

都道府県における建築資材を対象とした 投入量と供給量の整合性評価

田中 健介¹・奥岡 桂次郎¹・韓 驥²・白川 博章³・谷川 寛樹⁴

¹学生会員 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)
E-mail : kensuke.tanaka33@gmail.com

²正会員 名古屋大学助教授 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)
E-mail : hanji@urban.env.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学准教授 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)
E-mail : shirakawa@urban.env.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学教授 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)
E-mail : tanikawa@nagoya-u.jp

近年、わが国では資材の有限性などの観点より、フロー型社会からストック型社会への転換が必要とされている。このためには、人間活動により生じる資材の動向、その量の把握や適切な管理が必要となる。そこで本研究では、需要・供給の二つの視点から資材蓄積量の把握の整合性・妥当性を評価した。

高いリサイクル性、資材投入量について大きな割合を示すコンクリートと鉄を対象資材とし、資材投入量、供給量、蓄積量の推計を日本全国で行った。推計方法には、統計資料を用いた方法と建築物の規模に応じた原単位法を用いた。その結果、1971年から2010年にかけてのコンクリートと鉄の総資材供給量は102億トン、8.1億トン、総資材投入量は65億トン、5.6億トンであった。

Key Words : material stock, buildings, input, supply, statistics, concreet, steel

1. はじめに

わが国は戦後から現代にかけて、大量生産・大量消費・大量廃棄をもとにしたフロー型社会を形成してきた。これにより経済や産業が成長し、豊かな生活を得た一方で、人間活動による物質移動やエネルギー消費が自然界へ大きな影響を与え、深刻な環境問題を引き起こす原因となった。このような社会構造は、大量消費による資源の枯渇、生物多様性が損なわれるなど環境問題の悪化により、持続可能ではない。今後は、大量の物質投入による生産・消費活動に価値を産み出す経済成長を目指すフロー型社会から、社会に既に投入され、蓄積された資材(以下、物質ストック)に価値を産み出し、有効利用するストック型社会へ転換することで持続可能な社会の実現が必要とされる。このためには、人間の生産活動により生じる投入資材の動向やその量の把握、適切な維持、管理が必要となり、この手法として、物質の蓄積、流れを定量的に評価するマテリアルストックフロー分析が有効である。橋本ら(2006)¹⁾は詳細な物質ストックの把握は、

将来発生する廃棄物、再生資源の把握だけでなく、物質フローに関する矛盾点を見いだすことが可能であると、その有意性を報告している。

物質ストックの推計には詳細な空間単位での把握、経年的な推移の把握など、それぞれによりさまざまな手法がとられている。経年的な物質ストックの推計では、東岸ら(2007)²⁾や Tanikawa ら(2009)³⁾が和歌山市の中心部とマンチェスターの中心部を対象として建築物における物質ストックの推移を明らかにした。また全国の建築物を対象とした推計では平川ら(2011)⁴⁾は東日本大震災において失われた物質ストックの推計にあたり、2009 年における建築物を対象とした物質ストックの詳細な GIS(地理情報システム)データベースの構築を行った。長岡ら(2009)⁵⁾は空間単位を都道府県、市町村を対象とし、建築統計年報を用いることで、各年の建築着工床面積より建築物における物質ストックの推計を経年的に行った。加えて、長岡ら(2009)⁶⁾は各都道府県と政令都市における物質ストックの集積と分布傾向、各地域にお

る物質ストックの推移を経年的な把握を可能にした。これは、建築物の解体により将来発生する廃棄物の検討に繋がる大変有益な情報である。これらの結果を将来予測に適用するために、その整合性・妥当性の信頼度が大変重要となるが、その検討はあまり行われてきていない。

このため本研究では、リサイクル性の高さや資材投入量のうち大きな割合を占めるセメントコンクリート(以下、コンクリート)と鉄を対象とし、着工時に使用された資材量(以下、投入量)と建設の際に各供給元から出荷された資材量(以下、供給量)を推計、比較することで、物質ストック推計の整合性・妥当性を評価した。

