

河川工事を対象とした設計・施工段階における環境負荷低減方策の検討

池田 鉄哉¹・天野 邦彦²・岸田 弘之³

¹正会員 社団法人国際建設技術協会 研究第2部長

(〒102-0083 東京都千代田区麴町5-3-23)

(前)国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究部河川環境研究室

E-mail:ttyikedada@hotmail.com

²正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究部河川環境研究室長

E-mail:amano-k92ta@nilim.go.jp

³フェロー会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 研究総務官

(前)国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究部長

E-mail:kishida-h2rq@nilim.go.jp

河川工事などの社会資本整備分野では、コンクリートなど多くの資材を使用し、またその運搬距離も長くなる。昨今の環境問題に対する国民意識の高まりから、社会資本整備による環境負荷量を算定し、その低減に向けた取り組みが重要となってきている。社会資本整備分野では広域的・長期的な環境負荷として二酸化炭素 (CO₂) の排出や廃棄物の発生に留意が必要であるが、これら環境負荷量については実際の事業の実施状況を踏まえて定量的に評価し、その低減方策の検討が必要である。本稿は実際の河川工事を対象として、まずは設計段階において複数の代替案に係るコスト及びCO₂排出量等を算定するとともに、LIME2の統合化指標を用いた比較検討を行い、環境負荷低減効果の分析を行った。また施工段階について環境負荷低減に関するシナリオ設定を行い、資材を新たに採取・製造する標準案 (ベースラインシナリオ) に対する環境負荷低減効果の分析を行った。さらに本検討を踏まえ、全国の河川管理者や建設コンサルタント・施工会社が参照できるような環境負荷低減を意図した河道設計・施工の検討手順を構築した。

Key Words : *river embankment and revetment work, CO₂ emission volume, construction waste reduction scenario of environmental load, LIME2*

1. はじめに

河川工事や道路工事などの社会資本整備分野では、土砂やコンクリートなど多くの資材を使用するとともに、その運搬距離も長くなることで多くのエネルギーを消費する。また工事の実施に伴い既設の構造物を取り壊し処分することで廃棄物を発生させる。これまで河川工事等では資材使用量やエネルギー消費量の削減、コストの削減、廃棄物の再利用などの取り組みが既に進められてきたものの、二酸化炭素 (CO₂) 排出量や廃棄物発生量など河川工事等による環境負荷の低減に関する全体的な評価手法が確立されるまでには至っていない。

一方で、地球温暖化など昨今の環境問題に対する国民

意識の高まりや廃棄物の発生抑制、資源の持続可能な利用を図る必要性から、社会資本整備による環境負荷量を算定し、その低減に向けた取り組みが重要となってきている。水質汚濁や大気汚染などの局所的な環境影響以外で、広域的・長期的な環境負荷としてはCO₂や残土・廃棄物、そしてオゾン層破壊をもたらすフロン類や人間・生態毒性を有する金属類等があげられる。一般的な河川工事ではフロン類や金属類の排出は考えにくいことから、まずはCO₂の排出や残土・廃棄物の発生に留意が必要となる。そしてこれらの環境負荷については、実際の事業の実施状況を踏まえて定量的に評価し、資材の再利用等による低減方策の検討が必要である。このとき事業の設計・施工の各段階では、取り扱う情報の種類や精度が異

なるため、各段階で入手可能な情報に基づいて評価を行う必要がある。一般的に設計段階においては改修平面や横断形状、そして洪水を安全に流下させるために必要な護岸の性能やタイプ等が検討される。これに対し、施工段階では例えば護岸等について、必要な性能が確保される範囲で、どのような商品をどのように調達すべきか、また工事によって発生する残土や廃棄物をどのように処理又は再利用するかについて検討が行われる。また設計段階と施工段階とは例えば設計は建設コンサルタントが実施し、それを受けて施工会社が工事を実施する。そして発注者の側でも設計・施工担当部局が分かれている場合がある。このため設計から施工までの全体の流れの中で各段階での環境負荷量を算定し、その低減方策を検討するための手順を構築することが求められる。

これまで河川の築堤・護岸工事によるCO₂排出量については島谷ら(1998)¹⁾、池田ら(2010)²⁾、山田ら(2010)³⁾によって試算・算定が行われてきたが、いずれも設計段階に留まり、設計・施工それぞれの段階で取り扱う情報の相違を考慮したものとなっていない。また今後河川工事等に対して環境負荷低減方策を適用しようとする場合は、より実態に即した検討を重ねることによってその手法を確立させることが必要である。さらにこれまでの研究はCO₂排出量だけを取り扱うものであり、廃棄物発生量などCO₂排出量以外の環境負荷やその再利用までを考慮したものはなっていない。このため本稿では、実際の河川事業を対象として、設計段階において複数の河道改修案を想定し、各案の事業費や用地面積、工事を行う際に排出されるCO₂排出量や廃棄物発生量を算定した。また異なる環境負荷を共通の指標によって評価するため、現在提案されているLIME2（日本版被害算定型影響評価手法第2期プロジェクト）の統合化係数を用いて比較検討を行った。そして施工段階では土砂や資材の再利用などによって環境負荷の低減が期待されることから、そのような低減方策を講じた場合の環境負荷について、資材を新たに採取・製造する標準案（ベースラインシナリオ）に係る環境負荷との比較を行い、低減効果を分析した。さらにこのような環境負荷量の算定及び低減方策の検討を踏まえ、これまで適用されてきた河道設計・施工の流れに対し、全国の河川管理者や建設コンサルタント・施工会社が参照できるような環境負荷低減を意図した河道設計・施工の検討手順を構築した。

