研究論文(Research Article)

木造住宅建設時の環境負荷に関する研究：高床式住宅と2階建て木造住宅と3階建て木造住宅の搬入資材と搬出資材の重量比較及び搬入資材によるCO₂排出量の比較

高村 秀紀^{1,*}・浅野 良晴¹・生駒 翔也²

The Environmental Impact of Constructing Wooden Houses: A Comparison of Weight of Construction Materials and the Waste and CO₂ Emissions from Construction Materials Between a High-foundation Wooden House, Two Two-story Wooden Houses and a Three-story Wooden House

Hideki TAKAMURA^{1,*}, Yoshiharu ASANO¹ and Shoya IKOMA²**Synopsis:**

Objective. Modern wooden houses are constructed from various materials, some of which result in high CO₂ emissions during factory production. We have to clearly understand the environmental impact of modern wooden houses. Most researchers focus only on CO₂ emissions from energy consumption in a household after construction. There is little research focused on the CO₂ emissions from actual home construction. Most researchers in Japan calculate CO₂ emissions using construction material measurements from housing blueprints. However, these values are not accurate. These inaccuracies stem from the difficulty in calculating the total weight of construction materials from blueprints. This leads to a difference between the weight based on actual measurements and the estimated weight based on calculations. We measured all weights of the construction materials and waste. We chose four target houses: one high-foundation wooden house (House A), two two-story wooden houses (Houses B and C) and one three-story wooden house (House D). We compared the weight of construction materials and waste between these four houses. Next, we calculated CO₂ emissions using the weight in construction materials we measured.

Results and Discussion. We obtained the weight of four houses, accurate data of construction material and waste. The number of different construction materials used for the target houses was between 840 and 1525. House A's weight per floor of construction materials and waste were 997.4kg/m² and 12.9kg/m², respectively. House B's weight per floor of construction materials and waste were 751.5kg/m² and 14.2kg/m², respectively. House C's weight per floor of construction materials and waste were 707.1kg/m² and 24.9kg/m², respectively. House D's weight per floor of construction materials and waste were 725.0kg/m² and 24.3kg/m², respectively. We compared the weight in construction materials per construction area for every job type. Most of these values varied because of the differences in house specification. The four values of interior finish work were close. The amount of CO₂ emissions due to construction materials could then be calculated depending on the exact weight.

Conclusions. We clarified the actual weight in construction materials and waste for the four houses. We were able to calculate CO₂ emissions based on the actual weight. In order to more fully understanding, we must now gather more data from other construction companies.

Keywords: Construction stage; CO₂ emissions; detached wooden houses; measurement survey

1 信州大学／〒380-8553 長野市若里 4-17-1

2 高砂熱学工業株式会社／〒101-8321 東京都千代田区神田駿河台 4-2-5 トライエッジ御茶ノ水

1 Shinshu University / 4-17-1 Wakasato, Nagano 380-8553

2 Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. / TryEdge-Ochanomizu, 4-2-5 Kanda, Surugadai, Chiyoda-Ku, Tokyo 101-8321

*連絡先 (Corresponding author), takam@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化は早急に解決すべき環境問題であり、その主要因であるCO₂排出量の削減は急務となっている。我が国におけるCO₂排出量の約40%を、建築物の建設、改修及び運用によるCO₂排出量が占めており¹⁾、建設分野においてLCCO₂の削減対策を行う必要がある。こうした背景に対し、住宅運用時のエネルギー消費に伴うCO₂排出量に関連した研究として、住宅のエネルギー消費量に関する研究は多数^{例えば2-4)}実施されている。しかしながら住宅建設時のCO₂排出量に関する研究は少ないのが現状である。

住宅建設時のCO₂排出量を算出する際、通常設計図面や見積書等から算出した住宅の建設時に使用される資材（以下、搬入資材とする）重量にCO₂排出原単位を乗じることで算出している。しかし、見積書に「一式工事」と記載されている資材については重量の算出が困難である。また、建設時に排出される端材や梱包材等の副産物（以下、搬出資材とする）についても重量の算出は困難である。こうした理由から、設計図面や見積書等から算出した搬入資材重量と実際に使用される資材重量には差が生じることが想定される。著者らの既往研究⁵⁾では4棟の木造住宅を対象に、設計時において設計図書から算出できる搬入資材重量と施工時における搬入資材の実測重量の比較を基礎と躯体、屋根、外壁を構成する搬入資材について行った。そして、日本建築学会公表のCO₂排出原単位¹⁾を積算重量と実測重量に乗じてCO₂排出量を算出した。さらに、実測重量から算出されるCO₂排出量を積算重量から算出されるCO₂排出量で除した値を整理した。結果、基礎においては4棟の平均値で100.6%となり、躯体においては4棟の平均値で102.4%となり、屋根においては4棟の平均値で107.7%となり、外壁においては4棟の平均値で130.1%となった。この結果より、設計時において設計図書から搬入資材重量を算出すると住宅建設時の環境負荷の評価において誤差が大きくなることが確認された。よって実態に即した搬入資材重量を把握する必要があるが、搬入資材重量に関する実態データは少ない。

