

港湾整備事業における 二酸化炭素排出量の推計について

○林 友弥

国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム課（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

本研究では、港湾整備事業における二酸化炭素排出量の推計として、ケーソン式係船岸工事における中詰材（砂利、スラグ）の異なる場合と、航路浚渫工事における作業船規模の組み合わせが異なる場合における二酸化炭素排出量の推計を行い、それぞれの排出量の要因について比較検討を行った。その結果、対象とした事業において、ケーソン式係船岸ではスラグを用いた場合が工事全体として二酸化炭素排出量が減っており、浚渫工事では異なる規模の作業船を効率的に組み合わせることが二酸化炭素排出量の削減において重要であることがわかった。

キーワード ライフサイクルアセスメント、二酸化炭素排出量、港湾整備事業

1. はじめに

IPCC報告などにより、人間活動によって増加した温室効果ガスが地球を温暖化させ社会に危機をもたらすことが広く認知されるようになった。そのため政府は温室効果ガスの削減目標を定め、温室効果ガスの削減に向け大きな力を注いでいる。土木分野においても温室効果ガスの排出削減は重要な課題であり、温室効果ガス削減のための取り組みが様々なされている。

土木事業における温室効果ガス削減への取り組みは、施工機械が直接排出する温室効果ガスを削減することが主流であったが、近年は、資源採取から施設の廃棄処分までのライフサイクル全体を視野に入れた評価（＝ライフサイクル・アセスメント（LCA））を行うことで、より具体的かつ効果的に温室効果ガスの排出削減を目指す取り組みに関心が高まっている。

本研究では、港湾内に設けられるケーソン式係船岸の建設と航路泊地の浚渫を対象とし、使用材料や設計・施工方法の違いによる二酸化炭素排出量の違いを算出するライフサイクルCO₂排出量の推定方法をとりとまとめ、その方法を用いて使用材料や設計・施工方法が異なる工事の二酸化炭素排出量を推計し、排出量の違いの要因を分析することで、港湾施設の建設段階における二酸化炭素排出量の削減に向けた基礎資料とするものである。

2. 二酸化炭素排出量の推計

港湾施設建設時の二酸化炭素排出量を正確に計算するためには、建設時に使用した資材の種類や数量、建設機械の種類や稼働時間などの詳細な情報が必要となる。本研究では、工事積算の考え方に基づき、深い階層から上位の階層に向けて遡及的に積み上げることにより、二酸化炭素排出量を計算する。図-1に工事積算書のデータ構造（イメージ）を示す。

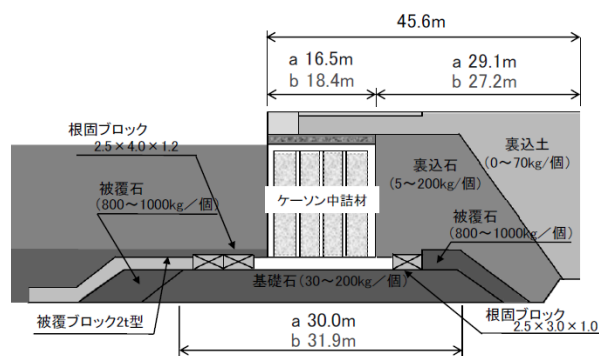


図-1 工事積算書のデータ構造（イメージ）

ここで、一般的にLCAにおいては資源採取から構造物廃棄までの全ての環境負荷について検討すべきであるが、港湾構造物の維持管理計画やライフタイムについては十分な情報が得られないことから、全ての要素を含めて検討することは困難であるため、本研究でのLCAを検討する範囲については資材調達から施工までを対象とした。対象とした港湾施設はケーソン式係船岸の建設と航路泊地の浚渫であり、近年の施設建設の事例を参考に条件設定を行い、設計段階・工事発注段階における概算工事費算出に用いられる工種を対象とした。表-1に港湾整備における各事業段階の概要を示す。

表-1 港湾整備の施工段階の細分類

細分類	概要
計画段階	何を建設するかが決まる段階
設計段階	施設の構造形式・主要諸元が決まる段階
工事発注段階	施設建設に使用する資材の種類や施工方法等が決まる段階
工事実施段階	施設建設に使用する資材の調達場所や施工機械の規格など、工事の詳細な施工条件が決まる段階



