

44. ダム仮設工事における炭素発生量の推定

AN ESTIMATION OF CARBON EMISSION FROM DAM CONSTRUCTION TEMPORARY WORKS

光本純*

安藤裕介**

小谷克己**

Jun MITSUMOTO *

Hirosuke ANDO **

Katsumi KOTANI **

ABSTRACT: There are several approaches to analyze environmental loads from construction activities. One of the approaches is to estimate work quantity in detail and sum them up (we call 'additive approach'). In this paper, we study to estimate carbon emission from a dam (using RCD (Rolled Compacted Dam-concrete) method) construction, using 'additive approach'. To construct a RCD dam, the numbers of carbon emission are different between concrete transportation systems. So we choose three concrete transportation systems (dump track system, belt conveyer system, and cable crane system), and estimated carbon emissions respectively. And also we roughly estimated carbon emissions from a dam body construction activities.

KEYWORDS: additive approach, carbon emission, RCD dam, concrete transportation system

1. はじめに

建設事業においては、社会基盤の整備等を行うために大量の資源・エネルギーが投入され、その結果として生じる環境への負荷が問題となっている。この問題解決のための方策を模索する一環として、建設事業に伴う環境負荷の定量的な解析などが行われている。

その方法としては、産業連関表を用いて、建設活動において消費される素材量、消費エネルギー等を推定し、その結果を用いて環境負荷を定量化する方法や、建設活動の行為を細分化し、この環境負荷を積み上げていく方法（積み上げ法）がある。¹⁾

積み上げ法は、例えば施工方法別の環境負荷等の比較には有効であると考えられる。本研究では、積み上げ法を用いて、建設工事のうちのダム建設工事を対象としてケーススタディを行った。また、環境負荷の指標としては、現在排出量の抑制が課題とされている二酸化炭素を指標（以下、炭素発生量とする）を取り上げた。ただし、方式別比較を目的としたため、原単位等を算定または入手できなかった項目については、算定から除外するなどの処理を行った。また、同時に、堤体に使用されるコンクリートによる炭素発生量を概算し、上記の結果と比較検討した。

2. 1 検討の対象

ダム建設工事による炭素発生量はその型式、形状、規模及び施工設備・方法により大きく異なることが予想される。そのため、ここでは、RCD工法（Roller Compacted Dam-concrete method）によるダムを対象とし、コンクリート運搬方式別に、その仮設工事及びコンクリート運搬に係わる炭素発生量を比較した。対

* ; (株)大林組エンジニアリング本部 Engineering Division, Obayashi Corporation

** ; (株)大林組土木技術本部 Civil Engineering Technical Division, Obayashi Corporation

象とする運搬方式は、ダンプトラック直送方式（以下、D T方式とする）、ベルトコンベヤ方式（同、B C方式）、及びケーブルクレーン方式（同、C C方式）である。また、仮想地形を設定し、各方式について、仮設の配置等を決定した。設定したダムの諸元等を表－1に示す。

また、今回の炭素発生量の推定にあたっては、建設機械の生産、運転によって発生する炭素量、及び建設に用い建設資材の生産により発生する炭素量を対象とし、建設機械・資材等のダムサイトへの輸送、廃棄などによって発生する炭素量等は考慮していない。

2. 2 方式別炭素発生量の推定

炭素発生量の推定は、図－1に示したフローに従って行った。以下に、簡単に方法等について説明する。（ただし、以下の①、(a)等の記号は、図－1の記号と対応している。）

① コンクリート運搬方式ごとの工種・数量、及び 各々の工種別の使用機材・資材等の数量の算定

D T方式は15tダンプトラックによるもので、土石掘削工（210,000m³）、土石盛土工（40,000m³）などの10工種である。B C方式は、ベルト幅 900mm、運搬速度 90.0m/minのものを使用し、基礎コンクリート工（780.0m³）、基礎栗石工（350.0m³）などの6工種である。また、C C方式は20t簡易移動式及び20t固定ケーブルクレーンを使用し、スパン長600mとして、岩石掘削工（岩石掘削押土44,000m³、岩石爆砕34,000m³）などの9工種である。これらについて、作業数量等を算定した。参考として表－2にダンプ直送方式の工種別使用機材等の数量算定表の一部を示す。

