

右折車による後続直進車のブロッキング現象を考慮した交差点容量推計方法の構築* Construction of an Estimation Method of the Capacity of each Approach at Signalized Intersections which Deals with the Effect of the Right-Turn Traffic*

片岡 源宗**・吉井 稔雄***
By Motomune KATAOKA**・Toshio YOSHII***

1. はじめに

本研究は、右折車が後続車の通行を妨げる（以下、「ブロッキング現象」と呼ぶ）ことで生ずる交差点容量の低下現象に着目し、右折車による後続車へのブロッキング現象を明示的に考慮した交差点容量推計方法の構築を試みるものである。本稿では、最も単純な状況として3枝T字型交差点を対象とした容量推計式の構築と、実交差点における交通観測調査結果に基づいた妥当性検証結果について報告する。

直進右折車混用車線における右折車混入による交差点容量の低下現象に関して、交通信号の手引き¹⁾では、対向直進車両の影響の有無によって容量の推計方法が異なり、影響が無い場合は右折車の直進車換算係数を用いて補正係数を算出し、その補正係数と飽和交通流率を乗じることで、交差点容量を表現している。一方、対向直進車の影響がある場合は、対向直進交通量に応じて右折実行確率を設定し、設定した確率に基づいて計算された直進車換算係数を用いて補正係数を算出し、その補正係数と飽和交通流率を乗じることで交差点容量を表現している。しかしながら、既存の交差点を効率よく運用するといった観点から言えば、滞留車両が後続直進車をブロックするブロッキング現象を確率的に考慮した上で、交通量や右折率に応じて、きめ細かに信号の運用方法を検討することが望ましい。

次に、右折車のブロッキング現象に関連して、HCM (Highway Capacity Manual 2000)²⁾では、右折車専用車線 (HCMでは左折車) の設定方法について、右折車両により専用車線が飽和し、直進車線を塞ぐ確率が5%以下になるよう、専用車線長決定するとしている。また、右折専用青の先出しが多いアメリカにおいてKikuchiら³⁾は、直進車が右折専用車線に向かう右折車をブロックしないようにするために必要な右折専用車線長の設定基準について言及している。また、A.R.R.B⁴⁾ (Australian Road Research Board)

では、右折専用現示がない信号交差点において、右折専用車線の交通容量を算出する式を構築しているが、この式では右折専用車線が飽和し、ブロッキング現象が発生する可能性を考慮しておらず、必ずしも正確な容量が表現されていない。萩田⁵⁾は、片側2車線道路における右折専用車線の交差点容量を算出する方法の提案を行っているが、片側2車線の場合、右折専用車線が飽和しても第1車線への車線変更が可能であるため、ブロッキング現象による容量低下は片側1車線と比べその影響は少ないと考えられる。

それに対し本研究では、右折車によるブロッキング現象を明示的に考慮した形で、交差点容量を推計する方法を構築することを目的としており、本稿では、形状・信号運用形態・交通状況の異なる3種類の3枝T字型交差点を取り上げ、それぞれの交差点別に、信号運用方式 (現示、サイクル長、スプリット)、右折率ならびに同一現示中に通行権が与えられる対向アプローチの飽和度との関係において、交差点の交通容量推計方法を構築する。さらに実観測調査を実施し、観測結果に基づいて構築した容量推計式の妥当性を検証する。

2. 対向アプローチが過飽和の場合

(1) 対象交差点の概要

本章では図-1に示すように、片側1車線、右折専用車線無しの3枝T字型信号交差点を対象とし、対象、対向アプローチ共に過飽和の状況を想定し、直進右折混用レーンとなる図中左からの対象アプローチにおける交通容量の推計式を構築する。なお信号制御は、図-1に示すような2現示制御を想定する。さらに一旦右折車が発生すると、その右折車は現示の変わり目まで交差点内に滞留し続け、後続車は全て交差点に進入できないものと仮定する。

