

都市間一般道路単路部における交通量-速度曲線の提案^{*1}

A Proposal on Speed-Flow Curves for Intercity Highway Sections

内海 泰輔^{*2}・中村 英樹^{*3}

By Taisuke UTSUMI^{*2} and Hideki NAKAMURA^{*3}

1. はじめに

トラフィック機能が重視される都市間道路の交通性能を評価するためには、道路条件や交通条件、走行環境条件などで変化する交通量と速度の関係(以下、 $Q-V$ 関係)を明らかにしなければならない。アメリカやドイツなどではこの $Q-V$ 関係について継続的に分析されており、各国の最新の道路設計ガイドライン^{1), 2)}にはレファレンスとなる $Q-V$ 曲線が法定速度別または道路構造別に示されている。これに対して、我が国では、「道路の交通容量(1984)³⁾」で $Q-V$ 関係について紹介されているものの、それ以降はほとんど分析されてこなかった。しかし最近になって、洪ら⁴⁾、稲野ら⁵⁾によって我が国の高速道路における最新の $Q-V$ 関係が明らかになりつつある。一方、都市間/地域間道路の多くを占める一般道路では、交通容量に関する分析⁶⁾は行われているものの、 $Q-V$ 関係についてはほとんど分析されていない。

そこで本稿では、都市間を連絡する一般道路の単路部に着目し、最新の交通データや気象データを用いて $Q-V$ 関係に影響を与える要因について分析する。そして、その結果をふまえ、都市間一般道路単路部における非渋滞時の $Q-V$ 曲線を定式化することを目的とする。これにより得られた $Q-V$ 曲線と、計画/設計道路の設計時間交通量とを組み合わせれば、その道路で実現する交通性能を計画/設計段階で照査することが可能となる。

2. 分析データの概要および分析対象地点の抽出

(1) 分析データの概要

既往研究^{4), 5)}では高速道路の $Q-V$ 関係に影響を与える要因として、大型車混入率や降雨などを挙げている。一般道路においてもこれら要因が $Q-V$ 関係に影響を及ぼすかどうか次のデータを用いて検証する。

1) 交通データ

主に国土交通省が管理し大都市郊外部および中都市以上の都市間等を結ぶ幹線系一般道路に設置されている全国500余地点の車両感知器のデータ3年分[2001年度～2003年度]を利用する。これは車種別交通量や地点平均

速度などが方向別に収集され、1時間間隔で集計されているものである。

2) 道路構造データ

車両感知器が設置されている地点の車線数や道路幅員、信号設置間隔といった道路構造、周辺状況については、「交通量常時観測調査報告書」および「H11年道路交通センサス」のデータを用いる。

3) 気象データ

降雨による影響を分析するため、(財)日本気象協会から入手した全国のAMeDASデータを用いる。本データは、全国約1,300箇所の降雨量の観測所で観測されたもので、降雨量が1時間ごとに1mm単位で集計されている。ここでは、各車両感知器の最寄りの観測所を探索し、そこで観測された降雨量を車両感知器が設置されている地点の降雨量として利用する。

(2) 分析対象地点の抽出

一般道路には多数の信号交差点が存在するが、この信号交差点前後で観測される速度は、通常の走行状態でない可能性が高い。たとえば、前方が赤信号の場合、多くの車両は信号交差点の数十～数百m手前から減速するのであろうし、赤信号で一旦停止すると通常の走行状態に戻るまである程度の距離が必要となる。このように信号交差点付近のデータが含まれていると、単路部における地点の $Q-V$ 関係を正確に分析することができない。本来ならば、車両感知器の設置地点から最寄りの信号交差点までの距離によって分析に適する車両感知器を抽出すべきであるが、ここではそのようなデータが入手できなかったため、次の手順により信号の影響が小さいと考えられる車両感知器を抽出する。

まず、信号交差点密度が1.0箇所/km未満の信号交差点間隔が疎らな地点を抽出する。次に、各地点の $Q-V$ 図を作成しその形状を確認することで、信号交差点近くに車両感知器が設置されているか、また車両感知器の収集精度に問題はないか、などを判断する。さらに、 $Q-V$ 曲線の定式化には、非渋滞時の交通量と速度データが大量に必要となるため、非渋滞流領域のデータが十分な地点(13,000サンプル以上[約1年半分のサンプル])を抽出する。なお、個々の地点で $Q-V$ 図を作成したところ一般道路の臨界速度は40～50km/h付近であったため、ここでは40km/h以上を非渋滞流領域とした。抽出地点の概要は表-1のとおりである。

