

ハザードモデルに基づく自治体道路管理によるコスト削減効果に関する研究

筑波大学 学生会員 ○陳 康
筑波大学 正会員 鈴木 勉

1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路は、現在老朽化の時期を迎え、ストックの更新や道路の大規模維持管理の時期が迫っており、国や自治体の厳しい財政状況中で、低コストで今後も必要な老朽化道路の機能を保つための合理的な維持管理が課題になっている。国土交通省¹⁾によれば、全国の都道府県・政令市の道路の平均年齢は31.4年である一方、市区町村の道路の平均年齢は32.4年とやや長い。築40年以上の道路延長の割合は、市区町村道は66%と都道府県道（含政令市）の24%よりも多い。また、市区町村道の延長は日本全国の道路の延長の約94.8%を占め、65%の交通量を分担している²⁾。市道は全国の半分以上の交通量を占めるが、システム的な市道の維持管理は未だ確立されていない。よって、都道府県道だけではなく市町村道の維持管理も重要な課題である。

2. 本研究の位置づけ

Bandara ら³⁾は、道路の一回の目視点検データに基づき、ファジイ理論で道路の維持補修の優先順位を議論したが、市町村道など過去の維持補修情報が整備されていない状況でのモデル適用には限界がある。一方、Madanat⁴⁾はワイブルハザード関数を用いて、アメリカの地方道路のひび割れの推移を計算した。また、青木⁵⁾は多段階ワイブルハザードモデルを用いて日本のトンネル照明灯具を例として最小点検費用を計算した。ワイブルハザード関数においてパラメータの推定のためには道路劣化状況の点検データが不可欠であるため、一般にデータ入手困難な市町村道を対象とする場合はこの方法を使うことは難しい。

道路の老朽化の第一の要因は自動車（特に大型車）による車輪荷重である。交通量の多さが道路の荷重に大きな影響を与える。そのため、地域の道路交通量の推計が必要となる。茂木⁶⁾は、東京都環境保全局の東京都細街路データをもとに、メッシュごとの商業

地比率、工業地比率、道路幅、駐車場の数などが交通量に影響を与えていると仮定し、重回帰分析を用いて細街路の交通量を推計した。

本研究は、茨城県神栖市の市道を例に、道路管理の最適維持補修シナリオを考察する。まず、神栖市内に立地する工場から市内外を結ぶ道路との位置関係から大型車交通量を推計する。次に、国土交通省の道路ひび割れ率と大型車交通量の関係をもとに、ひび割れ率の発展速度のランク付けを行う。さらに、市の管理する道路維持補修台帳から市の道路工事实績を可視化する。道路工事の中でも舗装関連の道路本体工事に着目し、工事頻度と各ランクの道路をGIS上で対応させ、「維持点検」と「補修」の頻度を定量的に把握し、ランク別の最適な維持点検シナリオを計算する。

3. 神栖市市道のひび割れ率の評価

(1) 対象地域

本研究では茨城県神栖市を分析対象とする。神栖市は、茨城県の最東南端に位置する細長い形状を持ち、東は太平洋に面し、西は利根川に面している。面積は146.9km²で、2017年10月末時点の人口は95,252人であり、2005年（平成17年）神栖町と波崎町が合併して現在の市域となった⁷⁾。いくつかの地区に人口が集中している傾向があり、市外を結ぶ道路は8つの国道や県道に限られている。本稿ではこれらを「出入口」と呼ぶ。（図-1）。

(2) 大型車交通量の推計

道路の劣化を判断するには交通量を把握することが必要であるが、市道レベルでは交通量データが存在しないため、以下の方法で推計する。神栖市のGIS市道ラインデータにおけるライン数は3,044本に及ぶが、地域の特徴を考慮すると大体の交通量が多いラインを把握することができる。さらに、衛星写真上で数えた実際に走っている大型車の数で結果を修正

キーワード 舗装, アセットマネジメント, 交通量, ひび割れ, 工事管理台帳

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 TEL: 029-853-5600 (内線 8203) E-mail: s1620589@u.tsukuba.ac.jp

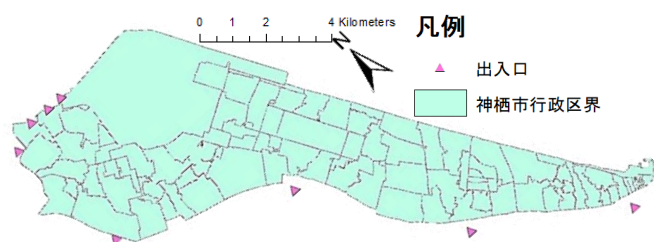


図-1 神栖市内外を結ぶ出入口

することで、比較的精度が高い結果が得られると考えられる。

まず、神栖市の公式サイトで得た工場の情報から、平成 22 年の道路交通センサスを基に、各出入口の大型車交通量割合を計算する。上記のデータを用いて工場から各出入口の最短ルートを計算する。そして、各工場の面積と各出入口の大型車交通量の割合から、それらに比例すると仮定して各最短ルートの相対的な大型車交通量を計算する。工場面積の重み付け、各出入口での大型車交通量の割合の重み付け等の作業過程を経て、市道のラインデータと結合した結果を図-2 に示す。



