

## 都市内高速道路の織り込み交通流に関する実証的研究

桑 原 雅 夫\*  
西 川 功\*\*  
原 隆 広\*\*\*

本稿は首都高速道路において観測された13セットのデータに基づいて、織り込み区間の交通容量、走行速度、織り込み位置について調査分析した結果を報告するものである。織り込み容量を、織り込み・非織り込み交通量の分布、織り込み区間の長さ、車線数等と関連付けて分析を行った結果、織り込み容量は車線数のみでほぼ決定され、その他の変数には余り依存しないという結果が得られた。また、容量状態における織り込み車と非織り込み車の平均速度を、観測によって得られた値と1985年版のHighway Capacity Manual(HCM)の速度推定式を用いて算出した値の比較を行った。容量状態においては、1985-HCM法により得られた平均速度は、織り込み、非織り込み車とも観測値より過大評価された。

### 1. はじめに

織り込み区間とは、合流部と分流部が近接している区間で、異なる方向に進もうとする車が互いに交錯するため、容量上のボトルネックになりやすいことが知られている。このような織り込み区間は今後高速道路のネットワーク化が進むにつれ都市部のインターチェンジやジャンクションにおいて増加するものと思われ、そこでの交通流状況を分析することが重要となっている。ところが、数百メートルにわたる織り込み区間での交通状況を調査することは、かなり困難であったために、我が国でのデータ蓄積及び解析は遅れていると言っておりよいであろう。

我々は、これまでに首都高速道路における数か所の織り込み区間について、走行速度、交通容量と幾何構造の関係について調査・分析を行ってきたが<sup>(1),2),3),4)</sup>、本稿では、さらにビデオ交通観測及び車両感知器データを追加し、織り込み区間の容量

と速度について総括的にまとめることとする。

### 2. 調査の概要

首都高速道路上の織り込み区間の中で、織り込み容量が観測できるように下流側に先詰まりを起こさないような区間を選定し、車両感知器、ビデオ観測を行ってきた。ビデオ観測は近隣の高層ビルや陸橋にカメラを備え付けて撮影を行うか、堀切～小菅区間のようにビルが立地していない所では、ヘリコプターからの撮影を実施した。

表-1は、これまでに調査を行った織り込み区間の幾何構造と交通諸量をまとめたものであるが、今回新たに5つのデータセットが追加されている。これら13データセットの中で留意すべき点を下記にまとめておく。

- (1) 堀切区間(データ1)では、6号線から織り込み区間への流入部では常に待ち行列が存在している状態が続いていたわけではないので、完全な容量状態ではなかった。
- (2) 小菅区間(データ3)は流入端の車線数は3車線であるが、織り込み区間の途中からオンランプが接続している多重織り込み区間のた

\* 東京大学生産技術研究所助教授

\*\* 東京大学生産技術研究所技官

\*\*\* 首都高速道路公団第一建設部戸田工事事務所

表-1 織り込み区間道路交通条件

データ区 セット 番号	区 間	観測日時	車線数	区間長 (m)	交通量 V (台/h)	VR (pcu/h)	R	大型車 混入率 (%)	影響係数 観測値	HCM 推定値	HCM-65 の推定容量 [pcu/h]	区間概略図
1	堀切IC-小菅IC. (中環下り)	1989 8/23 15:00-15:50(VTR)	3	800	4,842	5,388	0.418	0.318	3.11	2.90	5,539	
2	堀切IC-小菅IC. (中環下り)	1991 5/21 10:00-12:00(DET)	3	800	5,266	6,130	0.418	0.318	1.95	2.95	5,311	
3	小菅IC-堀切IC. (中環上り)	1991 1/24 6:15-7:15(VTR)	4	840	5,710	6,262	0.598	0.456	3.14	3.00	5,785	
4	池尻ON-三軒茶屋OFF (3号下り)	1988 2/8,9,10,12 (DET)	2	830	3,574	3,852	0.304	0.374	2.71	2.40	3,987	
5	池尻ON-三軒茶屋OFF (3号下り)	1989 5/28-6/3 (DET)	2	830	3,526	3,822	0.309	0.315	3.09	2.40	4,079	
6	三軒茶屋ON-池尻OFF (3号上り)	1990 10/11 6:40-7:00(VTR)	2	210	3,775	4,140	0.140	0.236	4.36	2.60	4,381	
7	江戸橋IC-箱崎IC. (6号向島下り)	1990 10/11 6:30-7:30(VTR)	3	430	5,471	6,112	0.418	0.324	1.95	3.00	5,245	
8	江戸橋IC-箱崎IC. (6号向島下り)	1991 5/23 5:30-7:30(DET)	3	430	5,106	5,817	0.418	0.324	2.37	3.00	5,324	
9	江戸橋IC-箱崎IC. (6号向島下り)	1991 10/18 7:30-8:30(VTR)	3	430	5,549	6,236	0.367	0.289	2.00	3.00	5,577	
10	竹橋IC-神田橋OFF (都心環状外回り)	1991 5/21-24 7:00-8:00(DET)	2	295	4,191	4,584	0.350	0.247	1.04	3.00	3,807	
11	谷町IC-霞が関OFF (都心環状外回り)	1988 2/8,9,10 8:40-9:40(DET)	2	865	4,215	4,627	0.594	0.240	0.96	2.95	3,314	
12	谷町IC-霞が関OFF (都心環状外回り)	1991 11/6 8:05-8:15,9:00-9:20(VTR)	2	865	4,020	4,413	0.594	0.240	1.30	2.93	3,386	
13	新木場ON-葛西IC. (湾岸下り)	1988 2/8,9,10,12 (DET)	3	1,045	5,745	6,251	0.245	0.328	2.29	1.50	6,649	