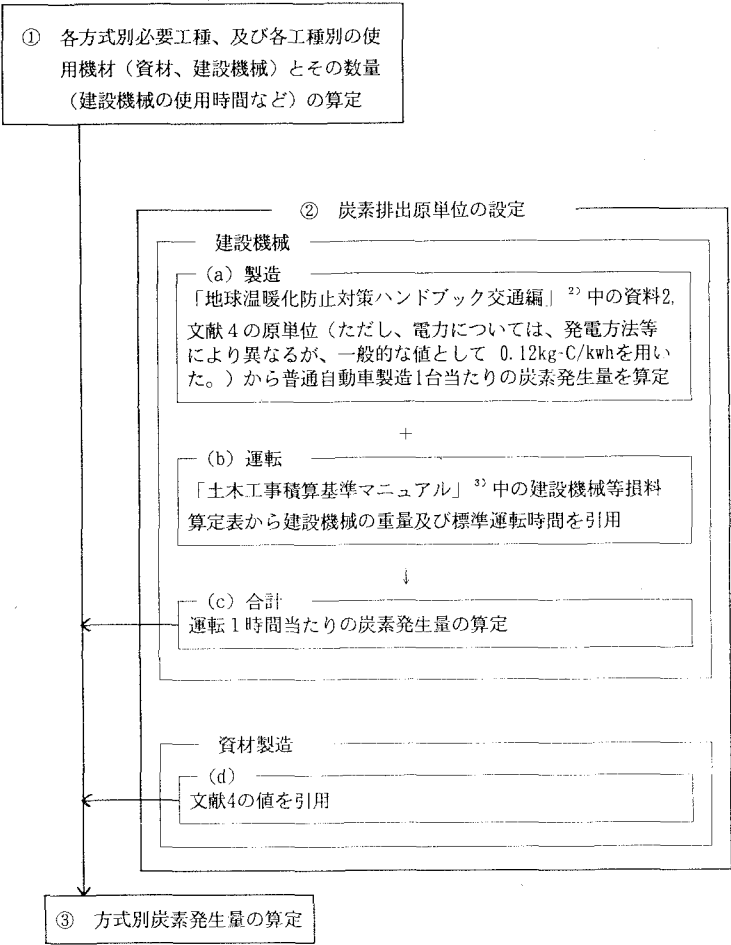
② 使用機材・資材等の炭素発生原単位の推定

(a) 建設機械等の製造による炭素発生量

建設機械等各々について個別に算定する必要がある。しかし、乗用車を例にとれば、ライフサイクル全体での発生炭素量のうちの70％が燃料によるものであり、製造による発生量は全体の20％、とかなり小さな割合である⁵⁾。したがって、ここで

表－1 対象としたダムの諸元等

工 法	R C D 工法
堤 高	125 m
堤頂高	400 m
堤体積	150 万m ³



図－1 コンクリート運搬方式別炭素発生量の算定フロー

表－2 工種別使用機材等の数量算定表例
(ダンプトラック直送(DT)方式のうちの一部を示す)

工 種	数 量	資材・機械名称	仕様・規格	種別・作業方法	使用・作業数量	単位当り作業量	使用時間(h)
(1) 土石掘削工	210,000 m³	ブルドーザ	21 t級	ブルワーク	189,000 m³	35.7 m³/h	5,700
		バックホウ	0.6 m³級	先行掘削・法切り	21,000 m³	29.9 m³/h	710
		バックホウ	0.6 m³級	ずり積み込み	210,000 m³	35.0 m³/h	6,400
		ダンプトラック	11 t級	ずり運搬	170,000 m³	14.7 m³/h	89,500
		ブルドーザ	15 t級	土捨場ずり均し	170,000 m³	77.4 m³/h	2,520
(2) 土石盛土工	40,000 m³	ブルドーザ	21 t級	敷均し・転圧	40,000 m³	42.7 m³/h	1,020
		ダンプトラック	11 t	ずり運搬	40,000 m³	14.7 m³/h	21,000
		バックホウ	0.6 m³級	法面整形・転圧	10,000 m²	2.6 h/100 m²	340
(3) 法面工	60,000 m³	種子	ウレシグラーフ他	吹付剤	1.32 t	22kg/1,000 m²	
		肥料	化学肥料	吹付剤	13.2 t	220kg/1,000m²	
		保護剤	ファイバー類	吹付剤	13.2 t	220kg/1,000m²	
		吹付機	車載式 4.0m³	種子吹付	60,000 m²	0.6 h/100 m²	390
		圧力ホース	φ 50mm	種子吹付	100 m		390
		トラック	4.0～4.5 t	機材搭載	60,000 m²		390
		給水ポンプ	φ 50mm	給水	60 日		

