

大都市における 地下のマテリアルストックの推計に関する研究

藤原 梓¹・谷川 寛樹²・金子 慎治³

¹学生会員 和歌山大学 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

E-mail: s094053@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学准教授 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

³正会員 広島大学大学院准教授 国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)

都市の成長とともに社会基盤が整備され、建設部門に投入される資材は実際に目に見えている地上部分だけに存在するのではなく、地下部分にも多く存在している。地下のマテリアルストック（以下、地下ストック）を考慮することは、地下廃棄物の計画的撤去、再利用資源としての効率的活用、ヒートアイランド現象との関連性などの都市問題に関係があると考えられる。そこで本研究では、社会基盤の整備が進んでいる政令指定都市における都市構造物（＝建築物基礎、道路）の地下ストックの推計を行った。推計方法としては、統計情報をもとに各政令指定都市で都市構造物の構造別にそれぞれの地下ストック量の推計を行った。さらに、都市構造物別に地下ストック密度の推計を行った。

Key Words: Material Flow Analysis, Underground materials, Foundation of building, Road

1. はじめに

循環型社会白書¹⁾によると、2004 年（平成 16 年）におけるわが国の総物質投入量は 19.4 億トンと推計されているが、そのうちの 8.3 億トンが建物、社会インフラなどの形で蓄積されている。図-1 は建設用鉱物の用途別の内訳を推計したものであるが、その中でも建築物が全体の約 25%、道路が全体の約 20%を占めていることがわかる。つまり、建築物と道路をあわせたマテリアルストックを推計すれば、全体の約 45%を把握することができると考えられる。

都市の成長にあわせ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に存在するのではなく、地下部分にも多く投入されている。具体的には、道路や上下水道、地下鉄、建築物の基礎杭などである。地下のマテリアルストックを考慮することは次の都市問題に関係があると考えられる。

1) 地下廃棄物の計画的撤去：地下構造物の廃棄物

撤去は地上物の撤去に比べコストが高くなる 경우가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。

2) 都市鉱山としての効率的活用：卑金属であるが鉄や銅といった資源は地下構造物に多く使われている。これらの資源量をカウントすることは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の都市の価値を考慮することができる。

3) ヒートアイランド現象との関連性：都市の蓄熱量は蒸発散の少ない被覆によるものと考えることができるが、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ることができる。地下のマテリアルストックは都市の「石化指数」のようなものとして捉えることができる。

そこで本研究では、社会基盤の整備が進んでおり、1989 年から統計情報を入手することができる 11 政令指定都市（現在の政令指定都市は合計 17 都市）における建築物と道路の地下のマテリアルストック推計を行う。また、地上の都市構造物との比較をするために地上マテリアルストック推計も行う。

(百万トン)

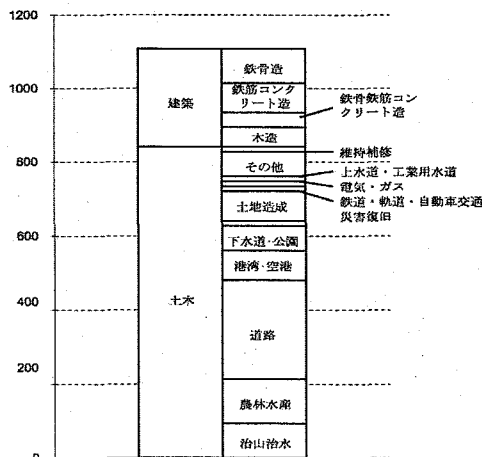


図-1 建設用鉱物の需要内訳

(出典：橋本 (2000) ²⁾ より)表-1 建築物原単位 ⁵⁾ ¹⁴⁾

区分	構造	原単位 (t / m ²)
全体	木造	1.372
	非木造	2.161
地下	木造	0.317
	非木造	0.508

$$Density = \frac{Stock}{Area} \quad (2)$$

ここで、 $Density$ = ストック密度、 $Area$ = 市街化区域面積である。建築物のストック密度では、市街化区域面積を母数としてストック密度の計算を行う。市街化区域面積とは、既に市街地を形成している区域、または今後10年以内に優先的かつ計画的に市街化を図るべき区域 ⁶⁾ の面積とされている。一方、都市全体の面積では山林などの社会インフラが整備されていない面積が含まれている。したがって、より正確なストック密度を推計するために、市街化区域面積を母数とする。

