

5.土木工事における地球環境負荷評価について

A Study on Estimation of the Impact of Civil Engineering Construction on Global Environment

○藤田 親* ・ 前 孝一* ・ 東嶋 武** ・ 児玉 浩一*
Chikashi FUJITA, Kouichi MAE, Takeshi HIGASHIZIMA, Kouichi KODAMA

ABSTRACT; The solution to the global warming is one of the most urgent global environmental problems. Energy consumption and carbon dioxides(CO₂) caused by energy consumption are a primary factor of global warming. We examined the construction technology and its methods to reduce them.

Construction such as concrete and steel materials for building civil engineering structures discharge CO₂ when produced and transported. Construction machines discharge CO₂ when made and operated. Further, Fossil fuels discharge CO₂ when transported, refined and stored. In this paper, we calculated the amount of CO₂ emissions by construction methods of five typical public works(shields, concrete structures, dams, tunnels, earth-moving). In addition, comparing efficient alternative plans for construction technology, methods and materials with former ones, we grasped their effects quantitatively. Moreover, for laborious comparison of these methods, this paper also states the outline of simulation program which assesses CO₂ emissions and energy consumption accompanying public works by using personal computers instantly.

KEYWORDS ; global warming, carbon dioxide emissions, energy consumption

1. はじめに

地球温暖化の問題解決は、地球環境を考えると最も緊急を有する課題の1つである。温暖化の1要因であるエネルギー消費量、エネルギー消費により発生する炭酸ガス(CO₂)に着目し、それらを削減する施工技術、工法について検討した。

土木構造物を建設する際はコンクリートや鋼材等の資材の生産時や運搬時のCO₂、建設機械の製作時や運転時のCO₂、更に、燃料の運搬、精製、貯蔵時のCO₂が排出される。本論文では土木工事における代表5工種(コンクリート構造物、シールド、トンネル、ダム、造成)について、工種毎にCO₂排出量を算出した。また、これらの工種における削減効果の大きい施工技術、工法、材料等代替案を抽出し、従来型と比較し、効果を定量的に把握した。なお、これら代替案を比較するには多大な労力を必要とするため、土木工事に伴うエネルギー消費量やCO₂排出量の算出に労力を必要としないパソコンで瞬時に評価できるシミュレーションプログラムの概要について述べる。

2. 土木工事で代表的な工種における環境負荷量の試算

土木工事で代表的な工種であるコンクリート構造物、トンネル、シールド、ダム、造成に対して、元積書または工事数量表をもとに、単価の代わりに建設省土木研究所で提案されているエネルギー消費原単位、

* ;清水建設(株)土木本部 Civil Engineering Division SHIMIZU CORPORATION

** ;清水建設(株)地球環境室 Global Environmental Affairs Office SHIMIZU CORPORATION

CO₂排出原単位を用いて、資材、建設機械、燃料の原単位（炭素換算 kgf／投入量単位）を手動入力して、炭素換算 kgf 排出量を求めた結果を表－１に、また、工種別換算炭素の排出量割合を表－２に示す。これら表から、単位体積当たりの CO₂ 排出量の試算結果は、造成を除いた他の工種は 28～88 炭素換算 kgf/m³ となり、数十オーダーの炭素換算 kgf/m³ を排出していること、また、資材（鉄筋やコンクリート）で排出される CO₂ が半分以上占めていることがわかった。

表－１ 工種別単位体積当たり炭素換算 kgf 排出量一覧表

工 種		規 模	炭素換算 kgf/単位体積※
コンクリート構造物	共同溝	深さ 6.9m、幅 7.35m、20m/17°ロック	48 kgf/m ³
トンネル	NATM 発破工法	掘削断面 61.1m ² 、延長 1.0km	33 kgf/m ³
	自由断面掘削機械工法	掘削断面 76.9m ² 、延長 2.5km	28 kgf/m ³
シールド	泥水加圧工法	セグメント外径φ 3300、延長 1.9km	70 kgf/m ³
	泥土圧工法	セグメント外径φ 3800、延長 1.9km	44 kgf/m ³
ダム	ブロック柱状工法	堤高 41.0m、堤体積 10.3 万 m ³	88 kgf/m ³
造成	機械土工	切盛土量 94 万 m ³ 、排水管延長 1.4km	0.1 kgf/m ³

