

港湾整備事業のライフサイクルアセスメントに関する研究：福岡市アイランドシティのケーススタディ

中嶋芳紀¹・河野幸次²・松本 亨³・井村秀文¹

¹学生員 九州大学大学院工学研究科 (〒812-81 福岡市東区箱崎6-10-1)

²正会員 東洋建設(株) 中国支店 (〒730 広島市中区立町2-23)

³正会員 工修 九州大学助手 九州大学工学部環境システム工学研究センター

¹正会員 工博 九州大学教授 九州大学工学部環境システム工学研究センター

福岡市博多湾東部に建設中のアイランドシティ整備事業をケーススタディ対象として、湾整備事業のライフサイクルアセスメントを行った。評価対象範囲は埋立工事、土地造成、上部構造物の建設・運用までとし、環境負荷の評価方法はエネルギー消費量(LCE)及び二酸化炭素排出量(LC-CO₂)を指標とするインベントリ分析とした。土地造成(護岸・岸壁工事、浚渫・埋立工事)と上部構造物について、計画書、設計・工事仕様書等を基礎として、別途算定した工程別・資材別原単位を用いた積み上げ計算を行った。ただし、工事用機械や基礎資材の製造原単位のうち、個別のデータが入手できなかったものについては産業連関法による算定値及び各種文献値を採用した。

Key Words : life cycle assessment, harbor construction, LCA of infrastructures, LCE, LC-CO₂

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント(LCA)の概念・手法は元々は製品を対象に提案されたもの^{1), 2)}であるが、その対象・内容は個々の製品のみならず、各種の社会資本(インフラストラクチャ)も含めた幅広いものに拡大しつつある。ここで、社会資本を対象とするLCAは、大規模で複合的な施設・構造物あるいは事業を対象とすること、対象施設・構造物の寿命が数十年あるいはそれ以上と長いこと等、製品のLCAとは特性を異にする面が強いので、筆者らはこれをILCA("Infrastructure Life Cycle Assessment")と呼んでいる³⁾。

ILCAに関する研究の現状を概観すると、各種の施設・構造物あるいは事業を対象としたケーススタディが具体的に実行される一方で、共通的に使用される環境負荷原単位の整備も行われつつある⁴⁾。現在、これらの研究を通じて、ILCAの方法論についての一定の枠組みが確立されつつあるが、この一般的な方法論を多様な対象事業について実際に適用し

ていく上での有効性や問題点の検証は今後の課題である。なお、現在のところILCAの手法として一般的に確立しているのは、インベントリ分析である。環境インパクト分析については、個々の事業の実施場所の環境条件等に左右される部分が大なることもあってまだ十分な研究がなされておらず、ILCAと環境影響評価(EIA)とをどのように統合していくべきかと言った問題も今後の課題となっている。また、これまでの研究では、インベントリ分析の項目としてエネルギー消費量及びCO₂排出量に着目している例が多い。これらの項目は、現在国際的に大きな議題となっている気候変動問題に関係する指標として非常に重要である。しかし、その他の項目については、原単位の整備が遅れていること、インパクト分析の手法が未確立なことなどから、ILCAとしての研究例はまだ少ない。

ILCAの対象としては、個別の構造物・施設(例えば、トンネル、道路等)とともに、複合的な開発事業(例えば、面開発事業)がある。また、ハードウエアとしての構造物・施設のみならず、そのハー

表-1 アイランドシティ整備事業工事概要

施工期間	1994年度から約10年間
土地利用面積	401.3ha
埋立地周辺水深	約5m
地質	海底部は厚さ約1~10mの軟弱粘性土、下層に砂質土、礫質土が堆積。基盤は風化岩、頁岩
埋立地標準地盤高	C.D.L (基本水面) +4.20m
護岸・岸壁天端高	C.D.L+2.70m~4.16m
護岸・岸壁延長	約9.0km (ブロック構造、ケーン構造、傾斜構造、盛砂構造)
埋立用材	①海底土砂を埋立用材とし、浚渫船等の作業船舶により造成 ②山土を用材として陸送輸送し陸上施工機械を使用、あるいは海上輸送し海上から土砂を投入

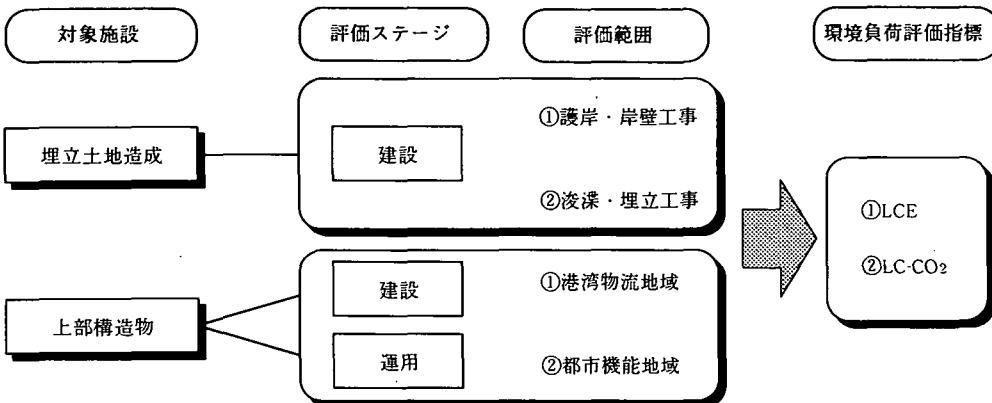


図-1 評価の枠組み

ドウエアと一体になった社会システムがある（例えば、廃棄物処理施設と結び付いたごみ収集システム）。ここで、具体的なILCAの実行においては、まず工事の類型、工法、材料などによって対象事業を分割し、分割されたそれぞれの部分ごとの環境負荷原単位と仕事量（例えば、使用機械の運転時間、材料の量等）の積和によって全体の環境負荷が算出される。逆に、対象事業をどう分割するか、どこまで細かく分割するかは、環境負荷原単位及び仕事量のデータの入手可能性によって決まるうことであり、それは対象事業の個別的な事情や特性に左右されるところが大である。

ILCAの対象事業には様々なものがあり、工法や材料も多様である。したがって、今後ILCAを具体的な事業の設計や計画に反映させていくためには、各種のケーススタディ結果を蓄積し、それらの比較を通して手法や結果の妥当性・意味を検証していく必要がある。そこで、本研究においては、複合的な面開発事業の例として人工島のニュータウンに着目する。具体的には、現在、福岡市博多湾東部に建設されている人工島（アイランドシティ）整備事業をケーススタディとして、港湾整備事業のILCAを行う。分析の枠組みは、既存の多くの研究報告と同じく、エネルギー消費量（LCE）とCO₂排出量（LC·CO₂）を指標としたインベントリ分析である。

特に、人工島を対象事業として選んだ意義は、島国である日本においては、港湾施設、海上空港など、海面埋立事業が各地で多数計画あるいは実行されており、こうした事業を実行した場合の環境負荷について、現実の事例に基づく結果を提示することが多方面からの大きな要請となっていることである。また、面開発事業の代替案として、陸上と海上との比較が検討課題となる場合が多く予想されるため、陸上の土地造成工事についてのILCAの既存研究⁵⁾との比較検討を行う。さらに、埋立土地造成工事（護岸・岸壁工事と浚渫・埋立工事）は、特殊な作業船舶や建設機械を多く使用する点で、ILCAの対象事例として他とは異なる特色がある。本研究ではこれらの使用に関する原単位をメーカーからのヒアリング等によって調査し、その結果を提示する。これは、海上作業をともなう事業のILCAにとって今後の類似研究の参考になるものと考える。

2. 分析手法

(1) 対象事業の概要

福岡市アイランドシティ整備事業は、①港湾機能の強化、②新しい都市空間の形成、③サイエンスパークの形成（研究開発機能や産業機能の集積による都市機能の強化）、④福岡市東部地域の交通体系

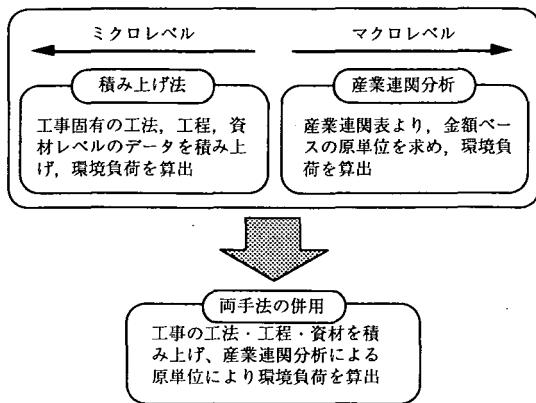


図-2 積み上げ法と産業連関分析

の整備を目的としている。土地利用計画では、港湾関連用地の他に、18,000人の住宅用地、下水再利用施設用地、清掃工場用地、研究開発施設用地等を配することになっている。また、廃棄物空気輸送、共同溝等の新しい都市システムの導入による快適な都市空間の形成、清掃工場・下水再利用施設の余熱を利用した地域冷暖房システムや下水再利用等により、省エネルギー・省資源型環境モデル都市の形成を目指している。

