

ボトルネック上流における車線利用率の矯正効果と 付加車線設置形態

Auxiliary Lane Configuration

Controlling Traffic Lane Distribution at the Upstream of a Bottleneck

大口 敬*

桑原雅夫**

赤羽弘和***

渡邊 亨****

高速道路単路部におけるボトルネック対策として車線利用率の是正を狙った付加車線設置方策がある。我が国では外側付加・外側絞込みによる「登坂車線方式」が一般的である。本稿では、付加車線の設置形態について特に交通量レベルの高い状況における交通運用上の得失を交通容量上と交通安全上の観点から考察する。また実証分析を通して、片側2車線高速道路に内側付加・外側絞込み形式の付加車線を設置した区間では、車線利用率は区間内ではほぼ一定で通常の片側3車線区間と等しいこと、中央車線が外側車線と内側車線の利用率を緩衝する働きを持つことが明らかとなった。実際に車線利用率の偏り是正を狙って付加車線を設置している区間を対象に、登坂車線方式と内側付加・外側絞込み方式の付加車線による車線利用率の是正効果を試算したところ、前者の方式よりも後者の方式が是正効果が大きいことが示された。

キーワード 高速道路単路部ボトルネック、付加車線、車線利用率

1. はじめに

高速道路の単路部である縦断線形のサグ部(凹部)とトンネル入口付近が、交通容量上のボトルネックとなって交通渋滞が発生することは、我が国では広く知られている^{1)~3)}。サグやトンネルで渋滞発生前のような高い交通量レベルでは、内側車線と隣接車線との間に速度差が生じ、内側車線に車線利用率が著しく偏る傾向がある^{4),5)}。図-1は片側2車線高速道路の断面交通量と車線利用率の関係の典型例、図-2は片側3車線の場合の典型例を示している。図より、片側2車線では約1,500[台/時]、片側3車線では約3,500[台/時]程度の交通量レベルを超えると、他の車線と比較して内側車線利用率が最も高くなり、内側車線利用率は片側2車線では最大6割強、片側3車線では4割強程度まで達することがわかる。なお本稿で

は、車線数、付加車線設置形態や付加車線区間であるかどうかにかかわらず、車線の呼び方を内側車線・中央車線(片側2車線では存在しない)・外側車線と統一して呼ぶことにする。

内側車線に形成される密で大きな車群の中では、微少な速度擾乱が減速波となって上流へ増幅伝播して渋滞発生を引き金となる。一旦渋滞すると、車線利用率は渋滞中はほぼ均等となる。ボトルネックから発進した交通流は下流区間では再び自由流状態へ速度を回復し、再び内側車線へ利用率の偏りが生じる。近年、高速道路単路部ボトルネックの渋滞対策として、こうした内側車線への利用率の偏りの是正または車群の拡散(整流化)を狙った付加車線設置の有効性が明らかとなり^{6),7)}、実施例も増えている。しかし車線利用率の是正効果は、付加車線長がある程度長くないと現れないが

* 東京都立大学大学院工学研究科助教授 (TEL: 0426-77-1111, Email: oguchi-takeshi@c.metro-u.ac.jp)
** 東京大学生産技術研究所教授
*** 千葉工業大学工学部教授
**** 日本道路公団試験研究所交通環境部交通研究室長

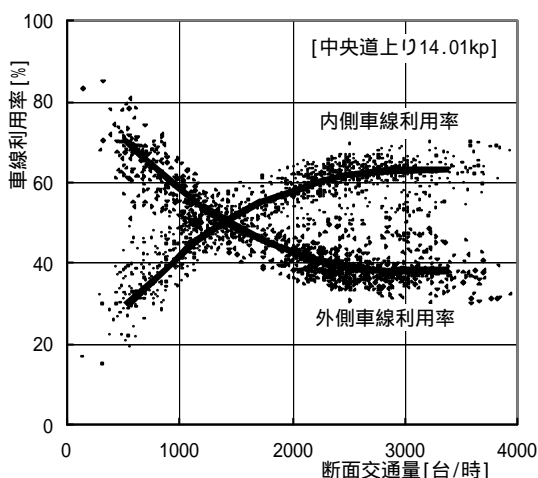


図-1 片側 2 車線の交通量と車線利用率の例

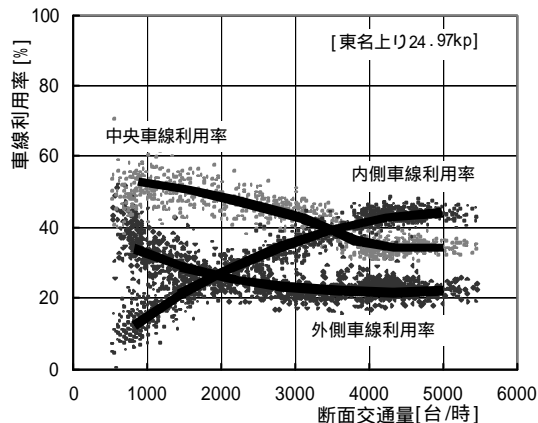


図-2 片側 3 車線の交通量と車線利用率の例

長くなるほど効果は逓減するであろう。付加車線長と車線利用率は正効果の関係は、交通量レベル、車種構成、縦断線形、平面線形など様々な要因に影響されるであろうが、その定量的関係は明らかではない。