も建設機械等の製造による炭素発生量が燃料消費による炭素発生量と比較してかなり小さいと想定し、普通自動車製造に要するエネルギー量から単位重量当たりの炭素発生量を算定して、建設機械の重量を乗じて発生原単位を求めた。算定結果を表－3に示す。

(b) 運転時間の推定

各建設機械の運転時間は、「土木工事積算基準マニュアル」の値を用いた。

(c) 運転1時間当たりの炭素発生量の推定

上記の(a)と(b)の算定結果を加えて運転1時間当たりの炭素発生量とした。表－3に算定値を示す。

(d) 資材の製造に係る炭素発生量の推定

今回は、資材の製造に関連する炭素発生原単位の算定は行わず、岡本ら⁵⁾の値を用いた。これは、建設資材25項目(砂利・石材等)について、製造に要するエネルギー量から原単位を求めたものである。また、炭素発生原単位を得られなかった資材等(例えば法面工に使用する種子、肥料等)については、数量的に少ないことを考慮して算定から除外した。

③ コンクリート運搬方式別炭素発生量の推定

上記の①で算定した数量と、②で算定した原単位を掛け合わせ、方式別に加えることにより、コンクリート運搬方式別の炭素発生量を推定している。

表－3 使用機械別の炭素発生原単位の算定値

使用機械名称	仕様・規格	機械製造 (kg-C/h) (a)	消費燃料 (kg-C/h) (b)	合計 (kg-C/h) (c)
アスファルトフィニッシャー	2.4～5.0m	1.4	1.5	2.9
ウインチ	30kw	0.2	0.6	0.7
クローラドリル	油圧150kg級	4.7	27.4	32.1
コンプレッサ	10.5～11m³/min	0.3	11.8	12.1
タイヤローラ	8～20t級	1.8	5.3	7.1
タンバ	60～100kg	0.1	0.5	0.6
ダンプトラック	11t	0.9	9.6	10.5
ダンプトラック	15t	1.3	12.1	13.4
トラック	4～4.5t	0.5	5.5	6.0
トラック	11t	0.7	9.6	10.4
トラッククレーン	油圧15～16t	1.9	6.3	8.2
トラッククレーン	油圧20～22t	2.3	6.4	8.6
トラッククレーン	油圧25t	2.7	7.4	10.1
トラッククレーン	油圧40～45t	3.6	9.6	13.2
トラッククレーン	油圧80t	6.1	14.1	20.1
トラッククレーン	油圧200t	14.5	30.3	44.9
トラックミキサ	4.5m³	1.3	9.6	10.9
パイプレータ	フレキシブル45mm	0.1	3.0	3.1
バックホウ	0.35m³級	1.6	7.4	9.0
バックホウ	0.6m³級	2.4	12.6	15.0
バックホウ	1.2m³級	4.8	25.2	29.9
ブルドーザ	15t級	2.1	14.1	16.2
ブルドーザ	21t級	3.2	21.5	24.6
ブルドーザ	32t級	4.0	28.9	32.9
ポンプ車	40～45m³配管式	0.9	7.4	8.3
ポンプ車	60m³/h以上	1.2	8.1	9.4
モーターレータ	3.1m	1.4	6.9	8.2
ロードローラ	マダカ両輪駆動 10～21t級	1.3	4.3	5.6
散水車	5500～6000L	0.7	4.0	4.7
種子吹付機	車載式4m³	0.6	5.3	5.9

2. 3 算定結果

(1) 仮設・運搬による炭素発生量

各方式別、工種別の炭素発生量を表－4に、また、各方式別の仮設及び運搬による炭素発生量を図－2に示す。仮設工事による炭素発生量はBC方式とCC方式はほぼ同レベルであるが、DT方式については前記2方式の4～5倍程度である。また、コンクリートの運搬による発生量を比較すると、DT方式が最小でBC方式、CC方式の順になっている。仮設工事とコンクリート運搬をあわせたコンクリート運搬に係わる工事全体では、BC方式が最小で約1,300t、CC方式が約1,900t、そしてDT方式が最大で約2,500tという結果となり、方式により大きな差が生じている。

(2) 工種による炭素発生量の比較

また、各方式別、工種別に炭素発生量を検討すると、DT方式においては、土石掘削工の占める割合がほぼ50%とかなり大きくなっており、ついで、ダンプトラックによる運搬の占める割合が30%となっている。このことから、ダンプ走行用道路の建設に伴うものの割合が大きいことがわかる。一方、BC方式及びCC方式では、両者とも運搬の占める割合が70%以上となっており、DT方式と比較して仮設工事の占める割合はかなり小さい。

