時間交通需要変動特性を考慮した交通性能照査型道路計画設計法*

A Methodology of a Traffic-Performance-Oriented Highway Planning and Design Considering Hourly Traffic Demand Fluctuation*

内海泰輔**, 中村英樹***

By Taisuke UTSUMI** and Hideki NAKAMURA***

1. はじめに

極めて厳しい財政制約の中、我が国では今まで以上にコスト・パフォーマンスの高い道路を計画設計することが求められている。本論文は、その道路の持てる交通性能を十分発揮しつつもコストを抑えることのできる、合理的な道路構造と交通運用の組合せを導入可能な、性能照査型の道路計画設計法を示すことを目的とする。

2. 道路計画設計方針の再考の必要性

(1) 設計の考え方^{1)~3)}など

一般に構造物や製品の設計の考え方には、「性能照査型」と「仕様型」とがある。

性能照査型とは、その設計物に求められる性能を満足するかどうかを事前に照査し設計する考え方であり、これに基づくことによって設計物の性能を確認することができる。また、この設計法によれば、求められる性能さえ満足すればいかなる手法でも採用できるため、最新の技術や工法を比較的自由に導入することが可能であり、様々な制約条件の中で最も適切な手法を選択することができる。しかしその一方で、設計物の性能を的確に照査しなければならず、これがこの考え方を適用する上で大きな障害となる場合がある。たとえば、個々の地点の自然条件に応じて設計条件が大きく変化する土木構造物の性能照査には、数多くの経験が必要とされ、技術者に高い技術力が要求される。

これに対して仕様型とは、過去の研究や経験などに基づき定められた仕様によって設計する考え方である。これは、設計物の性能を照査する必要がなく技術者の負担を質・量ともに軽減でき、一定水準のものを短期間で大量に生産する場合に適している。しかし、時代の流れ

や技術水準の進歩によって求められる性能が、仕様が規定された当時から変化したり、新たな性能指標での評価が求められたりするようになると、これらを満足できないものを設計する惧れがある。また、仕様が強制力のあるルールや法令となる場合が多く、たとえ良質で経済的な技術、工法が開発されても、これらを簡単に導入できないという欠点も併せ持っている。

(2) 現行の道路計画設計法とその功罪

現在、我が国の道路は、道路構造令⁴⁾に基づき計画設計されている。これは、自動車専用道路(以下、自専道)か否かと地方部/都市部により区分される種と、地形区分、道路種別、計画交通量によって決まる級の組合せ(以下、種級区分)に応じて道路横断面の仕様が定められているもので、いわゆる仕様型設計である。

産業や生活の基盤となる道路が絶対的に不足していた戦後の高度成長期には、ある一定水準の道路を短期間で大量に整備することが求められ、現行の仕様型設計は極めて重要な役割を果たしたといえる。しかし、既にかんりの量的ストックが形成され、道路整備の目標が量の拡充から質の向上へと替わりつつあり、真に必要な道路やその適切な構造とは何かが問われる現在、この仕様型設計が必ずしも適切な計画設計法であるとはいえないのではなかろうか。

道路には、旅行速度など道路機能に応じて求められる性能があり、本来それを満足するように計画設計しなければならない。しかし、現行の仕様型設計にはこのような思想が十分反映されておらず、求められるべき性能が確認されないまま道路を計画設計してしまう場合がある。また、信号制御やリバーシブルレーンなどの交通運用が計画設計段階では十分考慮されることがないため、交通需要変動に応じて持てる性能が十分発揮できなかったり、必要以上にコストのかかる構造になったりする場合も多いと考えられる。これらの解決策の一つとして、時代に応じて弾力的に仕様を変更することが考えられるが、それにはかなりの時間を要し短期間に仕様を変更することは難しい。実際に、現行の仕様の基本は、1970年以降実質的にほとんど変更されていない。

* キーワード：道路計画設計、性能照査、交通需要変動

**正会員 博(工) 榊長大 西日本社会計画事業部 道路交通計画部
(大阪市西区新町2-20-6)

E-mail: utsumi-t@chodai.co.jp)

***正会員 工博 名古屋大学大学院 教授 工学研究科社会基盤工学専攻
(名古屋市中区千種区不老町C1-2(651))

E-mail: nakamura@env.nagoya-u.ac.jp)

図-1 本論文における性能照査型道路計画設計法のフレームワーク

(3) 「仕様型」から「性能照査型」へ

道路を取り巻く環境の変化を考慮すると、道路の計画設計法は、現行の仕様型から、道路の機能に応じて求められるべき性能を確認でき、また予算、空間、環境といった制約条件の中で最も適切な道路構造と交通運用の組合せが選択できる性能照査型へと転換すべきであろう。またこの際には、後述するように、道路構造や交通運用を検討する上で最も重要な事項の一つである交通需要の変動特性についても適切に表現することが必要である。

本論文では、まず、時間交通需要変動を考慮して計画設計道路の性能を推計する手法を構築する。そして、これと性能目標とを組み合わせることで、計画設計道路の性能を事前に照査する性能照査型の道路計画設計法を示す。なお、ここでは道路の性能を交通性能とし、その中でも特に都市間道路などで重視される走行性能を対象とする。