トンネル部や橋梁であること多いサグ部に付加車線を設置することは構造的に容易ではないが、付加車線終端よりも下流部であっても車線利用率の是正効果はある程度持続するため、サグやトンネルより上流に付加車線を設置しても渋滞発生を抑制できる可能性があり、実例も存在する⁷⁾。しかし付加車線終端から下流区間の距離(以下「離隔距離」と車線利用率は正効果の維持・減少量との定量的関係は明らかではない。

我が国では、こうした効果を期待して設置される付加車線はいずれも登坂車線方式(外側付加方式)である。しかし、技術的には付加車線始端での付加方向(内側付加/外側付加)、終端での絞込み方向(内側絞込み/外側絞込み)により複数の設置方式を考えることができる。車線利用率は正効果や安全走行など、総合的観点から交通運用上最も望ましい付加車線の設置形態については、十分に議論が尽くされているとは言い難く、実証的検討も進んでいない。

本研究は、交通運用上考えられる付加車線の設置形態とその効果を技術的に検討すると共に、設置形態が車線利用率と車群形成へ与える影響を、既存の区間で観測された実証データに基づいて定量的に分析する。また、付加車線の設置形態の違いによる単路部渋滞対策効果の違いの試算を通して、交通運用上望ましい付加車線の設置形態のあり方について検討する。

2. 付加車線設置形態と交通運用上の問題

2.1 我が国における既存の付加車線

我が国における高速道路の主な付加車線方式には、上り坂勾配部における登坂(付加)車線方式と片側 1 車線の暫定供用区間における追越(付加)車線方式の 2 つがある。

登坂(付加)車線は、通常車両の走行に支障を来たさないよう登坂部で速度低下する大型車等が避譲するための車線である。低速車両は外側車線走行が原則であるため、登坂(付加)車線は外側に設置される。大型車混入率と縦断勾配の大きさと区間長に応じて登坂車線の開始位置と付加車線区間長が決定され、登坂車線は登坂部が交通容量上のボトルネックとならないように、交通需要が比較的高い状態でも登坂部のサービス水準をある程度維持できるように設置される。

追越しの禁止された片側 1 車線区間では、希望速度の高い車両が低速車両の後ろに集まるので、高速車両が低速車両を追越すために追越(付加)車線が設置される。追越し行動は内側車線へ車線変更して追抜いた後外側車線へ戻るのが原則であるから、追越(付加)車線は内側に設置される。追抜

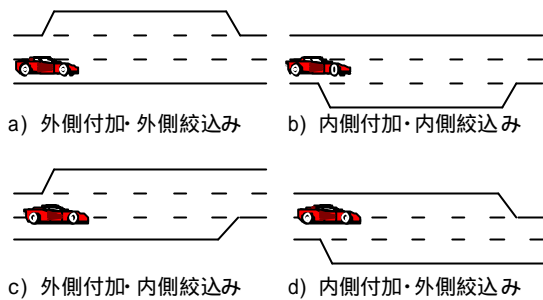


図-3 付加車線の設置形態

きに要する距離と元の車線へ戻る時に後方車両との安全車間の確保に必要な距離を合わせたものが必要最小の区間長となる。このような追越(付加)車線は自由走行時の高いサービス水準の維持が目的である。高速道路は片側多車線が原則のところ敢えて片側1車線で暫定供用するのは、予測交通需要量が極めて少ないためであり、実際の交通量レベルが高いためにサービス水準が低下するようであれば、速やかに片側多車線で正規供用するのが原則である。

2.2 付加車線の設置形態

図-3は、片側2車線高速道路を例に、付加車線の設置方法として考え得る組合せを示している。付加車線の始端には、外側に付加車線を設置する形態(低速車両の避譲車線を左へ付加)と、内側に付加車線を設置する形態(高速車両の追越車線を右へ付加)とが考えられる。付加車線の終端には、内側車線を絞って外側車線を残す形態(高速車両が追越しを完了後左へ車線変更する方向に絞る)と、外側車線を絞って内側車線を残す形態(低速車両が速度回復して右へ車線変更する方向へ絞る)とが考えられる。つまり付加車線の始端と終端の形状にそれぞれ2通りあるので、全部で図-3のa)~d)の4通りの形態が考えられる。

図-3のa)は前述の登坂(付加)車線方式であり、交通需要の高い状況でサービス水準の低下を防ぐ効果があり、広く一般的な設置形態である。付加車線始端では低速車両はバックミラーを見る必要無しに外側付加車線へ移行することができ、終端ではバックミラーで後方を確認しながら通常のランプ合流部などでよく慣れている合流挙動で右側

車線へ移行すればよい。しかし高い交通量レベルにおける内側車線に偏る車線利用率の是正効果を考えた場合、付加車線が車線利用率の高い車線に隣接していないため、間接的に車線数増大による1車線当りの負荷の軽減効果として内側車線の利用率低下を生み出すものと考えられる。

図-3のb)は前述の暫定供用の片側1車線区間における追越(付加)車線方式と同じ形態である。これは想定通りの低い交通量レベルで運用される場合の暫定供用片側1車線道路のように、交通需要の少ない区間でサービス水準を高く維持する方策としては有効であり、走行の自由度の高い高速車両が低速車両を追越す行動と同じ方向に付加車線が設置されるため、最も合理的と考えられる。高い交通量レベルでは、内側車線の利用率が高くなるため、始端で内側に車線を付加することは直接的にこの利用率を減少させる効果が期待できる。しかし付加車線区間内では中央車線と内側車線を合わせた利用率は通常区間の内側車線利用率と同等かやや高くなることも想定され、終端で内側車線を絞込むと交通容量上のボトルネックとなる可能性がある。始端で高速車両はバックミラーを見る必要無しに内側車線へ移行できるが、追抜き後の安全確保のために付加車線区間長を長く取る必要がある。終端で内側車線走行車両は比較的高速な走行状態でかつバックミラーで後方を確認しながら中央車線へ移行しなければならず、安全上の問題も大きい。従って図-3のb)の設置形態は、交通量レベルが高くなる可能性のある道路区間では、特に付加車線終端において交通容量上も交通安全上も問題がある。

