

研究開発助成 研究概要

階層型道路ネットワークの わが国への適用に向けた研究

日本大学理工学部交通システム工学科 教授 下川澄雄

秋田大学大学院工学資源学研究科土木環境工学専攻 教授 浜岡秀勝

日本大学理工学部交通システム工学科 助手 吉岡慶祐

概要：

本研究では、通行機能が期待されるものの、それに見合う速度サービスが実現していない道路構造等の要因を容易に明らかにし対応策を見出す手掛かりとすることを念頭に、旅行速度 50km/h を実現するための道路構造条件等の閾値を明らかにした。この中では、共通条件分析、付帯条件分析というアプローチを提案し、道路交通センサスデータをもとに全国の都道府県道以上の道路を対象に分析を行っている。また、ここで得られた閾値を国道バイパスに適用し性能照査分析に活用できそうであることを確認した。

キーワード：機能分類、中間速度層、サービス水準、性能照査、道路構造

1. はじめに

これまでのわが国の道路の計画・設計は、交通容量の増大といった“量の確保”が優先され、どのような都市・拠点間をどの程度の速度サービスで連絡すべきかといった“質の確保”に対する議論が十分なされてこなかった。このことが、バイパスや環状道路などが本来有すべき通行機能を曖昧にし、その結果、速度サービスを低下させ、今日のような状況をつくりあげてしまったものと推察される。特に、地方部においては、人口が減少し、財政状況が厳しい中、周辺都市が相互に連携し限りある資源を共有した生活圏の形成が不可欠である。

そのためには、もう一度、道路の機能分類という考え方に立ち返り、個々の道路についてそれらが担うべき機能を明確にしたうえで、階層性を有する道路ネットワークに再編していく必要がある^{1), 2) など}。その際、50~60km/h の速度サービスを有し通行機能が期待される道路階層（以降、「中間速度層」という）の存在が重要であると指摘されている^{3)~7) など}。しかし、それらがどのような役割を担い道路構造を有するべきなのか明らかにされていない。

そこで、本研究では、わが国の速度サービスにみる道路階層の実態を踏まえたうえで、中間速度層の意義につ

いて明らかにするとともに、それらが具備すべき道路構造条件等を提示することを目的とする。

なお、本研究は、2 箇年にわたるものであり、昨年度は前者について検討を行った。さらに、本年度は、これを踏まえ中間速度層がどのような道路構造条件を有することで実現が可能となるのか、実データを用いて実証的な検討を行う。

2. 研究にあたっての着眼点と手順

(1) 研究の動機づけ

階層的な道路ネットワークの実現にあたり、特に通行機能が期待される道路階層にあつては、各階層が目標とする旅行速度と道路構造条件等との関係を明らかにしたうえで既存の道路空間の再編に努めていく必要がある。しかし、現状において所定の旅行時間が実現していない個々の区間において、それを実現するための道路構造条件を見出すことは容易ではない。

これに対して、本研究では中間速度層を実現するための道路構造条件等を明らかにすることを目的とするものである。これが明らかとなれば、速度サービスが実現していない区間において、その原因とそれを可能とする諸条件を見出す手掛かりとなると考えられる。

(2) 分析の手順

本研究では、旅行速度が50km/h以上の区間を中間速度層と捉え、これを実現する種々の道路構造条件等をより明確に分析すべく、幹線道路である全国の都道府県道以上の道路を対象に、より実証的な視点から分析を行う。そのため、本研究では、道路交通状況が網羅的に把握できる平成22年度道路交通センサス(以降、「H22センサス」という)データを用いる。しかし、ある道路構造条件等と旅行速度との間には一定の関係がみられたとしても、他の道路構造条件等や種々の交通条件によって大きくばらつくことが予想され、それらを説明変数として加えたとしても精度の高い関係式を導出し旅行速度が50km/hを超える道路構造条件等を閾値として提示することは困難であると考えられる。

そこで、本研究では、以下に示す2つの分析手順による方法を提案した。

a) 共通条件分析(Step1)

