

幾何構造要因を考慮した ラウンドアバウト流入交通容量のモデル化

神戸 信人¹・中村 英樹²・尾高慎二³

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 関西支店
(〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: kanbe@oriconsul.com

²フェロー会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 都市環境学専攻
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail: nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

³正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 関西支店
(〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: odaka@oriconsul.com

ラウンドアバウトの導入検討に際しては、流入部の交通容量の確認が重要となるが、我が国では未だその事例が少なく、ラウンドアバウトの幾何構造が交通容量に与える影響が十分明らかになっていない。また、ラウンドアバウトの流入交通容量は、我が国ではギャップアクセプタンス確率に基づく推定式により算定することとしているが、その際に必要となる車頭時間パラメータに幾何構造諸元が与える影響も明らかになっていない。そこで本研究では、我が国のラウンドで得られた観測データを用いて、幾何構造諸元が流入交通容量に与える影響を分析した。そして、幾何構造諸元と交通条件を説明変数とする車頭時間パラメータの推定式を提案し、これに基づきラウンドアバウトの幾何構造諸元が流入交通容量に与える影響を定量的に明らかにした。

Key Words : Roundabout, Entry capacity, Impact of geometric elements

1. はじめに

我が国では、環状交差点を位置付けた改正道路交通法が平成26年9月に施行されて以来、ラウンドアバウトの導入事例が増えている。ラウンドアバウトの導入検討に際しては、流入部の交通容量の確認が重要となる。この流入交通容量は、非優先側の流入車両の運転者が優先側の環道交通流の間隙を見て環道へ流入できるかどうかを判断する、ギャップアクセプタンス挙動によって影響を受ける。そしてこの挙動は、車種構成、横断歩行者などの交通条件だけでなく、幾何構造によっても影響を受けると考えられる。

このことから諸外国では、ラウンドアバウトの流入交通容量の推定手法として、幾何構造の異なる数多くのラウンドアバウトでの観測値に基づいたマクロモデルと、ギャップアクセプタンス確率に基づくミクロモデルが提案されている。

我が国では、未だラウンドアバウトの導入事例が十分多くなく、流入交通容量が容量状態にあるラウンドアバ

ウトもほとんどないため、幾何構造が流入交通容量に与える影響が明らかになっていない。また、我が国のラウンドアバウトマニュアル¹⁾(以下、「我が国のマニュアル」という。)では、流入交通容量をギャップアクセプタンス確率に基づき推定し、これより流入部の需要率(流入交通量/流入交通容量)を算定することで、走行の円滑性が確保できるかどうかを判断することとしている。しかしながら、流入交通容量の推定に必要となる我が国の車頭時間パラメータの値は十分明らかになっておらず、現時点の我が国のマニュアルでは、ドイツのガイドライン²⁾の車頭時間パラメータの標準値を準用することとしている。この車頭時間パラメータの値には、ラウンドアバウトの幾何構造が影響すると考えられるが、これら間の関係も不明確な状況にある。

そこで本研究ではまず、我が国のラウンドアバウトで計測・観測した幾何構造諸元値と車頭時間パラメータのデータを用いて、これらの間の関係についてモデル分析を行う。そして、統計的に有意となる幾何構造諸元と交通条件を説明変数とする車頭時間パラメータの推定式を

提案し、これに基づき幾何構造諸元が流入交通容量に与える影響を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. ラウンドアバウトの流入交通容量推定に関する既往研究

(1) マクロモデル

イギリス (Kimber(1980))³⁾, ドイツ (Brilon and Stuwe (1991))⁴⁾, アメリカ (Robinson et al.(2000))⁵⁾, スイス (Bovy et al.(1991))⁶⁾, フランス (Louah(1992))⁷⁾では、各国で観測した流入交通容量、環道交通量、幾何構造諸元のデータに基づく回帰式により、流入交通容量を推定する方法が提案されている。これらのマクロモデルの中でも代表的なKimber(1980)³⁾ モデルでは、6つの幾何構造諸元を説明変数として流入交通容量を推定する次の実験式(1)~(7)を示している。

$$c_e = k \cdot (F - f_c \cdot q_c) \quad (1)$$

$$k = 1 - 0.00347(\theta - 30) - (1/r - 0.05) \quad (2)$$

$$F = 303x_2 \quad [\text{veh/h}] \quad (3)$$

$$f_c = 0.21T_D(1 + 0.2x_2) \quad (4)$$

$$x_2 = v + (e - v)/1 + 2S \quad (5)$$

$$T_D = 1 + 0.5/\{1 + \exp[(D - 60)/10]\} \quad (6)$$

$$S = (e - v)/l' \quad (7)$$

ここに、 c_e :流入部の交通容量, q_c :環道交通量[台/時], F :環道交通量 0[台/時]の時の流入部の交通容量[台/時], e :流入部幅員[m], v :流入部の車線幅員[m], l' :流入部のフレア区間長[m], r :流入部の曲線半径[m], θ :流入角度[deg], S :拡幅角度, D :外径[m]である。

これら諸外国のマクロモデルによる流入交通容量の推定式の我が国への適用性の検証や、我が国での流入交通容量の推定式の提案は、現時点において我が国で流入交通容量が観測できるラウンドアバウトがほとんどないことから、困難な状況である。

(2) ミクロモデル

ラウンドアバウトの流入交通容量は、単位時間当たり各流入部から環道に進入することが可能な車両台数の最大値である。既往研究において、流入交通容量は、環道交通流に応じたギャップアクセプタンス確率に基づく

式(8)の一般形で表される。これは、環道交通流のギャップ t の出現頻度 $h(t)$ と、ギャップ t に進入可能な車両台数 $E(t)$ の積を積分することにより1ギャップあたりに進入可能な車両台数の期待値を算出し、これに単位時間あたりの環道交通量(単位時間当たりの環道ギャップの個数) Q_c を乗じて算出するものである。

$$c = Q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot E(t) dt \quad (8)$$

ここに、 c :環道車両のみを考慮した流入交通容量[台/時], Q_c :環道交通量[台/時], $h(t)$:環道交通流に t [sec]のギャップが発生する頻度, $E(t)$: t [sec]のギャップに流入可能な最大車両台数[台]である。

この式(8)の考え方は、アメリカ(HCM2010)⁸⁾, ドイツ(HBS2005)⁹⁾, オーストラリア(AUSTROADS)¹⁰⁾などの諸外国のみならず、我が国のマニュアル¹⁾においても採用されている。 $h(t)$ にはラウンドアバウトのように比較的交通量の少ない箇所の車頭時間を表現するのに適しているCowanのM3モデル¹¹⁾を適用し、 $E(t)$ には連続関数を用いている。そして、Tanner(1962)¹²⁾による自由走行車両の比率を最小車頭時間と到着率で表すことで定式化される式(9)により流入交通容量を推定することとしている。

$$c_i = \frac{3600}{t_f} \left(1 - \tau \cdot \frac{q_{ci}}{3600} \right) \cdot \exp \left\{ -\frac{q_{ci}}{3600} \cdot \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right\} \quad (9)$$

ここに、 c_i :流入部 i の交通容量[台/時], q_{ci} :流入部 i 正面上流断面の環道交通量[台/時], t_c :クリティカルギャップ[秒], t_f :流入車両の追従車頭時間[秒], τ :環道交通流の最小車頭時間[秒]である。

我が国の t_c , t_f , τ の車頭時間パラメータの値については、従来ラウンドアバウトの導入事例が少なく十分明らかされていなかったため、我が国のマニュアル¹⁾ではドイツのガイドライン²⁾の標準値である $t_c = 4.1$ [秒], $t_f = 2.9$ [秒], $\tau = 2.1$ [秒]を当面適用することとしている。

3. 分析対象データの概要

(1) 分析対象ラウンドアバウト

表-1に示すように、分析対象とするラウンドアバウトは、交通状況を撮影した既存ビデオ映像があり車頭時間データが取得できる、守山、糸満、軽井沢、常陸多賀の4箇所である。各箇所の主な特徴は、次のとおりである。

