

2025年度「重点研究課題」調査研究報告書

研究課題名：カーボンニュートラルに向けた
土木構造物のあり方に関する研究

研究代表者：加藤佳孝（東京理科大学）

推薦委員会：

構造工学委員会，コンクリート委員会，

鋼構造委員会，複合構造委員会

土木学会

はじめに

現在のわが国を取り巻く環境として、人口減少・高齢化社会、物価高騰など、さらに世界的な関心事としては、持続可能性、サーキュラーエコノミー（CE）、ネイチャーポジティブ（NP）、カーボンニュートラル（CN）など、新たな価値に基づいた行動が求められる時代が到来している。このような社会のニーズに対応するためには、土木分野においてもパラダイムシフトが必須となる。このような背景のもと、構造工学委員会、コンクリート委員会、鋼構造委員会、複合構造委員会の合同で、構造工学委員会の傘下に「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する研究小委員会」を立ち上げて活動を開始した。この研究小委員会では、CN に向けた土木構造物のあるべき姿に関して検討を進めるとともに、技術者の意識の醸成を行うための講演会等を企画することを活動の中心としている。土木学会の令和7年度の重点研究課題として採択された「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する研究」について、この研究小委員会を母体とつづ、カーボンニュートラルに向けたコンクリート構造物のあり方に関する研究小委員会（コンクリート委員会）、鋼構造物のサステナビリティ研究小委員会（鋼構造委員会）、カーボンニュートラルに向けた複合構造のあり方に関する研究小委員会（複合構造委員会）と連携して、この報告書をまとめるに至っている。

この報告書では、CN の観点から土木インフラの現状についてまとめたうえで、重点研究課題の検討期間では、主に「土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量の算定に関するガイドライン（試案）」の整備に注力しつつ、今後の展開を見据えて、CN に向けた土木構造物の設計のあるべき姿についての議論や、CN に向けた土木技術者の意識醸成を目的とした活動についてとりまとめている。重点研究課題終了後も活動は継続する予定であり、ガイドライン（試案）のブラッシュアップや、具体の構造物の算定事例の整備などを通して、土木技術者の CN への理解の一助となるような成果を公表していく予定である。

2026年3月

土木学会 構造工学委員会
カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する研究小委員会
委員長 加藤佳孝

土木学会 構造工学委員会

カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する研究小委員会

委員構成（所属は 2026 年 3 月時点）

| | | |
|-----|-------|-----------------|
| 委員長 | 加藤 佳孝 | 東京理科大学 |
| 幹事長 | 川端雄一郎 | 港湾空港技術研究所 |
| 顧問 | 春日 昭夫 | 三井住友建設 |
| 幹事 | 伊代田岳史 | 芝浦工業大学 |
| | 栗橋 祐介 | 金沢大学 |
| | 鈴木 雄吾 | ネクスコ東日本エンジニアリング |
| | 中村 一史 | 東京都立大学 |
| 委員 | 井伊 亮太 | パシフィックコンサルタンツ |
| | 大倉 翔太 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 岡田 俊彦 | 日本構造橋梁研究所 |
| | 桜井 稚恵 | 横河ブリッジ |
| | 櫻庭 浩樹 | 土木研究所 |
| | 塩竈 裕三 | 電力中央研究所 |
| | 神保 壮平 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 妙中 真治 | 日本製鉄 |
| | 谷口 史一 | 日本工営 |
| | 谷村 充 | セメント協会 |
| | 千々和伸浩 | 東京科学大学 |
| | 富田 興二 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 朝長 光 | 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 |
| | 取違 剛 | 鹿島建設 |
| | 中村 董 | 港湾空港技術研究所 |
| | 永元 直樹 | 三井住友建設 |
| | 西崎 到 | 土木研究センター |
| | 原野 崇 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 樋口 俊一 | 大林組 |
| | 藤野 和雄 | 東日本高速道路 |
| | 布施 純 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 牧 剛史 | 埼玉大学 |
| | 松橋 宏治 | HRC 研究所 |
| | 水口 和之 | 横河ブリッジ |
| | 宮永 憲一 | 高速道路総合技術研究所 |
| | 村野 文哉 | IHI インフラシステム |

目 次

| | |
|---|----|
| 第1章 研究の背景と目的 | 1 |
| 1.1 背景・目的 | 1 |
| 1.2 研究体制 | 1 |
| 1.3 委員会活動実績 | 2 |
| 第2章 カーボンニュートラルの観点からの土木インフラの現状 | 3 |
| 2.1 土木インフラ部門のCO ₂ 排出量に関する現状と最近の動向 | 3 |
| 2.2 土木インフラのライフサイクルにおけるCO ₂ 排出量と特徴 | 5 |
| 第3章 土木構造物のホールライフカーボン算定の考え方の整理 | 11 |
| 3.1 はじめに | 11 |
| 3.2 土木構造物におけるホールライフカーボンの算定に関する課題の議論 | 11 |
| 3.3 土木構造物のライフサイクルにおけるGHG排出量の算定に関するガイドライン（試案）の作成 | 14 |
| 第4章 カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する議論 | 15 |
| 4.1 はじめに | 15 |
| 4.2 ホールライフカーボン削減に向けた設計の考え方に関する課題の議論 | 15 |
| 4.3 鋼道路橋を対象とした試算 | 17 |
| 4.4 カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する基本的考え方のレビュー | 27 |
| 第5章 カーボンニュートラルに向けた土木技術者の意識醸成 | 29 |
| 5.1 はじめに | 29 |
| 5.2 カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する実施すべき事項（案） | 29 |
| 5.3 各種イベントの実施 | 30 |
| 第6章 まとめ | 33 |

第1章 研究の背景と目的

1.1 背景・目的

2015年のパリ協定を受け、わが国では2050年までにカーボンニュートラル（CN）を目指すことが宣言された。2021年8月9日に公表されたIPCCのAR6第1作業部会報告書では、初めて地球温暖化の原因が人間の活動によるものと断定され、CNの実現に向けた取り組みは待ったなしとなっている。各分野において、CNに向けた取組が加速されており、建設業界においてもCO₂排出量の削減に向けた取組が加速している。

2022年に公表された社整審・交政審技術分科会の資料¹⁾によれば、建設業（土木・建築）の温室効果ガス（GHG）排出量割合は代表的活動・資材に限定しても約13%を占め、その他の資材や建設機械の生産等まで含めれば、実際には建設業ではより多くのCO₂が排出され、建設現場以外でも建設関連のCO₂が排出されている。また、インフラの劣化が顕在化する中、維持管理に起因するCO₂排出量も多く発生している。今後、土木構造物の建設時およびライフサイクルに関連するCO₂排出量を大幅に削減する必要がある。なお、温室効果ガス（GHG）排出量のうち約9割はCO₂で構成されているため、本文書では基本的にCO₂排出量と称する。

建設業界からのCO₂排出量のうち、主な建設材料である鉄鋼およびセメントからのCO₂排出量の占める割合は大きく、多くの産業のエンドユーザーである土木技術者として、CNという社会課題に向けて土木構造物のあるべき姿を議論することは重要である。しかしながら、CNに向けた土木技術に関する議論は十分に進んでいるとは言い難く、多くはエネルギー問題等と誤解されがちである。一方、欧米では建築物および土木構造物のCO₂評価に対して大きな潮流が出来つつある。このような中、災害大国という、欧米とは異なる我が国の特徴も踏まえながら、国土の強靱性を高めつつCNを達成するためには、トランジション方策から将来像まで、我が国の土木技術のあり方について議論を加速させるとともに、土木技術者の意識の醸成を進める必要がある。

以上の背景から、本研究では、土木技術者のCNへの意識の醸成を高めるとともに、CNに向けた土木構造物の設計に関する基本的な考え方やCO₂排出量の算定方法等に関して議論し、CNに向けた土木構造物のあり方を提示することを目的とする。

1.2 研究体制

本研究を遂行するにあたって、構造工学委員会、コンクリート委員会、鋼構造委員会、複合構造委員会と連携体制を構築した（図1.1）。

- ・ 構造工学委員会：カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する研究小委員会（構造工学CN委員会）
- ・ コンクリート委員会：カーボンニュートラルに向けたコンクリート構造物のあり方に関する研究小委員会（コンクリートCN委員会）
- ・ 鋼構造委員会：鋼構造物のサステナビリティ研究小委員会（鋼構造サステ委員会）
- ・ 複合構造委員会：カーボンニュートラルに向けた複合構造のあり方に関する研究小委員会（複合構造CN委員会）

コンクリートCN委員会、鋼構造サステ委員会、複合構造CN委員会では、それぞれの対象とする材料に特

化した内容について、構造工学 CN 委員会では、材料に依らない共通的な内容について議論を進めた。また、各小委員会から連絡調整委員を構造工学 CN 委員会に派遣することで、4 委員会の連携体制を強化した。

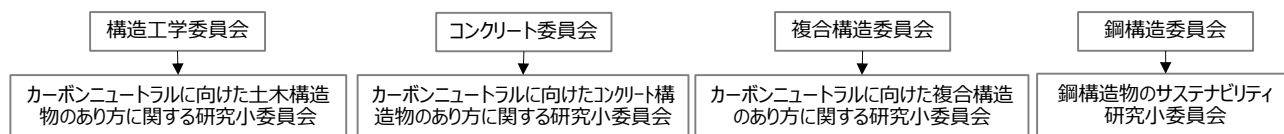


図 1.1 研究体制

構造工学 CN 委員会では、土木構造物におけるホールライフカーボン算定のための考え方を整理することを目的とした評価 WG（主査：川端雄一郎，副査：井伊亮太），ホールライフカーボンの観点からの設計のありべき姿を議論することを目的とした設計 WG（主査：牧剛史，副査：松橋宏治）を設置した。

1.3 委員会活動実績

以下に本研究委員会の委員会活動の履歴を示す。なお、本研究委員会は重点研究課題への応募段階から、活動を進めていたため、2025 年度の委員会活動以外の部分も含まれている。

- ・ 2024/12/26 第 1 回全体委員会開催
- ・ 2025/01/16 「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関するパネルディスカッション」を開催（コンクリート委員会主催）。
「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する実施すべき事項（案）」を公開。
- ・ 2025/03/12 第 2 回全体委員会開催
- ・ 2025/04/21 第 3 回全体委員会開催
- ・ 2025/06/03 国立環境研究所一渡博士との意見交換会
- ・ 2025/06/25 第 4 回全体委員会
- ・ 2025/10/21 「どうなる?どうする?カーボンニュートラル～カーボンニュートラルの今を知る～」を開催（鋼構造委員会主催）。
- ・ 2025/10/27 第 5 回全体委員会，第 2 回評価 WG
- ・ 2025/11/27 設計 WG 幹事会
- ・ 2025/12/16 第 3 回評価 WG
- ・ 2026/01/29 第 6 回全体委員会，第 2 回設計 WG，第 4 回評価 WG
- ・ 2026/02/10 「カーボンニュートラルに向けた複合構造のあり方～複合構造物・FRP の CO₂ 排出量の試算例～」を開催（複合構造委員会主催）。
- ・ 2026/03/31 幹事会（4 研究小委員会幹事）

参考文献

- 1.1) 国土交通省 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会：第 29 回 技術部会【資料 4】，2022。
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001493862.pdf>

第2章 カーボンニュートラルの観点からの土木インフラの現状

2.1 土木インフラ部門のCO₂排出量に関する現状と最近の動向

2022年に公表された国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会の資料^{2,1)}によれば、2020年度の建設業（土木・建築）のGHG排出量割合は代表的活動・資材に限定しても約13%を占めるとされている（図2.1）。このうち、セメントや鉄鋼などの建設材料に起因するCO₂排出量が約10%を占め、設業からのCO₂排出量の多くは建設材料によるものであるといえる。一方、建設機械等や建設関連貨物に起因するCO₂排出量が約3%であり、建設材料と比較して少ないものの、これらも無視できない量のCO₂を排出している。国土技術政策総合研究所と土木学会が実施した2005年度のCO₂排出量の分析結果によれば、図2.2に示す通り、土木・建築からのCO₂排出量は全体の14%であり、前述の2020年度の建設業からのCO₂排出量約13%と整合的である。また、2005年度の土木のCO₂排出量は全体の約6%であり、建築とほぼ同等のCO₂を排出している。

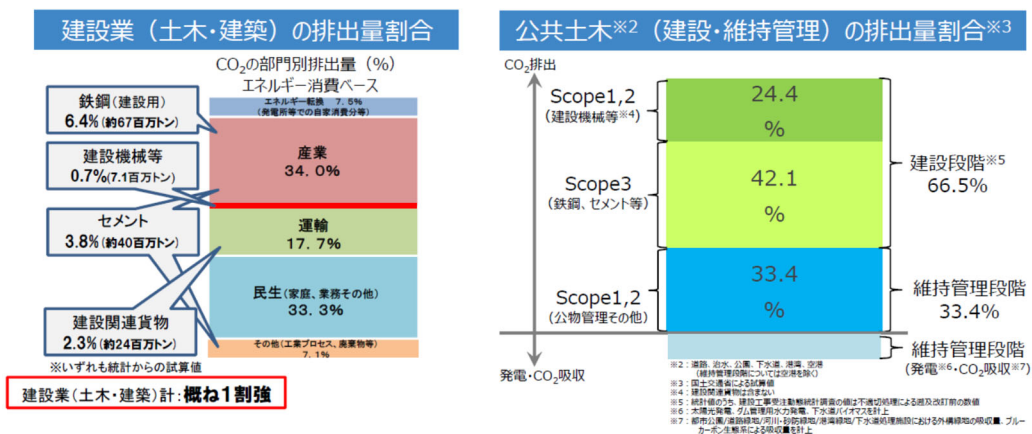


図 2.1 2020 年度の建設業の CO₂ 排出量に関する現状^{2,1)}

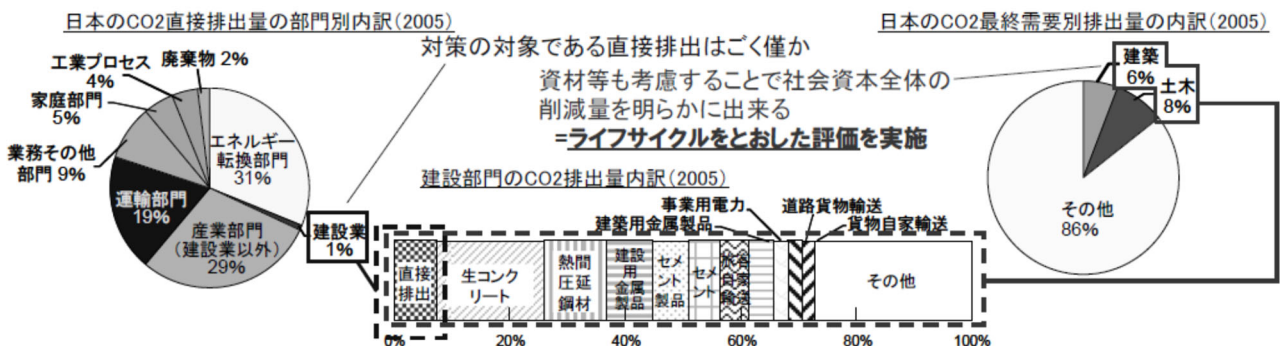


図 2.2 2005 年度の建設業の CO₂ 排出量に関する現状^{2,2)}

建築分野では、ライフサイクルでのCO₂排出量（LCCO₂、ライフサイクルカーボンやホールライフカーボンともいう）削減に向けた取組みが急速に進んでいる。最近では、国土交通省において、建築物の計画から解体までのライフサイクル全体において排出されるCO₂を含む環境負荷を算定・評価（建築物LCA）の実施を促す制度の開始を目指すことを盛り込んだ基本構想が決定された^{2.3)}。これは、日本の建築分野は全体のCO₂排出量の約40%を占め、従来の建築物の省エネ化にとどまらない一層の取組みが必要として進められたものである。また、これを受けて、建築物のライフサイクルカーボンの算定・評価等を促進する精度に関する検討会が設置され、2026年1月28日に「建築物のライフサイクルカーボンの削減に向けた制度のあり方中間取りまとめ」が公表された^{2.4)}。また、2026年3月27日には、ライフサイクルカーボンの評価制度の創設や進展する省エネ技術に対応するための措置を講じるため「建築物のエネルギー消費性能の向上等に関する法律の一部を改正する法律案」が閣議決定された。

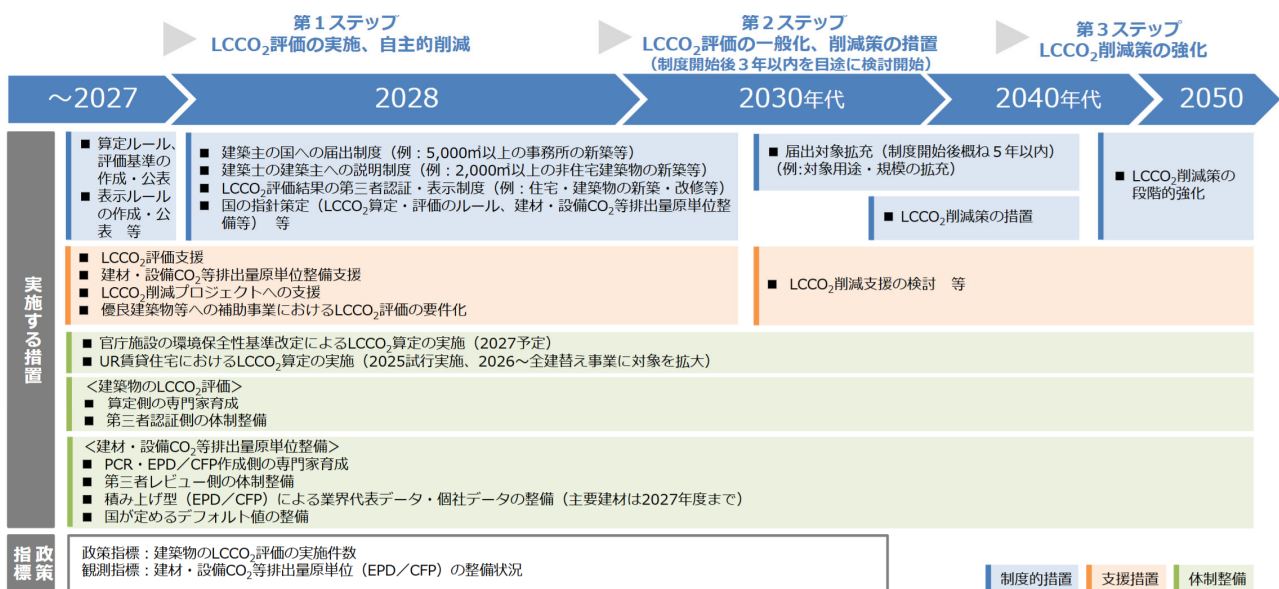


図 2.3 建築物のライフサイクルカーボンの削減に向けたロードマップ^{2.4)}

土木分野においては、国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センターから「インフラ分野における建設時のGHG排出量算定マニュアル案」^{2.5)}が2024年6月に公表（同年8月に改訂）されるとともに、国土交通省から2025年4月21日に「国土交通省土木工事の脱炭素アクションプラン～建設現場のカーボンニュートラルに向けて～」^{2.6)}が公表され、①建設機械の脱炭素化、②コンクリートの脱炭素化、③その他建設技術の脱炭素化、をリーディング施策として掲げている。これを受けて、カーボンニュートラルに関する試行工事等が進められており^{2.7)}、例えば低炭素型コンクリート（ポルトランドセメントの置換率が55%以上のもの、またはこれと同等以上のCO₂排出削減効果のあるもの）に関しては、2024年末時点で51件の試行工事が実施されている（図2.4）。このうち、プレキャストが49件で、半数近くはCO₂排出削減に要する費用が市場価格（Jクレジット平均販売価格3246円/t-CO₂）以下との報告がなされている^{2.7)}。

港湾分野では、2021年6月から学識経験者等による「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」が開催され、同年12月に「カーボンニュートラルレポート（CNP）形成に向けた施策の方向性」^{2.8)}が公表された。2022年11月には「港湾法の一部を改正する法律（令和4年法律第87号）」が成立・公布され、「港湾脱炭素化推進計画」や「港湾脱炭素化推進協議会」に関する規定が新設された。また国土交通省港

湾局では、2021年に「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」が設置され、その成果として「港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン」^{2.9)~2.11)}が策定・公表されている。また、2026年3月には「港湾工事における二酸化炭素排出量削減目標および削減に向けたロードマップ」^{2.12)}が公表された。また、関東地方整備局港湾空港部は、港湾工事等から排出されるCO₂の多くが材料製造段階に起因することを踏まえ、低炭素型材料の活用を目的として、2023年に「港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル」^{2.13)}を取りまとめ、高炉セメントC種相当品、鉄鋼スラグ水和固化体、人工石などの低炭素型材料を活用した試行工事を実施している^{2.14)}。

その他、土木における各分野で様々な取組みが進められている。道路では、例えばNEXCO各社において道路脱炭素化推進計画が公表され^{2.15)~2.17)}、道路管理分野、道路整備分野、道路利用分野の目標が掲げられている。また、鉄道では、国土交通省に「鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会」が2022年3月に設置され、2023年5月に「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿」^{2.18)}が公表され、鉄道会社各社のHP等でCNに向けた目標や取組み等が紹介されている。

このように、土木分野においてもカーボンニュートラルに向けた取組みが積極的に進められているが、カーボンニュートラルに向けた基本的な考え方などは整理されていないのが現状である。

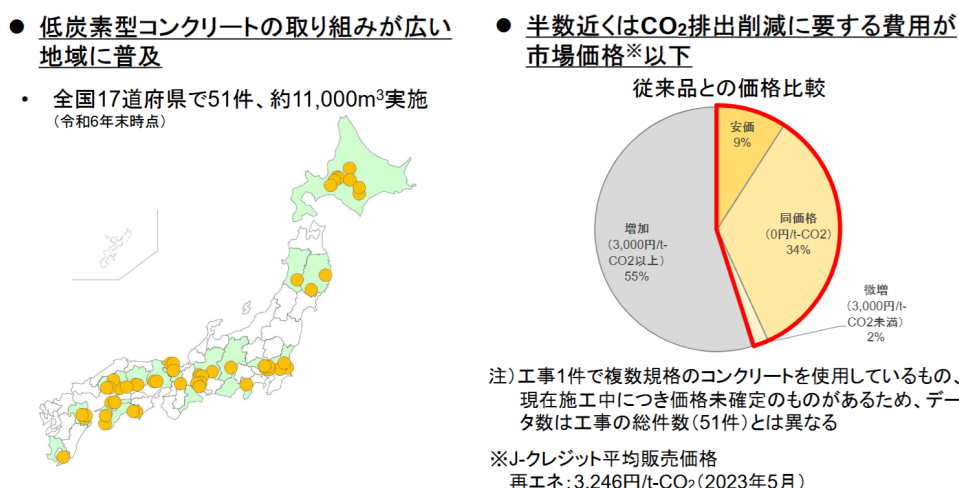


図 2.4 土木工事での低炭素コンクリートの取組み状況 (2024 年末時点)^{2.7)}

2.2 土木インフラのライフサイクルにおける CO₂ 排出量と特徴

図 2.5 に ISO21930 「Sustainability in buildings and civil engineering works – Core rules for environmental product declarations of construction products and services」^{2.19)}における建設材料および建設工事における 4 つの一般的なライフサイクル段階とその情報モジュールを示す。モジュールとは、それぞれのライフサイクル段階の中で生じる具体的なプロセスを表す。なお、本図は ISO21930 の日本語訳が掲載された日本建築学会の「建物の LCA 指針」^{2.20)}を参考に作成したものである。また、図中には建築物ホールライフカーボン算定ツール (J-CAT®)^{2.21)}に示されたホールライフカーボン、エンボディドカーボン、オペレーショナルカーボンの定義も合わせて示している。従前より建築物ではオペレーショナルカーボンが多くを占めることが指摘されてきたが、近年ではエンボディドカーボンを含めた、ホールライフカーボン (前述の通り、ライフサイクルカーボンや LCCO₂とも称されるが、以降ではホールライフカーボンと称する) の削減が目指されている。建築物では運用時のエネルギーおよび水の消費に伴う CO₂ 排出量が多く、オペレーショナルカーボンの削減は一つの

着目点となっている。

一方、多くの土木構造物では、建築物の運用ように建物内部でエネルギーを消費して運用するような性質は少なく、構造物を利用する活動、例えば高速道路を走行する車両の影響、発電所での燃料使用、滑走路を使用する航空機、または水処理施設での産業機械の運転など、様々な利用者の活動に起因した相当量の GHG が排出される。図 2.6 に示すインフラ分野における CO₂ 排出量の内訳によれば、インフラ整備に直接かかわる CO₂ 排出量が 13% であるのに対して、道路の利用や鉄道・船舶・航空輸送による CO₂ 排出量が約 15% を占めており、土木分野での CO₂ 排出源は建築分野と異なることがわかる。例えば仏国のミヨー高架橋では、移動時間・交通渋滞の緩和により、大型貨物車からの CO₂ 排出量を年間約 4 万 t 削減する効果があることが報告されている^{2.23)}。

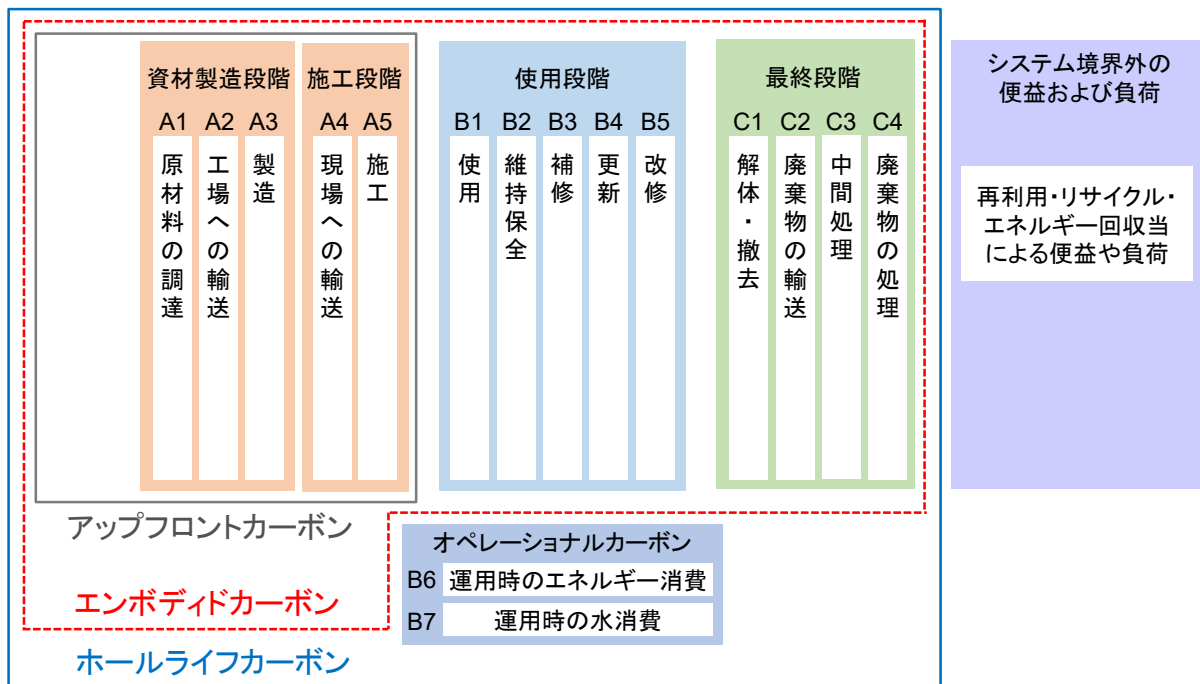


図 2.5 建設材料および建設工事における 4 つの一般的なライフサイクル段階とその情報モジュール^{2.19)}
(ISO21930 および日本建築学会の「建物の LCA 指針」^{2.20)}を参考に作成)

