

Project brief 1

プロジェクト紹介

ライフサイクルをとおした CO₂排出量の予測・評価手法の検討

～社会資本LCAの普及・活用に向けたCO₂排出原単位の整備～

佐藤 律子

SATO Ritsuko

日本工営株式会社
コンサルタント国内事業本部
社会システム事業部/環境部
課長



菅林 恵太

SUGABAYASHI Keita

日本工営株式会社
コンサルタント国内事業本部
社会システム事業部/環境部
課長補佐



はじめに

2015年11月末に開催されたCOP21(気候変動枠組条約第21回締約国会議)では、全ての国が合意できる2020年以降の新たな国際的枠組みが議論された。日本では、低炭素社会の実現に向けて業界毎に様々な取り組みが行われており、建設部門でも工事現場の省エネ化等が進められている。

建設に係る二酸化炭素(CO₂)排出量は、国土技術政策総合研究所等の研究により、工事現場での直接排出よりも、コンクリートやアスファルト等の建設資材製造時の方が多くなっている。建設部門の取り組みで効率的にCO₂排出量を削減するためには、資材製造から維持・管理までの建設物のライフサイクルを対象に予測・評価を行うことが必要である(図1)。

ライフサイクルアセスメントとは

ライフサイクルアセスメント(LCA)

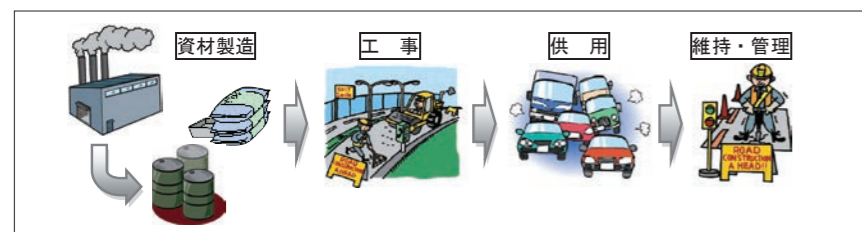


図1 建設物のライフサイクル(道路の例)

とは、製品・サービスに関する原材料の採取・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る。ISO14040シリーズでは「原材料の取得から製造、使用及び使用後の処理、リサイクル及び最終処分に至るまでの製品のライフサイクルの全体を通じた環境側面及び潜在的な環境影響を取り扱う」と定義されている。

国土技術政策総合研究所では、これまでに表1に示すとおり社会資本整備を対象としたLCAの研究を行っており、平成20～22年度の総合技術開発プロジェクト研究「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」で開発した予測手法(社会資本LCA)を、平成24年2月公表の「社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発に関する報告-社会資本LCAの実践方策-」¹⁾で広く周知を図っているところである。

表1 国土技術政策総合研究所の研究の流れ²⁾

年度	研究内容
H16、17	グリーン購入法の公共工事の技術審査に関わる運用方針検討委員会
H18、19	LCA手法検討会
H20～22	総合技術開発プロジェクト研究「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」
H23、24	プロジェクト研究「社会資本LCAの実用化研究」

社会資本LCAとは

社会資本LCAは、主に資材製造から工事までのCO₂排出量を対象とし、計算方法は次式に示すとおり数量と単位当たりのCO₂排出量(CO₂排出原単位)の積和を基本としている。

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \sum_i (\text{数量}_i \times \text{CO}_2\text{排出原単位}_i)$$

道路等の社会資本整備は図2に示すとおり構想・設計・施工のレベル毎に検討が行われる。

資機材の数量が決まる「施工レベル」では、資材・燃料使用量に産業連関表によって算出した「資材のCO₂排出原単位」³⁾を乗じることでCO₂排出量を算出できる。一方、計画の詳細が決っていない「構想レベル」や「設計レベル」では別のCO₂排出原単位が必要となる。

