

特集：データに基づく道路のマネジメント

道路の整備・管理における低炭素化 ーデータベースを用いた対策の検討ー

曾根真理* 神田太朗**

1. はじめに

地球温暖化は、現在最も重要な環境問題の一つである。地球温暖化を招く温室効果ガスの代表である二酸化炭素（以下「CO₂」という。）は、あらゆる人間活動から排出され、かつ大気中で安定であるため、その排出源及び影響は空間的・時間的に広範囲かつ長期にわたる。したがって、地球温暖化の緩和に向けた対策にあたっては、CO₂排出の全過程を視野に入れた、ライフサイクルアセスメント（以下「LCA」という。）に基づく検討が必要である。

LCAは製品やサービスの分野を中心に開発された手法であり、道路の整備・管理を含む社会資本整備におけるCO₂排出量の削減を検討する手法としては、評価における前提条件の共通化やCO₂排出原単位の分類の詳細化等に技術的な課題が見られた。

そこで国土技術政策総合研究所は、総合技術開発プロジェクト「社会資本のライフ・サイクルをととした環境評価技術の開発」（2008～2010年度）において、技術的な課題を解決しつつ、社会資本整備の従事者が使いやすいCO₂排出量の評価技術を開発した。本稿では、社会資本整備のLCAに用いるCO₂排出原単位と、そのデータベースを活用した道路の整備・管理における低炭素化の展望について紹介する。

2. 道路の整備・管理におけるLCA

2.1 CO₂排出量と対策メニューの現状

2.1.1 道路の整備・管理に関わるCO₂の排出状況

2005年度における道路関係公共事業に伴うCO₂排出量の内訳を図-1に示す。建設工事による「直接排出」は約11%に過ぎず、大部分は主要な建設資材の製造に伴って排出されていることが分かる。よって、直接排出に限定したCO₂排出量の削減対策ではなく、資材製造等にも働きかけられる対策が必要である。

2.1.2 現状の対策メニュー

我が国においては、京都議定書で約束された第一約束期間において基準年に対する6%の温室効果ガス

排出量の削減を達成するため、地球温暖化対策の推進に関する法律（平成10年10月公布、平成23年6月最終改正）に基づく京都議定書目標達成計画（平成17年4月策定、平成20年3月全部改定）が定められている。京都議定書目標達成計画においては、道路の整備・管理を含む社会資本整備が密接に関連する対策として、エネルギー起源のCO₂排出量を抑制する建設施工分野における低燃費型建設機械の普及、非エネルギー起源のCO₂排出量を抑制する混合セメントの利用の拡大、吸収作用の保全・強化のための道路等における緑化の推進が示されている。

2.2 全体最適化を実現するためのLCA

CO₂排出量の内訳によって明らかであるとおり、社会資本整備における低炭素化に向けて、建設業に限らず、関連する他の産業界や大学等の学界でも実施可能な対策を検討できる共通手法が必要である。また、従来の上位下達型のモデルでは、対策が部分的なものに留まりかねず、それらの積み重ねは全体最適につながらないことがあり得る。関係者が多岐にわたる地球環境問題については、実施する主体が自ら対策を検討する手法が求められる。関係者が自ら全体最適のシナリオを検討する共通の手法として、対象のゆりかごから墓場までを通しての環境に及ぼす影響を評価するLCAは適している（図-2）。

