

二車線道路におけるサービスレベル向上方策

横浜国立大学 正員 ○大蔵 泉
首都高速道路公社 正員 森田 紳之

1. はじめに

わが国の幹線道路として機能している国道においても、4車線複合分離道路は1割にも満たず、2車線道路の大半は地形条件に伴う見通し距離の不足等の制約から交通安全対策の一環として追越禁止の規制措置が採用されている。このような道路区間にあっては追越機会の制約のために低速走行車を先頭とする車群形成が増加し、走行の円滑性が阻害される。低速走行車の交通流に対する影響を低減させるための方策としては、追越しの機会を与える付加車線の設置が有効であり、勾配部においては登坂車線が設けられている。登坂車線と同じような機能を持つ付加車線を平坦部においても本線の左側に設置することは有効であると考えられる。このような機能をもつ平坦部における付加車線を本論では避讓車線と称することとする。

本論では、現在までに実際の適用経験のほとんどない“避讓車線”の設置効果を推定し、適正な運用方法を検討することを目的として、類似施設における交通現象の観測を行い、その分析結果に基づいて避讓車線設置効果推定モデルを構築し、避讓車線の必要車線長、設置間隔についての検討結果を報告するものである。

二車線道路の付加車線の運用方法としては、低速走行車が左側の付加車線を利用することを前提とする登坂車線（勾配部）・避讓車線（平坦部）方式の他に図1に示すように、付加車線設置区間での外側車線を本線として中央車線を高速車が追越しのために利用する追越車線方式が考えられる。平坦部においていずれの方式が適切かを検討するためには、運転者の習慣、安全性等を併せて考慮する必要がある。追越車線方式の場合高速車が追越し後低速車の間に合流するので比較的に円滑に運用されると期待でき、高速道路においては適用可能な方式であるが、一般道路の場合制限速度の制約があり問題が残る。一方避讓車線方式の場合追越挙動が追抜きとなるため物理的に限られた区間内での追越しより安全であると考えられるので、ここでの検討対象は避讓車線方式を前提とする。

2. 交通現象調査および各種特性

避讓車線方式を採用した場合の交通現象を推定するために国道41号上に試験的に設置された2ヶ所の避讓車線区間と、類似施設としての登坂車線さらに追越可能区間（白破線標示区間）における交通現象調査を実施した。表1に交通現象調査地点の概要を示す。観測データの分析の結果次のような傾向が知られた。観測状態下における交通量は地点毎に差があるが、6時間値として1000~1800台/6Hの範囲にあり、低交通量状態である。大型車混入率は15%~25%の範囲にある。

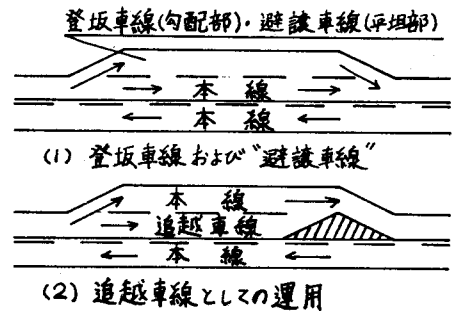


図1 付加車線の運用方法

表1 交通流観測調査概要

調査地点	地点調査				区間調査
	避讓車線設置区間 A	登坂車線設置区間 B	追越可能区間	追越可能区間	
延長(m)	245	570	600	800	17600
勾配(%)	2.4	0.8	3.7	0.5	-4.0~+6.0
規制速度(km/h)	60	60	50	60	30~60

表2 利用形態別構成割合 (%)

		付加車線利用率					本線利用率
		避讓	追越	777	その他	その他	
避讓車線	A	6.7	1.3	5.4	0.5	0.7	85.4
	B	21.3	3.3	0	6.9	0.2	68.3
登坂車線設置区間		21.4	2.4	19.1	1.5	0.2	55.5
追越可能区間		付加車線利用率					本線利用率
		5.4					94.6

(1) 付加車線等利用形態： 図2は付加車線の利用パターンを示したもので、各パターンについての構成割合を地点別に示すと表2のようになる。避讓車線の利用率は避讓車線長の長い場合に高くなる傾向が知られる。避讓車線区間Bは線形上左カーブに位置し避讓車線が利用し易いことも影響している。避讓パターンに限定して付加車線の利用率を比較すると車線長の大きい避讓車線の利用率は登坂車線の場合とほぼ同じ程度で約2割となることが知られる。