図-3のc)は、付加車線始端はa)の形態と同じため車線利用率の偏り是正効果は間接効果に止まり、付加車線終端はb)の形態と同じで容量上・安全上の問題が懸念される。従って交通運用上は最も望ましくない付加車線の設置形態であると言え、事故や緊急工事による車線規制時などを除いて、通常はこのような交通運用が行われることはない。

図-3のd)の場合は、付加車線始端はb)と同じ形態で、偏った内側車線の交通量を直接的に分散させるため効果的であると共に、安全上も特に問

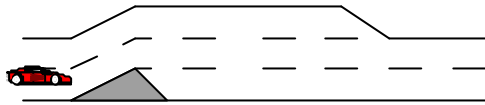


図-4 内側付加・外側絞込みの設置形態 d) の場合の本線の外側シフト

題は生じない。一方終端は a) と同じ形態で、相対的に低速走行をしている外側車線を絞っているため、通常のランプ合流部などと同じくバックミラーを見ながら右側への車線移行となり、安全上の問題も特に生じない。終端部における交通容量上の問題も、b)、c) に比べると原理的には生じにくいはずである。従って d) の設置形態は交通レベルの高い状態では交通運用上最も合理的であると言える。この形態では、付加車線上流から外側車線を走行している比較的低速な車両が付加車線終端で右側へ車線移行を強いられることになる。

我が国の高速道路では、片側 1 車線暫定供用区間のほんの一部で例外的に d) の設置形態が存在するのみで、片側多車線区間では例がなく、慣れるまで多少ドライバが混乱する可能性がある。また新たな付加車線用地は既存車線の内側に確保できず外側に確保されることが多いため、d) の設置形態の実現のために図-4 のように本線を外側へシフトする必要が生じ、すりつけに必要な長さだけ運用可能な付加車線区間長が短くなる。しかし a) や b) の設置形態では付加車線を利用する車両が 2 回車線変更する必要があるが、d) の設置形態では必然的な車線変更は外側車線から中央車線への 1 回だけであり、この車線移行に必要な長さだけあれば、車線利用率の是正効果は区間長にはあまり依存しないものと考えられる。

なお海外では、登坂車線は a) か b) の設置形態、往復 2 車線道路の追越車線は b) の設置形態を取ることが一般的であるが、カナダでは追越車線の設計指針に d) の形態が示されている⁸⁾。ただし海外では、片側多車線道路に付加車線を設置することや車線利用率の偏り是正効果を目的とした付加車線設置については検討されていないようである。

以下では、付加車線設置形態として、交通レベルの高い状態では最も合理的と考えられる「追

越車線方式(内側付加・外側絞込み：d))」と、これまで我が国で最も一般的に運用されてきた「登坂車線方式(外側付加・外側絞込み：a))」とを比較し、主に車線利用率の偏り是正効果と車群拡散の観点からそれぞれの得失を検討する。

3. 実証データの収集

3.1 車線利用率の空間変化

付加車線の設置位置がボトルネックの上流であっても、付加車線終端からボトルネックまでが近ければ車線利用率の是正効果を見込むことができる。この効果の範囲を定量的に把握するために、車線利用率がほぼ均等化する単路部ボトルネック先頭位置からの発進流に着目し、ボトルネック先頭から下流に距離が離れるにつれて内側車線利用率の偏りが再び生じる様子を、実際のボトルネック先頭位置から下流の何箇所かの断面で交通流を観測して調査を行う。

片側 2 車線高速道路のボトルネックとして中央道下り元八王子 BS 付近を対象とし、平成 11 年 10 月 9 日(土)にここで渋滞が発生した後の午前 7 時頃から約 1 時間、下流約 3km 区間の 5 箇所の断面で観測を行った。片側 3 車線高速道路のボトルネックとして東名高速道路上り綾瀬 BS 付近を対象とし、平成 11 年 9 月 12 日(日)にここで渋滞発生した後の午後 4 時頃から約 1 時間、下流約 3km 区間の 6 箇所の断面で観測を行った。いずれもボトルネックで渋滞が十分に安定したことを確認した後、各断面に配置された調査員が各車両の通過時刻をパソコンのキーを押した時刻を記録できるプログラムを用いて記録した。なお一部の断面ではビデオ撮影による調査を行い、後日研究室内でこれを再生して同じ方法で通過時刻を記録した。

中央道下り元八王子 BS 付近ボトルネック(片側 2 車線)では、渋滞発生後の車列の先頭位置は 32.0kp 付近で、その下流では徐々に速度が回復して自由流状態となる。観測時間帯の実 1 時間断面交通量は約 2,600[台/時]であり、観測結果と同日同時時間帯の車両感知器データより車線利用率を求め、対象ボトルネック前後の内側車線利用率の空間的变化を示したものが図-5 である。図よりボト