- 注) 1. 区間長はHCMで定義されている長さをとった。  
 2. 三軒茶屋区間の車線数は、織り込み区間直下流で2車線に絞られていたので2車線としたが、織り込み区間の車線数は4車線存在する。  
 3. 大型車当量=1.5 [pcu/大型車]  
 4. 小菅IC-堀切IC.区間の車線数は、4車線として織り込み影響係数を算出した。  
 5. 大型車混入率は20-ODより算出した。  
 6. 観測日時の項目のVTRはビデオ、DETは車両感知器を使用し集計を行っている。

め、オンランプから下流側は4車線となる。表-1にあるように、本分析では当区間の車線数を4車線として実施した。ただし、オンランプからの流入交通量は非常に少ない。

- (3) 三軒茶屋区間(データ6)は、特殊な幾何構造を持っており、織り込み区間内は4車線、区間終端部から約100mが3車線、そしてその下流が2車線という構造である。このように、車線は最終的には2車線に絞られているので、本分析では2車線区間として分析を行っている。
- (4) 車両感知器データを集計したデータセットでは、織り込み比率( $VR = \text{織り込み交通量の全交通量に対する割合}$ )、大型車混入率などが分からないので、異なった日ではあるが同じ区間におけるビデオ撮影から読み取ったデータ、又はOD調査結果から大型車混入率、織り込み比率を推定した。本来ならば交通容量の観測日時と大型車混入率、織り込み比率の観測日時は同じであるべきであるが、ここでは暗にそれらが日によって余り変動しないことを前提に分析を行った。
- (5) 大型車に分類したのは、ナンバーが0,1,2の車種、すなわち大型特殊車、普通・大型貨物車、バスで、通常環境系の大型車に分類されている車種である。また、大型車混入率については、首都高速道路公団の第20回OD調査結果(1990年5月)から得られている区間別・時間帯別の環境系の大型車混入率を用いた。これはVTRからの読み取りでは大型車の判断に計測者の個人差が大きくなるためである。

### 3. 織り込み区間の乗用車換算係数の推定

織り込み区間の交通容量を分析するためには、交通流に含まれている大型車の乗用車換算係数を推定する必要がある。本研究では、箱崎区間(データ9)におけるビデオ撮影結果から、各車両の車尾時間に基づいて乗用車換算係数を推定した。一般に織り込み区間では、容量状態に達すると区間始まりの合流端が頭になって渋滞が起きており、

表-2 車種の組合せ別の車頭、車尾、車間時間の平均値

車種組合せ	車頭時間	車尾時間	車間時間	サンプル数
小-小	1.711	1.708	1.105	2,853
小-大	2.017	2.638	1.421	939
大-小	2.320	1.685	1.077	981
大-大	2.706	2.668	1.414	335
			計	5,108

車頭、車尾、車間時間の単位は、[秒]

区間の途中から終端にかけては、渋滞先頭からの発進流が観測される。この発進交通流は区間の容量と等しく、各車両の発進時間間隔を計測すれば、容量状態の乗用車換算係数が近似的に求められると考えた。箱崎区間も同様の現象が起きていたので、合流端より約100m下流地点(ほぼ渋滞先頭の直下流)において、車頭時間、車間時間、車尾時間を計測した。早朝の1時間にわたって計測した結果、5,108個の計測結果を得ることができ、表-2に前後の車種の組合せ別の各時間間隔の平均値を示す。

車尾時間に着目すると、前方の車種にかかわらず、後方車種が小型であれば約1.7[秒]、後方が大型であれば約2.65[秒]というように、主に後方の車種によって車尾時間が決められていることが分かる。そこで、この車尾時間を用いて、次のように乗用車換算係数を推定した。(車尾時間が余り長いと前方車に追従しているとは考えにくいので、車尾時間が5[秒]以下の値のみを用いた。)

乗用車換算係数

$$= \frac{\text{後方が大型車の場合の車尾時間}}{\text{後方が小型車の場合の車尾時間}} = \frac{2.646 \text{ [秒]}}{1.702 \text{ [秒]}} = 1.554$$

