

阪神高速道路環状線四ツ橋区間の容量解析についての研究*

CAPACITY ANALYSIS ON THE YOTUBASHI WEAVING
SECTION OF THE HANSHIN EXPRESWAY.

豊田 健**・巻上 安爾***・松尾 武****

by Ken Toyoda, Yasuji Makigami, Takeshi Matsuo

In this study, we applied the 1985 HCM weaving capacity method to the Yotubashi section of the Hanshin Expressway which was already grasped its traffic flow characteristics by analyzing aerial photographs, and tried to evaluate the fitness of new HCM analysis method by comparing calculated results of new method with measured results of aerial photograph analysis.

1. はじめに

阪神高速道路環状線は、図-1に示すように最大車線数が4車線の一方通行の環状線、守口線、東大阪線、松原線、堺線の各放射線と接続し、大阪市の周辺地域から各放射線を利用し流入してくる交通を目的地に最も近いオンランプに導き、かつ大阪市都心部から周辺地域へ流出していく交通を各放射線に導く役割を果たしている。当然、放射線の連結部の

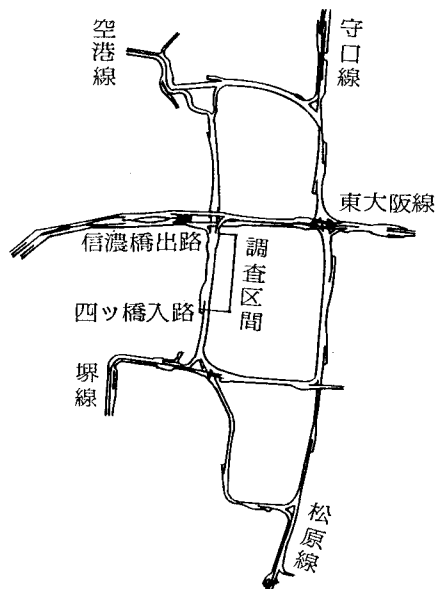
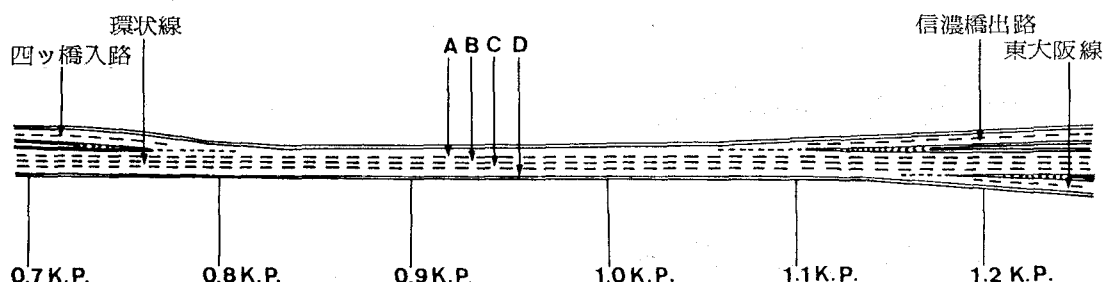


図-1 阪神高速道路環状線概略図

-
- * キーワード 織り込み交通容量, 航空写真解析
** 学会員 立命館大学大学院博士前期課程
理工学研究科土木工学専攻
*** 正会員 工博 立命館大学教授
理工学部土木工学科
(〒603 京都市北区等持院北町56-1)
**** 正会員 阪神高速道路公団業務部交通管制課長
(〒541 大阪市東区北久太郎4-68大阪センタービル)



図一 2 阪神高速道路環状線四ツ橋区間平面図

中間には、市内中心部へのアクセスのため、多数のオンランプ・オフランプが設けられ、環状線上の交通流には、車線変更や織り込み等の重複した複雑な交通現象が多く見られる。

この環状線全体が事故等のため全線渋滞した場合、阪神高速道路大阪地区のネット全体の機能が阻害されることになり、環状線上の交通流を円滑に保つことは、阪神高速道路の交通運用上最も重要なことである。

本調査は、このような環状線上の交通流のうち、環状線・四ツ橋入路合流部から環状線・東大阪線分流部までのいわゆる四ツ橋区間に着目し、区間内で車線毎に刻々と変化する交通流をヘリコプターから撮影した航空写真を基に総合的に解析して、この区間での効果的な交通運用を保持するための基礎資料を得ることを目的としたものである。

