

小特集：低炭素社会実現のための社会資本整備

設計・施工における社会資本LCA適用の有効性

曾根真理* 菅林恵太** 木村恵子***

1. はじめに

近年、地球温暖化が着実に進行しており、これに対処するため二酸化炭素（CO₂）排出量を削減し、低炭素社会を実現することが求められている。

国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」と言う。）が日本国内のCO₂排出量を産業連関表等に基づいて再整理した結果、建設業に係るCO₂の直接排出量は国内排出量の約1%に過ぎないが、使用資材の製造や資材・廃棄物の運搬等による間接排出分を含めた全体では国内排出量の約1/7を占めることが分かった^{1),2)}。このことから、建設業に係るCO₂排出量を効率的に削減するためには、資材製造・運搬等の建設業に関連する活動まで遡及し、建設物のライフサイクル全体をとおしたCO₂排出量を着実に低減していくことが必要となる。

Life Cycle Assessment（LCA:ライフサイクルアセスメント）とは製品・サービスに関する採取・製造・使用・廃棄等のライフサイクル全体をとおした環境影響を定量的に評価する手法であり、ISO 14040シリーズにおいて「製品の原材料の採取から製造、使用及び処分に至る生涯（すなわち、ゆりかごから墓場まで）を通して環境側面及び潜在的影響を調査するもの」と定義されている。建設業に係るCO₂排出量を効率的に削減するためには、このLCAを適用することが有効であると考えられる。

国総研では総合技術開発プロジェクト「社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発（平成20～22年）」（以下、「総合プロジェクト」と言う。）を実施し、その成果として平成24年2月に「国総研プロジェクト研究報告第36号 社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発」¹⁾を公表した。

本稿では同報告書の社会資本LCA（社会資本整備を対象とするLCA）に基づくCO₂排出量の算出手法を紹介すると共に、社会資本整備を対象に設計・施工レベルにおいてCO₂排出量を計算した結

果を示す。加えて、これらの計算結果を参考に、低炭素社会の実現へ向けて社会資本LCAを設計・施工案の比較選定等に活用することの有効性と課題について考察する。

2. 社会資本整備の流れと各意思決定レベルにおけるLCA手法

2.1 社会資本整備の意思決定の流れ

社会資本整備は図-1に示すとおり構想・設計・施工・資材選定のレベル毎に意思決定がなされることで、より公正かつ合理的な整備が行われる。各レベルにおいて環境評価を行うことで、環境負荷の少ない社会資本整備を実施することができる。

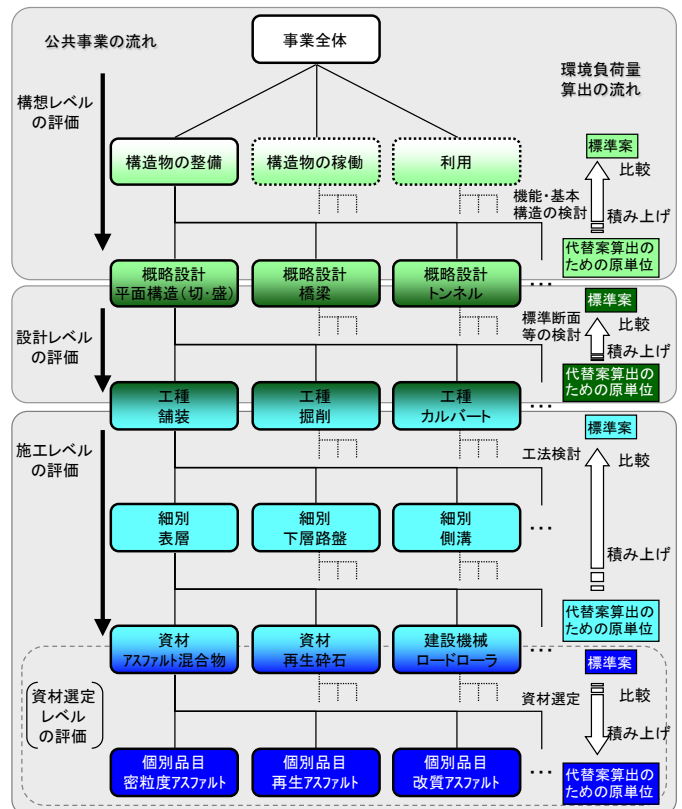


図-1 社会資本整備及び環境負荷量算出の流れ

意思決定される内容や計画の熟度は表-1に示すとおり各レベルで異なり、求められる環境負荷（CO₂排出量）の計算精度にも差があると考えられる。これを踏まえて、意思決定レベル毎に最適な算出手法を確立することとした。