3. 性能照査型道路計画設計法のフレームワーク

これまでに提案されたコンセプト^{5)~7)}に基づき、性能照査型道路計画設計法のフレームワークを図-1に示す。

本フレームワークは、**A.性能目標の設定**と**B.交通性能の推計**の2つの部分で構成される。そして、これらを組み合わせることで、計画設計道路の交通性能を照査し、その道路に求められる性能を満足する道路構造と交通運用の組合せを出力する。

まず前者では、上位の広域道路ネットワーク計画や交通機能などの観点から、その道路に求められる(a)交通機能に対応した道路階層区分と、それに応じた適切な(b)性能評価指標・性能目標を設定する。

一方後者では、従来からの手順に準じた交通需要予

測などにより、計画設計道路の年平均日交通量(以下、AADT; Annual Average Daily Traffic volume)や大型車交通量、昼夜率といった基本的な交通条件を予測あるいは想定し、(c)交通需要の変動特性を推計する[需要側]。また別途、(a)道路の階層区分や(c)交通需要の変動特性などに応じて適切な(d)道路構造と交通運用の組合せを想定する[供給側]。そして、(c)交通需要の変動特性と(d)道路構造と交通運用を組合せ、計画設計道路の(f)交通性能を推計する。但し、これには、与えられた交通需要はもとより、車線幅員や縦断勾配、大型車混入率、天候といった様々な条件・要因によって変化する(e)道路の交通性能(たとえば、交通量-速度曲線など)を明らかにしておくことが必要である。

最後に、推計された(f)交通性能を(b)性能目標により(g)照査し、道路構造と交通運用の可否を判定する。なお、求められる性能を満足する代替案が複数存在する場合は、予算、空間、環境といった様々な制約条件を考慮し、最も適切なものを選択する。その結果、その道路の持てる交通性能が発揮できる合理的な道路構造と交通運用の組合せを導入することが可能となる。

このような手法を採用することによって、それぞれの道路の機能に応じて求められる性能を事前に確認することができる。たとえば、走行性能が求められる都市内幹線街路では、信号交差点の連続によって旅行速度が低下するかどうかを事前にチェックし、その対策を検討することができる。あるいは、狭幅員車線や路肩の走行車線としての運用時の(e)道路交通性能がわかれば、予算的、空間的制約などの理由から自専道のボトルネック区間で容易に車道幅員の拡張が行えない場合に、部分的に車線幅員を狭めてでも車線数を増やしたり、ピーク時に路肩を走行車線として運用したりすることを前提に設計

表-1 筆者ら¹²⁾が提案する新たな道路カテゴリ分類

大分類	特 徴	小分類	詳 細	一般道 [Highway]	自専道 [Motorway]
幹線 [Arterial]	大都市、主要都市間を連絡するように分布している。AADT、大型車交通量ともに多い。また、昼夜率が1.50以上と高く、夜間の利用も多い。	重要幹線	首都圏/関西圏などの大都市圏を連絡する幹線	H1：重要幹線 (88)	M1：重要幹線 (242)
		幹線	大都市圏と主要都市などを連絡する地方部の幹線	—	M2：幹線 (265)
都市内/周辺 [Urban]	都市内/周辺に分布している。AADTが比較的多いが大型車の割合は“幹線”ほど高くない。また、休日係数は0.93～0.95 [*] であり、平日の方が休日よりも交通量が多い。 *：日祝日、土曜日を休日とする。 **：M4のみ休日係数1.02である。	大都市	首都圏、関西圏、中京圏の三大都市圏	H2：大都市内/周辺道路 (266)	M3：大都市周辺路線 (262)
		主要都市	札幌や仙台、広島、福岡など地方/県の主要都市	—	M4：主要都市周辺路線 (610)
		地方都市	上記以外の地方部の中小都市	H3：地方都市内/周辺道路 (252)	—
地域生活圏 [Local]	地方部に幅広く分布している。“幹線”、“都市内/周辺”に比べてAADT、大型車交通量ともに少ない。平日は地域の生活道路として、休日は観光道路としての変動特性みられる。	—	—	H4：地域生活圏道路 (276)	M5：地域生活圏路線 (475)
観光 [Sightseeing]	地方部の観光地周辺に分布している。全カテゴリの中で休日係数、K値が最も大きく、季節変動、曜日変動が非常に大きいカテゴリである。	—	—	H5：観光道路 (100)	M6：観光路線 (205)

※一般道延べ892地点/自専道延べ2,059地点の車両感知器データを用いてクラスター分析により分類した結果。()内の値は、そのとき各カテゴリに分類された地点数。

でき、所要の交通性能を確保することが可能となる。

(a)交通機能に対応した道路階層区分については、最近の研究⁸⁾⁹⁾で既に提案されたものを前提とする。また、(b)性能評価指標・性能目標は、上位の広域道路ネットワーク計画や交通機能などの観点から設定されるべきもので、一般に道路を計画設計する際の与件である。この決定方法も重要な研究テーマの1つであり、今後研究していく必要がある。本論文では、特にBの部分に着目し計画設計道路の交通性能を推計する手法を構築する。

4. 年間を通じた時間交通需要の変動特性 [図-1 (c)]