この結果を丸めて、乗用車換算係数は1.5[pcu/大型車]とすることとした。

### 4. 織り込み区間の交通容量

#### 4.1 単路容量との比較

先に行った首都高速道路の2単路区間(箱崎I.C.→両国I.C., 昭和島I.C.→空港OFF)における容量観測<sup>2)</sup>の結果からは、2車線単路部の交通容量はおおむね4,600[pcu/時/2車線]であった。この

結果を用いて、織り込み区間の交通容量が単路容量の何パーセント程度であることを示したのが図-1である。堀切区間(データ1)が完全な容量状態に達していなかったことと、小菅区間(データ3)を4車線として処理したことを考慮すると、織り込み区間の交通容量は単路区間の80~90%の範囲にある区間が多いと思われる。量的に算定すれば、織り込み区間の交通容量は約2,000 [pcu/時/車線]となり、単路部に比較して約300 [pcu/時/車線]程度少ない結果となった。

4.2 区間長, 織り込み交通量との比較

図-2は交通容量(V)と織り込み比率(VR)の関係を表したものである。図中で1区間について

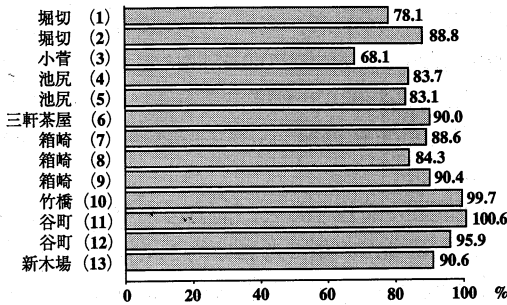


図-1 織り込み区間と単路区間の交通容量の比較  
( )内はデータセット番号

て複数点プロットされている交通容量は渋滞時の観測された5分間交通量を単純に12倍して時間換算した後、大型車の乗用車換算係数を前節で求めた1.5[pcu/大型車]として乗用車換算したものである。また観測時間帯の平均の織り込み比率しか分かっていない区間については交通容量と織り込み比率の平均値を1点のみプロットしている。図-3は1車線当たりの交通容量と織り込み比率の関係を、図-4は1車線当たりの交通容量と織り込み区間長の関係を見たものである。また図-5は1車線当たりの交通容量と織り込み分布率(R)の関係を見たものである。ここで織り込み分布率(R)とは、2つの織り込み交通量のうち小さい方の織り込み交通量( $V_{ws}$ )の全織り込み交通量( $V_w$ )に対する割合である。

これらの図のうち、堀切区間では6号線からの流入部において常に渋滞列が存在していたわけではないので、この区間の容量は多少観測交通量よりも大きくなるものと思われる。また小菅区間では車線数を4車線として1車線当たりの容量を算出しているが、実際には小菅I.C.~小菅オフランプの区間(織り込み区間の合流部直下流)では3車線であり全区間にわたって4車線区間ではないため1車線当たりの交通容量は全車線の交通容量の