搬入資材重量と住宅建設時のCO₂排出量に関する研究として、久保村ら⁶⁾や石田ら⁷⁾は住宅建設時のCO₂排出量を算出する際に使用するCO₂排出原単位について詳細に分析している。兼松ら⁸⁾や吉森ら⁹⁾はLCCM住宅における建設段階のCO₂排出量を詳細に算出するため、設計段階で想定される搬入資材重量と施工段階の搬入資材重量をそれぞれ算出している。兼松ら⁸⁾や吉森ら⁹⁾の研究では搬入資材重量を発注量で把握しているが、一式工事などについては把握する事が困難であると考えられる。また、近田ら¹⁰⁾や奥村ら¹¹⁾は、住宅建設時のCO₂排出量の簡易推計法を構築するため、工業化住宅と在来木造軸組構法の住宅に使

用される資材の材種と重量の実態調査を行っている。しかし、在来木造軸組構法の住宅に使用される資材の内、近田ら¹⁰⁾の研究では照明・空調・キッチン・バス・トイレ等の電気・ガス給排水の設備は検討対象より除いており、奥村ら¹¹⁾の研究では配線・配管・衛生設備機器を検討対象より除いている。また、奥村ら¹¹⁾の研究では一部の重量を設計図面や仕様書から算出している。よって、これら一連の研究⁸⁻¹¹⁾での搬入資材重量は、実際の搬入資材重量と差が生じると考えられる。

著者らの既往研究⁵⁾では設計時において設計図書から算出される搬入資材重量に基づくCO₂排出量と実測した搬入資材重量に基づくCO₂排出量の差の比較が主な目的であり、搬入資材と搬出資材や搬入資材によるCO₂排出量の詳細な比較を行っていない。本論文は搬入資材重量と搬出資材重量の比較を工事別に延べ床面積と施工部位面積で比較することと工事別に搬入資材によるCO₂排出量を比較することを目的としている。また、搬入資材と搬出資材の実態データを増やすことを目的としている。そこで、在来木造軸組構法の住宅4棟を対象に、搬入資材と搬出資材の材種と重量の実測調査を行った。そして、搬入資材と搬出資材の重量について延べ床面積あたりと部位面積あたりの原単位を算出し比較を行った。さらに、実測調査で明らかにした資材重量に日本建築学会公表のCO₂排出原単位¹⁾を乗じることで、住宅建設におけるCO₂排出量を算出した。そして、CO₂排出量の算出結果を工事別に整理し、4棟の住宅の比較を行った。

2. 対象住宅概要

実測対象住宅は、我が国において建設される事が想定される在来木造軸組構法による住宅4棟である。積雪寒冷地において建設され、国土交通省における豪雪地帯対策分科会¹²⁾において高床式住宅についてより一層推進する事が必要であるとされており、今後も一定数の高床式住宅の建設が見込まれることから住宅Aを選定した。住宅Aは高床式の基礎を有し、2、3階部分を在来木造軸組構法とする3階建ての住宅であり、延べ床面積162.0m²である。なお、RC造部の床面積は54.0m²である。国土交通省の平成24年度住宅市場動向調査報告書¹³⁾より注文住宅の延べ床面積の全国平均は126.1m²となっている。土地確保の観点から郊外で戸建て住宅の建設が進むことが想定される。3大都市圏に比べ郊外の住宅は延べ床面積が大きい傾向にあることから¹⁴⁾、延べ床面積の全国平均値を上回る比較的大規模な住宅として住宅Bを選定した。住宅Bは在来木造軸組構法2階建てで延べ床面積が190.2m²である。2020年度には戸建て住宅の省エネルギー化が義務化¹⁵⁾されることから、今後省エネルギーを達成する最新設備を設置した住宅が増

加する事が考えられる。延べ床面積が全国平均値に近く、最新の住宅設備が導入された住宅として住宅Cを選定した。住宅Cは在来木造軸組構法2階建てであり、延べ床面積が127.3m²である。近年三大都市圏を中心に建設が増加しており、我が国において平成25年9月の木造3階建て戸建て