その工事計画概要を表-1に示す。工事手順としては、まず外郭施設（護岸・岸壁）を建設し、埋立地が閉鎖水域になった後、埋立土砂をその中に投入して土地造成を行う。土地造成工事は、大きく分けて埋立地の外周を囲む護岸・岸壁工事と、浚渫土砂、購入土砂などによる浚渫・埋立工事からなる。博多湾が比較的浅い海であることや航路、泊地の水域施設造成計画を考慮して、埋立用材には、表-1に示す資材が利用される。また、土地の需要に合わせた効率的な利用を行うため、埋立区域を分割し順次土地造成を進める予定である。埋立土地造成は1994年7月に埋立工事に着工し、約10年間で401.3haの土地造成を行う。土地造成後に、道路、住宅等の上部構造物建設工事を引き続き行う。

(2)分析手法

本研究では、福岡市アイランドシティ整備事業に対するLCAの評価の枠組みを図-1のように設定した。埋立土地造成工事を護岸・岸壁工事（外郭施設の建設）、浚渫・埋立工事（土砂の浚渫、閉鎖水域の埋立）の2つの工事に大きく分類し、それぞれの建設LCE、LC-CO₂を算出し、両工事の合計を埋立土地造成工事の建設LCE、LC-CO₂とする。

LCAを行う際の環境負荷評価に関する代表的な手

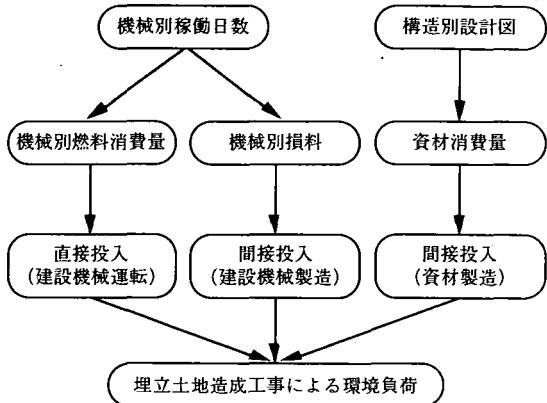


図-3 建設による環境負荷算出フロー

法としては、積み上げ法と産業連関分析がある。港湾などの具体的な構造物についてLCAを行うには、工事全体を工程に分解し、各工程ごとに使用する機械、資材を出来るだけミクロなレベルで特定し、それぞれの使用時間、消費量に環境負荷発生原単位を乗じて全体を総和する積み上げ法がまず考えられる。しかし、評価に必要な全データを工事や資材ごとに細かく分類して積み上げようとしても、外部者には詳細が不明な項目がかなりあり、その場合には原単位データの入手も困難である。こうした障害を切り抜ける1つの方法は、ミクロに見れば異なる工程や資材をある類似範囲でまとめて集約した上で、産業連関分析で得られるマクロなデータを代用する方法である。

このように、土木構造物のような複合的な対象物については、工程や資材の細目ごとのミクロなデータと産業連関分析によるマクロなデータ^{6), 7)}とを併用せざるを得ないのが現状である。本研究においても、そのような併用法を採用する（図-2）。具体的には、アイランドシティ整備事業の工事を工法、工程、資材レベルに分類し、施工時に使用される建設機械とその運転時間、資材の投入量を工程ごとに積み上げる。それに、各製品ごとに産業連関表から得られた原単位を乗じる。本研究で利用した産業連関表は、1985年の統合表183分類に建設部門分析用産業連関表46分類を統合したものを基本とし、必要に応じて統合表83分類による数値も使用した。なお、産業連関分析により原単位を算出する手法にはいくつかあるが、本研究では、 $(I - A)^{-1}$ 型の逆行列⁸⁾による計算結果を用いた。ただし、金額ベースの原単位について異なる年度のデータを用いる場合には、総合卸売物価指数により調整した。また、資材等のデータは金額ではなく数量で与えられることが多い。

表-2 本研究で使用したエネルギー消費原単位、CO₂排出原単位

原単位利用項目	エネルギー消費原単位	CO ₂ 排出原単位	出典	備考
土地造成	1.91 (TOE/100万円)	1.580 (T-C/100万円)	7)	
建設機械	1.14 (TOE/100万円)	0.830 (T-C/100万円)	7)	「鉱山・土木建設機械」と同じとする
購入土砂、公共土砂	53 (Mcal/m ³)	0.560 (kg-C/m ³)	7)	「砂利」と同じとする
碎石	56 (Mcal/m ³)	0.640 (kg-C/m ³)	7)	捨石、裏込石、被覆石、栗石を含む
鋼管	36 (TOE/本)	29 (T-C/本)	7)	955,800円/本 (SKK490, φ=1100mm, t=11mm, L=27m)
鉄筋、鋼材	5657 (kcal/kg)	0.515 (kg-C/kg)	16)	「粗鋼」と同じとする
コンクリート	313 (Mcal/m ³)	67.3 (kg-C/m ³)	16)	
セメント製品	908 (kcal/kg)	0.081 (kg-C/kg)	16)	
木材(製材)	137 (kcal/kg)	0.0078 (kg-C/kg)	16)	比重を0.5とする
木材(合板)	868 (kcal/kg)	0.0487 (kg-C/kg)	16)	比重を0.5とする
陶磁器(建設用)	1681 (kcal/kg)	0.114 (kg-C/kg)	16)	
陶磁器(耐火用)	2357 (kcal/kg)	0.168 (kg-C/kg)	16)	
アスファルト混合物	604 (kcal/kg)	0.011 (kg-C/kg)	19)	「舗装用AS混合物」と同じとする
上水	3200 (kcal/m ³)	0.175 (kg-C/m ³)	17)	
電力	2250 (kca/kwh)	0.129 (kg-C/kwh)	9), 16)	転換時のロスを考慮する
ガソリン	8400 (kcal/ℓ)	0.675 (kg-C/ℓ)	9), 16)	
軽油	9200 (kcal/ℓ)	0.740 (kg-C/ℓ)	9), 16)	
A重油	9300 (kcal/ℓ)	0.705 (kg-C/ℓ)	9), 16)	
天然ガス	9800 (kcal/m ³)	0.563 (kg-C/m ³)	9), 16)	熱供給のガスは天然ガスとする

いため、各資材の単価当りの数量と金額ベースの原単位から、単位数量当りの原単位を算出した。

なお、本研究の評価対象項目には、図-3に示す内容のものが含まれる。すなわち、

- ①直接エネルギー：作業船舶、建設機械の運転に使用される燃料や電力を対象とする。作業船舶はA重油、建設機械は軽油を使用するものとした。作業船舶については、燃料消費率には負荷率として0.5を乗じた。電力については転換時のロスを考慮し1kwh=2,250kcalとして一次エネルギーに換算した⁹⁾。
- ②間接エネルギー（建設機械製造）：建設機械の製造に投入されるエネルギーを対象とする。建設機械の製造エネルギーは1985年産業連関表（183分類中の鉱山・土木建設機械部門）の値から算出した。建設機械は繰り返し使用されるため、損料に比例して減価償却されるものとして、建設機械等損料算定表に基づき、建設工事あたり（損料あたり）のエネルギー消費原単位 ϵ を次式により算出した。

$$\epsilon = \frac{\text{建設機械の製造エネルギー} \times \text{運転時間あたりの損料}}{\text{建設機械の基礎価格}}$$

- ③間接エネルギー（建設資材製造）：建設工事で使用される鋼材やコンクリート等の建設資材の製造によって誘発されるエネルギー消費を対象とする。資材の製造エネルギー消費原単位は主に産業連関分析の計算結果を用いた。

- ④運用エネルギー：施設の運転、維持管理によって消費されるエネルギーを対象とする。本研究では、アイランドシティの都市機能施設・港湾物流施設の建築物の熱需要により消費されるエネルギーを対象とする。

以上のエネルギーを積み上げて港湾整備事業のLC

Aを行う。なお、CO₂排出量の算出についても、同様である。本研究で使用した原単位を表-2に示す。また、積み上げ法による結果と、1985年建設部門分析用産業連関表から得られた原単位^{10), 11)}より算出した結果との比較を行う。

