

41. 多自然型川づくりへの LCA の適用

LIFE CYCLE ASSESSMENT ON NATURE-FRIENDLY RIVER WORKS

白川直樹*・玉井信行*・松崎浩憲**

SHIRAKAWA Naoki, TAMAI Nobuyuki, and MATSUZAKI Hironori

ABSTRACT; In nature-friendly river works natural materials such as rocks, soil, plants, are utilized instead of concrete. As a result, carbon dioxide emission would be reduced. In this paper the reduction of CO₂ emission is estimated. Life cycle assessment (LCA) method is applied for this purpose. The estimation was made on a flood protection work and it showed that concrete is the largest source of the emission. Therefore nature friendly river works might be effective in reducing the emission. When rocks are utilized instead of concrete blocks, the result of LCA showed that the amount of reduction depends on the inclination of the levee and the distance of transportation.

KEYWORDS; life cycle assessment, nature-friendly river works, carbon dioxide

1 はじめに

1990 年の建設省通達以来「多自然型川づくり」が環境を考慮した河川事業として広く実施されている。そこではコンクリートの一様な使用を排して自然材料を多く使い、多様な生物生息環境を創り出そうとしている。もちろん治水安全度は従来工法と同程度に保つことが前提条件である。コンクリートの代用品としては自然石、かごマット、植生、土などが用いられており、工法も当初の手探り状態から徐々に経験を積み重ねて進歩している。平成 4 年の時点では工費が平均 15%ほど割高になっていたが¹⁾、構造物を最小化するなどの工夫により工費を下げる努力も引き続き行われている。

多自然型川づくりの主目的からは外れるが、自然材料を多用するこの工法は従来工法に比べて温暖化ガス排出量が少なく、地球温暖化対策に貢献しているのではないだろうか。そこで LCA (ライフサイクルアセスメント) の手法を用いて河川工事の二酸化炭素排出量を調べることにした。

2 LCA について

土木学会地球環境委員会では環境負荷評価 (LCA) 研究小委員会を設置して土木建設業での LCA 手法の標準化を試みてきた²⁾。そこで得られた成果は橋梁やダムなどに適用され、興味ある解析結果をもたらしている。そこで本研究でもその手法を利用して河川工事の LCA を行うこととした。

1995 年に空気調和・衛生工学会と建築学会から二酸化炭素排出量の原単位が発表されている。また前述の LCA 研究小委員会ではその値を参考にして土木材料の二酸化炭素排出量原単位の推奨値を定めている³⁾。そのうちいくつかの値を表 1 に示す。

* : 東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻 Dept. of Civil Engineering, University of Tokyo

** : (株)建設技術研究所 CTI Engineering Co., LTD.

砂利・採石および碎石は 1t あたり、コンクリートは 1m³ あたり、電力は 1kWh あたり、運輸はトンキロあたりの値で、残りは 1kg あたりの値となっている。運輸以外は、製造時に使うエネルギーから算出しており、機械類の値も稼動時のものではない。生コンクリートの値は標準的な配合比率を用いているが、84.9kgC のうち 80.9kgC はセメントからきており、配合の差による影響はほとんどないものと考えられる。建設機械類は代表として建設用車両を考えているが、乗用車の値で代用している。汎用機械類は代表としてポンプを考えており、それらの機械の製造時に平均的に排出される二酸化炭素量が表中の値である。

表 1 二酸化炭素排出原単位

分類項目	原単位	単位
砂利・採石	1.54	kgC/t
碎石	1.89	kgC/t
生コンクリート	84.9	kgC/m ³
電炉製棒鋼・型钢	0.128	kgC/kg
建設機械類	1.52	kgC/kg
汎用機械類	1.21	kgC/kg
軽油	0.779	kgC/kg
電力	0.129	kgC/kWh
運輸	0.093	kgC/t・km

機械の稼動時の二酸化炭素排出量は、それぞれの機械の消費燃料（主に軽油）を求め、軽油の原単位をかけあわせて求める。表 1 中の運輸の値は自動車貨物の平均値を加工したものであるが、ダンプトラックによる土砂輸送などではこの平均値を用いずにより確実な値を積み上げて排出量を求める。