表-1 社会資本整備の各レベルにおける意思決定事項

	概要	意思決定事項*
構 想 レ ベ ル	道路の概略設計、河川整備計画や港湾の長期構想等、事業の概略設計を行う段階	道路の機能（平面・高架・トンネル）等
設 計 レ ベ ル	概略設計・予備設計等において、社会資本の構造形式、構造諸元を検討する段階	構造物の断面形状・概略の材料・工種別数量等
施 工 レ ベ ル	施工方法や使用資材を決定し、社会資本を建設する段階	具体的な建設機械・製品等
資材選定 レ ベ ル	個別の資材の製造に伴う環境負荷を評価する段階	製造する企業・工場等

注1) ※：道路事業の例を示す。

2.2 社会資本LCAに基づくCO₂排出量の基礎算出式

温室効果ガスの算出式は、JISの標準仕様書(TS Q 0010)において式(1)のとおり示されている。

$$GHG\text{排出量} = \sum_i (\text{活動量}_i \times GHG\text{排出原単位}_i) \text{ 式(1)}$$

社会資本LCAに基づくCO₂排出量の基礎算出式は式(2)のとおりであり、社会資本整備に係る資材・作業等のそれぞれの数量と単位当たりのCO₂排出量(CO₂排出原単位)の積の合計が基本となる(図-2参照)。設計書・施工計画書等から設定する資材・作業等の種類は、意思決定レベル毎に異なる。なお、総合プロジェクトでは、これらの計算に用いる主な原単位を作成・公表している^{1)~4)}。

$$CO_2\text{排出量} = \sum_i (\text{数量}_i \times CO_2\text{排出原単位}_i) \text{ 式(2)}$$

	工事計画等から設定		原単位表から設定		CO ₂ 排出量
	数量	単位	原単位	単位	
資材1	X ₁	t	E ₁	t-CO ₂ /t	X ₁ ×E ₁
資材2	X ₂	m ³	E ₂	t-CO ₂ /m ³	X ₂ ×E ₂
建設機械1	X ₃	台日	E ₃	t-CO ₂ /台日	X ₃ ×E ₃
燃料1	X ₄	m ³	E ₄	t-CO ₂ /m ³	X ₄ ×E ₄
...

合計が評価対象となる事業・構造物のCO₂排出量

図-2 社会資本LCAに基づくCO₂排出量の計算イメージ

2.3 各意思決定レベルにおけるCO₂排出量の算出式

CO₂排出量の基礎算出式をベースに、各意思決定レベルの算出式を開発した⁵⁾。

2.3.1 構想レベルのCO₂排出量の算出式

構想レベルでは機能(車線数等)・位置・ルート等の概略の計画が検討されるが、使用資材の種類等の詳細は検討されない。また、供用後の社会資本の使用に伴うCO₂排出量に配慮することも求められる。

構想レベルの算出式は、整備・管理と使用に伴うCO₂排出量(式(3)の右辺第1、3項)に計画に伴

うCO₂排出量(第2項)を加えることとした。なお、使用に伴うCO₂排出状況は社会資本の種類(道路・河川・港湾等)によって異なることから、使用に伴うCO₂排出量の個別の具体的な計算手法は検討しなかった。

$$EP = \sum_j (S_j \times \overline{ES}_j) + EA + [EU] \text{ 式(3)}$$

ここで、EP: 事業全体のCO₂排出量、j: 構造物の種類、S: 構造物の規模、 \overline{ES} : 構造物当たりのCO₂排出原単位、EA: 構造物の計画に伴うCO₂排出量、EU: 構造物の使用に伴うCO₂排出量である。

2.3.2 設計レベルのCO₂排出量の算出式

設計レベルでは工事費算出のための作業量(例えば、掘削土量等)が検討されるが、使用資材の種類等までは検討されない。

設計レベルの算出式は、整備・管理に伴うCO₂排出量(式(4)の右辺第1項)に設計に伴うCO₂排出量(第2項)を加えることとした。

$$ES = \sum_k (W_k \times \overline{EW}_k) + ED \text{ 式(4)}$$

ここで、ES: 構造物のCO₂排出量、k: 工種の種類、W: 各工種の作業量、 \overline{EW} : 工種当たりのCO₂排出原単位、ED: 構造物の設計に伴うCO₂排出量である。

2.3.3 施工レベルのCO₂排出量の算出式

施工レベルでは使用資材の種類等の詳細まで検討される。また、資材等の運搬距離・建設機械の稼働時間・仮設材のリース費用等の具体的な数量も検討されることが多い。

施工レベルの算出式は、資材(式(5)の右辺第1項)・運搬(第2項)・施工(第3項)に伴うCO₂排出量の和とした。

$$EW = \sum_l (M_l \times \overline{EM}_l) + \sum_m (T_m \times \overline{ET}_m) + \sum_n (C_n \times \overline{EC}_n) \text{ 式(5)}$$

