

高速道路の織り込み交通の基本的解析と サービス水準の推定

Traffic Flow characteristics and Level of Service
on weaving section at Express way.

渡邊 隆*、岩崎征人**、亀井則夫***

By Takasi WATANABE, Masato IWASAKI and Norio KAMEI

The purposes of this paper are to analyze fundamental characteristics of traffic flow at weaving sections. Weaving sections at which more lane changing will occur than expressway such as merging and diverging sections. As a result of lane changing, highway capacity of weaving section will tend to decrease comparing with the capacity of basic segments of expressway. Few observations and analyzes about traffic flow characteristics and capacity have been studied. Observation are held at Tokyo Metropolitan Expressway and Keiyo Expressway using 6 or 8 video cameras. Operating speed, and lane usage of traffic headway distribution, and position and for needs of distance for lane changing are analyzed and discussed in this paper. Level of service at Mitsuzawa section are also discussed using the method which appeared in HCM(1985).

1. はじめに

都市内高速道路の多くは、放射線と環状線とが組み合わされた、複雑なネットワークを形成している。その結合点である分・合流部の交通容量は、単路部と比較して、流出入車両の影響により、低下しがちである。さらに、これが織り込み区間である場合、単路部や合・分流部に比べ、車線変更が短い区間に集中するため、分・合流部以上の容量低下になるものと考えられる。このような隘路部の影響によりネットワーク全体の機能が低下することは避けられず、合流部及び織り込み区間における交通運用は、

都市内高速道路にとって重要な問題となっている。織り込み区間は、合流部に近接して分流部が続く場合、あるいはONランプに近接してOFFランプが続いてその間を付加車線で接続させる場合に形成される。織り込み区間では運転者は流出したい方の車線に入らなければならないので、極端に車線変更が集中する。それゆえ、織り込み区間の交通は、単路部で通常生じる以上の交通流の乱れをもたらす。

このような現状において、合流部の研究は、過去においても比較的多く行なわれてきたにもかかわらず、織り込み区間の研究に関しては複雑な要因を多く含むため詳細な研究は少なく、現象さえも明確にされていない。

そこで本研究は、都市内及びその近郊に存在する織り込み区間を対象として、区間内に存在する一台一台の車両に着目し、その走行状態を把握し、織り

* 正会員 工博 武蔵工業大学 教授 工学部土木工学科
** 正会員 工博 武蔵工業大学 助教授 工学部土木工学科
*** 学生員 武蔵工業大学 大学院工学研究科 土木工学専攻

(〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

込み区間の基本的な交通現象の実態を明らかにしようとするものである。

2. 調査概要

観測は、表-1のような地点・時間帯に、6台～8台のVTRカメラを用いて実施した。三ツ沢、宮野木両織り込み区間とも流入車線にオンランプを持つランプ織り込み区間である。解析は、ピーク・オフピークを考慮して、それぞれ2時間づつ行なった。解析対象とした時間帯を表-2に示す。データは、まず当該区間への流出入状況を把握するために、路上のレーンマークを利用し、ある二地点の通過時刻をそれぞれ入力した。このデータを基に、流出入時の交通量、速度、車頭時間を算出した。また、当該区間内における織り込み・非織り込み車両の走行挙動を把握するために、観測時間帯の中の各30分データについて、区間内を10mまたは20m毎の細区間に分割し、車両が各区間の境界を通過した時刻、車線変更開始時刻、終了時刻及びその位置を車種別に入力した。このデータを基に時間-距離線図を作成し、区間内の基本的な交通現象の把握を行なった。時間-距離線図の一例を図-1に示す。図中において、実線は通常走行、点線は車線変更中、丸印は車線変更開始地点もしくは終了地点を示す。各車両の走行軌跡は回帰式を用いて平滑化している。

図-2には、三ツ沢織り込み区間の幾何構造図を示した。ここでONランプからOFFランプへの車線を第一車線、本線走行車線を第二車線、本線追い越し車線を第三車線とした。宮野木織り込み区間は、追い越し車線が二車線あるので、一番中央よりの車線を第四車線とした。