建築物の一人あたりの地下ストック量の推計では、前述した建築物の地下ストック量の推計結果と総人口数を用いて推計を行う。建築物の一人あたりのストック量の計算式は次を式(3)に示す。

$$Stock_{capita} = \frac{Stock}{Population} \quad (3)$$

ここで、 $Stock_{capita}$ = 一人あたりのストック量、

$Population$ = 総人口数である。

(2) 道路

道路についてのマテリアルストックは、表層が地上に存在し、基層、路盤層の部分が地下に存在するものとしてストック量、ストック密度、一人あたりのストック量の推計を行う。道路のマテリアルストックの推計も統計資料のデータをもとにして推計を行い、データとしては、道路面積、市街化区域面積、総人口数を用いる。

道路の地下ストック量の推計では、道路面積と原単位を用いて推計を行う。道路のストック量の計算式は式(1)と同様である。道路の原単位でも、ストック量の計算を行う道路の構造によって異なる。したがって、前述した建築物の地下ストック量の計算と同様に、まず構造別にストック量を求めた後で道

(1) 建築物

建築物についての地下のマテリアルストックは、GL (Ground Line: 地面) 以下の基礎部分としてストック量、ストック密度、一人あたりのストック量の推計を行う。建築物のマテリアルストックの推計は、統計資料 ³⁾ ⁴⁾ のデータをもとに推計を行う。統計資料からのデータとしては、建物床面積、市街化区域面積、総人口数を用いる。

建築物の地下ストック量の推計では、建物床面積と原単位を用いて推計を行う。ストック量の計算式は次の式(1)に示す。

$$Stock = S \times K \quad (1)$$

ここで、 $Stock$ = ストック量、 S = 面積、 K = 原単位である。建築物の原単位は、ストック量の計算を行う建築物の構造によって異なる。よって、ストック量の計算は、まず建築物の構造別に行い、さらに建築物全体でのストック量を求める。分類する建築物の構造としては、木造と非木造とし、用いる統計データや原単位も構造別のものとする。原単位については過去の研究論文 ⁵⁾ の原単位を用いる。使用した原単位を表-1に示す。

建築物の地下ストック密度の推計では、前述した建築物の地下ストック量の推計結果と市街化区域面積を用いて推計を行う。ストック密度の計算式は次の式(2)に示す。

路全体でのストック量を求める。分類する道路の構造としては、高級アスファルト舗装、簡易アスファルト舗装、セメントコンクリート舗装、砂利道とし、用いる統計データや原単位も構造別のものとする。原単位は、高級アスファルト舗装と簡易アスファルト舗装については過去の研究論文⁷⁾の原単位を用いる。セメントコンクリート舗装と砂利道については舗装要綱などの参考文献^{7) 8) 9) 10) 11) 12) 13)}をもとに原単位の計算を行う。使用した原単位を表-2に示す。

道路の地下ストック密度の推計では、前述した道路の地下ストック量の推計結果と市街化区域面積を用いて推計を行う。道路のストック密度の計算式は式(2)と同様である。道路の地下ストック密度でも、前述した建築物の地下ストック密度の計算と同様に、市街化区域面積を母数としてストック密度の計算を行う。

道路の一人あたりの地下ストック量の推計では、前述した道路の地下ストック量の推計結果と総人口数を用いて推計を行う。道路の一人あたりのストック量の計算式は式(3)と同様である。

3. 地上マテリアルストックの推計方法

(1) 建築物

建築物についての地上のマテリアルストックは、GL以上のものとしてストック量、ストック密度、一人あたりのストック量の推計を行う。統計資料のデータとしては、建築床面積、市街化区域面積、総人口数を用いる。

