

一般道の旅行速度の性能照査に向けた 性能曲線の設定に関する研究

柿元 祐史¹・鈴木 弘司²・下川 澄雄³・泉 典宏⁴・高橋 健一⁵

¹正会員 (株) オリエンタルコンサルタンツ 東北支社
(〒980-0811 仙台市青葉区一番町4丁目6-1 仙台第一生命タワービルディング)
E-mail: kakimoto@oriconsul.com (Corresponding Author)

²正会員 名古屋工業大学大学院准教授 工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: suzuki.koji@nitech.ac.jp

³正会員 日本大学教授 理工学部 (〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: shimokawa.sumio@nihon-u.ac.jp

⁴正会員 (株) オリエンタルコンサルタンツ
(〒150-0036 渋谷区本町13-12-1 住友不動産西新宿ビル6号館)

E-mail: izumi@oriconsul.com

⁵正会員 三井共同建設コンサルタント (株)
(〒141-0032 品川区大崎1-11-1 ゲートシティ大崎ウエストタワー15階)

E-mail: takaken@mccnet.co.jp

各都道府県で新広域道路交通ビジョン・計画が策定され、広域道路ネットワークに位置付ける路線の階層及びそのサービス速度が明確となった。しかし、計画道路のサービス速度の推定手法は定められておらず、道路計画時の道路構造及び交通運用の妥当性を照査することができない。既往研究の中で、サービス速度算出に用いる性能曲線はいくつか提案されているが、現在の道路計画手法への導入には至っていない。よって、本研究では、現在の道路計画手法に導入できる簡便で汎用性の高い一般道の性能曲線を提案し、その性能曲線を道路計画時に用いる際の留意点を整理することを目的とする。単路部での旅行速度と交差点での遅れ評価式を基にした理論式を提案し、単路部での旅行速度には設計速度や実測値により設定することや信号現示は道路区間の中で一番短い青時間比を用いることなどの留意点を整理した。

Key Words : performance curve, speed-flow relationship, signalized intersection density

1. はじめに

令和3年に各都道府県、各地方整備局にて新広域道路交通ビジョン・計画^{例えば、1)}が策定され、広域道路ネットワークに位置付ける路線の階層が明確となった。特に、直轄国道などは、高規格道路、一般広域道路に分けられ、各道路に求められるサービス速度が定められている。これは、これまでの性能照査型道路設計^{2,3)}及び道路階層^{4,5)}に関する研究内容を実際の道路計画に適用する良い契機となると考えられる。

しかし、道路計画時においてサービス速度の算出に用いる性能曲線は定められておらず、計画する道路構造及び交通運用により実現するサービス速度を推定・照査することができない。既往研究^{5,6)}の中で、一般道における性能曲線はいくつか提案されているが、現在の道路計

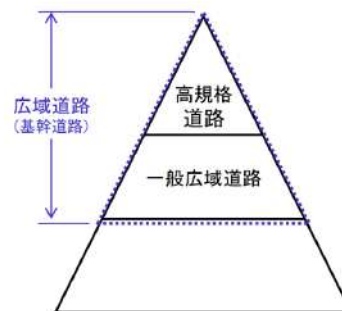


図-1 新たな広域道路ネットワークの階層イメージ¹⁾

画手法に導入されるまでには至っていない。よって、本研究では、現在の道路計画手法に導入できるような簡便で汎用性の高い性能曲線を提案し、その性能曲線における留意点を整理することを目的とする。

本研究では、道路計画時に照査する性能をサービス速度と定め、検討する性能曲線は交通量-速度関係とする。なお、本研究における一般道とは、信号交差点により交通流の中断が発生する道路を指し、交通流の中断がない自動車専用道路および高速自動車国道は対象外である。

