

ラウンドアバウトの環道部外径が 流入交通容量に及ぼす影響に関する基礎検討

康 楠¹・真島 君騎²・後藤 梓³・中村 英樹⁴

¹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
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2(651))

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

²学生会員 名古屋大学大学院博士前期課程 工学研究科 社会基盤工学専攻 (同上)

E-mail: mashima@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)

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環道部外径の決定は、設計の最初の段階で行う重要な過程である。環道部外径の大きさはラウンドアバウト全体の大きさに直結し、必要な用地の広さのみならず流入交通容量にも関わってくると考えられるためである。今後わが国でラウンドアバウトを整備していく際には、環道部外径が流入交通容量にどのように影響を及ぼすかを明らかにする必要がある。本稿では、標準的な四枝のラウンドアバウトを対象としてマイクロシミュレーションを行うことで、環道部外径の大きさが流入交通容量に及ぼす影響について基礎的な検討を行ったものである。その結果、環道部外径が大きくなることに伴って流入交通容量が増加し、特に環道内速度が上昇する場合にはさらに上昇する傾向が示された。

Key Words : roundabout, entry capacity, inscribed circle diameter (ICD), microscopic simulation

1. はじめに

平成25年6月の道路交通法の一部改正により、環状交差点が正式に位置づけられその交通法規が定められるなど、わが国におけるラウンドアバウトへの関心は高まり、その導入が各地で検討・実施されつつある。ラウンドアバウトを導入するにあたっては、その適用条件として、対象交差点における交通需要を十分に処理できることが当然求められる。このため、ラウンドアバウトの流入交通容量の推定は、導入検討の初期段階における最も重要なステップの一つである。また、ラウンドアバウト導入に必要な用地がどの程度かを把握するためにも、その環道部外径(Inscribed Circle Diameter; ICD, 以下、外径と称す)を決定することは、用地制約が厳しい我が国においては極めて重要な関心事である。

外径が大きい場合、環道内の円曲線が緩やかになるため、環道車両が捌けやすくなることが考えられる。また、環道車両が流出口の横断歩行者にブロックされ滞留した場合にも、その影響が上流の流入部にまで及ぶ確率が低

くなくなると考えられる。これらの影響は、流入交通量に対しても作用すると予想されることから、ラウンドアバウト導入にあたっては、この作用を把握した上で、制約のある用地条件下でも必要な交通容量を十分確保できるかを検証することが重要である。しかしながら、ラウンドアバウトの外径が流入交通容量に対してどの程度感度があるかといった検証はこれまで充分行われておらず、定量的な知見も明らかでない。

そこで本稿では、ラウンドアバウトの外径の大きさが流入交通容量に及ぼす影響について、基礎的な知見を得ることを目的とする。我が国における限定された箇所のラウンドアバウトでは、実測に基づいてこの影響を分析することが困難であるため、マイクロ交通流シミュレータを用いて異なる外径のラウンドアバウトにおける交通流を再現し交通容量を観測することで、その傾向を分析する。

2. ラウンドアバウトの幾何構造と流入交通容量に関する既往研究

ラウンドアバウトの幾何構造と流入交通容量の関係を示したものとして、英国のラウンドアバウトガイドラインでも用いられているKimber and Semmens¹⁾のモデルがある。これは、英国における様々な幾何構造のラウンドアバウトにおける観測データに基づき、外径を含む幾何構造要素や交通条件に応じた流入交通容量を推定する線形回帰モデルである。本モデルによれば、ラウンドアバウトの外径が大きくなるにつれて、流入交通容量も増加することが表現されている。しかしながら、幾何構造条件や車両挙動特性の異なる英国でのモデルを日本でそのまま適用することには疑問が残る。

一方、著者ら²⁾は、ラウンドアバウトの交通容量に対して幾何構造が及ぼす影響に着目し、流入部分離島の有無によって横断歩行者交通の流入交通容量に与える影響が変化することを示した。しかし、国内におけるラウンドアバウト流入交通容量に関する知見はまだ限定的であり、今回対象とする外径による影響については検証されていないのが現状である。

