

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

長岡耕平¹・稲津亮¹・東岸芳浩¹・谷川寛樹²・橋本征二³

¹学生員 和歌山大学大学院システム工学研究科
(〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)
E-mail:s104070@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学工学研究科 准教授
(〒640-8510 愛知県名古屋市中種区不老町C1-3)

³正会員 国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター 主任研究員
(〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

高度経済成長期に大量に蓄積された都市構造物の多くが耐用年数を迎え、今後廃棄物が大量に発生すると予想される。持続可能な社会を構築するためには廃棄物のフローや物質の投入量を少なく抑える必要がある。このため計画的に解体や撤去、修繕を行なう際、都市構造物の物質別でのストックを把握する必要がある。そこで本研究では、建築物・道路・下水道を対象に構造物の地上と地下へ投入、蓄積される資材量を統計データを用いて推計し、地上のストック量及び人間の目には触れない地下のストック量を明らかにする。その結果、1975年全体の地上ストックは25億トン、地下ストックは30億トンで、2005年の地上ストックは60億トン、地下ストックは76億トンであった。1975年と2005年のストック総量を比較すると2.5倍増加していることが分かった。

Key Words: Material Flow Analysis, Material Stock Analysis, Buildings, Roadways, Sewers

1.はじめに

環境循環型社会白書によると、わが国の2005年における総物質投入量は18.7億トンで、その半分の8.2億トンが建築物や社会基盤施設といった形で蓄積されている¹⁾。社会基盤が整備されていく中で、投入される資材は実際に目に見えている地上部分だけでなく、建築物基礎や道路路盤、管路といった形で地下部分にも多く投入されている。地上だけでなく地下のマテリアルストック(以下、ストック)を考慮することは以下の都市問題に関係している。

- 1) 構造物の廃棄予測:高度経済成長期に建設された建築物や社会基盤の多くが更新時期を迎え、大量の廃棄物が発生されると予想される。また、セメントや砂利石材など建設資材の種類によっては処理容量を超えていく可能性が高い。
- 2) 地下廃棄物の計画的撤去:地下構造物の撤去は地上構造物の撤去に比べコストが高くなることが多く、将来の廃棄物撤去計画においても十分考慮する必要がある。
- 3) 都市鉱山としての有効的活用:鉄や銅、アルミニウムといった資源は地下構造物に多く使われている。これらの資源量を把握することによって、将来再利用する可能性のある資材を溜めておく都市鉱山として活用

ができる。

4) 都市気象との関連性:ヒートアイランド現象をはじめとする都市の気象は、都市の蓄熱量に関係し、蒸発散の少ない被覆によることも一因として考えられる。また本来土や岩盤であった地下の構成要素の変化も影響を及ぼしていると考えられる。

これらの都市問題を解決して行く上で既存のストックを把握していく必要がある。都市構造物のストック分析に関しては、都市構造物の寿命分布や資材投入原単位(以下、原単位)が重要な要因となる。都市構造物の寿命分布の推定に関しては、小松らにより『累計ハザード法』²⁾によって木造住宅に關しての建築寿命の推定³⁾や、野城らが東京都区部の固定資産家屋台帳より「区間残存率推計法」を用いて、非木造建築物の構造種類別において、寿命の推計手法の検討⁴⁾を行っている。資材投入量の原単位については建設業協会⁵⁾や橋本ら⁶⁾、斎藤ら⁶⁾が建築物を対象に構造別、資材別に推計を行っている。建築物以外の社会構造物である道路や下水道に関しては電力中央研究所⁷⁾や、橋本・谷川・坂本ら^{8),9),10),11)}が原単位の設定やストックの推計を行っている。しかし、寿命分布や原単位は地域による気象条件や地盤条件の変化、都市部と地方部での人間活動の違いにより異なっていると既存研究²⁸⁾で述べられているが、具体的に数値による比較はされていない。そこで

本研究では、地域別で寿命分布や原単位を変化させた際のマテリアルフローや環境に与える影響の比較や検証を行うための前段階として、全国都道府県を対象に寿命分布や原単位を統一してストックの推計を行う。

本研究では、統計情報に基づき、建築物・道路・下水道を対象に構造物の地上と地下へ投入、蓄積される資材量を推計することを目的とする。特に、人間の目には触れない地下のストックがどれほど存在するか、経年でどれほどストックが増加しているかの推計を行う。また、日本の各都道府県における構造物の地上と地下のストックの総量の推計を経年的に行う。さらにストック傾向の指標化を行うために単位可住地面積で除したストック密度と、居住人口で除した1人あたりストックの経年的な推計を行い、地域によって建設資材の集積傾向について比較を行う。

2. 都市構造物ストックの推計

各都道府県における構造物の地上と地下ストックの合計と可住地面積^(3), 26), 27)1平方メートルあたり、人口⁽³⁾1人あたりストックの推計を行う。本研究では建築物、道路、下水道の3種類において推計を行う(図-1)。