道路の計画設計に際しては、その道路の交通需要の変動特性を的確に把握することが重要である。

現行の道路計画設計法では、30番目時間交通量を設計時間交通量とし交通需要の変動特性を代表させている。この30番目時間交通量は、一般に地域特性により異なるため、都市部、平地部、山地部の3つの地域区分に応じ、30番目時間交通量のAADTに対する百分率であるK値の標準値が9%、12%、14%と定められている。

しかし、この考え方には次のような問題がある。

問題1；不十分な路線特性、地域特性の考慮

観光系道路のように交通需要の変動が大きな路線では、現行の道路計画設計法で用いられているK値の標準値と実態とが大きく乖離している場合がある¹⁰⁾¹¹⁾。現行の3つの地域区分のみでは、多様な交通需要の変動パターンを的確に反映することは難しい。

問題2；単一の時間帯を設計対象とする問題

30番目時間交通量のような特定の時間交通量で交通需要の変動特性を代表させ、道路の交通性能を評価することは、残り年間8,759時間の交通性能を適切に評価しているとは言い難い。

問題3；時間交通量(需要)の時系列的因果関係の問題

直前の時間帯に渋滞が存在する場合、たとえその時

図-2 方向別時間交通需要変動の推計フロー¹³⁾

間帯の交通需要が他の時間帯と同一であっても、実際の交通状況は大きく異なる。しかし、現行の道路計画設計法では、時間交通量を大きい順に並べ替えて評価するため、このような交通需要の時系列的な因果関係については考慮できない。

上述の問題1に対して、筆者ら¹²⁾は、AADTや大型車交通量、昼夜率といった計画設計段階で比較的予測あるいは想定しやすい交通指標を用いることによって、路線や地域の特性を考慮した、表-1のような道路カテゴリ分類を提案している。

また、問題2、3については、図-2に示すフローに基づき都市間道路の年間8,760時間の交通需要を時系列的に推計する手法を構築し、既往研究¹²⁾で提案した道路カテゴリごとに年間を通じた平均的な時間交通需要変動パターンを推計している¹³⁾。但し、このときの交通需要は、道路上に顕在化し車両感知器などで観測される交通量であり、道路整備などによって新たに顕在化する可能性がある潜在的な交通需要ではないことに注意が必要である。

また、既往研究¹³⁾では、全カテゴリ一律に平日のピー

ク時間帯を基準に重方向を設定しているが、ここでは各カテゴリの曜日変動特性に着目し、日交通量が休日よりも平日の方が多いカテゴリ(H1, H2, H3, M3)は「平日」のピーク時間帯を、休日の方が多いカテゴリ(H4, H5, M1, M2, M4, M5, M6)は「休日」のピーク時間帯を、それぞれ基準にし重方向を設定する。

なお、本論文では紙面の制約上、5章以降は東名高速や名神高速など都市間自専道の中でも特に重交通路線が属する道路カテゴリM1を対象とした結果のみを示す。

5. 道路構造と交通運用 [図-1 (d)]

我が国の道路は、方向別交通量に特に差がある場合に限り奇数の車線数で運用されることもあるが、少なくとも設計段階においては原則として2車線、4車線、6車線といった偶数の両方向同一車線数で検計が行われる。また、車道/車線や路肩といった横断面構成要素の設計値は、予め基本値が定められており、ほぼ統一的な道路構造となっている。

一方、ドイツやスウェーデンなどでは、通常の偶数車線だけでなく、リバーシブルレーンや2+1車線道路といった奇数車線数での運用も少なくない。また、工事の際には車線幅員を狭めて車線数を確保したり、ピーク時に十分な性能が達成できない場合には路肩を走行車線として運用^{(4),(5)}したりするなど横断面を最大限に活用する特殊な道路構造と交通運用が採り入れられている。今後の道路の計画設計は、欧米諸国にみられるような合理的な道路構造と交通運用の組合せを導入すべきと考える。

本論文では、交通量が多く、方向別交通量の差が小さい重交通路線(M1)の道路構造と交通運用として、4車線、並びに6車線といった通常の多車線の道路構造と、その中間的な道路構造と位置づけられ既に諸外国で導入実績のある、4車線であるがピーク時に性能が達成できないときには動的に路肩を走行車線とする運用(以下、4車線+動的路肩運用)の3つを採り上げる。

6. 各種条件で変化する道路交通性能 [図-1 (e)]

交通条件や道路条件などに応じて道路の走行性能は変化する。ここでは、走行性能の評価指標を旅行速度とし、各種条件に応じて変化する旅行速度を交通量との関係(以下、 $q-v$ 性能曲線)により設定する。なお、都市内街路と異なり、都市間道路は信号交差点が少なく、沿道からの出入りもほとんどない。このため、非渋滞状態では対象区間の地点速度と旅行速度の間に大きな差はないものと考えられる。

図-3 多車線自専道 $q-v$ 性能曲線¹⁶⁾
[大型車混入率：0%，降水量：1mm/h]

