通行機能が期待される
道路の種級区分別性能曲線の提示

青木　優汰[1]・下川　澄雄[2]・青山　恵里[3]・吉岡　慶祐[4]

[1]学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: csyu22001@g.nihon-u.ac.jp

[2]正会員　日本大学教授　理工学部交通システム工学科（同上）
E-mail: shimokawa.sumio@nihon-u.ac.jp

[3]正会員　日本大学助手　理工学部交通システム工学科（同上）
E-mail: aoyama.eri@nihon-u.ac.jp

[4]正会員　日本大学助教　理工学部交通システム工学科（同上）
E-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp

わが国の道路の幾何構造は，道路の種級区分によって横断面構成が決定され，これに基づく設計速度によって線形・視距が決定される．しかし，このようなアプローチでは通行機能が期待される道路において，それを実現する速度サービスを保障することはできていない．これに対して，交通量や信号交差点密度など各種道路交通条件を説明変数として，旅行速度を推定する性能曲線に関する研究が行われているが，道路計画・設計の基本となる道路の種級区分を念頭に置いた性能曲線の提示は行われていない．そこで，本研究では，道路交通センサスや ETC2.0 プローブデータなどの各種道路交通データを用い，実旅行速度と各種道路交通条件との関係性を明らかにする．さらに交通量-可能交通容量比から道路の種級区分を導出する方法を提案し，これを用い通行機能が期待される道路の種級区分別性能曲線の提示を行った．

Key Words: *Traffic function,Service speed,Performance curve,Road class category,ETC2.0 probe data*

1.　はじめに

わが国の道路の幾何構造は，**図-1** に示すように道路の種級区分によって横断面構造が決定され，道路の種級区分に基づく設計速度によって線形・視距が決定される．しかしながら，このようなフレームワークでは，通行機能が期待される道路において，本来求められるサービスの質である速度サービスを保障することはできない．

速度サービスを保障するためには，道路計画・設計区間において提案される道路構造や計画交通量をはじめとする道路交通条件に対して，目標とする旅行速度が担保できているかどうかを照査できることが不可欠である．

そこで本研究では，多車線道路区間を対象に実データを用い実現旅行速度と道路交通条件との関係性を明らかにする．さらに，これを広域道路など通行機能が期待される道路の種級区分に展開し，道路計画・設計のための性能曲線として提示しようとするものである．

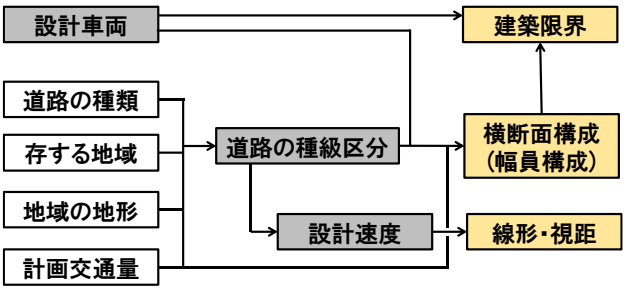


図-1　わが国の道路計画・設計フロー

2.　既往文献のレビューと本研究の位置づけ

旅行速度と道路構造や交通条件などとの関係を示した研究として，橋本ら [1]は，都市間を連絡する道路において，信号交差点密度が旅行速度と最も関係が深いこと，代表沿道状況，指定最高速度も一定の関係があることを道路交通センサス（以降，「センサス」という）データを用いて明らかにした．内海ら [2]は，センサスデータを

用い，都市・拠点間連絡のための幹線道路を対象に数量化 I 類による分析を行い，信号交差点密度，出入制限などを旅行速度への影響が大きい要因と明らかにした．栗林ら [3]は，旅行速度の変動に与える影響についてプローブデータを用いて分析し，信号交差点密度などを挙げている．

一方，性能曲線に関わる研究として，松井ら [4]は，センサスデータを用い交通量-旅行速度関係について信号交差点密度別などを変数として定式化した．しかし，この研究では日交通量に基づくものであり，時間的な変動を捉えたものではない．下川ら [5]は，センサスデータから目標速度が旅行速度 50 km/h を実現するための道路交通の必要条件を示し，性能曲線の提案を行っている．しかし，この研究では時間交通量を扱っているものの，旅行速度 50 km/h を除く速度帯における道路交通の必要条件の提示には至っておらず，旅行速度データも非混雑時であり，時間交通量との関係性も曖昧である．柿元ら [6]は，Webster の実験式を援用し，信号交差点の遅れ時間と単路部の旅行時間から性能曲線の提案を行っている．しかし，ここで扱える説明変数は Webster の実験式によるものに限られ，沿道状況や無信号交差点，中央分離帯など旅行速度に影響をもたらすと考えられる他の道路交通条件は扱うことができない．