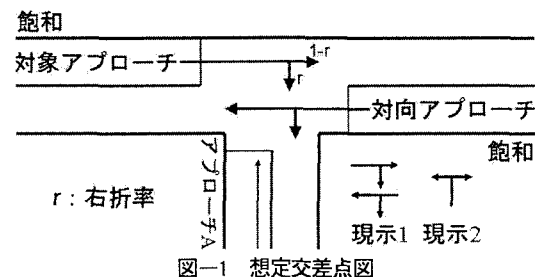


図-1 想定交差点図

*キーワードズ：交通容量、交通制御、交通量計測

**学生員、高知工科大学大学院 社会システム工学コース
(〒782-8502 香美郡土佐山田町宮ノ口)

***正員、工博、京都大学大学院 工学研究科
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町、

TEL: 075-753-5136, E-mail: yoshii@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

(2) 推計式

右折率を「 r 」とすれば、青開始後 m 台目に初めて右折車が出現する確率は「 $(1-r)^{m-1} \cdot r$ 」であるため、青時間内に交差点へ進入できる最大車両数を n 台とすれば、1回の青時間内に交差点へ進入する車両の期待値 N は、式(1)で表すことができる。

$$N = \sum_{i=1}^{n-1} i \cdot r(1-r)^{i-1} + n \cdot (1-r)^{n-1} + k$$

$$= \frac{1}{r} + (1-r)^{n-1} \left(1 - \frac{1}{r} \right) + k \quad (1)$$

ただし、 $n = (g_1 - l) \cdot s$

k : 現示変わり目に捌ける台数[veh]

g_1 : 現示1のスプリットタイム[sec]

s : 対象アプローチの飽和交通流率[veh/sec]

l : 発進損失[sec]

この期待値 N を用いて、1時間あたりの交差点容量は、

$$Q = N \cdot \frac{3600}{C} \quad (2)$$

Q : 交差点容量[veh/h]

C : サイクル長[sec]

と表現される。

(3) 実調査

以下では、実際の交差点において交差点観測調査を実施し、調査結果を用いて、構築した推計式の妥当性を検証する。

調査は、高知県香美郡土佐山田町、高知工科大学付近にある神母木交差点で、平成13年12月12日から翌14年1月10日のうち、年末年始を除き平日8日間、AM7:30からAM9:00の通勤、通学時間に行った。

神母木交差点の概略を図-2に示す。なお対象アプローチは図中左から右へと向かうアプローチ1である。同交差点は、4枝の十字型信号交差点であるが、アプローチ4の幅員は非常に狭く、交通量は当該アプローチへの流入、流出共に0台/hと調査中は発生しなかったことから、同交差点をT字型信号交差点と見なしても問題は無いものと判断する。調査では、現示毎に交差点へ進入する車両台数と信号制御パラメータ(サイクル長、スプリット)を観測した。さらに、赤信号時に生じた待ち車列が途切れる時間から平

均車頭間隔及び発進損失の観測も行った。調査の結果、平均車頭間隔、発進損失共に2.0秒、大型車混入率は5.0%程度であった。なお、同交差点は感應式制御であるため、サイクル、スプリットに数秒の変動が確認されたが、観測時間のうちその大半のサイクルが90秒であったことと、ほぼ全てのサイクルでブロッキング現象が発生し、青現示の後半の時間帯では車両が交差点へ進入する事ができない状況であったため、サイクル長、スプリットを固定値としても結果には大きな影響を与えないと考えられる。よって、推計式による容量推定に際しては、表-1に示した値を固定値として用いた。また、大型車混入についても、上記と同様の理由から結果には影響が少ないと考えられるため、大型車混入については考慮していない。各日の交通量を1時間あたりに換算し、8日間の平均をとった値を図-3に示す。また、天候は晴れまたは曇り、路面は乾燥状態であった。

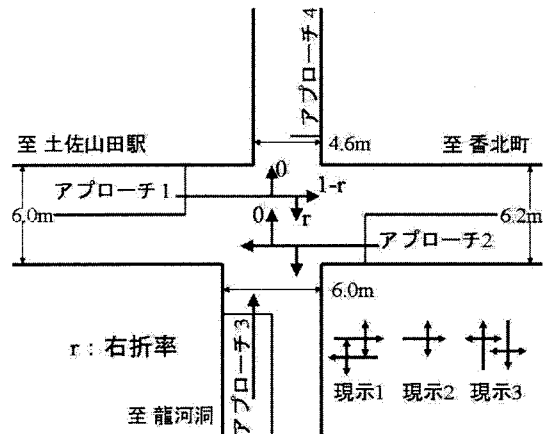


図-2 神母木交差点の概要

表-1 平均サイクル長と各現示の平均青時間

	現示			サイクル長
	1	2	3	
単位	sec			
1日目	37.0	15.0	24.0	90.0
2日目	39.2	13.6	24.3	91.5
3日目	37.2	14.5	25.4	90.9
4日目	37.0	15.0	24.0	90.0
5日目	36.9	14.7	24.3	89.9
6日目	36.8	15.0	24.2	90.0
7日目	36.2	13.0	24.8	88.0
8日目	37.2	14.0	24.4	89.7

