

首都高速道路におけるボトルネック判定手法構築に関する一考察*

Development of Bottleneck Identification Algorithm for Metropolitan Expressways *

船岡 直樹**・割田 博***・桑原 雅夫****・佐藤 光*****・岡田 知朗*****
By Naoki FUNAOKA**・Hiroshi WARITA***・Masao KUWAHARA****・
Kou SATOU*****・Tomoaki OKADA*****

1. はじめに

一般に高速道路で「渋滞」と言われている交通状況は、情報提供のために、道路管理者が便宜的に設定した速度判定に拠るものであり、交通工学（現象）的な意味での「渋滞」とは似て非なるものである。

当然のことながら、ボトルネック（以下、BN）は渋滞の先頭に存在するものであり、交通容量が前後区間で最も小さい箇所である。しかしながら、この似て非なる状態が誤解を生むこともあり、渋滞対策と称するもののうち、少なからずの事例が、前者の「渋滞」の先頭をBNと捉えて実施されている。これは、BNを対象に容量増加対策を実施していることとは異なり、期待する渋滞削減効果の発現に至らない場合がある。

一方、リアルタイムシミュレーション（以下、RTS）における基礎データとして、事前に恒常的なBNを把握し、当該箇所を通過する車両の利用入口を把握することは、適切な流入制御支援のために不可欠な項目である。更に、交通事故や故障車、落下物等の影響による突発的なBNを迅速に把握・判定することも、RTSによる的確な情報提供や流入制御施策を実施する上で貢献度は大きい。

しかしながら、BNの詳細な交通挙動やBNを主観的（視覚的）に判断する手法は報告されているものの、定量的に判断する指標は殆ど見当たらない。

そこで、本研究では既往の研究をレビューしつつ、首都高速道路を対象に、恒常的・突発的、両者の場合のBN特定の意義と手法構築について考察する。

2. 恒常的ボトルネックの判定手法

(1) 恒常的ボトルネックの交通現象

割田ら¹⁾は、首都高速道路におけるBN付近のビデオ観測データを用いた分析により、BN付近では通過交通量の増加に伴い、個々の車両の挙動が上流側の交通に大きな影響を及ぼし、渋滞に至っていることを報告している。例えば、6号向島線箱崎ロータリー合流部付近では、カーブでの減速、車線変更車両や目標速度が相対的に低い車両とその後続車両との車頭距離が減少することにより、衝撃波が発生し上流に伝播する。即ち、BNは渋滞の原因となる箇所であり、その影響を受け著しい速度低下が発生する地点はBNとは言えない。

割田ら²⁾やWatanabeら³⁾は、車両感知器の交通量と速度の相関関係から見た場合も、BNは渋滞区間の最下流端であるため、事故或いは工事渋滞時のデータを除けば、非渋滞域と臨界域（BN容量の変動領域であるキャパシティボール”Capacity Ball”が出現）に車両感知器データの分布が限定され、渋滞域にはほぼ分布しないことを指摘している。（図-1）また、Capacity Ballの変動領域は、天候、曜日、時間帯等の動的条件によって異なっており、BN容量は各種要因によって変動することが、明らかとなっている。

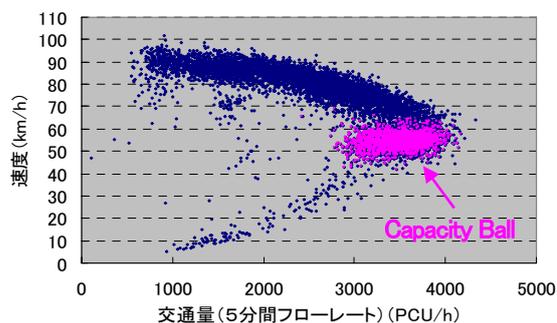


図-1 5号池袋線(下り)護国寺出口直近上流(4.57kp)

