

ラウンドアバウトにおける 大型車挙動特性に関する分析

真島 君騎¹・康 楠²・後藤 梓³・中村 英樹⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院博士課程前期 工学研究科 社会基盤工学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2(651))

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

²正会員 名古屋大学大学院研究員 環境学研究科 都市環境学専攻 (同上)

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

³正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 持続的共発展教育研究センター (同上)

(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2(651))

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

⁴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 (同上)

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

ラウンドアバウトの導入にあたり、流入交通容量の推定は重要な過程の1つである。大型車はその車体の大きさや性能の違いによりギャップアクセプタンス挙動や速度等、小型車とは異なる挙動特性を示すことから、流入交通容量に及ぼす影響が大きいと考えられる。しかし現在、国内に大型車交通量が十分ありかつ飽和状態を観測可能なラウンドアバウトは存在せず、大型車の影響を加味した流入交通容量を観測することは困難である。そこで本稿では、国内のラウンドアバウトにおける実観測データを用いて、流入交通容量の推定をするために重要なクリティカルギャップ、フォローアップタイム、最小環道車頭時間という3つのギャップパラメータに、大型車が及ぼす影響を分析する。その結果、大型車が先行車として走行する場合に各パラメータの値は大きくなり、幾何構造の影響は大型車の混入によってより顕著に表れることがわかった。さらに、分析結果に基づき推定される大型車混入時のギャップパラメータを用いて流入交通容量の試算を行い、流入交通容量に対して大型車の影響を反映する方法を考察した。

Key Words : roundabout, capacity, gap parameter, heavy vehicle

1. はじめに

近年、国内におけるラウンドアバウトに対する関心が高まり、その導入が各地で検討されている。ラウンドアバウトを導入する際、利用が見込まれる交通需要を適切に処理することは必要不可欠であるため、流入交通容量の推定は、導入検討段階において最も基本的かつ重要な事項といえる。流入交通容量は、ラウンドアバウトの幾何構造や交通需要特性などにより影響を受けることが考えられる。交通需要特性の中でも、大型車による影響は、その車体の大きさや加減速性能、カーブ走行性能などが一般的な小型車と異なるため、大きいと考えられる。

現在、国内では大型車交通量が多く、なおかつ交通容量を観測できるような飽和状態にあるラウンドアバウトは存在せず、大型車の影響を加味したラウンドアバウトの流入交通容量を直接観測することは困難である。流入

部*i*における交通容量 c_i [pcu/h]を直接観測できない場合、ギャップへの流入確率モデルを用いて理論的にこれを推定できることが既往の研究で示されている。

式(1)は、これに基づき流入交通容量を推定するドイツの交通容量・サービス水準マニュアルであるHBS¹⁾に記載の式である。流入部*i*正面の環道車両交通量 q_{ci} [pcu/h]に加えて、ギャップアクセプタンス挙動を表すクリティカルギャップ t_c [sec]、フォローアップタイム t_f [sec]、最小環道車頭時間 τ [sec]という3つのパラメータを用いる。

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

クリティカルギャップ t_c とは、1台の流入車が流入可能な環道における最小の車頭時間、フォローアップタイム t_f とは追従して流入する2台の流入車の車頭時間、最小環

道車頭時間 τ とは追従走行する2台の環道車の最小の車頭時間である。本稿では、これら3つのパラメータを総称してギャップパラメータと呼ぶ。

表-1に、海外のガイドラインで用いられている各ギャップパラメータの値を掲載した。ただし、これらの値はいずれも小型車のみを考慮したものである。

実測値として掲載した、飯田市吾妻町ラウンドアバウトでは、社会実験に伴い2010年と2011年の2度にわたって構造改良がなされた⁹⁾。そのため、改良前の「事前」(2010年9月28日)、1回目の改良後「事後1」(2010年12月1日)、2回目の改良後「事後2」(2011年10月27日)の計3回のビデオ観測調査が行われている。改良前(事前)の幾何構造は、ドット線やエプロンの路面表示がなく、交差点の形状も正円ではない状態であった。事後1では、これらの路面表示が整備されて形状も正円へと改良され、事後2には、南北流入部の歩車道境界に縁石を設置するなど構造上の改良が施されている。

海外のガイドラインの中では、大型車の影響は大型車の乗用車換算係数と混入率とを用いて考慮されている。乗用車換算係数とは、式(2)を用いて大型車交通量を小型車交通量に換算し、環道交通量 q_{ci} を補正するために用いられる係数である。

$$q_{ci, pce} = \frac{q_{ci}}{f_{HV}}, f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1)} \quad (2)$$

ここに、 P_T : 大型車混入率、 E_T : 大型車の乗用車換算係数、である。

各国のガイドラインでは、それぞれ表-2の値が示されている。乗用車換算係数を用いた交通量補正の考え方は、日本においては単路部を対象として表-2最下行の通り示されているが、これらの値がラウンドアバウトにおいても適用できるかは検証が必要である。また、海外における乗用車換算係数の値をそのまま用いて交通容量を計算することにも疑問が残る。

大型車は車体の大きさや加速などに関する性能が小型車と異なるため、ギャップパラメータも大型車の影響により値が変化することが考えられる。また、幾何構造の影響も受けることが考えられる。吉岡ら(2010)¹⁰⁾は、試験場に設置されたラウンドアバウトにおける走行実験を行い、流入角度がラグに及ぼす影響について分析を行っている。ここでラグとは、「流入車両が流入線に到着した時刻とその後環道車両が交差点を通過したときの時間差」であり、本稿が取り扱うギャップアクセプタンス挙動とも深い関連を持つ指標である。この分析の結果、流

