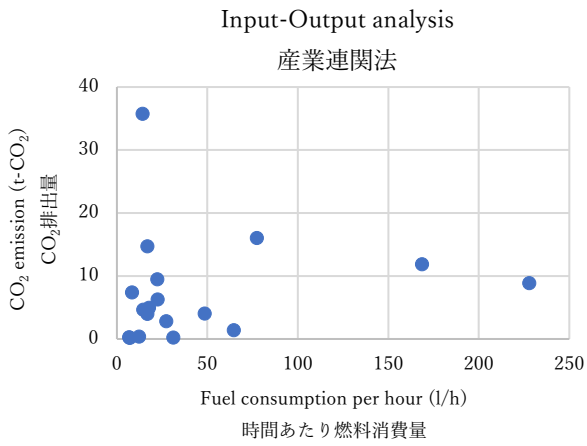


図-16 時間あたり燃料消費量—CO₂排出量関係

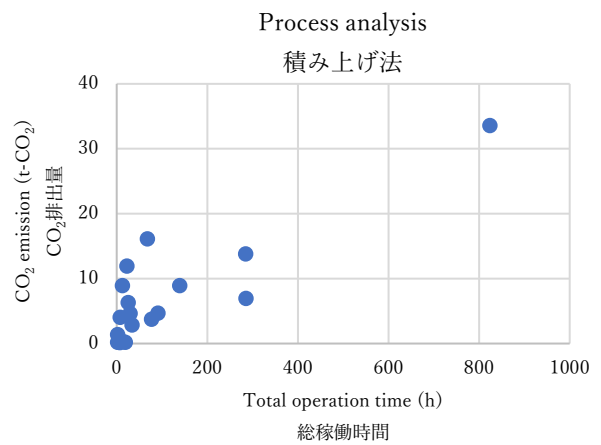
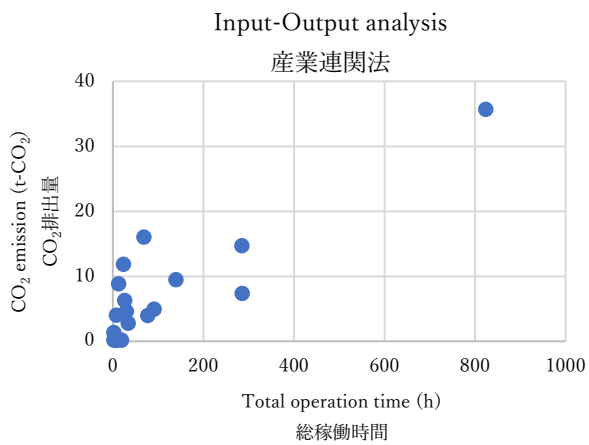


図-17 総稼働時間—CO₂排出量関係

6. おわりに

本資料では、港湾構造物の建設時におけるCO₂排出量について、工事実施よりも前段階での事前推定を想定し、CO₂排出量の算定を行う各種場面を整理するとともに、CO₂排出源やCO₂排出原単位の算定手法について整理した。また、消波ブロック被覆堤を対象に、産業連関法及び積み上げ法によるCO₂排出原単位を用いた試算を行った。

試算の結果、算定されるCO₂排出量の絶対値の相違は生じるものの、工種毎や排出源毎の排出割合等の排出特性については両手法で同様の傾向を得ることができることが分かった。また、各種排出特性を明らかにすることで、低炭素化に向けた効果的な方向性について考察を行った。ただし、本資料では消波ブロック被覆堤の一例を示したのみであり、今後、多様な構造形式を対象として試算を行い、結果を蓄積していく必要がある。

また、本資料における試算の算定対象となっていないCO₂排出源によるCO₂排出量の算定方法の整備については、今後の検討課題である。今後、実際の工事現場におけるデータ収集や、地域性を考慮した検討等を行うことにより、各種運搬距離等の合理的な仮定による算定が可能となると考えられる。加えて、本資料では、構造物のライフサイクルのうち建設段階（材料の製造・構造物の施工）のみに着目しているが、ライフサイクルに渡るCO₂排出を考慮することも必要である。

