

炭素固定性を踏まえたインターロッキングコンクリートブロックの開発
とライフサイクルカーボンの評価方法の構築

DEVELOPMENT OF INTERLOCKING CONCRETE BLOCKS CONSIDERING
CARBON FIXATION AND ESTABLISHMENT OF A LIFE CYCLE CARBON ASSESSMENT METHOD

細田夏花
Natsuka HOSODA

In recent years, concrete has been re-evaluated as a material capable of absorbing and fixing CO₂ through white carbon technologies. This study evaluates the life cycle carbon of interlocking concrete blocks by estimating CO₂ emissions during production and CO₂ uptake due to carbonation and proposes a method to assess their net CO₂ emissions. In addition, a carbon-negative block using scallop shells with carbon-fixation potential similar to blue carbon is developed, and its potential environmental benefits are evaluated for existing projects.

Keywords : Life cycle carbon, CO₂fixation assessment, Blue carbon, White carbon, Inter Locking Block
ライフサイクルカーボン, CO₂固定量評価, ブルーカーボン, ホワイトカーボン, インターロッキングブロック

1. はじめに

近年、コンクリートに CO₂ を吸収・固定させる技術が多数開発され、コンクリートは CO₂ を排出する材料であると同時に、吸収・固定する材料(ホワイトカーボン)としても再評価されており¹⁾²⁾、こうした環境負荷低減効果を適切に評価する手法の確立が求められている³⁾。本研究では、コンクリート製品の一つであるインターロッキングブロック[Inter Locking Block(以下 ILB)]を対象に、製造および使用段階におけるライフサイクルカーボンの算出を試みた⁴⁾⁵⁾。工場の積み上げデータ(フォアグラウンドデータ)と公的データ(バックグラウンドデータ)を用いて製造時の CO₂ 排出量を算出し、さらにセメントの炭酸化反応に基づいて CO₂ 固定量を評価した。これらを統合し、排出量と固定量を考慮した実質的な CO₂ 排出量として製品の環境負荷を評価する手法を構築する。また、本手法を用いて、炭素固定性を有するホタテ貝殻(広義のブルーカーボン⁶⁾)を使用したカーボンマイナスイブロックを開発し、過去の施工物件に適用した場合の環境負荷低減効果についても算出する。

2. ライフサイクルカーボンの概念

図 1 に国土交通省がまとめるライフサイクルカーボンの概念図⁷⁾を示す。ライフサイクルカーボンとは、建設から解体までに排出される CO₂ を段階別に区分した指標である。本研究では資材の製造・使用段階における CO₂ 排出量に着目する。

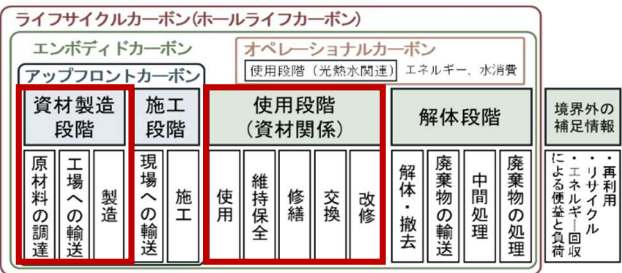
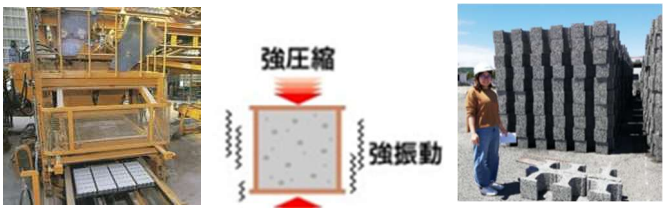


図 1 ライフサイクルカーボンの概念図と本研究の検討範囲

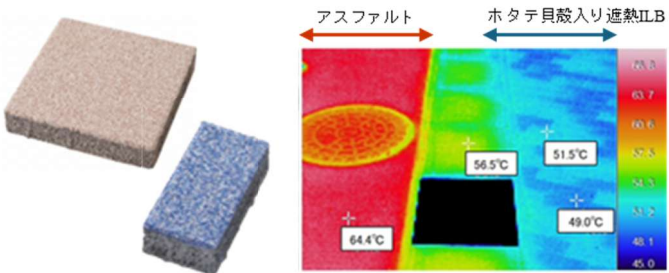
3. ILB 製品の需要と製造

近年、ILB 製品は、歩道、建築外構、広場、駐車場等に幅広く使用されており、現在までの総施工面積は約 2 億 m² に達する。ILB 舗装は施工が容易で、景観に調和するサイズ・色・仕上げ加工があり、遮熱、保水、排水、透水、緑化、再生資源活用など、時代のニーズに合わせた機能選択が可能であるとともに、災害対応の観点からも優位性を有する。図 2 に製造方法のひとつである振動即脱成型を示す。ILB 製品は、ゼロスランプのコンクリートを強制的に型枠に詰め込み、振動・圧縮によって素早く製品化される。また、静岡県に拠点を置く製品メーカーでは、図 3 に示すようなホタテ貝殻を用いたカーボンポジティブな遮熱ブロックの開発も進められており、環境配慮への取り組みが加速している。



a) 成型マシン b) 即脱成型イメージ c) ILB 製品屋外養生

図 2 振動即脱成型と ILB 製品工場の様子



a) ホタテ貝殻入り遮熱 ILB b) 遮熱効果

図 3 ホタテ貝殻使用 ILB 製品と遮熱効果

4. ILB 製品の製造におけるシステム境界図の構築

図 4 に静岡県に拠点を置く ILB メーカーの工場をモデルとした ILB 製品のシステム境界図を示す。JIS Q 13315-2 プレキャストコンクリート製品の製造におけるシステム境界⁸⁾を参考に、原料や製造の過程を ILB 製品に置き換えて作成した。この図を参考に、次章にて ILB 製品の製造にかかるアップフロントカーボンの算定を行う。