3. 研究の手法

(1) ラウンドアバウト外径が流入交通容量に与える影響に関する仮説

本研究は、ラウンドアバウトの外径が大きくなると、以下の要因により流入交通容量が変化すると仮定する。

①環道内の線形が緩やかになることで、環道車両が捌けやすくなる。

②流入車両の環道車両交通に対するギャップパラメータが変化する可能性がある。

③環道内のスペースが増えることで、環道車両が流出口の横断歩行者にブロックされ滞留した場合にも、その待ち行列が上流の流入部にまで及ぶ確率が低くなる。

これらの要因が適切に再現できるよう、シミュレータの入力パラメータやシナリオ設定を行った上で、外径が流入交通容量に与える影響について分析を行う。

(2) 外径が環道内速度に及ぼす影響

外径が大きくなると、線形が緩やかになることで環道車両の走行速度が上昇すると考えられる。このため、シミュレーションを行う際には、環道車両の速度が外径に応じて適切に変化するよう入力パラメータを調整する必要がある。そこで本節では、外径の大きさが環道内速度に及ぼす影響について整理する。

a) 外径と環道内速度の関係式

アメリカのラウンドアバウトガイドライン策定のための研究報告書であるNCHRP Report 572³⁾には、設計段階においてラウンドアバウトにおける車両速度を推定するた

表-1 守山市立田町・飯田市吾妻町ラウンドアバウト構造の概要

	守山市立田町 (1回目)*	守山市立田町 (2回目)	飯田市 吾妻町
外径 [m]	27.0	27.0	41.0
環道幅員 [m]	4.0	5.0	5.0
エプロン幅員 [m]	2.5	3.0	3.0
中央島直径 [m]	12.0	9.0	25.0
枝数	4	4	5

*左側路肩幅と中央島施設帯が0.5[m]ずつ存在し、これらと環道・エプロン・中央島を合わせて外径27[m]となる。

めの式として、式(1a)、(1b)が示されている。

$$e=+0.02のとき; V = 8.7602R^{0.3861} \quad (1a)$$

$$e=-0.02のとき; V = 8.6164R^{0.3673} \quad (1b)$$

ここに、 V : 推定速度[km/h]、 R : 車両軌跡の半径[m]、 e : 片勾配(superelevation) [m/m]であり、 $e=+0.02$ は流入・流出部、 $e=-0.02$ は環道内を対象としたものである。

これらの式(1a)、(1b)は、もともと曲線区間を走行する車両速度を推定するための式(2)において、 el は各値に固定し、 f は車両速度とともに変化する経験的な値を用いることで描いた V と R の曲線を指数関数で近似したものである⁴⁾。

$$V = \sqrt{127R(e+f)} \quad (2)$$

ここに、 V 、 R 、 el は式(1a),(1b)と同様、 f : 横滑り摩擦係数(side friction factor)である。

式(2)は、曲線区間を円弧とみなした場合に車両にかかる遠心力 $F=mv^2/r$ を用いた力学的法則を考慮した場合に、車両が横滑りせずに走行できる最大速度を推定するものである。

式(1b)を用いて、車両走行軌跡の半径 R と速度 V の関係を描くと、図-3の黒線で示す曲線となる。一般に、ラウンドアバウトの外径を大きくすれば、環道車両の走行軌跡 R も大きくなるため、この関係は外径を大きくすることで環道車両の速度も大きくなることを示している。

b) 国内ラウンドアバウトにおける外径と環道内速度の実測値との比較

前述の通り、式(1b)による R と V の関係は、力学的法則を考慮した場合の最大速度を推定するものである。この値が、わが国のラウンドアバウトで実測される環道内速度と比較してどの程度妥当性があるかを検証するため、滋賀県守山市立田町⁵⁾と長野県飯田市吾妻町⁶⁾のラウンドアバウトにおいてこれまでに収集された観測データを用いて、外径と環道内速度の関係を調べる。

表-1に、守山市立田町⁵⁾および飯田市吾妻町⁶⁾のラウンドアバウトにおける環道部関係の幾何構造をまとめたものを示す。守山ラウンドアバウトについては社会実験期

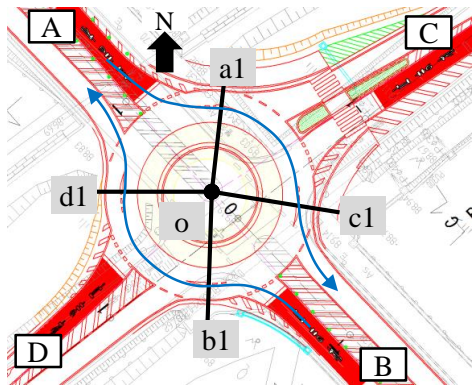


図-1 守山ラウンドアバウトにおける環道内速度測定断面および対象OD(1回目*)