(3)本分析の限界

上述の通り、本研究の範囲は、エネルギー消費量(LCE)とCO₂排出量(LC-CO₂)を指標としたインベントリ分析までに限っている。LCE及びLC-CO₂は、地球温暖化問題という地球規模の問題にとって重要な評価項目である¹²⁾。他方、アイランドシティ整備事業では、工事による水質汚濁、干渉消失による鳥類等の生息環境への影響、潮流の変化による地形への影響といった地域的な問題がむしろ地域にとって重大な問題として注目され、これらは環境影響評価において検討された。ここで、地球的な問題と地域的な問題とはしばしばトレードオフ関係にある。例えば、汚濁防止膜や散水車等の対策をすることで水質汚濁、煤塵等の発生は削減できるが、エネルギー消費やCO₂排出はその分増加すると考えられる。また、水質汚濁等の影響は現在ただちに発生するが、CO₂排出による温暖化は人類の活動の総体によって遠い将来に発生する影響である。さらには、工事用資材の製造・運搬時に発生する大気汚染等は、工事地域とは異なる場所で影響を発生させている。このように、インパクト分析においては、空間、時間のスケールが異なる様々な環境負荷の評価が必要となる。それは、大規模な事業を対象とするILCAにおいてはとりわけ重要な問題であるが、その分析は今後の課題である。

表-3 護岸・岸壁工事直接エネルギー消費量、CO₂排出量

建設機械	規格	馬力	建設機械 燃料消費率 (kcal/PS·h)	建設機械 燃料消費率 (kgC/PS·h)	1日当り 運転時間 (時間)	合計× 2/30 (日)	1日直接 エネルギー (Mcal/日)	1日直接 CO ₂ (kgC/日)	直接 エネルギー (TOE)	直接 CO ₂ (T-C)
		(PS)								
サンドコンパクション船	固定式(3連装)	3,300	1,674	0.1269	8.0	2,199	22,097	1,675	4,860	3,684
サンドドレーン船	固定式(12連装)	4,150	1,674	0.1269	8.0	40	27,788	2,106	110	83
引船	D 4.9GT	100	1,674	0.1269	2.0	689	167	13	12	9
引船	D 20GT	250	1,674	0.1269	4.0	6,856	837	63	574	435
引船	D 25GT	300	1,674	0.1269	4.0	4,107	1,004	76	412	313
引船	D 30GT	350	1,674	0.1269	6.0	1,282	1,758	133	225	171
引船	D 35GT	450	1,674	0.1269	6.0	53	2,260	171	12	9
引船	D 40GT	500	1,674	0.1269	8.0	14,398	3,348	254	4,820	3,654
引船	D 45GT	550	1,674	0.1269	4.0	4,459	1,841	140	821	622
引船	D 70GT	800	1,674	0.1269	8.0	4,467	5,357	406	2,393	1,814
引船	D 180GT	2,000	1,674	0.1269	2.0	13	3,348	254	4	3
引船	D 220GT	2,500	1,674	0.1269	2.0	17	4,185	317	7	5
押船	100GT	600	1,674	0.1269	8.0	113	4,018	305	45	34
ガット船	D 350m ³ 積	700	1,674	0.1269	8.0	12,738	4,687	355	5,971	4,526
ガット船	D 650m ³ 積	1,300	1,674	0.1269	9.0	5,303	9,793	742	5,194	3,937
揚錨船	3t吊	60	1,674	0.1269	2.0	9,225	100	8	93	70
揚錨船	20t吊	360	1,674	0.1269	2.0	26	603	46	2	1
クラムシェル台船	0.6m ³	105	1,674	0.1269	8.0	188	703	53	13	10
クラムシェル台船	1.2m ³	132	1,674	0.1269	6.3	3,439	696	53	239	181
クラムシェル台船	3.0m ³	250	1,674	0.1269	8.0	10,567	1,674	127	1,769	1,341
クレーン付台船	25t吊	105	1,674	0.1269	6.0	6,227	527	40	328	249
クレーン付台船	35t吊	117	1,674	0.1269	6.0	4,924	588	45	289	219
起重機船	非航旋回鋼 40t吊	195	1,674	0.1269	6.0	45	979	74	4	3
起重機船	非航旋回鋼 50t吊	240	1,674	0.1269	6.0	103	1,205	91	12	9
起重機船	非航旋回鋼 70t吊	320	1,674	0.1269	6.0	113	1,607	122	18	14
起重機船	非航旋回鋼 100t吊	425	1,674	0.1269	6.0	20	2,134	162	4	3
起重機船	非航固定鋼 100t吊	195	1,674	0.1269	6.0	37	979	74	4	3
起重機船	非航旋回鋼 120t吊	480	1,674	0.1269	6.0	52	2,411	183	13	10
起重機船	非航固定鋼 200t吊	330	1,674	0.1269	6.0	165	1,657	126	27	21
起重機船	非航固定鋼 500t吊	600	1,674	0.1269	6.0	23	3,013	228	7	5
起重機船	非航固定鋼 1300t吊	1,300	1,674	0.1269	6.0	26	6,529	495	17	13
起重機船	非航固定鋼 2000t吊	1,800	1,674	0.1269	6.0	4	9,040	685	3	3
杭打船	D70	420	1,674	0.1269	6.0	358	2,109	160	75	57
潜水土船	3tウインチ付	70	1,674	0.1269	6.0	33,784	352	27	1,188	900
コンクリートミキサー船	鋼	460	1,674	0.1269	6.0	3,875	2,310	175	895	679
トラッククレーン	20t吊	230	313	0.0252	7.0	1,752	504	41	88	71
トラッククレーン	25t吊	230	313	0.0252	7.0	281	504	41	14	11
クローラークレーン	35t吊	151	607	0.0488	7.5	7	687	55	0.45	0.36
ダンプトラック	11t	319	359	0.0289	8.0	26,570	916	74	2,434	1,957
ブルドーザー	11t	112	1,122	0.0902	6.3	3,555	792	64	281	226
ブルドーザー	15t	142	1,122	0.0902	6.3	35	1,004	81	4	3
ブルドーザー	21t	219	1,122	0.0902	8.0	285	1,966	158	56	45
ブルドーザー	3.5t(湿地)	39	1,122	0.0902	8.0	3,266	350	28	114	92
ブルドーザー	11t(湿地)	112	1,122	0.0902	8.0	3,266	1,005	81	328	264
ブルドーザー	13t(湿地)	122	1,122	0.0902	6.3	2,367	862	69	204	164
バックホウ	0.7m ³	127	1,187	0.0954	6.4	435	965	78	42	34
バックホウ	2.0m ³	317	1,187	0.0954	8.0	3,230	3,010	242	972	782
タイヤローラー	8~20t	100	662	0.0532	5.7	381	377	30	14	12
マカダムローラー	10~12t	94	690	0.0555	5.7	381	370	30	14	11
モーターグレーダー	油圧3.1m	115	653	0.0525	6.0	210	451	36	9	8
モーターグレーダー	油圧2.2m	67	653	0.0525	6.0	76	263	21	2	2
アスファルトフィニッシャー	舗装幅2.4~4.5m	57	984	0.0791	6.0	95	337	27	3	3
コンクリートフィニッシャー	3.5~5.0m	26	764	0.0614	6.0	92	119	10	1,09	0.88
コンクリートフィニッシャー	3.0~4.5m	26	764	0.0614	6.0	76	119	10	0.90	0.72
生コン車	4.5m ³	290	359	0.0289	6.0	2,257	625	50	141	113
バイプレーター	棒状45mm	5	1,076	0.0865	6.0	1,969	32	3	6	5
発動発電機	125KVA	167	1,076	0.0865	7.5	7	1,348	108	0.89	0.72
発動発電機	60KVA	75	1,076	0.0865	8.0	3,880	646	52	250	201
発動発電機	35KVA	44	1,076	0.0865	8.0	9,815	379	30	372	299
護岸・岸壁工事計									35,817	27,395

3. 分析内容及び結果

(1) 埋立土地造成

a) 護岸・岸壁工事

福岡市アイランドシティ整備事業の護岸・岸壁工事は、L型ブロック構造、直立消波ケーン構造、直立消波ブロック構造、捨て石式傾斜構

造、斜路構造、コンクリート方塊構造、ケーンブロック構造、盛砂構造、横桟橋L型ブロック構造の10種類の護岸岸壁が外郭施設として建設される。護岸工事は、捨て石式傾斜構造護岸の場合、サンドコンパクション船により地盤改良を行った後、クラムシェル台船により捨て石投入を行う。その後、クレーン付台船により被覆石を投入し護岸を完成させ