5. 炭素固定性のある ILB 製品の製造に係る CO₂ 排出量の算定

5.1 概要

図 4 のシステム境界図を参考に、同工場において標準的な ILB 製品を製造する際に排出される CO₂ 排出量を算出する。製造に関わる様々な CO₂ 排出要因について、公的データベースに基づくバックグラウンドデータ(B)と、工場の積み上げデータに基づくフォアグラウンドデータ(F)から CO₂ 排出原単位を特定する。

5.2 原材料・型枠の製造にかかる CO₂ 排出量

表 1 に ILB 製品の原材料・型枠の製造にかかる CO₂ 排出量と参照を示す。原材料の CO₂ 排出量は、多くを産業技術総合研究所が開発するインベントリデータ IDEA⁹⁾を参考に決定している。IDEA は、産業連関表などの経済統計および実プロセス調査に基づく 2 種類の積み上げデータベースによって構成される。ここでは、種類と投入量が多岐にわたる顔料と型枠のみ、IDEA 原単位を工場の年間生産量の内、ILB 製品の生産量が占める割合で按分して求めている。

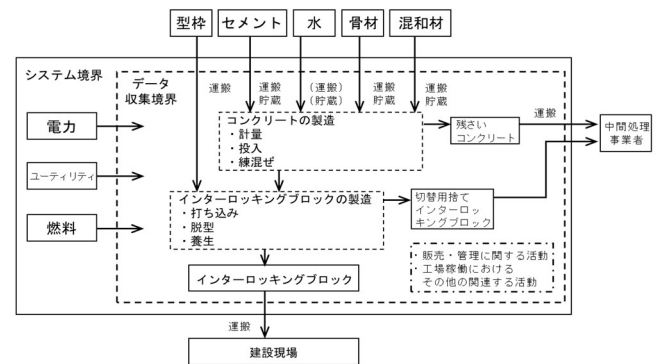


図 4 ILB 製品の工場単体のシステム境界図

表 1 ILB 製品の原材料・型枠の製造 1t あたりの主な CO₂ 排出量

項目	CO ₂ 原単位		参照
	排出 t-CO ₂ /t	固定 t-CO ₂ /t	
セメント	0.758		IDEA V.3.5 5 産 No.149 (B)
恵那(砂利)	0.0118		IDEA V.3.5 5 産 No.30 (B)
ホタテシェル	0.00669	0.44	細田論文 ⁴⁾
かんすい(砂利)	0.0118		IDEA V.3.5 5 産 No.31 (B)
東都礦産(砂利)	0.0118		IDEA V.3.5 5 産 No.30 (B)
地下水	0		-
砕石	0.00669		IDEA V.3.5 5 産 No.31 (B)
陸砂	0.0118		IDEA V.3.5 5 産 No.30 (B)
砂利	0.0118		IDEA V.3.5 5 産 No.30 (B)
廃プラスチック	0.136		IDEA V.3.5 8 廃注 7 (B)
コンクリートガラ	0.00107		IDEA V.3.5 8 廃注 15 (B)
混和材(顔料)	1.86 0.000638		IDEA V.3.5 5 産 No.106 (B) メーカー工場データ(F)
型枠	3.49 0.000902		IDEA V.3.5 5 産 No.169 (B) メーカー工場データ (F)

備考) 表 1,2 で(B):バックグラウンドデータ、(F):フォアグラウンドデータ

5.3 運搬・貯蔵にかかる CO₂ 排出量

表 2 に ILB 製品の原材料の運搬・貯蔵にかかる CO₂ 排出量と参照を示す。運搬にかかる CO₂ は、表 3 に示す国土交通省資源エネルギー庁が提示する改良トンキロ法¹⁰⁾に則って算定した。改良トンキロ法とは、トラックの最大積載量別積載率別に細分化した CO₂ 排出原単位に、輸送量(トンキロ)を乗じて CO₂ 排出量を算定する手法である。この手法では積載率による原単位の違いを CO₂ 排出量に反映することができる。また、ホタテシェルのみ、JR 貨物列車を利用して運搬するため、日本貨物鉄道株式会社がまとめるエネルギー使用量・CO₂ 排出計算シート¹¹⁾を参考に運搬 CO₂ 排出量を算定した。

5.4 電気・ユーティリティ・燃料にかかる CO₂ 排出量

表 4 に、ILB 製品の製造に使用される電気・ユーティリティ・燃料に起因する CO₂ 排出量と参照データを示す。本研究では、電気を ILB 製品の製造に直接使用されるものと定義し、工場事務所で使用される電気についても電気の CO₂ 排出量に含めた。ユーティリティは製造を支える間接的なインフラとし、本検討ではプロパンガスおよび生活用上水道水を対象とした。燃料は、製造に直接関与するリフトやローダー、作業用車両に使用される軽油とする。なお、本工場では複数製品を製造しているため、各 CO₂ 排出量は工場の年間生産量に占める ILB 製品の生産割合に基づき按分して算定した。

