

交通シミュレータを用いた ラウンドアバウト流入交通容量のための 大型車の乗用車換算係数推定

康 楠¹・後藤 梓²・中村 英樹³・真島 君騎⁴

¹正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部 土木工学科
(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: kangnan@rs.tus.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 都市環境学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2(651))

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

³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

⁴正会員 八千代エンジニアリング株式会社
(〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー)

E-mail: km-mashima@yachiyo-eng.co.jp

2014年の道路交通法改正に伴いラウンドアバウトの導入が各地で検討される中、その交通容量推定に際して大型車が及ぼす影響を定量化することは、重要度の高い検討課題といえる。このため本研究の目的は、ラウンドアバウトの流入交通容量推定に用いる大型車の乗用車換算係数(PCE)を推定することである。わが国では飽和状態のラウンドアバウトを実観測することが困難なため、実観測可能な小型車・大型車のミクロ車両挙動に基づいてキャリブレーションした交通シミュレータによって、環道部・流入部どちらか片方のみに大型車が混入する場合の流入交通容量を計測し、環道部・流入部それぞれにおける大型車の乗用車換算係数(PCE)を推定した。これにより、環道部・流入部の両方に大型車が混入する場合の流入交通容量も推定可能となった。

Key Words : roundabout, capacity, passenger car equivalent, traffic simulation

1. はじめに

2014年の道路交通法改正に伴いラウンドアバウトの導入が各地で検討される中、その流入交通容量推定に際して大型車が及ぼす影響を定量化することは、重要度の高い検討課題といえる。一般に、大型車の及ぼす影響は、大型車1台を乗用車に置き換えた場合の相当台数を意味する「乗用車換算係数(passenger car equivalent; PCE)」を用いて、交通量を換算することで考慮されている。例えば、アメリカのHighway Capacity Manual2010¹⁾(以降、HCM2010)では、ラウンドアバウトの乗用車換算係数(PCE)には2.0が用いられている。

しかしながら、大型車の車体の大きさや車両挙動などの特性が異なる日本において、どの程度の値が妥当であ

るかは検証が必要であり、今年わが国で出版されたラウンドアバウト・マニュアル²⁾にも、その必要性が述べられている。また、優先権を持つ環道部と優先権を持たない流入部では、大型車の影響も異なると考えられるが、これらの違いについて考慮した例は少ない。

そこで本研究は、流入部・環道部の違いを考慮しながら、日本におけるラウンドアバウトの流入交通容量算出の際に必要な乗用車換算係数(PCE)を推定することを目的とする。

乗用車換算係数(PCE)を推定するためには、流入部・環道部それぞれに大型車が混入した場合の流入交通容量への影響を把握する必要があるが、まだラウンドアバウト導入箇所に限られている日本において、大型車混入率が様々な条件に変化し、かつ飽和状態にあるラウンドアバウトを実観測することは容易ではない。このため、実

観測可能な小型車・大型車のマイクロ車両挙動に基づいてキャリブレーションした交通シミュレータによって、交通容量状態を再現し、この結果を元に乗用車換算係数(PCE)を推定する。

2. ラウンドアバウト流入交通容量と乗用車換算係数

わが国のラウンドアバウト・マニュアル²⁾によれば、ラウンドアバウトの流入交通容量は、式(1)により推定される。この式は、流入部におけるギャップアクセプタンス確率に基づくもので、ドイツのガイドラインHBS³⁾にも用いられている。

$$c_{e,pc} = \frac{3600}{t_f} \left(1 - \tau \frac{q_{cir,pc}}{3600} \right) \exp \left[-\frac{q_{cir,pc}}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right] \quad (1)$$

ここに、 $c_{e,pc}$: 流入交通容量[pcu/h], $q_{cir,pc}$: 環道交通量[pcu/h], t_f : 流入車の追従車頭時間(以降、フォローアップタイム)[sec], τ : 環道交通流の最小車頭時間(以降、環道最小車頭時間)[sec], t_c : 臨界流入ギャップ(以降、クリティカルギャップ)[sec]である。フォローアップタイム t_f , 環道最小車頭時間 τ , クリティカルギャップ t_c は、ギャップパラメータと呼ばれる。

なお、アメリカ(HCM2010⁴⁾)では、ギャップパラメータに固定値を仮定することで簡略化した式(2)を用いている。

$$c_{e,pc} = 1,130 \exp \left\{ (-1.0 \times 10^{-3}) q_{cir,pc} \right\} \quad (2)$$

いずれの式においても、流入交通容量、環道交通量は乗用車台数⁵⁾“pcu”(passenger car unit)を用いて表される。

大型車が混入する際には、乗用車換算係数(PCE) E_T および大型車混入率 P_T を用いて式(3)の通り補正係数 f_{HV} を求め、式(4)によって各流入部の交通量を換算する。

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1)} \quad (3)$$

$$v_{i,pc} = \frac{v_i}{f_{HV}} \quad (4)$$

ここに、 $v_{i,pc}$: 乗用車台数での流入部 i の交通量[pcu/h], v_i : 流入部 i の交通量[veh/h]である。

HBS³⁾やHCM2010⁴⁾にみられるように、海外ガイドラインでは、大型車(HBSの場合は、トラック)の乗用車換算係数は $P_T=2.0$ を用いることが多い。しかしながら、表-1に示すように、これまで諸外国各地の観測データに基づいて推定された乗用車換算係数 E_T をみると、観測地や対象車両によって値が様々であることがわかる。

