

## 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

康 楠\*      中村英樹\*\*

従来、ラウンドアバウトの流入交通容量に横断歩行者が与える影響は、標準的な構造を持つラウンドアバウトについて海外で経験的に導出された補正係数により考慮している。しかしながら特に日本では、用地制約等の都合上、諸外国で標準的である流出入部分離島が必ずしも設置されず、これにより横断歩行者挙動やその影響が諸外国と異なる場合がある。本論文では、横断歩行者の交通量・横断方向と流入交通容量との関係、さらにこの関係に分離島の有無が及ぼす影響について、4枝のラウンドアバウトを用いたシミュレーションにより検証した。シミュレーション結果に基づき、ラウンドアバウトの流入交通容量を指数関数によって表し、その係数を影響要因の線形関数で表現するモデルを構築した。

### Simulation Analysis on Roundabout Entry Capacity in Consideration of Pedestrian Impact

Nan KANG\*      Hideki NAKAMURA\*\*

In existing methods, crossing pedestrian impact on roundabout entry capacity is estimated through an adjustment factor based on empirical data obtained from roundabouts with a standard design. However some elements of the standard design, such as the physical splitter island, cannot be always implemented due to space limitation, especially in Japan. The objective of this study is to estimate entry capacity in consideration of pedestrian impact by examining the impact of several influencing factors, including pedestrian demand, pedestrian side approaches, and physical splitter islands by applying a microscopic simulation of a four-leg roundabout. The simulation output was used to develop a regression model of entry capacity that takes into account these influencing factors.

#### 1. はじめに

ラウンドアバウトの計画設計・性能評価において、流入交通容量は最も重要な指標の一つである。利用

者が流入交通容量に影響を及ぼす直接的な要因には、主として環道車両と横断歩行者の二つがある。このうち環道車両による影響については、式(1)に示す推定式が提案され、アメリカ(HCM2010)<sup>1)</sup>、ドイツ(HBS2005)<sup>2)</sup>、オーストラリア<sup>3)</sup>など諸外国の指針で多く採用されている。

$$c = q_{cir} \int_0^{\infty} h(t) \cdot E(t) dt \quad \dots\dots (1)$$

$c$  : 流入交通容量 [veh/h]

$q_{cir}$  : 環道交通量 [veh/h]

$h(t)$  : 環道交通流に  $t$  [sec] のギャップが発生する

\* 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程  
Doctoral student, Dept. of Civil Engineering,  
Nagoya University

\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科教授  
Professor, Graduate School of Environmental Studies,  
Nagoya University  
原稿受付日 2014年1月6日  
掲載決定日 2014年1月30日

頻度

$E(t)$  :  $t$ [sec]のギャップ中に流入可能な最大車両台数[veh]

この推定式は、無信号交差点における従道路の交通容量推定式<sup>4)</sup>を適用したものであり、流入車両が環道交通流に対して行うギャップアクセプタンスに基づいている。

一方、横断歩行者による影響については、式(1)に補正係数 $f_{ped}$ を乗ずることで表現する手法がBrilonら<sup>5)</sup>によって提案され、アメリカのHCM 2010<sup>1)</sup>でもこの手法が用いられている。補正係数 $f_{ped}$ は、既存のラウンドアバウトにおける経験的データに基づき推定されたものである。このため既往の知見は、海外において標準的である、流入部に分離島と横断歩道が設置され、横断歩道と流入線の間には車両1台分の空間が確保された構造を前提としたものといっ

てよい。しかしながら日本では、用地制約等の都合上、上記のような標準的な構造条件を、すべて満足できない例がしばしば見られる。特に、歩行者の二段階横断が未だあまり普及していない現状もあって、流入部に分離島を設けないラウンドアバウトが実際に存在し、計画設計段階で検討に挙がることも少なくない。このような、日本に特徴的な条件による影響を適切に把握することは、ラウンドアバウトのさらなる実務展開のために極めて重要な課題である。

本研究の目的は、さまざまな条件下での横断歩行者による影響を考慮した流入交通容量の推定方法を提案することである。特に本論文では、横断歩行者の交通量・横断方向と流入交通容量との関係を明らかにするとともに、この関係に分離島の有無が及ぼす影響に着目した検証を行う。

2. 流入交通容量に関する既往研究

Tollazziら<sup>6)</sup>は、対象流入部および下流流出部を横断する歩行者の影響を考慮し、シミュレーションにより流入交通容量の推定を行った。その結果、環道から流出する車両が流出部の横断歩行者・自転車にブロックされ、その待ち行列が延伸することで生じる流入交通容量低下を推定した。

Duean and Cheu<sup>7)</sup>は、2車線ラウンドアバウトを対象に、流入部における横断歩道の位置と流入交通容量の関係进行分析した。この結果、横断歩道と流入線間の距離が小さいほど、流入交通容量が低下す

