

東日本大震災の被災地域に存在した建築物・インフラストラクチャーの物質ストックの推計

谷川 寛樹¹・平川 隆之²・韓 驥³
鬼頭 祐介⁴・田中 健介⁴・黒岩 史⁴・奥岡 桂次郎²

¹正会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail:tanikawa@nagoya-u.jp

²学生会員 名古屋大学大学院 工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail:hirakawa.takayuki@gmail.com

³正会員 名古屋大学大学院助教授 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail: hanji@urban.env.nagoya-u.ac.jp

⁴非会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)

本研究では、被災前に当該地域が有した社会活動量を回復するために、元々どの程度の建築物およびインフラに支えられていたか、復興に向けた建設資材必要量のベースラインを示すことを目的とする。

対象範囲を津波被害の大きかった青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県の5県、対象構造物を建築物・道路とし、構造物の物質ストックの推計を行う。物質ストックの推計方法には、構造物の規模に応じた原単位法を用いる。物質ストックの空間情報に被災範囲の空間情報を重ね、津波により被害を受けた物質ストックを推計する。推計の結果、津波の遡上範囲をもとに推計を行った結果、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県の5県における被害を受けた建築物の物質ストックの合計は約2,900万トンとなった。

Key Words : *Lost Material Stock., Tsunami, GIS, building, road*

1. はじめに

2011年3月11日に甚大な被害をもたらした東日本大震災から一定期間が経過し、復旧・復興へ向けた議論が活発になっている。被災地域の社会・経済活動の復旧・復興は、“住む”、“働く”、“運ぶ”等といった社会を支えるサービスの整備と強く結びついている。復興計画の策定を行う際には、目指す社会像が求めるサービスの量を見極め、それらサービスを提供する社会基盤施設(インフラストラクチャー、以下インフラ)や建築物の整備を、震災前の状況と比較しつつ検討を進める必要がある。

本研究では、全国の建築物・道路に関する建設資材ストック重量のデータベースを整備し、東日本大震災において被害を受けた建築物・道路の物質ストック量の把握を行う。震災前の社会がどの程度の物質ストックに支えられていたかを明確にすることにより、復旧・復興に向けて必要となる建設資材量のベースラインを示すことが本研究の目的である。

2. 建築物・道路の物質ストックの推計方法

建築物・各種インフラストラクチャーの物質ストックを推計するには原単位法が多く用いられる。本研究においても原単位法を用いる。物質ストック推計における原単位法とは、①構造種別ごとの各構造物の規模(建築物であれば延床面積)と、②各種構造物の単位量あたりに投入される建設資材量すなわち資材投入原単位のデータを整備し、これらに乗じることによって物質ストックを推計する方法である。既往研究では、①各構造物の規模のデータとして自治体毎に集計された統計情報を利用しているものが多く、それに伴い物質ストックの最小空間単位も自治体毎のものが多い。これに対して、本研究の特徴は、①各構造物の規模のデータとして構造物一つ一つの形状が示されている詳細なGISデータを利用し、個々の構造物の物質ストックデータベースを構築することである。これにより、任意の空間単位で物質ストックを推計することが可能となる。

(1) 建築物GISデータの整備

個々の建築物の物質ストックを推計するための基盤となる建築物のGISデータは、ゼンリンが提供している

Zmap-TOWN II (2009) を利用する。Zmap-TOWN II は建築物の形状をポリゴンデータとして保有する住宅地図データベース (以下住宅データ) である。属性データとして、用途区分、階数、建築物の名称といった情報が付されている。用途区分は、ビル・マンション・アパート、戸建住宅、事業所、目標物 (役所や学校等の公共施設)、無壁舎等に分類されている。建築物の物質ストックをより正確に推計するには、①各建築物の延床面積 (階数×建築面積) に加え、各建築物の構造種別の情報が必要である。今回利用する住宅データには階数、建築面積および構造種別の情報にそれぞれ不備な点があるため、用途区分などの情報を利用して以下のように設定する。

