

2. 橋梁解体工事のオンサイト環境負荷調査研究

奈良 松範^{1*}・吉田 一真²・吉川 繁³・千田 光⁴

¹諏訪東京理科大学大学院工学・マネジメント研究科（〒391-0292茅野市豊平5000-1）

²トピー工業（株）業務開発室（〒141-8634 東京都品川区大崎 1-2-2 アートヴィレッジ大崎セントラルタワー）

³エックス都市研究所環境開発本部環境型社会デザイングループ（東京都豊島区高田 2-17-22 目白中野ビル 6F）

⁴住友金属工業株式会社建設技術部（〒104-6111 東京都中央区晴海 1-8-11 トリトンスクエアY棟）

* E-mail: nara@rs.suwa.tus.ac.jp

従来、建設業のLCAは製造業のそれよりも難しいとされていた。その原因の一つは、建造物解体時の環境負荷に係るインベントリーデータの不足であった。そこで本研究では、建設分野で環境負荷のデータが特に不足しているライフステージの一つである解体工事における環境負荷データを得るために実地調査を行った。その結果、建造物の解体における以下のような知見を得ることができた。土木構造物の解体工事において、コンクリートがらと鉄スクラップの搬出量が圧倒的に多いこと。また、鋼橋及びRC橋の解体工事を比較した場合、建造物面積当たり、RC橋は鋼橋よりもCO2排出量が多くなる傾向が認められた。また、解体工法がCO2排出量に及ぼす影響が大きいこと、工法の選定に留意する必要があることを指摘した。

Key Words :Bridges, Demolition , Life cycle assessment, Wastes, CO2emissions

1. 目 的

地球環境問題の解決に向けた建設産業としての役割はいくつか考えられるが、その中でも喫緊の課題の一つは循環型社会の形成に寄与できるインフラストラクチャの建設である。そのためには循環型のインフラストラクチャとはどのようなものかが、定義されなければならない。循環型社会形成推進基本法第2条によれば、「循環型社会とは、製品等が廃棄物となることが抑制され、並びに製品等が循環資源となった場合においてはこれについて適正に循環的な利用が行われることが促進され、及び循環的な利用が行われない循環資源については適正な処分が確保され、もって天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会をいう」とある。天然資源などの枯渇型資源の消費を抑制して、廃棄物の3R（Reduce, Reuse, Recycle）を推進することを目的としている。このような社会は環境への負荷を低減することができ、持続可能な経済社会を構築することができると思われる。このようなシステムを構築するためには、社会から排出されている環境負荷とは何なのか、そもそも環境負荷とは何なのか、現段階では負荷となり得なくとも将来環境負荷となり得るものはないのか等、基本的な情報が完備されなければならない。建設分野においても、循環型インフラストラクチャとは何なのか、こ

れを構築するために何が必要なのか、まず、このような基本的な疑問が解消されなければならない。

これまでに国土交通省、土木学会及び同地球環境委員会等において建造物のライフサイクルにおける環境負荷を定量化するための作業が行われてきた。すなわち、循環型インフラストラクチャを構築するために原料採取、材料生産、加工、施工、使用、そして廃棄あるいはリサイクルまで含めたライフサイクルアセスメント（LCA）を行うことにより、循環のための仕組みが構築されつつある。そして、LCAと循環型インフラストラクチャの構築とが融合することにより、社会全体の統合的環境負荷（Integrated Environmental Load: IEL）が低減されることが可能と考えられている。しかし、建設のLCAを実施しようとした場合、建造物のライフサイクルの各段階で発生する廃棄物量やリサイクル量の把握状況を鑑みれば、供用・維持管理段階のデータは極めて少ないことがわかる。また、これらの発生量だけでなく、環境負荷の観点から各ライフステージにおける二酸化炭素に代表される温室効果ガスの排出量把握をはじめ、生態系への影響など、LCAのためのデータは十分とはいえない。