(2022年2月1日受付)

あとがき

本資料は、国土交通省港湾局及び国土技術政策総合研究所が開催する「港湾工事における二酸化炭素排出量削減に向けた検討WG」でのガイドライン策定に向けての基礎資料として取りまとめたものである。

参考文献

- 1) カーボンニュートラルレポート（CNP）の形成に向けた検討会：カーボンニュートラル（CNP）の形成に向けた施策の方向性，2021年12月．URL <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001448303.pdf>
- 2) 前川直紀，林友弥，鈴木武，菅野甚活：港湾施設整備に起因する二酸化炭素排出量推計の事例分析，国土技術政策総合研究所資料，No.651，2011年9月．
- 3) 環境省，経済産業省：サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン（ver. 2. 3），2017年12月．
- 4) 環境省，経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 4.7，2021年．
- 5) World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development：Corporate Value Chain (Scope3) Accounting and Reporting Standard -Supplement to the Corporate Value Chain (Scope3) Accounting & Reporting Standard-，2011．
- 6) World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development：Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (version 1.0) -Supplement to the Corporate Value Chain (Scope3) Accounting & Reporting Standard-，2013．
- 7) 日本建設業連合会：日建連 環境情報開示ガイドライン，2021年5月．URL <https://www.nikkenren.com/kankyou/pdf/guideline2021.pdf>
- 8) 国土交通省：国土交通省土木工事積算基準などの改正について（平成17年3月28日）．URL https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/13/130328_.html
- 9) 国土技術政策総合研究所，土木学会：社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告—社会資本LCAの実践方策一，国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室，2012年2月．
- 10) 南斉規介：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID），国立環境研究所，2019年．URL <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html>
- 11) Keisuke Nansai, Jacob Fry, Arunima Malik, Naoki Kondo: Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015, Resources, Conservation & Recycling, 152, 104525, 2020.
- 12) 総務省：平成17-23-27年接続産業連関表—総合解説編一，2020年10月．URL https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/172327index.html
- 13) 南斉規介：2005年産業連関表に基づく部門別エネルギー消費量および温室効果ガス排出量の推計方法，2013年8月．
- 14) 産業技術総合研究所安全科学研究部門：IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）ver3.1.
- 15) 小林謙介：環境情報の活用におけるインベントリデータベース，Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.15, No.3, 2019年7月，pp.235-241.
- 16) 総務省：平成27年（2015年）産業連関表—総合解説編一，2020年1月．URL https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/015index.html
- 17) 農林水産省：木材統計調査（2015年），2016年12月．URL <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/index.html>

付録A ライフサイクルアセスメント (LCA)

JIS Q 13315-1に基づく、建造物のライフサイクルは、「設計段階」、「製造・施工段階」、「使用段階」、「最終段階」から構成される(図-A.1)。建造物の建設に関連し、直接的には「製造・施工段階」においてCO₂が排出されるが、ライフサイクルの上流・下流においてもCO₂が排出され、LCAの観点から、ライフサイクル全体におけるCO₂排出を考慮することが理想である。

しかし、「設計段階」により排出されるCO₂については、事例により条件が様々で一概に算定することは困難である。また、港湾建造物を含む社会資本に関しては、解体までの将来シナリオを見通すことは一般に困難であり、現状、建設時点で「使用段階」、「最終段階」によるCO₂排出量を算定することは困難であるとされている。これは、社会資本のライフサイクルは数十年に及び、その長期にわたるライフサイクルにおける社会情勢の変化が社会資本の運用に及ぼす影響を想定することは容易ではないこと、また、廃止に伴って解体・撤去が行われない場合があり、解体を前提としたライフサイクルの設定が困難である場合が多いこと、などが理由として挙げられる¹⁾。以上の理由から、現状、建造物のLCAを行うには不確定要素が多く、多くの仮定をせざるを得ないのが現状である。

本資料においては、ライフサイクルの上流・下流である「設計段階」、「使用段階」、「最終段階」は対象外とし、現状で一定程度の確実性を持ったCO₂排出量の算定が可能であり、直接的なCO₂排出段階である「製造・施工段階」によるCO₂に着目した検討を行った。ただし、建造物寿命を考慮した低炭素化技術やCO₂排出量の少ない維持管理技術の適用等も考えられるため、ライフサイクルを考慮したCO₂排出量の算定の必要性は高く、今後の検討課題である。

