

自動車専用道路における 走行性能照査手法の提案

近田 博之¹・邢 健²・松下 雅行³・石田 貴志⁴

¹正会員 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株）（〒460-0003 名古屋市中区錦1-8-11）

E-mail: h.konda.a@c-nexco-hen.jp

²正会員（株）高速道路総合技術研究所（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

E-mail: xing@ri-nexco.co.jp

³正会員 首都高速道路（株）保全・交通部（〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1）

E-mail: m.matsushita@shutoko.jp

⁴正会員（株）道路計画 技術部（〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-13-14 マルヤス機械ビル5F）

E-mail: t_ishida@doro.co.jp

道路の階層区分を考慮したとき、高速道路などの自動車専用道路はトラフィック機能が最も重視され、求められるサービス水準が提供できる道路構造を計画・設計することが不可欠である。しかし、わが国における従来の道路計画設計は、主に自動車が通行する空間を確保するという考え方に基づいており、道路の持つ役割と機能に求められる性能を考慮して計画・設計されたものではない。また、わが国にはアメリカの HCM、ドイツの HBS にみられる道路の交通容量やサービス水準を照査する仕組みが体系的に整備されておらず、性能照査型道路計画設計の実用化が課題となっている。

そこで本稿では、性能照査型道路計画設計を実務レベルで適用することを目指し、旅行時間（速度）を性能指標とした照査手法を提案し、欧米の手法と比較する。

Key Words : *travel time, speed, traffic performance assessment, highway planning and design*

1. はじめに

道路の階層区分を考慮したとき、高速道路などの自動車専用道路等（以下、「自専道等」）は、トラフィック機能が最も重視され、求められるサービス水準が提供できる道路構造を計画・設計することが不可欠である。しかし、わが国における従来の道路計画設計は、主に自動車が通行する空間を確保するという考え方に基づいており、道路の持つ役割と機能に求められる性能を考慮して計画・設計されたものではない。また、わが国には、アメリカの HCM¹⁾、ドイツの HBS²⁾ など道路の交通容量やサービス水準を照査する仕組みが体系的に整備されておらず、実務へ適用できる段階ではない。

そこで本稿では、わが国の自専道等において性能照査型道路計画設計を実務段階で適用することを目指し、交通容量と旅行時間（速度）を用いた性能照査手法の提案と、欧米の手法との比較を通して、わが国独自の性能照査手法の必要性について述べる。

2. 既往研究のレビュー

図-1（次頁）は、アメリカの HCM2010 の単路部における交通容量とサービス水準を照査するフローである。フローが示すとおり、幾何構造条件と交通需要を与えることで、交通容量の照査と、Q-V 曲線から速度そして「密度」を算出ことによりサービス水準（LOS）が決定され、道路計画設計時においては道路設計基準（グリーンブック）³⁾ に規定される道路種別・地域別の目標サービス水準を満足するか照査する。このようにサービス水準に基づき道路設計が行なわれている。

図-2（次頁）は、ドイツの HBS2001 の照査フローである。照査の流れは HCM2010 と類似しているが、実現する「旅行速度」とサービス水準を決定し、目標旅行速度を満足するか照査することとなっている。走行性能指標は HCM2010 がサービス水準であるのに対し、HBS2001 は旅行速度である。

内海・浜岡・中村⁴⁾は、往復分離 2 車線自専道について、大型車混入率、降雨量、冬期路面、付加車線、縦断勾配が車両感知器データから得られる 85percentile 速度に

与える影響を分析し、15分間交通流率、大型車混入率、降雨量を説明変数とする速度性能曲線を定式化した。

洪・大口⁵⁾は、多車線高速道路について、車両感知器のデータを使い、道路条件（平面・縦断線形、規制速度、車線数）、交通条件（交通量、大型車混入率）、降雨条件（降雨量）が85percentile速度と車線選択率に与える影響を考慮し、車線ごとの速度推定モデルと車線選択率推定モデルを構築した。また、平面・縦断線形については、観測地点だけでなく上流の影響を考慮できる新たな道路線形指標（有効平面曲率、有効縦断勾配）を理論的な手法を用いて提案している。