3. 交通状況の概要

(1) 交通量の時間変動

三ツ沢織り込み区間の上流における五分間交通量の時間変動図を図-3に、車線利用率の時間変動図を図-4に示す。

この図より当該区間に流入する車両の40%～60%は第一車線から流入していることがわかる。一方、オフピーク時になると各車線の流入交通量はほぼ等し

表-1 観測概要

観測地点	観測日時
首都高速～第三京浜 三ツ沢ON ～保土ヶ谷OFF	昭和62年9月16日 曇り 7:00～ 9:00 10:00～12:00
東関東自動車道 宮野木JCT ～千葉北IC	昭和62年9月18日 晴れ 7:00～ 9:00 9:30～11:30 12:00～14:00

表-2 解析時間帯

観測地点		時間帯
三ツ沢織り込み区間	ピーク	7:00～ 9:00
	オフピーク	10:00～12:00
宮野木織り込み区間	ピーク	7:00～ 9:00
	オフピーク	12:00～14:00

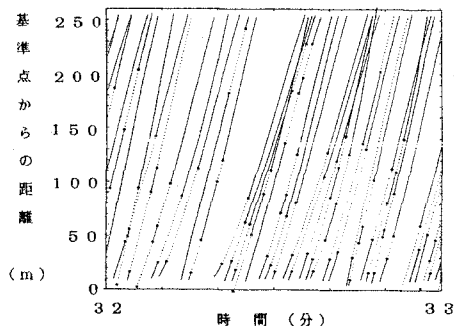


図-1 時間-距離線図

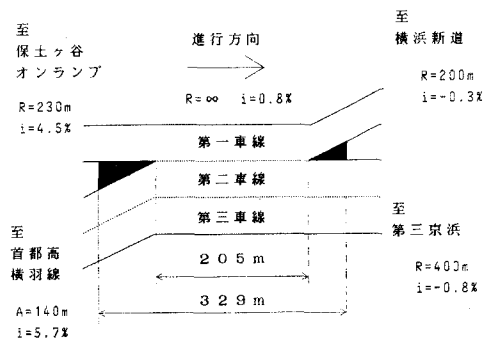


図-2 三ツ沢織り込み区間の幾何構造図

いものとなっていることがわかる。

これに対して、下流側では、第二・第三車線の交通量が多く、第一車線では40(台/5分)程度となっている。流入及び流出交通量の変動から考えて、第一車線から流入し、第三京浜方面へ流出する車両が多

いことを示している。オフピーク時における流出交通量は、第一車線で多く、第二・第三車線はこれに比べて少ない結果となった。

このように三ツ沢織り込み区間は、ピーク時とオフピーク時の車両の流動方向が明らかに異なったものであることがわかる。すなわち、ピーク時にはランプから第三京浜方面へ、オフピーク時には、これとは逆に首都高速道路から横浜新道への交通がそれぞれ卓越したものとなっている。このような結果となった理由として、当該織り込み区間の設置されている位置から見て、朝は東京方面（第三京浜利用と考えられる）の通勤交通に多く利用されていることが推測できる。

宮野木織り込み区間は、三ツ沢織り込み区間程ピーク時とオフピーク時の相違がなかった。この理由として、宮野木織り込み区間は、都心から離れたところに位置するため、都市間高速道路の性格を持つためではないかと思われる。

(2) 速度の時間変動

三ツ沢織り込み区間上流における五分間平均速度の時間変動図を図-5に示す。

全体の傾向として、第一車線が最も遅く、一番中央よりの車線（三ツ沢織り込み区間の場合は第三車線）が最も速い平均速度となっている。また、織り込み区間の上流における流入速度は、各車線とも同程度の値となっているが、下流における流出速度は車線ごとの速度差が大きくなっている。この傾向はオフピーク時においても同様の結果である。

三ツ沢上流部の比較からわかるように、極端に交通量が多くなったとしても、速度はある一定の値をとっている。これは、第一車線から流入した車両が第二・第三車線に流出しようとしているため、第二・第三車線の速度に合わせながら流入してくるためであると思われる。

また、この図より下流の7:15前後で渋滞がみられる。交通量は、他の時間帯と比較してもさほど多くないにもかかわらず、この時間帯で渋滞している理由としては、次のようなことがあげられる。すなわち、当該区間の第一車線の下流部は、横浜新道と合流しており、この合流部がしばしば渋滞の頭となり、ここで発生した渋滞車列がランプ区間にまで遡上し