住宅の棟数は前年同月比で109.6%¹⁶⁾ となっており、今後も着工数の増加が見込まれることから3階建て住宅として住宅Dを選定した。住宅Dは在来木造軸組構法3階建てであり、延べ床面積が236.0m²である。各住宅の平面図を図1～図9に示す。また、住宅概要を表1に示す。

図1 2階平面図(住宅A)

図4 2階平面図(住宅B)

図2 3階平面図(住宅A)

図5 1階平面図(住宅C)

図3 1階平面図(住宅B)

図6 2階平面図(住宅C)

図8 2階平面図(住宅D)

図7 1階平面図(住宅D)

図9 3階平面図(住宅D)

表1 調査対象住宅の概要(在来木造軸組構法)

	住宅A	住宅B	住宅C	住宅D
構造	木造軸組構法 (1階RC造)	木造軸組構法	木造軸組構法	木造軸組構法
階数	3階	2階	2階	3階
延床面積 (m ²)	162.0	190.2	127.3	236.0
断熱仕様	屋根：グラスウール 壁：グラスウール 床：グラスウール	屋根：グラスウール 壁：グラスウール 床：押出法ポリスチレン フォーム	屋根：押出法ポリスチレン フォーム 壁：押出法ポリスチレン フォーム 床：押出法ポリスチレン フォーム	屋根：押出法ポリスチレン フォーム 壁：押出法ポリスチレン フォーム 床：押出法ポリスチレン フォーム
換気方法	第3種換気設備	第3種換気設備	第1種換気設備	第3種機械換気
給湯方式	自然冷媒ヒートポンプ給湯機	自然冷媒ヒートポンプ給湯機	家庭用燃料電池コージェネ レーションシステム	潜熱回収型ガス給湯器 家庭用ガスコージェネレー ションシステム
屋根	ガルバリウム鋼板	瓦	平板瓦 (太陽電池搭載)	瓦
外壁	窯業系サイディング	窯業系サイディング	窯業系サイディング	窯業系サイディング
内装 (壁)	ビニルクロス	ビニルクロス	ビニルクロス、塗壁	ビニルクロス
内装 (床)	フローリング	フローリング	フローリング	フローリング
開口部	プラスチック金属複合サッシ	樹脂サッシ	PVCサッシ	PVCサッシ
	複層ガラス	複層ガラス	Low-E ガラス	Low-E ガラス
備考	積雪寒冷地に立地する高床式 住宅	郊外型の大規模住宅	全国平均規模の住宅 最新設備が設置された住宅	3大都市圏を中心に増加して いる3階建住宅

3. 搬入資材重量と搬出資材重量の実測調査概要

建設現場で着工から竣工まで全ての搬入資材重量と搬出資材重量の実測調査を行った。搬入資材については、建設現場に納入される都度、計測者が台ばかりを用いて計測した。住宅Aは秤量100kgで目量100gの台ばかりと秤量2kgで目量1gの台ばかりを使用して計測した。住宅B～Dでは秤量100kgで目量10gの台ばかりと秤量3kgで目量1gの台ばかりを使用して計測した。2種類の台ばかりは材料の重さに応じて選択して計測した。住宅B～Dの搬入資材の内、コンクリート、構造材、鉄筋、碎石等の重量物についてはロードメーターを使用し計測した。資材を積載した状態でのトラック重量と、積載がない状態のトラック重量を計測し、両者の差を資材重量とした。住宅A以外の3棟においては、全ての資材重量を計測したが、住宅Aにおいては、搬入資材の内コンクリートはLCAデータベース¹⁾記載の密度を使用し、木材は木材活用辞典¹⁷⁾に記載されている密度を使用して体積から重量を換算した。鉄筋はJIS記載¹⁸⁾の単位長さあたりの重量を使用して長さから重量を換算した。一部設備機器についてはメーカーの公表値を用いた。