これに対して，本研究では時間帯別の交通量-旅行速度関係をより明確に扱い，より多くの速度帯で道路交通条件の影響を照らし合わせ，それによって現在の道路計画・設計の基本となる道路の種級区分に基づく性能曲線の提示を行おうとするものである．

3. 分析の着眼点とデータセットの作成

本研究では，多車線道路区間において，旅行速度に対し時間交通量や道路交通条件を説明変数とする性能曲線を提示する．そのため本研究では，これらデータの取得が容易な平成 27 年度センサスデータを用いる．その際，時間交通量と旅行速度の関係をより明確にするため，交通量はセンサスの時間帯別交通量，旅行速度は平成 27 年 10 月の ETC2.0 プローブデータ（以降，「プローブ」という）の旅行速度データをセンサス区間別・時間帯別に抽出し，それを平均した値を用いることとした．

また，性能曲線は，非混雑時の状態を表現し当該道路計画・設計区間のサービスの状態を明らかにしたうえで，それを実現するための処方箋を講じようとするためのものである．そのため，分析用データは混雑区間を避けるべく，混雑度 1.0 未満の区間を対象とした．これに加え，本研究では信号交差点密度の値や旅行速度の変動などに対し，より安定的なデータを取得するため，山地部を除くセンサス区間のうち道路状況調査区間が 1.0 km 以上 5.0 km 未満かつ 4 車線以上の（アクセスコントロールを除く）一般道路区間で，車道幅員 5.5 m 以上の上り方向区間を分析対象としてデータセットを作成した．これによる本研究の分析対象データ数は**表- 1** のとおりとなり，その数は合計で 1,116 データとなった．なお，区間数に対して時間数が 1 日の時間数である 24 倍にならないのは，プローブデータのサンプル数が少なく，また異常値として判別される時間帯などが存在するためである．

表-1 本研究で対象とするデータ数

	DID	その他市街地	平地部	合計
区間数	14	17	47	78
時間数	187	264	665	1,116

さらに，本研究では道路の種級区分を考慮した性能曲線を作成することを最終目標している．そのため，説明変数に可能交通容量を加えることとする．可能交通容量は，当該計画・設計区間において捌くことのできる交通量（処理能力）であり，交通量との関係の中で旅行速度も影響を受ける．センサスには可能交通容量を算出できる沿道状況や道路状況などの指標が含まれている．これらを用いて可能交通容量を算出し，交通量-可能交通容量比として説明変数に加える．これに対して，道路の種級区分別の規定値を用いた可能交通容量を代入することで道路の種級区分ごとに性能曲線を導出することができる．可能交通容量はセンサス [7]の設計交通容量算出において用いている基本交通容量CBに対し，**表- 2** に示す沿道状況γL，車線幅員γC，側方余裕幅γIの各補正率を便宜的に用い，これらを乗じることで求めた．その際，二輪車類などその他の補正は行っていない．また，基本交通容量は 1 車線あたり 2,200pcu/h を用い，交通量は pcu 換算した値（PCE=2.0）とした．

$$C = CB \times \gamma L \times \gamma C \times \gamma I \times N \qquad (1)$$

C：可能交通容量　CB：基本交通容量(2,200 pcu/h/車線)
γL：沿道状況　γC：車線幅員による補正
γI：側方余裕幅による補正　N：車線数

このように，可能交通容量は，幾つかの道路交通条件を加味した合成変数であるが，本研究では，この他にも**表- 3** に示す道路交通条件を加えて旅行速度との関係を分析する．これらは既往研究を踏まえ，物理的に取得可能なデータである．この中で，信号交差点密度については，Google Maps より感応式信号や横断歩行者用押しボタン信号を除き計上し，これらについては，センサスで