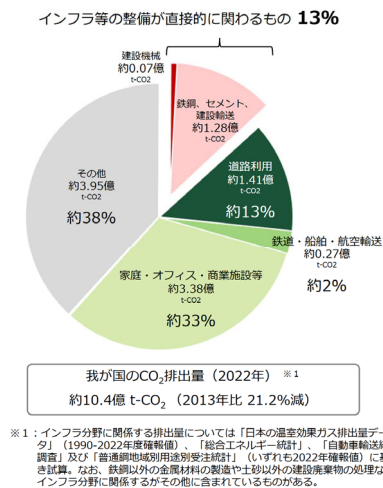


図 2.6 インフラ分野に関する CO₂ 排出量の内訳^{2.5)}

このような土木分野での特性を踏まえ、最近では新たにモジュールとして、B8「利用者の活動」が EN15643-5: 2017 で導入され、その後 Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)の「Whole life carbon assessment for the built environment」^{2.24)}や The Institution of Structural Engineers の「How to calculate embodied carbon (HTCEC) 」^{2.25)}でも採用されている。また、これらには建設前段階のモジュール A0 に該当する「調査、計画、設計等の非物理的なプロセスの活動」も導入されている。A0 は一般的に考慮されることが少ないものの、土木分野では無視することはできない量の GHG を排出している可能性がある。図 2.7 に RICS に示された構造物のライフサイクルステージとモジュールを示す。

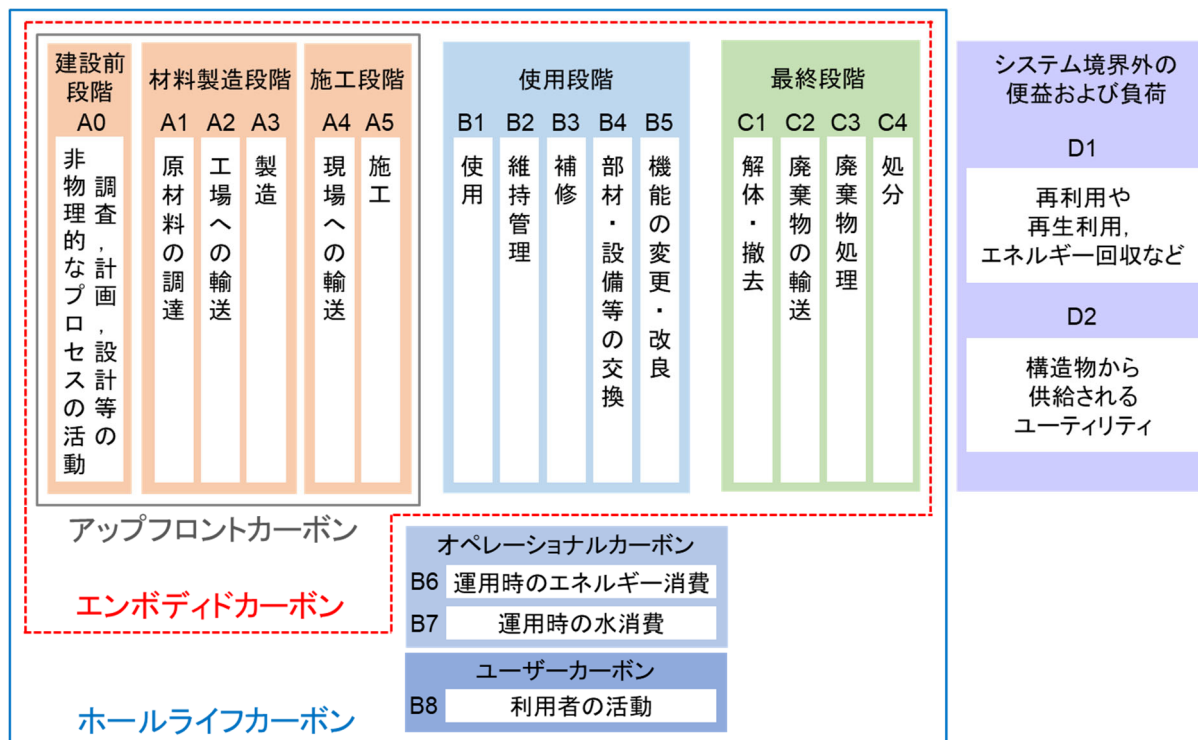


図 2.7 構造物のライフサイクルステージとモジュール (RICS^{2.21)}を参考に和訳)

モジュール B8 はユーザーカーボンと称され、土木構造物では重要なモジュールである。例えば道路における大規模更新や補修工事等は車両の渋滞や迂回によって、間接的に CO₂ 排出量が増加する恐れがある。逆に、これらの工期短縮は、間接的 CO₂ 排出量、すなわちユーザーカーボンの排出回避に効果がある。これらは土木構造物のライフサイクルにおける CO₂ 排出量を考える上での特徴の一つといえる。このように、土木構造物の CO₂ 排出量および削減量を考慮するにあたってはモジュール B8 も適切に考慮する必要がある。特に、モジュール B8 は工事による渋滞の影響等を受けるため、工法選定等による波及効果大きい。一例として、工法選定と各モジュールへの波及効果のイメージを図 2.8 に示す。図では、単純な事例として、道路橋の補修を想定し、その工法選定を行うと仮定する。工法 X は標準的に選択される工法であり、これがベースラインとなる。工法 X では、車線規制等を行って補修を行うものとする。このとき、B3 での CO₂ 排出量だけでなく、車両の渋滞・迂回等による間接的な CO₂ 排出量が付加されるため、付加分を B8 で計上する。工法 Y は工事に低炭素機械を利用するもので、低炭素機械の活用によって B3 が削減されるが、工法 Y が工法 X と同じ施工工程とすれば、車両の渋滞・迂回等による付加的な CO₂ 排出量は免れられない。工法 Z は急速施工を想定したもので、B3 での CO₂ 排出量が増加すると仮定する。しかしながら、急速施工によって車両の渋滞・迂回が緩和されれば、B8 での付加的な CO₂ 排出を低減することができる。工事費用は無視したとして、これらの工法選定にあたって、一つのモジュールだけで評価を行うと、工法 Y が最適な工法と判断できるが、B3 と B8 の合計で考えれば工法 Z が最適である。

したがって、土木構造物、特に交通インフラにおけるホールライフカーボンを議論するにあたっては、ユーザーカーボンを考慮することが極めて重要であるといえる。

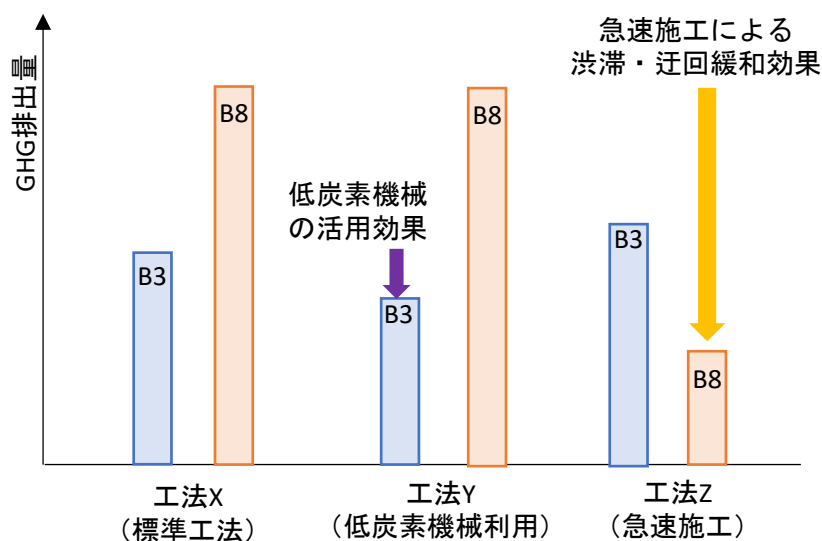


図 2.8 工法選定と各モジュールへの波及効果のイメージ

参考文献

- 2.1) 国土交通省 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会：第 29 回 技術部会【資料 4】，2022.
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001493862.pdf>
- 2.2) 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—，2012.2
- 2.3) 建築物のライフサイクルカーボン削減に関する関係省庁連絡会議：建築物のライフサイクルカーボンの削減に向けた取組の推進に係る基本構想，2025.4.
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/building_lifecycle/pdf/honbun.pdf
- 2.4) 建築物のライフサイクルカーボンの算定・評価等を促進する精度に関する検討会：建築物のライフサイクルカーボンの削減に向けた制度のあり方 中間取りまとめ，2026.1.
<https://www.mlit.go.jp/common/001964665.pdf>
- 2.5) 土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター：インフラ分野における建設時の GHG 排出量算定マニュアル案，2024.8.
<https://www.nilim.go.jp/lab/pcg/img/file8.pdf>
- 2.6) 国土交通省：国土交通省土木工事の脱炭素アクションプラン～建設現場のカーボンニュートラルに向けて～，2025.4.
- 2.7) 国土交通省：低炭素型コンクリート試行工事について
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001905087.pdf>
- 2.8) 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レポート（CNP）の形成に向けた施策の方向性，2021.12.
- 2.9) 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：港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（発注段階編），2022.6.
- 2.10) 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：港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（施工段階編（試行工事用）），2023.11.
- 2.11) 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：港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（設計段階編（試行工事用）），2024.5.
- 2.12) 国土交通省 港湾局 技術企画課，国土技術政策総合研究所 港湾情報化支援センター：港湾工事における二酸化炭素排出量削減目標および削減に向けたロードマップ，2026.3.
- 2.13) 国土交通省 関東地方整備局 港湾空港部：港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル(Ver. 1.0)，2023.
- 2.14) 国土交通省関東地方整備局 HP
<https://www.pa.ktr.mlit.go.jp/kyoku/work/CNC/pdf/231212-press.pdf>
- 2.15) 東日本高速道路株式会社：道路脱炭素化推進計画，2026.3.
- 2.16) 西日本高速道路株式会社：道路脱炭素化推進計画，2026.3.
- 2.17) 中日本高速道路株式会社：道路脱炭素化推進計画，2026.3.
- 2.18) 鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会：鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿，2023.5.
- 2.19) ISO21930: Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services, 2017.

- 2.20) 日本建築学会：建物の LCA 指針—温暖化，資源消費，廃棄物対策のための評価ツール— 改訂版，2024.10
- 2.21) 一般社団法人住宅・建築 SDGs 推進センター：建築物ホールライフカーボン算定ツール操作マニュアル，2024.10.
- 2.22) 国土交通省 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会 分野横断的技術政策 WG：第 1 回分野横断的技術政策 WG 配布資料【資料 2】，2024.
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001749146.pdf>
- 2.23) <https://www.fosterandpartners.com/news/10-facts-about-the-millau-viaduct>
- 2.24) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2.25) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

第3章 土木構造物のホールライフカーボン算定の考え方の整理

3.1 はじめに

土木構造物のホールライフカーボン算定に関する考え方を整理するにあたって、本小委員会に設置された評価WGで検討を行った。評価WGの委員構成は以下の通りである（所属は2026年3月時点）。

| | | |
|----|-------|---------------|
| 主査 | 川端雄一郎 | 港湾空港技術研究所 |
| 副査 | 井伊 亮太 | パシフィックコンサルタンツ |
| 委員 | 伊代田岳史 | 芝浦工業大学 |
| | 栗橋 祐介 | 金沢大学 |
| | 大倉 翔太 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 塩竈 裕三 | 電力中央研究所 |
| | 妙中 真治 | 日本製鉄 |
| | 谷村 充 | セメント協会 |
| | 富田 興二 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 取違 剛 | 鹿島建設 |
| | 中村 董 | 港湾空港技術研究所 |
| | 永元 直樹 | 三井住友建設 |
| | 西崎 到 | 土木研究センター |
| | 原野 崇 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 樋口 俊一 | 大林組 |
| | 布施 純 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 宮永 憲一 | 高速道路総合技術研究所 |

3.2 土木構造物におけるホールライフカーボンの算定に関する課題の議論

評価WGでは、「土木構造物のライフサイクルにおけるGHG排出量の算定に関するガイドライン（試案）」（算定ガイドライン（試案））を作成するため、土木構造物におけるホールライフカーボンの算定における課題について議論した。議論の要点を以下に示す。

(1) 境界条件の曖昧さ

建築物の場合、一般的には点的なインフラであり、ホールライフカーボンを算定する上での境界条件が比較的明確で、ベンチマークの設定も比較的可能である。一方、土木構造物の多くは線状または面状のインフラであり、その線状インフラの一部である構造物（例えば橋梁）の構造設計の段階においてホールライフカーボンを算定したとしても、境界条件が曖昧で、全体像を捉えるのが難しいという議論があった。また、例えばダムや下水道施設のように、土木構造物の運用のために建築物の設置が必要なものもあり、このような土木構造物のライフサイクルでのGHG排出量を算定するために建築物を考慮することが適切なものもある。

一方で、計画段階では、構造物の詳細までは決定されていないため、構造形式やスパンなどに応じたデータセットが必要となるが、計画時点で構造物のGHG排出量を算定できるデータが蓄積されていない。したがって、算定ガイドライン（試案）の作成にあたっては、まず委員会が専門とする対象スケールである単体

の土木構造物の設計、施工、維持管理、最終段階までのライフサイクルを対象として作成することとした。今後、単体の土木構造物でのデータが蓄積されることで、計画段階でのデータセットも整備されることが期待される。

(2) 設計プロセスと不確実性

土木構造物におけるホールライフカーボンを精緻に算定するためには、材料の種類や量、施工機械の種類や稼働時間等、様々な情報が必要である。また、これらの材料等の排出原単位の精度も重要である。しかしながら、構造計画や設計段階等、土木構造物の構築プロセスにおける上流側ではこれらの情報が正確に扱えないことが多い。特に、構造形式の選定等は、その後の材料選定等にも制約を設ける場合が多いため、選定後の GHG 排出量の削減ポテンシャルが限定される場合もある。このため、より設計プロセスの上流で GHG 排出量の削減に関する意思決定がなされることが望ましいが、材料の量や施工条件、各種排出原単位にも大きな不確実性がある（図 3.1）^{3.1)}。一方で、HTCEC でも指摘されている通り、不確実性が高いことは算定をしないという理由にはならない^{3.2)}。

これらを踏まえ、ホールライフカーボン算定のためには日本固有の数値の設定等は今後の課題であるが、算定ガイドライン（試案）では海外のガイドラインの考え方を紹介することとした。

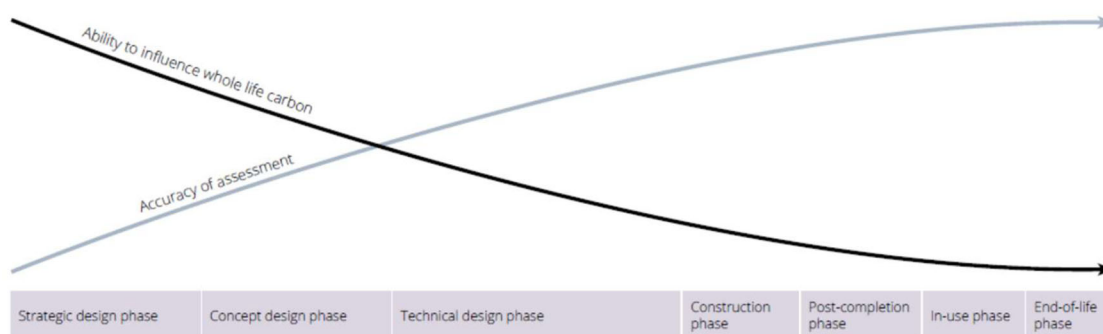


図 3.1 構造物の構築プロセスの進行に伴うホールライフカーボンへの影響度および評価精度の変化イメージ^{3.1)}

(3) ライフサイクルシナリオとホールライフカーボンの算定

また、一般的に土木構造物の設計耐用年数は 50～100 年と長期間である。現在、多くの土木構造物が使用段階における補修等を余儀なくされており、現在大きな課題となっているのは周知の事実である。しかしながら、設計段階で使用段階や最終段階までのリアルなシナリオを構築することは極めて難しいのが現状である。現状、土木構造物の設計における意思決定は未だ初期費用に偏重している部分もあり、ライフサイクルコストに基づいた意思決定でさえ十分になされていない場合もある中、ホールライフカーボンを算定したとしてもその意義があるのかといった議論もあった。一方、低炭素型材料等が多く開発されている中、初期の GHG 排出量のみに着目して、耐久性の低い建設材料が用いられた場合には結果としてホールライフカーボンが増加するというリスクもあり、これらを適切に評価するためにはライフサイクルを適切に考慮すべきとの意見も多くあった。また、いずれにしても、GHG 削減の観点から、今後どのような設計がなされるべきかを議論する上では、ライフサイクルにおける GHG 排出量の多いモジュールを特定することも必要であり、まずは枠組みを構築することが重要という意見も多くあった。これらの議論から、土木構造物におけるホー

ルライフカーボンを算定する必要性を再認識し、ホールライフカーボンを算定する前提としての算定ガイドライン（試案）の構成を検討した。

一方、ホールライフカーボンを算定するにあたって、使用段階や最終段階では一定の仮定を設ける必要がある。RICS^{3.1)}や HTCEC^{3.2)}では、設計段階におけるライフサイクルでの GHG 排出量の事前推定にあたっては、幾つかの仮定を設けている。このため、算定ガイドライン（試案）では、一部の項目について、参考情報として RICS や HTCEC 等でライフサイクルでの GHG 排出量を事前推定する際の仮定や条件を解説にて記載することとした。ただし、他国と日本での設計・施工・維持管理条件等の相違等から、これらの仮定は単純に用いることができない。このため、現状ではホールライフカーボンを事前推定することは難しく、これらのデータの充実を早急に進めることが必要である。

さらに、最終段階について、土木構造物では「残置」という選択肢が存在する。このため、土木構造物の解体・撤去を前提としたホールライフカーボンの算定の妥当性についても多くの議論がなされた。なお、残置そのものが GHG 排出量に大きく影響するケースは稀であると考えられるため、算定ガイドライン（試案）では「残置」の取扱いについて特段の記載は設けなかった。

(4) GHG 排出原単位

GHG 排出原単位は、活動量の指標に応じて適切に設定する必要がある。各種データベースの値を用いるか、実測等により新たに作成した値を用いるのが一般的である。海外では、特に欧州を中心として、各製品の EPD (Environmental Product Declaration, 環境製品宣言) が広まっており、詳細設計から施工段階では、より精緻なホールライフカーボンの算定が可能となっている。

一方、日本では制度的・市場的な背景から EPD が十分に浸透しておらず、実務において EPD を用いることは現状では困難である。日本ではホールライフカーボンの評価制度が未整備であり、設計者・発注者が EPD を必要とする場面が少ないため、材料メーカー・建設会社においても EPD を取得するメリットが限定的である。前述の通り、建築ではホールライフカーボン評価に向けた制度設計が進められており、今後 EPD の活用が拡大することが想定される。

現状、日本で多く用いられているデータベース (DB) は産業連関法 DB と積上法 DB である。これらは異なる思想に基づいて作成されており、表 3.1 に示す通り性質が大きく異なる。データの整合性を考慮し、幾つかの DB を混用することは望ましくないが、現状ではやむなく混用が必要となる場合もあると想定される。

今後、EPD が建設分野に浸透してくると、国内で利用される DB の位置づけも大きく変化することが想定される。EPD は製品固有の前景データを第三者検証のもとで提供するため、従来の産業連関法 DB と積上法 DB が担ってきた代表値による代替の必要性は相対的に低下する。一方で、EPD は製品固有データのみを提供するもので、上流工程や補完的な背景データとしての DB の役割は重要である。これらが適切に相互補完されることで、設計の上流段階からの精度の高いホールライフカーボン算定が可能になると期待される。なお、国土技術政策総合研究所では、現在、産業連関法 DB を基にした物価調査方式原単位を作成しており、今後これらの整備による現場実装も期待されている。

表 3.1 産業連関法 DB と積上法 DB の比較

| | 方法 | メリット ^{3.3)} | デメリット ^{3.3)} |
|----------|---|---|--|
| 産業連関法 DB | 国内の各産業部門間の1年間における財・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。 | 社会に存在するすべての財・サービスの生産に伴う直接・間接的な排出量を把握することが可能。 社会に存在するすべての財・サービスの排出量を把握しているため必要な原単位を入手可能。 | 産業連関表では社会に存在するすべての財・サービスを400種類にまとめて分類しており、一つの部門に該当する商品やサービスは複数存在することが多く、原単位はそうした多種の製品の平均的な単位生産額あたりの排出量を示しており、詳細な分析は困難。 |
| 積上法 DB | 材料製造等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、足し合わせることで算定する。 | ライフサイクルの各段階で投入した資源・エネルギー（インプット）と排出物（アウトプット）を詳細に収集・集計しているため、高精度。 現実のプロセスに対応しており、データの代表性も高い。 | ライフサイクルに含まれるプロセスは非常に複雑であり、積み上げ法により排出原単位を作成するには多大な労力が必要。 網羅的な整備が難しいため必要な原単位が存在しない可能性あり。 |

3.3 土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量の算定に関するガイドライン（試案）の作成

3.2 に記載したような議論を基に、RICS や HTCEC 等の既存ガイドラインを参照しつつ、ガイドライン（試案）を作成した。ガイドライン（試案）の全文は、本報告書末尾にした。

参考文献

- 3.1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 3.2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 3.3) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位について (Ver.3.5), 2025.
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/unit_outline_V3-5.pdf

第4章 カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する議論

4.1 はじめに

カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する基本的な考え方を整理するため、本小委員会に設置された設計WGで検討を行った。設計WGの委員構成は以下の通りである（所属は2026年3月時点）。

| | | |
|----|-------|-----------------|
| 主査 | 牧 剛史 | 埼玉大学 |
| 副査 | 松橋 宏治 | HRC 研究所 |
| 委員 | 鈴木 雄吾 | ネクスコ東日本エンジニアリング |
| | 中村 一史 | 東京都立大学 |
| | 岡田 俊彦 | 日本構造橋梁研究所 |
| | 桜井 稚恵 | 横河ブリッジ |
| | 櫻庭 浩樹 | 土木研究所 |
| | 神保 壮平 | 国土技術政策総合研究所 |
| | 谷口 史一 | 日本工営 |
| | 千々和伸浩 | 東京科学大学 |
| | 朝長 光 | 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 |
| | 藤野 和雄 | 東日本高速道路 |
| | 水口 和之 | 横河ブリッジ |
| | 村野 文哉 | IHI インフラシステム |

4.2 ホールライフカーボン削減に向けた設計の考え方に関する課題の議論

設計WGは、鋼構造、コンクリート、複合構造の各委員会にも設置され、そこでは代表的構造物に対するホールライフカーボンの試算が行われる予定である。構造工学委員会の設計WGでは、各委員会の成果を持ち寄り、GHG排出量の削減効果を検討する上でのベースラインや各種削減効果の効果の試算を行うための設計の考え方について議論を行った。議論の要点を以下に示す。

(1) 設計段階におけるホールライフカーボン算定方法について

設計段階で算定するホールライフカーボンは、設計の進捗度合いに応じて算定精度のレベルが異なり、大まかに表4.1に示す3段階に分けられると考えられる。表4.1における松 ver.は、構造物に使用される資材の種類や物質量がすべて確定し、詳細な施工計画等の策定が可能な、すなわち詳細設計完了後の段階における算定法である。竹 ver.は、構造計画は確定しているが部材寸法等の構造詳細は概算値の状態で、排出量算定に係る情報が松 ver.よりも質、量ともに劣る、すなわち予備設計～概略設計時点における算定法を指す。また梅 ver.は、ルート選定等の上位計画や構造計画の策定段階における算定法で、経験的に設定したスパン割や構造形式に基づいて算定することをイメージしている。

表 4.1 設計段階におけるホールライフカーボン算定法のレベル

| 算定法のレベル | 松 ver. | 竹 ver. | 梅 ver. |
|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| 算定方法 | 各種物量と原単位を用いて詳細に計算 | 主要資材に限定して簡易に計算 | 構造形式やスパンに応じて |
| 適用する段階 | 設計後期段階(構造詳細) | 設計初期段階(構造計画～構造詳細) | 上位計画～構造計画段階 |
| 備考 | 評価 WG で算定ガイドライン(試案)を作成 | 松 ver.のデータが蓄積された段階で検討 | 構造系技術者以外の技術者との連携が必要 |

これら3段階の算定法に対し、設計WGではどのレベルを対象として検討するか等について議論した内容を以下に示す。結論としては、当面は松 ver.での試算に注力することとし、その結果が出揃った時点で竹 ver.へのフィードバックについて検討することとした。

- ・ ステージ A (建設段階) を詳細に算定すれば、RICS^{4.1)}や HCTEC^{4.2)}等の手法によりステージ B～D は半自動的に算出可能である。ただし、維持管理段階での工夫による CO₂削減が評価しにくいと考えられるため、この場合にはステージ B も含めて松 ver.の検討が必要と考えられる。
- ・ 長寿命化によるホールライフカーボン削減効果を評価する場合にも松 ver.が必要と考えられる。
- ・ 低炭素材料を用いる場合のホールライフカーボン削減効果については、まずは松 ver.で詳細に算出して確認する必要があると考えられる。
- ・ 松 ver.による算定は原単位があれば可能であるが、これには詳細設計が必要となる。しかし、その段階で排出量を削減するために構造変更や抜本的な材料の変更を行うことはまずない。
- ・ 道路橋の橋梁形式の選定では、平米単価による経済比較が行われることが多い。その後のスパン割等の構造形式検討では、スパンに応じて経験的に概算した材料の数量(コンクリート体積、鉄筋重量、鋼材重量)を基に工事費を算出する。これと同様な原単位があれば、構造計画時にも竹 ver.により排出量が算出できる。
- ・ ステージ C および D については、データが不足していることが RICS や HCTEC でも指摘され、これらにデフォルト値(竹 or 梅 ver.)が示されている。本 WG における松 ver.でもこれらを参考にしたデフォルト値を用いることになると考えられる。

(2) ホールライフカーボンの算定期間とライフサイクルシナリオについて

ホールライフカーボンを算定するためには、その条件として対象とする期間、およびステージ B (使用段階)における維持管理シナリオなどのライフサイクルシナリオを設定する必要がある。各委員会で試算するホールライフカーボンを横並びで議論する上では、基本的な算定条件を統一することが求められ、まず算定の対象期間について議論した。

土木構造物は、あらかじめ設定された設計耐用期間にわたり要求性能を満たすよう設計され、設計耐用期間は 100 年と設定されることが多い。しかし、各要求性能を満たし、設計基準等で定められる構造細目の規定を順守して設計された構造物の実耐用期間は設計耐用期間を大幅に超えることがあることや、道路橋などでは 100 年を超えて供用し続けようとするのが構造物管理の実態であることから、設計耐用期間をホールライフカーボンの算定期間とするのは適切ではないという意見があった。100 年を超える期間を設定するとして、では何年(200 年、300 年、あるいは 500 年)を対象とするのが適切かについて結論を得るまでは至らず、今後の検討課題として残ったが、暫定的に 300 年を対象として試算を行うこととした。

