

9. 土木建設業における環境負荷評価 (LCA)

検討 (その1)

LIFE CYCLE ASSESSMENT ON CIVIL ENGINEERING ACTIVITIES (NO. 1)

地球環境委員会 土木建設業環境管理システム研究小委員会 第2部会

盛岡 通* 酒井 寛二** ○内藤 弘***

Tohru MORIOKA Kanji SAKAI Hiroshi NAITO

ABSTRACT; The objective of this study is to measure environmental impacts of construction and civil engineering activities by means of the life-cycle assessment(LCA). Throughout their life cycle, construction and its activities entail broad range of environmental impacts at both global and local levels. LCA can be an effective tool to measure those impacts, and to evaluate alternative construction methods, designs, and materials. In order to examine the LCA method and apply it to civil engineering construction, this study focuses on collecting recent LCA studies and emission data, and specifying objectives, processes, and framework of LCA as a practical tool.

KEY WORDS; life-cycle assessment (LCA), environmental impacts, civil engineering activities

1. はじめに

平成4年に制定された「環境基本法」において、環境への負荷とは、「人の活動により環境に加えられる影響であって、環境の保全上の支障の原因となるおそれのあるもの」と極めて幅の広い定義が示された。今日の環境問題の特性として、個々の活動の環境への負荷量が小さいものの、その集積が大きな環境への支障を招いていること、問題が社会経済活動に深く起因していること、等が挙げられる。そして、直接的規制が困難または馴染まないため、人の活動の様々な局面において発生する環境負荷を総合的に評価し、その低減を図るという手法が解決にあたって必要と考えられるようになってきている。

こうした環境負荷を総合的に評価する手法としては、ライフサイクルアセスメント(LCA)が有力と考えられている。LCAは、主に消費材としての製品を対象として、製品の製造・流通・消費・廃棄等の

* ; 大阪大学工学部環境工学科 Dep. of Environmental Engineering, Fac. of Eng., Osaka Univ.

** ; (株)大林組地球環境部 Dep. of Global Environment, OHBAYASHI Corporation

*** ; (株)エックス都市研究所第3部環境科学研究室 Environmental Science Div., EX Corporation

他の部会委員(五十音順) ; 井村文(九州大学)、乙間末(国立環境研究所)、金澤漢(日本技術開発)、小泉泰通(㈱フジタ)、児玉浩一(清水建設)、小室信幸(国際航業)、下畑隆司(㈱神戸製鋼所)、船水正雄(㈱ニュージェック)、高野佳博(鉄建建設)、高柳剛男(日本工営)、鶴巻峰夫(八千代エンジニアリング)、花木啓祐(東京大学)、藤岡正介(㈱ニュージェック)、真下章(東急建設)、松岡謙(名古屋大学)、宗形道樹(㈱父小野田)、森下研(エコマネージメント研究所)、山本聡(建設省土木研究所)

全サイクルにわたって発生する環境負荷を定量・評価しようとする手法であり、その確立は環境管理における重要な課題になっている。

さて、土木建設業は、各種の社会基盤的な施設や構造物・システム等を構築・更新する産業である。土木建設業自身の活動である建設物の建設・供用・更新・廃棄等にわたるライフサイクルの中で、多くの資源・エネルギーを消費し、その過程で環境への負荷を発生させている。こうした土木建設現場において直接排出されるCO₂や消費されるエネルギーといった環境負荷は、我が国の産業分野全体でみると小さいものの、使用する材料の製造といった関連産業分野まで含めると、土木建設業の環境に与える負荷は全体の約1/3という試算もあり、どこまでを土木の範囲とするのかについての議論もある。また、具体的に、トンネル、橋梁、道路、ダムといった土木建設物が、建設時だけでなく供用時、解体時も含めたライフサイクルにおいて環境に与える負荷はどのくらいなのか、別の工法を採用した場合の負荷はどの程度変化するかといった点についての情報は、十分に把握・整理されているとはいえない状況にある。

そこで、本部会では、環境負荷評価手法として期待の大きいLCAの考え方を資本財としての各種の土木建設物にも適用して、土木建設業における環境負荷を定量しようというものである。具体的には、モデル的な土木構造物を定め、その寿命期間（ライフサイクル）を通して、地球環境及び地域環境に与える影響を評価する手法や、代替工法やリサイクル資材の使用等による負荷低減効果を定量的に評価できるような手法を開発し、できれば、土木分野における標準的なLCA手法を提案することも目標として、平成6年度より3か年研究の予定で活動を開始した。