(a: スラグの場合, b: 砂利の場合)

図-2 ケーソン式係船岸断面図

港湾施設のCO2排出量の推計に使用可能な環境負荷原単位として、2001年に九州地方整備局が「港湾整備におけるLCA手法導入調査」¹⁾において産業連関表(1992表)を用いて作成したものと、その考え方を引き継ぎ、2009年に国土技術政策総合研究所が産業連関表(2000表)を用いて作成したものがある。双方とも産業副産物を原料としたスラグ資材の環境負荷原単位については、積上げ法と産業連関法を併用した手法を用いて作成している。しかし、前者は使用した産業連関表及び各種統計資料が古く、船舶及び建設機械の規格が現在の工事発注段階で使用する作業船規格とあっていない。後者は使用した産業連関表は新しいものの、前者と同様に作業船規格があてないことが問題点として挙げられる。

そこで、本研究で使用する環境負荷原単位については原単位の推計過程が可能な限り公開されたデータの透明性の高い3EID (国立環境研究所作成)²⁾を使用し、それに合わせて船舶および機械器具等の損料算定基準についても2000年を使用する。また、リサイクル資材の積み上げデータは日本鉱業協会からのヒアリング値を使用した。

3. ケーソン式係船岸の二酸化炭素排出量の推計

(1) 施設概要

ケーソン式係船岸(設計水深-15m)については、設計段階を対象とした。通常、設計検討においては複数断面提案より比較検討し、施工性、経済性に優れたものが選択されることから、本対象ではケーソン中詰材に単位重量の大きいスラグを用いた場合と砂利を用いた場合について比較検討を行った。両者に対して、工種別及び項目別に二酸化炭素排出量を推計し比較を行った。図-2に推計の対象となるケーソン式係船岸の断面図を示す。ここでは、中詰材の違いにより寸法が異なる箇所のみ寸法を記載している。

(2) 対象工種

設計段階の概算工事費算出で検討される工種を対象として比較を行った。設計段階での概算工事費を算出する場合は、主要な工種が対象となり、型枠組立組外や仮設足場などは対象としない。図-3に対象工種の施工手順を示す。

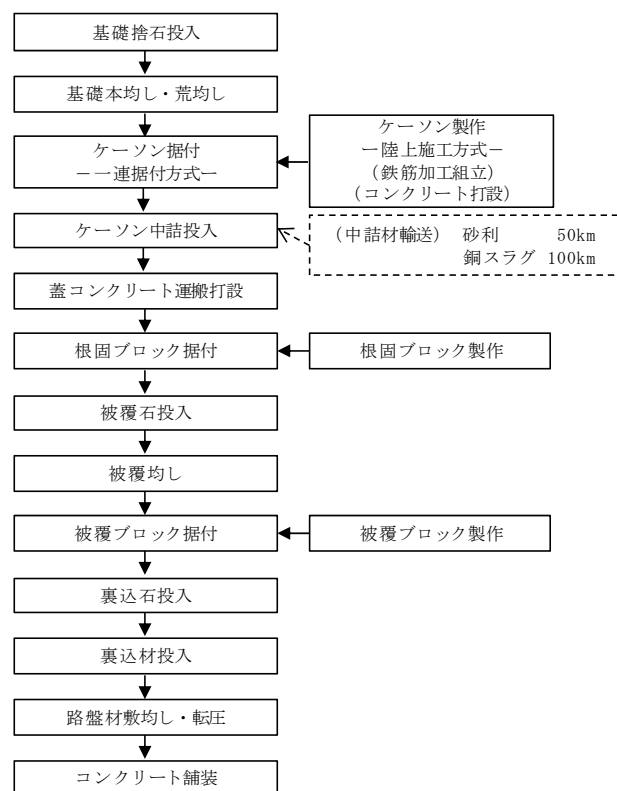


図-3 ケーソン式係船岸の施工手順

(3) 推計条件

資材製造、輸送及び施工を対象として二酸化炭素排出量を推計する。環境負荷原単位を産業連関法にて作成したものについては、資材の輸送を内数とした原単位となっているため、輸送に関する二酸化炭素排出量を別途積み上げる必要がない。しかし、リサイクル資材については、生成から保管までに投入された資材やエネルギーな