表-1 既往のギャップパラメータに関する知見

		t_c [sec]	t_f [sec]	t [sec]
ガイドライン	NCHRP572 ²⁾	4.2-5.9	2.6-4.3	不明
	HCM 2000 ³⁾	4.6	3.1	-
	HBS ¹⁾	4.4	3.2	2.0
	ARR321 ⁴⁾	2.2-8.0	1.2-4.0	-
実測値	飯田市吾妻町(事前)	4.3-4.8	2.9-3.5	不明
	飯田市吾妻町(事後1)	4.1-4.5	2.7-3.3	不明
	飯田市吾妻町(事後2)	3.5-4.0	2.8-2.9	不明
	飯田市東和町	4.5	3.4	2.2

-: 考慮されていない

参照: 飯田市吾妻町-康ら(2012)⁹⁾, 飯田市東和町-IATSS(2014)⁹⁾

表-2 海外における乗用車換算係数の設定値

ガイドライン	Trucks	Buses
HBS	2.0	1.5
HCM2000	2.0	1.5
ARR123 ⁷⁾	2.0	
HCM2010 ⁸⁾	2.0	
地域区分		
道路の交通容量 ⁹⁾	都市部 平地部	山地部
	2.0 3.5	

入角度が小さいと流入車両の速度抑制が十分でないまま流入するため、小さなラグでも流入する傾向が示されている。

また、康ら(2012)⁹⁾は飯田市吾妻町のラウンドアバウトにおいて、幾何構造がクリティカルギャップとフォローアップタイムに与える影響について分析を行い、路面表示の有無、流入角度、縁石、停止線とゆずれ線の距離が特に大きな影響を与えることを示している。しかし、これらはいずれも小型車のみを対象としており、大型車は考慮されていない。幾何構造がギャップに与える影響は、大型車が混入した場合により顕著になることが予想されるが、これに着目した研究はみられない。

そこで本研究の目的は、クリティカルギャップ t_c 、フォローアップタイム t_f 、最小環道車頭時間 τ の3つのギャップパラメータに対して大型車が与える影響を、実ラウンドアバウトで観測された挙動分析により明らかにすることである。このとき、異なる流入部での値を比較することで、幾何構造による影響についても考慮する。

さらに、交通流シミュレーションを用いて流入交通容量を推定していく上でも、ギャップパラメータは重要な入力値である。大型車のギャップパラメータが得られれば、これをシミュレーションに入力することで、大型車混入時の流入交通容量を推定することが可能となり、日

本のラウンドアバウトに適用可能な乗用車換算係数を推定できると考えられる。本研究は、今後シミュレーション分析の準備をする上で、意義のある分析として位置付けられる。

2. 分析の仮説

(1) ギャップの車種構成

本研究では、ギャップを構成する流入部・環道部の車両が大型車、小型車(以下、それぞれH、Pで表記)のどちらであるかによって車種構成を分類する。

ここでは、ギャップを構成する車両を図-1に示すように、第一環道車(以下、c1)、第二環道車(同、c2)、第一流入車(同、e1)や第二流入車(同、e2)と呼ぶこととする。

クリティカルギャップとは、e1がc1とc2の間のギャップを受け入れるか否かの分布によって決まる値である。この車種構成について、c1c2-e1の順序でPP-P、HP-P、PH-P、PP-Hの4通りを考える。理論的には全て大型車のHH-Hのような車種構成もありえるが、発生頻度が極めて低いため今回は想定しない。フォローアップタイムについてはe1e2、最小環道車頭時間についてはc1c2の車種構成について、それぞれPP、PH、HP、HHの4つの場合を考慮する。

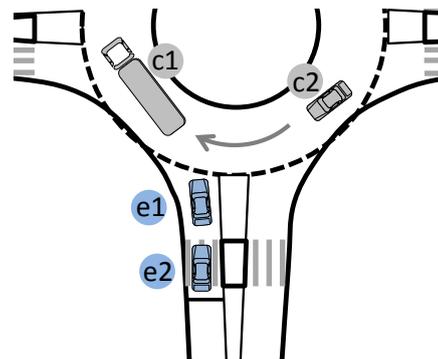


図-1 車両位置



図-2 常陸多賀駅前ラウンドアバウト写真

(2) 大型車がいる場合のギャップに関する仮説

各ギャップパラメータについて、車種構成による値の大小関係として考えられる仮説は、次の通りである。

- ・クリティカルギャップ t_c : PP-P < PH-P < HP-P < PP-H
- ・フォローアップタイム t_f : PP < PH < HP < HH
- ・最小環道車頭時間 τ : PP < PH < HP < HH

これは、①大型車がc1またはe1を走行しているとき、車長が長い分だけ車頭時間が大きくなること、②大型車は加速しづらいため、e1のとき短いギャップを見送る可能性が考えられること、③大型車は内輪差やオーバーハングなどに注意して走行するため、c2またはe2のとき、先行車との間により大きなギャップが生まれやすいことを想定するためである。

また、幾何構造がギャップパラメータに及ぼす影響について、流入角度が小さい流入部では、流入車両が十分に減速しないまま流入することから、クリティカルギャップやフォローアップタイムが小さくなる可能性がある。ただし、流入角度が小さすぎる場合、ドライバーが首を大きく振って環道車を確認する必要が生じるためギャップ確認に時間がかかり、ドライバーによっては大きなギャップを見送るケースが出現することで、クリティカルギャップが大きくなることも考えられる。このような幾