4. 実測調査結果

4.1 搬入資材重量と搬出資材重量の実測結果

搬入資材と搬出資材の材種と重量について実測調査を行った。計測した資材の品目数は住宅Aが840品目、住宅

Bが1113品目、住宅Cが1525品目、住宅Dが1377品目であった。搬入資材の材種別重量と割合を表2に示す。なお、各材種の主な資材は以下の通りである。

- (1) 木材：集成材、製材、合板、床材、木製建具（戸、扉）、木製家具・装備品（玄関収納等）、造作材（窓枠等）等
- (2) 金属類：鉄筋、構造用金物、釘、ガルバリウム鋼板、アンカーボルト、雪止め金具、フラワーボックス、雨樋等
- (3) プラスチック類：ビニルクロス、透湿・防水シート、押出法ポリスチレンフォーム保温板、塩ビ管、塩ビ管継手、給水管、給水管継手等
- (4) 紙類：屋根下地の繊維板
- (5) ガラス類：窓ガラス、鏡、グラスウール
- (6) 化学製品：塗料、接着剤、防腐・防蟻剤等
- (7) ゴム：現場発泡ウレタン、シーリング剤、ゴム
- (8) 布・糸：カーテン
- (9) 複合材：家電製品（エアコン、給湯器、換気システム、照明機器等）、シャワーヘッド、洗面化粧台、コンセント等
- (10) 土石類：コンクリート、碎石、石膏ボード、サイディング、ケイ酸カルシウム板、セメント、タイル、衛生陶器、アスファルトフェルト等
- (11) 配線：電気配線、凍結防止ヒーター、警報用ケーブル、テレビ配線等

表2 搬入資材の材種別重量と割合

	住宅A		住宅B		住宅C		住宅D	
	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)
木材	9,951.7	6.0	20,568.2	14.4	14,349.4	15.9	31,799.1	18.6
金属類	5,078.1	3.1	1,742.6	1.2	2,296.0	2.5	7,191.2	4.2
プラスチック類	407.7	0.2	714.3	0.5	1,418.3	1.6	1,503.3	0.9
紙類	117.9	0.1	-	-	4.2	0.0	78.6	0.0
ガラス類	707.4	0.4	1,338.6	0.9	1.9	0.0	22.5	0.0
化学製品	73.0	0.0	178.5	0.1	532.6	0.6	551.3	0.3
ゴム	43.5	0.0	294.3	0.2	222.7	0.2	210.3	0.1
布・糸	15.4	0.0	-	-	3.0	0.0	2.2	0.0
複合材	673.7	0.4	1,270.8	0.9	888.1	1.0	1,832.7	1.1
土石類	149,282.1	89.7	116,747.8	81.7	70,149.9	77.9	127,672.1	74.6
配線	62.7	0.0	77.1	0.1	182.1	0.2	199.3	0.1
合計	166,413.3	100.0	142,932.0	100.0	90,048.4	100.0	171,062.7	100.0

表3 端材の材種別重量と割合

	住宅A		住宅B		住宅C		住宅D	
	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)
木材	703.6	41.2	670.3	28.1	626.7	23.9	1,445.8	29.4
金属類	56.9	3.3	7.4	0.3	18.1	0.7	51.4	1.0
プラスチック類	42.7	2.5	11.9	0.5	117.1	4.5	142.8	2.9
紙類	1.4	0.1	-	-	1.6	0.1	4.3	0.1
ガラス類	28.3	1.7	-	-	0.0	0.0	-	-
化学製品	0.8	0.0	-	-	41.6	1.6	0.5	0.0
ゴム	0.1	0.0	0.6	0.0	1.1	0.0	0.1	0.0
布・糸	-	-	-	-	-	-	-	-
複合材	12.4	0.7	14.7	0.6	8.1	0.3	-	-
土石類	859.5	50.3	1,671.2	70.1	1,803.6	68.9	3,279.9	66.6
配線	2.2	0.1	7.4	0.3	0.9	0.0	0.2	0.0
合計	1,707.8	100.0	2,383.5	100.0	2,618.8	100.0	4,925.0	100.0

搬入資材の総重量は住宅Aが $166.4 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Bが $142.9 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Cが $90.0 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Dが $171.0 \times 10^3 \text{kg}$ となった。重量が多い上位3材種は4棟共に土石類、木材、金属類であった。土石類の重量が総重量に占める割合は住宅Aが89.7%、住宅Bが81.7%、住宅Cが77.9%、住宅Dが74.6%となった。住宅Aにおいては1階部分がRC造であるため、特に割合が大きくなった。木材の重量が総重量に占める割合は住宅Aが6.0%、住宅Bが14.4%、住宅Cが15.9%、住宅Dが18.6%となった。住宅Aを除く3棟の住宅では割合の差が小さくなった。金属類の重量が総重量に占める割合は住宅Aが3.1%、住宅Bが1.5%、住宅Cが2.5%、住宅Dが4.2%となった。住宅Dは3階建てであるため、構造用金物が多く使用されており、割合が大きくなったと考えられる。

端材の材種別重量と割合を表3に示す。端材の総重量は住宅Aが $1.7 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Bが $2.4 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Cが $2.6 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Dが $4.9 \times 10^3 \text{kg}$ であった。住宅Dの端材重量

は他の住宅の約2倍となった。住宅Dでは他の住宅に比べ木材の端材と外壁材に使用したサイディングの端材が多く発生していた。

端材以外の搬出資材の材種別重量と割合を表4に示す。端材以外の搬出資材の総重量は住宅Aが $0.4 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Bが $0.3 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Cが $0.6 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Dが $0.8 \times 10^3 \text{kg}$ であった。住宅Dの発生量が最大となった。住宅Dでは搬入資材が多かったため、梱包材が多く発生したと考えられる。