3 河川工事への適用

河川工事の代表例であり、多自然型川づくりの典型的な分野でもある築堤・護岸工事を取りあげる。堤防・護岸のライフサイクルを、建設、供用、廃棄・処分の三段階に分ける。建設段階の環境負荷は、工事積算書に沿って算定が可能である。単価をかけて工事費を求めるのと同じようにして単位量をかけて総負荷を求めればよい。供用段階では維持管理活動として堤防の除草作業が環境負荷を与える。また、堤防・護岸そのものが環境負荷を与える可能性もある。例えば植生が二酸化炭素を排出（吸収）するような現象である。廃棄・処分段階は想定することが難しく、老朽化して寿命を終えるか、洪水で破壊されて寿命を終えるか予測できない。またどのように処分されるかも想定が困難である。

「土木工事積算基準マニュアル」にある河川工事の例について二酸化炭素排出量を試算した。この工事の概要は図 1 の通りである⁴⁾。長さ 65m の区間で築堤をし、高水護岸および低水護岸を施工する。築堤には上流で掘削した土砂を使い、法面には芝を張る。高水護岸はコンクリートブロック張り、低水護岸は間知ブロック積みとしている。

この工事の積算書を元に表 2 のような計算表をつくり、各項目での二酸化炭素排出量を求めていく。全部で 45 の小項目に分けられた。

機械の排出量の求め方は以下のようなものである。機械製造時の排出量、機械運搬時の排出量、機械稼動時の排出量に分けて計算する。まず各工程での機械の運転時間がその機械の寿命（標準使用年数×年間標準運転時間とした）の何%にあたるかを算定し、損耗割合とする。その割合に機械重量をかけ、原単位（建設機械・汎用機械ともに機械重量 1kg あたりの二酸化炭素排出量）をかけたものが機械の損耗による排出量となる。運搬時の排出量計算には、運輸部門平均の原単位（トンキロあたり）を用いた。機械の運搬距離は一律 100km（往復）として計算した。複数の工程で時間をずらすなどして同一機械

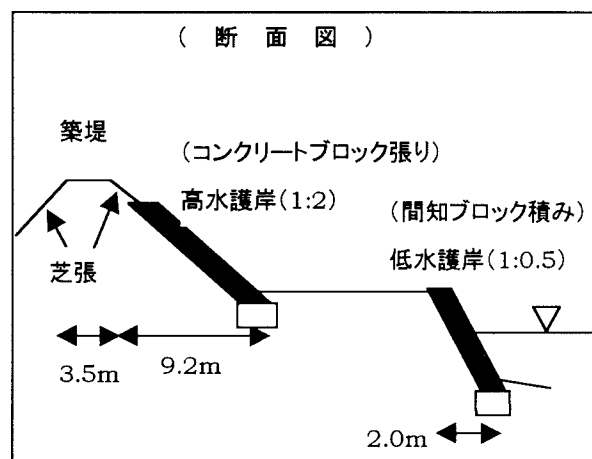


図 1 計算対象工事

表 2 LCA 計算表

LCA 段階	LCA 検討対象項目			規格	数量		製造		運搬		施工・稼働		合計
	大 項目	中 項目	小 項目			単位	原単位	CO2 排出量	原単位	CO2 排出量	原単位	CO2 排出量	
建設 段階	築堤 護岸	河川 土工	機械	バックホウ (0.6m ³)	28.4	h	1.522	0.153	0.093	0.173	0.779	0.385	0.711
				ダンプトラック (10t)	86.6	h	1.522	0.192	0.093	0.090	0.779	0.904	1.187
				ブルドーザ (15t)	20.4	h	1.522	0.116	0.093	0.136	0.779	0.308	0.561
			機械	バックホウ (0.6m ³)	6.6	h	1.522	0.035	0.093	0.173	0.779	0.089	0.297
				ブルドーザ (21t)	1.1	h	1.522	0.010			0.779	0.025	0.034
			資材	コンクリート	17.9	m ³	84.9	1.521	0.779	0.285			1.806
				鉄筋	629	kg	0.128	0.081	0.779	0.007			0.087
				砕石	21.3	t	1.89	0.040	0.779	0.132			0.172