(2) 避讓パターンにおける行動点分布： 図3は付加車線設置区間において、避讓行動を起した車両がどの位置で本線に復帰したかを示したものである。避讓車線設置区間始端付近で避讓する車両がほとんどである。避讓車線あるいは登坂車線の終端で本線に復帰する車の割合は避讓車線Aの場合47%、登坂車線の場合70%で、避讓車線の方が早目に本線に復帰する傾向が知られる。

(3) 追越状況： 表3は調査地点別に追越率を示したものである。付加車線の場合の追越率とは避讓車両を追抜いた車両として求めている。対向車両の影響のない付加車線の方が追越可能区間の場合より高い追越率になることが知られる。また追越可能区間の場合の追越完了距離は、被追越車両が1台の場合で、約350m程度になる。これは対向車両の影響が特に認められない状況での結果である。

(4) 錯綜状況： 避讓車が本線に復帰する際に本線走行車両と錯綜のあった場合の比率は、避讓車線区間A B各々で19%、8%であった。このうち避讓車に何らかの対応を強いた状況が発生する比率はそれぞれ51%、67%であった。

これらの他速度特性、車種別特性の差異等については次節以降で関連して示す。

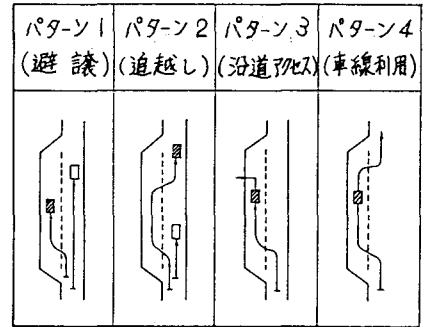


図2 付加車線の利用形態

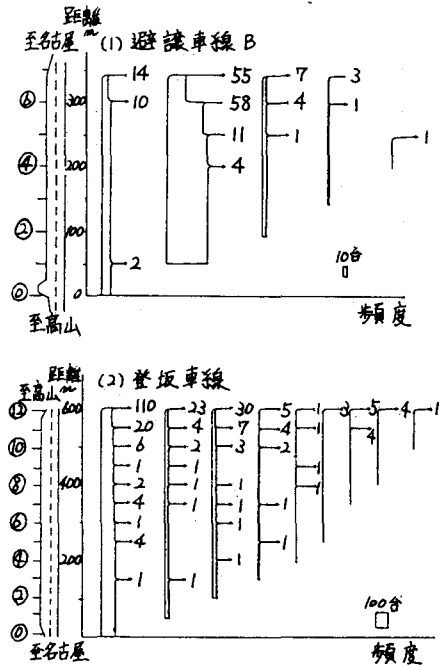


図3 避讓パターンにおける行動点分布

3. 避讓車線長についての考察

ある長さの避讓車線が設置された場合、低速車である車群先頭車が避讓車線へ車線変更することによって、それまで走行を拘束されていた追従車が解放され、避讓した車両を追い抜く動作が行われる。避讓車線の設置を考えた場合、避讓車線長と設置間隔についての検討が必要であり、本節ではまず避讓車線長の検討を行う。

(1) 検討方法

図4は基本的な検討フローを示したものである。避讓車線長の検討においては、避讓車線の設置効果を追従走行状態から解放される車両の割合で評価し、サービス水準を考慮して

表3 追越率

	避讓車線設置区間		登坂車線設置区間	追越可能区間
	A	B		
単独車を除く交通量(台/6H)	1229	814	1753	1029
追越車台数(台/6H)	111	131	576	56
追越率(%)	9.0	16.1	32.9	5.4