2. 設計段階での環境負荷低減方策の検討

実際に河川改修工事を行おうとする段階では、改修平面・横断形状などが既に確定している場合が多いことから、それらを大幅に変更できる余地が少なく、そこでの

環境負荷低減方策も自ずと限定的となってしまう。このため設計から施工までの全体の流れの中で環境負荷の低減を図るためには、まず設計段階で河道の平面・横断形状の変更などの工夫により環境負荷がどの程度低減できるかを検討する必要がある。ここでは河道の全面改修が予定され、現時点で設計図書等が入手可能な都市近郊を流れる中小河川（流域面積12.4km²）を検討対象とした。

この改修事業は、既設護岸を撤去して河道の兩岸拡幅（約6m→8～9m）を行って現況の流下能力（25～60m³/s程度）に対して計画高水流量80m³/sを流下させる断面にまで拡大し、50年確率降雨に対する治水安全度を確保しようとするものである。改修の当初計画は全区間にわたって用地を買収して兩岸拡幅及び河床掘削を行い、河岸法勾配1:0.5の石積護岸を整備するものである。この当初計画に対して、計画高水流量を安全に流下させることを前提として平面・横断形状等を変えた3つの計画案を想定した。そして各案について想定する平面図・横断図を用いて必要となる護岸等の資材使用量や土砂掘削量等を算出するとともに、事業費やCO₂排出量・廃棄物発生量といった環境負荷量を算定した。そして異なる環境負荷を共通の指標によって評価すべく、LIME2の統合化係数を用いて比較検討を行うとともに各案の環境負荷低減効果を分析し、その実現可能性を考察した。

検討対象とする環境負荷のうちCO₂排出量については、池田ら(2010)が河川の築堤・護岸工事に対して実施した試算手法を踏襲した。これにより河川改修で必要となる建設機械の製造及び稼働段階、資材の製造及び運搬段階でのCO₂排出量をそれぞれ算定した。ここでCO₂排出量の原単位は「産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）」⁴⁾に示されている生産者価格当たりのCO₂排出量原単位（t-CO₂/百万円）と産業連関表の部門別品目別国内生産額表の品目別単価を用いることとした。その他建設機械の稼働段階での施工能力や資材の運搬段階でのダンプトラックの燃費、時速等は国土交通省が行う工事に適用される標準的な数値を用いることとした。また土砂・資材の調達先及び残土・廃棄物の処分先に関しては、当該工事が行われる県庁所在地とした（ここでは9.5kmとした）。

代替案の設定について、全区間にわたって兩岸拡幅を行う当初計画に対し、用地取得及び家屋移転を極力抑えるべく、現況の川幅をなるべく拡げないよう護岸を直立させて河床掘削を行うものを代替案(i)とした。代替案(i)では当初計画に対して掘削土量を低減できることから残土処理に伴う環境負荷の低減が期待される。また既設護岸を最大限利用して兩岸拡幅ではなく片岸のみを拡幅するものを代替案(ii)とした。代替案(ii)は片方の河岸にのみ護岸を設置するため、護岸を両岸に設置する当初計画に対して護岸の製造段階におけるCO₂排出量の低減が期

待される。当初計画及び代替案(i)~(ii)の平面形状のイメージと横断形状を図-1に示す。その他の代替案として、河川環境への配慮及びコンクリートの使用抑制を図るべく河岸法勾配1:2.0の土堤とする案も考えられる。これは護岸を使用しないため、護岸を設置する当初計画に対して護岸の製造段階におけるCO₂排出量の低減が期待されるが、河岸法勾配を1:2.0とすることで掘削土量が増加し、その処理に伴う環境負荷が増大することも予想される。本案については、国土交通省が策定した中小河川の技術基準⁹⁾に照らしてその適用可能性を検討した。同基準では用地幅の制約がある場合は法勾配を5分程度として河床幅を十分に確保することが有効としている。また河岸防御を行う必要性が低い場合や改修後の代表流速が1.8m/s以下の箇所等では護岸を設置しないことを原則としている。ここで本河川の法勾配を1:2.0とした場合、用地取得・家屋補償が多くなり、またそのことで十分な

河床幅が確保できなくなる。そして本河川の河床縦断勾配は1/80~1/100と比較的急であり、改修後の流速は4m/sを超えると予想されることから、護岸を設けなければ河岸侵食が生じるおそれがある。このため代替案として法勾配1:2.0の土堤による改修案を考慮しないこととした。

これにより当初計画及び代替案(i)~(ii)に係る事業費と環境負荷量を算定し、その環境負荷量に関して LIME2による統合化係数⁹⁾を用いて比較した結果を表-1に示す。この結果、代替案(i)では事業費が代替案(ii)の約1.5倍となったものの、廃棄物を含めた被害額が最も少なかった。これは鋼矢板を用いたため、事業費、CO₂排出量とも多くなったものの、残土の発生が少なかったためであった。また事業費とCO₂排出量のみ考慮した場合は代替案(ii)が有利となった。この代替案(ii)は、兩岸改修を行う当初計画に対して既設護岸を利用する片岸改修であるため、事業費・CO₂排出量とも半分近くにまで低減された。