ここで、EW: 工種のCO₂排出量、l: 資材の種類、M: 資材の数量、 \overline{EM} : 資材のCO₂排出原単位、m: 運搬の車種等、T: 運搬距離、 \overline{ET} : 運搬に係るCO₂排出原単位、n: 施工(建設機械、仮設材等)に係るCO₂排出の種類、C: 施工に係る数量、 \overline{EC} : 施工に係るCO₂排出量である。

2.3.4 資材選定レベルのCO₂排出量算出式

同一資材であっても製造する企業・工場によってCO₂排出量は異なる。資材を選定する際、場合

によっては施工レベルより詳細に資材のCO₂排出量を算出することが求められる可能性が考えられる。

資材選定レベルの算出式は、原材料のCO₂排出量（式(6)の右辺第1項）・投入エネルギーのCO₂排出量（第2項）・未集計分等見込み値（第3項）の和とした。なお、未集計分等見込み値とは資材製造に当たって使用される原材料・投入エネルギーのうち工場・企業では通常整理されていないと考えられる項目（例えば、工場に併設される事務所の電気・ガス・電話等）からのCO₂排出量であり、総合プロジェクトにおいて一般的な項目とそのCO₂排出量を整理している。

$$EM = \sum_o (R_o \times \overline{ER}_o) + \sum_p (E_p \times \overline{EE}_p) + EO \quad \text{式(6)}$$

ここで、EM: 資材のCO₂排出量、o: 原材料の種類、R: 原材料の数量、 \overline{ER} : 原材料のCO₂排出原単位、p: 投入エネルギーの種類、E: 投入エネルギーの量、 \overline{EE} : 投入エネルギーのCO₂排出原単位、EO: 未集計分等見込み値に係るCO₂排出量である。

3. 社会資本LCAによる計算事例

前述したCO₂算出式を用いて、実際の社会資本整備を対象とした設計・施工レベルにおけるLCA計算を行い、社会資本LCAが設計・施工案の比較選定等に導入可能であるかを確認した。

3.1 設計レベルのLCA計算事例（平面道路）

設計レベルにおけるLCA計算として、平面道路の断面構造を変えた設計3案（表-2参照）を対象にCO₂排出量を算出した。算出手順として、それぞれの設計案に基づいて掘削土量等の数量を整理し、総合プロジェクトで作成した工種当たりのCO₂排出原単位にこれらの数量を乗じることによりCO₂排出量を算出した。また、設計に伴うCO₂排出は対象外とした。

結果は図-3に示すとおりであり、Case1のCO₂排出量が最も小さくなった。Case2、3ではCO₂排出量の大部分がコンクリートや鉄を用いるコンクリートブロック積工・壁面材組立設置工・補強材取付工に由来すること、Case1では植生基盤吹付け工が過半数を占めていることが確認できた。

なお、Case2、3は同規格の道路でも施工面積を小さくできる等の利点もあり、実際の設計ではそれらを複合的に検討する必要がある。

表-2 平面道路の設計3案の断面構造形式

	切土：のり面	盛土：のり面
Case1		
Case2	切土：コンクリートブロック積み	盛土：コンクリートブロック積み
Case3	切土：鉄筋補強土	盛土：テールアルメ

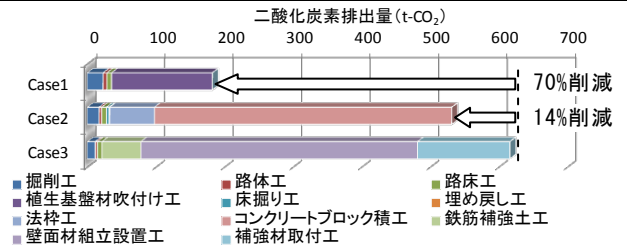


図-3 平面道路の設計3案のCO₂排出量

3.2 施工レベルのLCA計算事例（トンネル）

施工レベルにおけるLCA計算として、トンネル（NATM）工事を対象に、通常工法の場合と吹付工にフライアッシュ混入吹付けコンクリートを使用した場合（CO₂削減工法）でどの程度CO₂排出量が削減されるかを算出した。算出手順として、それぞれの施工計画に基づいて資材等の数量を整理し、総合プロジェクトで作成した資材等のCO₂排出原単位にこれらの数量を乗じることによりCO₂排出量を算出した。

結果は図-4、5に示すとおりであり、吹付工のみの比較では約15%のCO₂排出量が削減されること、工事全体としてはコンクリート等の資材からのCO₂排出量が卓越していること、全体の約3%のCO₂排出量が削減されることが確認された。

