

カーボンニュートラルに向けた土木建造物のあり方に関する実施すべき事項（案）

土木学会 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

1. 現状認識

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、土木分野も例外ではない。社整審・交政審技術分科会（2022）によれば、建設業（土木・建築）の温室効果ガス（GHG）排出量¹割合は代表的活動・資材に限定しても約13%を占める（図1）^{[1],[2]}。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、土木建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。

一方、土木建造物の種別や工種、ライフサイクルにおける各段階等でのCO₂排出量の実態は十分に明らかになっておらず、把握に必要なデータも整備されていない。土木建造物の建設時およびライフサイクルに関連するCO₂排出量の削減を進めるためには、早急に、土木建造物におけるエンボディードカーボン（EC）²もしくはホールライフカーボン（WLC）³を把握し（図2）^[3]、削減方策を検討する必要がある。

また、土木建造物の建設時における主要な排出源は、セメントや鋼材などの材料製造時におけるプロセスおよびエネルギー起源のCO₂排出に起因している。一方、これらの排出源は実際に建造物を造る施工者の観点からはScope 3（間接排出）⁴となる。また、材料の多くは仕様書で定められており、施工者が低炭素な材料を使用する場合の費用等は施工者が負担せざるを得ない場合が多い。したがって、土木工事でCNを目指すためには、

¹ 温室効果ガス排出量のうち約9割はCO₂で構成されているため、本文書ではCO₂排出量と称する。

² エンボディードカーボン：土木建造物の計画・設計（建設前段階）、資材調達段階、建設段階、使用（供用）段階、最終段階において排出される炭素量

³ ホールライフカーボン：エンボディードカーボンに加え、運用時に排出される炭素（オペレーショナルカーボン）や利用者から排出される炭素（ユーザーカーボン）を含めた全体の炭素排出量

⁴ 温室効果ガス排出量を算定・報告するための国際的なデファクトスタンダードとなっている温室効果ガス排出量の算定・報告の基準である「GHGプロトコル」では、Scope 1：事業者自らによる温室効果ガスの直接排出（燃料の燃焼、工業プロセス）、Scope 2：他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出、Scope 3：Scope 1、Scope 2以外の間接排出（事業者の活動に関連する他社の排出）、と定義されている。また、これらの和がサプライチェーン排出量とされている。GHGプロトコルのScope 3基準では、Scope 3は15のカテゴリーに分類されている。

Scopes 1-2 だけでなく、セメントや鋼材などの他産業から調達する資材の CO₂ 排出量 (Scope 3) の削減に対するインセンティブを高める必要がある。土木建造物の多くは公共工事で発注されるものであり、計画や設計などの上流で、低炭素な技術の活用や低炭素な構造形式の選定などを念頭に置くことが極めて重要となる。

土木建造物の建設時における主要な排出源であるセメントや鋼材などの材料製造時における CO₂ 排出量の削減に関する研究開発は現在活発に進められている。一方、構造分野において、CO₂ 排出量削減に向けた構造物のあり方などの議論はほとんどなされておらず、CO₂ 排出量の少ない構造形式の選定や設計法などは確立されていない。また、今後低炭素材料を活用するとしても、低炭素材料の導入はコストアップとなることが多く、コストと CO₂ 削減のトレードオフをどのように考えるのかなど、議論を進める必要がある。従来の設計は一般に建設コストまたはライフサイクルコスト最小化を目指しており、土木建造物の設計解の選択はこれまでの経験に強く依存している。一方、コストに加えて CO₂ 排出量も新たな意思決定指標 (工学的価値基準) の一つとなった場合には、従来の設計に関する経験則は必ずしも最適解を導かない。改めて土木建造物の設計の原理原則に立ち返り、設計のあり方を議論する必要がある。

いずれにしても、CN という国際的な社会課題に対して日本の土木技術の革新によって社会課題の解決に貢献することは大きなインパクトがある。CN という社会課題を外圧として捉えるのではなく、土木のあるべき姿を改めて考えるための絶好の機会として捉え、土木技術者が CN の実現に向けて積極的に挑戦することが重要である。

