

建設系物質ストックの利用度に応じた 定量化手法の構築に関する研究

藤田 恭介¹・谷川 寛樹²・奥岡 桂次郎³

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D2-1)
E-mail:fujita.kyosuke@e.mbox.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D2-1)
E-mail:tanikawa@nagoya-u.jp

³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D2-1)
E-mail:okuoka@nagoya-u.jp

循環型社会形成に向けて、資源投入量や廃棄物発生量の抑制に貢献する物質ストックの定量化及び利用状況の把握が求められている。本研究では、道路インフラの機能に着目した物質ストックの利用状況を把握する手法を構築し、利用度に応じた道路インフラの物質ストック量の推計を行った。結果の一例として、設計基準交通量に対する利用度に応じた、愛知県における2010年の国道都道府県道の物質ストック量の推計結果を示す。全体4273万トンの67%に当たる2848万トンが設計基準に対する利用度81~90%の区間に集中しており、利用度が70%以上の道路が全体の8割を占めた。一方で、鳥取県の利用度81~90%を占める物質ストック量は全体の34%、利用度11~20%の物質ストック量は14%を占め、都道府県ごとの道路インフラの物質ストックの利用度の差を推計した。

Key Words : *Material stock of Road, Service ,Function of Traffic and Access , material intensity, geographic information system*

1. はじめに

わが国では、循環型社会形成に向けた天然資源の消費抑制と環境負荷の低減のために、資源の投入、排出に伴う物質フローが把握されてきた。2010年の国内資源投入量5.82億トン¹⁾の85%を砂利、碎石、石灰石による建設資材が占め、2013年における産業廃棄物業種別排出量3.84億トン²⁾の21%を建設業が占める。また建設資材は構造物として社会に長期間滞留した後に排出されるため、物質ストックに占める建設資材の割合も高い。今後多くの建設系物質ストックが更新を迎え、多量の建設資材が排出されることから、潜在的な廃棄物となり得る価値の低い建設系物質ストックは適正に処理し、廃棄物発生を抑制する必要がある。物質ストックを把握によって、適切な廃棄物処理計画や循環利用の計画がなされ、資源の有効活用につながる。また空き家や廃道などのように、今日まで整備されてきた建設系物質ストック全てが十分に利用されているとは言えない。第4次循環型社会形成推進基本計画³⁾においても、物質ストックの蓄積量に加えて物質ストックの利用状況を

把握することで、物質ストックを適切に維持管理し、長期間サービスを提供させることで資源投入量や廃棄物発生量の抑制に貢献するストック型社会の形成を目指すことが求められているため、物質ストックの定量化及び利用状況の把握が重要となる。

建設系物質ストック推計に関する既往研究として、環境省(2017)⁴⁾は様々な産業の製造・輸出入の統計情報から投入量と排出量の総量を集計しているが、その差分を蓄積純増として算出しているに過ぎない。Hashimoto et al(2007)⁵⁾は、建設活動に関わる各種統計により建設活動量を求め、産業連関表を用いた単位建設活動量あたりに投入される建設資材量(資材投入原単位)を建設活動量に乗じることで土木構造物を対象とした日本全国の物質ストック・フローを分析したが、排出量において確率密度関数を用いた廃棄率によって推計しており、仮定に依存した建設系の物質ストックを推計しているため現実との乖離が考えられる。山下ら(2015)⁶⁾は、各種統計情報とGIS(地理情報システム)データより得られる、長さや面積といった構造物の単位規模データに原単位(延べ床面積あたりの資材量)に乗じることで、建築物、

道路、鉄道、空港、港湾・漁港・海岸施設、ダム、下水道の資材別の物質ストックの分布を経年的に推計している。

本研究では、全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）と、GISによる道路ネットワークデータベースを用いて、後述する道路インフラの機能に着目した物質ストック推計を行った。