表-3 常陸多賀ラウンドアバウト構造の概要

全体				
外径[m]	28			
環道幅員[m]	4.3			
エプロン幅員[m]	1.9			
各流入部				
流入部	1	2	3	4
流入部幅員[m]	3.1	5.8	3.7	4.1
流入角度* [°]	26	57	36	34
ポストコーンの有無	×	×	○	×
横断歩道の有無	○	×	×	○
その他特記事項	駅前			

*流入角度は図-2の α で定義される

表-4 2時間交通量[台/2時間](大型車混入率[%])

D/O	1	2	3	4	流入合計
1	5(40.0)	38(60.5)	525(5.1)	114(9.6)	682(9.2)
2	40(65.0)	7(42.9)	12(66.7)	63(58.7)	122(60.7)
3	739(4.2)	30(30.0)	21(0.0)	156(0.64)	946(4.3)
4	278(6.5)	57(70.2)	97(0.0)	23(4.4)	455(13.0)
流出合計	1062(7.3)	132(56.8)	655(5.3)	356(14.0)	2205(10.7)

何構造による影響は、大型車が存在する場合においてより顕著に表れると予想される。

最小環道車頭時間については、外径の大きさや環道幅員により左右されると考えられるが、同一ラウンドアバウトで比較する場合には、正円かつ環道幅員が一定である限り、ほぼ一定の値と考えられる。

3. 分析対象ラウンドアバウトの概要

本稿では、茨城県日立市にある常陸多賀駅前ラウンドアバウト(図-2)において、国土技術政策総合研究所によって観測されたビデオ映像を借用して分析を行った。当該ラウンドアバウトは、JR常磐線常陸多賀駅前に位置し、バスを中心に多くの大型車が通行している。この幾何構造および交通特性について、以下に説明する。

(1) 幾何構造

常陸多賀ラウンドアバウトは、4枝1車線ラウンドアバウトで、その構造は表-3に示す通りである。なお、本稿では、各流入部の名称を図-2に示す通り、それぞれ流入部1, 2, 3, 4とする。4つの流入部では横断歩道の有無や流入角度等が少しずつ異なっている。

(2) OD交通量

対象交差点における朝ピーク時(7:00-9:00)の交通量を、表-4に示す。流入部2から流出入する交通の大型車混入率が、極めて大きいことがわかる。これは、流入部2が常陸多賀駅前広場に繋がっており、複数のバス停留所があることが影響している。実際、流入部2から流出入する大型車の多くはバスであり、小型車の多くはタクシーとなっている。また、相対的に流入部1, 3への流入が多いのは、この交差点を利用する主たるODが、海沿いの国道245号線と日立市方面へ往来するものであることによる。

4. 分析方法

ここでは、観測されたビデオデータの概要、およびビデオデータからギャップパラメータを取得する方法を説明する。

(1) ビデオ観測データの概要

ビデオカメラを用いた調査は、2012年10月17日の6時~16時の10時間、国土技術政策総合研究所によって行われた。この調査が行われたのは、2014年9月1日の環状交差点に関する改正道路交通法施行以前であるが、対象交差点においては、当時から一時停止が義務付けられていなかった。

ビデオ画像は、ラウンドアバウト周辺の高所から、環

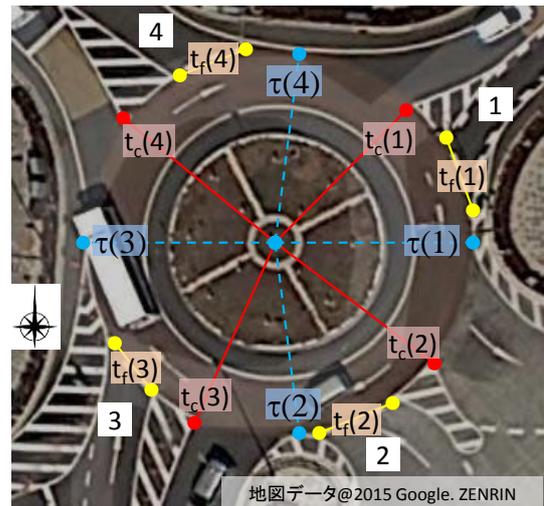


図-3 ギャップパラメータ観測断面

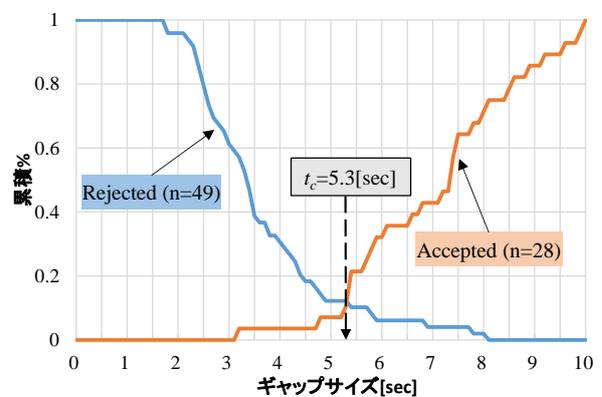


図-4 クリティカルギャップ値の一例

道および流出入部を撮影したものであり、これを画像解析ソフト(鈴木・中村¹⁾)によって処理した。まず、0.3secごとの車両右前輪接地点を記録し、車両の大きさを形状モデルとして車種ごとに設定したのち、カルマンスムージングによって0.1secごとの車両の走行位置を補完推定した。その後、図-3に示す各ギャップパラメータの測定断面を、車両のフロントバンパー中央が通過した時刻を取得した。ただし、本研究では、環道車の優先が守られていない場合や、環道内に車列が延伸し極めて低速度のときに流入する場合については、データを記録していない。

