

◆ 報 文 ◆

建設事業におけるCO₂排出量に関する検討

木嶋 健* 寺田 剛** 明嵐政司*** 西崎 到****

1. はじめに

地球温暖化防止対策は、1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議（COP3）で各国の温室効果ガス削減目標が取り決められて以降、国家政策として推進されてきた。この中で我が国の温室効果ガス削減目標は、2008年から2012年までの期間において1990年比で6%（削減量は6000万トン）とされている。政府は、上記の温室効果ガス削減目標を達成するため、1998年には地球温暖化対策推進大綱の閣議決定、1999年には地球温暖化対策推進法の制定を行った。しかし、2002年の温室効果ガス排出量は1990年比で7.6%増加しており、目標達成のためには一層の削減が必要な状況にある¹⁾。2005年2月に京都議定書が正式に発効したことから、地球温暖化対策推進大綱は京都議定書目標達成計画と名称が変更され、国土交通省も本計画に基づいて建設事業におけるCO₂排出量の計画的な削減を行うべく一層の努力が求められている状況にある。建設事業におけるCO₂排出量の計画的な削減を実施するためには、資材生産から廃棄に至るまでのライフサイクルCO₂排出量を算定・評価することが重要である。本報文では、建設事業におけるライフサイクルCO₂排出量の算定・評価に必要とされる各種のCO₂原単位について、その算定方法および算定結果を示すこととする。

2. 建設事業と原単位

建設事業におけるライフサイクルCO₂排出量を評価するため、個別の産業部門を対象にCO₂排出量を評価した産業別原単位、個別の建設材料を対象にCO₂排出量を評価した材料別原単位、河川・道路等の建設事業計画を対象にCO₂排出量を評価した事業別原単位、建設工事を対象にCO₂排出量を評価した構造物別原単位、建設工法を対象にCO₂排出量を評価した工法別原単位の合計5種類の原単位を設定した。ここで、事業別原単位は事業計画立案のために、構造物別原単位は構造物の概略設計のために、工法別原単位は詳細設計のために利用することを想定している。材料別原単位は建設工事で用いられる種々の材料を対象としたものであり、事業別原単位、構造物別原単位およ

び工法別原単位を算定する場合に基礎となる。また、産業別原単位は建設産業を含む種々の産業を対象としたものであり、材料別原単位を算定する場合に基礎となる。これら5種類の原単位の概要を表-1に示す。また、道路事業を対象に事業の各段階と原単位との対応関係を示すと、図-1の通りである。

事業別原単位、構造物別原単位、工法別原単位の設定にあたっては、新土木工事積算体系²⁾を参考とした。これによると、建設事業は表-2に示すように各工事種別に対して7つの階層（レベル）に体系化されている。表-2には事業別原単位、構造物別原単位、工法別原単位に対応するレベルも併せて示している。なお、材料別原単位は、工事種別に対応する原単位ではないため、ここには示していない。

建設事業のライフサイクルは、図-2に示すように、計画設計段階、材料・機械製造段階、施工・改修段階、維持管理・供用段階、解体廃棄段階、

表-1 原単位の種類および概要

| 原単位の種類 | 内 容 |
|---------|---|
| 産業別原単位 | 個別の産業を対象とした原単位 ・ 産業部門1円当たりのCO ₂ |
| 材料別原単位 | 個別の材料を対象とした原単位 ・ セメント1kg、コンクリート1m ³ 当たりのCO ₂ |
| 事業別原単位 | 河川・道路の建設事業計画を対象とした原単位 ・ 道路施工1km当たりのCO ₂ ・ 事業費当たりのCO ₂ |
| 構造物別原単位 | 道路工事区分（土工、トンネル、橋梁、高架）毎、及びダム形式等を対象とした原単位 ・ 道路工事区分毎に1km当たりのCO ₂ ・ フィルダム堤体1m ³ 当たりのCO ₂ |
| 工法別原単位 | 工法を対象とした原単位 ・ 硬岩掘削工を行う際のA工法、B工法の1m ³ 当たりのCO ₂ |