ることを示している。

鈴木ら<sup>8)</sup>は、車両および横断歩行者の到着時間の分布形を仮定し、流出入口における横断歩行者の存在を考慮した場合の流入交通容量について、解析的にモデル化している。しかしながら、流出部で横断歩行者にブロックされた車両が滞留し、その待ち行列が延伸することにより環道が塞がれてしまう場合については考慮していない。

これらの既往研究では、流入交通容量が対象流入部だけでなく流出部の横断歩行者からも影響を受けること、横断歩行者の影響が流出入口付近の構造によって左右されることが示されている。

3. 交通シミュレータを用いた流入交通容量の検証

ラウンドアバウトの導入事例がまだ少ない日本において、横断歩行者交通量、横断方向、分離島の有無といった影響要因と流入交通容量の関係を実測データから把握することは困難である。このため、今回は既存の交通流シミュレータVISSIM5.40<sup>9)</sup>を用いてラウンドアバウト近傍の交通流の再現を行う。

3-1 対象ラウンドアバウト

ラウンドアバウトは4枝1車線とし、分離島の有無以外の幾何構造は、標準的なものとしてFig.1のように設定した。ラウンドアバウトの外径は、セミトレーラーを設計車両とした場合の最小基準値の $D=27$ [m]とした。すべての流入部に横断歩道を設置し、横断歩道と流入線(環道と流出部の境界線)の間隔は、平均的な小型車1台が収まるスペースを想定して $d_{cy}=5$ [m]とした。

流入交通容量を観測する対象は、流入部Sとする。分離島の有無による影響の検証は、対象流入部Sの

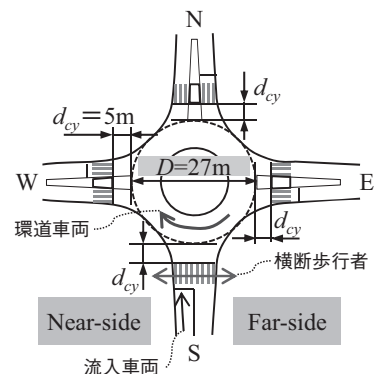


Fig. 1 対象ラウンドアバウト

みで行うこととし、その他の流入部には、いずれも分離島が設置されているものとする。

3-2 入力パラメータ

ラウンドアバウト近傍の交通流を適切に再現するため、日本で運用されている4カ所のラウンドアバウト(長野県飯田市吾妻町、東和町、軽井沢町六本辻、茨城県日立市常陸多賀駅前)で観測された挙動から一般的な値を抽出し、これを用いて入力値の設定およびキャリブレーションを行った。

1) 平均希望速度

車両および横断歩行者の平均希望速度は、それぞれ20[km/h]、4.0[km/h]に設定した。

2) ギャップアクセプタンス

流入交通容量に対する環道車両の影響がギャップアクセプタンスによって表現されうるのは第1章で述べたが、本研究では同様の考え方が横断歩行者に対しても適用可能とみなす。このとき、各方向からの歩行者は、横断歩道上をそれぞれ1列で歩行すると仮定する。

シミュレータ上で現実的な流入交通容量を表現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が適切に再現されていることである。このため、ギャップアクセプタンスの表現に重要な次の三つのパラメータを用いて、挙動のキャリブレーションを行った。一つ目は、環道または横断歩行者交通流に対して流入車両が流入可能な最小のギャップであるクリティカルギャップ $t_c$ [sec]、二つ目は流入車両の最小追従車頭間隔であるフォローアップタイム $t_f$ [sec]、そして三つ目は環道交通流の最小車頭間隔 $\tau$ [sec]である。

VISSIM5.40では、クリティカルギャップ $t_c$ は交錯エリア(conflict area)モデルによって、フォローア

ップタイム $t_f$ および最小車頭間隔 $\tau$ は車両追従(car-following behavior)モデルによって、それぞれ再現される。

(a)交錯エリアモデル

VISSIM5.40では、クリティカルギャップ $t_c$ を直接設定することはできず、交錯エリアモデル内の「後方ギャップ(rear gap)」と「前方ギャップ(front gap)」を調整することで表現しなければならない。交錯エリアとは、Fig.2に示すように主道路と従道路の重なる領域として定義される。後方ギャップはまだ交錯エリアに到達していない主道路の車両(Fig.2の車両(2))に対して、前方ギャップは既に交錯エリアを通過し終えた主道路の車両(Fig.2の車両(1))に対して、従道路の車両が通過/合流できる最小のタイムラグとして定義される。

このモデルをラウンドアバウトに適用すると、従道路とは流入部、主道路は環道または横断歩道にそれぞれ該当する。横断歩道の場合、Fig.2の車両(1)、(2)は横断歩行者に相当する。