(2) ギャップパラメータの算出方法

a) クリティカルギャップの算出方法

クリティカルギャップについては、図-3の $t_c(1)$, $t_c(2)$, $t_c(3)$, $t_c(4)$ を添えた赤線で示すように、中央島の中心と分離島ゼブラの上流側の頂点を結んだ断面でデータを取得した。

ドット線手前に流入車が存在する場合を対象に、環道車の t_c 断面通過時刻を記録し、連続して通過する2台の通過時刻差をとることで、ギャップを算出した。ただし、

表-5 ギャップパラメータのサンプル数

車種 構成	t_c								車種 構成	t_f				τ			
	(1)		(2)		(3)		(4)			(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
	Acc	Rej	Acc	Rej	Acc	Rej	Acc	Rej									
PP-P	28	49	28	29	26	31	43	92	PP	44	12	12	29	65	126	52	147
HP-P	11	13	2	9	16	37	9	31	HP	25	11	11	19	18	30	29	45
PH-P	9	3	2	4	17	11	5	20	PH	20	10	10	19	10	27	16	38
PP-H	1	4	29	41	8	10	14	35	HH	13	5	5	4	2	4	1	3

ギャップが10secを超える場合は、環道車が「連続して」走行しているものと扱わず、分析対象から除外する。

算出されたギャップは、流入車が実際に流入した「受け入れギャップ(accepted gap)」と、流入車が流入しなかった「見送りギャップ(rejected gap)」に分類される。なお、ここで見送りギャップについては、流入車のドット線手前での完全停止を伴うが、受け入れギャップについては、流入車がドット線に到着してそのまま停止せずに流入した場合も含まれている。また、2台以上続けてギャップに流入した場合も、1つの受け入れギャップとしてカウントしている。

クリティカルギャップは、式(3)で計算される受け入れギャップ(Acc)と見送りギャップ(Rej)の累積分布曲線が交差するときのギャップ値として定義する。実際に取得された受け入れ/見送りギャップの累積分布とクリティカルギャップの一例を図-3に示す。

$$\text{累積相対度数} = \frac{0.1n \text{秒以下の受け入れ(見送り)ギャップ数}}{\text{総受け入れ(見送り)ギャップ数}} \quad (3)$$

(n=1, 2, 3...100)

b) フォローアップタイムの算出方法

フォローアップタイムについては、図-3の $t(1)$, $t(2)$, $t(3)$, $t(4)$ を添えた黄色の線のように、流入部のドット線断面でデータを取得した。

環道車の有無に関わらず、追従して流入する流入車の t 断面通過時刻を記録し、その通過時刻差をとることで流入車両のギャップを算出した。ただし、クリティカルギャップ同様10secを越えるギャップは除外した。

得られたギャップ分布の15パーセンタイル値を、フォローアップタイムの代表値とした。これは、より短い車頭時間の追従状態を考慮するためである。なお今回は、環道車両の存在によるドット線一時停止の有無に依らず、追従流入した全流入車両を用いている。

c) 最小環道車頭時間の算出方法

τ については、流出入による加減速の影響を受けにくい箇所データを取得する必要があるため、図-3の $\tau(1)$, $\tau(2)$, $\tau(3)$, $\tau(4)$ を添えた青点線に示すように、中央島の中心と隅角部の縁石の中心を結んだ断面でデータを取得

した。

流入車の有無に関わらず、追従して走行する環道車両の時刻を記録し、断面通過時刻の差により環道車頭間隔を算出した。この環道車頭間隔のうち、より臨界状態に近い車頭時間を用いるため、5sec以下のものの15パーセンタイル値を最小環道車頭時間とした。

(3) サンプル数による影響

各ギャップパラメータ算出のために、観測したサンプル数を表-5に示す。前述の通り、本稿ではギャップパラメータを、累積相対度数やパーセンタイル値を用いて定義しているため、算出の元となるサンプル数が極端に少ないと、特異な挙動があった場合に結果がそれに左右されやすく、信頼性が低いことに注意が必要である。

本研究では、発現頻度が少ない大型車を含む車種構成のギャップについては、6時から16時までの全時間帯のデータを用いてサンプル取得を行った。一方、小型車みの車種構成のギャップについては、発現頻度が高く十分なサンプル数を確保できたため、クリティカルギャップについては6時から12時の間、フォローアップタイムと最小環道車頭時間には6時から9時の間のデータのみを用いた。

5. 分析結果

本章では、車種構成によってギャップパラメータがどの程度変化するかを分析する。このとき、幾何構造や交通特性による影響が無視できないため、まずはa)小型車みの場合を用いて、流入部/断面ごとの特徴について考察したのち、b)ギャップを構成する車種の組み合わせによる影響について述べる。