旅行速度が50km/hを実現している区間のみに着目し、共通する道路構造条件等を明らかにする。具体的には、旅行速度が50km/hを実現できている区間を多車線と2車線の別に抽出し、旅行速度に影響のあると考えられる個々の道路構造等について、それが実現している領域の上限値や下限値などからそれぞれの閾値を設定する。共通条件はこれら閾値の集合となる。なお、本研究では、既往研究^{8), 9)}を参考としながら、旅行速度に影響のあると考えられる道路構造等として、沿道状況、出入制限、(信号)交差点密度、信号交差点の青時間比、幅員構成、右折専用車線、中央分離帯、追越禁止区間を取り上げる。

b) 付帯条件分析(Step2)

a)で明らかとなった道路構造条件等に対して、共通条件を全て満たしながらも旅行速度が 50km/h 未満の区間を抽出し、それが達成できていない原因を明らかにする。この分析を通じて共通条件に加味すべきものがあれば共通条件分析にフィードバックする。

(3) データセットの作成

H22 センサス区間から、図-1 の手順により分析対象区間の抽出を行った。H22 センサスデータには、縦断勾配や曲線半径など線形要素が含まれていないため、その影響をなるべく排除することを考え、山地部を除いている。また、隣接区間の影響を排除しつつ、旅行速度が 50km/h を実現する一定のサンプルを確保するため、多車線道路は1km 以上、2車線道路は5km 以上の区間延長を対象とした。さらに、H22 センサスの信号交差点密度は、起点から終点を下りとし、終点側の信号交差点はカウントしていない。そのため、本研究では上り方向のみを対象とするとともに、道路構造のもつ潜在的な速度環境を扱う必要から、旅行速度データは非混雑時旅行速度とした。これによって抽出され

た区間は、多車線区間が 477 区間、2 車線区間が 165 区間であった。図-2 はこれら区間の非混雑時交通量と旅行速度との関係を示している。非混雑時交通量は、12 時間交通量からピーク時間帯(4 時間)の交通量を減じた時間あたりの交通量であり、PCE を 2.0 とした乗用車換算台数として表している。これによれば、交通量と旅行速度との間には一定の関係はみられず、種々の道路構造条件等が旅行速度に少なからず影響を及ぼしていると推察される。共通条件分析では、このうち旅行速度 50km/h を実現している 118 区間(多車線：38 区間、2 車線：80 区間)を対象として分析を行う。

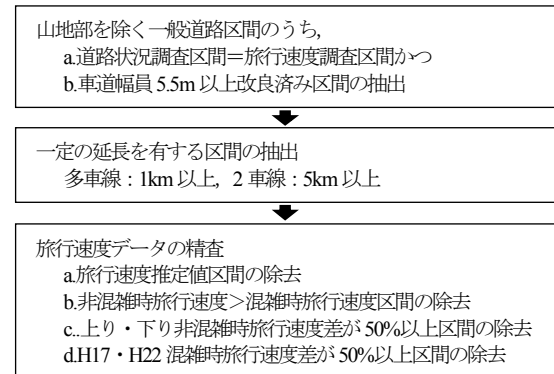


図-1 分析区間データの抽出方法

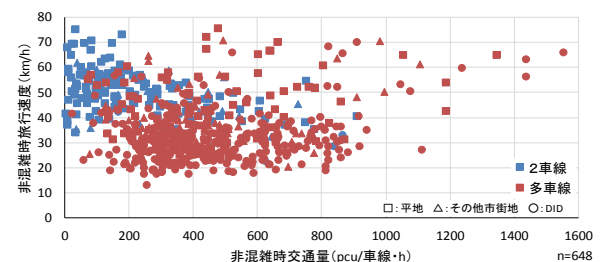


図-2 非混雑時の交通量と旅行速度の関係

3. 旅行速度 50km/h 実現区間の共通条件分析

(1) 沿道状況

表-1 は、旅行速度が 50km/h を実現している区間の沿道状況を示している。このうち、多車線道路ではDID 区間が9 区間存在している。この内訳をみると、出入自由の区間が1 区間(1.6km)のみであり、残りは完全または部分出入制限の区間であった。この出入自由の区間について地図データ¹⁰⁾で確認したところ、全体の6割では地形的制約などにより出入が結果的に制限され、2本の地先道路と施設への限られた接続路のみであった。これに対して、その他市街地をみると、半数は出入自由である。このことから、DID 地区において50km/h を実現するためには沿道との一定程度の出入制限は不可欠である。なお、今回の対象サンプルには含まれていないが、2車線道路でも50km/h を実現させようとするれば、同様に出入制限が不可欠となる。

表-1 50km/h 実現区間の沿道状況(区間数)

	DID	その他市街地	平地	合計
多車線道路	9(1)	8(4)	21(11)	38(16)
2車線道路	0	10(9)	70(70)	80(79)

