建築物の新規着工・解体を考慮したコンクリートストックの空間分布の変化

永田　聡太[1]・山下　奈穂[2]・蛭田　有希[3]・白川　博章[2]・谷川　寛樹[2]

[1]学生会員　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8601 名古屋市千種区不老町）
E-mail: nagata.sota.k5@s.mail.nagoya-u.ac.jp

[2]正会員　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8601 名古屋市千種区不老町）

[3]正会員　名古屋大学未来社会創造機構脱炭素社会創造センター（〒464-8601 名古屋市千種区不老町）

国内に投入される資源の中でも道路や建築物に用いられる岩石，砂利，石灰石などの非金属鉱物が占める割合は高く，これらの適切な管理が将来の資源循環に大きく影響すると考えられる．本研究では，日本全国の建築物を対象に，GIS データを用いてコンクリート関連の建設資材ストック・フローの定量化と空間分布の把握を行った．2020 年の日本全国でのコンクリートの建設資材ストックは 8,830 百万トンと推計された． 2003 年から 2020 年の間で新規投入量は 1,420 百万トン，排出量は 820 百万トンと推計された．2003 年から 2020 年で，新規投入量と排出量及びストックの増加量は減少傾向であった．建築物の用途別に見ると，多くの都道府県で事業所や共同住宅への新規投入が大きな比率を占めることが示された．

Key Words: *material stock and flow analysis, non-metallic mineral resources, resource recycling, building, geographical information system*

1. はじめに

循環型社会・脱炭素型社会の形成に向けて，ライフサイクル全体を通じた効率的な資源利用及びそれに伴う CO_2 排出量の削減が求められている [1]．国内に投入される資源の中でも建築物や道路，土木構造物に用いられる岩石，砂利，石灰石などの非金属鉱物資源が占める割合は約 80%（2006 年）[2]であり，これらの適切な管理が将来の資源循環に大きく影響すると考えられる．また，コンクリート構造物の建設に用いられるセメントは，生産時に原材料である石灰石からの CO_2 排出，および生産に必要なエネルギー由来の CO_2 排出を伴うため，脱炭素の観点からも適切な資源利用が重要である．近年ではコンクリートの長期間の利用に伴う中性化による炭素吸収・固定効果も着目されており [3]，これら炭素フローについても同時に議論する必要がある． セメントの生産，コンクリート資材としての建築物・土木構造物への投入・蓄積，その解体に伴う廃棄や再資源化といった，ライフサイクル全体での物質フローや炭素フローの把握が重要である．

ここで，建築物や土木構造物は一度建設されると長期間にわたって利用されることから，将来必要とされる資源の量や発生する廃棄物の量は，地域の建築物や土木構造物のストックの動態と密接に関連している．資源利用の効率化のためには，これらストックと物質フローを一体的に把握することが求められる．また，ストックの動態は地域によって異なると考えられ，社会条件や既存ストックの地域ごとの特性を踏まえた上で，既存ストックの適切な管理と，資源利用の効率化を同時に進めていくことが求められる．そのためには，いつ，どこでどのように資源の利用や投入が行われているかの時空間的な動態を把握することが重要である．近年は，気候変動問題への適応のためのハザードエリアからの撤退や，対策のための更なる資源投入の検討といった観点からも建設資材のストックと物質フローの空間分布の把握の重要性は増している．特に非金属鉱物資源は，住居やビルなどのコンクリートを用いる建築物と，堤防や道路といった土木構造物の双方と関連しており，地域内での再資源化による効率的利用の可能性の検討も必要である．

また，コンクリート資材の中でも生コンクリートは打

設される場所の近くで生産されるという特徴があり，地域間での輸送は少なく打設の際発生する残コンも出荷工場に戻ることが多いとされる [4)5)]．このような資材については，とりわけ地域内での資源利用の最適化を検討することが重要である．