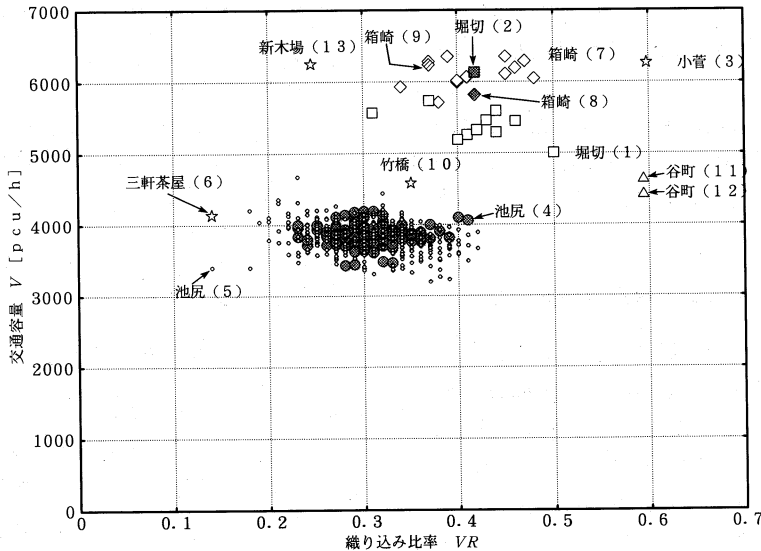


図-2 織り込み比率と交通容量の関係

都市内高速道路の織り込み交通流に関する実証的研究

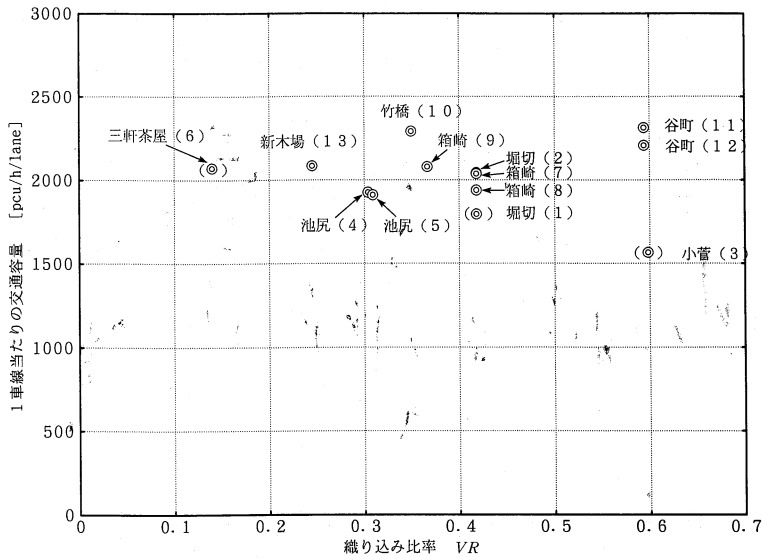


図-3 1車線当たりの交通容量と織り込み比率との関係

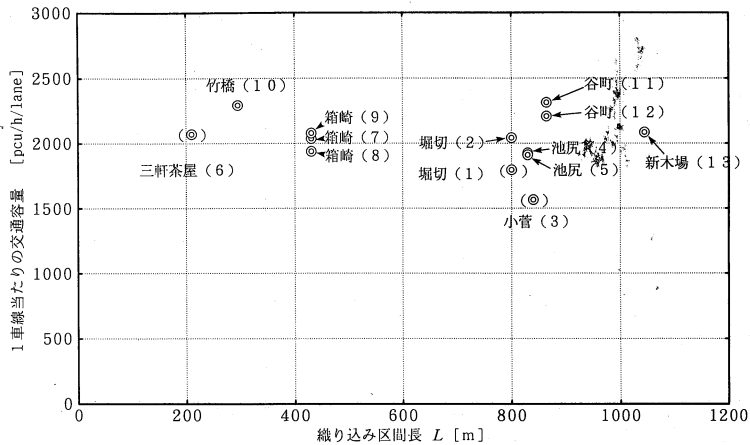


図-4 1車線当たりの交通容量と織り込み区間長との関係

1/4よりも若干多いものと思われる。これら2つの区間と幾何構造の複雑な三軒茶屋区間については参考値として図中のプロットに( )をつけ表示している。以上のようなことを考慮すると容量の織り込み比率 (VR)、区間長に対する感度はあまり高くはないようである。

区間長が極端に短ければ容量に影響が出るとは思われるが、一般に織り込み区間に入るとすぐに車線変更が開始される傾向があるため、ある程度以上長い区間では区間長に容量がそれ程大きな影響

を受けないのは、観察からもうなずける結果である。図-6, 7は箱崎区間(データ9)、小菅区間(データ3)を撮影したビデオより、織り込み位置の分布を計測した結果である。この図から箱崎区間においては、430mの織り込み区間長の内ハードゾーンから100mの区間で全織り込み交通量の80%程度が車線変更を行っており、また堀切上り区間についても同様に840mの区間長の200mまでに60%以上が車線変更を行っていることが分かる。これらのようなことから、区間長がおそ

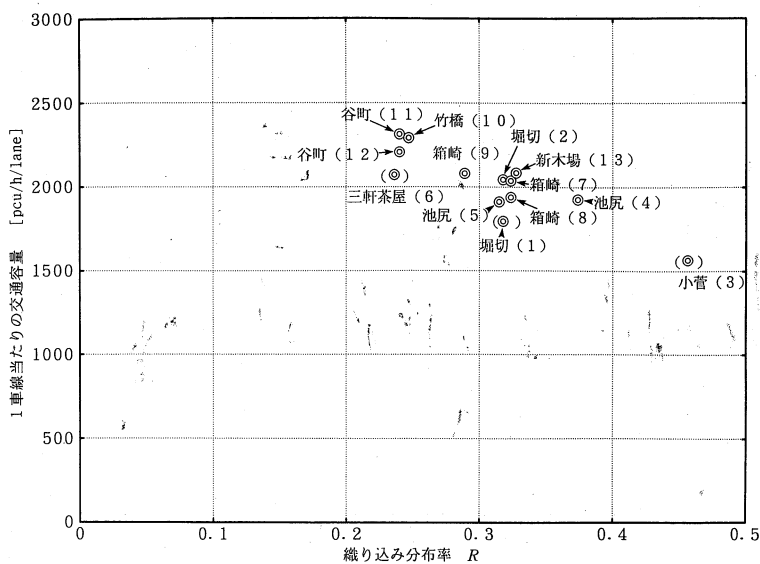


図-5 1車線当たりの交通容量と織り込み分布率の関係

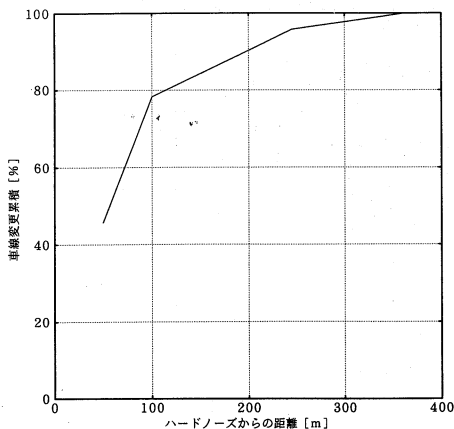


図-6 地点別車線変更観測値 (箱崎区間 [No.9])