ここで代替案(i)及び(ii)の適用可能性について考察する。代替案(i)では全体の被害額が最も小さかったものの、事業費が高く、そして三面張り水路となってしまうため生態系・景観の面で問題が多い。また代替案(ii)では全体の被害額が代替案(i)よりも多く、その原因は残土の発生によるものであった。しかしながら残土や廃殻等に関しては、他の工事との間で再利用を行うことが可能であり、工事の実施に際して残土の受け入れ先が確保できればその分被害額を低減することができて、結果的に当初計画、代替案(i)よりも有利となることも想定される。ただし代替案(ii)では既設護岸の耐久性が疑問視されること、また片側の既設護岸に根入れを行うこととしているが、構造的・強度的な問題が生じないかどうか、そして片岸だけを拡幅して改修することに地元住民の賛同が得られるかなどの課題も考えられる。このため河道改修案の決定に当たっては、既設護岸の耐久性の確認や受益者であり用地提供者である地元住民の意見を踏まえて慎重に行う必要がある。

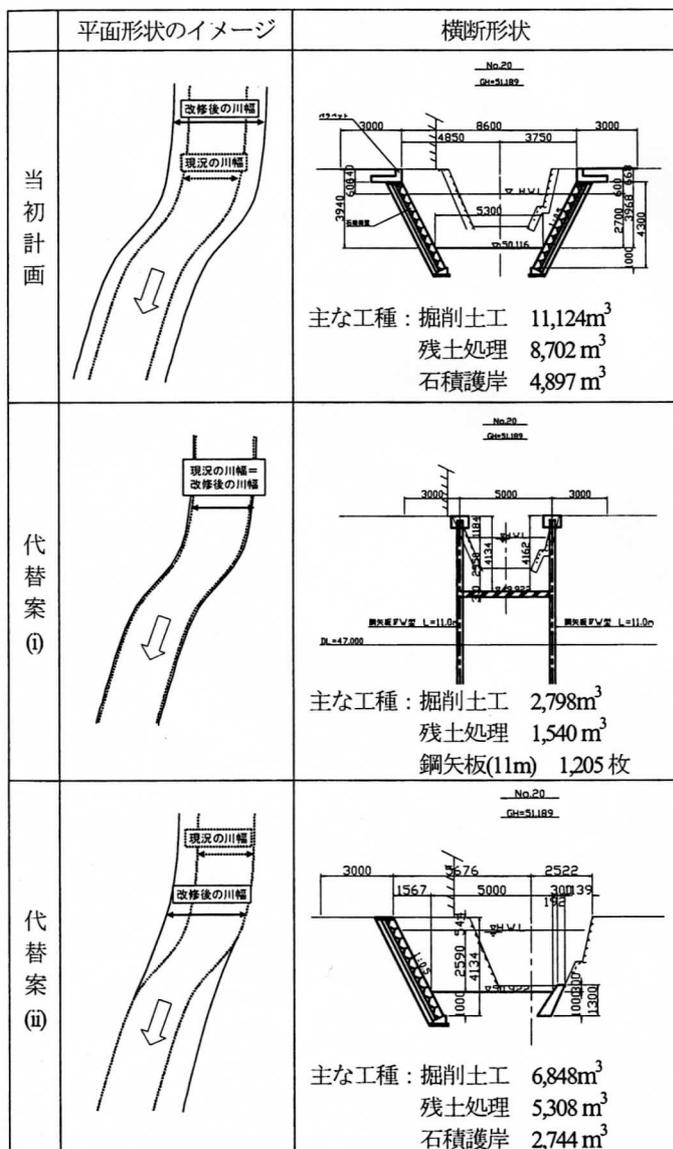


図-1 検討対象河川の改修当初計画及び代替案(i)~(ii)の平面形状のイメージと横断形状

表-1 当初計画及び代替案(i)~(ii)による事業費と被害額の比較

	当初計画	代替案(i)	代替案(ii)
事業費	2,722 百万円	2,195 百万円	1,418 百万円
CO₂排出量	809 t-CO ₂	2,978 t-CO ₂	427 t-CO ₂
うち建設機械の製造・稼働段階	132 t-CO ₂	157 t-CO ₂	74 t-CO ₂
うち資材の製造段階	631 t-CO ₂	2,797 t-CO ₂	327 t-CO ₂
うち資材の運搬段階	46 t-CO ₂	22 t-CO ₂	26 t-CO ₂
被害額(※1)	1,884 千円	6,934 千円	995 千円
廃棄物発生量(残土)	8,702 m ³	1,540 m ³	5,308 m ³
廃棄物発生量(廃殻)	1,450 m ³	1,450 m ³	829 m ³
被害額(※2)	286,082 千円	88,789 千円	172,714 千円
CO₂排出・廃棄物発生による被害額の合計	287,966 千円	95,703 千円	173,709 千円