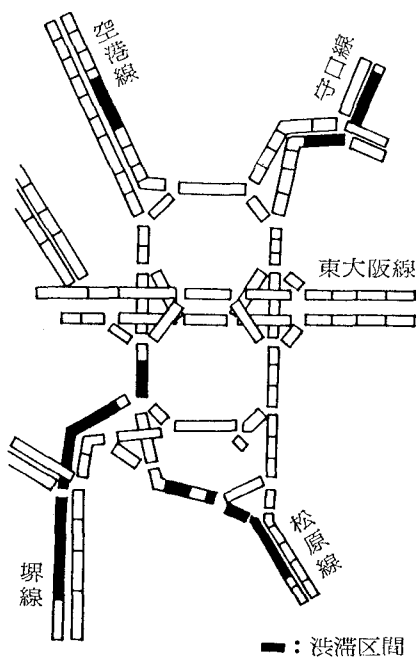
本調査では、この四ツ橋区間のうち 0.7k.p. から 1.3k.p. までの600mを対象にヘリコプターからの航空写真撮影を実施し、この航空写真から得た資料を電算処理することによって得られる速度カウンター図と、さらにこの解析によって得られた方向別交通量による織り込み交通量から、織り込み区間の交通容量解析を実施したものである。図-2に本調査区間の平面図を示す。

2. 調査実施概要

阪神高速道路環状線・四ツ橋入路合流部から環状線・東大阪線分流部の間約600mを撮影対象とし、昭和63年 8月 2日午前 8時28分から 9時34分までの約 1時間に渡って上空約1,800mでホバーリングするへ

リコプターから50mmボジカースライドフィルムを用いて5秒に1枚の撮影を1時間実施した。図-3に阪神高速道路交通管制システムからのアウトプットを基に 9時30分の渋滞発生状況を示す。

また、航空写真解析結果の精度チェックそして大型車混入率及びピーク時係数の算出の為、調査区間近傍のビル屋上から本線上の交通流をビデオカメラ2台を用いて上流側、下流側の2箇所を録画している。また、航空写真撮影及びビデオカメラ撮影に使



9 : 3 0 交通渋滞状況

図一 3 阪神高速道路交通渋滞状況

表-1 調査機材・方法・目的

	航空写真撮影	固定地点ビデオ撮影
人員・機材	パイロット 1名 撮影技師 1名 ベル204B-II型（使用航空機） 1機 ハッセルブラッド500ELM with CCID システム（使用機材） 1式 プラナー 100m/m CF（使用レンズ） 1器 撮影枚数（No.0001～0793） 793枚	調査員 3名 時計 2個 ビデオカメラ 2台 砂袋 6個 ビデオデッキ 2台 バッテリー 10個（予備） アダプター 2個 ビデオテープ 12本 三脚 2台
方法	・調査対象区間上をホバーリングするヘリコプターから5秒毎に撮影 ・撮影範囲は四ツ橋区間約600m	・大正生命ビル屋上より固定撮影 ・撮影時間は午前6時～午前10時までの4時間
目的	・密度、速度等分布状況の把握	・航空写真解析結果のチェック ・大型車混入率の算出 ・PHFの算出