5. 搬入資材重量と搬出資材重量の比較

5.1 搬入資材の比較

搬入資材重量について、工事別に延べ床面積で除した値と各工事に対応した部位面積で除した値を算出した。そして、4棟の住宅について比較を行った。各工事に対応した部位面積を表5に示す。

表4 端材以外の搬出資材の材種別重量と割合

	住宅A		住宅B		住宅C		住宅D	
	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)	重量 (kg)	割合 (%)
木材	14.2	3.7	32.7	9.9	-	-	177.8	22.0
金属類	22.7	6.0	14.9	4.5	10.4	1.9	44.6	5.5
プラスチック類	45.5	12.0	50.0	15.2	51.2	9.3	67.8	8.4
紙類	267.0	70.1	226.1	69.1	194.9	35.4	464.6	57.4
ガラス類	-	-	-	-	-	-	-	-
化学製品	17.5	4.6	3.8	1.2	-	-	-	-
ゴム	0.1	0.0	0.3	0.1	-	-	0.1	0.0
布・糸	-	-	0.1	0.0	-	-	-	-
複合材	13.8	3.6	-	-	19.6	3.6	54.8	6.8
土石類	-	-	-	-	274.4	49.8	-	-
配線	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	380.7	100.0	329.8	100.0	550.5	100.0	809.7	100.0

表5 各工事の対応部位面積

工事	対応部位	住宅A(m ²)	住宅B(m ²)	住宅C(m ²)	住宅D(m ²)
基礎工事	1階床	54.0	117.3	77.0	96.6
木工事、断熱・防湿工事、建具工事、設備工事、左官・タイル・石工事、防腐・防蟻工事、雑工事	床	162.0	190.2	127.3	236.0
屋根工事	屋根	219.7	179.6	121.1	82.1
外装工事	外壁	242.1	249.6	258.7	897.1
内装工事	内壁、床、天井	276.6	859.0	280.6	485.4

工事別の搬入資材重量を比較した結果を図10～図12に示す。延べ床面積あたりの搬入資材重量は図10より $0.7 \times 10^3 \text{kg/m}^2 \sim 1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^2$ となった。延べ床面積あたりの搬入資材重量は建物仕様により大きく異なることから木造住宅のLCA評価の際は、住宅の仕様を考慮する必要があることが留意点として挙げられる。延べ床面積あたりの総重量が最大となったのは住宅Aであった。住宅Aは1階部分がRC造のため、延べ床面積あたりの総重量が最大となった。木工事では、延べ床面積あたりの重量は住宅Dが最大となった。これは住宅Dが3階建てのため、構造用金物を多用していることと、構造材の材積量が多いためである。屋根工事では、延べ床面積あたりの重量は住宅Bの値が最大となったが、部位面積あたりの重量は住宅Dと住宅Bで大きな差は見られなかった。これは、延べ床面積は住宅Dのほうが大きい、屋根面積は住宅Bのほうが大きいためである。また住宅Aでは単位面積あたりの重量が最小となった。これは住宅Aの屋根材がガルバリウム鋼板を使用しているのに対し、他の3住宅の屋根材は瓦を使用しているためである。内装工事では、単位面積あたりの重量は、4棟の住宅に大きな差は見られなかった。断熱・防湿工事では、延べ床面積あたりの重量は住宅Cが最大となった。これは住宅Cの断熱仕様が他の住宅よりも高く、使用された断熱材の量が多いためである。

住宅Aの1階RC造部分の影響を除外して比較するため、住宅Aは総重量から基礎部分を除いた重量を2階、3階面積で除した値、住宅B～住宅Dは総重量から基礎部分を除いた重量を延べ床面積で除した値を算出した。結果を図10に示す。住宅Aは 183.0kg/m^2 、住宅Bは 229.1kg/m^2 、住宅Cは 242.8kg/m^2 、住宅Dは 247.2kg/m^2 となった。母集団のサンプル数が十分であるとは言えないが、4棟の実測調査結果に基づき変動係数¹⁹⁾を算出した。変動係数¹⁹⁾の結果を表6に示す。変動係数¹⁹⁾を算出した結果、延べ床面積あたりの総重量の変動係数¹⁹⁾は14.8%、土台より上の部分の延べ床面積あたりの搬入資材重量の変動係数¹⁹⁾は11.3%となり、土台より上の部分の延べ床面積あたりの搬入資材重量の方が、ばらつきが少なくなることが明らかとなった。これらから、土台より上の部分のほうに搬入資材重量の原単位 (kg/m^2) をある幅をもって平均化する事が容易になると考える。