()は出入自由の区間数

(2) 信号交差点密度と出入制限

多車線道路において旅行速度が50km/hを実現している区間の信号交差点密度の状況を図-3に示している。全38区間のうち、信号交差点のない(信号交差点密度が0箇所/km)の21区間は交通量に偏りがなく幅広く存在する。これは、信号交差点のある区間でも同様であるが、交通量が800pcu/車線・hを超える区間は僅かである。一方、図-5の出入制限をみても、出入自由な区間は800pcu/車線・hを超えてほぼ存在せず、この値が出入制限の閾値として考えられる。

また、信号交差点のない区間は概ね60km/h以上の旅行速度が確保されている。これに対して、信号交差点のある区間はほとんどが60km/hを下回る旅行速度であるが、プロットされた信号交差点密度の上限値は交通量が多い区間ほど低い傾向にあり、特異値を除けば実線(式(1))で示す範囲に内包できる。

次に、図-4は、同様に2車線道路における信号交差点密度の状況を示している。2車線道路は多車線道路と異なり旅行速度が60km/hを超える区間は少ない。また、上限値は交通量が多いほど低下する傾向は変わらないが、信号交差点密度が0.5箇所/kmを超える区間は少ない。一方、交通量をみると350pcu/車線・hを下回らる中にほとんどが集中している。このことから、旅行速度50km/hを実現する区間の交通量と信号交差点密度との関係は、幾つの特異値はあるものの、実線(式(2))に示す範囲に内包されており、これを閾値とみなすことができよう。ちなみに、ピーク時間交通量を350pcu/車線・h、H22センサス一般道路の集計値¹⁾より大型車混入率を18%、ピーク率を8.5%とし、重方向率を55%とすれば日交通量は約6,400台/日に換算される。これは、第3種平地部の2車線道路における設計基準交通量の7割程度の値である。

$$y = -9.38 \times 10^{-4}x + 2.0 \quad (0 \leq x \leq 800) \quad (1)$$

$$y = -1.43 \times 10^{-4}x + 0.55 \quad (0 \leq x \leq 350) \quad (2)$$

ここで、 x : 非混雑時交通量 (pcu/車線・h) y : 信号交差点密度 (箇所/km)

(3) 旅行速度50km/hを実現する信号交差点密度の試算

このような信号交差点密度の閾値に対し、図-6に示す単純なモデルを用い、旅行速度が50km/hを実現する流入交通量と信号交差点密度の試算を行った。このと

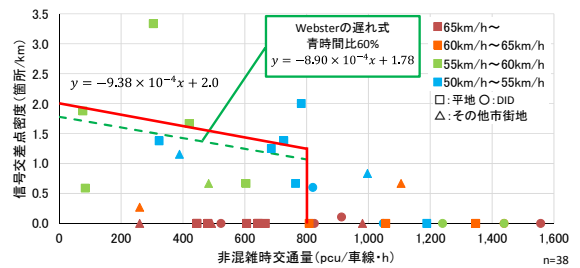


図-3 50km/h 実現区間の信号交差点密度(多車線)

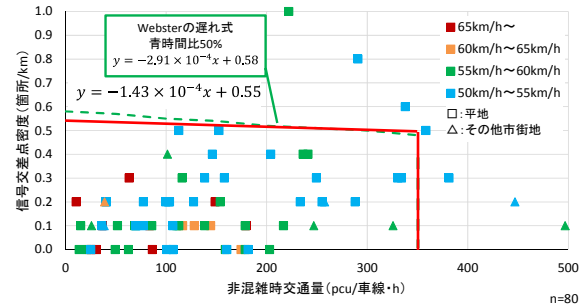


図-4 50km/h 実現区間の信号交差点密度(2車線)

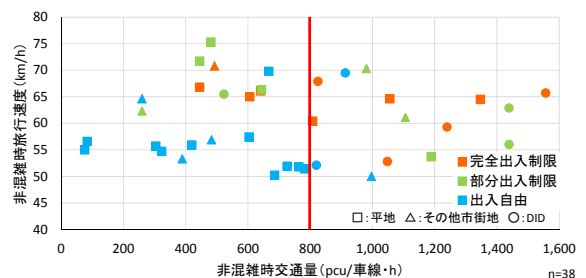


図-5 50km/h 実現区間の出入制限(多車線)