どの投入量を積み上げ法で行っているため、輸送（出荷）の負荷量を別途計上する必要がある。また、中詰材に使用する砂利についても、作業船に積み込み海上輸送されることはまれであるため、砂利の作業船による輸送についても別途計上する。輸送条件は図-3のとおりである。使用資材の数量については1スパン（17m）を算定対象とする。表-2に使用資材の数量、表-3及び表-4に推計に使用した環境負荷原単位を示す。

表-2 使用した工種別数量（1スパン当たり）

名称	単位	数量	
		銅スラグ	砂
基礎工			
基礎捨石投入	m3	1,190	1,255
基礎荒均し（±50cm）	m2	349	381
基礎本均し（±5cm）	m2	179	179
本土工			
鉄筋加工組立	kg	101,618	108,320
コンクリート打設（ケーソン）	m3	1,019	1,090
ケーソン据付（ウインチ方式）	函	1	1
中詰材投入	m3	3,538	3,985
コンクリート運搬（蓋コン）	m3	117	132
コンクリート打設（蓋コン）	m3	117	132
根固工			
根固ブロック製作	m3	145	145
根固ブロック据付	個	12	12
被覆工			
被覆石投入	m3	478	478
被覆均し（±30cm）	m2	409	409
被覆ブロック製作	m3	275	275
被覆ブロック据付	個	127	127
上部工			
コンクリート運搬（上部・嵩上げ）	m3	483	515
コンクリート打設（上部・嵩上げ）	m3	483	515
舗装工			
路盤材敷均し転圧	m2	264	264
コンクリート舗装	m2	264	264
裏込工			
裏込石投入	m3	4,482	4,482
裏埋材投入	m3	5,661	5,147

表-3 推計に使用した環境負荷原単位（建設機械）

名称	規格	環境負荷原単位	
		運転時間当たり CO2排出量 (kg-CO2/時間)	供用日当たり CO3排出量 (kg-CO2/日)
潜水士船	D180PS型 3~5t吊	5.22E+01	6.59E+01
揚船船	鋼D5t吊	※ 2.05E+02	2.65E+02
台船	鋼D300t積	-	2.24E+02
引船	鋼D300PS	1.33E+01	1.42E+02
引船	鋼D450PS	1.90E+01	2.03E+02
引船	鋼D500PS	2.11E+01	2.25E+02
引船	鋼D600PS	2.47E+01	2.64E+02
引船	鋼D700PS	2.84E+01	3.03E+02
起重機船	非航旋回 鋼D25t吊	4.93E+01	4.21E+02
起重機船	非航旋回 鋼D100t吊	1.17E+01	9.99E+02
起重機船	非航旋回 鋼D120t吊	1.35E+02	1.15E+03
クレーン付台船	45~50t吊	1.12E+02	4.29E+02
クレーン付台船	80t吊	1.98E+02	5.75E+02
ガット船	グラブ容量3.0m3	1.79E+02	1.72E+03
ラフテレーンクレーン	排ガス対策型（油）25t吊	6.87E-01	6.04E+00
クローラクレーン	（油）100t吊	3.58E+00	2.25E+01
モーターグレーダ	排ガス対策型 油圧3.1m級	5.50E-01	3.28E+00
タイヤローラ	排ガス対策型 8~20t	4.06E+00	2.09E+00
ロードローラ	排ガス対策型マカダム10~12t	3.48E+00	2.45E+00
コンクリートフィニッシャ	3.0~7.5m	2.04E+00	1.08E+01
コンクリートスプレッダ	ブレード式 3.0~7.5m	1.03E+00	6.07E+00
コンクリートレベラー	3.0~7.5m	1.51E+00	9.58E+00
ブルドーザ	排ガス対策型15t級	8.32E-01	3.21E+00
クラムシェル	1.2m3	2.01E+00	1.27E+01
コンクリートポンプ車	ブーム式 90~110m3/h	1.56E+00	8.73E+00

※運転日当たりのCO2排出量 (kg-CO2/日)

表-4 使用した環境負荷原単位（資材、燃料）

名称	単位	CO2排出原単位 (kg-CO2/☆)
軽油	L	2.96E+00
A重油	L	2.88E+00
捨石	m3	5.39E+01
鉄筋（異形棒鋼）	t	1.13E+03
コンクリート	m3	2.62E+02
銅スラグ	m3	3.05E+00
砂利	m3	1.51E+01
路盤材	m3	9.62E+00