建設系物質ストックの利用状況に関する既往研究として、八柳ら(2015)⁷⁾は、日本全体における道路、鉄道、下水道を対象とする建設系物質ストックの使用効率を、物質ストックが潜在的に持っているとする潜在的機能を物質ストック量で除した物質使用効率と、実際に発揮している機能を物質ストック量で除したストックの稼働率によって定義し、ストック使用効率の推移の推計とその要因分析を行っている。しかし、物質ストックが発揮する機能を、道路であれば貨物輸送トンキロ、旅客輸送トンキロのみといった限定的かつ一律にしか把握しておらず、より詳細に建設系物質ストックの機能を考慮する必要がある。谷川ら(2017)⁸⁾は、日本全国の建設系物質ストックの定量化を行うとともに、利用度に応じた物質ストックの区分として、サービスを提供する能力を持つ現役量、サービスを提供する能力を持たない退職量、その年に使われなくなった年間退職量と物質ストックを整理している。しかし、谷川ら(2017)による区分に着目した物質ストックの利用状況に応じた物質ストックの定量化に関する研究はない。また国土交通省⁹⁾では、加速する社会資本の老朽化や、人口減少による地方の疲弊に対応するため、物質ストックを長期に有効活用し資源の消費抑制に貢献するストック型社会への転換によって、道路や空港、下水道などの社会資本の長寿命化に取り組んでいる。しかしストック型社会を形成するには、まず物質ストックの現状を把握し、社会資本の戦略的な維持管理・更新を行うための地方の特性に応じた社会資本の利用価値や利用効率を検討する必要がある。

本研究では、ストック型社会の形成に資する物質ストックの利用状況の把握に向けて、道路インフラの利用状況を把握するために、道路インフラの物質ストックの利用度に応じた定量化手法の構築を行った。

2. 推計方法

(1) 対象とする道路インフラの機能及び抽出方法

利用度に応じた道路インフラの物質ストックの定量化をする上で、本研究で対象とする道路インフラ

の機能に着目する必要がある。道路インフラの機能は、交通機能と空間機能に分けられ、交通機能は通行機能とアクセス機能、滞留機能に分けられる。本研究では、主要な交通機能である通行機能とアクセス機能に着目し、道路の抽出を行った。道路構造令¹⁰⁾によると、通行機能とは「自動車や歩行者、自転車それぞれについて安全・円滑・快適に通行できる機能」を表し、アクセス機能とは、「沿道施設に容易に出入りできる機能」を表す。すなわち、主要な施設間をより速く繋ぐ道路は通行機能を果たす上で利用価値が高く、人や建物が多く密集する地域に存在する道路はアクセス機能を果たす上で利用価値が高い。また通行機能とアクセス機能はトレードオフの関係にあり、自動車専用道路などの高規格の道路では通行機能が重視され、アクセス機能は制限され円滑な交通を優先させる。一方で、生活圏内での道路では自動車速度の制限などトラフィック機能は制限され、アクセス機能が重視される。¹¹⁾

本研究では、道路インフラの通行機能、アクセス機能はトレードオフにあるため、通行機能を重視する道路インフラを高速道路、国道、都道府県道として、一般都道府県道以上の道路を交通量調査の対象としている全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）¹²⁾より抽出した。またアクセス機能を重視する道路インフラとして、ESRI Premium Packの道路ネットワークデータセットから国道及び都道府県道を除いた市町村道に該当する道路を抽出した。

(2) 道路インフラの物質ストックの推計

交通センサスより抽出した通行機能が重視される道路インフラは、施設間をより速く繋ぐ道路なので、国道及び都道府県道を対象とした。これらの道路延長は、道路統計年報¹³⁾による総延長と比較してある程度整合性が取れている。道路インフラの物質ストックは式(1)により推計し、道路種類別に推計をする際は、都道府県別の道路統計年報の高級アスファルト舗装延長とセメント舗装延長の比率を利用して道路面積を割りふることで、道路種類によって異なる道路舗装の種類を考慮した道路インフラの物質ストック推計を行った。また通行機能を重視する道路インフラの物質ストック量は、各種別道路の区間延長及び車道幅員から算出した上り下り線合計の道路面積に稲津ら(2009)¹⁴⁾による車道幅員別の舗装種類の資材投入原単位を乗じることで推計した。表-1に資材投入原単位を示す。

$$MS_t^{road} = \sum_{n,i,j} (L_{n,t} \times W_{n,i} \times r_{n,i,j,t} \times I_{i,j,t}) \quad (1)$$