(1) クリティカルギャップ t_c

各断面、車種構成別に取得されたクリティカルギャップ t_c を図-5に示す。なお、図中の値の右肩の*, **は、クリティカルギャップ算出に用いた受け入れギャップ・見送りギャップのどちらかまたは両方が10以下、5以下であることをそれぞれ示す。

a) 小型車のみの場合の流入部の違いによる影響

図-5のPP-Pについて、流入部(断面)での違いを比較する。まず、流入部1での値は5.3secであり、他の断面と比較して明らかに大きい値となっている。これは、流入部1の幅員が全流入部の中で最も小さく、流入車が流入前に十分に減速した結果として、短いギャップに流入しにくくなるためと考えられる。また、流入角度が小さいため、流入口に近づくにつれ、上流側の環道の状態が確認しづらくなる。このことから、流入直前に流入判断をせざるを得なくなり、流入判断を予めできる時と比べ、クリティカルギャップは大きくなる。

一方、流入部2のクリティカルギャップは最も小さく4.3secとなっている。これは、流入部1とは対照的に流入部幅員が最も大きく、さらに流入車の減速を促すポストコーンや横断歩道なども設置されていないためであると考えられる。

断面tc(3)、(4)におけるクリティカルギャップは、いずれも4.5secであった。流入部3と4では、幅員、横断歩道の有無、ポストコーンの有無などの幾何構造条件がそれぞれ異なるが、これらによる定量的な影響は今回は観測できなかった。

b) 大型車による影響

大型車を含む車種構成でのクリティカルギャップの値は図-5の通りであるが、ここでは大型車の混入によって、小型車のみの場合(PP-P)と比べてクリティカルギャップがどの程度変化するかに着目する。この変化を明確化するため、各流入部ごとにPP-Pの場合を1.0として、クリティカルギャップを正規化して比較する。これを図-6に示す。

いずれの流入部においても、値の大小関係は、サンプル数が少ないものを除くと、PP-P < PH-P < HP-P ≒ PP-H となっており、おおよそ仮説どおりである。

正規化した値より、大型車が先行車であるHP-Pでは1.2倍、大型車が流入するPP-Hでは1.2~1.3倍、小型車のみの場合のPP-Pの場合と比べて大きくなるのが分かった。HP-P、PP-Hのどちらの場合も、環道先行車または流入先行車の大型車の車長分だけギャップが長くなるためと考えられる。

PH-Pについては、サンプル数が充分である断面はtc(3)のみであるが、PP-Pの1.1倍となっており、HP-PやPP-Hに比べて大型車の影響が小さいものと推測される。これは、PH-PではHP-P、PP-Hのような大型車の車長による物理的な影響はないものの、大型車が環道を走行する際に内輪差やオーバーハングなどに注意して速度を落としていく影響などが考えられ、環道走行速度とギャップの関係について更なる検証が望まれる。加えて、遠方からでも物理的に大きく見える大型車がギャップを構成する後

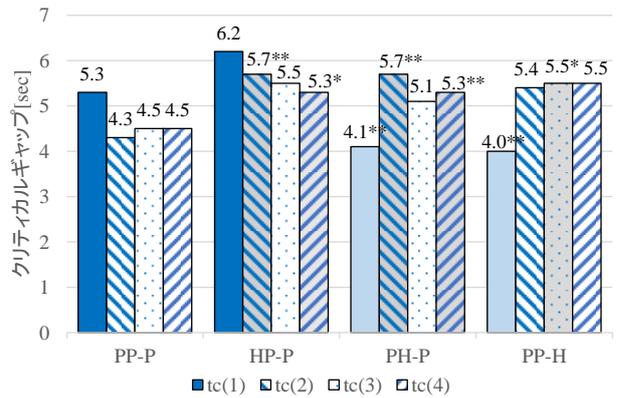


図-5 各断面、車種構成別のクリティカルギャップ t_c

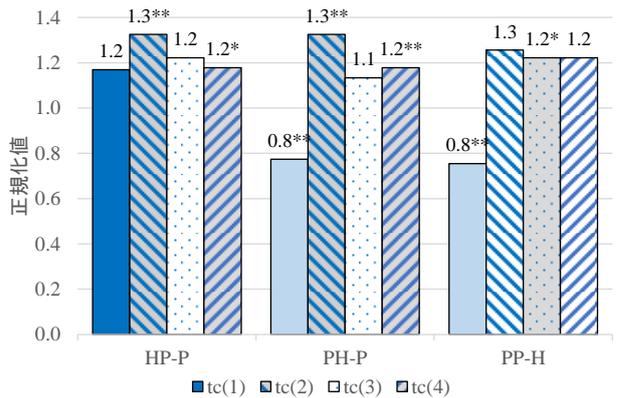


図-6 断面ごとにPP-Pを基準として正規化したクリティカルギャップ t_c

(*サンプル数が10以下, **サンプル数が5以下)

方車として迫ってくることで、流入を躊躇する運転者の心理も影響しているのではないかと推測される。

(2) フォローアップタイム t_f

各断面、車種構成別に取得されたフォローアップタイム t_f を図-7に示す。

a) 小型車のみの場合の流入部の違いによる影響

図-7のPPについて流入部の違いを比較する。

まず、流入部2は3.0secで、他の断面と比較して大きい値となっている。これは、流入部2の流入角度が全流入部の中で最も大きく、流入前に十分に減速し低速度でラウンドアバウトに流入するためと考えられる。また、流入部2からの流入車は駅前広場からの実車タクシーが多いが、この流入部までの乗車場からの距離が短いためにラウンドアバウトへの接近速度が他の流入部に比較して低いことから、フォローアップタイムが大きくなることが考えられる。