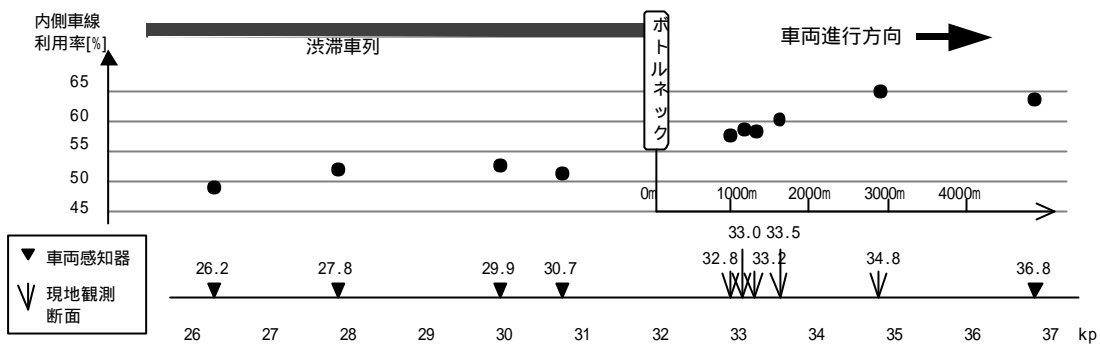


図-5 片側2車線ボトルネック前後の追越車線利用率の空間変化(交通量:約2,600[台/時])

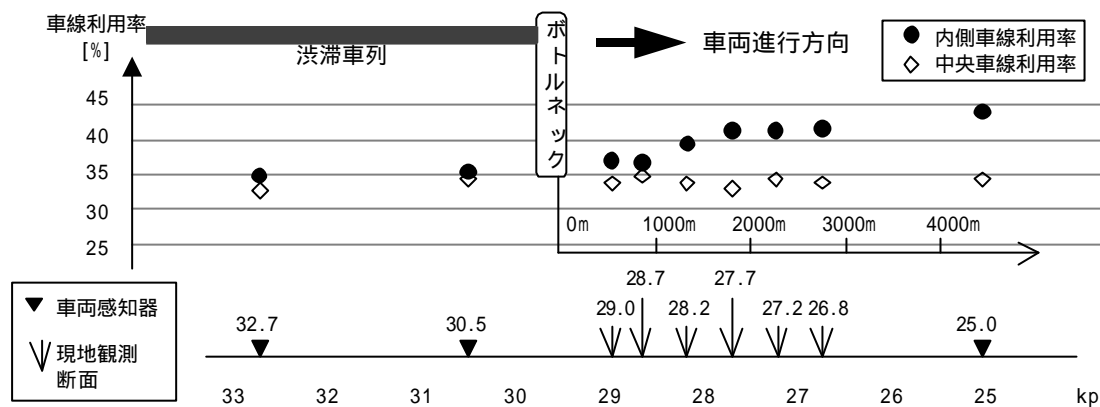


図-6 片側3車線ボトルネック前後の車線利用率の空間変化(交通量:約4,500[台/時])

ルネックよりも上流の渋滞区間の内側車線利用率は50%程度で、ボトルネックを過ぎた下流区間では、1,000m程度下流で58%、1,500mほど下流の33.5kpで61%、これより下流では60%を超えていて一般的な片側2車線高速道路の通常の車線利用率の状態に戻ってしまうことがわかる。

東名上り綾瀬BS付近ボトルネック(片側3車線)では、渋滞発生後の車列の先頭位置は29.5kp付近で、その下流では徐々に速度が回復して自由流状態となる。観測時間帯の実1時間断面交通量は約4,500[台/時]であり、観測結果と同日同時間帯の車両感知器データより車線利用率を求め、対象ボトルネック前後の車線利用率の空間的变化を示したものが図-6である。図よりボトルネックよりも上流の渋滞区間の内側車線利用率と中央車線利用率は共に約35%であり、ほぼ均等であることがわかる。ボトルネックを過ぎた下流区間では、

内側車線利用率が徐々に増加し、約1,800m下流の27.7kpでは42%で、これより下流では一般的な片側3車線高速道路の通常の車線利用率(図-2参照)に戻ってしまうことがわかる。一方中央車線の利用率はほとんど変化せず、外側車線から流入した交通と同程度が内側車線へ流出していることが分かる。

3.2 追越車線方式付加車線前後の車線利用率

東名高速道路で平成11年10月に行われた集中工事による厚木IC～秦野中井IC間(片側3車線区間)の一部車線規制時において、通常我が国では運用されない「追越車線方式(図-3のd)の設置形態)」の擬似的付加車線設置区間とみなせる状況が発生した。すなわち規制区間と規制車線との関係で、上流側では内側車線が工事規制されて外側2車線のみが通行可能であり、この規制解除下流側の3車線区間は始端で内側付加された擬似的付