ライフサイクルシナリオについては、構造物の用途や形式、使用材料によって維持管理シナリオが異なる

と考えられることから、各委員会で個別に検討したものを持ち寄り、共通する項目などについては擦り合わせを行うこととした。ただし、維持管理シナリオの設定においては、適切な施工、維持管理がなされることを前提とすることを共通条件にすることとした。

4.3 鋼道路橋を対象とした試算

(1) 目的

土木構造物のカーボンニュートラルに向けた取組みに資する技術資料は、個々個別に点在しており、事業の参考にしづらいところにある。また設計基準や構造などの影響についてどの程度の差異が発生するか不明瞭なところである。

材料の適正量での使用はカーボンニュートラルに向けて効果的であることから、鋼構造物を対象に、海外における設計基準に基づく設計と国内基準に基づく設計との使用材料量の差異を算定した。次いで、鋼構造における CO₂ 削減効果の大きい施策として既往の検討で有効性が確認されている長寿命化に着目し、長寿命化を図る仕様での維持管理シナリオの策定とともに、仕様毎の CO₂ 排出量の縮減に向けた素材選定や縮減効果の評価に向けた試設計を行った。

なお、試設計の対象は以下とした。

- ・ 試設計①：NetZero 橋梁 WG で設計された単純合成桁 I 桁橋（RC 床版）の H29 道路橋示方書（以下、H29 道示）比較モデル（上部工のみ）
- ・ 試設計②：床版形式、継手形式、材質が異なる 3 径間連続合成桁（自動車専用道）（上下部）

(2) NetZero 橋梁 WG での成果との比較検討用の試設計結果（試設計①）

同一条件下にある橋梁において、日本国内における設計基準である道路橋示方書による設計とアメリカの設計基準となる AASHTO での試設計を行うことで、日本国と米国との橋梁における使用材料の差異を算定した。

1) 検討内容

① 設計条件

AASHTO 設計基準で設計された主要諸元と設計条件を表 4.2 と以下に示す。本検討では、NetZero 橋梁 WG で設定された板厚構成をそのまま概算設計ソフトに入力し鋼重算出をした。参考に本板厚構成の橋梁に、下記死荷重および B 活荷重を載荷した場合の H29 道示による応力計算も実施する（以降、復元設計（AASHTO 設計基準）と呼ぶ）。

表 4.2 AASHTO 設計基準の設計条件

| | |
|-------|----------------------|
| 橋梁形式 | 鋼単純合成 I 桁（従来桁） |
| 床版形式 | RC 床版 |
| 支間長 | 37.0m |
| ブロック割 | 5@7.4m |
| 総幅員 | 15.5m |
| 有効幅員 | 14.5m |
| 主桁本数 | 5 主桁 |
| 主桁間隔 | 1050 + 4@3350 + 1050 |
| 現場継手 | 溶接 |
| 設計基準 | AASHTO |
| 基本材質 | ASTM A709 Grade 50 |

- ・ RC 床版厚：230mm（上記，主桁間隔を前提とした AASHTO 準拠の設計計算に基づく。）
- ・ ハンチ厚：12.5mm
- ・ 舗装厚：12.5mm
- ・ 壁高欄種別：コンクリート高欄
- ・ 鋼主桁断面諸元（桁高：1800mm，上 FLG 幅：400mm，下 FLG 幅：400mm）
- ・ 荷重条件：死荷重・活荷重（簡便のため，クリープ・乾燥収縮・温度・風・地震は未考慮）
- ・ 荷重強度：舗装 22.5kN/m²，RC 床版 24.0 kN/m²
- ・ 仮定鋼重：床版面積当たり 1.20kN/m²；25psf（NSBA Steel Span Weight Curves 参照）

② 復元結果（AASHTO 設計基準）

橋梁一般図を図 4.1 に示す。復元設計（AASHTO 設計基準）では，制限値を部分的に超過する結果となった。なお，最大超過率は G1 及び G5 の Sec-2,Sec-4（赤枠）で約 18%であった。

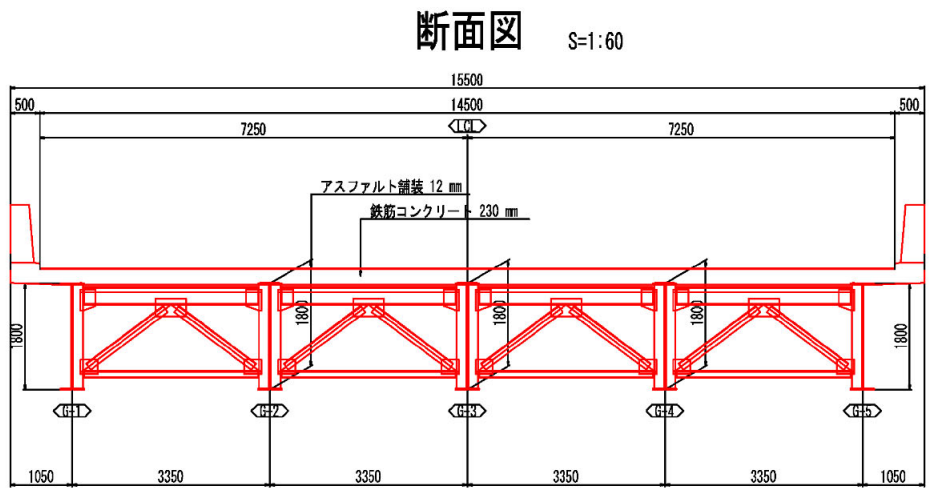
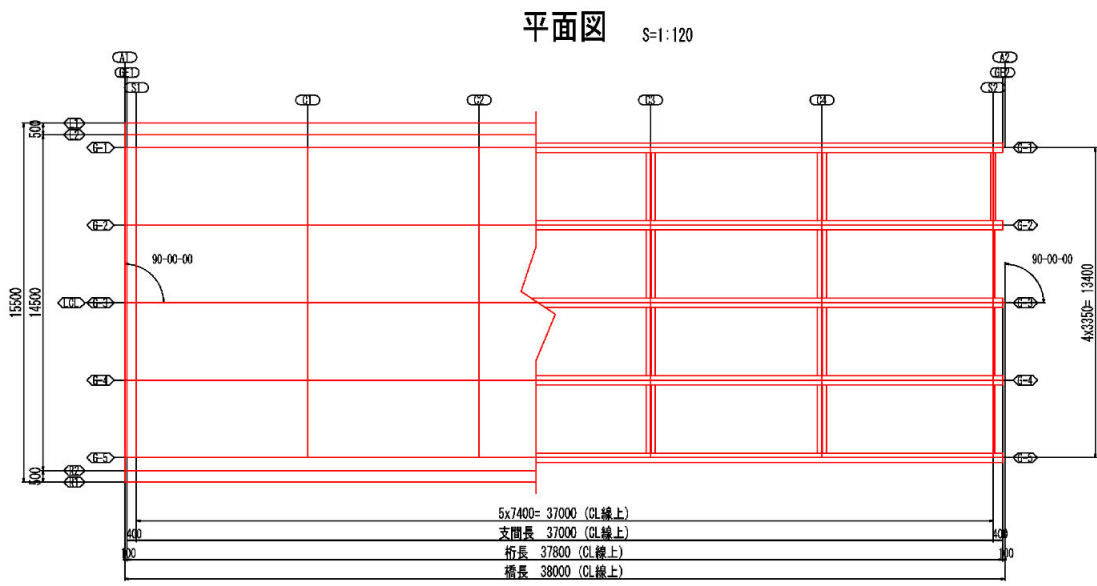
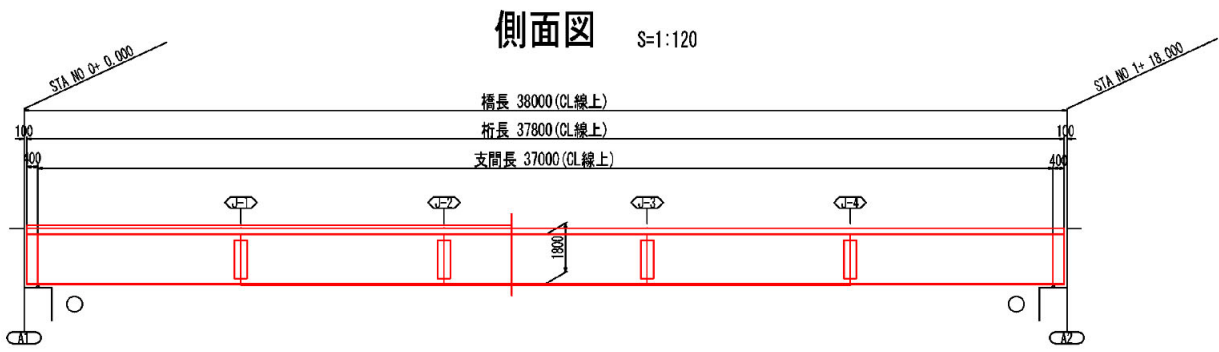


図 4.1 橋梁一般図

③ 試設計 (H29 道示基準)

作成した復元設計 (AASHTO 設計基準) に対して、応力の制限値を満足するように、諸元を調整した (以降、試設計 (H29 道示基準) と呼ぶ)。具体的には、復元設計 (AASHTO 設計基準) では Web の応力に余裕があったため、Web の板厚を H29 道示で定められている鋼材の最小板厚以上及び市場品を考慮して 9 mm と設定した。その他、フランジ幅及び厚さの調整も行った。

2) 検討結果

試設計の結果、概算鋼重は、復元設計 (AASHTO 設計基準) で 112.69t、試設計 (H29 道示基準) で 108.52t となり、試設計 (H29 道示基準) のほうが約 4% 軽くなる結果となった (表 4.3)。

表 4.3 鋼重比率

| 設計名 | 鋼重 (t) | 比率 |
|--------------------|--------|------|
| 復元設計 (AASHTO 設計基準) | 112.69 | 1.0 |
| 試設計 (H29 道示基準) | 108.52 | 0.96 |

また、デザインデータブック (2021) ^{4.3)} に掲載されている単純合成 I 桁橋の支間長と橋面あたり鋼材質量の集計結果を図 4.2 に示す。図 4.2 には今回行った復元設計 (AASHTO 設計基準)、試設計 (H29 道示基準) をプロットする。復元設計及び試設計ともに回帰曲線 ($13.0 < W$) より僅かに下回る結果であった。

(1) 単純合成 I 桁橋

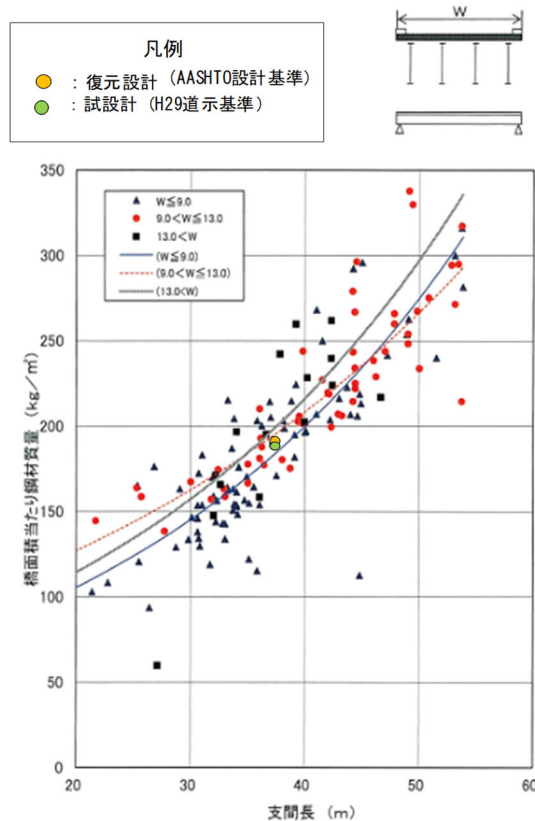


図 4.2 支間長と橋面あたり鋼材量の関係 ^{4.3)}に加筆

(3) 3 径間連続合成桁（自動車専用道）の試設計結果（試設計②）

連続桁の床版形式や継手形式の違いが、CO₂ 排出量算出にどのような影響を与えるかを確認するため、試設計を実施し、各型式の概算鋼重を算出した。

試設計は概算設計ソフト（APOLLO Super Planner 横河ブリッジ技術情報）により実施した。

1) 検討内容

① 試設計モデル

検討するモデルは主桁材質、床版形式、継手形式を考慮し 8 モデルとした。モデルの内訳は下記の通りとした。

表 4.4 各モデル諸元

| 検討モデル | 主桁材質 | 床版形式 | 継手形式 |
|----------|--------|------------|------|
| モデル 2-①W | SM490Y | RC 床版（多主桁） | 溶接 |
| モデル 2-①B | SM490Y | RC 床版（多主桁） | ボルト |
| モデル 2-②W | SM490Y | PC 床版（少主桁） | 溶接 |
| モデル 2-②B | SM490Y | PC 床版（少主桁） | ボルト |
| モデル 2-③W | SM570 | PC 床版（少主桁） | 溶接 |
| モデル 2-③B | SM570 | PC 床版（少主桁） | ボルト |
| モデル 2-④W | SM490Y | 鋼床版（少主桁） | 溶接 |
| モデル 2-④B | SM490Y | 鋼床版（少主桁） | ボルト |

② 設計条件

試設計を行うための設計条件および荷重条件を表 4.5 に示す。

表 4.5 設計条件（1/2）

| | | | | |
|------|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| パターン | モデル 2-① | モデル 2-② | モデル 2-③ | モデル 2-④ |
| 比較主旨 | 標準モデル | 高耐久性床版 | 高耐久性床版 高張力鋼 | 軽量 |
| 橋梁形式 | 3 径間連続合成 I 桁橋 | | | |
| 床版形式 | RC 床版 | PC 床版 (場所打ち) | PC 床版 (場所打ち) | 鋼床版 t=16 mm U リブ |
| 支間長 | 40m + 50m + 40m | | | |
| 部材寸法 | 最大 13.5m×3.5 (高床式セミトレーラ横積みでの輸送) | | | |
| 総幅員 | 10.7m | | | |
| 有効幅員 | 9.81m | | | |
| 主桁構成 | 多主桁 | 2 主桁 | | |
| 現場継手 | 溶接 / ボルト | | | |
| 設計基準 | H29 道示 | | | |
| 基本材質 | SM490Y | SM490Y | SM570 | SM490Y |

表 4.5 設計条件 (2/2)

| 項目 | | 内容 |
|---------------------|----------|---|
| 活荷重 | | B 活荷重 |
| 死荷重 | アスファルト舗装 | 80 mm (22.5kN/m ³) |
| | 床版 | RC/PC 床版 24.5kN/m ³ |
| | 壁高欄 | フロリダ型壁高欄 (SB 種) 鉄筋コンクリート 24.5kN/m ³ |
| | 型枠 | 1.0 kN/m ² |
| クリープ係数 | | $\phi=2.0$ |
| 床版コンクリートと 鋼桁の温度差 | | 10°C |
| 乾燥収縮度 | | $\epsilon_s=20.0 \times 10^{-5}$ (最終収縮度) |

③ その他項目の設計条件の検討

設計条件で指定されていない項目については各種要領や過年度成果を確認し項目を検討した。その結果を表 4.6 に示す。

表 4.6 検討した設計条件

| 項目 | モデル 2-① (W,B) | モデル 2-②,2-③ (W,B) | モデル 2-④ (W,B) |
|----------------|---|--|----------------|
| 床版形式 | RC 床版 | PC 床版 | 鋼床版 |
| 主桁間隔 | 2.9m | 6.0m | |
| 主桁本数 | 4 主桁 | 2 主桁 | |
| 部材長 | 最大 13.5m | | |
| 桁高 | 2.9m (支間長/17) | 3.1m (支間長/16) | |
| 設計基準強度 | RC 床版 : 30N/mm ² | PC 床版 : 40N/mm ² | - |
| 床版鉄筋配置 | 支点部 : D19ctc100mm 中間部 : D19ctc100mm | 支点部 : D25ctc100mm 中間部 : D25ctc100mm | - |
| 最小腹板厚 | 14 mm (SM490Y) | 15 mm (SM490Y) 17 mm (SM570) | 15 mm (SM490Y) |
| フランジ幅 | 鋼道路橋設計便覧より, 桁高比 1/3~1/5 で設定 | | |
| 板厚および材質 の設定 | 最低板厚は 9 mm とし, 1 mm ピッチで設定。また 1 ブロック 1 断面とし, 材質は橋梁単位で同一とした。 | | |

④ 主桁間隔

④-1 2 主桁橋

NEXCO 設計要領二集橋梁建設編 7 章 4-1-2 主桁配置と断面形状の細目に「一般的な 2 車線の高速道路では, 床版応力のバランス及び両主桁の断面バランスなどから, 主桁間隔を 6.0m にすることが多い。」と記

載されていることと、設計事例として収集した圏央道の事例（新利根川橋）の主桁間隔も 6mであったことから、6mを採用した。

④-2 4主桁橋

「道路の標準幅員に関する基準(案) 道路局企画課長通達」より主要幹線道路の幅員構成を図 4.3 に示す(デザインデータブック (2021) 3-1 幅員構成と標準桁配置^{4.3)}。本設計条件と同じ総幅員 10.7mの桁配置を踏襲し、主桁間隔 2.9mを採用した。

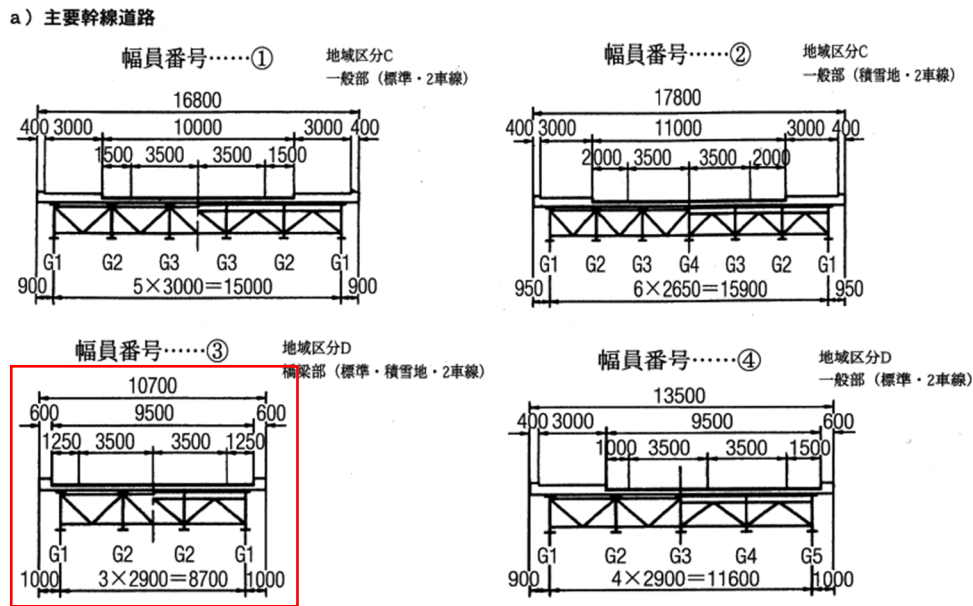
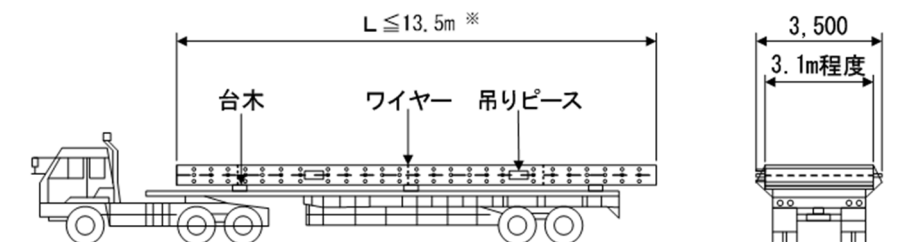


図 4.3 幅員構成と標準桁配置^{4.3)}

⑤ 部材長

高床式セミトレーラでの輸送（横積み）を想定し、部材長最大寸法を 13.5m として検討した。また、中間支点上にジョイントが配置されないように留意しながら、ブロック数が少なくなるようなブロック割とした。



※ 陸上輸送における鋼板輸送の積載条件。高床式セミトレーラの許容輸送長は 14.105m。

図 4.4 I 桁断面主桁の横積輸送（高床式セミトレーラ）

⑥ 桁高

NEXCO 設計要領二集橋梁建設編 1 章 4-4-1 選定の基本方針に記載されている上部構造形式とその適用支間で定められている桁高スパン比の目安を採用し以下の通り設定した (図 4.5).

- RC 床版 : 50m/17=2.941m ⇒2.9m
- PC 床版, 鋼床版 : 50m/16=3.125m ⇒3.1m

| 形式 | 支 間 ³⁾ (m) | | | | | | | | | | | 曲線適否 ²⁾ | 桁高スパン比の目安 |
|----|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---|--------------------|----------------------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | | | |
| 鋼 | 単純 I 形断面主桁 | | | ■ | ■ | | | | | | | △ (○) | 1/17 4) (1/18) |
| | 連続 I 形断面主桁 | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | × | 1/16 4) (1/17) |
| | 単純箱形断面主桁 | | | | | ■ | ■ | | | | | ○ | 1/22 |
| | 連続箱形断面主桁 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ○ | 1/23 |
| 橋 | 連続トラス | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | × | 1/10 |
| | アーチ ¹⁾ | | | | | | | | | ■ | ■ | × | 1/6.5 |

図 4.5 上部構造形式とその適用支間

⑦ 桁高

NEXCO 設計要領二集橋梁建設編 3-2 より RC 床版を 30N/mm², PC 床版を 40N/mm² とした.

⑧ 床版鉄筋配置

NEXCO 設計要領二集橋梁建設編 8 章 4-2 鉄筋の配置より, 最大鉄筋径は D25, 鉄筋最小間隔は 100 mm とした.

⑨ 腹板

水平補剛材は 1 段とし, 板厚は H29 道示の最小板厚を満足するように設定した (表 4.7).

表 4.7 鋼桁の最小腹板厚 (mm)

| 鋼種 | SS400 SM400 SMA400W | SM490 | SM490Y SM520 SMA490W | SBHS400 SBHS400W | SM570 SMA570W | SBHS500 SBHS500W |
|-----------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 水平補剛材のないとき | $\frac{b}{152}$ | $\frac{b}{131}$ | $\frac{b}{124}$ | $\frac{b}{117}$ | $\frac{b}{110}$ | $\frac{b}{107}$ |
| 水平補剛材を 1 段用いるとき | $\frac{b}{256}$ | $\frac{b}{221}$ | $\frac{b}{208}$ | $\frac{b}{196}$ | $\frac{b}{185}$ | $\frac{b}{180}$ |
| 水平補剛材を 2 段用いるとき | $\frac{b}{311}$ | $\frac{b}{311}$ | $\frac{b}{293}$ | $\frac{b}{276}$ | $\frac{b}{260}$ | $\frac{b}{253}$ |

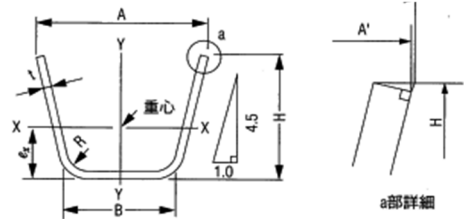
ここに, b : 上下両フランジの純間隔 (mm)

⑩ 鋼床版

鋼床版は, H29 道示に則り, デッキ厚は 16 mm, 縦リブは閉断面リブ U-320×240×8 を採用した.