また、HCM2010⁴⁾のように、優先側の環道交通流・非

表-1 海外ガイドラインおよび既往研究による乗用車換算係数

出典/著者	対象国	対象交通流	対象車	乗用車換算係数
HBS ²⁾ *	ドイツ	区別なし	トラック	2.0
			バス	1.5
HCM2010 ⁴⁾ *	アメリカ	区別なし	区別なし	2.0
Akcelik ⁴⁾	イギリス	環道流入		1.7
				1.9
Tanyley ⁵⁾⁶⁾	トルコ	環道	ミニバス	1.15
			バス	1.50-1.65
Lee ⁷⁾	アメリカ	流入	普通トラック	1.5-2.5
			小型トラック	1.0-1.5

*はガイドライン・マニュアルに記載の値。

優先側の流入交通流のどちらを換算する際にも、同じ換算係数 E_T を用いることが一般的であるが、Tanyley et, al⁸⁾は、トルコの都市部におけるバスのPCE推定を通じて、主方向と従方向すなわち環道交通流と流入交通流では、値が異なる結果を得ている。

これに対してSIDRA2011⁹⁾では、環道交通量を乗用車換算係数 $E_{TC}=2.0$ で換算するのに加え、式(5)のように、クリティカルギャップ t_c とフォローアップタイム t_f を補正することで、流入交通流に及ぼす影響を考慮している。

$$t_f' = \frac{t_f}{f_{HV_e}} \quad (5a)$$

$$t_c' = \frac{t_c}{f_{HV_e}} \quad (5b)$$

ここに、 t_f' :大型車補正済みフォローアップタイム[sec], t_c' :乗用車の場合のフォローアップタイム[sec], t_c :大型車補正済みクリティカルギャップ[sec], t_c :乗用車の場合のクリティカルギャップ[sec], f_{HV_e} :流入交通流に対する補正係数である。

ここで用いる補正係数 f_{HV_e} は、次式で推定されている。

$$f_{HV_e} = \frac{1.0}{[1.0 + (P_{Te} - 0.05)(E_{Te} - 1.0)]} \quad ; P_{Te} > 0.05 \quad (6)$$

$$= 1.0 \quad ; P_{Te} \leq 0.05$$

ここに、 E_{Te} : 流入交通流の大型車換算係数, P_{Te} : 流入交通流の大型車混入率である。SIDRAでは、流入交通流の大型車換算係数は $E_{Te}=1.5$ に設定している。

3. 乗用車換算係数の推定方法

(1) 推定方法

式(3)より、ある大型車混入率 P_T における補正係数 f_{HV} が得られれば、式(3)によって乗用車換算係数 E_T を逆算す

ることが可能である。

$$E_T = \frac{1}{P_T} \left(\frac{1}{f_{HV}} - 1 \right) + 1 \quad (3)'$$

流入部の大型車混入率が $P_{Tc}=\theta(\theta \in [0,1])$ であるときの流入交通量の補正係数を f_{HVc} とすると、これは環道交通量 $q_{cir}[\text{pcu/h}]$ が等しい条件下における $c_{e(\theta, q_{cir})}[\text{pcu/h}]$ と $c_{e(\theta, q_{cir})}[\text{veh/h}]$ を式(4)に代入することによって、式(7)で表せる。ここで、 $c_{e(\theta, q_{cir})}$ は流入部が乗用車のみの場合の流入交通容量、 $c_{e(\theta, q_{cir})}$ は大型車混入率が $P_{Tc}=\theta$ のときの流入交通容量である。

$$f_{HVc(\theta, q_{cir})} = \frac{c_{e(\theta, q_{cir})}}{c_{e(\theta, q_{cir})}} \quad (7)$$

同様の考え方で、環道部の大型車混入率 $P_{Tcir}=\theta(\theta \in [0,1])$ での環道交通量の補正係数を f_{HVcir} とすると、これは、同じ流入交通容量 $c_e[\text{pcu/h}]$ を実現できる環道交通量 $q_{cir(\theta, c_e)}[\text{pcu/h}]$ (乗用車のみ)と $q_{cir(\theta, c_e)}[\text{veh/h}]$ (大型車混入率 $P_{Tcir}=\theta$)の比であり、式(8)で表せる。

$$f_{HVcir(\theta, c_e)} = \frac{q_{cir(\theta, c_e)}}{q_{cir(\theta, c_e)}} \quad (8)$$

従って本稿では、流入部・環道部のどちらか一方のみに大型車が混入する場合の交通容量を、マイクロ交通シミュレータVISSIM5.40¹⁰⁾を用いて出力し、乗用車のみの場合の交通容量との比により補正係数 f_{HVc} 、 f_{HVcir} を求め、これによって流入部・環道部それぞれの乗用車換算係数 E_{Tc} 、 E_{Tcir} を推定する。

(2) 車両挙動のキャリブレーションに用いる実観測データ

シミュレータ上のラウンドアバウト交通流が、日本の交通状況を反映した現実的なものとなるようにするために、走行速度やギャップアクセプタンスなどの車両挙動を実観測し、これに基づいて希望速度分布や車両追従モデルなどのパラメータを設定する必要がある。このため、本稿では真島ら¹¹⁾の分析結果を参照する。

真島ら¹¹⁾の分析は、茨城県日立市にある常陸多賀駅前ラウンドアバウト(図-1)において国土技術政策総合研究所が撮影したビデオ映像(調査日:H26.10.17(金)6:00~16:00)を用いたものである。このラウンドアバウトは4枝1車線で、駅前に位置することからバスを中心に多くの大型車が通行している。このデータに基づいて、ギャップを構成する車両の車種(以降、車種構成)別に、フォローアップタイム t_f 、環道最小車頭時間 τ 、クリティカルギャップ t_c という3つのギャップパラメータを取得し、先行車が大型車である場合にギャップが長くなることを明らかにしている。この結果から、全て小型車の場合を基準とした