2. 既往文献・既往研究のレビュー

(1) 諸外国の道路計画時に使用される一般道の性能曲線の設定手法

HCM 6th Edition⁷⁾では、道路の種類に応じて計画段階における旅行速度を推定し、交通性能の評価を行うことを提案している。都市内街路の計画においては、道路構造条件（指定最高速度、中央分離帯の種類等）および信号交差点間隔による補正係数を用いて道路区間の自由速度 S_f を設定し、交通需要や右左折車両による遅れを考慮した旅行時間は式(1)を用いて行っている。

$$S_{T,seg} = \frac{3,600L}{5,280(t_R + d_t)} \quad (1)$$

ここに、 $S_{T,seg}$ は道路区間の直進車両の旅行速度[mi/h]、 L は道路区間延長[ft]、 t_R は道路区間の旅行時間[s]、 d_t は直進遅れ[s/veh]、である。

t_R は S_f で走行した時の区間の旅行時間に交通状況、交差点の制御形式、接続道路の出入り、路上駐車による遅れの影響を加えたものである。また、 d_t は車線構成（例えば、直進車線、左直車線、右直車線など）によって直進車両の走行が阻害される際に発生する遅れを表現している。これにより得られる交通量-速度関係は図-2のとおりである。

イングランドでは、COBA2022⁸⁾において、計画段階の交通量-速度関係が設定されている。COBA2022では、道路種別に応じて異なる道路構造・交通運用条件を考慮しており、例えば、Road Classes 7 and 8に該当する“Urban Roads”では、式(2)に基づき設定する。

$$v = v_0 - 30 \cdot \frac{Q}{1000} \quad (2)$$

ここに、 v は平均旅行速度[km/h]、 Q は交通量[vehs/h/3.65 m lane]、 v_0 はRoad Class 7, 8で個別に算出される自由速度 (v_0 の最大値は指定最高速度とする)、である。

Road Class 7の自由速度は、都市の道路ネットワークに占める道路の開口部開発率 *DEVEL* によって決まり、その値が大きいほど自由速度の値は小さくなる。一方、Road Class 8の自由速度は、主要道路ネットワークの交差点の密度 *INT* によって決まり、この値が大きいほど自由速度の値は小さくなる。これらの交通量-速度関係は図-3のとおりである。

Road Classes 7 and 8より規格の低い道路であるRoad Class

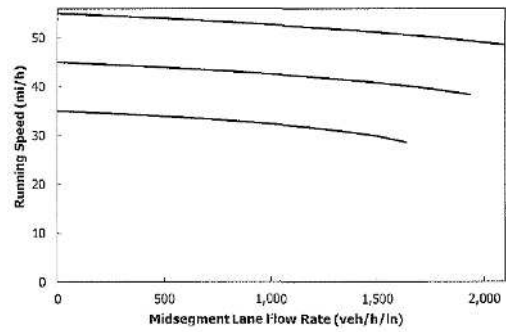


図-2 HCM 6th Editionの時間交通量-速度関係⁷⁾

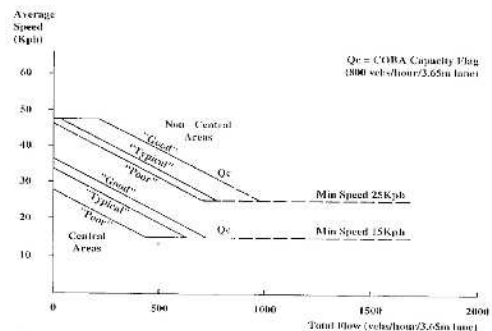


図-3 典型的なRoad Classes 7 and 8の時間交通量-速度関係⁸⁾

9“Small Town Roads”やRoad Classes 10 and 11“Suburban Roads”では、*DEVEL* や *INT* のような沿道状況や交通運用に加え、路線に占める30km/h速度規制区間の割合や細街路・私道との接続交差点数といった道路の種別に応じた道路条件を考慮し、交通量-速度関係を設定することとなっている。このように、道路種別に応じて、速度に最も影響を与える要因を定め、個々の道路区間に応じた交通量-速度関係を設定できる。

ここで示した、HCM 6th Edition とCOBA2022の交通量-速度関係は、各国の道路計画手法において異なる場面で用いるものであるため、使用するデータの精度及びその算出過程については単純に比較できるものではない。また、これらの手法は各国の道路状況をもとに係数が設定されていることから、日本でそのまま用いることは極めて困難である。

(2) 一般道の性能曲線の推定手法に関する研究

Lum et al⁹⁾は、シンガポールの放射道路、環状道路、幹線道路に対して信号交差点数と信号交差点の遅れを考慮した旅行速度-交通密度モデルを開発した。これにより、道路の種類に応じて信号機が旅行速度に与える影響が異なり、旅行速度-交通密度モデルのパラメータが変化していることが確認された。交通量配分におけるQ-V関係の設定方法に関して、松井・藤田^{10,11)}は、信号交差点密度、指定最高速度等を考慮して一般道における時間単位の交通量-速度関係のモデル化を行い、モデル式と交通