(1)建築物

建築物ストックは、GL(Ground Line: 地面)より上の構造物部分を地上ストックとして、GLより下の基礎部分を地下ストックとして推計を行う。

建築物ストックの推計では、延床面積と原単位を乗じて推計を行う。原単位については、各種資料^{6),14),15)}より建築年代により構造が変化することを考慮した表-1の値を用いる。延床面積については統計資料^{12),13)}のデータをもとに推計を行うが、構造別での延床面積のデータを経年的に入手出来ないのが現状である。そこで、都道府県の建築物ストックを把握するために、建築物着工データをを用いて推計する。ここでは、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滅失していくと考え、滅失スケジュールは信頼性理論に基づく故障確率

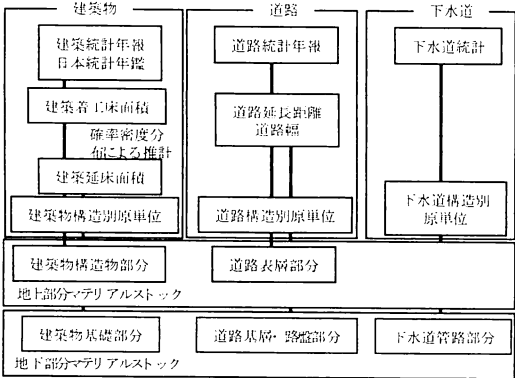


図-1 ストック推計方法

表-1 建築物資材別原単位表(kg/m²)^{6),14),15)}

			-1920-	1924	1950	1959	1971	1974	1981	2000-
			Aggregate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
w	Surface	Cement/Concrete	5.27	5.27	45.75	45.75	72.74	151.50	151.50	177.62
		Mortar	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	14.65	14.65	14.65
		Wood	72.84	72.84	72.84	81.17	81.17	64.92	70.00	70.00
		Glass	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	3.60	3.60	3.60
		Ceramic	52.14	52.14	52.14	52.14	52.14	26.07	26.07	26.07
		Steel	0.56	0.56	1.22	1.22	1.67	1.19	1.21	1.34
		Aluminium	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.71	1.71	1.71
		Other	31.56	31.56	31.56	31.56	31.56	31.67	31.67	31.67
		Aggregate	78.40	78.40	78.40	78.40	78.40	62.25	62.25	62.25
		Cement/Concrete	0.00	0.00	67.15	67.15	111.91	96.83	96.83	116.20
	Subsurface	Mortar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wood	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ceramic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Steel	0.00	0.00	2.60	2.60	3.14	3.48	3.48	4.18
		Aluminium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Surface	Aggregate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Cement/Concrete	806.97	806.97	806.97	1145.79	1145.79	1145.79	1311.22	1311.22
		Mortar	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88
		Wood	18.99	18.99	18.99	18.99	18.99	18.99	18.99	18.99
		Glass	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
		Ceramic	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21
		Steel	38.44	38.44	38.44	41.71	45.59	33.59	46.21	46.21
		Aluminium	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
		Other	7.49	7.49	7.49	7.49	7.49	7.49	7.49	7.49
		Aggregate	180.80	180.80	180.80	198.07	198.07	198.07	198.07	198.07
	Subsurface	Cement/Concrete	474.97	474.97	474.97	612.52	612.52	612.52	612.52	612.52
		Mortar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wood	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ceramic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Steel	21.98	21.98	21.98	25.58	25.58	25.58	25.58	25.58
		Aluminium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Surface	Aggregate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Cement/Concrete	780.68	780.68	780.68	1104.40	1104.40	1104.40	1257.56	1257.56
		Mortar	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88	21.88
		Wood	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91
		Glass	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
		Ceramic	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51
		Steel	27.46	27.46	27.46	29.77	31.37	31.37	33.23	33.23
		Aluminium	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
		Other	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
		Aggregate	180.80	180.80	180.80	198.07	198.07	198.07	198.07	198.07
	Subsurface	Cement/Concrete	474.97	474.97	474.97	612.52	612.52	612.52	612.52	612.52
		Mortar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wood	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ceramic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Steel	21.98	21.98	21.98	25.58	25.58	25.58	25.58	25.58
		Aluminium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Other	0.25	0.25	0.25	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
	Surface	Aggregate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Cement/Concrete	232.08	232.08	232.08	232.59	232.59	232.59	233.05	233.05
		Mortar	90.75	90.75	90.75	98.95	98.95	98.95	106.24	106.24
		Wood	10.72	10.72	10.72	10.72	10.72	10.72	10.72	10.72
		Glass	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
		Ceramic	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
		Steel	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57	133.57
		Aluminium	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
		Other	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47
		Aggregate	172.49	172.49	189.16	189.16	200.28	200.28	217.72	217.72
	Subsurface	Cement/Concrete	179.52	179.52	229.85	229.85	263.41	263.41	295.97	295.97
		Mortar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wood	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ceramic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Steel	6.19	6.19	8.42	8.42	9.90	9.90	11.27	11.27
		Aluminium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Surface	Aggregate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Cement/Concrete	456.25	456.25	466.37	632.13	638.88	658.57	759.08	745.61
		Mortar	34.26	34.26	34.26	36.31	36.31	39.34	41.17	41.17
		Wood	30.11	30.11	30.11	32.20	32.20	28.13	29.40	29.40
		Glass	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.18	2.18	2.18
		Ceramic	14.99	14.99	14.99	14.99	14.99	8.47	8.47	8.47
		Steel	50.00	50.00	50.17	51.57	52.55	52.43	53.55	53.59
		Aluminium	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.77	1.77	1.77
		Other	15.42	15.42	15.42	15.42	15.42	15.44	15.44	15.44
		Aggregate	153.12	153.12	157.29	168.71	168.71	164.67	164.67	160.63
	Subsurface	Cement/Concrete	282.36	282.36	311.71	380.51	400.09	396.32	396.32	409.30
		Mortar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wood	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ceramic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Steel	12.54	12.54	13.74	15.54	16.35	16.13	16.13	16.65
		Aluminium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Other	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