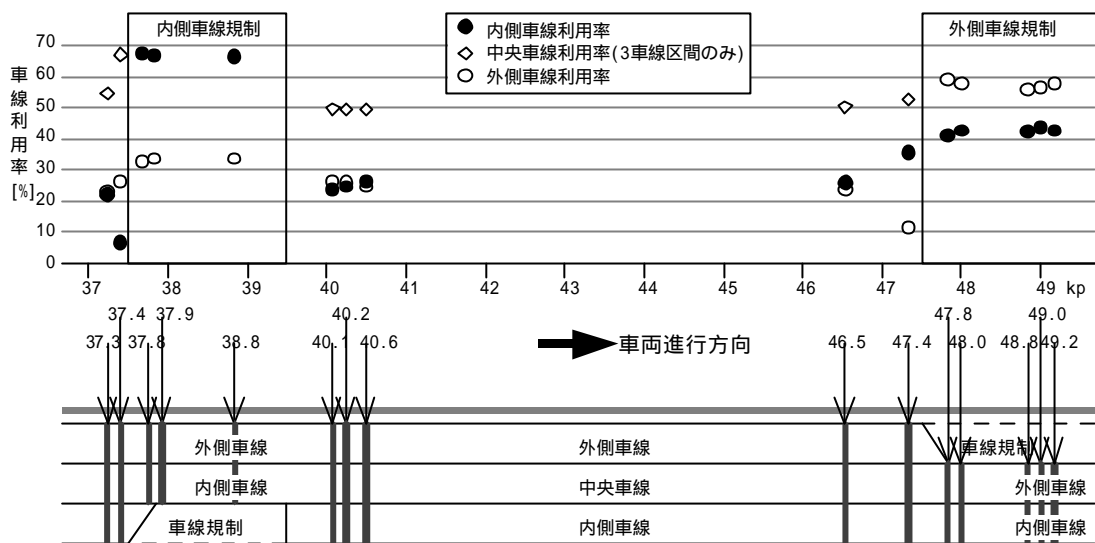


図-7 擬似的「追越車線方式」付加車線前後の車線利用率の空間変化(交通量：約 2,200[台/時])

加車線区間となり、さらにその下流側の擬似的付加車線終端では外側絞込みされた形で外側車線が工事規制されて内側 2 車線のみが通行可能となったのである(図-7 参照)。平成 11 年 10 月 18 日(月)の午前 7 時頃から約 1 時間、4 輪車以上を対象に關係する規制区間付近の 15 箇所の断面で交通流観測(通過時刻記録)を行った。観測断面の位置と車線規制区間(kp と規制車線)の位置関係と観測から得られた 1 時間の車線利用率を図-7 に示す。観測時間帯の実 1 時間交通量は約 2,200[台/時]であった。図-8 には、図-7 の車線規制状態を追越車線方式付加車線として模式的に示している。

これらの図より、付加車線始端の直近上流の内側車線の利用率は 66%に達し、非常に偏っている。一方付加車線区間(3 車線区間)では、内側車線利用率が約 25%、中央車線利用率が約 50%、外側車線利用率が約 25%で、8,000m ある付加車線区間でほとんど空間変化していない。付加車線終端は外側車線を絞っており、その直近下流の外側車線の利用率は 59%で、内側車線利用率は 41%となる。つまりこの方式の付加車線の終端直近下流の内側車線利用率は 41%で、付加車線始端直近上流の 66%と比較して偏りが大きく是正され、非常に強力な効果が見込まれることがわかる。またこの状況は付加車線終端より下流 1,700m 位置でもあま

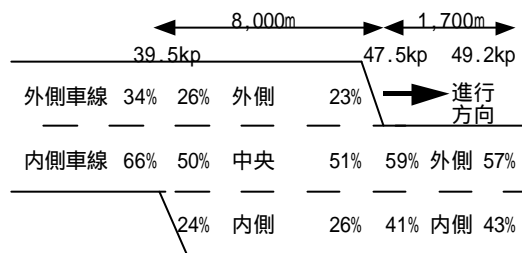


図-8 車線利用率空間変化(交通量 2,200[台/時])

り変化がない。

3.3 追越車線方式付加車線終端の車群形成状況

図-7、図-8 によれば、「追越車線方式」の付加車線設置形態の場合、終端で外側車線を絞り込むことにより、直近下流の観測断面(47.8kp)の外側車線利用率が 59%となり、通常の片側 2 車線高速道路の単路部ボトルネックにおける内側車線利用率に匹敵する高い車線利用率となっている。従ってこの絞込み部が新たな交通容量上のボトルネックとなって渋滞が発生する可能性が懸念される。

ここで単路部ボトルネックでは、内側車線利用率が高いだけでなく内側車線に大きく密な車群が形成されることが渋滞発生の原因となる。そこでこの方式の付加車線終端部である 47.8kp で、最外側車線における車群の形成状況を検討する。実 1 時間の断面交通量約 2,200[台/時]のうち 59%が外

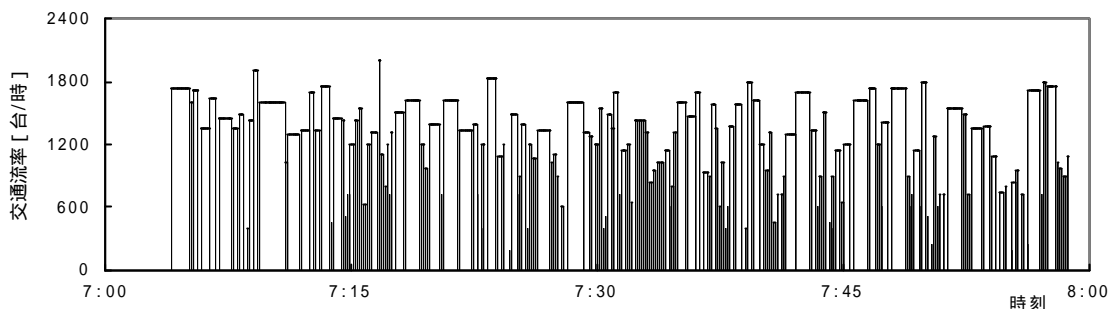


図-9 「追越車線方式」付加車線終端直近下流(東名下り 47.8kp)の走行車線における車群(車頭時間 5 秒以下)の交通流率と車群継続時間(実 1 時間交通量：約 1,300[台/時/1 車線])

