建築生産プロセスを考慮した建築資材の輸送形態に関する実態調査・分析

FIELD SURVEY AND ANALYSIS ON TRANSPORTATION CONDITIONS OF BUILDING MATERIALS IN BUILDING CONSTRUCTION PROCESS

名知洋子 — * 1 田村雅紀 — * 2
鈴木道哉 — * 1

Yoko NACHI — * 1 Masaki TAMURA — * 2
Michiya SUZUKI — * 1

キーワード：
環境影響, 建築資材, 輸送形態, システム境界

Keywords:
Environmental impact, Building materials, Transportation condition, System boundary

This study intends to analyze techniques and systems to mitigate environmental impacts on transportation load of building materials based on the field survey in building construction process. The procedure of study was as follows, to select the typical steel structure building constructed in Tokyo area, to investigate transportation conditions from raw materials plants to the construction site of building, and finally to analyze the transportation routes/means, loading capacities, and packaging to their transportation conditions. It would be useful to reduce the CO₂ emissions due to energy consumption during transportation.

1. 研究の背景と目的

1997年に京都で開催された第3回気候変動条約締約国会議(COP3)において京都議定書が採択され、2005年に発効して以来、温室効果ガス削減対策の実施が急務となっている。そして、2009年に開催された同会議(COP15)での検討により、現在は米国や中国も巻き込む全世界的な取り組みとして新たな段階を迎えている。

国内では、産業分野別の競争的取り組みが重視され、建築業では建築物のライフサイクルの各段階を意識した二酸化炭素(以下、CO₂)排出量の削減が強く求められている¹⁾²⁾。例えば、輸送段階に限った場合、国内では、建設資材となる原料や製品(部材)は、原料産地や製造工場などから、小口で多回数の輸送を伴い供給されることが数多くあり、地理的影響の問題により輸送時環境負荷を増大させている可能性がある³⁾⁴⁾。一方で、建築物は、躯体材料に加え、内外装材や建築部品を多種多様に用いるため、原材料や製品を、最終的な消費地に輸送する経路・形態は、建築物の用途・規模・構造形式をはじめ、原料の加工度ならびに製品(部材)特性に関する依存性が比較的高くなる可能性がある。さらに昨今は、地球温暖化対策に向けた政策的な枠組み⁵⁾⁶⁾をはじめ、食料分野でのFood Miles¹⁰⁾や、木材分野でのWood Miles¹¹⁾など、製品群の輸送時環境影響を指標化する動きや、地産地消を重視する自発的取り組みが活発になりつつあり、政策技術の先導性も期待できる状況にあることから、建築生産全体の輸送時環境負荷の削減に向けて、時間的・地理的影響を踏まえた建築資材の環境影響要因に対する出入力情報(Input/Output)に関する体系的な整理を行い、環境影響を分析する必要がある。

本研究では、以上を鑑み、実建造物の生産プロセスを考慮した建築資材の輸送形態に関する事前調査を行った後に、実施工建築物を対象に、建築生産プロセスを考慮した建築資材の輸送形態に関わる

システム境界を設定した上で、資材の輸送経路、輸送手段、荷姿、積載量に関わる実態調査(調査①～③)を行なう。そして、建築物の躯体から仕上材を含めた大部分の資材を対象に、材料調達から現場施工の段階に至るまでの輸送形態が輸送時環境負荷に及ぼす影響を評価するための基礎資料を得ることを目的とする。

2. 研究概要

2.1 調査の流れ

表1に本研究における調査概要を示す。昨今の建築物着工状況を踏まえるために、総合建設業により所定期間の実施工建築物(777件)の用途、構造種別等に関する事前調査を行った。その結果、施工数量の多い資材(躯体工事5資材、仕上工事31資材)を特定するとともに、都市圏を中心に着工件数が多い鉄骨造建築物のうち、