※集計期間:2003.4.1~同4.30

(2) 恒常的ボトルネックの判定意義

現在、首都高速道路の交通管制システムではRTS⁴⁾によるオンライン短期予測の実施を検討している⁵⁾。この基礎データとして正確なBNの位置とBN容量を把握するこ

*キーワード: 交通容量、交通制御、交通管理、交通情報
**工修、パシフィックコンサルタンツ株式会社
(東京都新宿区西新宿二丁目7番1号新宿第一生命ビル、
TEL:03-3344-1219 FAX:03-3344-1887)
***正員、工博、東京大学 生産技術研究所
(東京都目黒区駒場4-6-1、TEL:03-5452-6419 FAX:03-5452-6420)
****正員、Ph.D、東京大学 国際・産学共同研究センター
(東京都目黒区駒場4-6-1、TEL:03-5452-6419 FAX:03-5452-6420)
*****正員、理学、パシフィックコンサルタンツ株式会社
(東京都多摩市関戸一丁目7番地5(せいせきC館)、
TEL:042-372-6159 FAX:042-372-2155)
*****M.E.、首都高速道路株式会社
(東京都千代田区霞が関1-4-1、
TEL:03-3539-9506 FAX:03-3502-5676)

進行方向

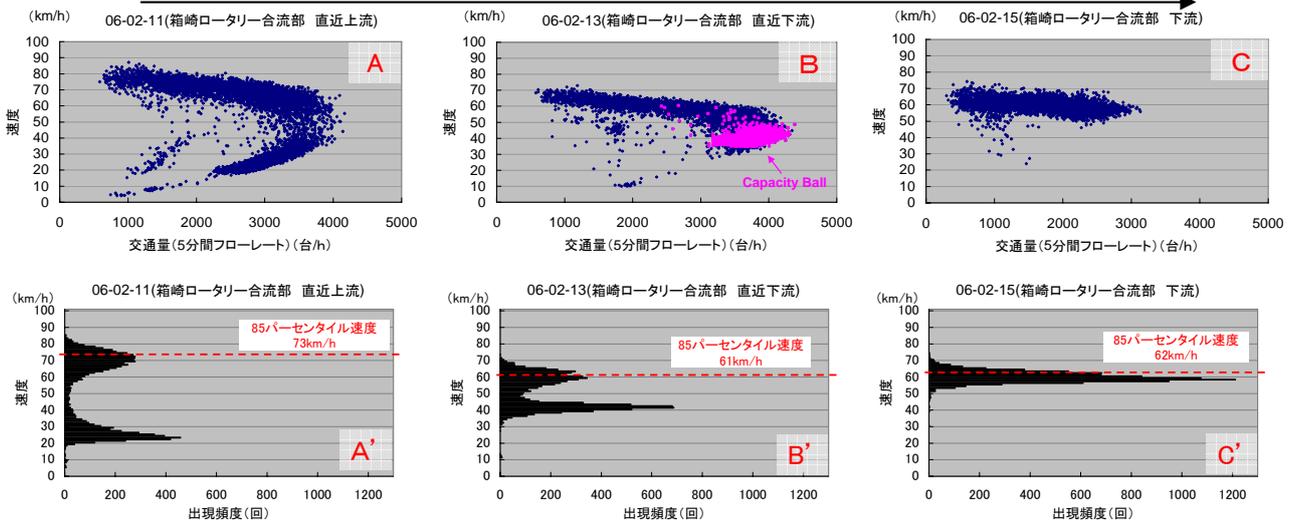


図-2 6号向島線箱崎ロータリー合流部付近のQV相関図と速度の頻度分布
※集計期間 2003.10.1～同 10.31

とは、RTSの将来予測において最重要課題の一つである。しかし、冒頭に述べたとおり、現在は誤った箇所をBNと設定する危険性がある。そこで、RTSの将来予測の精緻化を目指し、BN箇所の判定を主観的（視覚的）な判断に頼らず、論理的（客観的）に判断する手法を構築する。

(3) 主観的（視覚的）アプローチ

一般的なBN付近の交通量と速度の相関関係は以下のとおりである。

- ◆ BN 上流：交通容量に達しない状態でボトルネックから渋滞が延伸するために人の字型となっている。(図-2-A)
- ◆ BN：渋滞の発生頻度が少なく、臨界速度付近での交通量のバラつきにより楕円形の塊（Capacity Ball）が出現している。(図-2-B)
- ◆ BN 下流：渋滞の発生が殆ど見られない。(図-2-C)

(4) 論理的（客観的）アプローチ

BNを定量的に判断する手法として、速度の出現頻度と自由流時の速度とを組み合わせた手法でのアプローチを試みた。

臨界速度の判定手法としては速度の出現頻度の関係を用いたものが有名である^{6) 7)}が、本研究では、BN位置と速度の出現頻度の多少から生ずる形状との関係に着目した。BNの前後区間の速度の出現頻度（形状）の特徴を以下に示す。