図-1 車両挙動の観測を行った常陸多賀駅前ラウンドアバウト

表-2 車種構成ごとのギャップパラメータ拡大係数

(a) フォローアップタイムおよび環道最小車頭時間

車種構成	PP	PH	HP	HH
t_f	(1.0)	1.2	1.4	1.4
τ	(1.0)	1.1	1.4	1.9

(b) クリティカルギャップ

車種構成	PP-P	PHP	HP-P	PP-H
t_c	(1.0)	1.1	1.2	1.3

※車種構成はP:小型車、H:大型車を表し、先行車・追従車の順に表記している。クリティカルギャップの場合、“”の後が流入車。

車種構成別のギャップパラメータ拡大係数を表-2の通り得ている。

4. シミュレーションによる流入交通容量の推計

(1) 基本設定

シミュレーションの基本設定は、著者ら(康・中村¹²⁾)が、日本において標準的なラウンドアバウトを仮想して交通容量推計を行った先行研究と同じとする。先行研究では横断歩行者による流入交通容量への影響を分析しているが、今回は大型車の影響のみに着目するため、横断歩行者はなしの状態を仮定する。

a) 幾何構造

ラウンドアバウトは正十字の4枝1車線、外径はセミトレーラーを設計車両とした場合の最小基準値である $D=27[\text{m}]$ として、図-2のように設定する。すべての流入部には横断歩道があり、横断歩道から流入線(環道と流出入部の境界線)までの距離は、平均的な小型車1台が収まる $d_0=5[\text{m}]$ である。

流入交通容量の観測対象は、図-2の流入部Sとする。

b) 交通需要

車両交通需要は、①ラウンドアバウトが導入される場合に一般的な交通量パターンを考慮すること、②環道交通量が様々な状態での流入交通容量を検証することの2点を考慮し、以下の通り設定した。

- ▶ 交通容量の観測対象である流入部Sについては、常に飽和状態である必要があるため、いかなるシナリオでも $Q_S=1600[\text{veh/h}]$ を上流端から発生させる。
- ▶ その他の流入部については、図-2に示す通り、EW方向を主方向、NS方向を従方向と仮定し、流入交通量の比率が常に $Q_E:Q_N=8:2$ 、 $Q_E=Q_W$ で一定となるようにする。
- ▶ 各流入部における右左折直進率 r_R, r_L, r_M は、主方向であるEW方向では $r_L:r_M:r_R=1:8:1$ 、従方向であるSN方向では $r_L:r_M:r_R=4:2:4$ とする。

以上より、 Q_N, Q_E, Q_W のいずれか1つを与えれば、流入部別・方向別の交通量が自動的に決まる。

対象流入部Sの車両がギャップアクセプタンスを行う環道交通流は、EからWまたはNに流れる交通 $(r_M+r_R)Q_E$ と、NからWに流れる交通 $r_R Q_N$ により発現する。流入部別・方向別の比率を一定に保ちつつ、交通量の絶対量を変化させることによって、様々な環道交通量を再現する。

c) 車長

VISSIM5.40の車長の設定値は、小型車で4.11~4.76[m]、大型車で10.21[m]である。

(2) 走行速度の再現

一般に、ラウンドアバウトを通行する車両は、上流から流入線に向かって減速し、環道内を低速で走行して流出後また加速する。

真島ら¹⁰⁾の分析対象と同じ常陸多賀駅前ラウンドアバウトにおける観測データにより、大型車・小型車の走行速度の分析を行ったところ、①ラウンドアバウト流入線から40m以上離れた地点では、大型車と小型車の速度に殆ど違いがないこと、②流入線近くおよび環道内では、大型車の速度は小型車より約3km/h低くなることがわかった。

このため、今回は、ラウンドアバウト上流における車両の希望速度は、車種に依らず30~35[km/h]の間に一様分布するように入力する。

一方、流入時の減速・環道内の減速走行はVISSIMの「減速エリア(Reduced Speed Areas)」機能を用いて再現する。流入線の近傍から環道内に複数の「減速エリア」を設置し、環道速度が実現象に近い目標値(小型車: 20[km/h]、大型車: 17[km/h])となるように、減速度とエリア内希望速度分布を調節した。その結果、減速度は小型車で2.0[m/sec²]、大型車で1.3[m/sec²]、エリア内希望速度は、小型車で18~25[km/h](一様分布)とし、大型車で15~22[km/h]のときに良好な再現性が得られた。

(3) ギャップアクセプタンス挙動の再現

シミュレーションにより計算される流入交通容量の合

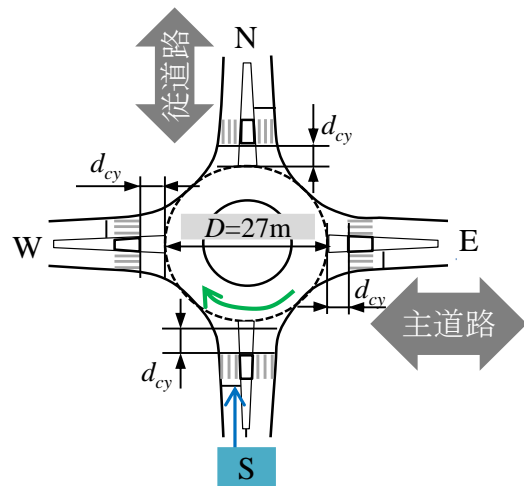


図-2 交通容量を推計するラウンドアバウトの幾何構造

理性を確保するために最も重要なことは、流入車両のギャップアクセプタンスを適切に再現することである。このため、ギャップアクセプタンスの表現に重要なフォローアップタイム t_f 、環道最小車頭時間 τ 、クリティカルギャップ t_c という3つのパラメータを評価指標として、車両挙動モデルのキャリブレーションを行う。