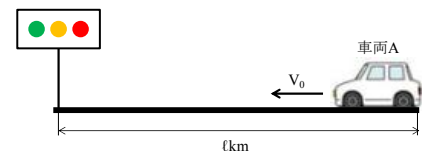


図-6 信号交差点密度試算のためのモデル

き、区間 l kmの平均旅行時間が単路部を速度 v_0 で走行した時間 t_0 と信号による平均遅れ時間 w の和であるとすれば、信号交差点密度 p は式(3)で表される。ここで、平均遅れ時間はwebsterの式(4)を用い、飽和交通流率 Q 、サイクル長 c および青時間比 g 、車両速度 v_0 などを所与とすれば、旅行速度 $v=50$ km/hを実現する流入交通量と信号交差点密度との関係を図-3、図-4の破線のように示すことができる。図-3の破線はサイクル長 $c=90$ 秒、青時間比 $g=60\%$ とした場合、図-4はサイクル長 $c=90$ 秒、青時間比 $g=50\%$ とした場合のものであり、本研究で設定した閾値はこれと同程度の値を示している。

$$p = 1/l = 1/v(w + t_0), \quad t_0 = l/v_0 \quad (3)$$

$$w = \frac{(1-g)^2}{2(1-\lambda)}c + \frac{x^2}{2q(1-x)} \quad (4)$$

ここで、 p : 信号交差点密度(箇所/km) l : 区間長(km)

v : 区間 ℓ の平均旅行速度(km/h)
 v_0 : 車両速度(km/h) (信号のない区間の旅行速度より, 多車線道路65km/h, 2車線道路55km/hとして設定)
 t_0 : 区間 ℓ を速度 v_0 で走行した時間(秒)
 w : 平均遅れ時間(秒)
 c : サイクル長(秒)
 g : 代表信号交差点の青時間比(%)(6より多車線道路は右折青を5秒加えた)
 λ : 交差点需要率($\lambda=q/Q$)
 Q : 飽和交通流率($Q=2,000\text{pcu/h}$ とした)
 q : 流入交通量(pcu/車線・h)
 x : λ/g

(4) 代表信号交差点の青時間比

信号交差点の青時間比について, H22 センサスでは多車線道路の代表交差点のみの値が示されている. 図-7 は, 旅行速度が 50km/h を実現している信号交差点が存在する 17 区間の値である. 青時間比の下限値は交通量に関わらず 60%程度である. なお, 交通量が多い区間の中には, 青時間比の高い区間が含まれている. しかし, 本データでみる限り, 交通量が同じでも青時間比と旅行速度との間には明確な関係はみられない.

(5) 車道および車道部幅員

多車線道路において旅行速度が50km/hを実現している区間の車線幅員は全て3.25m以上である. これは第3種第2級に相当する道路¹²⁾であり, 道路構造令でも通行機能が高い道路として位置づけられている.

一方, 2 車線道路においては, 車線幅員に加えて側方余裕(路肩幅員)も影響するものと考えられる. そこで, 図-8 は車道部幅員と車道幅員の関係を示している. 車道幅員に路肩幅員を加えた値が車道部幅員であり, ほとんどの区間で 7m 以上の値が示されている. ちなみに, 路肩幅員は, 1 区間を除き 1.0m(片側 0.5m)以上が確保されている. このことから, 多車線道路では車線幅員 3.25m 以上, 2 車線道路では車道部幅員 7m 以上が旅行速度 50km/h を実現する閾値となるものと考えられる.

(6) 右折専用車線

旅行速度が50km/hを実現している多車線道路では, 全区間で右折専用車線が設置されている. 一方, 2車線道路では, 図-9に示すように右折専用車線が必ずしも設置されているわけではなく, 交通量との一定の関係もみられない. これは, 50km/hを実現している区間は, 350pcu/車線・hを上限とするように交通量が概して少ないため, 右折のラグは十分にあり右折待ちによる後続車両への影響も少ないためと考えられる. このことから, 右折専用車線は多車線道路においては必要不可欠であるが, 2

車線道路では設置せずとも通行機能は確保されるものと考えられる.

(7) 中央分離帯

中央分離帯は, 多車線道路において必要に応じて設けられるものである. 本研究で対象とした 38 区間すべてにおいて中央分離帯が設置され, このうち 36 区間ではすべてにわたり設置されている. このことから, 多車線道路では全区間にわたり中央分離帯の設置が求められる.