量の時間変動パターンの分散から日単位の交通量-速度関係（自由速度 V_0 と傾き）を導いている。これを用いて配分日交通量を算出し、実交通量との適合度の比較から新しい手法で適合度が上がることを示した。

Akandwanaho and Nakamura⁹⁾は、幹線街路を対象に信号交差点間隔、サイクル長、オフセットと交通量の違いが幹線道路の交通量-旅行速度関係に与える影響を分析している。その結果、交差点間隔が短くなるほど、サイクル長が長いほど交通量が少ない状況下でも旅行速度が低下することなど、交通運用と旅行速度の関係を明らかにしている。早河・中村¹²⁾は、通過車両の走行性に大きく影響を与える沿道アクセス交通に着目し、旅行速度を用いて道路の質の評価を行った。沿道アクセスの程度に応じて実現する交通状況を把握するため、ミクロ交通シミュレータを用いて交通状況を再現し、旅行速度の解析を行った。その結果、総アクセス交通量と旅行速度の関係、最小入庫車頭時間と旅行時間の関係を分析し、計画段階における沿道アクセス機能が旅行速度に与える影響を明らかにした。

このように交通量-速度関係の推定に関しては、様々な道路構造・交通運用を考慮した手法が検討されている。また、日本独自の手法ともいえる日交通量-速度関係についても道路の構造条件を考慮した時間交通量-速度関係を基に作成した日交通量-速度関係が提案されている。しかしながら、従来の道路計画手法¹³⁾においてこれらの性能曲線が用いられることはなく、計画段階でのサービス速度の性能照査が行われていない状況である。

(3) 本研究の位置づけ

(1), (2)を踏まえ本研究では、我が国の道路計画手法の中に組み込むことが可能かつ比較的容易に算出が可能な交通量-速度関係を提案し、その交通量-速度関係を用いるうえでの各種条件および留意点を整理する。

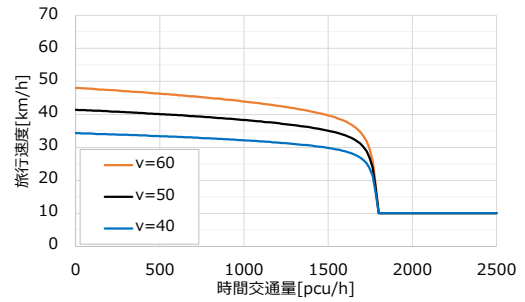
3. 一般道の交通量-速度関係の設定

1.で定義したとおり本研究で対象とする”一般道”は、信号交差点により交通流が中断される道路であることから、信号交差点による影響を考慮できることを使用する交通量-速度関係の最低条件とする。

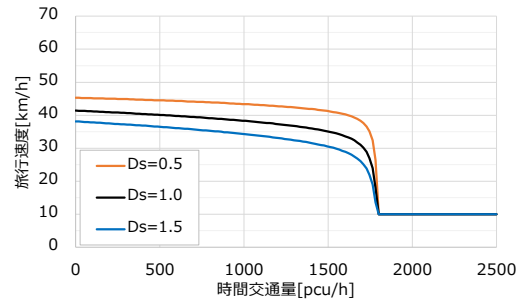
本研究では、道路の交通容量¹⁴⁾をもとに柿元・中村の研究¹⁵⁾の中で使用されている式(3)を用いる。

$$v_s(q) = \frac{1}{\frac{1}{v} + D_s \cdot \left\{ \frac{(1-g)^2}{2(1-g \cdot Z)} C + \frac{Z^2}{2q(1-Z)} \right\}} \quad (3)$$

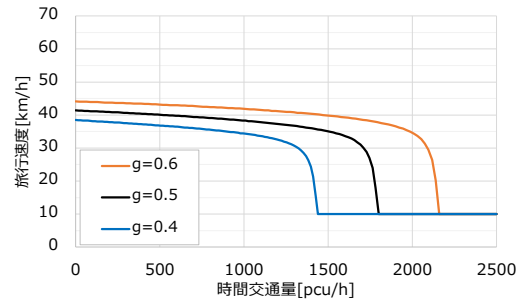
ここに、 $v_s(q)$ は時間交通量 q における（交差点での待ち時間を考慮した）区間の旅行速度、 v は単路部での旅