a) 階数の設定

2階建て以下の建築物の多くには階数のデータが記載されていない。よって、階数データをもたない2階建て以下の建築物には、用途区分毎に階数の設定を以下に示すように行う。ビル・マンション・アパートは全て2階建てとする。戸建住宅には、住宅・土地統計調査を利用して2階建て以下の戸建住宅だけを対象とした平均階数を都道府県ごとに求め、都道府県ごとにその値を利用する。事業所とビル・マンション・アパートで用途区分が分けられていることから、事業所に該当する建築物の多くは住宅兼事業所もしくは工場・倉庫であると考えられる。よって、事業所については、住宅・土地統計調査から戸建住宅の95%が含まれるような建築面積の値を求め、その建築面積以下のものを住宅兼事業所として戸建住宅の平均階数を設定し、その建築面積以上のものを工場・倉庫として1階建てと設定する。

b) 建築面積の設定

まずGISを利用してポリゴンの形状の面積を計算する。住宅データの建築物のポリゴンは航空写真から家形を抽出して作られている。すなわち、その形状は屋根形状の水平投影面積であり、実際の建築面積より若干大きな値となっている。そこで、ポリゴンを縦横にいくらか縮小したものの面積を建築面積とする。本研究における建築面積は、建築基準法における定義に従い、建築物の外壁や柱の中心線で囲まれた部分の水平投影面積と定義される。ポリゴンの縮小幅は、推計された建築面積に階数を乗じて得られる延床面積の総和と、固定資産の価格等の調書 (以下、固定資産調書とする) に記載されている全建築物の延床面積の総和を比較して決定する。ポリゴンの縮小幅の決定に建築面積ではなく延床面積を利用する理由は、日本全国を対象とする建築面積についての統計が存在しないためである。固定資産調書の値に対する推計値の割合を縮小幅ごとに比較すると、縮小幅-0m、-2.0m、-2.5m、-3.0mに対してそれぞれ、155%、112%、102%、94%であり、縦横の長さを2.5m縮小した場合が最も固定資産調書の値に近い値となる。よって、ポリゴン

の形状から縦横2.5m縮小したものを、その建築物の建築面積とする。そして、建築面積に階数を乗じて得られた値をその建築物の延床面積とする。

c) 建築物の構造の設定

住宅データには構造に関する属性データが含まれていない。また、航空写真などの概観から建築物の構造を判断するのは困難である。そこで今回は建築物の種類と階数から以下のように構造を仮定する。

2階建て以下のビル・アパート・マンションについては、まず住宅・土地統計調査より2階建て以下の共同住宅を対象に構造別(木造・鉄骨造)の割合を都道府県ごとに求め、その割合を利用して2階建て以下のビル・アパート・マンションの内の木造・鉄骨造のもの数を都道府県ごとに決定する。そして、建築面積の小さなものから、算出された木造棟数に達するまでの建築物を木造とし、それ以上のものを鉄骨造とする。建築物ストック統計¹⁾によると、日本全国の戸建・長屋住宅の約9割が木造である。よって、2階建て以下の戸建住宅は全て木造と仮定する。3階建ての建物は全て鉄骨造とし、4階建て以上の建築物は全て鉄筋コンクリート造と仮定する。