図-3は、Hong and Oguchi¹⁶⁾が提案している我が国の多車線自専道の一般的な断面における $q-v$ 性能曲線である。ここで速度 v は地点の85percentile速度(以下、速度)である。Hong and Oguchi は、東名高速や東北道など我が国の主要な多車線高速道路に設置されている車両感知器データを用いて、大型車混入率や降水量に応じた $q-v$ 性能曲線について分析し、大型車混入率の増加による速度の低下量は交通量の増加に伴い大きくなること、一方、降水量の増加による速度の低下量は交通量とあまり関係なくほぼ一定であること、などを明らかにしている。そして、車線別 $q-v$ 性能曲線(降水量別/大型車混入率別)、車種別車線選択確率をそれぞれ定式化している。これら分析結果を併せることで図-3のように断面 $q-v$ 性能曲線が設定される。但し、この $q-v$ 性能曲線には、道路の車線幅員や線形など道路条件に関する要因の影響が考慮されていないことに注意が必要である。

本論文では、この $q-v$ 性能曲線を4車線、6車線自専道の交通性能とする。4車線+動的路肩運用は、我が国での導入実績がなく $q-v$ 性能曲線の分析結果が存在しないため、ここでは6車線の場合と同等の道路交通性能を有するものと仮定する。将来、4車線+動的路肩運用の $q-v$ 性能曲線が得られれば、それを用いることが望ましいことは言うまでもない。

7. 計画設計道路で実現する交通性能の推計 [図-1 (f)]

4～6章で述べた各要素を組合せ、計画設計道路の交通性能を推計する手法(以下、推計手法)を構築する。

(1) 各種条件の設定

時間交通需要(4章)と $q-v$ 性能曲線(6章)との関係より、各時間帯の平均速度を推計するが、交通需要が交通容量を超過する場合には、渋滞の影響を考慮しなければならない。ここでは交通容量を次のように設定し、渋滞長を推定して、渋滞流内の交通状況を想定する。

a) 交通容量の設定

表-2 多車線自専道のボトルネック交通容量の設定

車線數	基本交通容量: C_B [pcu/h]	平休	BN補正係數: α	渋滞前交通容量: BDF ($=\alpha \times C_B$) [pcu/h]	捌け交通量比: β	渋滞発生後捌け交通量: QDF ($=\beta \times BDF$) [pcu/h]
4車線	4,400*	平日	0.85*	3,740	0.85**	3,180
		休日	0.75*	3,300		2,800
6車線	6,600*	平日	0.90*	5,940		5,050
		休日	0.85*	5,610		4,770

**岡村ら¹⁹⁾の分析結果から得られた値をもとに独自に算出した値,

参考：東名高速・名神高速などが該当する1種1級/2種2級平地部の設計交通容量は1車線あたり1,660台/ℎとされている²⁴⁾

道路上で渋滞が発生するか否かは、到着交通需要とボトルネック(以下、BN)の交通容量によって決まる。このため、道路は単路部ベースではなく、あくまでもBNベースで計画設計しなければならない⁽⁶⁾。

一般に、自専道の主なBNは分合流部のほかサグやトンネルであるといわれている。越ら¹⁷⁾は、高速道路のサグ、トンネルの渋滞現象を分析し、交通容量には渋滞前と渋滞中(渋滞発生後)の2つが存在することを明らかにしている。ここでは、BN交通容量を渋滞前交通容量(以下、BDF; BreakDown Flow)と渋滞発生後捌け交通量(以下、QDF; Queue Discharge Flow)に分けて設定する。

本論文で設定する多車線自専道のBDFとQDFを表-2に示す。岡村・泉¹⁸⁾は、①当該地点(車両感知器)を含むインター間で交通集中渋滞が発生していないこと、② $q-v$ 図がほぼ完成していること、③実現最大交通量がおおむね5年以上にわたって安定していること、の3つの条件に合致する高速道路区間の車両感知器を抽出し、その実現最大実1時間交通量により多車線高速道路一方向あたりの基本交通容量(C_B)を4車線で4,400pcu/h、6車線で6,600pcu/hとすることを提案している。さらに、渋滞発生確率0.05のときの渋滞発生時交通量を可能交通容量(C_C)と定義し、基本交通容量(C_B)に対する可能交通容量(C_C)の比(以下、BN補正係数($\alpha=C_C/C_B$))を車線数別、平休別に設定している。また、岡村ら¹⁹⁾は、車線数別、平休別、渋滞要因別のBDFとQDFについて分析している。この結果から得られたBDFとQDFを用いて筆者らが独自にBDFに対するQDFの比(以下、捌け交通量比(β))を求めたところ、車線数や平休の別に依らず0.83~0.89程度であった。ここではこれを参考に捌け交通量比(β)を一律に0.85とする。本論文で設定したBDFとQDFは表-2のとおりである。なお、4車線+動的路肩運用の交通容量の分析は行われておらず、 $q-v$ 性能曲線の設定と同様に、6車線のそれと同等と仮定する。

b) 渋滞長の推定

到着交通需要がBN交通容量を超過すると、BNを先頭にした渋滞が発生し、渋滞列が上流に延伸する。この結果、渋滞発生後に到着する交通流は、BNよりも上流の地点から渋滞に巻き込まれることとなる。すなわち、渋滞長 x を算出する場合には、BNには到着していないもの