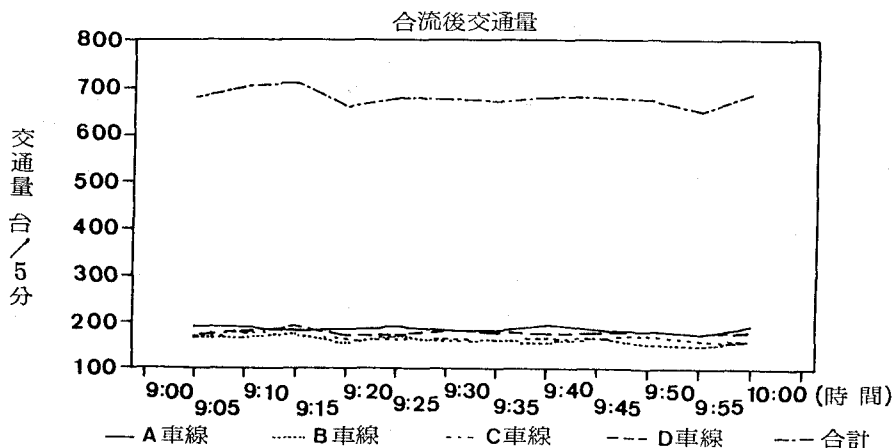


図-4 ビデオ撮影調査地点における5分間交通量

用された器材、方法及び目的を表-1に示す。さらに、図-4に再生ビデオ画面から目視計測した四ツ橋区間中間点の断面交通量の時間変動状況を示す。

3. ヘリコプターを用いた航空写真の解析法

約5秒間隔で撮影された航空写真の解析法は、既に文献1で公表された解析法に改良を加えたものを用いた（文献2参照）。

なお、集計作業は次の様に行われた。まず航空写真をプロジェクターで白紙に投影し、あらかじめほぼ同じ寸法で拡大焼付けした航空写真のプリントを

参考に、投影画面に100mポストの位置を定め、投影画面上に映された各車線上の全走行車両の位置をマークし、100mポストを基準に全車両の走行位置をメートル単位で記入する。さらに、計測対象となった車両について車線別に計測区間への流入順に番号を付し、各フィルムに記録されている撮影時刻と各車両の存在位置を、逐次記録用紙に記入していった。このようにして計測対象時間帯の全ての航空写真の読み取り作業を終えた後、全データをフロッピーディスクに納め、電算機を用いて文献1の解析法に基づいて、5分毎に100mポスト間の交通量、交通密度、走行速度を車線毎に演算させた。

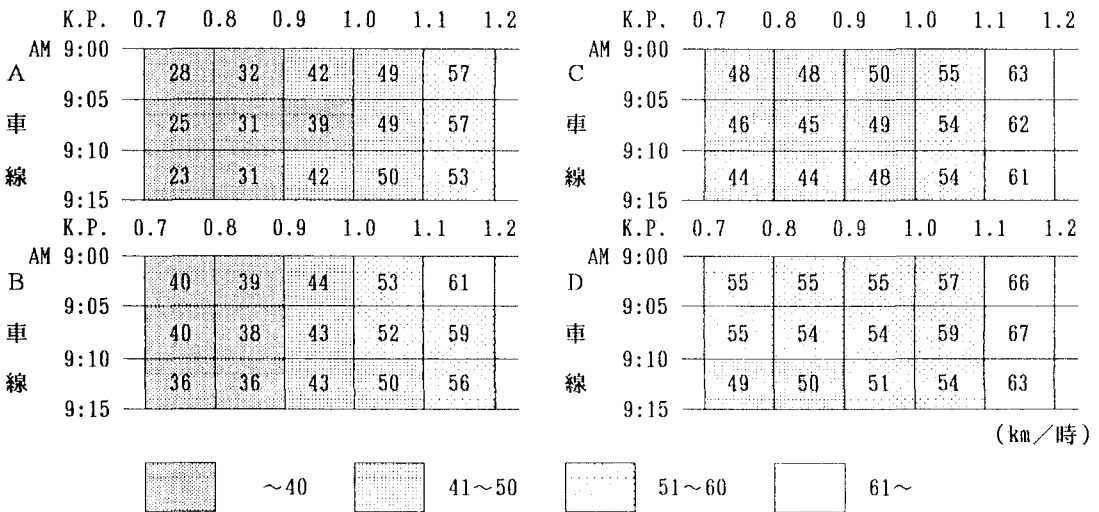


図-5 速度コンター図

4. 解析結果

今回の解析では、後に述べる新HCMの織り込み解析法のところで、走行速度の算定結果と実測結果との比較及び現状での交通運用状態の評価を行う為に、航空写真のアウトプットから速度の時間的変動状況を車線別に図-5に示し、さらにこの解析によって得られた方向別交通量を表-2に示した。図-5は道路構造に対応したキロポスト(K.P.)を横軸に、時間を立て軸にとり、各車線毎に図の凡例に示す速度範囲に従って速度の変動状況をコンター図に示したものであり、表-2は縦軸を流入車線及び枝路、横軸を流出車線及び枝路にとり、四ツ橋区間の方向別交通量を示したものである。

速度及び交通量、密度に関する交通現象の把握について、今回は省略した。詳しくは、文献2を参照されたい。

5. 1985年度版HCMの織り込み解析法の評価

ここで1985年度版 Highway Capacity Manualで示された織り込み区間の解析法を、走行状態が把握されている四ツ橋区間の交通に適用し、その適合性の評価を試みる。我が国における織り込み区間の交通容量の解析法は、「道路の交通容量」に示されてい