先行研究では日本全国や都道府県単位の統計データを用いて建設資材のストックや物質フローの定量化を行ったものは存在するが，空間分布を考慮してストックとフローを分析した例は少ない．統計データからセメントの消費量を分析した例として天野ら（1996）[6)]が挙げられる．さらに，土石系資源，非金属鉱物資源について資源のフローとストックの包括的な分析を行なった例として松井ら（2015）[7)]，山下ら（2022）[8)]が挙げられる．しかしこれらの研究では空間分布は考慮していない．一方で，GIS データを用いて詳細な空間分布とともにストックとフローを一体的に分析した例として朝隈（2018）[11)]が挙げられる．朝隈ら（2018）[9)]は年代間の建築物の同一性判定の手法を開発して GIS データからフローを推計しているが，資材別の推計結果については，統計値との比較などの妥当性の検討や，ストックとフローの動態の詳細な分析は行われていない．

そこで本研究では，日本全国の建築物を対象に，GIS データを用いてコンクリートのストックとフローの動態と空間分布を把握することを目的とする．まず，朝隈ら（2018）[9)]の手法を参考に GIS データを用いて建築物一棟単位で建設資材のストック量の推計及び年代間での建築物の新規着工・残存・滅失の判定を行う．そして，年代間の建築物の新規着工・滅失からコンクリートのフロー（建築物の新規着工に伴う投入量と，解体に伴う排出量）を推計し，コンクリートのストックとフローの分析を行う．次に，コンクリートのフローの推計結果について，統計データとの比較を行いその妥当性を検証する．

2. 研究方法

(1) 建築物を対象とした建設資材ストック量・フロー量の推計

本研究では，以下の方法で日本全国の建築物のコンクリートのストックとフローを推計する．**図-1** に研究フローを示す．

a) 使用データ

本研究では，建築物の GIS データとして，株式会社ゼンリンが提供する住宅地図データ，「Zmap-TOWN II（2003，2009，2014，2016，2020）」[10)]を用いる．データが未整備の一部島嶼部のみを除いて，日本全国の 1,859（2020 年）の行政地域を推計対象とする．Zmap-TOWN II では建物一棟単位で建物形状の情報と，現地調査によって得られた建物名称，建物の種類などの属性情報が格納されている．

b) 建築物ストック推計

本研究では，上記の Zmap-TOWN II に朝隈ら（2018）[9)]の手法を参考に各種補正を行った GIS データを用いる．Zmap-TOWN II の属性情報と建物名称を用いて，固定資産の価格等の概要調書 [11)]の区分に合わせて建築物の用途を 8 種類に分類する．市区町村毎，用途毎に固定資産の価格等の概要調書の構造種別建物棟数のデータを用いて，延べ床面積に基づいて鉄筋コンクリート造，鉄骨造，木造の 3 種類の構造種を割り振る．次に，構造種毎に東岸ら（2008）[12)]が整備した資材投入量原単位を建物の延べ床面積に積算することで各建築物の建設資材ストック量を推計する．資材投入量原単位は，構造種ごとに，コンクリート，砂利，モルタル，鉄，木材など 9 種類の建設資材について整備されている．本研究ではこのうちコンクリートについて分析を行う．