5.5 関連活動・コンクリートガラにかかる CO₂ 排出量

表 5 に ILB 製品の製造における関連活動と、コンクリートガラの処理にかかる CO₂ 排出量と参照を示す。ここでいう関連活動とは、ILB 製品の販売・管理に関する活動と、工場稼働におけるその他の関連する活動を指す。具体的には、マシンメンテナンスに関わる油脂系や工場で使用する社用車の燃料の他、廃プラスチック類、木製パレット等を含む。また、コンクリートガラはコンクリートの製造で発生する残さいコンクリートと、プレキャストコンクリートの製造で発生する切り替え用コンクリートを指す。本検討では、これらのコンクリートガラを産業廃棄物の「ガラス陶磁器くず」として扱い、廃棄物の輸送段階に係る CO₂ 排出量は含まず、リサイクルに伴う CO₂ 排出量のみを評価した。ガラの発生量は、10t ダンプによる運搬台数から算出している。なお、ガラは安全性を考慮し、満載ではない状態(75%程度)で運搬されるものとする。電気と同様、工場の関連活動・コンクリートガラ全体における CO₂ 排出量を ILB 製品の生産量で按分することで算定している。

表 2 ILB 製品の原材料・型枠の運搬 1t あたりの主な CO₂ 排出量

項目	詳細	運搬 CO ₂ 排出量 t-CO ₂ /t	参照
セメント	恵那	0.00948	メーカー工場データ(F) IDEA V.3.5 2 輸ト ⁹⁾ (B)
	かんすい	0.0251	
	東都礦産	0.0773	
	砂利	0.0356	
砂利	陸砂	0.00194	メーカー工場データ(F) JR 貨物 HP ¹¹⁾ (B)
		0.00285	
ホタテシェル		0.0482	メーカー工場データ(F) JR 貨物 HP ¹¹⁾ (B)
砕石	砕石	0.0116	メーカー工場データ(F) IDEA V.3.5 2 輸ト ⁹⁾ (B)
顔料		0.0000329	
廃プラスチック		0.000822	
コンクリートガラ		0.00100	
型枠		0.0000213	

表 3 改良トンキロ法の算定式と算定に使用した各種バックグラウンド/フォアグラウンドデータ一覧

項目	使用量 kg/年	積載箇所 住所	距離 km	時間	輸送トンロ トンロ	トンロ法原単位 l/トンロ	単位発熱量 GJ/kl	排出係数 t-CO ₂ /GJ	CO ₂ 排出量 t-CO ₂ /台	年間台数 台/年	CO ₂ 排出量 t-CO ₂ /年	運搬 CO ₂ 排出量 t-CO ₂ /t	参照
セメント	2,691,846	愛知県豊橋市	84.7	1h46m	777.5	0.0427	38	0.0188	0.0870	293.229	25.512	0.00948	IDEA V.3.5 2
恵那 (砂利・採石)	1,048,438	岐阜県恵那市	172.2	2h30m	1,053.9	0.0557	38	0.0188	0.154	171.313	26.336	0.0251	輸ト(B)
ホタテシェル	8,700	北海道虻田郡	1430.0								0.419	0.0482	JR 貨物 HP(B)
かんすい (砂利・採石)	129,645	岡山県新見市	500.6	6h41m	2,808.4	0.0589	38	0.0188	0.434	23.110	10.022	0.0773	IDEA V.3.5 2 輸ト(B)
東海石材 (砕石)	241,650	岐阜県揖斐郡	180.9	6h2m	1,107.1	0.0557	38	0.0188	0.161	39.485	6.377	0.0264	
東都礦産 (砂利・採石)	90,920	東京都江東区	244.3	8h9m	1,495.1	0.0557	38	0.0188	0.218	14.856	3.240	0.0356	
嶋田商店 (砕石)	142,710	茨城県笠間市	346.1	11h33m	1,765.1	0.0627	38	0.0188	0.290	27.982	8.117	0.0569	
三光 (砂利・採石)	7,020	鳥取県境港市	575.5	19h11m	2,935.1	0.0627	38	0.0188	0.482	1.376	0.664	0.0946	
顔料	5,969	鳥取県境港市	575.5	19h11m	2,935.1	0.0627	38	0.0188	0.482	1.170	0.565	0.0000329	
地下水	807,554	静岡県掛川市											-
砕石 (砕石)	4,619,687	愛知県新城市	65.9	2h12m	302.5	0.0672	38	0.0188	0.0533	1006.468	53.602	0.0116	IDEA V.3.5 2 輸ト(B)
陸砂 (砂利・採石)	3,518,070	静岡県磐田市	16.2	33m	74.4	0.0672	38	0.0188	0.0131	766.464	10.035	0.00285	
砂利 (砂利・採石)	3,723,589	静岡県掛川市	11.0	23m	50.5	0.0672	38	0.0188	0.00889	811.239	7.212	0.00194	
砕砂 (砕石)	91,968	愛知県新城市	65.9	2h12m	302.5	0.0672	38	0.0188	0.0533	20.037	1.067	0.0116	
電気炉 酸化スラグ	286,734	愛知県豊橋市	80.8	1h38m	370.9	0.0672	38	0.0188	0.0653	62.469	4.079	0.0142	
CCU	100	静岡県静岡市	66.7	2h14m	340.2	0.0627	38	0.0188	0.0559	0.020	0.00110	0.0110	
廃プラスチック	1.57	静岡県掛川市	5.0	10m	25.5	0.0627	38	0.0188	0.00419	0.0000307	0.00000129	0.000822	
コンクリートガラ	1,937	静岡県掛川市	6.1	13m	31.1	0.0627	38	0.0188	0.00511	0.380	0.00194	0.00100	
型枠	4,500	岡山県高梁市	493.6	16h28m	2,517.4	0.0627	38	0.0188	0.414	0.882	0.365	0.0000213	
改良トンキロ法算定式	式 1 改良トンキロ法算定式 CO ₂ 排出量 (t-CO ₂) = 輸送トンキロ (トンロ) × 改良トンキロ法燃料使用原単位 (l/トンロ) × 1/1000 (kl/l) × 単位発熱量 (GJ/kl) × 排出係数 (t-C/GJ) × 44/12 (t-CO ₂ /t-C)												
	式 2 輸送トンキロ算定式 輸送トンキロ = 貨物重量 (t) × 輸送距離 (km)												
	式 3 改良トンキロ法燃料使用原単位算定式 (ディーゼル車の場合) x : 貨物輸送量あたりの燃料使用量 (l/トンロ)、y : 積載率(%)※2、z : 貨物自動車の最大積載量(kg)とすると、 【2025 年度基準達成車】 : x = 8.83 / ((y/100) ^{0.812} / z ^{0.623}) 【2022 年度基準達成車】 : x = 10.8 / ((y/100) ^{0.812} / z ^{0.654}) 【2015 年度基準達成車】 : x = 14.0 / ((y/100) ^{0.812} / z ^{0.658}) 【その他】※1 : x = 15.0 / ((y/100) ^{0.812} / z ^{0.654})												
	※1 メーカー工場に搬入される車両は全て【その他】(2015 年度の基準未達成)として計算。												
	※2 y : 積載率の把握が困難であったため、IDEA V.3.5 2「燃料別最大積載量別の積載率別輸送トンキロ当たり燃料使用量 ⁹⁾ 」におけるみなし積載量より積載率 51%として計算した。												