(3) ダム全体の炭素発生量に占める割合など

コンクリート運搬に係わる工事による炭素発生量がダム建設工事全体に占める割合を概算するため、ダムの堤体に使用するコンクリートによる炭素発生量を以下の方法で概算した。結果を表－5に示す。ただし、ここでは、RCD工法に使用されるコンクリートのうちのセメントからの発生のみを対象とし、一般的なRCD工法に用いるセメントの配合としている。概算の結果、炭素発生量は約30,000 tとなり、前述したコンクリート運搬に係わる工事での炭素発生量と比較すると12～24倍程度と、コンクリート運搬に係わる工事による量の占める割合は全体と比較するとかなり小さいと言える。

表－4 コンクリート運搬方式別の工種と

数量、及び炭素発生量の推定値

ダンプトラック直送 (DT) 方式(15tダンプトラック)

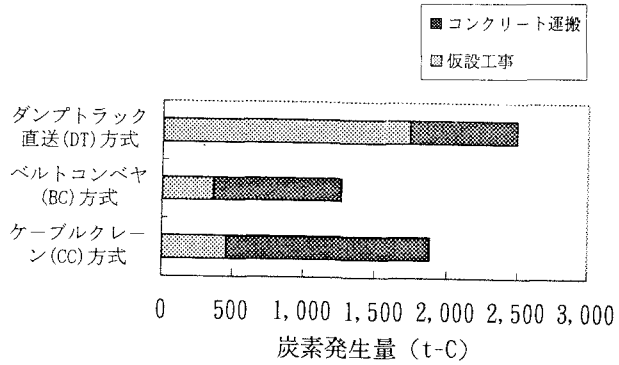
工 種	数量	炭素発生量 (kg-C)	方式に占める 割合 (%)
仮設(1) 土石掘削工	210,000 m3	1,229,600	49.3
仮設(2) 土石盛土工	40,000 m3	251,200	10.1
仮設(3) 法面工	60,000 m3	4,600	0.2
仮設(4) 路盤工	58,000 m3	13,860	0.6
仮設(5) アスファルト舗装工	58,000 m2	36,200	1.5
仮設(6) 基礎コンクリート	1,300 m3	11,200	0.4
仮設(7) 基礎栗石工	100 m3	600	0.0
仮設(8) 基礎型枠	2,000 m2	19,000	0.8
仮設(9) 基礎床掘	300 m3	300	0.0
仮設(10) 乗り込み栈橋	30m×3基	166,300	6.7
仮設小計		1,732,900	69.5
運 搬 ダンプトラック (15t)	57,300 h	761,100	30.5
運搬小計		761,100	30.5
合 計		2,494,000	100.0

ベルトコンベヤ (BC) 方式 (巾=900mm, 運搬速度=90.0 m/min)

工 種	数量	炭素発生量 (kg-C)	方式に占める 割合 (%)
仮設(1) 基礎コンクリート	780 m3	10,000	0.8
仮設(2) 基礎栗石工	350 m3	1,800	0.1
仮設(3) 基礎型枠	1,320 m2	14,300	1.1
仮設(4) 基礎床掘	1,900 m3	1,200	0.1
仮設(5) ベルトコンベヤ		328,000	25.9
仮設(5.1) 主・切り替えコンベヤ	809 m	104,500	8.3
仮設(5.2) 乗り込みコンベヤ	30m×3基	15,200	1.2
仮設(5.3) コンベヤ架設	1,469 m	12,300	1.0
仮設(5.4) 支柱	49 基	180,500	14.3
仮設(5.5) コンクリートホッパ	2 基	15,500	1.2
仮設(6.1) 仮設道路		8,900	0.7
仮設(6.2) 道路造成	550 m	8,200	0.6
仮設(6.3) 路盤工	1,250 m3	300	0.0
仮設(6.4) 法面工	5,000 m2	400	0.0
仮設小計		364,200	28.8
運 搬 ベルトコンベヤ	3,783,000 kwh	454,000	35.8
運 搬 ダンプトラック (15t)	33,750 h	448,300	35.4
運搬小計		902,300	71.2
合 計		1,266,500	100.0

ケーブルクレーン (CC) 方式
(20t 簡易移動式・20t 固定式CC、 スパン 600m)

