

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*

A trial argument of planning and design of road network based on the concept of bottlenecks *

大口 敬¹⁾・中村英樹²⁾・森田綽之³⁾・桑原雅夫⁴⁾・尾崎晴男⁵⁾

By Takashi OGUCHI¹⁾, Hideki NAKAMURA²⁾, Hirohisa MORITA³⁾, Masao KUWAHARA⁴⁾ and Haruo OZAKI⁵⁾

1. はじめに

本稿は、交通運用の観点から道路ネットワークの計画と設計の考え方・手順の再構築を考えるきっかけを提示するものである。以下に示す内容は、基本的に筆者らによる試案であり、その有効性・合理性の論証、実証については、今後の課題である。

2. 道路の階層構造と計画設計思想の分離

(1) 「街道」と「街路」

道路の機能上の階層構造は、現行の道路幾何構造設計の基準¹⁾でも定められているが、これを一層明確に定めた上で、それぞれの階層が担うべき機能を適切に実現されるよう交通運用と一体的に道路計画・設計を整理すべきである。また道路はネットワーク施設であり、リンクに当たる「単路部」とノードに当たる「接続部」との両方を有機的・総合的に考慮しなければならない。そもそもまず道路階層構造別に相互接続を許容すべきかどうかを明確に規定すべきである。また、道路階層構造別に相互の接続部の構造と交通制御・交通運用のルールを設けるべきである。こうした概念整理と具体的な道路階層区分の試案については、別稿²⁾にて詳細に議論する。

本稿では、交通運用の観点から道路の機能を分類すると次の2種類に大きく区分されることを提案する。すなわち、狭義の道路(Highway)と街路(Street

& Avenue)である。本稿では、ここでいう狭義の道路(Highway)のことを便宜上『街道』と称す。これは、都市間や地域間、町・集落間などを結ぶもので、主に「通行機能(トラフィック機能)」を担うものである。一方街路とは、都市や町・集落などの内部空間の骨格を形成し、街路の種類がさらに区分されて、トラフィックとアクセス・イグレスの機能を階層的に請け負うことで、ネットワーク全体で機能を果たすべきものである。

(2) 「街路」の計画と設計

ここでは、大都市圏から町や村、小さな集落などにおいて、いずれもその空間的集積に起因する交通行動の時間的集中、すなわち交通混雑の発生は不可避だと考える。ある程度の混雑は都市における機能集中の裏返しであって、正常な都市活動を前提とすれば、都市部の街路はある程度の交通混雑を前提とした計画設計論を組み立てるべきである。しかしこれまでは、明示的に交通混雑を前提とした計画設計手法は提示されてきていない。

一方、一旦「交通渋滞」が発生すると、交通容量超過の累積影響が必ず時間的に後まで影響が残ってしまう。また、ネットワーク上にその影響が広がることで直接関係のない移動者の移動時間を増大させることもある。こうした負の外部効果が生じるため、交通渋滞の発生を極力抑制するような街路の計画設計と交通運用の工夫が必要である。

交通渋滞とは、交通容量上のボトルネックを先頭として、そのボトルネックの交通容量を超過した交通需要が上流側に滞留した交通状態である。広義の都市内街路のボトルネックは、基本的には接続部、すなわち平面交差や立体交差の合流部である。路上駐車や駐車待ち行列などによる渋滞は、適正な交通運用により本来回避されるべきである。したがって、

*キーワード：道路計画，交通流，交通管理，幾何構造設計

¹⁾ 正員，博(工)，首都大学東京 都市環境学部 准教授

(〒192-0397・oguchi-takashi@c.metro-u.ac.jp)

²⁾ 正員，工博，名古屋大学 大学院工学研究科 助教授

³⁾ フェロー，工博，日本大学 総合科学研究所 教授

⁴⁾ 正員，PhD.，東京大学 国際・産学共同研究センター教授

⁵⁾ 正員，博(工)，東洋大学 工学部 教授

こうした街路の接続部の処理能力の計画設計に際して交通需要を考慮すべきであるが、街路の単路の車線数を決めるのに交通需要は必ずしも重要ではない。

街路の中には、アクセス機能に特化した細街路や滞留機能に特化したコミュニティ道路のようなものもある。こうした階層区分においては、交通需要予測や交通渋滞を考慮する必要はなく、むしろ通過などの交通量を徹底的に排除することを担保するような計画設計手法を確立すべきである。

