

土木工事における炭素排出量の推定

ANALYSIS ON ESTIMATION OF CARBON EMISSION BY CIVIL WORK

岡本 英靖* 酒井 寛二** 漆崎 昇**
Hideyasu Okamoto* Kanji Sakai** Noboru Urusizaki**

ABSTRACT: The construction work is producing structures infusing a great amount of natural resources and energy. Specially, almost Civil Work is constructing big structures. It is very important that analysis of natural resources consumption, energy consumption, carbon emission and environment load generated by construction work. In this peper, using the 1985 Input-Output Tables, those effects that the civil work construction of differents type place upon environmental load such as materials consumption, energy consumption and carbon emission were estimated. Results of the analysis, main construction of civil structures, steel and cement expend much energy, issue much carbon emission whose loads on environment are large.

KEYWORDS: civil work, environmental load, energy consumption, carbon emission

1. はじめに

地球環境問題の中で最も重要視されているのが地球温暖化であり、昨年6月の国連環境開発会議（UNCED）において締結された気候変動枠組み条約のコミットメントには、「CO₂等の温室効果ガスの排出削減の目標値として2000年までに1990年以前のレベルにする」とあり、その抑制策は急務であり、省エネルギー・省資源の対策が求められている。

建設事業は多量の資源やエネルギーを投入し、構造物を建設している。特に、土木工事では巨大な構造物をつくるプロジェクトは多く、建設にともない消費された資源量・エネルギー量、さらには排出された炭素量等の自然環境に与える負荷を定量的に把握することは重要である。

本研究は、最新の昭和60年産業連関表を用いて、土木工事における資材の消費資源量・エネルギー消費量・炭素排出量を工事種別ごとに解析を行ったものである。

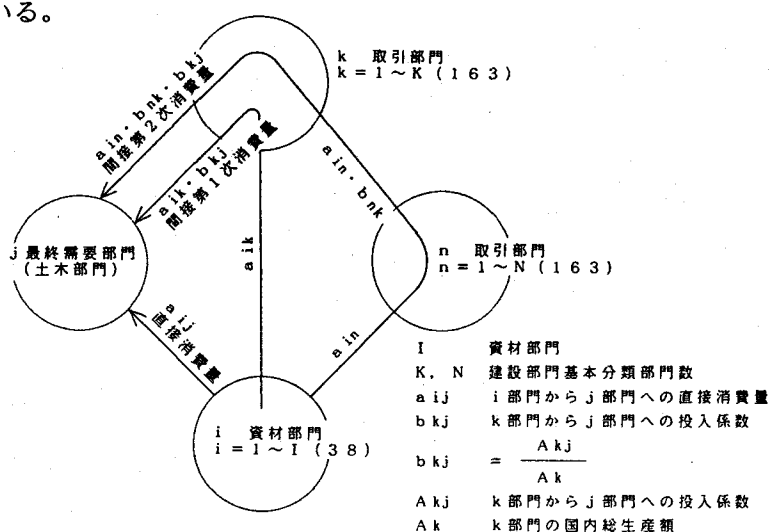


図1 最終需要部門における資材消費量の計算方法

*:大林組土木技術本部 Civil Engineering Technical Division Obayashi Corporation
**:大林組エンジニアリング本部 Engineering Division Obayashi Corporation

2.1 解析方法

2. 2 解析結果

```

graph LR
    Root[建設工事] --- B[建築工事]
    Root --- C[土木工事]
    C --- CP[公共事業]
    C --- CF[農林関係]
    C --- CO[その他の建設事業]
    CP --- CP1[治水]
    CP --- CP2[下水道]
    CP --- CP3[道路]
    CP --- CP4[港湾]
    CP --- CP5[その他]
    CF --- CF1[農業土木]
    CF --- CF2[その他]
    CO --- CO1[鉄道軌道]
    CO --- CO2[電力施設]
    CO --- CO3[電信電話]
    CO --- CO4[上工業用水道]
    CO --- CO5[土地造成]
    CO --- CO6[その他]
    
```