※1 地球温暖化統合化係数として、LIME2より2.33円/kg CO₂を使用

※2 廃棄物の統合化係数として、残土14.5円/kg(LIME2の一般廃棄物・覆土)、廃殻13.6円/kg(LIME2の産業廃棄物・がれき類)を使用

3. 施工段階での環境負荷低減方策の検討

(1) 環境負荷低減シナリオの設定の考え方

河川工事などの社会資本整備では、土砂やコンクリートなど多くの資材を採取・調達し、また工事から発生する残土や廃殻などの不要物を処理することによって環境負荷が発生する。そして資材を運搬、不要物を処分場まで搬出させることによってダンプトラックなどの燃料消費に伴いCO₂の排出といった環境負荷が生じることとなる。これまでの試算結果から、多くの土砂・コンクリートを使用する河川工事ではブロック護岸など資材の製造段階でのCO₂排出量の割合が大きく、そこでの取り組みが排出量低減に効果的である。このため、検討対象とする河川工事以外の他の工事から残土・廃殻を調達・再利用することやリサイクル材を用いることなどによって、環境負荷の大幅な低減が期待される。ここでは河川工事について、土砂の再利用などによって環境負荷低減を図るシナリオの設定を行う。なお河川工事終了後の維持管理は、堤防の除草や定期的な点検行為であり、これらによる環境負荷は工事実施による環境負荷に比べてわずかと考えられる。このため、ここでは維持管理による環境負荷は検討対象としないこととした。

まずは検討対象とする河川工事（Y工事）について、他の工事との間で資材の再利用を行わないケースを図-2上段に示す標準案（ベースラインシナリオ）と考える。ここでは工事に必要な資材を新たに採取・製造して運搬するとともに、工事から発生する不要物（残土や廃棄物）を搬出して処理を行うこととし、それら新材（バージン材）の製造・運搬及び不要物の搬出・処理といった工程を境界（バウンダリー）に含めて、CO₂排出量などの環境負荷を算定する。

これに対し、今日の社会資本整備では資源の有効利用

や廃棄物の発生抑制、自然環境・生態系への配慮といった観点から、当該工事に必要な資材は他の工事で発生した残土や廃殻を再利用するとともに、当該工事で発生する不要物に関しても後の工事へ転用・リサイクルすることで循環利用しようとする動きが進められている。このような動向を踏まえ、Y工事に必要な土砂や廃殻を前の工事（X工事）から調達して再利用し、またその他の資材としてリサイクル材を用いることなどにより環境負荷低減に取り組むケースを低減シナリオとして図-2下段に示す。この低減シナリオは、資材を新たに採取・製造して残土や廃棄物を処理するベースラインシナリオに対し、前のX工事で発生した不要物については、例えば残土であればストックヤードを確保して仮置きし、またコンクリート塊などの廃殻はリサイクル工場に持ち込み、Y工事で再利用しようとするものである。このため、Y工事の側からすればX工事からの不要物を再利用（低減シナリオ・Y工事における①'～②'の工程）するため、資材の製造・運搬段階（Y工事における①～②の工程）での環境負荷を低減させることができる。またX工事からの不要物をそのまま再利用できない場合も想定されることから、①'の再生材の加工に伴う環境負荷はY工事のバウンダリーに含めて考える。このときX工事の側としても、不要物がY工事で再利用され、その運搬・処理工程（X工事における③～④の工程）からの環境負荷を低減させたこととなる。同様にY工事の側としても残土や廃殻をその後のZ工事で再利用させることで、③～④の運搬・処理による環境負荷が低減される。このように前の工事からの不要物を再利用し、そして当該工事からの不要物を後の工事で再利用させることで資材の製造・運搬及び廃棄物の搬出・処理工程での環境負荷低減が可能となり、加えて建設機械の稼働段階での燃費改善等によって更なる環境負荷の低減も期待される。ただしこのように土砂等を再利用しようとする場合、再利用先までの運搬距離が新材の調達元又は処分場までの運搬距離より長くなれば、その分環境負荷低減効果が小さくなってしまふ。このため、工事実施に先立つ設計の段階から、近隣で再利用可能な資材が発生するような工事や、当該工事から発生する不要物を受け入れてもらえそうな工事を早期に探し出し、受け取り・受け入れに関するスケジュール等の調整を進めておくことが重要となる。

以上の考え方により、ベースラインシナリオに対して設定した低減シナリオによる環境負荷低減のイメージを図-3に示す。ここでX工事で発生した残土や廃殻をY工事で再利用し、加えてY工事で発生した残土等はZ工事で再利用しようとするものを低減シナリオIとする。また低減シナリオIIでは、低減シナリオIでの取り組みに加えて、土砂・廃殻以外で護岸や根固といった資材の選定の工夫やリサイクル材の使用、建設機械の稼働段階で