表1 建築資材の輸送形態に関する調査概要

項目	内容
事前調査	平成15～19年に実施工された建築物(全777件)の用途、構造種別、建築規模(床面積、階数等)、建設地の分析
評価対象建築物	事前調査を踏まえ、特定の鉄骨造建築物(東京都江東区内建設地、2009年建築工事完了)を対象とし、①建築資材の種類(躯体工事、仕上工事)、②輸送手段・経路、③荷姿・積載量(m ² /m ³)をヒアリング・実態調査を実施
実調査①(資材種類)	建設資材分類(大分類:構造躯体、仕上材、中分類:適用部位、資材名:建築材料・製品名)をもとに、対象建物における材料・製品の適用実態を調査(躯体工事:5資材、仕上工事:31資材より選択)
実調査②(輸送方法)	実調査①を踏まえ、専門事業者へのヒアリング調査により、実際に使用された各建築資材の輸送手段 ^{注)} (車両種類と積載量)と輸送経路(工場から現場ほか)による輸送方法を調査
実調査③(輸送状態)	実調査②を踏まえ、専門事業者へのヒアリング・現場調査により、実際に使用された各建築資材の輸送状態(資材の原材料・製品状態、輸送経路、荷姿の積載状態・量など)

注) 陸上輸送(2, 4, 10, 15, 20 tトラック)、海上輸送(フェリー、コンテナ船)

¹⁾ 清水建設技術研究所 博士(工学)
(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

²⁾ 工学院大学工学部建築都市デザイン学科 准教授・博士(工学)

¹⁾ Institute of Technology, Shimizu Corporation., Dr. Eng.

²⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Urban Design, Fac. of Eng., Kogakuin Univ., Dr. Eng.

東京都江東区で実施された鉄骨造建築物（以下、モデル建物）を評価対象とした（表2参照）。

調査①では、モデル建物に関する建築資材・製品の種類を見積書と現物確認により特定・整理を行ない、調査②では、調査①の結果を受け、専門工事業者へのヒアリング調査を通じ、各建築資材の輸送方法を複数種類に分類し、最後に調査③では、同様の方法で、当該資材の輸送状態（資材の原材料・製品状態、輸送経路、荷姿の積載状態・積載量など）を分析した。

2.2 モデル建物の資材調達から施工段階までの環境管理に関わるシステム境界の設定

表3に本研究で取り扱った建築資材の環境管理に関わるシステム境界の枠組みを示す。システム境界(System boundary)は、ISO 14044:2006 Environmental management¹²⁾に考え方が示されており、ライフサイクルアセスメントの実施に不可欠で、Life cycle stages, Processes, Inputs or outputsの要因分析を重視している。一方、建設活動は、ISO14000 seriesにおける組織活動と製品・サービスに関する環境マネジメントとは相違する特性を踏まえる必要があることから、本研究では、システム境界条件をA～Gの項目に分類し、整理・設定を試みた。その結果、モデル建物に関しては、技術的境界(A)においては、考慮すべき範囲として製品製造段階(A2)と施工段階(A3)がある等、実際の施工業者が、建築資材の輸送形態の環境影響

を分析する上で必要となるシステム境界条件の範囲を設定することができた。その上で、本研究では、製品（部材）工場に加工度の低い「資材の原料(M1)」と加工度の高い「製品の原料(M2)」を輸送する原料供給段階（以下、原料サプライ(S)）と、施工現場に直接製品（部材）を輸送する場合(P1)と保管倉庫を介して輸送する場合(P2)（以下、製品サプライ）を区分し、建築資材のインプット(In)/アウトプット(Out)の情報を確認し、調査①～③に基づく各種建築資材の種類、輸送方法ならびに輸送形態に関する分析・評価を行った。

表2 対象建築物の概要

項目	内容
属性	鉄骨造（S造）地下1階・地上8階（延床面積4,163m ² ）
場所・用途	東京都江東区・事務所ビル
屋根	アスファルト防水押えコンクリート（外断熱）
外壁	アルミカーテンウォール、鋼板サンドイッチパネル
内装仕上	タイルカーペット、OAフロア、軽鉄間仕切り石膏ボード、ビニールクロス仕上げ、システム天井 600 角
概要図	

