実態調査に基づく戸建て住宅の構成部材の環境負荷簡易推計

ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL LOAD OF CONSISTING COMPONENT FOR DETACHED HOUSE

近田 智也*, 井上 隆**
Toshiya CHIKADA and Takashi INOUE

The purpose of this study is to formulate the simplified method of estimating the environmental load of consisting component for detached house. In this paper, investigating the actual prefabricated houses in detail, analyzing the approximate 5,000 pieces of materials to convert into CO₂ emission amount, the relationship between CO₂ emission amount and houses' form/scale was examined. It was shown that the proposed formula could estimate the amount of emitted CO₂ easily at practical accuracy by using a total floor area.

Keywords : *Environmental load, CO₂ emission, Detached house, Estimating method, Field survey*

環境負荷, CO₂ 排出量, 戸建て住宅, 推計手法, 実態調査

1. はじめに

住宅の構成部材の生産に係わる CO₂ 排出量は、ライフサイクル全体の約 1～2 割を占めるとされる。環境負荷の少ない住宅を供給するためには、生産段階において排出量の少ない部材を選択することは重要である。戸建て住宅に関するこの部分の見積もりに関しては過去に幾つかの報告例^{1)~4)}があり、各報告においてその資材別の内訳が試算されている。例えば、鈴木ら²⁾は産業連関表を用いて戸建て住宅 6 棟の主要部材について、野城ら³⁾は積み上げ方式で住宅 5 棟について、いずれも図面と見積もり表を元に部材量を拾い、試算を行っている。これらの単位面積当たりのエネルギー使用量は概ね同じ値を示している。これは、住宅が一般建物に比べて規模や形状・仕様が限定されており、住宅の環境負荷が歩掛かり等を用いた定式化により推計できる可能性があることを示している。

環境負荷を推計するためには既往の研究に見られる様に、建物 1 棟を構成する詳細な部材量情報を集め、CO₂ 換算するという作業が必要である。しかし、建築物は極めて多くの部材から構成されており、負荷の算定には多大な労力と時間を要するため、実際の設計段階での評価は困難である。本報では、工業化住宅 (S 社) を対象に、CO₂ 排出量の簡易推計手法の作成を試みた結果を報告する。CO₂ 排

出量は、住宅の規模、形状、仕様、構法により影響を受ける事が、既往の研究結果からも推察される。特に、構法は排出割合の大きい躯体に直接関係し、また各部材の接手法などにも影響するため、推計式は構法毎に異なる事が予想される。ここでは、軽量鉄骨軸組み構法を対象とした推計方法の構築を試みた。

2. 住宅構成部材の実態調査

2.1 調査対象建物および調査方法

推計法構築に先立ち、住宅を構成する部材量の実態調査を行った。ここでは軽量鉄骨軸組み構法に加え、比較対象として、重量鉄骨、木造についても併せて検討を行った。調査対象は表 1 に示す 10 棟の工業化戸建て住宅である。軽量鉄骨系軸組み構法が 6 棟、重量鉄骨系ラーメン構法、木質系軸組み構法がそれぞれ 2 棟ずつである。延べ床面積は 96～213 m²まで様々である。それぞれの建物は概ね 1000 品目に上る部材より構成されており、本調査では全物件合わせて約 5,000 部材に対する調査を行った。

今回、これら 10 棟を構成する全部材について、それぞれの部材メーカー全 132 社に対して、部材毎の材料・重量、および製造エネルギーと輸送エネルギーの調査を行った。部材が、複数の材料から

* 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻
大学院生・工修

** 東京理科大学理工学部建築学科 助教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Science Univ. of Tokyo, M. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

表1 調査対象建物概要

		軽量鉄骨軸組み						重量鉄骨系ラーメン		木質系軸組み	
物件名		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
階数		2 階	2 階	2 階	2 階	2 階	2 階	3 階	3 階	2 階	2 階
面積(㎡)	延べ床	137	147	96	188	162	143	180	187	213	137
	1 F 床	70	88	49	97	96	79	54	63	121	68
	2 F 床	67	59	47	91	66	64	58	62	92	69
	3 F 床	—	—	—	—	—	—	68	62	—	—
全周長(m)		72	77	58	87	77	71	99	99	85	75
窓面積率(%)		35.5	27.7	33.6	22.5	27.8	29.4	24.1	19.2	25.7	20.9
室数		6DK	4LDK	4DK	5LDK	5LDK	5LDK	4LDK	5LDK	7DK	4LDK
下屋の有無		無	有	無	無	有	有	無	無	有	無