表 4 ILB 製品の製造 1t あたりに使用される電気・ユーティリティ・燃料の主な CO₂ 排出量

		ILB 製造量		ILB 配分率 %	使用量	排出係数	排出量	排出量	参照
		t/年	m ³ /年				t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /t	
ユーティリティ	電気	17,414	116,272	62	297,058 kW/kWh	0.000412 t-CO ₂ /kWh	122.4	0.00703	メーカー工場データ(F) 環境省 事業者別排出係数(B) ⁽¹²⁾
	ガス				21 m ³ /年	6.00 kgCO ₂ /m ³	0.129	0.0000074	メーカー工場データ(F) 日本 LP ガス協会ガイドライン ⁽¹³⁾
	水道				190 m ³ /年	0.44 kgCO ₂ /m ³			メーカー工場データ(F) 日本レストルーム工業会 HP(B) ⁽¹⁴⁾
	燃料				9,177 l/年	2.619 t-CO ₂ /kl	24.0	0.00138	メーカー工場データ(F) IDEA V.3.5 2 輸 No.3(B) ⁽⁹⁾



a) 振動成型機(電気)



b) ボイラー(ユーティリティ)



c) 木製パレット(関連活動)

表 5 ILB 製品の製造 1t あたりに使用・処理される関連活動、コンクリートガラなどの主な CO₂ 排出量

		ILB 製造量		ILB 配分率 %	使用・発生量 /年	排出係数 t-CO ₂ /kl	排出係数 t-CO ₂ /t	排出量 t-CO ₂ /年	排出量 t-CO ₂ /t	参照
		t/年	m ² /年							
関連活動	灯油	17,414	116,272	62	0	2379 L	0.587	2.86	0.000164	環境省 排出係数(B) ⁽¹⁵⁾
	ハイライト 32				62	1000 L	0.587			環境省 排出係数 潤滑油(B) ⁽¹⁵⁾
	グリス				62	32,000 g	0.150			環境省 排出係数 グリス(B) ⁽¹⁵⁾
	型枠油				0	400 L	0.587			環境省 排出係数 潤滑油(B) ⁽¹⁵⁾
	離型剤				100	2,700 L	0.587			
	ガソリン				62	165 L	2.29			IDEA V.3.5 2 輸 No.1(B) ⁽⁹⁾
	廃プラ				98	1,600,000 g	0.136			IDEA V.3.5 8 廃 注 7(B) ⁽⁹⁾
	木製パレット				62	2,700 枚	0.0080			IDEA V.3.5 8 廃 注 9(B) ⁽⁹⁾
コンクリートガラ				90	2153 t	0.00107	2.07	0.000119	0.000119	IDEA V.3.5 8 廃 注 15(B) ⁽⁹⁾

備考) 表 3,4,5 で(B) :バックグラウンドデータ(赤字)、(F) :フォアグラウンドデータ(青字)