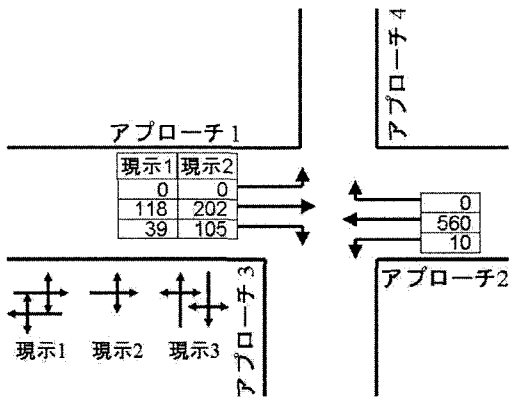


図-3 神母木交差点交通量図

(4) 検証

調査結果に基づき、構築した容量推計式(2)から推計される容量と、実調査による通過台数の結果を比較する。比較の対象とする調査結果は、青現示中に対向アプローチから交差点に流入する車両の車列が途切れなかったサイクルのみとし、全て1時間あたりに換算した値を用いて比較を行う。さらに現示2ではブロッキング現象が発生しないことから、現示1のみを対象とする。

現示変わり目に捌ける台数(k)を2台として、構築した推計式(式(1))から推計される交差点容量と、実測値の比較を図-4に、各日の交通状況を表-2に示す。結果より、構築した推計式が高い精度で交差点容量を推計していることが確認できる。

一方、交通信号の手引き¹⁾や道路の交通容量²⁾によれば、今回設定した条件下では、飽和交通流率に式(3)に示す右折車混入による補正率と青時間比を乗じて交差点容量を推計する。

$$\alpha_{RT} = \frac{1}{(1-r) + E_{RT} \cdot r} \quad (3)$$

α_{RT} : 右折車混入による補正率

E_{RT} : 右折車の直進車換算係数

$$E_{RT} = \frac{1.1}{f \cdot \frac{s \cdot g - q \cdot C}{g(s-q)} + \frac{2k}{g}} \quad (4)$$

g : 青時間長[sec]

q : 対向直進交通流率[veh/sec]

f : 対向直進車の隙間をぬって右折できる確率¹⁾

この方法では、今回想定した条件の下で対向直進車両が途切れることが無いため、

$$s \cdot g - q \cdot C = 0$$

(5)

となり、 E_{RT} は、信号現示が変わるときに捌ける右折車台数 k と青時間長 g のみによって決定される。既存式による容量推計に関しては、 k の値をそれぞれ1台・2台として計算される推計値と実測値の比較を、構築した式による結果と同じ図-4に示す。図より、既存の推計式では、ブロッキング現象を考慮していないため、 k の値に2台を用いた場合に、交通容量が実際と比較して高く推計されることが確認出来る。一方、既存式の k の値に1台を用いた場合には、逆に容量を低く推計することとなり、適切な k の値を設定すれば精度良く交通容量を推計する可能性があることがわかる。しかしながら、観測した交差点における現示変わり目の捌け台数(k)が2台程度であったことを考慮すれば、構築した推計式が既存の推計方法と比較してより高い精度で交通容量を推計する可能性があると考えられる。