*1 キーワード：交通性能，走行速度，大型車混入率，降雨

*2 正員，修(工)，名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻(名古屋市千種区不老町，E-Mail:utsumi@genv.nagoya-u.ac.jp)

*3 正員，工博，名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

3. Q-V曲線への影響要因分析

(1) 分析方法

1) 分析データの処理

Q-V関係を明確にするため、ここでは交通量100台/hを1つのレンジとして分析する。なお、非渋滞時を対象とするため平均速度40km/h以上のデータを使用すること、データの信頼性を確保するため各交通量レンジに10以上のサンプルが存在すること、を条件とする。

2) 分析方法

Q-V関係に影響を与える要因として表-2のようなものが考えられる。このうち、道路条件について分析するためには地点間での比較が必要となるが、本分析の対象地点は30地点(2車線：13地点、4車線：13地点、6車線：4地点)と少なく地点間の比較を行うには十分ではない。このため、同一地点で比較することができる交通条件と走行環境条件に着目し、その代表的な要因である大型車(混入率)、降雨、平休について次の方法により分析する。

まず、ある特定の要因(分析対象要因)の影響を分析する場合、その他の要因の影響をできるかぎり排除することが望ましいと考え、ここでは着目する要因以外は表-3のように条件を固定する。たとえば、大型車(混入率)の影響を分析する場合は、非降雨(0-1mm/h)、平日、4-11月、昼間(8-16時)のデータを用いる。そして、各地点で最もサンプル数の多い交通量レンジを対象にWelchの検定(有意水準95%)を行い、対象要因内の平均速度の差について統計的に明らかにする。

(2) 分析結果

1) 大型車混入率による影響

ここでは、大型車混入率を10%ごとのレンジに分類し分析を行った。大型車混入率別の平均速度の差について検定したところ、全体の約2/3の地点で有意となった(表-4)。しかし、大型車混入率が低い方が平均速度が高い[A]場合と大型車混入率が高い方が平均速度が高い[B]場合とで地点数に大きな差がなく、この結果からは“大型車混入率がQ-V関係に影響する”とは言えない。これは高速道路のQ-V関係を分析した既往研究^{4),5)}の“大型車混入率の増加に伴い速度は低下する”という知見とは一致しない。この理由としては、高速道路に比べ一般道路の法定速度は低く、たとえ交通量が少ない自由走行に近い状態であったとしても高速道路ほど速度が高くない。その結果、大型車も小型車とほぼ同じ速度で走行できるためと考えられる。なお、線形や勾配など道路条件によっては、必ずしも大型車が小型車と同程度の速度で走行できるとは限らない。このため、今後は道路条件との関係についても詳細に分析することが必要である。

2) 降雨による影響

高速道路では、“降雨量が増加するにつれ速度が低

表-1 分析対象地点の概要

車線数	地点数						
	計	法定速度[km/h]		中央帯		歩道*	
		60	70	あり	なし	あり	なし
2車線	13	13	0	6	7	4	7
4車線	13	13	0	13	0	13	0
6車線	4	2	2	4	0	4	0
計	30	28	2	23	7	21	7

*歩道の設置状況が不明な地点が2地点あり

表-2 Q-V関係に影響を与える要因の整理

条件	要因
道路条件	横断面(車線幅員(側方余裕など)、線形、勾配など)
交通条件	大型車交通量(混入率)
走行環境条件	気象(降雨、降雪)、季節、平休、昼夜、法定速度など

表-3 分析条件の設定

分析対象要因	その他の要因				
	大型車混入率	降雨	平休	季節	昼夜
大型車混入率	適宜*	0-1mm/h	平日	4-11月	昼(8-16時)
降雨	適宜*	0-1mm/h	平日	4-11月	昼(8-16時)
平休	適宜*	0-1mm/h	0-1mm/h	4-11月	昼(8-16時)

*大型車混入率別のサンプル数の分布は個々の地点によって大きく異なる(幹線系→大型車混入率が高い(サンプル多)、観光系→大型車混入率が低い(サンプルが多)。このため各地点で最もサンプルが多い大型車混入率のレンジを検定の対象とする。