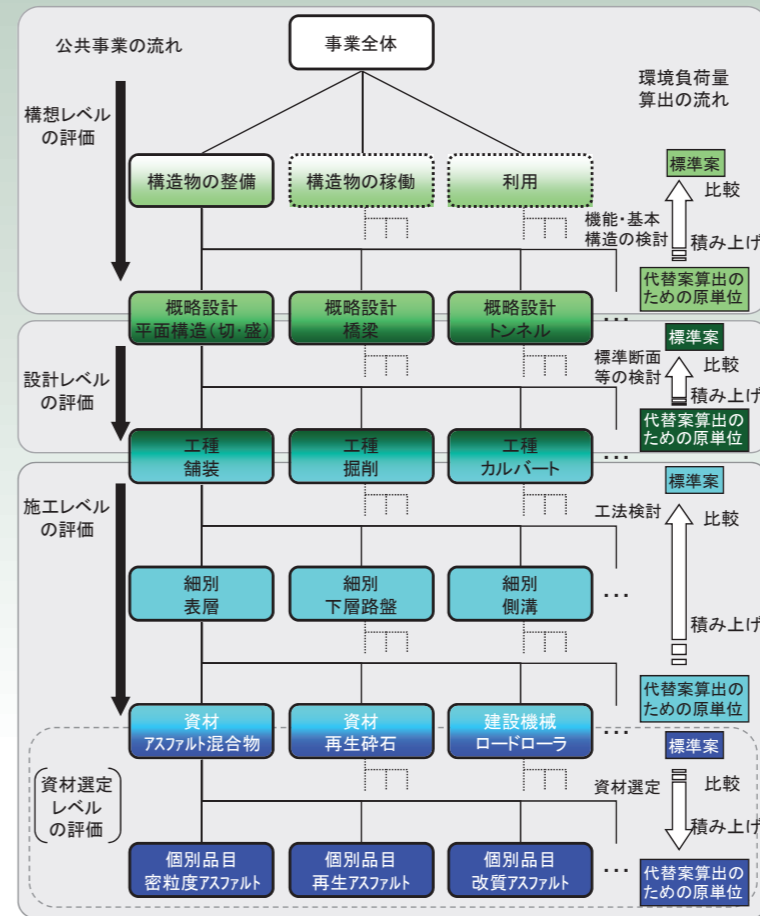


図2 社会資本整備及び環境負荷算出の流れ²⁾

社会資本LCAにおける事業の進捗に応じた予測手法

社会資本LCAでは、計画の熟度が低い「構想レベル」や「設計レベル」でもCO₂排出量が計算できるように、「構造物当たりのCO₂排出原単位」と「工種当たりのCO₂排出原単位」を整理している。「構造物当たり」や「工種当たり」では個々の工事の特徴を反映しきれない一方、計画の熟度が低い場合には「資材のCO₂排出原単位」を使うことが出来ない。

社会資本LCAの普及・実用化に当たっては、使いやすさと工事の特徴の反映(≒計算精度)を両立したCO₂排出原単位を整備することが課題となる。

当社では国土技術政策総合研究所から、平成25年度に「道路計画段階で用いる道路建設による二酸化炭素排出量算出方法整理業務」、平成26年度に「道路事業の構想段階・詳細計画段階で用いる道路建設による二酸化炭素排出量の予測手法に関する課題整理業務」を受注し、主にCO₂排出原単位整備の検討を行ってきた。

本稿では、平成26年度土木学会全国大会で発表した「トンネル工事に係る『工種当たりのCO₂排出原単位』の細分化を検討した事例」⁴⁾を紹介する。

プロジェクトの目的

『トンネル年報2013』⁵⁾によると、日本のトンネルは図3に示すとおり半数余りを山岳トンネルが占めており、その殆どがNATMで建設されている。

本プロジェクトでは、トンネル工事

の「工種当たりのCO₂排出原単位」を掘削延長以外の条件に基づいて細分化することで、より精度の高い原単位を整備することを目的とした。

トンネル工事に伴うCO₂排出量の算出

NATMで施工されたトンネル(2車線)23工事を対象に、詳細設計報告書から把握した資材・燃料の使用量と「資材のCO₂排出原単位」の積和により、CO₂排出量を算出した。

計算結果のうち上位及び下位の4件を除くと、トンネル延長1km当たりのCO₂排出量は平均10,730t-CO₂/km(8,660～12,724t-CO₂/km)となった。排出由来別の内訳は図4に示すとおりであり、覆工コンクリート等の資材が9割を占めていた。工種別の内訳は図5に示すとおりであり、「トンネル工」と「インバート工」で9割を占めていた。