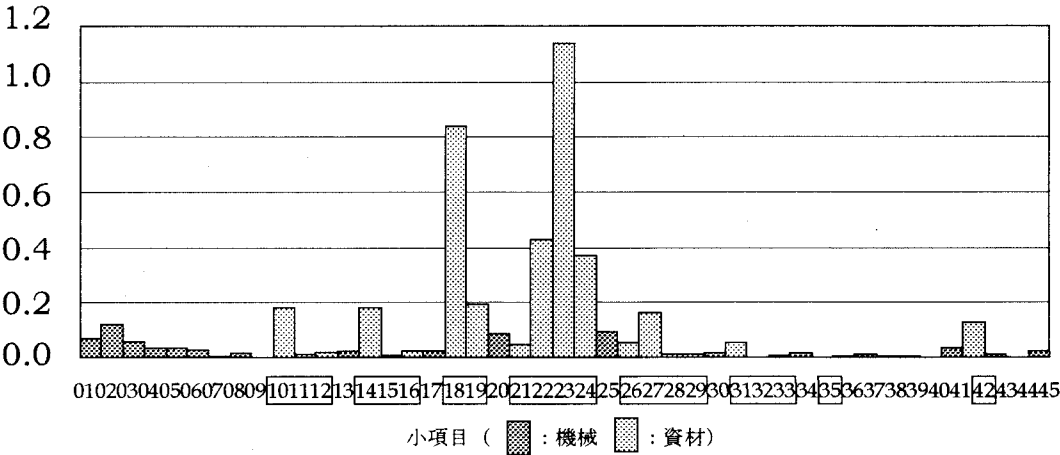


図 2 小項目ごとの二酸化炭素排出量（単位：t-C）

が使用できる場合もあるが特別に考慮はしなかった。ただし、ブルドーザ（21t）などの大型機械は共通仮設費の中で分解・運搬・組立が一式となって計算されているので別枠で計算した。稼働時排出量は、燃料消費（l/h）に機械の運転時間をかけ、それに燃料（軽油）の原単位をかけて求めた。

資材の排出量は製造・運搬の二段階で計算する。製造時排出量は数量に原単位をかけて求める。運搬時排出量は工事全体で使用する数量から必要な運搬機械とその数量を求め、これも一律 100km の往復距離として燃料の消費量を算出し、二酸化炭素排出量に換算した。トラック類の平均速度は 20km/h とした。また石の比重は 2.6、コンクリートは 2.3 として計算した。

すべての項目を合計すると、二酸化炭素排出量は 45.7t-C となった。小項目ごとの二酸化炭素排出量を図示したのが図 2 である。図 2 の項目番号と項目名の対応を表 3 に示した。項目番号が四角で囲まれているものは資材であり、他は機械である。グラフをみると、排出量の大きい項目はすべて資材であることがわかる。その中でもコンクリートに関連したものが多い。とくに大きな値を示しているのは、高水護岸に張るコンクリートブロックと低水護岸の胴込め・裏込めコンクリートである。二酸化炭素排出量の絶対値を減らすにはこれらの資材に注目すればよいことになる。

表3 項目番号と工程内容

工種	種別	細別	規格	項目番号
河川土工	掘削工	土砂掘削	バックホウ(0.6m³) ダンプトラック(10t)	01 02
	盛土工	採取土・盛土	ブルドーザ(15t)	03
	整形仕上げ工	掘削部	バックホウ(0.6m³)	04
		盛土部	バックホウ(0.6m³)	05
	作業土工	掘削	バックホウ(0.6m³)	06
護岸基礎工		埋め戻し	ブルドーザ(21t)	07
		埋戻工	バックホウ(0.35m³) タンパ(60-100kg)	08 09
	法留基礎工	法留基礎(張り)	コンクリート 鉄筋 砕石 バックホウ(0.6m³)	10 11 12 13
		法留基礎(積み)	コンクリート 鉄筋 砕石 バックホウ(0.6m³)	14 15 16 17
	法覆護岸工	コンクリートブロック張工	コンクリートブロック クラッシュラン トラッククレーン(15t) 目地モルタル	18 19 20 21
			間知ブロック コンクリート クラッシュラン トラッククレーン(15t)	22 23 24 25
			天端	26
		護岸付属物工	コンクリート 鉄筋 砕石 バックホウ(0.6m³)	27 28 29 30
			横帯コンクリート 鉄筋 砕石 バックホウ(0.6m³)	31 32 33 34
		植生工	野芝	35
	仮設工	仮締切	ブルドーザ(21t) ブルドーザ(3t) 振動ローラ(0.8-1.1t) ブルドーザ(15t)	36 37 38 39
		水替工	ポンプ 運転	40 41
		工事用道路工	運搬路 補修	42
		共通仮設費	運搬費	43
			ブルドーザ(21t)	44
			貨物自動車(2t) トラッククレーン(10t)	45