*2回目の場合も測定断面と対象ODは同じ

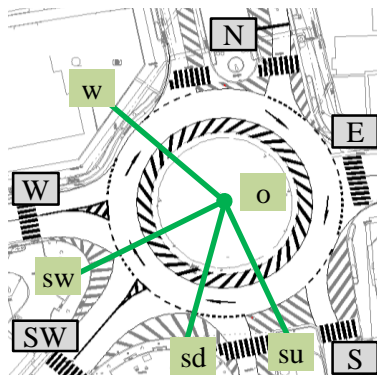


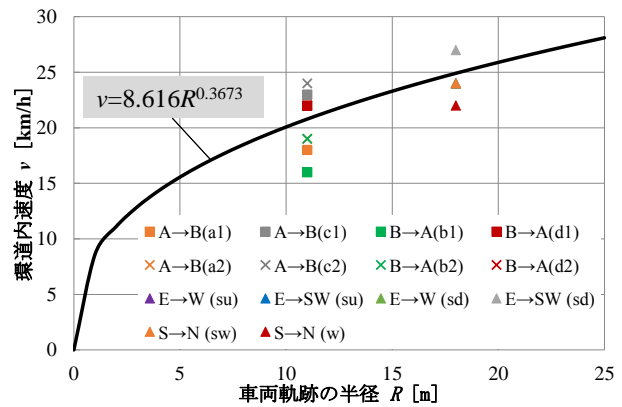
図-2 吾妻町ラウンドアバウトにおける環道内速度測定断面

間中に環道部の幾何構造を変更し、その前後二度にわたってデータ収集が行われた。

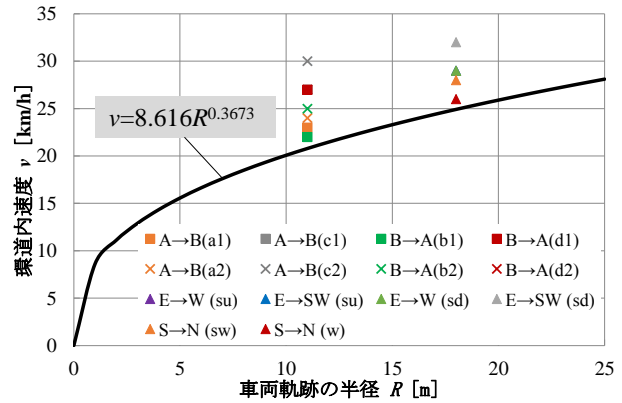
守山ラウンドアバウトおよび吾妻町ラウンドアバウトにおいて、環道内速度の計測を行った横断面および計測対象ODを、それぞれ図-1、図-2に示す。環道内速度の計測断面の名称は、原則として、横断面上流の流入部のアルファベット名称を小文字にすることで設定した。ただし、守山ラウンドアバウト(図-1)については、横断面名称の後に、観測1回目の場合は”1”，2回目の場合は”2”と付記した。また、吾妻町ラウンドアバウト(図-2)のS方向については観測横断面が2箇所あるため、上流側の断面を”su”，下流側を”sd”とした。

本来であれば、環道内で最も速度が高くなる横断面で車両速度を計測することが望ましいが、今回は過去の観測データの制約上、流入・流出部に近くその影響が大きいと予想される横断面におけるデータも含まれていることに注意が必要である。