建築物の地上ストック量の推計では、建築物の地下ストック量と全体のストック量を用いて推計を行う。ストック量の計算式は次の式(4)に示す。

$$Stock_{upper} = Stock_{all} - Stock_{lower} \quad (4)$$

ここで、 $Stock_{upper}$ = 地上ストック量、 $Stock_{all}$ = 建築物全体のストック量、 $Stock_{lower}$ = 地下ストック量である。まず建築物全体のストック量を求め、そこから地下ストック量を減算することで地上ストック量を求める。建築物全体のストック量の計算式は式(1)と同様である。原単位については過去の研究論文¹⁴⁾の原単位を用いる。使用した原単位は表-1の「全体」の部分に示している。

表-2 道路原単位^{7) 8) 9) 10) 11) 12) 13)}

年代	区分	構造	舗装厚層			
			高級アスファルト(t/m ²)	簡易アスファルト(t/m ²)	セメントコンクリート(t/m ²)	砂利(t/m ²)
2004	地上	表層	0.1176	0.094	0.5714	-
		基層	0.1175	-	-	-
	地下	上層路盤	0.609	0.147	0.42	-
		下層路盤	0.721	0.1442	0.515	0.205
		地下合計	1.4475	0.2912	0.935	0.205
	全体		1.5651	0.3852	1.5064	0.205
1923~2003	地上	表層	0.1176	0.094	0.5714	-
		基層	0.1175	-	-	-
	地下	上層路盤	0.7095	0.147	0.42	-
		下層路盤	0.515	0.1202	0.515	0.205
		地下合計	1.336	0.2672	0.935	0.205
	全体		1.4536	0.3612	1.5064	0.205

建築物の地上ストック密度の推計では、前述した建築物の地上ストック量の推計結果と市街化区域面積を用いて推計を行う。計算式は式(2)と同様である。

建築物の一人あたりの地上ストック量の推計では、前述した建築物の地上ストック量の推計結果と総人口数を用いて推計を行う。計算式は式(3)と同様である。

(2) 道路

道路についての地上のマテリアルストックは、表層の部分が地上に存在するものとしてストック量、ストック密度、一人あたりのストック量の推計を行う。統計資料のデータとしては、道路面積、市街化区域面積、総人口数を用いる。

道路の地上ストック量の推計で用いる統計資料のデータ、計算方法、計算式は道路の地下ストック推計のものと同様である。原単位については、表-2の「表層」の部分に示している。

道路の地上ストック密度の推計では、前述した道路の地上ストック量の推計結果と市街化区域面積を用いて推計を行う。

道路の一人あたりの地上ストック量の推計では、前述した道路の地上ストック量の推計結果と総人口数を用いて推計を行う。計算式は式(3)と同様である。

4. 地下・地上マテリアルストックの推計結果

(1) 建築物

建築物の地上、地下のストック量、ストック密度、一人あたりのストック量の推計結果を図-2～図-4に示す。図-2がストック量の推計結果であり、図-3がストック密度の推計結果であり、図-4が一人あたりのストック量の推計結果である。なお、この節以降に示している全てのグラフでは、地上、地下での結

果をそれぞれグラフの上部、下部に分けて示している。また横軸は西暦を表しており、その範囲は1989年～2004年である。

まず、ストック量のグラフでは、地上ストックが増加していくのにしたがって、地下ストックも徐々に増加しているのが読み取れる。地下に存在するストック量は全体のストック量の約23.4%である。また、2章1節と3章1節で推計した様に構造別でストック量を推計した結果、年数が経過するにつれて木造ではあまり変化せず、非木造では増加傾向を示した。さらに、非木造のストック量は木造の平均2.9倍となった。よって、全体のストック量は非木造に影響され、全体的に増加傾向を示す結果となっている。

次に、ストック密度のグラフでは、地上、地下で

共に東京都区部や大阪市など都市圏の中心である場所が高い値を示している。また、ストック量や市街化区域面積に影響され他の政令指定都市と順位がはっきり分かれる結果となった。

最後に、一人あたりのストック量のグラフでは、地上、地下共に順位に若干差があることが読み取れる。最上位と最下位とのストック量の差は、地上では20～30トン、地下では7～10トンとなった。