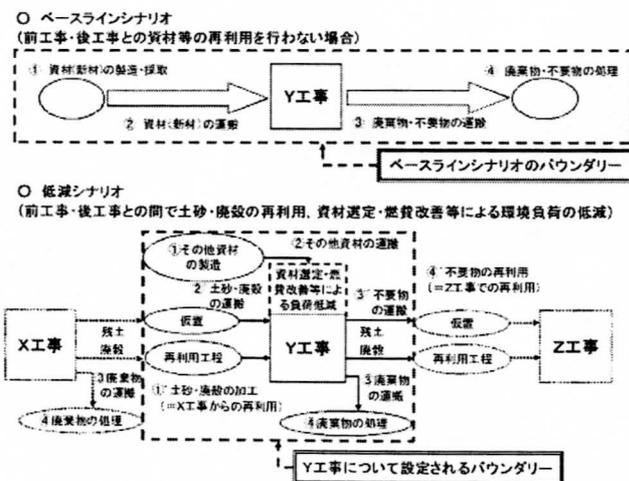


図-2 ベースラインシナリオと低減シナリオの設定とそのバウンダリーの考え方

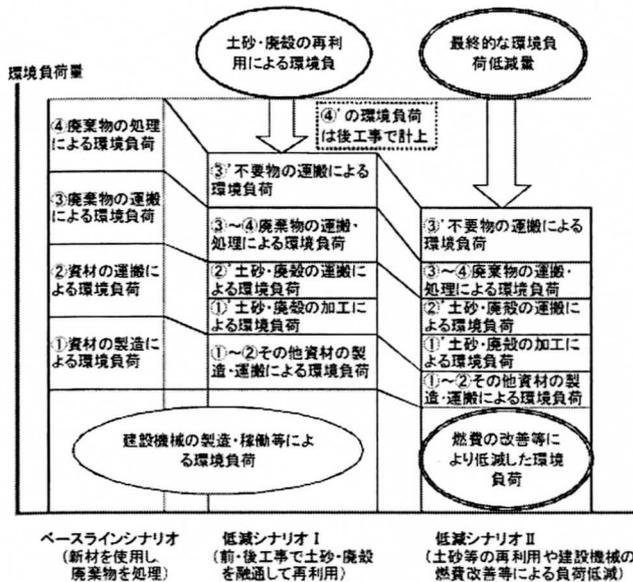


図-3 ベースラインシナリオに対する各低減シナリオにおける環境負荷低減のイメージ

の燃費改善等によって更なる環境負荷低減に取り組むものとする。

(2) 実際に施工されている河川工事を対象とした低減方策の検討

ここでは実際に施工されている河川工事を対象として、ベースラインシナリオに対し各低減シナリオでの環境負荷低減方策について検討を行う。対象工事は、工事に関する情報が比較的多いことから、池田ら(2010)が試算を行ったA河川の築堤・護岸工事とした。

A河川の築堤・護岸工事に必要な土砂は、同河川で過年度実施された掘削工事による残土が再利用されている。そして工事で発生した残土は区域内に仮置きして他の工事で再利用される予定であるが、ここで設定するベースラインシナリオでは必要な資材はすべて新材によるものとし、残土や廃殻はすべて処分場に運搬して処理されるものとした。このとき土砂の調達先及び残土の処分先は当該工事が行われる県庁所在地とした。

次に低減シナリオⅠでは、複数の工事間での調整・やり取りを行うことによって、他の工事で発生する残土やコンクリート・アスファルト等の廃殻をすべて再利用することとし、そして当該工事で発生する残土・廃殻についても別の工事で再利用されるものとした。

このような残土・廃殻を再利用する低減シナリオⅠの方策に加え、低減シナリオⅡでは護岸や根固といった資材の選定の工夫やリサイクル材の使用等によって環境負荷を低減させることとした。なお低減シナリオⅠ及びⅡに係る環境負荷としては、いずれも廃棄物は発生しないためCO₂排出量のみを対象とした。

A河川の築堤・護岸工事では、築堤盛土に必要な土砂以外に護岸・根固として多くのコンクリート・ブロック製品が使用される。設計段階では護岸の性能やタイプ等が検討されるのに対し、施工段階では護岸等に関してどのような商品を選定すべきかなどの検討が行われる。このため護岸等の選定に際して、所定の性能を満たす範囲で複数の候補から特定の製品を選定することで、その製造段階におけるCO₂排出量を低減できる可能性がある。今日、多くのメーカーが様々な護岸・根固ブロック製品を製造・販売しており、同じ性能が確保される場合であっても、各製品で使用される材料(コンクリートや鉄筋等)によって各製品単位でのCO₂排出量が異なる可能性があり、それら異なる製品によってCO₂排出量がどの程度変化するかを調査した。具体的には現在、市販されている根固ブロック製品a~fについて、公表されている材料ごとの重量に、3EIDに示すCO₂排出量原単位と産業連関表の部門別品目別国内生産額表の品目別単価を乗じてCO₂排出量をそれぞれ算定した。調査対象とした根固ブロック製品の例を図-4に、各製品(1t型)の材料構成を表-2に、そしてそれらの製造段階におけるCO₂排出量の算定結果を図-5に示す。これにより異なる製品の製造段

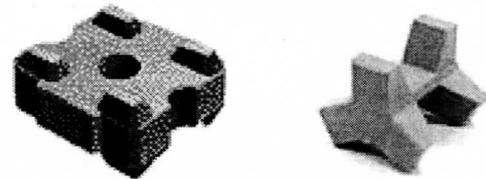


図-4 異なる根固ブロック製品の例^{7),8)}

表-2 各根固ブロック製品(1t型)の材料構成

	製品a	製品b	製品c	製品d	製品e	製品f
コンクリート・ポルトランドセメント(m ³ /個)	0.454	0.445	0.436	0.423	0.436	0.400
鉄筋・普通鋼小棒(kg/個)	3.91	-	-	-	-	-
型枠(kg/個) ※30回転用を想定	169	268	245	253	222	216