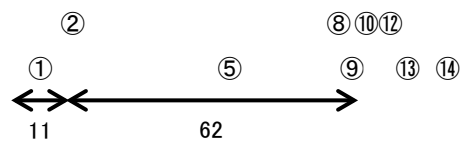


図-1 道路関係公共事業に伴うCO₂排出量の内訳

（「産業連関表」と「産業連関表による環境負荷原単位データベース」によって2005年度について試算）

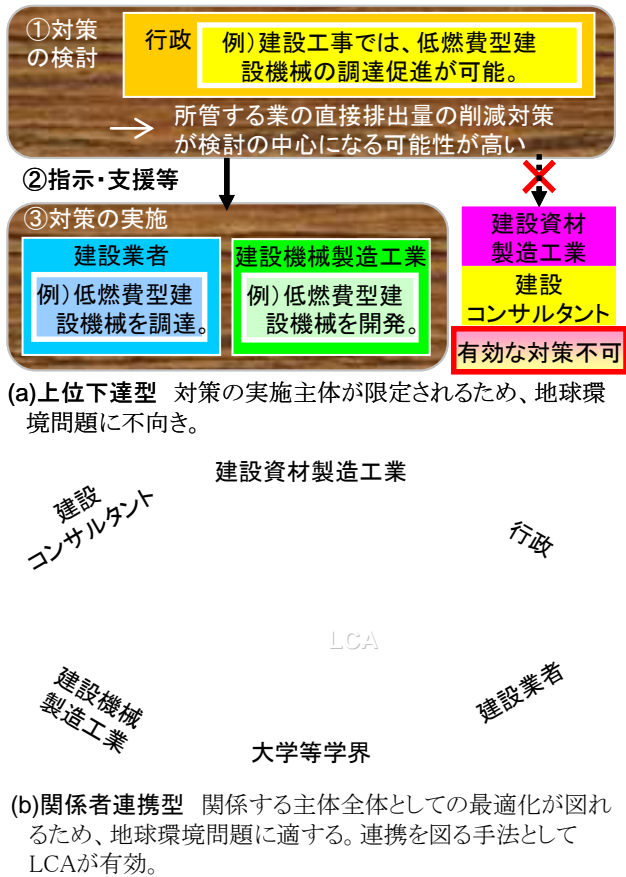


図-2 地球温暖化における、上位下達型の検討と、LCAを中心とした関係者連携型の検討の相違

2.3 工事費用の積算とLCAの関連性

LCAによるCO₂排出量は、式(1)によって計算できる。

$$CO_2 = \sum_i (x_i \times e_i) \quad \text{式(1)}$$

ここで、CO₂: LCAによるCO₂排出量、x: 活動量、e: CO₂排出原単位であり、添え字*i*は活動項目を表わす記号である。

工事費用との関連で理解すれば、xは数量、eは単価、*i*は細別やその構成要素に相当する。したがって、工事費用の積算における単価をCO₂排出原単位に置換すればCO₂排出量を計算できる。しかしながら、それぞれの工事に携わる建設分野の技術者が適切なCO₂排出原単位を設定することは困難である。よっ

て、社会資本整備に伴うCO₂排出量の評価技術の開発では、CO₂排出原単位の整備が中核となる。

3. CO₂排出原単位のデータベース

3.1 活用用途別の階層的なデータベース

整備したCO₂排出原単位の例を表-1に示す。道路整備・管理の様々な事業段階での利便性等に配慮して、階層的なデータベースとした。最も集約された原単位は、計画の構想段階における道路の機能や基本構造の検討に利用できるものとして、道路の構造形式別に延長・車線当たりのCO₂排出原単位を作成した。設計段階用には、構造物の配置や代表断面の形状が検討され工種別の数量が算出されるため、工種当たりのCO₂排出原単位とした。施工・管理段階用には、道路を具現化するための施工方法や使用資材が検討されるため、建設機械の供用日当たり、建設資材の単位投入量当たりのCO₂排出原単位とした。

3.2 CO₂排出原単位の技術的特徴

CO₂排出量の計算は工事費用の単価をCO₂排出原単位に置き換えることで可能である。そこで、工事費用の積算体系と対応できるCO₂排出原単位を作成した。積算体系に対応することは、計算を簡易にすることのほかに、技術的にも利点がある。LCAに基づくCO₂排出量の計算においては、CO₂排出源を網羅することが、計算結果の信頼性を高める上で最も重要な要件の一つである。

一部の事業区分を除き、社会資本整備の積算システムは体系化されている(図-3)。最も上位の階層であるレベル0の「事業区分」は、「道路」や「河川」と言った予算制度上及び事業執行上の区分であり、これに漏れる事業はないと見てよい。「道路改良」や「橋梁下部」と言った工事の種類は、レベル1で決定され、中間のレベルを介して、積算の基本となるレベル4の「細別」と関連づけられる。細別では、検収対象とならない単位仮設物も取り扱われる。よって、積算に対応することで、見落としがちな仮設工等に伴うCO₂排出量も算出できる。

表-1 CO₂排出原単位の例

(a)構想段階用 ☆はt-CO ₂		(b)設計段階用 ☆はkg-CO ₂		(c)施工段階用 ☆はkg-CO ₂	
構造形式	CO ₂ 排出原単位	工種～細別	CO ₂ 排出原単位	資材、建設機械	CO ₂ 排出原単位
土工	946 (☆/km/車線)	掘削工(軟岩)	5 (☆/m ³)	普通ポルトランドセメント	915 (☆/t)
橋梁	12,579 (☆/km/車線)	A種コンクリート工	233 (☆/m ³)	早強 "	944 (☆/t)
トンネル	4,468 (☆/km/車線)	(舗装)表層工	8 (☆/m ²)	中庸熱 "	929 (☆/t)
...		