(2) 建築物に蓄積される物質ストックの推計方法

既に述べたように、物質ストックを推計するためには①構造種別ごとの各構造物の規模と、②各種構造物の資材投入原単位のデータを整備する必要がある。建築物においてこれらは、①構造別 (木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造) の延床面積 (建築面積×階数) と、②それら構造種別に応じた資材投入原単位に該当する。本研究において、①建築物の規模のデータとしては、2. (1) で整備した住宅データを利用し、②建築物の資材投入原単位としては、過去に筆者らの研究グループ^{2), 3)} が整備した構造種別毎の資材投入原単位を利用する。資材投入原単位は、一般的な建築工程が掲載されている設計資料を用いて投入される部材を積算し、単位延床面積あたりにストックされる資材別の重量を推計したものである。また、過去に整備した資材投入原単位は地下部分にストックされる物質と地上部分にストックされる物質とに分けて整備されていたが、今回はその境界を変更し、基礎としてストックされる物質とそれ以外の上部構造としてストックされる物質とに分けて整備し直した。今回の震災では、津波により倒壊した建築物がほとんどであり、基礎を残し上部構造が流され崩壊したものが多い。原単位を上部構造と基礎で分けて整備することにより、上部構造の物質ストックを津波により地表に流出した物質ストック、基礎の物質ストックを地中に残されている物質ストックとして推計することが可能となる。表-1に今回使用した建築物の資材投入原単位を示す。

建築物の物質ストックの推計には以下の式を利用した。

$$MSB_{i,n} = \sum_a (A_{n,a} \times MI_{i,a}) \quad (1)$$

ここで、MSB: エリアn内に存在する建築物の、材料種別iの合計物質質量 (Stock), A: エリアn内に存在する建物構造種別aである建築物の延床面積, MI: 建物構造種別aである建築物の単位延床面積あたりに投入される材料種別iの物質質量 (資材投入原単位) とする。

(3) 道路に蓄積される物質ストックの推計方法

道路に蓄積される物質ストックの推計には道路の幅員に応じた原単位法を用いる。道路の規模(幅員・延長)のデータとしては、(株) ESRIジャパン社から提供されている、日本全国の道路網が空間情報(ラインデータ)として保存されている詳細な道路GISデータを利用する。これは国土交通省国土計画局総務課国土情報整備室が整備したものであり、幅員・道路名称・道路種別といった情報が属性データとして付されている。建築物と同様に、詳細なGISデータを利用することにより、任意の空間単位で道路の物質ストックを推計することが可能となる。

道路の構造は上部から順に表層、基層、路盤から成るものとし、表層、基層はアスファルトコンクリート、路盤は骨材により構成されているものとする。アスファルトコンクリートはさらにアスファルトと骨材に分けて物質質量を推計した。

道路の物質ストックの推計には以下の式を利用した。

$$MSR_{i,n} = \sum_a (A_{n,a} \times MI_{i,a}) \quad (2)$$

表-1 建築物の資材投入原単位表

| 資材投入原単位(kg/m ²) | 砂利・石材 | コンクリート | モルタル | 木材 | ガラス | 陶磁器 | 鉄 | アルミニウム | その他 | |
|-----------------------------|-------|--------|------|-----|-----|-----|----|--------|-----|----|
| 木造 | 上棟部分 | - | - | 3 | 88 | 5 | 52 | 2 | 2 | 32 |
| | 基礎部分 | 78 | 221 | - | - | - | - | 5 | - | - |
| S造(1階建て) | 上棟部分 | - | - | 67 | 8 | 0 | 2 | 132 | 0 | 25 |
| | 基礎部分 | 339 | 584 | - | - | - | - | 7 | - | - |
| S造(2階建て) | 上棟部分 | - | - | 109 | 20 | 3 | 1 | 104 | 2 | 22 |
| | 基礎部分 | 100 | 587 | - | - | - | - | 14 | - | - |
| S造(3階建て) | 上棟部分 | - | - | 143 | 4 | 1 | 1 | 165 | 1 | - |
| | 基礎部分 | 214 | 416 | - | - | - | - | 13 | - | - |
| RC | 上棟部分 | - | 1451 | 44 | 0 | 1 | 3 | 60 | 2 | 8 |
| | 基礎部分 | 138 | 776 | - | - | - | - | 37 | - | 1 |