構成される場合は、材料レベルまで分割し、それぞれの重量を調べた。製造・輸送エネルギーについては、複数の種類の部材を製造するなど、特定部材だけに係るエネルギー量を見積もる事が困難である場合、製造工場の年間消費エネルギー、および年間輸送エネルギーを出荷金額で除した値に部品の金額を乗じる事で、間接的に算出した。それらの資材およびエネルギーを、産業連関表の行部門に割り付け、1999 年建築学会公表の CO₂ 排出原単位を乗じて算出した。なお、照明・空調・キッチン・バス・トイレ等の、電気・ガス・給排水の設備機器は検討対象より除いた。

2.2 資材別重量集計結果

ここでは、全部材を主要な 6 種類の資材に分割し、これらに属さない非鉄金属、紙などをその他として分類した。図 1 に各物件の単位床面積当たりの使用量を示す。最も重量が大きいのは、基礎に用いるコンクリートであり、全体の約半分を占める。重量鉄骨系の 2 棟の総重量が他より小さくなっているのは、この基礎部に関する重量を 3 階分の床面積で除したためである。次に大きいのは瓦、石膏ボード、外壁サイディング材、ALC などの窯業建材である。さらに躯体の鉄部材、それから主に内装材として使われる木部材が続き、これら 4 資材で、全体の約 95% を占めることがわかる。

2.3 部位別重量集計結果

図 2 に、住宅を構成する部位毎に分類した結果を示す。図 1 で 5 割を占めていたコンクリートを全て含む基礎が圧倒的に重く、全体の約 6 割を占める。次に内装材、外装材の割合が大きく、合わせて 3 割程度となっている。躯体については、全構法とも 1 割程度の割合となっている。

2.4 部位別 CO₂ 排出量集計結果

これらを CO₂ に換算すると図 3 の様に、割合がかなり異なる結果となる。基礎に使われるコンクリートは CO₂ 排出原単位が小さいため大幅に減り、相対的に他の部位の割合が増えている。特に原単位の大きな金属を含む躯体、開口部や接合部材、様々な複合材が多い内装材の割合が大幅に大きくなるがわかる。

軽量鉄骨系 6 棟について平均した各部位の内訳を図 4 に示す。今回の分類において、基礎と躯体を除いて最も大きな割合となった部位は内装の床であり、全体の約 1 割を占める。これは、2 F 床に使用されている ALC や下地材の合板・パーティクルボードの影響が大きい。外装材については窯業建材と鉄フレームで構成された外装パネルと、内装下地である木材の影響が大きい外壁の割合が最も多くなった。

図1 住宅毎の単位床面積当たりの資材別重量

図2 住宅毎の単位床面積当たりの部位別重量

図3 住宅毎の単位床面積当たりの部位別 CO₂ 排出量

3. 簡易推計手法の検討

3.1 推計式の考え方

このように、住宅1棟の構成部材に関して排出されるCO₂量を算出するためには、膨大な作業が必要となる。ここでは、以上の調査結果を基に、CO₂排出量を簡易に求める回帰式の作成を試みた。屋根、壁、床などのまとまった部位を構成する部材に関する排出量は、それぞれの部位面積との関係が大きいことは容易に想像される。しかし、例えば、大きな部位では躯体、細かな部材ではボルトやナットなどの接合部材は、面積との関連性を示しにくい。よって、ここでは全部材を、「屋根・壁・床などの部位面積との関係が明らかな部材」とそれ以外の部材に分け、それぞれについて別の手法で推計する手法を採用した。前者については、「単位面積当たりのCO₂排出量」を別途求めておき、これにそれぞれの部位面積を乗じることとで算出し、後者については住宅の規模や形状に関する情報を用いて回帰式を作成し算出する。この方法を用いれば、前者の方法で求める部位の仕様を変更する際には、「単位面積当たりのCO₂排出量」を再計算する事で容易に求める事が可能である。以下に推計式を示す。

図4 単位床面積当たりの部位別CO₂排出量
(軽量鉄骨軸組み構法の平均)

【屋根・壁・床などの部位面積との関係が明らかな部材の推計式】

$$Y1 = \sum_{i=1}^8 I_i \cdot A_i \quad \dots (1)$$

Y1 : 表2に示す部位のCO₂排出量の合計 (kg-CO₂)

i : 表2に示す各部位

I_i : 部位iの単位面積当たりのCO₂排出量 (kg-CO₂/㎡)

A_i : 部位iの面積 (㎡)