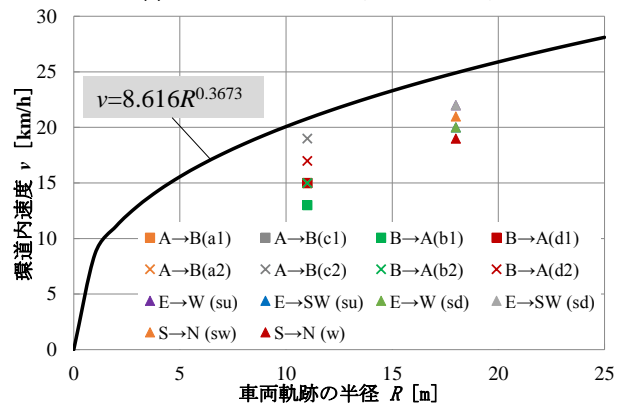
これらの横断面において実測された環道車両の走行軌跡の半径 R と速度 V について、式(1b)の推定曲線とともにプロットし、これらの比較を行った結果を図-3に示す。なお、実測値のプロットの凡例は「流入部名称→流出部名称(測定断面名称)」を示している。例えば、E→W(su)



(a) 中央値(守山, 吾妻町)



(b) 85パーセンタイル値(守山, 吾妻町)

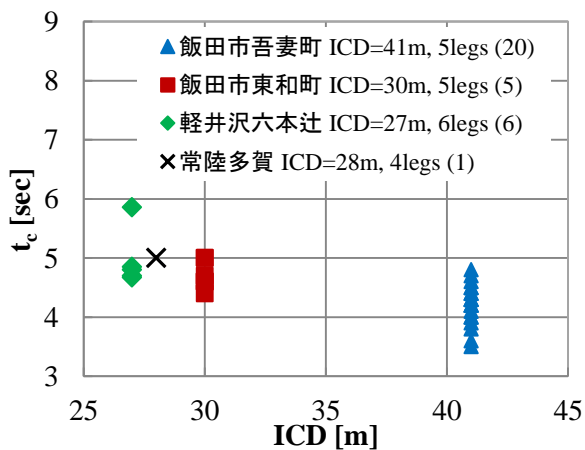


(c) 15パーセンタイル値(守山, 吾妻町)

図-3 車両軌跡の半径と環道内速度の関係

はEからWへ走行するODの環道内速度をsu断面において測定した値を表している。ただし、実測プロットの車両走行半径 R については、車両軌跡が不明のため、今回は全車両が環道中央軸上を走行すると仮定し、中央島の中心(図-1、図-2の点o)から環道中央軸の距離を用いた。

図-3(a), (b), (c)は、それぞれ各断面で実測された環道内速度の中央値、85パーセンタイル値、15パーセンタイル値を示す。これより、実測値が式(1b)による推定曲線の上下にプロットされており、車両軌跡の半径 R に伴う速度 V の上昇傾向も類似していることから、あたかも推定値が実測値の近似曲線であるかのようにみえる。なお、図-3(c)の環道内速度の15パーセンタイル値については、全実測値が推定値を下回り、逆に図-3(b)の85パーセンタ



()内は観測サンプル数を示す
 図4 外径ICDとクリティカルギャップ t_c の関係

イル値については、実測値が推定値を上回っている。

今回の観測では、横断面選定の制約上、流入・流出等の影響が含まれている可能性があり、また車両軌跡によるバラツキも考慮できていない。これらを原因として、実測値にも本来測定すべき値からの誤差があることを考慮すると、式(1a)の推定値は実態と比較して乖離が大きいとも言いがたい。従って4章では、環道内速度に関する入力パラメータについて、式(1a)を参考に決定することとする。

(3) 外径がギャップパラメータに及ぼす影響

3.(1)で述べた仮説②について、オーストラリアのラウンドアバウト指針⁷⁾によると、外径は環道交通流に対して流入車両が流入可能なクリティカルギャップ t_c にも影響を及ぼすことが示されている。そこで、図-4に飯田市吾妻町、同・東和町、軽井沢町六本辻、日上市常陸多賀駅前にあるラウンドアバウトの外径とクリティカルギャップの関係を示す。この結果をみると、外径が大きいほどクリティカルギャップは小さくなる傾向がわかる。

しかしながら、既往研究⁹⁾によるとクリティカルギャップは外径だけでなく、流入部の幅員や流入部どうしの交差角度、枝数といった他の構造要因からも大きく影響を受けることが分かっている。図-4に示した各ラウンドアバウトは、それぞれ枝数が異なっており、クリティカルギャップがこの影響を受けている可能性も無視できないと考えられる。加えて、クリティカルギャップやフォローアップタイムなど、各ラウンドアバウトにおいて観測されたデータのサンプル数が充分でない。