平成6年度は、基礎情報の収集整理のほか、土木分野におけるLCAの目的や実際の土木建設業への適用のあり方等についての意見交換等を行った。本格的な検討は次年度以降に行うものとして、具体的な成果は十分得られてはいないが、本稿では、検討の経過と課題を整理し、今後の見通し等について報告するものである。

2. 検討の目的

(1) 検討の目的

本部会の目的は、第1には、

① 土木建設物のライフサイクルを通した環境負荷の定量化（LCA評価）

のための標準的な手法を確立することにある。

この際、土木建設業の生産物は、各種の社会基盤的な施設や構造物・システム等であり、その構造・形式・形状、使用資材・機材の種類、施工方法、維持運営等の代替案の選択によっては、他の環境負荷活動の誘発の度合いを変化させ、物質とサービスの消費の連関を通して、資源採取・資材生産からリサイクル・廃棄に至る各段階での関連産業の環境負荷を含めて減じることができるという特性をもっている。

そこで、このLCA評価は、計画諸元や工法及び施工実際などに関する代替的行為の発見と、より望ましい代替案の選択を誘導する実務的なものであることが望まれる。従って、①の手法は同時に、

② 環境負荷の低減・改善の方向性（代替案）の提案と改善効果の評価

を行い得る手法、具体的には代替工法・構造・資材等の影響を定量できる手法であることが必要と考えられる。

LCA手法には、産業連関表を用いた分析方法と積み上げ法（個別積算）による分析方法があるが、②のような代替案の提案・評価を行うための分析の精度を得るには、産業連関表を用いた環境負荷の定量ではなく、積み上げ法（個別積算）による定量が必要になってくるものと考えられる。もちろん、定量に用いる各種の原単位については、産業連関表を用いた解析によって算出することが多いものと考えられる。

(2) 土木建設分野におけるLCA手法の活用の方向性

次いで、こうしたLCA手法の活用の方向性、実際の土木建設業の活動への適用のあり方についての見通しをつけておく必要がある。当面の見通しと課題を整理すると以下ようになる。

- ① 実際の適用方法のイメージとして、今後、環境管理システムが制度的に構築された場合には、LCA的な取り組みも契約の評価項目に組み込んだ新しい入札制度等が模索される方向にあるとのことから、LCAを契約の際の業者選択の要素とする、あるいは、事業者及び業界の姿勢表明の手段とするといった適用のあり方が考えられる。

具体的には、同一機能の土木建設物を建設するにあたって、環境負荷の低い工法をとれる事業者と契約するといった差別化、環境負荷の低い方へ誘導していくことが考えられる。ただし、現実問題としては、土木建設業の風土として甲乙といった契約関係があること、環境負荷以外の各種要因（特に経済性）の考慮も当然必要になってくることが、等が考えられる。

- ② 土木建設業の多くの産業活動は公共事業としてなされているので、行政等の計画・事業主体の構想や意向は前提条件として順守するという関係として解釈される。従って、社会資本の機能や容量などの主要フレームにかかるライフサイクル的な環境評価は、土木建設業という施工する側だけの問題ではなく、計画構想段階での事業者自身の責務や事業のあり方の理念を問う試みとして適用していくことの検討も必要であろう。

今年度は3つのワーキンググループに分かれて3.～5.のテーマについて検討を行った。その概要を以下に示す。

3. 土木建設分野を中心としたLCA評価事例について

文献調査により、土木・建築分野におけるLCAの実施例の収集・評価を行った。

土木分野におけるLCAは、現状では研究事例も少なく、土木建設物の建設時を対象とし産業連関表を用いたマクロな環境負荷の評価がほとんどである。建設+供用（イニシアル+ランニング）時のコストやエネルギー分析をしている事例はみられるが、廃棄時を含めたライフサイクルにわたっての環境負荷の評価事例はなかった。また、個別の土木建設物について、資材の数量、エネルギー使用量等をミクロに積み上げていく手法により、同種の土木建設物について構造別、資材別、工法別等の環境負荷を比較定量し代替案を見出していくような研究事例はほとんどなかった。