表-4 護岸・岸壁工事間接エネルギー消費量、CO₂排出量（建設機械製造）

建設機械	規格	馬力	基礎価格	運転1時間	1日当り	合計×	1日間接	1日間接	間接	間接
		(PS)	(千円)	当り燃料 (円/時間)	運転時間 (時間)	22/30 (日)	エネルギー (kcal/H)	CO ₂ (kgC/日)	エネルギー (TOE)	CO ₂ (T-C)
サンドコンパクション船	固定式(3連装)	3,300	1,320,000	184,000	8.0	2,199	16,781	1,222	3,691	2,687
サンドドレーン船	固定式(12連装)	4,150	1,850,000	231,000	8.0	40	21,067	1,534	83	61
引船	D 4.9GT	100	16,100	1,220	2.0	689	28	2	2	1
引船	D 20GT	250	38,000	2,880	4.0	6,856	131	10	90	66
引船	D 25GT	300	43,700	3,310	4.0	4,107	151	11	62	45
引船	D 30GT	350	50,200	3,800	6.0	1,282	260	19	33	24
引船	D 35GT	450	62,300	4,720	6.0	53	323	24	2	1
引船	D 40GT	500	69,100	5,230	8.0	14,398	477	35	687	500
引船	D 45GT	550	75,100	5,690	4.0	4,459	259	19	116	84
引船	D 70GT	800	104,000	7,870	8.0	4,467	718	52	321	233
引船	D 180GT	2,000	240,000	18,200	2.0	13	415	30	0.55	0.40
引船	D 220GT	2,500	298,000	22,600	2.0	17	515	38	0.87	0.63
押船	100GT	600	119,000	9,450	8.0	113	862	63	10	7
ガット船	D 350m ³ 積	700	209,000	22,900	8.0	12,738	2,088	152	2,660	1,937
ガット船	D 650m ³ 積	1,300	345,000	37,700	9.0	5,303	3,868	282	2,051	1,494
揚陸船	3t吊	60	28,400	3,850	2.0	9,225	88	6	81	59
揚陸船	20t吊	360	185,000	25,000	2.0	26	570	42	2	1
クラムシェル台船	0.6m ³	105	26,000	4,290	8.0	188	391	28	7	5
クラムシェル台船	1.2m ³	132	49,700	7,460	6.3	3,439	536	39	184	134
クラムシェル台船	3.0m ³	250	120,000	18,000	8.0	10,567	1,642	120	1,735	1,263
クレーン付台船	25t吊	105	50,800	47200/D	6.0	6,227	538	39	335	244
クレーン付台船	35t吊	117	66,700	56900/D	6.0	4,924	649	47	319	233
起重機船	非航旋回鋼 40t吊	195	126,000	11,600	6.0	45	793	58	4	3
起重機船	非航旋回鋼 50t吊	240	143,000	13,200	6.0	103	903	66	9	7
起重機船	非航旋回鋼 70t吊	320	178,000	16,400	6.0	113	1,122	82	13	9
起重機船	非航旋回鋼 100t吊	425	233,000	21,500	6.0	20	1,471	107	3	2
起重機船	非航固定鋼 100t吊	195	180,000	16,600	6.0	37	1,135	83	4	3
起重機船	非航旋回鋼 120t吊	480	268,000	24,700	6.0	52	1,689	123	9	6
起重機船	非航固定鋼 200t吊	330	332,000	30,600	6.0	165	2,093	152	35	25
起重機船	非航固定鋼 500t吊	600	790,000	97,400	6.0	23	6,662	485	16	11
起重機船	非航固定鋼 1300t吊	1,300	1,580,000	195,000	6.0	26	13,338	971	35	26
起重機船	非航固定鋼 2000t吊	1,800	2,660,000	328,000	6.0	4	22,435	1,633	8	6
杭打船	D70	420	711,000	95,200	6.0	358	6,512	474	233	170
潜水土船	3tウインチ付	70	15,100	10400/D	6.0	33,784	119	9	401	292
コンクリートミキサー船	鋼	460	387,000	49,900	6.0	3,875	3,413	249	1,323	963
トラッククレーン	20t吊	230	22,600	2,530	7.0	1,752	202	15	35	26
トラッククレーン	25t吊	230	27,900	3,120	7.0	281	249	18	7	5
クローラークレーン	35t吊	151	31,900	4,630	7.5	7	396	29	0.26	0.19
ダンプトラック	11t	319	9,180	1,310	8.0	26,570	119	.9	317	231
ブルドーザー	11t	112	11,000	2,160	6.3	3,555	155	11	55	40
ブルドーザー	15t	142	14,600	2,860	6.3	35	205	15	0.72	0.53
ブルドーザー	21t	219	24,200	4,740	8.0	285	432	31	12	9
ブルドーザー	3.5t(湿地)	39	4,570	1,150	8.0	3,266	105	8	34	25
ブルドーザー	11t(湿地)	112	10,800	2,490	8.0	3,266	227	17	74	54
ブルドーザー	13t(湿地)	122	14,200	2,950	6.3	2,367	212	15	50	37
バックホウ	0.7m ³	127	18,200	2,780	6.4	435	203	15	9	6
バックホウ	2.0m ³	317	51,700	7,910	8.0	3,230	721	53	233	170
タイヤローラー	8~20t	100	8,200	1,320	5.7	381	86	6	3	2
マカダムローラー	10~12t	94	9,370	1,460	5.7	381	95	7	4	3
モーターグレーダー	油圧3.1m	115	10,800	2,050	6.0	210	140	10	3	2
モーターグレーダー	油圧2.2m	67	6,090	1,160	6.0	76	79	6	0.60	0.44
アスファルトフィニッシャー	舗装幅2.4~4.5m	57	24,800	4,690	6.0	95	321	23	3	2
コンクリートフィニッシャー	3.5~5.0m	26	18,700	3,810	6.0	92	261	19	2	2
コンクリートフィニッシャー	3.0~4.5m	26	18,700	3,810	6.0	76	261	19	2	1
生コン車	4.5m ³	290	9,400	3,230	6.0	2,257	221	16	50	36
バイブレーター	棒状45mm	5	135	321/D	6.0	1,969	4	0	0.72	0.52
発動発電機	125KVA	167	4,540	5010/D	7.5	7	57	4	0.04	0.03
発動発電機	60KVA	75	2,700	2980/D	8.0	3,880	34	2	13	10
発動発電機	35KVA	44	2,090	2310/D	8.0	9,815	26	2	26	19

護岸・岸壁工事計

15,499 11,285

る。岸壁工事は、L型ブロックの場合、ガット船により捨て石投入を行った後、起重機船によりL型ブロック据えつけを行い、ガット船により裏込石を投入する。その後クレーン付台船により上部コンクリート打設を行う。

本研究では、福岡市月別機械別稼働日数、消費率データ¹³⁾、エネルギー消費原単位、CO₂排出原単位

をもとに、平成7年度運輸省港湾土木請負工事積算基準書¹⁴⁾から浚渫・埋立工事に使用される建設機械の組み合わせを設定し、他の機械が護岸・岸壁工事に使用されるとして直接エネルギー消費量、CO₂排出量と建設機械製造の間接エネルギー消費量、CO₂排出量を算出した。工事内容別の分類が正確でないため、護岸・岸壁工事と浚渫・埋立工事の内訳のみ

表-5 浚渫・埋立工事直接エネルギー消費量、CO₂排出量

建設機械	規格	馬力	建設機械 燃料消費率 (PS)	建設機械 燃料消費率 (kcal/PS·h)	1日当り 運転時間 (時間)	合計× 22/30 (日)	1日直接 エネルギー (Mcal/日)	1日直接 CO ₂ (kgC/日)	直接 エネルギー (TOE)	直接 CO ₂ (T-C)
引船	D 90GT	1000	1,674	0.1269	8.0	9,259	6,696	508	6,200	4,700
ポンプ式浚渫船	鋼製ディーゼル機関直結式	4000	1,674	0.1269	16.0	309	53,568	4,060	1,658	1,257
ポンプ式浚渫船	鋼製ディーゼル機関直結式	6000	1,674	0.1269	16.0	201	80,352	6,091	1,615	1,224
ポンプ式浚渫船	鋼製ディーゼル機関直結式	8000	1,674	0.1269	16.0	695	107,136	8,121	7,448	5,646
揚鉗船	5t吊	90	1,674	0.1269	2.0	5,521	151	11	83	63
揚鉗船	10t吊	180	1,674	0.1269	2.0	8,034	301	23	242	184
揚鉗船	25t吊	420	1,674	0.1269	4.0	135	1,406	107	19	14
揚鉗船	35t吊	600	1,674	0.1269	4.0	695	2,009	152	140	106
グラブ式浚渫船	6.0m ³	800	1,674	0.1269	8.0	1,173	5,357	406	628	476
グラブ式浚渫船	13.0m ³	1700	1,674	0.1269	8.0	4,653	11,383	863	5,297	4,015
リクレーマー船	26m ³	4800	1,674	0.1269	8.0	184	32,141	2,436	592	448
圧送船		6593	1,674	0.1269	8.0	5,114	44,147	3,346	22,578	17,114
交通船		50	1,674	0.1269	4.0	771	167	13	13	10
バージアンローダー	鋼製ディーゼル機関直結式	1350	1,674	0.1269	8.0	3,880	9,040	685	3,507	2,659
浚渫・埋立工事計									50,019	37,914