※(☆)は各資材の単位

(4) 推計結果

二酸化炭素排出量の推計結果について、a) では工種別に述べ、b) では資材・機械稼働・機械減耗の項目別に述べ、c) では資材別に述べる。

a) 工種別

表-5、図-4 に中詰材に銅スラグおよび砂利を使用した場合の工種別、二酸化炭素排出量の推計結果を示す。

ケーソン中詰材に銅スラグを使用した場合の二酸化炭素排出量は、1,870t-CO2/スパンである。また、中詰材に砂利を使用した場合では、1,932t-CO2/スパンである。ケーソン中詰材に銅スラグを使用した場合が砂利を使用した場合に比べ、3.2%小さい。

表-5 工種別の二酸化炭素排出量

名称	CO2排出量 (kg-CO2/スパン)	
	銅スラグ	砂利
基礎工	102,391	107,697
基礎捨石投入	84,597	89,218
基礎荒均し（±50cm）	7,476	8,161
基礎本均し（±5cm）	10,318	10,318
本土工	507,937	586,788
鉄筋加工組立	127,023	135,400
コンクリート打設（ケーソン）	270,137	288,959
ケーソン据付（ウインチ方式）	24,454	24,454
中詰材投入	33,505	78,385
コンクリート運搬（蓋コン）	17,819	20,104
コンクリート打設（蓋コン）	34,999	39,486
根固工	46,464	46,464
根固ブロック製作	39,585	39,585
根固ブロック据付	6,879	6,879
被覆工	163,103	163,103
被覆石投入	34,010	34,010
被覆均し（±30cm）	14,016	14,016
被覆ブロック製作	82,033	82,033
被覆ブロック据付	33,044	33,044
上部工	218,046	232,492
コンクリート運搬（上部・嵩上げ）	73,561	78,435
コンクリート打設（上部・嵩上げ）	144,485	154,057
舗装工	15,146	15,146
路盤材敷均し転圧	708	708
コンクリート舗装	14,438	14,438
裏込工	816,953	780,757
裏込石投入	418,305	418,305
裏埋材投入	398,648	362,452
合計	1,870,040	1,932,447

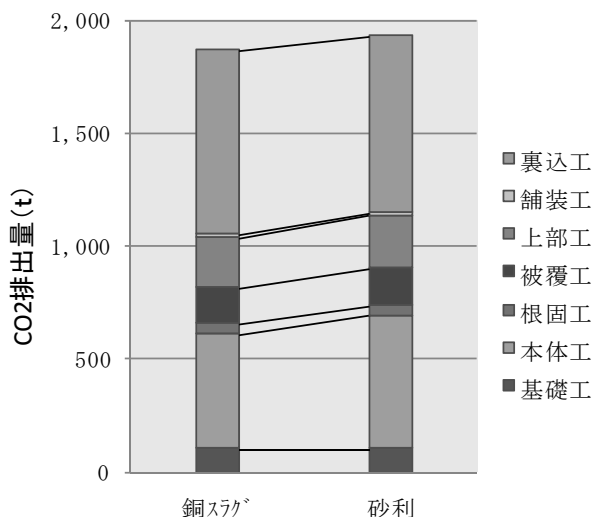


図-4 工種別の二酸化炭素排出量

b) 項目別

表-6、図-5 に項目別、二酸化炭素排出量の推計結果を示す。資材に起因する二酸化炭素排出量が全体の約8割を占める。機械減耗と機械稼働は共に1割程度である。

表-6 項目別の二酸化炭素排出量

(kg-CO2/スパン)				
中詰材	資材	機械稼働	機械減耗	計
銅スラグ	1,490,226	185,673	194,140	1,870,040
砂利	1,553,924	179,124	199,398	1,932,447