4. LCA算出のための原単位情報の収集と評価

土木・建築分野における多くのLCA研究事例では、それぞれの根拠に基づいた環境負荷等の原単位が提案・使用されている。そこで、約50件の研究事例から土木分野におけるLCA算出のための原単位情報を整理し、その算出根拠・方法等が適当かどうかについて評価し、今後、実際に土木構造物についてのLCAを行う際に使用する標準的な原単位を整備しているところである。

LCA及びLCA的解析で用いられる原単位には、一般原単位とLCI原単位がある。一般原単位は、一般の計画、環境アセスメント等に用いられる原単位や物性に基づく数値等であり、必ずしもインベントリー手法を意識せずに算出されているものといえる。一方、LCI原単位は、LCAのインベントリー分析に用いられる原単位である。ここでは、LCI原単位について若干の整理を行った。

(1) LCI原単位の作成方法

土木建設に関連するLCA事例及び利用されているインベントリーの手法としては、積み上げ方式による原単位、産業連関分析による原単位、積み上げ方式及び産業連関表の併用による原単位がある。

積み上げ方式は、個別製品の製造プロセスを積み上げて算出していく方法であり、間接部分を究極的

に求めることができないため、複数の資材等の組み合わせを全体として把握することは困難である。これに対し、産業連関表を利用した分析では、製品全体（資材等の組み合わせ）の原単位を推定できるとともに、資材製造プロセスの個々の原単位を推定することも可能である。

ただ、今後、LCA検討の進んだ段階で、リサイクル材とバージン材との比較、国内材と輸入材の比較、個々の地域特性を考慮した素材の利用といった代替案の検討を行うことが想定されるが、この場合には、積み上げ方式及び産業連関表の併用等による原単位の作成が必要になってくることも考えられる。

(2) 対象としている環境負荷

LCI原単位として検討されている環境負荷の項目としては、エネルギー消費及びCO₂排出のみであった。建築分野での事例¹⁾では、建設時におけるNO_x、SO_x、ばいじん、産業廃棄物排出量等の環境負荷を検討している事例もあるが、これは一般原単位を利用するものであった。

(3) ライフサイクル各段階での原単位の利用、検討の状況

土木建設分野でのLCAにおいて、ライフサイクルの各段階で個別に必要な原単位の利用状況、検討の状況は以下の通りである。

- ① 素材の製造に関する原単位 収集した原単位の数値のうち、土木建設分野で最も多用される資材であるセメント、生コンクリート、鉄について既存文献での原単位と作成方法を表1に整理した。

表1 主な土木建設分野での資材の既存LCI原単位の比較

参考文献		2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
エネルギー	セメント	1,340	908			908	797	
	生コン	297				140	209	¹⁾ 463
	鉄	5,600	5,657				6,125	²⁾ 5,500
二酸化炭素	セメント		0.225	0.223	0.219	0.214	0.214	
	生コン					0.0299		0.096
	鉄		0.515	0.351	0.303			0.415
作成方法		産業連関表	産業連関表	産業連関表	産業連関表	積み上げ方式		¹⁾ 産業連関 ²⁾ 積み上げ法

(注) ・ エネルギー消費原単位：Kcal/kg ・ 二酸化炭素排出原単位：kg-C/kg

表1の数値を比較するとばらつきがある。定性的には、システム境界をより狭くする必要のある「積み上げ方式」の数値が小さくなると考えられるが、表中の数値では必ずしも、そのようにはなっていない。このことから、原単位としては、その積算方法よりも、システム境界の取り方などのLCA全体の組立の考え方がより数値に影響を及ぼすのではないかと考えられる。原単位の評価においては、算出方法の違い、特に、産業連関方式の場合は波及効果がどこまで含まれているかが、わかるような整理をする必要があると考えられる。

- ② 建設（素材の加工・組立、施工等）に関する原単位 加工・組立・施工等については、大きく分けて、素材の原単位に対してある一定の率をかけている例^{7)・8)・9)}と、その過程で使われる機械等を想定して検討した例^{1)・2)}などがある。

- ③ 輸送に関する原単位 資材の輸送の原単位としてトラック輸送について、1.2Mcal/t・km²⁾という値を検討した事例がある。また、前述②の一定率をかける方法では、資材の輸送も考慮したものと文献では述べられている。