- ◆ BN上流：比較的高い速度域と低い速度域にて、2つのピークが出現する。(図-2-A')
- ◆ BN：高い速度域と低い速度域の2つのピークの頂点の速度差が小さい（近い）。(図-2-B')

- ◆ BN下流：渋滞の発生がほとんど見られないため、高い速度域のピークが1つのみ出現する。(図-2-C')

上記の特徴と自由流時の速度（85パーセンタイル速度⁸⁾とを組み合わせ、以下に示す恒常的BNの判定手法を考察した。

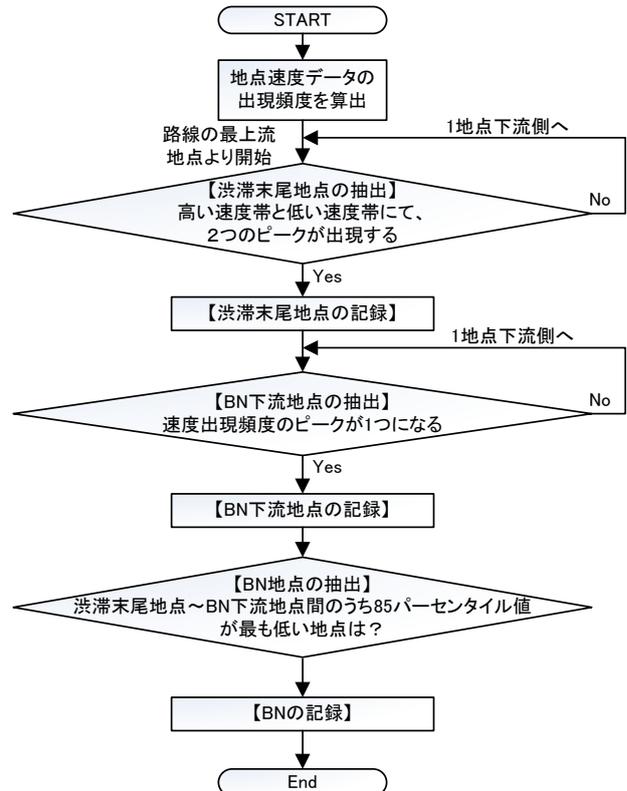


図-3 BN判定手順

判定の結果、06-02-13地点が恒常的BNと判定された。これは、QV相関図による主観的（視覚的）判定とも一致し、論理的（客観的）な判定手法の適用の可能性を示している。

3. 突発的ボトルネックの判定手法

(1) 突発的ボトルネックの交通現象

突発的BNとは、事故、故障車、道路障害物等の突発事象発生により渋滞が発生した場合の先頭地点を意味する。突発的BNの場合、恒常的BNと比較するとBN箇所は明らかであり、事故車・故障車の停止箇所（または、それに伴う処理作業箇所）、見物渋滞の場合は対向路線の突発事象視認位置であることが多い。

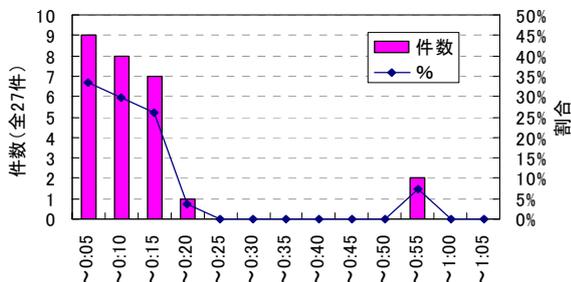
(2) 突発的ボトルネック判定の意義

突発事象のうち事故を例に見ると、首都高速道路では年間約13,000件の事故が発生しており⁹⁾、深夜等の需要交通量の少ない時間帯を除き、殆どの場合に事故渋滞を誘発し、恒常的な渋滞に加えてサービス水準の低下をもたらしている。

一方、前章でも述べたように、首都高速道路の交通管制システムでは、RTSによるオンライン短期予測を開発中であるが、その活用方法として、突発事象発生時の交通状況や旅行時間予測情報の提供、更には突発事象時における交通管理手法（例えば、流入制御）等を検討中である。そのため、突発的渋滞の先頭位置（突発的BN）を的確・迅速に判定する必要がある。但し、突発的BNの判定とは、突発事象の判定とは異なり、突発事象発生時に渋滞を発生させた場合の先頭地点の判定を意味していることを付け加えておく。