なお、既往研究では、100m³の鉄筋コンクリートを想定し、材料製造、施工、解体、廃棄リサイクル、輸送の各工程の環境負荷への影響を検討した事例があり、材料製造及び施工の工程によるCO₂排出量が全体のおよそ90%を占めるという結果が得られている²⁾。このことから、ライフサイクルを通して、「製造・施工段階」が最もCO₂排出量が多いことが示唆されている。

- 1) 国土技術政策総合研究所，土木学会：社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発に関する報告—社会資本LCAの実践方策—，国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室，2012年2月。
- 2) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その2），コンクリート技術シリーズ62，2004年9月。

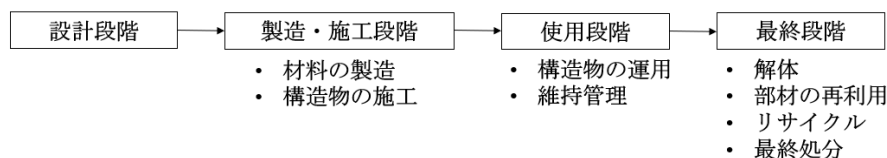


図-A.1 建造物のライフサイクル

付録B 積み上げ法によるCO₂排出原単位の設定例

B.1 セメント

日本コンクリート工学会サステナビリティ委員会による報告書¹⁾では、JIS Q 13315-2：2017によるCO₂排出量の算定例が示されている。セメントの製造については、セメント協会により毎年公表されているセメントのLCIデータの概要²⁾を用いた検討が行われている。ここでは、サステナビリティ委員会の算定例における算定方法に従い、セメント協会による最新の公表データ（2019年度実績）を用いることにより、CO₂排出原単位を更新することとする。

B.1.1 セメントによる直接的アウトプット

JIS Q 13315-2で定められている直接的アウトプットは以下の通りである。CO₂排出原単位に係るものは①～⑦である。

- ① セメントの製造に用いられる炭酸塩によるアウトプット
- ② セメントの製造に用いられる原料に含まれている有機炭素の燃焼によるアウトプット
- ③ キルンでの化石燃料の燃焼によるアウトプット
- ④ キルンでの代替化石燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑤ キルンでのバイオマス燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑥ キルン以外で使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑦ セメントの製造において投入される廃水中に含まれ

る炭素の燃焼によるアウトプット

- ⑧ セメントの製造において発生する騒音、振動及び悪臭

- ⑨ セメントの製造において発生するダスト

セメント協会が公表するLCIデータのうち、CO₂排出に関するLCIデータを表-B.1に示す。表中の「石灰石脱炭酸起源」は直接的アウトプットの①、「化石エネルギー起源」は③と⑥、「(化石起源) 廃棄物等燃焼起源」は④に相当する。これら3つの合計がセメントの製造による直接的なCO₂排出量となる。②、⑤、⑦については該当するデータがない。

B.1.2 セメントによる間接的アウトプット

JIS Q 13315-2で定められている間接的アウトプットは以下の通りである。

- ① セメントの製造において使用される外部電力の発電によるアウトプット
- ② クリンカを購入して粉砕する場合、そのクリンカの製造によるアウトプット
- ③ 化石由来燃料の製造及び加工において使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ④ 代替化石燃料及びバイオマス燃料の製造及び加工において使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑤ インプット（原料、燃料など）及びアウトプット（セメント、クリンカなど）の第三者による運搬において使用される燃料の燃焼によるアウトプット

①については、セメント協会によるLCIデータの購入電力と、環境省が公表する電気事業者別排出係数（2019年度実績）の代替値から求める（表-B.2）。

表-B.1 セメントのCO₂排出に関するLCIデータ²⁾

	ポルトランドセメント	高炉セメント B種	フライアッシュセメント B種
石灰石脱炭酸起源	479.1	271.2	414.2
化石エネルギー起源	283.6	169.1	226.7
(化石起源) 廃棄物等燃焼起源	64.4	36.4	55.7
合計	827.1	476.7	696.6