- ④ 供用（運用・維持管理）及び解体・廃棄に関する原単位 供用及び廃棄の範囲で土木建設の分野に応用できる原単位を検討したり、供用した報告は調査対象の文献ではなかった。
- ⑤ その他 建設省土木研究所では、建設部門分析用産業連関表を用いて建設部門31部門のエネルギー消費、CO₂排出及び消費資源について原単位を検討している¹⁰⁾。

5. LCAからみた土木構造物の類型化

土木の代表的な構造物をLCAの観点から分類し、LCAの手法を開発する際のモデルケースとして選定した。具体的には、土木構造物を、使用する資材、構造物の形式・工法、維持管理、耐用年数等の点に注目して類型化したものである。

その結果、次年度以降、リサイクル材の影響が大きい道路、多様な構造形式と主材料の違いによる比較のしやすい橋梁上部工、工法の違いを比較しやすいトンネル、資材使用量が非常に多いダム、維持管理の比重が高いと考えられる下水処理システム等をモデル的な土木構造物として、LCA手法を用いて環境負荷を試算していくこととなった。

橋梁についてのLCA試算の見通しを例として示す。橋梁は、その計画・設計にあたって、橋長（橋台位置）、支間割り（橋脚設置位置）、桁下余裕高さ等の制約条件をもつものだが、これらが決定した後は、基本的には総合判断（一般に経済性重視）から、適当な橋梁形式を選定している。同等の機能（あるいは同じ制約条件）を有する橋梁でも、RC橋、PC橋、鋼橋と使用する資材と使用量が大きく異なれば、環境負荷の量も大きく変わってくることが十分予想され、これらを比較定量できる手法を検討し試算していく予定である。

6. 今後の予定と課題

次年度には、評価対象とする環境項目を絞り込み、暫定的な環境負荷原単位の設定、代表的土木建設物のLCA試算を行いたいと考えている。検討にあたっての課題としては、以下のような点が挙げられる。

(1) ライフサイクルのモデルフローと環境負荷項目の類型化

当面の検討にあたって、代表的な土木構造物について、ライフサイクルのモデルフローと環境負荷項目を類型化する作業が必要である。下水道終末処理場についての例を図1に示す。

(2) 環境負荷項目

LCA評価にあたっては、地球環境問題を想定したエネルギー消費量、炭酸ガス排出量、資源消費量等の環境負荷項目が多くの研究事例において採用されているが、土木建設活動は、地球規模の環境問題と同時に、地域レベルの環境問題に深く関与しており、その両者を考慮して評価項目を選定していくべきと考えられるが、具体的な土木構造物による自然環境への影響や改廃、建設時の周辺環境への負荷等についての検討は定量手法の開発も含めて今後の課題としたい。

(3) 今後の原単位整備の方向性

今回整理した原単位情報のうち、素材のように解析の方法によると考えられるばらつきや、また原単位のないものについて、今後構築しようとしているLCAの全体モデルを考慮して採用数値や作成手法を検討する必要がある。

(4) 土木構造物のライフサイクルのとらえ方

土木構造物の種類によっては、半永久的に使用され耐用年数で完全に更新というライフサイクルを想定しづらい側面があり、耐用年数の設定が困難なことが考えられる。

このため、供用及び廃棄というライフサイクルシナリオを理解しやすく想定する必要がある。

(5) リサイクル、建設副産物のとらえ方

リサイクルの取り扱いの問題は、LCAにおける大きな問題であるが、建設業においては建設残土、建

設廃材等の取り扱いの問題があり、これらを考慮する場合の原単位上の扱いについての検討が必要である。

(6) LCA評価事例の蓄積

代表的な土木建設物についての評価手法を検討した上で、可能であれば、多様な土木建設物についてのLCA評価事例を蓄積し、ある種の土木建設物特有の評価上の問題点の発掘と対応法の検討、さらには、広域的な都市レベル、国土レベルにおける基盤（都市基盤、治山・治水、水源開発等）建設活動の評価手法の開発を検討したい。