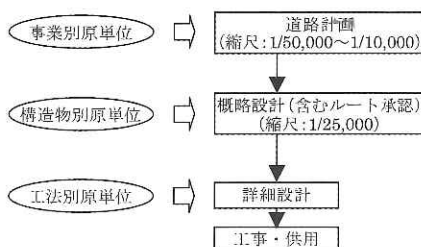


図-1 道路事業を対象とした原単位の利用箇所

表-2 新土木工事積算体系の区分レベルと原単位

| レベル | 名称 | 内容 | 原単位 |
|------|------|--|---------|
| レベル0 | 事業区分 | 予算制度上および事業執行上の区分、発注時の支出予算科目を示す。 | 事業別原単位 |
| レベル1 | 工事区分 | 1件の工事として発注される区分 | 構造物別原単位 |
| レベル2 | 工種 | 一定の構造を持つ部位を施工するための区分 | 工法別原単位 |
| レベル3 | 種別 | レベル2とレベル4をつなぐ区分、施工順序に従った構成とする。作業土工や場所打杭工 | |
| レベル4 | 細別 | 工事を構成する基本的な単位の目的物もしくは単位仮設物であって、単位と共に契約数量を表すレベル | |
| レベル5 | 規格 | レベル4を構成する材料等の客観的な材質・規格ならびに契約上明示する条件等 | |
| レベル6 | 積算要素 | レベル4の価格算定上の構成要素であって、基本的には契約上明示しないもの | |

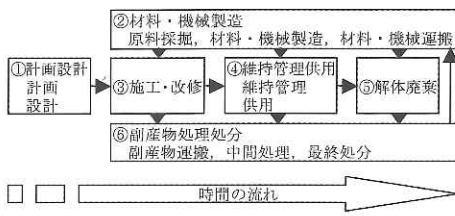


図-2 建設事業のライフサイクル

副産物処理処分段階の6ステージに分類される。特に計画設計段階は重要な段階であり、適切な手段を講じることによりCO₂排出量を削減することが可能である。ただし、ライフサイクルアセスメントを実施する場合には、計画設計段階を対象とすることはなく、材料・機械製造段階あるいは施工・改修段階以降を対象とする場合が多い。副産物処理処分段階については、CO₂発生場所が中間処理場あるいは最終処分場であり、施工現場とは異なるため別段階とした。なお、維持管理と供用は概念が異なるが、ライフサイクル時系列上の位置が同一であるため、一つの段階としてまとめることとした。また、材料及び機械の運搬は材料・機械製造段階に、副産物の運搬は副産物処理処分段階に含めた。施工現場内での運搬は施工・改修段階に含めた。

3. 産業別原単位³⁾

建設事業におけるCO₂排出量を算定するためには、使用する原料や製品を生産する場合に生じる間接的なCO₂排出量、セメント製造プロセス等での化学的作用により生じるCO₂排出量などを把握する必要がある。産業別原単位は、石炭・原油等

の原料や化学繊維製品・金属製品等の関連する産業部門におけるCO₂排出量である。産業別原単位の算定は、産業部門間の取引構造を金額で示した産業連関表による分析(産業連関法)に基づいた。産業連関法においては、各産業で発生するCO₂排出量の流れは、産業部門間の金額の流れに応じて他の産業部門に配分されると仮定している。具体的な算定方法を以下に示す。

産業*j*におけるCO₂原単位 μ_j (kg-CO₂/円)は、産業部門間のCO₂排出量の総和が一定であることを考慮すると式(1)で示される。

$$\mu_j X_j = \sum_i \mu_i X_{ij} + \Gamma_j \quad (1)$$

X_j : 産業*j*における総生産額(円)

X_{ij} : 産業*i*から産業*j*への取引額(円)

Γ_j : 産業*j*において、自然由来あるいは輸入により得られたCO₂排出量(kg-CO₂)

ここに、 X_j および X_{ij} は産業連関表から得られる数値である。また、 Γ_j は軽油や重油などを生産するエネルギー産業、廃油や廃プラスチックを生産する廃棄物産業およびセメント産業におけるCO₂排出量である。上記以外の産業では、CO₂の直接的な排出はないと仮定している。産業連関法は、エネルギー産業、廃棄物産業およびセメント産業のCO₂排出量をエネルギー別の直接CO₂排出係数^{4),5)}に基づいて算定し、これを産業連関表により各産業に配分する方法と言える。式(1)を行列形式で表記すると式(2)の通りになる。ここに M は μ_j を列ベクトルとする行列、 A は投入係数 X_{ij}/X_j を表した行列、 Γ は Γ_j/X_j を列ベクトルとする行列である。

$$M = (I - A)^{-1} \Gamma = \Gamma + A\Gamma + A^2\Gamma + \dots \quad (2)$$

式(2)の右辺において、第1項は産業部門内で直接発生すると見なすCO₂排出量、第2項はCO₂が発生すると見なす産業部門から直接投入されるCO₂排出量、第3項以降は他産業部門から間接的に得られるCO₂排出量を示している。建設事業に関連する産業の産業別原単位を算定した結果は表-3の通りである。なお、算定にあたっては平成7年産業連関表⁶⁾を用いた。