表-B.2 外部電力の発電によるアウトプット

	ポルトランドセメント	高炉セメント B種	フライアッシュセメント B種
購入電力 (Wh/kg) ²⁾	31.40	23.12	25.74
発電時の排出係数 (kg-CO ₂ /Wh)	0.00047		
CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)	14.76	10.87	12.10

③及び⑤（⑤については燃料に関する部分のみ）について、セメント協会によるLCIデータの燃料消費量（表-B.3）及び既往研究³⁾において示されている各燃料の採掘～輸送に係るCO₂排出量（表-B.4）から表-B.5の通り算定する。なお、これらについては、日本コンクリート工学会サステナビリティ委員会による報告書では算定対象とされていないが、本検討では算定対象とする。

②について、日本のセメント工場ではクリンカを購入することは一般的でない¹⁾。④及び⑤（化石燃料以外）についてはデータが揃わなかったため、算定が困難であった。

B.1.3 CO₂排出原単位

直接的アウトプット（B.1.1）と間接的アウトプット（B.1.2）の和をCO₂排出原単位とする（表-B.6）。

B.2 骨材および石材（捨石、被覆石、根固石）

藤本ら⁴⁾によると、骨材の製造では、原石を採取し、工場へ運搬し、破碎・ふるい分け・洗浄等の製造工程を経た後に、砕砂・砕石といった骨材製品を使用者に供給するのが一般的である。

また、捨石、被覆石、根固石といった港湾構造物を構成

する石材の製造方法は、一般に砕砂・砕石の製造と同様のプロセスを経る。したがって、これらに対しては砕砂・砕石のCO₂排出原単位を適用することが可能と考えた。ただし、実際には砕砂・砕石に比べて捨石及び被覆石、根固石は細割に要するエネルギーが少ないため、CO₂排出原単位も小さくなることが想定される。

サステナビリティ委員会のJIS Q 13315-2による算定例¹⁾では、天然資源由来骨材の製造について、砕石場の事業所への消費エネルギー調査を基に検討が行われている。また、同報告書では当該算定例の他に、経済産業省製造産業局素材産業課による「砕石等統計年報」を用いた検討も行われている。本研究では、砕石等統計年報⁵⁾を用い、統計データとJIS Q 13315-2との関係を考慮し、CO₂排出原単位の更新を行うこととする。

B.2.1 骨材による直接的アウトプット

JIS Q 13315-2で定められている直接的アウトプットは以下の通りである。このうち、CO₂排出原単位に係るのは③～⑥である。

- ① 骨材の製造において発生する固体廃棄物
- ② 骨材の製造において発生する液体廃棄物
- ③ 骨材の製造において使用される化石燃料の燃焼によるアウトプット

表-B.3 燃料消費量²⁾

	ポルトランドセメント	高炉セメント B種	フライアッシュセメント B種
石炭 (g/kg)	93.24	55.69	79.83
石油コークス (g/kg)	12.49	7.38	5.83
C重油 (ml/kg)	0.36	0.46	0.32
その他 (ml/kg)	0.17	0.24	0.14

表-B.4 各燃料の採掘～輸送に係るCO₂排出量³⁾

石炭 (kg-CO ₂ /kg)	0.06
石油コークス (kg-CO ₂ /kg)	0.24
C重油 (kg-CO ₂ /l)	0.25

表-B.5 化石由来燃料の製造及び加工、運搬によるCO₂排出量【単位：kg-CO₂/t】

ポルトランドセメント	高炉セメント B種	フライアッシュセメント B種
8.682	5.228	6.269

表-B.6 セメントのCO₂排出原単位【単位：kg-CO₂/t】

	ポルトランドセメント	高炉セメント B種	フライアッシュセメント B種
直接的アウトプット	827.1	476.7	696.6
間接的アウトプット	23.44	16.10	18.37
CO ₂ 排出原単位	850.5	492.8	715.0