【部位面積との関係が不明確な部材の推計式】

$$Y2 = \sum_{j=1}^{16} f(x1_j, x2_j) \quad \dots (2)$$

$$f(x1_j, x2_j) = b_0 + b_1 \cdot x1_j + b_2 \cdot x2_j \quad \dots (3)$$

Y2 : 表3に示す部位のCO₂排出量の合計 (kg-CO₂)

j : 表3に示す各部位

表2 式(1)で用いる部位分類

i	部位	部材など
1	外装	屋根
2		外壁
3		窓
4	内装	天井(上階無し)
5		天井(上階有り)
6		間仕切り壁
7		床2F
8		床1F

表3 式(2)で用いる部位分類

j	部位	部材などの例
1	基礎	コンクリート、鉄筋、アンカーボルト
2	躯体	軸組み、梁、母屋、大引き、筋交い
3	外装	屋根関連部材
4		外壁関連部材
5		軒関連部材
6		扉関連部材
7		窓関連部材
8		天井関連部材
9		間仕切壁関連部材
10	内装	造作材
11		階段
12		収納
13		建具
14	水密・気密材	防水テープ、水密材、気密材、シリコン剤
15	バルコニー	バルコニー部材全て
16	接合部材	ボルト、ナット、ワッシャー、ビス、接着剤、各種金具類

表4 式(2)で用いる説明変数および係数

j	部位		$x1_j$	$x2_j$	b_0	b_1	b_2	R^2
1	基礎		延べ床面積	出入り隅数	187.791	40.806	43.139	0.94
2	躯体		延べ床面積	出入り隅数	-1078.338	47.908	254.259	0.92
3	外装	屋根関連部材	延べ床面積	出入り隅数	-137.332	1.492	11.986	0.89
4		外壁関連部材	延べ床面積		-394.702	6.425		0.87
5		軒関連部材	延べ床面積	全周長	-3003.549	-31.945	127.034	0.69
6		扉関連部材	537.197 (kg-CO ₂)					
7	内装	窓関連部材	延べ床面積	窓面積	-145.624	1.053	9.908	0.73
8		天井関連部材	1 F 床面積	2 F 床面積	41.733	3.495	0.247	0.97
9		間仕切壁関連部材	間仕切壁長	出入り隅数	-520.174	36.542	-22.113	0.79
10		造作材	延べ床面積		-251.644	3.181		0.80
11		階段	2208.315 (kg-CO ₂)					
12		収納	延べ床面積	全周長	-1796.371	-21.740	81.396	0.93
13		建具	延べ床面積	間仕切壁長	1253.346	34.989	-91.780	0.62
14	水密・気密材		延べ床面積		-503.926	6.900		0.96
15	バルコニー		1344.052 (kg-CO ₂)					
16	接合部材		全周	外壁面積	-6057.723	296.856	-96.284	0.81

$f(x1_j, x2_j)$: 部位 j の CO₂ 排出量 (kg-CO₂)

$x1_j, x2_j$: 回帰式の説明変数

b_0, b_1, b_2 : 回帰式の係数

(1) 式と (2) 式の和により、住宅 1 棟分の CO₂ 排出量を求められる。

ここでは、表 1 で示した 10 棟のうち、軽量鉄骨系軸組み構法の 6 棟の情報を用いて推計式の作成を試みた。この 6 棟は規模や形状が異なる物件であるが、当該構法で建設された戸建て住宅の代表的プランである。なお、式 (1) と式 (2) で計算される CO₂ 排出量の割合は、6 棟の平均でそれぞれ概ね 3 割、7 割である。

3.2 推計式の作成

式 (1) については、表 2 の各部位毎に、設計図面から表面積と各部単位表面積当りの CO₂ 排出量を求めておく。式 (2) については 6 棟それぞれについて表 3 に示す部位毎に CO₂ 排出量を分類し、この量と建物の規模や形状を表す因子との回帰分析を行った。回帰式の説明変数として検討した項目を以下に示す。設計時に推計を行うことを目的とするため、これらは、平面図・立面図などの基本図面より得られる情報を主とした。

【検討した因子】

面積：延べ床面積、各階床面積、外壁面積、屋根面積、窓面積

長さ：全周長、各階周長、間仕切壁長、屋根周長

その他：部屋数、窓数、出入り隅数

これらの組み合わせを用いて作成した推計式の中で、最も相関係数が高い回帰式を構成する説明変数および係数を表 4 に示す。6 棟という限られた情報より作成した推計式であるが、自由度を考慮した相関係数は概ね高く、中でも大きな CO₂ 排出割合を示す「基礎」「躯体」については特に良い相関が得られた。なお、「外装扉」「階段」「バルコニー^{註1)}」は仕様や個数などにより決まる情報であり、

建物規模や形状の情報との良好な精度は得られなかった。したがって、ここでは詳細調査結果の平均値を与えることで、近似的に推計することとした。

3.3 精度検討

図 5 に、詳細に見積もった排出量と、本推計式により求めた値との相関図を示す。図面より読み取れる 8 種類の情報より、かなり良い精度で計算できる事が確認された。

4. 更なる簡易推計の検討

4.1 概要

式 (1)、式 (2) で使う変数は合わせて 12 種類であり、これらの情報は図面より容易に得られるが、例えば「一年間に建設した戸数」あるいは「ある地域に建設した戸数」といった単位での総量を知りたい時には、一件毎にこれらの情報を集めるには大変な労力を