図 5 工場の使用物品例

6. ILB 製品の炭酸化による CO₂ 固定化理論

6. 1 ILB の組成とセメントの反応

図 6 に ILB の構成材料とセメントに生じる反応を示す。セメントは主にクリンカとせっこうから成り、クリンカ中のエーライト C₃S、ビーライト C₂S は、ILB 中の水分と水和反応して、ケイ酸カルシウム水和物 CSH、水酸化カルシウム Ca(OH)₂ を生成する。これらが CO₂ と炭酸化反応することで、ILB に CO₂ が固定される。

6. 2 単位セメントあたりの CO₂ 固定化理論値

6. 1 で示した CO₂ 固定化理論を元に、単位セメント量あたりに吸収・固定化される CO₂ 量の理論値を算出する。式(1)~(4)にセメントの水和反応式と炭酸化反応式を、表 6 に理論値とその計算過程を示す。セメント中の C₃S、C₂S の構成比率と水和反応率をそれぞれ表に示すものと仮定すると¹⁰⁾、単位セメントあたりの CO₂ 固定量は 35.0% と見積もることができる。これを使用するセメント量に乘じること、理論値としての CO₂ 固定量が簡易的に求まる。

7. ILB 製品における炭酸化試験と CO₂ 固定化理論値との比較

7. 1 概要

本試験では、ILB 製品における CO₂ 固定量の理論値と実測値を照合することを目的に ILB 製品の炭酸化試験を行う。

7. 2 使用材料および試験内容

表 7 に ILB 試験体概要および炭酸化養生条件を示す。試験体は普通（非透水）ブロックと透水ブロックの 2 種類とし、各 3 体を用いた。うち 2 体を CO₂ 濃度 5% の中性化促進試験器で、1 体を CO₂ 濃度 0% で約 1 年間保存し、重量変化を測定した。初期重量との差から CO₂ 吸収量の実測値を算出し、細田らの論文¹⁾に示す方法で、中性化進行式¹⁷⁾および W/C と中性化速度係数の関係式¹⁸⁾(和泉式)を用いて、試験環境における炭酸化進行度 S を設定した。

7. 3 炭酸化試験結果と CO₂ 固定化理論値との比較

図 7 に炭酸化試験による各ブロックの重量変化を、表 8 に ILB 製品における CO₂ 固定量の理論値と実測値の比較結果を示す。炭酸化を行った N2、N3、W2、W3 の重量増加が大きく、ILB 製品が炭酸化反応によって即時的に CO₂ を吸収していることが分かった。一方、理論値は、実測値の 1.5~1.9 倍程度という結果となった。これは、理論値算出時に仮定した単位セメント量あたりの C₃S、C₂S の構成比率・水和率や、水セメント比による炭酸化進行度のズレによるものと考えられる。今後は、より理論値の精度を上げるために、理論値の計算に影響する因子について検討する。

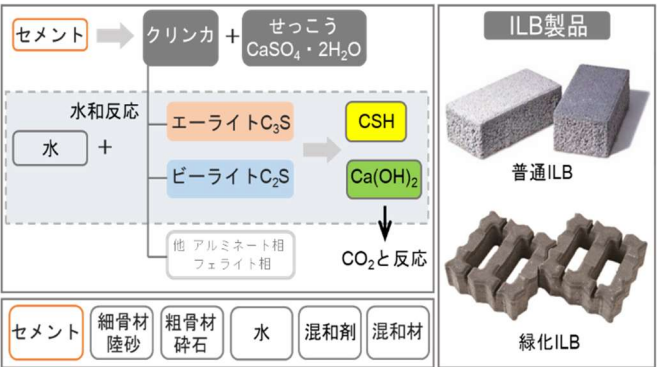


図 6 ILB 製品の主な構成材料とセメントの反応

式(1) - (4) セメントの水和反応式 と炭酸化反応式(分子量)

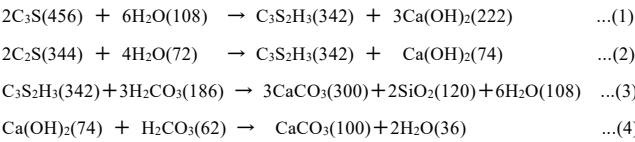
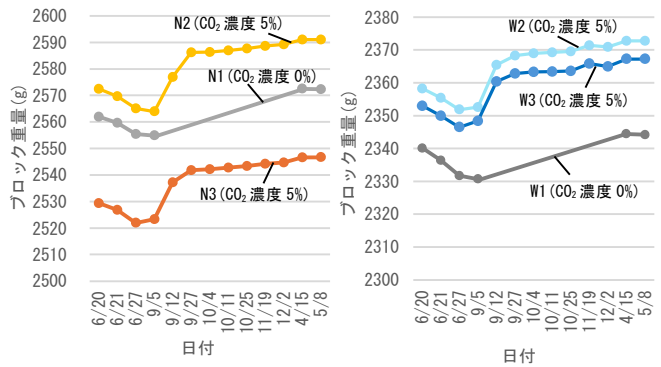