住宅の仕様により工事を行わない場合がある左官・タイル・石工事と、住宅により工事内容が異なる防腐・防蟻工事を除外すると、変動係数¹⁹⁾が最大となるのは屋根工事であり、次いで設備工事、断熱・防湿工事となった。今後搬入資材重量の予測方法の構築に向け、これらの工事について重点的に実測データを取得する必要がある事が分かった。

図10 搬入資材重量の比較(100kg/m²以上) 図11 搬入資材重量の比較(10～100kg/m²) 図12 搬入資材重量の比較(10kg/m²以下)

表6 延べ床面積あたりの工事別搬入資材重量の平均値、標準偏差及び変動係数

	平均 [kg/m ²]	標準偏差 [kg/m ²]	変動係数
基礎工事	585.0	169.1	28.9%
木工事	100.0	30.7	30.7%
屋根工事	24.6	14.7	59.7%
外装工事	24.7	7.6	30.9%
内装工事	37.7	2.0	5.4%
断熱・防湿工事	4.5	1.9	41.7%
建具工事	6.4	2.4	38.3%
設備工事	5.0	2.4	48.2%
左官・タイル・石工事	3.3	4.0	121.7%
防腐・防蟻工事	1.7	2.8	161.3%
雑工事	4.4	1.7	39.8%
総重量	795.3	117.8	14.8%
土台より上の部分の重量	225.5	25.5	11.3%

5.2 搬出資材の比較

搬出資材重量について、工事別に延べ床面積で除した値と各工事に対応した部位面積で除した値を算出した。そして、4棟の住宅について比較を行った。各工事に対応した部位面積は搬入資材と同様である。

端材重量を比較した結果を図13に示す。端材以外の搬出資材重量の結果を図14に示す。延べ床面積あたりの端材重量は住宅Aが10.5kg/m²、住宅Bが12.5kg/m²、住宅Cが20.6kg/m²、住宅Dが20.9kg/m²となった。基礎工事では延べ床面積あたりの重量と部位面積あたりの重量共に住宅Aの値が最大となった。屋根工事では住宅Cの値が最大となった。外装工事では延べ床面積あたりの重量は住宅Dの値が最大となったが、部位面積あたりの重量では住宅

Bの値が最大となった。住宅Dの外壁面積が大きいためであると考えられる。また、延べ床面積あたりの端材以外の搬出資材重量は住宅Aが2.3kg/m²、住宅Bが1.7kg/m²、住宅Cが4.3kg/m²、住宅Dが3.4kg/m²となった。基礎工事では延べ床面積あたりの重量と部位面積あたりの重量共に住宅Cの値が最大となった。木工事では住宅Dの値が最大となった。屋根工事と外装工事では4棟の住宅に大きな差は見られなかった。

6. CO₂排出量の比較

延べ床面積あたりの工事別のCO₂排出量を表7に示す。CO₂排出量は実測調査により明らかとなった搬入資材重量に、日本建築学会公表のCO₂排出原単位¹⁾を乗じて算出した。各住宅のCO₂排出量は住宅Aが49.1×10³kg-CO₂、住宅Bが85.4×10³kg-CO₂、住宅Cが40.1×10³kg-CO₂、住宅Dが120.1×10³kg-CO₂となった。住宅DのCO₂排出量が最大となった。これは、住宅Dは3階建てであるため搬入資材量が多いことが原因と考えられる。住宅Aと住宅Cにおける、各工事の搬入資材によるCO₂排出量が住宅建設時のCO₂排出量の総量に占める割合は、基礎工事の搬入資材によるCO₂排出量が占める割合が最大となった。基礎工事の搬入資材によるCO₂排出量が建設時のCO₂排出量の総量に占める割合は、住宅Aが56%、住宅Cが28%となった。住宅Aにおいては1階部分がRC造であるため、基礎工事の搬入資材によるCO₂排出量が大きくなったと考えられる。住宅Bと住宅Dにおける、各工事の搬入資材によるCO₂排出量が住宅建設時のCO₂排出量の総量に占める割合は、木工事の搬入資材によるCO₂排出量が占める割合が最大となった。木工事の搬入資材によるCO₂排出量が住宅建設時