表-2 建築物の寿命分布関数^{3),4),16)}

構造	用途	寿命分布関数	パラメーター	データ年
木造	専用作宅	対数正規分布	$\mu=3.655, \sigma=0.633$	1987
SRC造	事務所	ワイブル分布	$m=14.06, n=131.9, a=112.1$	1990
RC造	専用作宅	対数正規分布	$\mu=3.655, \sigma=0.633$	1987
S造	事務所	対数正規分布	$m=3.127, n=10.141, a=7.329$	1987
C造				

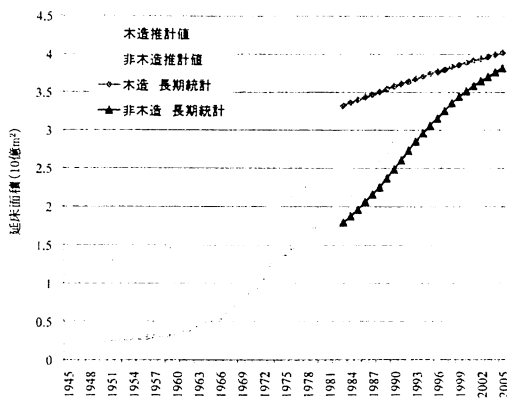


図-2 延床面積比較

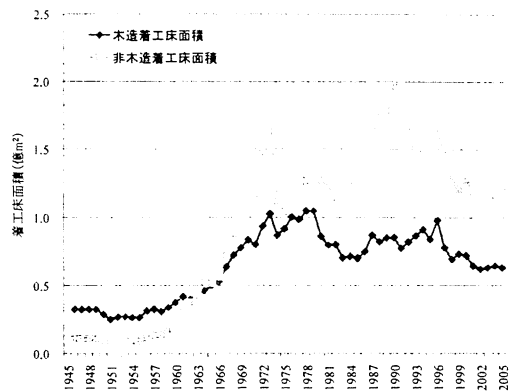


図-3 木造・非木造着工床面積

表-3 道路資材別原単位表(kg/m²)^{6),15),17)}

Pavement Division	Road Division	Surface・Subsurface Division	Use Materials [t/Year]	～1950	1961	1964	1967	1970	1972	1975	1978	1979	1984	1988	1994～
Asphalt Pavement	Municipal Road (Width < 5.5m)	Surface	Asphalt concrete			35.3	→	35.3	→	→	→	47.0	→	→	→
		Subsurface	Aggregate			223.4	→	311.8	→	→	→	311.8	→	→	→
High Grade Asphalt Pavement	Prefectural Road (5.5m ≦ Width < 13m)	Surface	Asphalt concrete		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5
		Subsurface	Aggregate		117.5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	Prefectural Road (13m ≦ Width < 19.5m)	Surface	Asphalt concrete		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5
		Subsurface	Aggregate		117.5	→	→	→	→	→	→	→	→	100.5	100.5
	National Highway, Prefectural Road (Width ≧ 19.5m)	Surface	Asphalt concrete		693.6	→	1027.5	→	→	1027.5	1027.5	→	→	1153.5	1153.5
		Subsurface	Aggregate		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5
	Expressway	Surface	Asphalt concrete		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	100.5	100.5
		Subsurface	Aggregate		930.8	→	1302.5	→	→	1302.5	1405.5	→	→	1527.5	1527.5
	Cement Concrete Pavement	Surface	Cement concrete		117.5	→	117.5	→	→	100.5	100.5	→	→	100.5	100.5
		Subsurface	Aggregate		930.8	→	1531.5	→	→	1531.5	1468.5	→	→	1779.5	1779.5
Gravel Pavement	Municipal Road (Width < 5.5m)	Surface	Steel						571.4	→	→	→	→	→	→
		Subsurface	Aggregate						3.0	→	→	→	→	→	→
	Prefectural Road (5.5m ≦ Width < 13m)	Surface	Aggregate						729	→	→	→	→	→	→
		Subsurface	Aggregate		223.4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	Prefectural Road (13m ≦ Width < 19.5m)	Surface	Aggregate		549.1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
		Subsurface	Aggregate		701.3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	National Highway, Prefectural Road (Width ≧ 19.5m)	Surface	Aggregate		938.4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
		Subsurface	Aggregate												
	Expressway	Surface	Aggregate												
		Subsurface	Aggregate												

密度関数として対数正規分布あるいはワイブル分布を用いて延床面積の算定を行う。残存率 $R(x)$ について、対数正規分布は次式(1)、ワイブル分布は次式(2)に示す。

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

ここで、 μ : 平均値、 σ : 標準偏差である。

$$R(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x - \delta}{\eta}\right)^m\right\} \quad (2)$$

ここで、 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。ただし、 x は築年数である。今回、小松・野城^{3),4)}らにより推計された寿命分布関数及びパラメータ(表-2)を用いて延床面積の算定を行う。また、日