表 6 セメントの炭酸化による CO₂ 固定化理論値と計算式

理論値	CSH 生成量	CSH の CO ₂ 固定量	Ca(OH) ₂ 生成量	Ca(OH) ₂ の CO ₂ 固定量	総 CO ₂ 固定量
	0.506	0.195	0.261	0.155	0.350
計算式	単位セメント量あたりの C ₃ S、C ₂ S の構成比率 C と水和率 H を、C ₃ S(C:52%/H:90%)、C ₂ S(C:23%/H:68%) と仮定 ¹⁵⁾ CSH の生成量 1 × 0.52 × 0.9 × 342/456 + 1 × 0.23 × 0.68 × 342/344 ≒ 0.506 Ca(OH) ₂ の生成量 1 × 0.52 × 0.9 × 222/456 + 1 × 0.23 × 0.68 × 74/344 ≒ 0.261 CSH における CO ₂ 固定量 1 × 0.506 × 132/342 ≒ 0.195 ... (1) Ca(OH) ₂ における CO ₂ 固定量 1 × 0.261 × 44/74 ≒ 0.155 ... (2) 単位セメントあたり総 CO ₂ 固定量 (1) + (2) ≒ 0.350 (35.0%)				

表 7 ILB 試験体概要と炭酸化養生の様子

試験体	中性化促進試験器 温度:T, 湿度:H, CO ₂ 濃度:C	体積 cm ³	初期重量 g	W/C %	中性化試験写真
非透水 ILB	N1 T20°C, H60%, C0%	1173	2530	40	
	N2 T20°C, H60%, C5%	1170	2550		
	N3 T20°C, H60%, C5%	1167	2550		
透水 ILB	W1 T20°C, H60%, C0%	1182	2350	30	
	W2 T20°C, H60%, C5%	1176	2340		
	W3 T20°C, H60%, C5%	1173	2350		



a) 非透水ブロック b) 透水ブロック

図 7 炭酸化試験によるブロックの重量変化

表 8 CO₂ 固定量の理論値と実測値の比較

記号	初期重量 P (g)	炭酸化 進行度 S (%)	理論値/CO ₂ 固定量		実測値/ CO ₂ 固定量 (g)	理論値= 実測値 × X
			比率 R (%)	P×R/100×S/100 (g)		
非透水	N2 2550	35.8	5.59	51.0	27.1	1.88
	N3 2350			47.0	24.7	1.90
透水	W2 2340	25.7	5.38	32.4	20.9	1.55
	W3 2350			32.5	20.8	1.56

8. 炭素固定性のある ILB 製品のライフサイクルカーボンの算出

8. 1 概要

5章で示した ILB 製品の製造・使用時にかかる CO₂ 排出量を用いて、3種類の ILB 製品についてライフサイクルカーボンを算出する。

8. 2 算定対象とする ILB 製品概要

表9に算出対象とする3種類の ILB 製品の調合を示す。ILB は表層・基層の2層構造を基本とし、ホタテ貝殻を全層に使用するもの、基層のみに使用するもの、不使用の3種類についてライフサイクルカーボンを算出する。併せて、広義のブルーカーボンとして期待されるホタテ貝殻の CO₂削減効果を検証する。

8. 3 ILB 製品のライフサイクルカーボン算出結果

表10に3種類の ILB 製品のライフサイクルカーボン算出結果を、図8に CO₂排出量および固定量の内訳を示す。各項目について、1tあたりの CO₂排出係数に単位量を乗じて排出量を算出した結果、排出量の大半は材料の製造・運搬由来であることが分かった。さらに、ホタテ貝殻およびセメントの炭酸化による CO₂固定量を考慮し、排出量から固定量を差し引いた総 CO₂排出量により製品間の環境影響を比較した。その結果、ホタテ貝殻を使用した ILB 製品では CO₂固定量が大幅に増加し、カーボンニュートラル/カーボンネガティブとなる可能性が示された。なお、セメントによる CO₂固定量は、ILB 製品の設計年数20年を想定して算定した。

表9 算出対象の ILB 製品の調合(kg/m³)と ILB 施工後の公園の様子

種類	ホタテ 不使用	基層 ホタテ使用	全層 ホタテ使用
記号	S0	SB	SA
ホタテ貝殻 h,k	0	310	729
セメント h,k	305	305	303
砂利 採石	かんすい h		42
	恵那 h	144	144
	陸砂 k	134	134
砕石	7号砕石 k	1342	1030
地下水	97	97	96





9. 炭素固定性のある ILB 製品施工物件のライフサイクルカーボンの算出

9. 1 概要

8章で算出した ILB 製品ごとの CO₂排出量を用いて、使用年数20年を想定した ILB 製品施工物件のライフサイクルカーボンを算出する。なお、本検討では製品の製造・使用段階における CO₂排出・固定量を対象とし、施工時の CO₂排出量は含まない。

9. 2 ILB 製品施工物件概要

図9に算定対象とする ILB 製品施工物件「豊洲ぐるり公園」の施工提案図を示す。本物件における ILB 製品の施工面積は約3.1ha、使用ブロックは非透水の普通ブロックを主体とし、上段には表層にホタテ貝殻を使用したブロックが採用されている。

9. 3 ILB 製品施工物件のライフサイクルカーボン算出結果

表11および図10に、豊洲ぐるり公園における ILB 製品施工物件のライフサイクルカーボン算出結果を示す。既存 ILB 製品では、使用期間20年でセメントの炭酸化により40.6tの CO₂が固定されることが確認された。さらに、上段 ILB 製品をホタテ貝殻を使用したカーボンニュートラルな ILB 製品 (SA) に置換した場合、上段由来の CO₂排出量742tが0tとなり、37.0tの CO₂固定が得られ、物件全体で779tの CO₂削減効果が見込まれる結果となった。提案段階から物件全体のライフサイクルカーボンを示すことで、設計初期における環境性能の定量的な比較が可能となる。