(a) 単路部での旅行速度($v=40, 50, 60$)との関係



(b) 信号交差点密度($D_s=0.5, 1.0, 1.5$)との関係



(c) 青時間比($g=0.4, 0.5, 0.6$)との関係

図4 交通量-速度関係と各変数の関係

行速度[km/h]、 g は青時間比、 C はサイクル長[h]、 q は流入部の交通量[pcu/h/lane]、 Z は流入部の需要率 $=q/c$ 、 c は流入部の交通容量 ($c = S \cdot g$)、 D_s は信号交差点密度[箇所/km]、 S は可能飽和交通流率[pcu/h]（右左折率等の影響を無視し基本飽和交通流率 $BSFR$ を用いる）、である。

式(3)は、区間の旅行時間を区間内の単路部の走行時間と信号交差点の待ち時間によって構成したものであり、車両1台当たりの信号による待ち時間は車両の到着パターンをランダムと仮定し推定している。この式の特徴は、道路区間の旅行時間と Webster の遅れ評価式¹⁶⁾により構成され、道路構造・道路線形に起因する旅行時間の項と交通運用及び交通状況に起因する遅れの項が明確に分かれていることである。これにより、式(3)で既に含まれている項目（信号交差点、サイクル長、飽和交通流率等）に加えて、平面線形、縦断勾配といった道路構造による影響を付与することも可能になると考える。

図4に、 $C = 120$ [s] $= 0.033$ 、 $BSFR = 1800$ 、 $v = 50$ 、 $D_s = 1.0$ 、 $g = 0.5$ を基本値とし、 v, D_s, g の各値を変化さ

せた交通量-速度関係を示す。また、 $v_s(q)$ の最小値は 10 [km/h]とする。

v が大きくなると、交通量-速度関係は上に移動し、速度が上昇する。また、 D_s が大きくなると、交通量-速度関係は下に移動し、速度が低下する。さらに、 g が大きくなると、交通量-速度関係は上に移動し、速度が上昇するものである。

このように道路構造・交通運用に関する条件に感度のある交通量-速度関係を示すことができるため、様々な道路施策の検討が可能といえる。

4. 交通量-速度関係を性能照査で使用する際の留意事項

(1) 性能照査に用いる際の区間設定

性能照査に用いる区間は、使用する交通量-速度関係の式の特徴を踏まえて設定する必要がある。式(3)で用いる信号交差点密度の値は、1km未満の区間では非常に大きくなり正確に影響を反映できないことから、少なくとも1km以上の区間を設定する必要がある。また、式(3)では交差点形状による遅れの考慮ができていないため、対象区間が交差点において大きく屈曲している場合には、複数区間にわけて性能照査をすることが望ましい。さらに、直線区間であったとしても、道路の種級が大きく変わる場合などは、道路の基本的な構造が異なる可能性があるため、区間を分けることが望ましい。

(2) 単路部での旅行速度の設定

単路部での旅行速度は、既存の道路であれば実測して設定可能であるが、道路計画時に使用するためには計画時の道路における旅行速度を推定する必要がある。

単路部での旅行速度は、交通量に応じて変化する項となっておらず、道路の基本的な構造（幅員等）と道路線形といった道路構造条件に関連する項と考えられる。道路の基本的な構造は道路の種級区分によって決まっている¹³⁾ことから、 v は式(4)のように道路の特性に応じた自由速度 v_0 と道路線形等の道路構造条件による補正係数 γ で表すことができると仮定する。

$$v = \gamma \cdot v_0 \tag{4}$$

まず、式(4)に用いる道路の特性に応じた自由速度 v_0 の設定方法について整理する。 v_0 の設定に関して以下の3つの方法を示す。

- ・道路の種級区分に応じた設計速度
道路構造令¹³⁾を参考に、表-1に示す道路の種級区分に応じて定められた設計速度を用いる。
- ・道路区間の指定最高速度

表-1 第3種, 第4種道路の設計速度¹³⁾

区分		設計速度[km/h]	
		規定値	特例値
第3種	第1級	80	60
	第2級	60	50又は40
	第3級	60,50又は40	30
	第4級	50,40又は30	20
	第5級	40,30又は20	
第4種	第1級	60	50又は40
	第2級	60,50又は40	30
	第3級	50,40又は30	20
	第4級	40,30又は20	