このうち、フォローアップタイム t_f 、環道最小車頭時間 τ は、それぞれ流入部、環道部の追従挙動によって決定するパラメータで、VISSIMでは、「車両追従挙動(Car Following Behavior)」のキャリブレーションに用いる。一方、クリティカルギャップ t_c は、流入車の流入判断を設定する「優先ルール(Priority Rules)」機能のキャリブレーションに用いる。

キャリブレーションに際しては、実態を考慮した各パラメータの目標値を、車種構成ごとに設定する。この目標値は、小型車のみの場合には、先行研究と同じく $t_{PP-P}=4.5[\text{sec}]$ 、 $t_{PP-P}=3.2[\text{sec}]$ 、 $\tau_{PP-P}=2.2[\text{sec}]$ とする。大型車が混入する場合は、小型車のみの場合の値に、表-2で示した車種構成ごとの拡大係数を乗じた推定値とする。ただし、特にクリティカルギャップ t_c については、大型車を2台以上含む車種構成の拡大係数が、観測データの制約上得られていない。このような車種構成の拡大係数については、式(9)の例に示すように、大型車を1台ずつ含む車種構成の拡大係数を掛け合わせることで便宜的に推定するものとする。

$$t_{c(HH-P)} = t_{c(PP-P)} \cdot R_{HP-P} \cdot R_{PH-P} \quad (9)$$

ここに、 $t_{c(HH-P)}$: 車種構成HH-P(環道車が二台とも大型車かつ流入車が小型車)の場合のクリティカルギャップ[sec]、 $t_{c(PP-P)}$: 車種構成PP-P(全て小型車)の場合のクリティカルギャップ=4.5[sec]、 R_{HP-P} : 車種構成HP-P(環道先行車が大型車かつ環道後続車・流入車は小型車)の拡大係数、 R_{PH-P} : 車種構成PH-P(環道後続車が大型車かつ環道先行車・

流入車は小型車)の拡大係数である。

a) 車両追従挙動(Car Following Behavior)

今回は、VISSIM5.40に搭載された車両追従モデルのうち、都市内道路を対象としたWiedemann74モデルを適用する。このモデルでは、「平均停止距離 a_s (average standstill distance)」、「希望安全距離 d_s (desired safety distance)」および「希望安全距離の倍数部分 $d_{x,mult}$ (multiple part)」の3つのパラメータをキャリブレーションすることで、追従挙動を再現する。これらの値は道路の区間ごとに設定できるため、流入部、環道部をそれぞれ調整することで、フォローアップタイム t_f 、環道最小車頭時間 τ の違いを表現可能である。

対象流入部Sの流入線および流入部Sに正対する環道上の断面において車頭時間を計測し、その15パーセント値が目標値に近づくように調整を行った結果、流入部では $a_s=2.0$, $d_s=3.1$, $d_{x,mult}=3.0$ 、環道部では $a_s=2.0$, $d_s=0.6$, $d_{x,mult}=0.6$ としたときに、表-3に示す値となった。目標値と出力値の間にやや差があるものもみられるが、車種構成による車頭時間の大小関係は目標値とほぼ同じであり、車種による追従挙動の違いもある程度妥当に再現できていると考えられる。

b) 優先ルール

優先ルールは、「最小ギャップ(minimum gap time)」および「最小車間距離(mnimum headway distance)」という2つのパラメータをキャリブレーションすることによって、非優先道路のギャップアクセプタンスを再現する機能である。これらのパラメータとクリティカルギャップ t_c の関係を示した概念図を図-3に示す。「最小ギャップ」とは、流入車が環道後続車に対して流入判断できる最小のギャップであり、「最小車間距離」とは交錯領域を決定する値である。図-3の流入車は、後続環道車が緑線に到達するまでの所要時間が「最小ギャップ」より小さい場合、流入できない。また、「最小ギャップ」の条件が満たされたとしても、他の車両が「交錯領域」を完全に通過し終えるまでは流入できない。

今回は「最小車間距離」は既定値5[m]とし、「最小ギャップ」を流入車および後続環道車の車種ごとに調整することで、車種構成によるクリティカルギャップの違いを再現できるようキャリブレーションを行った。ただし、図-3に示す通り、「最小ギャップ」は流入車と後続環道車のみによって決定し、先行環道車の違いは直接考慮できない。

車種構成別のクリティカルギャップ t_c 目標値に基づいて、「最小ギャップ」のキャリブレーションを行った結果を表-4に示す。なお、クリティカルギャップの出力値は、流入部Sに正対する環道上の断面において計測した車頭時間を流入車が流入したギャップ(accepted gap)と流

表-3 車頭時間のキャリブレーション結果

(a) フォローアップタイム t_f

車種構成	PP	PH	HP	HH
目標値[sec]	3.2	3.8	4.5	4.5
出力値[sec]	3.0	3.3	4.3	4.5
目標値-出力値[sec]	+0.2	+0.5	+0.2	0.0

(b) 環道車頭時間 τ

車種構成	PP	PH	HP	HH
目標値[sec]	2.2	2.4	3.1	4.2
出力値[sec]	2.5	3.0	3.7	4.0
目標値-出力値[sec]	-0.3	-0.6	-0.6	+0.2

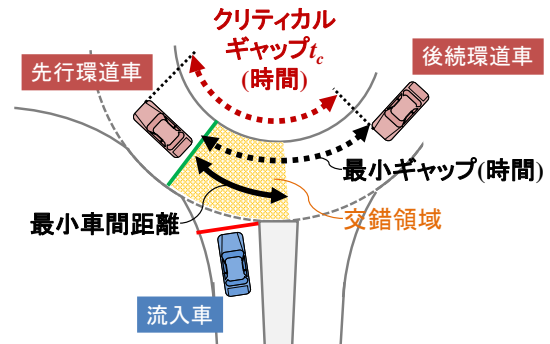


図-3 優先ルールのパラメータとクリティカルギャップ t_c

表-4 クリティカルギャップ t_c に関するキャリブレーション結果

車種構成	PP-P	HP-P	PH-P	PP-H	HH-P*	HP-H*	PH-H*	HH-H*
目標値[sec]	4.5	5.4	5.0	5.3	5.9	7.0	6.4	7.7
最小ギャップ[sec]	1.7		2.2		4.1		4.5	
出力値[sec]	5.0	5.6	5.4	6.3	5.7	6.4	6.5	7.0
目標値-出力値[sec]	-0.5	-0.2	-0.4	-1.0	+0.2	+0.6	-0.1	+0.7