このようにアメリカやドイツでは既に道路の性能を照査し道路設計を行う仕組みが構築され、実務段階で活用されている。一方で、わが国は性能照査の実用化に向けた研究⁶⁾が進んでいるものの、計画や設計に反映するような手法は整備されておらず、実用化に至っていない。

3. 自専道等の性能照査手法

対象道路が性能を発揮できるか（できているか）を照査するためには、機能に応じた性能指標が必要である。この性能指標は、求められる機能に応じた性能を的確に表現でき、データの取得が容易で、わかりやすいことが必須となる。そして道路のトラフィック機能に着目したとき、性能を照査する指標は拠点間の旅行時間（速度）を用いることが適切と考える。

拠点間の性能照査を行うにあたっては、道路階層毎の照査結果を積み上げることから、照査手法の大きな枠組みは自専道等と一般道に違いはない⁷⁾。一方で、ボトルネック現象や得られている知見の深度、使用するデータが異なることから、自専道等と一般道は分けて旅行時間（速度）を照査すべきであり、本稿は自専道等の性能照査手法に特化して解説する。

図-3は、本稿が提案する自専道等の性能照査フローで

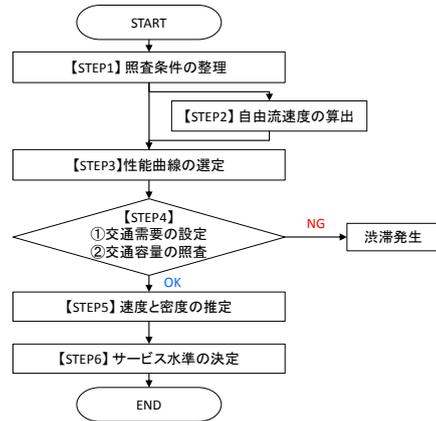


図-1 HCM2010（単路部）の照査フロー

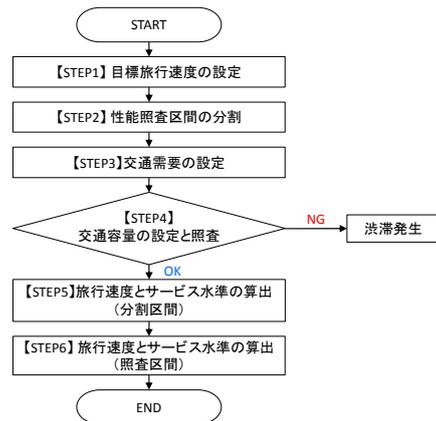


図-2 HBS2001の照査フロー

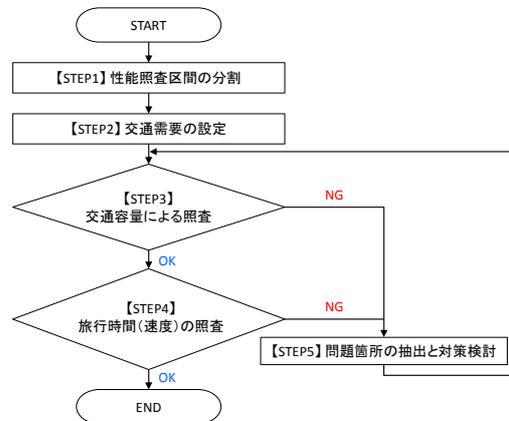


図-3 本稿が提案する照査フロー

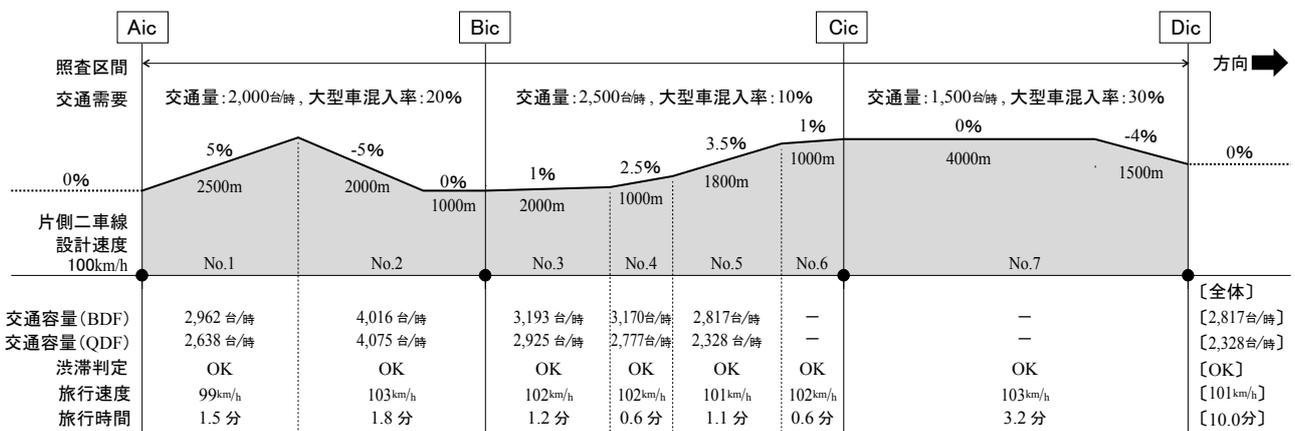


図-4 本稿が提案する照査による結果事例

ある。性能照査手法の全体の流れは、図-3 に示す照査を①現況ネットワークにおける潜在性能照査（交通需要を考慮しない）、②現況ネットワークにおける顕在性能照査（交通需要を考慮）、③計画案における潜在性能照査、④計画案における顕在性能照査の4段階で行うものである。①と②は現況の問題点抽出・対策検討時、③と④は対策実施時や将来計画時を想定している⁷⁾。