工 種	数量	炭素発生量 (kg-C)	方式に占める 割合 (%)
仮設(1) 岩石掘削工		142,800	7.6
仮設(1.1) 岩石掘削押土	44,000 m3	86,600	4.6
仮設(1.2) 岩石爆砕	34,000 m3	56,200	3.0
仮設(2) 法面工	5,000 m2	400	0.0
仮設(3) 岩基礎床掘	650 m3	1,000	0.1
仮設(4) 基礎コンクリート	6,000 m3	43,000	2.3
仮設(5) 基礎型枠	2,450 m2	23,000	1.2
仮設(6) 軽便索道(2.9t吊り)	2 条	6,200	0.3
仮設(7) ケーブルクレーン	2 条	207,000	11.0
仮設(8) コンクリートホッパ	2 条	15,500	0.8
仮設(9) パンカー線		21,500	1.1
仮設(9.1) 基礎コンクリート	1,500 m3	12,700	0.7
仮設(9.2) 基礎型枠	800 m2	8,800	0.5
仮設小計		460,400	24.4
運 搬 簡易移動CC	4,958,490 kwh	595,000	31.6
運 搬 固定CC	3,176,000 kwh	381,100	20.2
運 搬 ダンプトラック (15t)	33,750 h	448,300	23.8
運搬小計		1,424,400	75.6
合 計		1,884,800	100.0



図－2 コンクリート運搬方式別炭素発生量推定値

次に、施工方法の決定に大きく影響する直接工事費を概算見積もりした結果を表－6に示す。これは各方式のコンクリート運搬1m³当たりの打設箇所までの直接運搬費を、DT方式との比として表したものであるが、炭素発生量が3方式中最大となったDT方式が最も安価となり、BC方式、CC方式の順となった。ただし、この概算値はダム現場の地形・環境・気象・施工設備条件等により大きく変動することに注意する必要がある。

3. おわりに

本研究では、ダムの仮設工事及びコンクリート運搬による炭素発生量を、積み上げ法を用いて方式別に推定した。この結果、方式によって発生量にかなりの差が認められた。また、例えばDT方式においては、土石掘

削工による炭素発生量の割合が大きいため、可能な限り土石掘削量の削減等、工種及び建設機械使用数量などについて細部にわたり検討することにより、炭素発生量を低下させ、施工性、経済性をも考慮した施工方法、施工設備を計画することも可能であるといえよう。また、堤体打設に使用するセメントからの炭素量発生量を算定した結果、仮設工事とコンクリート運搬工事からの発生量と比較して1/12～1/24程度であることから、ダム建設工事全体からの炭素発生量に占めるそれらの割合はかなり小さいと考えられる。ただし、今回の算定においては、原単位の設定（建設機械の製造等）等で簡略化した方法を用いていること、資材の運搬、廃棄等による炭素発生量を考慮していないこと等問題点も多く、今後の検討課題と言える。

最後となったが、二酸化炭素の発生量の抑制のための対策は、官民が一体となって取り組む必要がある。その際に、今回の試みが今後の課題提供、研究への足掛かりとなれば幸いである。

（引用・参考文献）

- 1) 銭谷ほか、建設にともなう環境負荷の定量化に関する研究、環境システム研究、Vol122、pp. 147-153、1994
- 2) 「地球温暖化防止対策ハンドブック4 交通編」、環境庁規格調整局地球環境部、1992
- 3) 「土木工事積算基準マニュアル」、建設工事積算研究会、1994
- 4) 岡本ほか、土木工事における炭素発生量の推定、第1回地球環境シンポジウム講演集、pp. 93-98、1993
- 5) 森口ほか、自動車によるCO₂排出のライフサイクル分析、エネルギー経済、第19巻、第4号、pp. 36-45、1993
- 6) 酒井ほか、建設資材製造時の炭素排出原単位調査（電力、セメント、アルミニウム、鉄鋼）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1993

表－5 堤体打設に使用するセメントからの炭素発生量の推定値
(堤体積：150万m³)

セメントの種類		単体量 (kg/m ³)	炭素発生原単位 (kg-C/kg)	炭素発生量 (t)
セメント		120	0.170	30,600
内 訳	中熟熱ポルトランドセメント	84(70%)	0.235	
	フライアッシュ	36(30%)	0.019 ^(注)	

注) フライアッシュの炭素発生原単位は、高炉スラグの発生原単位の値と同一をし、酒井ら⁽⁶⁾の値を用いて算定した。

表－6 コンクリート1m³当りの打設箇所までの直接運搬費
(運搬に係わる設備費（機械損料、運転経費を含む）をDT方式との比で表す。)

	ダンプトラック 直送(DT)方式	ベルトコンベヤ (BC)方式	ケーブルクレーン (CC)方式
施工設備	100 %	20 %	30 %
直接運搬	100 %	280 %	330 %
合 計	100 %	115 %	140 %