Table 1(a)に、入力した環道車両・横断歩行者に対する前方・後方ギャップの値を示す。このとき、交錯エリアの長さは流入部の車線幅員に等しいとして $L_c=3.50$ [m]、車長は $L_v=4.00$ [m](横断歩行者の場合 $L_v=0$ )を仮定した。また、環道車両・横断歩行者は平均希望速度で走行・横断するものとし、実際には前方距離 $D_f$ を対環道車両で2.50[m]、対横断歩行者で1.50[m]とおくことによって前方ギャップを算出した。これは、主道路の車両が交錯エリアを通過してから従道路の車両が通過/合流するまでの最短距離を仮定したことを意味する。

Table 1 シミュレータの入力値

(a)交差エリアモデル

	環道車両	歩行者			
		分離島あり		分離島なし	
		Near-side	Far-side	Near-side	Far-side
前方ギャップ [sec]	0.450	1.35			
後方ギャップ [sec]	2.70	1.70		6.00	

(b)車両追従モデル

	平均停止距離[m]	安全距離[m]	安全距離の倍数部分
流入部 ( $t_f=3.2$ [sec])	2.00	2.00	3.00
( $\tau=2.2$ [sec])	1.50	2.00	3.00

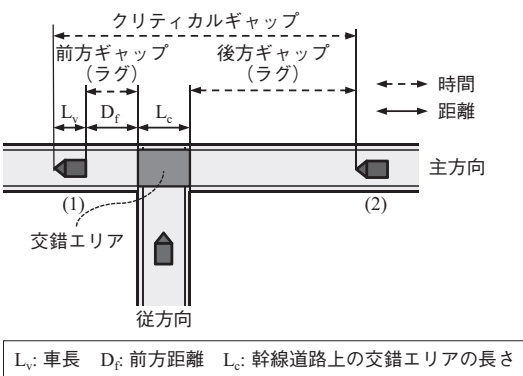


Fig. 2 ギャップの定義

環道車両については、筆者ら<sup>10)</sup>の分析結果などに基づき、日本のラウンドアバウトにおけるクリティカルギャップ $t_c$ の一般的な値として、4.50[sec]、が得られている。そこで今回は、Fig.2に示す各ギャップの関係を考慮して、まず前方ギャップを仮定した上で、クリティカルギャップ $t_c$ が上記の値となるように後方ギャップを調整した。

次に、横断歩行者に対する後方ギャップについては、横断方向にかかわらず、歩行者が横断歩道に進入しようとする、流入車両が必ず停止するように調整して設定する。分離島なしの場合に、流入車両のドライバーから見て右側（以下、Far-sideと定義）から横断する歩行者と、向かって左側（以下、Near-sideと定義）から横断する歩行者とを比較すると、流入車両はFar-sideからの横断歩行者に対してより長いギャップを必要とすることになる。なぜなら、分離島がないと横断歩道はFar-sideに長く、Far-sideからの横断歩行者が横断歩道に進入してから交錯エリアを通過するまでに要する時間が長くなるためである。この傾向は実際のラウンドアバウトでも見られている<sup>11)</sup>。このため、Table 1 (a)では「分離島なし・Far-sideからの横断」という条件に対してのみ、他の条件よりも長い後方ギャップ6.00[sec]を設定している点に注意されたい。Far-sideからの歩行者に対する後方ギャップがこの設定値より短くなると、Far-sideからの横断歩行者が歩道に進入しても車両が横断歩道を通過してしまう。

(b)車両追従モデル

フォローアップタイム $t_f$ は流入車両の追従挙動、最小車頭間隔 $\tau$ は環道車両の追従挙動によって決定するパラメータである。今回は、VISSIM5.40に内装された車両追従モデルのうち、都市内道路を対象としたWiedemann 74を用いる。このモデルでは、「平均停止距離(average standstill distance)」「希望安全距離(desired safety distance)」および「希望安全距離の倍数部分(multiple part)」の三つをキャリブレーションし、追従挙動を再現する。

流入車両については、横断歩道通過時・環道合流時のどちらに対しても同じ追従挙動をとるという仮説の下、共通のフォローアップタイム $t_f=3.2$ [sec]を実観測より仮定した。環道車両については $\tau=2.2$ [sec]とした。これらの値を再現するように、上記三つの入力値をキャリブレーションした結果をTable 1 (b)に示す。