注：※印はダムは堤体コンクリート体積、造成は切盛土量、その他は掘削体積を示す。

表－２ 工種別換算炭素の排出量割合表

工種	CO ₂ 排出量割合(%)		25 (%)	50 (%)	75 (%)		
コンクリート構造物 (共同溝)			コンクリート(25%)	鉄筋(25%)	防水シート(17%)	切梁(15%)	その他 18%
トンネル (N A T M発破工法)			吹付けコンクリート(26%)	覆工(25%)	掘削(18%)	防水シート15	その他 16%
シールド (泥水加圧工法)			一次覆工(40%)	二次覆工 19%	泥水設備工 14%	防護工 10%	その他 17%
ダム (ブロック柱状工法)			コンクリート(74%)			基礎処理 23% その他 3%	
造成 (機械化土工)			土管敷設(40%)	機械化土工 19%	人孔 17%	整形工 13%	柵 11%

印は鉄筋やコンクリート系資材

３．炭酸ガス削減技術の抽出

土木工事における炭酸ガス削減技術の抽出に当たっては表－１の工種別単位体積当たり炭素換算 kgf 排出量一覧表を基に代替工法を抽出し、表－２の工種別換算炭素の排出量割合表から割合の大きい項目に対して代替資機材、物量低減等削減効果を定性的に選出した。以下、各工種毎に述べる。

３．１コンクリート構造物

共同溝における炭素換算 kgf の主な内訳はコンクリート工(25%)、鉄筋工(25%)、防水シート工(17%)、矢板・切梁工(15%)となり、炭酸ガス削減技術としては配合見直しによるセメント量低減、代替型枠の利用、防水シートの工夫、再生鋼材の利用等が考えられる。

３．２トンネル

NATM発破工法における炭素換算 kgf の主な内訳は吹付けコンクリート工(26%)、覆工(25%)、掘削工(18%)、防水シート工(15%)となり、炭酸ガス削減技術として発破工法の代替として地山掘削の機械化、吹

付けコンクリートのロス低減、余掘を減ずる工法の採用、新素材の利用等が考えられる。

3.3 シールド

泥水加圧工法における炭素換算 kgf の主な内訳は一次覆工(40%)、二次覆工(19%)、泥水設備工(14%)、立坑防護工(10%)となり、炭酸ガス削減技術としては泥水設備を用いない泥土圧工法への変更、二次覆工の省略、防護工の工夫、機械式シールド接合工法の採用等が考えられる。

3.4 ダム

ブロック柱状工法によるコンクリートダムの炭素換算 kgf の主な内訳はコンクリート工(74%)、基礎処理工(23%)となり、炭酸ガス削減技術としてはセメント量が低減できるRCD工法、基礎処理工法では二重管カーテングラウチング工法の代替工法として地中連続止水壁など確実な止水工法、そのほか品質の劣る骨材の有効利用、堤体内構造物のプレキャスト化、さらに、コンクリートダムに替わりロックフィルダムの採用などが考えられる。

3.5 造成

機械化土工と雨水・污水配管敷設に関する炭素換算 kgf の主な内訳はヒューム管敷設工(40%)、機械化土工(19%)、人孔設置工(17%)、伐根・整形工(13%)、導水・雨水枡工(11%)となり、コンクリート2次製品および重機土工が大半を占めている。コンクリート2次製品の代替案としては管径が小さい場合は陶管の利用、調整池の集約化、RC擁壁の代替案としてジオグリッド工法、重機土工に対しては電気的エネルギーを主体としたベルトコンベアによる土砂輸送等が炭酸ガス削減工法として期待される。

4. 炭酸ガス削減技術の解析

4.1 解析方法

- ①土木分野で用いている見積りシステムの資機材の数量を利用して、見積り単価の代わりに、資材、建設機械、燃料のエネルギーおよび炭酸ガスの原単位を入力することにより代価レベルでエネルギー消費量および炭酸ガス排出量を算出する。
- ②この代価レベルの資材、建設機械等を代替することにより、エネルギー消費量および炭酸ガス排出量の増減を数量化することが可能となり、土木工事の省資源、省エネルギー型工法、環境負荷の少ない工法を削減率で評価する。