MS :物質ストック[kg], L :道路種別延長[m], W :道路幅員[m], r :都道府県別道路幅員別の舗装種類割合, I :資材投入原単位[kg/m²], n :道路種, i :道路幅員区分, j :舗装区分, t :推計する年代

アクセス性が重視される道路インフラは、国土数値情報ダウンロードサービスより得られた主要施設に関するデータより、バスルート、緊急輸送道路を抽出し、また駅から半径 800m 圏内に存在する道路、市区町村役所間の 10 分到達圏域に該当する道路、小学校から第 3 次医療施設を最短で結ぶ道路を、GIS によるネットワークアナリストを利用して抽出し、アクセス機能を果たす上で重要な道路と定義した。抽出した道路データのリンク長に幅員を乗じることで道路面積を求め、通行機能を重視する道路インフラと同様に、稲津ら(2009)¹⁴⁾による車道幅員別の資材投入原単位を乗じることで物質ストックを推計した。ただし、幅員が比較的小さい市町村道に用いられる舗装には、高い強度を持つコンクリート舗装はほとんど用いられないと仮定し、全てアスファルト舗装とみなす。道路延長と幅員を乗じて道路面積を求める際に、13m 以上、5.5m 以上 13m 未満、5.5m 未満といった幅員の道路は、具体的な幅員を推定できないため、5.5m 未満は 5.5m、13m 以上は 13m、5.5m 以上 13m 未満は中間値の 9.25m と仮定した。

表-1 道路における資材投入原単位[kg/m²]

舗装区分	道路区分	資材	1994年以降
簡易アスファルト舗装	市町村道	アスファルト	47
		砂利探石	311.8
高級アスファルト舗装	一般道 5.5m<=幅員<13m	アスファルト	117.5
		砂利探石	926.1
	一般道 13m<=幅員<19.5m	アスファルト	117.5
		砂利探石	1144.1
	一般道 19.5m<=幅員	アスファルト	218
		砂利探石	1518.1
	高速道路	アスファルト	218
		砂利探石	1770.1
コンクリート舗装	すべての道路	セメント	571.4
		鉄	3
		砂利・碎石	935

(3) 道路インフラの利用状況の把握

国道及び都道府県を対象に、通行機能を重視する道路インフラの利用度を（ピーク時間交通量/30 番目時間交通量）で表す。また高速道路はどの区間でも年間で高い利用度であると考えられるので、利用度の推計対象からは除いた。ピーク時間交通量は、24 時間の中で上り下りの合計の交通量が最も多

い時間帯の交通量、30 番目時間交通量は年間を通じて得られる時間交通量の上位から 30 番目に位置する交通量である。また 30 番目時間交通量を設計対象にすれば、年間 30 時間程度は設計値を上回る状態になるものの、残りの大部分の時間の交通量をさばくことができ、かつ最大交通量と比べてかなり低い交通量を設計の対象にできるので、道路設計の基礎となる設計時間交通量⁶⁾でもある。そのため本研究では、道路交通センサスの統計情報より算出した（ピーク時間交通量/30 番目時間交通量）によって、設計基準に対する道路インフラの利用度を把握の指標として用いた。

市町村道を対象に、アクセス機能を重視する道路インフラの利用度を、(アクセス機能を果たす上で重要な道路インフラの物質ストック量/市町村道の物質ストック量の合計)で表す。すなわち、道路ネットワークデータセットより抽出した市町村道の物質ストック量の内、バスルートや緊急輸送道路、駅から半径 800m 圏内に存在する道路、市区町村役所間の 10 分到達圏域に該当する道路、小学校から第 3 次医療施設を最短で結ぶ道路の物質ストック量が占める割合を算出し、アクセス機能の利用度を推計した。

3. 結果および考察

(1) トラフィック機能を重視する道路インフラの利用度の推計結果

本研究では、施設間をより速く繋ぐ通行機能を重視する道路の対象として、国道及び都道府県道を対象に、それらの合計のストック量と設計基準に対する利用度との関係から、利用度に応じた国道及び都道府県道の合計のストック量を推計した。図-1, 2 に愛知県と鳥取県の結果を示す。2010 年における愛知県の国道及び都道府県道の合計のストック量は 4273 万トンであり、全体の約 67%である 2848 万トンが設計基準に対する利用度 81~90%の区間に集中していた。一方で、鳥取県の国道及び都道府県道の合計のストック量は 1382 万トンであり、利用度 81~90%を占める道路は全体の約 34%の 477 万トンであった。