(8) その他道路構造条件

この他の項目として, 交差点密度, 追越禁止区間についても確認を行ったが, 一定の関係を見出すことはできなかった. これは, 前者は沿道立地が少ない区間が旅行速度 50km/h を実現している区間として抽出されているものであり, 後者は設置割合が高いほど追越機会が減りサービス速度が低下することが予想されるが, 対象サンプルの中で交通量が比較的多く設置割合が 100%の区間でも 50km/h を実現している.

以上をもとに, 旅行速度 50km/h を実現するための共通条件を表-2 に示した.

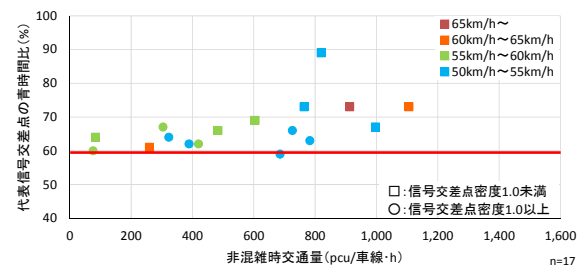


図-7 50km/h 実現区間の代表信号交差点青時間比

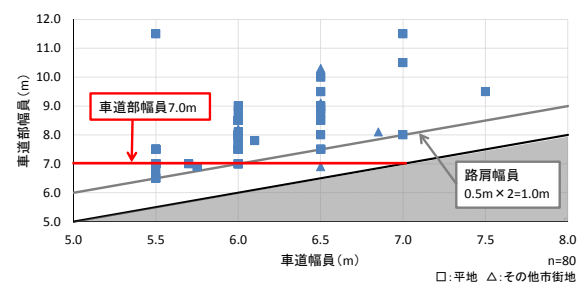


図-8 50km/h 実現区間の車道・車道部幅員 (2 車線)

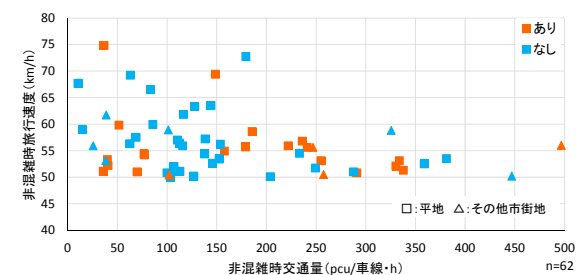


図-9 50km/h 実現区間の右折専用車線の設置状況 (2 車線)

表-2 旅行速度 50km/h 実現する共通条件

	多車線道路	2 車線道路
①沿道状況	DID 地区でも実現可能 ただし、沿道との出入は一定程度の制限が必要	
②信号交差点密度	$y = -9.38 \times 10^{-4}x + 2.0 \leq 800$ x : 交通量(pcu/車線・h)	$y = -1.43 \times 10^{-4}x + 0.55 \leq 350$ x : 交通量(pcu/車線・h)
③出入制限	800pcu/車線・h 以上の場合は出入制限	—
④代表交差点の青時間比	60%	一定程度の割合は必要
⑤幅員構成	車線幅員 3.5m 以上	車道幅員 7.0m 以上
⑥右折専用車線	設置が必要	必ずしも必要としない
⑦中央分離帯	全区間で設置が必要	—
⑧交差点密度	一定の関係はみられない	
⑨追越禁止区間	—	共通条件とはならない

4. 50km/h 未達成区間の付帯条件分析

共通条件分析で提示された、旅行速度が50km/hを実現するための道路構造条件等に対して、共通条件を満たしながらも旅行速度が50km/h を実現できていない区間を抽出し、その原因について分析を行った。該当する区間は、524区間(多車線：439区間、2車線：85区間)のうち8区間のみであった。

表-3は、該当区間について、共通条件を説明する各項目の数値を示している。この中で、区間①～④は旅行速度が48～50km/hであり共通条件を即座に否定するものではない。その他の4区間については、地図データ¹⁰⁾を用いて確認を行った。例として、図-10に区間⑧の道路状況を示す。この区間は、7.0mの車道幅員を有し信号は設置されていない。しかし、山地部のような線形が厳しい区間であることから高い速度サービスを実現することは物理的に不可能であると考えられる。他の3区間についても同様に共通条件を満たしながらも50km/hを実現することのできない固有の道路構造上の要因を有していることを確認した。