続いて、流入部1におけるフォローアップタイムは2.6secと二番目に大きい。これは流入部1の流入幅員が小さいことから速度抑制効果が強く、一定の車間距離でも車頭時間(フォローアップタイム)が長くなると考えられる。

b) 大型車による影響

クリティカルギャップのときと同様に、フォローアップタイムについても、小型車の場合(PP)と比べて大型車がいる場合にどの程度変化するかを調べるため、正規化を行った。この結果を図-8に示す。

どの流入部においても、値の大小関係は、サンプル数が少ないものを除いて、 $PP < PH < HP \approx HH$ となっており、おおよそ仮説どおりである。

正規化した値をみると、大型車が先行車であるHPは、流入部3以外の全流入部において、PPの1.4倍となっている。また、HHについても、サンプル数が十分な流入部1ではPPの1.4倍である。HP、HHのどちらの場合も大型車が先行車であるため、その車長分だけギャップが長くなったことによると考えられる。ただし、流入部3のHPについては、1.2とこれよりやや小さい値となっている。これは、流入部3が上流から円に対して浅い角度で取り付いており、前方に大型車がいっても後続車が環道上流を確認しやすく、追従流入しやすいことが影響していると考えられる。

PHについては、流入部1ではPPとほぼ同等の1.0倍、流入部4ではPPの1.4倍となっており、両者で差が見られた。本稿の仮説としては、PHは、HPやHHに比べて大型車の車長による物理的な影響がないため、正規化した値はHPやHHと比べて小さくなると思っていた。流入部1はこの仮説に合った結果だが、流入部4は予想以上に大きい値である。この原因として、この交差点の主要ODである流入部3→流入部1の交通量が極めて多く(表-4)、必然的に流入部4の前の環道交通量も多くなっていることが考えられる。すなわち、流入部4の流入車は日ごろから環道流入に際してギャップ選択を迫られる頻度が高いため、追従状態にあっても常に環道の状況に注意を払っており、特に加速性能が小型車に劣る大型車が追従車両の場合においてはその影響が顕著となったのではないかと推察される。また、安全確保のために大型車が先行車との間に車間距離を大きくとることも原因の一つとして考えられる。

(3) 最小環道車頭時間

各断面、車種構成別に取得された最小環道車頭時間 t を図-9に示す。

a) 小型車の場合の断面の違いによる影響

図-9のPPについて、断面による違いを比較する。常陸多賀ラウンドアバウトの環道が正円かつ幅員が等しいため、最小環道車頭時間は、仮説どおり断面による大きな差はない。

b) 大型車による影響

最小環道車頭時間についても、断面ごとにPPの値を

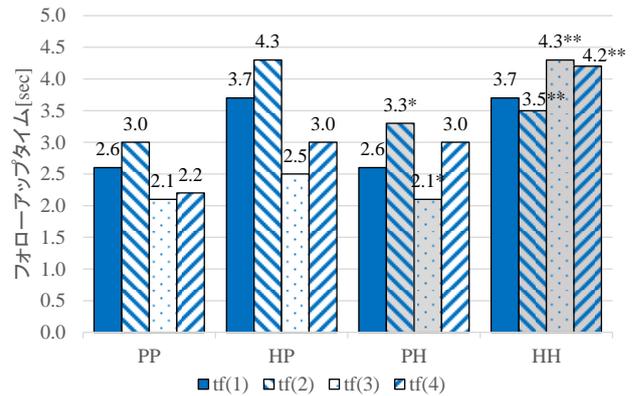


図-7 各断面、車種構成別のフォローアップタイム t_f

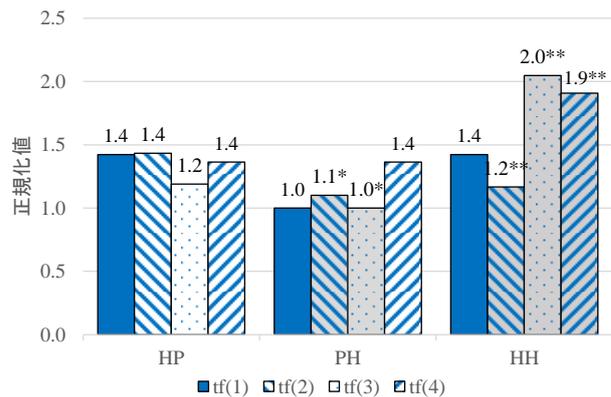


図-8 断面ごとにPPを基準として正規化したフォローアップタイム t_f
(*サンプル数が10以下, **サンプル数が5以下)

1.0として正規化した結果を図-10に示す。

どの断面においても、値の大小関係は、 $PP < PH \ll HP < HH$ となっており、おおよそ仮説どおりである。クリティカルギャップ、フォローアップタイムの場合と同様、HP、HHでは車長分だけギャップが長くなることと、PHではその影響はないが、大型車は小型車よりカーブを曲がりにくいことによると考えられる。

しかしながら、断面ごとに正規化した値をみると、大型車が先行するHPの値は1.1~1.8の間に大きくばらついている。サンプル数が少ないので信頼性は低いですが、HHについても、正規化した値は1.5~2.1とばらつきが大きい。これは、小型車だけのPPではみられなかった影響が大型車の場合に顕著となった結果と予想される。この原因の一つとして挙げられるのが、今回の分析では考慮していない車両のODによる影響である。今回は、車両のODによる違いを考慮せずすべての環道車を対象にギャップの観測を行ったが、実際にはODによって車両の環道内の走行位置は異なり、走行速度も変化するため、ギャップもその影響を受けるものと考えられる。特に大型車では、環道内の走行しやすさがODによって大きく異なるため、その影響が大きくなったと考えられる。