また、潜在性能照査は本来道路が持つ性能を照査しようとするもので、顕在性能照査は交通需要がある際の性能照査である。潜在性能照査（①と③）では交通需要をゼロとした時の性能照査であるため、図-3 に示す交通容量の照査を行わないことになる。現況ネットワーク（①と②）では原則として観測データ、計画案（③と④）では観測データより得られる推計式等を用いることが異なるのみで、性能照査方法は同様であるため、ここでは②と④の顕在性能照査について言及する。観測データの乏しい①と③の潜在性能照査は交通需要をゼロとすれば適用可能である。

なお、図-4 はAic~Dicの3IC区間において、本稿が提案する手法を適用したときの照査結果である。各STEPの詳細は、下記のとおりである。

(1) 性能照査区間の分割 [STEP 1]

自専道等の性能照査区間は交通量や道路構造、車線数、規制速度などが類似する均一区間に分割する。連続する2%以下の平坦部や下り勾配区間は速度への影響が小さいことから同一区間とする。特に2%を超える上り急勾配は速度への影響を考慮して1%毎に分割する。但し、500m未満の急な上り勾配は隣の区間と合併する。この分割した区間（以下、「分割区間」）毎に交通容量や旅行時間（速度）を算出して照査を行う。図-4の事例においては、性能照査区間がAic~Dic、分割区間がNO.1~NO.7となる。なお、信号交差点がない一般道における長距離の単路部は、ここでいう自専道等と同じ括りになるが、その際の性能照査区間は、交通量が大きく変化しない区間を設定する。

(2) 交通需要の設定 [STEP 2]

交通需要とは、ある断面を通過したい時間帯に到着する車両台数であり、自専道等では渋滞に巻き込まれていない場合、観測された交通量がそれにあたる。一方、対象区間でなくとも、上流側で渋滞に巻き込まれた場合は、そこに滞留した車両台数を考慮した交通量がそれにあたる。STEP2では、IC間毎に交通需要を設定するが、拠点間の性能照査では、自専道等だけでなく、一般道も含めた照査になることを考慮し、ピーク時間帯の交通需要を設定することを基本とする。