- ・守山の Case1~3 は、改正道路交通法施行以前のラウンドアバウトの社会実験中のビデオ映像データであり、全流入部の交通制御は一時停止制御であ

る。守山 Case4 については、改正道路交通法施行以後に環状交差点として完成供用したビデオ映像データであり、全流入部の交通制御はゆずれ制御である。

- ・糸満は、改正道路交通法施行以後の環状交差点としての社会実験中のビデオ映像データであり、全流入部の交通制御はゆずれ制御である。
- ・軽井沢 Case1, 2 は、改正道路交通法施行以前のラウンドアバウトの社会実験中のビデオ映像データであり、全流入部の交通制御は一時停止制御である。
- ・常陸多賀は、改正道路交通法施行以前にラウンドアバウト運用されていた既存円形交差点でのビデオ映像データであり、全流入部の交通運用はゆずれ制御である。

表-1 分析対象ラウンドアバウトの概要

		流入部	流入部の交通制御	横断歩道	分離島	概要図
守山	Case1	A	一時停止	なし	なし	
		B	一時停止	あり	あり	
		C	一時停止	なし	なし	
		D	一時停止	なし	なし	
	Case2	A	一時停止	なし	なし	
		B	一時停止	あり	あり	
		C	一時停止	なし	なし	
		D	一時停止	なし	なし	
	Case3	A	一時停止	なし	なし	
		B	一時停止	あり	あり	
		C	一時停止	なし	なし	
		D	一時停止	なし	なし	
Case4	A	一時停止	なし	あり		
	B	一時停止	あり	あり		
	C	一時停止	あり	あり		
	D	一時停止	なし	あり		
糸満	A	ゆずれ	あり	あり		
	B	ゆずれ	あり	あり		
	C	ゆずれ	あり	なし		
	D	ゆずれ	あり	あり		
	F	ゆずれ	あり	なし		
	A	一時停止	あり	なし		
B	一時停止	あり	なし			
C	一時停止	あり	なし			
D	一時停止	あり	なし			
E	一時停止	あり	なし			
F	一時停止	あり	なし			
常陸多賀	A	ゆずれ	あり	あり		
	B	ゆずれ	あり	あり		
	C	ゆずれ	あり	なし		
	D	ゆずれ	あり	あり		

(2) 幾何構造諸元値

図-1に分析対象の幾何構造諸元の定義を、また表-2に分析対象の幾何構造諸元値を示す。分析対象とした幾何構造諸元は、以下の観点から7つを設定した。

- ・2.(1)で示した代表的なKimber(1980)の研究³⁾で対象とされた6つの幾何構造諸元の流入部幅員 e 、流入部の流入車線幅員 v 、流入部のフレア区間長 l' 、外径 D 、

流入部の曲線半径 r 、流入角度 θ を分析対象の幾何構造緒元として設定した。

- ・我が国では、流入車両の環道への逆走防止のため、環道への合流角度 ϕ を鋭角にして流入車両を環道へ誘導することが多いが、合流角度 ϕ が鋭角になるほど環道の走行車両を確認しづらくなり、環道へ流入するためには、より大きな環道走行車両のギャップが必要になると考えられる。このため、合流角度 ϕ も分析対象の幾何構造緒元として設定した。

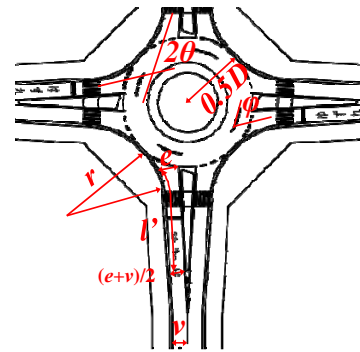


図-1 分析対象の幾何構造緒元の定義

表-2 分析対象の幾何構造緒元値

分析対象ラウンドアバウト	流入部	e [m]	v [m]	l' [m]	D [m]	r [m]	θ [deg]	ϕ [deg]	
守山	Case1	A	4.88	2.75	3.00	27.0	22.0	35.0	17.5
		B	4.85	2.75	2.92		22.0	40.0	27.5
		C	4.94	2.75	2.56		22.0	41.0	33.5
		D	5.03	2.75	3.38		22.0	43.0	23.5
	Case2	A	4.88	2.75	3.00	27.0	22.0	35.0	17.5
		B	4.85	2.75	2.92		22.0	40.0	27.5
		C	4.94	2.75	2.56		22.0	41.0	33.5
		D	5.03	2.75	3.38		22.0	43.0	23.5
	Case3	A	4.88	2.75	3.00	27.0	22.0	35.0	17.5
		B	4.85	2.75	2.92		22.0	40.0	27.5
		C	4.94	2.75	2.56		22.0	41.0	33.5
		D	5.03	2.75	3.38		22.0	43.0	23.5
Case4	A	3.71	2.75	2.74	27.0	30.0	19.0	21.0	
	B	3.49	2.75	2.22		30.0	16.0	22.0	
	C	3.92	2.75	3.09		30.0	21.0	24.0	
	D	3.55	2.75	2.33		30.0	17.0	21.5	
常陸多賀	A	4.70	3.25	4.44	28.0	11.0	32.0	34.0	
	C	4.44	3.00	11.46		5.5	56.0	11.5	
	D	5.35	3.25	5.03		13.0	26.0	14.0	
糸満	Case1	A	3.00	2.90	2.90	27.0	6.0	55.0	57.5
		C	3.50	2.90	0.30		6.0	65.0	57.0
	D	4.10	2.50	1.60	3.0		77.0	65.0	
	A	3.00	2.90	2.90	6.0		55.0	57.5	
Case2	C	3.50	2.90	0.30	6.0	65.0	57.0		
	D	4.10	2.50	1.60	3.0	77.0	65.0		
糸満		A	4.15	3.00	7.17	39.0	21.5	43.0	15.0
		B	3.87	3.00	4.95		23.5	40.0	39.5
		C	3.26	3.00	2.42		6.0	45.0	37.0
		D	3.99	3.00	4.68		21.5	37.0	26.5
		F	3.74	3.00	7.61		39.0	33.0	28.5

(3) 車頭時間パラメータの代表値

表-3に、既存ビデオ映像データから計測した小型車で形成された車頭時間データに基づき設定した、分析対象のクリティカルギャップ t_c 、流入車両の追従車頭時間 t_f 、環道交通流の最小車頭時間 τ の代表値を示す。 t_c 、 t_f および τ の計測データと代表値の設定方法は、次に示すと

おりである。

t_c の計測データは、環道走行車両のギャップが長いほど、先行する環道走行車両が計測断面を通過した時点で、後続の環道走行車両がまだ環道内に流入しておらず、流入車がギャップとして認識しない可能性が高いことから、本研究では10.0[s]以下のギャップサイズを対象として、棄却ギャップと流入ギャップを計測した。 t_c の代表値は、計測データが比較的少ないサンプルであることから、Raff's method¹³⁾を用いて、流入ギャップの累積分布と棄却ギャップの累積分布の交点を代表値とした。

t_f と τ の計測データは、 t_f と τ の代表値を流入交通容量の算定のパラメータに用いるため、流入車両と環道走行車両の追従状態を考慮して計測する必要がある。追従状態の判断としては、HCM2010⁸⁾の車頭時間3.0[秒]以内を追従状態とするという考えがあり、この考えに基づくと、3.0[秒]以下の t_f と τ のデータを計測する必要がある。しながら、分析対象ラウンドアバウトの交通量は少ないことから、3.0[秒]以下の t_f と τ のデータを計測した場合、取得データサンプルが少なくなり、 t_f と τ の代表値の分析ができなくなる可能性がある。このため、本研究では5.0[秒]以下の t_f と τ のデータを計測した。 t_f と τ の代表値については、流入交通容量の過大・過小評価を避けるため、計測したデータの中から3.0[秒]以下のデータを抽出し、抽出した3.0[秒]以下のデータの中央値付近のとなる計測データの値を代表値として設定することにした。分析の結果、本研究では t_f と τ の計測データの15パーセンタイル値を代表値として設定することにした。

表-3をみると、各車頭時間パラメータの代表値は、流入部間で差異が見られる。この差異については、幾何構造諸元以外に、ビデオ撮影日の以下に示す状況から交通条件による影響が考えられる。