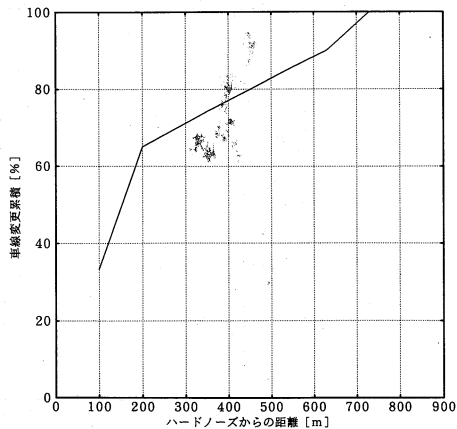


図-7 地点別車線変更観測値 (小管区間 [No.3])

らく 300 m~400 m 以上であれば、容量は区間長にはあまり依存しないのではないかと推測できる。

また織り込み分布率 ( $R$ ) との関係については、 $R$  が小さくなるにつれ 1 車線当たりの交通容量が大きくなる傾向が若干見られる。 $R$  が小さいということは、2 方向の織り込み交通の 1 方向が卓越しているということを意味しており、交通流は織り込みというよりも合流の現象に近づいていることを示している。織り込みよりも合流の方が車の錯綜は少ない現象と考えられることから、容量

も高くなるものと思われる。

次に、織り込み交通容量を区間長、織り込み交通量などを説明変数として回帰分析を行った。用いたデータは、表-1 の 13 のデータセットのうち、容量状態に完全に達していないと思われる堀切区間 (データ 1)、多重織り込み区間となっている小菅区間 (データ 3)、及び織り込み区間内の道路線形が複雑な三軒茶屋区間 (データ 6) を除いた 10 データセットである。

数種類の説明変数をいろいろと組み合わせて回帰分析を行った結果、下記のような回帰式が、推

定精度的にも相関係数 0.95 と最もよく、構造的にも小さい方の織り込み交通量 ( $V_{ws}$ ) が少ないほど、区間長 ( $L$ ) が長いほど容量が大きくなるという性質を持っているものとして得られた。本回帰式は、単路交通容量である  $2,300 \cdot$  車線数 [pcu/時] と織り込み交通容量 ( $V$ ) の差を回帰して、 $a, b, c$ , 3つのパラメータを求めたものである。

$$V = 2,300 \cdot N - a \cdot V_{ws} + b \cdot L - c$$

$$= 2,300 \cdot N - 0.65 \cdot V_{ws} + 0.0043 \cdot L - 170$$

$V$  = 織り込み区間の交通容量 [pcu/時]

$N$  = 車線数

$V_{ws}$  = 小さい方の織り込み交通量 [pcu/時]

$L$  = 区間長 [m]

しかしながら、帰無仮説： $a=0, b=0$  を F 検定したところ、仮説を棄却することはできず、先に述べたように織り込み区間の交通容量は、ほとんど車線数のみで決められていることが本分析で扱ったデータからは結論される。

ここで行った回帰分析では、織り込み区間の車線構造、特に合流端での幾何構造を考慮していないが、合流端の車線構成等が容量にかなり影響を与えるのではないかと推測される。例えば、竹橋、谷町区間は、ほぼ同じような合流端の幾何構造を持っており、容量値も比較的近い値を示している。一方、池尻区間は同じ 2 車線と 1 車線の合流ではあるが、オンランプがセンターランプとなっており、竹橋、谷町とは少し違った構造である。池尻の容量値が相対的に低いことが、この幾何構造の違いにどの程度起因しているかは明らかでないが、原因の一つであると考えても差し支えないだろう。

### 4.3 1965 HCM の推定値との比較

HCM-65<sup>5)</sup>では織り込み交通量と織り込み区間長から織り込み影響係数  $k$  値を与えるグラフを用意している。織り込み影響係数とは 2つの織り込み交通量のうち小さいほうの織り込み交通流内の織り込み車 1 台がその他の交通流内の乗用車何台分に相当するかを表した値で、織り込み影響係

数で割増した割増し交通量 ( $V'$ ) との間に次のような関係を持つ。

$$V' = V + (k-1) \cdot V_{ws} \dots\dots\dots (1)$$

$V'$  = 割増し交通量 [pcu/時]

$V$  = 交通容量 [pcu/時]