表3 本研究で取り扱った建築資材の環境管理に関わるシステム境界の枠組み

システム境界条件	内容	境界条件の例／本研究で考慮した範囲（右枠）	
A：技術的境界 (ライフサイクルの決定)	新規および既存建物を含め、「天然資源」を採掘し、「原料」とした後に、「製品（部材）」を製造して「建物」の全体およびその一部となり、やがて解体処理される基本的な流れがある。評価対象とするライフサイクルの各段階を設定し、「製造者」等におけるインプットとアウトプットの要因を設定する必要がある。	A1：資源採掘→原料製造（原料製造段階） A2：原料製造→製品生産（製品製造段階） A3：製品生産→建物施工（施工段階） A4：建物施工→建物維持（供用段階）	A2 A3
B：技術的境界 (ライフサイクルの移行)	新規および既存建物を含め、「新規建物」を一定期間使用した後、改修等を前提とした用途変更により、「改修建物」として新たな性能水準が確保され、再び別のライフサイクルを開始する場合があり、単一・複数のライフを設定する必要がある	B1：単一ライフサイクル B2：複数ライフサイクル	B1
C：技術的境界 (技術フェイズの変化)	新規および既存建物を含め、ライフサイクルの各段階において、複数の技術・システムの移行による局面（フェイズ）が生じるようになる。原料製造から建物の施工段階に着目した場合、原料・製品の技術段階にも変化が生じるようになる。	C1：原料プラント→製品原料工場（セメント） C2：同上 → 製品工場（二次部材） C3：同上 → 建設現場（埋込材） C4：製品工場→保管倉庫（型枠） C5：同上 → 建設現場（レコン）	C1 C2 C4 C5
D：技術的境界 (技術フェイズの集約・分化)	新規および既存建物を含め、ライフサイクルの各段階において生じるフェイズは、複数の技術・システムの移行による局面（フェイズ）が生じるようになる。原料製造から建物の施工段階に着目した場合、原料・製品供給の輸送形態にも変化が生じるようになる。	D1：複数原料→単一製品（集約） (再生骨材＋天然骨材→コンクリート) D2：単一原料→複数製品（分化） (アルミインゴット→サッシ、カーテンウォール)	D2
E：時間的境界 (評価の開始・終了時期の決定)	新規および既存建物を含め、時間境界における開始～終了時期を決定する必要がある。なお、開始時期は、採掘原料に有機炭素等の温室効果ガスが固定化されている場合はその固定量を排出量に対する削減分として位置づける方法があるが、固定時期が人間の寿命尺度を超える年数である場合（例：100年程度）はそれに含めないとする。	E1：150年前～施工完了時期 (原料物質による100年以後のCO2固定量は考慮) E2：50年前～施工完了時期 (原料物質による全期間中のCO2固定量を考慮) E3：原料採取時期～施工開始時期	E3
F：地理的境界 (広域：国内外取引)	新規および既存建物を含め、資源賦存量の有無、原料掘削の可否、生産地の遠隔化ならびに建設業の国際化対応などにより、実施される活動の地理的規模が拡大する場合がある。国内外引による原料・製品の輸出入を含めて考える。	F1：国内原料採掘→国内原料輸送→国内製品化→ F2：国内原料採掘→国外原料輸送→国外製品化→ F3：国外原料採掘→国外製品化→国内製品輸送→ F4：国外原料採掘→国内原料輸送→国内製品化→	F1 F2 F3 F4
G：地理的境界 (狭域：場内外輸送)	新規および既存建物を含め、原料採掘段階～施工段階までに、原料採取者、製造者、施工者など、多数の担い手が生じるようになる。担い手間の場外輸送は評価に含めるが、同一の担い手における場内の輸送は含めないなどの条件を設定する必要がある。	G1：事業場外の輸送は評価する G2：事業場内の輸送は評価しない G3：事業場内外の全ての輸送を評価する	G1
モデル建物に関する本研究でのシステム境界	内容	システム境界の概念図	
	1)原料供給段階 資材原料(M1)と製品原料(M2)を工場に輸送する段階までの資材 In/Out 情報（原料サプライ） 2)製品供給段階 製品（部材）を施工現場(P1)と保管倉庫(P2)に輸送する段階までの資材 In/Out 情報（製品サプライ）		

3. 調査結果および考察

3.1 調査①ー建築資材の種類

表4にモデル建物に使用された建設資材の一覧を示す。事前調査において、設計図書から建築概算コストを算出する見積部へのヒアリングにより比較的部材数量の多いものを抽出している（躯体工事で5資材、仕上工事で31資材）。調査①では、この結果を踏まえ、モデル建物の施工現場に実際に輸送された建築資材を躯体工事で5資材、仕上工事で14資材を分類し、特定した。