4. 材料別原単位

コンクリート、アスファルトコンクリート、鋼材、木材等の建設事業で用いられる材料を対象に、材料別のCO₂原単位を作成する。対象とする材料は、建設省(現国土交通省)の標準積算システム・コードブック⁷⁾に記載されている土木材料とした。具体的には、各材料に対応する産業部門を特定し、産業別原単位に材料単価を乗ずることにより算定する。作成手順を図-3、代表的な建設材料に対する作成結果の例を表-4に示す。

リサイクル材料(再生骨材、再生アスコン、再生セメント等)や特殊材料(常温型舗装材等)に

表-3 産業別原単位 (単位: 10³kg-CO₂/円)

| 産業部門 | 原単位 | 産業部門 | 原単位 | 産業部門 | 原単位 |
|-----------------|----------|--------------------|----------|----------------|----------|
| 育林 | 1.2906 | 銑鉄 | 102.4358 | 航空機修理 | 1.0004 |
| 素材 | 2.4146 | フェロアロイ | 20.4551 | 自転車 | 1.7363 |
| 特用林産物 (含狩猟業) | 4.1153 | 粗鋼 (転炉) | 50.3247 | その他輸送機械 | 2.6552 |
| 金属鉱物 | 4.0028 | 粗鋼 (電気炉) | 9.3687 | 住宅建築 (木造) | 1.8081 |
| 窯業原料鉱物 | 5.7618 | 熱間圧延鋼材 | 26.1177 | 住宅建築 (非木造) | 2.8425 |
| 砂利・採石 | 5.7492 | 鋼管 | 15.5127 | 非住宅建築 (木造) | 1.9765 |
| 砕石 | 5.8370 | 冷間仕上鋼材 | 15.9052 | 非住宅建築 (非木造) | 2.9084 |
| その他非金属鉱物 | 5.1603 | めっき鋼材 | 9.9294 | 建設補修 | 2.5643 |
| 製糸 | 1.7320 | 鋳鍛鋼 | 10.8002 | 道路関係公共事業 | 4.3352 |
| 紡績糸 | 3.0456 | 鋳鉄管 | 8.9004 | 河川・下水道・その他公共事業 | 3.7079 |
| 綿・スフ織物 (含合繊短織物) | 3.0186 | 鋳鉄品・鍛工品 (鉄) | 13.3854 | 農林関係公共事業 | 4.0047 |
| 絹・人絹織物 (含合繊長織物) | 4.0046 | 鉄鋼シャースリット業 | 11.8318 | 鉄道軌道建設 | 4.1320 |
| 毛織物・麻織物・その他織物 | 2.8381 | その他鉄鋼製品 | 7.6565 | 電力施設建設 | 2.7588 |
| 絹・絹 | 4.5304 | 鋼 | 3.6204 | 電気通信施設建設 | 2.4501 |
| じゅうたん・床織物 | 3.6412 | 鉛・亜鉛 (含再生) | 7.6329 | その他土木建設 | 3.8657 |
| 繊維製衛生材料 | 1.7917 | アルミニウム (含再生) | 3.0113 | 事業用電力 | 13.9669 |
| その他繊維工業製品 | 2.8488 | その他非鉄金属地金 | 3.1242 | 自家発電 | 19.9811 |
| 製材 | 2.0324 | 電線・ケーブル | 2.9231 | 都市ガス | 6.7787 |
| 合板 | 2.5420 | 光ファイバケーブル | 2.6561 | 熱供給業 | 5.5596 |
| 木材チップ | 1.9044 | 伸銅品 | 1.9174 | 上水道・簡易水道 | 1.6232 |
| その他木製品 | 1.7491 | アルミ圧延製品 | 2.1798 | 工業用水 | 1.6504 |
| 木製家具・装備品 | 1.7565 | 非鉄金属素形材 | 2.3642 | 下水道 | 3.3955 |
| 木製建具 | 1.8024 | その他非鉄金属製品 | 2.3467 | 廃棄物処理 | 7.8137 |
| 金属性家具・装備品 | 3.5394 | 建設用金属製品 | 6.2618 | 金融 | 0.3987 |
| バルブ | 5.0257 | 建築用金属製品 | 3.1245 | 生命保険 | 0.5975 |
| 洋紙・和紙 | 5.5925 | ボルト・ナット・リベット・スプリング | 5.9759 | 損害保険 | 0.4706 |
| 板紙 | 5.8533 | 金属製容器 | 4.7412 | 不動産仲介・管理業 | 0.5634 |
| 段ボール | 3.6218 | 配管工事付属品・道具類 | 3.8129 | 不動産賃貸業 | 0.5651 |
| 塗工紙・建設用加工紙 | 3.7522 | その他金属製品 | 3.5344 | 住宅賃貸料 | 0.1997 |
| 段ボール箱 | 2.0296 | ボイラ | 2.6390 | 原料炭 | 461.4300 |
| その他紙製容器 | 2.3416 | タービン | 2.5683 | 一般炭・亜炭・無煙炭 | 460.0335 |
| 紙製衛生材料・用品 | 2.9741 | 原動機 | 3.2012 | 鉄道旅客輸送 | 1.5943 |
| その他バルブ・紙・紙加工品 | 2.4742 | 運搬機械 | 2.8041 | 鉄道貨物輸送 | 2.6105 |