$k$  = 織り込み影響係数

容量状態の流れを考えた場合、式(1)は織り込み容量に相当する  $V$  を  $k$  値で割増しして、単路容量に相当する  $V'$  に変換する式と考えることができる。したがって、式(1)を用いて織り込み区間の容量を推定することができる。すなわち、割増し交通量 ( $V'$ ) としては、前節で求めた単路容量 (2,300 [pcu/時/車線]) に車線数を乗じた値を用い、HCM-65 で求めた  $k$  値と観測された  $V_{ws}$  の値を代入して、総交通量 ( $V$ ) を逆算することとした。

図-8 は、このようにして求めた HCM-65 による容量の推定値と観測値との関係を表した図である。これを見ると、推定値が観測値より低い区間が多く、つまり式(1)から見れば、HCM-65 で推定される影響係数  $k$  値は、我が国の織り込み区間の容量状態においては過大に推計されてしまうと考えられる。

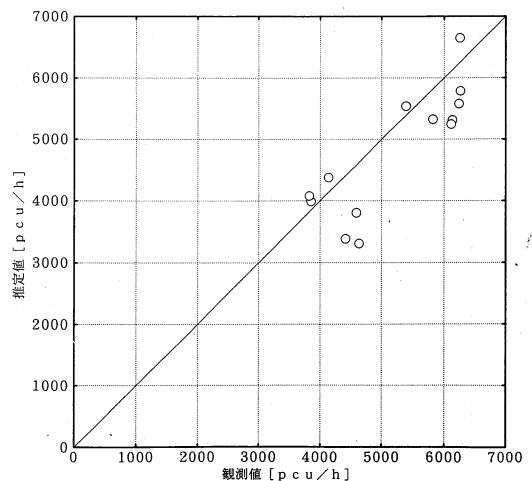


図-8 織り込み容量の観測値と 1965 HCM 推定値

## 5. 織り込み区間の走行速度

### 5.1 区間別走行速度

箱崎区間（データ 9）、小菅区間（データ 3）での走行速度の変化を車線別に示したものが図-9、10である。箱崎区間（図-9）では、都心環状線の内回りからの第1車線は織り込み車に比較的干渉されないため相対的には他の車線ほどの著しい速度変化は起きていない。都心環状線の内回り、外回りからそれぞれ1車線が統合される第2車線では織り込みが頻繁に行われるために合流部で特に速度が低くその後下流に行くに従って速度が回復して行く様子が分かる。また都心環状線外回りからの第3車線は第1車線と同様に織り込み車の影響をあまり受けず、6号線方面に比べて方向別交通量の少ない9号線方面に向かうため下流に行くに従って急激に速度が上昇している。

同様に小菅区間（図-10）についても6号三郷線、中央環状線からの1車線ずつが統合される第3車線では速度が低くその後徐々に速度が回復し、ま

た200 m付近から各車線の速度がほぼ同じように変化していくのが分かる。いずれの区間でも前節で述べた織り込みが頻発する区間での速度が著しく低い。

### 5.2 HCM-85の走行速度推計値との比較

ここでは箱崎区間（データ 9）について走行速度の観測値とHCM-85の速度算定式<sup>9)</sup>を用いて算出した走行速度との比較を行いその適合性を検討する。尚、本節で扱う速度とは5:1で扱った区間別の速度変化ではなく区間全体の平均旅行速度である。HCM-85の速度算定式は3種類の織り込み区間形状（タイプ A, B, C）、2種類の交通状態（非拘束、拘束）の合計6種類の状態の推定式が織り込み、非織り込み車別に用意されており、これらのパラメータには適用に際して、交通量レベルの限界値が定められている。HCM-85では15分間交通量を推定に使用するよう指定されているが、限られた観測時間においてできるだけ検証できる推定値を多くしたいのでここでは5分間交通量を用いた。

図-11, 12は箱崎区間の非織り込み車と織り込

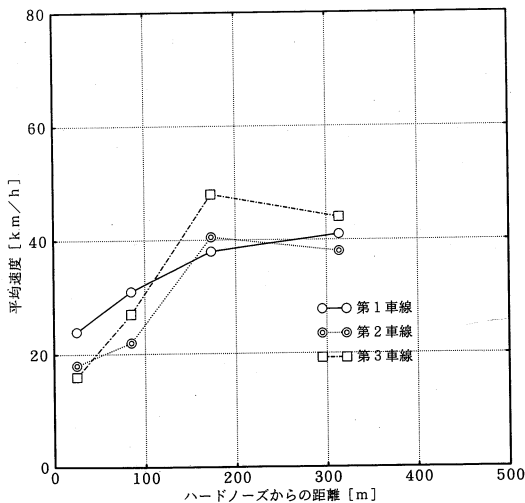
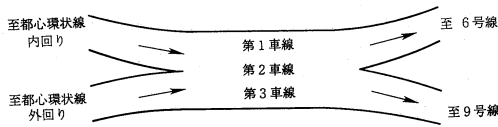