そこで、循環型かつサステナブルな社会の構築を考えた場合、まず最初に、これら欠落している環境負荷デー

タを蓄積することが重要な作業であると思われた^{2),3)}。しかしながら、建造物のLCA(LCCO₂等)を実施しようとした場合、製造業のLCAとは若干異なり、施工、維持管理、そして解体が別個の産業として確立され、これを構成する企業規模が小さく、環境に関するデータが保存されていない。すなわち、インベントリデータが集積されない^{4),5)}。

以上のような観点から、我われは建造物の適切な循環性を確保するためにLCA環境負荷データの蓄積が不可欠であると考え、その第一歩として、材料製造、加工、あるいは施工段階に比べて、供用段階及び解体段階におけるLCA環境負荷データが不足していることに鑑み、特に解体における環境負荷データに焦点を絞り、これを実地調査することとした。さらに、すべての建造物ではなく、まず鋼構造物である鋼橋のLCAを完結させることを目的として解体段階の環境負荷及び発生物の再生状況を調査した。

2 方法

(1) 調査範囲

表1に示したように、鋼橋を2橋、RC橋を2橋について解体工事について実地調査及び文献資料調査を行った。ただし、本研究の調査期間が3年間であったのに対して橋の解体は入札を含め工事が長期にわたることもあり、この調査で鋼橋解体の全環境負荷が明らかになったわけではない。また、解体工事記録やヒアリングをもとに調査を行った結果も含まれている。

表1. 調査対象とした橋梁の概要

橋 名	昭和橋旧橋	玉川橋旧橋	新寿橋旧橋	厚東川大橋旧橋
架橋位置	埼玉県羽生市 大字上新郷地内外	秋田県大仙市花館 字間倉州崎地内	山口県岩国市 今津町地先	山口県宇部市 藤曲地先
路線名	一般国道122号線	一般国道13号線(羽州街道)	一般国道188号線	一般国道190号線
橋梁形式	合成鉄桁(6連) +ランガー桁(7連)	RCゲルバーT桁 +鋼単純ワーレントラス(3連)	車道:RCゲルバーT桁橋(7連) 歩道:H鋼桁橋(7連)	RC単純T桁橋(28連)
発注者	埼玉県 県土木整備部	国交省東北地整 湯沢河川国道事務所	国交省中国地整 山口河川国道事務所	国交省中国地整 山口河川国道事務所
橋長、幅員	橋長:658.3m 幅員:7.0m	橋長:651.8m 幅員:6.5m	橋長:172.0m 幅員:車7.5m、歩2.5m	橋長:364.0m 幅員:11.7m
建設時期	昭和37年(1962年)	昭和7年(1932年)	昭和27年(1952年)	昭和10年(1935年)
工事概要	上部工は4つの工区、下部工は脚毎に5つの工区に分けて発注されている。脚6基、橋台2基については、調査期間内では未発注。	左岸、花館地区のRCゲルバーT桁19径間322.6mと脚18基は、花館地区橋梁撤去工事として平成19年度に撤去完了。今回調査は、平成20年度発注のワーレントラス3径間(146.4m)の撤去工事。	RCゲルバー橋(車道)、及びH鋼桁橋(歩道)、全長172.0mの撤去。撤去工事だけでなく、この後の新設橋にも使用する仮設橋梁の設置も含まれている。下部工撤去は、今年度発注予定。	RC単純T桁28径間(全長364m)を、中央部分から両岸へ後退する形で、第1期(平成15年度)、第2期(平成19年度)で、今回第3期(平成20年度)と発注。山口側2径間、宇部側2径間が残る。
解体工事の特徴	上部工: 河川上のランガー桁は、架設桁とジブクレーンによる解体。河川敷部分のランガー桁1径間と合成鉄桁はトラッククレーン・ベントにより解体を行った。 下部工: CRC解体工法を主体に、一部、コンクリートクラッシャー及び大型ブレーカー工法を使用。基礎に対しては、河川計画内の脚に対しては、コンクリート杭の引き抜き、コンクリートケーソンの解体を行っている。	上部工: 手延べ機・架設桁とジブクレーンによる解体工法。解体した部材は、河川敷に仮置きした後、指定の置き場へ搬送し発注者へ引き渡しとなる。	上部工: 長期間使用できる大型の仮橋梁を設置。橋梁上の200tクローラークレーンにより、部材取りを行う。コンクリートのカットは、床版はコアボーリングとコンクリートカッター、主桁は仮設桁で受けてワイヤソーにカット。特徴として、主桁撤去時の仮設桁及び作業通路に、最初に撤去した歩道部分のH鋼桁を利用。また、ワイヤソーの電源は200Vの商用電源を使用。	上部工・下部工: 橋桁を覆うような形でH杭の上に作業架台を設け、大型クレーンを設置して部材取りを行う。コンクリートは、橋軸方向をコンクリートカッターで、横断方向はワイヤソーにより切断。下部工は、鋼矢板で仮締切りを行い大型ブレーカーにより解体を行う。同じ形式の径間で構成されているため、機材を反復して利用している。