(2) U形鋼 (JSS II 08-1983)

標準長さ：9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0 m



| 呼び名 | 寸法 mm | | | | | | 断面積 cm ² | 単位 質量 kg/m | 断面性能 | | 展開幅 断面積/t mm |
|--------------|-------|-------|-------|-----|---|----|------------------------|------------------|---------------------------|---|--------------------|
| | A | A' | B | H | t | R | | | 重心位置 e _x cm | 断面二次モーメント I _x cm ⁴ | |
| 320×240×6-40 | 320 | 319.4 | 213.3 | 240 | 6 | 40 | 40.26 | 31.6 | 8.86 | 2460 | 671 |
| 320×260×6-40 | 320 | 319.4 | 204.4 | 260 | 6 | 40 | 42.19 | 33.1 | 9.91 | 3011 | 703 |
| 320×240×8-40 | 324.1 | 323.3 | 216.5 | 242 | 8 | 40 | 53.90 | 42.3 | 8.99 | 3315 | 674 |
| 320×260×8-40 | 324.1 | 323.3 | 207.7 | 262 | 8 | 40 | 56.47 | 44.3 | 10.03 | 4055 | 706 |

注 1) A' および断面性能、展開幅は参考値を示す。
 2) SM400A, SM490YA 以外の材質の入手については、メーカーに確認のこと
 3) 鋼床版に用いるU形鋼では、内側半径が板厚の5倍以上であれば冷間加工を行っても良い。

(3) 大型Uリブ

| 呼び名 | 寸法 mm | | | | | | 断面積 cm ² | 単位 質量 kg/m | 断面性能 | | 展開幅 断面積/t mm |
|--------------|-------|----|-------|-----|---|----|------------------------|------------------|---------------------------|---|--------------------|
| | A | A' | B | H | t | R | | | 重心位置 e _x cm | 断面二次モーメント I _x cm ⁴ | |
| 440×330×8-40 | 440 | — | 293.3 | 330 | 8 | 40 | 74.46 | 58.5 | 12.06 | 8657 | 931 |
| 450×330×9-45 | 450 | — | 303.3 | 330 | 9 | 45 | 84.24 | 66.1 | 12.01 | 9756 | 936 |

注) 大型Uリブは鋼板にて製作する。

図 4.6 縦リブ断面形状^{4.3)}

2) 検討結果

連続桁比較検討としての試設計結果を表 4.8 に示す。主な傾向を以下に示す。

- 溶接継手に比べて、ボルト継手では 5~10%程度鋼重が増加した。
- 少主桁+PC 床版と多主桁+RC 床版では、少主桁の方が 40%程度の鋼材使用量の縮減が図れた。
 なお、本試設計において PC 床版に比べ RC 床版のウェブのせん断応力に余裕があることが原因と推定される。ただし、本試設計では桁高スパン比で桁高を設定し、ウェブ厚は最低板厚で設定しているが、RC 床版橋の桁高を小さくすることで、鋼重比率の差は小さくなると思われる。
- 鋼床版では鋼重が比較的重くなり、RC 床版の 150%の鋼重となった。これは床版材質の影響と思われる。
- RC 床版や PC 床版と比較して鋼床版では下部工反力が小さく、RC 床版や PC 床版の 70%程度の反力となった。
- SM490Y 材に比べ SM570 材では 6%程度の鋼重増加があった。高張力鋼では応力の制限値が大きい反面、ウェブの最低板厚が大きくなり、結果的に鋼重増加となった。

また、表 4.8 を基に、コンクリートおよび鋼材の CO₂ 排出原単位を一律に 341.68 kg-CO₂/m³, 1825.27 kg-CO₂/t として CO₂ 排出量を簡易的に算定した^{4.4)~4.6)}。算定結果を図 4.7 に示す。ここでは、鋼材種別やコンクリートの強度の違いによる原単位の変化を考慮していない。また材料製造に起因する CO₂ 排出量のみを取り扱っているため、施工時の CO₂ 排出量については考慮していない。したがって、結果の解釈には注意が必要である。簡易算定の結果、最小値として 544t-CO₂、最大値として 995t-CO₂ となった。このように、主桁材質や床版形式、継手形式の組合せによって 2 倍近くの CO₂ 排出量の差が生じることが分かる。したがって、設計の上流側での意思決定は極めて重要であることが分かる。

なお、試算は現在も進めているところであり、今後下部工の整理等も含めて引き続き検討を進める予定で

ある。

表 4.8 試設計結果

| 検討モデル | 主桁材質 | 床版形式 | 継手形式 | 鋼重 (t) | 鋼重比率 | コンクリート量 (m ³) ※1 | 下部工反力 (kN) (中間支点 P1) | 下部工反力比率 |
|---------|--------|------------|------|--------|------|------------------------------|----------------------|---------|
| モデル2-①W | SM490Y | RC床版 (多主桁) | 溶接 | 311.37 | 1 | 414.02 | 8199 | 1 |
| モデル2-①B | SM490Y | RC床版 (多主桁) | ボルト | 326.61 | 1.04 | 414.02 | 8283 | 1.01 |
| モデル2-②W | SM490Y | PC床版 (少主桁) | 溶接 | 206.1 | 0.57 | 490.64 | 8575 | 1.05 |
| モデル2-②B | SM490Y | PC床版 (少主桁) | ボルト | 216.88 | 0.6 | 490.64 | 8633 | 1.05 |
| モデル2-③W | SM570 | PC床版 (少主桁) | 溶接 | 213.26 | 0.59 | 490.64 | 8564 | 1.04 |
| モデル2-③B | SM570 | PC床版 (少主桁) | ボルト | 224.75 | 0.63 | 490.64 | 8626 | 1.05 |
| モデル2-④W | SM490Y | 鋼床版 (少主桁) | 溶接 | 497.74 | 1.44 | 21.42 | 5747 | 0.7 |
| モデル2-④B | SM490Y | 鋼床版 (少主桁) | ボルト | 541.11 | 1.57 | 21.42 | 6010 | 0.73 |

※1 コンクリート量は床版、地覆の合計値。下部工については、今後試算予定。

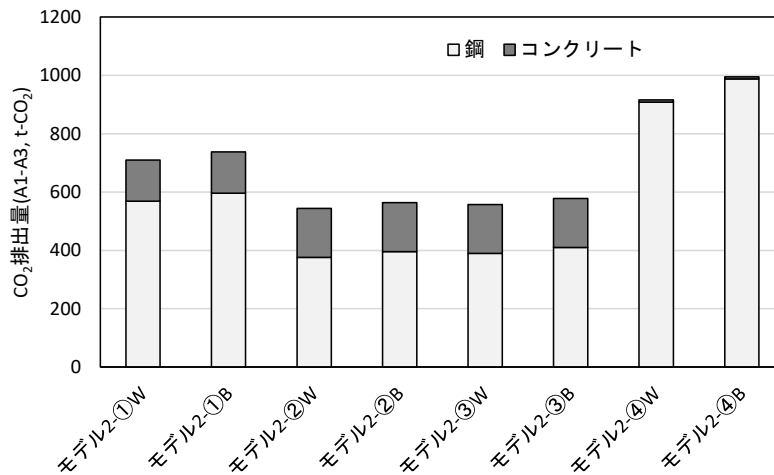


図 4.7 CO₂ 排出量算定結果 (材料起因 CO₂ 排出量のみ)

4.4 カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する基本的考え方のレビュー

ここでは、カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する基本的考え方に関して幾つかの論文等をレビューする。

図 4.8 に英国の構造技術者協会（The Institution of Structural Engineers）で示されたネットゼロ設計のヒエラルキーを示す^{4.7)}。ネットゼロ設計の最優先事項は「材料を減らす（Use less stuff）」ことであるとされている。構造物のエンボディドカーボンは構造体に用いる材料製造に伴う炭素が大部分を占めるため、構造設計者が材料使用量を減らすことが最も大きな削減効果を持つとされている。すなわち、低炭素型の材料等を使う（Specify low-impact）前に、まず材料を減らすべきであるという重要な点を示している。また、「材料を減らす（Use less stuff）」の中にも階層構造があり、まずは「建てない（Build nothing）」ことが最上位にある。すなわち、需要そのものを見直すということである。次に、「より少なく建てる（Build less）」であり、これは新設することが不可避であっても、規模・容量・要求性能を最小限に抑えることを意味する。「賢く建てる（Build clever）」では、材料効率の高い構造形式や合理的な形状の選択が求められる。「効率的に建てる（Build efficiently）」では、部材断面や構造詳細、接合方法などを最適化することで、無駄な材料を排除する段階である。「材料を減らす（Use less stuff）」の最も最下層は「廃棄物を最小化する（Minimise waste）」で、施工段階や製造段階での材料ロス・廃棄物を最小限に抑えることが含まれている。

「低炭素型の材料等を使う（Specify low-impact）」は材料量を減らしたうえで、という位置づけになっている。材料量の削減はコストにも直結することから、その観点からも構造設計の重要性は極めて高いといえる。

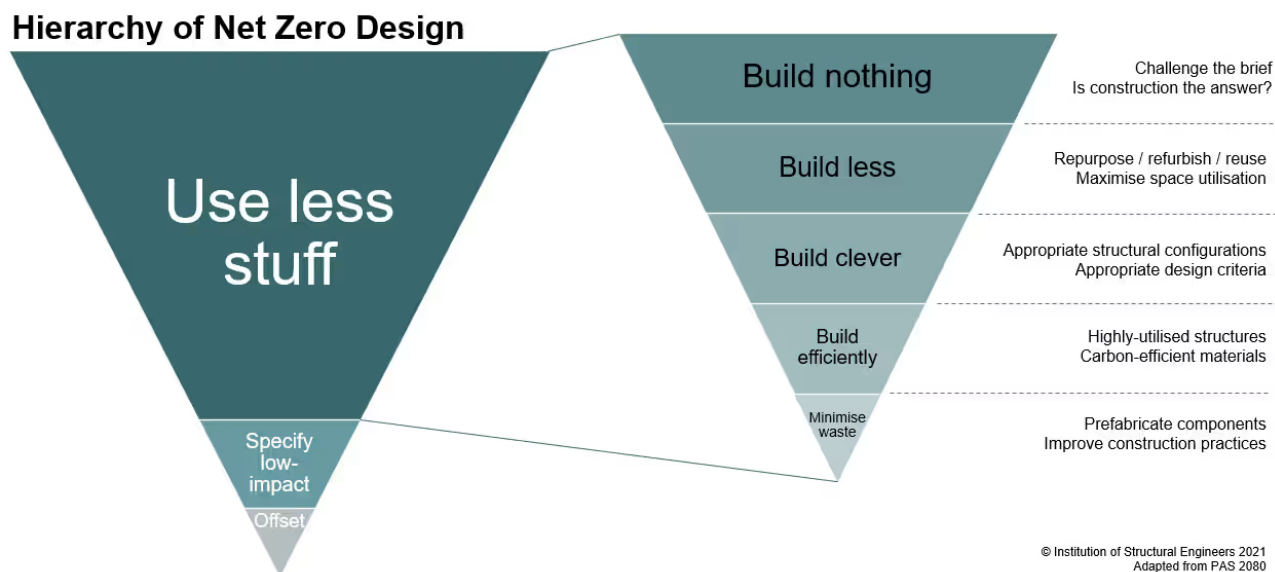


図 4.8 ネットゼロ設計のヒエラルキー^{4.7)}

Dunant ら^{4.8)}は 19 件の実際の建築物の設計データを収集するとともに、生成モデルで設計空間を構築し、50 万通り以上の代替設計を行い、複数の設計シナリオを比較している。その結果から、規則的なグリッド配置を可能な限り採用すること、デッキ技術を慎重に選択すること、また梁断面を許容限界まで使い切るような断面に調整すること、を設計初期段階で実施することが最優先の設計判断であると結論付けている。また、Nakamura ら^{4.9)}は港湾構造物の設計初期段階である構造計画段階（構造形式選定段階）を対象に、同一設計条件での構造形式比較を行うとともに、今後の材料の低炭素化の技術動向（低炭素化の度合い）によって最

適な構造形式がどのように変化するかを検討している。その結果、低炭素型材料やクリーンエネルギーの技術成熟度とその導入割合で最適な構造形式が変化し得ることを示し、将来のサプライチェーン変化等を見越した設計が必要であると結論付けている。Watari ら^{4.10)}はセメント・コンクリートを対象として、供給側と需要側双方からのアプローチが重要であるとして、需要側の削減貢献は25%程度であると算定している。それを受けて、Kasuga ら^{4.11)}はGCCA (Global Cement and Concrete Association) のロードマップも踏まえ、需要側が削減すべきCO₂量を910Mtとしており、供給側とあわせて構造コンクリート全体で2600Mtを削減する必要があるとしている。このように、需要側と供給側が協働して土木構造物のホールライフカーボンの削減を進める必要があることが提言されている。

参考文献

- 4.1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 4.2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 4.3) 日本橋梁建設協会：デザインデータブック，2021.6.
- 4.4) 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.
<https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/in-dex-j.html>
- 4.5) 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.
- 4.6) 総務省：平成27年（2015年）産業連関表－総合解説編－，2020。URL
https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/015in-dex.html
- 4.7) <https://www.istructe.org/resources/blog/the-hierarchy-of-net-zero-design/>
- 4.8) C.F. Dunant et al.: Good early stage design decisions can halve embodied CO₂ and lower structural frame's cost, Structures, 33, 343-354, 2021.
- 4.9) S. Nakamura et al.: Decision-making in structural type selection at the early design stage in terms of carbon emissions and cost -Insights from case studies of port mooring facilities-, Journal of Cleaner Production, 498, 145072, 2025.
- 4.10) T. Watari et al.: Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions, Nature Communications, 13, 4158, 2022.
- 4.11) A. Kasuga: A study on the contribution of structural concrete to reduce carbon dioxide emissions of the demand side, Structural Concrete, 26(6), 6836-6847, 2025.

第5章 カーボンニュートラルに向けた土木技術者の意識醸成

5.1 はじめに

カーボンニュートラルに向けて、土木技術者の意識を醸成することを目的として、4 研究小委員会でカーボンニュートラルに関連するイベントを開催するとともに、活動のキックオフとして「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する実施すべき事項（案）」を公表した。以下にその概要を示す。

5.2 カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する実施すべき事項（案）

2025 年 1 月 16 日に開催した「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関するパネルディスカッション」（コンクリート委員会主催）において、「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する実施すべき事項（案）」を公表した。その中では、カーボンニュートラルの実現に向けて、土木構造物の構築における各段階で検討すべき技術事項を例示するとともに、技術実装における課題を整理した。また、土木学会内外での分野横断的な連携の必要性、また社会への期待についても整理した。

以下に公表文書の抜粋を示す。なお、公表文書には前段として土木構造物の CO₂ 排出に関する現状認識の記載があるが、本報告書 1 章と重複する点があるため、ここでは割愛する。

(1) 構造系研究委員会として取り組むべき技術課題

1) 構造物スケールでのエンボディドカーボン・ホールライフカーボン評価フレーム（全体）

- ・ データベースの整備（t-CO₂eq/億円，t-CO₂eq/工種，t-CO₂eq/構造物，等）
- ・ 削減貢献量を見える化するためのエンボディドカーボン・ホールライフカーボンの評価手法の構築

2) 材料製造段階（Modules A1-A3）

- ・ セメント，鋼材の低（脱）炭素化
- ・ 各地域で産出される材料・副産物等の有効活用（地産地消の推進）

3) 設計段階（Module A0）

- ・ エンボディドカーボン・ホールライフカーボン削減の観点からの設計法の構築（低炭素材料の活用促進，炭素削減の観点からの構造設計のあり方，メンテナンス不要な高耐久化，設計供用年数の明確化，ライフサイクルにおける炭素排出を考慮した意思決定）
- ・ 既存部材の再利用とその評価技術，部材・構造物の循環利用技術，その仕組み作り
- ・ 既設構造物の機能変更に伴う構造物の延命化（既存ストックの有効活用）
- ・ 性能設計の深化

4) 建設段階（Modules A4-A5）

- ・ PCa 活用など，生産性向上による工期短縮と渋滞の早期緩和に伴う CO₂ 削減（品質や工期，人員配置が最適化された生産性向上によるサステナビリティ配慮）
- ・ 低炭素な建設機械等の活用

5) 供用段階（Module B）

- ・ 維持管理を容易にする構造，低炭素な補修材料の活用（マルチミニмумメンテナンス）

- ・ 維持補修工法の耐用年数の明示
 - ・ コンクリート等の CO₂ の吸収の考慮
 - ・ オペレーショナルカーボン, ユーザーカーボンの取扱い
- 6) 最終段階～次世代ライフサイクル (Modules C-D, 次世代の Module A)
- ・ 解体を容易にする構造, 部材の再利用を可能にする解体技術とその適用が可能な枠組みの構築
 - ・ 最終処分量の減少, 次世代への再生資源化 (サーキュラーエコノミーへの貢献)
- 7) 技術実装のための課題
- ・ カーボンニュートラルに向けた各分野での低炭素技術へのインセンティブ (カーボンクレジット/プライシング)
 - ・ 各技術の炭素排出に関する認証 (EPD など), 品質保証などの制度

(2) 土木学会内外での分野横断的な連携の必要性

土木におけるカーボンニュートラルの達成のためには, 構造系だけの検討では不十分であり, 土木学会内外における横断研究が必要である. すなわち計画段階からの CO₂ に関する検討や, 構造工学, コンクリート, 鋼構造および複合構造委員会が主として対象としていない, 他構造 (木構造, 土構造, 舗装, トンネルなど) など, 様々な分野の連携の推進が不可欠である. 例えば, グリーンインフラの積極活用, グレーインフラとのハイブリッドなどは今後精力的に進めるべき横断研究分野である.

また, 日本の土木技術, 特に防災技術は世界的にも先進的である. このような日本の特徴を活かし, 土木構造物の防災・強靱化効果の適正な評価 (大型イベント発生後の炭素排出等) の方法を整備することは世界的にも先進的である.

また, 既存のホールライフカーボン評価フレーム等を参考に, 日本に特有の事項等を考慮したホールライフカーボン評価フレームを構築し, 土木・建築での共通化を図るとともに, それを国際展開することが必要である.

(3) 社会への期待

土木は日本の様々な分野の産業の基盤となるインフラを整備してきた. このようなインフラに対する投資効果について, 改めて社会に認識してもらうことが重要である. 例えば, インフラが強靱化されれば, 常時および大型イベント発生後の速やかなサプライチェーンの確保につながり, それに伴って多くの産業でのコストや CO₂ 排出量の削減に貢献できる. インフラの強靱化を進めるため, SIB や PPP など, 民間資金を適切に活用するなどの方策も考える必要がある. そのためには, 強靱化と脱炭素を両立した社会を実現させるための市場の創出も必要である.

また, 日本は既に人口減少時代に突入しており, 社会構造も大きく変化していくものと考えられる. すべての人々の Well-being が達成される社会など, 社会のあるべき姿 (国土の姿) を示し, それに合ったインフラのあり方やそれを実現する担い手の育成についても議論を進める必要がある.

5.3 各種イベントの実施

コンクリート CN 委員会, 鋼構造サステ委員会, 複合構造 CN 委員会でカーボンニュートラルに関連するイベントを開催した. また, 構造工学 CN 委員会では, 令和 8 年度土木学会全国大会研究討論会を企画中である. 以下には, 各イベントのプログラムを示す. なお, 講演者および発表者の敬称は略す.

(1) カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関するパネルディスカッション
(コンクリート CN 委員会)

開催日：2025/01/16

趣旨説明 加藤佳孝（東京理科大学）

基調講演 春日昭夫（三井住友建設株式会社）

「カーボンニュートラルに関する国内外の動きについて」

各分野でのカーボンニュートラルへの取組み

鈴木雄吾（(株) ネクスコ東日本エンジニアリング）

「道路分野での取組み」

朝長光（(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構）

「鉄道分野での取組み」

森川忠泰（国土交通省 関東地方整備局）

「港湾分野での取組み」

パネルディスカッション

司 会：伊代田岳史（芝浦工業大学）

パネリスト：春日昭夫（前記），鈴木雄吾（前記），朝長光（前記），森川忠泰（前記），

川端雄一郎（港湾空港技術研究所）

閉会挨拶 永元直樹（三井住友建設（株））

(2) どうなる?どうする?カーボンニュートラル～カーボンニュートラルの今を知る～(鋼構造サステ委員会)

開催日：2025/10/21

開会挨拶 水口和之（鋼構造物のサステナビリティ調査研究小委員会委員長）

講演 春日昭夫（三井住友建設株式会社）

「CN 総論（海外動向など）」

中村董（港湾空港技術研究所）

「カーボン排出評価の現状」

鈴木雄吾（(株) ネクスコ東日本エンジニアリング）

「道路分野における CN」

他谷周一（東海旅客鉄道（株））

「鉄道分野における CN」

佐藤遼一（JFE スチール（株））

「鉄鋼製造における CN（水素還元を中心に）」

平野泰博（日本車両製造（株））

「鋼橋の製作・仮設における CN」

齊藤史朗（(株) IHI インフラシステム）

「鋼構造分野における CN 関連技術」

中村聖三（長崎大学総合生産科学域）

「今後の CN の方向性」

閉会挨拶 大垣賀津雄（鋼構造継続教育推進小委員会委員長）

(3) カーボンニュートラルに向けた複合構造のあり方～複合構造物・FRPのCO₂排出量の試算例～
（複合構造CN委員会）

開催日：2026/02/10

開会挨拶 大山理（大阪工業大学，複合構造委員会委員長）

貴重講演 高橋淳（東京大学）

「CNに向けたCFRP需要と関連動向（ELV規制，リサイクル，LCA）」

川端雄一郎（港湾空港技術研究所）

「土木インフラ部門のGHG排出量削減に向けて—土木学会での取組みと港湾での検討事例の紹介—」

FRP材料WG報告

松本幸大（島根大学）

「FRPの材料・製作の特徴と試算条件」

四分一祐輔（日東紡績），佐々木遼（日東紡績）

「ガラス繊維製造時のCO₂排出について」

田中剛（東レ）

「炭素繊維の製造の方法とCO₂の排出量の現状」

古屋秀樹（三菱ガス化学ネクスト）

「樹脂の製造段階における試算例」

鈴木啓之（ダイクレ）

「成形法別CO₂排出量算出の現状」

松本幸大（前出）

「まとめ，今後の検討課題」

複合構造WG報告

牧剛史（埼玉大学）

「試算の前提条件」

中村一史（東京都立大学）

「水門扉・関連施設の試算例」

久保圭吾（宮地エンジニアリング）

「橋梁用検査路の試算例」

山崎敏宏（IHIインフラシステム）

「FRP部材を用いたRC床版の補強工法のCO₂排出量の試算例」

審良郁夫（オリエンタルコンサルタンツ）

「橋梁・高架橋のCO₂排出の試算例」

阿部淳一（HRC研究所）

「鉄道複合ラーメン高架橋のCO₂排出量の試算」

牧剛史（前出）

「まとめ，今後の検討課題」

総括 北根安雄（京都大学，複合構造委員会副委員長）

第6章 まとめ

本小委員会では、土木技術者の CN への意識の醸成を高めるとともに、CN に向けた土木構造物の設計に関する基本的な考え方や CO₂ 排出量の算定方法等に関して議論し、CN に向けた土木構造物のあり方を提示することを目的として様々な検討を行った。特に、本研究を遂行するにあたって、構造工学委員会、コンクリート委員会、鋼構造委員会、複合構造委員会と連携体制を構築して構造系分野での横断的な議論を行った。以下に主な内容についてまとめる。

第 1 章では、本研究の背景と目的、また研究を進めるにあたっての研究体制や活動実績を取りまとめた。

第 2 章では、カーボンニュートラルの観点からの土木構造物の現状として、土木インフラ部門の CO₂ 排出量に関する現状や近年の動向について整理するとともに、土木インフラのライフサイクルにおける CO₂ 排出量とその特徴について、建築分野と対比しながら整理した。

第 3 章では、土木構造物のライフサイクルにおける CO₂ 排出量（ホールライフカーボン）を算定する上での基本的な考え方を整理するため、算定における課題について議論した内容を取りまとめるとともに、「土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量の算定に関するガイドライン（試案）」を取りまとめた。

第 4 章では、カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計のあるべき姿について議論するとともに、鋼道路橋を対象として試算を行い、設計における CO₂ 排出量への配慮が重要であることを示した。また、カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計に関する基本的考え方のレビューを行った。

第 5 章では、カーボンニュートラルに向けた土木技術者の意識醸成として、構造系 4 研究小委員会で開催したイベントの概要を紹介するとともに、2025 年 1 月 16 日に公表した「カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する実施すべき事項（案）」について紹介した。

最後に、本小委員会では、他構造系 3 研究小委員会と連携しながらカーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計のあり方について活発な議論を行ってきた。構造系技術者がカーボンニュートラルに向けて実施すべき事項はまだ多く残されており、今後も継続的な活動が不可欠である。委員会は 2026 年 12 月まで継続して実施する予定としており、今回取りまとめた「土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量の算定に関するガイドライン（試案）」を随時更新するとともに、カーボンニュートラルに向けた土木構造物の設計のあり方についても議論し、試算事例等とともに改めて取りまとめる予定である。

最後に、構造系 4 研究小委員会のイベントに積極的に参加いただいた会員や委員会関係者に深く謝意を示すとともに、これまでの活動や本報告書がカーボンニュートラルに向けた会員の更なる活動の発展につながることを期待される。

土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量
の算定に関するガイドライン（試案）

カーボンニュートラルに向けた土木構造物のあり方に関する研究小委員会

カーボンニュートラルに向けたコンクリート構造物のあり方に関する研究小委員会

鋼構造物のサステナビリティ研究小委員会

カーボンニュートラルに向けた複合構造のあり方に関する研究小委員会

2026 年 3 月

まえがき

本ガイドライン（試案）は、カーボンニュートラルの実現に向けて、土木構造物での温室効果ガス（GHG）排出量および削減量の算定方法を体系的に整理し、土木分野における統一的な評価の枠組みの構築を目的として取りまとめたものである。

近年、土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量評価の必要性が高まってきている一方、現状では統一的な評価の枠組み十分に整備されていない。土木構造物では、例えば道路・鉄道・港湾・空港などの交通インフラに代表されるように、交通・物流・人流といった利用者の活動を支える機能を有している。このため、利用者の活動に伴う GHG 排出量、いわゆるユーザーカーボンがライフサイクル全体の GHG 排出量に大きな影響を与える点に特徴がある。これは、主として運用時のエネルギー消費等に伴って多くの GHG を排出する建築物とは異なる特徴である。したがって、こうした土木構造物の特徴を踏まえた評価体系の整備が喫緊の課題となっている。

しかしながら、現時点では、土木分野でのカーボンニュートラルに関する研究は材料に特化したものがほとんどであり、構造的視点や設計の観点から土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量に関する研究は多くない。また、GHG 排出量または削減量を算定する上での基本的な考え方についても、必ずしも明確に整理されているとは言えない状況にある。

このような背景を踏まえ、本ガイドライン（試案）では、英国等において公表されている既存のガイドライン等を参照しつつ、土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量の算定に関する基本的な考え方の整理を試みた。ただし、日本固有の制度や事情等を十分に反映した内容には現段階で至っていない。

本ガイドライン（試案）は、あくまでも現時点での暫定版として位置付けるものであり、今後のデータ拡充や、国際動向、技術革新を踏まえ、継続的に改訂されることが望まれる。本ガイドライン（試案）が、土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量の可視化および削減方策の検討を促進し、カーボンニュートラルの実現に向けた議論の深化ならびに実務への適用拡大に寄与することを期待する。

目次

| | |
|---|----|
| 1章 総則 | 1 |
| 1.1 適用範囲と前提条件 | 1 |
| 1.2 GHG 排出量および削減量の算定におけるライフサイクルステージとモジュール | 3 |
| 2章 ライフサイクルにおける GHG 排出量および削減量の算定 | 6 |
| 2.1 GHG 排出量および削減量 | 6 |
| 2.2 算定方法 | 10 |
| 2.3 ベースラインの設定（削減量の算定） | 15 |
| 3章 各モジュールにおける GHG 排出量算定の基本的考え方 | 16 |
| 3.1 ステージ A | 16 |
| 3.1.1 モジュール A0 | 16 |
| 3.1.2 モジュール A1 | 18 |
| 3.1.3 モジュール A2 | 19 |
| 3.1.4 モジュール A3 | 21 |
| 3.1.5 モジュール A4 | 23 |
| 3.1.6 モジュール A5 | 24 |
| 3.2 ステージ B | 26 |
| 3.2.1 モジュール B1 | 26 |
| 3.2.2 モジュール B2 | 29 |
| 3.2.3 モジュール B3 | 30 |
| 3.2.4 モジュール B4 | 31 |
| 3.2.5 モジュール B5 | 32 |
| 3.2.6 モジュール B6 | 33 |
| 3.2.7 モジュール B7 | 34 |
| 3.2.8 モジュール B8 | 35 |
| 3.3 ステージ C | 37 |
| 3.3.1 モジュール C1 | 37 |
| 3.3.2 モジュール C2 | 39 |
| 3.3.3 モジュール C3 | 40 |
| 3.3.4 モジュール C4 | 43 |
| 3.4 ステージ D | 45 |
| 3.4.1 モジュール D1 | 45 |
| 3.4.2 モジュール D2 | 48 |

1章 総則

1.1 適用範囲と前提条件

- (1) 本ガイドラインは土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量および GHG 削減量を算定する際に適用される。
- (2) 本ガイドラインはコンクリート構造、鋼構造、複合構造に主に適用される。
- (3) 本ガイドラインに記載のない事項については、関係機関から発刊されている各種ガイドライン等を参照するものとする。

【解説】(1) について 本ガイドラインは主に単体の土木構造物の設計、施工、維持管理、最終段階までのライフサイクルを対象として作成されている。したがって、例えば広域での複数の構造物を対象とした計画（都市計画、道路計画、港湾計画など）の時点での GHG 排出量の算定には適していない。GHG 排出量は算定を実施する時点で算定可能な手法とそれに適したデータが必要であるが、計画時点で構造物の GHG 排出量を算定できるデータが蓄積されていないためである。本ガイドラインが今後活用されることで、各構造形式での構造物または部材の GHG 排出原単位（または GHG 排出係数）の算定法やデータベースが将来構築されることが期待される。

(2) について 本ガイドラインは構造工学委員会、コンクリート委員会、鋼構造委員会、複合構造委員会にそれぞれ設置された研究小委員会が連携して作成したものである。したがって、本ガイドラインはコンクリート構造、鋼構造、複合構造を主な対象として作成されたものであり、木構造・土構造等の他構造形式は適用範囲に含まれない。ただし、他構造形式であっても、本ガイドラインの適用が可能と判断される場合には、その根拠を提示した上で、適用することができる。

(3) について 本ガイドラインは、土木構造物に特化した GHG 排出量および削減量の基本的な考え方を示すものであるが、GHG 排出量および削減量の計算法に関しては各機関から公表されている。GHG 排出量および削減量の計算にあたっては、これらのガイドライン^{例えば 1)~6)}を参考にすることができるが、計算結果を活用する場合には、参考としたガイドラインを明記する。

例えばダムや下水道施設のように、土木構造物の運用のために建築物の設置が必要なものもあり、このような土木構造物のライフサイクルでの GHG 排出量を算定するために建築物を考慮することが適切なものもある。本ガイドラインは主に土木構造物を対象としているが、建築物に対しては日本建築学会の「建物の LCA 指針」⁷⁾を参考にするとよい。

なお、本ガイドラインの作成にあたっては、日本の土木構造分野において GHG 排出量算定に関する議論が十分に成熟していない点が依然として多いことを踏まえ、主要な考え方の多くを Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)⁸⁾および The Institution of Structural Engineers (HTCEC)⁹⁾が公表するガイドラインに依拠している。本ガイドラインでは、これらの内容を詳細には扱っていないため、必要に応じて原典であるガイドラインを参照することが望ましい。

また、近年では削減貢献量という概念もある^{10)~13)}が、本ガイドラインでは実務上の便宜を優先し、削減量の中に削減貢献量に相当する要素を一部含んでいる。したがって、削減量と削減貢献量を厳密に分離して主張する場合には、関連するガイドライン等^{10)~13)}にしたがう必要がある。

【参考文献】

- 1) 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. 2.4），2022.3.