表-4 大型車混入率別の平均速度の有意差に関する検定結果

	2車線	4車線	6車線	計
計	13	13	3*	29
差が有意である	A	5	2	8
	B	6	5	11
	差が有意でない	2	6	2

A: 大型車混入率が低い方が平均速度が高い, B: 大型車混入率が高い方が平均速度が高い

*十分なサンプルが確保できず検定不能な地点が1地点あり

表-5 非降雨/降雨時の平均速度の有意差に関する検定結果

	2車線	4車線	6車線	計
計	13	13	4	30
差が有意である	A	7	13	24
	B	0	0	0
	差が有意でない	6	0	0

A: 非降雨時の方が平均速度が高い,

B: 降雨時の方が平均速度が高い

下し、その低下量は降雨量が0mm/hから1mm/hへ変化する場合(降雨の有無)が最も大きい。”ということが既往研究^{4),5)}で明らかにされている。ここでも降雨量別にQ-V関係への影響を分析することを試みたが、各降雨量で十分なサンプル数が確保できなかったため、最もQ-V関係への影響が大きい“降雨の有無”について分析することとした。なお、AMeDASデータでは降雨量が最も小さいデータが0~1mm/hであるため、降雨量1mm/h未満を非降雨、降雨量1mm/h以上を降雨、とした。

表-5は、非降雨/降雨時の平均速度の検定結果である。8割の地点で非降雨時の方が平均速度が高い[A]という結果となった。このことから、高速道路同様に一般道路でも降雨により速度が低下することがわかる。

3) 平日/休日による影響

交通量や大型車混入率など平日/休日以外の要因の条件を固定し、平日と休日の平均速度の差について分析した。つまり、平日と休日の差はドライバー構成(業務、観光)などの違いと言い換えることもできる。

平日と休日の平均速度の差を検定したところ、約2/3の地点で平日よりも休日の方が速度が高い[B]という結果となった[表-6]。この理由の一つとして、平日と休日では交通流の構成に違いがあるためと考えられる。たとえば、同じ大型車であっても、平日の大型車の多くは積荷を満載した貨物車であり全体的に速度が低いのにに対し、休日の大型車は比較的高い速度で走行できるバスであったり積荷が少ない貨物車であったりする。このような構成の違いの結果、平日に比べて休日の方が速度が高くなるのではないだろうか。しかし、これはあくまでも推測であり、今後さらに詳細な分析が必要である。

4. 一般道路におけるQ-V曲線の提案

(1) 定式化の手順

3.より、一般道路では降雨と平休がQ-V関係に影響を与えることが明らかとなった。この結果をふまえ、一般道路のQ-V曲線を平日の非降雨/降雨別に定式化する。

まず、Q-V関係の傾向を明確にするため、分析対象地点ごとに平日の非降雨/降雨別、交通量レンジ別(以下、カテゴリ)の85percentile速度を求める(図-1参照)。なお、85percentile速度の信頼性を確保するため、サンプル数が10未満のカテゴリは分析対象から除く。次に、カテゴリ別に全地点の中央値を求め、それを一般道路全体の85percentile速度とする。この際もデータの信頼性を考慮し、分析対象地点の半数以上の地点で85percentile速度が求められるカテゴリのみを対象とする(図-2参照)。そして、この全体の85percentile速度の傾向をもとに、Q-V曲線のモデル構造を検討し定式化する。モデル構造は、非降雨時におけるQ-V関係を表す基本式と、降雨による速度低下量を補正する式(補正式)の2つで構成し、基本式から補正式を減ずる形とする(2) 3)参照)。なお、降雨による速度低下量は、個々の地点で非降雨時と降雨時の85percentile速度の差を求め、その値の全地点の中央値とする。

(2) Q-V曲線の定式化

低速車を自由に追越することができない2車線道路と、追越することが可能な多車線道路に分けて定式化する。なお、6車線道路の分析対象地点は4地点と少なく、これらのみでQ-V曲線を一般化することは困難であると考え、多車線道路については4車線道路のみを対象とする。