表-2　可能交通容量の補正率

補正項目	標準値	補正率	計算式　※補正率は 1.00 は超えないものとする
沿道状況 rI	DID	0.75	特殊な要因を除く 例）バス専用レーン・踏切などで低下する区間 アクセスコントロールなどで影響を受けない区間
	その他市街地	0.75	
	平地部	0.90	
車線幅員 rL	3.50m	1.00	0.24×車線幅員+0.22 車線幅員＝車道幅員/車線数 ※車道幅員のうち車線幅員が 3.5m×車線数を超えた分は側方余裕幅に増分として算入
	3.25m	1.00	
	3.00m	0.94	
	2.75m	0.88	
側方余裕幅 rC	1.25m	1.00	0.187×側方余裕幅+0.86 側方余裕幅＝（車道部幅員-車線幅員-中央帯幅員+α）/4 α＝1.0m（一般国道，都道府県道，指定市市道）α＝0.0m（中央帯がない場合）
	0.75m	1.00	
	0.50m	0.95	

示される無信号交差点に改めて算入した．

なお，本研究では，最終的にこれらデータを基に，重回帰分析により実現旅行速度と道路交通条件との関係を定式化し，道路の種級区分別の性能曲線を導出する．ここで，重回帰分析を用いるのは，本研究の対象領域が自由流状態であり，直線近似できると考えたためである．

表-3　本研究で扱う道路交通条件

道路交通条件		データの種類と単位	出典
時間帯別交通量		交通量（pcu/h）	センサス
可能交通容量	沿道状況	DID・その他市街地・平地部　（補正率） ※山地部を除く	センサス
	車線幅員	車道幅員/車線数(m)	センサス
	側方余裕幅	車道幅員 - 車線幅員(m)	センサス
信号交差点密度		箇所/km	Google Maps
無信号交差点密度		箇所/km	センサス
指定最高速度		km/h	センサス
代表信号交差点青時間比		青時間/サイクル長	センサス
中央分離帯の種類		物理的分離・簡易な分離・構造物無し	センサス
中央分離帯の設置状況		前項の物理的分離に該当する区間のうち，区間全体に設置・一部区間に設置・あまり設置されていない	センサス

4.　道路交通条件と旅行速度との関係分析

3. で作成したデータセットを用い，各種道路交通条件について旅行速度との関係を示す．

(1)　信号交差点密度と旅行速度

図-2 は指定最高速度が 60km/h の区間データを用い，旅行速度と交通量との関係を信号交差点密度別に示している．信号交差点密度が高いほど，交通量が高いほど旅行速度が低下することが知られている．この図ではばらつきがあるものの，その傾向を読み取ることができる．また，交通量が 0 に近いポイントは，道路構造や交通運用によって実現する潜在的な性能（旅行速度）となるが，信号交差点密度が 1 未満の多くの地点では指定最高速度を上回っている．

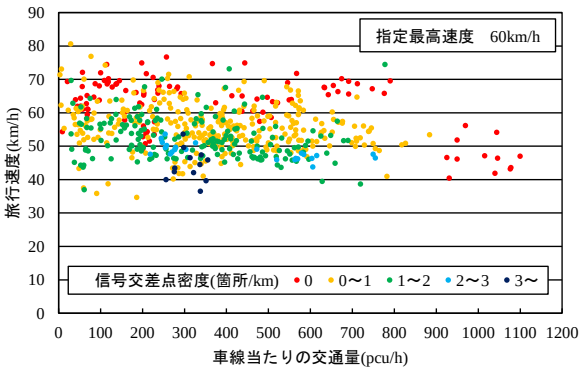


図-2　信号交差点密度別の交通量と旅行速度の関係

(2)　無信号交差点密度と旅行速度

図-3 は，旅行速度と交通量との関係を無信号交差点密度別に示している．無信号交差点密度は，小さな値から比較的大きな値まで様々である．また，旅行速度との関係は，無信号交差点密度の小さな区間でも旅行速度の低い区間が散見され，信号交差点密度と異なり明確な関係性を見出すことができない．