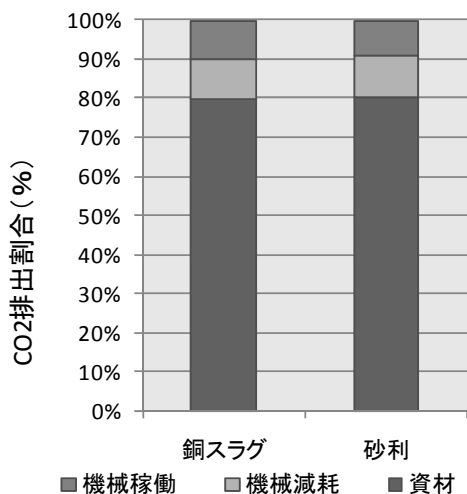


図-5 項目別の二酸化炭素排出割合

c) 資材別

表-7 及び図-6 に資材別の二酸化炭素排出量を示す。ケーソン中詰材を砂利から銅スラグへ替えることにより、二酸化炭素排出量の大きいコンクリートと鉄筋の使用数量が減少すること。また、ケーソン中詰材を二酸化炭素排出量の小さい資材に置き替えることにより、1スパン当たり約62tの二酸化炭素排出量を削減できる。とり

わけ、中詰材の削減割合が約57%と大きい。

表-7 資材別の二酸化炭素排出量

(単位：t-CO2/スパン)

名称	①銅スラグ	②砂利	③削減量 (②-①)	削減割合 (③/②)
基礎石	92.1	97.4	5.3	5.4%
鉄筋	127.0	135.4	8.4	6.2%
コンクリート	541.0	581.0	40.0	6.9%
中詰材	33.5	78.4	44.9	57.3%
裏込材	398.6	362.5	△36.2	△10.0%
その他	677.8	677.8	0	0.0%

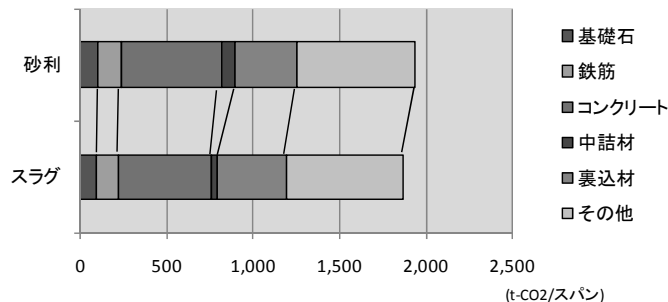


図-6 資材別の二酸化炭素排出量

4. 航路浚渫の二酸化炭素排出量の推計

(1) 施設概要

グラブ浚渫船による航路浚渫について、施工計画・工事発注段階を対象として検討を行った。浚渫工事の施工計画・工事発注段階では、作業船（浚渫船と揚土船）の組み合わせにより経済比較を実施して船団構成を決定する。浚渫工事の規模、施工条件、船団構成等は表-8、表-9及び表-10のとおりである。

表-8 浚渫工事の工事規模および施工条件

工事規模	浚渫面積	30,200m ²
	浚渫土量	49,310m ³
	平均土厚	1.6m
施工条件	船団構成	グラブ浚渫船, 空気圧送船
	浚渫期間	20日間
	土捨場	港内 (運搬距離 6.8km)

表-9 浚渫工事の船団構成

ケース名	船団構成	
Case1	グラブ浚渫船 23m ³	2隻
	空気圧送船 6000PS	1隻
	土運船 1300m ³	2隻
	引船 1500PS	2隻
Case2	グラブ浚渫船 15m ³	2隻
	空気圧送船 6000PS	1隻
	土運船 1300m ³	2隻
	引船 1500PS	2隻
Case3	グラブ浚渫船 23m ³	1隻
	グラブ浚渫船 15m ³	1隻
	空気圧送船 6000PS	1隻
	土運船 1300m ³	2隻
	引船 1500PS	2隻

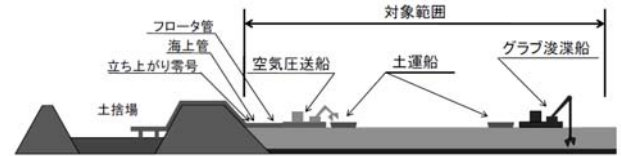


図-8 浚渫工事のイメージ

表-10 作業船の運転時間等

	Case1	Case2	Case3
グラブ浚渫船 運転最大時間	6.5hr	7.5hr	7.5hr
空気圧送船 運転時間	8hr	7hr	8hr
引船 運転時間	8hr, 8hr	6hr, 8hr	6hr, 8hr
1日あたり浚渫 土量	5,380m ³ /日	4,758m ³ /日	5,496m ³ /日