2. 各種推計方法

建築物におけるコンクリートと鉄の供給量と投入量、物質ストックの推計を経年的に行う(図-1)。

(1) 供給量の推計

本研究で対象とするコンクリートと鉄に関する統計情報より、建築物への出荷量を経年的に把握した。なお、統計の入手可能な制約から1971年から2010年を推計の対象とした。

a) コンクリート資材供給量

生コンクリート統計年報(1971-2010)^{7),8),9),10),11)}における需要先別出荷内訳により、建築物へと出荷された生コンクリートの数量、各年における密度を入手し、これらを乗ずることで得た重量と経済産業省により推計された骨材需給表より得た骨材の重量の和をコンクリートの供給

量とした¹²⁾。なお、1973年以前は隔年での情報になるため、1972年の骨材の重量は1971年と1973年の平均と仮定した。

b) 鉄資材供給量

鉄鋼統計要覧(1961-2011)¹³⁾より、建築物へと消費された鉄鋼の重量の推計を行った。

(2) 投入量・物質ストックの推計

建築物、社会基盤施設を対象とした物質ストック推計にあたり原単位法を用いた推計が多く行われている。本研究においても、原単位法を用いることで、投入量・物質ストックの推計を行った。原単位法とは、式(1)に示すような建築物の面積と構造別の単位面積あたりに投入される建築資材量(以下、資材投入原単位)を乗ずることで推計する方法である^{4),5),6)}。投入量では着工面積を、物質ストックでは延床面積をそれぞれ推計に用いた。

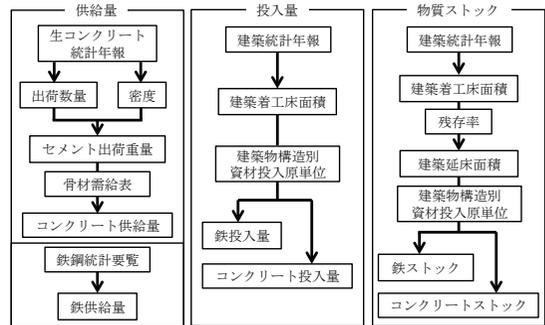


図-1 推計手法のフレームワーク

表-1 建築物構造別資材投入原単位 (kg/m³)

			~1920	1924	1950	1959	1971	1974	1981	2000~
木造	地上	セメントコンクリート	7.8	7.8	48.28	48.28	75.27	166.15	166.15	192.27
		鉄	0.56	0.56	1.22	1.22	1.67	1.19	1.21	1.34
	地下	セメントコンクリート	0	0	67.15	67.15	111.91	96.83	96.83	116.2
		鉄	0.00	0.00	2.60	2.60	4.34	3.48	3.48	4.18
鉄骨鉄筋コンクリート構造	地上	セメントコンクリート	828.85	828.85	828.85	1167.67	1167.67	1167.67	1336.1	1336.1
		鉄	38.44	38.44	38.44	41.71	43.59	43.59	46.21	46.21
	地下	セメントコンクリート	474.97	474.97	474.97	612.52	612.52	612.52	612.52	612.52
		鉄	21.98	21.98	21.98	25.58	25.58	25.58	25.58	25.58
鉄筋コンクリート構造	地上	セメントコンクリート	802.56	802.56	802.56	1126.28	1126.28	1126.28	1279.44	1279.44
		鉄	27.46	27.46	27.46	29.77	31.37	31.37	33.23	33.23
	地下	セメントコンクリート	474.97	474.97	474.97	612.52	612.52	612.52	612.52	612.52
		鉄	21.98	21.98	21.98	25.58	25.58	25.58	25.58	25.58
鉄骨造	地上	セメントコンクリート	322.83	322.83	322.83	331.54	331.54	331.54	339.29	339.29
		鉄	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57
	地下	セメントコンクリート	179.52	179.52	229.85	229.85	263.41	263.41	263.41	295.97
		鉄	6.19	6.19	8.42	8.42	9.90	9.90	9.90	11.27
その他	地上	セメントコンクリート	490.51	490.51	500.63	668.44	675.19	697.91	780.25	786.78
		鉄	50.00	50.00	50.17	51.57	52.55	52.43	53.55	53.59
	地下	セメントコンクリート	282.36	282.36	311.73	380.51	400.09	396.32	396.32	409.3
		鉄	12.54	12.54	13.74	15.54	16.35	16.13	16.13	16.65