なお、実際の施工検討では経済性・耐久性・施工性等の複合的観点での検討が必要である。

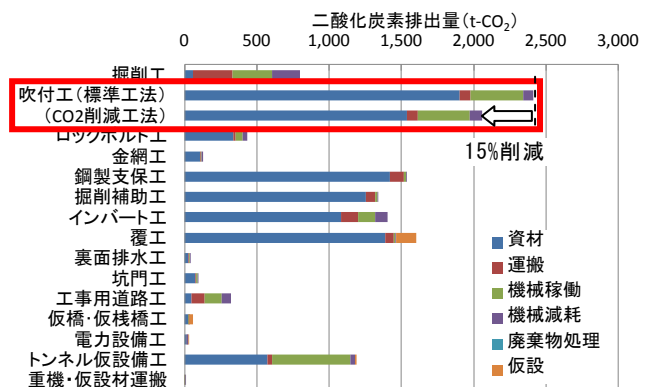


図-4 トンネルの施工2案のCO₂排出量（工種毎）

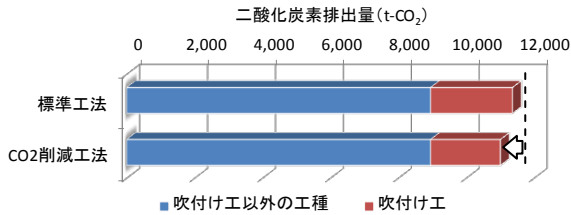


図-5 トンネルの施工2案のCO₂排出量

4. 社会資本LCA導入による低炭素化への有効性

前述の計算事例によって、総合プロジェクトで開発した社会資本LCAに基づくCO₂排出量の算出式が設計・施工案の比較選定等に導入可能であることが確認された。今後、実際の社会資本整備や建設工事において、CO₂削減に有利と評価された設計・施工方法を優先的に採用することによって社会の低炭素化が推進されると考えられる。

CO₂削減に有利な設計・施工方法を優先的に採用するためには、それらにインセンティブを与える仕組みを社会制度に導入することが必要となる。現在想定される具体的な仕組みとしては、1) 設計業務における検討項目としてCO₂排出量の追加、2) 工事入札時における低炭素化施工方法の提案の加点、3) グリーン購入法に係る特定調達品目の指定における判断への導入（一部対応済み）等が考えられる。

5. まとめ

本稿では総合プロジェクトで開発したCO₂排出量の算出手法を紹介し、同手法が実際の設計・施工案の比較選定等に導入可能であることを確認した。

今後、社会資本LCAの汎用性拡大のため、以下の課題について継続検討を行っていきたい。

- ・社会資本の利用に伴うCO₂排出量の算出手法の確立
- ・長寿命化施工等の管理段階に影響を与える設計・施工方法を対象とした評価手法の確立

- ・設計・施工レベルの予測計算結果と建設完了後のモニタリング調査に基づく計算結果との比較による計算精度の確認 等

研究成果の詳細については、国総研のHP (<http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/lca/top.htm>) にて公開している。

謝 辞

総合プロジェクトの実施にあたって、公益社団法人土木学会に設置した「LCA活用方策検討委員会」（座長：筑波大学 石田東生教授）、「インベントリ・データ作成手法検討委員会」（座長：東京大学 花木啓祐教授）、「インベントリ・データベース作成委員会」（座長：国総研 岸田弘之研究総務官）、「LCA理論検討委員会」（座長：国立環境研究所 藤田壮室長）、「LCI試算WG」（座長：和歌山工業高等専門学校 鶴巻峰夫教授）に、内容の精査・検証等のご協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国総研プロジェクト研究報告第36号 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、国土技術政策総合研究所、2012
- 2) 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-、国土技術政策総合研究所、2012
- 3) 曾根真理、木村恵子、神田太朗、菅林恵太、鶴巻峰夫：社会資本整備の流れを踏まえた意思決定段階毎の環境負荷原単位の開発、日本LCA学会研究発表会講演要旨集、第7回、pp.306~307、2012
- 4) 曾根真理、神田太朗、菅林恵太：社会資本LCAに用いる環境負荷原単位一覧表の作成、土木技術資料、第54巻、第7号、2012
- 5) 菅林恵太、曾根真理、木村恵子、神田太朗：社会資本整備の各意思決定段階におけるLCI計算式の提案、日本LCA学会研究発表会講演要旨集、第7回、pp.402~403、2012

曾根真理*



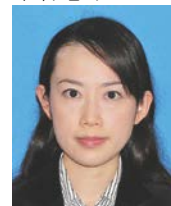
国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室長
Shinri SONE

菅林恵太**



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室 部外研究員
Keita SUGABAYASHI

木村恵子***



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室 研究員
Keiko KIMURA