表4 工費と排出量の関係

構造物	工種別	工費(千円)	CO ₂ 排出量(t-C)	g-C/円
堤防	掘削	1134	2.23	1.97
	盛土	478	0.92	1.92
	植生	808	0	0
	小計	2058	3.15	1.53
高水護岸	土工	358	0.14	0.39
	基礎	1012	2.27	2.24
	法覆	7075	14.36	2.03
	小計	8445	16.77	1.99
低水護岸	土工	311	0.37	1.19
	基礎	814	2.30	2.83
	法覆	6411	20.78	3.24
	小計	7536	23.45	3.11
仮設工	仮締切	596	0.27	0.45
	水替工	261	0.35	1.34
	道路	412	1.29	3.13
	小計	1269	1.91	1.51

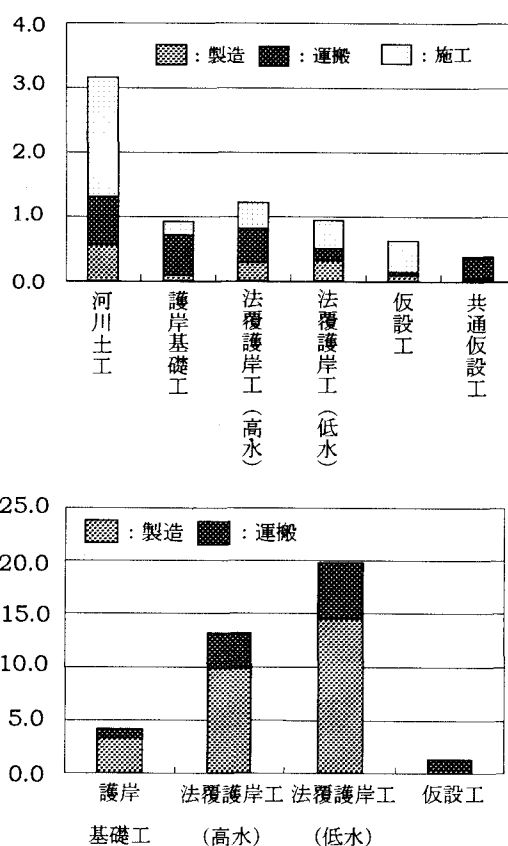


図3 段階別の二酸化炭素排出量(単位:t-C)

上:機械,下:資材

また、堤防、高水護岸、低水護岸、仮設工について工費と排出量の関係を算出したのが表4である。法覆工は工費でも全体のかなりの部分を占めており、コストダウンの面からも改善動機が高い工程だといえる。低水護岸では工費あたりの排出量も高い。

多自然型川づくりは費用節約や二酸化炭素排出量の削減を主目的とするものではないが、低水護岸や高水護岸の法覆工を工夫すると費用節約や二酸化炭素排出量の削減にも役立つ可能性があることがわかる。

図 3 は工種ごとに製造、運搬、施工・稼働の三段階に分けて排出量を示したグラフである。機械では運搬時の排出量が多いが、計算条件で運搬距離を一律 100km としていることに関係している。河川土工の稼働時排出量の多くは、土砂掘削現場から築堤現場まで土砂を運ぶダンプトラックの排出量である（運搬距離 1.5km）。資材では製造時の排出量が多く、運搬距離よりも資材使用量の方が効いている。

供用段階では除草作業が年に二回以上必要となるが、それ以外には二酸化炭素排出を伴うような維持管理作業はない。かりに 50 年間毎年二回ずつ除草作業をしたとして、排出量の合計は 0.1t-C のオーダーである。建設時に比べれば無視してよい量である。また、設計・計画段階での排出も調査車両によるものだけとすれば無視してよいと考えられる。

5 多自然型川づくりとの比較

前章の分析から、低水護岸の法覆工に焦点をしばって多自然型川づくりとの比較を行うこととした。多摩川において平成 4 年に実施されたいくつかの工事例を参考にして、図 1 の工事を、図 4 のように変更する。低水護岸を緩勾配にし、自然石積みとする。自然材料を使うことが多自然型川づくりのすべてではなく河川形状や植生の選択等が重要になるが、ここでは低水護岸のみを対象として計算する。自然石は径 450mm の球形と想定し、現地発生土を間に詰めることとした。

間詰ブロックは護岸長 10m あたり 7.15m^3 必要だったが、自然石だと 29.40m^3 必要となり、間詰体積も 40.17m^3 となる。裏込め・胴込めコンクリートは 17.78m^3 だったので、間詰を現地発生土でなくコンクリートで施工するならばかえってコンクリート使用量は 2 倍以上増加する。使用する自然石の原単位を表 1 の採石の値として計算すると 65m で 0.95t-C となり 2.71t-C の減少となる。しかし運搬時の排出量が 3.16t-C となり 2.53t-C 増加し、差し引きでほぼゼロである。裏込め・胴込めコンクリートがすべて現地発生土でおきかわるならば、そこだけで 11.35t-C の減少となる。変化の影響を表 5 にまとめた。胴込めの部分だけ現地発生土を用い、裏込めに従来通りコンクリートを用いた場合は 2.10t-C の減少となった。