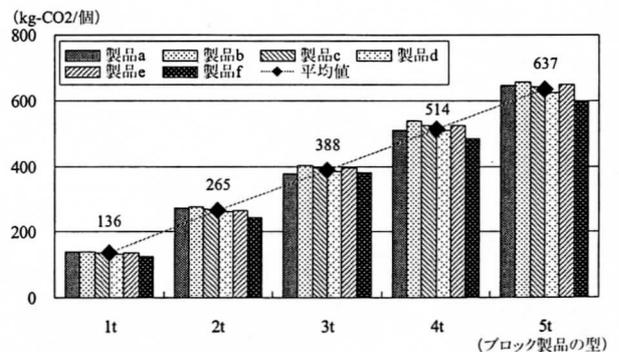


図-5 異なる根固ブロック製品の製造時におけるCO₂排出量

階におけるCO₂排出量の差異は平均値に対して1割未満で、これはいずれの型（1～5t）についても同様であった。このため所定の性能を有する限りでは、当初予定されている製品に替えて別の製品を使用したとしてもCO₂排出量の大幅な低減は見込めないこととなる。

次にこれらコンクリート・ブロック製品として、高炉スラグなどを用いた製品を使用した場合のCO₂排出量低減効果について検討する。このような製品の製造段階におけるCO₂排出量に関しては、曾根ら(2010)が高炉セメントやフライアッシュセメントのCO₂排出量原単位を作成している⁹⁾。その結果によれば、コンクリート・ブロック製品の製造に通常使用されてきたポルトランドセメントのCO₂排出量原単位は7.4×10³kg-CO₂/tであるのに対し、フライアッシュセメントは6.1×10³kg-CO₂/t、高炉セメントは4.4×10³kg-CO₂/tであり、ポルトランドセメントを使用した場合と比べてそれぞれ82%、59%であった。このため河川の護岸・根固として高炉セメントを用いた製品を使用することで、資材の製造によるCO₂排出量を最大6割程度にまで低減させることが可能となる。

また上記以外の取り組みによってCO₂排出量がどの程度低減されるかについて、工事実施によるCO₂の排出は、建設機械の製造・稼働によるものと資材の製造・運搬によるものがある。資材の製造段階でのCO₂排出量の低減方策は先に検討した通りである。資材の運搬については、資材の調達先との距離によるもので、実際の工事では様々な工夫が期待されるものの、低減シナリオとして運搬距離の低減を想定することはできない。また建設機械の製造によるCO₂排出量は、これまでの試算手法によれば建設機械重量に、機械重量当たりのCO₂排出量原単位を乗じ、それと機械の減価償却分を考慮して算定される。そして減価償却分は建設機械の実際の稼働時間から算定されるため、機械の標準的な性能によれば施工対象とする土砂や資材の数量から自ずと導き出せることとなる。同様に建設機械の稼働によるCO₂排出量についても、標準的な性能や燃費によれば資材の数量から導き出せる。このため標準仕様に基づく限り、建設機械の製造・稼働段階でのCO₂排出量は施工対象とする土砂や資材の数量から算定され、それらの数量が変わらない限りCO₂排出量の低減を見込むことはできない。ただし、これは環境負荷低減に向けてどのような方策が考えられ、そのシナリオへの適用可能性を検討するものであり、実際の工事では例えば建設機械の燃費改善や工程の短縮、省エネ・省力化など各施工会社の創意工夫によって様々な低減方策が考えられる。このため、ここで低減シナリオとして想定されていないからといって、実際の施工に際しそのような工夫を妨げようとするものではない。

以上により、低減シナリオIIではCO₂排出量の約4割低減が見込まれる高炉セメントによるコンクリート・ブ

ロック製品を用いて環境負荷の算定を行った。

(3) 環境負荷量の算定と低減効果の分析

以上の条件設定からベースラインシナリオ及び低減シナリオI、IIによる環境負荷量をそれぞれ算定した(表-3)。ベースラインシナリオではCO₂排出量が2,551t-CO₂であったのに対し、低減シナリオIでは1,648t-CO₂(35%の低減)、低減シナリオIIでは1,233t-CO₂(52%の低減)であった。この結果から土砂等の再利用によるCO₂排出量の低減効果は大きく、またコンクリート・ブロック製品に高炉セメントを用いた低減シナリオIIでは低減シナリオIに比べて25%程度低減された。

次にCO₂の排出と廃棄物の双方を考慮した環境負荷の低減効果について検討を行う。ベースラインシナリオでは工事で発生する残土・廃殻をすべて処分場に運搬して処理することとしており、その発生量として残土822t、コンクリート殻183t、アスファルト殻200tなどであった。この廃棄物発生量とCO₂排出量を共通の指標によって評価するため、LIME2の統合化係数を用いて比較を行った。この結果、CO₂の排出と廃棄物の発生双方を考慮した場合、ベースラインシナリオに対して低減シナリオI、IIでは被害額がそれぞれ16%、12%にまで低減された。