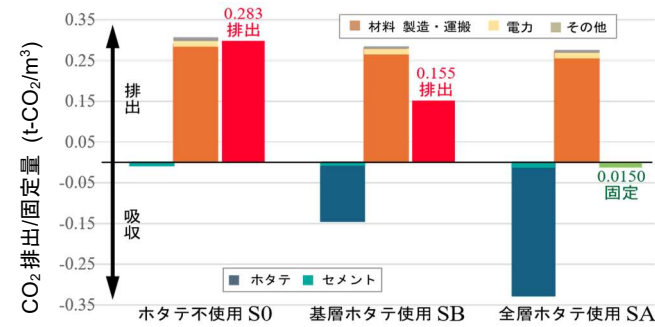


図8 3種類の ILB 製品の CO₂ 排出・固定量内訳

表10 3種類の ILB 製品における製造・使用量1立米あたりのライフサイクルカーボン

ライフサイクル カーボン		分類	項目	詳細	CO ₂ 排出量 t-CO ₂ /t	運搬 CO ₂ 排出量 t-CO ₂ /t	単位量 kg/m ³			CO ₂ 排出量 t-CO ₂ / m ³			CO ₂ 固定量 t-CO ₂ / m ³			総 CO ₂ 排出量 t-CO ₂ / m ³		
							S0	SB	SA	S0	SB	SA	S0	SB	SA	S0	SB	SA
S0,SB,SA 共通事項																		
エンボ デイト カー ボン	ア ッ プ ロ ン ト カ ー ボ ン	CO ₂ 固定	ホタテ貝殻 (ブルーカーボン)		0.44 固定 0.00669	0.0482	0	310	729	0	0.0170	0.0400	0	0.136	0.321	0.290	0.162	-0.00790
			セメント		0.758	0.00948	305	305	303	0.234	0.234	0.233						
		砂利 採石	かんすい		0.0773			42			0.00374							
			恵那	0.0118	0.0251	144	144		0.00531	0.00531								
		砕石	陸砂		0.00285	134	134	134	0.00196	0.00196	0.00196							
			7号砕石	0.00669	0.0116	1342	1030	716	0.0245	0.0188	0.0131							
		地下水		0	0	97	97	96										
		顔料		0.000638	0.0000329				0.00136	0.00129	0.00129							
		型枠		0.000902	0.0000213				0.00187	0.00178	0.00178							
		電力		0.00703					0.0142	0.0135	0.0135							
		ユーティリティ		0.00000741					0.0000150	0.0000142	0.0000143							
		燃料		0.00138					0.00279	0.00265	0.00266							
		関連活動		0.000164	0.000822				0.00199	0.00190	0.00190							
	コンクリート	ガラス 陶磁器くず	0.000119	0.00100				0.00227	0.00020	0.000154								
CO ₂ 固定	セメント (ホワイトカーボン)	100% 4,254 年後	0.350		305	303				0.107	0.106	0.183	0.055	-0.114				
		6.86% 20 年後	0.0240							0.0073	0.0073	0.283	0.155	-0.0150				

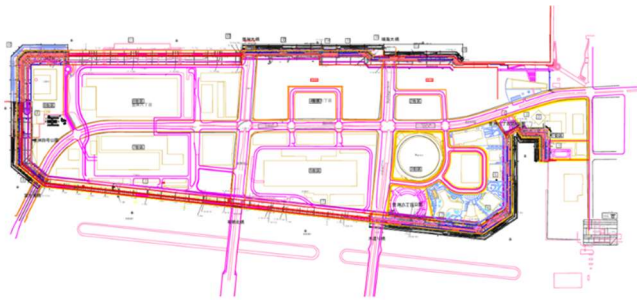


図9 豊洲ぐるり公園 施工提案図(ILB 割付ハッチング付)

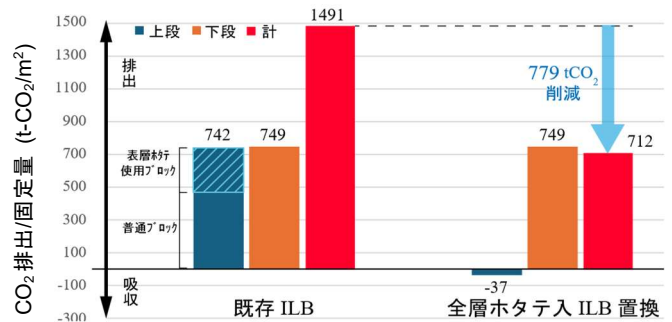


図10 ホタテブロックに置換後のCO₂ 排出・固定量内訳と削減効果

表 11 ILB 施工施工物件（豊洲ぐるり公園）におけるライフサイクルカーボンとセメントの炭酸化によるCO₂削減効果

			平米あたり CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /m ²)		施工面積 m ²	総 CO ₂ 排出量 t-CO ₂				炭酸化による CO ₂ 固定量 t-CO ₂	
			アップフロント 製造	エンボディド 製造・使用 20 年		アップフロント 製造		エンボディド 製造+使用 20 年		炭酸化 20 年 6.86%	
既存	上	普通ブロック	0.0249	0.0242	19365	482	計	469	計	12.4	39.6
		表層ホタテ使用ブロック	0.0243	0.0236	11554	280	762	273	742	7.4	
	下	普通ブロック	0.0249	0.0242	30919	769		749		19.8	
置換	上	カーボンニュートラルブロック (全層ホタテ)	-0.000614	-0.00120	30919	-19.0		-37.0		18.0	37.8
	下	普通ブロック	0.0249	0.0242	30919	769		749		19.8	