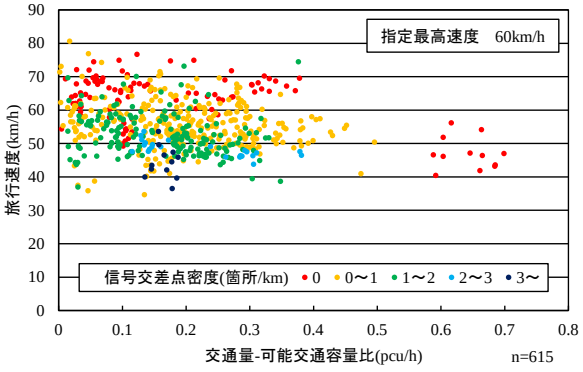


図-3　無信号交差点密度別の交通量と旅行速度の関係

(3) 交通量-可能交通容量比と旅行速度

次に，**図- 4** は**図- 2** の横軸を交通量から交通量-可能交通容量比に置き換え，旅行速度との関係を信号交差点密度別に示している．本研究で用いた分析対象データの多くは，交通量-可能交通容量比が 0.5 を下回っており，比較的良好な交通状態にあると言える．また，可能交通容量は沿道条件，車線幅員，側方余裕幅を内包する合成変数であるが，交通量-可能交通容量比と旅行速度との関係は，**図- 2** の交通量のそれと同様であり，信号交差点密度が高いほど，交通量-可能交通容量が高いほど旅行速度が低い傾向にあることがわかる．

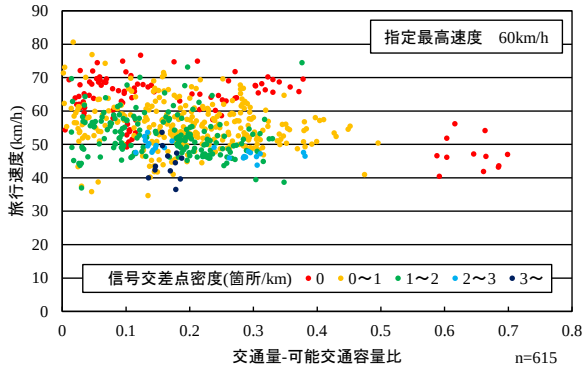


図-4　信号交差点密度別の交通量-可能交通容量比と旅行速度の関係

(4) 代表信号交差点青時間比と旅行速度

図- 5 は旅行速度と交通量との関係を代表信号交差点青時間比別に示している．この図からは，ばらつきがあるものの，信号交差点青時間比が高いほど，旅行速度が高くなる傾向を読み取れる．

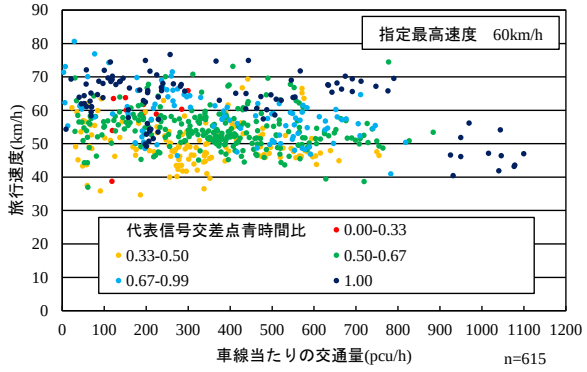


図-5　代表信号交差点青時間比別の交通量と旅行速度の関係

(5) 中央分離帯の種類と設置状況と旅行速度

図- 6 は旅行速度と交通量との関係を中央分離帯の種類と設置状況別に示している．本研究では多車線道路区間を対象としており，ほとんどの区間で物理的な分離が行われていることがわかる．また，物理的な分離の設置延長が高いほど，交通量が多い区間でも，速度が高い傾向にあると言える．一方で，物理的分離がされていても中央分離帯があまり設置されていない区間や簡易な分離，構造物無しの区間は，区間全体に設置されている区間に比べ，速度が低い傾向にあることが読み取れる．