本の長期統計系列²⁵⁾より全国の木造、非木造における延床面積の推計精度の比較を行った。日本の長期統計系列における延床面積は固定資産の価格等の概要調査による統計であるため、推計値では公務文教施設を除いた値との比較を行った(図-2)。非木造では、ほぼ同じ値となったが、木造では推計結果が低くなった。図-3に建築統計年報(1965年以前は日本統計年鑑)による着工床面積をグラフに示すと非木造に比べて、木造の着工床面積が少ないことがわかる。木造の着工数が少ない理由としては、実際に建設された棟数ではなく確認申請を行った家屋の戸数であるため、例えば確認申請の必要がない増築部分の棟数が抜け落ちていることなどが考えられる²⁹⁾。木造については着工床面積が少ないことにより延床面積も少ないという結果となっているが、延床面積グラフの傾きを見ると木造・非木造共にほぼ同じであることから、現状ではどの時期に多く廃棄物が発生するか予測を行うには有効であると考えられる。

表-4 下水道資材別原単位表(kg/m)^(19),20),21),22)

～600mm							600mm～2000mm							2000mm～						
Year	Aggregate	Cement Concrete	Steel	Ceramic	Plastic	other	Year	Aggregate	Cement Concrete	Steel	Ceramic	Plastic	other	Year	Aggregate	Cement Concrete	Steel	Ceramic	Plastic	other
1982	206.1	61.9	2.5	6.8	3.0	2.2	1982	2132.3	1044.4	83.3	0.0	2.8	35.6	1982	15478.1	9752.5	403.7	0.0	11.0	404.5
1983	201.2	59.3	2.3	6.7	3.1	2.7	1983	2165.3	1059.7	82.2	0.0	3.2	29.3	1983	15531.4	10137.4	414.1	0.0	8.7	317.8
1984	199.3	58.0	2.4	6.7	3.2	2.3	1984	2165.2	1068.8	83.2	0.0	3.5	26.7	1984	16922.0	11640.2	420.4	0.0	7.0	335.3
1985	197.9	56.6	2.4	6.5	3.4	2.2	1985	2166.5	1076.1	84.5	0.0	3.8	26.4	1985	16649.4	11223.1	447.5	0.0	7.9	359.2
1986	196.7	55.4	2.4	6.4	3.5	2.2	1986	2182.6	1085.8	86.1	0.0	4.1	27.2	1986	16614.1	11306.5	452.6	0.0	8.3	353.7
1987	195.6	55.1	2.4	6.0	3.6	2.0	1987	2164.3	1181.1	91.9	0.0	4.5	27.7	1987	16447.8	11050.4	466.1	0.0	7.4	348.5
1988	193.6	54.3	2.5	5.7	3.7	2.0	1988	2136.4	1237.7	95.8	0.0	5.3	28.2	1988	16258.3	10813.8	475.0	0.0	7.4	345.5
1989	191.2	53.3	2.5	5.5	3.8	1.9	1989	2148.5	1334.4	102.8	0.0	6.2	29.6	1989	16191.4	10703.5	481.7	0.0	7.5	345.1
1990	188.6	52.2	2.6	5.2	3.9	1.9	1990	2184.4	1458.2	111.8	0.0	7.3	31.4	1990	16201.4	10671.5	487.2	0.0	7.5	346.4
1991	185.8	51.0	2.7	5.0	3.9	1.9	1991	2233.8	1598.6	122.1	0.0	8.4	33.6	1991	16264.2	10693.0	491.9	0.0	7.6	348.8
1992	183.1	49.7	2.7	4.7	3.9	1.8	1992	2289.9	1747.4	132.9	0.0	9.6	36.0	1992	16366.2	10753.4	496.1	0.0	7.7	352.0
1993	180.4	48.5	2.6	4.5	4.0	1.8	1993	2269.4	1686.4	130.8	0.0	9.1	34.8	1993	16499.1	10805.4	508.5	0.0	8.2	355.0
1994	177.2	47.1	2.5	4.4	4.0	1.7	1994	2250.3	1647.9	127.8	0.0	9.0	34.5	1994	16530.5	10846.2	506.2	0.0	8.3	353.0
1995	174.2	45.6	2.4	4.2	4.1	1.7	1995	2232.3	1606.7	125.7	0.0	9.1	34.8	1995	16587.9	10958.7	505.2	0.0	8.2	363.0
1996	171.4	43.9	2.3	4.0	4.2	1.7	1996	2216.8	1574.5	123.4	0.0	9.2	35.9	1996	16698.6	11140.0	498.9	0.0	8.2	363.9
1997	168.3	42.4	2.2	3.8	4.3	1.7	1997	2206.4	1555.5	121.2	0.0	9.2	35.3	1997	16592.4	10999.9	490.1	0.0	9.1	371.4
1998	164.9	40.6	2.2	3.6	4.3	1.7	1998	2190.2	1521.4	117.4	0.0	9.1	35.1	1998	16548.2	11007.4	491.3	0.0	9.7	365.4
1999	161.6	39.0	2.1	3.5	4.4	1.6	1999	2180.4	1499.6	114.5	0.0	9.3	34.9	1999	16623.7	11029.0	491.2	0.0	10.5	377.6
2000	158.5	37.5	2.0	3.3	4.4	1.6	2000	2175.7	1486.1	112.4	0.0	9.3	34.3	2000	16600.1	11031.6	492.6	0.0	10.3	373.2
2001	155.7	36.1	2.0	3.4	4.5	1.6	2001	2168.1	1473.1	110.6	0.0	9.3	34.0	2001	16690.3	11089.5	502.3	0.0	11.4	365.5
2002	153.6	35.1	1.9	3.2	4.5	1.5	2002	2162.6	1461.2	109.5	0.0	9.4	33.7	2002	16739.3	11170.1	499.9	0.0	11.5	360.8
2003	151.8	34.1	1.9	3.2	4.6	1.5	2003	2157.8	1450.5	108.5	0.0	9.4	34.3	2003	16755.1	11216.4	498.0	0.0	12.1	359.0
2004	150.0	33.3	1.8	3.1	4.6	1.5	2004	2153.7	1443.5	107.6	0.0	9.4	34.0	2004	16856.8	11322.0	497.5	0.0	12.3	355.3
2005	148.6	32.6	1.8	3.0	4.6	1.5	2005	2152.1	1437.1	106.6	0.0	9.4	33.8	2005	16869.0	11347.5	497.9	0.0	12.3	350.3