CO₂排出量は、解体工事で消費した燃料、電気、水等、及び資機材と排出物の運搬で消費した燃料を算定対象とした。廃棄物については、解体による排出物が中間処理場へ搬送された場合は、処理場の一般的対応を確認して、再処理されているかを判断した。コンクリートの切断などで発生する廃水・汚泥などについてもマニフェスト等より再生処理の状態を判定した。

解体工事の調査対象のシステム境界を図1に示した。解体工事本体だけでなく、解体工事現場への資材や機材の運搬および同現場からの発生物(解体工事で発生した物質であり、リサイクルあるいは最終処分される)の運搬を含んでいる。図2に調査フローを示した。なお、本文では(社)日本鋼構造協会鋼構造物の解体・回収時における環境負荷研究小委員会の活動の中で得られたデータを使用した。

(2) 調査方法

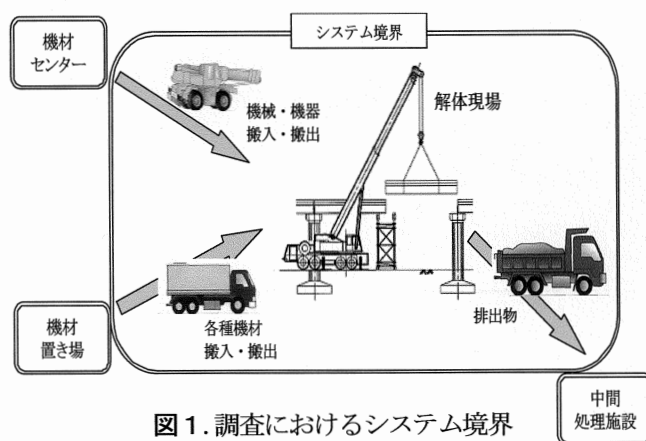


図1. 調査におけるシステム境界

a) 解体・回収による発生物量算定

建造物の解体による生じる解体物やコンクリートの切断作業で生じる汚泥などをまとめて“発生物”とする。また、発生物のうち現場から外部へ排出され処理されるものを排出物とした。本調査では、一部撒水の水などを除いて、発生物は全て外部へ排出され処理されていた。表2は発生物の一覧を示したものである。

解体工事からの排出物の数量の把握は、マニフェストの記載、もしくは計量証明の数値(単位:t)で行った。ただし、中間処理場で計測されていない場合は、設計数量から換算して算出した。コンクリート塊は、鉄筋などの補強鋼材を含む場合と、現場で小割を行ったコンクリート塊のみの場合があるが、その旨のコメントを付けて計測された重量をそのまま記録した。

現場からの排出物の輸送は、ダンプ、トラック、トレーラなど使用されているが、搬送するものに合わせて使い分けていた。また、コンクリート塊では、現場で小割を行って運ぶ場合と、輸送できる大きさに切り出したブロックを処理場へ運び、中間処理場で小割を行う場合の両方が確認された。このような不確定な情報を補足するために輸送車両の最大積載可能量に対する排出物の輸送重量の比率(積載率)を調査した。