図-2 相対的な大型車交通量 (台/日)

この方法では、工場から市内外に結ぶ道路までの最短経路上のラインしか対象とならない。そこで、航空写真で計測した大型車の数と道路の幅員から最短経路以外の道路の交通量推計を行う。Google Earth で 2017 年 2 月 13 日 (月) 昼間の衛星写真を使い、神栖市道路上を走る大型車の数を数え、ポイントデータで GIS 上に移した (図-3)。数えた結果、google earth の中で、写

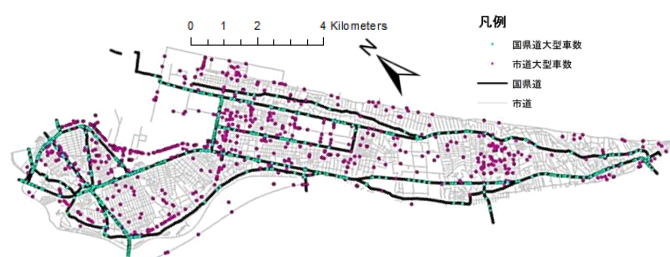


図-3 大型車のカウント数・位置

真が撮影された時点で道路上を走行していると観察さ

れる大型車数は 1,550 台である。そのうち、国・県道を走っている大型車の数は 627 台、市道を走っている大型車台数は 923 台である。

(3) 道路ひび割れ率の推計

最短経路上の道路については、大型車交通量の推計結果に基づいてひび割れ率を分析する。最短経路以外の道路については、大型車カウント数と道路幅でひび割れ率を求める (表-1)。さらに本研究では、国土交通省のデータ⁸⁾を参照し、神栖市道路のひび割れの速さをランク付ける。(図-4)。

ここでは、ひび割れ率と交通量の関係を 3 ランクに分けて考えることとする。「250 台・方向未満」の場合は、道路のひび割れ率の進展が比較的緩やかなため、「250 台・方向以上」以下はランク 1 とする。「250 台・方向以上」と「1000 台・方向以上」の間をランク 2 とし、「1000 台・方向以上」をランク 3 とする。

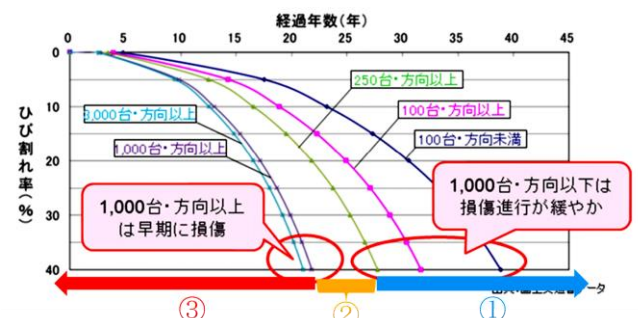
図-4 道路ひび割れ率と大型車交通量の関係
出典：国土交通省データ⁸⁾

表-1 大型車容量の推計 (最短ルート以外)

大型車数	道路片側幅(m)	ランク
<5	<4m	1
	4~10m	1
	10~20m	大型車数=0→1 大型車数>0→2
	>20m	大型車数=0→1 大型車数>0→2
>5	<4m	2
	4~10m	2
	10~20m	2
	>20m	2

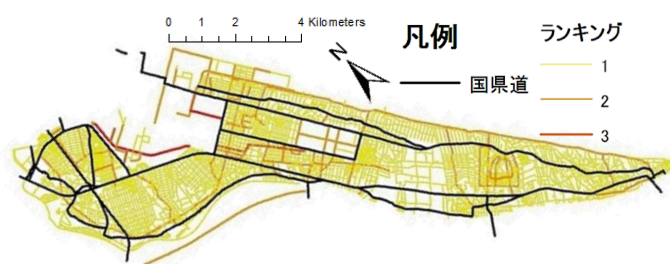


図-5 神栖市市道におけるひび割れ率のランク分け

神栖市道における道路ランク別の分布は図-5の通りである。また、図-4を参照して、経過年数 (t) によるランク k の道路のひび割れ率 $H_k(t)$ は以下の式で求められるものとする。