| 無機顔料 | 6.1444 | 冷凍機・温湿調整装置 | 2.3486 | バス | 3.3712 |
| 圧縮ガス・液化ガス | 5.6121 | ポンプ・圧縮機 | 3.5055 | ハイヤー・タクシー | 5.7726 |
| 塩 | 14.4402 | 機械工具 | 3.4240 | 道路貨物輸送 | 4.8595 |
| その他無機化学工業製品 | 4.7182 | その他一般産業機械・装置 | 3.1345 | 自家用旅客自動車輸送 | 20.2423 |
| 石油化学基礎製品 | 83.6445 | 鉱山・土木作業機械 | 3.4825 | 自家用貨物自動車輸送 | 17.9485 |
| 石油化学系芳香族製品 | 59.4687 | 化学機械 | 2.5766 | 外洋輸送 | 9.2616 |
| 脂肪族中間物 | 21.7195 | 産業用ロボット | 2.0516 | 沿海・内水面輸送 | 5.3426 |
| 環式中間物 | 26.6210 | 金属工作機械 | 2.4323 | 港湾輸送 | 1.0442 |
| 合成ゴム | 17.3907 | 金属加工機械 | 2.5999 | 航空輸送 | 5.6364 |
| メタン誘導品 | 8.9366 | 農業機械 | 3.2901 | 貨物輸送取扱 | 1.6679 |
| 油脂加工製品 | 2.1746 | 繊維機械 | 2.6371 | 道路輸送施設提供 | 0.8079 |
| 可塑剤 | 9.2883 | 食品品加工機械 | 3.5496 | 水運施設管理 | 1.1639 |
| 合成染料 | 8.4298 | 半導体製造装置 | 2.2589 | その他水運付帯サービス | 0.4709 |
| その他有機化学工業製品 | 13.6553 | その他特殊産業機械 | 2.3448 | 航空施設管理 (国営) | 1.1890 |
| 熱硬化性樹脂 | 11.0278 | 金型 | 3.1263 | 原油 | 201.0275 |
| 熱可塑性樹脂 | 26.5264 | ベアリング | 5.1341 | 天然ガス | 5.5191 |
| 高機能性樹脂 | 12.5667 | その他一般機械器具・部品 | 3.2204 | 郵便 | 1.0988 |
| その他合成樹脂 | 13.5297 | サービス用機器 | 1.7685 | 国内電気通信 | 0.5518 |
| 合成繊維 | 10.1242 | 電子計算機本体 | 1.1741 | 移動通信 | 0.4188 |
| 塗料 | 6.3289 | 電子計算機付属装置 | 1.4645 | その他通信サービス | 0.5265 |
| 印刷インキ | 6.6390 | 有線電気通信機器 | 1.4770 | 広告 | 1.1450 |
| ゼラチン・接着剤 | 6.6410 | 無線電気通信機器 | 1.4943 | 情報サービス | 0.6865 |
| その他化学最終製品 | 5.7052 | その他電気通信機器 | 1.3576 | 物品賃貸業 (除貸自動車) | 0.5086 |
| 石炭製品 | 220.2251 | 回転電気機械 | 2.6594 | 貸自動車業 | 0.6313 |
| 舗装材料 | 22.0653 | 閉閉制御装置・配電盤 | 1.8801 | 自動車修理 | 1.7131 |
| プラスチック製品 | 6.4372 | 変圧器・変成器 | 2.7397 | 機械修理 | 1.5326 |
| タイヤ・チューブ | 5.3866 | その他産業用重電機器 | 2.2457 | 建物サービス | 0.6031 |
| ゴム製品 (履物以外) | 4.1188 | 乗用車 | 2.3625 | 法務・財務・会計サービス | 0.5657 |
| 板ガラス・安全ガラス | 3.1974 | トラック・バス・その他 | 2.3914 | 土木建築サービス | 0.7350 |
| ガラス製品・同製品 | 4.1648 | 二輪自動車 | 2.3853 | 労働者派遣サービス | 0.1102 |
| その他ガラス製品 | 3.8558 | 自動車本体 | 3.5500 | その他対事務所サービス | 0.6665 |
| セメント | 106.8237 | 自動車用内燃機関・部分品 | 2.2809 | 揮発油 | 73.0192 |
| 生コンクリート | 23.1455 | 自動車部品 | 2.8502 | ジェット燃料油 | 56.9614 |
| セメント製品 | 9.8750 | 鋼船 | 4.3324 | 灯油 | 92.5999 |
| 陶磁器 | 2.9384 | その他船舶 | 2.9339 | 軽油 | 73.4629 |
| 耐火物 | 3.5926 | 船用内燃機関 | 3.1839 | A重油 | 74.8865 |
| その他建設用土石製品 | 4.3401 | 船舶修理 | 3.5816 | B重油・C重油 | 79.4219 |
| 炭素・黒鉛製品 | 6.8477 | 鉄道車両 | 3.7491 | ナフサ | 132.4732 |
| 研磨材 | 2.6446 | 鉄道車両修理 | 3.8832 | 液化天然ガス | 167.3438 |
| その他窯業・土石製品 | 6.2185 | 航空機 | 1.3593 | その他石油製品 | 86.8343 |