これらの結果から、各低減シナリオに示す方策を講じることで環境負荷が大幅に低減される。このため工事の実施に当たっては比較的近距离から土砂等を受け入れて再利用することが重要であり、それは当該工事から発生する不要物の受け入れ先確保についても同様である。また高炉セメントを用いた製品を使用する場合でも環境負荷の低減が期待されるが、そのような製品については、現時点で大量供給・実用化が十分に進んでいるとはいえない状況にある。今後はこれら製品の普及・流通が進み、また他のリサイクル製品についても技術開発を通じて実用化・普及されることを期待したい。

表-3 ベースラインシナリオ及び各低減シナリオによる環境負荷量と被害額の比較

	ベースラインシナリオ	低減シナリオ I	低減シナリオ II
CO ₂ 排出量	2,551 t-CO ₂	1,648 t-CO ₂	1,233 t-CO ₂
うち、建設機械の製造段階	34 t-CO ₂	34 t-CO ₂	34 t-CO ₂
うち、建設機械の稼働段階	191 t-CO ₂	191 t-CO ₂	191 t-CO ₂
うち、資材の製造段階	1,832 t-CO ₂	1,256 t-CO ₂	841 t-CO ₂
うち、資材の運搬段階	494 t-CO ₂	167 t-CO ₂	167 t-CO ₂
地球温暖化被害額(※1)	5,944 千円	3,840 千円	2,874 千円
残土発生量	822 t	0 t	0 t
廃棄物(残土)発生被害額(※2)	11,913 千円	0 千円	0 千円
砕石・コンクリート殻等の発生量	415 t	0 t	0 t
廃棄物(砕石等)発生被害額(※3)	5,645 千円	0 千円	0 千円
被害額の合計	23,501 千円	3,840 千円	2,874 千円
割合	100%	16%	12%

※1 地球温暖化統合化係数として、LIME2より2.33円/kg CO₂を使用
 ※2 廃棄物発生統合化係数として14.5円/kg(LIME2の一般廃棄物・糞土)を使用
 ※3 砕石等発生統合化係数として13.6円/kg(LIME2の産業廃棄物・がれき類)を使用

4. 環境負荷低減を意図した河道設計・施工の検討手順の構築

河川改修を行おうとする場合は、現況河道の課題や周辺地域の状況を把握し、図-6・左側の流れに示すようにまずは計画流量・水位や改修区間などの基本諸元を設定する¹⁰⁾。そして複数の河道改修案を想定して事業費や用地面積をそれぞれ算定して比較検討が行われ、治水・利水・環境への効果及び影響について総合的な評価が行われて最終案が決定される。現在適用されている検討手法では、良好な河川環境の整備・保全等を十分に考慮した措置を講じることとされているが、広域的・長期的な環境影響までを考慮するものとはなっていない。今後の河道設計や施工に当たっては、河川環境の直接的な影響だけでなく、地球温暖化や廃棄物といった環境影響にも配慮した検討が必要となってくる。このため、図-6・右側の流れに示すように、河道設計から施工までの全体の流れの中での環境負荷低減を意図した検討手順を構築・提案することとしたい。この手順は、複数の河道改修案について事業費だけでなくCO₂排出量や廃棄物発生量といった環境負荷量の算定を行い、それらをあわせ勘案して最終案を決定するものである。このとき設計段階で環境負荷の比較検討を行う際に、他の工事から土砂やコンクリート等を再利用できるかどうかによって評価が変わってくる可能性がある。このため設計段階で最終案を決定しようとする場合、近隣で予定されている工事と当該工事とで実施予定時期の調整を図るとともに、残土や廃殻の調達や受け入れ可能性について予め検討しておく必要がある。

そのような設計段階での土砂等の再利用を想定しつつ、施工段階においてはその実現を図るとともに、護岸などの資材としてリサイクル材を使用することによっても環

境負荷の低減が図られる。そして実際の施工に当たっては燃費の良い建設機械を使用することや工事の合理化・効率化など施工上の工夫を講じることで更なる負荷の低減が期待される。

5. まとめ

本稿では実際の河川工事を対象として、設計段階で複数の河道改修案を想定し、それぞれについて事業費やCO₂排出量、廃棄物発生量といった環境負荷量を算定した。またLIME2の統合化係数を用いて比較検討を行い、各案の実現可能性を考察した。また施工段階について、資材を新たに採取・製造して廃棄物を運搬・処理するベースラインシナリオに対し、残土等の再利用やリサイクル材を使用する低減シナリオを設定し、各シナリオで講じられる環境負荷低減方策の効果を分析した。さらに現在の河道設計・施工の検討に当たってはCO₂の排出や廃棄物の発生など広域的・長期的な環境影響が十分考慮されていないことから、今回の検討結果を踏まえ、環境負荷低減を意図した河道設計・施工の検討手順を構築した。