- ④ 骨材の製造において使用される代替化石燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑤ 骨材の製造において使用されるバイオマス燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑥ 骨材の製造において使用される自家発電用燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑦ 骨材の製造において発生する騒音、振動及び悪臭
- ⑧ 骨材の製造において発生するダスト

砕石等統計年報（平成31年・令和元年）によると、砕石業を営む企業に属する事業所において消費された電力・燃料量は表-B.7の通りである。ただし、砕石等統計年報の調査対象は、石灰石、けい石及びドロマイトの砕石を行っている事業所及び砕石業を営む企業の再生骨材を製造する事業所であり、砕石には、道路用及びコンクリート用、その他用、再生骨材が含まれているが、消費電力・燃料量の製品毎の内訳を把握することはできない。なお、生産量の内訳は表-B.8の通りであり、コンクリート用及び道路用が占める割合が大きい。

直接的アウトプットの③と⑥については、表-B.7の灯油、軽油および重油によるCO₂排出に相当すると考えられる。このCO₂排出について、温対法施行令第三条に定めら

れる各種係数を用いて算出する（表-B.9）。なお、重油についてはB・C重油の係数を用いる。

④及び⑤に関しては相当するデータがないため、算定対象外とする。

B.2.2 骨材による間接的アウトプット

JIS Q 13315-2で定められている間接的アウトプットは以下の通りである。

- ① 骨材の製造工場において使用される外部電力の発電によるアウトプット
- ② 骨材の製造以外で使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ③ 化石由来燃料の製造及び加工に使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ④ 代替化石燃料及びバイオマス燃料の製造及び加工に使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑤ 第三者による運搬において使用される燃料の燃焼によるアウトプット

①については、砕石等統計年報（平成31年・令和元年）の購入電力と環境省が公開する電気事業者別排出係数（R1d実績）の代替値から求められる（表-B.10）。

表-B.7 砕石業による電力・燃料消費量（全国・令和元年）⁵⁾

購入電力（千kwh）	灯油（kl）	軽油（kl）	重油（kl）
689,601	1,320	202,639	16,342

表-B.8 砕石の生産量内訳（令和元年）⁵⁾【単位：千t】

道路用	コンクリート用	その他用	再生骨材	合計
54,340	96,868	17,105	17,718	168,313

表-B.9 燃料の燃焼に伴うCO₂排出量

	灯油	軽油	重油	合計
消費量（kL）	1,320	202,639	163,42	-
1L当たりの発熱量（MJ/L）	36.7	37.7	41.9	-
1MJ当たりの炭素排出量（kg-C）	0.0185	0.0187	0.0195	-
CO ₂ 排出量（kg-CO ₂ /t）	0.020	3.112	0.291	3.423

表-B.10 砕石業における購入電力によるCO₂排出量

購入電力（千kwh） ⁵⁾	689,601
生産量（千t） ⁵⁾	168,313
発電時の排出係数（kg-CO ₂ /Wh）	0.00047
CO ₂ 排出量（kg-CO ₂ /t）	1.926

②については、直接的インプットで求めた燃料消費によるCO₂排出量の一部として包含されているものと考えられる。

③については、砕石業における燃料消費量(表-B.7)及び生産量(表-B.8)、各燃料の採掘～輸送に係るCO₂排出量³⁾(表-B.11)から、0.242(kg-CO₂/t)と算定される。なお、③については、日本コンクリート工学会サステナビリティ委員会による報告書では算定対象とされていないが、本研究では算定対象とする。

④～⑤に関しては相当するデータがないため、算定対象外とする。

B.2.3 CO₂排出原単位

直接的アウトプット(B.2.1)と間接的アウトプット(B.2.2)を足し合わせるにより、CO₂排出原単位が表-B.12の通り求められる。

B.3 生コンクリート

生コンクリートの環境負荷は、配合に基づき各材料によるCO₂排出量を足し合わせ、それにコンクリートの製造過程によるCO₂排出量を加えることにより算定される。

各材料によるCO₂排出量について、セメント及び骨材に関しては、本付録の原単位を用いる。水による環境負荷については、既往研究により、目安になる原単位として145(g-CO₂/m³)と算定されている⁶⁾。ただし、実際には、利用エネルギーの構成や浄水・配水システム、給水人口の相違といった地域性等を十分考慮する必要がある。水セメント比が65%(コンクリート標準示方書[施工編]⁷⁾における最大値)かつ高炉B種セメント(セメントの中でCO₂排出原単位が最小)を使用したコンクリートを想定しても、水によるCO₂排出量はセメントによるCO₂排出量のおよそ0.2%程度であり、コンクリート全体において水によるCO₂排出量は十分に微小であることが分かる。なお、JIS Q 13315-2ではコンクリートの構成材料として、水に関する記載はない。混和剤については、1つの原料から複数の