*便宜的に計算された拡大係数を用いて目標値を算出している。

入しなかったギャップ(rejected gap)に分け、その交点により求めている。追従車頭時間と同様に、車種構成による大小関係は適切に再現できている。前述の通り、先行環道車の車種を入力パラメータに考慮できていないにも関わらず、その違いも表現できている。これは、環道先行車が完全に交錯領域を通過し終えないと流入判断ができないルールによって、先行車の車長の違いがクリティカルギャップに反映されたためである。

(4) シナリオ設定

3.(1)で述べた通り、今回は、流入部・環道部どちらか一方のみに大型車が混入する場合の交通容量に基づいて、流入部・環道部それぞれの乗用車換算係数 E_{Tr} , E_{Tcr} を推定する。従って、(a)流入部Sの流入交通流のみ、(b)それ以外の流入部からの流入交通からなる環道交通流のみについて、大型車混入率を変化させるシナリオ設定とする。

(5) 乗用車のみの場合の流入交通容量の妥当性検証

大型車の影響を分析する前に、流入部・環道部どちらも乗用車のみの場合について、流入交通容量の推計結果の妥当性を検証する。シミュレーションの出力結果を、日本²⁾およびドイツ(HBS³⁾)に掲載の式(1)(図中には「ドイツ式」と表記)、およびアメリカ(HCM⁴⁾)に掲載の式(2)(図中には「アメリカ式」と表記)から得られた理論値と比較した結果を図-4に示す。図中には、シミュレーションの結果とドイツ式・アメリカ式との誤差を表すRMSE(Root Means Square Error)も掲載している。なお、ドイツ式におけるギャップパラメータは、キャリブレーションの際の目標値である $t_{app}=4.5[\text{sec}]$, $t_{pp}=3.2[\text{sec}]$, $\tau_{pp}=2.2[\text{sec}]$ を用いている。

図-4より、シミュレーションの出力結果と理論値の適合性は高いといえる。特に、シミュレータ上で再現したい交通状況を表すギャップパラメータを用いたドイツ式に合っていることから、車両追従やギャップアクセプタンス挙動が適切に再現されたものと推察される。逆に、ギャップパラメータの違いを反映できないアメリカ式とは、RMSE=21.8と比較的乖離が大きい結果となっている。

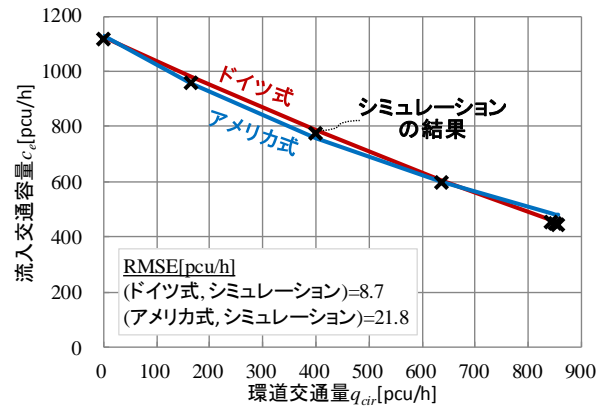


図-4 シミュレーション出力と理論的推定の比較

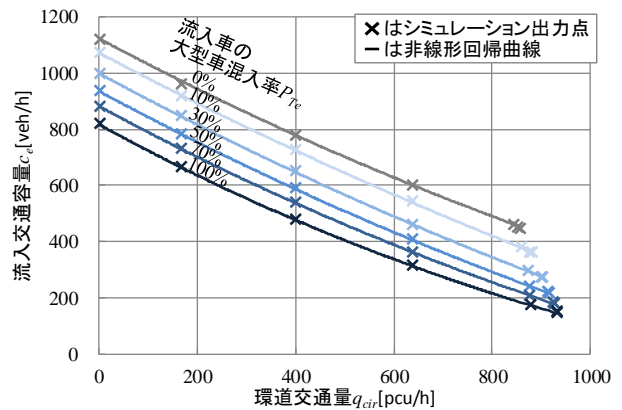
5. 大型車が流入交通容量に及ぼす影響および乗用車換算係数の推定

(1) 大型車混入時の流入交通容量曲線

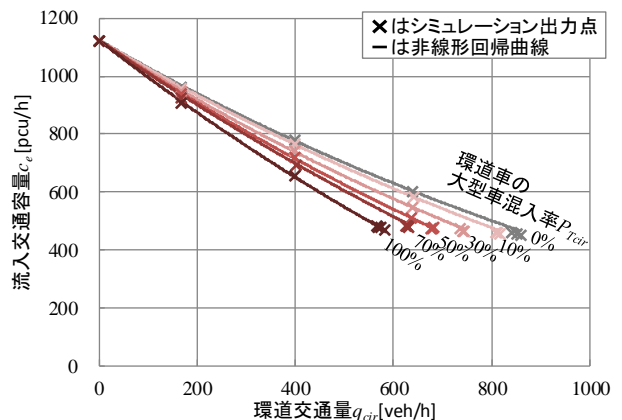
ここでは、大型車が流入交通容量に与える影響を分析する。(a)流入部のみに大型車が混入する場合、(b)環道部のみに大型車が混入する場合、それぞれのシミュレーションにより得られた環道交通量 q_{cir} と流入交通容量 c_e の関係を図-5にx印のプロットで示す。本稿では、各ケースについて大型車混入率が0, 10, 30, 50, 70, 100%の結果を紹介している。なお、大型車を含む交通量は単位が[veh/h]、含まない交通量は単位が[pcu/h]で表記されている。