必要車線長の設定を行うものである。

(2) 追越しに関する基本式の設定

避讓車線へ移行した車群先頭車（避讓車）を拘束走行状態にあった追従車が追抜く場合の追い抜き（追越し）開始時と完了時の位置関係を示すと図5のようになる（以下においては避讓車を追抜く追従車の挙動を“追越し”と統一して表現する。）。このとき n 台の“元”追従車が追越しを完了するのに必要な距離 L は次式で表現される。

$$L = \frac{(t_{\alpha} + t_{\beta}) V_B}{V_B - V_A} \times V_A$$

ここに V_A : 避讓車速度, V_B : 追越車速度

t_{α} : 追越開始時における避讓車と最後尾車との車頭時間

t_{β} : 追越完了時での避讓車と最後尾車との車頭時間

本検討においては上式より求められた n 台の“元”追従車が追越しを完了するのに必要な距離が必要車線長の基本値となる。なお“元”追従車相互の可能速度の差による追越途中での車群の分解は考えないものとした。

(3) パラメータの設定

上式の計算に必要なパラメータは本調査の分析結果に基づいて次のように設定した。

① $t_{\alpha} \cdot t_{\beta}$: 表4のように設定した。これによると t_{α} は追越車1台当り2秒弱であり、追越車台数に応じて大きくなるが必ずしも比例的ではない。車群台数が大きくなるに伴い1台当り車頭時間が小さくなるのは車群速度が低くなることによる。また t_{β} は追越車台数によってあまり変化しないことが知られたので、車群台数にかかわらず一定値とした。

② $V_A \cdot V_B$: 避讓車速度 (V_A) と追越車速度 (V_B) について本調査で行った実測値をもとに車群台数との関連を示すと図6のようになる。図において勾配部での例をあげたのは登坂車線の設置基準が適用されないような条件（たとえば緩勾配）下での避讓車線の設置効果を見るための参考とするためと、避讓車線との対比を行うためである。実測値では速度にはバラツキがあり、本来このバラツキを考慮すべきであるが、ここでは車群台数ごとの平均速度を求め、この値をサンプルとして、直線回帰を行い、その結果を用いることとした。

これらのパラメータを用いて、追越しを完了するのに必要な車線長を車群台数および車群台数のうちの追越台数との関連で計算してみた結果によると、追越台数が一定の場合必要車線長は車群台数が増加するに伴い小さくなる。これはパラメータ V_A , V_B の速度差が車群台数の増加に伴い増加することによるものである。

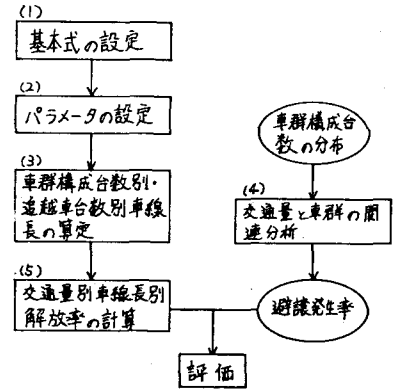


図4 車線長検討の基本フロー

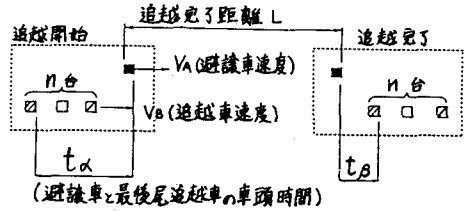


図5 避讓に伴う追越し時の位置関係

表4 t_{α} 及び t_{β} の設定 (秒)

追越車台数	1	2	3	4	5
t_{α}	2.00	4.09	6.00	7.76	9.33
追越車台数	6	7	8	9	10
t_{α}	10.87	12.29	13.59	14.80	15.94
追越車台数	11	12	13	14	15
t_{α}	17.00	18.00	19.06	19.83	20.67
t_{β}	1.89				

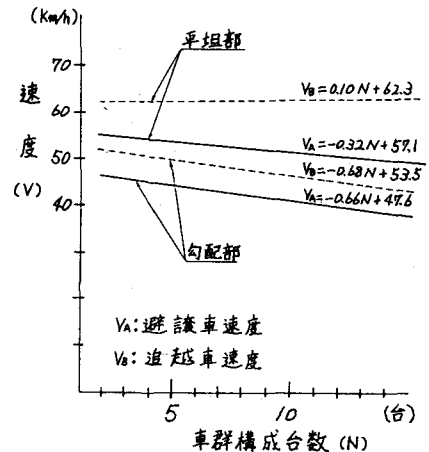


図6 V_A 及び V_B の設定

(4) 車群台数分布の設定

分析に当っては、交通量ランクにより車群台数がどのように変化するかを把握する必要がある。

①車群：車両が車群追従車とみなしてよい限界車頭時間は速度によって変わるが、現在までに明確な結論は得られていない。従来の研究によると先行車の影響を受けて自車の希望速度を保ち得なくなり減速し始める時の車頭時間は乗用車で約7秒、トラック類ではさらに小さな値をとるといわれている。限界車頭時間間隔については限られた分析事例にも差があり、50km/hの速度に対しては乗用車で1秒強、大型トラックでは若干乗用車より大きくなるという報告がある一方、車種区分は行わずに約4秒という報告もあり決め手に欠ける。