(2)道路

道路ストックは、道路表層部分を地上ストックとして、道路基層、路盤層部分を地下ストックとして推計を行う。道路ストックの推計は統計資料⁽¹⁸⁾のデータを用いて推計を行う。統計データでは20m以上と幅員の上限設定がなく、推計精度向上のために地図データとの比較検証を行うといった方法があるが、地域によっても幅員の割合が異なるため現状では計算速度や作業効率の面から今回は20mと設定して推計を行っている。道路の総延長及び道路幅から面積を求めて、表-3の原単位を乗じることによって求める。原単位は年代による道路構造の変化を考慮し、経年的に原単位の算出を行った。

(3)下水道

下水道については下水管路及び下水管基礎部、人孔部分の推計を行う。下水道ストックは、下水道統計⁽¹⁹⁾より管径別の管路延長から原単位を乗じることによって推計を行う。統計データでは管径が2000mm以上と管径の上限設定がないため実際よりも少なく推計されていると考えられる。推計精度を向上する上では2000mm以上の管径割合を下水道台帳により推定する必要があるが、現状では道路と同様に今回は管径2000mmとして推計を行っている。原単位については、年代によって投入される資材が異なっていることを考え、経年で原単位を変化させる。今回、下水道統計より1982年から2005年までの管径及び管種別発注延長から、管種別（管種は陶管、ヒューム管、強化プラスチック管、レジン管、推進管、鋼製セグメント、コンクリートセグメント、鋼管、铸铁管、既成ボックスがあげられる）での1mあたりの重量を乗じて、資材投入量を求める。その資材投入量から発注延長の合計で割ることによって1mあたりでの資材別での原単位を求めた(表-4)。今回、1982年以前のデータについては1982年での原単位を用いて推計を行った。

3.都市構造物のストック推計結果

全国合計について建築物、道路、下水道における地上と地下のストックを示したグラフを図-4に示す。都道府県別における可住地面積1m²あたりストック（以下、ストック密度）を図-5、図-6に、都道府県別における1人あたりストックを図-7、図-8に示す。ここでMSはMaterial Stockを示す。

都市構造物の全国合計では地上ストックでは建築物の割合が多く、地下では建築物と道路の割合が多くなった。地上ストックは道路表層に投入される資材量は少ないため建築物ストックの割合が多く、地下ストックでは道路基層・路盤層部分と建築基礎部分に資材が多く投入されるためであると考えられる。経年で見ると1975年が55億トン（地上ストック25億トン、地下ストック30億トン）に対して、2005年は137億トン（地上ストック60億トン、地下ストック76億トン）と約2.5倍の違いであるが、1975年から2005年までの都市構造物別の増加率をみると建築物2.5倍、道路2.4倍、下水道6.6倍と下水道の増加率が最も多い結果となった。そのため、地上の都市構造物ストックの割合は変化しないが、地下においては地下全体のストックの下水道の割合が2%から6%に増加した。

(1)建築物

資材別に分類を行ったストックのグラフを図-4に示す。1945年の地上においては木材が2割あったが、2005年になると5%と大きく減少している。一方で1945年には半分であったセメントコンクリートが2005年には地上地下共に7割近くがセメントコンクリートで占める結果となった。これはコンクリートを用いるRC造や

SRC造の割合が増加したこと、基礎にコンクリートが用いられていることが影響している。また、地上地下ともに鉄が増加しているRC造の増加に加えてS造の着工が増加したことが考えられる。地下部分は砂利石材の割合が多い結果となったが、基礎部分に砂利石材が割栗として用いられていることが影響したと考えられる。

(2) 道路

前項の場合と同様に、道路に関しても資材別にストック推計を行なった(図-4)。地上部分の1975年から2005年にかけてアスファルトコンクリートの割合が多い。これはセメントコンクリート舗装よりアスファルト舗装が多いためであると考えられる。地下部分においても砂利石材が9割と多いが、これは路盤部分として砂利石材が用いられるためである。