図-3は、2車線/4車線道路の非降雨時の85percentile速度と、降雨による速度低下量を示したものである。

表-6 平休*別の平均速度の有意差に関する検定結果

	2車線	4車線	6車線	計
計	13	13	4	30
差が有意である	A	0	0	1
	B	9	7	18
差が有意でない	3	3	2	11

A: 平日の方が平均速度が高い。

B: 休日の方が平均速度が高い。

*: 休日を土曜日、日曜日、祝日、1月1・2・3日、5月3・4・5日、8月14・15・16日、12月31日とし、平日をそれ以外の日と定義する。

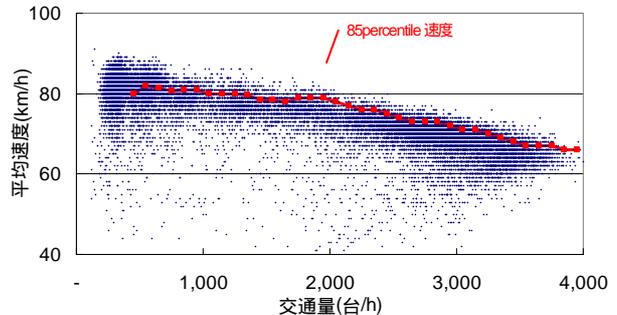


図-1 各地点の85percentile速度の算出イメージ

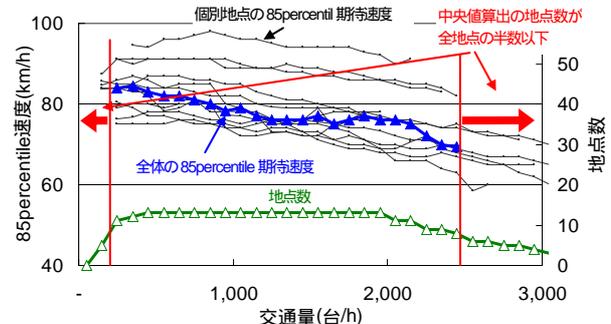


図-2 全体の85percentile速度の算出イメージ

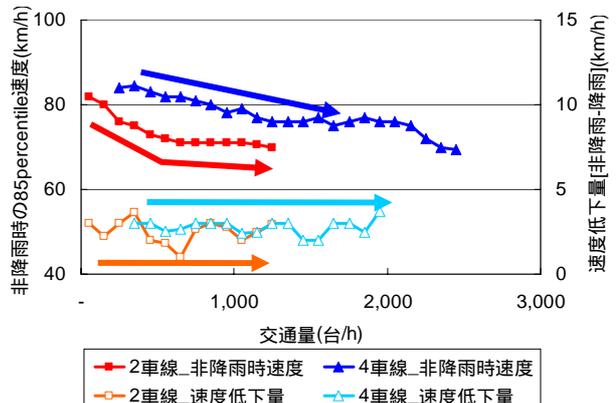


図-3 交通量と85percentile速度/速度低下量との関係

1) 2車線道路

全体の85percentile速度は法定速度(60km/h)を大幅に上回っている。また、交通量が増加するにつれて85percentile速度がほぼ直線的に低下することがわかる。特に交通量レベルが小さいとき(500台/h未満)は、大きいとき(500台/h以上)に比べ速度の低下量が大きい。この傾向はBrilonら⁷⁾の知見とも一致する。これは、たとえ交通量が小さくても1台の低速車によって全体の速度が急激に低下するといった2車線道路の特徴であるといえる。

この特徴を表現するため、ここでは交通量レベル500台/hを境にした2種類の一次式により基本式を設定する。また、降雨による速度低下量を見ると、交通量レベルにより多少変動しているものの、交通量と速度低下量との間に明確な関係はみられない。このため、ここでは降雨による速度低下量は交通量に関係なく一定とする。

2) 多車線道路(4車線道路)

2車線道路同様に交通量が増加するにつれほぼ直線的に速度が低下するが、2車線道路のように交通量レベルの違いによる速度低下量の差は確認できない。以上の傾向をふまえ、4車線道路の基本式を1種類の一次式で表現する。降雨による速度低下量は、交通量に関係なくほぼ一定の傾向がみられる。

3) Q-V曲線の定式化

1), 2)をふまえQ-V曲線の推定式および基本式(一次式)、補正式(一定)を次のような構造とする。

$$Q-V\text{曲線推定式: } \hat{V}_{85} = V_{85,ideal} - \Delta V_{85,rain}$$

$$\text{基本式: } V_{85,ideal} = \alpha_1 + \alpha_2 \times Flow_{60}$$

$$\text{補正式: } \Delta V_{85,Rain} = \beta_1 \times RainDummy$$

- ここで、 \hat{V}_{85} : 85percentile速度 (km/h)の推定値
 $V_{85,ideal}$: 非降雨時における85percentile速度 (km/h)
 $\Delta V_{85,rain}$: 降雨による速度低下量(km/h)
 $Flow_{60}$: 時間交通量(台/h)
 $RainDummy$: 非降雨 0, 降雨 1
 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$: パラメータ