3.2 調査②ー建築資材の輸送手段と積載重量特性

表5にモデル建物における資材輸送手段と積載重量特性を、表6に資材輸送状態（経路、荷姿、積載量等）の実態調査結果を示す。調査①の結果を踏まえ、該当する資材について、専門工事業者へヒアリング調査を行ったところ、輸送手段は、資材の形状・性質・積載量(重量と容積)により決定し、5種類程度に特定されることがわかった。輸送経路は、建築資材を工場で製造（加工）して現場へ直送する資材(原料サプライ)と、建築資材を工場で製造(加工)し倉庫(港)を経由して現場へ輸送する(製品サプライ)の2タイプに分けられた。

図1に資材輸送手段の特性比率を示す。図1a)の車両重量比をみると、4tonトラック（平トラック、幌付トラック、ユニック付トラック）の使用が約6割と過半を占め、仕上工事に関しては7割以上が4tonトラックで輸送されていた。施工現場が都心にあるため、現場敷地内での資材保管庫が確保されず、工事工程の進捗状況に合わせて資材が輸送されたためといえる。同様に、図1b)に示すように関東近県の工場から現場へ直送するケースが過半を占めていた。内装・天井材の一部は、長距離輸送（愛知県、石川県、岡山県）で、一時的に倉庫（東京都、神奈川県）に保管し、現場へは4tonトラックに積み替え輸送されていた。石材は、中国から海外調達されていた。

3.3 調査③ー建築資材の輸送形態

表7に資材加工レベル別の荷姿の特性分析結果を、図2にモデル建物における資材荷姿パターンごとの輸送車数割合を示す。

荷姿パターンは、「密閉」、「平積み」、「ユニット積み」、「平置き」の4つに分類された。また、その荷姿は、資材の加工レベル（原料、材料、製品、部材）との相関が考えられたため、荷姿と加工度の関係も併せて示した。

「密閉」は、製品形状が定められない「原料レベル」の状態であり、液状・粉末状で主に原料・製品工場に輸送され、セメントや混和材料が該当するが、レディーミクストコンクリートなども例外として当てはまる。

「平積み」は、断面寸法や厚みが定まった「材料レベル」の状態であり、原料工場から製品工場にパレットで重ね積みされて輸送され、鉄筋、型枠、石膏ボード、ALC板などが該当した。

「ユニット積み」は、形状寸法が定まった「製品レベル」の状態であり、専用架台などで製品工場から施工現場に輸送され、ガラス、断熱サンドイッチパネル、システム天井などが該当した。

「平置き」は、製品が組立加工された「部材レベル」の状態であり、荷台への平置きや、梱包養生などで輸送され、鉄骨本体、アルミカーテンウォール、スチールドアが該当した。

これらの資材荷姿パターンごとの輸送車数割合のうち、「平積み」、「ユニット積み」が全体の8割を占めており、モデル建物における資材の加工レベルが輸送形態に影響を及ぼすことが考えられた。

表4 モデル建物に使用された建築資材の一覧

大分類	中分類	建築資材名（材料・製品・部材）	モデル建物
躯体材料	鉄筋コンクリート	コンクリート	○
		型枠	○
		鉄筋	○
	鉄骨	鉄骨本体 耐火被覆	○ ○
仕上材料	屋根	金属屋根	—
		アスファルト防水	○
		塗膜・塗布防水	—
	外壁	ALC板	○
		PC板	—
		断熱サンドイッチパネル	○
		タイル	—
		石	○
	建具	アルミカーテンウォール	○
		アルミサッシ	—
		ガラスカーテンウォール	—
		ガラス	○
		スチールドア	○
		シャッター	—
		ステンレスドア+ドアエンジン	—
		木製建具	—
		軽量スチールドア	—
	床	OAフロア・フリーフロア・二重床	○
		タイルカーペット	○
		塩化ビニールシート	○
		フローリング	—
	内壁・天井	軽鉄下地	—
		石膏ボード	○
		ケイ酸カルシウム板	—
		ビニールクロス	○
		岩綿吸音板	—
	什器	システム天井	○
		トイレブース	○
		ユニットバス	—
		洗面化粧台	—
		手摺	—