出典：長岡ら(2009)

$$MS = \sum_t \sum_n \sum_i \left(\gamma^{(n)} S_i^{(n)} \right)_t \quad (1)$$

ここで、 MS ：投入量または物質ストック、 $\gamma^{(n)}$ ： t 年における構造種 n の資材投入原単位、 $S_i^{(n)}$ ： t 年における構造種 n の構造物 i の規模である。

a) 資材投入原単位

建築物の構造は主に木造、鉄骨鉄筋コンクリート構造(以下、SRC造)、鉄筋コンクリート構造(以下、RC造)、鉄骨構造(以下、S造)、その他の構造に分類される。各構造種により投入される資材の量、種類は異なる。また、建築基準法・同施行令によりこれらは制約されるため、法令の改正毎に変化する。このため、構造種や年代が考慮された資材投入原単位を用いる必要がある。本研究では、過去の論文より、建築時の時と建物の構造により入される資材量が変化することを考慮した表-1の値を用いた。

b) 投入量の推計

建築統計年報(1973-2012)¹⁴⁾より得た各都道府県での構造別着工床面積と前項で述べた資材投入原単位(表-1)を乗じることで、コンクリートと鉄における投入量の推計を行った。

c) 物質ストックの推計

延床面積と資材投入原単位(表-1)を乗じて物質ストックの推計を行った。延床面積についても、着工床面積と同様に建築統計年報より推計を行う。しかし、面積の内訳を構造別、建設年代別で把握することができないため、長岡ら(2009)^{5),6)}の手法にならい、建築物は建設された年次に関係なく、ある一定の確率分布で建築物は減していくと仮定し、着工面積と残存率を用いることで延床面積を推計した(式(2))。残存率については、小松ら(1992)¹⁵⁾が検討したものを参考に、故障確率密度関数として対数正規分布(式(3))及びワイブル分布(式(4))を用いた。

$$S_i = \sum_{k=0}^i R(x) I_{i-k} \quad (2)$$

ここで、 S_i ： i 年に現存する床面積、 $R(x)$ ：残存率、 I_i ：年における着工面積である。

$$R(x) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^x \frac{1}{t} \exp \left\{ -\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} dt \quad (3)$$

ここで、 $R(x)$ ：建設後 x 年における残存率、 x ：築年数、 μ ：平均値、 σ ：標準偏差である。

$$R(x) = \exp \left\{ -\left(\frac{x - \delta}{\eta} \right)^m \right\} \quad (4)$$

ここで、 $R(x)$ ：建設後 x 年における残存率、 x ：築年数、 m ：形状パラメータ、 η ：尺度パラメータ、 δ ：位置パラメータである。

式(3)、式(4)に用いたパラメータは小松ら(1992)¹⁵⁾らにより推計された表-2の値を用いた。

3. 推計結果とその比較

全国合計についてのコンクリート、鉄における供給量と投入量との経年変化の比較を図-2、図-3に示す。1971年から2010年にかけて供給量と投入量の累積および物質ストックの推移を図-4、図-5に示す。

表-2 構造種類別廃棄率曲線のパラメータ

構造	用途	寿命分布関数	パラメータ				
			μ	σ	m	η	δ
木造	専用住宅	対数正規分布	3.655	0.633	-	-	-
鉄骨鉄筋コンクリート造	事務所	ワイブル分布	-	-	14.06	154.9	-112.4
鉄筋コンクリート造	専用住宅	ワイブル分布	-	-	3.091	61.20	-3.740
鉄骨造	事務所	ワイブル分布	-	-	6.747	64.37	-28.44
その他	-	ワイブル分布	-	-	2.368	36.14	-1.673

出典：小松ら(1992)