図4 渋滞長と渋滞流に巻き込まれる交通流

の渋滞に巻き込まれる車両についても考慮しなければならない(図4)。ここでは、超過需要が発生した際の次の時刻の渋滞長 x を次式により適宜求める。

$$(Q_e + 1000x/S_1) \times S_2 = 1000x \quad \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

$$x = \frac{Q_e S_2}{1000(1 - \frac{S_2}{S_1})} \quad \dots \quad (2)$$

ここに、 x ：渋滞長[km]、 QDF ：BNの渋滞発生後捌け交通量[台/h]、 Q ：到着する交通需要[台/h]、 Q_c ：超過需要(= $Q - QDF$) [台/h]、 V_1 ：非渋滞時の車両の平均速度[km/h]、 V_2 ：渋滞流内の車両の平均速度[km/h]、 S_1 ：非渋滞時の平均車頭距離[m]、 S_2 ：渋滞流内の平均車頭距離[m]、である。

非渋滞時の車両の平均速度 V_f はその時刻に到着する交通需要 Q と q -性能曲線との関係から求め、平均車頭距離 S_f は交通需要 Q と平均速度 V_f より算出する($S_f=V_f/Q$)。また、BNのBDFよりも大きな交通需要 Q が到着する場合は渋滞と判定し、自専道(高速道路)の自然渋滞時の交通密度 k により、渋滞流内の平均速度 $V_x(q/k)$ 、および平均車頭距離 $S_x(=1/k)$ を求める。このとき交通量 q はBNのQDFとし、交通密度 k は80台/km/車線²¹⁾とする。このため、渋滞流内の車両の平均速度 V_x はほぼ一定となることに注意が必要である。

c) 降水量の与え方

交通需要やBN交通容量、 q - v 性能曲線は、降水量の影響を受けることが既往研究^{13),16),22)}などによって明らかにされている。ここでは、降水量の影響も考慮し計画設計道路の交通性能を推計する。

我が国では、降水量の季節変動が大きいので、これを考慮した時間降水量の設定が必要である。また、前の

図-5 時間交通量と速度の観測値と推計値 [上段：上り方向，下段：下り方向]

時間帯に雨が降っているか否かにより当該時間帯の降水確率が変化するため、対象時刻の1時間前の降水状況も考慮しなければならない。ここでは、全国のAMeDASデータを用いて確率的に降雨を発生させる。まず、時間降水量を0mm/h, 1mm/h, …, 6mm/h以上、の7つのカテゴリに分類する。そして、月別、1時間前の時間降水量別にサンプルを集計し、当該時間帯の降水確率を設定する。なお、ここでは全国の平均的な値を用いるが、仮にこれを地域別に作成すれば、地域の気象特性も考慮して交通性能を推計することが可能となる。

(2) 推計精度の検証

a) 交通量と地点速度

東名高速の東名三好IC-名古屋IC間に設置されている車両感知器で観測された交通量、地点速度データにより、本推計手法による交通性能の推計精度を検証する。なお、本検証区間は4車線であり、検証には2003年の1年分のデータを用いる。

まず、道路カテゴリM1の年間を通じた平均的な時間交通需要変動パターンと検証区間の2003年のAADTから、年間の時間交通需要変動を推計する。そして、これと $q-v$ 性能曲線とを組合せ、年間を通じた各時間帯の平均速度を求める。このとき、BN交通容量は(1)で設定した値とするが、降水量は実際に観測された値を用いる。図-5は、交通量と速度の観測値と推計値の一部(約1ヶ月分)を示したものである。

交通量は、両方向とも相関係数が0.80以上あり、全体的に推計精度が良好といえる。しかし、ゴールデンウィーク(4/29-5/6)のような大型連休期間には、渋滞が観測されていないにもかかわらず、渋滞が推計されるケースがいく

つかみられる。これは、実際のBN交通容量が個々の地点の構造条件に応じて変化し、またその値は一定ではなく変動するにも関わらず²¹⁾²³⁾²⁴⁾など、ここでは全地点で一律かつ一定値として扱っているためである。しかし、現状では計画設計道路のBN交通容量やその変動特性を推定することは難しく、ここで設定したような一般的な値を用いるしか適当な方法がない。今後、これらの分析が進み、計画設計道路のBN交通容量が推定できれば、交通量の推計精度が向上すると考えられる。

一方、速度は、相関係数が0.20にも満たず、推計精度が良いとはいえない。この主な原因として次のようなことが考えられる。

- i) 先述したようにBN交通容量の設定方法に問題がある。
- ii) 渋滞流内の平均速度 V_2 をQDFと交通密度 k により推計しているが、両値ともに一定値としているため、渋滞流内の速度 V_2 も一定となる。この結果、渋滞流内の速度の観測値と推計値の乖離が大きくなる。
- iii) ここで用いている $q-v$ 性能曲線には、道路の車線幅員や線形など道路条件の影響が考慮されていない。つまり、検証区間固有の特性が推計されていない。

以上のように、速度の推計精度を向上させるためには、BN交通容量をはじめ渋滞流内の平均速度や $q-v$ 性能曲線の改良が必要である。

b) 性能目標達成率

道路カテゴリM1の4車線道路のAADTと性能目標達成率の関係を図-6に示す。ここで性能目標達成率とは、年間8,760時間に対する性能目標達成時間の百分率のことで、両方向の平均値である。なお、このときの性能目標は速度80km/h以上としている。また、観測値は、筆者らが既往研究¹²⁾で道路カテゴリ分類を提案したときに用