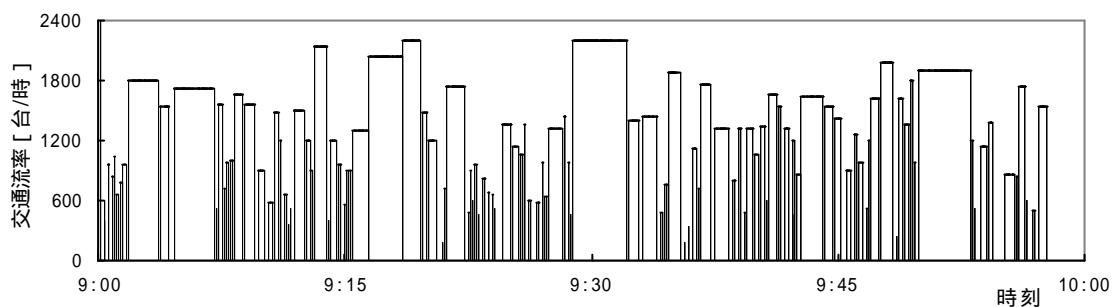


図-10 東北道下りボトルネック直近上流(92.6kp)付近の内側車線における車群(車頭時間 5 秒以下)の交通流率と車群継続時間(実 1 時間交通量：約 1,300[台/時/1 車線])

側車線を利用しているので、外側車線は約 1,300[台/時/1 車線]の交通量レベルとなる。図-9 は、車頭時間 5 秒以下を車群と定義して、各車群の先頭から末尾時刻までを横軸に取り、車群内の交通流率[台/時/1 車線]を縦軸に取って長方形を描き、観測時間帯の 7 時台の車群形成状況を示している。これに対して片側 2 車線高速道路で実際にボトルネックであった東北道下り大谷 PA 付近 96kp(現在は片側 3 車線に拡幅)を例に取上げ、この直近上流地点の 92.6kp において、内側車線の実 1 時間交通量が約 1,300[台/時/1 車線]の時間帯で図-9 と同様に車群の状態を示したものが図-10 である。

図-9 と図-10 を比較すると、同程度の交通量レベルにもかかわらず、東北道の追越車線の方が東名の走行車線よりも、明らかに車群が大きく密に形成される傾向があることが分かる。「追越車線方式」の付加車線終端部で外側車線を絞り込んだ場合の走行車線は、通常のボトルネック付近の追越車線よりも車群が形成されにくく、長めの車頭

時間で均一な流れに近い状況となるものと考えられる。従ってこの絞込み部で渋滞が発生する可能性は低いものと考えられる。但し図の例は車線当り約 1,300[台/時/1 車線]レベルの交通量のものであり、渋滞が発生する時の交通量レベルはこれよりも高いため、渋滞発生時の交通量レベルでも同様の違いが見られるかどうかは不明であり、今後のデータの蓄積が求められる。

3.4 登坂車線の区間長と車線利用率

我が国で一般的な「登坂車線方式」の付加車線区間の例として、片側 2 車線高速道路区間の中央道において、付加車線始端の直近上流断面と登坂車線終端の直近下流断面に車両感知器が設置されている次の 3 区間を取上げ、付加車線区間長と車線利用率の偏りの是正効果との関係を調査した。

中央道下り笹子トンネル上流付近登坂車線 (80.2kp ~ 80.7kp)：付加車線長約 500m(上流断面 79.2kp, 下流断面 81.08kp)

中央道下り小仏トンネル上流付近登坂車線 (37.6kp ~ 38.7kp)：付加車線長約 1,100m(上流

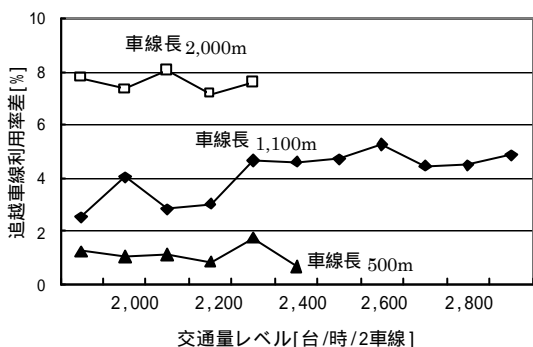


図-11 交通量レベルと追越車線利用率差の関係
 (「登坂車線方式」付加車線長別)

断面 36.8kp, 下流断面 38.8kp)
 中央道下り笹子 BS 付近登坂車線(76.5kp ~
 78.5kp) : 付加車線長約 2,000m(上流断面
 75.5kp, 下流断面 77.35kp)

平成 8 年の 8 月の 11 日分の車両感知器データから事故・故障車等突発事象の影響がなく自由流状態の実 1 時間交通量について、交通量レベル(100[台/時/2 車線]毎)別の平均「内側車線利用率差」を図-11 に示す。ここで「内側車線利用率差」とは、車両感知器の上流断面の内側車線利用率と下流断面の内側車線利用率の差である。これが正の値で大きいほど、付加車線始端に比べて終端における内側車線利用率が低下することになり、車線利用率の偏りの是正効果があることになる。