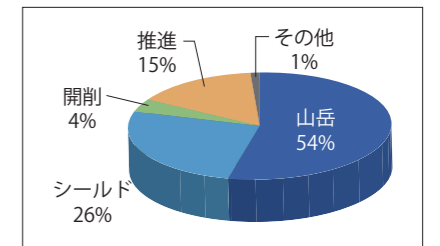


図3 トンネル数の内訳

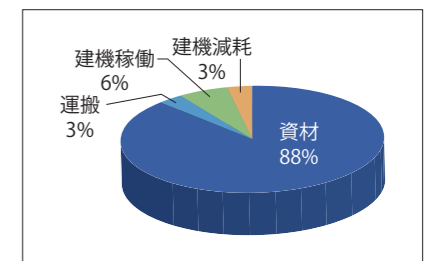


図4 CO₂排出量の内訳(排出由来)

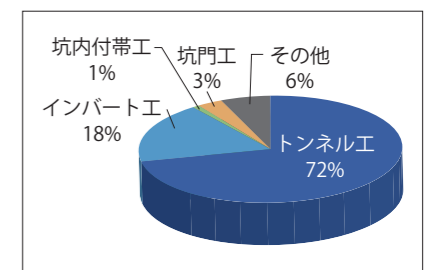


図5 CO₂排出量の内訳(工種)

表2 「トンネル工」・「インバート工」の工事内容

工種	工事内容
トンネル工	掘削の違いによって「発破工法」と「機械掘削工法」に分かれる。掘削、ずり運搬、吹付、ロックボルトの設置、鋼製支保工の設置、一次吹付後の金網設置（以上「掘削・支保」）、防水シート設置、型枠設置、覆工コンクリート打設（以上「覆工コンクリート・防水」）の一連作業
インバート工	インバート部の掘削、ずり運搬、埋戻し（以上「インバート掘削」）、コンクリート打設（以上「インバート」）の一連作業

工種毎のCO₂排出量の分析

CO₂排出の大半を占める「トンネル工」と「インバート工」の工事内容は表2に示すとおりである。工事工種体系の細別では、それぞれ「掘削・支保」「覆工コンクリート・防水」「インバート掘削」「インバート」に分けられる。

掘削・支保

掘削速度等は、掘削断面積や岩の硬さ等によって変わることから、CO₂排出量はこれら要素から影響を受けると考えられる。「掘削・支保」の掘削延長1m当たりのCO₂排出量（CO₂排出原単位）と掘削断面積、地山等級（岩の硬さ）の関係を図6、7に示す。地山等級はC IからD IIIに向けて風化・変質が強くなる。掘削延長1m当たりのCO₂排出量は、掘削断面積が大きく、風化・変質が強い区間ほど大きくなる傾向がみられた。

保」の掘削延長1m当たりのCO₂排出量（CO₂排出原単位）と掘削断面積、地山等級（岩の硬さ）の関係を図6、7に示す。地山等級はC IからD IIIに向けて風化・変質が強くなる。掘削延長1m当たりのCO₂排出量は、掘削断面積が大きく、風化・変質が強い区間ほど大きくなる傾向がみられた。

覆工コンクリート・防水、インバート掘削、インバート

「覆工コンクリート・防水」「インバート掘削」「インバート」では、掘削方法や地山等級による明らかな違いはみられなかった。掘削延長1m当たりのCO₂排出量と掘削断面積の関係は図8～10に示すとおりであり、掘削断面積が大きいくほどCO₂排出量は大きくなる傾向がみられた。

削方法や地山等級による明らかな違いはみられなかった。掘削延長1m当たりのCO₂排出量と掘削断面積の関係は図8～10に示すとおりであり、掘削断面積が大きいくほどCO₂排出量は大きくなる傾向がみられた。

工種毎のCO₂排出量と設計条件

工種毎の掘削延長1m当たりのCO₂排出量を掘削断面積の関数として整理した結果を表3に示す。インバートは地質が不良な箇所施工されるが、インバートが不要な箇所と比べるとCO₂排出量は3割程度増加すると推計された。

検討結果の活用の可能性

以上の検討結果は、収集した工事事例が限定的であることに加え、その後も新たな工事事例を対象とした分析等が行われていることから、そのまま活用するには注意が必要である。

ただし、仮に表3を用いることで、発破から機械掘削への変更や地山等級の違いによってCO₂排出量がどの程度変わるかの推計が可能であり、これらの検討結果を積み上げることで、使いやすさと計算精度を両立したCO₂排出原単位を整備することができると思われる。