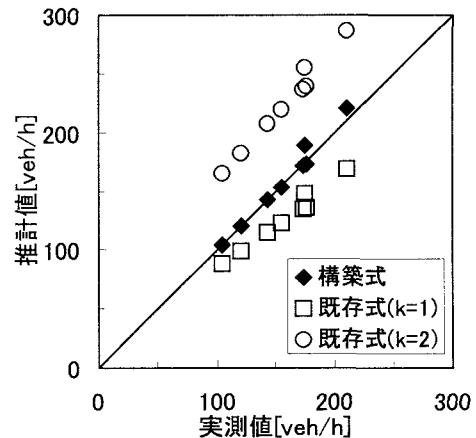


図-4 推計式、既存式による推計容量値と実測容量値の比較

表-2 各日の交通状況ならびに推計容量と実測容量値の比較

	構築式	既存式		実測値	右折率
		k=1	k=2		
単位	veh/h				%
1日目	120	99	182	120	33.3
2日目	220	169	286	211	17.3
3日目	173	137	239	175	22.6
4日目	105	88	165	105	38.1
5日目	154	123	219	155	25.9
6日目	172	135	237	173	23.1
7日目	143	116	208	143	28.6
8日目	189	148	255	175	20.8
平均	159.5	126.9	223.9	157.2	

3. 対向アプローチが非飽和の場合

次に、図-5に示すような対向アプローチが非飽和の状況下における交差点容量の推計を行う。

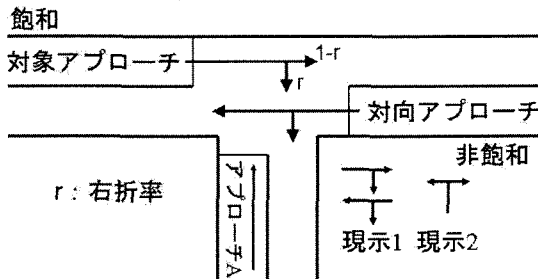


図-5 想定交差点図

(1) 対象交差点の概要

対象とする交差点は前章と同様に、片側1車線、右折専用車線無し3枝T字型信号交差点とし、信号制御についても同様の2現示制御を想定するが、対向アプローチのみ前章とは異なり、非飽和状態を想定する。このとき、右折車は対向直進車両が途切れるまでは交差点内に滞留し、途切れた後は隙間をぬって確率的に通過すると仮定する。また前章と同様に、右折車が交差点内に滞留している時間は、ブロッキング現象により後続車が交差点内に進入できないものと仮定する。

(2) 推計式

交通容量の推計方法は、対向アプローチが途切れるまでと、途切れた後の二つの異なる状況に分けて考える。

構築した容量推計式を式(6)に示す。式(6)は、対向アプローチの直進交通量が途切れるまでに通過する事が出来る車両台数の期待値（括弧内第1項、第2項）と、それ以後の時間帯に通過することが出来る交通量の期待値（第3項）の合計を、1時間に換算したものである。なお対向アプローチが途切れるタイミングは、一様到着を仮定し、式(7)によって求める。

第1項と第2項は、前章とほぼ同じく1サイクルあたりの対向アプローチが途切れるまでに交差点へ進入する車両の期待値を求め、第3項は右折率に右折車が通過できる確率を乗ずることで、簡単なギャップアクセプタンス挙動を取り込み、直進率との合計に交通流率を乗ずることで、対向アプローチが途切れた後の期待値を求めたものである。

$$Q = \left\{ \frac{1-r}{r} + (1-r) \cdot \left(-n_1 + 1 - \frac{1}{r} \right) + s(g_1 - Ts - l) \cdot (1-r + r \cdot f) \right\} \cdot \frac{3600}{C} \quad (6)$$

$$Ts = \frac{q(C - g_1 + l)}{s - q} \quad (7)$$

Ts : 対向直進車両が途切れるまでの平均時間[sec]

n : 対向直進車両が途切れるまでの時間に通過可能な直進車両台数[veh]

ただし、 $n = (Ts - l) \cdot s$

(3) 実調査

本章で構築した推計式(6)を検証するための調査は、2の(3)で述べた調査を利用した。

各調査日の交通量を1時間あたりの交通量に換算し、その平均値を図-6に、同じく信号の平均サイクル長ならびに各現示の平均青時間、対向直進車両が途切れた平均時間 Ts を表-3に示す。