製品が造られることや、環境負荷を求めることによりノウハウの流出に繋がる可能性があることから、生産による環境負荷について十分明らかになっていない⁸⁾。混和材については、既往文献^(例えば³⁾)においてCO₂排出原単位が示されている場合も多いため、それらを参照することができる。以上より、材料としては、セメント及び骨材、必要に応じて混和材の環境負荷を積み上げることが現実的である。

コンクリートの製造過程によるCO₂排出量については、既往の研究において、生産量と電力使用量の実績データの調査により、2.07(kg-CO₂/m³)と算定されている⁹⁾。ただし、このCO₂排出原単位は、JIS Q 13315-2でコンクリートの製造によるCO₂排出に関するアウトプットとして定められている以下の項目のうち、間接的アウトプットの①のみを考慮しているため、実際にはこれより大きい値である可能性がある点に留意する必要がある。

【直接的アウトプット】

- ① コンクリートの製造において使用される化石燃料の燃焼によるアウトプット
- ② コンクリートの製造において使用される代替化石燃料の燃焼によるアウトプット
- ③ コンクリートの製造において使用されるバイオマス燃料の燃焼によるアウトプット
- ④ コンクリートの製造において使用される自家発電用燃料の燃焼によるアウトプット

【間接的アウトプット】

- ① コンクリートの製造工場で使用される外部電力の発電によるアウトプット
- ② コンクリートの製造以外で使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ③ 化石由来燃料の製造及び加工に使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ④ 代替化石燃料及びバイオマス燃料の製造及び加工に使用される燃料の燃焼によるアウトプット
- ⑤ 第三者による運搬において使用される燃料の燃焼によるアウトプット

表-B.11 各燃料の採掘～輸送に係る CO₂ 排出量³⁾

灯油 (kg-CO ₂ /l)	0.15
軽油 (kg-CO ₂ /l)	0.18
C重油 (kg-CO ₂ /l)	0.25

表-B.12 砕石の CO₂ 排出原単位

直接的アウトプット (kg-CO ₂ /t)	3.423
間接的アウトプット (kg-CO ₂ /t)	2.168
CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)	5.591

B.4 鉄鋼製品

鉄鋼製品については、いくつかの既往研究によりCO₂排出原単位が示されているものの、文献毎に製造過程の計算方法の相違があるため、異なる値となっている^{8,10)}(表-B.13)。しかし、CO₂排出量算定の対象とする構造物に含まれる鉄鋼製品同士や、構造物毎にCO₂排出量を比較する場合にはそれらに含まれる全ての鉄鋼製品同士において、製造過程の計算方法の整合性を確保することが望ましい。そのため、幅広い製品のCO₂排出原単位を同一の計算方法により算出することが必要となる。

また、鉄鋼生産時の電炉法におけるCO₂排出原単位は

0.6(t-CO₂/t)である一方、転炉法(高炉法)においては1.8(t-CO₂/t)であり、大幅な差がある¹³⁾。そのため、各鉄鋼製品のCO₂排出原単位においては、生産量における電炉鋼と高炉鋼の割合¹⁴⁻¹⁶⁾(表-B.14)を考慮することが必要である。

以上のことを考慮し、本研究においては、幅広い鉄鋼製品に関して同一の算定方法によりCO₂排出原単位の設定を行うため、文献13)による電炉鋼、高炉鋼それぞれのCO₂排出原単位を、文献14-16)の生産割合に応じて按分することにより、表-B.15の通り設定した。ただし、この算定方法では、鉄鋼製品毎の生産工程の違いを考慮できていないため、生産工程の実情に沿ったCO₂排出原単位については今後の検討課題である。