以上の理由より、現段階では外径とクリティカルギャップの関係について結論づけることが困難である。そこで今回は、ギャップパラメータについては外径が及ぼす影響を考慮しないこととする。

(4) 流出口横断歩行者による影響

3.(1)仮説③については、流出口横断歩行者が存在する場合としない場合の2通りのシナリオを設定し比較する。

4. 交通流シミュレータを用いた流入交通容量の検証

本研究では既存の交通流シミュレータVISSIM5.40⁷⁾を用いてラウンドアバウト交差点内における交通流の再現を行う。著者ら⁹⁾は、既往研究でも同様にVISSIMを用いてラウンドアバウト流入交通容量の影響要因に関する検証を行っている。本稿におけるシミュレーションのパラメータや基本となるシナリオ設定は、この既往研究⁹⁾との整合性を保つものとする。

(1) シナリオ設定

本稿では、外径が交通容量に及ぼす影響を分析するため、外径の異なる2種類のラウンドアバウトを設定する。それぞれの外径の値は、守山、吾妻町を参考に27[m]、41[m]とする。このうち、外径27[m]のシナリオは、既往研究⁹⁾で用いているものと同じである。外径以外の幾何構造については、外径27[m]、41[m]どちらの場合も既往研究⁹⁾と統一する。これについては4.(2) a)で概説する。

a) 環道内速度の変化の再現

3.(1)の分析が示すように、外径を大きくすると環道内速度が上昇する傾向があり、この傾向は式(1a)の関係式である程度妥当に推定することができると考えられる。今回は、外径27[m]のラウンドアバウトについては、図-3の推定曲線を参考に20[km/h]、外径41[m]のラウンドアバウトについては、速度上昇を考慮せず20[km/h]のままのシナリオと、速度を25[km/h]に上昇させるシナリオの2つを用意し、環道内速度の変化による感度を検証する。

これらの速度値は、シミュレータ上で環道内を走行する車両速度分布の平均値である。

b) 流出口の横断歩行者

3.(3)に述べた通り、流出口の横断歩行者が存在する場合としない場合の2通りを設定し、流出口の横断歩行者のブロックによる流入交通容量低下が、外径によりどう変化するかを比較する。流出口歩行者ありの場合の歩行者交通量は200[ped/h]とする。

以上をまとめると、検証するシナリオは、外径と環道内速度の設定の組み合わせによって3種類×流出口の横断歩行者があり/なしの2種類の計6種類である。

(2) 入力パラメータ設定

前述の通り、外径、環道内速度、歩行者交通量以外の入力パラメータについては、すべて既往研究⁹⁾と同様のものを用いた。以下にそれらを概説する。

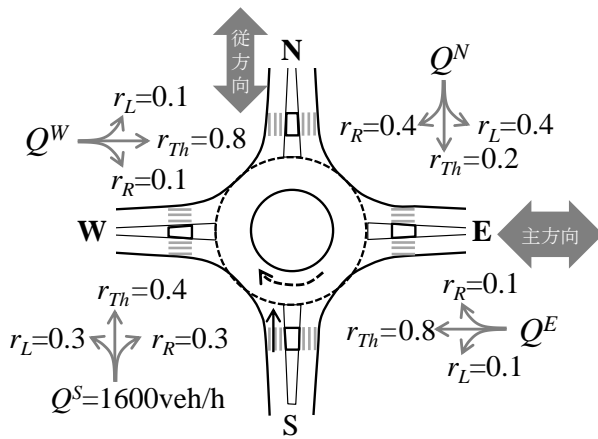


図-5 車両の流入部別交通量と左右折直進率

a) 外径以外の幾何構造

4枝すべての流入部について、環道幅員5[m]，流入部の幅員3.5[m]，横断歩道から譲り線までの間隔5[m]とした。流出入部分離島は，4枝全てに設置されているものとする。

b) 車両交通量

車両交通量の設定は既往研究⁹⁾と同様に，図-5に示す通りとする。流入交通容量を観測する対象は，流入部Sとする。外径の大きさの変化による影響の検証は，対象流入部Sのみで行うこととする。