また図-3, 4 より、利用度に応じた交通量と物質ストック量の比を比較すると、利用度 80%以上において、愛知県の方が 24 時間自動車類交通量と物質ストックの比、すなわち単位重量あたりのストックが担う交通量が大きいと、利用度が高い箇所では愛知県の方が鳥取県よりも交通量を支える道路インフラの物質ストックの効率がよいと考えられる。

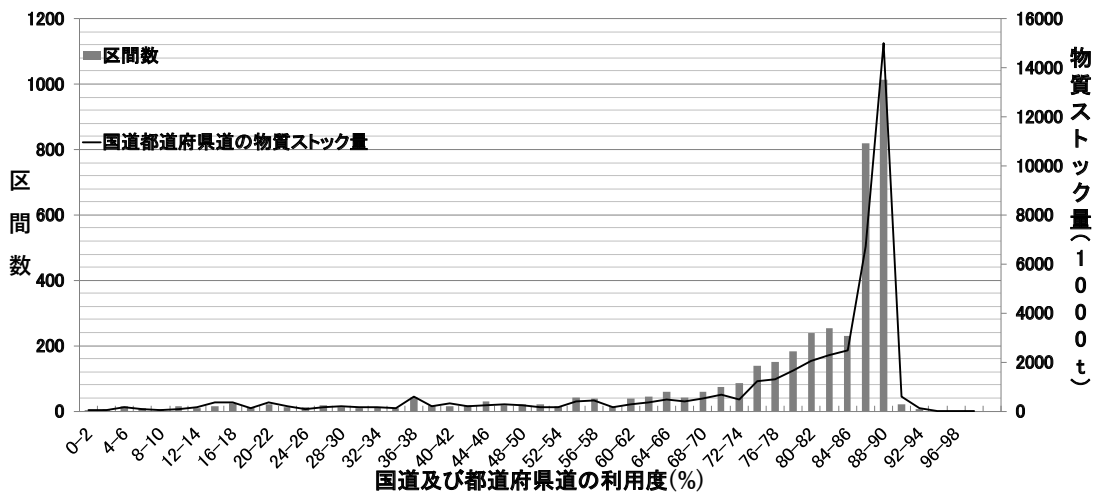


図-1 利用率に応じた愛知県の国道及び都道府県道の合計の区間数と物質ストック量

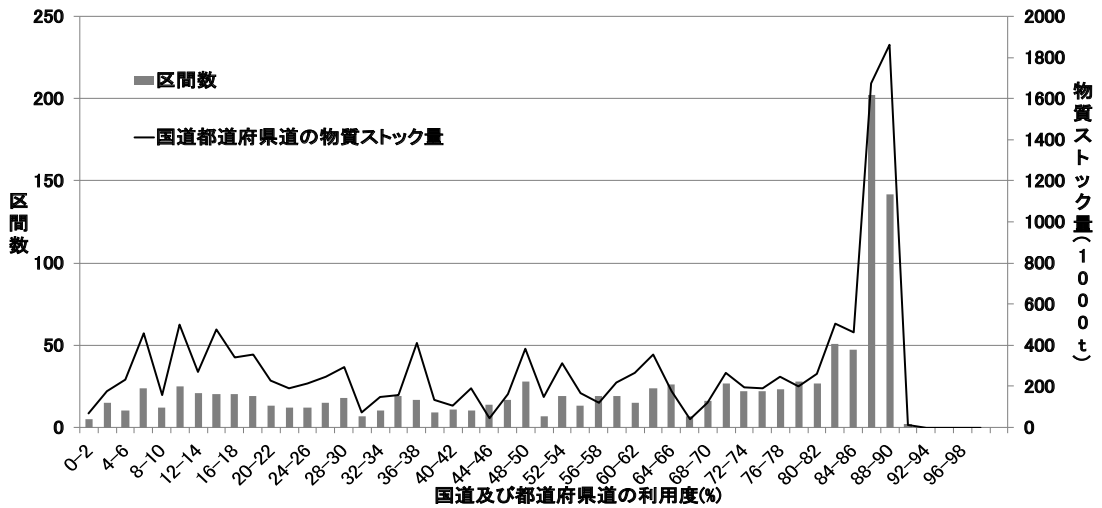


図-2 利用率に応じた鳥取県の国道及び都道府県道の合計の区間数と物質ストック量

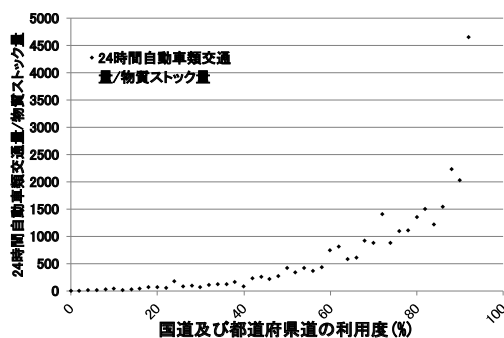


図-3 愛知県の国道及び都道府県道の利用度における24時間自動車類交通量と物質ストック量

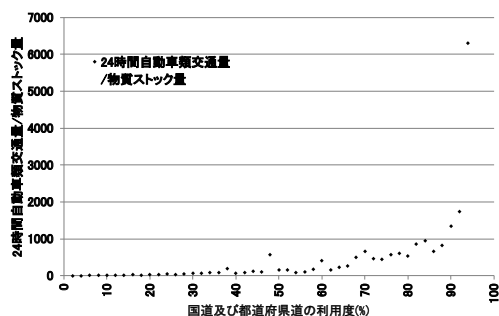


図-4 鳥取県の国道及び都道府県道の利用度における24時間自動車類交通量と物質ストック量

(2) アクセス機能を重視する道路インフラの利用度の推計結果

通行機能とアクセス機能はトレードオフにある。そのため、沿道施設へ容易に出入りできるアクセス機能を重視する道路インフラの利用度を、道路ネットワークデータベースから通行機能を重視する国道及び都道府県道を除いた市町村道と、駅や医療機関といった人が多く密集する地域に存在する主要な施設の空間データを用いることで推計した。また、それらと愛知県全域の市町村道のストック量と比較して、市町村道全体に対する利用度を推計した。表-2に結果を示す。表より、駅周辺と市区町村間の10分到達圏において、市町村道全体のストック量2.84億トンに対する割合がそれぞれ37.9%、45.5%と高い利用度が推計された。これより、駅周辺と市区町村役場周辺の市町村道のアクセス性が高いことが示された。