- ビデオ撮影日の運用開始からの経過日数が違う。
- 流入部間において、交通制御には一時停止制御とゆずれ制御がある、
- 流出入口において、分離島の有無がある。
- 横断歩行者・自転車交通量が 100[人・台/時]以上の多い場合と、100[人・台/時]未満の少ない場合がある。

このことから、この車頭時間パラメータの代表値の差異について、上記の交通条件に基づき分散分析を行うと、分析の結果は表-4に示すとおりである。 t_c の代表値については、経過日数で統計的に有意な差異が確認できた。 t_f 、 τ の代表値については、経過日数、横断歩行者・自転車、分離島、および交通制御において統計的に有意な差異が確認できた。また、経過日数と車頭時間パラメータの代表値の関係については、図-3に例示するように、経過日数の変化傾向が供用50日以下と100日以上で異なり、100日以上になると経過日数による車頭時間パラメータ

の値の変化率が小さくなる。これは、車頭時間パラメータの代表値は、運転者のラウンドアバウトの利用経験により、運用開始からの100日未満と100日以上との期間により、差異が生じると考えられる。

したがって、車頭時間パラメータの推定モデルの分析には、幾何構造諸元だけでなく、これら交通条件も考慮する必要がある。

表-3 車頭時間パラメータの代表値

		車頭時間パラメータの代表値			
		t_c [秒]	t_f [秒]	τ [秒]	
守山	Case1	流入部A	5.39	2.94	2.21
		流入部B	5.81	2.60	2.18
		流入部C	-	2.68	2.04
		流入部D	5.61	3.10	2.23
	Case2	流入部A	-	2.70	2.14
		流入部B	5.54	2.67	2.40
		流入部C	-	2.25	1.93
		流入部D	5.31	2.80	2.34
	Case3	流入部A	4.92 ※	2.52	1.94
		流入部B	4.39 ※	2.17 ※	2.10
		流入部C	4.61 ※	2.50	1.80 ※
		流入部D	4.70 ※	2.27 ※	2.09
	Case4	流入部A	-	2.37	2.07 ※
		流入部B	4.53 ※	2.46 ※	1.93
		流入部C	-	2.27	1.81 ※
		流入部D	4.37 ※	2.67 ※	1.97
糸満	流入部A	5.50	2.20	2.06	
	流入部B	5.00	2.40	1.83	
	流入部C	5.10	2.71 ※	1.94	
	流入部D	6.00	2.37	2.00	
	流入部E	4.70	2.41	1.83	
	流入部F	4.70	2.41	1.83	
軽井沢	Case1	流入部A	4.57	2.49	2.44 ※
		流入部C	4.64	2.59	2.24
		流入部D	4.62	3.18	2.36
	Case2	流入部A	5.25	3.04	2.40
		流入部C	4.83	3.16	2.57
		流入部D	4.79	3.34 ※	2.67
常陸多賀	流入部A	5.30	2.44 ※	2.16	
	流入部C	4.50	2.23 ※	1.97	
	流入部D	4.50	2.20 ※	2.12	

※少ない取得サンプルで設定した代表値(クリティカルギャップ t_c : 20サンプル程度以下、流入車両の追従車頭時間 t_f : 50サンプル以下、環道交通流の最小車頭時間 τ : 50サンプル以下)。

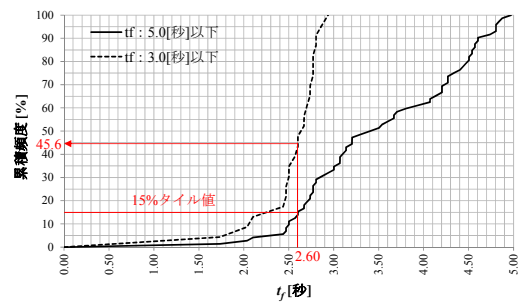


図-2 守山 Case1 流入部 Bによる t_f の累積頻度の一例

表-4 車頭時間パラメータの分散分析結果

交通条件	p値		
	t_c の代表値	t_f の代表値	τ の代表値
経過日数	2.189×10^{-3} **	2.525×10^{-4} **	2.861×10^{-4} **
経過期間	2.642×10^{-5} **	8.710×10^{-1}	4.237×10^{-1}
横断歩行者・自転車	2.326×10^{-1}	2.774×10^{-2} *	6.961×10^{-5} **
分離島	3.750×10^{-1}	2.347×10^{-2} *	4.063×10^{-2} *
交通制御	8.064×10^{-1}	4.555×10^{-3} **	1.472×10^{-3} **

*: 有意水準5%以内, **: 有意水準1%以内

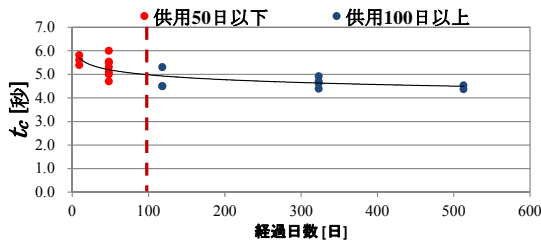
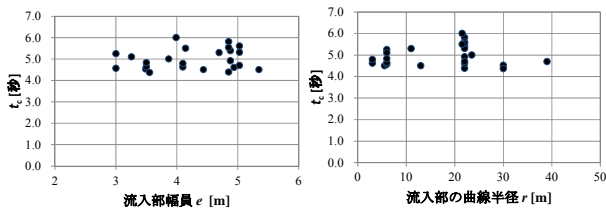
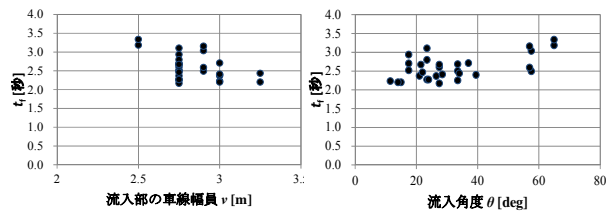


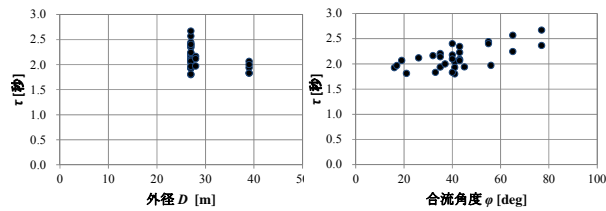
図-3 経過日数と t_c の代表値の関係



(a) t_c と流入部幅員・流入部の曲線半径



(b) t_c と流入部幅員・流入部の曲線半径



(c) τ と流入部幅員・流入部の曲線半径

図-4 車頭時間パラメータと幾何構造諸元の関係

表-5 重回帰分析の説明変数とダミー変数

説明変数・ダミー変数	適用範囲・ダミー変数の内容
流入部幅員 [m]	3.0[m] ~ 5.35[m]
流入部の曲線半径 [m]	3.0[m] ~ 39.0[m]
流入部のルア区間長 [m]	0.3[m] ~ 11.5[m]
合流角度 [deg]	11.5[deg] ~ 65.0[deg]
外径 [m]	27.0[m] ~ 39.0[m]
流入部の車線幅員 [m]	2.75[m] ~ 3.0[m]
流入角度 [deg]	16.0[deg] ~ 77.0[deg]
経過日数 [日]	9[日] ~ 513[日]
経過期間ダミー	・概ね3ヶ月未満 : 1 ・概ね3ヶ月以上 : 0
分離島ダミー	・分離島が有る : 1 ・分離島が無い : 0
横断歩行者・自転車ダミー	・横断歩行者・自転車がが多い : 1 ・横断歩行者・自転車がが少ない : 0
交通制御ダミー	・一時停止規制 : 1 ・ゆずれ規制 : 0