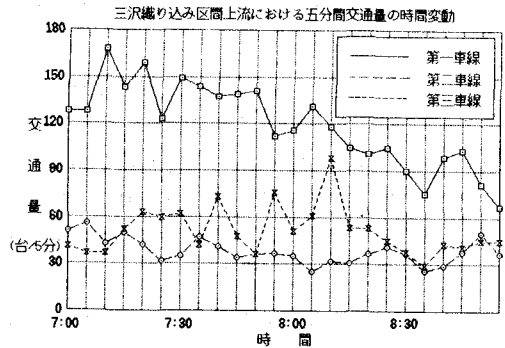


図-3 三ツ沢織り込み区間における五分間交通量の時間変動図

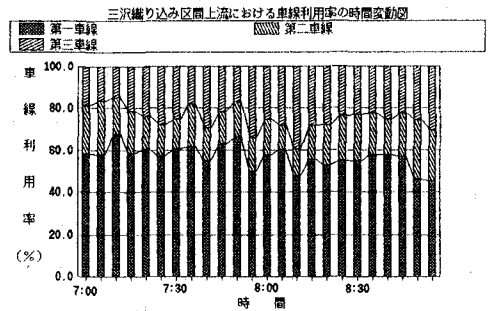


図-4 三ツ沢織り込み区間における車線利用率の時間変動図

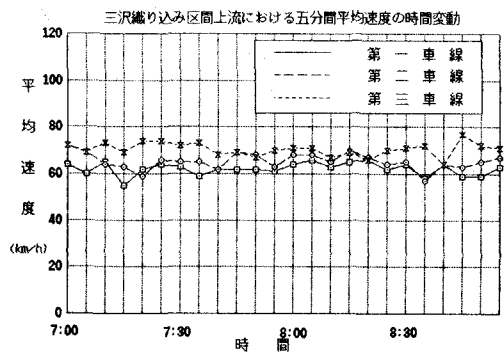


図-5 三ツ沢織り込み区間における平均速度の時間変動図

てくるためである。

(3) 車頭時間分布

三ツ沢織り込み区間の7:00~7:30までの車頭時間分布を図-6に示す。

三ツ沢織り込み区間は、観測の時間帯とはほとんど

ど関係なく1~2秒に最頻値を有する分布となっている。これは、走行速度が70 (km/h)であると仮定した場合、およそ40m以内の車頭間隔である。これに対し宮野木織り込み区間の分布形は、同様に2秒付近を最頻値としているが、車頭時間は三ツ沢織り込み区間に比べ広い範囲に分布している特徴がある。これは、三ツ沢織り込み区間が宮野木織り込み区間と比べて、高密度でこの区間に流入していることを示している。このことからみても、三ツ沢織り込み区間が宮野木織り込み区間に比らべ、都市内高速道路としての性格を強く持っているということが示されているといえよう。

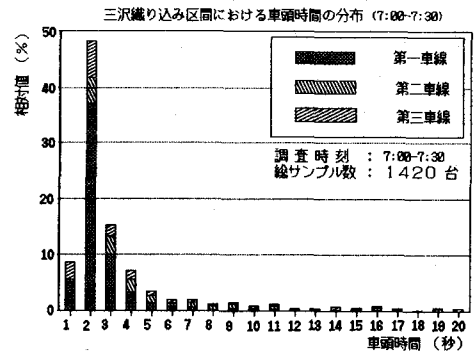


図-6 三ツ沢織り込み区間における車頭時間の分布

4. 織り込み区間の交通現象解析

(1) 織り込み交通量及び非織り込み交通量

三ツ沢織り込み区間におけるピーク時の方向別交通量を図-7に示す。

第一車線から流入した車両の大半は第二・第三車線へ流出しており、第一車線へ流出する車両(非織り込み交通)は大変少ない。これは、流出後の横浜新道の入口が、三ツ沢入路と比較的近い所に設置されており、横浜新道への交通は三ツ沢入路を利用しなくても横浜新道へ流入できるからであろう。

また、第二車線から流入してくる車両のほとんどが第一車線から流出している。このことより、首都高速横羽線より流入する車両のうち、織り込みを行なおうとしている車両は第二車線を、直進しようとする車両は第三車線を走行する傾向にあることがわかる。このことは、第二車線から流入し第三車線へ流出する車両が極端に少ないことから推測することができる。