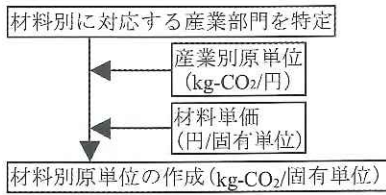


図-3 材料別原単位の作成手順

表-4 材料別原単位の例

| 名称 | 規格 | 単位 | 原単位 |
|---------------------|-----------------------|------------------------------------|-------|
| 中厚板 規格エキストラ | SM490A (t ≤ 50) | kg-CO ₂ /t | 313.4 |
| 中厚板 規格エキストラ | SM490B (t ≤ 25) | kg-CO ₂ /t | 391.8 |
| CT型鋼 エキストラ (橋梁用) | SS400 175~250 シリーズ | kg-CO ₂ /t | 417.9 |
| 鉄筋コンクリート用 棒鋼 | SD295A D16~25 | kg-CO ₂ /t | 697.3 |
| 冷間圧延ステンレス 鋼板 | SUS304 (2 ≤ t ≤ 3) | kg-CO ₂ /kg | 7.5 |
| ステンレス丸棒 | SUS304 (径10.0) | kg-CO ₂ /kg | 10.4 |
| 生コンクリート | 21N-8.25 | kg-CO ₂ /m ³ | 263.9 |
| セメント (普通ポルトランド) | バラ | kg-CO ₂ /t | 940.1 |
| セメントモルタル | 1.03 | kg-CO ₂ /m ³ | 155.0 |
| 正割材 (杉) 1等 | 3m × 4.5cm × 4.5cm | kg-CO ₂ /m ³ | 91.5 |
| 平割材 (杉) 2等 | 4m × 4.5cm × 10.5cm | kg-CO ₂ /m ³ | 85.4 |
| アスファルト合材 | 密粒度 アスコン20 | kg-CO ₂ /t | 596.6 |
| アスファルト合材 | 再生密粒度 アスコン20 | kg-CO ₂ /t | 516.7 |
| 排水性 アスファルト合材 | 密粒度アスコン | kg-CO ₂ /t | 972.5 |

については、原材料のCO₂原単位を積み上げて製品全体のCO₂原単位を算出する方法(積み上げ法)を用いる。このような材料は産業連関表による推定が困難であり、現在のところ、積み上げ法による推定方法しか考えられないためである。リサイクル材料や特殊材料に対する原単位の一例を表-5に示す。使用する廃材のCO₂原単位を0と置いていること等、積み上げ法自体が材料生産のライフサイクル全てを考慮に入れていないため、結果的にバージン材や従来材料に比べて低い値となっている。

5. 事業別原単位

事業別原単位は、産業連関表に建設部門分析用産業連関表⁸⁾を組み込むことにより、3.1と同様の方法で算定される。土木事業ならびに建築事業の各事業部門に対するCO₂原単位を表-6に、治水事業および一般道路事業の各事業部門に対するCO₂原単位を表-7に示す。

表-6によると、土木事業のCO₂原単位は建築事業のCO₂原単位よりも大きく、中でも道路事業のCO₂原単位が治水・下水道・公園等の他事業のCO₂原単位を大きく引き離している。また、道路