4. 車頭時間パラメータ推定のためのモデル分析

(1) 車頭時間パラメータ推定のための重回帰モデル

本研究では、クリティカルギャップ t_c 、流入車両の追従車頭時間 t_f 、環道交通流の最小車頭時間 τ の代表値を、表-5 に示す幾何構造諸元を説明変数、交通条件をダミー変数とした重回帰分析を行った。ダミー変数の経過期間の定義については、図-3 に示したように t_c の代表値は経過日数が 100 日前後で変化傾向が変わるため、経過日数 100 日未満を概ね 3 ヶ月未満、100 日以上を概ね 3 ヶ月以上とした。また、ダミー変数の横断歩行者・自転車の定義については、(公社)日本道路協会の「道路構造令の解説と運用」¹⁴⁾ の考え方にに基づき、横断歩行者・自転車交通量が 1 流入部あたり 100[人・台/時]以上となる場合、「横断歩行者・自転車交通量が多い」とした。逆に、横断歩行者・自転車交通量が 1 流入部あたり 100[人・台/時]未満となる場合、「横断歩行者・自転車交通量が少ない」とした。

重回帰モデルについては、以下の考え方から、 t_c 、 t_f および τ の代表値が、線形の重回帰モデルで表されるものとした。

- ・様々なモデル分析を行うには、分析対象のサンプルデータが限られている。
- ・限られたサンプルデータの中で、図-4 で例示するように各車頭時間パラメータの代表値と各幾何構造諸元の関係は、各幾何構造諸元の変化に伴い、各車頭時間パラメータの代表値は延長、短縮する傾向を示し、各幾何構造諸元のそれぞれの車頭時間パラメータの代表値の分布は直線的な分布傾向となるものが比較的多く見られる。
- ・説明変数とする全ての幾何構造諸元は相互に関係しているとは限らない。
- ・ダミー変数とする交通条件は、独立変数である。
- ・ラウンドアバウトを計画・設計する実務者にとって、扱いやすいモデルとする必要がある。

(2) モデル分析の結果

モデル分析は、車頭時間パラメータの影響要因となる説明変数およびダミー変数を導くために、表-5 に示したすべての説明変数およびダミー変数を対象として、変数減少法により、車頭時間パラメータの推定式に用いる説明変数およびダミー変数を絞り込み、決定係数が高く、かつ説明変数およびダミー変数の t 値が統計的に有意になるモデルを最終的な推定式とした。ただし、我が国のマニュアルにおいて、ラウンドアバウトの平面幾何構造の幾何構造諸元として扱っていない幾何構造諸元が最終的に説明変数として残った場合、また車頭時間パラメータの影響要因として外せない説明変数およびダミー変数

がある場合については、政策変数の位置付けで、その幾何構造諸元およびダミー変数、またそれらを間接的に説明する幾何構造諸元およびダミー変数により、再度モデル分析を行い、決定係数、説明変数とダミー変数のt値の統計的な優位性を確認し、車頭時間パラメータの推定式とした。

提案する車頭時間パラメータの推定式を、式(10)~(12)示す。また表-6に、式(10)~(12)のパラメータの推定結果を示す。

$$t_c = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x_1 + \alpha_2 \cdot x_2 + \alpha_3 \cdot d_1 \quad (10)$$

$$t_f = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot d_1 \quad (11)$$

$$\tau = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot x_4 + \gamma_2 \cdot x_5 + \gamma_3 \cdot d_1 + \gamma_4 \cdot d_2 \quad (12)$$

ここに、 t_c :クリティカルギャップ[秒]、 t_f :流入車両の追従車頭時間[秒]、 τ :環道交通流の最小車頭時間[秒]、 x_1 :流入部幅員[m]、 x_2 :流入部の曲線半径[m]、 x_3 :流入部の車線幅員[m]、 x_4 :合流角度[deg]、 x_5 :外径[m]、 d_1 :経過期間ダミー、 d_2 :横断歩行者・自転車ダミーであり、 $\alpha_0 \sim \alpha_3$ 、 $\beta_0 \sim \beta_4$ 、 $\gamma_0 \sim \gamma_4$ は表-6に示すとおりである。

t_c の推定式(10)は、自由度調整済決定係数が $R^2=0.555$ と 3つの車頭時間パラメータ推定モデルの中で最も高い値を示す結果となった。そこで、流入部幅員、流入部の曲線半径を説明変数、経過期間をダミー変数として t_c の代表値を推定する。 t_c の代表値の影響要因として、ダミー変数の経過期間は統計的に1%水準で有意となるが、説明変数の幾何構造諸元は5%水準以内での有意性が確認できなかった。これは、分析対象のサンプルデータが限られている中で、流入部幅員に対して t_c の代表値にバラツキがあったためであると考えられる。ただし、 t_c の代表値の影響要因となる流入部での緩やかなカーブ線形で流入車両を誘導し、環道流入に際して加速しやすくする幾何構造条件には、流入部幅員と流入部の曲線半径は重要な幾何構造諸元であり、分析対象のサンプルデータが多くなれば、統計的に優位な関係になると考えられる。また、推定式(10)の特徴としては、経過期間が3ヶ月以上の t_c の代表値は、3ヶ月未満に比べて約0.8[秒]短くなる。

t_f の推定式(11)は、分析の過程のモデル間で比較した自由度調整済決定係数($R^2=0.464$)が2番目に高く、流入部幅員、流入部の曲線半径、流入部の車線幅員を説明変数、経過期間をダミー変数として t_c の代表値を推定する。 t_f の代表値の影響要因として、ダミー変数の経過期間、説明変数の流入部の曲線半径、流入部の車線幅員は統計的に1%水準で有意となるが、説明変数の流入部幅員は5%水準以内での有意性が確認できなかった。これは、分析対

表-6 車頭時間パラメータ推定モデルのパラメータ推定結果

	定数項と説明変数	パラメータ		t値	自由度調整済決定係数 R^2	p値
クリティカルギャップ t_c	定数項 [秒]	α_0	4.467	11.638 **	0.555	1.536×10^{-4} **
	流入部幅員 x_1 [m]	α_1	1.001×10^{-1}	1.079		
	流入部の曲線半径 x_2 [m]	α_2	-1.320×10^{-2}	-1.774 +		
	経過期間ダミー d_1 (0:概ね3ヶ月以上, 1:概ね3ヶ月未満)	α_3	7.842×10^{-1}	5.529 **		
流入車両の追従車頭時間 t_f	定数項 [秒]	β_0	6.212	7.577 **	0.464	5.009×10^{-4} **
	流入部幅員 x_1 [m]	β_1	-8.274×10^{-2}	-1.239		
	流入部の曲線半径 x_2 [m]	β_2	-1.831×10^{-2}	-3.672 **		
	流入部の車線幅員 x_3 [m]	β_3	-1.061	-4.086 **		
	経過期間ダミー d_1 (0:概ね3ヶ月以上, 1:概ね3ヶ月未満)	β_4	1.852×10^{-1}	1.934 +		
環道交通流の最小車頭時間 τ	定数項 [秒]	γ_0	2.380	12.717 **	0.666	1.749×10^{-6} **
	合流角度 x_4 [deg]	γ_1	5.045×10^{-3}	2.520 *		
	外径 x_5 [m]	γ_2	-2.135×10^{-2}	-3.434 **		
	経過期間ダミー d_1 (0:概ね3ヶ月以上, 1:概ね3ヶ月未満)	γ_3	1.816×10^{-1}	2.774 *		
	横断歩行者・自転車ダミー d_2 (0:横断歩行者・自転車が1流入部あたり100[人・veh/h]未満, 1:横断歩行者・自転車が1流入部あたり100[人・veh/h]以上)	γ_4	2.884×10^{-1}	3.583 **		

+ : 有意水準10%以内, * : 有意水準5%以内, ** : 有意水準1%以内

象のサンプルデータが限られている中で、流入部幅員に対して t_f の代表値にバラツキがあったためであると考えられる。ただし、 t_f の代表値の影響要因となる流入部での流入車両の誘導効果を高め、環道流入に際して加速しやすくする幾何構造条件には、流入部幅員は重要な幾何構造諸元であり、分析対象のサンプルデータが多くなれば、統計的に優位な関係となると考えられる。また、推定式(11)の特徴としては、流入部の車線幅員を1.0[m]広くすると、 t_f の代表値は約1.0[s]短くなる。これは、流入部の車線幅員を広くすると、流入部で走行しやすくなり、先行流入車両に追従しやすくなるためと考えられる。

t_f の推定モデルについては、分析の過程において、流入部のフレア区間長、合流角度を説明変数、経過期間をダミー変数として t_f の代表値を推定することが最も望まれた。その理由は、自由度調整済決定係数が $R^2=0.466$ と最も高く、1%水準で有意となる説明変数の流入部のフレア区間長、合流角度も1%水準で有意となるためである。しかしながら、現時点で我が国のマニュアル¹⁾では、流入部の線形を流入部のフレア区間長ではなく、流入部の車線幅員、流入部幅員、および流入部の曲線半径の3つの幾何構造諸元により決定している。このため、我が国での設計を行う実務者のことを考慮するため、本研究では推定式(11)を提案することにした。