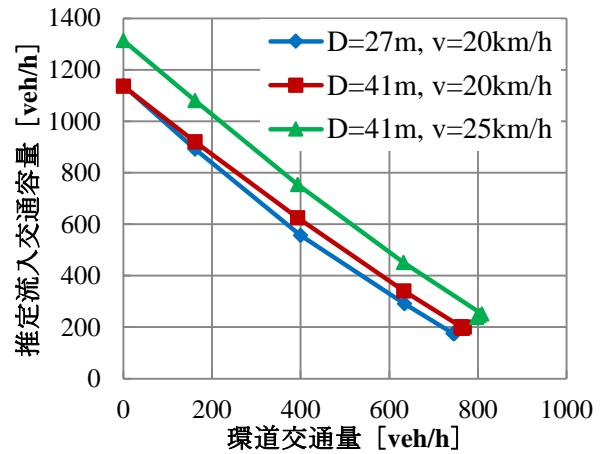
c) 横断歩行者交通量

既往研究⁹⁾で示したとおり，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。そこで歩行者交通は，本研究の仮説に妥当性があるかを検証するため，図-5の下流流出部Wにおいてのみ設定した。横断歩行者交通量は200[ped/h]で，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(Far-sideと定義)からの歩行者交通量が占める比率(Far-side率)は0.5とした。本研究の分析では，外径の影響に着目するため，対象流入部における横断歩行者交通はないものとした。以上のように横断歩行者交通量に関して2つのシナリオを用意し，西流入部においては，0[ped/h]と200[ped/h]の歩行者交通があるとシナリオをそれぞれ設定した。

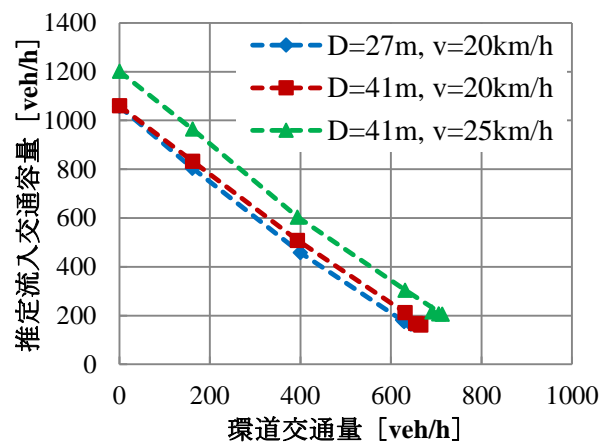
d) ギャップパラメータ

3.(2)で述べた通り，今回は外径の大小に関わらずギャップパラメータは一定であるとする。著者らによる既往研究¹⁰⁾の分析結果などから，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得られている4.50[sec]を今回のクリティカルギャップ値とした。フォローアップタイム t_f と最小車頭間隔 τ 設定手順については，既往研究⁹⁾を参考されたい。