建設工事

- 建築工事
- 土木工事
 - 公共事業
 - 治水
 - 下水道
 - 道路
 - 港湾
 - その他
 - 農林関係
 - 農業土木
 - その他
 - その他の建設事業
 - 鉄道軌道
 - 電力施設
 - 電信電話
 - 上工業用水道
 - 土地造成
 - その他

区画整理
空港
環境衛生
公園
災害復旧
林道
治山
災害復旧

图2 解析对象工事

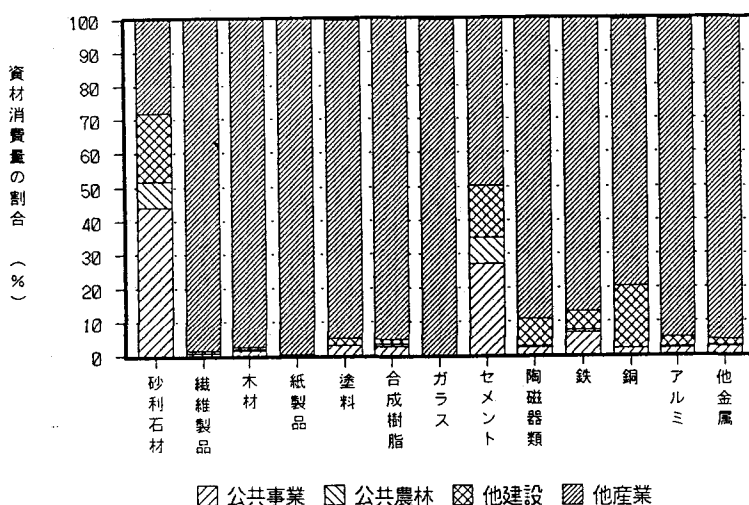


図3 国内生産量に対する資材消費量の割合

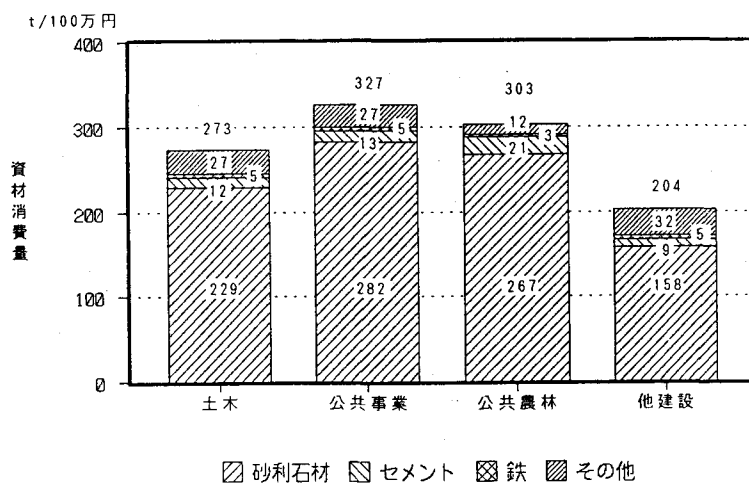


図4 単位工費当りの資材消費量

表 1 工事種別の資材消費量

	生産者単価	単位	総生産量	土木	公共事業	公共農林	他建設	単位
砂利石材			931,566	669,914	410,727	70,581	188,589	kt
砂利・採石	1.34	k¥/t	465,674	340,461	198,460	47,584	94,404	kt
採石	1.29	k¥/t	465,892	329,453	212,267	22,997	94,184	kt
繊維製品			6,071,012	75,495	37,533	2,971	34,987	km2
綿・スフ織物	0.20	k¥/m2	3,616,121	59,292	29,253	1,679	28,358	km2
絹・人織物	0.32	k¥/m2	1,917,306	12,653	6,563	1,086	5,003	km2
毛織物	1.23	k¥/m2	254,819	1,353	701	107	545	km2
細幅織物	0.50	k¥/m2	184,029	1,164	544	49	571	km2
その他織物	0.50	k¥/m2	98,737	1,034	472	51	511	km2
木材			49,745	1,320	747	174	398	km3
製材	50.45	k¥/m3	40,276	798	445	75	277	km3
合板	93.62	k¥/m3	9,469	522	302	99	121	km3
紙製品			20,243	104	54	8	16	kt
洋紙・和紙	181.60	k¥/t	11,790	69	34	6	3	kt
板紙	86.00	k¥/t	8,453	35	19	2	14	kt
塗料			2,590	139	81	4	55	kt
塗装	352.90	k¥/t	2,590	139	81	4	55	kt
合成樹脂			15,700	711	377	100	234	kt
プラスチックフィルム	437.30	k¥/t	3,744	93	50	8	35	kt
板・管・棒	477.10	k¥/t	1,748	338	188	64	87	kt
発泡製品	581.60	k¥/t	922	77	38	7	32	kt
工業用製品	477.10	k¥/t	4,476	79	42	9	28	kt
強化製品	969.50	k¥/t	234	27	12	3	12	kt
容器	477.10	k¥/t	1,210	12	6	1	4	kt
日用雑貨	477.10	k¥/t	922	3	2	0	1	kt
その他	477.10	k¥/t	2,444	82	39	8	36	kt