中間処理場へ搬入された排出物は、一部建設汚泥を除き再資源化されたと思われた。一般に中間処理場に混在している廃棄物から該当工事の排出物だけの行方を調べることは困難である。そこで、一部ヒアリングにより確認を行ったものもあるが、処理場の状況・処理方法などが適法であったこと、再生方法としてコンクリート塊は路盤材等、鋼材はスクラップであったことを確認した。

b) 解体・回収によるCO₂排出量算定

解体工事での燃料・電気・燃焼ガスなどの消費によるCO₂排出量、及び資機材の搬送、排出物輸送によるCO₂排出量を算図4. 玉川橋発生物比率(重量比)

解体工事によるCO₂排出量の算定は工事及び輸送による負荷を対象とした。表3は使用機材に関する調査票の一部を抜粋したものを示した。建造物の解体工事におけるCO₂排出量は、作業に直接使用する機械設備により消費される軽油、ガソリンなどの燃料、そして電力使用並びにアセチレンガスによる溶断などによる各消費量を調べ、これに排出係数を乗ずることにより算定した。CO₂排出量の算定方法は、施工技術活性化分科会(2002)資料¹⁾に準じた。

輸送によるCO₂の排出量は、工事に使用する機械設備及び機材の搬送、解体工事により発生した排出物の輸送に対して算定した。機械設備及び機材については、それぞれの重量と所定の場所(機材センターなど)から現場

までの距離から、ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法に基づく改良トンキロ法¹⁾で計算した。

また、排出物の搬送に対しては、決められた車両が往復して輸送する事を考慮して、貨物車のインベントリデータより、使用車両と積み荷の状況(積載時と空車時)を調べ、燃費と輸送距離から燃料使用量を求めた。解体により生じた発生物、または解体工事で発生した汚泥な

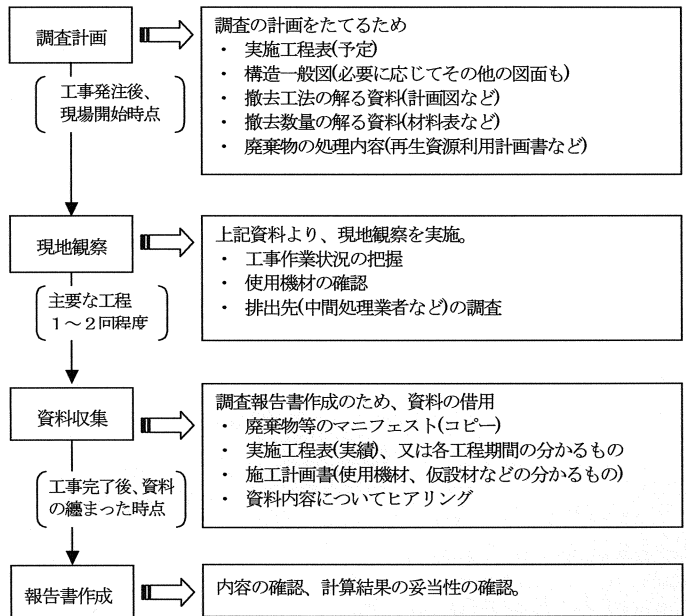


図2. 現地調査における作業フロー

表2. 解体工事における発生物一覧

解体部位	発生物	再生品
舗装	アスファルト コンクリート塊	再生アスファルト合材
高欄	コンクリート塊 鉄くず	再生砕石 鉄スクラップ
床版	コンクリート塊 鉄くず	再生砕石 鉄スクラップ
主構	鉄くず コンクリート塊	鉄スクラップ 再生砕石
切断作業	建設汚泥 廃アルカリ	改良土 セメント原料 セメント原料

表3. 解体作業における使用機材調査票 (一部抜粋)

作業 工程	作業日	作業内容	解体作業					
			使用資材	使用機材				
				機材名	燃料	台数	移動 時間	機材搬 入距離
床版撤去工	1・12 ~ 3・8	床版吊孔コア抜き 床版ブロック切断 床版撤去 地盤部はつり	足場材	コアボーリング	軽油	2	8h/日	490km
			養生シート	カッター	ガソリン	2	8h/日	490km
				10kva発電機	軽油	1	8h/日	15km
				16tアーク	軽油	1	8h/日	3km
				エアコンプレッサー	軽油	2	8h/日	490km
			発生物	輸送				(片道)
				搬出車両車種	燃料	台数	運搬 距離	輸送先 種類