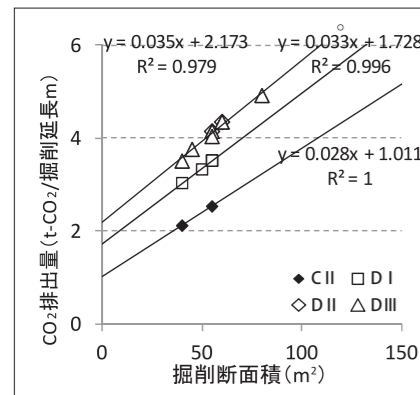


図6 掘削・支保（発破）のCO₂排出量と掘削断面積の関係

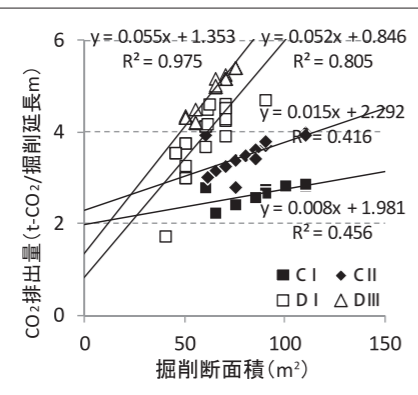


図7 掘削・支保（機械掘削）のCO₂排出量と掘削断面積の関係

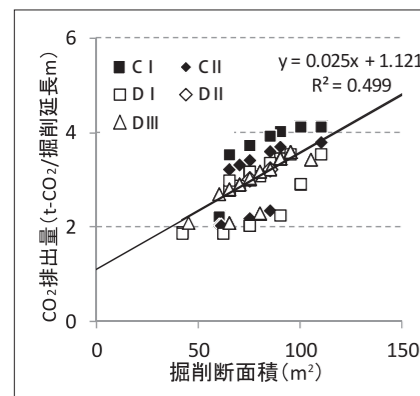


図8 覆工コンクリート・防水のCO₂排出量と掘削断面積の関係

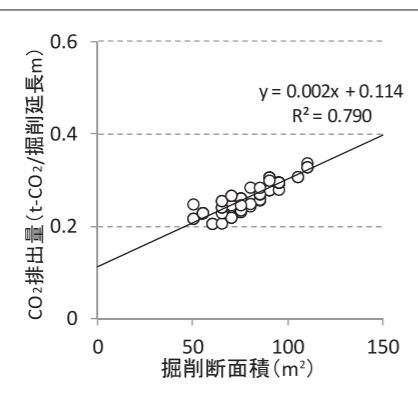


図9 インバート掘削のCO₂排出量と掘削断面積の関係

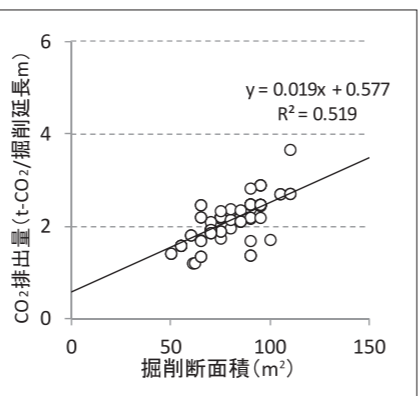


図10 インバートのCO₂排出量と掘削断面積の関係

表3 工種毎の掘削延長1m当たりのCO₂排出量（CO₂排出原単位）

工種	細別	掘削方法	地山等級	CO ₂ 排出原単位 (t-CO ₂ /掘削長m)	
				掘削方法・地山等級別	[参考] 平均値
トンネル工	掘削・支保	発破	C II	0.028X+1.011	4.027
			D I	0.033X+1.728	
			D II・D III	0.035X+2.173	
	掘削・支保	機械掘削	C I	0.008X+1.981	
			C II	0.015X+2.292	
			D I	0.052X+0.846	
			D III	0.055X+1.353	
覆工コンクリート・防水	—	—	0.025X+1.121	3.142	
インバート工	インバート掘削	—	—	0.002X+0.114	0.274
	インバート	—	—	0.019X+0.577	2.143

注) X:掘削断面積 (m²) を示す

建設分野以外の動向

低炭素社会を目指す上で、製品・サービスのライフサイクルをとおしたCO₂排出量（LCCO₂）の削減が必要となる。LCCO₂の予測・評価の活用事例としては、一般社団法人産業環境管理協会によって運営されている「CFPプログラム」がある。これは、経済産業省を含む4省庁主導の「カーボンフットプリント制度試行事業」を引き継いだもので、主に製造業を対象に製品のライフサイクルをとおして排出される温室効果ガスの排出量をCO₂に換算し、見える化する仕組みである。