ガラス			3,783	14	7	1	6	kt
板ガラス	197.10	k¥/t	1,315	2	1	0	1	kt
安全・復層	588.40	k¥/t	405	1	1	0	1	kt
ガラス繊維・	442.70	k¥/t	425	9	4	1	4	kt
加工素材	488.40	k¥/t	628	1	0	0	0	kt
その他	488.40	k¥/t	1,010	1	0	0	0	kt
セメント			72,847	36,349	19,494	5,540	11,313	kt
セメント	10.53	k¥/t	72,847	36,349	19,494	5,540	11,313	kt
陶磁器類			25,818	2,709	570	60	2,078	kt
建設用	142.80	k¥/t	1,622	45	31	8	6	kt
工業用	142.80	k¥/t	1,731	437	11	1	425	kt
日用	142.80	k¥/t	2,729	16	1	0	14	kt
耐火物	122.10	k¥/t	2,684	1,385	8	2	1,375	kt
他建設用土	16.16	k¥/t	17,052	825	519	49	257	kt
鉄			105,279	13,319	6,825	704	5,773	kt
粗鋼	53.61	k¥/t	105,279	13,319	6,825	704	5,773	kt
銅			939	194	18	2	175	kt
銅	372.00	k¥/t	939	194	18	2	175	kt
アルミ			1,735	94	35	7	53	kt
アルミニウム	496.30	k¥/t	359	54	19	4	31	kt
再生アルミ	339.40	k¥/t	1,376	40	16	3	21	kt
他金属			1,313	59	29	5	25	kt
鉛	268.10	k¥/t	387	8	4	1	4	kt
亜鉛	227.80	k¥/t	789	41	21	4	16	kt
他金属	3081.00	k¥/t	137	10	4	1	4	kt

消費量は13%である。さらに、銅の消費量が21%であり、その内訳は他の建設事業が19%を占めており、電信電話事業で消費される通信用ケーブルが影響を与えていると考えられる。図4に工事金額 100万円当りの資材消費量を示す。土木工事は、表1や図3に示す消費資材の構成から分かるようにコンクリート骨材、捨石として使用される砂利・石材が多量に消費され、土木で砂利・石材は全体の約84%に当たる229t/100万円を消費している。

3. エネルギー消費量解析

3.1 解析方法

エネルギー消費量解析は資材消費量解析と同様の方法で解析を行った。エネルギー部門は石炭、原油、天然ガス、石油製品、電力とし、輸送エネルギーに関する輸送部門の取引は除くこととした。各エネルギーごとの消費金額により各エネルギー部門の平均単価、エネルギー源別単位発熱量を乗じて消費エネルギー量を算出した。ここで石油製品と電力については、一次エネルギーとして石炭、原油、天然ガス部門から購入しているものを石炭、原油、天然ガス部門に計上した。表2に各エネルギー源別の単位発熱量と炭素排出量を示す。エネルギー消費量の解析は、間接消費量が間接第N次消費量の値が資材消費量の2%以下になる間接7次消費量まで計算を行った。