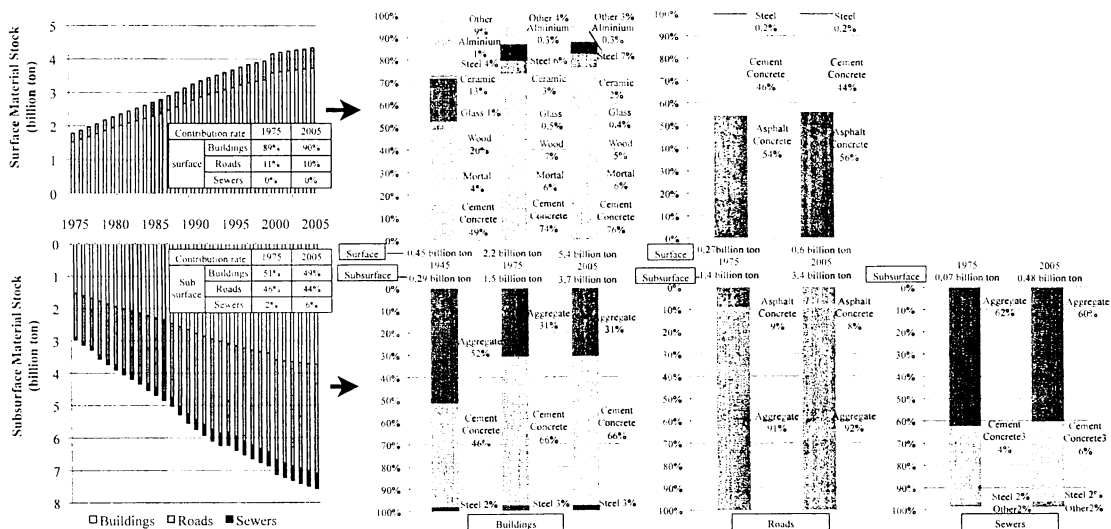


図-4 都市構造物ストック資材別推計結果(全国、建築物1945,1975,2005, 道路・下水道1975,2005)

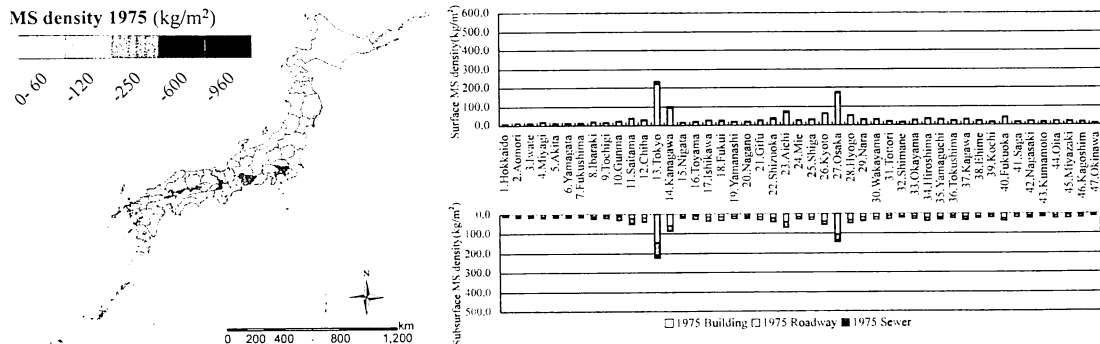


図-5 1975年都道府県別ストック密度(可住地面積あたり)

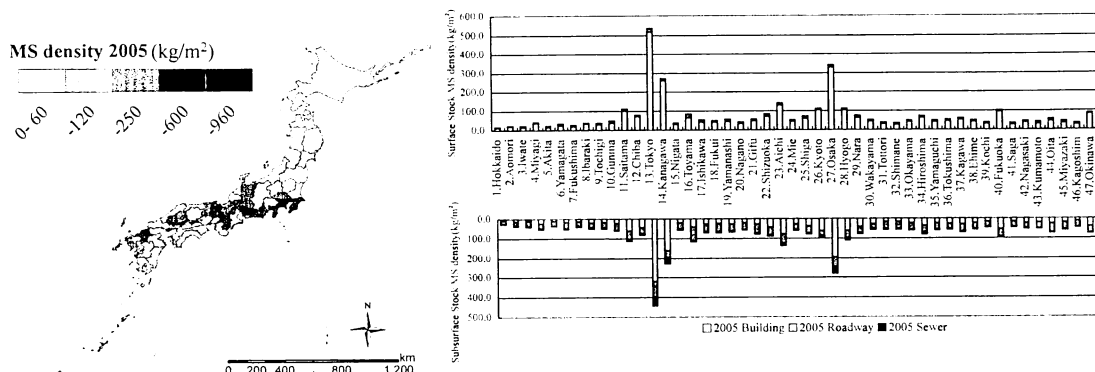


図-6 2005年都道府県別ストック密度(可住地面積あたり)