- 2) 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. 6.0），2025.3
- 3) 国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター：インフラ分野における建設時の GHG 排出量算定マニュアル案，2024.8.
- 4) 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：港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（発注段階編），2022.6.
- 5) 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：港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（施工段階編（試行工事用）），2023.11.
- 6) 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：港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（設計段階編（試行工事用）），2024.5.
- 7) 日本建築学会：建物の LCA 指針—温暖化，資源消費，廃棄物対策のための評価ツール— 改訂版，2024.10.
- 8) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 9) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 10) The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): Guidance on Avoided Emissions Helping business drive innovations and scale solutions toward Net zero, 2025.
- 11) 建設・不動産セクターにおける削減貢献量ガイドライン検討会：建設・不動産セクターにおける温室効果ガス削減貢献量算定方法（素案），2025.6.
- 12) 経済産業省：温室効果ガス削減貢献定量化ガイドライン，2018.3.
- 13) 日本 LCA 学会：温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン，2022.3.

1.2 GHG 排出量および削減量の算定におけるライフサイクルステージとモジュール

- (1) 土木構造物における GHG 排出量および削減量を算定するにあたっては、構造物のライフサイクルを考慮しなければならない。
- (2) 土木構造物のライフサイクルは以下のステージとモジュールに分類される。
 - 1) 建設前段階 (ステージ A)
 - A0: 調査, 計画, 設計等の非物理的なプロセスの活動
 - 2) 材料製造段階 (ステージ A)
 - A1: 原材料の調達
 - A2: 工場への輸送
 - A3: 製造
 - 3) 施工段階 (ステージ A)
 - A4: 現場への輸送
 - A5: 施工
 - 4) 使用段階 (ステージ B)
 - B1: 使用
 - B2: 維持管理
 - B3: 補修
 - B4: 部材・設備等の交換
 - B5: 機能の変更・改良
 - B6: 運用時のエネルギー消費
 - B7: 運用時の水消費
 - B8: 利用者の活動
 - 5) 最終段階 (ステージ C)
 - C1: 解体・撤去
 - C2: 廃棄物の輸送
 - C3: 廃棄物処理
 - C4: 処分
 - 6) システム境界外の便益および負荷 (ステージ D)
 - D1: 再利用や再生利用, エネルギー回収など
 - D2: 構造物から供給されるユーティリティ (電気, 水など)

【解説】(1), (2) について 土木構造物における GHG 排出量および削減量を算定するにあたってはライフサイクルを適切に考慮する必要がある。図 1.2.1 に RICS¹⁾に示された構造物のライフサイクルステージとモジュールを示す。ステージはライフサイクルにおける時間軸としての大区分, モジュールは其中で生じる具体的なプロセスを表す。類似のモジュール構造は日本建築学会の「建物の LCA 指針」²⁾にも掲載されており, これは ISO21930 が元図となっている。一方, ISO21930: 2017 には建設前段階のモジュール A0 に該当する「調査, 計画, 設計等の非物理的なプロセスの活動」, また使用段階におけるモジュール B8 に該当する「利用者の活動」が含まれていない。モジュール A0, B8 は EN15643-5: 2017 で導入され, その後 RICS や HTCEC³⁾でも採用されている。A0 は一般的に考慮されることが少ないものの, 土木分野では無視することはできない量の GHG を排出している可能性がある。

特に、モジュール B8 はユーザーカーボンと称され、土木構造物では重要なモジュールである。土木構造物では、構造物を利用する活動、例えば高速道路を走行する車両の影響、発電所での燃料使用、滑走路を使用する航空機、または水処理施設での産業機械の運転など、様々な利用者の活動に起因した相当量の GHG が排出される。また、例えば道路における大規模更新や補修工事等は車両の渋滞や迂回によって、間接的に GHG 排出量が増加する恐れがある。逆に、これらの工期短縮は、間接的 GHG 排出量、すなわちユーザーカーボンの排出回避に効果がある。これらは土木構造物のライフサイクルにおける GHG 排出量を考える上での特徴の一つといえる。このように、土木構造物の GHG 排出量および削減量を算定するにあたってはモジュール B8 も適切に考慮する必要がある。

図 1.2.1 の通り、構造物のライフサイクルステージにおける GHG 排出量はホールライフカーボン (WLC) と称される。このホールライフカーボンはライフサイクルカーボンと称されることもあるが、本ガイドラインではホールライフカーボンとする。また、エンボディドカーボンは構造物に関する材料調達から建設、使用から最終段階までの GHG 排出量を示し、これには運用時のエネルギー消費や水消費 (モジュール B6-B7)、ユーザーカーボン (モジュール B8) は含まれない。また、アップフロントカーボンは材料調達から建設段階まで (モジュール A0~A5) に排出される GHG 排出量として定義される。オペレーショナルカーボンは運用時のエネルギー消費や水消費 (モジュール B6-B7) に伴う GHG 排出量を示す。建築分野においても、WLC の算定および評価に関する取組みが進められているが、本ガイドラインで対象とするモジュール構造とは若干異なる点に注意が必要である。

また、最終段階について、土木構造物では「残置」という選択肢が存在する。しかし、残置そのものが GHG 排出量に大きく影響するケースは稀であると考えられる。このため、本ガイドラインでは「残置」の取扱いについて特段の記載は設けていない。

なお、日本建築学会の「建物の LCA 指針」と本ガイドラインでは、一部で用語が異なっている。例えば、A3 については、本ガイドラインで「材料」、 「建物の LCA 指針」では「資材」という用語を用いている。また、「建物の LCA 指針」では、B2 を維持 (メンテナンス)、B3 を修繕、B4 を更新・交換、B5 を改修、C3 を中間処理、C4 を廃棄物処理、としている。これらは用語こそ異なるものの、基本的な考え方は共通している。本ガイドラインでは、土木分野における一般的な用語の使い方を踏まえ、「建物の LCA 指針」と異なる表現を採用している。

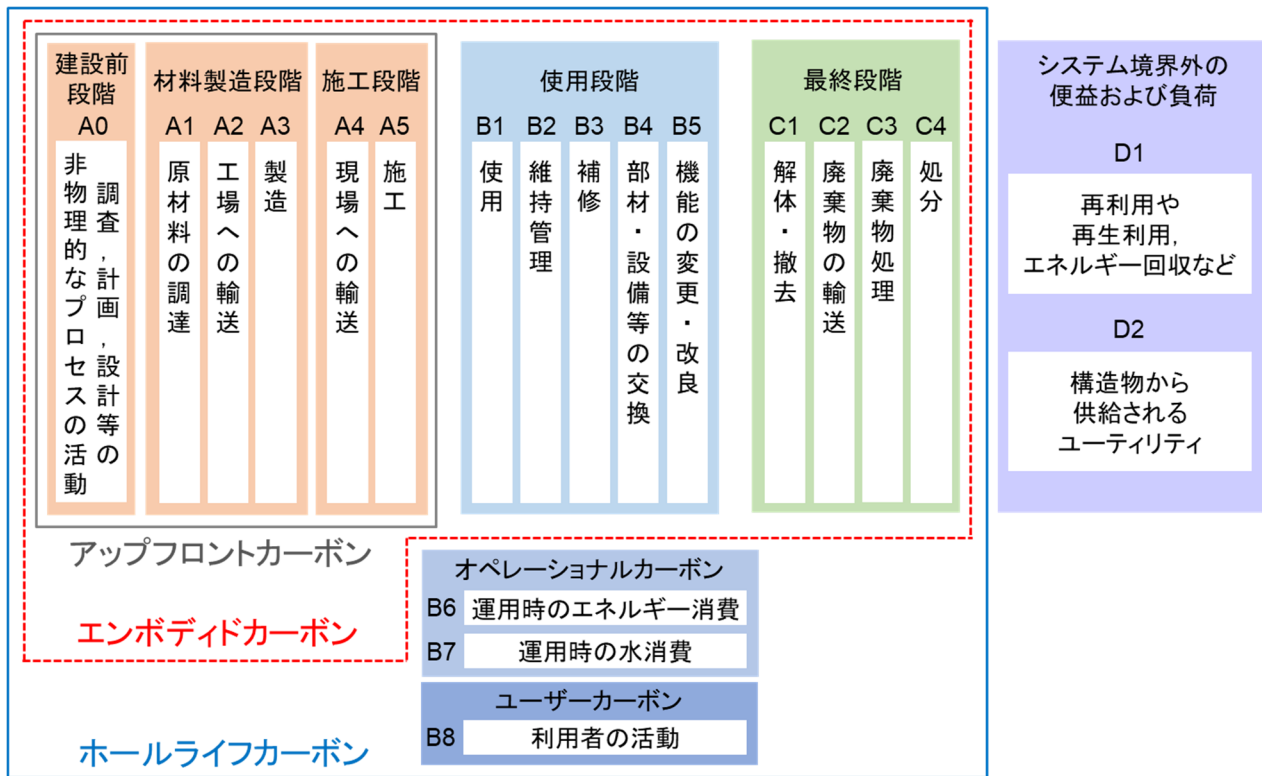


図 1.2.1 構造物のライフサイクルステージとモジュール (RICS¹⁾ を参考に和訳)

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) 日本建築学会：建物の LCA 指針—温暖化，資源消費，廃棄物対策のための評価ツール— 改訂版，2024.10
- 3) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

2章 ライフサイクルにおける GHG 排出量および削減量の算定

2.1 GHG 排出量および削減量

- (1) GHG 排出量は、土木構造物のライフサイクルを考慮して算定する。
- (2) GHG 削減量は、削減対策を講じる際に推定される、または測定された構造物の GHG 排出量を、比較用に設定した標準的な構造物の GHG 排出量（ベースライン）から差し引いて求める。
- (3) GHG 排出量および GHG 削減量の算定にあたっては、GHG 排出原単位や物質量、シナリオの不確実性を適切に考慮する。
- (4) GHG 排出量の削減対策を講じる場合には、対策が該当するモジュールにおける効果だけでなく、その他のモジュールへの波及効果も適切に考慮する。

【解説】(1)、(2)について 本ガイドラインは、土木構造物のライフサイクルにおける各段階での GHG 排出量を算定するものであり、各段階で物質量等が既知であることを前提として記載している。一方、土木構造物のライフサイクルは長期間であり、特に使用段階および最終段階に関してはデータが十分に整備されていない。このため、構造物の構築前、特に設計段階でライフサイクルでの GHG 排出量を推定することは容易ではない。

RICS¹⁾や HTCEC²⁾では、設計段階におけるライフサイクルでの GHG 排出量の事前推定にあたっては、幾つかの仮定を設けている。このため、本ガイドラインでは、一部の項目について、参考情報として RICS や HTCEC 等でライフサイクルでの GHG 排出量を事前推定する際の仮定や条件を解説にて記載している。ただし、他国と日本での設計・施工・維持管理条件等の相違等から、これらの仮定は単純に用いることができず、現状ではライフサイクルでの GHG 排出量を事前推定することは難しく、これらのデータの充実を早急に進める必要がある。

また、GHG 削減量の算定にあたっては、ベースラインの設定が不可欠である。ベースラインの設定については、2.3 を参照する。

(3)について GHG 排出量および GHG 削減量を精緻に算定するためには、材料の種類や量、施工機械の種類や稼働時間等、様々な情報が必要である。また、これらの材料等の排出原単位の精度も重要である。しかしながら、構造計画や設計段階等、土木構造物の構築プロセスにおける上流側ではこれらの情報が正確に扱えない場合がある（図 2.1.1）。したがって、これらの不確実性を適切に踏まえて GHG 排出量および GHG 削減量を算定する必要があるが、現時点ではデータが十分でなく、これらの不確実性等を提示することができない。

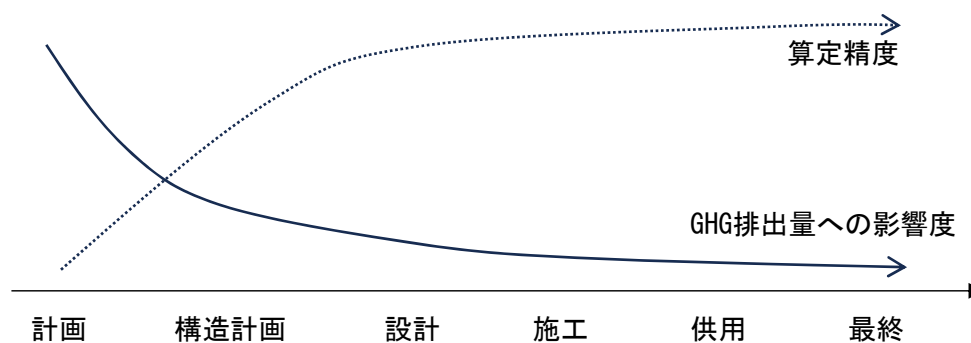


図 2.1.1 土木構造物の構築プロセスと算定精度の関係のイメージ 1)-3)を参考に作成

RICS¹⁾では、このような不確実性を考慮するため、余裕係数 (contingency factor)、炭素データ不確実性係数 (carbon data uncertainty factor)、物質量不確実性係数 (quantities uncertainty factor)、という3つの係数が導入されている。以下では、RICSにおけるこれらの係数の取扱いの概要について紹介するが、詳細はRICSを参照するとよい。

余裕係数は、プロジェクトの段階によって定まる係数であり、プロジェクトの段階が上流であるほど係数が大きい。

表 2.1.2 余裕係数の一例 (RICS¹⁾の事例)

| プロジェクト段階 | 全てのライフサイクルステージとモジュールに適用される余裕係数のデフォルト値 |
|---|---------------------------------------|
| 設計初期段階 Early design | 15% |
| 設計後期段階 (詳細設計～施工) Technical design and construction | 6% |
| 完了後 Post-completion | 0% |

次に、炭素データ不確実性係数は、構造物全体の炭素信頼性スコアを用いて決定される。構造物全体の炭素信頼性スコアは各主要製品の炭素信頼性スコアを用いて算定される。各主要製品の炭素信頼度スコアは、地理的的代表性、技術的的代表制、時間的的代表制、データ品質 (精度、検証) といった観点から 0~40 点の範囲で評価される。なお、RICS ではこれらの評価のための表が提示されているが、ここでは割愛する。主要製品ごとのスコアをそれぞれのエンボディドカーボンの量比 (A1-A5, B1-B5, C1-C4) で加重平均することで、構造物全体の炭素信頼性スコアが算出される。

構造物全体の炭素信頼性スコアと炭素データ不確実性係数は表 2.1.3 のように示されている。表 2.1.3 に示す通り、炭素信頼性スコアの数値が高いほど炭素データ不確実性係数は小さくなる。

表 2.1.3 構造物全体の炭素信頼性スコアと炭素データ不確実性係数の関係 (RICS¹⁾の事例)

| 構造物全体の炭素信頼性スコア | ≤ 10 | 10<15 | 15<20 | 20<25 | 25<30 | 30<35 | 35<40 | 40 |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 炭素データ不確実性係数 | 7% | 6% | 5% | 4% | 3% | 2% | 1% | 0 |

物質量不確実性係数についても、炭素データ不確実性係数と同様のアプローチが用いられ、各主要製品の物質量不確実性レベル (QUL) スコアを用いて、構造物全体の QUL スコアが算定される。まず、表 2.1.4 を基に、各主要製品の QUL スコアが決定される。次に、すべての主要製品の QUL スコアをそれぞれのエンボディドカーボンの量比 (A1-A5, B1-B5, C1-C4) で加重平均することで、構造物全体の QUL スコアが算出される。その後、表 2.1.5 の通り、構造物全体の QUL スコアから物質量不確実係数が選択される。

表 2.1.4 物質量不確実性スコア (RICS¹⁾の事例)

| 物質量不確実性レベル (QULs) | QUL スコア | 例 |
|--------------------|---------|--|
| 大変良い Very good | 0 | 実測値 Actual measured/delivered quantities |
| 良い Good | 1 | 設計上の測定/算定/モデル化された平均値 Design measured/calculated/modelled averages |
| 可 Fair | 3 | 推定された建物情報 Estimated building information |
| 許容範囲 Sufficient | 5 | ベンチマーク建物情報 Benchmark building information |

表 2.1.5 構造物全体の QUL スコアと物質量不確実性係数の関係 (RICS¹⁾の事例)

| | | | | | |
|----------------|------|----|----|----|-----|
| 構造物全体の QUL スコア | <0.5 | <1 | <2 | <3 | 3-5 |
| 物質量不確実性係数 | 0% | 1% | 2% | 3% | 4% |

最終的には、これら 3 つの不確実性係数の組合せが GHG 排出量の推定値に加算される。例えば、余裕係数が 6%、炭素データ不確実性係数が 4%、物質量不確実性係数が 1%であれば、合計 11%が算出された GHG 排出量に加算される。

(4) について GHG 排出量の削減対策を講じる場合、対策が該当するモジュールにおける効果だけでなく、その他のモジュールへの波及効果が生じる場合がある。方策によっては他モジュールの GHG 排出量が削減される場合もあれば、増加する場合もある。

一例として、工法選定と各モジュールへの波及効果のイメージを図 2.1.2 に示す。図において、道路橋の補修を想定し、その工法選定を行うと仮定する。工法 X は標準的に選択される工法であり、これがベースラインとなる。工法 X では、車線規制等を行って補修を行うものとする。このとき、B3 での GHG 排出量だけでなく、車両の渋滞・迂回等による間接的な GHG 排出量が付加されるため、付加分を B8 で計上する。工法 Y は工事に低炭素機械を利用するもので、低炭素機械の活用によって B3 が削減されるが、工法 Y が工法 X と同じ施工工程とすれば、車両の渋滞・迂回等による付加的な GHG 排出量は免れられない。工法 Z は急速施工を想定したもので、B3 での GHG 排出量が増加すると仮定する。しかしながら、急速施工によって車両の渋滞・迂回が緩和されれば、B8 での付加的な GHG 排出を低減することができる。工事費用は無視したとして、これらの工法選定にあたって、一つのモジュールだけで評価を行うと、工法 Y が最適な工法と判断できるが、B3 と B8 の合計で考えれば工法 Z が最適である。このような考え方は Haist らによっても提案されている⁴⁾。

このように、対策が該当するモジュール以外への波及効果を適切に考慮した上で総合的に対策の選定を行う必要がある。

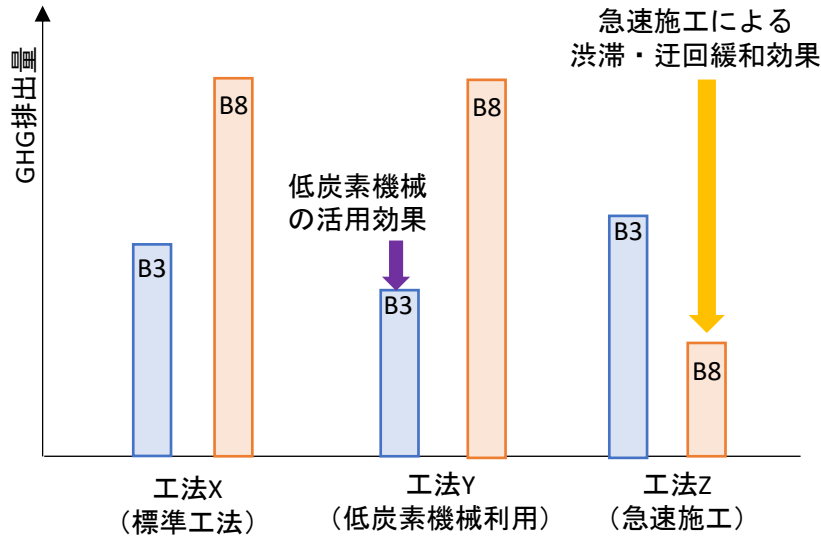


図 2.1.2 工法選定と各モジュールへの波及効果のイメージ

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 3) 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-, 2012.
- 4) M. Haist, M. et al.: Nachhaltiger Betonbau - Vom CO₂ - und ressourceneffizienten Beton und Tragwerk zur nachhaltigen Konstruktion; In: Bauphysik-Kalender, Schwerpunkt: Nachhaltigkeit, Fouad, Nabil A. (Eds.), Ernst & Sohn, Berlin, pp. 259-363, 2023

2.2 算定方法

- (1) 土木建造物のライフサイクルにおける GHG 排出量は、各活動量に GHG 排出原単位を乗じ、それらを足し合わせることで適切に算定する。
- (2) GHG 排出原単位は、信頼性、代表性、時間的適合性、地理的適合性等を考慮し、適切に設定する。

【解説】(1) について 建造物のライフサイクルにおいては、材料の製造や建設機械の稼働、材料や廃棄物の輸送等の様々な活動に伴い GHG が排出される。各活動における GHG 排出量は、活動量に GHG 排出原単位を乗じることで算定し(式(2.2.1))、これらを足し合わせることでライフサイクルにおける GHG 排出量を算定する。

$$\text{活動量}(\text{unit}) \times \text{GHG 排出原単位}(\text{kg-CO}_2\text{e/unit}) = \text{GHG 排出量}(\text{kg-CO}_2\text{e}) \quad (2.2.1)$$

GHG 排出原単位とは、活動量単位量あたりに発生する GHG 排出量であり、詳細は(2)で後述する。活動量は、各活動の特性を適切に反映する指標を設定する必要がある、その活動量に応じて GHG 排出原単位を設定する。活動量と GHG 排出原単位の設定については、文献 1)や 2)等を参考にすることができる。表 2.2.1 に、代表的な活動の活動量と GHG 排出原単位の設定例を示す。ただし、表 2.2.1 はあくまで一例であり、例えば、建設機械の稼働において電力が使用され、電力使用量が活動量となる場合もある。また、GHG 排出原単位の設定も様々な場合が想定され、例えば、建設機械の稼働において、燃料燃焼と燃料調達の両方を考慮できるように原単位が整備されているデータベースもある³⁾。

表 2.2.1 代表的な活動の活動量と GHG 排出原単位の設定例

| 活動 | 活動量 | | GHG 排出原単位 | | |
|------------|-------|------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| | 指標例 | 単位例 | 出典例※ | 単位例 | |
| 材料の製造 (調達) | 材料使用量 | (m ³), (t) | 産業関連法 DB, 積上法 DB | (kg-CO ₂ e/m ³) (kg-CO ₂ e/t) | |
| 建設機械の稼働 | 燃料燃焼 | 燃料使用量 | (l) | GHG 算定・報告 マニュアル | (kg-CO ₂ e/l) |
| | 燃料調達 | 燃料使用量 | (l) | 産業関連法 DB, 積上法 DB | (kg-CO ₂ e/l) |
| 輸送 | 燃料燃焼 | 燃料使用量 (燃料法) | (l) | GHG 算定・報告 マニュアル | (kg-CO ₂ e/l) |
| | | 輸送距離 (燃費法) | (km) | | (kg-CO ₂ e/km) |
| | | 輸送トンキロ (トンキロ法) | (t・km) | | (kg-CO ₂ e/(t・km)) |
| | 燃料調達 | 燃料使用量 | (l) | 産業関連法 DB, 積上法 DB | (kg-CO ₂ e/l) |
| 廃棄物処理 | 処理量 | (m ³), (t) | GHG 算定報告マ ニュアル サプライチェー ン DB | (kg-CO ₂ e/m ³) (kg-CO ₂ e/t) | |

※産業関連法 DB：産業関連分析により整備された原単位データベース（詳細は表 2.2.3 参照）

積上法 DB：積上法により整備された原単位データベース（詳細は表 2.2.3 参照）

GHG 算定報告マニュアル：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル⁴⁾

サプライチェーン DB：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース⁵⁾

(2) について GHG 排出原単位は、活動量の指標に応じて適切に設定する必要がある。各種データベースの値を用いるか、実測等により新たに作成した値を用いる。なお、排出原単位が満たすべき要件として、表 2.2.2 に示す信頼性、代表性、時間的適合性、地理的適合性、技術的適合性等があり、設定においてはこれらを考慮する。

データベースの値を用いる場合には、データベース毎の性質を十分理解した上で適用する必要がある。表 2.2.1 に示す産業関連法 DB と積上法 DB は多くの場面で用いられるが、これらは異なる思想に基づくものであり、表 2.2.3 に示す通り性質が大きく異なる。主要なデータベースは表 2.2.4 に示す通りであり、排出量算定の目的に合わせて適切に選定する必要がある。特に、データの整合性を考慮し、幾つかの DB を混用することは望ましくないが、やむなく混用する場合には、各 DB の適用先などを明記するとともに、GHG 排出量および削減量の算定結果の評価・解釈において混用に伴う影響を適切に考慮する必要がある。なお、これらのデータベースは随時更新されることも多い点に利用上留意する必要がある。

GHG 排出原単位は今後時間の経過とともに変化していくことが予想される。一方、土木構造物は例えば 100 年以上の使用が想定されるため、実際に使用段階、最終段階を想定して GHG 排出量を算定する際に算定時点での GHG 原単位を用いることは本来望ましくなく、将来の社会全体の GHG 排出量の変化を正しく反映することが重要である。しかしながら、現状では将来の GHG 排出量の変化を適切に反映する手法はなく、これは今後の課題である。

表 2.2.2 原単位が満たすべき条件 ^{2)に加筆修正※}

| 項目 | 基準, 要件 |
|--------|--|
| 信頼性 | データの出典・情報源等のトレースが可能であること。 |
| 代表性 | 排出原単位の入出力データが以下に示す対象時間、対象地域、対象技術を適切に代表していること。 |
| 時間的適合性 | 対象時間が算定時から逸脱していないこと。または対象時間が明記されていること。 例えば、毎年度変動する原単位については、算定時にて最も妥当（時点が近い）と考えられるものとする。また、データの更新時期が数年おきである原単位についても、算定時にて最も時点が近いと考えられるものとする。 |
| 地理的適合性 | 対象地域は当該活動が行われる地域とし、具体的な地域が明記されていること。ただし、当該活動が行われる地域における排出原単位が存在しない場合、他の地域のもので代用可能とする。 |
| 技術的適合性 | 想定されている技術や水準が明記されており、当該活動と技術範囲が一致していること。 |

※文献 2)では、技術的適合性として、「技術は算定時に存在する技術であること。」と記載されているが、その基準・要件について、土木構造物のライフサイクルに起因する GHG 排出量を評価する場合を想定した記載に変更した。