図13 端材重量の比較

図14 端材以外の搬出資材重量の比較

表7 各住宅の延べ床面積あたりの工事別CO₂排出量

	住宅A		住宅B		住宅C		住宅D	
	延床面積あたりのCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ²)	割合 (%)	延床面積あたりのCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ²)	割合 (%)	延床面積あたりのCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ²)	割合 (%)	延床面積あたりのCO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ²)	割合 (%)
基礎工事	169.5	56%	91.4	20%	88.1	28%	97.1	19%
木工事	26.8	9%	114.4	25%	104.8	33%	228.8	45%
断熱・気密工事	5.8	2%	9.7	2%	27.0	9%	14.4	3%
屋根工事	6.6	2%	58.8	13%	42.5	14%	25.2	5%
外装工事	5.9	2%	10.4	2%	8.6	3%	6.3	1%
内装工事	55.8	18%	84.2	19%	4.7	1%	59.2	12%
建具工事	9.1	3%	26.6	6%	35.5	11%	22.6	4%
設備工事	19.2	6%	49.4	11%	3.6	1%	54.3	11%
左官・タイル・石工事	0.0	0%	2.6	1%	0.0	0%	0.7	0%
防水・防腐・防蟻工事	0.0	0%	0.2	0%	0.0	0%	0.1	0%
雑工事	4.2	1%	1.1	0%	0.0	0%	0.0	0%
全体	302.9	100%	448.9	100%	314.7	100%	508.8	100%
設備工事を除いた場合	283.6	-	399.4	-	311.2	-	454.5	-
土台より上の部分の重量	200.1*	-	357.4	-	226.6	-	411.7	-

*重量を2、3階面積で除している

のCO₂排出量の総量に占める割合は、住宅Bが25%、住宅Dが45%となった。住宅Dは3階建てであり、搬入資材重量が大きいため木工事の搬入資材によるCO₂排出量が大きくなったと考えられる。

本研究における延べ床面積あたりのCO₂排出量は302.9kg-CO₂/m²～508.8kg-CO₂/m²となった。設備工事に使用される資材によるCO₂排出量を除いた延べ床面積あたりのCO₂排出量は283.6kg-CO₂/m²～454.5kg-CO₂/m²となった。既往の研究¹¹⁾におけるCO₂排出量がグラフ表示となっており正確な数値が示されていないためグラフから読み取った数値で既往の研究の結果と比較する。既往の研

究¹¹⁾では延べ床面積あたりのCO₂排出量は約160kg-CO₂/m²～約24kg-CO₂/m²であった。既往の研究¹¹⁾の詳細な住宅仕様が不明であるため一概に比較はできないが、一部設計図書から資材重量を算出し、CO₂排出量を算出している既往研究¹⁰⁾の延べ床面積あたりのCO₂排出量は本研究における設備工事に使用される資材によるCO₂排出量を除いた延べ床面積あたりのCO₂排出量よりも小さくなることが明らかとなった。このことから、住宅建設に要する全ての資材重量について実測調査を行う事はこうした実測調査を経ずに推定する方法に比べて評価の精度において優位性が明らかになったと考える。

7. まとめ

本論文では4棟の住宅を対象に、搬入資材重量と搬出資材重量の実測調査を行った。また搬入資材と搬出資材の材種と重量の実測調査結果を工事区分ごとに整理し、4棟の住宅で比較を行った。結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 搬入資材の総重量は住宅Aが $166.4 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Bが $142.9 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Cが $90.0 \times 10^3 \text{kg}$ 、住宅Dが $171.0 \times 10^3 \text{kg}$ となった。重量が多い上位3材種は4棟共に土石類、木材、金属類であった。
- 2) 住宅B～Dの各材種が総重量に占める割合は大きな差がみられなかった。住宅Aの土石類の割合は他の住宅よりも大きくなり、木材の割合は他の住宅より小さくなった。
- 3) 延べ床面積あたりの搬入資材重量は住宅Aが最大となり $1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^2$ 、次いで住宅Bの $0.8 \times 10^3 \text{kg/m}^2$ 、住宅Dの $0.7 \times 10^3 \text{kg/m}^2$ 、住宅Cの $0.7 \times 10^3 \text{kg/m}^2$ となった。延べ床面積あたりの搬入資材重量は建物仕様により大きく異なる事から木造住宅のLCA評価の際は、住宅の仕様を考慮する必要がある。
- 4) 屋根工事では、搬入資材重量を延べ床面積で除した値と屋根面積で除した値で住宅Bと住宅Dの大小関係が変化した。延べ床面積は住宅Dのほうが大きい、屋根面積は住宅Bのほうが大きいのである。
- 5) 搬入資材によるCO₂排出量は住宅Aが $49.1 \times 10^3 \text{kg-CO}_2$ 、住宅Bが $85.4 \times 10^3 \text{kg-CO}_2$ 、住宅Cが $40.1 \times 10^3 \text{kg-CO}_2$ 、住宅Dが $121.0 \times 10^3 \text{kg-CO}_2$ となった。3階建てである住宅DのCO₂排出量が最大となった。
- 6) 搬入資材による延べ床面積あたりのCO₂排出量は $302.9 \text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \sim 508.8 \text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ となり、住宅の仕様によって搬入資材重量によるCO₂排出量は大きく異なる事が明らかとなった。よって、木造住宅のLCA評価の際は、住宅の仕様を考慮する必要があることが留意点として挙げられる。