一方で、緊急輸送道路と小学校から第3次救急医療期間を繋ぐ道路は、市町村道の利用度が3.16%、1.73%と低い結果となった。これは、緊急輸送道路と小学校から第3次救急医療期間を繋ぐ道路はアクセス機能よりも、より早く目的地まで到達するための通行機能の方を重視する国道や都道府県道を多く利用しているということが考えられる。

表-2 アクセス機能を重視する道路インフラの物質ストック量

	バスルート	緊急輸送道路	駅周辺(半径800m)	小学校から第3次救急医療機関10分到達圏	市区町村間10分到達圏
アスファルト(Mt)	2.97	0.94	11.31	0.53	13.63
砕石・砂利(Mt)	25.59	8.04	96.52	4.40	115.81
ストック合計(Mt)	28.56	8.98	107.82	4.93	129.44
市町村道ストック合計との割合(%)	10.04	3.16	37.91	1.73	45.51

4 おわりに

本研究では、道路交通センサスとGISによる道路ネットワークデータセットを用いて、通行機能を重視する道路とアクセス機能を重視する道路それぞれにおいて、利用度に応じた道路インフラストックの定量化を行った。通行機能を重視する道路インフラに対しては、利用度を(ピーク時間交通量/30番目時間交通量)によって表し、設計基準に対する道路インフラの利用度に応じた物質ストック量を定量化した。その結果、2010年における国道及び都道府県道の物質ストック量4273万トンの8割以上の物質ストックが、設計基準に対する利用度の70%以上であったので、利用度が低いところにも国道及び都道府県道の物質ストックが集中していた鳥取県と比べて、愛知県の国道及び都道府県道は利用度が高いことがわかった。また鳥取県は、今後の人口減少によって利用度がさらに下がること、谷川ら(2017)⁹⁾が提唱したサービス提供能力持たない退蔵ストックになりうる道路が増加すると考えられる。