表-5 リサイクル材料の材料別原単位の例

| リサイクル材料 (特殊材料) | | 従来材料 (バージン材) | |
|----------------|---|--------------|--|
| 材料 | 原単位 | 材料 | 原単位 |
| 再生骨材 | 2.84 kg-CO ₂ /m ³ | 骨材 | 22.4kg-CO ₂ /m ³ |
| 再生アスコン | 478.1kg-CO ₂ /t | アスコン | 587.0kg-CO ₂ /t |
| 再生セメント1 | 99kg-CO ₂ /t | セメント | 438kg-CO ₂ /t |
| 再生セメント2 | 384kg-CO ₂ /t | | |
| 再生セメント3 | 308kg-CO ₂ /t | | |
| 常温型舗装材 | 73kg-CO ₂ | 従来型舗装 | 77kg-CO ₂ |

表-6 土木事業・建築事業の事業別原単位 (単位: kg-CO₂/千円)

| 事業部門 | 原単位 | 事業部門 | 原単位 |
|----------|------|-------------|------|
| 土木事業 | 3.89 | 建築事業 | 2.52 |
| 治水 | 3.77 | 住宅建築 (木造) | 1.81 |
| 下水道 | 3.45 | | |
| 道路 | 4.35 | | |
| 区画整理 | 4.33 | 住宅建築 (非木造) | 2.85 |
| 港湾・漁港 | 3.86 | | |
| 空港 | 4.10 | 非住宅建築 (木造) | 1.98 |
| 環境衛生 | 3.59 | | |
| 公園 | 3.52 | | |
| 災害復旧 | 4.66 | 非住宅建築 (非木造) | 2.92 |
| 農林関係公共事業 | 4.02 | | |

表-7 治水事業・道路事業の事業別原単位 (単位: kg-CO₂/千円)

| | 事業部門 | 原単位 | 事業部門 | 原単位 |
|------|------|------|------|------|
| 治水事業 | 河川改修 | 3.77 | 道路改良 | 4.14 |
| | 河川総合 | 2.79 | 道路舗装 | 5.49 |
| | | | 道路橋梁 | 3.78 |
| | 海岸 | 4.23 | 道路補修 | 4.86 |
| | | | 街路改良 | 4.40 |
| | | | 街路舗装 | 5.98 |
| 砂防 | 4.55 | 街路橋梁 | 3.75 | |

の他、空港・港湾等の交通系のCO₂原単位も大きくなっている。例えば、道路事業と治水事業の使用材料を比較すると、両者ともCO₂排出量の大きいコンクリートを同程度使用しているが、道路事業ではこれに加えてアスファルトコンクリートを使用している。道路事業のCO₂原単位が河川事業に比べて大きくなっているのは以上の理由による考えられる。また、表-7で舗装事業のCO₂原単位が大きくなっているのも同様の理由と考えられる。なお、産業連関表には、建設・維持管理・解体廃棄の費用が含まれているため、ライフサイクルの観点からは、事業別原単位は建設・維持管理・解体廃棄の各段階に対するCO₂排出量を全て含んでいることになる。

6. 構造物別原単位

構造物別原単位の対象とした工事は、土木工事積算基準マニュアルに記載されている標準的な12工事(道路改良、道路舗装、橋梁(PC橋)、橋梁(鋼橋)、トンネル、河川、砂防、海岸、公園、下

水道（開削、推進、シールド）である。作成にあたっては、新設、維持管理、解体廃棄の各段階を含めたライフサイクルを対象とした。各構造物別に対象とした段階を表-8に示す。算定にあたっては、各段階を構成する作業ごとに設定したCO₂排出量を積み上げた。新設時の作業内訳は土木工事積算基準マニュアル⁹⁾、維持管理時および解体廃棄時の作業内訳は土木工事標準積算基準書（共通編）¹⁰⁾に従った。なお、維持管理で想定した作業は、道路舗装工事では「道路の打ち換え」、橋梁工事（PC橋）では「橋梁地覆補修工」、橋梁工事（鋼橋）では「塗料（さび止めペイント）の塗布」、トンネル工事では「トンネル漏水対策工」、河川工事では「堤防天端補修工」である。また、解体廃棄で想定した作業は、道路改良工事、河川工事、砂防工事、海岸工事では「コンクリート破砕機による取り壊し」、橋梁工事（PC橋、鋼橋）では「旧橋撤去工」である。

維持管理作業はライフサイクル期間中に何度か実施されると想定されるが、構造物の設置箇所により回数が異なるため、ここでは1回の作業当たりのCO₂排出量を算定した。また、解体廃棄作業を実施する場合には、建設副産物（コンクリート塊、アスコン塊、鋼材廃棄物）を処理・処分する過程でCO₂が排出される。そのため、CO₂排出量の算定にあたっては、作業そのものに投入する材料、建設機械のCO₂原単位の他に、建設副産物の処理・処分に関わるCO₂原単位が必要とされる。この様な原単位として、ここでは「廃棄物処理産業」における産業別CO₂原単位を用いた。12工事のCO₂排出量を、新設、維持管理、解体廃棄の各段階に分けて原単位の形で示すと、表-9の通りになる。