$$\text{ランク 1: } H_1(t) = 4.0 \times 10^{-5} t^{2.51} \quad (1)$$

$$\text{ランク 2: } H_2(t) = 7.0 \times 10^{-5} t^{2.60} \quad (2)$$

$$\text{ランク 3: } H_3(t) = 9.5 \times 10^{-5} t^{2.71} \quad (3)$$

4. 道路維持補修台帳の可視化と工事費データ

(1) 台帳の電子化

神栖市の 2012～2016 年の 4 年間の市道維持補修工事の台帳を電子化した (csv ファイル)。台帳数は 707 件であるが、1 つの台帳の中で複数の工事データがある場合があり、工事データ総数は 1,820 件である。工事データはポイントデータとラインデータの 2 種類がある。台帳の中の写真を判断基準とし、小範囲での工事データをポイントデータ、一定の道路区間での工事データをラインデータとする (60 件は場所欠損)。分析では、総工事費から安全管理費等の工事本体以外の費用を除いた直接工事費を用いるが、工事経費削減効果の比較については総削減額を求めるため、総工事費を用いる。台帳には「完成 (出来高) 検査調書」、「見積書」、「工事写真帳」等の項目があるので、csv ファイルで直接工事費、総工事費、工事期間、道路問題等の情報を記録するとともに、付番して GIS データと対応付ける。

(2) 台帳の可視化

道路工事は「砕石敷き均し工事」、「側溝関連工事」、「歩道と路肩工事」、「本体以外整備工事」及び「舗装関連工事」の 5 種類に分類できる。本稿ではその中で「舗装関連工事」を分析対象とする。上記の期間の舗装関連工事の工事件数は 416 件、直接工事費は 109 百万円であり、全工事のおよそ 3 割を占める。図-6 は、舗装関連工事の 4 年間の分布を表しており、工事が図の図左の鹿島臨海工業団地および図中程の波崎工業団

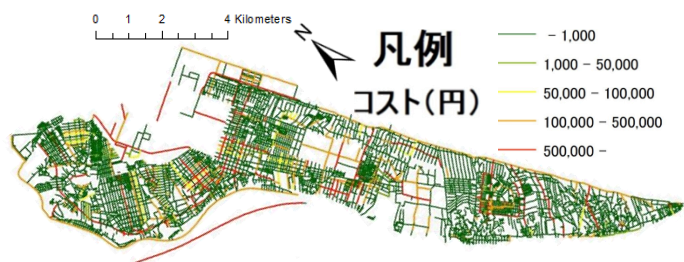


図-6 舗装関連工事 (2012～2016 年)

地に集中していることが分かる。

5. 道路管理のアセットマネジメント試算

一般的に、建設後の道路の管理は「維持点検」と「更新」の 2 つの部分に分けられる⁹⁾。更新費は経過年数の経過につれて単調に増加する一方、点検の周期が長ければ長くなるほど維持点検費は単調に減少する。ひび割れ率にランク k の道路の総面積を乗じて、ランク k の道路のひび割れ面積を求め、さらに工事単価を乗じて得た結果をランク k の道路の「更新費」と定義する。

$$C_k(t) = H_k(t) \times A_k \times U_k \quad (4)$$

$C_k(t)$ はランク k の道路の更新費、 $H_k(t)$ はランク k の道路のひび割れ率、 U_k 、 A_k はそれぞれランク k の工事単価、道路面積である。台帳データからの計測結果を表-2 に示す。

表-2 ランク別の更新費

区分	道路総面積 A_k (m ²)	工事面積 (m ²)	工事単価 U_k (円/m ²)
ランク 1	3,195,031	9,265	6,427
ランク 2	804,517	2,881	8,592
ランク 3	152,614	2,392	5,643

ランク k の道路の維持点検を周期期間 t をかけて点検した場合、 t 年間での総維持点検費を $B_k(t)$ とすると、年間の維持点検費用は以下の通りである。

$$I_k(t) = B_k(t)/t \quad (5)$$

1 周期間の総維持点検費は平成 11 年度の高速度道路の「維持管理費」を参照して計算する¹⁰⁾。すなわち、管理延長 1m あたりの維持管理費 21,538 円/m から、神栖市 GIS のランク別道路総延長を乗じて算出する (表-3)。維持点検の周期が小さい場合、維持点検費は高くつく。一方、維持点検の周期が大きい場合、点検費は低いが、道路ひび割れによる更新費が高くなる。

表-3 ランク別の維持点検費

区分	延長あたり維持 点検費 (円/m)	道路総延長 (m)	総維持点検費 $B_k(t)$ (円)
ランク 1	21,538	1,089,402	2.3×10^{10}
ランク 2	21,538	145,326	3.1×10^9
ランク 3	21,538	22,031	3.4×10^8