備考) ○：該当 —：該当せず

表5 モデル建物における資材輸送手段と車載重量特性

種類	装備の説明	車載重量			
		4ton	10ton	15ton	28ton
平トラック	荷台に側方のあおりがあるが、上部は無蓋で開放状態にある	○	○	○	—
幌付トラック	平トラックに、水濡れや荷痛み防止用の布・鋼製覆い付き荷台を持つ	○	○	—	—
ユニック付トラック	荷扱い用となる小型クレーンが荷台に設置されている	○	○	—	—
トレーラー	車両自身に原動機を持たず、専ら牽引されるための車台を有する	—	—	—	○
トラック アジテータ	レディーミクストコンクリートを攪拌しながら輸送する	—	○	—	—
コンテナ船	45フィート（約13.7m）、40フィート（約12m）、20フィート（約6m）の標準的な鋼製貨物用コンテナを輸送する	—	—	—	—

備考) ○：該当 —：該当せず

図1 モデル建物における資材輸送手段の特性比率

表 6 モデル建物における資材輸送状態（経路、荷姿、積載量等）の実態調査結果

大分類	中分類	資材名	輸送手段	主な輸送経路（原料産地・工場／製品工場／保管倉庫／施工現場(東京)まで）	荷姿	積載量等
躯体材料	鉄筋コンクリート	コンクリート	トラック アジテータ（10t）	骨材は茨城産・栃木産，セメントは原料工場（岩手）から搬入し，サービスステーション（東京）を経由してレディーミクストコンクリート工場に直送	密閉	4.5m ³ /台
		型枠	ユニック付 トラック（4t）	原料（木材）を海外より搬入し，製品工場（千葉）で加工し，施工現場へ直送	平置き	－
		鉄筋	トレーラー（28t）	製品工場（栃木県）で製造し，施工現場へ直送	平置き	25.41 t/台
	鉄骨	鉄骨本体	平トラック（10t）	原料（製鉄）を原料工場より搬入，製品工場（茨城）で加工し，施工現場へ直送	平置き	7 t/台
		耐火被覆	平トラック（10t）	原料（岩石）を原料工場より搬入，製品工場（長野）で加工し，施工現場へ直送	平積み	10,920m ² /台
仕上材料	屋根	アスファルト防水	平トラック（4t）	ル・フロンク [®] は製品工場（埼玉）から直送，アスファルト・断熱材は，工場（栃木）から直送	ユニット積み	125m ² /台
	外壁	ALC板	平トラック（15t）	原料（セメント，骨材など）を原料工場より搬入，製品工場（茨城県）から直送	平積み	200m ² /台
		断熱サンドイッチパネル	平トラック（15t）	製品工場（滋賀）から，施工現場へ直送	ユニット積み	260m ² /台
		石材	コンテナ船 （20フィート）	原料（岩石）を原料工場採取および加工を施し，港（神奈川）まで航路輸送し，10tトラックで施工現場へ直送	平積み	18パレット /コンテナ
			ユニック付 トラック（10t）		平積み	110m ² /台
	建具	アルミカーテンウォール	平トラック（4t）	原料（押出成形品）を原料工場より搬入，製品工場（茨城）から施工現場へ直送	平置き	－
		ガラス	平トラック（4t）	原料（珪砂）を原料工場より搬入，製品工場（千葉）から施工現場へ直送	ユニット積み	69.0m ² /台
		スチールドア	平トラック（4t）	原料（鋼板）を原料工場より搬入，製品工場（群馬）から施工現場へ直送	平置き	57.6m ² /台
	床	OAフロア	平トラック（10t）	原料（セメント等）を原料工場より搬入，製品工場（茨城）から施工現場へ直送	ユニット積み	200m ² /台
		タイルカーペット	平トラック（4t）	原料（ナフサ類）を原料工場より搬入，製品工場（埼玉県）から施工現場へ直送	ユニット積み	760m ² /台
		塩化ビニールシート	平トラック（4t）	原料（ナフサ類）を原料工場より搬入，製品工場（埼玉県）から施工現場へ直送	平積み	1,300m ² /台
		石膏ボード	平トラック（4t）	原料（せっこう）を原料工場より搬入，製品工場（千葉県）から施工現場へ直送	平積み	500m ² /台
	内壁・天井	ビニールクロス	平トラック（4t）	製品工場（愛知）から倉庫（東京）へ輸送，4tトラックで施工現場へ直送	平積み	1,800m ² /台
		システム天井	平トラック（4t）	製品工場（岡山）から倉庫（神奈川）へ輸送，4tトラックで施工現場へ直送	ユニット積み	69.12m ² /台
	什器	トイレブース	幌付トラック（4t）	製品工場（石川）から倉庫（東京）へ輸送，4tトラックで施工現場へ直送	ユニット積み	40ブース/台