図-9 地点別平均速度観測値の時間変化（箱崎区間 [No. 9]）

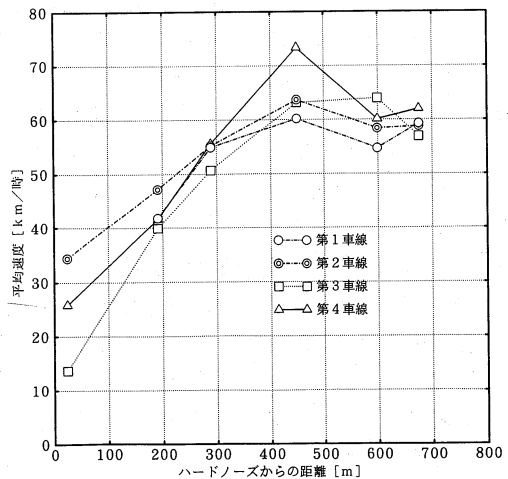
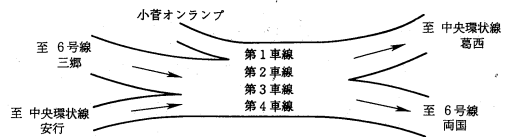


図-10 地点別平均速度観測値の時間変化（小菅区間 [No. 3]）



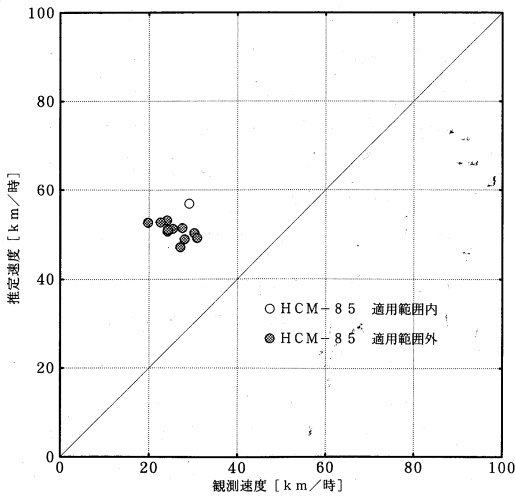


図-11 箱崎区間(No.9)における非織り込み速度の観測値と推定値の比較

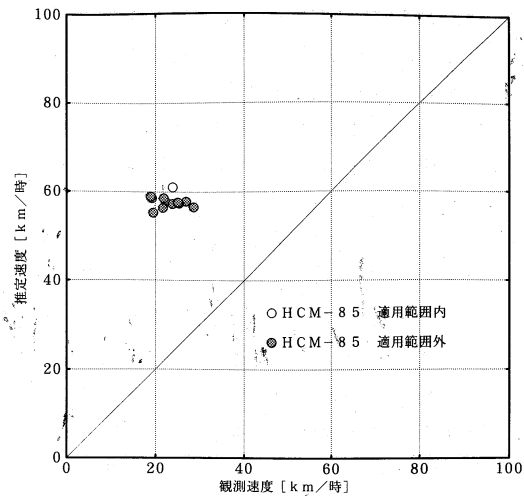


図-12 箱崎区間(No.9)における織り込み速度の観測値と推定値の比較

み車の走行速度の観測値と推定値を比較したものである。HCM-85の推定式には適用範囲が定められているが箱崎区間では1車線当たりの総交通量の適用範囲である1,900 [pcu/時/車線]をほとんどの観測時間帯において超えてしまっており、図中のプロットで適用範囲内か否かを区別している。図より交通量が適用範囲内であっても、織り込み、非織り込み速度共にHCM-85の推定値が観測速度に比べてかなり高めに算出されていることが分かる。文献<sup>2)</sup>では、速度域が70~90[km/h]の自由流状態においてHCM-85を適用し、かなり高い推計精度であることを報告したが、容量状態では精度に問題があるようである。

次にHCM-85の交通量に関する説明変数である総交通量と織り込み比率のうち、織り込み比率と速度の関係を見たものが図-13である。HCM-85の推定式で得られた織り込み、非織り込み速度は織り込み比率の増加に従って若干減少する傾向が見られるが余り感度は高くないようである。同様に、速度の観測値も織り込み比率に対して感度が低い。