注) グラブ浚渫船の最大運転時間は一時退避を行うものとして7.5hr, 空気圧送船の最大運転時間は8hrとした。

(2) 対象工種

施工計画・工事発注段階では、施設建設にかかる全ての費用を積み上げる必要があるため、浚渫に関わる全てを建設費用算出の対象とする。ここでは、土捨場内の陸上排砂設備は既設として、海上排砂設備より海側の作業を対象とする。図-7及び図-8に施工手順、浚渫工事のイメージを示す。

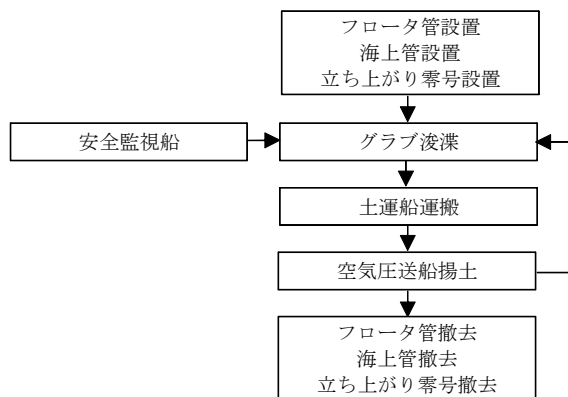


図-7 浚渫工事の施工手順

(3) 推計条件

工種別数量、使用した環境負荷原単位は表-11、表-12及び表-13のとおりである。

表-11 使用した工種別数量

名称	単位	数量
グラブ浚渫工		
グラブ浚渫	m ³	49,310
土運船運搬工		
土運船運搬	m ³	49,310
揚土土捨工		
空気圧送船揚土	m ³	49,310
排砂管設備工		
フロータ管設置・撤去	m	42
海上管設置・撤去	m	18
立ち上がり番号設置	組	1
排砂管設備	式	1
安全対策工		
安全監視船	式	1

表-12 推計に使用した環境負荷原単位 (建設機械)

名称	規格	運転時間あたり CO2排出量 (kg-CO2/時間)	供用日あたり CO2排出量 (kg-CO2/日)
グラブ浚渫船	D15m3スパッド式	6.16E+02	5.50E+03
グラブ浚渫船	D23m3スパッド式	9.31E+02	8.30E+03
引船	鋼D250PS	1.16E+01	1.24E+02
引船	鋼D350PS	1.53E+01	1.63E+02
引船	鋼D1500PS	5.59E+01	5.97E+02
土運船	鋼1300m3 密閉式	-	8.17E+02
空気圧送船	鋼D6000PS	1.01E+03	1.34E+04
揚錨船	鋼D30t吊	※ 1.16E+03	1.50E+03
台船	鋼200t積	-	1.64E+02
安全監視船(引船)	鋼D200PS	9.35E+00	9.99E+00
トラッククレーン	油圧伸縮型20t吊	7.04E-01	4.99E+00
トラック	8t積	2.72E-01	1.85E+00
排砂管	長さ6m 660mm	-	4.45E+00

※は運転日あたりのCO2排出量 (kg-CO2/日) である。

表-13 推計に使用した環境負荷原単位 (燃料)

名称	単位	CO2排出原単位 (kg-CO2/L)
軽油	L	2.96E+00
A重油	L	2.88E+00

(4) 推計結果

二酸化炭素排出量の推計結果について、a) では工種別に述べ、b) では項目別に述べる。

a) 工種別

表-14, 図-9 にグラブ浚渫船の組み合わせを変えた3ケースについて工種別の二酸化炭素排出量の推計結果を示す。

浚渫工程からの二酸化炭素排出量は、浚渫船のグラブ容量の合計が最小となる Case2 が最小となる。しかし、運搬、揚土土捨、排砂管設置、安全対策を含めた航路浚渫全体では、グラブ容量の合計が中間の Case3 が最小となる。

表-14 に示すとおり、空気圧送船や土運船の運転時間が同じであっても一日当たりの浚渫土量がケース間で異なる。これは、作業船を如何に効率よく稼働させたかの違いである。つまり、浚渫全体における二酸化炭素排出量を小さくするためには、浚渫作業全体の効率性が重要である。