本研究の今後の課題を述べる。母集団のサンプル数が十分であるとは言えないため、今後さらなる住宅建設時の搬入資材の重量に関する実測データの取得に努め、変動係数¹⁹⁾を算出する必要があると考える。また、実測調査は多大な労力を要する事から今後は取得したデータを基に実測調査に基づいた住宅建設時の搬入資材重量と搬出資材重量の予測手法を構築する必要があると考える。

謝辞

実測調査を行うにあたり、株式会社ナガノ建築サービスをはじめ関係者各位に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

(平成25年6月24日受付、平成26年4月7日採択)

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本建築学会 (2013)：建物のLCA指針～温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール 改訂版, 一般社団法人 日本建築学会, 東京, 171
- 2) 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 銚井修一, 尾崎明仁, 石山洋平 (2006)：日本建築学会環境系論文集, (603), 93-100
- 3) 赤林伸一, 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 井上隆, 飯尾昭彦, 坂口淳, 銚井修一, 尾崎明仁, 石山洋平 (2007)：日本建築学会環境系論文集, (619), 61-67
- 4) 湯浅和博, 劉正賢, 吉野博, 長谷川兼一 (2009)：日本建築学会計画系論文集, 74(642), 1019-1024
- 5) 松岡澄夫, 浅野良晴, 高村秀紀 (2010)：日本建築学会環境系論文集, 75(647), 105-112
- 6) 久保村越夫, 石田昌平, 小林謙介, 田原聖隆, 兼松学, 井上隆 (2012)：第7回日本LCA 学会研究発表会講演要旨集, 野田, 248-249
- 7) 石田昌平, 久保村越夫, 小林謙介, 田原聖隆, 井上隆 (2013)：第8回日本LCA 学会研究発表会講演要旨集, 滋賀, 224-225
- 8) 兼松学, 小林謙介, 中野淳太, 名取発, 秋元孝之, 小山明男, 清家剛 (2011)：日本建築学会学術講演梗概集, 東京, 1005-1006
- 9) 吉森健, 妹尾悠貴, 兼松学, 清家剛, 小林謙介 (2011)：日本建築学会学術講演梗概集, 東京, 1007-1008
- 10) 近田智也, 井上隆 (2001)：日本建築学会計画系論文集, (549), 89-93
- 11) 奥村義直, 井上隆, 近田智也 (2004)：日本建築学会環境系論文集, (581), 103-108
- 12) 国土交通省, 第3回豪雪地帯対策分科会議事要旨, 国土交通省ホームページ, 入手先 <http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudoseisaku04_sg_000018.html>, (参照 2014-2-27)
- 13) 国土交通省, 平成24年度住宅市場動向調査報告書, 国土交通省ホームページ, 入手先 <<http://www.mlit.go.jp/common/000995672.pdf>>, (参照 2013-11-16)
- 14) 総務省統計局, 社会生活統計指標-都道府県の指標-2014, 総務省ホームページ, 入手先 <<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001052146&cycode=0>>, (参照 2014-2-27)
- 15) 国土交通省, 住宅・建築物の省エネ基準適合義務化に向けた工程表 (案), 国土交通省ホームページ, 入手先 <<http://www.mlit.go.jp/common/000128830.pdf#search='%E7%9C%81%E3%82%A8%E3%83%8D%E3%83%AB%E3%82%AE%E3%83%BC%E5%9F%BA%E6%>>

BA%96+%E7%BE%A9%E5%8B%99%E5%8C%96'>, (参照 2014-2-27)

- 16) 国土交通省, 木造3階建て住宅及び丸太組構法建築物の建築確認統計について (平成25年7月、8月、9月分), 国土交通省ホームページ, 入手先 <http://www.mlit.go.jp/report/press/house04_hh_000489.html>, (参照 2014-2-27)
- 17) 木材活用辞典委員会 (1994): 木材活用辞典, 産業調査会事典出版センター, 東京, 738
- 18) 日本規格協会 (2006): JISハンドブック⑧建築 I (材料), 日本規格協会, 東京, 1175
- 19) 宮川公男 (2007): “第1章 平均値と分散”, 基本統計学 第3版, 有斐閣, 東京, 33