しかし現在の交通管制システムでは、突発事象が発生した場合、外部（交通管制室）からの異常事象イベント登録がされないと、突発的BNとして設定されない仕様になっている。事故を例に実態を見ると、事故発生から事故登録までには、10分以上の登録遅れが1/3程度存在する。

(図-4) この間はRTS上で将来予測が的確に出来ず、旅行時間予測の誤差も大きく生じる。



※サンプルデータ：2003年高専川口線下り事故渋滞を伴う事故
 ※事故発生時刻の特定は、直前の時空間の感知器データより交通量が概ね30台/5分以下、または速度が概ね20km/h以下の時間帯とした。

図-4 事故登録遅れ時間

そこで、突発的渋滞の先頭位置を的確・迅速に判定するアルゴリズム（突発的BN判定）をRTSに組み込むことにより、交通状況予測、旅行時間情報提供精度向上に大きく貢献できると考えている。

突発的BN判定後、解消までの基本的な考え方は図-5に示すとおりである。事象発生によりBNが顕在化した際には、その時点で車両感知器から収集した実測交通量を突発的BN容量と設定する。予測処理時間内でこの突発的BN容量は一定であると考え、これを収集周期毎に更新する。処理時間の予測¹⁰⁾に関しては、稲富らにより現在研究中である。

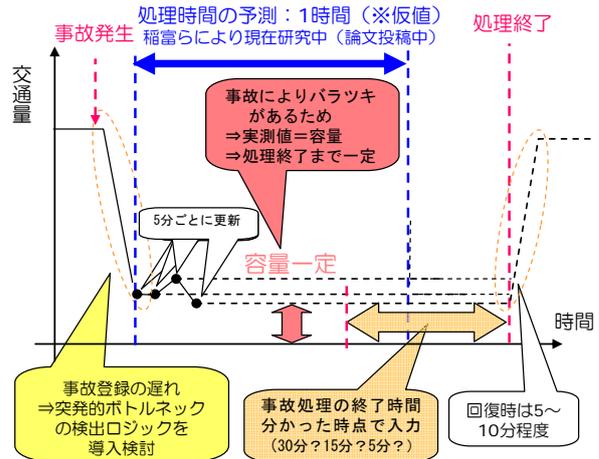


図-5 事故時の交通容量設定イメージ

(3) 主観的（視覚的）アプローチ

突発的BNの判定は、図-6に示すように、時空間に連続した速度状況図から前時間・前後の地点(または区間)との速度変化状況を用いて、突発的BNの判定を行う。

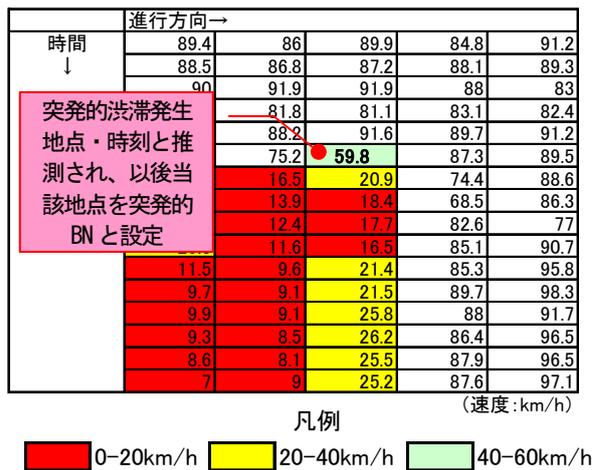


図-6 速度状況図イメージ

(4) 客観的（論理的）アプローチ

前項での判定を図-7に示すようなロジックに基づいて現在検討中である。基本的なロジックとしては、当該時刻の直前の時間帯との速度差がある閾値 (Vb) 以上あ

るか、当該地点（または区間）の直下流の地点（または区間）との速度差がある閾値（Vd）以上あるかという、時間的・空間的な速度変化の状況を組み合わせることで突発的BNの判定を行うものである。図-7は当日の交通状況のみを考慮したロジックであるが、統計値と当日の交通状況を比較する等のロジックも併せて検討中である。更に、突発的BN判定時には、交通管制室への突発事象発生アラームの発報と、RTSにて突発的BNの設定を併せて行うことを念頭に現在研究中である。