新設時については、橋梁工事（PC橋）、トンネル工事、河川工事、砂防工事、海岸工事、下水道工事（推進工事、シールド）のCO₂排出量が大きな値を示している。これは、原単位の大きい材料であるコンクリートやアスコンを大量に使用しているためである。道路改良工事では土工を対象と

しているため、CO₂排出量が小さな値を示している。橋梁工事（鋼橋）では主材料である鋼材の使用量が比較的少ないことから、CO₂排出量が小さな値を示している。下水道工事では、開削工事のCO₂排出量が推進工事やシールドのCO₂排出量よりも小さな値を示しているが、これはコンクリートの使用量が少ないことによる。一方、維持管理時および解体廃棄時のCO₂排出量を見ると、新設時のCO₂排出量に比べて1桁以上小さな値を示している。なお、道路舗装工事では、新設時と維持管理時のCO₂排出量が同程度であるが、これは両者の作業内容が近いことによる。また、橋梁工事（鋼橋）では、新設時のCO₂排出量が比較的小さいことから、維持管理時のCO₂排出量が相対的に大きな割合を占めている。ライフサイクルで見ただけの場合には、道路舗装工事および橋梁工事（鋼橋）を除く各工事については、新設時のCO₂排出量が大きな割合を占めていることが分かる。

表-10は、表-9に示した12工事の新設、維持管理、解体廃棄の各段階におけるCO₂排出量の由来を、材料、建設機械、燃料の別に比率で示したものである。

新設時については、トンネル工事および河川工事（築堤護岸）を除くと、材料由来が全体の9割近くあるいはそれ以上になっている。トンネル工事では燃料由来が大きくなっているが、これは想定している工事がNATM工事であることからシールド工事等に比べると投入する材料が少なく済むこと、PC橋や鋼橋に比べると建設機械の種類が多く、稼働時間も比較的長いことなどが要因と考えられる。また、下水道の推進工事およびシー

表-9 12工事に対する構造物別原単位

| 工 事 | 単 位 | 新 設 | 維持 管理 | 解体 廃棄 | 合 計 |
|-----------------|------------------------------------|---------|----------|----------|---------|
| 道路改良工事 | kg-CO ₂ /m ³ | 118.8 | - | 23.7 | 142.5 |
| 道路舗装工事 | kg-CO ₂ /m ² | 261.5 | 323.6 | - | 585.1 |
| 橋梁工事 (PC橋) | kg-CO ₂ /m ² | 646.8 | 20.1 | 96.9 | 763.8 |
| 橋梁工事 (鋼橋) | kg-CO ₂ /m ² | 128.4 | 12.0 | 4.3 | 144.7 |
| トンネル工事 | kg-CO ₂ /m ² | 734.7 | 13.0 | - | 747.7 |
| 河川工事 (築堤護岸) | kg-CO ₂ /m | 1543.8 | 1.0 | 81.5 | 1626.3 |
| 砂防工事 (砂防ダム) | kg-CO ₂ /m ³ | 1952.7 | - | 85.8 | 2038.5 |
| 海岸工事 | kg-CO ₂ /m | 10663.3 | - | 1843.6 | 12506.9 |
| 公園工事 (街区公園) | kg-CO ₂ /m ² | 17.5 | - | - | 17.5 |
| 下水道工事 (開削工事) | kg-CO ₂ /m ² | 127.6 | - | - | 127.6 |
| 下水道工事 (推進工事) | kg-CO ₂ /m ² | 531.8 | - | - | 531.8 |
| 下水道工事 (シールド) | kg-CO ₂ /m ² | 916.6 | - | - | 916.6 |

表-8 構造物別原単位で考慮した段階

| 工 事 | 段 階 | | |
|--------------|-----|------|------|
| | 新設 | 維持管理 | 解体廃棄 |
| 道路改良工事 | ○ | - | ○ |
| 道路舗装工事 | ○ | ○ | - |
| 橋梁工事 (PC橋) | ○ | ○ | ○ |
| 橋梁工事 (鋼橋) | ○ | ○ | ○ |
| トンネル工事 | ○ | - | - |
| 河川工事 (築堤護岸) | ○ | ○ | ○ |
| 砂防工事 (砂防ダム) | ○ | - | ○ |
| 海岸工事 | ○ | - | ○ |
| 公園工事 (街区公園) | ○ | - | - |
| 下水道工事 (開削工事) | ○ | - | - |
| 下水道工事 (推進工事) | ○ | - | - |
| 下水道工事 (シールド) | ○ | - | - |