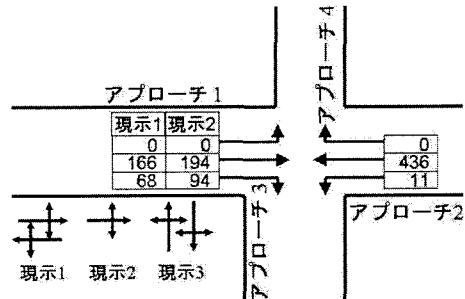


図-6 神母木交差点交通量図

表-3 平均サイクル長と各現示の平均青時間と対向直進車が途切れる平均時間

	現示			サイクル長	T_s
	1	2	3		
単位	sec				
1日目	35.2	15.0	26.5	90.7	25.9
2日目	35.6	13.9	26.6	90.2	23.7
3日目	35.5	14.4	26.8	90.5	25.9
4日目	35.3	14.2	26.4	90.0	22.0
5日目	35.5	14.0	26.9	90.4	24.2
6日目	35.6	14.8	25.5	89.9	28.1
7日目	36.9	12.8	27.2	90.9	23.2
8日目	36.7	14.0	25.1	89.9	30.5
平均	35.8	14.1	26.4	90.3	25.4

(4) 検証

調査結果に基づき、構築した式(6)より推計される交差点容量と、実調査の結果を比較する。比較の対象とする調査結果は、対象アプローチが途切れることのなかったサイクルのみとし、想定条件に従い現示1のみを対象とし検証を行う。

構築式(6)及び、既存の推計式(3)から推計される交差点容量と実測値の比較を図-7に、各日の交通状況を表-4に示す。なお全て1時間あたりの値である。

結果より、既存の直進車換算係数を用いた推計方法では、右折車によるブロッキング現象を考慮していないため、現示変わり目に捌ける台数(k)の値に関わらず実測値よりも高い推定結果となることが確認出来る。対して、構築した推計式を用いた場合は、既存式と比較してより高い精度での推計が可能であることを確認した。

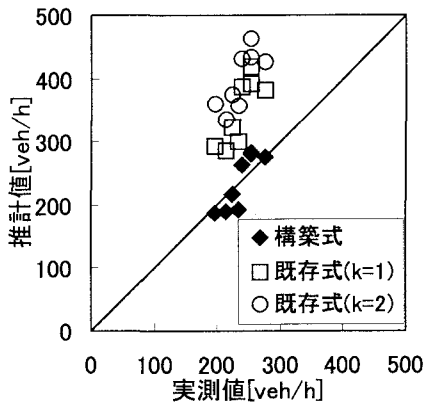


図-7 推計式、既存式による推計容量値と実測容量値の比較

表-4 各日の交通状況ならびに推計容量と実測要領値の比較

	構築式	既存式		実測値	対向直進 交通量	右折率
		k=1	k=2			
単位	veh/h					%
1日目	191	285	336	215	445	36.9
2日目	283	419	463	253	424	22.8
3日目	216	322	373	223	448	30.8
4日目	280	391	433	253	402	30.9
5日目	263	386	431	239	428	26.1
6日目	193	299	357	234	478	27.9
7日目	277	382	425	276	420	33.3
8日目	186	294	359	198	510	24.6
平均	235.9	347.5	397.3	236.4	444.4	

4. 右折専用車線の整備された交差点

続いて、対向アプローチが非飽和、右折専用車線整備が行われた3枝T字型交差点の容量推計を行う。

(1) 対象交差点の概要

対象とする交差点を図-8に示す。これまでに対象とした3枝T字型の信号交差点に、右折専用車線が付加された信号交差点で、前章までと同様に信号制御(2)現示制御を想定する。

想定した交差点では、対向アプローチは非飽和であるものとし、右折車は対向直進車両が途切れるまでは交差点内、または右折専用車線に滞留し続け、途切れた後は隙間をぬって確率的に通過する。また右折専用車線の滞留可能台数よりも1台多い右折車が滞留した場合にブロッキング現象が発生すると仮定する。

なお、このようなタイプの交差点では、青現示終了後に右折専用現示が設けられていることも多いことから、右折専用車線に滞留した右折車は、信号切り替わり時に全て交差点に進入可能であると仮定する。