τ の推定式(11)は、自由度調整済決定係数が $R^2=0.666$ と最も高く、5%水準以内で有意となる外径、合流角度を説明変数、経過期間、横断歩行者・自転車をダミー変数として τ の代表値を推定する。これら説明変数、ダミー変数が τ の代表値の影響要因となった理由としては、外径が大きくなると、環道を走行しやすくなるため、 τ の代表値が短くなり、合流角度が大きくなると、流入車両が環道流入に際して加速しづらく、環道流入後も走行しづらくなるため、 τ の代表値が長くなると考えられる。また、経過期間が運用開始期から3ヶ月未満の場合は環道走行に不慣れなため、 τ の代表値は長くなり、横断歩行者・自転車が多数の場合は、環道からの流入車両が横断歩行者・自転車により環道で停止する機会が多く、環道走行車両が環道を走行しづらくなるため、 τ の代表値は長くなると考えられる。

(3) 推定モデルの検証

図-5に、車頭時間パラメータの実測値と推定式(10)-(12)に基づく推定値の比較を示す。これより、 t_c 、 t_f 、 τ のいずれの推定値とも、実測値との誤差率が±20%の範囲内の結果となることがわかる。

表-7には、推定値の誤差を定量的に評価するため、式(13)で求めるMAPE(Mean Absolute Error)を示す。MAPEは、一般的に15%以下であれば、十分な推定精度を有するものとされている。

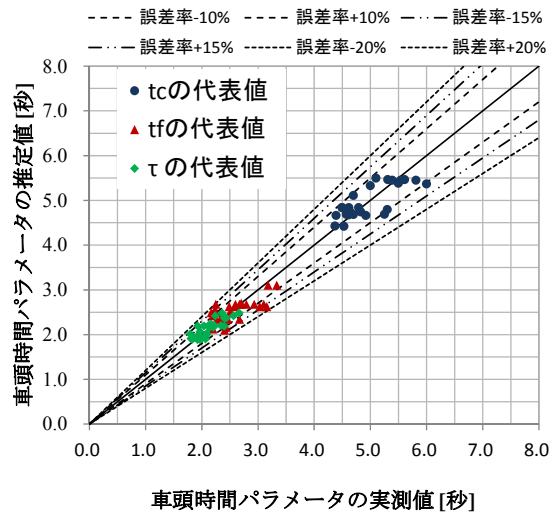


図-5 車頭時間パラメータの実測値と推定値の比較

表-7 車頭時間パラメータの実測値と推定値のMAPE

車頭時間パラメータ	MAPE
クリティカルギャップ t_c	4.6%
流入車両の追従車頭時間 t_f	6.6%
環道交通流の最小車頭時間 τ	4.8%

$$MAPE_i = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_i - \hat{x}_i|}{x_i} \right) \cdot 100\% \quad (13)$$

ここに、 x_i :車頭時間パラメータの実測値[s]、 \hat{x}_i :車頭時間パラメータの推定値[s]である。

t_c 、 t_f 、 τ の推定値のMAPEはそれぞれ4.6%、6.6%、4.8%となり、これら車頭時間パラメータの推定値は、十分な推定精度を有する結果となった。

(4) 推定モデルの適用性の検証

ここでは、推定式(10)-(12)について、表-1に示した分析対象箇所以外のラウンドアバウトへの適用性を検証する。検証対象は、長野県飯田市の東和町と吾妻町のラウンドアバウトとする。車頭時間パラメータの実測値については、東和町が運用開始から9-10日経過したH22年11月10、11日(水、木)、吾妻町が運用開始から1-3日経過したH25年3月25、26、27日(月、火、水)のビデオ撮影結果から計測したデータに基づく値である。

図-6に車頭時間パラメータの実測値と推定値の比較を示し、表-8には車頭時間パラメータの実測値と推定値のMAPEを示す。

t_c の実測値と推定式(10)による推定値の比較結果をみると、東和町の推定値は、実測値との誤差率が概ね+20%の範囲内で、MAPEも18.5%となり比較的良い推定精度となる。一方、吾妻町は、実測値と推定値の誤差率

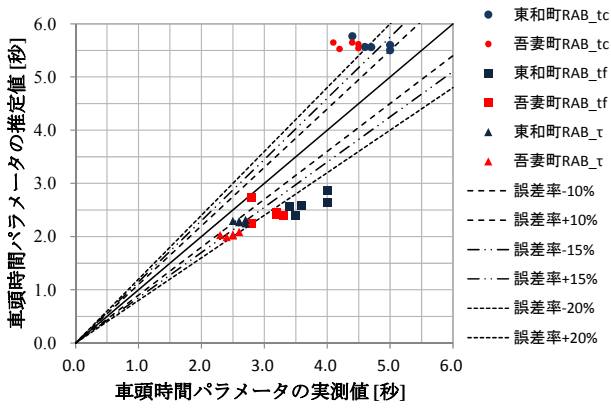


図-6 東和町・吾妻町による推定モデルの検証

表-8 東和町・吾妻町による推定モデルのMAPE

車頭時間パラメータ	MAPE	
	東和町	吾妻町
クリティカルギャップ t_c	18.5%	29.1%
流入車両の追従車頭時間 t_f	29.5%	19.6%
環道交通流の最小車頭時間 τ	12.8%	17.3%

が+20%以上で、MAPEも29.1%となり、推定精度が低くなる。この理由としては、東和町は吾妻町の t_c の推定値は、運用開始からの経過期間が3ヶ月未満に基づき算定した値であるが、実測値はラウンドアバウトの運用に近いロータリー制御からラウンドアバウトへの改良であるため、東和町の信号制御からの改良に比べて、運転者がラウンドアバウトに慣れていたことが主な要因であると考えられる。

t_f の実測値と推定式(11)による推定値の比較結果をみると、吾妻町は、実測値と推定値の誤差率が概ね+20%の範囲内となり、MAPEも19.6%で、比較的良い推定精度となる。東和町の推定値は、実測値との誤差率が-20%以下で、MAPEも29.5%となり、吾妻町に比べて推定精度が低くなる。この理由としては、東和町の推定値は、運用開始からの経過期間が1~3日と供用直後に撮影したビデオデータに基づく計測値であるため、当該ラウンドアバウトの利用経験が極端に少ないという影響が大きかったことが主な要因であると考えられる。

τ の実測値と推定式(12)による推定値の比較結果をみると、東和町、吾妻町ともに、実測値と推定値の誤差率が概ね-20%の範囲内の推定結果となり、MAPEも比較的良い推定精度となる。東和町のMAPEは12.8%となり、十分な推定精度を有している。吾妻町の推定精度が15%以下にならなかった理由としては、吾妻町の外径は40mと大きく走りやすいが、利用交通量が多くないことから、比較的長い環道交通流の最小車頭時間データのサンプルの割合が高いなどの影響によるものと考えられる。

以上のことから、推定式(10)~(12)に基づく車頭時間パ

ラメータの推定値は、実測値に対して大きく乖離しないことから、推定精度は比較的良好と考える。ただし、推定値と実測値との誤差率は概ね±20%の範囲内にあることを考慮しておく必要がある。

5. 幾何構造が流入交通容量に与える影響分析

(1) 幾何構造諸元値の単位当たりの変化量による流入交通容量の変化率

ここでは、幾何構造が流入交通容量に与える影響について、幾何構造諸元値の単位当たりの変化量による流入交通容量の変化率から分析する。対象とする幾何構造諸元は、推定式(10)~(12)で説明変数とした10%水準以内で統計的に有意になった幾何構造諸元とする。