ここで記述した事項は、オフピーク時においても同様の傾向を示している。

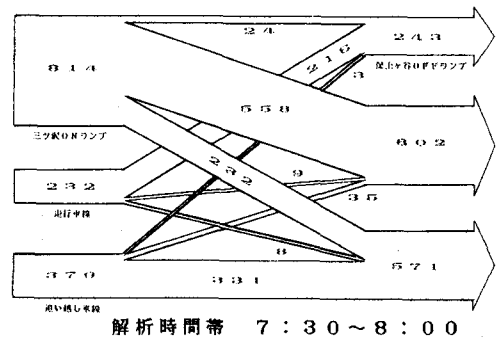


図-7 三ツ沢織り込み区間における方向別交通量

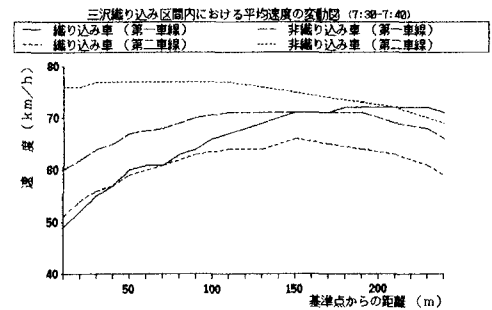


図-8 三ツ沢織り込み区間における平均速度の空間的変動図

(2) 織り込み車、非織り込み車の速度変動

織り込み区間内における平均速度の空間的な変化状況を図-8に示す。

区間前半では、織り込み車の速度が非織り込み車と比較して低い結果となった。これは、織り込み現象の影響を受け、速度低下を余儀なくされる結果であると思われる。第一車線へ流出する第一車線の非

織り込み車、及び第二車線の織り込み車の速度低下は、第一車線流出後の線形及び横浜新道からの渋滞の影響によるものと考えられる。第二車線の非織り込み車が織り込み区間で徐々に速度が低下する要因として、合流車による区間内交通量の増加が影響しているものと思われる。

(3) 車線変更位置

各区間における車線変更開始・終了位置の車両台数の分布及びその累加百分率を図-9に示す。

第一車線から流入する車両の織り込み車の車線変更は、区間前半に集中する傾向にある。これは、第一車線流出側の横浜新道が、渋滞しやすい環境にあり、この影響がオフランプまで及ぼすことが頻繁に起こる。このため運転車は、この影響を受けないように早目に車線変更を行なうものと思われる。また織り込み区間に入ってきた車両は、早く目的地への車線を走行したいという心理が働いていることも一つの要因であると思われる。このことは、他地点での解析結果でも同様な傾向を示している^{3), 4), 5)}。また、第一車線からの織り込み車の車線変更開始が第二車線の車線変更開始と比較して約34m早い理由として、第一車線からの車両台数が第二車線より圧倒的に多く、優位に車線変更を行なっていることが考えられる。これらのことは、オフピーク時でも車両台数の違いこそはあるが、同様の傾向を持つという結果となった。