このことから、旅行速度が50km/hを下回る区間において、共通条件に該当する区間は実質的に存在しておらず、提案した共通条件が旅行速度50km/hを実現する道路構造条件等(閾値)とすることは妥当であると判断される。



図-10 50km/h 未達成区間の道路状況(区間⑧)

5. 実フィールドでの検討

本研究で提示した旅行速度が 50km/h を実現する共通条件を、通行機能が期待される道路であるにも関わらず、それを実現できていない区間に適用することで、その原因を探ることができる。また、(一社)交通工学研究会で検討が進められている「性能照査型道路計画設計」¹³⁾において潜在性能や顕在性能を照査する際のチェックシートとしても用いることができる。

このような点に鑑み、本研究では、静岡県浜松バイパスを対象にフィールドスタディを行った。浜松バイパスは、図-11 に示すように豊橋市ー浜松市ー磐田市といった拠点間を連絡する一般国道 1 号の一部区間(延長 18.3km、4 車線)である。また、浜松バイパスは第3種第1級、設計速度 80km/h の道路であるが、H22 センサスによると非混雑時旅行速度は区間全体で 41.4km/h であり、本研究で目標とする旅行速度を大きく下回っている。

そのため、本研究で設定した共通条件を満たしているかどうかを4区間に分けてチェックを行い、その結果を図-12、表-4に示した。これによると、旅行速度が高い区間④を除き、他の3区間では共通条件を満たしておらず旅行速度も 50km/h 未満であることを確認した。また、この3区間で共通する事項は代表交差点の青時間比が基準を満たしていないことであるが、この他にも信号交差点密度や出入制限なども共通事項として含まれている。つまり、浜松バイパスが旅行速度 50km/h を実現しようとするならば、これらを切り口として対策を検討し、共通条件と照らしながら照査を行うことで良好なPDCA というスパイラルを回すことができよう。

表-3 付帯条件分析において抽出された区間の道路交通状況

	路線名 (区間番号)	沿道状況	区間延長 (km)	非混雑時 旅行速度 (km/h)	信号交差点 密度 (箇所/km)	非混雑時 交通量 (pcu/h・車線)	多車線				2車線			備考	
							車線幅員 (m)	青時間比 (%)	右折専用車線の 有無	中央分離帯の 有無	アクセス コントロール	車道幅員 (m)	路肩幅員 (m)		多車線との 接続
①	一般国道47号 (4300470140)	2車線 平地	11.1	49.6	0.1	116						6.5	1.3	なし	ほぼ50km/h達成
②	一般国道19号 (21300190410)	多車線 平地	2.0	49.3	1.5	388	3.25	68	あり	全区間に設置	出入自由				ほぼ50km/h達成
③	上士幌市視覚更線 (1603370120)	2車線 市街地	6.3	49.1	0.3	162						6.5	3.5	なし	ほぼ50km/h達成
④	唐津北波多線 (41400500010)	2車線 平地	9.1	48.2	0.2	91						6.4	1.6	なし	ほぼ50km/h達成
⑤	一般国道465号 (12304650210)	2車線 平地	5.0	47.6	0.0	153						6.0	1.0	なし	区間内の40%程度が1車線区間
⑥	一般国道42号 (30300420500)	多車線 平地	1.2	42.6	0.8	445	3.5	67	あり	全区間に設置	出入自由				4車線区間の終端部であり、そこから1車線ずつに分岐、かつ特定の方向に交通が集中
⑦	一般国道202号 (41302020070)	多車線 市街地	1.4	42.2	0.7	356	3.25	63	あり	全区間に設置	出入自由				区間内の25%程度が2車線区間であり、その区間においても共通条件を満足していない
⑧	一般国道18号 (10300180300)	2車線 平地	11.6	33.7	0.0	35						7.0	2.0	なし	山地部のような線形の厳しい区間が連続している

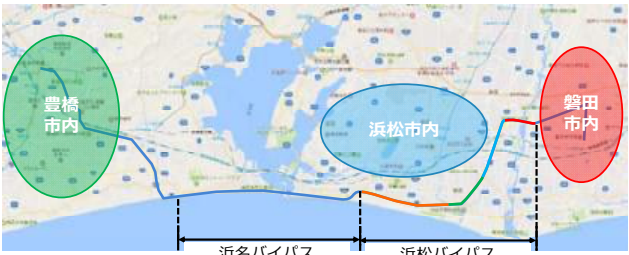


図-11 分析対象区間(浜松バイパス)