凡例		政令指定都市
棒グラフ	折れ線グラフ	札幌市
		仙台市
		東京都区部
		川崎市
		横浜市
		名古屋市
		京都市
		大阪市
		神戸市
		広島市
		北九州市

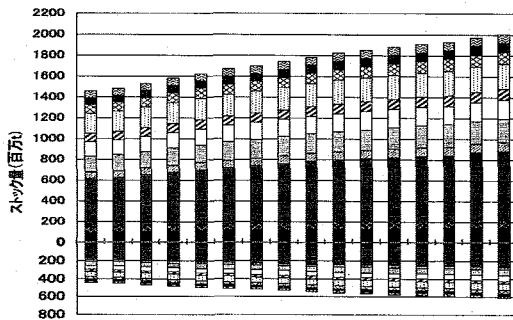


図-2 建築物ストック量

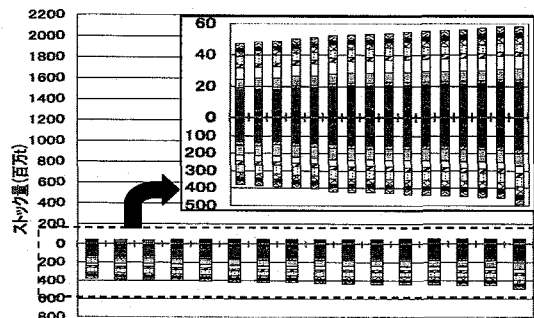


図-5 道路ストック量

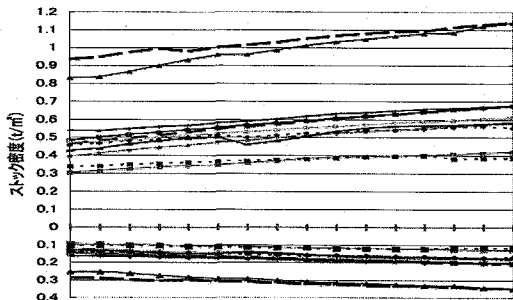


図-3 建築物ストック密度

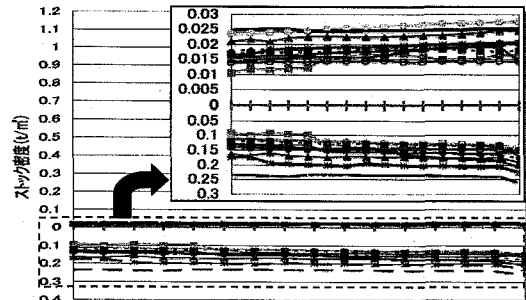


図-6 道路ストック密度

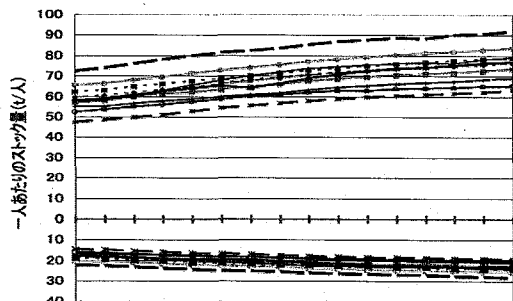


図-4 一人あたりの建築物ストック量

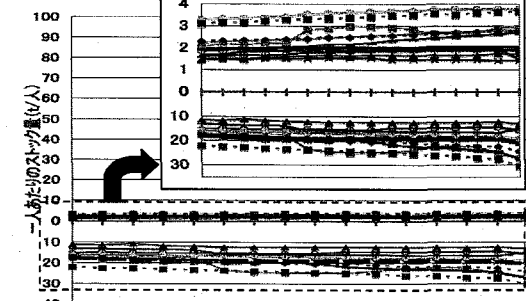


図-7 一人あたりの道路ストック量

(2) 道路

道路の地上、地下ストック量、ストック密度、一人あたりのストック量の推計結果を図-5～図-7に示す。図-5がストック量の推計結果であり、図-6がストック密度の推計結果であり、図-7が一人あたりのストック量の推計結果である。