表-6 浚渫・埋立工事間接エネルギー消費量、CO₂排出量（建設機械製造）

建設機械	規格	馬力	基礎価格 (PS)	運転1時間 当り損料 (千円)	1日当り 運転時間 (円/時間)	合計× 22/30 (時間)	1日間接 エネルギー (日)	1日間接 CO ₂ (Mcal/日)	間接 エネルギー (kgC/日)	間接 CO ₂ (TOE)	間接 (T-C)
引船	D 90GT	1000	132,000	9,990	8.0	9,259	911	66	844	614	
ポンプ式浚渫船	鋼製ディーゼル機関直結式	4000	2,030,000	123,000	16.0	309	22,435	1,633	694	505	
ポンプ式浚渫船	鋼製ディーゼル機関直結式	6000	2,890,000	176,000	16.0	201	32,102	2,337	645	470	
ポンプ式浚渫船	鋼製ディーゼル機関直結式	8000	3,620,000	220,000	16.0	695	40,128	2,922	2,790	2,031	
揚鉗船	5t吊	90	47,100	6,380	2.0	5,521	145	11	80	58	
揚鉗船	10t吊	180	93,100	12,600	2.0	8,034	287	21	231	168	
揚鉗船	25t吊	420	229,000	31,000	4.0	135	1,414	103	19	14	
揚鉗船	35t吊	600	304,000	41,200	4.0	695	1,879	137	131	95	
グラブ式浚渫船	6.0m ³	800	320,000	35,300	8.0	1,173	3,219	234	378	275	
グラブ式浚渫船	13.0m ³	1700	805,000	88,800	8.0	4,653	8,099	590	3,768	2,744	
リクレーマー船	26m ³	4800	1,780,000	154,000	8.0	184	14,045	1,023	259	188	
圧送船		6593	1,770,000	172,000	8.0	5,114	15,686	1,142	8,022	5,841	
交通船		50	4,990	751	4.0	771	34	2	3	2	
バージアンローダー	鋼製ディーゼル機関直結式	1350	685,000	68,200	8.0	3,880	6,220	453	2,413	1,757	
浚渫・埋立工事計									20,276	14,762	

た建設機械の直接エネルギー消費量、CO₂排出量の値は必ずしも正確ではないが、両工事の合計エネルギー消費量、CO₂排出量には影響しない。資材製造の間接エネルギー消費量、CO₂排出量は、護岸・岸壁構造別設計図¹⁵⁾、埋立土砂分類データから算出した。福岡市アイランドシティ整備事業書中の護岸・岸壁の10種類の構造別設計図から各種資材の断面積を算出し、単位長さ当たりの資材量を求め、各資材に原単位を乗じて算出した。対象とした資材は、石材、土砂、コンクリート、鋼材、钢管である。鉄筋コンクリートについては護岸・岸壁構造別設計図より鉄筋量を求め、コンクリートと鋼材に分けて算出した。なお、これら以外に汚濁防止膜、防砂シート、地盤改良剤などが工事に使用されているが、素材及び原単位の不明のため本研究では対象外とした。

b)浚渫・埋立工事

福岡市アイランドシティ整備事業の浚渫工事は、埋立工事の規模、航路・泊地の確保等を考慮してグラブ浚渫船とポンプ浚渫船を併用して行う。埋立工事は、埋立区域内に汚濁防止膜で囲まれた区域を設

け、護岸・岸壁工事で発生する床掘土砂を土運船で運搬する。埋立区域が外周護岸等で閉水域となった後、運搬された浚渫土砂を揚土し、圧送船等により埋立を行う。グラブ式浚渫船による浚渫土砂は、土運船により運搬し圧送船等により埋立を行う。ポンプ式浚渫船による浚渫土砂は、排砂管により搬送し、埋立地に直接排出して埋立てを行う。浚渫土砂による埋立工事終了後、購入土砂で覆土、整地して埋立工事を完成させる。

浚渫・埋立工事の直接エネルギー消費量、CO₂排出量と建設機械製造の間接エネルギー消費量、CO₂排出量は、グラブ式浚渫船、ポンプ式浚渫船を基本とし、それに付随する建設機械を平成7年度運輸省港湾土木工事請負工事積算書及び福岡市アイランドシティ整備事業書により算出した。資材については、埋立土砂を浚渫土砂、購入土砂、公共残土に分類し、土砂の原単位を乗じて算出した。なお、浚渫土砂については原単位をゼロとした。これは、浚渫土砂は現場調達であり、土砂を浚渫する作業船舶、建設機械の直接エネルギー消費量、CO₂排出量は別途計上しているので、ダブルカウントになるのを避

表-7 埋立土地造成工事間接エネルギー消費量、CO₂排出量（建設資材製造）

	資材製造エネルギー (TOE)					資材製造CO ₂ (T-C)					
	石 材	土 砂	コンクリート	鋼 材	鋼 管	合 計	石 材	土 砂	コンクリート	鋼 材	鋼 管
護 岸 ・ 岸 壁 工 事	L型 プロック構造	2,173	545	904	3,622	248	1,171	823	2,243		
	直立消波ケーラン構造	299	125	339	763	34	269	308	611		
	直立消波プロック構造	1,360		1,914	4,360	7,634	155	4,116	3,969	8,240	
	捨石式傾斜構造	1,853				1,853	212			212	
	階段式傾斜構造	369		300	169	839	42	645	154	841	
	斜路構造	21		31		52	2	67		69	
	コンクリート方塊構造	84		101	223	408	10	217	203	429	
	ケーランブロック構造	498	105	239	500	1,342	57	514	455	1,037	
	盛砂構造	1,566	9,258			10,824	179	970		1,149	
	横桿橋L型ブロック構造	1,338		1,133	618	111,829	114,918	153	2,436	562	92,529
浚 渫 ・ 埋 立 工 事	護岸・岸壁工事計	9,562	9,363	4,388	7,112	111,829	142,254	1,093	981	9,435	6,475
	浚渫土砂		0			0	0				0
	購入土砂		53,010			53,010		5,555			5,555
	埋公共土砂		3,206			3,206		336			336
	浚渫・埋立工事計		56,217			56,217		5,891			5,891
埋立土地造成工事合計		9,562	65,580	4,388	7,112	111,829	198,471	1,093	6,872	9,435	6,475
											92,529
											116,404

表-8 埋立土地造成LCE (TOE)

	直接 エネルギー	間接エネルギー		LCE
		機械製造	資材製造	
護岸・岸壁工事	35,817	15,499	142,254	193,570
浚渫・埋立工事	50,019	20,276	56,217	126,512
埋立土地造成	85,835	35,775	198,471	320,081

表-10 埋立土地造成LCE原単位

LCE (TOE)	開発面積 (ha)	原単位 (TOE/ha)
320,081	401.3	798

けるためである。

c) 埋立土地造成のLCE, LC-CO₂

護岸・岸壁工事の直接エネルギー消費量、CO₂排出量、間接（建設機械製造）エネルギー消費量、CO₂排出量の算出結果をそれぞれ表-3、表-4に示す。なお、ここで列挙した船や機械の規格は福岡市港湾局及び関連メーカーからのヒアリング等によって入手したものである。

また、浚渫・埋立工事の直接エネルギー消費量、CO₂排出量、間接（建設機械製造）エネルギー消費量、CO₂排出量の算出結果をそれぞれ表-5、表-6に示す。さらに、護岸・岸壁工事、浚渫・埋立工事からなる埋立土地造成工事の間接エネルギー消費量、CO₂排出量（資材製造）を表-7に示す。これらの各エネルギー消費量、CO₂排出量を積み上げた結果を表-8、表-9に示す。

埋立土地造成建設LCEの内訳は、護岸・岸壁工事が約60%、浚渫・埋立工事が約40%となる。また、直接エネルギー消費量が約27%、間接エネルギー消費量が約73%となる。資材製造エネルギー消費量の中では、鋼管の製造エネルギーが最も大きく、資材製造エネルギーの約56%を占めており、次いで土砂が約33%となっている。埋立土地造成のLC-CO₂の内訳は、護岸・岸壁工事が約72%，浚渫・埋立工事が

表-9 埋立土地造成LC-CO₂ (T-C)

