

II-483

下水道システムのライフサイクルアセスメントに関する研究

東和科学 森下兼年
北九州市 池田秀昭
九州大学工学部 学生員 銭谷賢治
九州大学工学部 正員 井村秀文・楠田哲也

1. はじめに

社会資本整備のためには、鉄、セメント等の大量の資材が必要となる。つまり、社会資本整備は、資材の製造や輸送の過程まで含めて、さまざまな形で地球環境にインパクトを与えており、そのライフサイクル全体にわたるアセスメント（LCA）が重要な課題となっている。そこで、本論文では特に地球温暖化の原因であるエネルギー消費に着目し、下水道システムをケーススタディの対象として、社会資本整備の環境インパクト評価（ILCA）を試みる。

2. 分析手法

社会資本整備にともなう環境負荷を把握する手法としては、産業連関分析による手法と積み上げによる手法がある。産業連関分析による手法では、原単位（金額ベース）の算出は比較的容易だが、下水道、橋梁といった建設事業ごとでしか算出できない。一方、積み上げによる手法は、掘削工、土留め工といった工程単位での原単位（物量ベース）算出を行うもので、より細かな分析が可能であるものの、必要データの入手がなかなか困難である。このように、それぞれの手法には一長一短があり、研究の目的により使い分けや組みあわせが必要である。

図1は、社会資本整備による環境インパクトの定量化手法の相互関係を示したものである。本論文では、2つの手法を組み合わせることによってシステムとしての下水道のILCAを行う。

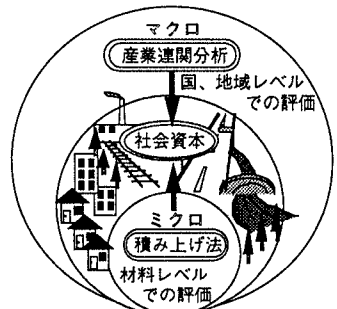


図1 社会資本整備による環境インパクト評価手法（ILCA）の相互関係

下水道システムのLCAについて以下のように設定する。

- ①評価対象：下水道システムは①管渠、②ポンプ場、③処理場（水処理、汚泥処理）、④汚泥廃棄物処理より成り立つが、今回は①、③を対象とする。雨水については本研究の対象外とした。
- ②評価項目：単位処理水量あたりのライフサイクルエネルギー消費量（LCE）
- ③評価範囲：汚水が污水管に流入してから放流される迄、汚泥の処理は脱水ケーキ迄とする。
- ④計算手法：LCEの計算は建設と運転に分けて行うが、管渠の運転は、そのパターンがさまざまであり一律に設定するのが困難なため、今回は対象外とした。

表1 下水道管渠敷設工事（開削工法、内径700mm）エネルギー原単位（Mcal/m）

3. 管渠のLCE

管渠の建設エネルギーについては積み上げによる手法で評価を行う。耐用年数を50年とした。管渠敷設工事を細かく工程毎に分類し、建設機械の使用時間等を積み上げて管渠敷設1mあたりのエネルギー原単位を算出する¹⁾²⁾。

下水道管渠敷設にはいくつか工法があるが、本論文では開削工法、推進工法、マンホール設置工事について算出する。

なお、原単位は以下の4種類について求める。

- ① 直接投入エネルギー：現場の建設機械等に使用される軽油や電力を対象とする。なお、電力は1kWh=2,250kcal（転換時のロスを考慮する）として一次エネルギーに換算する。
- ② 間接投入エネルギー（建設機械等製造）：バックホウやダンプトラック等の建設機械及び矢板等の建設鋼材の製造に投入されるエネルギーを対象とする。建設機械は繰り返し使用されるものであるため、製造に投入されたエネルギーは減価償却されるものとして、建設機械等損料算定表を参考に次式により原単位を算出する。

$$\epsilon = \frac{\text{建設機械の製造エネルギー} \times \text{運転1時間あたりの損料}}{\text{建設機械の基礎価格}}$$

名称	規格	直接投入	間接投入			合計
			建設機械	建設資材	民生部門	
掘削工	機械掘削0.6㎡バックホウ	24.7	4.1	0	1.37	30.1
・	人力併用機械掘削0.6㎡バックホウ	12.3	2.0	0	2.74	17.1
砂埋戻し工	人力投入人力機固め購入砂	0	0	24.7	2.74	27.4
発生土埋戻し工	バックホウ投入タンバ機固め	21.9	3.6	0	7.20	32.7
残土処分工（積込み）	11tダンプトラック機械積み	64.0	8.6	0	3.12	75.7
矢板打込み工	パイプロ40kw、クローラ35～37t	118.5	36.5	0	17.01	172.0
矢板引抜き工	・	84.2	10.8	0	8.16	103.2
支保材取り付け工	鋼製2段トラック、クローラ15～16t	34.6	36.3	0	14.46	85.3
支保材取除き工	・	15.7	5.0	0	9.03	29.8
管布設工（ヒューム管）	トラッククレーン10～11t	11.1	2.5	317.7	8.72	340.1
ぐり石基礎工	・	0	0	12.3	1.18	13.5
水替え工	水中ポンプ	5.4	0.3	0	0.25	5.9
舗装取り壊し工	・	9.5	1.5	0	0.50	11.5
路面復旧工	・	1.0	0.3	41.2	0.44	42.9
合計		402.9	111.5	395.9	76.92	987.2