表-2 道路の資材投入原単位表

| 資材投入原単位(kg/m ²) | アスファルト(表層) | 骨材(表層) | アスファルト(基層) | 骨材(基層) | 骨材(路盤) | |
|-----------------------------|--------------|--------|------------|--------|--------|--------|
| 簡易アスファルト舗装 | 幅員<5.5m | 3.1 | 43.9 | - | - | 311.8 |
| | 5.5m≤幅員<13m | 7.6 | 109.9 | 7.6 | 109.9 | 926.1 |
| 高級アスファルト舗装 | 13m≤幅員<19.5m | 7.6 | 109.9 | 6.5 | 94 | 1144.1 |
| | 幅員≥19.5m | 7.6 | 109.9 | 6.5 | 94 | 1518.1 |
| | 高速道路 | 7.6 | 109.9 | 6.5 | 94 | 1770.1 |

ここで、MSR: エリアn内に存在する道路の、材料種別iの合計物質質量 (Stock), A: エリアn内に存在する道路幅員aである道路の面積, MI: 道路幅員aである道路の単位面積あたりに投入される材料種別iの物質質量 (資材投入原単位) とする。道路の資材投入原単位としては、過去に筆者らの研究グループ^{2), 3)}が整備した舗装種類別、道路幅別の資材投入原単位を利用する。表-2に今回使用した道路の資材投入原単位を示す。

(4) 被災地域に存在した物質ストックの推計方法

2.(1), (2), (3)の手法により整備された建築物・道路の物質ストックの空間情報に、津波による被災範囲(①家屋の多くが流される被害を受けた範囲, ②津波の遡上範囲)の空間情報を重ね合わせ、津波によって被害を受けた建築物・道路を抽出する。抽出された物質ストックを集計することにより、津波被害を受けた物質ストックを推計する。

また、道路については、上述の津波による被災範囲に加え、昭文社出版の「東日本大震災復興支援地図」に記載されている道路交通規制情報からも道路物質ストックを抽出する。「東日本大震災復興支援地図」に記載されている道路交通規制情報と、各都道府県が公表している道路被害についての情報を照らし合わせることで、地震・津波の影響で損壊している道路情報が得られる。このデータを用いて、道路の物質ストックを抽出するこ

とにより、地震・津波の影響で実際に損壊した道路の物質ストックを推計することが可能となる。図-1に被災範囲における建築物の抽出イメージを示す。

津波による被災範囲の空間情報は、日本地理学会の津波被災マップ作成チームにより作成された、①家屋の多くが流される被害を受けた範囲、②津波の遡上範囲、この二つを利用する。これらのマップは震災後に撮影された空中写真を実体視判読し、家屋の流出等の甚大な被害を受けた範囲と津波の遡上範囲を縮尺1/25,000の地形図に記したものである。データの範囲は、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県の沿岸部である。

また、昭文社出版の「東日本大震災復興支援地図」には2011年4月28日時点における被災地域の道路通行規制情報が国土地理院発行の1/50,000地形図上に記されている。

3. 被災地域に存在した物質ストックの推計結果

被災範囲（①家屋の多くが流される被害を受けた範囲、②津波の遡上範囲）に含まれる建築物の数、建築物の物質ストックを市区町村単位で集計した結果を次ページの表-3に示す。集計の対象とした市区町村は、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県内の何らかの人的被害又は建物被害を受けた市区町村である。比較のため、消防庁災害対策本部から発表されている被害状況（第136報、8月11日）⁴⁾と、環境省から発表されている沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況（8月2日）⁵⁾を合わせて記す。

家屋の多くが流される被害を受けた範囲内の建築物棟数は、消防庁が発表している建築物の全壊棟数の7割程度の値となった。多くの市区町村で推計された建築物棟数



図-1 建築物抽出のイメージ

の方が小さな値となったが、これは今回の推計では津波被害だけを考慮したためであると考えられる。しかし、陸前高田市、釜石市、大槌町、山田町、女川町、南三陸町などの被害が大きかった市区町村では推計値の方が3-8割程大きな値となっており、さらなる精査が必要である。