4.2 解析結果

代表5工種において抽出した削減効果の大きい施工法、施工技術、材料等代替案の効果を定量的に比較検討した。その主な結果はコンクリート構造物におけるコンクリート配合計画の工夫、代替型砕の利用、シールドにおける泥土圧工法採用、ダムにおけるRCD工法の採用、トンネルにおける硬岩TBM機械掘削工法の採用、造成における調整池の集約化等がCO₂排出量の削減効果が期待できることがわかった。以下、工種別に解析結果例を述べる。

(A) コンクリート構造物 普通セメント(210-8-20 普通)の代わりに高炉スラグ混入セメントを用いる

表-3 高炉セメントの利用

	従来型(普通セメント)	高炉スラグ混入セメント
配合例	w/c=61%,s/a=45% w=155kgf/m ³ c=254 kgf/m ³	w/c=90%,s/a=45% w=155kgf/m ³ c=254 kgf/m ³
CO ₂ (C-kgf/m ³)	53	36
削減率		32%

表-4 エコフォーム

	従来型(合板)	エコフォーム
サイズ(mm)	600×1800×12	600×1800×12
重量(kgf)	12	10
CO ₂ (C-kgf/枚)	0.5	0.34
CO ₂ (C-kgf/m ³)	0.17	0.11
削減率		35%

場合と廃木材を有効利用したエコフォームを用いる場合の削減効果を試算し、表－３、表－４に示す。
 高炉スラグ混入セメントを用いる場合はセメント量低減で約３０％の削減が期待できる。また、廃木材を有効利用したエコフォームを用いる場合は転用回数を３回づつとするとときは約３５％の削減効果が期待される。

(B) トンネル

従来型工法としてN A T M発破工法の代わりに硬岩T B M機械掘削工法を用いる場合の削減効果を試算し、表－５に示す。この表より、発破に関連したCO₂排出量が低減できる機械掘削工法の採用で約４２％の削減が期待される。

(C) ダム

従来型工法としてブロック柱状工法を用いたコンクリートダムの代わりにR C D工法を用いる場合の削減効果を試算し、表－６に示す。この表より、セメント量が節約できるR C D工法では約１９％の削減が期待される。

(D) シールド

従来型工法として泥水加圧工法の代わりに泥土圧工法を用いる場合の削減効果を試算し、表－７に示す。この表より、泥水設備が不要のため約１５％の削減が期待される。

(E) 造成

従来１つの流域に２～３あった調整池を余水吐の工夫により１つに集約化する場合、CO₂排出量の削減効果が約４１％期待できることがわかった。

5. シミュレーションプログラム

土木構造物の環境負荷評価として、エネルギー量消費量および炭酸ガス排出量を簡易、かつ迅速に算出し、これを基に、環境負荷の少ない最適な土木構造物の設計、施工計画が提案できることを目的とした。

5. 1 現状把握

- ① 資材、建設機械、燃料のエネルギーおよび炭酸ガスの原単位の検索および入力に時間がかかる。
- ② 資材、建設機械、燃料のエネルギーおよび炭酸ガスの原単位のデータ追加のメンテナンスが難しい。
- ③ 土木工事で省資源、省エネルギー型工法、環境負荷の少ない工法がわからない。

5. 2 実施策

見積りシステムの資機材に関するデータを標準機に取り組み、見積り用単価の代わりに、データベースに登録されたCO₂ 排出等原単位を用いて掛け合わせるにより、工事全体のCO₂ 排出量を求めることにした。

表－５ 硬岩T B M機械掘削工法

	従来型（発破工法）	T B M機械掘削工法
規模	掘削工（掘削断面69.9m ² 、延長2km	同左
CO ₂ (C-kgf/m ³)	5.61	2.55
削減率		42%

表－６ R C D工法

	従来型（ブロック柱状工法）	R C D工法
規模	堤高41m、堤体積10.3 万 m ³	堤高48m、堤体積28.7 万 m ³
CO ₂ (C-kgf/m ³)	88	71
削減率		19%

表－７ 泥土圧工法

	従来型（泥水加圧）	泥土圧工法
規模	仕上り径φ=5m 延長L=1km	仕上り径φ=5m 延長L=1km
CO ₂ (C-kgf/m ³)	70	60
削減率		15%