3-3 シナリオ設定

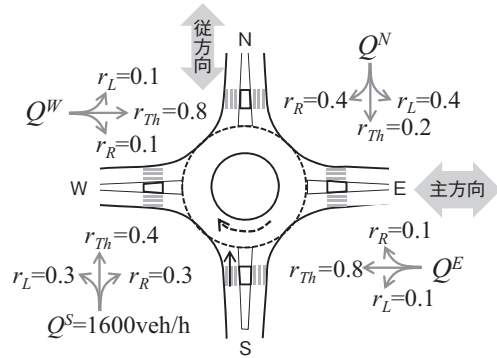


Fig. 3 車両の流入部別交通量と右左折直進率

1) 車両交通量

車両交通量は、Fig.3に示す通り、流入部別(S/N/E/W)・方向別(直進/右折/左折)に与える必要がある。ここでは、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、および環道交通量がさまざま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、以下の手順で車両交通量を決定した。

まず、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 $Q^S=1600$ [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、EW方向を主方向、NS方向を従方向と仮定し、流入交通量の比率は常に $Q^E:Q^N=8:2$ 、 $Q^E=Q^W$ で一定とする。ただし流入部Sについては、この仮定とは無関係に上記の $Q_s$ を設定する。さらに、各流入部における右左折直進率 $r_R$ 、 $r_L$ 、 $r_n$ についても、主方向従方向の関係から交差点固有のものとして仮定し、Fig.3のように設定する。これより、 $Q^N$ 、 $Q^E$ 、 $Q^W$ のうちいずれか一つの流入交通量を与えれば、全流入部別・方向別交通量が自動的に決まることになる。

対象流入部Sでギャップ選択を行う環道交通流は、EからWまたはNに流れる交通( $r_n+r_R$ ) $Q^E$ と、NからWに流れる交通 $r_R Q^N$ により発現する。上記の流入部別・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、さまざまな環道交通量が再現できる。

2) 横断歩行者交通量

既往研究にもある通り(第2章)、対象流入部だけでなく下流流入部の横断歩行者も、流入交通容量に対して影響を与える可能性がある。そこで、流入部SだけでなくN、E、Wについても、横断歩行者交通



量を設定する。ただし今回は、S以外の流入部N、E、Wについては、一律の横断歩行者交通量を仮定する。対象流入部Sとそれ以外の流入部のそれぞれについて、両方向合計交通量として0、100、300、500[ped/h]の4段階を想定し、計16通りのシナリオを用意した。

### 3) 分離島の有無

3-1で述べた通り、流入部Sのみ、分離島あり・なしの2通りを考える。

### 4) 歩行者の横断方向

3-2の2)(a)でも触れたように、歩行者の横断方向は、ギャップアクセプタンスに対する分離島の影響を考える上で重要な要素である。このため、横断歩行者交通量のうち、Far-sideからの横断歩行者が占める比率をFar-side率として定義し、流入部Sの横断歩道について、この値を0、0.3、0.7、1.0の4通りに変化させた場合の感度を検証する。他の流入部については、いずれも分離島ありを想定しているため、横断方向による影響は無視できると考え、一意に0.3とした。なお、Far-sideからの横断歩行者交通量は、合計歩行者交通量にFar-side率を乗ずることにより求められる。

以上をまとめると、2)~4)について合計16×2×4=128シナリオが存在し、このそれぞれについて、1)で述べたように環道交通量を調節することで流入交通容量特性を検証した。

### 3-4 妥当性の検証

ここでは、得られた流入交通容量の妥当性を検証する。横断歩行者交通量を0とし、環道車両による影響のみを考慮した場合の流入交通容量 $c_{cir}$ について、

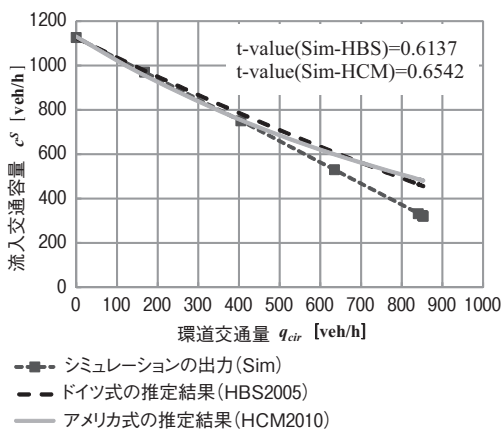


Fig. 4 シミュレーション出力と理論的推定の比較：環道交通流のみを考慮した場合

シミュレーションの出力結果と理論的推定値を比較する。ここでは、横断歩行者が全く存在しない場合を仮定しているため、分離島の有無やFar-side率は出力に影響しない。

理論的推定値の算出には、式(1)にクリティカルギャップ $t_c$ 、フォローアップタイム $t_f$ 、最小車頭間隔 $\tau$ を用いて解いたHBS2005<sup>2)</sup>の式(2)を用いた。

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

$q_{cir}$ ：環道交通量[veh/h]

$t_c$ 、 $t_f$ 、 $\tau$ ：キャリブレーション(3-2)のときと同じく4.5[sec]、3.2[sec]、2.2[sec]