表-14 工種別の二酸化炭素排出量

名称	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /工事)		
	case1	case2	case3
グラブ浚渫工	529,589	445,762	472,390
グラブ浚渫	529,589	445,762	472,390
土運船運搬工	202,664	214,005	184,913
土運船運搬	202,664	214,005	184,913
揚土土捨工	500,786	523,962	489,938
空気圧送船揚土	494,086	517,262	483,238
空気圧送船拘束	6,700	6,700	6,700
排砂管設備工	9,604	9,604	9,604
フロータ管設置・撤去	1,903	1,903	1,903
海上管設置・撤去	2,369	2,369	2,369
立上がり零号設置	4,531	4,531	4,531
排砂管設備	801	801	801
安全対策工	7,506	7,506	7,506
安全監視船	7,506	7,506	7,506
合計	1,250,149	1,200,839	1,164,351

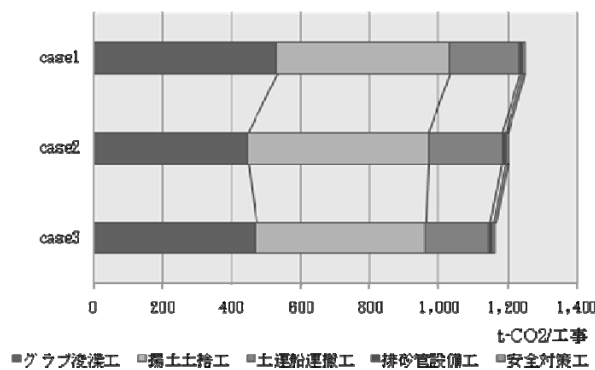


図-9 工種別の二酸化炭素排出量

b) 項目別

表-15, 図-10 に機械稼働・機械減耗の項目別に推計した二酸化炭素排出量を示す。機械減耗に起因する二酸化炭素排出量が全体の約6割を占め、機械稼働は約4割である。

表-15 項目別の二酸化炭素排出量

ケース	kg-CO ₂ /工事		計
	機械稼働	機械減耗	
case1	490,226	759,923	1,250,149
case2	480,857	719,982	1,200,839
case3	466,557	697,793	1,164,351

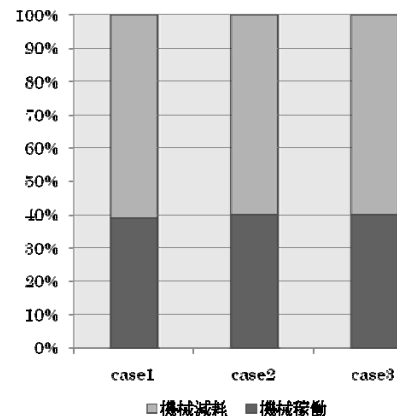


図-10 項目別の二酸化炭素排出割合

5. 結論

本研究では、ケーソン式係船岸及び航路浚渫における二酸化炭素排出量について、近年の施工事例を基にした条件設定から推計を行った。

ケーソン式係船岸の中詰材にスラグを用いた場合と砂利を用いた場合の比較では、スラグ使用による純粋な二酸化炭素排出量の減に加えてスラグの単位重量を活用したケーソン幅の減少により資材等が減少する効果が得られており、全体として1スパン当たり3.2%の二酸化炭素排出量が削減された。

航路浚渫工事における作業船の組み合わせによる比較では、大規模の浚渫船と小規模のものを組み合わせた case3 がもっとも二酸化炭素排出量が少なかった。小規模のみの case2 では浚渫工での二酸化炭素排出量が少なくなるが、その他の工程での稼働時間が長くなるため、全体としての二酸化炭素排出量は必ずしも最小とはならない。浚渫作業全体の効率化が重要であるといえる。

二酸化炭素排出量を計算するためには、通常、細かい積み上げ計算を行う必要があり、多くの時間を要する。そのため、多くの試算を行ってそれをもとに感度分析を行うことにより、積算代価レベルの原単位を作成することが二酸化炭素排出量の計算を容易にする可能性がある。

参考文献

- 1)国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所 (2001) : 港湾整備におけるLCA手法導入調査報告書。
- 2)南齊規介・森口祐一 (2006) : 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) LCAのインベントリデータとして、国立環境研究所。