c) 年代間の同一性判定によるフローの推計

朝隈ら（2018）[9)]が開発した，2 年代の GIS データを比較することで建物の残存，新築，滅失を判別する同一性

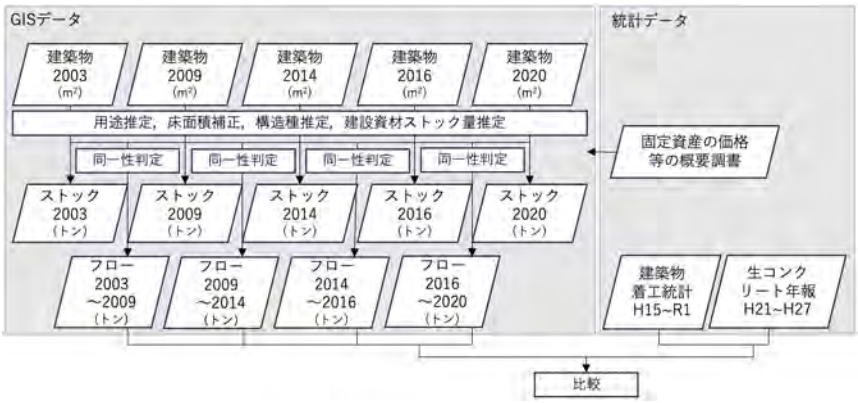


図-1 研究フロー

判定を用いることで，建築物の動態を把握する．本研究では，2 年代間の面積・階数情報・建物名称の比較に基づく建築物の一致の判定と，面積のみに基づく判定を組み合わせて用いた．同一性判定を行うことで，建築物一棟単位で年代間の残存，新築，滅失の情報が付与される．この結果に基づいて年代間のコンクリートの投入・排出のフローを推計する．新築に伴う投入量を新規投入量，滅失に伴う発生量を排出量とする．

(2) 統計値との比較

本研究で用いた手法によるコンクリートのフローの推計結果は，同一性判定の精度と，建物毎のストック量の推計精度に依存する．既往研究では，建築物着工統計調査[13]を用いて同一性判定の精度の検証が行われている．一方，コンクリートについては生コンクリート流通統計調査[14]によって，都道府県毎の生コンクリートの出荷量の詳細を把握することができる．そこで本研究ではフローの推計結果を建築物着工統計調査と生コンクリート流通統計調査の 2 つの統計調査の結果と比較することで妥当性の検証を行う．

a) 建築物着工統計調査との比較

都道府県毎の新規着工床面積を，GIS データで新築判定がなされた建築物の延床面積と比較する．建築物着工統計調査の 2003 年～2020 年の結果を用いて，2003 年，2009 年，2014，2016 年，2020 年の 5 つの年代について，年代間の結果の比較を行う．

b) 生コンクリート流通統計調査との比較

生コンクリート統計年報では生コンクリート流通統計調査の結果が，都道府県毎に土木，建築別で需要先別出荷数量で公開されている．また，都道府県毎に，セメント・骨材といった原材料等消費内訳が公開されている．出荷数量は体積で計算されているため，原材料消費量を土木・建築別の出荷体積で按分することで土木・建築別の出荷重量を求め，GIS データでの推計結果と比較した．入手可能な生コンクリート統計年報が平成 19 年～平成 30 年だったため，2009 年，2014 年，2016 年の 3 つの年代について，年代間の結果の比較を行う．

3. 結果と考察

(1) コンクリート資材のストックとフローの推計結果

a) 全国での推計結果

図-2 に GIS データから推計されたコンクリートのストック量及び新規投入量，排出量の推移を示す（新規投入量，排出量は 2003 年からの累積の値を示す）．2020 年の日本全国でのコンクリートのストックは 8,830 百万トンで，全資材の約 75%と推計された．ストック量の推移を見ると，漸増しているが増加幅は小さくなっており，近年にかけて飽和傾向であった．新規投入量と排出量は，2003 年から 2020 年の間でそれぞれ 1,420 百万トンと 820 百万トンと推計された．排出量は新規投入量の 6 割程度となった．

表-1 に，各年代間の 1 年あたりのフロー量及びストックに対する 1 年あたりのフロー量の割合を示す．2016 年から 2020 年の間で，1 年あたりの投入量は 104 百万トン，排出量は 57 百万トンとなった．ストックに対するフローの割合は，1.18 %/年，排出側は 0.64 %/年となった．一方 2003 年から 2009 年の間では 1 年あたりの投入量は 231 百万トン，排出量は 113 百万トンとなり，1 年あたりの新規投入量と排出量は減少傾向にあった．ストックの増加ペースが遅くなっているとともに，代謝のペースも遅くなっていると考えられる．