シミュレーションの出力と理論的推定式を用いて、流入交通容量と環道交通量 $q_{cir}$ の関係(流入交通容量曲線)を描いた結果をFig.4で比較する。なお同図では、参考のために、式(3)で表されるHCM2010<sup>1)</sup>の方法による曲線についても併せて示している。

$$c_{cir} = 1130 \exp \left[ (-1.0 \times 10^{-3}) q_{cir} \right] \dots \dots (3)$$

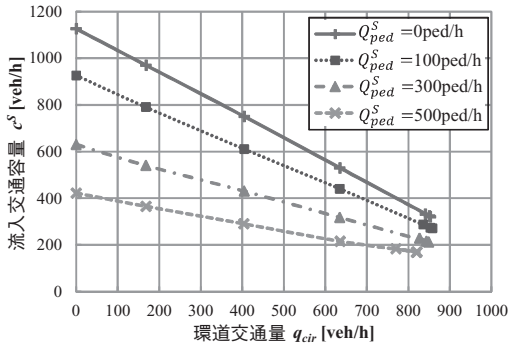
これより、環道交通量 $q_{cir}$ が少ない場合にはシミュレーションとHBS 2005<sup>2)</sup>による理論的推定値の乖離が小さい一方、環道交通量 $q_{cir}$ が増大するにつれて乖離は広がり、シミュレーションの出力値が理論的推定値より小さくなる傾向が見られた。しかしながら、 $t$ 検定の結果95%信頼区間で両者の間に差がないことが示された( $t_{Sim-HBS}=0.6137$ )ことから、シミュレーションの出力は理論的推定と比較して、少なくとも同程度の妥当性があるものとみなすことができると考えられる。

ところでFig.4では、シミュレーションの出力値は、環道交通量 $q_{cir}$ が最大でも850[veh/h]程度までの場合にとどまっている。この理由は、流入部S以外の各流入部においても、流入交通流が容量状態に近づくにつれて、設定した交通量全てが環道に流入することが不可能となるためである。

### 3-5 横断歩行者による影響の検証

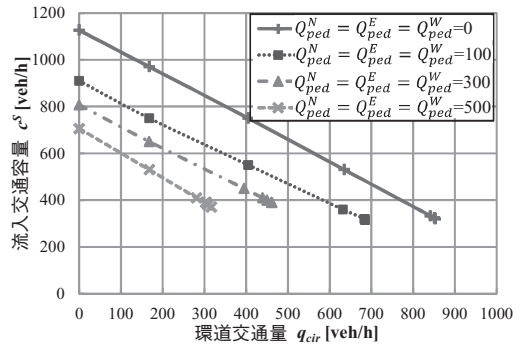
ここでは、歩行者交通量、横断方向、分離島の有無が、流入交通容量に与える影響を検証する。3-3で設定したさまざまなシナリオについて、シミュレーションより得られた流入交通容量曲線をFig.5に示す。ここに、 $c'$ ：流入部Sの流入交通容量である。

Fig.5(a)は、流入部Sを横断する歩行者交通量別



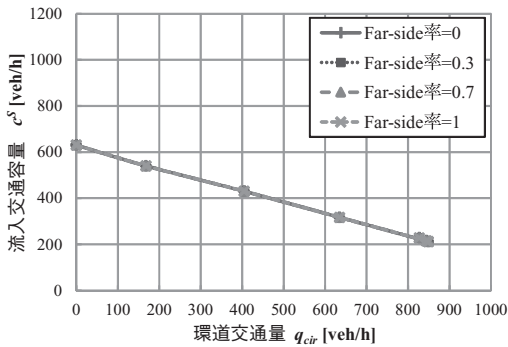
$Q_{ped}^N = Q_{ped}^E = Q_{ped}^W = 0$ , 分離島あり, Far-side率=0.7