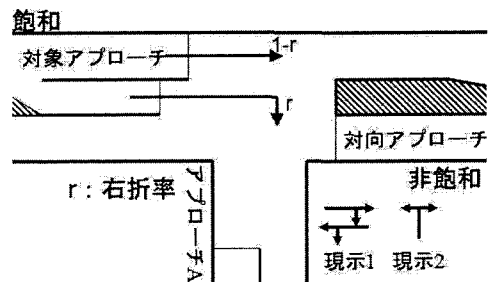


図-8 想定交差点

(2) 推計方法

今回新たに構築した推計方法は、前章と同様に対向アプローチが途切れるまでと途切れた後に分け、期待値の計算を行うものである。

右折車によるブロッキング現象が発生しない状況で、各サイクルにおける対向アプローチが途切れるまでの平均時間に交差点へ進入することが可能な車両台数を n 台とすれば、対向アプローチが途切れるまでに交差点に流入する車両台数の期待値 E は、

$$E = \sum_{i=m+1}^n C_m \cdot r^m \cdot (1-r)^{i-m} \cdot i \quad (8)$$

m : ブロッキング現象を起こすことなく滞留可能な右折車の台数[veh]

n : 対向アプローチが途切れるまでの平均時間に交差点へ進入することが可能な最大の車両台数[veh]

$$\text{ただし、} n = (Ts - l) \cdot s$$

となり、途切れた後は前章と同じ計算式を用いると、交

差点容量の推計式は

$$Q = \{E + s(g_1 - Ts - l) \cdot (1 - r + r \cdot f)\} \cdot \frac{3600}{C} \quad (9)$$

と表すことができる。

(3) 実調査

構築した推計式の妥当性検証を行うため、以下にて交差点観測調査を行った。

調査は、2章で述べた神母木交差点で行ったが、同交差点は、図-9に示すように交差点改良が行われ、右折専用車線が付加されている。調査は、平成15年10月3日～17日のうち、晴れまたは曇りの平日4日間、AM7:30～AM9:00の通勤、通学時間に行った。調査では、サイクル毎に、サイクル長、スプリット、方向別交通量とブロッキング現象発生の有無（右折専用車線の飽和）を観測した。

各調査日の交通量を1時間あたりの交通量に換算し、その平均値を図-10に、同じく信号の平均サイクル長ならびに各現示の平均青時間を表-5に示す。

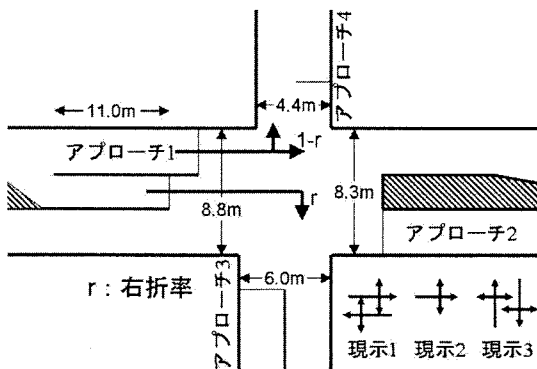


図-9 改良後の神母木交差点の概要

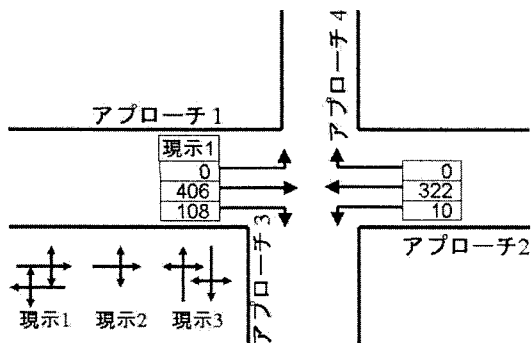


図-10 神母木交差点交通量図

表-5 各調査日の信号制御パラメータの平均値

	現示			サイクル長
	1	2	3	
単位	sec			
1日目	42.0	8.2	27.8	92.0
2日目	40.0	8.3	28.0	90.1
3日目	40.7	7.7	28.1	90.9
4日目	39.8	7.5	28.7	90.8
平均	40.6	7.9	28.2	90.9

(4) 検証

構築した推計方法より推計される交差点容量と、実調査の結果を比較する。比較の対象とする調査結果は、前章までと同様に、対象アプローチが途切れることのなかったサイクルのみを対象とし、想定条件に従い、現示1のみを対象に検証を行う。