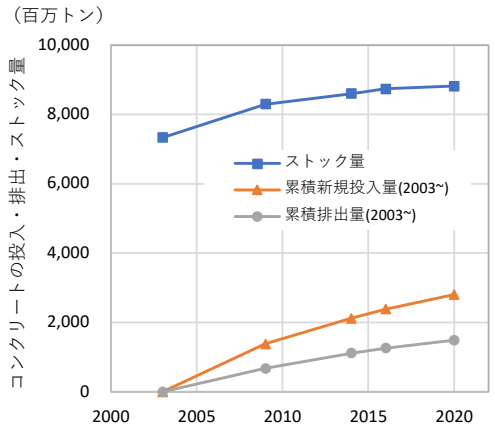


図-2 コンクリートのストックとフローの推移

表-1 コンクリートのフローの推計結果

	2003 ~2009	2009 ~2014	2014 ~2016	2016 ~2020
新規投入量 (百万トン/年)	231	147	135	104
排出量 (百万トン/年)	113	88	74	57
新規投入の割合(%)	2.78	1.71	1.55	1.18
排出の割合(%)	1.36	1.02	0.85	0.64

b) 都道府県別, 用途別での推計結果

図-3 に，2016 年-2020 年のコンクリート新規投入量を都道府県別，建物用途別に示す．多くの都道府県で，共同住宅と事業所・店舗への投入が全体の 60%以上となった．また，一部都道府県では病院・ホテルや文教施設への投入量が 30%近くを占めた．事業所・店舗・共同住宅への投入量と，病院・ホテル・文教施設への投入量の構成比は都道府県や年によってばらつきがあった．特に大