なお、車両感知器データ等から交通量変動や渋滞状況を時系的に把握可能な場合は、渋滞の有無だけでなく渋

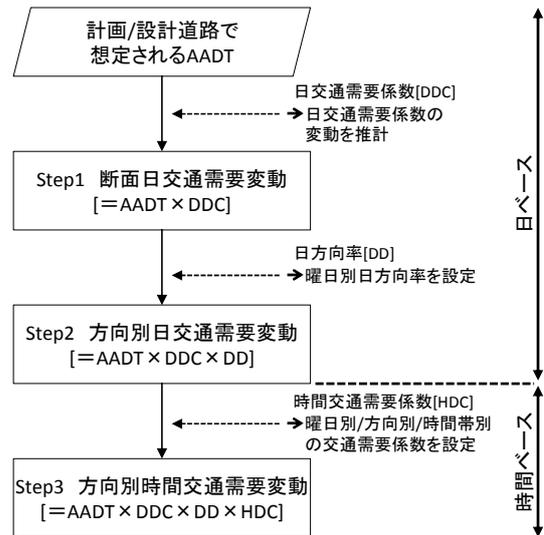


図-5 方向別時間交通需要変動の推計フロー

滞規模の予測など、より詳細な分析ができるため、1日または年間の時間帯別交通需要を設定することが望ましい。具体的な交通需要の算出方法は、渋滞に巻き込まれた交通量を観測交通量に加味して求める方法と、渋滞が発生していない日の時間交通量パターン(時間交通需要係数)を求めておき、渋滞の有無にかかわらず日交通量に交通需要係数を乗じる方法がある。このうち、後者は「観測された日交通量は日交通需要に相当する」、「超過需要が存在する日における本来の時間交通需要係数の変動は、超過需要が存在しない日のそれとほぼ同じである」という2つの仮定に基づいている。図-5はAADTが得られている将来の交通需要を求めるものである。現況の交通需要を求める際は、図中の Step3 に相当する方向別時間交通需要変動を観測データから求める。

$$HD_{ijkl} = AADT \times DDC_{ij} \times DD_{ijk} \times HDC_{ijkl} \quad (式-1)$$

ここに、

- HD : 時間交通需要
- AADT : 年平均日交通量
- DDC : 日交通需要係数
- DD : 日方向率
- HDC : 時間交通需要係数
- i : 道路カテゴリ
- j : 曜日(日祝, 平日, …特異日前半, 後半)
- k : 方向(第一方向, 第二方向)
- l : 時刻(0時, 1時, …22時, 23時)

(3) 交通容量による照査 [STEP 3]

STEP3では、STEP2で設定した交通需要とボトルネックの交通容量を比較し、渋滞が発生するか否かを確認する。まずは、ボトルネック箇所を特定し、ボトルネックにおける交通容量（渋滞発生時交通量 BDF と渋滞発生

後捌け交通量 (QDF) を設定し、交通需要と比較して照査する。図4に示す交通容量は、縦断勾配などの幾何構造条件を説明変数とする交通容量回帰式から算出した結果である。

a) ボトルネック箇所の特定

供用道路で既に渋滞が顕在化しているボトルネックは、複数の車両感知器データやプローブデータなどによっておおよその位置を特定することができる⁹⁾。一方で、現状では渋滞が発生していないが、将来的に交通需要の増加等で渋滞の発生が見込まれるボトルネック（以下、「潜在的ボトルネック」）は、①過去に起きたまれな渋滞実績、②フローティング走行調査結果、③プローブデータによる走行速度プロファイルから速度低下の大きい箇所を調査することで、ボトルネック位置を特定することができる。新設道路の場合は、これまで得られた知見⁹⁾からサグやトンネル入口や合流部などを潜在的ボトルネック位置として設定する。