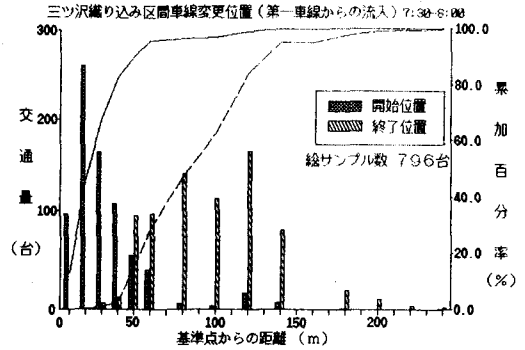


図-9 三ツ沢織り込み区間における車線変更位置の分布とその累加百分率

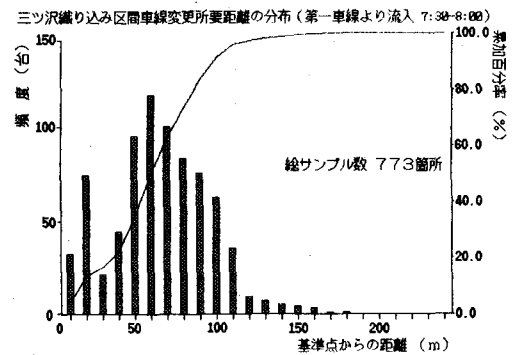


図-10 三ツ沢織り込み区間における車線変更所要距離の分布

(4) 車線変更所要距離の分布

第一車線から流入した車両の車線変更所要距離の分布を図-10に示す。

両者を比較すると、第一車線からの流入車の方が幾分所要距離は長い。第一車線は、車線変更開始位置が早く、大半の車両は、ゼブラノーズから車線変更を開始する。ゼブラノーズの幅はハードノーズ地点が最も広く、徐々に狭くなりマーキングに一致する。本解析では、ゼブラノーズまたはマーキングを車両の前輪が踏んだ地点を開始地点としたため、そのゼブラノーズの幅の分だけ所要距離が延びていると考えられる。

オフピーク時でも、車両台数の違いこそあるが、同様の所要距離の分布となっている。

5. HCMの手法による織り込み区間のサービス水準の推定

1985年度版の新HCMの手法に基づき本研究の対象区間である三ツ沢織り込み区間でのサービス水準を推定した。

この手法は、まず検討区間の幾何構造上の特徴か

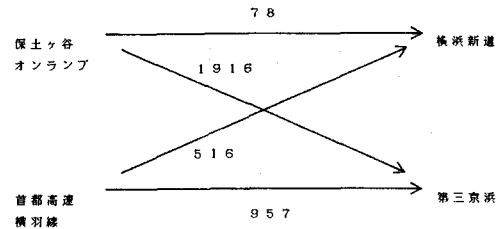


図-11 織り込み交通流図(補正值)

ら定められる、織り込み区間の形式別に設定された速度の算定式を用いて、織り込み車と非織り込み車の速度を求め、さらにバランスのとれた非拘束状態の運用を可能にするために必要な車線数を求め、条件が満たされない場合には、拘束状態下での速度を算定して、織り込み車・非織り込み車の平均走行速度からサービス水準を定めるものである。

当該区間は、必ず一回の車線変更をおこなわなければならないタイプAの形式である。ここで、大型車当量(1.8)¹⁾、大型車混入率(14%)で補正した織り

織り込み交通流図を図-11に示す。これらの値と以下の式を用いて、織り込み車・非織り込み車の速度を算出する。これらの結果を表-5に示す。

$$S_w \text{ または } S_{nw} = \frac{50}{1 + a(1 + VR)^b (v/N)^c / L^d} \quad \dots (1)$$

ここで

- S_w : 織り込み車の平均走行速度
- S_{nw} : 非織り込み車の平均走行速度
- VR : 交通量比
- v : 織り込み区間の総交通流率
(乗用車換算台数/時)
- N : 織り込み区間における全車線数
- L : 織り込み区間長 (フィート)
- a, b, c, d : 定数

a, b, c, dの定数については、表-3の値を使用する。当該区間はタイプAに属するため、拘束状態か、非拘束状態かの判断は、次式により算出することができる。

非拘束状態の運用に必要な車線数 (N_w)

$$= 2.19 N VR^{0.574} L_h^{0.234} / S_w^{0.438} \quad \dots (2)$$

L_h : 織り込み区間長 (100フィート)

(2)式の結果を表-6に示す。

タイプAの場合、

$$N_w \leq 1.4 \quad \dots (3)$$

の時に非拘束状態の運用とされるため、当該区間での運用は拘束状態であるという結果となった。

以上の結果より、当該区間におけるサービス水準は、織り込み車でF、非織り込み車でEという結果となった。

実際の走行状態を観察しサービス水準を推測する

表-3 織り込み区間の織り込み車と非織り込み車の速度の予測値の定数

		a	b	c	d
非拘束状態	織り込み車の速度の場合	0.226	2.2	1.00	0.90
	非織り込み車の速度の場合	0.020	4.0	1.30	1.00
拘束状態	織り込み車の速度の場合	0.280	2.2	1.00	0.90
	非織り込み車の速度の場合	0.020	4.0	0.88	0.60

表-4 織り込み区間の運用に関するパラメータの算定値

	実測値	方程式適用の限界値
総織り込み交通量 (Vw)	2432 (台/時)	1300 (台/時)
織り込み区間の総交通量 (V)	3467 (台/時)	1900 (台/時/車線)
織り込み交通量比 (VR)	0.70	N=3の時 VR=0.45
車線数 (N)	3 (車線)	
織り込み区間長 (L)	333 (m) (1093フィート)	610 (m) (2000フィート)
織り込み比 (R)	0.21	0.50