表-B.13 鉄鋼製品のCO₂排出原単位^{①, ③~⑩については8), ②については10)}

	分類		CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)	文献
①	粗鋼	高炉	840	9)
②		鋼区別なし	1819	10)
③	熱延鋼材	高炉	1507	11)
④		電炉	1180	9)
⑤	冷延鋼材	高炉	1520	9)
⑥	厚板	高炉	1240	9)
⑦	形鋼	高炉	1250	9)
⑧			1247	3)
⑨			2176	12)
⑩		電炉	820	12)
⑪		鋼区別なし	1543	12)
⑫	棒鋼	高炉	1210	9)
⑬		1204	3)	
⑭		鋼区別なし	813	12)
⑮	鉄筋等	電炉	755	3)
⑯	棒鋼・形鋼	電炉	469	11)
⑰	線材	高炉	1320	9)
⑱			1311	3)

表-B.14 高炉鋼と電炉鋼の割合

形鋼と棒鋼については14,15)より算出、その他については16)

分類		割合(%)	
		電炉	高炉
条鋼	H形鋼	61	39
	大形形鋼	75	25
	中小形形鋼	100	0
	大中形棒鋼	85	15
	小形棒鋼	99	1
	線材	41	59
	鋼矢板	28	72
鋼板	厚中板	11	89
	薄板	3	97
	めっき鋼板	0	100
鋼管	鍛接鋼管	19	81
	継目無鋼管	19	81

表-B.15 鉄鋼製品のCO₂排出原単位

分類		CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)
条鋼	H形鋼	1064
	大形形鋼	900
	中小形形鋼	601
	大中形棒鋼	780
	小形棒鋼	613
	線材	1308
	鋼矢板	1464
鋼板	厚中板	1668
	薄板	1764
	めっき鋼板	1800
鋼管	鍛接鋼管	1572
	継目無鋼管	1572

また、鉄鋼製品においては、スクラップを素材として無限に循環利用するクローズドループリサイクルが行われており、このリサイクル効果を考慮したLCIデータが日本鉄鋼連盟により公開されている¹⁷⁾。これはISO14040及びISO14044に準拠したものであり、システム境界内には、製鉄所で使用する原料、エネルギー源、消費財の生産や輸送を含む全ての製鉄所内の活動や主な上流工程プロセスが含まれている。計算方法はISO 20915及びJIS Q 20915で規格化されており、LCIデータは「A: 天然資源採掘から鉄鋼製品出荷までのLCI (スクラップリサイクル効果を反映しない)」及び「B1: スクラップ投入に伴う負荷」、「B2: スクラップ回収に伴うクレジット」で構成され、A+B1+B2の値がスクラップリサイクル効果を反映したLCIデータである。なお、スクラップリサイクル効果は回収と投入が不可分であるため、A+B1あるいはA+B2という評価は行わない。