るように、基本的には1965年度版HCMの手法を受けたものである。解析の方法は、モノグラフ上で織り込み区間長と全織り込み交通量から織り込み影響係数を求め、必要車線数を算定するものである。ただし、この手法では速度とサービス水準の関係が明らかでなく、又織り込みをする車としない車のサービス水準に区別がない為、織り込み区間のサービス特性を正確に述べる事が出来ていない。よって、今回は新HCMによる解析結果と四ツ橋区間の交通実態との比較をする為にも、新HCMの織り込み区間の容量解析の手法を用いた。

新HCMの織り込み区間の容量解析の方法は、検討区間の幾何構造上の特徴から定められている。織り込み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まず求める。さらに、両者の速度を用いバランスのとれた非拘束状態の運用を可能にする為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更に算定する。そして、この織り込み・非織り込み車の速度からサービス水準を定めようとするものである。当然これらの速度と車線数の算定式を用いる場合には、織り込み交通量、車線当りの交通量、織り込み比、区間長等に制限値が設けられている。本調査研究で対象としている区間は、1つの合流地点の直後に2つの分流地点が続く多重織り込み区間で

あり、新HCMの解析手法を適用する為に、織り込みの形式を①タイプA（ランプ織り込み区間）と考えた場合と、②タイプC（両側織り込み区間）と考えた場合の2つの解析方法を採用している。タイプAとして解析した場合には、表-3の様に速度と車線数の算定の際に設けられた限界値を適用しているが、タイプCの両側織り込み区間はフリーウェイの全車線が直進・織り込みの兼用車線となり、このために織り込み車はなんの制約もなしに全車線を使うことが出来るとして、速度と車線数の算定の際に限界値を適用しないものとしている。

よって、新HCMの解析手法を2つのケースを想定して四ツ橋区間に準用するものとする。ただし、調査区間の断面交通量は非常に多く、1車線当りの総交通流率に関しては、基本交通容量と関連して解析対象時間帯の運用状況がどの程度であるかを把握しておく必要がある。すなわち、新HCMにおいては基本交通容量を2000pcu/時/車線としているのに対して、織り込み区間の1車線当りの総交通流率の最大値を1900pcu/時に抑えている。一方、解析対象時間帯である9時00分～9時15分の15分間の断面交通量を時間当りに換算すると7496台、1車線当りで1874台/時にも達している。12.3%の大型車の混入率に対して、大型車の乗用車換算係数が1.70で、そして図-4より実1時間交通量8152台/時に対するピーク15分間交通量が2095台/15分である場合の交通流率は2100pcu/時となり、日本で定めている基本交通容量から100pcu/時下回るのみである。従って、算定式利用の際にタイプCについては限界値に関する適用除外の注記があるにしても、本調査研究の対象とした織り込み交通の実態は、新HCMの解析手法の適用限度一杯か、多少交通量が超過気味の状態にあったものと考えられる。

新HCMの解析手法に従って行った容量解析の概要は、以下の通りである。

①織り込み形式をタイプAとして考えた場合

このケースでは四ツ橋入路をオンランプ、信濃橋出路をオフランプとみなし、さらに東大阪線を環状線の一部と考えた。ここで問題となるのは、新HCMによればタイプAとはオンランプからオフランプの間を連続した付加車線で接続されている区間と定義されている。四ツ橋区間ではその付加車線がない。今回は、四ツ橋入路から信濃橋出路行く車両をこの付加車線を走行する車両（非織り込み車両）として考えた。そうすると、A車線を走行して四ツ橋区間に入り信濃橋出路へ出る車両と、四ツ橋入路から対象区間に入り環状線を北上する車両は、それぞれ1回ずつの車線変更を必要としその他の交通は車線変更を必要としないので、本調査区間はタイプAの織り込み区間と分類できる。これは単に解析可能にする為の手段ではなく、表-2のOD表から見ても四ツ橋入路から信濃橋出路に行く車両は全交通量に対して極めて少なく、全体の交通流に与える影響は少ないと判断されるからである。また東大阪線を環状線の一部に加えたのは、表-2のOD表からみても東大阪線へ行く車両のうち80%がD車線から四ツ橋区間に流入してきた車両で、東大阪線を環状線に加えたことによる影響もほとんどないと判断される為である。