	直接 CO ₂	間接CO ₂		LC-CO ₂
		機械製造	資材製造	
護岸・岸壁工事	27,395		110,513	149,193
浚渫・埋立工事	37,914		14,762	5,891
埋立土地造成	65,310		26,047	116,404

表-11 埋立土地造成LC-CO₂原単位

LC-CO ₂ (T-C)	開発面積 (ha)	原単位 (T-C/ha)
207,761	401.3	518

約28%となる。また、直接CO₂排出量が約32%，間接CO₂排出量が約68%となる。建設資材製造CO₂排出量は、鋼管によるものが約79%を占め、次いでコンクリートが約8%を占めている。LCE, LC-CO₂とともに、直接によるものよりも間接によるものの方が多くを占め、特に鋼管製造によるものが大きい。鋼管を使用する横桿橋L型ブロック式構造は、他の構造に比べ単位長さ当たりの資材製造エネルギー消費量、CO₂排出量も50-100倍と大きい。また、埋立土地造成のLCE, LC-CO₂、と埋立面積（401.3ha）から算出した単位面積当たりのLCE原単位、LC-CO₂原単位を表-10、表-11に示す。なお、造成された土地の利用に係わる部分については、上部構造物の建設、運用として取り扱う。

d) 産業連関分析による結果の比較

本研究では、個々の建設機械の使用時間、燃料消費量、建設資材の使用量を積み上げ、産業連関分析から得られた原単位を用いて、埋立土地造成によるLCE, LC-CO₂を算出した（併用法）。この結果と、1985年建設部門分析用産業連関表による結果を比較する。

建設部門分析用産業連関表の46分類表中の「土地造成」について求めた金額当たり原単位と福岡市アイランドシティの埋立土地造成工事の総事業費

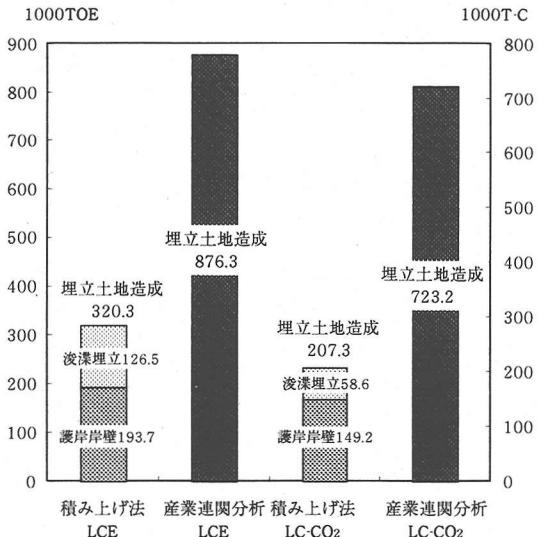


図-4 併用法と産業連関分析による結果の比較

表-12 建築構造別建設エネルギー原単位 (Mcal/m²)

施工	建設資材						構造別 原単位	
	砂利	石材	木材	セメント	陶磁器	鋼材		
木造	60	5	141	84	195	221	590	1,295
SRC造	90	8	32	172	103	809	667	1,880
RC造	20	9	43	195	96	645	641	1,648
S造	20	4	19	84	114	560	487	1,289

(4,588億円)を用いると、埋立土地造成のLCEは876,300TOE, LC-CO₂は723,200T-Cとなる。積み上げ法による結果との比較を図-4に示す。両分析手法を比較すると、併用法による結果は産業連関分析による結果に対して、LCEで約36%, LC-CO₂で約30%となり、オーダーとしては近い値となっている。しかし、絶対値ではかなり差がある。この違いの原因としては、まず、産業連関表による計算は、単位金額当たり原単位と工事金額(事業費)の単純な乗算であるため、いずれかの数値の違いによって結果が大きく異なってしまうことがあげられる。産業連関表分類の「土地造成」の内容が、埋立土地造成に正確に対応しておらず、上記の原単位が必ずしも適切ではないことが指摘できる。また、上で用いた事業費の全てが必ずしも正確に埋立土地造成に対応していないこともある。したがって、ここで示した産業連関表による計算結果は、積み上げで得られた結果の一つの比較検討材料の意味を持つものである。

e)陸上造成と埋立土地造成の比較

陸上での土地造成のLCAとしては、例えば、伊藤らの研究報告⁵⁾がある。本研究により算出した埋立土地造成の結果と、伊藤らによる陸上土地造成の結

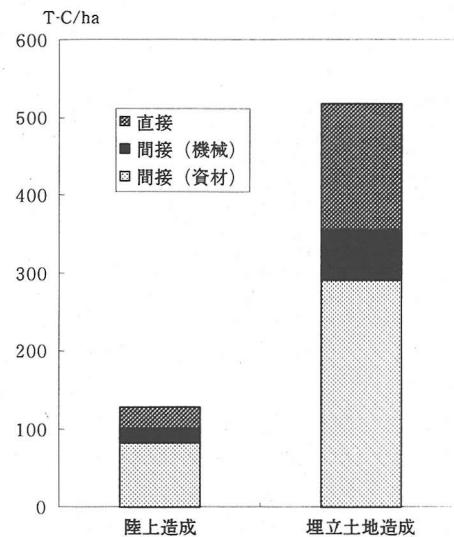


図-5 陸上造成と埋立土地造成の建設LC-CO₂による比較

表-13 建築構造別建設CO₂原単位 (kg-C/m²)

施工	建設資材						構造別 原単位	
	砂利	石材	木材	セメント	陶磁器	鋼材		
木造	4.8	0	5	21	4	20	29	84
SRC造	7.2	0	3	43	2	73	46	174
RC造	1.6	1	4	48	2	59	44	160
S造	1.6	0	1	21	2	51	29	106

果とを単位面積辺りのLC-CO₂によって比較したのが図-5である。

造成面積1ha当たりのCO₂排出量は、陸上造成では139T-C、埋立土地造成では518T-Cとなり、後者は前者の約3.7倍となる。陸上造成と比較すると、埋立土地造成は直接CO₂排出量が多い。これは、埋立土地造成では、地盤改良や浚渫等の工程を必要とするために、陸上造成に比べてそれだけ多くの建設機械が使用されるためである。また、資材製造CO₂排出量については、陸上造成ではセメント製品製造によるCO₂排出量が多いが、埋立土地造成では鋼管製造によるCO₂排出量が多い。

(2)上部構造物

a)上部構造物建設

福岡市アイランドシティに建設予定の上部構造物の建築構造を設定し、建築構造別建設原単位と土地利用計画データをもとに、用地区分ごとに建設エネルギーを算出した。上部構造物は、各土地利用計画ごとに木造、SRC造、RC造、S造に分類し、酒井、漆崎による原単位¹⁶⁾を利用して、各構造別の単位床面積当たりの建設資材使用量、施工データ(表-12、表-13)と福岡市アイランドシティ土地利用計