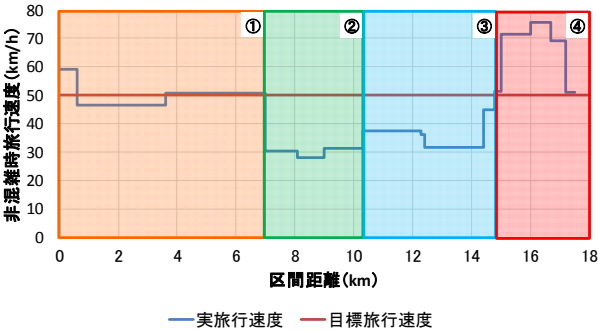


図-12 浜松バイパスの非混雑時旅行速度

表-3 浜松バイパスにおける共通条件の達成状況

	信号交差点 密度	代表信号交差点の 青時間比	出入制限	車線幅員	右折専用 車線	中央 分離帯	旅行速度
①	○	×	○	○	○	×	48.9km/h
②	×	×	×	○	○	○	30.0km/h
③	×	×	×	○	○	×	35.1km/h
④	○	-	○	○	-	○	67.0km/h

6. おわりに

本研究では、旅行速度50km/hを実現するための道路構造条件等を明らかにするために、全国の都道府県道以上の道路を対象に分析を行い、以下の知見を得た。

- ① 共通条件分析、付帯条件分析という新たなアプローチを提案し、今まで明らかとされてこなかった所定の旅行速度を実現するために担保しなければいけない道路構造条件等(閾値)を示すことができた。
- ② 共通条件分析において50km/hを実現するための道路構造条件等(沿道状況、出入制限、信号交差点密度、代表信号交差点の青時間比、幅員構成、右折専用車線、中央分離帯)を明らかにした。
- ③ この中では、DID地区のように沿道利用が連担するような区間においても、沿道との一定程度の制限を設けることで旅行速度50km/hを実現できることが明らかとなった。
- ④ 付帯条件分析において共通条件を満たしているものの50km/hを下回る区間は、道路構造上特殊な要因を有していることが確認でき、共通条件の妥当性を明らか

にした。

- ⑤ 実フィールドによるケーススタディを通じ、共通条件で提示した道路構造条件が性能照査の目安として使用できるとことを示した。

道路の計画設計は求められるサービス水準を念頭に行われるべきものであり、本研究で得られた知見が道路ストックの効率的な利用のための検討素材として大いに活用されることを期待したい。

参考文献

- 1) 中村英樹、大口敬、森田緯久、桑原雅夫、尾崎晴男：機能に対応した道路幾何構造設計のための道路階層区分の試案、土木計画学研究・論文集、Vol. 31、CD-ROM、2005. 6
- 2) 中村英樹、大口敬：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(土木計画学)、Vol. 67、No. 3、pp195-202、2011.
- 3) 下川澄雄、内海泰輔、中村英樹、大口敬：階層型道路ネットワークへの再編に向けて、土木計画学研究・論文集、Vol. 39、CD-ROM、2009. 6
- 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、Vol. 45、CD-ROM、2012. 6
- 5) 後藤梓、中村英樹、下川澄雄、喜多秀行、内海泰輔：日本における拠点設定と効率的な拠点間連絡を実現する階層型道路計画の枠組み、土木計画学研究・論文集、Vol. 50、CD-ROM、2014. 11
- 6) 根城平、浜岡秀勝：道路の階層化に伴う効果の定量的評価に関する研究、土木計画学研究論文集D3(土木計画学)、Vol. 70、No. 5、2014
- 7) 下川澄雄、森田緯之、土屋克貴：道路ネットワークにおける中間速度層の意義と適用範囲、土木計画学研究論文集D3(土木計画学)、Vol. 71、No. 5、2015
- 8) 橋本雄太、小林寛、山本彰、中野達也、高宮進：信号交差点密度等の道路状況と旅行速度の関係についての実態分析、土木計画学研究・講演集、Vol. 47、2013
- 9) 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
- 10) Google Map：<https://www.google.co.jp/maps/>
- 11) 国土交通省：平成22年度全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)一般交通量調査集計表、<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>
- 12) (公社)日本道路協会、道路構造令の解説と運用、2017. 6
- 13) (一社)交通工学研究会：道路の交通容量とサービスの質に関する研究最終報告書、2015. 8