b) ボトルネック交通容量の設定

交通容量は道路の幾何構造条件や交通条件など様々な要因の影響を受ける。既に顕在化している渋滞ボトルネックの交通容量は、観測データを分析して設定する。例えば、平成7年度～10年度に(社)交通工学研究会内に設けられた「高速道路の交通容量に関する調査検討委員会(委員長：越正毅 日本大学理工学部教授)」において、都市間高速道路における交通容量は、図-6に示す「渋滞発生時交通量」と「渋滞発生後捌け交通量」に区分して整理している¹⁰⁾。一方で、潜在的ボトルネックでは、幾何構造条件等の説明変数による交通容量回帰式^{11),12)}から交通容量の期待値を設定する。

c) ボトルネック箇所の渋滞判定

STEP2で設定した交通需要と前記b)で設定した交通容量（ここでは、渋滞発生時交通量）のIC区間毎の最小値を使い、渋滞判定を行う。渋滞発生が予測されない場合は、「STEP4：旅行時間（速度）の照査」に進み、渋滞発生が予測される場合は、「STEP5：問題箇所の抽出と対策検討」に進む。なお、性能指標が旅行時間（速度）であることから、STEP3で渋滞発生が予測されても、STEP4の照査で目標旅行時間（速度）を満足する可能性があるため、STEP5に進む前にSTEP4の旅行時間（速度）の照査をしても良い。但しこの場合は、渋滞による遅れを推定する必要があるため、STEP2において、1日または年間の時間帯別交通需要を設定した場合に限定される。

交通需要 ≤ 渋滞発生時交通量 ⇒ 渋滞は発生しない
 交通需要 > 渋滞発生時交通量 ⇒ 渋滞が発生する

(4) 旅行時間（速度）の照査 [STEP 4]

STEP4では、道路幾何構造条件ごとに用意した走行性

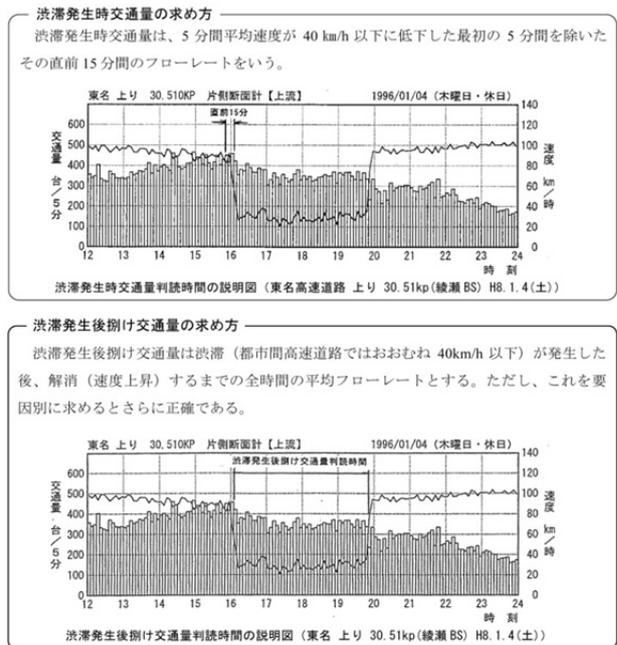


図-6 交通容量の算出事例

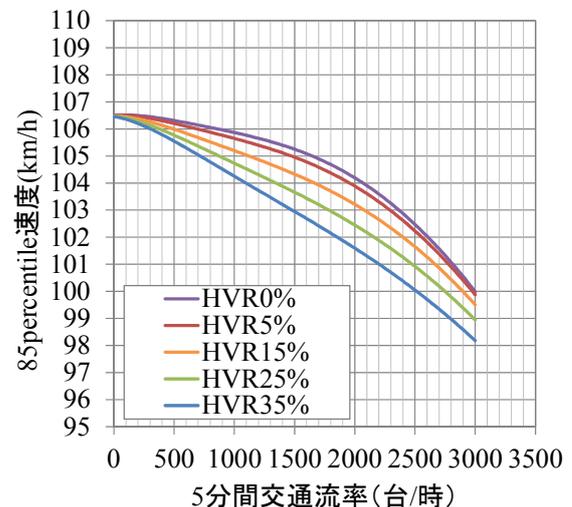


図-7 平坦部の性能曲線（片側二車線 規制速度100km/h）

性能曲線 (Q-V 関係) に交通需要を対応させ、上り勾配による速度低下など必要な補正を加え、分割区間毎の旅行時間（速度）を求めることにより、照査区間全体の走行性能を算出し、目標性能を満足するかを照査する。なお、プローブデータや ETC データなどの観測データが得られる場合は、この観測値データから旅行時間（速度）を算出することが望ましい。