今回構築した方法及び、既存の推計式(3)から推計される交差点容量と、実測値の比較を図-11に、各日の交通状況を表-6に示す。

結果より、構築した推計方法が高い精度で容量を推計していることが確認できた。

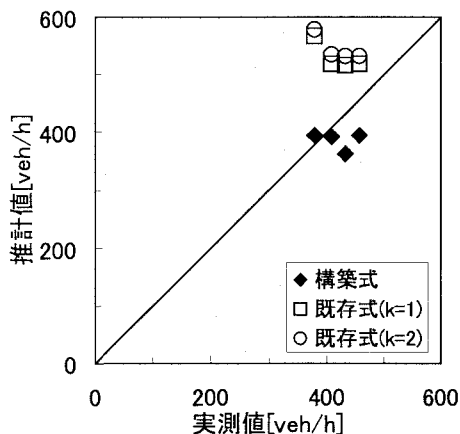


図-11 推計方法、既存式による推計容量値と実測容量値の比較

表一6 各日の交通状況ならびに
推計容量と実測要領値の比較

	構 築 式	既 存 式		実 測 値	対 向 直 進 交 通 量	右 折 率
		K=1	K=2			
単位	veh/h					%
1日目	395	568	579	379	423	19.1
2日目	394	520	534	409	427	20.7
3日目	364	516	532	432	423	20.8
4日目	395	520	534	457	479	16.4
平均	387.1	531.2	544.7	419.5	437.9	

5. まとめ

本稿では、3つのパターンの3枝T字型交差点において、右折車による直進車ブロック現象を明示的に考慮した形での交差点容量の推計方法を構築し、その推計精度の検証を行った。その結果、これまでの直進車換算係数を用いる場合と比較して、より高い精度で交通容量を推計できることを示した。

しかしながら、今回構築した推計式は、対向アプローチの交通が全て直進車と仮定しており、左折率が高い状況等では必ずしも適切に交差点容量を表現することはできない。今後は、より一般的な状況として対向アプローチの左

折率を考慮した3枝T字型交差点容量の推計方法、さらには4枝の十字型信号交差点容量を推計方法の構築を目指して行く。

参考文献

- 1) 社団法人交通工学研究会：交通信号の手引き，1994.
- 2) Transportation Research Board：Highway Capacity Manual，2000.
- 3) Kikuchi, S；Chakroborty, P；Vukadinovic, K：Lengths of left-Turn Lanes at Signalized Intersections，Transportation research record 1385, TRB, National Research Council, 162-172, 1993.
- 4) Gordon, I.D. and Miller, A.J：「Right turn movement at signalized intersection」The capacity of signalized intersection in Australia, 1996.
- 5) 萩田賢司：「片側二車線道路の信号交差点における右折容量に関する研究」土木計画学研究・講演集, No.23(2), 2000.
- 6) 社団法人日本道路協会：道路の交通容量，1984.
- 7) 片岡源宗；吉井稔雄：「右折車による後続直進車のブロック現象を考慮した交差点容量推計方法の構築」土木計画学研究・講演集, Vol.27, 2003.

右折車による後続直進車のブロッキング現象を考慮した交差点容量推計方法の構築*

片岡 源宗**・吉井 稔雄***

本論文は、右折車が後続車の通行を妨げることで生ずる交差点容量の低下現象に着目し、右折車による後続車のブロッキング現象を明示的に考慮した形で、信号制御パラメータ、右折率、対向直進交通量等を用いて交差点容量を推計する方法を提案するものである。

本稿では、まず最も単純な対象・対向アプローチの途切れない場合の3枝T字型信号交差点容量の推計式を、次に対向アプローチのみが途切れる場合の推計式を、更に右折専用車線が整備された場合の推計方法をそれぞれ構築した後、その妥当性の検証を行った。

Construction of an Estimation Method of the Capacity of each Approach at Signalized Intersections which Deals with the Effect of the Right-Turn Traffic *

By Motomune KATAOKA**・Toshio YOSHII***

The right-turn traffics, which are forced to keep staying at an intersection due to the opposing traffic, usually obstruct the following vehicles' way if there is not enough width on the road. This research focuses on such a phenomenon called 'the blocking phenomenon', and construct new capacity estimation methods for several types of signal intersections. The capacities are estimated using the signal control parameter, the right-turn traffic ratio and the saturation degree of the opposing traffic, etc.

In this paper, after estimation methods for three-leg intersection are constructed, the fitness of each method is checked using actual observation data.