よって、織り込み交通流図を図-6に示す。図中（ ）内の数値は、航空写真解析から得られた表-2のOD表の15分間交通量を時間換算した実台数、（ ）外の数値は、乗用車換算の時間当りの交通流率である。

解析に用いたパラメーターの値と計算結果を、表-4の容量解析計算過程表に示す。ここで、表-3

表一2 OD表（AM9：00～9：15）

（台／15分）

	A 車 線	B 車 線	C 車 線	D 車 線	信濃橋出路	東大阪線	合 計
A 車 線	238	31	7	2	87	1	366
B 車 線	90	275	51	7	25		448
C 車 線	22	71	320	26	7	22	467
D 車 線	4	10	45	232	1	135	427
四ツ橋入路	75	41	31		7	12	166
合 計	429	428	454	267	126	170	1874

の限界値を表-4の値に適用すると、いずれの値も限界値を下回り、新HCMの解析手法が適用可能であることが分かる。織り込み区間長と車線数は四ツ橋区間の幾何構造から与えられ、織り込みに関する交通量と総交通量は図-6の交通流図から直ちに得られる。織り込み車・非織り込み車の速度(S_w 及び S_{nw})と、非拘束状態の運用に必要な車線数(N_w)は、表-4下欄に示された注記の番号に対応する方程式に、各変数を代入して求めたものである。 N_w の算定結果は、織り込み区間の運用状態を判定する為に設けられている、最大織り込み車線数 $N_w(\max)$ の値 1.4以下となって非拘束状態である。したがって走行速度を再計算する必要はない。表-5に示すサービス水準の基準値と表-4の算定結果で示される織り込み・非織り込み車の走行速度と比較すると、織り込み車は40マイル/時以下35マイル/時以上となってサービス水準はE、非織り込み車は48マイル/時以下42マイル/時以上となってサービス水準はDであると判定される。

表-5には、サービス水準E及びFに関する基準値として、実測値と比較するする場合の値も示されている。図-5の車線別速度コンター図に示す各100m区間・5分間の平均走行速度は、織り込み・非織り込み車をそれぞれに車線別に算定はしていないが、織り込み車の大半はランプ側のA、B車線を走行し、非織り込み車の大半はC、D車線を走行しているはずである。従って、速度コンター図に示された平均走行速度の単純平均値を車線別に求め、A、B車線の値を織り込み車の速度、C、D車線の値を非織り込み車の速度とみなして基準値と比較する。車線別の平均走行速度とその変動範囲を表-6に示す。すると、織り込み車の速度は30マイル/時(48km/

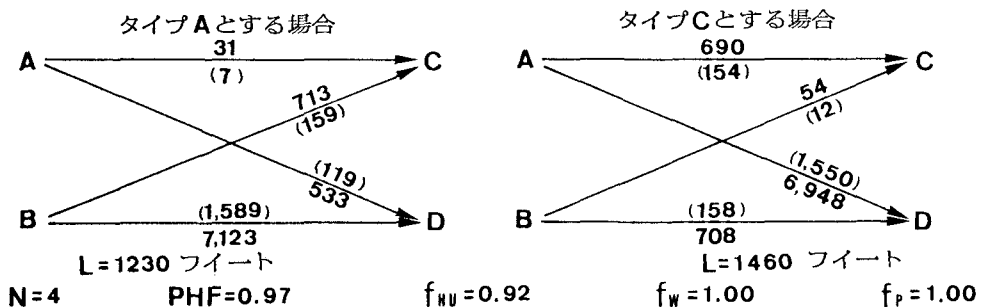
時)以下となってサービス水準はF、非織り込み車の速度は42マイル/時(67.2km/時)以下30マイル/時(48km/時)以上となってサービス水準はEと判定される。

さらに、表-6に示す速度の実測値を表-4のHCMによる算定値と比較すると、算定値は実測値よりも織り込み車の場合で19.5km/時、非織り込み車の場合で20.5km/時も速い速度となっている。

②織り込み形式をタイプCとして考えた場合

このケースでは、信濃橋出路を環状線の一部とみなして解析を行う。織り込み形式としては、A、B、C、Dの各車線を走行して四ツ橋区間に入り、環状線を北上する車両は車線変更の必要はなく、四ツ橋入路から四ツ橋区間に入り、東大阪線へ出る車両は2回以上の車線変更を必要とするので、本調査区間はタイプCの織り込み区間と分類される。これは、単に解析可能にする為の手段ではなく、表-2のOD表からみても信濃橋出路へ行く車両のうち70%がA車線から四ツ橋区間に流入してきた車両で、信濃橋出路を環状線に加えたことによる影響は少ないと判断される。