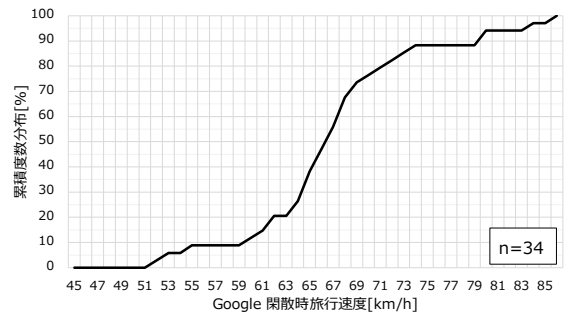


図-5 閑散時旅行速度の累積度数分布

道路計画時に指定最高速度が決まっていないため、類似の既存道路区間の指定最高速度を用いる。

- ・既存の道路における閑散時の旅行速度
既存の道路における閑散時の旅行速度のデータを取得し、その値を参考に自由速度を設定する。
ここでは、稲本ら¹⁷⁾を参考に、道路状況調査単位区間毎にGoogle maps Directions APIを用いて旅行速度を取得する。取得するデータの対象区間は、愛知県周辺の国道1号, 国道19号, 国道22号, 国道23号, 国道153号, 国道247号, 県道60号, 県道68号の上下線の一部区間である。取得したデータのうち、信号交差点の影響及び道路線形の影響を受けおらず自由速度であると仮定できる次の4つの条件を満たす道路区間のみ抽出し、閑散時旅行速度の累積度数分布を作成する。

- 条件1：信号交差点密度0, 完全分離
 - 条件2：代表沿道状況 山地部以外, 道のり/区間長<1.1
 - 条件3：第3種3級, 3種4級に相当する道路
 - 条件4：指定最高速度 60km/h*, 4車線以上
- *今回道路区間の指定最高速度の最大値が60km/hであったため。

図-5に閑散時旅行速度の累積度数分布を示す。閑散時旅行速度の中央値は65km/h、85パーセンタイル値は71km/h、90パーセンタイル値は76km/hとなり、設計速度と指定最高速度の間の値となることを確認した。

図-6に設計速度、閑散時旅行速度85パーセント値、指定最高速度をそれぞれ v_0 とした場合における交通量-速度関係を示す。設計速度と指定最高速度では、10km/h以上乖離があるため、出力される性能にも大きな乖離が生まれてしまう。指定最高速度はあくまで交通規制に用いる値であり、実際にはそれ以上の速度で走行していることが十分に考えられるため、計画時に用いることは適当ではない。本研究で提案する交通量-速度関係には、設計速度もしくは実測値に基づく値（閑散時旅行速度の85パーセント値）を用いることが望ましいと考える。

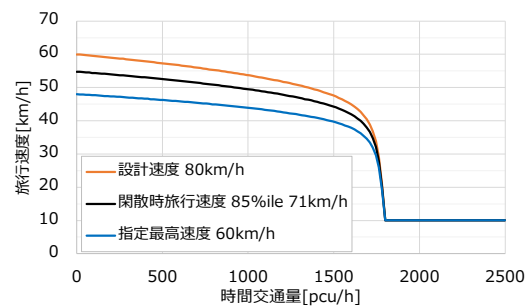


図-6 自由速度の設定値による交通量-速度関係の違い

(3) 信号現示設定の考え方

道路計画時に信号現示方式や制御パラメータの詳細な設定をすることは極めて困難であり、また既存の道路であっても道路区間で様々なサイクル長、青時間比の値が混在していることは容易に想像できる。そのため、交通量-速度関係に用いる信号現示設定に当たっての方針をここに整理する。

・サイクル長

サイクル長は、その値が大きいほど旅行速度が低下する傾向にあることから、区間の最大値を設定に用いることとする。

・青時間比

青時間比は、その値が小さいほど旅行速度が低下する傾向にあることから、区間の最小値を設定に用いることとする。

主に区間の代表交差点がこれらの値を決めるうえで重要となる。

(4) 沿道状況の影響の与え方

道路区間の旅行時間に関して、本研究では、式(3)により交通量-速度関係を設定しており、この式では沿道状況の影響を考慮できていない。しかし、実際の道路では、式(3)の分母に交通量に応じた単路部での遅れの項の検討が必要となると考えられる。そのため、式(3)を用いた性能照査を行う場合は、沿道状況の影響を考慮できていないことについての留意が必要である。