本論においては、調査・分析の簡略化を図るため、厳密には欠けるが、調査員に5秒程度を目安に車群の判断を行わせた。

②車群比と交通量の関係：図7は調査時交通量の変動幅が大きくとれた地点における交通量と追従車台数比との関係を示したものである。他の地点においては交通量の変動幅が小さいため、本検討においては便宜上図7で代表して考えることとする。

③車群構成台数の分布形：車群台数の分布形としてはこれまでに代表的には表5に示すようなものが提案されている¹⁾。

これまでの分析・検討事例においては、幾何分布は他の分布に比べて車群台数の大きな領域と小さな領域において過小推定になり、またBorel-Tanner分布とMiller分布(1パラメータ)においては、平均車群台数が2より大きな場合に、車群台数1の推定が過大になることが知られている。これらの結果を踏まえて、Miller分布(2パラメータ)の提案がなされているが、パラメータの推定がやや面倒であるという難点がある。この他に交通状態に応じて分布形を使い分けるといった提案もある。

本検討においてはこれらの検討を踏まえて、調査・検討対象交通流の密度は低いこと、分布の計算が比較的容易であることから、これらの分布のうちBorel-Tanner分布を適用することにした。ところでこの分布を適用する場合の追従車台数比の算

定基準は交通密度であり、交通量ではない。追従車台数比を求めるのに観測技術上密度を基準とするより交通量を基準とする方が容易である。密度をベースとした追従車台数比と交通量をベースとした追従車台数比とは車群平均速度と全車の平均速度の比を介して比例関係にあり、また追従車比の車群台数分布に対する感度はあまり高くないことが報告されており、本検討においては観測の容易な交通量ベースの追従車台数比を用いることとした。図8はBorel-Tanner分布による算定結果と実測結果の対比例を示したものである。この例図から、Borel-Tanner分布が車群台数の状況をほぼ代表していると考えてよいと思われる。本検討では計算手順として、まず交通量別に追従車台数比 r を設定し、ついでこの r を介して交通量に応ずる車群台数分布をBorel-Tanner分布によって計算するものとした。

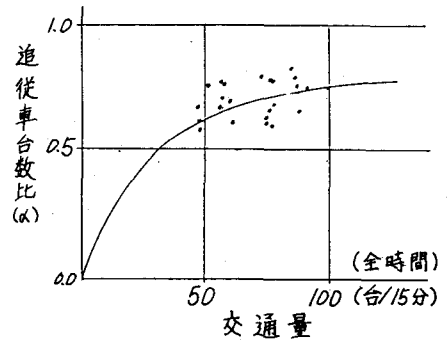


図7 交通量と追従車台数比

表5 車群台数の分布形

a. 幾何分布	$P_n = (1-r)r^{n-1}, E(n) = \frac{1}{1-r}$
b. Borel-Tanner分布	$P_n = \frac{n^{n-1}}{n!} r^n e^{-nr}, E(n) = \frac{1}{1-r}$
c. Miller分布 (1パラメータ)	$P_n = \frac{(m+1)(m+1)! (r-1)^n}{(m+r+1)!}, E(n) = \frac{m+1}{m}$ (m は整数とは限らない)
d. Miller分布 (2パラメータ)	$P_n = \frac{(m+1)(s+r+1)! (m+s+1)!}{h! (m+s+r+1)!}, E(n) = \frac{m+s+1}{m}$

○ r : 車群台数が n 台である確率(車頭率含む)
 r : 追従車台数比(密度比)