表 7 モデル建物における資材加工レベル別の荷姿の特性分析

タイプ	密閉	平積み	ユニット積み	平置き
説明	・ 液状・粉末状の資材 ・ 密閉した状態で輸送	・ 断面寸法（2次元）のみ決まった資材 ・ 重ね積みして輸送	・ 形状寸法（3次元）が決まった資材 ・ 専門のウマ台などに梱包して輸送	・ 複数の製品がアッセンブルされた資材 ・ 個別に梱包養生を施して輸送
概念図	<div>【側面】</div> <div>【後部】</div> <div>表 5 による積載量 ・ 10 t</div>	<div>【側面】</div> <div>【後部】</div> <div>表 5 による積載量 ・ 4 t ・ 10 t ・ 15 t</div>	<div>【側面】</div> <div>【後部】</div> <div>表 5 による積載量 ・ 4 t ・ 10 t</div>	<div>【側面】</div> <div>【後部】</div> <div>表 5 による積載量 ・ 4 t ・ 10 t ・ 28 t</div>
加工度	原料レベル	材料レベル	製品レベル	部材レベル

図 2 モデル建物における資材荷姿パターンごとの輸送車数割合

以上の検討により，資材の加工レベルと輸送手段には相関があることが考えられた。表 8 に資材荷姿パターンの立則条件を示す。荷姿は，積み荷の嵩密度と車両積載量との関係より，資材重量で積載限度が決まる「A(重量型)」と，資材容積で積載限度が決まる「B(容積型)」に分類される。資材の見かけの嵩密度 α は積み荷固有の特性

表 8 資材の荷姿パターンの立則条件

A(重量型)：資材重量で積載限度決定	B(容積型)：資材容積で積載限度決定
$\alpha \geq \beta$	$\alpha < \beta$
α ：梱包込み資材の見かけの嵩密度 (t/m ³) β ：車両ごとに決まる積み荷（空間込み）の見かけの嵩密度 (t/m ³)	
<div><div>A：$\alpha \geq \beta$ 資材の重さで積載限度が決まる</div><div>原料：コンクリート 材料：鉄筋、ビニールクロス、石、塩ビシート、石膏ボード 製品：OAフロア、タイルカーペット、ガラス、システム天井 部材：鉄骨</div><div>B：$\alpha < \beta$ 資材の容積で積載限度が決まる</div><div>材料：ALC、アスファルト防水 製品：断熱サンドイッチパネル、トイレブース 部材：スチールドア、アルミカーテンウォール</div></div> <div></div> <div></div> <div></div>	

値であり、車両の最大積載限度 β は車両固有の特性値とし、 $\alpha \geq \beta$ の関係が成立した場合、輸送形態は資材重量で決定され、 $\alpha < \beta$ の関係が成立した場合、資材の嵩密度で積載限度が決定される。

表9にモデル建築の各資材の嵩密度と荷姿パターンの推定値を示す。各資材ごとに輸送車両の寸法値と、実資料の寸法と重量値を用いて(図面および写真判定による概算値を含む)、見かけの嵩密度 α 、 β を計算で求めた。 α が1を上回るような見かけの嵩密度が大きい資材は「A(重量型)」となり、 α が0.5を下回るような資材は「B(容積型)」となる。また実態調査により、「A(重量型)」と「B(容積型)」の分布は、資材の加工度により一定の傾向があることが考えられた。

図3にモデル建物の各資材の嵩密度と加工度との関係を車載量(28ton,15ton,10ton,4ton)ごとに示す。各車両に固有の積載方法のA値、B値による荷姿パターンの閾値を求め、実際に輸送された各資材の嵩密度を示すと、多くの材料が資材重量で輸送形態が決まっており、推定値で示す傾向と同様になっている。なお、加工度が高い仕上材や、製品工場での組立・加工を行った部品・製品は、嵩密度の低いものが多く、B値の領域に含まれる傾向にある。