どの輸送により生じるCO₂排出量は、現場から中間処理場までの区間で行きは満載、帰りは空荷として燃費法により計算した。

3. 結果および考察

(1) 解体工事における発生物量

a) 昭和橋

昭和橋は合成鉄桁6連とランガー桁7連からなり、橋長 658.3m、幅員 7.0m の上下2車線で歩道はない。図3は上部工の解体・回収による解体材毎の重量比率を示した。コンクリート塊が 55.5%で半分以上を占め、鉄スクラップは鋼桁とその他の鋼材を合わせると 27.4%であった。また、下部工は小判形のRC橋脚で、基礎はランガー桁部(ピア1~8)でコンクリートケーソン、鉄桁部(ピア9~11)ではφ350のRC杭が使用されていた。下部工解体方法としては、コアマシンで穿孔し、明けた孔にクサビを利用して開削装置を挿入、クサビを押し込む事により、コンクリートに割れ目を入れたあと、破碎機により破碎するCRC工法が主体となっていたが、一部の脚では大型のクラッシャー及びジャイアントブレイカーにより破碎を行っていた。解体材発生物はコンクリート殻と金属くずのみのため、コンクリート殻を駆体部分と基礎部分(ケーソン、RC杭)に分けた。なお、再資源化率(リサイクル)は汚泥を除き 100%であった。

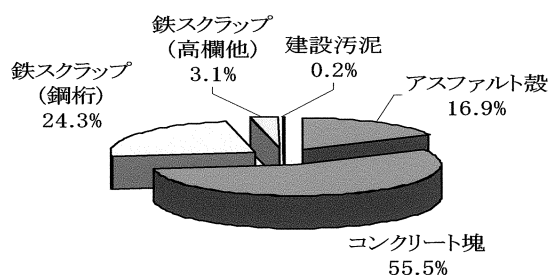


図3. 昭和橋発生物比率(重量比)

総重量 5,079.3ton

b) 玉川橋

玉川橋は、RC ゲルバーと鋼製トラスの混成橋あり、河川部に位置するトラス桁3連 146.4mの上部工解体工事を調査対象とした。図4に解体工事の発生物別の重量比率を示す。コンクリート塊は床版コンクリートから鉄筋、下面鋼板、I形鋼など鉄スクラップを分別した後のコンクリート塊である。鉄スクラップ(形鋼他)には、転落防護柵の重量を加えた。コンクリートガラが 50%、鉄スクラップが約 40%、アスファルトガラが 10%の比率となっていた。

c) 新寿橋

橋の形式はコンクリートT桁のゲルバー橋で、橋長 172m、車道幅員 7.5m、交通量は1日平均 25,000 台以上(1997 年調査)であった。図5は解体時の発生物の種類毎に重量比率を示した。コンクリート橋であることから、コンクリートガラ塊が約 90%であり、発生物は全て再生処理された。解体方法は約 15m 上流側に巾 10m の仮栈橋を建設、200t クローラクレーンを設置して、橋上の 65t クローラクレーンにより、橋梁全体にわたって同時期に各部材を撤去するものであった。

d) 厚東川橋

橋は長さ 364m、全幅員 11.7m、28 径間の RC-T 桁橋であるが、本調査では上部工7径間、橋脚8基の解体工事を対象とした。図6に解体による発生物重量を示した。コンクリートの解体は、上部工(歩道部、車道部)、橋脚(梁及び柱)はワイヤソーなどを用いてブロック形状に切り出してから、トラックで処理施設へ搬送後、処理施設の中で小割・分別を行っていた。

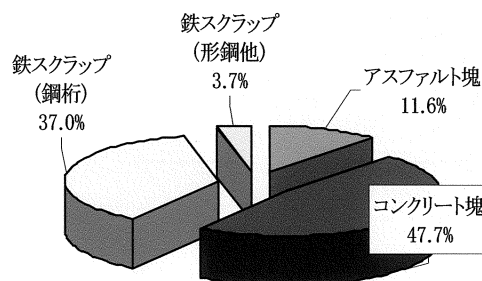


図4 玉川橋発生物比率(重量比)