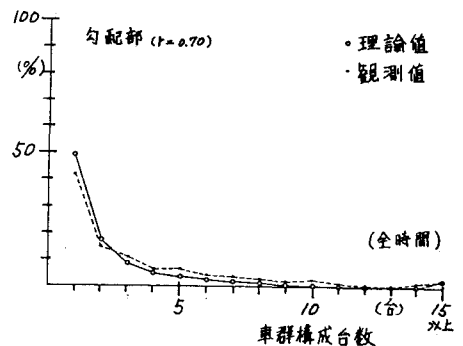


図8 車群構成台数の分布例図

(5) 交通量別、車線長別解放率の算定

避讓車線設置による直接効果として、低速の車群先頭車によって拘束走行を強いられきた追従車がその拘束状態から解放されることが期待できる。いま追越車台数/追従車台数で表わす解放率を算定し、これを評価尺度としてとりあげる。

モデル計算においては車群先頭車が避讓する確率を手える必要がある。本検討においては表6に示す実現避讓発生率を考慮して、追従走行状態にある車両のうち避讓する台数を算定することにした。また避讓を開始する位置は図3に示したように避讓車線始端部と限らずバラツクことが知られるが、本項の計算では避讓車線がもっとも有効に使われた場合、すなわち避讓車線始端部で避讓が始まると仮定した。

図9は、平坦部・勾配部について、車線長・交通量を変えた場合の解放率の算定結果を示したものである。これらの結果から次のようなことが知られる。

①検討対象とした比較的低交通量の状態においては、交通量の差による解放率の差はそれほど大きくない。

②区間長300m~350mの間において解放率は急増し、約20%の解放率が期待できようである。

③400m以上の区間長においてはほぼ区間長に比例した解放率が期待できると推定される。区間長が長くなつた場合には解放率の上限值があると考えられるが、本検討の範囲においては確認するまでには至っていない。

避讓車線の設置によつて、ここまで重点的に検討した解放率の他にたとえば速度の回復程度についても言及する必要があるが、ここでは計算を行っていない。

4. 避讓車線設置間隔についての考察

(1) 検討方法

次に示す2つの方法を考えてみた。

①追越禁止区間長と追従受忍限度の関連についての実測調査

②交通挙動シミュレーションモデルによる検討

①の方法は追越禁止区間長が拘束追従走行の受忍限度を超えて長くなると違反追越しが多発して安全上問題となるので、追越禁止区間長と違反追越発生率との関係を明らかにして設置間隔を考察しようとするものである。

②の方法に関しては、2車線道路交通挙動の研究は古くからなされているが、そのほとんどは定常状態での交通流の理論モデルであり、本研究のように避讓車線設置区間で状態量が変化し、有限な追越禁止区間を経て再び避讓車線が設置されるという道路区間での交通状態を表現するようなモデル構造ではない。こうした道路区間の交通流再現モデルとしてはシミュレーションモデルが優れているが、問題はモデルで採用するパラメータの設定にある。モデル構造としては追越し・抜かき挙動を再現するようなミクロ的なモデルが前提となるが、これらの挙動についての分析はこれまでの分析では十分とはいえない。

表6 実現避讓発生率

車群構成台数	2台	3台	4台以上
勾配部	27%	61%	67%
平坦部	34%	56%	70%

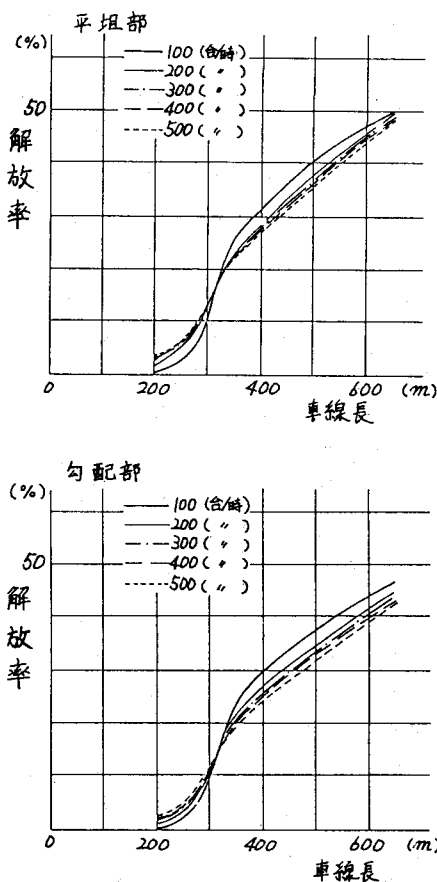


図9 交通量別車線長別解放率

(2) 追越禁止区間長と追越比率についての分析

図10は追越可能な区間における追越率と上流側追越禁止区間長との関係及び追越禁止区間における区間長と(違反)追越率との関係を示したものである。この結果から次のようなことがいえよう。