図-6 道路カテゴリ M1 の AADT と性能目標達成率の関係 [性能目標 80km/h, 4 車線]

図-7 道路カテゴリ M1 の道路構造/交通運用別の AADT と性能目標達成率の推計結果[性能目標 80km/h]

いた車両感知器のデータであり、道路カテゴリM1の4車線道路の観測地点は、延べ114地点であった。

本推計手法により、AADTと性能目標達成率との関係を推計すると、AADT=65,000台/日程度までは速度80km/h以上の性能目標を達成できることとなる。しかし、AADTがそれ以上大きくなると性能目標達成率は徐々に低下し始め、AADT=80,000台/日を超えると急激に低下する。

次に、観測値をみると、AADT=65,000台/日前後までは性能目標達成率が98～100%であり、それ以上大きくなると推計結果と同様に性能目標達成率が低下し始める。AADT<65,000台/日で性能目標達成率<98%の地点を確認したところ、その約9割が本論文で設定した4車線のQDF(2,800台/h/2車線)よりもかなり小さい2,000台/h/2車線未満であるにも関わらず、速度80km/h以上という性能目標が達成できていなかった。このことから、これら地点で性能目標が達成できない主な原因は、交通集中によるものではなく、事故や工事、気象(降雪、濃霧など)などによるものと推測される。実際、図-6のAのプロットは、冬季に積雪が多い名神高速の大垣IC～八日市IC間のものであり、性能目標が達成できない時間帯の多くが12～2月であった。これより、事故や工事、気象などの影響さえなければ、推計値同様にAADT=65,000台/日程度までは速度80km/h以上という性能目標を達成できると考えられる。

以上のように速度の推計には改善の余地があり、精

度の向上が求められるものの、性能目標達成率をみると、実際の道路で実現する交通性能の傾向を良好に推計できていることがわかる。これは、性能目標達成率という指標で評価することで、性能目標付近の速度のみが精度検証の対象となり、それ以外のたとえば渋滞時の速度などについては一律に性能目標未達成として扱われるためである。このように本推計手法の出力結果は十分注意しての取り扱う必要がある。

8. 横断面設計ケーススタディ

本論文で構築した計画設計道路の交通性能の推計手法を用いて、性能照査型の考え方で道路の横断面を計画設計した場合のケーススタディを行う。そして、現行の仕様型道路計画設計法と比較する。ここでは、AADT=80,000台/日の都市間専道の重交通路線(道路カテゴリM1)を対象とする。

(1) 仕様型道路計画設計法(現行法)

2章で述べたように、現行の仕様型道路計画設計法では、道路の種類と地形区分、道路種別、計画交通量によって種級区分が設定され、それにより道路の横断面構成、車線数がほぼ自動的に決定される。

ここで対象とする道路カテゴリM1の道路は、そのほとんどが現行の種級区分の1種2級平地部に該当する。こ

の種級区分では1車線あたりの設計基準交通量が12,000台/日とされており⁴⁾、AADTに応じて車線数を決定すると図-7の下部のようにAADT<48,000台/日で4車線、AADT<72,000台/日で6車線となる。これに基づくと、AADT=80,000台/日の道路は8車線となる。

(2) 性能照査型道路計画設計法

道路カテゴリM1の道路は、我が国でも最も走行性能が重視される都市間自専道である。このため、現行の道路計画設計の思想の前提となっている交通集中による渋滞発生が年間30時間未満という条件はもとより、速度○ km/h 以上といった走行性能を基準に性能目標を設定すべきであろう。ここでは、仮に性能目標を速度80 km/h 以上とする。また、今回対象とする道路構造と交通運用は5章のとおりとするが、リバーシブルレーンや狭幅員車線なども、これらの交通運用下での道路交通性能が明らかならば、本推計手法によって交通性能を推計することもできる。

道路カテゴリM1の道路を、a)4車線、b)4車線+動的路肩運用、c)6車線で計画設計した場合のAADTと性能目標達成率との関係を図-7に示す。これをみると、AADT=80,000台/日の道路をa)4車線で計画設計すると、年間130時間程度(=8,760時間-8,630時間)性能目標が達成できない時間が出現することとなる。一方、b)4車線+動的路肩運用で計画設計すると、年間45時間程度路肩を走行車線として運用するだけで、上述の性能目標未達成時間を解消できる。これは、路肩を運用することで、渋滞そのものの発生を抑制できるだけでなく、交通需要がBN交通容量よりも小さいにも関わらず前の時間帯の待ち行列の影響で派生的に生じる巻き込まれ渋滞も防げるためである。このような効果を考慮できるのは、交通需要の変動を時系列的に推計しているためである。そして、c)6車線で計画設計すると、特別な交通運用を行わなくとも年間全時間で性能目標を達成することができる。このとき、予算、空間などに制約がないならばc)6車線で計画設計すれば良い。しかし、制約がある場合は、年間45時間程度路肩が機能しないことを受容しb)4車線+動的路肩運用で計画設計することも一つの選択肢といえよう。