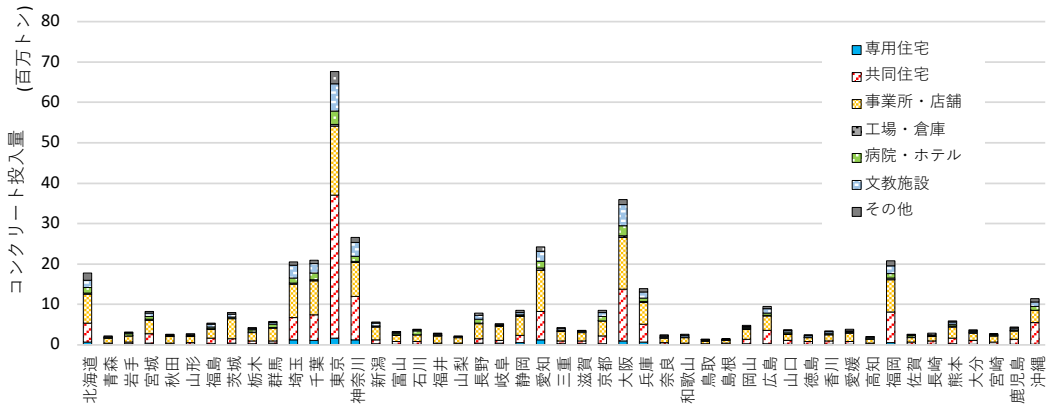


図-3　都道府県別・用途別新規投入量（2016年-2020年の例）

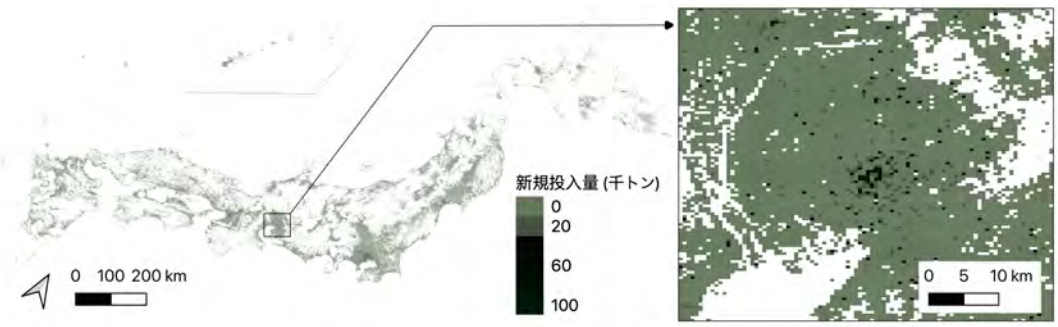


図-4　新規投入の空間分布（2016年-2020年の例）

都市圏で共同住宅への新規投入が大きかった．一方で専用住宅に関しては多くの都道府県で全体に占める割合は小さかった．

c)　4次メッシュの空間分布の推計結果

2016年-2020年の新規コンクリート投入量を4次メッシュで集計した結果を**図-4**に示す．また，愛知県周辺の拡大図も**図-4**に示す．大都市の都心に新規投入の集中が見られると同時に，郊外部でも大型建築物の建築などに伴い特別に高い投入量を示すメッシュが見られた．この手法によって，空間的に高解像度で資材の新規投入が把握できることが確認された．

(2)　推計値と統計値との比較

a)　建築物着工統計調査との比較

まず，新規着工床面積について，統計値とGISデータによって得られた結果を比較した．**図-5**に各都道府県の各年代間の単年度あたりの平均新規着工床面積をプロットする．横軸を建築物着工統計調査から得られる統計値，縦軸をGISデータから得た推計値とした．概ね統計値と推計値は近い値を示す．2003年-2009年は多くの都道府県で，推計値が統計値よりやや大きくなった．新しい年代になるほど，推計値が統計値に比べて小さくなる傾向にあった．本研究で用いたGISデータは，特に2003年のデータについて，2009年以降のデータに比べポリゴンの形状などの精度が低いことが確認されている．これによって本来同一の建物が別の建物と判定され，新規着工が過大推計となった可能性がある．一方で，本研究で生コンクリート年報と比較を行う2009年-2014年，2014年-2016年に関しては，新規着工床面積の推計値と統計値は近い値となった．

b)　生コンクリート年報との比較

次に，**図-6**に2009年-2014年と2014年-2016年の各年代間について，各都道府県の単年度あたりのコンクリートの新規投入量をプロットする．横軸を生コンクリート年報から得られる統計値，縦軸をGISデータから得た推計値とした．2009年-2014年と2014年-2016年ともに，全体的にGISデータから得た推計値は統計値に比べて過大であり，東京，大阪，愛知，福岡といった大都市圏の都道府県で特に顕著であった．

前項で示したように，2009年-2014年と2014年-2016年

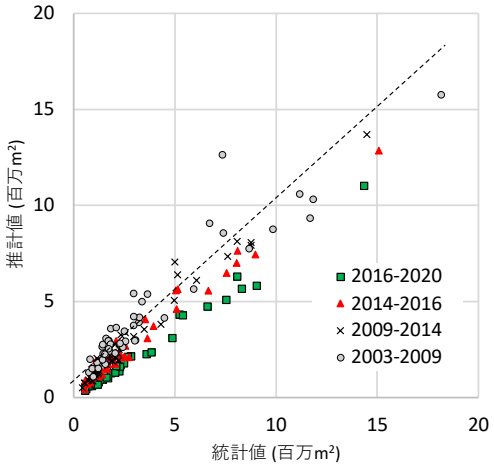


図-5 新規着工床面積の比較

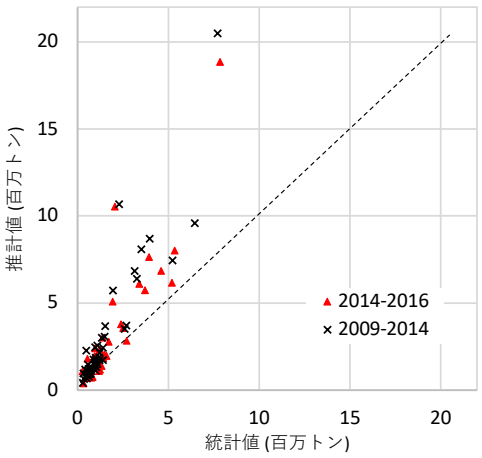


図-6 コンクリート新規投入量の比較

ともに着工床面積に関しては統計値と比較的近い値を示したため，過大推計の原因は各建築物への資材投入量の推計方法にある可能性がある．本研究では，木造，鉄骨造，鉄筋コンクリート造の構造種ごとに一律で資材投入量原単位を延べ床面積に積算したが，コンクリートの投入量は高層ビルと低層の建物など建物の形状や，建築物の用途によって異なると考えられる．特に，近年増加している高層ビルでは実際のコンクリート投入量は本研究での推計値より小さい可能性が考えられる．原単位の精緻化が課題として挙げられる．