津波の遡上範囲内の建築物の物質ストックを推計した結果、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県における津波被害を受けた物質ストックの合計は約2900万トンとなり、その内訳は、上部構造が約1000万トン、基礎が1900万トンとなった。また、岩手県、宮城県、福島県、3県の合計は2700万トンとなった。環境省は岩手県、宮城県、福島県、3県合計の瓦礫の推計量を約2300万トンと発表している⁵⁾。推計値の差異の要因としては、ポリゴン形状から建築面積を推計する際の縮小幅の違いや、資材投入原単位の値の違いが考えられる。津波により流出し、地表に山積みとなっている瓦礫だけでなく、基礎として地中に残されている物質も大きな問題であると考えられる。

表-4に被災地域に存在した道路物質ストックの推計値を示す。交通規制道路を対象に推計した道路物質ストックは、岩手県で合計約20万トン、宮城県で約180万トン、福島県で約6.5万トンとなり、宮城県で突出して多いことがわかる。津波による被害を受けた道路物質ストックは、家屋の多くが流される被害を受けた範囲内では、岩手県で約86万トン、宮城県で約115万トン、福島県で約17万トンであり、津波の遡上範囲内では、岩手県で約250万トン、宮城県で約1,000万トン、福島県で約340万トンとなった。道路の被害は宮城県の被害が突出して大きい。これは道路が地震による損壊を受けやすいためであると考えられる。交通規制道路を用いて推計された福島県内の被害を受けた物質ストックが非常に少ないのは、福島第一原発事故による警戒指定区域の設定などにより、震災による被害状況の把握ができない地域が存在するためであると考えられる。

4. おわりに

本研究では、全国の建築物・道路に関する建設資材ストック重量のデータベースを整備し、東日本大震災において被害を受けた建築物の物質ストック量を推計し、震災前の社会がどの程度の物質ストックに支えられていたかを明確にした。

本研究の課題としては以下の点が上げられる。

①住宅データより推計した総延床面積は、日本全体としては統計と近い値となったが、各都道府県の値を統計と比較すると一致率にばらつきがある。建築面積及び階

表-4 道路物質ストックの推計結果

I: 交通規制道路
II: 家屋の多くが流された範囲
III: 津波の遡上範囲

| 道路物質ストック | | I | II | III |
|----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | | トン | トン | トン |
| 岩手県 | 宮古市 | 0 | 74,418 | 574,105 |
| | 大船渡市 | 0 | 176,998 | 480,441 |
| | 陸前高田市 | 78,055 | 250,767 | 508,322 |
| | 釜石市 | 13,734 | 102,804 | 305,050 |
| | 大槌町 | 0 | 132,319 | 226,766 |
| | 山田町 | 0 | 103,368 | 204,776 |
| | 岩泉町 | 0 | 2,408 | 20,121 |
| | 田野畑村 | 108,006 | 11,366 | 81,112 |
| | 普代村 | 0 | 312 | 19,956 |
| | 野田村 | 0 | 9,695 | 74,274 |
| | 洋野町 | 2,081 | 0 | 22,642 |
| | 小計 | 201,876 | 864,453 | 2,517,565 |
| | 宮城県 | 宮城野区 | 145,623 | 20,688 |
| 若林区 | | 127,137 | 32,757 | 819,163 |
| 石巻市 | | 882,609 | 254,188 | 2,181,317 |
| 塩竈市 | | 0 | 1,202 | 216,252 |
| 気仙沼市 | | 14,093 | 297,513 | 631,472 |
| 名取市 | | 81,641 | 88,713 | 843,832 |
| 角田市 | | 27,318 | 0 | 0 |
| 多賀城市 | | 13,784 | 0 | 363,006 |
| 岩沼市 | | 11,292 | 66,613 | 852,261 |
| 登米市 | | 39,902 | 0 | 0 |
| 東松島市 | | 23,876 | 53,128 | 1,086,135 |
| 村田町 | | 12,857 | 0 | 0 |
| 亘理町 | | 124 | 20,468 | 729,935 |
| 山元町 | | 43,617 | 50,993 | 588,847 |
| 松島町 | | 4,301 | 0 | 31,512 |
| 七ヶ浜町 | | 15,053 | 29,026 | 195,475 |
| 大郷町 | | 11,076 | 0 | 0 |
| 女川町 | | 159,942 | 98,028 | 141,078 |
| 南三陸町 | | 170,721 | 140,610 | 354,196 |
| 小計 | 1,784,965 | 1,153,925 | 10,012,514 | |
| 福島県 | いわき市 | 11,435 | 5,945 | 850,670 |
| | 相馬市 | 194 | 41,149 | 677,292 |
| | 南相馬市 | 6,605 | 63,913 | 1,219,160 |
| | 広野町 | 942 | 132 | 22,237 |
| | 檜葉町 | 7,026 | 2,040 | 48,435 |
| | 富岡町 | 14,905 | 1,846 | 16,866 |
| | 大熊町 | 21,085 | 1,069 | 57,402 |
| | 双葉町 | 4,361 | 1,055 | 69,001 |
| | 浪江町 | 0 | 33,021 | 167,192 |
| | 新地町 | 0 | 21,799 | 268,427 |
| | 小計 | 66,553 | 171,968 | 3,396,682 |
| 合計 | 2,053,393 | 2,190,347 | 15,926,760 | |