よって、①のタイプAと同様にして織り込み交通流図を図-6に示す。また、解析に用いたパラメータの値と計算結果も表-4の容量解析計算過程表に示す。すると N_w の算定結果は、最大織り込み車線数 $N_w(\max)$ の値3.0以下となって非拘束状態である。従って走行速度を再計算する必要はない。表-5に示すサービス水準の基準値と表-4の算定結果で示される織り込み・非織り込み車の走行速度と比較すると、織り込み・非織り込み車に関わらず35マイル/時以下となって、サービス水準はFであると判定される。



表一 3 織り込み区間の方程式適用の限界値

織り込み 形式	最大織り込み 交通流率	1車線当たりの 総交通流率の最大値	織り込み交通 流率比の最大値	織り込み比 の最大値	織り込み区間長 の最大値
タイプ A	1 300 pcu/時	1 900 pcu/時/車線	N	VR	2 000フィート
			2	1.00	
			3	0.45	
			4	0.35	
			5	0.22	
タイプ B	3 000 pcu/時	1 900 pcu/時/車線	0.80	0.50	2 500フィート
タイプ C	3 000 pcu/時	1 900 pcu/時/車線	0.50	0.40	2 500フィート

注：タイプ C の値は両側織り込み区域には適用しない。

表一 4 織り込み区間の容量解析計算過程表（タイプ A 及びタイプ C）

パラメーター（変数名）・・・単位	タイプ A	タイプ C
織り込み区間長（L）・・・フィート	1230	1460
織り込み区間の総車線数（N）	4	4
最大織り込み交通量（ v_{w1} ）・・・pcu/時	713	6948
最小織り込み交通量（ v_{w2} ）・・・pcu/時	533	54
総織り込み交通量（ $V_w = v_{w1} + v_{w2}$ ）・・・pcu/時	1246	7002
織り込み区間の総交通量（V）・・・pcu/時	8400	8400
織り込み交通量比（ $VR = V_w / V$ ）	0.148	0.834
織り込み比（ $R = v_{w2} / V_w$ ）	0.428	0.008
車線当たりの総交通量（ V/N ）・・・pcu/時	2100	2100
織り込み車の平均走行速度（ S_w ）・・・マイル/時 （km/時）	39.21 (62.74)	26.00 (41.60)
非織り込み車の平均走行速度（ S_{nw} ）・・・マイル/時 （km/時）	46.48 (74.37)	22.96 (36.74)
非拘束状態の運用に必要な車線数（ N_w ）	1.06	2.62

運動方程式 タイプ A：非拘束状態

(1) 織り込み車： $S_w = 15 + 50 / \{ 1 + 0.226 * (1 + VR)^{0.2} * (V/N)^{1.0} / L^{0.9} \}$

(2) 非織り込み車： $S_{nw} = 15 + 50 / \{ 1 + 0.020 * (1 + VR)^{4.0} * (V/N)^{1.5} / L \}$

車線数方程式

(3) タイプ A： $N_w = 2.19 * N * VR^{0.571} * L^{0.234} / S_w^{0.438}$

運動方程式 タイプ C：非拘束状態

(1) 織り込み車： $S_w = 15 + 50 / \{ 1 + 0.100 * (1 + VR)^{1.3} * (V/N)^{0.8} / L^{0.5} \}$

(2) 非織り込み車： $S_{nw} = 15 + 50 / \{ 1 + 0.015 * (1 + VR)^{1.8} * (V/N)^{1.1} / L^{0.5} \}$

車線数方程式

(3) タイプ C： $N_w = N \{ 0.761 - 0.011 * L_H - 0.005 * (S_{nw} - S_w) + 0.047 * VR \}$

表一 5 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	非織り込み車の平均 走行速度の最小値
A	55	60
B	50	54
C	45	48
D	40	42
E	35/30 ^a	35/30 ^a
F	<35/30 ^a	<35/30 ^a

a. サービス水準 E と、F の境界値として 35 マイル/時を用いるのは表一 4 に示す予測速度の計算式で算出するときである。30 マイル/時を境界値とするのは実測値と比較するときである。