a) 性能曲線の選定

新設道路など観測データが得られない場合、規制速度と車線数などを説明変数とする速度推定式を参照し、性能曲線を選定する。図-7は、洪ら⁹⁾の速度推定モデルによる平坦部（2%以下）の性能曲線 (Q-V 図) である。下り勾配では大きな速度変化が見られないことから、平坦部と同じ性能曲線を用いる¹³⁾。一方で、供用道路で車両感知器がある場合は、この観測データを使い性能曲線を求めることが望ましい。

表-1 縦断勾配による速度低下量（大型車混入率別）

大型車混入率(%)	縦断勾配 (%)	勾配区間長(m)						
		0	500	1000	1500	2000	2500	3000
10	3	0	0	1	-	-	-	-
	4	0	1	2	-	-	-	-
	5	0	2	2	3	-	-	-
	6	0	2	3	3	4	-	-
20	3	0	1	1	1	2	-	-
	4	0	2	3	4	-	-	-
	5	0	3	5	5	6	-	-
	6	0	5	6	7	-	-	-
30	3	0	1	2	2	2	2	3
	4	0	3	5	5	5	5	6
	5	0	5	7	8	8	8	9
	6	0	7	10	11	-	-	-
40	3	0	2	2	3	3	3	4
	4	0	4	6	7	-	-	-
	5	0	7	10	11	11	11	12
	6	0	9	13	14	15	-	-

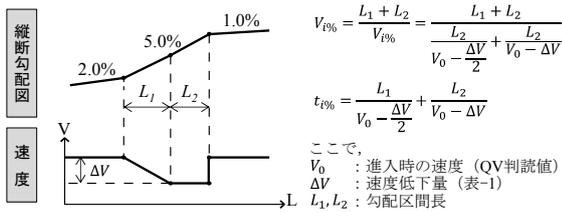


図-8 急な上り勾配による速度低下量の計算方法

b) 性能照査区間の旅行時間（速度）の算出

ここでは性能照査区間の旅行時間（速度）を算出する。まず、選定した平坦部の性能曲線に STEP2 で設定した交通需要を対応させ、分割区間の基準となる速度を推定する。例えば、図-7において、交通需要 2,500 台/時、大型車混入率（HVR）10%とした場合、交通量から速度 102km/h を読み取る。

つぎに、急な上り勾配の分割区間においては、平坦部の基準となる速度に対し、表-1 に示す急な上り勾配による速度低下量を用いて、縦断勾配による走行速度への影響を補正する。ここで、表 1 に示す速度低下量¹³⁾は、「NEXCO 設計要領」¹⁴⁾と「道路構造令の解説と運用」¹⁵⁾を参考に設定した乗用車と 20t 普通トラック（満載と半載が半分ずつ）を与条件とし、それぞれの車両重量や走行性能パラメータを用いて算出した勾配区間長と速度の関係により求めた結果である。計算に当たっては、乗用車の 80km/h 以上への加速は考慮に入れておらず、下り勾配、上り勾配 2%以下の緩勾配、上り勾配 3%以上であっても勾配区間長が 500m に満たない場合、速度低下量は設定していない。また、表中の速度低下量は、図-8 に示す概念に従い補正する。例えば、大型車混入率 20%、縦断勾配 5%、勾配区間長 3000m のとき、2,000m までの間に 6km/h 速度低下し、2,000m 以降は速度低下量の 6km/h が持続すると考え、分割区間の旅行速度を算出する。そして、照査区間全体の旅行時間と旅行速度は、これら分割区間の値を使い算出する。なお、図-4 の事例において Aic~Dic 間の旅行速度は 101km/h、旅行時間は 10.0 分と計算される。