本研究においては、比較対象である3EIDや併用するIDEAのデータとの整合性を確保するため、スクラップリサイクル効果を反映したLCIデータは用いないが、当該LCIデータを用いた場合には、「リサイクルによる品質低下が起こりにくい」、「再生材の用途が限定されない」等といった鉄鋼製品の特徴を考慮することができる。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会サステナビリティ委員会：コンクリートサステナビリティフォーラム報告書（2017年度改訂），2018年3月。
- 2) セメント協会：セメントのLCIデータの概要，2021年4月。URL https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jgli_01.pdf
- 3) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その2），コンクリート技術シリーズ，No.62，2004年9月。
- 4) 藤本郷史，吉田幸稔，川端裕司，木村克彦：コンクリート関連産業のJIS Q 13315-2に基づく環境負荷インベントリデータの算定③骨材製造・コンクリート製造・施工・維持管理，コンクリート工学，Vol. 56，No. 12，pp.1020-1025，2018年12月。
- 5) 経済産業省製造産業局素材産業課：平成31年・令和元年 砕石等統計年報。URL <https://www.meti.go.jp/statistics/sei/saiseiki/result-2.html>
- 6) 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：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，2010年7月。
- 7) 土木学会コンクリート委員会コンクリート標準示方書改訂小委員会：2017年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，2018年3月。
- 8) 河合研至：コンクリートの環境負荷評価①コンクリートに関わる環境負荷，コンクリート工学，Vol. 50，No. 6，pp.554-561，2012年6月。
- 9) 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年11月。
- 10) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼業における地球温暖化対策の取組，2021年2月。URL https://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/keikaku/documents/2021_tekkougw_2.pdf
- 11) 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年8月。
- 12) 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ノベーション，2008年8月。
- 13) 環境省：長期大幅削減に向けた基本的考え方参考資料集，p.94，2018年3月。URL https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/post_38.html
- 14) 普通鋼電炉工業会：普通鋼電炉鋼材，普通鋼電炉工業会HP。URL http://www.fudenkou.jp/about_02.html
- 15) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼生産速報 全国鉄鋼生産高／全国鋼材生産高，日本鉄鋼連盟HP，2022年1月。URL <https://www.jisf.or.jp/data/seisan/index.html>
- 16) 経済産業省：諸外国の電炉業の経営動向や原材料・電力コストの動向を踏まえた我が国電炉業の競争力強化による省エネルギー対策調査事業，2014年3月。
- 17) 日本鉄鋼連盟：LCIデータコレクション，日本鉄鋼連盟HP。URL <https://www.jisf.or.jp/business/lca/data/index.html>

付録C 副産物・リサイクル系材料のCO₂排出原単位の既往文献値まとめ

材料名	備考	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)	参考文献	
普通エコセメント		774.9	1)	p.39
ごみスラグ骨材	燃料式灰溶融	2284.9	1)	p.39
	電気式灰溶融	395.7	1)	p.39
再生骨材	Ⅲ種	2.8	1)	p.39
	I種（一軸高度処理）	16.3	1)	p.39
	加熱すみもみ法	60.1	3)	pp.204-205
	機械すみもみ法	22.9	3)	pp.204-205
	湿式磨砕・比重選別法	2.94	3)	pp.204-205
	3回破砕・磨砕法	4.56	3)	pp.204-205
フェロニッケルスラグ骨材	—	2.68 (※)	2)	p.66
	徐冷	0.66	4)	p.14
	風砕	9.02	4)	p.14
銅スラグ骨材	—	0.025 (※)	2)	p.66
銅スラグ	—	1.39	4)	p.6
灰溶融スラグ骨材	全国	2293.6	3)	pp.204-205
	東京都	398～764	3)	pp.204-205
高炉スラグ細骨材	ショベル方式	2.4	5)	p.107
	コンベア方式	1.1	5)	p.108
高炉スラグ	水砕	2.37	4)	p.6
	徐冷	7.52	4)	p.6
高炉スラグ微粉末	—	24.1	1)	p.39
	—	40.36	2)	p.50
	—	39.6	5)	p.114
製鋼スラグ	転炉	2.60 (※)	2)	p.66
	徐冷	3.48 (※)	2)	p.66
	水砕	0 (※)	2)	p.66
	—	2.96	4)	p.14
フライアッシュ	—	17.9	1)	p.39
	—	84.33 (※)	2)	p.66
	—	29	3)	pp.204-205
	—	19.6	5)	p.118
クリンカアッシュ	—	0 (※)	2)	p.66
石灰石微粉末	—	14.8	1)	p.39

※ 既往文献値の単位(t-c/t)を(kg-CO₂/t)に換算

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その2），コンクリート技術シリーズ，No.62，2004年9月。
- 2) 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11月。
- 3) 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：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，2010年7月。
- 4) 前川直紀，林友弥，鈴木武，菅野甚活：港湾施設整備に起因する二酸化炭素排出量推計の事例分析，国土技術政策総合研究所資料，No.651，2011年9月。
- 5) 日本コンクリート工学協会サステナビリティ委員会：コンクリートサステナビリティフォーラム報告書（2017年度改訂），2018年3月。

港湾空港技術研究所資料 No.1399

2022.3

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

Copyright © (2021) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。