また世界的には、図11に示すとおりGHGプロトコルでScope3が設定

され、製品輸送、社員の業務上の移動、アウトソーシングした主な生産工程等からの間接排出量を算定することになった。日本でもカシオ計算機株式会社⁸⁾、大日本印刷株式会社⁹⁾、本田技研工業株式会社¹⁰⁾等で自ら評価がなされ、その結果がHPで公表されている。

建設分野のLCCO₂の課題

建設分野のLCCO₂を予測・評価するに当たっては、建設分野以外の違いから以下の課題が挙げられる。

- ① 社会資本整備の場合、構想から施工までの期間が長く、構想・設計の予測条件が実施工

- と異なる可能性がある。
- ② 工事完了後の利用や維持・管理方法、供用期間等の推定が困難（現時点の社会資本LCAでは、供用、維持・管理は対象外）。
- ③ CO₂排出量以外に、施設の必要性等の様々な観点で複合的に評価することが必要。

低炭素社会の実現にはLCCO₂の予測・評価の活用が有効であり、建設分野では使いやすさと計算精度が両立したCO₂排出原単位の整備に加えて、前述の課題の解決が求められている。

<参考資料>

- 国土技術政策総合研究所・土木学会：社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発に関する報告 - 社会資本LCAの実践方策、平成24年2月
- 国土技術政策総合研究所：第34回環境システムシンポジウム「持続可能なグリーン社会の実現に向けた社会資本LCA技術」、http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/lca/events.htm
- 国土技術政策総合研究所：工事工種体系ツリーの細別（レベル4）に対応した環境負荷原単位一覧表、http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/lca/database/worktype/e_w2010beta.xls
- 管林 他：トンネル工事を対象とした設計条件の違いによるCO₂排出分析、平成26年度土木学会全国大会概要集、平成26年8月
- （一社）日本トンネル技術協会：トンネル年報2013
- （一社）産業環境管理協会：カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム、http://www.cfp-japan.jp/
- みずほ情報総研（株）：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等に関する調査・研究会第1回グローバル対応分科会資料、http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/supplychain_gas_global/001_05_01s.pdf
- カシオ計算機（株）：http://www.casio.co.jp/csr/env/data/scope3/
- 大日本印刷（株）：http://www.dnp.co.jp/csr/environment/theme11g.html
- 本田技研工業（株）：http://www.honda.co.jp/environment/face/2012/case19/episode/episode01.html

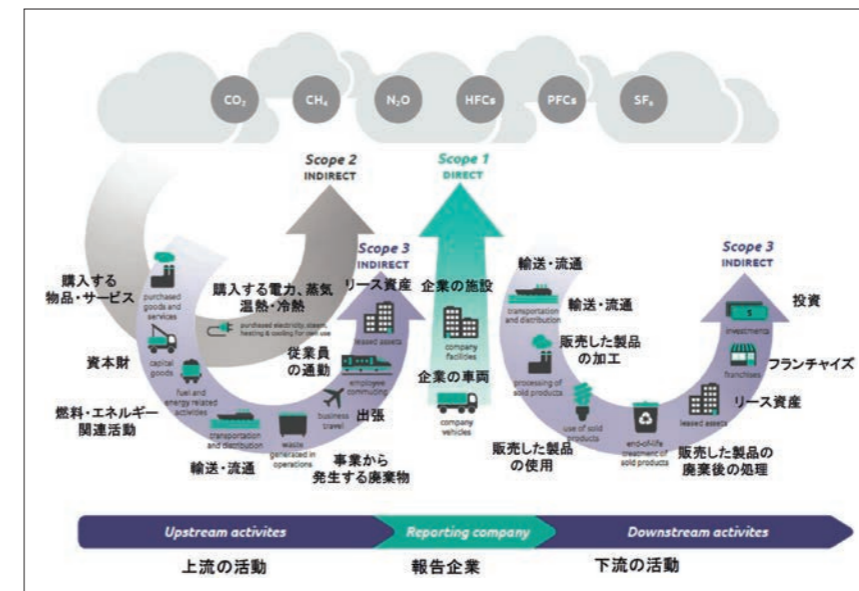


図11 GHGプロトコルScope1～3の概念図⁷⁾