数の設定にはさらなる精査が必要である。

②本研究による津波遡上範囲内の建築物物質ストックの推計値と環境省による瓦礫の推計値には差異が見られた。その第一の要因としては資材投入原単位の値の違いが考えられ、今回使用した資材投入原単位と他の原単位を比較し、環境省の推計値との違いについて検討する必要がある。

謝辞：本推計の遂行にあたり、(株)ゼンリン、東京大学空間情報科学研究センター、名古屋大学減災連携研究センター、環境省復興地域研究会、日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームには大変貴重なデータの利用を快諾頂き、ここに深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省: 建築物ストック統計,
http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000180.html, 2010
- 2) 坂本辰徳, 谷川寛樹, 橋本征二, 森口祐一: 環境情報科学論文集, 18, 271-276, 2004
- 3) 東岸芳浩, 稲津亮, 内藤瑞枝, 谷川寛樹, 橋本征二: 第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 21, 37-42, 2008
- 4) 消防庁: 平成23年東北地方太平洋沖地震(第136報),
<http://www.fdma.go.jp/bn/2011/detail/691.html>, 2011
- 5) 環境省: 沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況,
<http://www.env.go.jp/jishin/index.html#haikibutsu>, 2011

(2011.8.8 受付)

ESTIMATION OF LOST MATERIAL STOCK OF BUILDING AND INFRASTRUCTURE BY EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI

Hiroki TANIKAWA, Takayuki HIRAKAWA, HAN Ji,
Yusuke KITO, Kensuke TANAKA, Fumi KUROIWA, Keijiro OKUOKA

Following the disaster in Northeast Japan, it is important to obtain an estimation of the scale of lost buildings and infrastructures' material stock. Therefore the amount of materials necessary for future reconstruction as well as the subsequent waste flow generation could be estimated and, more importantly, proper policies could be proposed for the recovery of stricken areas. In this study, from detailed residential maps, we built a material stock database throughout Japan. And, by extracting material stock with the area affected by the tsunami, we built a lost material stock database. The amount of material stock of buildings in the area hit by the tsunami was calculated to be about 29 million tons. Superstructure of buildings is about 10 million tons, and the foundation of buildings is about 19 million tons. The problem lies in the amount of debris, and also the amount of materials in the ground. In this paper, lost material stock of each municipality in disaster area is described.