3. 2 解析結果

表2の値をもとに資材製造にかかるエネルギー消費量を表3に示す。ここで合板の製造における人工乾燥のエネルギーは、合板製造時に発生する廃材を利用するものとした。さらに、図5に日本のエネルギー消費量に対する土木工事の割合を示す。ここでは、資材製造にかかるエネルギー量のみを示している。図6に土木用資材のエネルギー消費量の割合を示す。鉄が62%と最も大きく、セメントが27%となり、土木用資材の約90%が鉄、セメントの製造にかかるエネルギーであることが解る。図7に、工事金額 100万円当りのエネルギー消費量を示す。これによると、土木工事では鉄のエネルギー消費量が全体の62%に当たる26 Gcal/100万円であり、セメントが同26%に当たる11 Gcal/100万円である。土木工事で陶磁器類が2 Gcal/100万円のエネルギー消費量があるのは電力施設で消費される碍子などの影響が出ている。また、銅については電信電話工事で使用される通信ケーブルなどの消費量が影響していると考え

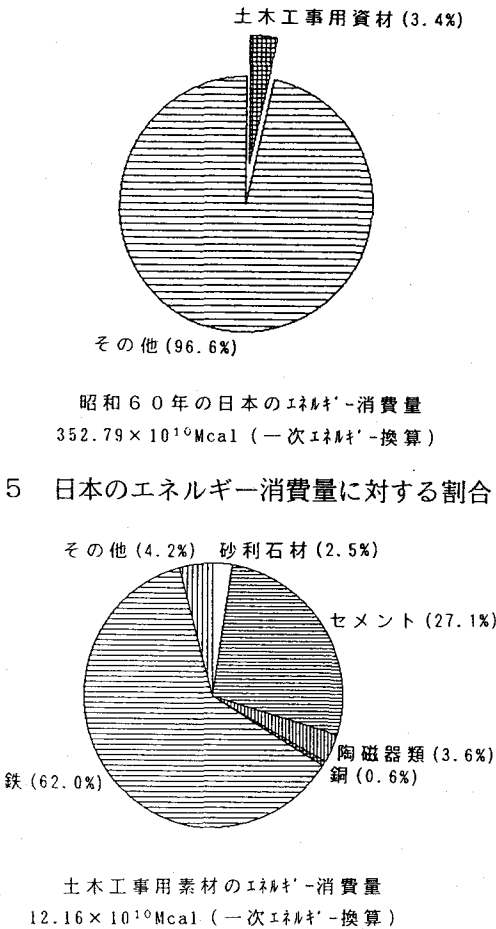


図6 土木用資材のエネルギー消費量

表2 各エネルギー源別の単位発熱量と炭素排出量

エネルギー部門			単位発熱量*1	炭素発生量*2 (kg/Gcal)
石炭	原料炭	国産	7,700 (kcal/kg)	103.1
		輸入	7,600 (kcal/kg)	103.1
	一般炭 亜煙炭	国産	5,800 (kcal/kg)	99.9
		輸入	6,200 (kcal/kg)	101.4
原油		国産	9,250 (kcal/ℓ)	78.1
		輸入	9,250 (kcal/ℓ)	78.1
天然ガス	天然ガス	国産	9,800 (kcal/m ³)	57.4
	L N G	輸入	13,000 (kcal/kg)	56.9
石油製品	揮発油	輸入	8,400 (kcal/ℓ)	80.4
	ジェット燃料油	輸入	8,700 (kcal/ℓ)	80.4
	灯油	輸入	8,900 (kcal/ℓ)	73.4
	軽油	輸入	9,200 (kcal/ℓ)	80.4
	A重油	輸入	9,300 (kcal/ℓ)	75.8
	B重油・C重油	輸入	9,700 (kcal/ℓ)	83.5
	ナフサ	輸入	8,000 (kcal/ℓ)	77.3
	液化石油ガス	輸入	12,000 (kcal/kg)	67.3
	その他の石油製品	輸入	10,100 (kcal/kg)	88.0