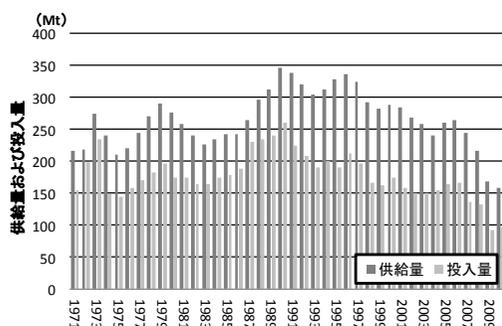


図-2 コンクリート供給量と投入量の比較

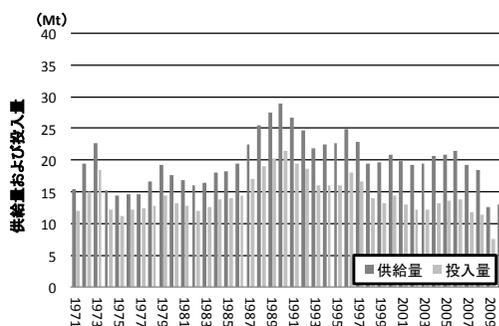


図-3 鉄供給量と投入量の比較

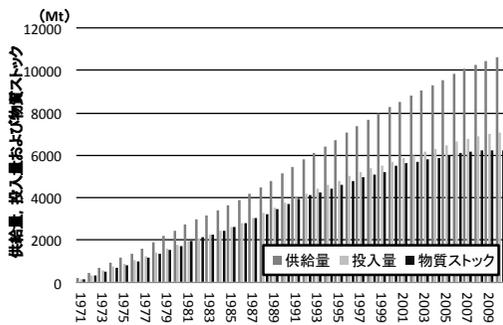


図-4 コンクリート累積供給量、累積投入量と物質ストックの比較

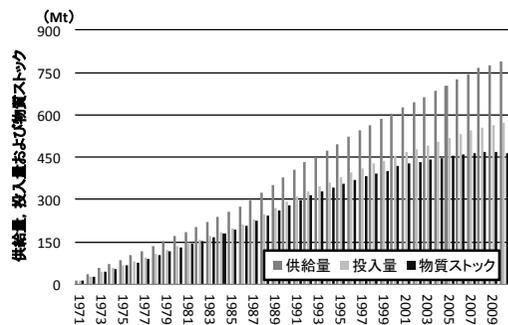


図-5 鉄累積供給量、累積投入量と物質ストックの比較

(1) 各年における推計・比較

図-2、図-3が示すようにコンクリート資材、鉄資材ともに供給量が投入量を常に上回る結果となった。しかし、それぞれの動向については同様の傾向を示していることがわかる。1971年より供給量、投入量はともに増減を繰り返しているが、1990年にピークを迎え、その後は減少傾向へと転じている。1971年でのコンクリートの供給量と投入量は2.2億トンと1.6億トン、鉄においては0.16億トンと0.12億トンである。ピークである1990年では、それぞれ3.5億トンと2.6億トン、0.29億トンと0.22億トンとなり、2010年では、それぞれ1.6億トンと1.0億トン、0.13億トンと0.08億トンとなった。1971年、1990年では供給量は投入量の1.3倍程度の値をとっていたが、投入量、供給量がピークを迎えた1990年以降は、差は徐々に拡大していき、2010年では供給量は投入量の1.6倍程度の値を示している。

このように供給量が常に投入量を上回る結果をとった要因として建設副産物の存在と資材投入原単位の過小評価があげられる。

a) 隠れたフロー

建設にともない、供給された資材の一部は建設発生土、コンクリート塊、発生木材などとして、実際には建築物には蓄積されず処理・廃棄される¹⁷⁾。これら隠れたフローの存在は、供給量と投入量の間に差が生じている原因の一つである。国土交通省より、入手可能であった平成20年と平成17年でのコンクリート塊発生量を投入量に加え、この2カ年での供給量と投入量を比較し、図-6に示す。平成20年と平成17年における建設時に生じるコンクリート塊発生量は390万トンと470万トンであり、それぞれは二つの差の4-6%程度である。この結果より、隠れたフローが供給量と投入量の差に少々ではあるが影響を与えている。

b) 資材投入原単位の過小評価

今回使用した原単位は年代と構造を考慮したものであったが、住宅用や産業用などの建物用途が考慮されてい

ない。建築物はその構造によって投入される資材の種類と量は異なるが、その用途によっても同様に異なる。このため、用途を考慮しなければ、巨大な商業施設と住宅用建築物が同様の扱いをされたため、投入量が供給量に対し過小になったと考えられる。また、原単位の過小評価により生じる誤差の拡大が供給量と投入量の差の拡大に影響を与えている。

(2) 累積における推計・比較

図-4、図-5より、2010年におけるコンクリートと鉄の総資材供給量は106億トンと7.9億トン、総資材投入量は71億トンと5.7億トン、物質ストックは62億トンと4.7億トンとなった。1971年から2010年にかけての総資材供給量と総資材投入量の差は、コンクリートと鉄ではそれぞれ35億トン、2.2億トンとなった。また、総資材投入量と物質ストックとの比較より、1971年より建築物に投入された資材の大部分は社会に蓄積されていることがわかった。これは多くの建築物が耐用年数を迎えていないため