(3) 分析結果



(a) 横断歩行者交通がない場合



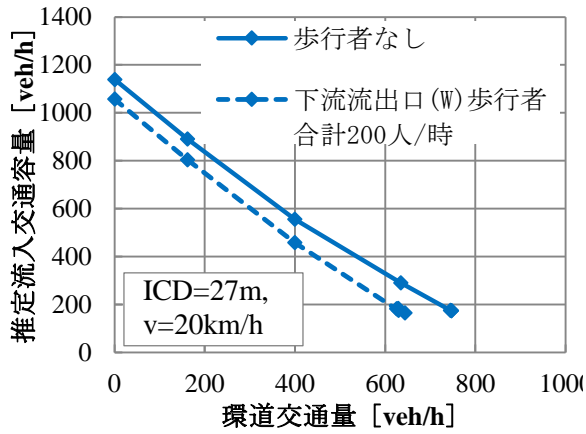
(b) 横断歩行者交通がある場合

図-6 環道交通量と流入交通容量の関係

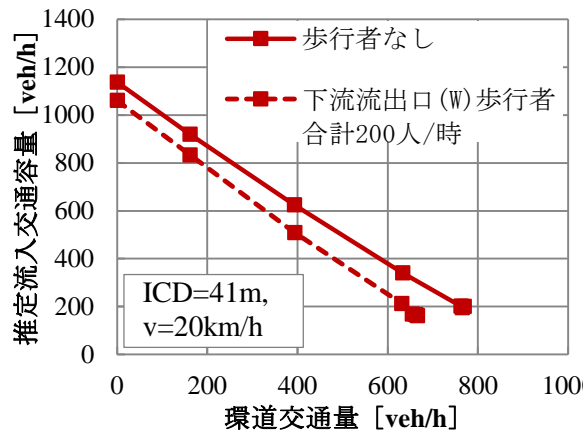
設定した6つのシナリオについてシミュレーションを行い，環道交通量と流入交通容量の関係を得た。本節ではこれらと比較することで，外径による影響を検証する。

a) 外径および環道内速度による影響

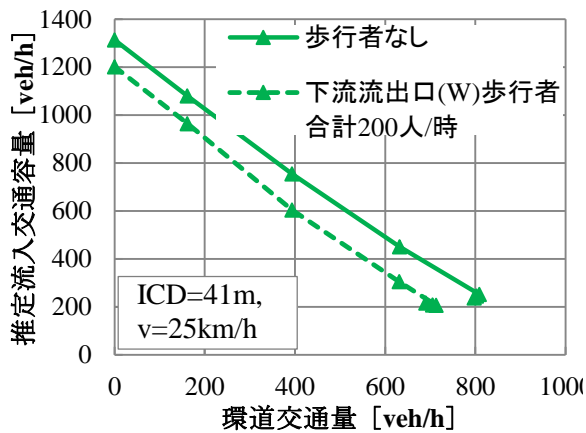
外径および環道内速度による影響を比較した結果を図-6に示す。まず，環道内速度は変化せずに外径だけ27[m](図中青線)から41[m](赤線)に変わる場合，流入交通容量はわずかに大きくなっている。大きな外径にすることは環道をゆとりをもって設計でき，環道を走行する車両はよりスムーズに通過することができる。これが環道を通行する車両の到着パターンを変化させ，流入交通容量の向上にもつながったと考えられる。また，外径41[m]で環道内速度が20[km/h]から25[km/h]に上昇すると(図中緑線)，流入交通容量はさらに増加する結果となった。これは，シミュレータ上において，高い環道内速度が流入車両のフォローアップタイムを短縮させ，ある1つのギャップに対して，より多くの車両が環道に流入できるためである可能性があるが，これについては今後さらなる精査が必要である。



(a) 外径27m, 環道内速度20km/hの場合



(b) 外径41m, 環道内速度20km/hの場合



(c) 外径41m, 環道内速度25km/hの場合

図-7 下流流出口横断歩行者による影響

b) 流出口横断歩行者による影響

図-7はそれぞれ(a) 外径27[m]で環道内速度20[km/h]の場合、(b) 外径41[m]で環道内速度20[km/h]の場合、(c) 外径41[m]で環道内速度25[km/h]の場合において、流出部Wの横断歩行者なしの場合(実線)とありの場合(破線)を比較したものである。従来の知見通り、(a)、(b)、(c)のいずれについても、歩行者ありの場合(破線)の場合には歩行者なしの場合(実線)と比べて、流入交通容量が低下している。これは、流出口横断歩行者によって環道内から流出しようとする車両がブロックされ、滞留した車両の待ち行列

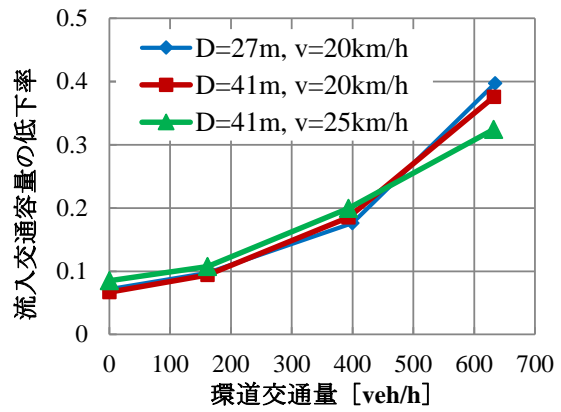


図-8 流出口横断歩行者による流入交通容量の低下率

が環道内にまで延伸し、流入できなくなるためである。

このような流出口横断歩行者による流入交通容量の低下率を、(歩行者なしの場合の交通容量) - (歩行者ありの場合の交通容量) ÷ (歩行者なしの場合の交通容量) によって求め、外径および環道内速度の違い(図-7(a), (b), (c))を図-8で比較した。流入交通容量低下率が大きいほど、流出口横断歩行者による負の影響が大きいことを意味する。