(a) 対象流入部Sの横断歩行者による影響



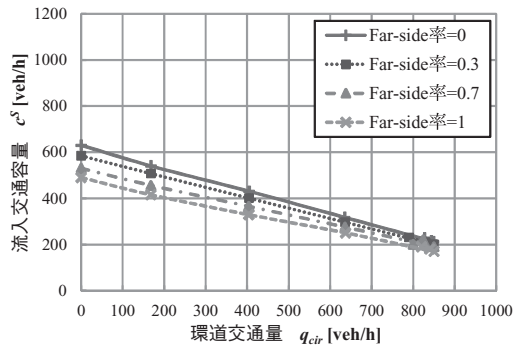
$Q_{ped}^S = 0$ , Far-side率=0.7

(b) S以外の流入部の横断歩行者による影響



$Q_{ped}^N = Q_{ped}^E = Q_{ped}^W = 0$ ,  $Q_{ped}^S = 300$ ped/h, 分離島あり

(c) 分離島ありの場合の横断方向による影響



$Q_{ped}^N = Q_{ped}^E = Q_{ped}^W = 0$ ,  $Q_{ped}^S = 300$ ped/h, 分離島なし

(d) 分離島なしの場合の横断方向による影響

Fig. 5 各影響要因と流入交通容量曲線

の流入交通容量曲線である。ただし、分離島あり、Far-side率0.7、S以外の流入部の歩行者交通量0とした。これより、環道交通量 $q_{cir}$ が同じ場合でも、対象流入部の横断歩行者が増加するにつれて、流入交通容量 $c^s$ が低下するという合理的な結果が得られた。

これとは逆に、Fig.5(b)は、流入部Sの横断歩行者を0とおき、これ以外の流入部N、E、Wの横断歩行者交通量による影響を示したものである。これより、流入部N、E、Wについても、横断歩行者が増加すると流入交通容量 $c^s$ が低下することが分かった。これは、環道からN、E、W方向に流出する車両が横断歩行者にブロックされ、その待ち行列が流入部Sの前まで延伸した場合に、流入車両がラウンドアバウトに流入できなくなるためである。環道下流流出部の横断歩行者が増えると、このような現象が発生する可能性が高くなる。今回は、流入部N、E、Wで一律の横断歩行者交通量を与えたが、この

影響は下流側流出部が対象流入部に近いほど感度が高いと考えられ( $W > N > E$ )、今後詳細な検証が望まれる。

Fig.5(c)、(d)は、それぞれ分離島あり・なしの場合の、横断方向による影響を示している。どちらのケースも流入部Sの横断歩行者交通量は300[ped/h]、その他の流入部の横断歩行者交通量は0とした。Fig.5(c)分離島ありでは、Far-side率にかかわらず流入交通容量曲線は一定であり、流入交通容量 $c^s$ は横断方向による影響を受けないことが分かる。しかし、Fig.5(d)分離島なしでは、Far-side率が高いほど、流入交通容量 $c^s$ は減少する結果となった。これは、3-2で述べたように、分離島なしの場合には横断歩道がFar-sideに長いので、Far-sideからの横断歩行者が横断歩道に進入してから交錯エリアを通過するまでに必要な時間が、Near-sideに比べて長くなるためである。Far-sideからの横断歩行者が増

加すれば、これをやり過ごすために要する時間が長くなり、その結果、流入交通容量 $c$ が低下するのである。これに対して、分離島を設置すれば、歩行者は二段階横断を行うため、流入車両が直面する横断歩道の長さは半分以下に短くなり、歩行者の横断歩道進入から交錯エリア通過までに要する時間はFar-sideとNear-sideで差がなくなる。結果として、Fig.5 (c)に見られるように流入交通容量 $c$ は、横断方向の影響を受けなくなるのである。このことは、分離島を設置することで、横断歩行者交通流が原因の流入交通容量低下を抑制できる可能性を示唆している。

#### 4. 流入交通容量推定のための重回帰モデル

前章の結果を受けて、横断歩行者による影響を考慮した流入交通容量推定モデルを構築する。

##### 4-1 モデルの構造

Fig.4、Fig.5より、流入交通容量は横断歩行者による影響を受けるものの、環道交通量との関係は常に減少関数であることが分かる。これより本論文では、流入交通容量推定式の基本となる環道交通量との関係は、3-4で用いた理論的推定式(2)と同様の式形であると仮定してモデル化を行う。

式(2)を展開すると、環道交通量と流入交通容量の関係は式(4)のような二項の指数関数で表せる。

$$c = A \exp(-Bq_{cir}) - Cq_{cir} \exp(-Bq_{cir}) \dots \dots (4)$$

いま、この式(4)に横断歩行者による影響を導入するため、位置・形状を決定する係数 $A$ 、 $B$ 、 $C$ を被

説明変数として、第4章で検証した各種要因によりモデル化する。今回は、係数 $A$ 、 $B$ 、 $C$ が式(5)~(7)のように線形の重回帰式で表されるものとする。

$$A = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \dots \dots (5)$$

$$B = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 \dots \dots (6)$$

$$C = \gamma_0 + \gamma_1x_1 + \gamma_2x_2 + \gamma_3x_3 \dots \dots (7)$$

$x_1$ : 対象流入部Sの横断歩行者交通量[ped/h]

$x_2$ : S以外の各流入部の横断歩行者交通量[ped/h]