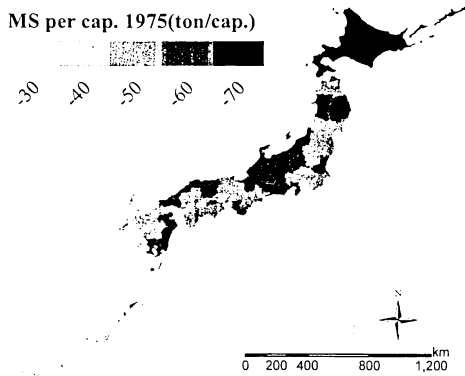


図-7 1975年1人あたりストック

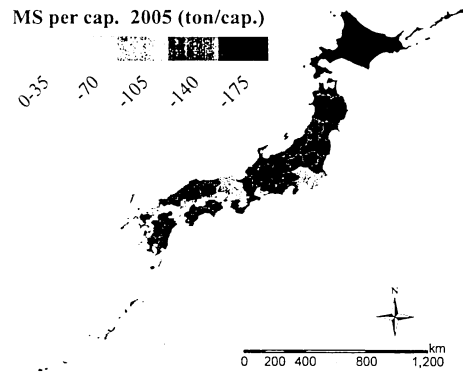


図-8 2005年1人あたりストック

(3)下水道

前項の場合と同様に、下水道に関しても資材別にストック推計を行なった(図-4)。資材別で見ると、管の基礎部分に用いられる砂利石材の量が下水道全体の6割と多くなった。1975年から2005年にかけてセメントコンクリートが増加している。セメントコンクリートが3割と多くなったのは大口径になるほどコンクリート管が用いられるため、小口径に用いられる塩ビ管などのプラスチック類に比べてストックが大きいためである。

(4)都道府県別ストック密度

都道府県別ストック密度について、1975、2005年共に東京都(1975年401kg/m²、2005年952kg/m²)や大阪府(1975年278kg/m²、2005年597kg/m²)といった大都市圏でのストック密度が高い値を示した。密度が最も低かったのは両年共に北海道(1975年14kg/m²、2005年39kg/m²)であった。1975年から2005年にかけての変化は、関西圏、関東圏にストックが集中し、関東・東海・関西・瀬戸内地方を中心にストック密度が増加している結果となった。地上地下のストック割合について、建築物ストックの割合が多い東京都や大阪府では45%、道路ストックの割合が多い北海道・東北地方では65%地下にストックされていることが分かった。これは、北海道・東北地方に道路が整備されたことが影響していると考えられる。

(5)都道府県別1人あたりストック

都道府県別1人あたりストックについて、1975、2005年共に関東・関西地方における1人あたりストックは低く、北海道・東北・北陸地方における1人あたりストックは高い傾向となった。1人あたりストックが高かったのは1975年は福井県で60(t/cap.)、2005年は北海道の163(t/cap.)であった。1人あたりストックが低かったのは、1975年は神奈川県で36(t/cap.)、2005年は埼玉県で74(t/cap.)であった。1975年と2005年を比較すると関東地方と北海道・東北地方との1人あたりストックの開きが広がった。これは、北海道・東北地方に社会基盤が整備されたことや人口の増加や減少が関係していると考えられる。

4.まとめと今後の課題

研究では、都道府県別の統計情報を用い、建築物、道路、下水道を対象に地上と地下に区分したストックを経年的に推計し、ストック密度および1人あたりストック量について検討を行った。本研究の成果は、都市の低炭素化、投入資源抑制に関連する施策、特に建設資材に関わる施策立案の基礎情報を提供するものである。セメントや鉄鋼生産といったCO₂多排出型・エネルギー多消費型産業と建設産業は密接に関わっていることから、建設ストックへの投入・排出の動向分析は今後も重要になると考えられる。本研究の成果をまとめると以下の通りである。

- 1) 建築・道路・下水道について建設基準法等の建設規制の変化を考慮し、各年代の建設資材投入原単位の整備を行なった。
- 2) 全国都道府県別の建築物・道路・下水道ストックを1975年から2005年まで経年的に推計を行い、その傾向を把握することができた。また、建築物に関しては1945年から、道路に関しては1966年からストックの推計を行うことができた。
- 3) 建設物のストックに関する指標として、ストック密度および1人当たりのストックの算定を行ない、都道府県別にストックの蓄積傾向の把握が可能となった。

また、ストックの動向を把握するための今後の課題としては以下の通りである。

- 1) 本研究では統計情報を用いトップダウン方式による推計を行ったが、施策への基礎情報の提供のためには、空間分析を行い地域の特性を考慮する必要がある。ボトムアップ方式による推計(GIS等を用いた方法)との連携を検討してゆく。
- 2) 気候や地盤条件等を考慮した資材投入原単位の推計や、今回推計できなかった銅のような金属を含む資材についても原単位を整備する必要がある。
- 3) 特に建築物の内装についての情報が含まれていないため、例えば建築物が長寿命化した場合の改装について考慮することができていない。将来シナリ

オを考慮した資材投入原単位の整備が必要である。

- 4) 寿命要因について、精緻化する必要がある。特に建築物の寿命は商業地区を多く含む地域ほど、用途地域や容積率の変更といった社会的要因や地価や域内総生産 (GDP) といった経済的要因が作用している可能性が高いと考えられる。