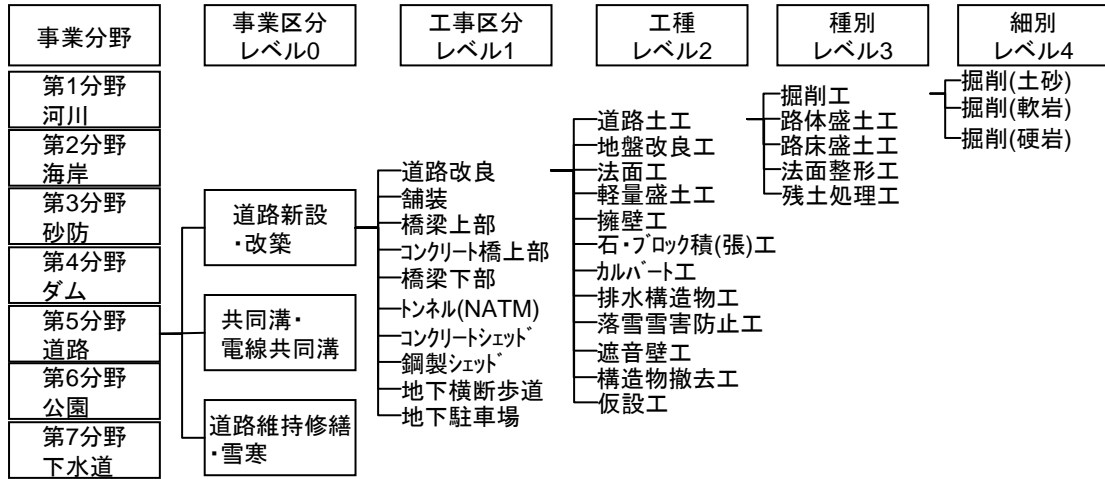


図-3 国土交通省所管の土木工事（港湾・空港除く）の工種体系（一部抜粋）

レベル4の作業区分を構成する労務費、材料費等は、レベル5で決定される「規格」に応じてレベル6の「積算要素」で計上される。積算要素では、建設資材、燃料の調達に係る費用から機械減耗に係る費用まであらゆる費用が計上され、「財源措置の枠の把握」や「適切な価格の決定」等の元となる。よって、各細別に必要となる作業についても漏れなく計算が可能であると考えられる。

4. データベースを活用した低炭素化の展望

整備したCO₂排出原単位を用いて、本来、経済性、耐久性等の改善を目的に開発された工法をCO₂排出量の側面で再評価したり、工事での効果的なCO₂排出量の削減対策を検討したりすることが可能である。本章では、これらの活用の具体例によって、今後の道路の整備・管理における低炭素化の展望の一端を示す。

4.1 試算対象

省資源性や施工性の改善を目的に開発された二つの工法について、それぞれ従来の一般的な工法とCO₂排出量を比較した。さらに、各々を道路改良工事と橋梁下部工事に適用した際の工事全体のCO₂排出量の変化量を試算した。対象とした工法及び工事の概要を表-2に示す。

4.2 工法の再評価

工法の再評価結果は、図-4の赤枠内に示す通りである。省資源性に優れた固化技術は、従来石灰系の材料によってなされていた地盤改良を製紙工場で産出される副産物で代替することができるため、CO₂排出量を地盤改良工で9割削減することが明らかになった。また、施工性及び耐久性に優れたコンク

表-2 試算対象の概要

(a) 道路改良工事

工事規模	延長469.4m, 幅員10.5m, 2車線	
(切土部)	100	1050
	525	
	↑↑ 175 350	
(盛土部)	[cm]	
	※スケールは切土部と同じ	
工種構成	道路土工, 地盤改良工, 法面工, 石・ブロック積(張)工, 排水構造物工	
工法 (地盤改良工)	標準案	残土処理工(生石灰系改良材)
	比較案	製紙スラッジ灰を用いた省資源性に優れた固化技術