$x_3$ : 対象流入部SのNear-side率

$a_0 \sim a_3$ 、 $\beta_0 \sim \beta_3$ 、 $\gamma_0 \sim \gamma_3$ : パラメータ

$x_1 \sim x_3$ : モデルの説明変数。互いに独立

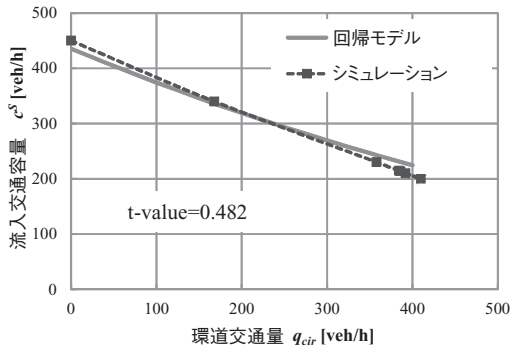
ここで、S以外の流入部の横断歩行者交通量 $x_2$ については、対象流入部Sからの距離によって感度が異なると予想される(3-5)が、今回はN、E、W流入部の歩行者交通量を一律に設定した(3-3の2))ため、これらの違いを考慮できない点に注意されたい。

また、3-5の検証結果や経験的知見から、横断歩行者が流入交通容量に与える影響は、分離島の有無によって明らかに異なることが分かった。このため、 $a_0 \sim a_3$ 、 $\beta_0 \sim \beta_3$ 、 $\gamma_0 \sim \gamma_3$ のパラメータは、分離島あり・なしの2ケースについて別々に推定する。

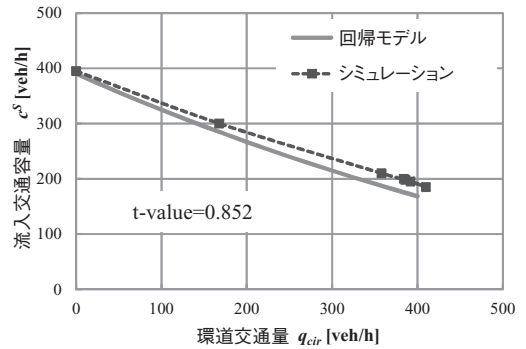
推定に用いたサンプルは、分離島あり/なしのそれぞれについて、3-3で設定した全シナリオの出

Table 2 パラメータ推定結果

被説明変数	各説明変数とそのパラメータ	分離島あり	分離島なし
		係数 (t値)	係数 (t値)
A	定数項 $a_0$	1008 (50.50)	973.8 (38.26)
	流入部Sの横断歩行者交通量 $a_1$	-1.034 (23.64)	-1.064 (19.04)
	S以外の流入部の横断歩行者交通量 $a_2$	-0.3972 (9.086)	-0.2810 (6.330)
	流入部SのFar-side率 $a_3$	-0.006693 (0.3093)	-114.7 (4.788)
	決定係数 $R^2$	0.9151	0.9300
B	定数項 $\beta_0$	$4.499 \times 10^{-5}$ (1.907)	$-1.566 \times 10^{-4}$ (1.926)
	流入部Sの横断歩行者交通量 $\beta_1$	$2.548 \times 10^{-7}$ (4.928)	$7.356 \times 10^{-7}$ (3.485)
	S以外の流入部の横断歩行者交通量 $\beta_2$	$2.103 \times 10^{-7}$ (4.068)	$2.536 \times 10^{-7}$ (2.513)
	流入部SのFar-side率 $\beta_3$	$4.501 \times 10^{-7}$ (0.01759)	$2.697 \times 10^{-4}$ (2.980)
	決定係数 $R^2$	0.6331	0.6449
C	定数項 $\gamma_0$	0.8844 (83.95)	0.9719 (28.78)
	流入部Sの横断歩行者交通量 $\gamma_1$	-0.002137 (49.78)	-0.001538 (20.75)
	S以外の流入部の横断歩行者交通量 $\gamma_2$	$8.418 \times 10^{-4}$ (31.56)	$6.939 \times 10^{-4}$ (11.78)
	流入部SのFar-side率 $\gamma_3$	-0.003910 (0.2938)	-0.2064 (6.492)
	決定係数 $R^2$	0.9847	0.9574



(a) 分離島あり



(b) 分離島なし

Fig. 6 モデルの検証結果

力結果である。すなわち、説明変数 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ それぞれについて各4通り、合計64通りのシナリオが存在する。個々のシナリオについて得られた流入交通容量曲線を、式(4)に近似することで係数A、B、Cを求め、これらの値を式(5)~(7)の線形重回帰式で表すため、最小二乗法によるパラメータ推定を行った。

#### 4-2 パラメータ推定結果

パラメータの推定結果をTable 2に示す。各パラメータの $t$ 値より、分離島ありの場合のFar-side率以外のすべての変数が有意であることが確認された。また、分離島ありの場合にFar-side率が有意でないことは、すなわち流入交通容量に対して横断方向が影響を与えないことを意味し、Fig.5(c)の結果が統計的にも示されたといえる。分離島あり・なしどちらのモデルも、決定係数 $R^2$ は高い値となっており、統計的信頼性は高いといえる。各変数の符号条件は、シミュレーションの結果と比較して妥当性が確認された。