表-10 CO₂排出量の由来 (単位：%)

| 工 事 | 新 設 | | | 維持管理 | | | 解体廃棄 | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| | 材料 | 建設機械 | 燃料 | 材料 | 建設機械 | 燃料 | 材料 | 建設 | 燃料 |
| 道路改良工事 | 92.3 | 0.57 | 7.13 | - | - | - | 89.0 | 0.0 | 11.0 |
| 道路舗装工事 | 97.7 | 0.1 | 2.2 | 97.5 | 0.1 | 2.4 | - | - | - |
| 橋梁工事 (PC橋) | 99.8 | 0.0 | 0.2 | 77.3 | 0.0 | 22.7 | 40.3 | 0.0 | 59.7 |
| 橋梁工事 (鋼橋) | 89.5 | 0.0 | 10.5 | 100 | 0.0 | 0.0 | 40.3 | 0.0 | 59.7 |
| トンネル工事 | 68.8 | 0.0 | 31.2 | 87.9 | 0.0 | 12.1 | - | - | - |
| 河川工事 (築堤護岸) | 80.7 | 1.0 | 18.3 | 0.0 | 0.0 | 100 | 89.0 | 0.0 | 11.0 |
| 砂防工事 (砂防ダム) | 98.5 | 0.1 | 1.4 | - | - | - | 89.0 | 0.0 | 11.0 |
| 海岸工事 | 86.9 | 0.4 | 12.7 | - | - | - | 89.0 | 0.0 | 11.0 |
| 公園工事 (街区公園) | 87.4 | 2.0 | 10.6 | - | - | - | - | - | - |
| 下水道工事 (開削工事) | 89.4 | 2.0 | 8.6 | - | - | - | - | - | - |
| 下水道工事 (推進工事) | 99.8 | 0.0 | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| 下水道工事 (シールド) | 98.0 | 0.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - |

ルドにおいては、土木工事積算基準マニュアルで内訳書の内容が省略されているため、結果的に燃料由来が小さくなっている。なお、維持管理時および解体廃棄時については、作業内容によりCO₂排出量の由来が異なっている。

7. まとめ

本報文では、材料別原単位・事業別原単位の算定方法と算定結果、土木工事積算基準マニュアルに示されている標準的な12工事に対する構造物別原単位の試算結果を示した。結果をまとめると下記の通りになる。

1) コンクリート、アスファルトコンクリート、鋼材、木材等の一般土木材料の材料別原単位は、産業連関法により推定した産業別原単位に材料価格

を乗ずることにより算定できる。また、リサイクル材料や特殊材料等の材料別原単位は、積算基準に基づく積み上げ法により算定することになるが、結果の取り扱いに注意が必要である。

2) 事業別原単位は、一般産業連関表に建設産業部門分析用産業連関表を組み込むことにより算定できる。これは、新設、維持管理、解体廃棄の各段階のCO₂排出量を全て含んでいるため、事業実施に伴い発生するCO₂排出量の把握に有効と考えられる。なお、道路事業のCO₂原単位は、CO₂原単位の大きいアスファルトコンクリートを使用するため、河川事業のCO₂原単位に比べて大きくなる傾向にある。

3) 構造物別原単位は、新設、維持管理、解体廃棄の各段階を構成する作業ごとに設定したCO₂排出量を積み上げることにより算定できる。ライフサイクルで評価すると、道路舗装工事や橋梁工事(鋼橋)を除く各工事については、新設時のCO₂排出量が大きな割合を占めている。また、ここでは標準的な12工事を対象に算定したが、種々の工事を対象に算定する場合には作業内訳の設定が課題となる。

参考文献

- 1) 中央環境審議会：地球温暖化推進大綱の評価・見直しに関する中間取りまとめ、平成16年8月
- 2) 国土交通省編：新土木工事積算体系の解説、平成16年12月
- 3) 建設省土木研究所：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3月
- 4) 環境庁：地球温暖化対策の推進に関する法律施行令、平成11年4月
- 5) 環境庁：温室効果ガス排出量算定方法検討会報告書、平成12年9月
- 6) 経済企画庁：平成7年産業連関表、平成11年3月
- 7) 建設省：標準積算システム・コードブック、平成11年度
- 8) 建設省：平成7年建設部門分析用産業連関表、平成12年3月
- 9) 建設物価調査会：平成13年度土木工事積算基準マニュアル、平成13年6月
- 10) 建設省：土木工事標準積算基準書(共通編)、平成12年度

木嶋 健*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム主任研究員
Takeshi KISHIMA

寺田 剛**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム主任研究員
Masaru TERADA

明嵐政司***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ特命事項担当上席研究員
Seishi MELARASHI

西崎 到****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム上席研究員
Itaru NISHIZAKI