図5 推計値と実態値の相関

図6 延べ床面積のみの推計値
と実態値の相関

図7 全周長のみの推計値
と実態値の相関

図8 延べ床面積と全周長の重回帰式
による推計値と実態値の相関

要する。ここでは、建設戸数に関する統計データとして一般的に取られる事が多い、「延べ床面積」と「全周長」だけの推計式を作成し、その精度について検討を試みた。

4.2 推計式の作成および精度検証

式(1)、(2)で使う12の変数と「延べ床面積」「全周長」との関係について、表1に示す調査物件を含まない21件のプランを基に回帰分析を行った。この21物件は、当該構法の標準的な100プランのうち、100㎡以上200㎡未満で、かつ規模や形状が異なるプランを選んだ。

式は、推計時に得られる情報の「延べ床面積」「全周長」について、それぞれ単独で得られた場合と、両データが得られた場合の3ケースについて作成した。それぞれのケースにおいて実態値との精度確認を行った結果を図6～図8に示す。これに、式(1)と式(2)による推計結果を合わせ、精度の比較を行った。具体的には、図中に示される推計値を構成する部位毎の推計値それぞれについて、実態値との差を二乗し、これの6棟分の平均値を全部位について積み上げた値を比較した。その結果、式(1)と式(2)による推計値の誤差に対して、「延べ床面積のみ」「全周長のみ」「延べ床面積と全周長」の誤差はそれぞれ、1.5、8.1、2.8となった。

これより、最も一般的な情報である「延べ床面積のみ」の推計式により、「式(1)と式(2)」による結果より多少精度は落ちるが、設計の初期段階で簡易に推計する場合、まとまった戸数の総量をおおまかに把握する場合などには、十分な精度で推計可能である事が示された。

5. まとめ

本論文では、工業化住宅を対象に、構成部材に関する詳細な実態調査を行い、これに基づき設計時に活用できるCO₂排出量の簡易推計法を作成した。実態調査では、3構法におよそ10棟について、重量およびCO₂排出量を資材別、部位別に、内訳について整理した。また、この内、軽量鉄骨軸組み構法6棟の結果を基に、屋根・壁・床・開口部など主要部位の仕様変更が反映される簡易推計式を作成し、概ね良好な精度で計算できることを確認した。これにより、CO₂排出を抑制する実効性ある具体方策を設計に反映することが容易になる。

本推計式では、バルコニーなど一部の部材を定数化したり、設備

関係部材を省くなど、課題は残されている。また、建物の規模や形状については本検討でもできるだけ異なる物件を用いて式を作成したが、複雑な形状、あるいは一般的でない間取りの建物については、十分に対応できないケースが考えられる^{註2)}。これらについては、今後更に多くのデータを加える事で、より汎用性のある式を作成する事が可能と考えている。

【註釈】

- 1) 本調査物件には全てバルコニーが設置されていた。単位床面積当たりのCO₂排出量には幅があり、床面積以外に、設置方法(持ち出しタイプ、屋根上タイプ等)や仕上げの仕様により影響を受ける事が確認された。回帰式を作成するためには、調査母数を増やし、これらの情報を説明変数として検討する必要がある。
- 2) 本推計式の適用範囲は、基とした調査物件により制限を受ける。主な制限事項としては、「二階建て」「勾配屋根(今回は5寸)」「吹き抜けがない事」「建物形状が複雑でない事」等が上げられる。更に、実態調査による部材原単位を用いた回帰式で表される式については、部材仕様あるいは部材の製造・輸送エネルギーの変更により影響を受ける。

【参考文献】

- 1) 建設省総合技術プロジェクト：省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発 平成四～八年度報告書
- 2) 鈴木道哉、岡 建雄、岡田圭史：産業連関表による建築物の評価、その3、住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量、日本建築学会計画系論文報告集、第463号、pp.75～82、1994.1
- 3) 野城智也 ほか5名：資源有効利用を考慮した住宅構法システムに関する研究、第10回建築生産と管理技術シンポジウム、日本建築学会、1994.7
- 4) 石田建一、木戸一成：工業化住宅のLCA手法に関する研究、その1)モデル住宅の使用材料、その2)モデル住宅のLCCO₂の算出結果、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp.991～994、2000.9
- 5) (社)日本建築学会 地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会：建築のLCA 指針(案)～地球温暖化防止のためのLCCO₂を中心として～、1999.11
- 6) 総務庁：平成7年(1995年)産業連関表－総合解説編－、1999.5
- 7) 総務庁：日本標準産業分類 分類項目名、説明及び内容例示、1993.10
- 8) 竹内 啓：数理統計学、東洋経済新報社、1977.2

(2001年3月10日原稿受理、2001年6月22日採用決定)