表 2.2.3 産業連関法 DB と積上法 DB

| | 方法 | メリット ²⁾ | デメリット ²⁾ |
|----------|---|---|--|
| 産業連関法 DB | 国内の各産業部門間の1年間における財・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。 | 社会に存在するすべての財・サービスの生産に伴う直接・間接的な排出量を把握することが可能。 社会に存在するすべての財・サービスの排出量を把握しているため必要な原単位を入手可能。 | 産業連関表では社会に存在するすべての財・サービスを400種類にまとめて分類しており、一つの部門に該当する商品やサービスは複数存在することが多く、原単位はそうした多種の製品の平均的な単位生産額あたりの排出量を示しており、詳細な分析は困難。 |
| 積上法 DB | 材料製造等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、足し合わせるにより算定する。 | ライフサイクルの各段階で投入した資源・エネルギー（インプット）と排出物（アウトプット）を詳細に収集・集計しているため、高精度。 現実のプロセスに対応しており、データの代表性も高い。 | ライフサイクルに含まれるプロセスは非常に複雑であり、積み上げ法により排出原単位を作成するには多大な労力が必要。 網羅的な整備が難しいため必要な原単位が存在しない可能性あり。 |

表 2.2.4 国内の主要なデータベース

(文献⁶⁾を一部編集・更新^{5),7)}するとともに、物価調査方式原単位⁸⁾を加筆)

| | 産業連関法 DB | | | 積上法 DB |
|------|---|--|---|---|
| | 3EID | AIJ-LCA | 物価調査方式原単位 | IDEA |
| 作成主体 | 国立環境研究所 | 日本建築学会 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 産業技術総合研究所 |
| 対象年 | 1990年, 1995年, 2000年, 2005年, 2011年, 2015年, 2020年 | 2015年 | 国環研 3EID と物価調査情報誌等の発行頻度に追随 | 最新年次 |
| データ数 | 390 | 574 | 物価調査の規格数に追随(数万件以上の規格数×地域別×年月別) | 約 5600 ⁷⁾ |
| 機能単位 | 生産者価格 100 万円あたり 購入者価格 100 万円あたり | 生産者価格 100 万円あたり 購入者価格 100 万円あたり 物量固有単位あたり | 物量固有単位あたり (物価調査の固有数量単位に追随) | 価格あたり 物量固有単位あたり (製品によって異なる) |
| 品質 | 全て同じ情報源（産業連関表）を用い、データの代表性、地理的有効範囲（日本平均）などの品位は高い。またデータ作成方法の一貫性がある。 | 個別作成データ（例：鉄鋼，セメント等主要資材）などの一部データを除き、全て同じ情報源（産業連関表）を用い、データの代表性、地理的有効範囲（日本平均）などの品位は高い。またデータ作成方法の一貫性がある。 | 国環研 3EID に追随（推奨されている国環研 3EID の物量原単位化と原理的に同じ）。SuMPO 第三者検証中 | 情報源（統計，実測，文献，理論計算等）が異なるため、データごとに品位が異なる。代表性，完全性 [*] ，地理・技術的有効範囲などが、きわめて品位が高いものもあれば、逆のものもある。 |

※ ISO14044: 2006 (JIS A14044: 2010) では「LCA の段階からの情報が、目的及び調査範囲の設定に従った結論を導くのに充分であること」と定義されている。

【参考文献】

- 1) 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター：インフラ分野における建設時の GHG 排出量算定マニュアル案，2024。
<https://www.nilim.go.jp/lab/pcg/img/file8.pdf>
- 2) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位について (Ver.3.5), 2025。
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/unit_outline_V3-5.pdf
- 3) 社団法人日本建築学会：AIJ-LCA 原単位データベース，2024。
- 4) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver6.0)，2025。
<https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/manual.html>
- 5) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース (Ver.3.5)，2025。
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate_05.html
- 6) 日本建築学会：建物の LCA 指針—温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール—，2024。

- 7) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 安全科学研究部門 IDEA ラボ HP.
<https://riss.aist.go.jp/idealab/outline/whatis/>
- 8) 富田興二：GHG 排出削減貢献量算定の社会実装方策関係（コード化と情報連携技術による自動算定化），
脱炭素 WG 活動報告，土木学会・日本建築学会 第 4 回 合同シンポジウム（発表者：松本亨主査），pp.7-
8，2025.12.
https://committees.jsce.or.jp/dkTF/system/files/05_%E8%84%B1%E7%82%AD%E7%B4%A0WG.pdf

2.3 ベースラインの設定（削減量の算定）

- (1) GHG 排出量の削減対策を検討する際の GHG 削減量の算定にあたっては、比較となるベースラインを適切に設定する。
- (2) ベースラインは、GHG 排出量の削減対策を検討している時点以前に決定された構造種別や諸元、使用材料などを標準条件として設定する。

【解 説】(1)、(2)について GHG の削減対策は土木構造物の設計から最終段階というライフサイクルのあらゆる段階で講じることができる。設計初期段階においては従来の標準的な構造形式が選定され、これをベースライン (BL) とすることができる。その後、設計等が進むにしたがって、GHG の削減対策が講じられれば、BL は逐次更新される。したがって、ある GHG の削減対策を講じることによる GHG 削減量を算定するにあたっては、比較用に設定する BL は最新のものを用いる必要がある。ただし、いずれの段階においても、初期 BL からの GHG 削減量を算定する必要がある場面も想定されることから、初期 BL からの GHG 排出量をいずれの段階においても併記することが望ましい。図 2.3.1 に各段階での GHG 排出量の削減対策による BL 変化のイメージを示す。

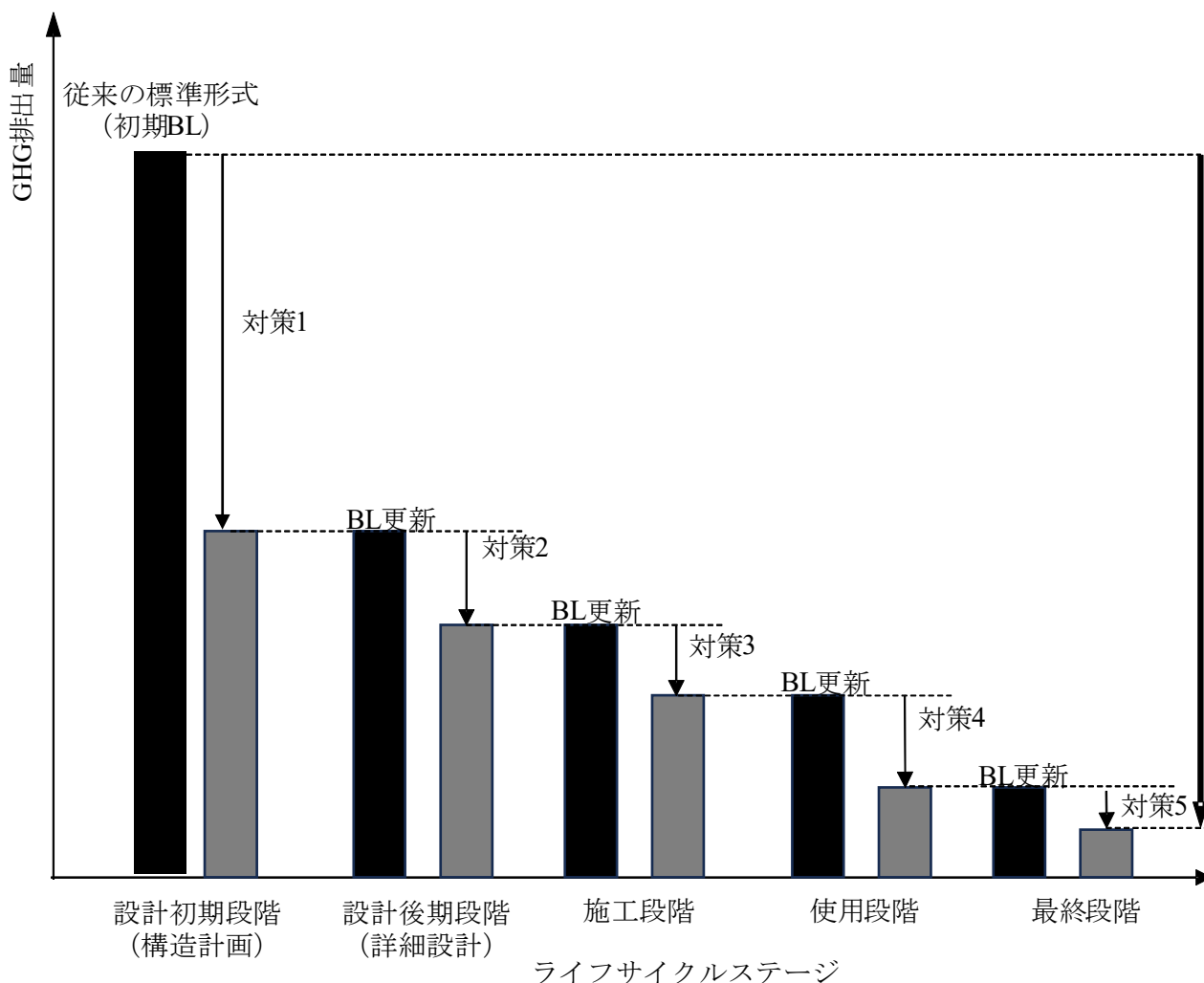


図 2.3.1 各段階での GHG 排出量の削減対策によるベースライン (BL) 変化のイメージ

3章 各モジュールにおける GHG 排出量算定の基本的考え方

3.1 ステージ A

3.1.1 モジュール A0

- (1) モジュール A0 は建設以前の調査，計画，設計等の非物理的なプロセスの活動に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール A0 では，以下の活動を主な算定対象とする。
 - 1) 予備調査
 - 2) 影響評価
 - 3) リスク評価
 - 4) 利害関係者の関与
 - 5) 設計及び技術調査
 - 6) 製品・材料試験
 - 7) 用地調査，用地の取得・設計

【解説】(1)，(2) について A0 の活動には，予備調査，影響評価，リスク評価，利害関係者の関与，設計・技術調査，製品・材料試験，用地調査，用地・設計の取得等が含まれる。

通常，土木構造物の他のライフステージと比較して，A0 における活動が GHG 排出量に及ぼす直接的な影響ははるかに小さいとされる¹⁾。例えば，HTCEC²⁾には，A0 は排出の寄与が無視できるほど小さいと仮定できるため，ほぼゼロとすることができると記載がある。しかし，日本の産業連関表を用いて部門別 GHG 排出量を計算した国立環境研究所 3EID（2015 年版，国内排出限定）^{3), 4)}を用いて試算すると，土木（固定資本形成）が直接・間接に誘発する GHG 排出量のうち A0 の主な対象である土木建築サービス部門が占める割合は 1.94% となり，ゼロとみなすにはやや大きい。したがって，モジュール A0 の GHG 排出量は，A1-A5 の排出量合計に 2.0% を乗じた量と仮定することもできる⁵⁾。なお，本ガイドラインにおいてモジュール A0 の GHG 排出量を A1-A5 の GHG 排出量合計の一定割合と仮定することは，本ガイドラインの目的に応じた簡易な取扱いに過ぎないため，適切に算定するためには，環境省が公表している「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン」に準じる必要がある。

特に大規模なインフラプロジェクト，マスタープラン及び複合用途計画，特に厳しい条件下にある構造物など，地盤調査のような非物理的プロセスが重要である場合，または設計事務所が設置される場合，および設計チームによる現場視察のために航空機による移動が必要とされる場合には，評価目的に応じてホールライフカーボンの対象範囲に含めることが推奨される。

なお，該当業務において GHG 排出量の削減対策を特に講じている場合にも同様に算定することができる。

^{注1)} 産業連関表統計における土木（固定資本形成）には，ステージ A 以外にステージ B の一部にあたる工事が含まれている。すなわち，ステージ B における設計調査（補修設計等）に起因する GHG 排出量もこの数値に含まれる。ただし，試算年度では新設工事の金額が約 7 割を占めることも踏まえ，新設以外を含む土木工事の排出量における土木建築サービスの排出量の比率を新設工事におけるデフォルト値とした。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 3) 南齋規介：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。
<https://3eid.nies.go.jp/>.（アクセス日：2025年1月）
- 4) K. Nansai. Embodied energy and emission intensity data for Japan using input–output tables (3EID). Japan: National Institute for Environmental Studies; 2019.
<<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html>> [accessed January, 2025]

3.1.2 モジュール A1

- (1) モジュール A1 は、原材料の調達に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール A1 では、鉄鋼・セメント等の原材料採取、前処理、輸送（供給）を含む。

【解説】(1), (2) について モジュール A1 は、モジュール A2（輸送）とモジュール A3（製造）を含めて「製造段階（Product Stage）」として呼ばれ、これら 3 つをまとめて「Cradle to Gate（採掘から工場出荷まで）」のプロセスに起因する GHG 排出量として扱われる。A1 の活動は、原材料の調達が対象であり、原材料の採取・前処理・供給までを含み、具体的には鉱石や木材などの「採取」、破碎・乾燥等の「前処理」および製造工場への輸送までを包含する。これは、例えばコンクリートの原材料となるセメントを製造するための石灰石の「採取」および「前処理」およびセメント工場までの「輸送」に該当する。

モジュール A1～A3 を含めた製造段階における GHG 排出量の算定の留意事項については 3.1.4 にまとめて詳述する。

3.1.3 モジュール A2

(1) モジュール A2 は、原材料の輸送に起因する GHG 排出量とする。

【解説】(1), (2) について モジュール A2 は、モジュール A1 (原材料供給) とモジュール A3 (製造) を含めて「製造段階 (Product Stage)」として呼ばれ、これら 3 つをまとめて「Cradle to Gate (採掘から工場出荷まで)」のプロセスに起因する GHG 排出量として扱われる。A2 の活動は、製品を製造するための原材料の輸送段階を対象として、原材料供給地点から製造工場までの輸送に伴う GHG 排出量を包含する。一般的に、モジュール A2 は製造段階のなかではモジュール A1, A3 に比べて割合は小さいものの、輸送距離が長い場合や重量物では影響が大きくなるため、実際の物流経路を反映することが重要となり、算定に伴う前提条件を明示する必要がある。

以降の A4, C2 にも関連するが、A2 の輸送に伴う燃料燃焼に伴う GHG 排出量の算定には燃料法、燃費法、トンキロ法などがある。このうちトンキロ法は RICS でも採用されている方法であり、貨物輸送に伴うエネルギー使用量を、輸送重量 (t) と輸送距離 (km) から算出される輸送トンキロに、燃料原単位や単位発熱量を乗じて推計するものである。算定されたエネルギー使用量に対し、燃料の使用に関する排出係数を乗じることで、GHG 排出量が求められる。なお、これら排出係数を用いた算定にあたっては、環境省「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」の最新版を参照する必要がある。

また、輸送に起因する GHG 排出量を事前に推定するため、建築物ホールライフカーボン算定ツール¹⁾では、輸送距離および輸送手段 (表 3.1.1) について以下の仮定が認められている。

- ・ 市内もしくは近隣市間に閉じることが確実な輸送の場合：30 km
- ・ 県内に閉じることが確実な輸送の場合：100 km
- ・ 県間輸送の可能性のある輸送の場合：500 km
- ・ 特定地域に限定されない場合 (国内)：1,000 km
- ・ 海外における陸送距離：500 km
- ・ 港→港：港間の航行距離

表 3.1.1 輸送手段の仮定 (建築物ホールライフカーボン算定ツール) ¹⁾を参考に、一部用語を修正

| ライフサイクル | 設定シナリオ | |
|---------|----------------------------------|----------------------------|
| A1~A2 | 輸送が陸運のみの場合 | <輸送手段>10tトラック |
| | 輸送に海運が伴う場合 (輸入先国内輸送, 生産サイト→港) | <輸送手段>10tトラック |
| | 輸送に海運が伴う場合 (国際間輸送, 港→港) | <輸送手段>コンテナ船 (<4,000TEU) |
| | 輸送に海運が伴う場合 (国内輸送, 港→納入先) | <輸送手段>10tトラック |
| A4~A5 | 材料調達輸送 | 原材料調達段階と同じ |
| | 廃棄物輸送 (施工現場→処理施設) | <輸送手段>10tトラック |
| B3~B5 | 材料調達輸送 | 原材料調達段階と同じ |
| | 廃棄物輸送 (施工現場→処理施設) | <輸送手段>10tトラック |
| C2 | 廃棄物輸送 (施工現場→処理施設) | <輸送手段>10tトラック |

モジュール A1～A3 を含めた製造段階における GHG 排出量の算定の留意事項については 3.1.4 にまとめて詳述する。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人住宅・建築 SDGs 推進センター：建築物ホールライフカーボン算定ツール操作マニュアル，2024.10.

3.1.4 モジュール A3

- (1) モジュール A3 は、材料の製造に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール A3 では、原材料が工場に届いた後、製品として完成するまでの過程を含む。
- (3) 建設工事における総材料量を事前推計する際には、設計や工事の進捗に応じて変化するため、これを適切に考慮するものとする。
- (4) 事後算定を行う場合には、建設工事完了後の確定数量で実施するものとする。

【解説】(1)、(2)について モジュール A3 は、モジュール A1 (原材料供給) とモジュール A2 (輸送) を含めて「製造段階 (Product Stage)」として呼ばれ、これら 3 つをまとめて「Cradle to Gate (採掘から工場出荷まで)」のプロセスに起因する GHG 排出量として扱われる。A3 の活動は、製造 (Manufacturing stage) を対象としており、工場内の加工・組立、エネルギー使用量、廃棄物処理、工場内輸送等に伴う GHG 排出量を包含する。

モジュール A1～A3 を含めた製造段階における GHG 排出量は、プロジェクトのライフサイクルを通じてエンボディドカーボンの大部分を占める可能性が高い。RICS¹⁾および HTCEC²⁾によれば、算定においては以下の事項に注意する必要がある。

- 1) 建設工事における総材料量を適切に考慮する必要がある。設計の初期段階では使用する材料数量が確定していない場合もあるが、設計が進行するとともに材料数量の不確実性は減少する。これを反映させるため、プロジェクトの経過に伴い定期的に数量算定を更新する必要がある。数量の更新を円滑にするためにも、関係者間で情報共有の方法等を適切に協議しておく必要がある。
- 2) 設計の初期段階では、通常、特定の製造元の製品が選択されていないため、GHG 排出量の原単位は汎用的なデータ (業界の平均値や典型的な製品のデータなど) を使用することが推奨される。
- 3) プロジェクトが進行し、調達とサプライチェーンが明確になった場合、指定された製品の GHG 排出量原単位や特定の EPD (環境製品宣言) に置き換えるなど、GHG 排出量算定の精緻化が推奨される。
- 4) 建設工事完了後には、使用材料数量が確定するため、実数量に基づいて GHG 排出量を算定する。この際、GHG 排出量の原単位は最も確からしいものを使用する必要がある。
- 5) 材料/製品の調達先メーカーが特定され、その EPD (環境製品宣言) が利用可能な場合、ISO14025 に従って第三者による検証を受けたものを使用することが望ましい。
- 6) EPD は通常 5 年間有効で、有効期限は EPD に表示される。使用するデータが入手材料/製品に合致するものであることを確認するとともに、データの有効期限も確認する必要がある。
- 7) 出典は明確に記載する必要がある。例えば、材料/製品の一部では、業界が材料/製品の数量や GHG 排出量原単位の算定についてのガイドラインを策定されている場合、業界ガイドラインを参照することが望ましいが、その場合には算定条件または算定結果に明確に明記する必要がある。
- 8) 輸送中の損失量および建設工程から生じる廃棄物の影響はモジュール A5 (施工) において考慮する必要がある。
- 9) 仮設工事に使用する材料による GHG 排出量の影響は、モジュール A5 (施工) において考慮する。
- 10) 製品や材料の再利用による代替効果はモジュール A1～A3 では扱わない。モジュール D を参照のこと。

なお、日本の鉄鋼製品に関する GHG 排出量に関しては 3)～5) のようなガイドラインがある。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 3) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼製品に関するカーボンフットプリント製品別算定ガイドライン，2025.10.
https://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/greensteel/documents/steelcfpguideline_final.pdf
- 4) 日本鉄鋼連盟：GX スチールガイドライン（旧「グリーンスチールに関するガイドライン」），2026.1.
https://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/greensteel/documents/gxsteelguideline_final.pdf
- 5) 日本鉄鋼連盟：非化石電力鋼材のカーボンフットプリント算定ガイドライン，2026.1.
https://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/greensteel/documents/nonfossilpoweredsteelguideline_final.pdf

3.1.5 モジュール A4

- (1) モジュール A4 は材料および建設資機材の現場への輸送に起因する GHG 排出量とする。
- (2) 対象とする輸送経路は、製造工場等から建設現場までの材料や建設資機材の輸送の全段階を含める。
- (3) A4 の輸送に伴う燃料燃焼に起因する GHG 排出量の算定にあたっては適切な活動量と排出原単位を用いる。

【解説】(1)、(2)について A4 は材料や建設資機材の輸送に起因する GHG 排出量を対象としており、材料・機械の一時保管のための倉庫や配送センター等への輸送の往路・復路も含まれる。複数の輸送手段を組み合わせる場合は、輸送経路に従ってそれぞれ算定し、積算する必要がある。また、経路が複雑な場合には運搬・保管のための荷役に関わる GHG 排出量を考慮することがある。A4 の適用範囲には運転手等の通勤に関わる GHG 排出量はカウントしない。

なお、輸送に起因する GHG 排出量を事前に推定する際には輸送経路の仮定に強く影響される。このため、算定精度を向上させるには、運搬実績に応じて輸送経路を修正することが重要である。また、算定精度の観点からは、実際の燃料消費量等を用いて算定することが望ましい。

(3)について A4 の輸送に伴う燃料燃焼に伴う GHG 排出量の算定にあたっては、A2 (3.1.3) を参考にすることができる。また、RICS¹⁾では、トンキロ法を用いて式(3.1.1)で算定することとしている。

$$A4 = \text{材料の質量}(a) \times \text{輸送距離}(b) \times [\text{往路炭素変換係数}(c1) + (\text{空走行係数} \times \text{復路炭素変換係数}(c2))] \quad (3.1.1)$$

ここで、材料の質量(a)については、輸送中に逸失がある場合にはそれを考慮するものとする。輸送距離(b)はプロジェクトごとのシナリオに沿って見積もる。また、RICS の前提条件として、以下の点が記載されている。

- ・ 往路(c1)は平均積載状態、復路(c2)は空荷状態としてよいこと
- ・ 船舶・鉄道・航空機を使用した場合に c2 は適用しないこと

GHG 排出原単位は算定法と輸送手段に応じて設定するものとする。また、認証された低炭素代替燃料を使う（もしくは使った）場合には、その排出係数を用いることができる。

空走行係数とは車両等が貨物の積載に使用されない（空走する）割合を指す。このとき、車両（トラック）の場合、復路の平均的な空走行係数を使用して良い。例えば RICS¹⁾および HTCEC²⁾ではイギリス国内の道路貨物輸送における空荷走行率として積載走行の 43%が示されている。その他、RICS では以下の点を仮定してよいとされている。

- ・ 復路の積載が現実的ではない車両（コンクリートミキサー車等）では 100%とする。
- ・ 一般的に船舶・鉄道・航空機は復路も積載に供されるので c2 は適用されない。このとき、復路の積載は別プロジェクトの輸送として GHG 排出量がカウントされる。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.1.6 モジュール A5

- (1) モジュール A5 は建設現場での施工に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール A5 では、以下の活動を対象とする。
 - A5.1 (建設前の解体)
 - A5.2 (建設活動)
 - A5.3 (廃棄物・建設副産物とその管理)
 - A5.4 (労働者の輸送)
- (3) A5.1 (建設前の解体) とは、既設構造物の解体・撤去、廃棄物ならびに建設副産物の運搬・処分を指し、基本的に C1～C4 と同じである。しかしながら、これらの作業が主要な工事の一部として行われる場合には、A5.1 で計上する。
- (4) A5.2 (建設活動) とは、仮設工事、地盤関連工事、対象構造物の現場での構築等、現場での建設活動を指し、施工方法を踏まえて適切に算定する。なお、仮設工事に関しては、その具体的な GHG 排出への影響が大きいと思われる場合のみ、考慮することを推奨する。
- (5) A5.3 (廃棄物・建設副産物とその管理) とは、建設現場で発生する廃棄物ならびに建設副産物の輸送と処理を指し、製品の生産 (A1-A3)、建設のための現場への輸送 (A4)、副産物の場外搬出や廃棄物処理のための現場からの輸送 (C2)、廃棄物処分または処理 (C3-C4) に関する GHG 排出量を適切に算定する。
- (6) A5.4 (労働者の移動) とは、建設現場に従事する労働者の移動および通勤を指す。これらの活動に関連する影響はプロジェクトに起因するものではなく、個々の労働者に起因するものであるため、GHG 排出量が定量化されている場合のみ、算定する。

【解説】(1)、(2)について A5 は建設現場での活動に起因する GHG 排出量であり、主に建設前の解体、建設活動、廃棄物・建設副産物とその管理、労働者の輸送を対象とする。なお、RICS¹⁾では、A5.4 に係る GHG 排出量については、任意とされている。

(3)について 既設構造物が現存する状態で、その構造物を撤去した上で構造物の新設を検討する際には、その活動に関連する GHG 排出量を A5.1 として計上する必要がある。これは、設計初期段階において、既設構造物の改修・更新案と新設案を比較検討する際意思決定に資するためである。実際の数値が入手できない場合、RICS では 35 kg-CO₂e/m² (ロンドン中心部における解体事例から算定) が、HTCEC では 17.5 kg-CO₂e/m² (RICS の数値の 50%が構造物に起因していると仮定) が推奨されている。しかしながら、これらは主に建築物の解体を想定したものであり、土木工事においては建築物の解体と当該プロジェクトの解体との違いに注意して設定する必要がある。

(4)について A5.2 では、建設活動に起因する GHG 排出量であり、建設活動に用いる燃料や電力等の使用が該当する。A5.2 について、具体的な施工方法が検討されていない段階においては、過去の類似の規模の工事事例等をもとに算定するのが望ましい。また、施工者は、正確な施工完了時における GHG 排出量または削減量の計算に資するため、建設期間中における資機材の使用量等を記録しておくことが望ましい。

A5.2 において取り扱う仮設材料の GHG 排出量は、同材料の転用回数に大きく依存する。HTCEC²⁾では具体的な数値計算方法が示されている。なお、大規模な仮設材料の使用が想定される橋梁工事においては、仮設工事に起因する GHG 排出量を詳細に計算することが推奨される。

(5)について A5.3 について、英国では、上述した廃棄物とその管理に関する GHG 排出について、材料ごとに廃棄物係数を設定し、さらに表 3.1.2 に示すような標準的な廃棄率を設定することで、GHG 排出量が

計算できるようになっている。しかしながら、廃棄率の設定については日本と異なる可能性があり、留意が必要である。また施工者は、施工完了時における正確な GHG 排出量の計算に資するため、建設期間中における廃棄物の輸送と処理量等を記録しておくことが望ましい。

表 3.1.2 主要材料とその廃棄率の例（RICS の事例）¹⁾

| 材料 | 廃棄率 |
|--------------|-----|
| 現場打ちコンクリート | 5% |
| 吹付けコンクリート | 10% |
| プレキャストコンクリート | 1% |
| 鉄骨フレーム | 1% |
| 木造フレーム | 2% |
| 木製型枠 | 10% |