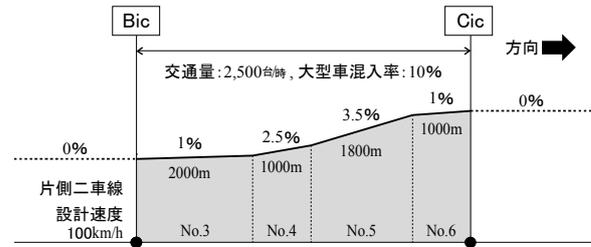


図-9 欧米の手法との比較事例

表-2 欧米の手法による結果の比較

項目	HCM2010	HBS2001	本稿
交通容量(BDF)	2,300pc/h/ln	3,130veh/h	2,817veh/h
旅行速度	96km/h	112km/h	99km/h
旅行時間	3.6min	3.1min	3.5min
密度	25.6pc/h/ln	-	-
判定	C	C	-
交通需要	2,500veh/h		
大型車混入率	10%		

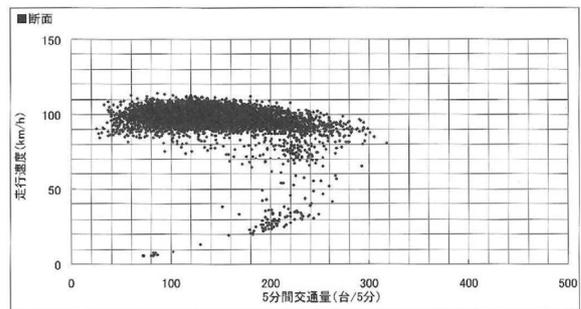


図-10 東名高速道路 上り 松岡 BS 付近 (125.40kp)

$$T = \sum \frac{L_i}{V_i} \quad (式-2)$$

$$V = \frac{\sum L_i}{T} = \frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{V_i}} \quad (式-3)$$

ここに、

- T : 照査区間全体の旅行時間
- V : 照査区間全体の平均旅行速度
- L_i : 分割区間 i の区間長
- V_i : 分割区間 i の旅行速度

c) 旅行時間（速度）の判定

旅行時間（速度）判定は、照査区間の旅行時間（速度）が目標旅行時間（速度）を満足するか否かを照査する。

旅行時間 > 目標旅行時間	⇒ 性能を満足せず
旅行時間 ≤ 目標旅行時間	⇒ 性能を満足

(5) 問題箇所の抽出と対策検討 [STEP 5]

STEP3 で「渋滞が発生する」、STEP4 で「性能を満足せず」と判定された場合は、性能照査区間内のボトルネック箇所や、速度が低い区間などの抽出と、その原因を究明し、対応策を検討する。そして、STEP3 と STEP4 の照査を再度実施し、目標とする性能を達成するか否かを照査する。なお、渋滞が発生していても目標走行性

能を満足できない場合があるので、その対策はネットワーク構成の変更などが考えられる。

4. 欧米の手法との比較

(1) 概要

本章では「HCM2010」と「HBS2001」と「本稿の照査手法」の違いを、図9の事例（図4のBic～Cicと同じ）を使い、各手法によるアウトプット結果を比較する。

(2) 結果と考察

表2は、各手法の代表的なアウトプット結果である。交通容量（BDF）をみると、HCMは2,300pc/h/車線、HBSは3,130veh/h、本稿は2,817veh/hとなった。わが国の渋滞発生時交通量（BDF）が2,900～3,583veh/hの範囲⁹⁾にあるとすると、本稿とHBSは日本の実績値に近い値といえる。