① 追越可能区間において、上流側の追越禁止区間長が長くなるほど区間追越率が低下する傾向がみられる。これは追越禁止区間長が長くなるとこの間で違反追越しが発生し、追越可能区間内での追越し需要が少なくなるものと考えられる。

② 追越禁止区間内での追越率は区間長が長くなるほど大きくなる。図中()内の数値は1km当りの追越率を示すものであるが、これによっても同じような傾向が知られる。

(3) 追従車台数比を媒介とする交通挙動の推定

検討対象とする道路区間の交通流再現モデル(ミクロシミュレーション)については、現在検討中である。ここでは次に示すような極めて粗い仮定のもとに設置間隔についての概略検討を行ってみた。

① 避譲車線設置地点間は追越禁止区間と仮定し、この区間では違反追越は起らないものとする。

② 避譲車線においては、3.に記した方法で追従車の解放率を計算する。

③ の計算を行うためには避譲車線始端における追従車台数比を知る必要があるが、これについては①の前提である希望速度分布をもつ車両群をランダムに発生させたときの1方向1車線道路区間における車群形成状況を距離の間数で表わしておき、これを避譲車線始端の追従車台数比設定に援用することにした。

避譲車線の始端の追従車台数比の設定方法を模式的に示すと、図11のようになる。このとき避譲車線区間長と追越禁止区間長の組合わせは図12のように考えた。

この図から知られるように、この方法では単に追従車台数比を媒介とするだけで、各避譲車線始端・終端での速度分布、車群構成台数分布についての整合性の保証はない。交通挙動面の整合性を保つためには追従車台数比に加えて、たとえば速度分布についての計算を行う必要があるが、計算構造上困難であると考えられたため、ここの検討においては極めて粗い推定ではあるが、追従車台数比のみを媒介として、速度および車群構成台数についての内的整合性を無視して計算することにした。

演算に当っては、車種(大型・小型車)別に希望速度分布(正規分布近似)を次のように設定した。

大型車: 平均速度・55 km/h (標準偏差・8 km/h), 小型車: 60 km/h (8 km/h)

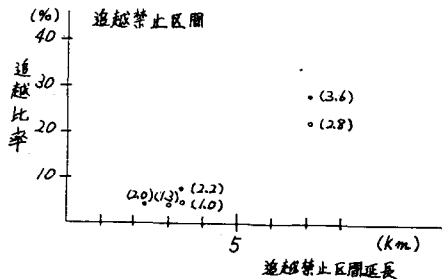
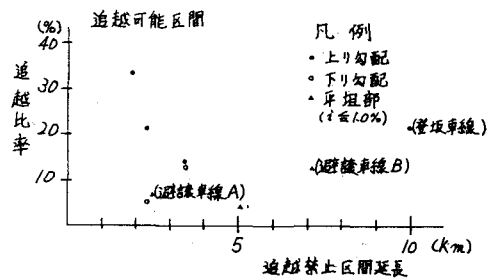


図10 追越禁止区間長と追越比率

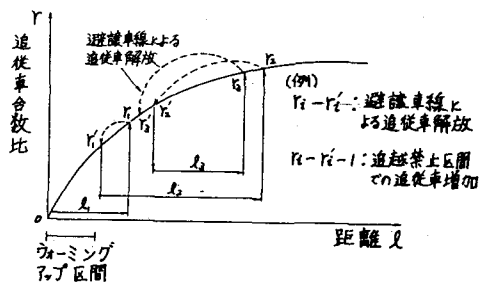


図11 追越禁止区間における追従車台数比 (1-1線)

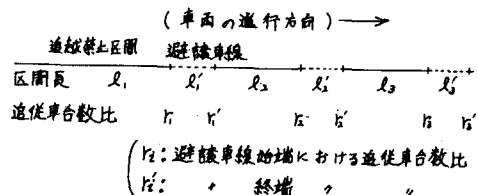


図12 設定した道路区間の状況

道路条件については平坦とし、大型車混入率は20%と設定した。交通量については200, 300, 400台/時/車線、設置間隔については3~6kmを1km間隔に、また避讓車線長については