(6) について A5.4 について、日本では、国土技術政策総合研究所の過去の調査³⁾にて建設工事全体の GHG 排出量に占める労働者の通勤・出張等の割合が 1%に満たないことが明らかとなっている。しかしながら、低炭素材料の利用等により建設工事全体の GHG 排出自体が削減された場合には、労働者の移動に伴う GHG 排出量が無視できない割合となる可能性があり、留意が必要である。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.2 ステージ B

3.2.1 モジュール B1

- (1) モジュール B1 は、構造物の使用段階における構成材料の GHG 排出量または吸収量とする。
- (2) モジュール B1 では、材料からの GHG の排出および吸収を主な算定対象とする。
- (3) コンクリートの炭酸化に起因する CO₂ 吸収量を推定する場合、コンクリートの配合や暴露環境等を考慮して適切に算定する。
- (4) コンクリートの炭酸化に起因する CO₂ 吸収量を測定から計上する場合、適切な分析法を適用して算定する。
- (5) 構造物の緑化等に起因する CO₂ 吸収量は適切に算定する。

【解説】(1), (2) について B1 は、使用段階において構造物の構成部材から生じる非エネルギー関連の GHG 排出または吸収が該当する。RICS¹⁾では、モジュール B1 を、材料からの GHG の排出および吸収 (B1.1) と冷媒の漏えい排出 (B1.2) の 2 つのサブモジュールに分類している。このうち B1.2 は主に建築物を対象としたものであり、冷媒や断熱から漏えいする人工ガス (ハイドロフルオロカーボン (HFC), パーフフルオロカーボン (PFC)) 等を考慮する必要がある。一方、特殊な事例を除き、土木構造物には該当しないため、HTCEC²⁾では、B1.2 は対象外としている。以上の理由から、本ガイドラインでは、モジュール B1 は B1.1 のみを算定の対象とする。なお、B1.1 は GHG の中で主に CO₂ が対象であることから、以下では CO₂ として記述する。モジュール B1.1 には、コンクリートの炭酸化や構造物表面の緑化等に起因する GHG の排出および吸収が挙げられる。

(3) について コンクリート構造物では、コンクリート中の水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) やその他の水和物が炭酸ガスと反応して炭酸カルシウムを生成する。例えば、水酸化カルシウムの場合には式(3.2.1)のように大気中の CO₂ が吸収されるため、これらを CO₂ 吸収量として計上することができる。



なお、使用段階におけるコンクリートの炭酸化速度は暴露の期間や条件、コンクリートの配合などに強く依存する。EN16757-2022 の Annex G³⁾では、使用段階のコンクリートの CO₂ 吸収について、 \sqrt{t} 則の式(3.2.2)～(3.2.3)を用いて計算する標準的な手法が提示されている。

$$d = k \sqrt{t} \quad (3.2.2)$$

ここに、 d : 中性化深さ (mm), k : 中性化速度係数 (mm/年^{0.5}), t : 時間 (年) である。

$$\text{CO}_2\text{ uptake} = k (\sqrt{t}/1000) \times U_{\text{icc}} \times C \times (D_c) \quad (3.2.3)$$

ここに、 $\text{CO}_2\text{ uptake}$: コンクリート単位表面積あたりの CO₂ 吸収量 (kg/m²), U_{icc} : セメント 1 kg あたりの理論最大 CO₂ 吸収量, C : 単位セメント量 (kg/m³), D_c : 炭酸化度である。

EN16757-2022 の Annex G では、コンクリートの強度クラスと暴露環境別で中性化速度係数 (k) と炭酸化度 (D_c) が一覧表として掲載されている。セメント 1 kg あたりの理論最大 CO₂ 吸収量 (U_{icc}) の算定においては、CEM I (日本のポルトランドセメント相当) を対象に、セメント中のクリンカー含有率が 95%、反応性 CaO が 65% と仮定して、式(3.2.4)のような計算事例が紹介されている。

$$U_{cc} = (65/100) \times 0.95 \times (44/56) = 0.49 \text{ kg-CO}_2/\text{kg-Cement} \quad (3.2.4)$$

EN16757-2022 では、これらの方法を用いて、コンクリートの炭酸化による CO₂ 吸収量を計算することができる。また、体積表面積比 (S/V) に応じて部材の CO₂ 吸収量を算定する簡易な手法も提示されている。

一方、土木学会コンクリート標準示方書[設計編]では、中性化に伴う鋼材腐食に対する照査においては、式(3.2.2)と同様にコンクリートの中性化速度係数を用いて \sqrt{t} 則で中性化深さを算定するが、設計において、CO₂ 吸収量を算定する枠組みにはなっていないため、上記のような計算を行うことは難しい。日本では、使用段階で年間 6.1Mt の CO₂ が吸収されていると試算されており、これはセメントコンクリートの年間総 CO₂ 吸収量である 8.2Mt の約 74%と試算されている⁴⁾。他研究においても、セメントコンクリート分野のライフサイクルにおける CO₂ 吸収量を統計値等から推定した結果、2020年の年間の CO₂ 吸収量はセメント製造時の焼成で排出される CO₂ 量の 13.9%に相当し、このほとんどが使用段階 (86.8%, およそ 2.3Mt/年) であるとされている⁵⁾。

なお、HTCEC では、コンクリートの炭酸化を考慮したとしても、構造物の体積に対する表面積は小さく、その吸収量は一般に排出量に対して小さいため構造材料の選定には重要ではないとされている。また、RICS¹⁾では、コンクリートの CO₂ 吸収量について、EPD または同等の情報源からのデータを使用することができるかとされているが、仮定の透明性を十分に確保すべきである。

(4) について コンクリートに吸収された CO₂ の定量については、幾つかの方法が JIS 化 (JIS A 1016 予定) に向けた検討が進められている (2026年1月9日時点⁶⁾)。ただし、同一の構造物でも、例えば、降雨が作用して高い湿潤状態が保たれている部位と、降雨が直接作用せずに乾燥状態が保たれている部位では、炭酸化による CO₂ 吸収量は異なる可能性が高い。そのため、構造物からコアを採取する際には、これらの条件を十分に考慮した上で採取箇所と採取数量を決定する必要がある。さらに、コンクリートの CO₂ 吸収量は深さ方向によっても異なることから、分析用サンプルは深さ方向の吸収量を把握できるようにするのがよい。

(5) について 陸上の植物による緑化や沿岸の海草海藻場の造成は CO₂ 吸収効果を有することが知られている。これらの緑化が構造物として関与するものであれば、モジュール B1 としてその CO₂ 吸収量を計上してよい。ただし、これらを計上するにあたっては、景観コンサルタントや生態学的調査報告書などの関連した証拠となるものによって裏付けられる必要がある。特に、構造物の設計耐用年数が 50~100 年といった長期間であることを考えれば、その吸収効果には変動があることに注意する必要がある。なお、RICS によれば、陸上構造物を対象に、緑化による炭素吸収は緑化面積が 1000 m² 未満であれば無視できるとされている。

構造物表面の緑化に起因する CO₂ 吸収量を計上する際には、維持管理で発生するバイオマス廃棄物の処理について、使用時はモジュール B2 で、最終段階ではモジュール C3 または C4 で検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 3) EN16757-2022 : Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete structures, 2022.10.
- 4) T. Watari, X. Cao, S. Hata and K. Nansai: Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions, Nature Communications, 13, 4158, 2022.
- 5) D. Sawa, N. Yamashita, H. Tanikawa, I. Daigo and I. Maruyama: CO₂ uptake estimation in Japan's cement lifecycle, Journal of Cleaner Production, 486, 144542, 2025.
- 6) 日本産業標準調査会 : 作業計画及び作成状況
<https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrWorkScheduleCreationInformation?show&pubNoticeCD=001&jiscCmtID=1000000934>

3.2.2 モジュール B2

- (1) モジュール B2 は、維持管理に関連する活動、使用される製品、および対象期間中に発生する廃棄物の処理・処分に関連する GHG 排出量とする。

【解説】(1) について モジュール B2 は、定期的かつ反復的な点検や清掃等の維持管理に関する活動による GHG 排出が該当する。なお、現状では、モジュール B2 のための GHG 排出量に関するデータを取得しにくい。モジュール B2 の関連項目としては、橋梁、トンネル等の構造物や舗装などを対象とした巡回、構造物・設備の点検、清掃、除草、剪定、除雪、落下物処理などが挙げられる。これらの項目について、GHG 排出量を定量化していく必要がある。維持管理の活動に伴うエネルギー消費や水の使用は、通常、モジュール B6（運用時エネルギー使用）および B7（運用時水使用）の算定データに合算されるため、B2 においては、当該エネルギーおよび水の使用に伴う排出量を別途計上することは原則として行わない。

B2 に関連する活動を実施した後に、モジュール B2 に関する実際の排出量データが得られる場合は、その数値を用いる。

HTCEC¹⁾によれば、建築分野では、モジュール B2 のための GHG 排出量に関するデータを得難い場合、RICS²⁾および London Plan Guidance の Whole Life-Cycle Carbon Assessments に基づき、B2 排出量は、モジュール A1-A5 排出量（アップフロントカーボン：建築物の新築時に材料の製造や運搬・施工までに排出される温室効果ガスの量）の 1%という規定値を用いることができる、としている。ただし、この規定値は英国におけるデフォルトの数値であり、他の国で適用する際には検討が必要である。

【参考文献】

- 1) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 2) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 3) London Plan Guidance: Whole Life-Cycle Carbon Assessments, March 2022.
https://www.london.gov.uk/sites/default/files/lpg_-_wlca_guidance.pdf

3.2.3 モジュール B3

- (1) モジュール B3 は、個別の損傷、消耗、または劣化した部材・設備等を修繕し、許容可能な状態に復元する補修に関連する全ての活動、使用される製品、および対象期間中に発生する廃棄物に関する GHG 排出量とする。

【解説】(1) について モジュール B3 の計算には、補修された部材・設備等の製造、現場への輸送、および設置からのすべての影響を含める必要がある。また、補修によって生じた不要な廃棄物の処分や、これらのプロセス中に発生した損傷部材・設備等の廃棄も B3 に計上する必要がある。補修に伴う構造物の GHG 排出量の算出にあたっては、補修のシナリオや補修技術に精通した専門家の助言（または、データを持っている類似の参考プロジェクトの経験）を参考に設定するのがよい。

なお、現状では、モジュール B3 も B2 と同様に GHG 排出量に関するデータを取得しにくい。モジュール B3 の関連項目としては、橋梁、トンネル等の構造物や舗装などを対象とした、個別の損傷・消耗、または劣化した部材・設備等の修繕などが挙げられる。例えば、コンクリート構造物のひび割れ補修、鋼構造物の塗装の塗り替え、舗装の打ち替えなどが含まれる。これらの項目について、GHG 排出量を定量化していく必要がある。B3 に関連する活動を実施した後に、モジュール B3 に関する実際の GHG 排出量データが得られる場合は、その数値を用いる。

RICS¹⁾および HTCEC²⁾によれば、建築分野では、モジュール B3 のための GHG 排出量に関するデータを得難い場合、B3 排出量は、関連するモジュール B2 排出量（維持管理）の 25%、MEP（熱源や電気・照明等の設備）に関しては、A1～A3 の 10%に相当する修理を仮定できるとしている。ただし、この規定値は英国におけるデフォルトの数値であり、他の国で適用する際には検討が必要である。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.2.4 モジュール B4

- (1) モジュール B4 は、構造物の使用段階における部材・設備等の交換に関する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール B4 では、使用中に必要となる以下の活動を算定対象とする。
 - B4.1 (構造物の部材や設備等の交換)
 - B4.2 (構造物の機能を実現するために構造物内に設置された機器類の交換)
- (3) モジュール B4 の GHG 排出量の算出にあたっては、対象とする構造物のライフサイクルシナリオをもとに、各部材や設備等の交換頻度を設定し、設計耐用年数全体に対して算出する。
- (4) モジュール B4 には、交換に使用する部材や設備等の製造、輸送、交換作業、撤去された部材や設備等の廃棄処理に伴う GHG 排出量を含むものとする。
- (5) モジュール B4 では、B4.1 と B4.2 を分割して算出する。

【解説】(1)、(2)について 使用時の部材・設備等の交換は、交換する部材・設備等の仕様や使用方法、周辺環境、維持管理手法等によって異なるサイクルで行う必要が発生する。本モジュールの算出では、そのライフサイクルシナリオを想定し、設計耐用年数内に発生するすべての部材・設備等の交換に関する GHG 排出量を算出する必要がある。これには、交換設備等の製造、現場への輸送、現場での交換作業、劣化した・設備等の撤去及び廃棄に伴うすべての GHG 排出量が含まれる。なお、B4 で GHG 排出量を算出する際には、モジュール A1～A5 で用いられた材料および製品のデータを用い、そのデータはモジュール C と D でも使用する。

(3)について 構造物のホールライフカーボンの算出において、その構造物の維持管理計画を含む適切なライフサイクルシナリオの設定が重要である。構造物のライフサイクルシナリオは、構造物の環境条件や重要度、使用する部材の耐久性等によって異なり、各部品や部材の維持管理手法や補修計画ならびに想定される寿命、ライフサイクルコストなどを考慮して設定される。B4 の算出においては、このライフサイクルシナリオに則り、各部材や設備等の想定交換頻度を設定し、対象期間中の交換回数を用いて算出する必要がある。なお、すでに部材や設備等の交換を実施した場合において、交換までの期間や今後の交換頻度の見直しが必要になった場合には、見直し後の計画に則ってライフサイクル全体に対して算出する。

(4)について モジュール B4 の GHG 排出量には、交換する部材や設備等の製造と交換作業だけでなく、交換する部材や設備等の現場までの輸送、取り外した部材や設備等の廃棄場所までの輸送、廃棄処理に起因する GHG 排出量をすべて含むものとした。なお、実際に部材や設備等を交換した場合には、実際の数値を用いて各項目を算出するとともに、必要に応じて将来の排出量の原単位等を見直す必要がある。

(5)について モジュール B4 の算出においては、対象となる構造物の本体の部材や設備等を交換と、構造物に設置された照明設備やガス管等の添架管のような、構造物を構成する部材や設備等の交換とは取り扱う部品や施工内容が異なり、これに伴う GHG 排出の内容も異なると考えられるため、分けて算出することを原則とした。

なお、サブモジュール B4.2 で対象とするものは、対象構造物の機能および機能を実現するために対象構造物内に設置された産業機械や電気設備等としており、水力発電所および風力発電所の発電タービンの交換などがこれに該当する。

3.2.5 モジュール B5

- (1) モジュール B5 は、使用段階で発生する対象構造物の機能の変更・改良に対する改修に伴う部材や設備等の製造・調達、改修対象物の現場輸送・設置作業等の全ての活動に関する GHG 排出量とする。

【解説】(1) について B4 が構造物の部材や設備等の交換であるのに対し、B5 は対象構造物の機能または性能の変更あるいは改良を行うものを対象とする。本モジュールの算出では、部材・設備等の製造、現場への輸送、現場での設置作業、劣化した部材・設備等の撤去及び廃棄等の改修に伴うすべての排出量が含まれる。

B5 の GHG 排出量の算定対象は、以下の活動が該当する。

- 1) 改修に使用される部材・設備等の製造・調達 (A1～A3 に相当するもの)
- 2) 改修対象物の現場輸送・設置作業 (A4～A5 に相当するもの)
- 3) 改修に伴う既存部材・設備等の撤去・解体・廃棄処理 (C1～C4 に相当するもの)

また、改修によって構造物の運用時のエネルギー消費または水の使用等が変化する場合には、モジュール B6, B7, B8 についても再検討を行うものとする。

構造物のホールライフカーボンの算出において、その構造物に将来的な機能の変更・改良による改修が見込まれている場合には、その改修および改修後の状態を踏まえた算出を行う必要がある。既存構造物を改修する場合、または改修後の構造物については、その状態を新たな基準状態として扱い、モジュール B, C, D の該当項目を再算定する必要がある。なお、改修実施後の GHG 排出量は、実際に使用した部材・設備・燃料等を用いることとし、必要に応じて将来の排出原単位等を見直す必要がある。

3.2.6 モジュール B6

- (1) モジュール B6 は、構造物の運用に使用されるエネルギーに起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール B6 の算定にあたっては、構造物の運用に係る部品や部材の消費電力等を考慮して適切に算定する。

【解説】(1) について 構造物自体の運用を支えるために必要なプロセスに要するエネルギーは、B6 に含める。例えば、道路トンネル定期点検、道路の照明、排水溝等清掃、除草、街路樹の剪定等が該当する。また治水施設では、首都圏外郭放水路や内水対策の排水機場など排水ポンプの稼働に使用されるエネルギーに起因する GHG 排出量が該当する。エネルギーの使用量は、目的とエネルギー源（電気、燃料など）を別に分類する必要がある。なお、モジュール B2（維持管理）やモジュール B5（機能の変更・改良）のために現場で消費されるエネルギーによる影響は、通常、運用に使用されるエネルギー（B6）の測定データと区別できない場合が多いため、これらは B6 にて計上する。

構造物の利用（道路を走行する自動車等）またはその提供するサービス（水処理設備の運転による飲用水の供給等）から生じる排出量は、B8 において別途計上する。構造物の運営者が管理し、かつ構造物そのものの運用を超えて、そのコア機能（構造物の機能を成立させるための構造・設備）に関連するエネルギー使用については B8 に含める必要がある。例えば、水処理施設内の工業機械からの GHG 排出などが該当する¹⁾。なお、HTCEC²⁾では B6 は算定対象外とされている。

なお、我が国におけるエネルギー起源の GHG 排出量の算定方法は、地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号）に基づく「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」における「温室効果ガス算定排出量」の算定方法等に基づいて行うこととされている（2.2）。

(2) について 構造物の設計段階では、予測的な運用エネルギーモデルを算定する必要がある。使用実績を基に GHG 排出量または削減量を算定する場合には、実際の測定データを使用することを基本とする。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.2.7 モジュール B7

(1) モジュール B7は構造物の運用に使用される水の使用に起因する GHG 排出量とする。

【解 説】(1) について 土木構造物では維持管理作業に上水等を使用している事例があり，これに起因する GHG 排出量を算定対象とする。例えば，道路の路面清掃，植栽への灌水，雪氷作業等での利用が該当する。消雪パイプからの消融雪散水は地下水を利用している。なお，モジュール B2（維持管理）やモジュール B5（機能の変更・改良）のために現場で使用される水による影響は，通常，構造物の運用に使用される水（B7）の測定データと区別できない場合が多いため，これらは B7 にて計上する。

構造物の設計段階では，多様な維持管理条件下での潜在的な維持管理時の水の使用量を予測して算定する。水の使用頻度や使用量等は交通量や自然条件により異なるので，類似する事例での実績値を根拠に活動量を仮定して GHG 排出量を推計するのがよい。使用実績を基に GHG 排出量または削減量を算定する場合には，実際の測定データを使用することを基本とする。

3.2.8 モジュール B8

- (1) モジュール B8 は構造物の利用者に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール B8 では、以下の活動を主な算定対象とする。
インフラ資産/土木工事におけるユーザー活動：
B8.1 利用者活動：エネルギー関連の影響
B8.2 利用者活動：その他の影響
- (3) モジュール B8 の算定にあたっては、構造物の利用者のエネルギー利用に関する条件を適切に設定して算定する。
- (4) モジュール B8 で GHG の削減対策を行う場合には、参照される標準条件を適切に設定して算定する。

【解説】(1) について 土木構造物は通常、特定の機能やプロセス（サービス）を実現するために建設される。例えば、貨物や人の輸送、エネルギーの生成、水や廃棄物の処理などである。このため土木構造物の使用段階における GHG 排出には、土木構造物の維持管理自体に必要なエネルギー関連の影響（いわゆる「シェル」で、B6 と B7 で計上）と、サービスを提供するために必要なプロセスおよびその利用者が行う活動の影響（B8 で計上）の2つがあるが、これらを区別するのが難しい場合がある。例えば、発電所の建物自体（シェル）は、発電というサービスを提供するための施設であり、どこまでが建物の運用（B6）で、どこからがサービス提供（B8）なのか、線引きが難しい場合がある。なお、RICS では、「評価対象資産に関連するユーザー活動の影響の定量化は任意である」としている¹⁾。また、構造物の設計段階でモジュール B8 の GHG 排出量の削減対策は困難な場合があることから、HTCEC では構造技術者の管轄外とされている²⁾。一方、部材の補修や交換を想定したとき、短期間の工法選定は渋滞の緩和等に貢献し、B8 の GHG 排出量が削減される可能性がある。なお、モジュール B8 は「利用者による構造物の利用に起因する GHG 排出量」であることに留意する必要がある。

(2) について 構造物の運用に必要なプロセスのエネルギー消費（例えば道路照明）については B6 として計上すべきであるが、構造物の利用（サービス）に関するエネルギー消費は B8.1 で計上すべきである。これには、高速道路を走行する車両の影響、発電所での燃料使用、滑走路を使用する航空機、または水処理施設での産業機械の運転等が含まれる。エネルギー関連以外の影響（例えば、インフラ資産内のシステムで発生する化学プロセスによる影響等）は、B8.2 に記載する必要がある。これには、セメント製造施設における石灰石の焼成による脱炭酸、石油精製所における化石燃料の精製、または下水処理施設における水処理システムで使用される化学製品等、製造プロセスの一部として発生する化学反応による GHG 排出または除去が含まれる。

なお、例えば発電所から生成されるエネルギーや水処理施設から供給される飲用水等、インフラ資産で生産されるサービス（ユーティリティ）については、B8 では当該構造物から供給されるサービス（ユーティリティ）の量として報告され、D2 ではその使用に関連する便益または負荷として報告する必要がある。RICS¹⁾では、より大きなインフラプロジェクトの一部を構成する建物に関する利用者の活動に起因する GHG 排出量は、建物向けの B8 で計上することとされているが、本ガイドラインは土木構造物を主に対象としていることから、ここでは割愛する。必要に応じて RICS を参照するとよい。

(3)、(4) について GHG 排出量の削減量の算定にあたっては、公共事業に関する費用対効果分析マニュアル等^{例えは3)~5)}を参照し、脱炭素技術が採用されない場合の GHG 排出量（ベースライン）から、採用される場合の GHG 排出量を減じた差として算定してよい。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.
- 3) 国土交通省道路局・都市局：費用便益分析マニュアル，令和7年8月
https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001983.html
- 4) 国土交通省鉄道局：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012年改訂版）（2025年3月一部変更），
2012年7月
<https://www.mlit.go.jp/common/000224631.pdf>
- 5) 国土交通省港湾局：港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル，令和6年6月
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001752480.pdf>

3.3 ステージ C

3.3.1 モジュール C1

- (1) モジュール C1 は、構造物の最終段階における解体・撤去に起因する GHG 排出量または吸収量とする。
- (2) モジュール C1 では、以下の活動を主な算定対象とする。
 - 1) 構造物の最終段階に実施される現場内または現場外の解体・撤去作業
 - 2) 地中にある基礎、排水管等の地下構造物の解体・撤去作業
 - 3) 地中にあるカルバートボックス等の地下構造物の空洞部の安定化に必要な作業
- (3) モジュール C1 の算定は、産業廃棄物の材料レベルにおける解体シナリオ（再利用、再生利用、廃棄等）、もしくは解体・撤去の実績値に基づき、適切に算定する。

【解説】(1)、(2)について モジュール C1 では、構造物の最終段階に実施される現場内または現場外の解体・撤去作業から生じる GHG 排出量（現場の仮設施設や設備の使用に伴うエネルギー消費を含む）を考慮する。解体・撤去には、対象とする構造物の使用終了措置（廃止）、解体、分解、撤去作業等に必要とするすべての現場活動が含まれる。

地中にある地下構造物（基礎、排水管、配管、ケーブルなど）は、構造物の使用段階または最終段階に解体・撤去が当面予定されていない場合においても、C1 の値を考慮する必要がある。

地中にある空洞部を有する地下構造物（カルバートボックス、トンネルなど）のなかには、現実的に解体・撤去が想定されないものがある。このような場合、空洞部を圧縮材などで充填して安全性を確保する安定化作業が行われるが、この作業においても、C1 の値を算出して適切に反映させる必要がある。

(3)について モジュール C1 の値を EPD（環境製品宣言）から引用する場合は、どのような解体（使用終了）シナリオや解体経路が想定されているかを確認することが重要となる。EPD（環境製品宣言）とプロジェクトの解体シナリオに相違がある場合は、合理的な調整を行う必要がある。

請負業者からの情報がない場合、RICS¹⁾および HTCEC²⁾では、表 3.3.1 に示すとおり、モジュール C1 の影響をモジュール A5.2 排出量の割合として計算する事例が示されている。C1 は、解体・撤去の影響のみを考慮したものであり、解体発生材等の輸送、廃棄物処理、および廃棄は、モジュール C2～C4 で考慮されることに留意されたい。

表 3.3.1.によれば、解体シナリオが通常事例から良好および最良事例になるほどモジュール C1 の値が増加する。これは、現場での解体や回収作業に伴う GHG 排出量が増加するためである。すなわち、C1 では、再利用（リユース）等のための解体によって GHG 排出量が増加するが、将来のプロジェクトのライフサイクルにおいては、再生材料がより多く利用できる方が将来のプロジェクトにおけるアップフロントカーボンを削減する観点ではるかに優位となるため、この点を適切に考慮することが望ましい。

RICS および HTCEC では、表 3.3.1 の通り、解体シナリオの初期設定として「通常事例」が用いられることとされており、解体および回収のための設計を考慮した場合に限り、回収率の増加を反映するために、「良好事例」または「最良事例」の合理的な調整を行うものとされている。再利用または現場での再生利用（リサイクル）が予定されている材料については、その影響を C3 に報告する必要がある。

なお、解体・撤去作業から生じた GHG 排出量の実績値は、構造物の使用終了措置（廃止）、解体、分解、撤去作業に用いた機械等の燃料消費量、並びに現場の仮設施設・設備の使用に伴うエネルギー消費等の合計により算出する。

表 3.3.1 解体シナリオに基づく A5.2 値に対する C1 値の割合 (HTCEC) ²⁾

| 解体シナリオ | 内容 | EC _{C1} ^注 | 構造物のデフォルト値 |
|--------|--------------------------------|--|--|
| 通常事例 | 解体の標準的手法, 解体と回収の最小限の試み | EC _{C1} = 25% × EC _{A5.2} ^注 | 5kg-CO ₂ e /m ² GIA |
| 良好事例 | 再利用のために主要な部材／材料を回収するために行われる解体 | EC _{C1} = 30% × EC _{A5.2} ^注 | 6kg-CO ₂ e /m ² GIA |
| 最良事例 | 再利用のために大部分の部材／材料を回収するために行われる解体 | EC _{C1} = 50% × EC _{A5.2} ^注 | 10kg-CO ₂ e /m ² GIA |

注 :

EC_{C1} = 解体・撤去による GHG 排出量

EC_{A5.2} = 建設体積炭素. EC_{A5.2} の構造物の既定値は, 構造物全体で 40kg-CO₂e/m²GIA, または構造物のみで 20kg-CO₂e/m²GIA とすることができる.