3.4 建築資材の輸送形態のモデル化

表10に建築資材の輸送形態モデルの事例を示す。調査①～③によるアンケート・実態調査・分析に基づき、モデル建物に関するシステム境界の設定条件を踏まえ、建築資材の種類、輸送方法ならびに輸送解体を資材ごとにパターン化した。また、輸送経路に関しては、表3におけるシステム境界の設定条件に従い、原料サプライと製品サプライに分類した。原料サプライは、資材原料を現地から調達し、工場へ輸送する経路(M1)、資材原料を工場で製品化し製品原料として調達し、工場へ輸送する経路(M2)となる。製品サプライは、建築資材を工場から直接現場へ輸送する経路(P1)、工場から途中倉庫へ仮置きしてから現場へ輸送する経路(P2)となる。

例えば、鉄骨は、「原料(製鉄)を原料工場より搬入、製品工場(茨城)で加工し、施工現場へ直送」する経路をとるため、原料サプライ(M2)と製品サプライ(P1)の組み合わせとして設定でき、輸送経路バ

表9 モデル建物の各資材の嵩密度と荷姿パターンの推定値

加工度	車載量 (ton)	資材名	α^{*1} (t/m ³)	β^{*2} (t/m ³)	荷姿 パターンの
原料	10	コンクリート	2.3	2.2	A
	28	鉄筋	0.5	0.3	A
材料	15	ビニルクロス	7.8	0.4	A
		ALC	0.6	0.7	B
	10	石	1.6	0.7	A
	4	塩ビシート	1.6	0.5	A
		石膏ボード	0.8	0.3	A
		型枠	0.7	0.3	A
		アスファルト防水 ^{*3}	0.1	0.3	B
	15	断熱サンドイッチパネル	0.4	0.7	B
製品	10	OAフロア	0.5	0.3	A
	4	タイルカーペット	1.0	0.5	A
		ガラス	0.7	0.3	A
		システム天井	0.3	0.3	A
		トイレブース	—	0.3	B
	部材	10	鉄骨	1.1	0.5
4		スチールドア（枠）	0.2	0.3	B
		アルミ CW	0.2	0.3	B

備考)^{*1}: 梱包のみの見かけの嵩密度としてヒアリング結果を基に算出
^{*2}: 道路運送車両法¹⁴⁾を参照し、車両ごとに決まる積み荷の見かけの嵩密度を算出
^{*3}: アスファルト防水材は、ルーフィング、アスファルト、断熱材があるが、断熱材の嵩密度により算定

ターンについてはM2→P1と表現することができる。また同時に、おおよその輸送距離についても特定することができた。そして、荷姿は「A(重量型)」となることから、おおよその輸送重量についても仮定することができる。これらの情報は、最終的にトンキロ法に基づく各建設資材の輸送時の環境負荷量を算出するための基礎的情報として位置づけることができる。

図3 モデル建物の各資材の嵩密度と加工度との関係

表10 建築資材の輸送形態モデルの事例

大分類	中分類	資材名	原料S	製品S	輸送パターン	荷姿
躯体	鉄筋 コンクリート	コンクリート	M2	P1	M2→P1	A
		型枠	M2	P1・P2	M2→P1・M2→P2	A
		鉄筋	M2	P1	M2→P1	A
	鉄骨	鉄骨本体	M2	P1	M2→P1	A
		耐火被覆	M2	P1	M2→P1	B
仕上	屋根	アスファルト防水	M2	P1	M2→P1	B
		ALC板	M1	P1	M1→P1	B
		断熱サンドイッチパネル	M2	P1	M2→P1	B
	外壁	石	M1・M2	P1	M1→P1・M2→P1	B
		アルミカーテンウォール	M2	P1	M2→P1	B
		ガラス	M1	P1	M1→P1	A
	建具	スチールドア	M2	P1	M2→P1	B
		OAフロア	M1・M2	P1・P2	M1→P1・M1→P2 M2→P1・M2→P2 (ALL)	A
		カーペットタイル	M2	P1・P2	M2→P1・M2→P2	A
	床	塩化ビニールシート	M2	P1・P2	M2→P1・M2→P2	A
		石膏ボード	M1・M2	P1	M1→P1・M2→P1	A
		ビニルクロス	M1・M2	P1	M1→P1・M2→P1	A
	内壁・天井	システム天井	M1	P2	M1→P2	A
		トイレブース	M2	P1・P2	M2→P1・M2→P2	B