分析の方法は、推定式(10)~(12)に基づき推定した3つの車頭時間パラメータの値をそれぞれ t_c [秒], t_f [秒], τ [秒], 単位当たりの変化量をそれぞれ Δt_c [秒], Δt_f [秒], $\Delta \tau$ [秒] として、流入交通容量の推定式(9)に t_c [秒], t_f [秒], τ [秒] と $(t_c + \Delta t_c)$ [秒], $(t_f + \Delta t_f)$ [秒], $(\tau + \Delta \tau)$ [秒] をそれぞれ代入し、その比をとることにより、車頭時間パラメータの変化量による流入交通容量の変化率を算定する。式(14)~(16)に、流入交通容量の変化率の算定式を示す。

$$\lambda_c = e^{-\frac{\Delta t_c \cdot q_{ci}}{3600}} \tag{14}$$

$$\lambda_f = \frac{t_f}{t_f + \Delta t_f} \cdot \exp\left(\frac{\Delta t_f \cdot q_{ci}}{7200}\right) \tag{15}$$

$$\lambda_\tau = \left(1 - \frac{\Delta \tau \cdot q_{ci}}{3600 - \tau \cdot q_{ci}}\right) \cdot \exp\left(\frac{\Delta \tau \cdot q_{ci}}{3600}\right) \tag{16}$$

ここに、 λ_c : クリティカルギャップの単位当たりの変化量による交通容量の変化率、 Δt_c : クリティカルギャップの単位当たりの変化量[秒]、 λ_f : 流入車両の追従車頭時間の単位当たりの変化量による交通容量の変化率、 t_f : 流入車両の追従車頭時間[秒]、 Δt_f : 流入車両の追従車頭時間の単位当たりの変化量[秒]、 λ_τ : 環道交通流の最小車頭時間の単位当たりの変化量による交通容量の変化率、 τ : 環道交通流の最小車頭時間[s]、 $\Delta \tau$: 環道交通流の最小車頭時間の単位当たりの変化量[秒]、 q_{ci} : 流入部正面の上流断面の環道交通量[pcu/時]である。

図7~図9に、環道交通量と流入交通容量の変化率 λ_c , λ_f , および λ_τ の関係を示す。幾何構造諸元の単位当たりの変化量に対する流入交通容量の変化率への影響要因が大きい幾何構造諸元は、環道交通量が少ないときは、 t_f の推定式(11)の説明変数である流入部の車線幅員であり、環道交通量が多くなると、 t_c の推定式(10)の説明変数で

ある流入部幅員, τ の推定式(12)の説明変数である外径の影響が若干大きくなる. 特に, t_f の推定式(11)の説明変数である流入部の車線幅員の影響が大きく, 環道交通量 $q_a=0$ の時の流入交通容量の変化率 λ_f が約 1.2 となる. 環道交通量が多くなるにつれて, 流入交通容量の変化率 λ_f が小さくなるのは, 環道交通量の影響を受け, 先行流入車両に追従し難くなり, t_f の値が長くなるためである.

(2) 推定流入交通容量と実測データによる流入交通容量の比較検証

車頭時間パラメータの推定式(10)~(12)を, 我が国のマニュアル¹⁾に示されている流入交通容量の推定式(9)に代入して算定した推定流入交通容量と実測データによる流入交通容量を比較検証する. 比較検証に用いる実測データの流入交通容量は, 我が国で唯一, 交通容量状態にある軽井沢の流入部Aで, H25年5月4日(土), 5日(日)に観測された15分間流入交通流率とする. なお, この観測された15分間流入交通流率は, 横断歩行者・自転車が多い時の15分間流入交通流率である. 比較検証にあたっては, 康・中村ら(2015)¹⁵⁾の研究による横断歩行者・自転車の影響を考慮した流入交通容量の推定手法(以下, 康・中

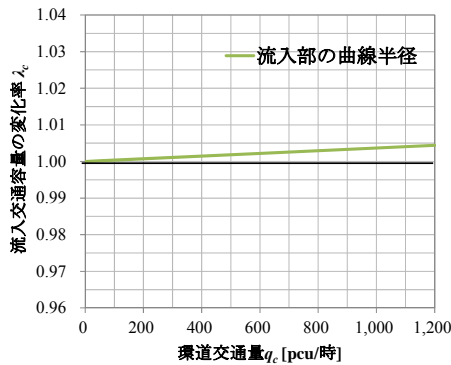


図-7 流入部の曲線半径の単位当たりの変化量による流入交通容量の変化率 λ_c と環道交通量の関係

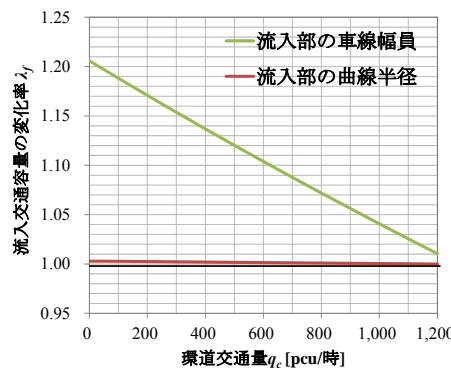


図-8 流入部の曲線半径, 流入部の車線幅員の単位当たりの変化量による流入交通容量の変化率 λ_f と環道交通量の関係

村モデル(2015)という.)による推定流入交通容量との比較も交えて検証する. 表-9は, 比較検証する流入交通容量の推定方法の概要を示したものである. また, 表-10に, 各推定流入交通容量の車頭時間パラメータの代表値を示す.

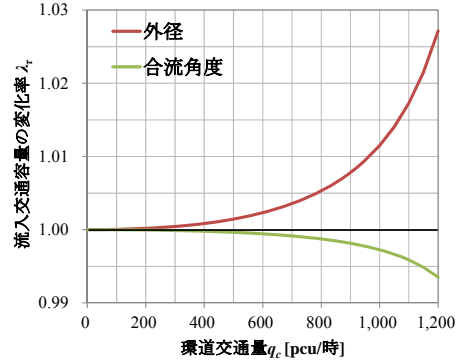


図-9 外径, 合流角度の単位当たりの変化量による流入交通容量の変化率 λ_f と環道交通量の関係

表-9 比較検証する流入交通容量の推定方法の概要

モデル	概要
車頭時間パラメータの推定値を用いた推定流入交通容量 C_{e_est}	表-2に示した軽井沢の流入部Aの幾何構造諸元を用いて, 推定式(10)~(12)に基づき算定した車頭時間パラメータの推定値と流入部A正面上流断面で観測した環道交通量を式(9)へ代入して, 軽井沢流入部Aの流入交通容量を推定する.
我が国のマニュアルで適用している車頭時間パラメータを用いた推定流入交通容量 C_{e_sta}	我が国のマニュアルで適用している車頭時間パラメータの値と軽井沢の流入部A正面上流断面で観測した環道交通量を式(9)へ代入して, 軽井沢流入部Aの流入交通容量を推定する.
康・中村モデル(2015) ¹⁵⁾ による推定流入交通容量 C_{e_ped}	表-2に示した軽井沢の流入部A, Bで観測した横断歩行者交通量と流入部Aの正面上流断面で観測した環道交通量を用いて, 康・中村モデル(2015) ¹⁵⁾ に基づき, 軽井沢流入部Aの流入交通容量を推定する.
横断歩行者交通量 Q [人/h] と仮定した場合の康・中村モデル(2015) ¹⁵⁾ による推定流入交通容量 C_{e_pedf}	表-2に示した軽井沢の流入部A, Bの横断歩行者交通量を Q [人/h] とし, 流入部A正面上流断面で観測した環道交通量を用いて, 康・中村モデル(2015) ¹⁵⁾ に基づき, 軽井沢流入部Aの流入交通容量を推定する.