河川工事などの社会資本整備分野では、CO₂排出量や廃棄物発生量の抑制が今後ますます求められるものと予想される。その一方で、これら環境負荷量を算定し、その定量評価を行う手法は未だ十分に確立されていない。また設計・施工の各段階では取り扱う情報は異なり、実施主体も異なる場合があることから、設計から施工までの一連の流れを見通して環境負荷の低減に取り組む必要がある。ここで提示した環境負荷低減方策や河道設計・施工の検討手順が全国の河川管理者や建設コンサルタント・施工会社に広く参照されることで、環境負荷低減に向けた取り組みが一層推進されることを期待したい。

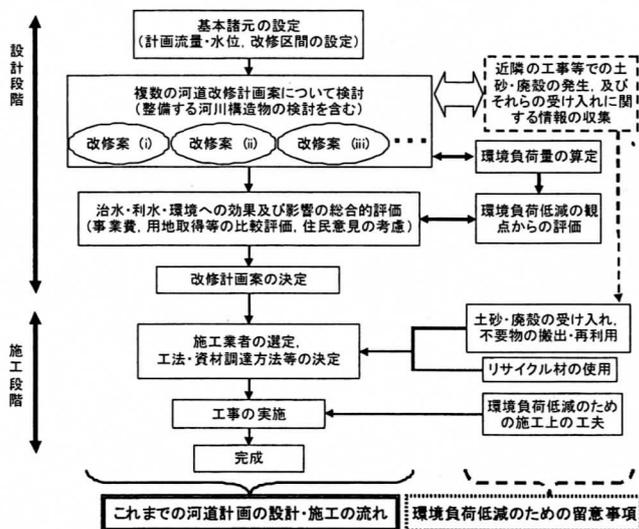


図-6 環境負荷低減を意図した河道設計・施工の検討手順

謝辞：本研究は土木学会環境システム委員会に設置された社会資本LCAに係る各委員会での議論から有用な示唆をいただいた。論文の全体構成について和歌山工業高等専門学校の鶴巻峰夫教授に助言をいただいた。また環境負荷量の算定など八千代エンジニアリング株式会社に協力いただいた。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 島谷幸宏・小野和憲・萱場祐一：自然を活かした川づくりによるCO₂排出量の削減，土木技術資料 Vol.40, No.6, pp.56-61, 1998.
- 2) 池田鉄哉・天野邦彦・岸田弘之：河川工事によるCO₂排出量の試算とライフサイクルアセスメント手法の適用に係る基礎的考察，土木学会環境システム研究論文集

- Vol.38, pp.193-202, 2010.
- 3) 山田聡宣・島谷幸宏・末松吉生：中小河川の改修手法の工夫による CO₂排出量の削減，土木学会河川技術論文集 Vol.16, pp.455-458, 2010.
 - 4) 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター：産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID), 2002.
http://www-cger.nies.go.jp/publication/D031/jpn/page/data_file.htm
(平成 22 年 3 月 11 日取得)
 - 5) 国土交通省：中小河川に関する河道計画の技術基準について，2010.
<http://www.mlit.go.jp/river/kankyo/main/kankyotashizen/pdf/gijyutsukijyun.pdf> (平成 23 年 2 月 23 日取得)
 - 6) 伊坪徳宏・稲葉敦編：LIME2－意思決定を支援する環境影響評価手法，社団法人産業環境管理協会，2010.
 - 7) 共和コンクリート工業株式会社：根固・護床工製品ホームページ，2011.
<http://www.kyowa-concrete.co.jp/seihin/negatame.html>
(平成 23 年 2 月 23 日取得)
 - 8) 日建工学株式会社：3 連ブロック製品ホームページ，2011.
http://www.nikken-kogaku.co.jp/products/product/product_36.html
(平成 23 年 2 月 23 日取得)
 - 9) 曾根真理・瀧本真理・岸田弘之・藤田壮：社会資本 LCA に用いるインベントリ・データ・ベースの開発，土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集 VII-083, pp.165-166, 2010.
 - 10) 国土交通省河川局：国土交通省河川砂防技術基準同解説・計画編，社団法人日本河川協会編・発行，山海堂，pp.125-126, 2005.

(2011.8.18 受付)

STUDY ON THE REDUCTION MEASURES OF ENVIRONMENTAL LOADS AT THE DESIGNING AND CONSTRUCTION STAGES OF THE RIVER WORKS

Tetsuya IKEDA, Kunihiko AMANO and Hiroyuki KISHIDA

In the field of infrastructure construction including river works, construction materials such as concrete are used, and it needs to transport them for the long distance. Due to recent growth of public awareness on the environmental issues, it becomes more important to estimate and reduce the environmental loads brought by the infrastructure construction. In the infrastructure construction, it is necessary to take notice of carbon dioxide and waste materials as the broad-based and long-range environmental loads. On the other hand, it is necessary to conduct the quantitative evaluation on these environmental loads and to investigate the reduction measures by considering the actual situation of construction. Focusing on the river works, this paper estimates the cost of construction, the carbon dioxide emission and final disposal volume on the several alternative plans at the designing stage, compares the significance of different environmental loads by using the integrated factors of LIME2, and analyzes the effectiveness of reduction measures. It also establishes the reduction scenarios of the environmental loads, and analyzes the effectiveness compared to the base-line scenario in which the materials are newly extracted and produced. Based on the results, it establishes the procedure intending to reduce the environmental loads at the time of river planning and construction, which will be referentialized by river managers, construction consultants and constructors nationwide.