5. おわりに

本研究では、現在の道路計画手法への導入を目指した汎用性が高く簡便な手法の一般道の性能曲線を提案し、その性能曲線における留意点を整理した。

提案した性能曲線は、車線数、飽和交通流率、青時間比、サイクル長、信号交差点密度、単路部での旅行速度などの値に感度のあるもので、様々な道路施策の検討に対応しうるものである。また、道路計画時にそれらの値

が設定可能となるように、各種値を設定する上での留意点を整理した。特に信号現示に関しては、サイクル長、青時間比に関しての設定方法を示した。

今後は、ここで選定した性能曲線（交通量-速度関係）が実態とどの程度整合しているのかを検証する必要がある。また、道路線形の影響を考慮することができていないことから、道路線形等の道路構造条件による補正係数 γ の推定を行うことが今後の課題である。

謝辞：本研究で用いたGoogle maps Directions APIのデータ取得は、名古屋大学大学院環境学研究科稲本雄一氏の協力を受けたものです。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局：東北地方新広域道路交通計画、<https://www.thr.mlit.go.jp/road/ir/kansendouro/-210713index.html>, 2021. (閲覧2022年9月14日)
- 2) 公益財団法人国際交通安全学会：性能照査型道路設計のための交通容量・サービス水準に関する研究、平成19年度研究調査報告書、2007.
- 3) 中村英樹, 大口敬: -Editorial- 性能照査型道路計画設計の導入に向けて、土木学会論文集 D3, Vol.63, No.3, pp.195-202, 2011.
- 4) 下川澄雄, 内海泰輔, 野中康弘, 中村英樹, 大口敬：道路の階層区分を考慮した性能照査手法の意義と課題、土木計画学研究・論文集, No.45, 2012.
- 5) 一般社団法人交通工学研究会：機能階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン（案）、平成27~29年度 基幹型研究課題、<http://www.jste.or.jp/Activity/act1.html>, 2018.
- 6) Akandwanaho, E., Nakamura, H.: Analysis of Travel Speed on 4-Lane Signalized Arterials, World Conference on Transportation Research – 15th WCTR 2019 Mumbai, 14pages, 2019.
- 7) Transportation Research Board of the National Academies: Highway Capacity Manual 6th Edition, 2016.
- 8) Highways England: THE COBA 2022 USER MANUAL, <https://www.tamesoftware.co.uk/manuals/manuals.html>, 2022.7. (閲覧2022年9月20日)
- 9) Lum, K. M., Fan, H. S. L. and Olszewski, P.: Speed-Flow Modeling of Arterial Roads in Singapore. Journal of Transportation Engineering 124.3, 213-222, 1998.

- 10) 松井寛, 藤田素弘: 交通量配分におけるQ-V式の設定方法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.3, pp.153-160, 1986.
- 11) 松井寛, 藤田素弘: 交通量配分における日交通容量とQ-V式の合理的設定方法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.6, pp.153-160, 1988.
- 12) 早河辰郎, 中村英樹: 幹線街路における沿道アクセス機能に応じた旅行速度性能曲線の定式化, 土木計画学研究・講演集, No.39, CD-ROM, 2009.
- 13) 公益社団法人日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2015.
- 14) 公益社団法人日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.
- 15) 柿元祐史, 中村英樹: 道路構造・交通運用と交通量変動を考慮した日交通量 - 速度関係のモデル化, 交通工学論文集 (特集号), 第8巻第2号, p.A_62-A_72, 2022.
- 16) F.V. Webster: Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper No.39. London. HMSO, 1958.
- 17) 稲本雄一, 関原敏裕, 柿元祐史, 中村英樹: GoogleMapsAPIを用いた拠点間旅行速度による道路の交通サービス性能の都市別評価, 土木計画学研究・講演集, No.62, 6 ページ, 2020.

A STUDY ON SETTING PERFORMANCE CURVES FOR PERFORMANCE VERIFICATION OF TRAVEL SPEEDS ON SIGNALIZED ARTERIALS

Yuji KAKIMOTO, Koji SUZUKI, Sumio SHIMOKAWA, Norihiro IZUMI and Kenichi TAKAHASHI