図-8では、環道交通量が比較的少なく400[台/h]を下回る状況下では、流入交通容量低下率は各シナリオ間においてほとんど差がない。しかし、環道交通量が400[台/h]以上になったあたりから、外径41[m]で環道内速度が25[km/h]のシナリオ(緑線)の流入交通容量低下率が小さくなっている。これは、環道内に車両が滞留するスペースが増えたこと(3.(1)仮説③)に加えて、環道内速度が高くなったことで、流出口横断歩行者によりブロックされ滞留していた車両がより速く捌けようになったためと考えられる。これらより、外径が大きく、環道内速度が高いほど、横断歩行者の有無による影響を少なくできる可能性があることがわかった。

5. おわりに

(1) 結論

本研究では、ラウンドアバウトの外径の大きさが流入交通容量に及ぼす影響について、シミュレータを用いて分析を行った。今回の分析では、外径を大きくすると、流入交通容量はわずかに増大すること、外径の増大に伴って環道車両速度も上昇した場合、さらに流入交通容量が増大することが示された。また、外径が大きく環道内速度も高い場合、下流流出部の横断歩行者が及ぼす流入交通容量の低下を抑えられる可能性があることが示唆された。

(2) 今後の課題

本研究では、外径の大きさの変化による流入交通容量

を推定するために、影響要因として外径に加え、歩行者交通のみを考慮した。しかしながら、外径が大きくなると流入交通容量が大きくなるメカニズムの詳細については、今後精査が必要といえる。また、今回はギャップパラメータの変化を考慮しなかったため、これについても検討することが望ましい。

また、歩行者交通量を1時間あたり200人としてのみ行った。それゆえ、環道内速度が等しいとき、外径の大きさに伴う推定流入交通容量にあまり感度が表れなかったのかもしれない。今後は、歩行者交通量がより大きい場合についても検証を試みる必要があるといえる。

謝辞

本研究を行うにあたり、(株)オリエンタルコンサルタツの神戸信人氏には、貴重なデータを提供して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Kimber, R.M. and Semmens, M.C. : A Track Experiment on the Entry Capacities of Offside Priority Roundabouts., *TRRL Supplementary Report 334*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 1977.
- 2) Kang, N., Nakamura, H. and Iryo-Asano, M.: Estimation of Influencing Factors on Roundabout Capacity at Entry with Crosswalk, *Proceedings of Infrastructure Planning*, No.49, 8 pages in CD-ROM, 2014.6.

- 3) Transportation Research Board: Roundabouts in the United States, *NCHRP Report 572*, Washington, D.C., 2007.
- 4) American Association of State Highway and Transportation Officials. (AASHTO) : *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington, D.C., USA, 2004.
- 5) 守山市ラウンドアバウト協議会 : 平成25年度郊外4枝交差点の事故防止を目的とした守山市ラウンドアバウト社会実験 報告書概要版, 2014.
- 6) 中野祥平, 中村英樹, 浅野美帆 : 飯田市ラウンドアバウト実道実験における車両挙動の前後比較分析, 土木計画学研究・講演集 No.43, 5 ページ, CD-ROM, 2011.
- 7) AUSTRROADS : *Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6-Roundabouts.*, Sydney, Australia, 1993.
- 8) VISSIM Vision 5.40 User Manual, 2012.
- 9) 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, 国際交通安全学会誌 *IATSS Review*, Vol.39, No.1, pp.56-64, 2014.
- 10) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: An Empirical Analysis on Critical Gap and Follow-up Time at Roundabout Considering Geometry Effect, *Proceedings of Infra-structure Planning*, No.46, 8 pages in CD-ROM, 2012.

(2014.8.1受付)

A Fundamental Analysis on the Impact of Roundabout Inscribed Circle Diameter on Entry Capacity in Japan

Nan KANG, Kiminori MASHIMA, Azusa GOTO and Hideki NAKAMURA