一方で，本研究では生コンクリート流通統計調査の結果をコンクリートの新規投入量の統計データとして利用したが，実際には建築物のコンクリートは生コンクリート以外に現場打設のコンクリートや，プレキャストコンクリートなどの形での投入も存在する．よって，本研究で統計から得たコンクリートの新規投入量が過小推計の可能性がある．また，生コンクリート流通統計調査は生コンクリートを生産する事業所を対象とした調査であるため，ここでは県境を跨いだ出荷は考慮していない．

4. おわりに

本研究では，日本全国の建築物を対象に，コンクリート関連の建設資材ストック・フローの定量化と空間分布の把握を目的として，GIS データを用いたコンクリート資材のストックとフローの把握と，統計値との比較を行った．コンクリート資材の蓄積量は約 8,830 百万トンと推計され漸増傾向であるが，新規投入量は減少傾向にあった．新規投入量の蓄積量に対する比率は，2016-2020 年で投入側は 0.64％/年，排出側は 0.16％/年となった．

統計値との比較を行った結果，新規着工床面積の推計値が統計値に近い値を示すのに対し，コンクリートの新規投入量は特に大都市圏で過大推計となることが確認された．GIS からの推計値が過大になる原因として，用いた原単位が近年の建築物の実態と合致していない可能性が挙げられる．また，統計データから得た新規投入量は生コンクリートのみを対象としているため，実際のコンクリートの新規投入量より過小となっている可能性も考えられる．

GIS データは建物一棟毎で形状や用途の情報を有しており，それぞれに対応する原単位を整備すること有効であると考えられる．ただし，本研究で用いた GIS データでは 2000 年以前に建築された建物の建築年代の情報は把握できない．建築年代の異なる建築物の資材投入量は異なるとされるが，本研究では一律で原単位を積算した．建築年代に対応した原単位の積算が課題として挙げられる．今後，ライフサイクル全体での効率的な資材利用のためには GIS データから得られる建設資材のストックとフローの推計値と各種統計から得られる物質フローの量を一体的に分析することが求められる．各種建築物のコンクリート投入量，ストック量に関する推計の精度向上を進めていくとともに，統計データを組み合わせて物質フローの詳細な把握を進める．

謝辞：本研究は, 環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20S11816, JPMEERF20223C02, JPMEERF20231005), JSPS 科研費（JJP22H03805 , JP20H00648, and JP23H00531）, MEXT 科研費（JPJ010039）, JST 共創の場形成支援プログラム（JPMJPF2204）から助成を受けたものである．また，本研究は，東京大学 CSIS 共同研究（No. 1036）による成果の一部である．