(3) 「街道」の計画と設計

街道は本質的に一つの路線毎に一定のトラフィック機能を担うものである。街道には、山村の集落同士を接続する山岳道路から大都市圏同士を連絡する高速道路までさまざまな階層が存在するが、基本的には都市間・地域間などに発生する交通需要を推計し、この需要に対して階層毎に目標水準の交通サービスを提供できるように計画設計されるべきである。

これは既存の計画設計手法に類似の考え方であるが、既存手法では、種級別に定められた設計基準交通量を用いて道路の車線数決定が主な目的である。しかし交通運用の立場からは、街路の場合と同様に交通渋滞の発生を一定レベルで抑制できるような計画設計をすべきであり、その観点からはボトルネックを明示的に取り扱うことが必要である。

3. 「街路」の計画設計試論

(1) 既存計画設計手法の論理的破綻

交通混雑を前提とする都市部においては、交通需要が潜在化している可能性がある。したがって、単に交通実態を調査しても「真の」交通需要を把握することはできない。また、ネットワーク上のある一つの断面における見かけの交通需要は、実際には上流区間の交通容量で制約されている可能性があり、「真の」交通需要は観測できないおそれがある。したがってこうした交通混雑を前提にすると、『交通調査により現状の交通需要を把握し、これにもとづき将来の交通需要を予測し、これを前提に街路計画設計を定める』、という現行の「需要追従型」の計画設計では論理的に無理がある可能性が高い。

(2) 需要追従型から需要誘導型の計画設計思想へ

コントロールトータルとしての生成交通量、発生集中交通量を考え、各ネットワークのリンク断面に対する真の交通需要()を概念的に考えることはできるかもしれない。一方、潜在化した交通需要を差し引いて現実に観測されるのは、ネットワーク構造やボトルネック条件、信号制御などの交通制御、交通規制や交通情報、通行料金などの影響を受けた「制約された交通需要()」だけである。加えて交通運用の観点からは交通渋滞の発生を考慮する必要があり、ボトルネックとなる街路交差点のピーク特性を考慮した方向別の時間交通量()を考える必要がある。本稿の主張は、「真の」交通需要()を知ることが放棄し、制約された交通需要()のみ観測可能との立場に立ち、さらに計画設計に用いる交通需要条件は、そのうちのピーク時の方向別の時間交通量()とすべきだということである。

典型的なボトルネックとして信号制御平面交差点を考えれば、この とはピーク時の方向別設計時間交通量となる。したがって、ボトルネックの計画設計とは、サービス水準毎のサービス交通流率(そのサービス水準を維持できる最大の交通流率)をあらかじめ設定しておき、これと方向別設計時間交通量()を比較して、交差点の幾何構造と信号制御企画を一体的に計画設計することを意味する。

各ボトルネックで制約された交通量()によって、下流へ到着する制約された交通需要()が与えられ、これを用いて下流の別のボトルネックの計画設計が行われることになる。したがって街路ネットワーク全体を考えると、需要(または)と交通容量(あるいは幾何構造と交通制御の設計内容)の間に相互作用が働く。そのため、こうしたフィードバックを初めから想定した街路ネットワークの計画設計手法を確立する必要がある。こうしたフィードバックを考慮した設計時間交通量()は、交通需要の空間的・計画的誘導を意味するので、いわば「需要誘導型」の計画設計思想といえよう。

(3) 街路における設計時間交通量の設定

簡単のため全てのボトルネックは平面交差点と考える。需要予測の不確定性と交通運用状態に応じた潜在交通需要の顕在化の可能性を考慮して、交差点

分岐率には一定の範囲の変動を許容すべきである。したがってボトルネック平面交差点の幾何構造と信号制御企画を一体的に計画設計するにあたっては、こうした変動範囲を許容するべきであろう。