またアクセス機能を重視する道路に対しては、アクセス機能を果たす上で重要と仮定したバスルート、緊急輸送道路、駅から半径800m圏内に存在する道路、市区町村役所間の10分到達圏域に該当する道路、小学校から第3次医療施設を最短で結ぶ道路の物質ストック量が、道路ネットワークデータセットより得られる市町村道の物質ストック量の合計に占める割合で算出した。その結果、駅から半径800m圏内に存在する道路と市区町村役所間の10分到達圏域に該当する道路のアクセス性がそれぞれ37.9%と45.5%と高くなった。また、緊急輸送道路、小学校から第3次医療機関施設をつなぐ道路の利用度が低くなってしまったことから、今後アクセス性能を考える上でネットワーク解析等を用いることでより多くの項目でアクセス性を捉えることで、より多くのアクセス性を重視する道路インフラの抽出を行う。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費(2-1711)、環境研究総合推進費補助金(3K163011)の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境省：物質フロー指標と取組指標，2010
- 2) 環境省：産業廃棄物の排出及び処理状況調査，2013
- 3) 環境省：第4次循環型社会形成推進基本計画平成30年度,43p
- 4) 環境省：環境統計集，我が国の物質フロー，2017
- 5) Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi MORIGUCHI(2007)：Where will large amount of materials accumulated within the economy go?-A material flow analysis of construction minerals for Japan, WASTE MANAGEMENT, Vol.27, No.12 , pp.1725-1738, 2007
- 6) 山下剛弥，奥岡桂次郎，谷川寛樹：マテリアルストックデータベースの拡充とストック利用効率の検討，土木学会論文集G（環境），Vol.71, No.6環境システム研究論文集第43巻，pp.319-327, 2015
- 7) 八柳有紗，谷川寛樹，橋本征二：ストック型社会に向けたストック使用効率の評価-建設物を対象としたケーススタディ-，第43回環境システム研究発表会講演集，pp.217-222, 2015
- 8) 谷川寛樹，醍醐市朗，小口正弘，奥岡桂次郎，高木重定：物質ストック・フローに着目したストック型
- 9) 社会構築に向けた指標，廃棄物資源循環学会誌，Vol28, NO.6, pp.431-437, 2017
- 10) 国土交通省：国土交通白書，pp.132-137, 2017
- 11) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用
- 12) 飯田恭敬，北村隆一：交通工学，pp.6, pp.191, オーム社，2014
- 13) 国土交通省：平成22年度全国道路・街路交通情勢調査
- 14) 国土交通省：道路統計年報，2010
- 15) 稲津亮，谷川寛樹，大西暁生，東修，石峰，井村秀文：複数年の空間情報を用いた都市重量の変化に関する研究-建築物・道路を対象とした和歌山市中心部でのケーススタディ，環境情報科学論文集，Vol2, pp.89-94, 2009

(2018. 8. 24受付)

A Study on Quantification Method of Construction Material Stock in Usage Level

Kyosuke FUJITA, Hiroki TANIKAWA and Keijiro OKUOKA

Toward the sound material-cycle society, it is required to estimate the material stock and grasp the service which material stock provide. In this research, we build the method to grasp the situation of service which material stock providing by focusing the function of road, and estimate the road material stock according to the service which material stock providing. As an example of results, I show the result of estimating road material stock of national road and prefectural road in Aichi prefecture in 2010, according to the service related the basic traffic volume. The ratio of about 67 % of whole road material stock, accumulated 28.5 million ton construction material, are concentrated in the span the ratio of service, which material stock providing are between 81% to 90%. And more than 70% of road material stock is occupied by 80% of whole road material stock. On the other hand, the ratio which the service related the basic traffic volume in Tottori prefecture is between 81% and 90% is occupied by 34 %. Comparing to the situation of road of Aichi prefecture and Tottori prefecture, we could demonstrate the differences of service which road material stock are providing.