表－８ 調整池の集約化

	従来型（多連調整池）	集約化調整池
規模	調整池３ヶ	調整池１ヶ
CO ₂ (C-tf/m ³)	471	278
削減率		41%

なお、データベースに未登録の原単位はマニュアル入力とした。

その特長は、温暖化防止対策工を取り入れた工法のエネルギー消費量、炭酸ガス排出量およびコストを比較し、評価できることである。また、CO₂ 排出量等原単位を自動検索でき、マニュアル入力したデータを登録出来るので、データベースの充実とともに自動化率が向上する。更に、計算を簡略化するために簡易変換機能を有している。従って、CO₂ 排出量削減効果の高い施工法、施工技術に関する定量的な評価結果が短期間で把握することができ、環境負荷の少ない施工法の選択が可能となった。

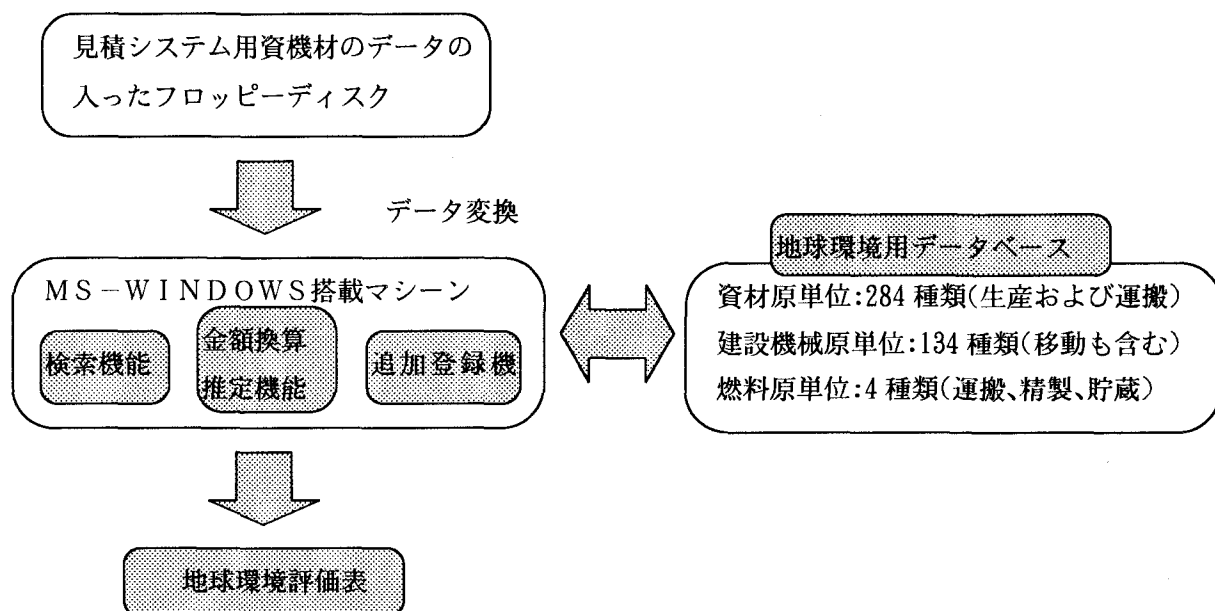


図-1 環境負荷評価シミュレーションプログラムフロー図

6. 今後の課題

①プログラムで使用している原単位は400程度であり、未だ精度が悪いと考えられるので、今後は原単位データベースを充実し、自動化率を高める方向で仕上げて行く予定である。

②土木工事の代表工種について環境負荷の定量化を試みたが、今後は山留めや地盤改良等多種、多様の土木構造物への水平展開が必要である。

③土木分野で代表的な工種における環境負荷量の試算および省資源、省エネルギー型工法、環境負荷の少ない工法については、炭酸ガス削減効果の定量的な把握はまだ100技術程度であり、今後、さらに、内容の充実をはかっていかなければならないと考えている。

参考文献

- 1) 杉 正：エネルギー土木における地球環境問題への取り組み、土木学会第1回地球環境シンポジウム講演集 pp10-14, 1993.
- 2) 建設省土木研究所、地質化学部化学研究室、積算技術研究センターシステム課：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（その1）、土木研究所資料第3167号、平成5年2月
- 3) 建設省土木研究所、材料施工部化学部研究室：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（その2）、土木研究所資料第3256号、平成6年3月