つぎに旅行速度をみると、HCMが96km/h、HBSが112km/h、本稿が99km/hとなった。図10に示す設計速度と規制速度が100km/hの片側二車線道路のQV図¹⁰⁾において、交通需要2,500veh/h（=208veh/5min）の速度をみると、90km/h～110km/hの範囲にプロットされており、本稿とHCMは日本の実測値と近い値といえるが、HBSの速度は、他の手法と比べ高い速度になっている。これはドイツの高速道路の規制速度が日米のそれより高いためであり、ドイツの高速道路は日米のそれより高い走行性能を実現する可能性が高いことを意味している。また、HCMとHBSのいずれも旅行速度とサービス水準を算出しているが、HCMはサービス水準、HBSは旅行速度を性能指標としている。本稿の手法も旅行速度（時間）を性能指標としているが、サービス水準を規定しておらず、今後の課題である。このように、欧米では日本より先行して道路を性能照査する仕組みができていたものの、欧米の手法をそのままわが国の道路に適用しても、道路の性能を適切に照査できないことがわかる。

5. おわりに

本稿では、自動車専用道路等において交通容量とサービスの質を考慮した走行性能照査手法を提案し、さらに欧米の手法との比較においては、本稿が提案する手法が最も当てはまりが良いことを示した。一方で、渋滞の発

生を前提としない本稿の手法は、渋滞が慢性化している日本の実情と乖離しており、実務レベルへの展開に向けては課題が残る。ここに提案した性能照査手法は、HCMやHBSと同様に、常に更新・改善を図ることが必要と考える。なお、本稿は（一社）交通工学研究会が取り組む基幹型研究「道路の交通容量とサービスの質に関する研究」の成果の一部である。

参考文献

- 1) TRB: Highway Capacity Manual (HCM2010), Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010.
- 2) Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV): HBS Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Ausgabe 2001 Fassung 2005, 2005.
- 3) AASHTO: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, Washington, D. C., AASHTO, 2011.
- 4) 内海 泰輔, 浜岡 秀勝, 中村 英樹: 往復分離2車線自専道の速度性能曲線の定式化, 土木学会論文集 D3, Vol.67, NO.3, pp.261-269, 2011.
- 5) 洪 性俊, 大口 敬: 多車線高速道路における統合型速度推定モデル, 土木学会論文集 D3, Vol.67, NO.3, pp.244-260, 2011.
- 6) 新道路技術会議: 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, NO.17-3, 2008.
- 7) 野中 康弘, 泉 典宏, 下川 澄雄, 大口 敬, 中村 英樹: 道路計画設計における実用的な性能照査実施方法の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 2015.
- 8) 木村 真也, 野中 康弘, 森本 紘文, 米川 英雄: ITS スポットプローブデータを用いた渋滞現象分析, 第33回交通工学研究発表会論文集, pp.145-148, 2013.
- 9) たとえば, 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究(上), 高速道路と自動車, Vol.44, NO.2, pp.31-38, 2001.
- 10) 交通工学研究会: 高速道路の交通容量に関する調査検討報告書, 2005-2008.
- 11) たとえば, 吉川 良一, 塩見 康博, 吉井 稔雄, 北村 隆一: 暫定2車線高速道路のボトルネック交通容量に関する研究, 交通工学, Vol. 43, No. 5, pp.48-58, 1996.
- 12) Jian XING, 宇佐 見純二, 福島 賢一, 佐藤 久長: 潜在的ボトルネック交通容量の推定及び交通容量の確率分布を用いた年間の渋滞予測検討, 土木計画学研究・論文集 Vol.27, NO.5, pp.973-981, 2010.
- 13) 近田 博之, 邢 健: 縦断勾配が速度に与える影響に関する実証分析, 土木計画学研究講演集 vol.49, 2014.
- 14) 中日本高速道路株式会社: 設計要領 第4集 幾何構造編【本線幾何構造設計要領】, 2007.
- 15) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2004.
- 16) 交通工学研究会: 交通容量データブック 2006, 2006.

(2015.4.24 受付)

A Proposal on the Assessment of Traffic Performance of Expressways and Highways

Hiroyuki KONDA, Jian XING, Masayuki MATSUSHITA and Takashi ISHIDA