REFERENCES

1) 環境省：第四次循環型形成推進基本計画, 2018．[Ministry of the Environment: The 4th Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society.]
2) 環境省：日本の物質フロー2006, 2009. [Ministry of the Environment: Material Flow in Japan2006.]
3) 河合研至：解体コンクリートによる CO_2 固定効果の視覚化，コンクリート工学，53 巻 5 号，pp.485-490，2015．[Kawai, K. : Visualization of CO2 fixation effect of demolished concrete, Concrete journal, Vol.53, Issue 5, pp.485-490, 2015.]
4) 木村正彦：コンクリートの有意性について，コンクリート工学，47 巻 1 号，pp.1_108, 2009. [Kimura, M. : Significance of concrete, Concrete journal, Vol.47, Issue 1, pp.1_108, 2009.]
5) 国土交通省：残コン・戻りコンの発生抑制、有効利用に関するアンケート調査の結果概要について，2006．[Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Summary of Results of Questionnaire Survey on Control of Residual and Returned Concrete Generation and Effective Utilization, 2006]
6) 天野耕二，村田真樹：マテリアルフロー分析を用いたセメント・コンクリート産業の環境負荷評価，環境システム研究，26 巻，pp. 391-396, 1998. [Amano, K. Murata, M.: Assessing the Environmental Impact of the Cement and Concrete Industry Using Material Flow Analysis, Environmental systems research, Vol26, pp. 391-396, 1998.]
7) 松井健吾，長谷川正利，高木重定，奥岡桂次郎，谷川寛樹：低炭素化に向けた日本全国の土石系資源ストックフローの将来シナリオ分析，土木学会論文集 G（環境），71 巻 6 号，pp. II_309-II_317，2015．[Matsui, K. Hasegawa, M. Takagi, S. Okuoka, K. Tanikawa, H. : Future Scenario Analysis of Soil and Petroleum Resource Stock Flows Across Japan for Low Carbon Emissions, Japanese Journal of JSCE G (Environment), Vol71, Issue 6, pp. II_309-II_317，2015.]
8) 山下奈穂，橋本征二，白川博章，谷川寛樹：非金属鉱物系資源の物量投入産出表の整備及び循環指標群への適用，環境共生，38 巻 2 号，pp. 176-187，2022. [Yamashita, N. Hashimoto, S. Shirakawa, H. Tanikawa, H. : Compilation of Physical Input Output Table of Non-metallic Mineral Resources in Japan and Application to Material Flow Indicators, Human and Environmental Symbiosis, vol38, Issue 2, pp. 176-187，2022.]
9) 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹：建築物の年代間での同一性判定を用いた東京都市圏における更新量の推計，環境情報科学，Vol.32，p. 13-18，2018．[Asakuma, T. Okuoka, K. Tanikawa, H.: Estimation of accumulation of construction material using identification of buildings in time-series in the Greater Tokyo, Environmental information science, vol38, Issue 2, pp. 176-187，2022.]
10) 株式会社ゼンリン：Zmap-TOWN II，2003-2020．[Zenrin: Zmap-TOWN II，2003-2020]
11) 総務省：固定資産の価格等の概要調書 [Ministry of Internal Affairs and Communications: Summary record of prices of fixed assets, etc.]
12) 東岸芳浩，稲津亮，内藤瑞枝，谷川寛樹，橋本征二：都市構造物における経年的資材投入原単位の推計に関する研究，廃棄物学会研究発表会講演論文集，19 巻，p. 45，2008．[Togishi, Y. Inazu, R. Naito, M. Tanikawa, H. Hashimoto, S.: Study on Estimation of Material Stock Intensity of Urban Structure, Proceedings of the Annual Conference of the Japan Society of Waste Management Experts, Vol19, p. 45，2008.]
13) 国土交通省：建築物着工統計調査 [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Survey of Construction]
14) 経済産業省：生コンクリート流通統計調査 [METI Ministry of Economy, Trade and Industry: Statistical Survey of Fresh Concrete Distribution]

(Received June 19, 2023)
(Accepted August 21, 2023)

The change in spatial distribution of concrete stocks considering new constructions and demolitions of buildings

Sota NAGATA, Yuki HIRUTA, Naho YAMASHITA, Hiroaki SHIRAKAWA and Hiroki TANIKAWA

Non-metallic minerals such as rocks, gravels, and limestones account for a large proportion of the total resource input to society and most of them are used for construction of infrastructure and buildings. Proper management of those materials have a significant impact on future resource use. This study aims to quantify the concrete stock and flow related to buildings all over Japan using GIS data. The total amount of concrete stock was estimated to be 8,830 million tons in 2020. Inflow and outflow to/from buildings were estimated to 1,420 million tons and 820 million tons between 2003 and 2020. The results showed that inflow, outflow and stock growth showed a decreasing trend. The results also showed that inflow to offices and apartment buildings accounted for a large proportion.