(4) 常陸多賀ラウンドアバウトのギャップパラメータと既往の見解の比較

今回得られた小型車のみの場合のギャップパラメータの値は $t_c(PP-P)=4.3\sim 5.3\text{sec}$, $t_f(PP)=2.1\sim 3.0\text{sec}$, $\tau(PP)=2.0\sim 2.2\text{sec}$ である。これらの値を表-1の海外におけるガイドラインの値と比較すると、値は微妙に異なっている。ガイドラインの値は、交通需要が流入交通容量を上回らないように、政策的に安全率を見込んでいる場合もあり、一般に各ギャップパラメータの上限値が用いられる。このように実測値とは値の趣旨が本来異なる点に注意が必要である。

次に、同表の飯田市での実測値は、いずれも一時停止制御の場合の値であることに注意が必要である。常陸多賀では特にフォローアップタイムの値が小さくなっているのは、このことが大きく影響しているものと考えられる。このほか、枝数や流入角度・幅員などの幾何構造・交通需要特性・地域特性なども異なるため、それらの影響もあるものと考察される。そして、大型車が混入する場合のギャップパラメータについては、表-1に掲載した値よりいずれも大きな値となっていることが確認できる。

(5) 流入交通容量の検証

分析で得られたギャップパラメータの値を式(1)に入力し、流入交通容量を推定する。式(1)を用いる際、一定時間の交通特性の状態に対応した一組のギャップパラメータの値(t_c, t_f, τ)を入力することが必要である。しかしながら、分析結果より、大型車の走行位置($c1, c2, e1, e2$)によってギャップパラメータが変化することがわかった。しかし実現象として、大型車を含むPH-PやHP-P, HP, PHが連続して出現するためには、これらがそれぞれ車種構成の順序が変わることなく出現する必要があり、ほぼあり得ない。そのため、推定に用いるギャップパラメータの組み合わせを1つに固定することは不可能である。

流入交通容量は、本稿で考えた車種構成が連続して出現し続ける場合にのみ計算可能であるため、ここでは流入交通容量の推定を行ううえで、全車小型車と全車大型車の2つの両極端の状況を考えることとする。ただし、全車大型車(HH-H)のクリティカルギャップに関しては、サンプルがないことから値が取得できていない。そこで、HH-Hは第一環道車が大型車(HP-P)の場合の影響に、第二環道車が大型車(PH-P)の場合の影響を加え、さらに第一流入車が大型車(PP-H)の場合の影響を加えたものであると仮定し、小型車PP-Pのクリティカルギャップに、HP-P, PH-P, PP-Hそれぞれの場合のクリティカルギャップの正規化された値を掛け合わせるにより求めることとする。PP-Pのクリティカルギャップは平均値、HP-P, PH-P, PP-Hそれぞれの正規化値は分析結果のうちサン

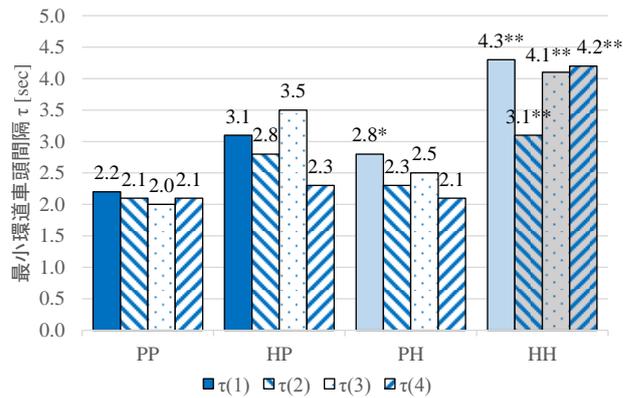


図-9 各断面、車種構成別の最小環道車頭時間 τ

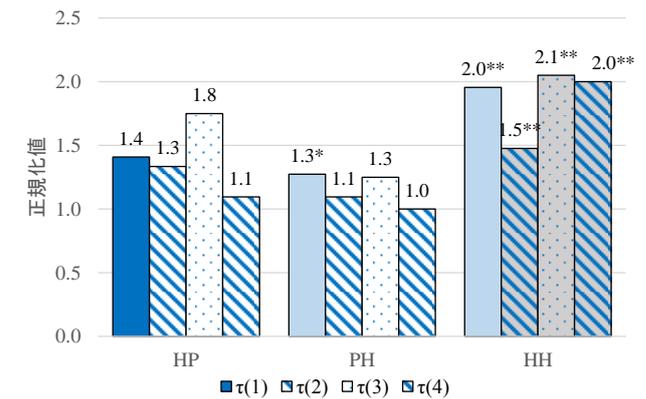


図-10 断面ごとにPPを基準として正規化した最小環道車頭時間 τ
(*サンプル数が10以下, **サンプル数が5以下)