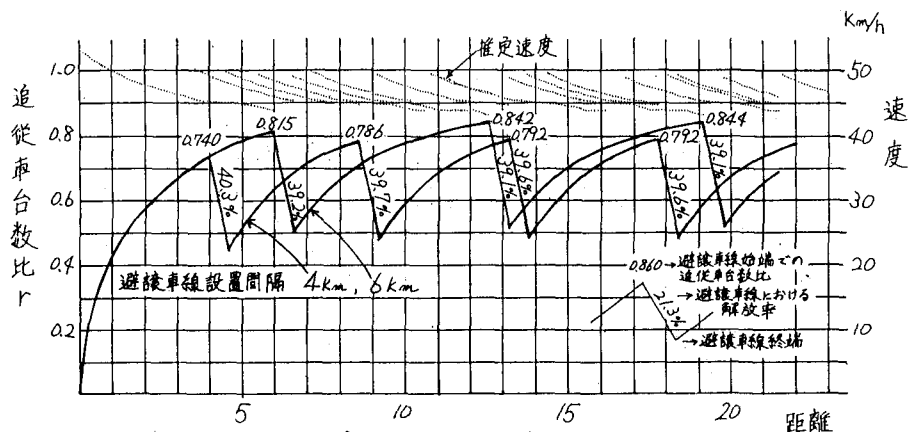


図13 避讓車線設置条件別 追従車台数比・解放率の推定結果例図
(交通量: 300台/時/車線, 車線長 600mの場合)

400, 600mのケースを想定した。図13は交通量300台/時/車線、避讓車線長600m、設置間隔4, 6kmの場合の結果を例示したものである。演算結果をまとめると次のようになる。

- ① 避讓車線始端における追従車台数比は、3kmと6kmの設置間隔と比較すると6~12%程度の差が生ずる。
- ② 避讓車線長別に避讓車線始点における追従車台数比を比較すると、600mの場合の方が400mの場合に対して設置間隔の短い3kmについては5%程度小さくなる。
- ③ 解放率については設置間隔が大きくなるにつれて幾分減少することが知られた。これは、設置間隔の増大による車群台数比の増大(平均車群構成台数の増加)と車群構成台数が少ないほど1台当りの追越所要距離が大きくなることの相乗効果によるものである。
- ④ 避讓車線長の差による解放率の差異は大きく、平均的には600mの車線長で40%程度、400mの車線長で20%程度となり、約20%程度の差が生ずると推定される。これは実測された結果ともほぼ符合する。

5. むすび

避讓車線の設置方法について、交通流の実測結果、簡略モデルによる検討を行った。演算に用いた仮定およびデータの制約から、明確な結論を導き出すまでには至っていないが、次のようなことがいえよう。

- ① 避讓車線長としては短かくとも400m程度なければ設置効果は少ないといえよう。ただ長すぎても避讓車線を利用した追越挙動が誘起され、避讓車との錯綜が生ずることも考えられ、また避讓位置が分散するための避讓車相互の錯綜・追従に伴う乱れが生ずることも予想される。
- ② 設置間隔については、モデル設定に当たっての仮定・交通現象についての内的整合性等において多くの検討の余地を残すものであるが、実測から推定された受忍限度および試算例から考え、設置間隔の上限値としては6km程度が一つの目安になると思われる。

今後、マイクロモデルの開発・蓄積した実測データの分析を踏まえたモデルの精緻化を行う予定である。

本研究は越正毅先生を委員長とする避讓車線委員会(社)交通工学研究会の研究の一環として行われ、その御討議に負う所が大きいことを付記する。

(参考文献)

- 1) M.A.P. Taylor et al: A Comparison of Some Bunching Models for Rural Traffic Flow, Trans. Res. Vol. 8, 1974
- 2) 高田弘・栗本謙: 道路交通流における車群の走行特性について、防衛大学校理工学研究報告 Vol. 2-2 1964
- 3) 小野学: 街路における車群について 第36回土木学会年次学術講演会概要集 他