以上の流れにより、具体的な建築物に関する建築生産プロセスを考慮した建築資材全体の輸送時環境負荷量の評価を行うことが可能と考えられる。また、今後は、建築資材全体の輸送の効率化や共同配送などを含めたモーダルシフト対策を具体的に提示し、国内全体の建築資材に関わる輸送時環境負荷量を削減するために、鉄骨造建築物に限らず、鉄筋コンクリート造建築物や木造建築物などの構造種別を含めた輸送形態モデルについても評価する必要がある。

4. まとめ

本研究により、以下の知見が得られた。

- 1) 東京都に建設された一般的な鉄骨造建築物を対象に、建築生産プロセスにおけるシステム境界を設定した上で、現場に輸送された構造躯体・仕上材別の建築資材の種類を具体的に特定した。
- 2) モデル建物における各種建築資材について、ヒアリングと実態調査により、施工現場への輸送手段を明らかにするとともに、輸送経路、資材荷姿などによる輸送形態を具体的に示した。
- 3) モデル建物における各種建築資材の積み荷の属性を、資材荷姿の分析結果より、原料・材料・製品・部材の4レベルに区分し、それぞれの嵩密度の算定値と、車両積載限度との関係より、資材重量で積載限度が決まる「A(重量型)」と資材容積で積載限度が決まる「B(容積型)」に特定した。
- 4) モデル建物における各種建築資材の輸送形態について、原料が工場に輸送される経路（原料サプライ）と製品が現場に輸送される経路（製品サプライ）に区分した上で、各種建築資材における施工現場に到着するまでの輸送形態を、両者の組み合わせよりモデル化した。
- 5) 鉄骨造の建築物を対象に、各種建築資材の輸送手段を特定したうえで輸送重量と輸送距離の概算値が整理され、最終的にトンキロ法に基づく輸送時の環境負荷量を算出するうえで必要となる基礎的情報が整理された。

謝辞

本研究の実施にあたり、清水建設㈱建築事業本部調達総合センター 高橋昭氏、関東支店見積部 新井弘美氏、各専門工事業者の方々にヒアリング等実施調査で助力を得た。また、平成21年度工学院大学、都市減災センタープロジェクト(中課題3)の研究補助を受けた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日本建築学会，地球環境委員会，サステナブルビルディング普及のための提言(改訂版)，2007
- 2) コンクリート工学協会，環境時代におけるコンクリートイノベーション，コンクリート構造物の環境性能に関する研究委員会，2008.8
- 3) 田村雅紀，阿部道彦，首都圏に流入するコンクリート用骨材の需要動向調査と輸送時環境負荷評価，日本建築学会技術報告集，第31号，pp.631-636，2009.10
- 4) 岩田彩子，兼松学，野口貴文，長井宏憲，北垣亮馬，藤本郷史，実態調査に基づくコンクリート関連産業のCO2排出原単位に及ぼす地域特性・工場規模の影響，日本建築学会技術報告集，第32号，pp.43-48，2009.2
- 5) 川鍋亜衣子，飯島泰男，秋田典子，清家清，板垣直行，木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理，日本建築学会技術報告集，第32号，pp.37-42，2009.2
- 6) 経済産業省，“カーボンフットプリント制度の実用化・普及推進研究会”，<http://www.meti.go.jp> (参照 2010-2)
- 7) 環境省，“温室効果ガス「見える化」推進戦略会議”，<http://www.env.go.jp> (参照 2010-2)
- 8) 経済産業省資源エネルギー庁：ロジスティクス分野におけるCO2排出量共同ガイドライン，2006
- 9) 国土交通省，モーダルシフト促進アクションプログラム，2004
- 10) 中田哲也，フードマイレージとその環境に及ぼす負荷に関する考察，農林水産政策研究，第5号，2003
- 11) ウッドマイルズ研究会，ウッドマイルズ 地元の木を使うこれだけの理由，農山漁村文化教会，2007
- 12) ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines，2006
- 13) 国土交通省，自動車交通局，道路運送車両法，2008

[2010年2月19日原稿受理 2010年4月5日採用決定]