一般に、流入部・環道部のどちらについても、車長が長くかつ環道走行速度が遅い大型車が増加するにつれて、容量が低下する点が共通している。しかしながら、大型車混入率 P_{Te} に伴う容量低下の傾向は、図-5(a)と図-5(b)で異なっている。流入部のみに大型車が混入する図-5(a)の場合には、環道交通量 q_{cir} の大小に関わらず、大型車混入率 P_{Te} が大きくなるにつれて流入部の大型車台数が増えるため、流入交通容量 c_e が全体的に低下している。一方、環道部のみに大型車が混入する図-5(b)の場合、環道交通量 $q_{cir}=0$ に近い状態では、大型車混入率 P_{Tcir} が高くても環道交通に含まれる大型車の絶対量が少ないため、交通容量に及ぼす影響が小さい。すなわち容量低下量は環道交通量 q_{cir} が小さいほど大きい。

シミュレーションは環道交通量 q_{cir} が限られた条件下



(a)流入部のみに大型車が混入する場合



(b)環道交通部のみに大型車が混入する場合

図-5 シミュレーションによる流入交通容量の計算結果

における結果である。このため、乗用車換算係数を推定するための式(7)、式(8)に必要な、環道交通量 q_{cir} がまったく等しい条件下で大型車が混入する/しない場合の流入交通容量 $C_{e0}(q_{cir})$, $C_{e1}(q_{cir})$ や、実現する流入交通容量 c_e が等しくなる条件下で大型車が混入する/しない場合の環道交通量 $q_{cir}(l, c_e)$, $q_{cir}(u, c_e)$ が得られない。

そこで、シミュレーションにより得られた図-5の点に対して、式(1)(下記に再掲)を仮定して、各大型車混入率 P_{Tcir} におけるギャップパラメータ t_0 , t_f , τ を推定する非線形回帰を行い、流入交通容量曲線を得た。

$$c_{e,pc} = \frac{3600}{t_f} \left(1 - \tau \frac{q_{cir,pc}}{3600} \right) \exp \left[-\frac{q_{cir,pc}}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right] \quad (1)$$

いずれの曲線も $R^2=0.99$ 以上の適合性を持ち、**図-5**に実線で示す通り、シミュレーション出力点の間が補完された。従って、これ以降は、この推定曲線を用いて、乗用車換算係数の推定を行う。

(2) 乗用車換算係数の推定

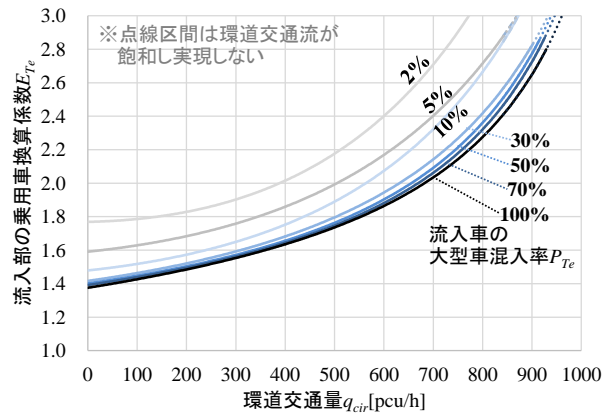
図-5(a), (b)に示した交通容量推定曲線を用いて、**3.(1)**に示した方法により、流入部および環道部の乗用車換算係数 E_{Te} , E_{Tcir} をそれぞれ推定した。この結果を**図-6**に示す。

図-6(a)より、流入部の乗用車換算係数 E_{Te} は、環道交通量 q_{cir} の増加に伴い1.4~1.8程度だったものが2.0以上の値まで増大することがわかる。これは、環道交通量 q_{cir} が増えるにしたがって環道内の車頭時間が短くなり、それに伴って、車長が長くカーブ走行性能も劣る大型車の流入可能なギャップ発生頻度が低くなるためであると考えられる。

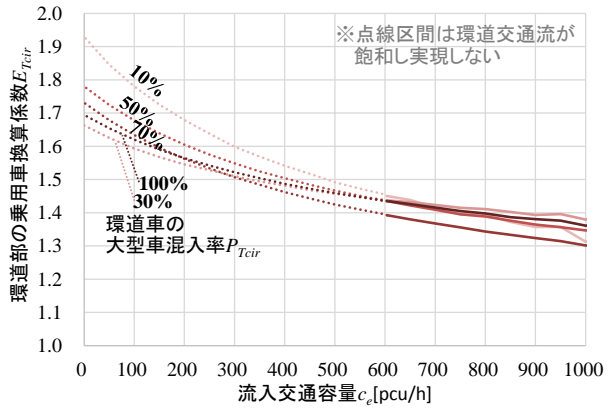
一方、環道交通量 q_{cir} が等しい場合には、大型車混入率 P_{Te} が高い方が乗用車換算係数 E_{Te} が小さくなる傾向がみられるが、 $P_{Te}=30\%$ 程度を超えるとほぼ一定となる。式**(3)**からわかる通り、乗用車換算係数 E_{Te} は大型車混入率 P_{Te} の逆数の関数になっているため、特に P_{Te} が小さい範囲の感度においては注意が必要である。また、前述の通り、本稿では近似曲線を元に乗用車換算係数 E_{Te} の推定を行っているため、これらの推定誤差を考慮すると、大型車混入率 P_{Te} による差の精度については疑問が残る。しかしながら、混入率 P_{Te} が高くなるにつれて交通流が大型車主体となり、車種のバラツキによる乱れが小さくなることで、1台1台の大型車が及ぼす影響が小さくかつ安定してくることは、実現象としても考えられる。この点については、今後更なる精査が必要である。