(b) 橋梁下部工事

工事規模	橋長371.5m, 幅員23.5m, 4車線	
	€	
工種(種別)構成	RC橋脚工(場所打杭工, 橋脚躯体工, 作業土工), 橋梁付属物工, 仮設工	
工法 (橋脚躯体工)	標準案	高炉B種コンクリート
	比較案	水結合材比を高め、高性能AE減水剤を用いた、施工性及び耐久性に優れたコンクリート

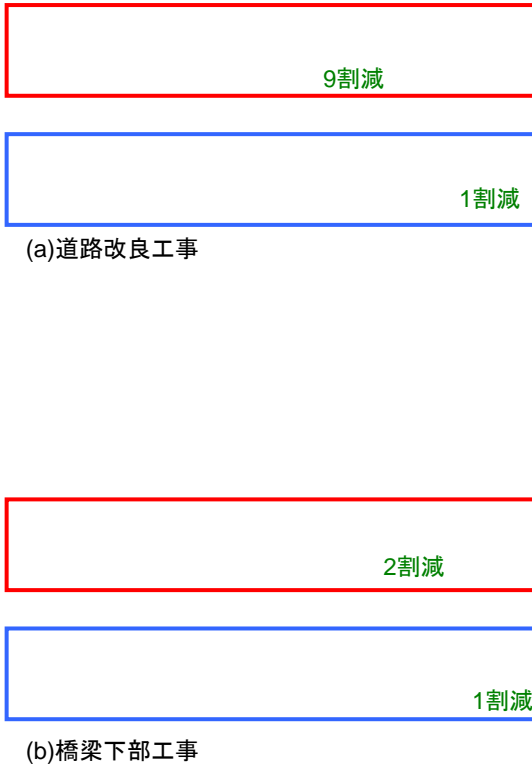


図-4 標準案、比較案のCO₂排出量の変化
(横軸は(a)と(b)で共通)

リートの工法は、高強度の鉄筋を用いるものの、鉄筋及びコンクリートの投入量を大きく減らせるため、高炉B種コンクリートを用いた場合に比べて、橋梁躯体工で2割削減することが明らかとなった。

これらの例が示す通り、従来は省資源性や施工性等の観点で開発された工法の中に、CO₂排出量の削減の観点でも効果が大きい技術が見られる。

4.3 工事におけるCO₂排出量の削減対策の検討

道路改良工事と橋梁下部工事に関する試算結果は、図-4の青枠内に示す通りである。工事全体のCO₂排出量について、材料調達、機械稼働、機械減耗等の構成要素に着目すると、道路改良工事では機械稼働が最も大きな割合を占める一方、橋梁下部工事では材料調達が支配的である。道路改良工事については、機械減耗に係るCO₂排出量も一定の割合を占める。

工法の変更によるCO₂排出量の変化について、前節で示した通り、工種（または種別）あたりのCO₂排出量の変化は道路改良工事で9割減、橋梁下部工事で2割減と大きく異なるものの、工事全体のCO₂排出

量の変化はともに1割減で同程度であった。これは、道路改良工事の地盤改良工に適用した比較案については、標準案に比べて大幅なCO₂排出量の削減が可能であるものの、地盤改良工のCO₂排出量が工事全体に占める割合が小さいために、工事全体としては1割減に留まり、逆に、橋梁下部工事の橋梁躯体工については、種別で2割減の技術であっても、工事全体に占める橋脚躯体工の割合が大きいためである。

工事全体のCO₂排出量の削減に向けて、工法単体のCO₂排出量に加えて、工事を構成する工種や、CO₂排出の要因に着目した対策が効果的である。

5. おわりに

本稿では、今般整備した、社会資本整備に係わるCO₂排出原単位について紹介した。これらのCO₂排出原単位は、省資源化や耐久性の向上等の技術的要件と両立した低炭素化技術の掘り起しや、工事全体のCO₂排出量の効果的な削減対策の検討に有効であることが確認された。利用にあたっての留意事項が一部残るものの、現実の低炭素化に向けて、これらのCO₂排出原単位を用いた評価技術の普及に取り組んでいる。

謝辞

本研究の実施にあたっては、公益社団法人土木学会の環境システム委員会が設置した、「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：国土技術政策総合研究所 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試算検討WG」（座長：和歌山高等専門学校 靄巻峰夫教授）に、内容の精査・検証等のご協力を頂いた。

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

神田太郎**



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 研究官
Taro KANDA