(3) 「仕様型」と「性能照査型」の比較

AADT=100,000台/日以上交通需要がある東名高速の東京IC-厚木IC間や名神高速の京都南IC-吹田JCT間は、現在6車線で運用されている²⁵⁾。この例からもわかるように、道路カテゴリM1でAADT=80,000台/日の道路は、6車線あれば少なくとも必要最低限の走行性能は確保されることが実証されている。しかし、現行法をそのまま適用すると8車線となり、利用者の快適性は向上するものの決して経済的な道路が計画設計されるとは言えない。

一方、本論文で構築した交通性能の推計手法を用いて性能照査型の道路計画設計を行うと、a)4車線、b)4車線+動的路肩運用、c)6車線、それぞれの交通性能を照査し、また予算をはじめとした様々な制約条件を考慮した上で、その道路の持てる交通性能が発揮できる合理的な道路構造と交通運用の組合せを選択することが可能となる。この結果、コスト・パフォーマンスの高い道路を計画設計できることになる。

9. おわりに

(1) まとめ

本論文では、時間交通需要変動の時系列的な因果関係も考慮し、計画設計道路の時間帯別の交通性能を推計する手法を構築した。本推計手法では、速度の推計に改善の余地が残されているものの、性能目標達成率については良好に推計することができる。今後、交通需要の変動特性や道路交通性能($q-v$ 性能曲線など)に関するデータの収集・分析を進め、本推計手法の信頼性を高めることにより、実務への適用・展開も可能となると考える。また、道路交通性能さえ明らかならば、リバーシブルレーンや狭幅員車線などの様々な道路構造と交通運用の交通性能についても推計できる。このように本推計手法は、時間交通需要変動や道路交通性能を適切に置き換えることで、最新の知見に基づき道路の交通性能を推計できる、汎用性の高い手法であるといえる。そして、この推計手法を用いて、都市間自専道の中でも特に重交通路線(M1)の交通性能を推計した。その結果、現行の方法で計画設計される道路はオーバースペックとなり必ずしも経済的でない場合もあることを示した。

さらに、上記の計画設計道路の交通性能の推計手法を用いた、性能照査型の道路計画設計法を示した。これにより、その道路の機能に応じて求められるべき交通性能を確認し、道路を計画設計することができる。また、予算、空間、環境といった制約条件の下で、代替案を比較検討することができ、合理的な道路構造と交通運用の組合せを選択することも可能である。その結果、従来よりもコスト・パフォーマンスの高い道路の計画設計が可能となる。

(2) 今後の課題

最後に、本論文で構築した計画設計道路の交通性能推計手法の推計精度を向上させるための課題を整理する。

a) 事故や異常気象などの突発事象の影響

図-6の観測値からも明らかのように、事故や異常気象(台風、大雪など)など突発事象によって、道路の交通性能は大きく変化する。今後は、事故が発生しやすい交通

状況・道路条件、異常気象時における道路交通性能などを詳細に分析し、推計精度の向上を目指す必要がある。

b) BN交通容量の確率的変動

最近の研究^{19),23),24)}などでは、BN交通容量は一定ではなく確率的に変動することが明らかにされている。このため数多くのBNを対象に交通容量の変動特性を分析し、BN交通容量を一定値ではなく道路構造に応じて確率的に変動させることで、より現実的な交通状況を想定することが望ましい。

c) 道路条件の影響も考慮可能な $q-v$ 性能曲線

地点固有の道路交通性能も推計できるよう、道路の横断面構成や線形などの影響を考慮できる $q-v$ 性能曲線の定式化を行う必要がある。そのためには、テストコースなどで走行実験を行ったり、数は少ないものの道路構造令の例外値の適用された地点で観測調査を行ったりすることにより、分析データを収集することが必要である。また、その際には安全性についても十分検証することが重要である。

d) 都市内幹線街路の $q-v$ 性能曲線

走行性能が重視される都市内幹線街路では、信号制御や沿道からの出入り、路上駐停車車両などにより遅れを被るため、ここで用いた地点速度ではなく区間の旅行速度により走行性能を評価しなければならない。このため、信号制御パラメータ(オフセット、サイクル長など)や沿道アクセス挙動などが旅行速度に及ぼす影響を明らかにし、都市内幹線街路の旅行速度を推計する手法を構築する必要がある。

本論文は、国土交通省道路局「道路政策の質の向上に資する技術研究開発(課題名：道路機能に対応した性能目標照査型道路計画・設計手法論の研究開発、研究期間：H17～H19年度、研究代表者：中村英樹)」により実施した内容の一部である。