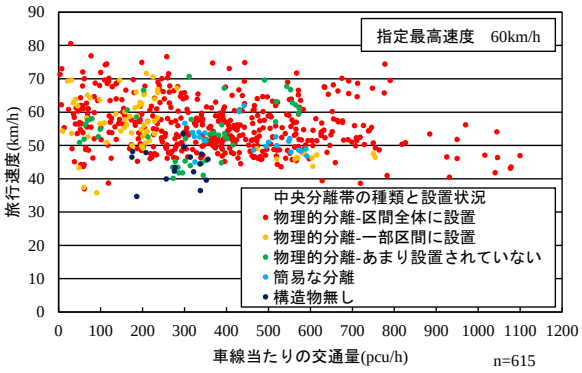


図-6　中央分離帯の種類と設置状況の交通量と旅行速度の関係

(6) 指定最高速度と旅行速度

図- 7 は旅行速度と交通量との関係を指定最高速度別に示している．指定最高速度の高い区間では，同じ交通量帯でも高い旅行速度が実現していることが読み取れる．

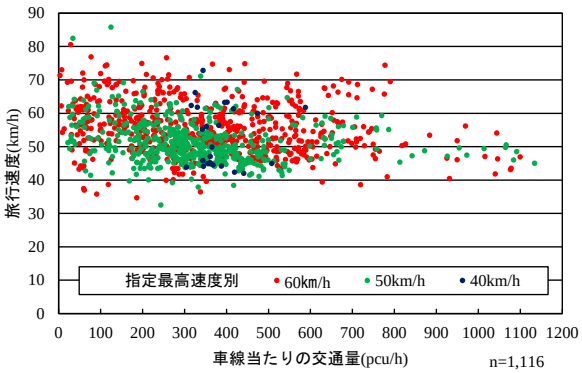


図-7　指定最高速度別の旅行速度と交通量の関係

5. 重回帰分析の実施

旅行速度と道路交通条件との関係性を確認するため，重回帰分析を行った．**表- 4** は前章までの各種道路交通条件から分析に必要な説明変数に整理し直したものである．設定した説明変数は，交通量-可能交通容量比，信号交差点密度，無信号交差点密度，代表信号交差点青時間比，中央分離帯ダミー，指定最高速度である．なお，沿道状況，車線幅員，路肩幅員は可能交通容量に内包されている．また，中央分離帯ダミーは，**図- 6** の傾向を踏まえ，**表- 3** のうち中央分離帯の種類と設置状況の組合せにより設定した（1：物理的分離のうち区間全体に

設置または，一部区間全体に設置，0：物理的分離のうちあまり設置されていないまたは，簡易な分離及び構造物無し）．

表-4 本研究で扱う説明変数の設定

説明変数	データの単位
交通量-可能交通容量比	交通量（pcu/h）/可能交通容量
信号交差点密度	箇所/km
無信号交差点密度	箇所/km
代表信号交差点青時間比	0～1
中央分離帯ダミー	中央分離帯の種類と設置状況 1：物理的分離のうち区間全体に設置または，一部区間に設置（区間の概ね3分の2以上） 0：物理的分離のうちあまり設置されていないまたは，簡易な分離及び構造物無し
指定最高速度	40・50・60 km/h

これらの説明変数をもとに行った重回帰分析の結果を**表-5** に示す．これによれば，すべての説明変数において符号に問題はないが，無信号交差点密度のみ有意な結果を得ることができなかった．これは**図-3** において明確な関係がみられないことからも理解される．また，無信号交差点から流入し本線交通と錯綜が起こった場合にあっても，その遅れ時間分は信号交差点に吸収されてしまう状況も想定される．

表-5 旅行速度と関係指標との重回帰分析の1回目の結果

**：1%有意

	係数	t 値	P 値
切片	39.15	20.08	**
信号交差点密度	-3.41	-11.81	**
交通量-可能交通容量比	-19.61	-11.51	**
青時間比	9.96	8.54	0.62
中央分離帯	3.31	7.14	**
指定最高速度	0.23	6.76	**
無信号交差点	0.03	0.49	**
重決定 R2	0.36		

さらに，**表-6** は無信号交差点密度を除いた関係が認められた指標について，再計算を行った結果を示したものである．その結果，表中の符号に問題はなく，すべての説明変数において 1%有意水準を十分に満たした． なお，重決定係数は 0.35 である．これは被説明変数の旅行速度の多くが 45～65km/h の範囲にあり，必ずしも高い感度でないことが原因の1つとして考えられる．

表-6 旅行速度と関係指標との重回帰分析の再計算の結果

**：1%有意

	係数	t 値	P 値
切片	39.22	20.18	**
信号交差点密度	-3.40	-11.81	**
交通量-可能交通容量比	-19.62	-11.52	**
代表信号交差点青時間比	9.85	8.60	**
中央分離帯ダミー	3.27	7.15	**
指定最高速度	0.23	6.87	**
重決定 R2	0.35		

6. 道路の種級区分別性能曲線の提示

3. で示しているように，可能交通容量は道路の種級区分別に算出できる．

表-7，**表-8** は，広域道路など通行機能が期待される道路を念頭に，第3種第1級・第2級，第4種第1級・第2級の道路における車道部の横断面構成と可能交通容量を示している．ここで，基本交通容量は，1 車線あたり 2,200pcu/h とした．また，第 3 種は平地部，第 4 種は DID を想定して補正率を設定し，左側の側方余裕は歩道による加算分（0.25m）は含めていない．