謝辞:本研究は環境省廃棄物処理等科学研究費補助金 (K2031)および環境省地球環境研究総合推進費 (Hc-086, S6-4)の成果の一部である。関係者各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 環境省:平成20年版 環境 循環型社会白書,p173,2008.
- 2) 加藤裕久,小松幸夫:木造専用住宅の寿命に関する研究 - 累計ハザード法による寿命確定-,日本建築学会計画系論文報告集 第363号,1986.
- 3) 野城智也,加藤裕久,吉田倬郎,小松幸夫:東京都中央区における事務所建築の寿命実態 非木造建築物の寿命実態に関する調査研究,日本建築学会計画系論文報告集,第413号,1990.
- 4) 建設業協会:我が国の建設分野における活動による環境負荷と関連活動の実態調査結果および業界としての今後の活動の方向について,1992.
- 5) 橋本征二,寺島泰:建築物解体廃棄物の原単位設定, 廃棄物学会論文誌,Vol. 10, No.1, pp.35-44,1999.
- 6) 斎藤章恵,谷川寛樹,日下正基:都市構造物に関する資材投入原単位の定量化に関する研究,土木学会全国大会,2003.
- 7) 田頭直人,内山洋司:都市インフラストラクチャー整備のライフサイクル分析,電力中央研究所,1997.
- 8) Seiji Hashimoto, Hiroki Tanikawa, Yuichi Moriguchi:Where will large amounts of materials accumulated within the economy go? -A material flow analysis of construction minerals for Japan, Waste Management, Volume 27, Issue 12, pp.1725-1738, 2007.
- 9) 橋本征二,谷川寛樹,森口祐一:建設鉱物のマテリアルバランス~失われるマテリアルストックと再生砕石の需給に関する検討,土木学会環境システム研究論文発表会(講演集),pp.497-502, 2003.10.
- 10) 坂本辰徳,谷川寛樹,橋本征二,森口祐一:地域マテリアルフロー推計に用いる都市構造物の資材投入原単位と耐久年数の推計,環境情報科学論文集,No18,pp.271~276,2004.11.
- 11) 谷川寛樹,松本亨,井村秀文:都市構造物に関連したマテリアルストックの推計・評価に関する研究,環境システム研究, Vol.27, pp347-354,1999.
- 12) 建設省建設経済局調査情報課:建築統計年報,建築物調査会,1966-2007.
- 13) 総務省:日本統計年鑑,1945-2007.
- 14) 稲垣さや香,坂本辰徳,谷川寛樹:建築物解体時における未回収建設資材の推計に関する研究,第34回環境システム研究発表会講演集,2006.
- 15) 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,第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 2008.
- 16) 橋本征二他:平成18年度廃棄物処理等科学研究報告書 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管理戦略研究,p91-104,2006.
- 17) 坂本辰徳:マテリアルフローを活用した循環型社会構築を支援するGISツールに関する研究,p.14,p.26,2005.
- 18) 国土交通省道路局:道路統計年報,全国道路利用者会議, 1965-2007.
- 19) (社)日本下水道協会:下水道統計,1977-2007.
- 20) 上下水道機材辞典編集委員会:上下水道機材事典,産業調査会,1978.
- 21) 東京都下水道研究会:下水道管渠施行ハンドブック 改訂,山海堂,1983.
- 22) 下水道技術研究会:下水道技術用語事典,山海堂,1982.
- 23) 竹々原啓介:都市再生と資源リサイクル - 資源循環型社会の形成に向けて-,2002.
- 24) 橋本征二,谷川寛樹,森口祐一:経済社会に蓄積する潜在廃棄物及び非潜在廃棄物推計の枠組み:建設鉱物の事例研究,第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 2008.
- 25) 総務庁統計局,日本の長期統計系列, <http://www.stat.go.jp/data/chouki/index.htm>
- 26) 総務庁統計局,時系列で見る県のすがた, 1991.
- 27) 総務庁統計局,統計で見る都道府県のすがた, 1992-2007.
- 28) 小松幸夫, 加藤裕久,三橋博己:東京4区における事務所建築のストック調査と寿命推計,日本建築学会計画系論文集, No.465,pp.123-132,1994.
- 29) 堤洋樹,小松幸夫:1980年以降における木造専用住宅の寿命の推移,日本建築学会計画系論文集, No.580,pp. 169-174,2004.

ESTIMATION OF SURFACE / SUBSURFACE MATERIAL STOCK RELATED TO THE CONSTRUCTION SECTOR OF ALL PREFECTURES IN JAPAN

Kohei NAGAOKA, Ryo INAZU, Yoshihiro TOHGISHI,
Hiroki TANIKAWA, Seiji HASHIMOTO

Stocked construction materials exist not only on the surface but in the subsurface. Stocked materials on the surface, such as buildings, are easy to recognize and control by law, but stocked subsurface materials are hard to handle and even harder to quantify. Furthermore, underground stock relates to some urban problems, such as intentional withdrawal of underground wastes, efficient use as recycling resource, urban heat island. Therefore quantifying urban material stock and unveiling the input history of construction materials to subsurface could provide a new basic dataset for urban area assessment. Surface / subsurface construction material is estimated based on statistical data. In this paper, total mass of surface / subsurface material stock estimated over time, country, prefectures. The results indicated that overall prefectures of surface material stock is 2.5 billion tons, subsurface material stock is 3.0 billion tons in the year of 1975. In 2005, surface material stock related is 6.0 billion tons, subsurface material stock is 7.6 billion tons. This concentration increased 2.5 times over the 30 years from 1975 to 2005.