図-6(b)より、環道部の乗用車換算係数 E_{Tcir} は、流入交通容量 c_e が小さいときほど大きいことがわかる。流入交通容量 c_e が小さいということは、環道交通量 q_{cir} が大きいことを意味し、混雑した交通流の中に存在する大型車の方が、流入交通容量 c_e に与える影響が大きいことの表れである。

ただし、**図-6(b)**を**図-6(a)**と比較すると、環道部の乗用車換算係数 E_{Tcir} は流入部の係数 E_{Te} と比較して小さいことがわかる。これは、Akcelik⁴⁾の結果とも一致し、優先側の環道部よりも非優先側の流入部に大型車が存在する方が、交通容量への影響は大きいことを意味している。また、実線で示した環道交通量の飽和しない範囲においては、 $E_{Tcir}=1.3\sim 1.5$ 程度で、各国のガイドラインの値より小さい傾向も確認できる。



(a)流入部の乗用車換算係数



(b)環道交通部の乗用車換算係数

図-6 乗用車換算係数(PCE)の推定結果

大型車混入率 P_{Tcir} による E_{Tcir} の違いは、上記で述べた推定精度も考慮すると明確でない。なお、 $c_e=1000$ [pcu/h]に近い流入交通容量の大きい範囲で E_{Tcir} の変動がみられるが、これは計算に用いる環道交通量 q_{cir} がゼロに近づき、誤差の影響が大きくなるためである。

(3) 乗用車換算係数の設定と交通容量算出への適用

本稿では、大型車混入率 P_{Te} , P_{Tcir} による影響が明確に把握できなかったため、これを変数とした乗用車換算係数の一般化モデルの構築は行わないが、ケーススタディとして大型車混入率が10%の場合のモデル化を行う。

流入部の乗用車換算係数 $E_{Te}(P_{Te}=10\%)$ は、**図-6(a)**からわかる通り、環道交通量 q_{cir} の増加に伴い指数関数的に増加している。そこで、次式を仮定して非線形回帰分析によってパラメータ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ を求めた。

$$E_{Te}(P_{Te}=10\%) = \alpha_1 \exp(\alpha_2 q_{cir}) + \alpha_3 \quad (10)$$

この結果、 $\alpha_1=0.117$ (t 値=250), $\alpha_2=0.00301$ (t 値=672), $\alpha_3=1.36$ (t 値=1745)で $R^2=0.99$ 以上の適合度の高い推定モデルが得られた。**図-6(a)**と上記モデルによる推定結果 $E_{Te}(P_{Te}=10\%)$ をあわせて**図-7**に示す。ここからもモデルのあてまはりのよさがわかる。

一方、環道部の乗用車換算係数 $E_{Tcir}(P_{Tcir}=10\%)$ について

は、図-6(b)の横軸である流入交通容量 c_i が、環道車両を換算する段階では未知のため、換算前の環道交通量 q_{cir} [veh/h]との関係を確認する。換算前の環道交通量 q_{cir} と乗用車換算係数の関係 $E_{Tcir}(P_{Tcir}=10\%)$ は、図-7の赤線で示したように、環道交通量 q_{cir} の増加につれてやや増大する傾向がみられるが、その増加量は流入部の換算係数 E_{Te} に比べて小さく、また前節最後に述べたように、誤差が原因と思われる変動があることから明確でない。よって、今回は環道交通量 q_{cir} による変化は考慮せず、図-7に併記する通り $E_{Tcir}(P_{Tcir}=10\%)=1.4$ として定数で設定する。

以上の乗用車換算係数 E_{Te} モデルおよび $E_{Tcir}=1.4$ を、2章の式(1)、式(3)、式(4)に用いることで、流入部・環道部の両方に大型車が10%ずつ混入する場合($P_{Te}=P_{Tcir}=10\%$)の流入交通容量が理論的に算出可能となる。この結果を図-8に紫線で示す。なお、結果の妥当性を確認するため、シミュレータ上でも同様の大型車混入率で計算を行い、その出力値を図中に紫の×印でプロットしている。これより、シミュレーションにより得られた交通容量と、本モデルによる算出値は殆ど重なっていることがみてとれる。本稿では、流入部・環道部の乗用車換算係数をそれぞれ独立に推定したが、この手法によって両者が重なり合った場合の交通容量も、ある程度妥当性のある推定が可能になったといえる。

図-8には、流入部のみ(青線)、環道部のみ(赤線)に大型車が10%混入する場合と、大型車なしの場合(灰色)の容量曲線も併せて示している。これらを流入部・環道部ともに大型車が混入する場合(紫線)と比べることで、流入部・環道部の両方に大型車が混入する場合の交通容量低下量は、流入部のみ(青線)、環道部のみ(赤線)に大型車が10%混入する場合の重ね合わせであることが明らかとなった。

6. おわりに

本研究は、交通シミュレータを用いて大型車混入時のラウンドアバウト流入交通容量を計算することにより、流入部・環道部それぞれにおける大型車の乗用車換算係数を推定した。

この結果、流入部・環道部どちらについても、乗用車に比べて車長が長くかつ性能の劣る大型車の台数が増えるにつれて、流入交通容量が低下することが定量的に示された。また、今回想定した日本の標準的幾何構造、典型的交通需要パターンにおける乗用車換算係数は、流入部では1.4~3.0の範囲で環道交通量の増加に伴い増大すること、環道部では1.3~1.5程度であることが明らかとなった。このことは、優先側の環道部よりも非優先側の流入部に大型車が存在する方が、交通容量への影響が大き