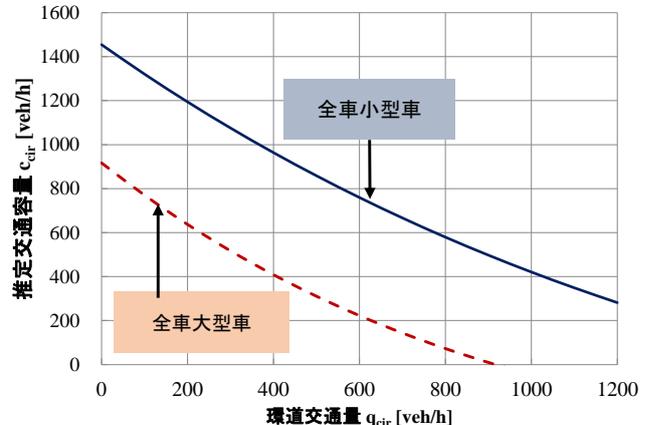


図-11 全車小型車と全車大型車を想定した場合の推定交通容量

ブル数が10より多いものについての最大値を用いて、 $1.2 \times 1.1 \times 1.3 \times 4.7 = 8.1\text{sec}$ という結果が得られる。

したがって、ギャップパラメータの入力値は、全車小型車の場合 $t_c = 4.7$, $t_f = 2.5$, $\tau = 2.1\text{sec}$ であり、全車大型車の場合 $t_c = 8.1\text{sec}$, $t_f = 3.9\text{sec}$, $\tau = 3.1\text{sec}$ となる。

これらの値を用いて推定された流入交通容量を、図-11に示す。全車大型車の曲線は流入交通容量が最も低い状況を表していると考えられることから、実際の大型車混入時の流入交通容量の曲線は、全車小型車と全車大型車の曲線の間位置することが予想される。

6. おわりに

(1) 結論

車種構成に関する結論として、各ギャップパラメータについて、すべて小型車である場合を基準とした正規化値を値が小さい方から順に列挙すると、次の通りとなった。

・クリティカルギャップ：

PP-P=1.0, PH-P=1.1, HP-P, PP-H=1.2~1.3

・フォローアップタイム：

PP=1.0, PH=1.0~1.4, HP=1.2~1.4, HH=1.4

・最小環道車頭時間：

PP=1.0, PH=1.0~1.3, HP=1.1~1.8, HH=2.0

幾何構造に関しては、クリティカルギャップ、フォローアップタイムについては、流入角度、流入部幅員、流入部に設けられたポストコーン、横断歩道の有無といった流入部の幾何構造の影響を受ける。流入角度が大きく、転回する必要があるときや狭小幅員のときには、大型車は減速する必要がある。大型車は一度減速してしまうと加速しづらいため、減速につながるような幾何構造が存在するとき、大型車の影響が増大する可能性がある。

最小環道車頭時間は、正円かつ環道幅員等の一定なラウンドアバウトにおいては、断面によって差がほとんどない。ただし、複数のラウンドアバウトを比較した際には、環道の線形、外径、環道幅員、エプロン幅員によって変化すると考えられる。

さらに、分析で得られた大型車混入時のギャップパラメータを用いて、全車大型車という極端なケースについてではあるものの、想定される流入交通容量として最低となる値の推定を試みた。

(2) 今後の課題

今回大型車として観測されたデータのほとんどはバスであるため、大型貨物車との挙動の違いについて、確認することが必要である。

また本稿の対象ラウンドアバウトでは流入部の構造が全て異なっているため、どの幾何構造要素の影響を強く受けているのか特定できなかった。今後、1つの構造要素を除いて流入部の構造が同一であるラウンドアバウトにおいて幾何構造の影響の検討をさらに深める必要がある。その際に、本稿で求めた正規化値をより一般化するため、国内の他のラウンドアバウトにも適用できるかを確認したい。

今後交通流シミュレーションモデルを用いて、流入交通容量を推定するために、ギャップパラメータと並んで入力値として必要な速度のデータを取得し、分析する必

要がある。そして最終的には、大型車混入率が異なる条件下での流入交通容量推定を行う方針である。

謝辞

本分析を進めるにあたり、国土技術政策総合研究所道路研究室から、貴重なビデオデータを提供頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Germany, 2005.
- 2) Transportation Reserach Board: Roundabouts in the United States, NCHRP Report 572, Washington, D.C., 2007.
- 3) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, 2000.
- 4) Australian Road Research Board: Research Report ARR321, Roundabouts: Capacity and performance analysis, 1998.
- 5) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: An Empirical Analysis on Critical Gap and Follow-up Time at Roundabout Considering Geometry Effect, Proceedings of Infrastructure Planning, No.46, 6 pages in CD-ROM, 2012.6.
- 6) 公益財団法人国際交通安全学会：平成25年度研究調査プロジェクト(H2534) ラウンドアバウトの社会実装と普及促進に関する研究(II) 報告書, 2014.3.
- 7) Australian Road Research Board: Research Report ARR123, Traffic signals: capacity and timing analysis, 1998.
- 8) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, 2010.
- 9) (社)日本道路協会：道路の交通容量, 1984.
- 10) 吉岡慶祐・中村英樹・宗広一徳・米山喜之：ラウンドアバウト走行実証実験における車両挙動分析, 土木計画学研究・講演集No.41, 4ページ, CD-ROM, 2010.6.
- 11) 鈴木一史, 中村英樹：交通流解析のためのビデオ画像処理システムTraffic Analyzerの開発と性能検証, 土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.276-287, 2006.

(2015.4.24受付)

AN ANALYSIS ON HEAVY VEHICLE BEHAVIOR CHARACTERISTICS
AT A MODERN ROUNDABOUT IN JAPAN

Kiminori MASHIMA, Nan KANG, Azusa GOTO and Hideki NAKAMURA