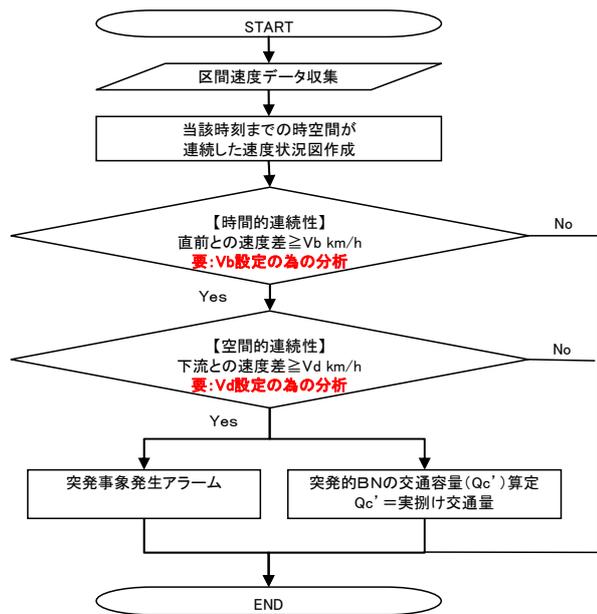


図-7 (当日の交通状況のみを考慮した) 突発的BNの検出と容量設定手順イメージ

4. おわりに

本論文では、ボトルネックを定量的に判断する手法を恒常的・突発的に分け、それぞれの判定手法の適用の可能性を考察した。

恒常的BNの判定については、以下の2つの手法を組み合わせる手法を考察した。

- ◆ BNの前後での速度の出現頻度のピークの状況
- ◆ 自由流時の速度

ただし、本論文では、特定箇所における判定手法を考察したに過ぎないため、今後は適用事例を増やし、本手法の妥当性を検証する必要があると考えている。

突発的BNの判定については、以下の2つの手法を組み合わせる手法を考察した。

- ◆ 時間的な速度変化
- ◆ 空間的な速度変化

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- ◆ 自由流時の判定に加え、渋滞流時の判定
- ◆ 突発的BN解消時の判定手法の分析

突発的BN発生時の交通状況については、処理時間の予測¹⁰⁾と併せ、交通状況予測、旅行時間情報提供精度向上を目指し、現在研究中である。

上記のように、本研究はまだ発展途上であるため、必要となる感知器の精度の整理を始め、今後の課題は多く存在する。これらの課題を踏まえ研究を進めることにより、恒常的・突発的の両BNの判定手法を活かし、首都高速道路で現在開発中のRTSを用いた交通管制システムの交通状況予測、旅行時間情報提供精度向上への貢献を目指すものである。

謝辞

本研究は、首都高速道路の「新しいリアルタイムネットワークシミュレーション研究WG」の一環として遂行しているものである。研究遂行に際し、京都大学：吉井稔准教授、首都大学東京：小根山裕之准教授、株式会社アイ・トランスポート・ラボ：堀口良太氏らから貴重な助言を得た。ここに記し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 堀口良太: 「都市高速道路における画像解析手法を用いた渋滞発生メカニズムの詳細分析」, 交通工学, Vol42, No.3, 2007.
- 2) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田緯之: 「首都高速道路におけるキャパシティボールの抽出とその特性分析」, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, 2004.
- 3) K. Watanabe, H. Akahane, H. Warita and H. Okamura: Identification of Capacity Balls and Analysis of Affectors of Capacity on Metropolitan Expressway, The 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, 2006.7.
- 4) 白石智良, 桑原雅夫, 堀口良太: 「リアルタイム予測交通流シミュレーションシステムの開発」, 土木計画学研究・講演集, Vol30, 2004.
- 5) 交通工学研究会: 「リアルタイムネットワークシミュレーションに関わる研究(平成18年度)報告書」, 2007.
- 6) 赤羽弘和, 越正毅: 「渋滞検出閾値のオンライン設定方法」, 土木学会第42回年次学術講演会概要集, 第IV部門, pp.70 - 71, 1987.
- 7) 交通工学研究会: 交通容量データブック, 丸善, 2006.
- 8) H. Warita, H. Okamura, H. Morita and M. Kuwahara and Edward Chung: Analysis of Road Potential and Bottlenecks Based on Operating Speed, International Journal of ITS Research, Vol.4, No.1, pp.39-46, 2006.12.
- 9) 首都高速道路株式会社HP <http://www.shutoko.jp/>
- 10) 稲富貴久, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光, 岡田知朗: 「首都高速道路における事故処理時間予測に関する研究」, 第36回土木計画学研究発表会(投稿中)