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.3.2 モジュール C2

(1) モジュール C2 は、解体・撤去された構造物の部材または材料を適切な産業廃棄物処理施設（中間処理施設を含む）までの輸送に起因する GHG 排出量とする。

【解説】(1) について モジュール C2 における輸送に起因する GHG 排出量の算定にあたっては、A2 (3.1.3) を参考にすることができる。また、RICS¹⁾および HTCEC²⁾では、式(3.3.1)に基づいて計算することとされている。

$$C2 = \text{材料または製品の質量(a)} \times \text{輸送距離(b)} \times [\text{往路の炭素換算係数(c2)} + (\text{空走係数} \times \text{復路の炭素換算係数(c1)})] \quad (3.3.1)$$

なお、(c1)、(c2)および空走係数の定義については、A4 (3.1.5) を参照するものとする。

モジュール C2 の算定は、解体シナリオ、もしくは輸送の実績値に基づき、適切に算定する必要がある。RICS¹⁾および HTCEC²⁾の事例では、標準値を表 3.3.2 のとおりとしているが、産業廃棄物処理施設の位置が既知であれば、正確な輸送距離を用いて適切に算定する。

なお、解体・撤去作業完了後における実際の輸送排出量（実績値）は、材料等の輸送手段、距離および燃料消費量の記録により算出する。

表 3.3.2 モジュール C2 の標準値 (TDmode × TEF mode) (RICS¹⁾)

| 解体シナリオ | 内容 | 道路による敷地からの既定の距離 (km) | 空走 (km) | ECF _{C2,i} (kg-CO ₂ e/kg) |
|----------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|--|
| 現場での再利用／再生利用 | 輸送への影響なし | 0 | 0 | 0.00 |
| 他の場所での再利用／再生利用 | 最も近い産業廃棄物処理施設 2カ所までの平均距離 | 50 | 21.5 (0.43 x 50km) | 0.009 (50km+21.5km) x0.12111 g-CO ₂ e /kg/1,000 |
| エネルギー回収／焼却 | 最も近い 2つの廃棄物発電施設までの平均距離 | 50 | 21.5 | 0.009 |
| 埋立／焼却 | 最も近い 2つの埋立地までの平均距離 | 50 | 21.5 | 0.009 |

注：材料によっては、再利用を可能にするために、オフサイト処理（場外処理）が必要となる場合がある。

【参考文献】

- 1) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 2) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.3.3 モジュール C3

- (1) モジュール C3 は、解体された構造物の部材または材料について、再利用、再生利用または熱回収等のための廃棄物処理等に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール C3 では、以下の活動を主な算定対象とする。
 - 1) 再利用のための前処理
 - 2) 再生利用のための前処理（必要な破砕等を行った状態）
 - 3) 燃料化（燃料化のための処理）
 - 4) 熱回収
- (3) 再利用または再生利用のためのコンクリートの破砕過程において吸収される二酸化炭素の量を適切に推計できる場合には、モジュール C3 に吸収量を計上することができる。
- (4) 事前に廃棄物処理に伴う GHG 排出量を算定するにあたっては、C1 の解体シナリオや廃棄物処理の実態等を踏まえ、適切に廃棄物処理の方法や量を設定しなければならない。

【解説】(1) について 解体された構造物の部材または材料が再利用、再生利用または熱回収が実施された場合または計画されている場合、廃棄物が二次原料となるまでに必要な準備に GHG が排出される。欧州廃棄物枠組指令（WFD）では、Directive 2008/98/EC¹⁾において、特定の廃棄物が一定の回収工程を経て、法で定められた基準を満足したときを「end-of-waste（廃棄物の最終状態）」と定めており、適正な処理を受けて品質が保証され、安全性等が確認された廃棄物は製品または二次原料として取り扱うことができる。したがって、C3 では、解体された構造物の部材または材料が再利用または再生利用のための前処理、燃料化、および熱回収に起因する GHG 排出量を計上する。

RICS²⁾では、再生利用を行う場合の廃棄物の最終状態は材料によって異なるとして、以下の通り説明されている。

- ・ 金属：分離されたスクラップ金属として収集された時点
- ・ コンクリート、石材等：全ての部材・廃棄物が処理／破砕され、現場から撤去されるか現場復旧の一部として転用された時点
- ・ ガラス：カレットとして用いるために破砕された時点
- ・ プラスチック：粒状にされた時点
- ・ 木材：再生利用または燃料化のためにチップ化された時点

日本においては廃棄物処理法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和45年12月25日法律第137号））において廃棄物が定義されているが、廃棄物に該当するか否かはいわゆる総合判断説により、単純に客観的に定められているものではない。ただし、判断要素の具体化・客観化を図るために行政処分の指針が示されており、物の性状、排出の状況、通常の見取扱い形態、取引価値の有無等が判断要素の基準とされている。また、廃棄物処理法に基づき、産業廃棄物の運搬または処分を委託した場合は一部の例外を除きいわゆるマニフェスト（産業廃棄物管理票）の交付等が義務付けられており、最終処分までの過程が対象となっている。再生利用等された場合には、その後の過程はマニフェストの対象外となる。そこで、事後算定においては、マニフェストで対象とされる範囲（マニフェストが不要な例外においては同等の範囲）をモジュール C の算定範囲とすることができる。

(2) について 再利用のための準備には、以下のような活動が含まれるとされている。

- ・ 木材や鉄鋼からの被覆の除去（被覆の処分を含む）
- ・ レンガ・石積みからモルタルの除去（モルタルの再生を含む）

- ・ 構造用鋼材からの接手や固定具の除去（それらの再生を含む）

熱回収について、RICS²⁾では、その定義について、WFDにおけるエネルギー回収効率式として一定の基準値（R1基準）を満たす場合のみを熱回収としている。なお、WFDはAnnex II脚注8においてR1基準のうち都市ごみについてはエネルギー効率値60%以上（2009年1月1日以前に運転・許可）または65%以上（2009年以降許可）と示しているが、日本の都市ごみ焼却施設や産業廃棄物焼却施設で本基準値を超える施設は現状稀であると考えられる。

日本にはR1基準と同じ指標は公的に用いられていないところ、廃棄物処理法においては熱回収施設設置者の認定制度が設けられている。認定を受ける要件としては、年間10%以上の熱回収率で熱回収を行うことができる者であることなどが規定されており、基準としても実例としてもR1基準に比べて小さい。例えば、環境省が公表している認定事業者一覧資料では熱回収率は最大で37.0%である。一方、例えばセメント工場で燃料として用いられる場合やRPF（Refuse derived paper and plastics densified Fuel：再生利用が困難な古紙及び廃プラスチック類を主原料とした固形燃料）としてボイラ燃料等として用いられる場合は、高い効率で熱エネルギーに変換、利用されることが期待される場合が多い。これらは通常C3モジュールで当該廃棄物燃料使用時の排出量を計上する。

以上から、モジュールC3での熱回収では、日本の廃棄物焼却施設の一般的な熱回収の効率を踏まえ、製造業や火力発電等での燃料としての効率的な利用に限るものとする。産業廃棄物焼却施設・一般廃棄物焼却施設で焼却する場合には熱回収が行われている施設であってもモジュールC4で計上するが、欧州廃棄物枠組指令のR1基準を満たすことが廃棄段階シナリオで示せる場合には、その限りではない。

（3）について 再利用または再生利用のためのコンクリートの破碎過程において吸収される二酸化炭素の量を適切に推計できる場合には、モジュールB1（3.2.1）に準じてCO₂吸収量を計上してよい。

破碎コンクリートは、他の場所で使用されるまでに、コンクリートの表面積／体積比が増加するため、炭酸化率が増加する可能性がある。最終段階の現場で破碎されたコンクリートは、撤去されるまで平均26週間放置されるという仮定に基づき、この間にコンクリートA1-A3排出量の5%のCO₂が吸収されると推定された事例がある³⁾。日本では、最終段階で年間1.8MtのCO₂が吸収されていると試算されている⁴⁾。他研究においても、セメントコンクリート分野のライフサイクルにおけるCO₂吸収量を統計値等から推定した結果、2020年の年間CO₂吸収量はセメント製造時の焼成で排出されるCO₂量の13.9%に相当し、このうち解体コンクリートのCO₂吸収量は13.2%（使用時のCO₂吸収量が86.8%）であるとされている⁵⁾。破碎されたコンクリートが現場で使用される期間は、場所によっては長短があるが、その期間を適切に設定した上でCO₂吸収量を考慮してもよい。

（4）について RICSでは、ステージCについて構造物全体としての最終段階シナリオに応じた再利用、再生利用及び処分（埋立、焼却及び熱回収）の各比率のデフォルト値が提示されている。そのうち解体や回収のポテンシャルを改善するための努力がなされないベースラインシナリオである通常シナリオでは、具体的には廃棄段階のシナリオとして材料別のデフォルト比率を設定するとの考え方を提示し、英国における当該デフォルト数値も提示されている。また、解体・回収について、検証可能な文書が提示されることを前提に、高い再利用や再生利用比率を認めるシナリオの考え方も示されている。

国内でこのような材料別のデフォルトの廃棄段階シナリオの比率設定に用い得ると思われる既存データとしては、国土交通省「建設副産物実態調査」⁶⁾や環境省「廃棄物等循環利用実態調査」⁷⁾が挙げられる。

前者は、全国の建設工事や再資源化施設等を対象に、建設副産物の発生量、再資源化状況及び最終処分量等の動向に関する実態を把握するため概ね5年ごとに実施されている統計調査である。平成30年度調査結果

は、アスファルト・コンクリート塊、コンクリート塊、建設発生木材、建設汚泥、建設混合廃棄物及び建設発生土について示されている。モジュール C との関連では、「工事間利用量」および「再資源化」がモジュール C3、「直接焼却」及び「直接最終処分」(埋立) がモジュール C4 に該当すると考えられる。建設発生土は廃棄物処理法上の廃棄物ではないが、モジュール C との関連では、「工事間利用量」、「土質改良プラント」及び「準有効利用」がモジュール C3、「内陸受入地」をモジュール C4 に該当するとみなすことが考えられる。

後者は、環境省環境再生・資源循環局が毎年度報告書として公表しているものであり、既存の統計資料を収集し、それを基に、一般廃棄物及び産業廃棄物のそれぞれについて、廃棄物の種類別に再資源化(処理受入量・減量・残さ・再生利用の用途)、焼却処理(処理受入量・減量・残さ・再生利用の用途)、その他の中間処理(処理受入量・減量・残さ・再生利用の用途)、最終処分に向かう量の推計が行われているため、そこからモジュール別の重量比率の設定に適用することが考えられる。

【参考文献】

- 1) Waste Framework Directive: Directive 2008/98/EC, 2008.11.
- 2) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 1) MPA コンクリートセンターTCC/05/30: Whole-life Carbon and Buildings. ロンドン : MPA The Concrete Centre, 2016.
- 2) T. Watari, X. Cao, S. Hata and K. Nansai: Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions, Nature Communications, 13, 4158, 2022.
- 3) D. Sawa, N. Yamashita, H. Tanikawa, I. Daigo and I. Maruyama: CO₂ uptake estimation in Japan's cement lifecycle, Journal of Cleaner Production, 486, 144542, 2025.
- 4) 国土交通省 : 建設副産物実態調査, 2024.5
<https://www.e-stat.go.jp/surveyplan/p00600010001>
- 5) 環境省 : 廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書(廃棄物等循環利用量実態調査編), 2025.3.
<https://www.env.go.jp/content/000127243.pdf>

3.3.4 モジュール C4

- (1) モジュール C4 では、再使用、再生利用または熱回収が実施または期待できず、埋立処分または焼却処理が実施または意図されている部材または材料に対して、それらの処分に起因する GHG 排出量とする。
- (2) モジュール C4 では、以下の活動を主な算定対象とする。
 - 1) 廃棄物としての処分に必要な前処理
 - 2) 焼却処理（一定の要件を満たす熱回収を除く）
 - 3) 埋立処分
- (3) 焼却処理に伴い発生する GHG 排出量だけではなく、炭素含有廃棄物が埋立に伴い分解して発生するメタンも計上する。
- (4) 最終処分のためのコンクリートの破砕及び埋立期間における二酸化炭素の吸収量を適切に推計できる場合にはモジュール C4 で吸収量として計上できる。
- (5) モジュール C4 の算定は、部材または材料ごとの最終段階に関する実績データ、または構築したシナリオに従うものとする。

【解説】(1)、(2)について モジュール C4 で取扱う排出は、再使用、再生利用、熱回収のために回収されない廃棄物について、処分の前段階に必要な処理、埋め立てられた物質の分解または焼却（一定の要件を満たす熱回収を除く。）から生じる影響を計上する。ここで、熱回収の定義についてはモジュール C3 を参照するとよい。

単純焼却及び条件を満たさない熱回収に伴う影響はモジュール C4 で報告する。焼却及び埋立地ガスからの潜在的なエネルギー回収はモジュール D で計上する。なお、日本は他国と異なり、埋立地ガスからのエネルギー回収は東京都の中央防波堤内側埋立地及び外側処分場を著名な例外として、ほとんど行われていない。

(3)について 炭素含有廃棄物が埋立に伴い分解して発生するメタンは一般的に木材等に起因するものである。なお、本ガイドラインは基本的に木構造を算定対象外としている。

(4)について コンクリートの破砕及び埋立期間における二酸化炭素の吸収量の算定にあたってはモジュール B1 (3.2.1) を参照する。

(5)について 処分についてのデータがない場合にはデフォルトの仮定を用いるものとする。デフォルト値としては、RICS²⁾では政府が企業の報告用に提供する最新の原単位を用いるべきとしており、埋め立てられる建設廃棄物の 2024 年の原単位を提示した上で、他国における算定でも適用しうが、対象国の値が利用可能ならばそれを用いるべきとしている。

我が国においては、環境省による「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出量等の算定のための排出原単位データベース」³⁾の中で廃棄物に係る原単位が提供されている。現在のバージョンでは、「9 廃棄物【種類別】」として、「焼却」・「埋立」・「リサイクル」に係る排出原単位を処理方法ごとの処理実績 (t) により加重平均した廃棄物種類ごとの排出原単位が廃棄物輸送段階の有無別に提示されており、「汚泥」や「がれき類」も含まれる。ただし、焼却・埋立とリサイクルの内訳が不明であるのでモジュール C4 とモジュール C3 を区別して計上することができない。なお、廃棄物輸送段階は、環境省「平成 25 年度廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書」⁴⁾における「表 2 産業廃棄物の広域移動量（中間処理目的）」が典拠とされているため、廃棄物輸送段階を「含む」・「除く」の値の差分をモジュール C2 に対応するとみなすことが考えられる。

また、「8 廃棄物【種類・処理方法別】」の「表 8-2. 廃棄物種類・処理方法（焼却・埋立）別の排出原単位（廃棄物輸送段階を含まない場合）」については、現在の同データベースで数値が掲載されているのは温室効果ガス算定報告公表制度（SHK 制度）における排出係数（及びその平均値）であるが、これは焼却排ガス（バイオマス CO₂を除く.）及び埋め立てられて分解して発生したガスに含まれる温室効果ガスのみが対象であることに留意する必要がある。同排出係数を用いた算定方法は、環境省「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」⁵⁾に解説されており、最新版を参照する必要がある。

このような廃棄物由来の GHG 排出量以外も含む参考情報として RICS²⁾で提示されている数量を表 3.3.3 に示す。RICS ではまた、機械・電気・配管設備（MEP）製品について EPD が利用できない場合は、建築設備システムのエンボディドカーボンの算定方法論として可変性があるが、英国固有である CIBSE TM65 方法論とその現地化の付録仮定を用いるとされている（モジュール C3, C4 共通）。

表 3.3.3 埋め立てられる廃棄物に対するデフォルトの排出原単位²⁾
(RICS, ただし, 木材などのバイオマス材料を除外.)

| 材料 | kg-CO ₂ e/t |
|-------------------------|------------------------|
| アスベスト | 5.913 |
| 骨材, アスファルト, レンガ, コンクリート | 1.234 |
| 金属 | 1.264 |
| 土壌 | 19.52 |
| 石膏ボード | 71.95 |

また環境省委託業務報告書⁶⁾では、一般廃棄物についての推計値として最終処分場でのエネルギー使用に伴う GHG 排出量を最終処分量 4,161,814 t/年に対して 160,125 t-CO₂e/年とする推計結果が示されている。これを試みに排出原単位として換算すると 38.5 kg-CO₂e/t となる。一般廃棄物の最終処分場は産業廃棄物では管理型最終処分場に相当する場合が多いと思われるため、管理型最終処分場に埋め立てられる、または過大評価になる可能性が高いが安定型最終処分場に埋め立てられる場合に、本数値を適用することも考えられる。

【参考文献】

- 1) 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス編, 環境省地球環境局総務課脱炭素社会移行推進室 監修: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2024 年, 2024.4.
<https://www.env.go.jp/content/000226851.pdf>
- 2) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 3) 環境省: サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース (Ver.3.5), 2025.
- 4) 環境省: 平成 25 年度廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書, 2014.3.
<https://www.env.go.jp/recycle/report/h26-06/03.pdf>
- 5) 環境省: 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver6.0), 2025.
- 6) 日本環境衛生センター・パシフィックコンサルタンツ: 令和 2 年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO₂対策普及促進方策検討調査及び実現可能性調査委託業務報告書 (令和 2 年度環境省委託業務), 2021.3.
<https://www.env.go.jp/recycle/report/r3-08/co2.html>

3.4 ステージD

3.4.1 モジュールD1

- (1) モジュール D1 は、施工段階 (A5)、使用段階 (B2–B5) および最終段階 (C3–C4) から発生する部材・材料の再利用や再生利用、また、その処理や処分におけるエネルギー回収等により、システム境界外で生じる潜在的な GHG 排出量および GHG 排出回避効果とする。
- (2) 部材・材料の再利用や再生利用による潜在的な GHG 排出量および排出回避効果は、別途実施されるプロジェクトで使用される一次材料や部材を、既存部材の再利用または再生材で代替する場合に生じる影響を適切に算定する。
- (3) 材料の処理・処分時のエネルギー回収等による潜在的な GHG 排出量および排出回避効果は、別途実施されるプロジェクト等において、回収エネルギーや二次燃料が一般的なエネルギーや燃料を代替する場合に生じる影響を適切に算定する。
- (4) モジュール D1 の算定においては、「再利用または再生利用される部材・材料と一次材料等の品質の違い」や「シナリオの整合性」に留意する。

【解説】(1) について 土木構造物の施工段階 (A5)、使用段階 (B2–B5)、および最終段階 (C3–C4) で発生する部材・材料は、再利用 (リユース) やリマニュファクチャリング、再生利用 (リサイクル)、また、その処理や処分におけるエネルギー回収等によって、次のライフサイクルや他のプロジェクトで利用される場合がある。モジュール D1 では、これらの利用によってシステム境界外で生じる潜在的な GHG 排出量および GHG 排出回避効果を算定する。なお、ここでは用いられている「GHG 排出回避効果」は「GHG 削減量」と類似した用語ではあるものの、定義が異なる点に注意を要する。これはステージ D がシステム境界外であり、実際の GHG 削減量は別途実施されるプロジェクトで計上されるため、あくまでも潜在的な GHG 削減量の期待値である。例えば、部材の再利用は別途実施されるプロジェクトでの一次材料等の利用回避が可能であるが、この効果はあくまでも別途実施されるプロジェクトで計上される。したがって、モジュール D1 で算定される GHG 排出回避効果は参考情報としての取扱いとなる。ただし、次のライフサイクルや他のプロジェクトでの GHG 排出量の削減にはモジュール D1 は極めて重要であり、参考情報といっても重要な位置づけである。

再利用は、解体・撤去された部材・材料が、そのままの形や機能で他の建築物や土木構造物で再び使われることであり、再利用された分だけ、新たに同等の一次材料を生産する必要がなくなる。再生利用は、解体・撤去された部材・材料を加工・再資源化し、原材料や新たな製品として利用することであり、再生材が新たな一次材料の生産を代替する。加えて、解体・撤去された材料の処理・処分プロセス (燃焼や埋立等) においてエネルギー (電力や熱等) が回収されれば、その分の電力系統の化石燃料発電等が代替される。また、解体・撤去された材料が二次燃料 (木質燃料、廃棄物固形燃料等) として活用されれば、新たに同等の一次燃料を生産する必要がない。

なお、EN 15804+A2:2019¹⁾やそれを参照した RICS²⁾、HTCEC³⁾では、部材の再利用についても主に材料の投入量の物質フローに着目しており、再利用に伴う施工方法の変化による GHG 排出量および排出回避効果は考慮していない。したがって、本ガイドラインにおいても、部材の再利用による GHG 排出量および排出回避効果は、一次材料の代替効果に基づいて算定する。

RICS では、個別の部材の再利用に関して、オンサイトでの再利用が想定される場合には、将来的な A1～A3 および A4 の GHG 排出量のオフセットを D1 で主張できるとされている。一方、オフサイトでの再利用が想定される場合には、その対象は A1～A3 に限定されるべきとされている。また、部材が接合さ

れた状態で完全に再利用されることが将来期待される場合には、C1, C2, C4に加え、A1~A5でのGHG排出量の回避分も削減対象として扱われる。

(2), (3) について モジュールD1の潜在的なGHG排出量および排出回避効果は、部材・材料の再利用または再生利用による影響と、材料の処理・処分時のエネルギー回収や二次燃料としての活用による影響を適切に考慮し、算出する。EN 15804+A2:2019¹⁾やそれを参照したRICS²⁾、HTCEC³⁾に基づく、モジュールD1の潜在的なGHG排出量および排出回避効果(EC_{D1})は、式(3.4.1)によって算出される。

$$EC_{D1} = \sum_{i=1}^n (EC_{D1,i\beta} + EC_{D1,i\alpha}) \quad (3.4.1)$$

ここで、

$EC_{D1,i\beta}$: 部材・材料*i*の再利用または再生利用による潜在的GHG排出量および排出回避効果 (kg-CO₂e)

$EC_{D1,i\alpha}$: 材料*i*の処理・処分時のエネルギー回収や二次燃料としての活用による潜在的GHG排出量および排出回避効果 (kg-CO₂e/unit), である。

$EC_{D1,i\beta}$ について、EN 15804+A2:2019では「ネットフロー方式」が採用されており、再利用や再生利用による材料の正味の出力量による潜在的GHG排出量および排出回避効果が算定される(式(3.4.2))。つまり、建設時などに再利用または再生利用される材料が使用され、解体・撤去後に同様の方法でもう一度再利用や再生利用される場合、その効果は算定の対象外となり、再利用または再生利用される材料の正味の出力量のみ($m_{\beta out,i} - m_{\beta in,i}$)が算定される。これにより、モジュールAやBとモジュールD1での便益の二重計上を防ぐものとされている。また、再利用または再生利用される材料が、代替する一次材料と品質や機能が異なる場合には、品質補正係数(Q_{Rout}/Q_{Sub})を用いて調整する。

$$EC_{D1,i\beta} = (m_{MR out,i} - m_{MR in,i}) \times \left(ECF_{A13,secondary product} - \left[ECF_{A13,substituted product} \times \frac{Q_{Rout}}{Q_{Sub}} \right] \right) \quad (3.4.2)$$

ここで、

$m_{MR out,i}$: 解体・撤去された部材・材料*i*のうち再利用または再生利用される量 (unit)

$m_{MR in,i}$: モジュールAやBで投入される部材・材料*i*のうち再利用または再生利用される材料の量 (unit)

$ECF_{A13,secondary product}$: 部材・材料*i*のシステム境界外への排出後の再利用または再生利用プロセス(モジュールA1~A3に該当)でのGHG排出量 (kg-CO₂e/unit)

$ECF_{A13,substituted product}$: 代替する一次材料のモジュールA1~A3のGHG排出量 (kg-CO₂e/unit)

$\frac{Q_{Rout}}{Q_{Sub}}$: 再利用または再生利用される材料と代替される一次材料の品質比

である。

ただし、RICSにおいて、ネットフロー方式では再利用または再生利用される材料の投入量が多い場合に、循環性の効果を正確に反映できない可能性があることが指摘されている。これに対し、システム境界から排出される再利用または再生利用される材料の総量を算定対象と考える手法等、他の補完的な手法を活用することが推奨されており、その場合にはモジュールDとは明確に区別して報告する必要があるとされている。

$EC_{D1,i\alpha}$ は、例えば式(3.4.3)で算出される。ここでは、材料の処理・処分時に電力が回収される場合を示す。

$$EC_{D1,i\alpha} = -(m_{\alpha out,i} \times X_{elec,i} \times X_{SE elec}) \quad (3.4.3)$$

ここで、

$m_{\alpha out,i}$: 解体・撤去される材料 i のうち処理・処分される量 (unit)

$X_{elec,i}$: 処理・処分における材料 i からのエネルギー回収効率 (kWh/unit)

$X_{SE elec}$: 代替される化石燃料発電等における GHG 排出係数 (kg-CO₂e/kWh)

である。なお、 $X_{SE elec}$ においては、一般に平均的な GHG 排出係数を用いてもよい。

(4) について モジュール D1 の算定における留意点について、以下に示す。

- ・再利用または再生利用される材料と一次材料の品質の違い：再利用または再生利用される材料の品質や機能が代替する一次材料と異なる場合には、その相違を適切に考慮する必要がある。例えば、再生骨材がバージン骨材よりも性能が劣る場合、その分だけ回避効果を減じて算定する必要がある。EN 15804+A2:2019 では、式(3.4.2)に示すように品質補正係数(Q_{Rout}/Q_{Sub})を用いて調整することとされている。
- ・シナリオの整合性：D1 で想定する最終段階シナリオ（ステージ C で設定される再利用、再生利用、焼却、埋立などのシナリオ）は、モジュール C3・C4 で想定するシナリオと一致させる必要がある。また、D1 の算定に用いられる、代替される一次材料や一般的なエネルギー・一次燃料に関する排出量は、将来の社会的な脱炭素化に伴って減少すると予想される。つまり、D1 における GHG 排出量の回避効果は、将来的に減少する。このような社会的な脱炭素化による影響を考慮するため、D1 の算定には B6 等と同じ「脱炭素化シナリオ（将来の排出係数）」を用いる必要がある。

【参考文献】

- 1) EN 15804+A2:2019: Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products, 2019.10.
- 2) Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS): Whole life carbon assessment for the built environment, Professional standard, global, 2nd edition, September 2023, Version 2, 2024.11.
- 3) The Institution of Structural Engineers: How to calculate embodied carbon (3rd edition), IStructE Ltd., 2025.1.

3.4.2 モジュール D2

- (1) モジュール D2 は、使用段階 (B6-B8) において構造物から供給されるユーティリティ (電気、水など) から生じる、システム境界を越える潜在的な GHG 排出回避効果とする。

【解説】(1) について エネルギーを発電する土木構造物や他のユーティリティを生産する土木構造物において、自家消費するユーティリティを除いた余剰ユーティリティはモジュール B8 の一部として「供給ユーティリティ」として計上され、これらの供給ユーティリティから得られる GHG 排出回避効果 (例: 供給された電気による、電力系統の化石燃料発電等の回避) を D2 で算出する。橋梁のようなインフラ設備において、付属する太陽光発電設備等により、年間を通じて使用するエネルギーよりも多くのエネルギーを発電しそれらを外部へ供給する場合、B8 では供給エネルギー量として報告され、D2 では供給先での GHG 排出回避効果として報告される。

土木構造物のライフサイクルにわたって供給されるエネルギー、その他のユーティリティによる効果は、これらのユーティリティの社会的な脱炭素化に伴い減少すると予想される。モジュール D2 の算定においては、将来の社会全体の GHG 排出量の変化を正しく反映することが望ましい。