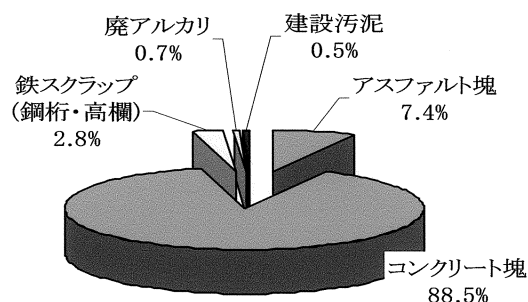


図5 新寿橋発生物比率(重量比)

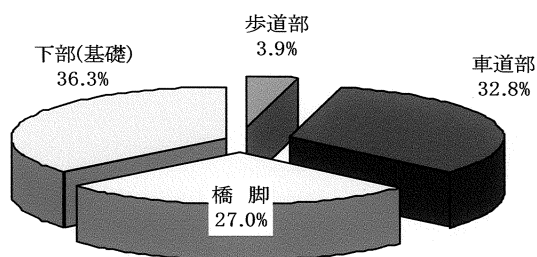


図6 厚東川橋発生物比率(重量比)

(2) 解体工事におけるCO₂排出量

a) 昭和橋

図7は解体工事と輸送からのCO₂排出量を示した。鋼桁撤去によるCO₂排出量が57%となっており、高い比率を占めた。その要因として大型のクローラクレーンの稼働、及び仮設備を駆動させる発電機の運転によるCO₂排出量が大きく影響していたと思われる。また、仮設機材が特殊であり、重量物を長距離輸送したことも要因であろう。また、床版撤去による値が36%であったので、これらを合計すると全体の90%以上となった。

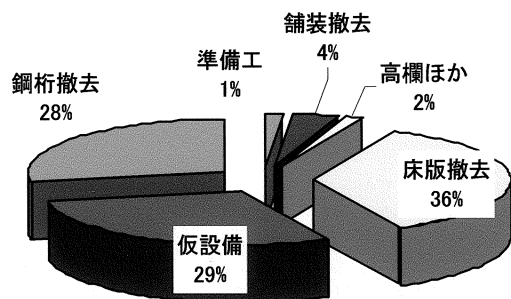


図7 昭和橋CO₂排出量比

b) 玉川橋

図8は、玉川橋の解体作業と輸送によるCO₂排出量合計を工程別に比率で表示した。鋼桁を撤去する設備工（機材利用）と鋼桁撤去を合わせると94%であった。また、機材のCO₂排出量が全体の74%と大きな比率であったのは、解体用仮設備の長距離輸送の影響が大きかった。

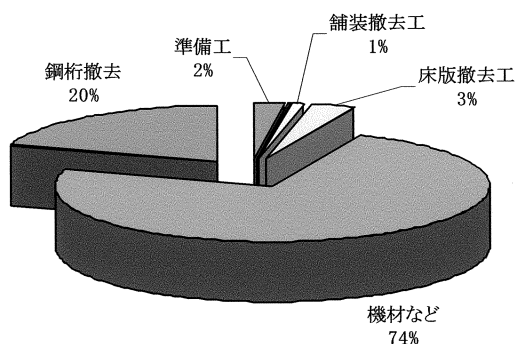


図8 玉川橋CO₂排出量比

c) 新寿橋

図9に各工程別（準備工、歩道部解体、仮栈橋設置、車道部解体）にCO₂排出量を示し、さらに歩道部解体と車道部解体に対して、それぞれの作業工程別にCO₂排出量の比率を円グラフで示した。仮栈橋設置のCO₂排出量は48.05%と全体の約半分の割合を占めた。また、歩道部は車道部の約15%の値であった。この他に、栈橋設置のCO₂負荷は全体の約40%であった。