さらに、観測値では非織り込み車の速度の方が高いがHCM-85の推定値は織り込み車の速度の方が非織り込み車の速度より高くなってしまいうことにも注意が必要である。

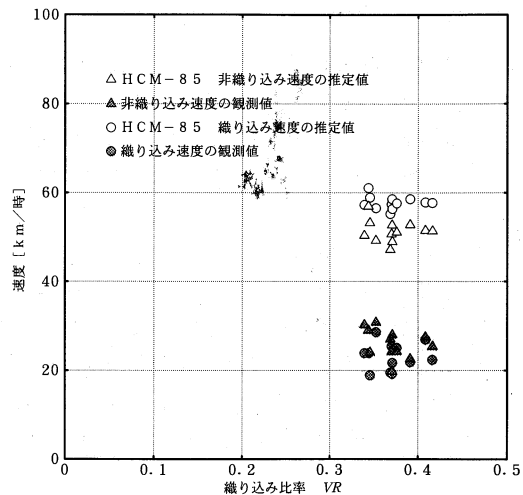


図-13 箱崎区間(No.9)における速度の観測・推定値と織り込み比率の関係

## 6. まとめと今後の課題

首都高速道路上の13セットの織り込み区間データを、車両センサーデータの収集及びビデオ撮影から作成し、織り込み区間の交通容量と速度について分析を行った。以下に、主な結果をまとめる。

- (1) 箱崎区間におけるビデオ観測結果から、大型車の乗用車換算係数を推定したところ、1.5 [pcu/大型車] という結果が得られた。

- (2) 首都高速道路の単路区間の容量値である 2,300 [pcu/時/車線] と比較すると、織り込み区間の容量は区間によってバラつきはあるが、単路区間よりも 10-20%程度低く、車線当たり約 2,000 [pcu/時/車線] 程度の値しか持たないことを確認した。
- (3) 織り込み区間の容量と織り込み比率 (VR)、織り込み分布率 (R)、区間長との関係を分析したが、容量は織り込み比率、区間長には余り依存していない結果となった。R との関係については、R が大きいほど(2つの織り込み交通量が均等に分布しているほど)容量が減少する傾向がみられた。また、これら織り込み比率などの変数を用いて容量値を回帰したが、統計的にも織り込み区間の交通容量はほとんど車線数のみで決められていた。
- (4) HCM-65 で提案されている影響係数を用いて、織り込み交通容量を推定した結果、過小推計となる傾向があった。すなわち、HCM-65 で推定される影響係数値は、我が国の織り込み区間の容量状態においては過大に推計されてしまう傾向にあった。
- (5) HCM-85 の方法を用いて非織り込み、織り込み速度を推定したが、容量状態においてはどちらの速度もかなり過大に推計された。自由流状態における推計精度はかなり高かったが、容量状態では精度に問題があるようである。
- 今後の課題を以下にまとめる。
- (1) 本分析では、箱崎区間のデータのみを用いて大型車当量を 1.5 [pcu/大型車] と推定したが、今後は他の区間においても推定し乗用車換算係数を確認する必要がある。
- (2) 回帰分析の結果、区間長、織り込み交通量などは織り込み交通容量を有意に説明する変数とはならなかったが、さらに織り込み区間の車線構造、特に合流端での幾何構造を考慮した分析が必要である。
- (3) 渋滞開始時と渋滞後では容量は必ずしも同

じとは限らず、サグ、トンネルのボトルネックでは渋滞後は容量が減少する傾向にあることが報告されている。織り込み区間についても容量の時系列変化を分析し、容量が変化するかどうかを確かめる必要がある。

- (4) 都市間高速道路においては織り込み区間が渋滞の頭になっている区間が無いので、本分析では都市内高速道路を対象に分析を実施したが、将来的には都市間高速道路についても織り込み容量を明らかにする必要がある。都市間高速と都市内高速では、サグやトンネルでのボトルネック容量が異なることが報告されており、織り込み容量も都市間高速道路では低くなることが予想される。
- (5) 分析を平日交通のみならず、ドライバー挙動の異なる休日交通にも発展させることも必要である。

最後に、本研究をまとめるに当たって、多くの助言を頂いた東京大学工学部の越正毅教授、交通量調査に多大なご協力をいただいた首都高速道路公団計画部調査課、管制技術課と(株)オリエンタルコンサルタンツ総合計画部の皆様に、深い謝意を表したいと思います。

#### 参考文献

- 1) 鈴木隆, 桑原雅夫, 中村英樹, 赤羽弘和; “感知器データによる織り込み区間の交通容量分析”, 土木学会第 44 回年次学術講演会講演集, pp. 168~169, 1989. 12
- 2) 桑原雅夫, 越正毅, 鈴木隆; “首都高速道路の織り込み区間の交通容量と走行速度に関する実証的研究”, 交通工学, Vol. 26, No.2, pp. 39~50, 1991. 3
- 3) Masao Kuwahara, Masaki Koshi, & Takashi Suzuki; “A Study on Capacity and Speed of Weaving Sections in the Tokyo Metropolitan Expressway”, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, pp.27~32, March, 1991
- 4) 西川功, 桑原雅夫; “都市内高速道路の織り込み交通容量に関する研究”, 土木計画学研究講演集, Vol.14, 1991. 11
- 5) Highway Capacity Manual, Transp. Research Board Special Report 87, 1965
- 6) Highway Capacity Manual, Transp. Research Board Special Report 209, 1985

(1992年11月24日受付)  
(1993年3月9日再受付)