表一 6 車線別平均走行速度（km/時）
平均（最低～最高）

車 線	平均走行速度
A	40.5(23～57)
B	46.0(36～61)
C	51.4(44～63)
D	56.3(49～67)

ここで①のタイプAの場合と同様にして、実測値と算定値の比較をする。タイプCではB、C車線を走行する車両は全て織り込み車である。また図-8の織り込み交通流図に示す非織り込み車両の大半は、外側車線のA、D車線を走行しているはずである。したがって、表-6よりB、C車線の平均値を織り込み車の速度、A、D車線の平均値を非織り込み車の速度とみなして基準値と比較する。織り込み・非織り込み車の速度ともに、サービス水準Eの30マイル/時、すなわち48km/時をわずかに越えている。したがって、実測値に基づく判定はサービス水準Eである。

さらに、表-6に示す速度の実測値を表-4のHCMによる算定値と比較すると、算定値は実測値よりも織り込み車の場合で7.1km/時、非織り込み車の場合でも11.7km/時も遅い速度となっている。また実測結果では織り込み、非織り込み車ともほとんど速度に差はないが、算定結果では織り込み車の速度の方が非織り込み車の速度よりも4.9km/時も高い値となっており、傾向的にも実態と相反した結果となっている。

最後に、今回の実測値に基づいたタイプA及びCの織り込み形式別による判定結果では、四ツ橋区間のサービス水準はおおむねEまたはFと判定されたが、日本の高速道路の交通事情では表-5に示すサービス水準D、Eが主流であり、サービス水準D以上を期待すること自体に無理があることも事実である。故に四ツ橋区間の交通流は限界の状態ながら、織り込み区間としてはH.C.M.で示されている判定基準程に、運用状態が悪いとは言えない。

6. 結論と今後の課題

本調査は、これまで阪神高速道路環状線堂島区間に適用してきたヘリコプターから撮影された航空写真を用いた交通流の解析手法を四ツ橋区間に適用して、織り込みの多発する区間の交通流解析を試みたものである。

本調査で得られた結論と今後の課題は、次の通りである。まず結論としては、

新HCMの解析手法を四ツ橋区間に適用した結果、織り込み形式をタイプAとみなした場合はサービス水準判定の基礎となる織り込み車と非織り込み車

の算定結果が実測値よりもかなり高い速度となり、一方織り込み形式をタイプCとみなした場合は織り込み車と非織り込み車の算定結果が反対に低い速度となる。この値を航空写真の解析結果から得られた実測走行速度と比較すると、タイプAの場合では織り込み車で19.5km/時、非織り込み車で20.5km/時、そして一方タイプCの場合では織り込み車で7.1km/時、非織り込み車で11.7km/時の差異が生じた。又タイプCとみなした場合は算定速度は、織り込み車の速度の方が非織り込み車のそれよりも4.9km/時高くなり、実態とそぐわない結果となった。ちなみに、この調査に先立って解析された堂島区間は織り込み形式がタイプCであったが、やはり今回と同様の傾向が得られている。

今後の課題としては次のようなことが示される。まず未解析の時間帯の計測を進め、交通流率の変動範囲を広げ解析を深める必要がある。さらに、織り込み形式別に新HCMの適合性について検討する為に、新たな調査区間の解析結果を積み上げる必要があり、その上で日本の高速道路の交通事情に適した予測速度算定式を求めることが必要である。

最後に本調査解析を実施するに当たって、阪神高速道路公団の方々から多大の御尽力と御協力を得た。また交通計画研究室において、藤田安史、松下順一の両君には共に航空写真の解析作業に従事してもらった。ここに、記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 巻上安爾, 坂本破魔雄, 林昌親; “航空写真に基づいた交通流解析の一手法について”, 土木学会論文集第347号 1V-1, 1984年7月
- 2) 阪神高速道路公団; “環状線四ツ橋付近の織り込み現象検討業務報告書”, 1989年2月
- 3) (社)交通工学研究会; “道路の交通容量(H.C.M.) 1985”, 1987年2月
- 4) (社)交通工学研究会; “道路の交通容量(H.C.M.) 1965”, 1968年11月
- 5) (社)日本道路協会; “道路の交通容量”, 1984年9月
- 6) 阪神高速道路公団; “阪神高速道路環状線堂島付近ウィーピング現象調査報告書”, 1986年3月