d) 厚東川橋

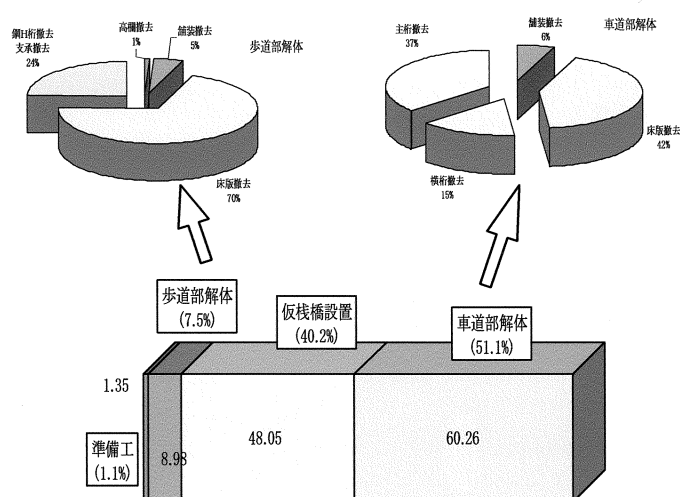


図9 新寿橋CO₂排出量比

図10に解体工事と輸送を合計した工程別の排出量の比率を示す。上部工撤去のCO₂排出量は全体の7%であった。仮栈橋の設置・解体が全体の45%で、これに作業構台設置(13%)、撤去(16%)を加えると、全体の約75%が仮設備の工程から排出されていたことになる。

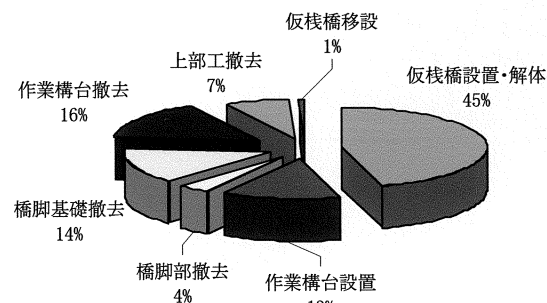


図10 厚東川橋CO₂排出量比

(3) まとめ

図11は、解体物面積当たりの重量比較を工事毎に示した。鋼橋と比較してRC橋が大きな値となっている。新寿橋旧橋が大きな値となっているのは、コンクリート橋の自重が大きいことと、支間長が26.2mとRCコンクリートとしては長く、主桁が大断面のためと考えられた。図12は解体面積当たりCO₂排出量の比較を作業時と輸送時に分けて示した。昭和橋を除いて作業時のCO₂発生量は同じになっているが、機材の輸送距離が長い玉川橋旧橋、厚東川大橋旧橋で輸送時のCO₂排出量が解体時を上回る結果になった。また、解体工事において鋼橋はRC橋より橋面積あたりのCO₂排出量が少ない傾向が認められた。他方、輸送におけるCO₂排出量では、橋面積当たりの値で鋼橋とRC橋との相違を峻別することはできなかった。図13は、鋼橋について工程別のCO₂排出量を示した。“床版撤去”で、玉川橋の値が小さかったのは昭和橋との床版形式の違いか、非常に短時間で

撤去が行われていたからである。“仮設備”で玉川橋の値が大きいのは、架設桁などの機材を長距離(500 km往復)輸送したためで、仮設備での排出量の70%が機材輸送による値であった。昭和橋上部3工区では作業用栈橋と桁を受けるベント及び大型クレーン(200t クローラクレーン)が100 km往復輸送されていた影響が大きかった。

4. 結論

本研究は土木構造物(鋼橋及びRC橋)の解体工事における環境負荷データを得るために実地調査を行った。その結果、解体工事からの発生物はコンクリート塊と鉄スクラップの排出量が圧倒的に多いこと、またCO₂排出量の算定において、RC橋は鋼橋よりもCO₂排出量が多くなる傾向が認められた。また、解体工法がCO₂排出量に及ぼす影響が大きく、工法選定に留意する必要があることを示した。また、工種別のCO₂排出量は撤去工事自体よりも仮設備によるものの方が大きくなる傾向を示した。本研究は今後、維持管理の環境負荷データを蓄積することにより、鋼橋に始まり鋼構造物さらに建造物を網羅した建設LCAの確立に役立つものとする。