自然石はコンクリートに比して製造時（採石時）の排出量は抑えられるが緩勾配化などの影響で運搬量が増えると効果を相殺してしまう結果になった。もともと緩勾配になっている高水護岸ならば削減効果がかなりあると考えられる。この計算例では現地発生土の間詰いかんで削減量が左右された。コンクリートに完全にとってかわれば 11t-C 以上の大きな効果が見込めるが、洪水安全度が確保されるのかどうか疑わしい。裏込めだけでもコンクリートを用いると削減効果は薄くなってしまう。

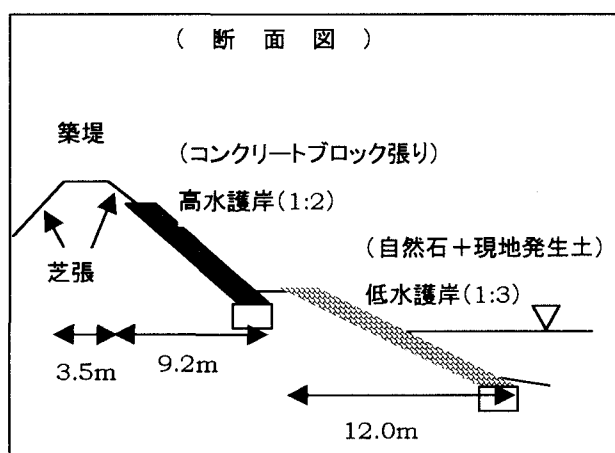


図 4 計算対象工事

表 5 工法転換による排出量への影響

(＋は増加方向、－は削減方向、＊は中立)	
＋緩勾配化により施工面積は増加 (2.8 倍)	
－ブロック→石により排出原単位が減少 (0.047 倍)	
＊単位面積あたりに必要な個数はほぼ同じ (0.67 倍)	
＋一個の大きさは増加 (2.0 倍)	
＋運搬量は増加 (5.0 倍)	
＊石間のすきまの割合はほぼ同じ (0.92 倍)	
－間詰を現地発生土にして排出量減少	
合計：11.43t-C 減少	
裏込めコンクリートを用いた場合：2.10t-C 減少	

6 まとめ

築堤・護岸工事を例にとって二酸化炭素排出量を計算した。堤防・護岸は建設時負荷が大きく、供用時の負荷はほとんどない。また、廃棄・処分段階は想定することが困難である。機械の稼働による排出量は相対的に少なく、資材の数量に左右される部分が多いことがわかった。とくにコンクリートの占める割合が多い。コンクリートを他の自然材料に変えることによって排出量の削減が期待できるが、数量が多くなると運搬時の排出量が大きくなり、運搬距離によってはかえって不利になる可能性もある。また、材料の変更による削減量は緩勾配化による施工面積の増大とほぼ見合う大きさであった。これらのことから多自然型川づくりが必ず二酸化炭素排出量を減らすとはいえない。また、主材料のコンクリートブロックよりも胴込め・裏込めコンクリートの方が排出量が多かったことからみて、結合材を工夫することが効果的ではないかと考えられる。

材料をうまく選べば二酸化炭素排出量を削減でき、これは多自然型川づくりの効果の一部とみなすことができる。地球環境問題への寄与はこれまで河川事業の便益には含まれてこなかったが、定量的な効果があることがわかれば、貨幣換算して費用便益分析に織り込むこともできるのではないかと考えられる。

謝辞：多摩川の多自然型川づくりの資料を提供していただいた建設省京浜工事事務所に感謝します。

〔参考文献〕

- 1) 玉井信行，白川直樹，松崎浩憲：自然復元を目指す河川計画における費用・便益分析について，水工学論文集第42巻，pp.271-276，1998.
- 2) 土木学会地球環境委員会環境負荷評価（LCA）研究小委員会：土木建設業における環境負荷評価（LCA）研究小委員会平成8年度調査研究報告書，1997.
- 3) 土木学会地球環境委員会環境負荷評価（LCA）研究小委員会：土木建設業における環境負荷評価（LCA）研究小委員会講演要旨集，1997.
- 4) 建設工事積算研究会編：土木工事積算基準マニュアル平成9年度版，1997.