*1 総合エネルギー統計 昭和63年度版 p.16.
*2 外岡 豊 (財) 計量計画研究所 調査 (未発表)

表3 資材製造におけるエネルギー消費原単位と炭素排出原単位 *

建設資材		エネルギー消費原単位 (kcal/kg)	炭素排出原単位 (kg-C/kg)
砂利	砂利	4	0.00028
	採石	5	0.00032
繊維製品	綿	831 (kcal/m ²)	0.054
	絹	1,565 (kcal/m ²)	0.091
	毛織物	2,470 (kcal/m ²)	0.169
	その他	1,519 (kcal/m ²)	0.093
木材	製材	68.623 (kcal/m ³)	0.0078 -0.5 (炭素固定量)
	合板	883.794 (kcal/m ³) *1	0.1987 *2 -0.496 (炭素固定量)
紙製品	板紙	2,546	0.184
	洋和紙	2,931	0.217
塗料		2,381	0.179
合成樹脂製品		3,067	0.176
ガラス	板ガラス	5,410	0.389 +0.0252
	繊維	7,970	0.554 +0.0252
	その他	10,594	0.743 +0.0252
セメント		908	0.081 +0.144
陶磁器	建設用	1,681	0.114
	耐火物	2,357	0.168
	その他	387	0.028
鉄(粗鋼)		5,657	0.515
銅		3,742	0.280
アルミニウム		10,528	0.616
その他	鉛	5,920	0.525
	亜鉛	7,588	0.502
	その他	25,645	1.672

* 文献3) に、*1、*2部分を加筆
*1 合板製造時における人工乾燥エネルギー量を 900kcal/kg とし算入した。ただし、人工乾燥エネルギーは合板製造時に発生する廃材を利用するものとし、合板製造の歩留まりを70%、廃材の70%を人工乾燥に使用し、廃材の発熱量を3000kcal/kgとした。合板原料が持続的に生産された木の場合には、この人工乾燥エネルギーを除外することが考えられる。
*2 合板製造において、工場で発生する人工乾燥エネルギー用の上記廃材燃焼分炭素排出量を0.15kg-C/kg とし、算入した。

られる。公共事業農林関係では鉄のエネルギー消費量が全体の40%に当たる15 Gcal/100万円であり、セメントが同51%に当たる19 Gcal/100万円となっているのは、事業そのものが鉄をあまり使用しない農地造成などの工事が多いためであると考えられる。

4. 炭素排出量解析

4. 1 解析方法

炭素排出量解析は、エネルギー消費量解析で求められた建設資材製造のエネルギー消費量に、エネルギー源別炭素排出量を乗じて求めた資材製造に関する炭素排出原単位を求め、その結果を表3に示す。ここで、セメント、ガラスについては、原材料から製造中に発生する炭素量を考慮している。また、合板の製造における人工乾燥のエネルギーとして合板製造時に発生する廃材を利用するものとし、排出される炭素量を加味している。さらに、木材は最終的に燃烧や微生物によって二酸化炭素として炭素を排出するものとし、木材による炭素の固定量をゼロと評価した。