まず、ストック量のグラフでは、大部分の資材が地下に投入されていることが読み取れ、地下に投入されているストック量は道路全体のストック量の約88.8%である。また、2章2節と3章2節で推計した様に構造別でストック量を推計した結果、砂利道だけが減少傾向を示した。しかし、砂利道の全体的なストック量が少なく、他のストック量が全て増加傾向を示したので、道路全体のストック量の推計結果は増加傾向を示している。

次に、ストック密度のグラフでは、地上、地下でのストック量の違いに影響され、地下での密度の方が高くなっている。また、地下ストック量の推計結果で大阪よりも東京の方が高い値を示していたのに対して、地下ストック密度での推計結果では東京よりも大阪の方が高い値を示している。したがって、大阪での道路の地下ストックは狭い範囲で深い地点までつまっているということが考えられる。

最後に、一人あたりのストック量のグラフでは、ストック密度での各都市の順位のほぼ逆を示す結果になっている。北九州市や仙台市などは密度が低いのに対し一人あたりのストック量が多いため、東京都区部などに比べてストックを消費する効率が悪いと考えられる。

(3) 建築物と道路全体での結果の比較

建築物、道路の全体で地上と地下の比較を行うために、1節、2節での建築物、道路の推計結果を経年ごとに加算したグラフを図-8～図-10に示す。図-8がストック量の推計結果であり、図-9がストック密度の推計結果であり、図-10が一人あたりのストック量の推計結果である。

まず、ストック量の推計結果では、建築物、道路が共に増加傾向であったことから、全体のストック量も増加傾向である。地上部分では建築物が、地下部分でも若干建築物が道路よりも影響を与えており、建築物地下ストック量は道路地下ストック量の約1.9倍である。また、全体の地下ストック量は全ストック量の約35.9%であり、約1.8倍すると全体の地上ストックとなる。