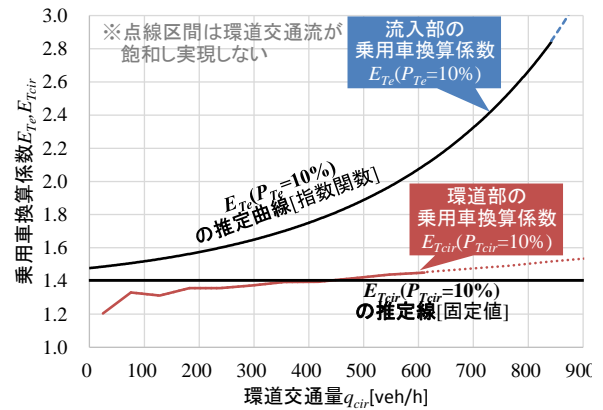


図-7 乗用車換算係数の推定結果

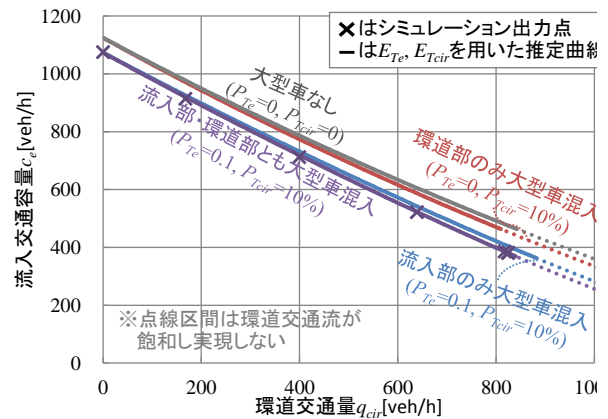


図-8 流入部・環道部両方に大型車が混入する場合の容量推定

いことを示している。本稿最後には、大型車混入率が10%の場合の乗用車換算係数推定モデルを構築し、これによって流入部・環道部の両方に大型車が混入する場合の流入交通容量も推定可能となった。

本稿では、大型車混入率による乗用車換算係数への影響が明確に示されなかったため、任意の大型車混入率における乗用車換算係数モデルの構築には至っておらず、この点について精査を進めることが必要である。また、本稿の推定結果は、最も標準的な正十字の4枝1車線ラウンドアバウトを想定したものであり、幾何構造の異なるラウンドアバウトでは、ギャップアクセプタンス挙動や走行速度などが異なることにより、流入交通容量や乗用車換算係数も影響を受けると考えられる。様々なラウンドアバウトにおける観測データを増やすことで、このような幾何構造の影響を検証することが今後の課題である。また、大型車の車両挙動のキャリブレーションに用いた観測データはバスが大半であったため、大型貨物車との違いについて確認することも必要である。

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、実観測データの分析にあたっては、国土技術政策総合研究所道路研究室から、貴重なビ

デオデータをご提供頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual (HCM), 2010.
- 2) (一社)交通工学研究会: ラウンドアバウトマニュアル, p.p.24-26, 2016.
- 3) Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrs-wesen: Handbuch für die Bemessung von Strassen-verkehrsanlagen (HBS), Germany, 2005.
- 4) Akcelik, R.: Roundabouts: capacity and performance analysis. ARRB Research Report ARR 123, Vermont, Australia, 150pages, 1998.
- 5) Tanyel, S.: Türkiye.deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi, İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- 6) Tanyel, S.: Yuvarlakada kavşaklarda anaakımdaki ağır araç yüzdesinin yanyol kapasitesi üzerindeki etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, Vol.7, No.1, pp.19-30, 2005.
- 7) Lee., C.: Developing passenger-Car Equivalents for Heavy Vehicles in Entry Flow at Roundabouts, American Society of Civil Engineers, 04015013, 2015.
- 8) Tanyel, S., Caliskanelli, S.P., Aydin, M.M. and Utku, S.S.: An Investigation of Heavy Vehicle Effect on Traffic Circles. Teknil Dergi, Vol.24, No.4, pp.6479-6504, 2013.
- 9) SIDRA for roundabouts: SIDRA for roundabouts manual, 2011.
- 10) PTV Plannig Transport Verkehr AG 2012: VISSIM Vision 5.40 Users Manual, 2012.
- 11) 真島君騎・康楠・後藤梓・中村英樹: 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, 土木計画学研究・講演集No.51, 6ページ, CD-ROM, 2015.
- 12) 康楠・中村英樹: 横断歩行者を考慮したラウンドアバウト流入交通容量のシミュレーション分析, IATSS Review, Vol.39, No.1, pp.56-64, 2014.

(?)

ESTIMATION OF PASSENGER CAR EQUIVALENT OF HEAVY VEHICLES FOR ROUNDABOUT ENTRY CAPACITY BY USING A MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATOR

Nan KANG, Azusa GOTO, Hideki NAKAMURA and Kiminori MASHIMA

During the estimation process of roundabout entry capacity, passenger car equivalent is essential for converting traffic volume of heavy vehicles. The objective of this study is to estimate passenger car equivalent which is applicable to roundabouts in Japan. Since there is no sufficient roundabouts where saturated condition can be observed, microscopic traffic simulator is adopted for computing entry capacity under various heavy vehicle percentages in either of entry or circulating flow. Based on the simulation result, passenger car equivalent at entry and circulatory roadways could be obtained. As a result, it is found that the estimated passenger car equivalent at entry roadway increases as circulating flow increases. Moreover, the result shows that the estimated passenger car equivalent is higher at entry than at circulatory roadways. At the end, entry capacity with heavy vehicles in both entry and circulating flows could be reasonably calculated by applying the estimated passenger car equivalents.