表-10 各推定流入交通容量の車頭時間パラメータの代表値

推定流入交通容量	車頭時間パラメータの代表値		
	t_c [秒]	t_f [秒]	τ [秒]
C_{e_est}	4.69	2.78	2.37
C_{e_sta}	4.1	2.9	2.1
C_{e_ped}	5.06~6.51	4.53~8.91	2.03~3.36
C_{e_pedf}	4.63	3.61	3.34

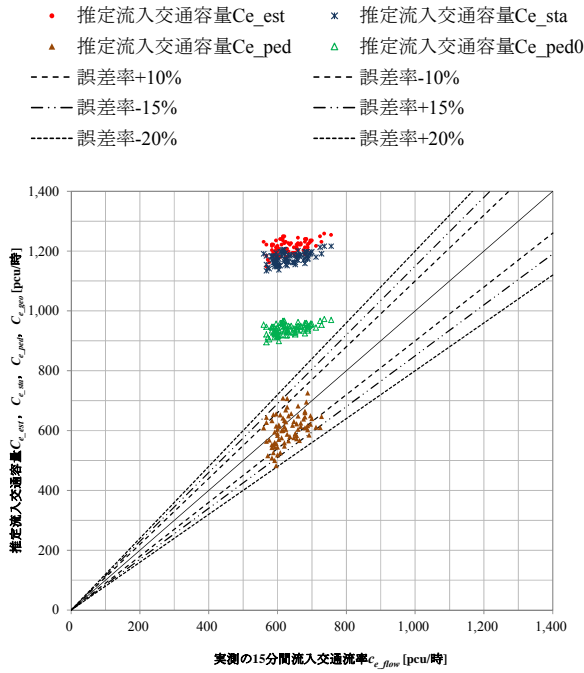


図-10 軽井沢流入部 A の実測の 15 分間交通流率と推定交通容量の比較

表-11 推定流入交通容量と実測の 15 分間流入交通流率 C_{e_flow} の MAPE

推定流入交通容量	MAPE
C_{e_est}	91.8%
C_{e_sta}	86.4%
C_{e_ped}	7.5%
C_{e_pedl}	49.5%

図-10は、実測の15分間交通流率 C_{e_flow} と表-9に示した推定方法で算定した推定流入交通容量の比較結果である。なお、各推定流入交通容量に用いる観測データの15分間流入交通流率と環道交通量については、本研究の車頭時間パラメータを小型車で形成されたギャップで計測していることから、大型車の乗用車換算係数 $E_f=2.0$ により補正し、乗用車換算台数[pcu]として算出する。大型車の乗用車換算係数 $E_f=2.0$ は、HCM2010⁸⁾において、ラウンドアバウトの流入交通容量を推定する際に用いられている大型車の乗用車換算係数の値 $E_f=2.0$ とした。また、表-11に、実測の15分間交通流率 C_{e_flow} と推定流入交通容量のMAPEを示す。図-10、表-11より、推定交通容量と実測の15分間交通流率 C_{e_flow} の比較検証について考察すると、次のとおりである。

C_{e_est} と C_{e_flow} を比較すると、 C_{e_est} と C_{e_flow} の誤差は大きく、MAPEが約92%となり、推定精度が低い結果となる。理由としては、 C_{e_flow} は横断歩行者・自転車の影響を受け

た値であるが、 C_{e_est} で横断歩行者・自転車の影響を考慮しているのは、推定式(12)に基づく τ の推定値のみであることから、 C_{e_est} への十分な横断歩行者・自転車の影響が考慮できていないため、 C_{e_flow} のように C_{e_est} が減少したためと考えられる。特に、流入交通容量へ影響が大きい t_f の推定値は、幾何構造の影響を考慮しているが、横断歩行者・自転車の影響は考慮できていない。したがって、推定式(10)、推定式(11)に横断歩行者・自転車の影響を考慮して t_c 、 t_f の値を推定することにより、 C_{e_est} は C_{e_flow} に近づくと考えられる。

C_{e_sta} と C_{e_flow} を比較すると、 C_{e_sta} と C_{e_flow} の誤差は大きく、MAPEが約86%となり、推定精度が低い結果となる。この要因としては、 C_{e_flow} は横断歩行者・自転車の影響を受けているが、 C_{e_sta} は横断歩行者・歩行者、軽井沢の流入部Aの幾何構造の影響が考慮されていないためである。また、 C_{e_sta} のMAPEが C_{e_est} に比べて若干高くなっているが、 C_{e_sta} の推定に用いた車頭時間パラメータは軽井沢の流入部Aの幾何構造や交通条件が反映されていないため、 C_{e_sta} の推定精度は、推定流入交通容量 C_{e_est} に比べて、高いという判断はできない。 C_{e_sta} が C_{e_est} に比べて、若干低くなるのは、流入交通容量への影響が大きい C_{e_sta} の t_f の値($t_f=2.9$ [秒])が、 C_{e_est} の t_f の値($t_f=2.78$ [秒])に比べ長いためである。

C_{e_ped} と C_{e_flow} を比較すると、 C_{e_ped} と C_{e_flow} の誤差率は概ね±20%以内で、MAPEが7.9%となり、十分な推定精度を有する結果となる。この主な要因としては、康・中村モデル(2015)¹⁵⁾では、流入交通容量の低下要因となる軽井沢の流入部Aと、この下流側の流入部Bの横断歩行者交通量と横断歩行者挙動の影響を考慮しているためである。しかしながら、康・中村モデル(2015)¹⁵⁾では、幾何構造による流入交通容量への影響を考慮していない。

C_{e_pedl} と C_{e_flow} を比較すると、 C_{e_pedl} と C_{e_flow} のMAPEは49.5%となり、 C_{e_ped} の推定精度より低くなる。これは、 C_{e_pedl} では横断歩行者交通量を0[h/人]と仮定した推定値であり、横断歩行者の影響を考慮していないためである。このことから、 C_{e_flow} は横断歩行者・自転車の影響を大きく受けている値であると考えられる。

以上のことから、推定流入交通容量の検証に使用した軽井沢流入部Aの実測の15分間交通流率 C_{e_flow} は、幾何構造の影響より断歩行者・自転車の影響をより大きく受けた流入交通容量であった。このため、横断歩行者の影響を考慮した康・中村モデル(2015)¹⁵⁾の推定流入交通容量 C_{e_ped} の推定精度が良い結果となった。軽井沢流入部Aとは違い、流入交通容量に与える横断歩行者の影響が大きくない場合は、幾何構造の影響の方が大きくなる。しかしながら、康・中村モデル(2015)¹⁵⁾には、幾何構造の影響が考慮されていない。したがって、現時点では、本研究で提案した幾何構造諸元、経過期間、横断歩行者・自

転車の交通条件を考慮した推定式(10)-(12)に基づき車頭時間パラメータの代表値を推定し、この推定値を流入交通容量の推定式(9)に代入して、推定流入交通容量を算出することが、有効な手段になると考えられる。そして、推定式(10)と推定式(11)に横断歩行者・自転車の影響を考慮するなど、推定式(10)-(12)の推定精度をさらに向上することが、推定流入交通容量の精度向上につながると考えられる。

(3) 推定流入交通容量と環道交通量の関係比較

ここでは、推定流入交通容量と環道交通量の関係と比較する。表-12に、比較する対象箇所と流入部、推定式(10)-(12)に基づき推定した車頭時間パラメータの代表値を示す。対象箇所の流入部は、対象箇所毎にピーク時間交通量が最も多い流入部とした。また、糸満については、表-2に示したように軽井沢と同様に幾何構造条件が厳しい流入部Cを対象とした。図-11には、表-12の車頭時間パラメータの代表値を流入推定交通容量の推定式(9)に代入して算出した、推定流入交通容量と環道交通量の関係を示す。

図-11より、推定流入交通容量と環道交通量の関係を見ると、車頭時間パラメータの代表値を我が国のマニュアル¹⁾の準用値を用いた場合、対象箇所の流入部毎の幾何構造諸元と交通条件が異なるにも関わらず、すべての流入部において各環道交通量に対する推定流入交通容量は同じ値となる。しかしながら、対象箇所の流入部毎の幾何構造諸元は異なることから、本研究で提案した推定式(10)-(12)も基づき車頭時間パラメータの代表値を推定して流入交通容量を算定したことにより、各流入部の車頭時間パラメータの代表値が異なり、対象箇所の流入部毎に推定流入交通容量と環道交通量の関係に差異が生じることになる。幾何構造条件が厳しく、横断歩行者・自転車が多い軽井沢Case1_流入部Aや、幾何構造条件が厳しく、経過期間が3ヶ月未満の糸満_流入部Cの推定流入交通容量は、幾何構造条件が厳しくなく、経過期間が3ヶ月以上の守山Case4_流入部Aの推定流入交通容量に比べ、各環道交通量において200[pcu/h]程度低下する。