本研究では $C_k(t)$ と $I_k(t)$ を組み合わせて費用のバランスを取り、道路管理コスト $S_k(t)$ が低くなるシナリオを探すこととする。

$$S_k(t) = C_k(t) + I_k(t) \quad (6)$$

よって、ランク k の道路管理コスト $S_k(t)$ は式(7)、式(8)、式(9)のように表せる。

$$\text{ランク 1} \quad S_1(t) = 8.2 \times 10^5 t^{2.51} + 2.3 \times 10^{10}/t \quad (7)$$

$$\text{ランク 2} \quad S_2(t) = 4.8 \times 10^5 t^{2.6} + 3.1 \times 10^9/t \quad (8)$$

$$\text{ランク 3} \quad S_3(t) = 8.1 \times 10^4 t^{2.71} + 3.4 \times 10^8/t \quad (9)$$

上式で、右辺第一項はランク k の道路の更新費、第二項はランク k の道路の維持点検費、 t は経過年数である。

例としてランク 3 の道路に着目すると、 $S_3(t)$ は約 8 年で最小値に達する (図-7)。8 年の 2 倍の 16 年をスパンとして維持点検を行う「シナリオ 1」と 7.9 年に一度の維持点検を行う「シナリオ 2」と比較すると、16 年間のスパンで延べ 7 千万円のコストが削減できる。

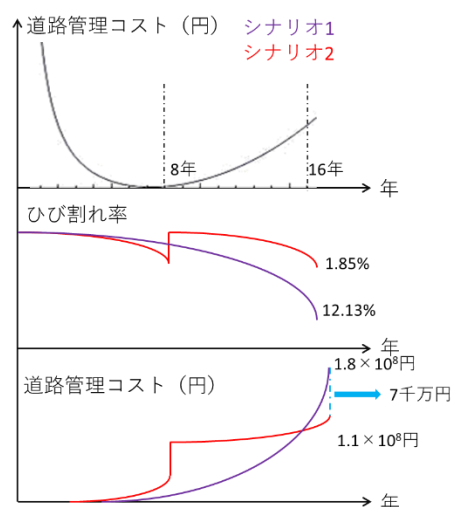


図-7 神栖市ランク 3 道路のコスト削減効果

6. おわりに

本研究では、市町村道に着目し、道路管理コストの削減案を提案した。本提案は、①交通量推計、②道路工事台帳整理、③道路管理コストの定式化の3段階からなる。まずは、地域の特徴を把握し市町村道の交通量を推計した。神栖市では特に工場が多いため、大型車交通量に着目した。次に、地域の道路工事台帳を電子化し整理した。最後に、電子化された工事データと維持点検費の情報をコスト分析のインプットとして最適な道路管理シナリオを計算した。地域の道路にランク付けをすると、各道路ランクの維持点検周期が異なり、効率よく道路管理を行うことが期待できる。

謝辞

本研究の一部は総合科学技術・イノベーション会議 SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「提案するアセットマネジメントシステムの地方自治体への実

装研究」として実施した。また、神栖市から市道工事台帳の情報提供を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省. 道路構造物の現状 (舗装), 国道 (国管理) の維持管理に関する検討会とりまとめ, p.25, 2012.
- 2) 国土交通省. サービス目標の設定. 国道 (国管理) の維持管理に関する検討会とりまとめ. 2012. 8.
- 3) N. Bandara and M. Gunaratne: Current and Future Pavement Maintenance Prioritization Based on Rapid Visual Condition Evaluation. *Journal of Transportation Engineering* **127**(2), 2001.
- 4) S. Madanat: Estimation of Infrastructure Distress Initiation and Progression Models. *Journal of Infrastructure Systems*, **1**(3), 1995.
- 5) 青木一也, 山本浩司, 小林潔司: 時間依存型劣化過程を有するシステムの集計的最適点検・補修モデル. 土木学会論文集 F, **62**(2), pp.240-257, 2006.
- 6) 茂木高嶺: 細街路交通量推計モデルの作成. 中央大学大学院理工学研究科, 大学院研究年報, 第46号, 2016.
- 7) 神栖市. 茨城県神栖市公式サイト. <http://www.city.kamisui.ibaraki.jp/>
- 8) 国土交通省: これからの舗装マネジメント. <http://www.mlit.go.jp/common/001145725.pdf>
- 9) 吉田均, 保田敬一, 川谷充朗, 竹林幹雄: LCC の計算式”. これだけ知っておきたい社会資本アセットマネジメント, 森北出版, p.16-17, 2010.
- 10) 長江進: 高速道路における維持管理費の推移状況と課題. 土木学会. 構造工学技術シリーズ No. 20. 社会資本のメンテナンスに関するシンポジウム資料集, p.2-12, 2000.