#### 4-3 モデルの検証

最後に、構築したモデルが、パラメータ推定に用いたサンプル以外のシナリオにも適用できることを確認する。このために、推定サンプルの範囲内で各変数を新たな条件に設定し、シミュレーションおよびTable 2で構築したモデルにそれぞれ入力して結果を比較した。今回、流入部Sの横断歩行者交通量を $x_1=400$ [ped/h]、S以外の各流入部の横断歩行者交通量を $x_2=400$ [ped/h]、Far-side率を $x_3=0.6$ として検証を行った。

(a)分離島あり・(b)なしのそれぞれについて、シミュレーション出力結果および本モデル推定結果をFig.6に示す。 $t$ 検定の結果、(a)、(b)どちらにつ

いても、95%信頼区間でシミュレーション出力結果とモデル推定結果の間に有意な差は見られず、本モデルがシミュレーション出力結果を良好に再現できることが確認された。

## 5. おわりに

本論文では、交通流シミュレーションによってさまざまな条件での流入車両のギャップアクセプタンス挙動を再現し、ラウンドアバウトの流入交通容量に横断歩行者が及ぼす影響について分析した。これにより、流出入部分離島を設置することで、歩行者の横断方向による交通容量低下を抑制できる可能性が示唆された。またこの結果をもとに、横断歩行者交通量・横断方向・分離島の有無を変数として、流入交通容量曲線を指数関数によってモデル化した。提案したモデルは、Near-side、Far-sideを問わず横断歩道端に横断歩行者が存在する場合に接近車両が停止することを前提としてシミュレーションのキャリブレーションを行い、得られた演算結果に基づいて環道交通量、横断歩行者交通量や分離島の有無、Far-side率などによって流入部交通容量が変化する傾向を示すことができた。しかしながら、実際の複雑な横断歩行者の挙動については十分検証を行っていないため、推定された流入部交通容量の絶対値については、観測データに基づいてさらに検証し確認を行う必要がある。

また今回は、特に対象流入部の分離島に着目して検証を行ったが、このほかにもさまざまな要因が流入交通容量に影響を及ぼしていると考えられる。

例えば、対象分離島以外の構造要因（例えば、横断歩道と流入線の距離、流入部間の距離、外径など）や、下流流入部の分離島の有無などによって、横断



歩行者が及ぼす影響がどのように変化するかは、今後さらなる精査が望まれる。また、筆者ら<sup>11)</sup>は、分離島なしの場合に、Far-sideからの横断歩行者に対して流入車両が行う停止判断のばらつきと流入交通容量の関係についても検証を進めている。これを反映させることで、より現実的な結果が得られると期待される。さらに、今回は実データに基づき仮定したクリティカルギャップなど、環道交通流による影響を示す値も、実際には外径や流入角度等の幾何構造による影響を受けることが推測される。

これらを総合的に考慮して、さまざまな構造条件、交通条件における流入交通容量を推定可能なモデルを構築することが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) Transportation Research Board : Highway Capacity Manual (HCM), Washington D.C., USA, 2010
- 2) Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen : Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Germany, 2005
- 3) Association of Australian State Road and Transport Authorities : Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6-Roundabouts, Sydney, Australia, 1993
- 4) Sigeloch, W. : Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung (Capacity calculations for unsignalized Intersections), Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Vol.154, 1973
- 5) Brilon, W., Stuwe, B. and Drews, O. : Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Kreisverkehrsplätzen (Safety and Capacity of Roundabouts). Research report. Ruhr-University Bochum, Germany, 1993
- 6) Tollazzi T., Lerher T. and Sraml M.: Simulation of the Pedestrians' Influence to the Capacity of Motorised Vehicles in a Roundabout, American Journal of Applied Sciences 5(1), pp.34-41, 2007
- 7) Duran, C. and Cheu, R.L. : Effect of crosswalk location and pedestrian volume on entry capacity of roundabouts, Proceedings of the 90th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C., 2011
- 8) 鈴木惇平、桑原雅夫、原祐輔「歩行者を考慮したラウンドアバウトの交通容量推定に関する研究」第47回土木計画学研究発表会、広島工業大学、2013年
- 9) VISSIM Vision 5.40 User Manual, 2012
- 10) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: An empirical analysis on critical gap and follow-up time at roundabout considering geometry effect, Proceeding of the 46th IP Conference, Saitama University, 2012
- 11) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: Estimation of roundabout entry capacity under the impact of pedestrians by applying microscopic simulation, Proceedings of the 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., 2014