図-8 は，4. の重回帰分析結果と**表-8** の値を用い算出した道路の種級区分別の性能曲線の一例を示している．ただし，信号交差点密度を 0，1，2 箇所/km，代表信号交差点青時間比 0.6（信号交差点密度 0 の場合は 1.0），指定最高速度 60 km/h によるものである．例えば，第 3 種第1級・第2級で信号が1km に2箇所設置されている道路の場合，旅行速度 50 km/h を実現することは困難であり，1km に1箇所設置されている道路において交通量の閾値が1車線あたり約 350pcu/h 程度となる．

表-7 道路の種級区分別横断面構成

種級区分	沿道状況	側方余裕幅（m）		車線幅員（m）
		左側	右側	
第3種第1級	平地部	1.25	0.5	3.5
第3種第2級	平地部	0.75	0.5	3.25
第4種第1級	DID	0.5	0.5	3.25
第4種第2級	DID	0.5	0.5	3.0

表-8 道路の種級区分別可能交通容量

種級区分	補正率（計）	可能交通容量
第3種第1級	0.9	1,980 pcu/h/車線
第3種第2級	0.9	1,980 pcu/h/車線
第4種第1級	0.713	1,568 pcu/h/車線
第4種第2級	0.67	1,473 pcu/h/車線

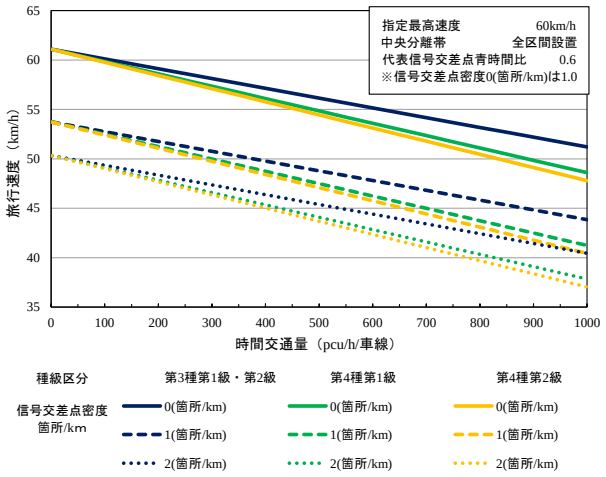


図-8　種級区分別・信号交差点密度別性能曲線

7　おわりに

本研究では，ETC2.0 プローブデータおよびセンサスデータを用い，多車線道路区間において道路交通条件と旅行速度との関係を示すとともに，道路の種級区分別の性能曲線を導出することができた．

道路交通条件と旅行速度との関係の中では，交通量と沿道条件，車線幅員，側方余裕幅を内包した交通量-可能交通容量の比を説明変数の一つとして設定し重回帰分析を行い，既往研究でも関係性が高いとされている信号交差点密度と並び高い相関性が得られた．また，この可能交通量を説明変数として加えることで道路の種級区分別の性能曲線を作成することができ，今後の道路計画・設計を行ううえで有用なアプローチとなることも期待される．

今後は，同様な方法により，2 車線道路への展開も試みる予定である．

REFERENCES

1) 橋本雄太，小林寛，山本彰，中野達也，高見進：信号交差点密度等の道路状況と旅行速度の関係，土木計画学研究・講演集，vol.47，2013.
2) 内海泰輔，泉典宏，山川英一，野見山尚志，若林糾：交通性能照査型道路計画・設計のための走行サービス実態分析，土木計画学研究・講演集，vol.49，2014.
3) 栗林志帆，浜岡秀勝，森田綽之：道路環境が旅行速度の分散に及ぼす影響分析，土木計画学研究・講演集，vol.54，2016.
4) 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，vol.3，1986.
5) 下川澄雄，小山田直弥，吉岡慶祐，森田綽之：中間速度を実現するための道路構造条件の分析，交通工学論文集，Vol.4，No.1，pp.A_55-A_63，2018.
6) 柿本祐史，鈴木弘司，下川澄雄，泉典宏，高橋健一：一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，土木計画学研究・講演集，Vol.66，2022.
7) 国土交通省：平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査箇所別基本表及び時間帯別交通量表に関する説明資料，https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/data/pdf/kasyorep.pdf　(最終アクセス 2023 年 10 月)

(Received ???)
(Accepted ???)

PRESENTATION OF PERFORMANCE CURVES BY ROAD CLASSIFICATIONS FOR ROADS EXPECTED TO TRAFFIC FLOW FUNCTION

Yuta AOKI, Sumio SHIMOKAWA, Eri AOYAMA and Keisuke YOSHIOKA