(7) 代替案の見通し

前述の通り、LCA評価は、土木建設物の計画諸元や工法及び施工実際などに関する代替案の発見と選択を誘導するものであることが望ましい。代替案の考え方としては、①効用水準を一定とした時の環境負荷の小さい資材種目を選ぶタイプ、②同じ資材種目でも機能特性や輸入品などの品目を特定するタイプ、③再生品の調達、遠距離輸送品回避、耐用年数の延長などの戦略の明快なタイプ、そして最も難しいと思われる④効用水準に差がある場合の環境負荷のライフサイクル軸上での差異を総合的に比較衡量するタイプ、等に類型化して評価することとしたい。

(参考文献)

- 1) 竹林・岡・紺矢：産業関連表による建築物の評価 その2 日本建築学会計画系論文報告集第431号（1992）（上記の他、同名その1～その10の発表がある）
- 2) 財団法人資源協会：家庭生活のライフサイクルエネルギー（1994）
- 3) 酒井・漆崎：建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定 環境情報科学 Vol.21、No.2（1992）
- 4) 外岡ほか：大気汚染排出構造に関する研究 その13 産業関連表を用いた建設部門CO₂排出構造と削減の可能性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集（1993）
- 5) 吉岡完治ほか：環境分析用産業関連表の応用—生産活動に伴うCO₂排出量とその要因—Iノベション&テクニク 第3巻4号 環太平洋産業関連分析学会（1992）
- 6) 国土開発技術研究センター：省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発（建築委員会）報告書（1994）
- 7) 内山ほか：発電プラントの温暖化影響分析 電力中央研究所報告（1992）
- 8) 森・乙間・近藤ほか：ごみ発電によるエネルギー回収およびCO₂排出量の削減効果の推定 エネルギー・資源 Vol.15 No.6（1993）
- 9) 内山ほか：発電プラントのエネルギー収支分析 電力中央研究所報告（1991）
- 10) 建設省土木研究所：資源・エネルギー消費 環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書 土木研究所資料第3167号（1992）

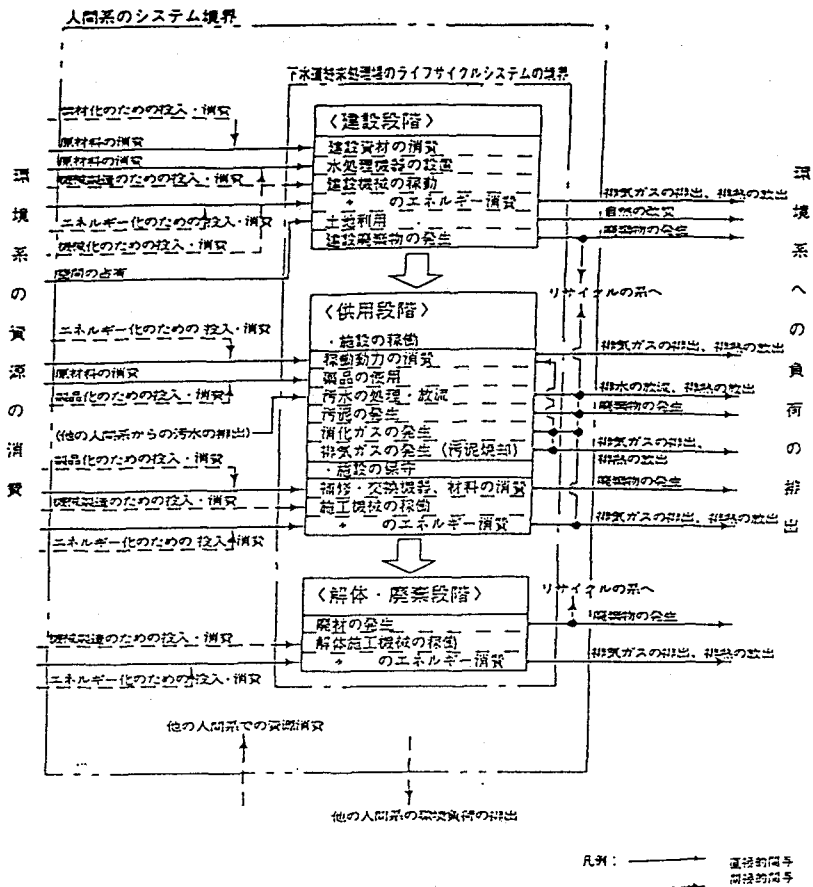


図1 下水道終末処理場のライフサイクルでの環境負荷、環境資源消費の模式図