表-5 拘束状態及び非拘束状態における平均走行速度の算出結果

	織り込み車の速度 (S_w)	非織り込み車の速度 (S_{nw})
非拘束状態	55.8 (km/h) (34.7 mile/h)	56.8 (km/h) (35.3 mile/h)
拘束状態	51.8 (km/h) (32.2 mile/h)	60.0 (km/h) (37.3 mile/h)

表-6 非高速状態の運用に必要な車線数の計算結果

非拘束状態の運用に必要な車線数(N_w)の計算結果	1.98車線
-------------------------------	--------

表-7 織り込み区間のサービス水準の基準値

サービス水準	織り込み車の平均走行速度の最小値 km/h (mile/h)	非織り込み車の平均走行速度の最小値 km/h (mile/h)
A	88.5(55)	96.6(60)
B	80.5(50)	86.9(54)
C	72.4(45)	77.2(48)
D	64.4(40)	67.6(42)
E	56.3(35)	56.3(35)
F	<56.3(35)	<56.3(35)

と、織り込み車でDまたはE、非織り込み車ではCまたはD程度のサービス水準で運用していると思われる。これが、織り込み車でF、非織り込み車でEとなった理由として、織り込み区間長が比較的短いこと、交通量が多いことなどが考えられる。また、新HCMによるサービス水準の決定は、方程式適用の限界値をはずれることは認めていない。そのため、当該区間における結果が、限界値を超えたところで、新HCM手法は適用できないとしなければならない。速度算出のためのパラメータと方程式適用のための限界値を比較した場合、当該区間の織り込み形式がタイプBであれば新HCM手法の適用は可能となる。仮に当該区間がタイプBの織り込み区間とし、その他の条件は既存結果とした場合でも織り込み車で59.2km/h(36.8mile/h)、非織り込み車で54.5km/h(33.9mile/h)と、それぞれサービス水準E、Fという結果となった。

これらをそれぞれサービス水準Dにするためには速度算出のためのパラメータを考慮して、タイプBの形式とし、そのうえで織り込み区間長を40m延ばし373m(12247ft)、4車線の区間としなければならない。

6. まとめ及び今後の課題

本解析の結果は以下のように要約することができる。

- ① 本線より織り込み区間へ進入する織り込み車は本線の外側車線を、非織り込み車は内側車線を走行する傾向にある。
- ② 織り込み車は、非織り込み車と比較して織り込み区間進入時の平均速度は遅い。

また、三ツ沢織り込み区間の特徴としては、以下のことがあげられる。

- ① ランプからの車線の断面交通量の方は、本線からのものより多い。
- ② ランプから流入し本線へ流出する車両（織り込み車）が大半を占め、そのまま流出する車両（非織り込み車）は殆どない。
- ③ 当該区間におけるサービス水準は、織り込み車がE、非織り込み車がFで運用されている。ま

た、この区間が織り込み車・非織り込み車ともにサービス水準Dで運用するためには、タイプBの織り込み区間に改善し、織り込み区間長は、さらに40m(373m)に延ばし、4車線の織り込み区間としなければならない。

今後は、幾何構造（ランプ形式など）がどのように各要素に影響を与えているか、また、ランプからの織り込み車と本線からの織り込み車との相関はどのような関係を持っているのか、などのを考慮した解析及びその関係の定量化が必要であると思われる。

また、HCMのサービス水準の推定方法をそのまま日本の高速道路に適用することも問題があると思われる。したがって、この適応性についても検討する必要があると思われる。

<参考文献>

- 1) (社)日本道路協会(1984)
「道路の交通容量」
- 2) (社)交通工学研究会(1985)
「道路の交通容量」
- 3) 卷上・松尾・松原(1986)
「阪神高速道路環状線堂島区間の交通現象について」
土木学会第42回年次学術講演会、PP52～53
- 4) 長田・荒神(1987)
「織り込み区間等における交通現象」
第17回日本道路会議一般論文集、PP1022～1023
- 5) 清水 洋(1987)
「織り込み区間の設計に関する調査」
第17回日本道路会議一般論文集、PP1020～1021