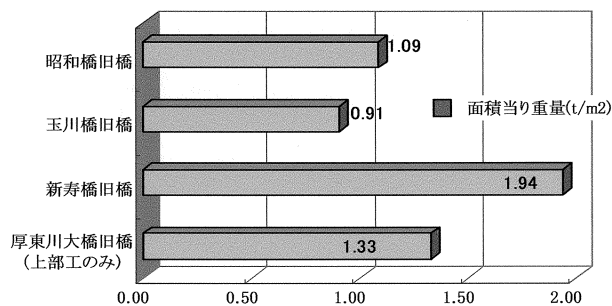


図 11. 解体物面積当たりの発生物重量比較

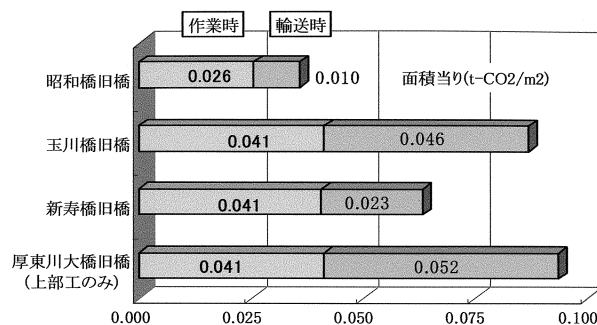


図 12. 解体面積当たりCO₂排出量の比較

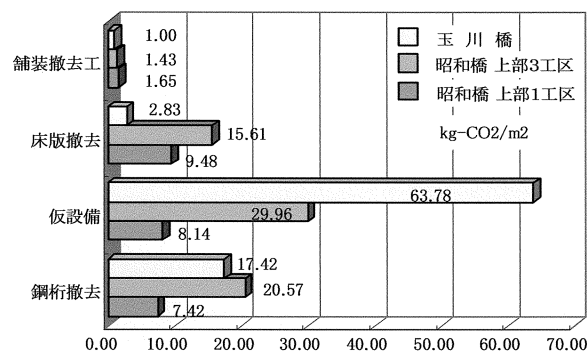


図 13. 鋼橋について、工種別のCO₂排出量

[参考文献]

- 1) 施工技術活性化分科会 (2002) : 建設工事における二酸化炭素【CO₂】排出量の算定、日本建設機械化協会 建設業部会、2) 環境省・経済産業省 (2008) : 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.23、環境省・経済産業省、2008.5、3) 日本建設機械化協会 (2006) : 建設機械等損料表、日本建設機械化協会、2006.4、4) 経済産業省・国土交通省 (2006) : ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法 共同ガイドライン Ver.2.0、経済産業省・国土交通省、2006.4、5) LCA日本フォーラム (2006) : 貨物車のインベントリデータ、LCA日本フォーラム、2006.8.14、6) 土木学会 (1988) : 土木工学ハンドブック 1、技報堂、1988.11

(2010. 3. 6 受付) (2010. 6. 16 受理)

On-site environmental impact investigation of bridge demolition works

Matsunori NARA¹, Isshin YOSHIDA², Shigeru YOSHIKAWA³, Hikaru SENDA⁴

¹Dept. of System Engineering, Tokyo University of Science, Suwa, ²Topy Industry Co. Ltd., ³Ex Urban Research Institute Co. Ltd., ⁴Sumitomo Metal Industry Co. Ltd.

The field survey to obtain the environmental impact data in the demolition work was done. As a result, the finding in the demolition of the building like the sequentes was able to be obtained. In the demolition work of the civil structure, it was shown that the amount of carrying out of the concrete mass and iron scrap was large overwhelmingly. Because concrete weight was heavy, the RC bridge was a big value compared with the steel bridge as a result of having investigated the comparisons of weight for each area of the demolition structures at each construction. It was pointed out to have to note the selection of the industrial method because the influence that the demolition industrial method exerted on the amount of the CO₂ exhaust was large. As for the steel bridge, the tendency whose amount of the exhaust of CO₂ for each length of the bridge is less than that of the RC bridge was observed. On the other hand, the difference between the steel bridge and the RC bridge was not able to be distinguished sharply by the value for each bridge face product in the amount of the CO₂ exhaust in transportation.