その上で計画設計上想定すべき設計時間交通量()は、ボトルネック平面交差点への各流入部の単路街路断面が許容できる最大値をベースとすべきであろう。ボトルネック交差点でこうした設計をおけば、非ボトルネック交差点については余裕があるので、その余裕の範囲内で遅れ最小化などの指標で別途計画設計を行えばよい。

(4) 街路の計画設計手順試案

第1ステップでは、ボトルネック交差点を対象として、幾何構造と信号制御企画に関するある一つの設計条件に対して、交差点の需要率(各現示の需要率(方向別の需要と飽和交通流率の比率の最大値)の総和) が、一定の範囲の制約条件(たとえば0.8)を満たすことを確認する。ここで各流入部では(3)に示した許容最大交通量を考慮し、また分岐率が許容範囲で変動しても上記の制約条件を満たすことを確認する。この条件を満たさなければ、幾何構造や信号制御企画を再設計しなければならない。

第2ステップでは、にもとづいて現実的な範囲で共通サイクル長 C を決定する。非ボトルネック交差点においては、この共通サイクル長を所与として、幾何構造や信号制御企画を設計する。

第3ステップでは、交差点密度やサイクル長などを説明変数として一定の街路区間の旅行速度を算定できる関数関係を用いて、街路区間のサービス水準(旅行速度)を評価する。なお交差点間のオフセットは最適化されているものとする。また、あらかじめ交差点間距離や街路の階層毎の街路ネットワークの最大密度などには計画上の制約を与えておく。こうした前提と制約条件のもとであれば、今後の実証分析を通して、旅行時間を一定の精度で推定する関数関係を導出できるものと考えている。

4. 「街道」の計画設計試論

(1) ボトルネックと非ボトルネックの交通運用性能
街道の場合は、交通需要推定とこれに対して一定

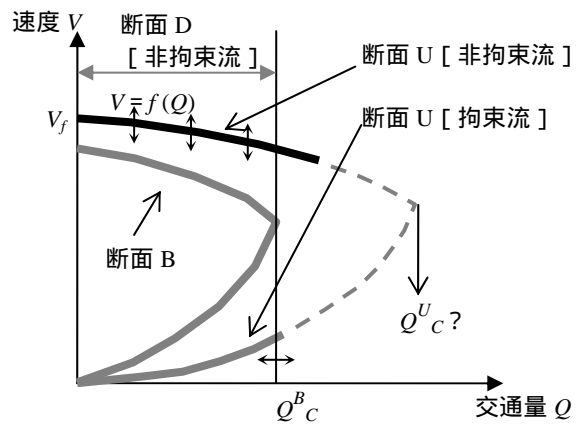


図1 ボトルネックと非ボトルネックの交通現象

のサービス水準を実現できるような設計を考える点で、既存の計画設計手順と基本的に同じ「需要追従型」の手順を踏襲する。ただし、ボトルネックの交通容量と比較するため、交通需要はピーク1時間の時間交通量を用いる。一方、ボトルネック以外の区間では交通容量を知る必要もないし、そもそもこうした区間の交通容量を知る方法も無いのである。

図1は交通量(Q)と速度(V)の関係(Q - V 関係)を表す。ボトルネックとの相対的な位置関係によって、この Q - V 空間のうち観測可能な領域は異なる。ボトルネック断面(断面B)では、そのボトルネックの交通容量(Q^B_c)以下の任意の交通量の交通状態に対して、拘束流(渋滞流)と非拘束流(非渋滞流)の2つの交通流状態が観測可能である。最低でも交通需要を満たすように Q^B_c は計画設計される必要がある。

一方ボトルネック上流断面(断面U)では、下流側のボトルネック交通容量(Q^B_c)よりも等しいか小さい交通量の交通状態しか実現せず(厳密には非拘束流側で Q^B_c を超過する交通流状態が過渡的に観測される)、その断面の交通容量(Q^U_c)は実現しない。実現可能な交通量 Q は $0 \leq Q \leq Q^B_c$ であり、断面Uにおける交通容量を実証的に知る方法は無い。現行のマニュアル^{3), 4)}ではこの点の扱いが不明確であるが、このようなボトルネックと非ボトルネックの峻別は重要な視点であると考えられる。