表-14 上部構造物建設エネルギー消費量及びCO₂排出量の内訳

用地区分	施設	開発面積 (ha)	敷地面積 (ha)	延床面積 (m ²)	構造	エネルギー 原単位 (Mcal/m ²)	CO ₂ 原単位 (kg C/m ²)	エネルギー 消費量 (TOE)	CO ₂ 排出量 (T-C)
ふ頭用地	外貿コンテナ	33.6	33.6	15,820	S造	1.289	106	2,038	1,671
	内貿コンテナ	17.3	15.6	12,230	S造	1.289	106	1,576	1,291
	外貿在来	4.7	3.9	10,500	S造	1.289	106	1,353	1,109
	香椎船だまり	0.2	0.2						
	奈多船だまり	1.0	0.9						
保管施設用地	小計	56.8	54.2	38,550				4,967	4,071
	コンテナプール	10.6	8.3						
	シャーシプール	2.5	2.1						
	外貿コンテナ倉庫	31.7	26.1	312,500	S造	1.289	106	40,267	33,000
	内貿コンテナ倉庫	9.7	8.6	141,000	S造	1.289	106	18,168	14,890
	外貿在来倉庫	2.0	1.8	19,690	S造	1.289	106	2,537	2,079
	再開発移転用地	11.2	8.8	75,680					
港湾関連業務施設用地	奈多船だまり	1.0	1	3,300					
	小計	68.8	56.7	552,170				60,972	49,969
	港湾関連業務施設	0.4	0.3	1,880	SRC造	1.880	174	353	327
	香椎船だまり	1.0	0.8	2,250					
	消防施設	4.4	3.9	7,790	RC造	1,648	160	1,284	1,243
福利厚生施設用地	小計	5.7	5.1	11,920				1,637	1,571
	福利厚生施設	3.2	2.8	10,180	RC造	1,648	160	1,678	1,625
工業用地	食料品製造用地	11.7	9.5	32,160	RC造	1,648	160	5,301	5,133
	出版・印刷・同関連産業用地	6.3	4.8	44,110	RC造	1,648	160	7,270	7,040
	金属機械器具製造業用地	5.0	3.7	15,090	RC造	1,648	160	2,487	2,408
	小計	23.0	18	91,360				15,058	14,581
清掃工場用地	清掃工場	5.5	5	17,000		3,844	601	6,535	10,217
緑地	親水・修景緑地	19.7	19.6						
	休息緑地	1.8	1.8						
	小計	21.5	21.4						
道路用地		25.0	25.0			198	6	4,953	1,620
港湾物流地域計		209.5	188.2	721,180				95,800	83,653
研究施設用地	基礎研究施設	44.9	44.9	71,470	SRC造	1,880	174	13,436	12,450
	応用・開発研究施設	19.3	15.7	40,410	SRC造	1,880	174	7,597	7,039
	小計	64.1	60.6	111,880				21,032	19,489
交流施設用地	交流施設	6.6	6.2	45,000	RC造	1,648	160	7,417	7,182
住宅用地	住宅	52.4	45.1	569,740	SRC造	1,880	174	107,105	99,249
	幼稚園	0.8	0.8	3,600	S造	1.289	106	464	380
	地区センター等	5.3	5.3	37,310	RC造	1,648	160	6,149	5,955
	住区基幹公園	8.0	8						
教育施設用地	小計	66.5	59.2	610,650				113,719	105,584
	教育施設	6.5	5.6	22,000	RC造	1,648	160	3,626	3,511
下水再利用施設用地	下水再利用施設	3.0	3	1,200		3,114	294	9,342	8,820
緑地	親水・修景緑地	20.2	20.2						
	緩衝緑地	6.0	6						
	シンボルプロムロード	3.9	3.7						
	小計	30.1	29.9						
道路用地		15.0	15.0			198	6	2,972	972
都市機能地域計		191.8	179.5	790,730				158,107	145,558
上部構造物合計		401.3	367.7	1,511,910				253,907	229,212

(空欄部分は、緑地等で上部構造物が特定できないため算出対象としていない。)

画から、用地区分ごとに上部構造物建設LCE、LC-CO₂を算出した(表-14)。緑地の建設エネルギーは無視し、下水再利用施設場、清掃工場、道路の原単位に関しては、その設計、仕様の詳細が明らかでないため、既存研究で算出された福岡市の値(3,114Mcal/m²、3,844Mcal/m²、157Mcal/m²)をそれぞれ用いた^{17), 18), 19)}。電気、下水道、上水道等の工事は考慮していないため、実際にはこれよりさらに大きな値となる。都市機能部分の住宅用地造成のLCE、LC-CO₂が、107千TOE、99千T-Cと大きく、上部構造物のLCE、LC-CO₂のうち、ともに約

40%を占めている。港湾物流関連では、保管施設建設による負荷が多い。

b)上部構造物の運用

年間熱需要量データに関する既存の調査結果²⁰⁾を利用して算出した年間運用に関わるエネルギー消費量及びCO₂排出量を表-15に示す。評価対象は熱需要に限っているため、上部構造物の維持・補修による環境負荷は考慮していない。また、下水再利用施設の回収ガス、清掃工場でのごみ焼却排熱等のリサイクルエネルギーについても、データ入手ができず対象外とした。

表-15 上部構造物の運用に関する年間エネルギー消費量及びCO₂排出量

	区分	年間運用エネルギー消費 (TOE/年)					年間運用CO ₂ 排出 (T-C/年)				
		冷房	暖房	給湯	照明動力	合計	冷房	暖房	給湯	照明動力	合計
港湾物流地域	ふ頭用地	22	12	2	489	524	12	7	1	280	301
	保管施設用地				5,218	5,218				2,992	2,992
	港湾関連業務施設用地	72	39	5	526	641	41	23	3	301	368
	福利厚生施設用地	96	18	9	449	572	55	10	5	257	328
	工業用地				4,029	5,244				2,310	2,310
	清掃工場用地										
都市機能地域	緑地										
	道路用地										
	港湾物流部分小計	189	70	16	10,711	12,199	108	40	9	6,141	6,298
	研究施設用地	1,052	201	45	4,934	6,232	603	116	26	2,829	3,573
	交流施設用地	423	81	41	1,985	2,529	243	46	23	1,138	1,450
	住宅用地	498	819	1,153	4,191	6,662	286	470	661	2,403	3,820
港湾物流地域	教育施設用地				73	9	970	1,052		42	5
	下水再利用施設用地	7	4	1	53	65	4	2	0.29	30	37
	緑地										
	道路用地										
	都市機能部分小計	1,980	1,178	1,248	12,132	16,539	1,136	676	716	6,956	9,483
	上部構造物合計	2,169	1,248	1,263	22,843	28,738	1,244	716	725	13,097	15,781

(空欄部分の上部構造物の設計仕様が特定できないものは算出対象外とした。)

港湾物流部分と都市機能部分の年間エネルギー消費量は、それぞれ12千TOE、17千TOEであり、全体では、29千TOEとなる。同様に、運用による年間のCO₂排出量は、それぞれ6.3千T-C、9.5千T-Cであり、全体では、16千T-Cである。ただし、全体的にどの用地においても、照明動力に係るエネルギー需要量が大きい。用地区分では、住宅用地、研究施設用地、工場用地、保管施設用地のエネルギー需要量の占める割合が大きくなっている。

4.まとめ

港湾整備は、埋立工事、土地造成、上部構造物の建設・運用等を含んだ複合的な事業であり、工法的にも船や特殊な重機を多用する点などで、ILCAの対象事業として他の陸上事業とは異なる特徴を持っている。また、海に囲まれた日本では、港湾施設や海上空港の建設、海面埋立などの事業計画が各地で多数計画、実施されており、それらの計画策定や設計に際してライフサイクルアセスメントを行うことは、今後、社会的要請となっていくものと予想される。しかし、こうした港湾事業を対象としたILCAの実行事例はまだほとんど見当たらないのが実状である。

本研究においては、上の事情を念頭におき、福岡市アイランドシティ整備事業を参考事例として、港湾整備事業に対するILCAの1つの実行モデルを提示した。具体的には、港湾整備事業について関連事

業からの積み上げ算定を行う場合の事業単位の分割方法とそれに関連して使用する原単位を体系的に整理し、算定を行った。特に、護岸・岸壁工事及び、浚渫・埋立工事に使用される船、機械類の種類を整理し、それぞれの規格に応じた原単位を提示した。これらの値は、類似事業についてILCAを行う場合に参考になるものであると考える。最後に、福岡市アイランドシティについて、LCE及びLC-CO₂を指標としたインベントリ分析を行い、海面土地造成の単位面積当たりLCEとして798TOE/ha、LC-CO₂として518T-C/haとの算定結果を得た。また、これらの値を陸上の土地造成についての報告値と比較することによって、海上と陸上の代替案検討のための参考資料を提示した。

なお、本研究で行ったILCAは、地域環境への影響に主眼を置く環境影響評価（EIA）とは相互補完的な関係にあり、地球環境的な視点から地域の事業の意味を考える場合の1つの手段となるものである。

本研究の最終結果を、埋立土地造成及び上部構造物の建設・運用に関する大きな工事分類ごとに、建設関連部分と運用関連部分に区分して総括的に示したのが図-6である。なお、この図におけるALCE、ALC-CO₂はLCE、LC-CO₂を耐用年数（上部構造物を50年、道路を20年と設定）で除した年間当たりのLCE、LC-CO₂を意味する。