内側車線利用率差は、付加車線長が約 500m では高々2%, 付加車線長が約 1,100m では約 3~5%, 付加車線長が約 2,000m では約 7~8%であり、いずれも始端上流断面より終端下流断面の内側車線利用率の方が低く、車線利用率の偏りの是正効果が見られる。またこの是正効果は車線長が長いほど大きいですが、交通量レベルによる違いはほとんど見られないことが分かる。

なお、この調査では付加車線の始端・終端それぞれ直近の 1 断面づつしかデータが無いため、付加車線終端からの離隔距離と内側車線利用率の定量的関係の実証分析は行えなかった。

4. 車線利用率の偏り是正効果の推定試算 中央道上り小仏トンネル入口付近(40.8kp)は、

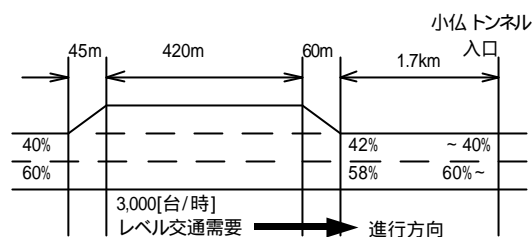


図-12 登坂車線方式道路構造と推定車線利用率

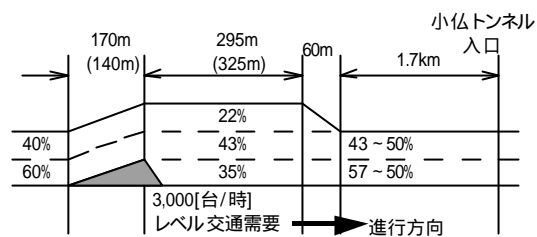


図-13 追越車線方式道路構造と推定車線利用率

片側 2 車線高速道路の単路部ボトルネックとしては、最も古くから知られているものの一つであり、またここで発生した渋滞の先頭位置が、約 2km 上流の相模湖 BS 付近サグ(42.4kp)になってしまうという現象もしばしば見られる。このボトルネック対策として、相模湖 BS 付近サグ直近下流の 43.0kp から小仏トンネル手前まで約 2km の付加車線設置が進められている。しかし主に橋梁等の構造上の理由で約 500m の付加車線区間が平成 12 年 3 月より部分供用された。ここではこの付加車線区間を例として取上げ、「登坂車線方式」と「追越車線方式」で内側車線利用率の偏りの是正効果がどれだけになるかを試算により推定する。

4.1 「登坂車線方式」の付加車線の場合

これは現在供用されている付加車線設置形態である。図-12 にはこの現状における付加車線の幾何構造の概要と車線利用率の推定結果を示す。なお現在の部分供用段階の付加車線終端からボトルネックの小仏トンネル入口までは約 1,700m の離隔距離がある。

付加車線始端の直近上流の内側車線利用率は、車両感知器データを調べてみたところ、小仏トンネルで渋滞が発生する直前の交通量レベルでは約 60%に偏ることが分かった。図-11 によれば、「登坂車線方式」付加車線設置形態で 500m 程度の付

加車線長では、始端に対する終端での車線利用率の偏りの是正効果は高々2%である。従って終端部直近下流では、内側車線 58% / 外側車線 42%の利用率と推定される。

一方図-5によれば、片側2車線高速道路の単路部ボトルネックの下流区間で、内側車線利用率が58%に達した断面から更に700m下流の断面では60%を超えており、2km下流の断面では65%まで上昇している。従って離隔距離1,700mの小仏トンネル入口付近では、内側車線利用率は60%を超えるものと予想され、付加車線長500mの「登坂車線方式」の設置形態では、離隔距離1,700mのボトルネックにおける車線利用率の偏りの是正効果はほとんど見込めないことになる。

4.2 「追越車線方式」の付加車線の場合

次に、この区間を「追越車線方式(内側付加・外側絞込み)」の付加車線設置形態にした場合を検討する。この場合図-4に示したような本線の外側シフトのためにすりつけが必要となる。単路部直線区間の車線数増減の場合のすりつけ長⁹⁾を参考に、設計速度80[km/h]の場合のすりつけ長 X を、地方部で $X=50W$ 、都市部で $X=40W$ とする。ここで W はシフト幅[m]である。シフト幅 $W=3.5$ [m]とすると、 $X=170$ [m]または 140 [m]となる。なお付加車線終端部は「登坂車線方式」と同様の構造でよい。図-13は、この設置形態の場合の幾何構造の概要と各断面における車線利用率の推定試算結果を示す。

図-7に示した「追越車線方式」の付加車線状況の調査時の交通量レベルは約2,200[台/時]であった。この図に示す通り付加車線始端から600m下流の車線利用率はほぼ追越車線25%、第2走行車線50%、第1走行車線25%となり、その後7kmに亘ってほとんど変化していない。同程度の交通量レベルにおける一般的な片側3車線高速道路の車線利用率は、追越車線28%、中央車線47%、外側車線25%程度であるので(図-2参照)、「追越車線方式」付加車線区間の車線利用率は、一般の片側3車線の車線利用率とほぼ同程度であり、付加車線区間の延長によらず区間内で一定と仮定してよさそうである。

ここで小仏トンネルで渋滞発生の可能性が十分考えられる実1時間交通量レベルが3,000[台/時]の場合を考える。この場合、2,200[台/時]と比べて内側車線利用率は一般に高くなる。3,000[台/時]レベルの交通量の一般的な片側3車線の車線利用率は、内側車線35%、中央車線43%、外側車線22%程度であり(図-2参照)、上記の仮定より図-13の付加車線区間の車線利用率をこの値と同じものと設定する。