ほとんどの道路区間である非ボトルネックの交通運用性能を評価する上で重要なのは、任意の道路幾何構造条件に対して、 $0 \leq Q \leq Q^B_c$ の範囲の非拘束流状態の $V=f(Q)$ の関数関係を知ることである。たとえば狭い車線幅員では Q に対する V がどのように低

下するか、その低下量は Q_0 と Q_c^B の場合でどれほど異なるのか、側方余裕、車線数、大型車混入率、縦断勾配などさまざまな条件による関数 $f(Q)$ の形状を知る必要がある。現行マニュアル^{3), 4)}においても、交通容量やサービス交通流率を補正係数により補正する思想は存在する。しかし非ボトルネック区間において重要なのは、ボトルネック交通容量によりピーク時交通量は規定されるので、その交通量に対して道路階層毎に設定される目標サービス水準(旅行速度)を確保できるような、幾何構造・車線運用などの許容範囲を知ることである。

特に往復2車線道路における対向交通量や幅員の影響は多車線道路とは大きく様相が異なる。往復2車線道路では関数 $f(Q)$ の形が複雑に不連続・非線形な特性を呈し、安定性の大幅な低下が予想される。現行マニュアル^{3), 4)}においては、往復2車線道路については往復交通量にもとづいて扱われる。しかしボトルネックの交通容量は方向別のピーク1時間交通量で評価されるので、非ボトルネックにおいても方向別にサービス水準を評価しなければならない。

(2) 設計時間交通量の取り扱い

計画設計上は、ピーク時間帯の時間交通量を用いるべきであろう。我が国の現行のマニュアル³⁾では、年間8760時間中30番目交通量(上からの累積分布の $30 \div 8760 = 0.34$ パーセントイル値)を設計時間交通量としているが、一般化してN番目交通量と考える。街道にはさまざまな道路階層があり、また平日の業務交通が多い路線、休日の観光・行楽交通が多い路線、特定時期に交通が集中する路線など交通特性もさまざまである。こうした道路階層別・交通特性別に時間交通量の変動特性を分析し、累積分布曲線の変化率を手がかりにN番目を定める手法を開発すべきである。ただし交通渋滞が発生すると、ボトルネックで制約された交通量しか観測されず、特にボトルネック下流側では図1の断面Dに相当するような非拘束流しか観測されないため、交通渋滞の発生を直接知ることができない。実証分析においては、こうした点に十分に気をつける必要がある。

(3) 大都市圏の都市内専用道のような幹線網

この分類階層は特殊であり、機能としては「街

道」であるが、交通需要が潜在化しやすい点は「街路」に近い。ネットワーク全体で高いトラフィック機能が要求されると同時に、対象都市圏を通過する交通(外外交通)を外縁部の環状路線へ迂回させて内部へ入れないような計画設計・交通運用手法が要求される。計画設計思想上は都市内街路と同様に需要誘導型であるべきだが、ネットワーク状の「街道」として一定水準の交通サービスも求められる。

この場合は、次のような計画設計の基本方針を提案する。まず内外交通需要の予測をベースとして、方面別および外縁部から内部へ流入する各経路へ概略の分布交通量を設定し、これに対して基本道路断面として往復4車線の専用道でネットワーク構造を計画する。これでも交通集中が起こる場合は、往復6車線、8車線などの断面構造を変更する。ただし無駄に過大な構造とならないための検証枠組みも必要である。その上で接続部の許容幾何構造制約や内々交通量などの条件を加味して、さらに詳細なサービス水準を評価し、必要に応じてネットワーク構造計画にフィードバックさせて計画設計を行う。

この提案手法の特徴は、ネットワークリンクに個別に配分される交通量に大きく依存しないことと、初めから往復4車線専用道をベースとして、ネットワーク構造の計画を重視する点にある。

4. おわりに

本稿は、セッション会場での議論の端緒となるべき試論であり、詳細の論理の詰めはこれからの課題である。また、多くの方の協力で必要な実証分析を強力に推進していくことができれば、新たな計画設計論を構築できるものと期待される。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2004.
- 2) 中村英樹, 大口敬, 森田倬之, 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, No.31, CD-ROM, 2005.
- 3) 日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.
- 4) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 2000, 2000.