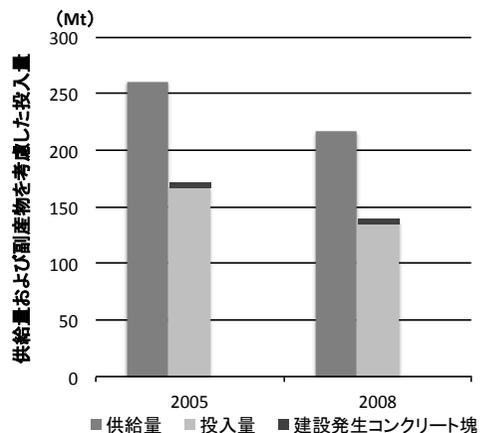


図-6 建設発生コンクリート塊を考慮した投入量と供給量の比較

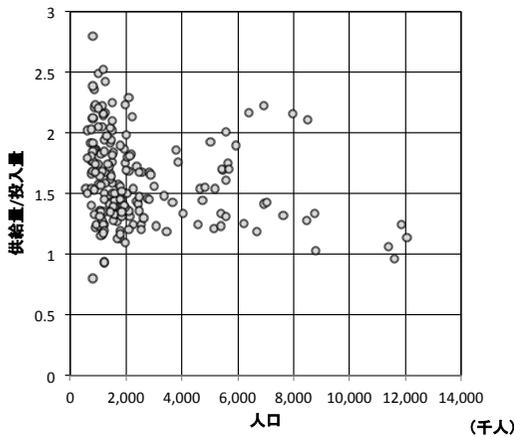


図-7 投入量と供給量の差と人口の関係

である。しかし、今後は多くの建築物が耐用年数を超過するため、現在は社会に蓄積されている資材も処理・廃棄されていく。

(3) 各都道府県における比較

各都道府県においても、供給量と投入量は同様の関係を示している。地域別(北海道、東北、関東、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州に分類)を見ると、大都市圏を含む関東、東海、近畿地方に比べ、東北、北陸、中国、四国地方で大きな差を示している。そこで、これらの差と人口との相関を図-7に示す¹⁹⁾。しかし、人口との相関は見られなかった。年代ごとでは1980年代では1970年代に比べ差は小さくなっているが、その後は差が広がっている。

4. おわりに

本研究では資材供給元と需要側の統計情報を用い、建築物におけるセメントコンクリート、鉄の供給量と投入量を推計、比較し、建築着工量をもとにした物質ストック推計の整合性を検討した。この結果、二つの間に差は生じているものの、推移が同様の傾向を示しており、投入量の推計方法の整合性は評価できた。しかし、使用する資材投入原単位には改善の必要性がみられた。

本研究の成果は以下の通りである。

- 1) 1971年から2010年にかけてのコンクリートと鉄の総資材供給量は106億トン、79億トン、総資材投入量は71億トン、5.7億トン、物質ストックは62億トン、4.7億トンとなった。
- 2) 鉄資材、コンクリート資材ともに供給量が投入量を常に上回っているが、推移の動向は同様の傾向を示している。

- 3) 供給量と投入量の差において、隠れたフローによる影響は小さい。
- 4) 地域ごとに見ると大都市圏を含む関東、東海、近畿地方では供給量と投入量の差は小さかったが、人口との相関が見られなかった。
- 5) 1980年代以降、供給量と投入量の差は拡大の傾向にある。

また、より正確な物質ストックを把握するための今後の課題は以下の通りである。

- 1) 建築物はその構造だけでなく、用途によっても投入される資材量は異なる。このため、構造、年代に加え用途を考慮した資材投入原単位の整備が必要である。
- 2) 建設された年代により、建築物の寿命も異なるため、すべての建築物に同じ廃棄率曲線パラメータを用いるのではなく、年代を考慮したパラメータの設定が必要である。
- 3) 平成17、20年以外の隠れたフローを推計し、その推移を明らかにする。
- 4) 統計より求めた、投入量、物質ストックとのみ比較、評価するだけでなく、その他手法により求められたものとも比較し、整合性の評価を行う。