環道交通量が少ない時、厳しい幾何構造条件の軽井沢Case1_流入部A、糸満_流入部C以外の流入部の推定流入交通容量は、車頭時間パラメータの代表値を我が国のマニュアル¹⁾の準用値を用いて算定した推定流入交通容量より高くなる傾向がある。特に、この傾向は環道交通量が0[pcu/時]の時にみられる。これは、表-12に示すように、流入交通容量の変化に最も影響を与える、推定式(11)で推定した t_f の値が、我が国のマニュアル¹⁾の t_f の準用値に比べて短いためである。このことから、今後、さらに、推定式(11)の推定精度を向上させ、推定流入交通容量を検証していくことが望まれる。

表-12 各推定流入交通量の車頭時間パラメータの代表値

対象箇所と流入部	車頭時間パラメータの代表値		
	t_c [秒]	t_f [秒]	τ [秒]
守山Case1_流入部A	5.45	2.67	2.16
守山Case4_流入部A	4.44	2.44	1.90
常陸多賀_流入部C	4.84	2.56	2.07
軽井沢Case1_流入部A	4.69	2.78	2.37
糸満_流入部A	5.38	2.48	1.95
糸満_流入部C	5.50	2.84	2.00
我が国のマニュアルの準用値	4.1	2.9	2.1

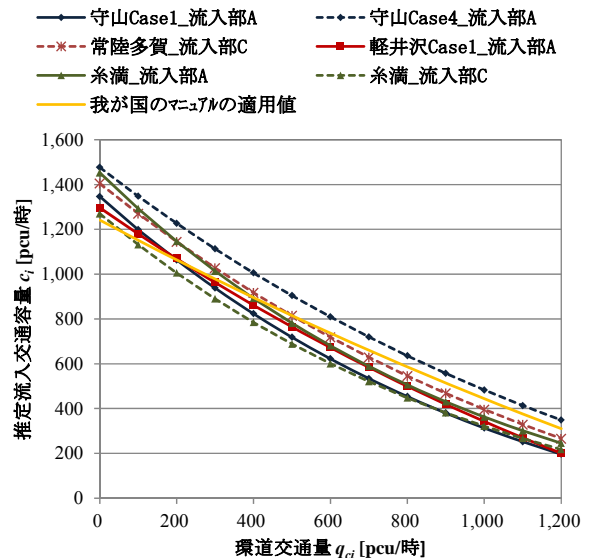


図-11 推定流入交通容量と環道交通量の関係

6. おわりに

本稿では、ラウンドアバウトの幾何構造が交通容量に与える影響について、我が国のラウンドアバウトで収集・計測した幾何構造諸元と車頭時間パラメータのデータに基づき、幾何構造諸元値と車頭時間パラメータの代表値の関係についてモデル分析を行い、幾何構造諸元が車頭時間パラメータに与える影響を定量的に明らかにした。さらに、このモデル分析の結果に基づき、幾何構造諸元が交通容量に与える影響を定量的に明らかにした。

車頭時間パラメータのモデル分析の結果、クリティカルギャップの代表値の推定は、幾何構造諸元の流入部幅員、流入部の曲線半径を説明変数、経過期間をダミー変数とする推定式とした。流入車両の追従車頭時間の代表値の推定は、幾何構造諸元値の流入部幅員、流入部の曲線半径、流入部の車線幅員を説明変数、経過期間をダミー変数とする推定式とした。環道交通流の最小車頭時間の代表値の推定は、幾何構造諸元の外径、合流角度を説明変数、経過期間、横断歩行者・自転車をダミー変数とする推定式とした。

幾何構造諸元が流入交通容量に与える影響としては、環道交通量が少ない時は、流入車両の追従車頭時間の説

明変数となる流入部の車線幅員の影響が大きく、環道交通量が多くなると、クリティカルギャップの説明変数となる流入部の曲線半径、環道交通流の最小車頭時間の説明変数となる外径の変化量が流入交通容量の変化率に対して若干大きく影響することが明らかになった。特に、流入車両の追従車頭時間の変化量が流入交通容量の変化率に対しての影響が大きいことが明らかになった。

ラウンドアバウトの流入交通容量はギャップアクセプトランス挙動に影響を受け、ギャップアクセプトランス挙動は幾何構造諸元や、経過期間、横断歩行者・自転車の交通条件に影響を受ける。このことから、本研究で提案した車頭時間パラメータの推定式(10)-(12)に基づき算定した推定値を、我が国のマニュアル¹⁾に示されている流入交通容量の推定式(9)に代入して流入交通容量を算定することは、各ラウンドアバウトの幾何構造諸元の条件と、運転者の慣れや横断歩行者・自転車の交通条件を反映した流入交通容量を推定することとなり、実務者にとって、適切なラウンドアバウトの導入の可否の判断や、走行の円滑性能の確保から適切な幾何構造諸元の設計を行うための有用な手段になると考える。

今後は、我が国の異なる幾何構造のラウンドアバウトの車頭時間、幾何構造諸元、交通条件のデータを収集・蓄積し、提案した車頭時間パラメータの推定モデルの検証し、より精度の高い推定モデルを策定していくことが望まれる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費基盤研究(B)16H04426 の助成を受けたものです。また、本研究にあたっては、名古屋大学大学院・後藤梓助教(現・国土技術政策総合研究所道路交通研究部研究官)、趙宇嘉氏、東京理科大学理工学部土木工学科の康楠嘱託助教をはじめとする皆様に多大なご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) (一社)交通工学研究会：ラウンドアバウトマニュアル, 2016.

- 2) FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen) : Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (Guideline for the design of roundabouts), 2005.
- 3) Kimber, R.: Traffic Capacity of Roundabouts, Transportation and Research Laboratory, Laboratory Report LR942, Crawthorne, Berkshire, U.K., 1980
- 4) Brilon, W. and Stuwe, B.: Kreisverkehrsplaetze-Leistungsfahigkeit, Sicherheit und verkehrstechnische Gestaltung. (Roundabouts-Capacity, safety, and design), Strassenverkehrstechnik, vol. 6, 1991
- 5) Robinson, B. W., L. Rodegerdts, W. Scarbrough, W. Kittelson, R. Troutbeck, W. Brilon, L. Bondzio, K. Courage, M. Kyte, J. Mason, A. Flannery, E. Myers, J. Bunker, and G. Jacquemart. Roundabouts: An Informational Guide. Report FHWA-RD-00-067. FHWA, U.S. Department of Transportation. , 2000.
- 6) Bovy, H. Dietrich, K. and Harmann, A.: Guide Suisse des Giratoires. Lausanne, Switzerland, p.75 (cf. summary: Straße und Verkehr (Road and traffic), No.3, pp.137-139, March 1991). , 1991.
- 7) Louah, G. : Panorama Critique des Modeles Francais de Capacite des Carrefours Giratoires. Proc., Roundabouts 92, Nantes, France., 1992.
- 8) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, 2010.
- 9) Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen: Handbuch für die Bemessung von Strassen-verkehrsanlagen (HBS), Germany, 2005.
- 10) AUSTRROADS: Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6-Roundabouts. Sydney, Australia ,1993.
- 11) Cowan, R. J.: Useful Headway Models, Transportation Research Vol.9, pp.371-375, 1975.
- 12) Tanner, J. C.: A Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection. Biometrika 49(1 and 2), pp. 163-70, 1962.
- 13) 後藤梓・中村英樹：ラウンドアバウトにおけるクリティカルギャップの推定に関する考察，土木計画学研究発表会・講演集No.54, 6ページ, CD-ROM, 2016.
- 14) (公社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用, p.496, 2015
- 15) 康楠・中村英樹・神戸信人：日本におけるラウンドアバウト流入交通容量推定モデルに関する研究，交通工学論文集，第1巻第5号, pp.19-28, 2015.

(2017.4.28 受付)

MODELLING ROUNDABOUT ENTRY CAPACITY CONSIDERING GEOMETRIC ELEMENTS

Nobuto KANBE, Hideki NAKAMURA and Shinji ODAKA