③ 間接投入エネルギー（建設資材製造）：ヒューム管や砂利等、建設資材の製造に投入されるエネルギーを対象とする。なお、建設機械及び建設資材の製造エネルギー原単位は、他に適したデータがないため産業連関分析の結果を用いる。

④ 労働力投入による負荷：現場で投入される労働力によって間接的に投入されるエネルギーを対象とする。産業連関分析では民生部門で消費されるエネルギーも産業部門に帰属されている。積み上げ法においてこれと整合性をとるには、民生部門でのエネルギー消費を産業の生産活動に帰属させる必要がある。このため、民生部門でのエネルギー消費量を労働人口数で除した値を原単位として乗じることによって、労働力投入による負荷とする。表1に開削工法（内径700mm）の原単位を示す。これを見ると、管渠の製造エネルギーが317.7（Mcal/m）と大きく、管渠敷設工事全体の投入エネルギーの約32%を占めている。これは、推進工法についても同様である。つまり、下水道管渠敷設工事におけるエネルギー削減は、管渠の製造が大きなカギを握っている。

4. 下水処理場のLCE

施設寿命は鉄筋コンクリートの物理的耐用年数が50年であり、建設期間が概ね5年であることから45年とする。

(a)建設投入エネルギーの計算

下水処理施設についての契約工事データ³⁾と、和臼、東部、中部の各処理場の実績データ⁴⁾により推定した。調査する処理場の工事件数はS36年より現在まで約1500件を数え、この各工事において投入された資材の量や原料、燃料を積み上げ算出することは困難である。現実的に不可能である。そこで本研究ではこの全工事を土木工事等6種に分類し、各工事の原単位としては産業連関分析による値を利用した。この計算の手順は図2に示す。各処理場の累積投入エネルギーを処理能力水量で除し、処理能力1m³/日あたりの建設エネルギーを求めた。各処理場の経年累積建設エネルギーを図3に示す。

(b)運転投入エネルギーの計算

各処理場の運転実績データ⁵⁾より積み上げ法で求めた。手順は図4に示す。単位あたりの運転エネルギーは処理水量などにより変化する。ただし原単位としては平成5年の値を採用する。

以上より、各処理場のLCEの計算結果を表2に示す。処理水量は処理場の能力の65%とした。各システムの管渠の集水能力は処理場の能力と等しく、現在の污水管全長が開削工法（内径700mm）であると仮定した。なお、管渠の修理、更新エネルギーは処理場と同様に考えた。

5. 結論

(1) 建設エネルギーの投入はスケールメリットにより、下水処理の原単位を下げると推測される。

(2) 下水道システム建設のうち、管渠敷設に投入されるエネルギーが約8割を占める。また、管渠敷設投入エネルギーのうち、管渠製造エネルギーが約32%を占めており、今後、管渠製造の技術向上が重要となる。

(3) 下水道システム全体のライフサイクルエネルギーのうち、運転エネルギーが約83%、管渠敷設エネルギーが約14%、処理場建設エネルギーが約3%を占める。

<参考文献>

- 1) 建設物価調査会：「積算基準マニュアル」, 1994
- 2) 経済調査会：「下水道工事の積算」, 1994
- 3) 福岡市：「福岡市下水道施設工事契約金額データ」
- 4) 福岡市下水道局：「福岡市下水道工事データ」
- 5) 福岡市下水道局：「福岡市下水処理場運転実績データ」, S56～H5

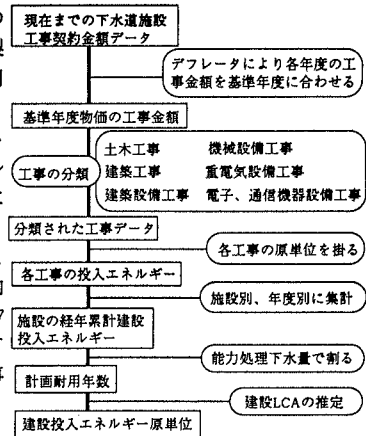


図2 建設エネルギー計算フロー

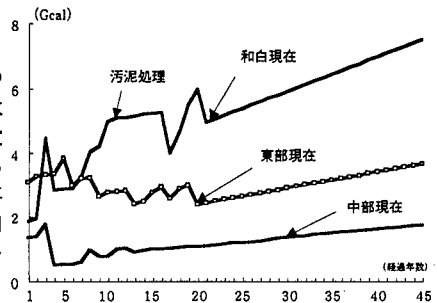


図3 各処理場の経年建設エネルギー

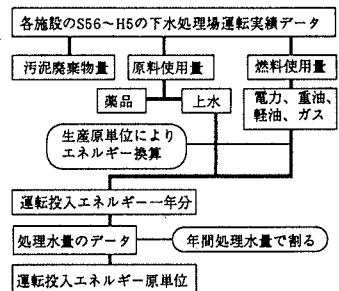


図4 運転エネルギー計算フロー

表2 各処理場のLCA

平成5年	和臼	東部	中部
処理場LCE(Gcal)	13,987	42,010	68,797
污水管LCE(Gcal)	8,429	26,164	24,760
年間処理水量 (万m ³)	650.1	2768.7	8303.8
LCE原単位(Kcal/m ³)	3,448	2,462	1,127