表-7に車線数別/交通量別のパラメータ推定結果を、図-4に推定されるQ-V曲線を示す。非降雨時の自由走行状態(交通量: 0台/h)での速度(α_1)は、若干ではあるが2車線道路(82.95km/h)よりも4車線道路(85.05km/h)の方が高い。この理由として、中央帯の有無や方向別の車道幅員の広さの違いなどが考えられる。また、交通量の増加に伴う速度低下量(α_2)は、2車線道路500台/h未満で-0.0230であるのに対し、4車線道路では-0.00560であり、交通量が小さいときの2車線道路の速度低下量は4車線道路の約4倍となった。一方、降雨による速度低下量(β_1)は2.50km/hと2.78km/hでありほとんど差がない。

5. おわりに

本稿では一般道路のQ-V関係に影響を与えらる3つの要因について検定を行い、影響の有無について統計的に明らかにした。また、車線数別に平日の非降雨/降雨別のQ-V曲線について定式化を行った。

但し、本定式化には道路の横断面や線形といった道路条件の要因が含まれていない。我が国のほとんどの道路は、車線幅員や側方余裕など横断面を構成する要因の値が「道路構造令」の標準値により決定されており、地点間の差がほとんどない。このため、現状では我が国のデ

表-7 パラメータ推定結果

	2車線		4車線
	500台/h未満	500台/h以上	
α_1	82.95	72.71	85.05
α_2	-0.0230	-0.00196	-0.00560
β_1	2.50	2.50	2.78
R ² 値	0.950	0.856	0.871
RAME	0.00943	0.00640	0.0152
サンプル数	10	16	40

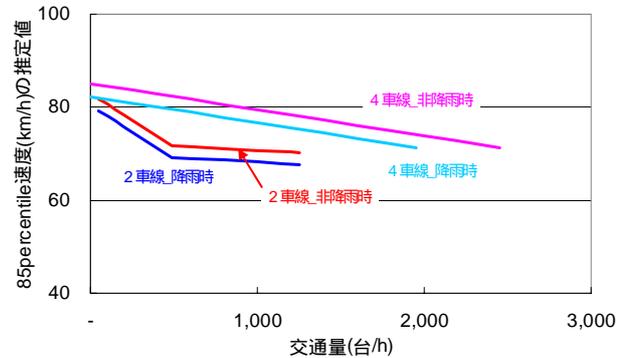


図-4 一般道路におけるQ-V曲線(案)

ータのみで横断面の構成要因がQ-V関係に与える影響について分析することは難しく、今後は我が国と横断面の構成要因の値が異なる諸外国のデータを参考に分析していくことが必要である。一方、線形や勾配などそれ以外の要因については、「道路構造令」の規定内ではあるが様々な条件が存在している。しかし、現在設置されている車両感知器は、交通量とその変動の把握が目的であるため、「単路部のQ-V関係」について分析できる地点が絶対的に不足している。このため今後は、「交通量変動」のみでなく、「単路部のQ-V関係」や「ボトルネックの交通容量」、「車両の追従状況」など他の分析にもデータが活用できるよう、車両感知器の計画的な設置やデータの収集/集計方法の見直しなどが望まれる。そして、その結果得られるデータにより線形など道路条件がQ-V関係に与える影響について分析することが必要である。

なお、本研究は国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」により実施したものの一部である。

謝辞: 本研究を進めるに際して貴重なデータを提供いただいた、国土技術政策総合研究所、(財)日本気象協会に深謝します。

参考文献

- 1) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 2000, 2000.
- 2) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, 2001.
- 3) 日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.
- 4) 洪性俊ら: 高速道路における交通性能の変動要因分析, 土木計画学講演集, vol.33, CD-ROM, 2006.6.
- 5) 稲野晃ら: 往復分離2車線自専道における交通量 - 速度曲線への影響要因分析, 土木計画学講演集, vol.33, CD-ROM, 2006.6.
- 6) 河野辰男, 井坪慎二: 常観データで見る一般道のQV特性, 第25回日本道路会議, vol.02p07, 2003.11
- 7) Brilon, W. and Weiser, F: Two-Lane Rural Highways -the German Expressway, 85th Transportation Research Board Annual Meeting, CD-ROM, 2006.1.