次に、ストック密度の推計結果では、大阪市、東京都区部と他の政令指定都市との差が近寄りも地上

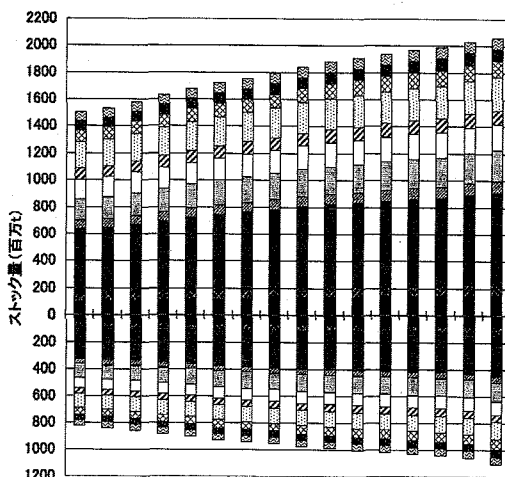


図-8 全体のストック量

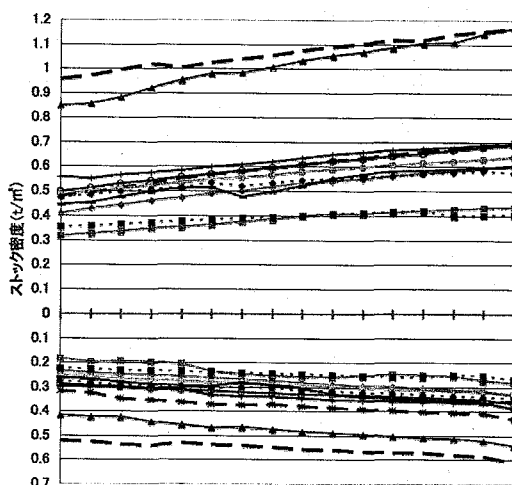


図-9 全体のストック密度

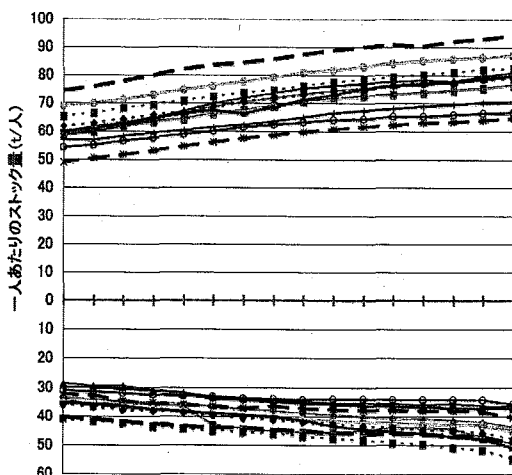


図-10 全体の一人あたりのストック量

ではっきりと分かれていることが読み取れる。また、図-9より、それぞれの政令指定都市で地上ストックの約50%のストックが地下に存在していると考えられる。

最後に、一人あたりのストック量の推計結果では、ストック密度とは逆の順位で増加傾向を示すグラフとなっていることが読み取れる。具体的には、仙台市、東京都区部、北九州市の政令指定都市の順位が大きく変化している。このことから、同じ都市構造物でも政令指定都市によって一人あたりのストック量は変化し、この差をできるだけ小さくし、全体的なストック量も0に近づけることで、より効率的にマテリアルストックを消費することができると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究により、大都市の中に存在している建築物、道路のマテリアルストックについて、かつ実際には目には見えていない地下部分のマテリアルストックについて、その推移を経年的に推計することができた。また、地下部分のマテリアルストックの推計と共に地上部分のマテリアルストックも推計したことで、それらのストック推計結果を比較しながら推計することができた。

今後の課題については以下の通りである。

- 1) 建築物のマテリアルストック推計について、木造、非木造の大まかな分類をさらに細かい項目で分類し、推計を行う。
- 2) 本研究で今回加えていなかった上下水道、ガス管、電線、鉄道、地下鉄などの都市構造物についても推計を行う。

参考文献

- 1) 環境省：平成 19 年度版 環境・循環型環境白書，2007。
- 2) 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碎石の需給に関する検討，第 31 回環境システム研究論文発表会講演集，pp. 497-502，2003
- 3) 大都市統計協議会：大都市比較統計年表，1971-2004。
- 4) 東京都政策報道室：東京都が管理する社会資本の維持更新需要額の将来推計-2001-2030 年度，道路，橋梁，上水道，下水道，地下鉄，住宅を中心に-，1998。
- 5) 稲垣さや香：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，環境システム研究論文発表会講演集，vol. 34，pp. 291-296，2006。
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課，建築技術者試験研究会：平成 18 年度版 基本建築関係法令集〔法令編〕，2006。
- 7) 神山大典，坂本辰徳，谷川寛樹：建設セクターのマテリアルフロー定量化を目指した資材投入量原単位の推計，土木学会関西支部年次講演会概要，2004。
- 8) 斎藤章恵：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，土木学会関西支部年次講演会概要，2003。
- 9) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，1972。
- 10) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱 改訂版，1984。
- 11) 橋高義典，杉山央：新編 建築材料，市ヶ谷出版社，2003。
- 12) 石井一郎，丸山暉彦，元田良孝：新版 道路工学-土木教程選書，鹿島出版会，2004。
- 13) 谷藤正三：砂利道の建設と補修，オーム社，1953。
- 14) 酒井寛二：建築活動と地球環境-建築のライフサイクル環境負荷-，空気調和・衛生工学会新書，1995。

ESTIMATION OF UNDERGROUND MATERIAL STOCK OF MEGA CITIES

Azusa FUJIWARA , Hiroki TANIKAWA and Shinji KANEKO

Huge material is required in the city region for maintaining and developing Urban infrastructure (i.e. the stock of buildings and road networks). These materials are stocked not only above-ground but under-ground. The material stocked on the ground is easy to recognize, but underground stock is hard to quantified. Furthermore, underground stock relates to some urban problems, such as intentional withdrawal of underground wastes, efficient use as recycling resource, urban heat island. This paper attempts to estimate above/under-ground material stock related to urban infrastructures of 11 Government Ordinance Designated City. The results indicated that overall average of above ground material stock related to building and roadway is 78 tons per capita, underground material stock is 45 tons per capita in the year of 2004.