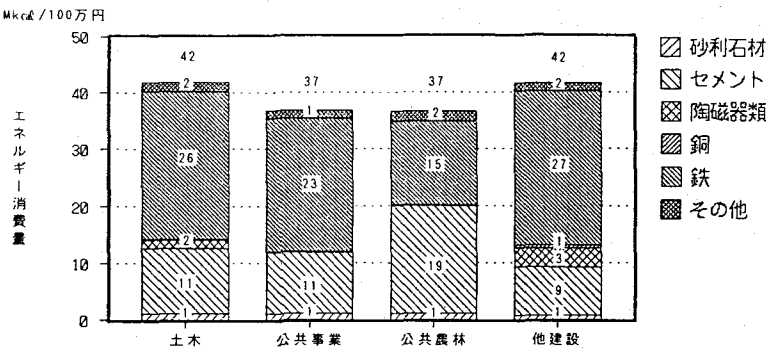


図7 単位工費当りのエネルギー消費量

4. 2 解析結果

図8は日本の炭素排出量に対する土木工事の割合を示す。土木工事全体では日本の炭素排出量の5.6%に当たる15,943kt-Cの炭素が排出量されている。図9に土木用資材の炭素発生量の割合を示す。図7のエネルギー消費構造から解るように、エネルギー消費の影響を受けセメントや鉄の主要構造部材の炭素排出量は94.3%にあたる15,034kt-Cである。図10は、土木工事のほか公共事業、公共事業農林関係、その他の建設事業についての工事金額100万円当りの炭素排出量を示す。土木工事における炭素排出量は5.45 t-C/100万円であるが、そのうちセメントが51%に当たる2.80t-C/100万円、鉄が43%に当たる2.35 t-C/100万円と資材製造課程で投入されるエネルギー量が炭素排出量に影響を与えていることがわかる。また、砂利石材は図4に示したように日本の資材消費量の約72%が土木工事において消費されているが、資材製造にかかるエネルギーはわずかで、それにともない炭素排出量は0.07 t-C/100万円となっている。図11、図12には、図10の細工事種別について示す。単位工費当りの炭素排出量を見ると、公共事業が4.99 t-C/100万円と一番低い。詳細に見ると、治水工事は7.24 t-C/100万円であるが、港湾工事は3.92 t-C/100万円と一番排出量が低く、環境に与える影響が少ない工事である。また、交通整備

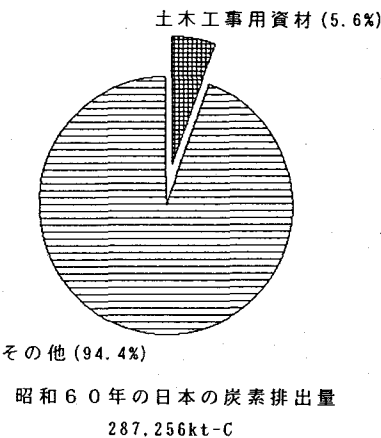


図8 日本の炭素排出量に対する割合

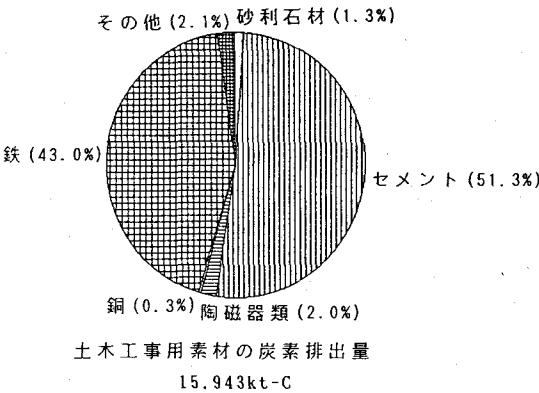


図9 土木用資材の炭素排出量

事業に注目すると道路工事は5.68 t-C/100万円、鉄道軌道は7.40 t-C/100万円であるが、便益などを考慮すると一概に道路工事の方が、環境負荷が少ないとは言えない。

5. まとめ

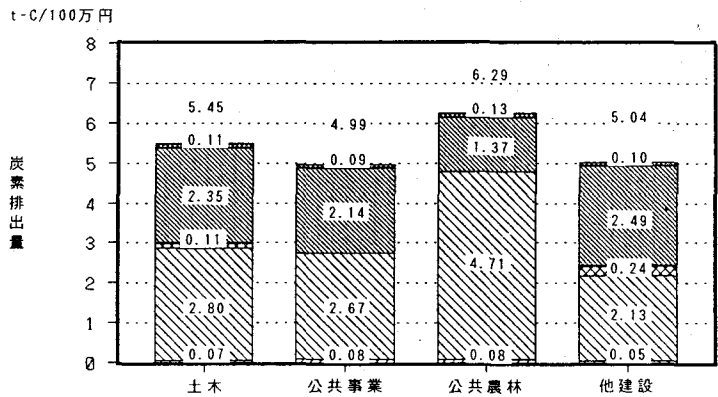
土木工事における建設資材の消費量、エネルギー消費量、炭素排出量を16部門に分類し解析を行った。この結果、土木構造物の主要構造体である鉄、セメントの製造にともなうエネルギー量、炭素排出量が大きく、環境に影響を与えていることが解る。