謝辞：貴重なデータを提供していただいた、国土交通省国土技術政策総合研究所、(株)高速道路総合技術研究所、ならびに(財)日本気象協会に深謝致します。

参考文献

- 岡村 甫：良いものを安く造るシステムの実現に向けて、土木学会誌 第85 第4号, pp.3, 2000.4.
- 大橋雄二：仕様規定から性能規定へ 性能要求と保証の歴史 法規制における性能規定化の趣旨と歴史的位置付け、コンクリート工学, Vol.35, No11, pp.8-9, 1997.11.
- 前川宏一：新しい示方書一仕様規定から性能照査へー 改訂の動向・経緯、土木学会誌 第85 第4号, pp.30-31, 2000.4.
- (社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 2004.
- 中村英樹：道路交通パフォーマンスとサービス水準、交通工学, Vol.40, No.1, pp.7-10, 2005.1.
- 大口 敬, 中村英樹, 森田綽之, 桑原雅夫, 尾崎晴男：ボトルネックベースで考える道路ネットワーク計画設計試論、土木計画学研究・講演集, vol.31, 4ページ, CD-ROM, 2005.6.
- 中村英樹：道路機能に対応した性能照査型道路計画と交通運用, IATSS Review, Vol.31, No.1, pp.75-80, 2006.
- 中村英樹, 大口 敬, 森田綽之, 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・講演集, vol.31, 4ページ, CD-ROM, 2005.6.
- 大口 敬, 中村英樹, 桑原雅夫：交通需要の時空間変動を考慮した新たな道路ネットワーク計画設計試論、土木計画学研究・講演集, vol.33, 4ページ, CD-ROM, 2006.6.
- 山田晴利, 中村英樹, 西川昌宏：交通量変動特性を考慮した車線数決定方法に関する分析、土木技術資料38-8, pp.26-31, 1996.8.
- 中村英樹, 山田晴利：日交通量変動パターンと道路特性の分析、土木計画学研究・講演集, No.16, pp. 27-34, 1993.12.
- 内海泰輔, 中村英樹：性能照査型道路計画設計のための道路の利用特性に応じたカテゴリ分類に関する研究、交通工学, Vol.42, No.5, pp.53-64, 2007.9.
- 内海泰輔, 中村英樹, 渡辺将光：性能照査型道路計画設計のための年間を通じた時間交通需要変動推計手法の構築、土木計画学研究・論文集, Vol.24, pp.825-834, 2007.11.
- 市川暢之, 渡辺二夫, 皆川聡一：ドイツ・スウェーデンにおける道路構造と交通運用に関する調査報告、高速道路と自動車, 第48巻 第10号, pp.78-92, 2005.10.
- Lemke, K.: Temporäre Umnutzung von Seitenstreifen an Autobahnen, Straßenverkehrstechnik, pp.409-413, 2003.8.
- Hong, S. and Oguchi, T.: Lane Use and Speed-Flow Relationship on Basic Segments of Multilane Motorways in Japan, 87th TRB Annual Meeting, 17 pages, CD-ROM, 2008.1.
- 越 正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和：高速道路のトンネル、サグにおける渋滞現象に関する研究、土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.65-71, 1993.
- 岡村秀樹, 泉 正之：都市間高速道路の交通容量とサービス交通量に関する考察、高速道路と自動車, 第45巻, 第12号, pp.26-35, 2002.12.
- 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(下), 高速道路と自動車, 第44巻 第3号, pp.30-40, 2001.3.
- 20) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 1970.
- 21) 大口 敬 編著, (社)交通工学研究会: 「交通渋滞」徹底解剖, 丸善株式会社, 2005.
- 22) Chung, E., Ohtani, O., Warita, H., Kuwahara, M., Morita, H.: Does Weather Affect Highway Capacity?, Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Transportation Research Board, pp.139-146, 2006.7.
- 23) Jian Xing, 佐藤 久長, 高橋 秀喜, 吉川 良一: 高速道路のボトルネック交通容量分布及び渋滞発生確率の推定, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, pp.49-52, 2006.10.
- 24) 稲野 晃, 中村英樹, 内海泰輔: ボトルネックが連続する区間における渋滞現象の分析, 土木計画学研究・講演集, vol.36, 4ページ, CD-ROM, 2007.11.
- 25) (社)交通工学研究会: 平成17年度道路交通センサス一般交通量調査, 2007.

時間交通需要変動特性を考慮した交通性能照査型道路計画設計法*

内海泰輔**, 中村英樹***

我が国の道路は, 実現する交通性能を十分照査することなく過去に定められた仕様に基づき計画設計されている。今まで以上にコスト・パフォーマンスの高い道路が求められる現在, 筆者らは仕様型ではなく性能照査型の道路計画設計の必要性を提唱している。本論文では, 時間交通需要の変動を考慮し計画設計道路の交通性能を推計する手法を構築し, これを用いた性能照査型の道路計画設計法を提案した。これにより, その道路の機能に応じて求められる性能を確認し道路を計画設計することができる。また予算, 空間等の制約条件の下で, 代替案を比較検討することができ, 合理的な道路構造と交通運用の組合せを選択することも可能となる。

A Methodology of a Traffic-Performance-Oriented Highway Planning and Design Considering Hourly Traffic Demand Fluctuation *

By Taisuke UTSUMI** and Hideki NAKAMURA***

The existing highways in Japan are planned and designed based on the specifications determined in the past. However, economy and improvement of traffic-performance quality are demanded in the highways recently, and the authors have been advocating traffic-performance-oriented highway planning and design. In this paper, a methodology to estimate the traffic-performance of a planned inter-city highway throughout a year was established, and a traffic-performance-oriented highway planning and design methodology was proposed. This methodology provides several options of road cross-sectional design for a planned highway, and makes it possible to adopt the most economical and best performing road structure and traffic operation option based on the latest knowledge.