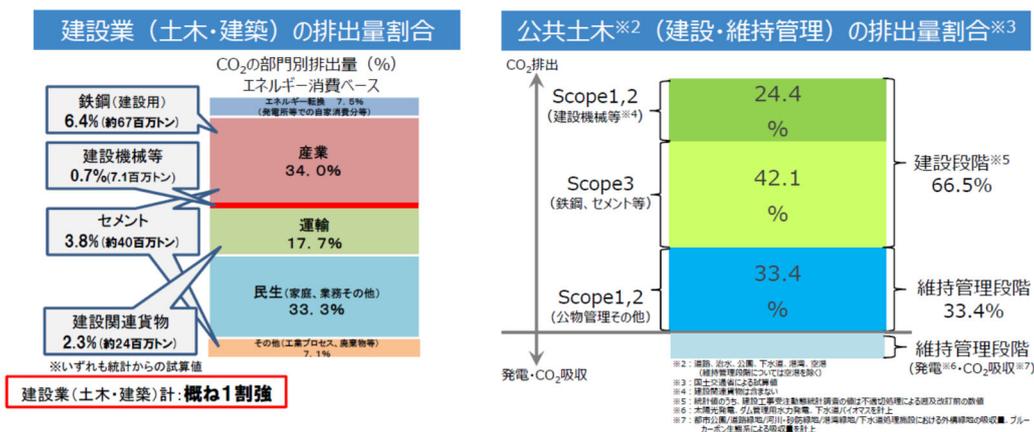


図 1 建設業の CO₂ 排出量に関する現状¹⁾

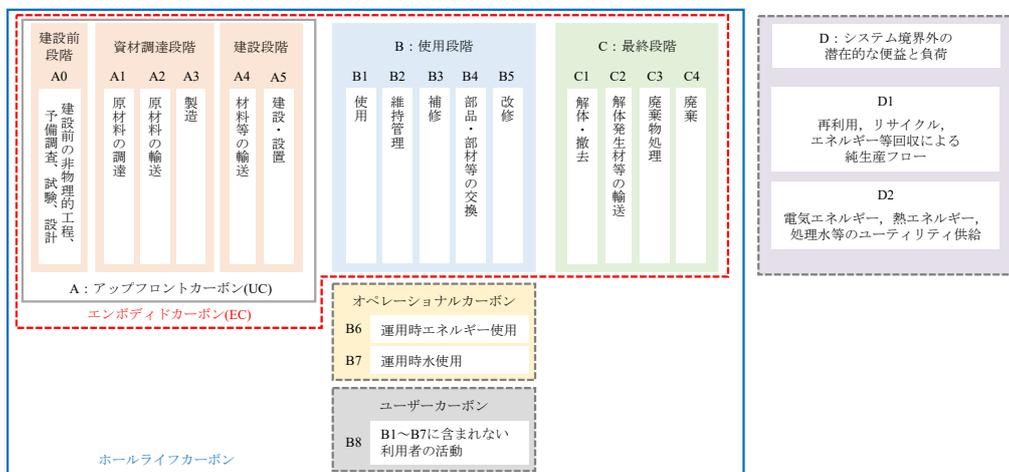


図 2 建設業に関連する炭素排出源²⁾を和訳

2. カーボンニュートラルの実現に向けた土木建造物のあり方

ここでは、CNの実現に向けて、土木建造物の構築における各段階（図2）で検討すべき技術課題を例示するとともに、技術実装における課題を整理する。

2.1 構造系研究委員会として取り組むべき技術課題

（1）建造物スケールでの EC/WLC 評価フレーム（全体）

- ・ データベースの整備（t-CO_{2eq}/億円⁵， t-CO_{2eq}/工種， t-CO_{2eq}/建造物， 等）
- ・ 削減貢献量を見える化するための EC/WLC 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）

- ・ EC/WLC 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・建造物の循環利用技術，その仕組み作り
- ・ 既設建造物の機能変更に伴う建造物の延命化（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（マルチミニマムメンテナンス）
- ・ 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）

2.2 技術実装のための課題

- ・ CN に向けた各分野での低炭素技術へのインセンティブ（カーボンプレジット/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

3. 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 CN 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

⁵ t-CO_{2eq}という単位は温室効果ガス排出量を二酸化炭素換算したもの（Carbon Dioxide Equivalent）。1.0t-CO_{2eq}は二酸化炭素換算で 1.0t を表す。

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 WLC 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 WLC 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。

4. 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。

【参考文献】

[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] 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>

[3] Royal Institution of Chartered Surveyors: Whole life carbon assessment for the built environment (2nd version, Version 3), 2024.