土木工事において環境に与える負荷を低減するためには、エネルギー消費量や炭素排出量の多い鉄、セメントの製造行程において省資源、省エネルギー化を図らなければならないであろう。鉄における省資源、省エネルギー化は、建設用鉄筋や形鋼の電気炉生産比率の増加あるいは、高炉でのスクラップ材の使用量の増加などが考えられる。また、セメントについては、高炉セメントの使用量の増加が省資源、省エネルギー化につながる。高炉セメントの生産量は、セメント全体の約17%前後である。しかし、高炉スラグの生産量に限界があり、高炉セメントの生産量の大幅な増加は望めない。

さらに、鉄とセメントの高品質・高強度化等による使用量削減を図らなければならないであろう。

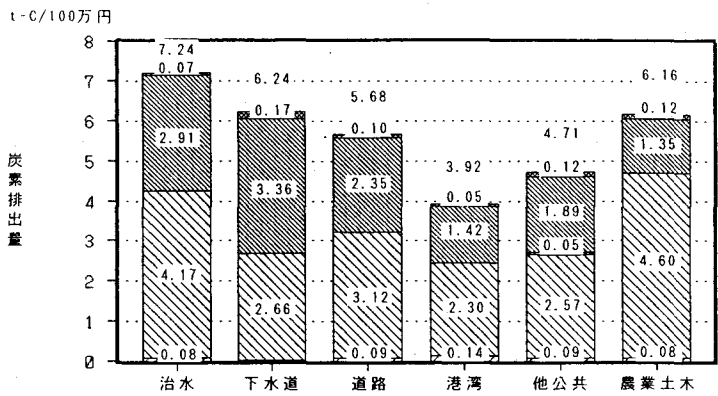
引用・参考文献

- 1) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編、総合エネルギー統計昭和63年度版、1989
- 2) 外岡 豊（（財）計量計画研究所）、調査（未発表）
- 3) 酒井寛二・漆崎 昇、建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定、環境情報科学、21-2、pp.130-135、1992
- 4) 片脇清士、土木建築分野での資源・エネルギー消費、環境負荷の試算例、JACIC情報、No.28、pp.20-23、1992



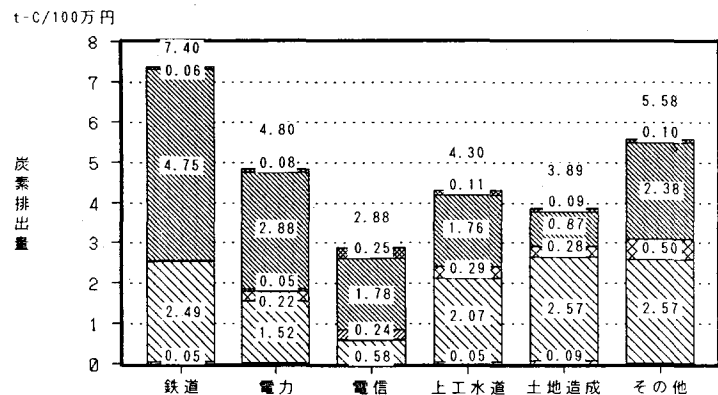
□ 砂利石材 □ セメント □ 陶磁器類 □ 銅 □ 鉄 □ その他

図10 単位工費当りの炭素排出量 その1



□ 砂利石材 □ セメント □ 陶磁器類 □ 銅 □ 鉄 □ その他

図11 単位工費当りの炭素排出量 その2



□ 砂利石材 □ セメント □ 陶磁器類 □ 銅 □ 鉄 □ その他

図12 単位工費当りの炭素排出量 その3