謝辞：本稿は、環境省地球環境研究総合推進費(S-6-4)、環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金(K2413)、「望ましい地球循環圏形成を支援する評価システムの構築とシナリオ分析」の一環として実施したものである。ここに記して関係者各位への謝意を表す。

参考文献

- 1) 橋本征二、醍醐市朗、中島謙一、布施正暁、村上進亮、横山一代、山末英嗣、玉城わかな、谷川寛樹、梅澤修：物質ストック勘定体系の構築に向けた基礎的検討、廃棄物学会研究発表会講演論文集、17、53-55、2006。
- 2) 東岸芳浩、谷川寛樹、橋本征二：複数年の建築物GISデータベースを用いた資材量推計および耐用年数推計に関する研究-和歌山市中心部におけるケーススタディ-、環境システム研究論文発表会講演集 Vol35、pp227-232、2007。
- 3) Tanikawa, H., Hashimoto, S.: Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS, BUILDING RESEARCH AND INFORMATION, Vol37, No.5-6, pp.483-502, 2009。
- 4) 平川隆之、黒岩史、鬼頭祐介、田中健介、谷川寛樹：東日本大震災により失った建設ストックの推計、日本LCA学会誌、Vol7, No4, pp374-378, 2011-10。
- 5) 長岡耕平、稲津亮、東岸芳浩、谷川寛樹、橋本征二：全国の都道府県における地上と地下のマテリアルストック推計に関する研究、環境システム研究論文集 Vol37、pp.213-219, 2009。

- 6) 長岡耕平, 谷川寛樹, 吉田登, 東修, 大西暁生, 石峰, 井村秀文: 全国都道府県・政令都市における建設資材ストックの集積・分布傾向に関する研究, 環境情報科学論文集 Vol23, pp83-88, 2009.
- 7) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課: 生コンクリート統計年報(平成14-23年), 経済産業統計協会.
- 8) 経済産業省製造産業窯業室: 生コンクリート統計年報(平成12-13年), 経済産業統計協会.
- 9) 通商産業省生活産業局窯業室: 生コンクリート統計年報(平成10-11年), 通産統計協会.
- 10) 通商産業大臣官房調査統計部: 生コンクリート統計年報(昭和49-平成9年), 通産統計協会.
- 11) 通商産業大臣官房調査統計部: 生コンクリート統計年報(昭和46-昭和48年), 全国生コンクリート事業団体連合会.
- 12) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課: 骨材需給表 http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/fyutaku/downloadfiles/stat/19shinzai.pdf
- 13) 一般社団法人日本鉄鋼連盟: 鉄鋼統計要覧(1972-2011)
- 14) 建設省建設経済局調査情報課: 建築統計年報(昭和48年-平成23年), 建築物調査会,
- 15) 小松幸夫・加藤裕久・吉田俣郎・野城智也: わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集 第439号, pp.101-110, 1992.
- 16) 橋本征二: 平成18年度廃棄物処理等科学研究研究報告所物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物資源戦略研究, pp91-104, 2006.
- 17) 国土交通省: 建設副産物実態調査, <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/jittai-chousa/index.htm>
- 18) 財務省統計局: 日本統計年鑑, 日本統計協会

(2012. 7. 18受付)

THE EVALUATION OF THE CONSTRUCTION MATERIAL INPUT AND SUPPLY FOR BUILDINGS IN JAPAN'S PREFECTURES

Kensuke TANAKA, Keijiro OKUOKA, HAN Ji,
Hiroaki SHIRAKAWA, Hiroki TANIKAWA

In recent times, it is acknowledged that there is a need to convert own stock type society into a flow type society because of the finiteness of materials. In order to do this, it is important to manage and comprehend the trends and the volume of product. This study offers on evaluation of the accumulation material input and supply. We estimated the volume of material input, supply and stock of concrete and steel in Japan's prefectures because these materials are high recyclability and great materials for building. We compared two methodologies that are using statistics and intensity in proportion to building scales in this study. The results indicated that the total construction material supply of concrete is 10.2 billion ton and steel is 0.81 billion ton from 1971 to 2010. In addition, the total construction material input of concrete is 6.5 billion ton and steel is 0.56 billion ton from 1971 to 2010.