図-8で付加車線終端部の上下流を比較すると、内側車線利用率は上流の26%から下流の41%へ15%増加しており、これは中央車線から流入した交通と考えられる。中央車線からは15%が内側車線へ流出するが、終端部の車線の絞込みにより上流の外側車線の交通23%が全て中央車線へ流入するため、結果的に終端部下流の外側車線は8%増の59%となっている。つまり付加車線終端部では中央車線が流出と流入で「緩衝帯」の役割を果たすことにより比較的バランスが保たれ、下流区間での車線利用率を平準化しているのである。

図-8より、2,200[台/時]レベルにおける付加車線区間の内側車線利用率は26%、付加車線終端直近下流部の内側車線利用率は41%であるから、3,000[台/時]レベルにおける付加車線区間の内側車線利用率を35%とすると、付加車線終端直近下流部の内側車線利用率は41%よりは高いであろう。そこで中央車線が緩衝帯の機能として、最大で外側車線交通の22%の交通量を流入・流出させる可能性があると考え、付加車線終端の直近下流部で最も内側車線に利用率が偏る場合が推定できる。この場合、終端下流部の内側車線利用率は $35+22=57\%$ 、中央車線利用率は流入・流出が相殺して43%となる。一方、2,200[台/時]レベルと同様に中央車線から内側車線への流入が15%程度に収まるとすると、内側車線利用率は $35+15=50\%$ と推定される。以上より、内側車線利用率は広めに見積もっても50-57%の範囲に収まるはずである。従って「登坂車線方式」で推定された58%と比較して、内側車線利用率の偏りの是正効果は大きくなることが想定されるのである。

「登坂車線方式」では図-11に示すように「内

側車線利用率差」が付加車線長が長いほど大きくなる特徴を持つのに対して、「追越車線方式」では図-7に示すように付加車線長によらずに付加車線区間中の各車線の利用率が通常の3車線区間の利用率とほぼ同じと考えられることから、特にこの事例のように付加車線長が短い場合には、「追越車線方式」の方が「登坂車線方式」よりも車線利用率の偏りの是正効果が大きく現れるものと考えられる。

5. まとめ

工事規制による「追越車線方式」(図-4のd)の付加車線形態の実測により次のことが分かった。

付加車線区間では区間内でほぼ一定で通常の片側3車線高速道路の車線利用率にほぼ等しい、付加車線終端絞込み部では、中央車線が緩衝帯となり最大で外側車線利用率と等しい交通を内側車線へ流入させるが、最小で中央車線から内側車線への流入交通量は15%程度

また「登坂車線方式」(図-4のa)の実測から次のことが言えるようである。

登坂車線区間長が長いほど内側車線利用率の是正効果は大きい

この効果を上下流の内側車線利用率差で見ると交通量レベルによらず一定

上記～の仮説を元に、片側2車線高速道路に図-4のa)とd)の設置形態を比較して車線利用率の是正効果を試算した結果、d)の設置形態の方が是正効果が高いことが分かった。また内側車線利用率が下がると外側車線利用率が高くなり付加車線終端の絞込み部がボトルネックとなる可能性があるが、絞込み部直近下流の外側車線には大きく密な車群は形成されにくく、ここはボトルネックになり難いことが分かった。

車線数に比べて常に低い交通量レベルで、高いサービス水準であれば、内側付加・内側絞込み(図-4のb))が最も自然で合理的である。従って低い交通量レベルではb)で運用し、ある程度高い交通量レベルでのみd)で運用するように動的に車線運用することができれば、安全上も容量上も最

も望ましいものと思われる。

本稿では、限定されたデータを元に付加車線設置形態の違いによる車線利用率の偏りの是正効果を分析したものであり、試算結果も限定的にしか評価できない。特に「追越車線方式」の調査は工事規制時のもので規制速度も低いため、特殊な交通状況であった可能性がある。今後は、付加車線方式毎に様々な交通条件における付加車線区間付近における車線利用率の空間変化に関する実証データの蓄積や、本線シフトに要するすりつけ長の幾何構造設計についての実証データの蓄積などが求められる。

参考文献

- 1) 越正毅；"高速道路トンネルの交通現象"，国際交通安全学会誌，Vol.10，No.1，pp.32-38，1984
- 2) 越正毅；"高速道路のボトルネック容量"，土木学会論文集，No.371/4-5，pp.1-7，1986.
- 3) 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.458/4-18，pp.65-71，1993.
- 4) 栗原光二，日置洋平；"4車線高速道路の交通実態と交通容量改善策"，土木計画学研究・講演集，No.17，pp.563-566，1995.
- 5) 栗原光二；"6車線高速道路の交通機能分析"，土木計画学研究・講演集，No.17，pp.587-590，1995.
- 6) 栗原光二，日置洋平；"高速道路ボトルネックの交通容量改善策"，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.731-738，1995
- 7) 栗原光二，羽山章，安積淳一；"ボトルネック対策としての付加車線の効用"，高速道路と自動車，Vol.42，No.7，pp.29-36，1999.
- 8) R. Lamm, B. Psarrianos and T. Mailaender; "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook", McGraw-Hill, pp.25.27-25.29, 1999.
- 9) (社)日本道路協会；"道路構造令の解説と運用"，丸善，pp.251，1983.