ここで、護岸のコンクリート構造物等の個々の構造物については、コンクリートや鋼材の耐久性を考

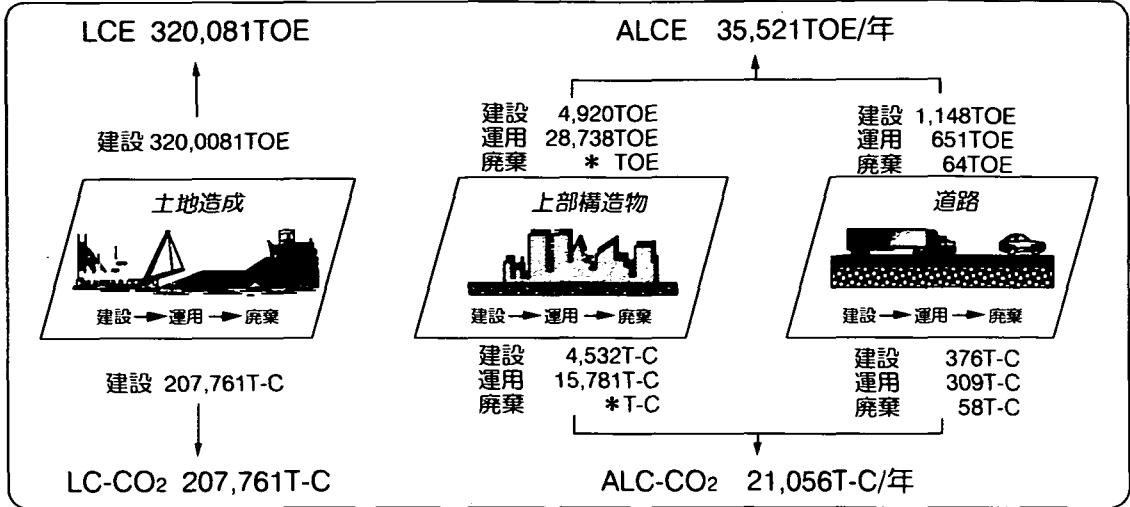


図-6 福岡市アイランドシティ整備事業全体としての評価 (*は本研究では未算出)

慮することで構造物の耐用年数の設定が可能であるが、造成地全体としての耐用年数を設定するのは困難である。また、LCAを行う際には、廃棄による環境負荷を含めたライフサイクルで評価を行うが、造成地の廃棄を具体的に設定することは難しい。このため、土地造成については、建設に関わる数量のみを示すことにした。

本研究の結果を要約すると以下のとおりである。
(1)埋立土地造成のLCEは、320千TOEと試算された。その内訳は、護岸・岸壁工事によるものが約60%，浚渫・埋立工事によるものが約40%である。また、直接エネルギー消費量が約27%，間接エネルギー消費量が約73%である。

(2)埋立土地造成のLC-CO₂は、208千T-Cと試算された。その内訳は、護岸・岸壁工事によるものが約70%，浚渫・埋立工事によるものが約30%である。また、直接CO₂排出量が約32%，間接CO₂排出量が約68%である。

(3)埋立土地造成のLCAを行い、工程、機械、資材ごとの環境負荷への寄与度を把握した。埋立土地造成では、資材製造による間接負荷が占める割合がLCEで約62%，LC-CO₂で約56%を占め、鋼管製造による環境負荷が大きいことが明らかになった。福岡市アイランドシティにおいては、鋼管を使用する横桟橋L型ブロック構造は、水深13~14mのコンテナバースに適用されている。事業費用や埋立地域の水深、地盤、用途等の諸条件を含めた検討が必要であるが、環境負荷削減を図るには鋼管製造による環境負荷の削減、鋼管以外の代替資材の使用、水深11mのコンテナバースで適用されているケーソンブロック構造等の代替構造の適用が効果的である。

(4)陸上造成と埋立土地造成について比較を行った。1ha当たりの建設に関わるLC-CO₂では、埋立土地造成は陸上造成の約3.7倍となった。埋立土地造成は陸上造成に比べ、直接CO₂排出量の占める比率が高い。また間接CO₂排出量については、陸上埋立がセメント製品製造による比率が高いのに対し、埋立土地造成では、鋼管製造による比率が高い。

(5)上部構造物の建設に関わるLCEは、254千TOE、運用に関わる年間エネルギー消費量は29千TOEと試算された。また、上部構造物の建設に関わるLC-CO₂は229千T-C、運用に関わる年間CO₂排出量は16千T-Cと試算された。建設に関わるLCEは、運用に関わる年間エネルギー消費量の約9年分、建設に関わるLC-CO₂は、運用に関わる年間CO₂排出量の約15年分である。上部構造物である住宅や業務用ビルにさまざまな省エネルギー対策を施して、環境負荷を低減するための検討が行われているが、運用に重心を払うだけでなく、建設にともなう分にもさらに留意すべきと言える。

(6)人工島の都市の建設において、埋立土地造成から上部構造物の完成まで（建設関連部分のみ、運用は除く）のLCEは574千TOE、LC-CO₂は437千T-Cと試算された。

埋立土地造成のLCE、LC-CO₂を埋立工事期間10年間で除した値は、それぞれ32千TOE、21千T-Cである。人口124万人の福岡市全体の年間CO₂排出量は約1688千T-C（電力による間接排出を含む、1990年）であり²¹⁾、福岡市アイランドシティ整備事業によるCO₂排出量の寄与率はその約1.2%に相当する。

なお、算出においては、データ入手上の制約から、原単位については産業連関分析による近似値を

採用するなどいくつかの便法を採用せざるを得なかった。LCAとしては当然可能な限り正確な計算が必要であるが、この分野の研究はまだ新しく、研究報告も少ない。特に埋立工事においては、埋立海域の水深や海底地盤により工法が異なることが考えられるので、今後他の事例について検討を加えて行きたい。

参考文献

- 1) エコマテリアル研究会：日本におけるLCA研究の現状と将来の課題，（社）未踏科学研究会，1995.
- 2) エコマテリアル研究会，（社）未踏科学研究会：LCA のすべて，工業調査会，1995.
- 3) 井村秀文，森下兼年，池田秀昭，銭谷賢治，楠田哲也：下水道システムのライフサイクルアセスメントに関する研究，環境システム研究，Vol.23, pp.142-149, 1995.
- 4) 盛岡通：土木建設システムにおけるLCAの考え方と事例，第4回地球環境シンポジウム講演集，pp.29-34, 1996.
- 5) 伊藤武美，花木啓祐，谷口孚幸，有浦幸隆：ニュータウン建設に伴う二酸化炭素排出量に関する研究，環境システム研究，Vol.23, pp.190-197, 1995.
- 6) 総務庁：昭和60年産業連関表－計数編（2），全国統計協会連合会，1989.
- 7) 銭谷賢治，井村秀文：建設にともなう環境負荷の定量化に関する研究，環境システム研究，Vol.22, pp.147-153, 1994.
- 8) 近藤美則，森口祐一，清水浩：家計の消費支出から見たCO₂排出構造の経時的分析，環境科学会誌，pp.231-240, 1996.
- 9) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：総合エネル
- ギー統計，通商産業研究社，p.16, 1995.
- 10) 建設省建設経済局調査情報課：昭和60年建設部門分析用産業連関表，建設物価調査会，1989.
- 11) 池田秀昭，井村秀文：社会資本整備にともなう環境インパクトの定量化に関する研究，環境システム研究，Vol.23, pp.192-199, 1993.
- 12) 森口祐一，中杉修身：人間活動による環境インパクトの定量化手法評価の基本的枠組みと指標体系の構築，科学研究費補助金研究成果報告書，pp.1-20, 1996.
- 13) 福岡市港湾局：埋立工事月別機械別稼働日数データ，機械別燃料消費率データ（内部資料）.
- 14) 運輸省港湾局：運輸省港湾土木請負工事積算基準（平成7年度改訂版），港湾建設技術研究センター，1995.
- 15) 福岡市：アイランドシティ整備事業書.
- 16) 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，Vol.21, pp.130-135, 1994.
- 17) 井村秀文，銭谷賢治，中嶋芳紀，森下兼年，池田秀昭：下水道システムのライフサイクルアセスメント，土木学会論文集，No.552/VII-1, pp.75-84, 1996.
- 18) 井村秀文，中嶋芳紀：一般廃棄物処理システムのライフサイクルアセスメントに関する研究，環境システム研究，Vol.23, pp.261-267, 1995.
- 19) 岩淵省，中嶋芳紀，松本亨，井村秀文：道路整備のライフサイクルアセスメントに関する研究，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，pp.494-495, 1996.
- 20) （財）福岡都市科学研究所：アイランドシティ環境モデル都市調査委託に関する調査，1995.
- 21) 福岡市環境局：福岡市地球温暖化対策地域推進計画，p.103, 1994.

(1996.6.10 受付)

STUDY ON THE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PORT DEVELOPMENT PROJECT: A CASE STUDY ON THE FUKUOKA ISLAND CITY PROJECT

Yoshinori NAKAJIMA, Koji KAWANO, Toru MATSUMOTO and Hidefumi IMURA

Life cycle assessment (LCA) was conducted for the Fukuoka Island City Project being undertaken in the eastern area of Hakata Bay. The analysis included coastline construction and reinforcement, dredging and reclamation works, and construction, operation and maintenance of the facilities and buildings to be built on the island. The inventory analysis for life cycle energy consumption (LCE) and carbon dioxide emission (LC-CO₂) was accomplished by breaking down the construction processes and materials into parts for which relevant energy data were available. As for the items for which relevant energy data were not available, values reduced by I-O analysis were utilized as proximate values. Thus the environmental loading for each individual process was determined and the cumulative total was calculated.