10. まとめ

本研究で以下の知見が得られた。

- ISO 13315-2 プレキャストコンクリート製品の製造におけるシステム境界図を参考に、ILB製品のシステム境界図を作成した。
- ILB製品の原材料・型枠の製造にかかるCO₂排出量は、産業技術総合研究所が示すインベントリデータ IDEA⁶⁾を参照できる。
- ILB製品の原材料や廃棄物の運搬・貯蔵にかかるCO₂排出量は、国土交通省資源エネルギー庁が提示する改良トンキロ法⁷⁾や、貨物列車を利用して運搬する際は、日本貨物鉄道株式会社がまとめるエネルギー使用量・CO₂排出計算シート⁸⁾を参照できる。
- ILB製品の製造に使用される電気・ユーティリティ・燃料にかかるCO₂排出量は、インフラ供給機関が公表するバックグラウンドデータを参照できる。
- 関連活動・コンクリートガラにかかるCO₂排出量は、環境省が示す排出係数やIDEAを参照できる。
- CO₂固定化理論を元に、単位セメント量あたりに吸収・固定化されるCO₂量の理論値を算出すると、CO₂固定率35.0%と見積もることができる。この値を使用したセメント量に乗じることでCO₂固定量を簡易的に求めることができる。
- CO₂固定量の理論値は実測値の約1.5~1.9倍を示した。これは、理論値算出時に仮定した単位セメント量あたりのC₃S・C₂Sの構成比率や水和率、水セメント比に基づく炭酸化進行度の設定に差異が生じたためと考えられる。今後は、理論値算出に影響を及ぼす因子について整理・検討し、算定精度の向上を図る。
- 原材料と型枠の製造・運搬、電力、ユーティリティ、燃料、関連活動、コンクリートガラの各項目について、1tあたりのCO₂排出係数を単位使用量に乗じることで、ILB製品ごとのCO₂排出量を算出できる。
- ホタテ貝殻を有効に使用することで、CO₂固定分が大幅に増え、結果的にカーボンニュートラル/カーボンネガティブとなるILB製品やILB製品施工物件の実現が見込める。
- 提案段階から物件全体のライフサイクルカーボンを示すことで、設計初期における環境性能の定量的な比較が可能となる。

参考文献

- 細田, 松山, 田村, 野口, 既存建物群の各種統計情報に基づくコンクリート量分析と資源循環シナリオの構築, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2024,3
- 野口貴文,2050年カーボンニュートラルに対するコンクリートの挑戦, 国土政策研究所講演会,2022
- 日本規格協会, コンクリート及びコンクリート構成材料に固定化した二酸化炭素の定量, JIS A 1016-1, -2, -3, 2025
- 細田, 田村, コンクリートブロック製品におけるCO₂固定化理論値の算定と実製品の評価, 日本建築士学会大会学術講演梗概集, 2025.10
- Hosoda, Calculation Method of Theoretical CO₂ Fixation Values and Production Evaluation on Environmental Conscious Interlocking Blocks, ISAT24, 2025.11
- 小室, 田村, 炭素固定性を有する海洋生物殻を用いた鉄筋コンクリート造建築物のカーボンニュートラル性の検討, 日本建築学会技術報告集, 第40号, pp.841-846, 2012,10
- 国土交通省, 建築物のライフサイクルカーボンの算定・評価等を促進する制度に関する検討会:建築物のライフサイクルカーボンの削減に向けた制度のあり方 中間とりまとめ (案), p4, 2025.10
- 日本規格協会, プレキャストコンクリート製品の製造のシステム境界, JIS Q 13315-2, 2019
- 産業技術総合研究所, サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.3.5), 2025.03
- 国土交通省・経済産業省, 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.3.2), 2023.06
- 日本貨物鉄道株式会社, エネルギー使用量・CO₂排出計算シート, 日本貨物鉄道株式会社 HP, 2025.02
- 環境省, 温室効果ガス排出量電気事業者別排出係数一覧, 2025.07
- 日本LPガス協会, CO₂排出原単位に係るガイドライン, 2008.12
- 一般社団法人 日本レストルーム工業会, 水のCO₂換算係数について, 日本レストルーム工業会 HP, 2026.01
- 環境省, 燃料種別発熱量及び二酸化炭素排出係数一覧, 2026.01
- 森茂二郎, セメント化学からみたコンクリート工学と接点上の諸問題, コンクリート工学, Vol19, No.11, pp.7-10, 1981.11
- 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説, 日本建築学会学術講演梗概集, 2022.9
- 和泉登志, コンクリートの中性化速度に基づく鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計手法に関する研究, 大阪大学学位論文, 1991.12

謝辞

本研究の実験・分析に際し、関係者には多大なるご助力を賜りました。改めて感謝申し上げます。