

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289163

研究課題名(和文) 歩行者・自転車を考慮したラウンドアバウトの性能評価に関する研究

研究課題名(英文) A study on roundabout performance evaluation considering pedestrians

研究代表者

中村 英樹 (Nakamura, Hideki)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：10212101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ラウンドアバウトにおける流入交通容量を横断歩行者や自転車などの利用者との交錯を考慮して定量的に評価するための手法の開発を目的とする。日本におけるラウンドアバウトの各種条件が流入交通容量に与える影響についてシミュレーション分析を行い、それらの結果を用いて流入交通容量を推定する重回帰モデルを構築した。そして、これを軽井沢町六本辻ラウンドアバウトで観測されたデータを用いて検証するとともに、既往の手法との比較を行った。その結果、提案する手法では高い精度で各種条件における流入交通容量を推定可能であるのに対して、既往の方法では過大推計となることが示された。

研究成果の概要(英文)：This study aims at developing a methodology for entry capacity estimation of roundabouts in Japan considering conflicts between pedestrians and vehicles. Simulation analyses were carried out with respect to impacts of geometry and user behavior conditions that are typical in Japan on entry capacity, and by using their results a multiple regression model for entry capacity estimation was developed. The model was validated with data observed at Roppontsuji roundabout in Karuizawa, Nagano. It was found that the estimation performance of the proposed model was very satisfactory while the existing methodology overestimates the capacity.

研究分野：交通工学

キーワード：ラウンドアバウト 交差点 交通容量 歩行者 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

平面交差点は、一般道路の中でも安全性・円滑性の両面において極めて重要な箇所である。近年海外で導入の進むラウンドアバウトは、交通量が比較的少ない場合において、これら双方の解決に極めて有効とされており、国内でも一部導入が始まっている。しかし、都市部における立地が極めて稠密で、歩行者や自転車と自動車との錯綜が頻発する日本の道路では、歩行者や自転車を考慮した上で望ましい設計方式を検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、ラウンドアバウトにおいて、歩行者等の多様な利用者を考慮した性能評価手法を提案し、これに基づき、ラウンドアバウトの設計案を選択するための指針を提示することを目的とする。

3. 研究の方法

まず、既往の交通容量の推定方法についてレビューを行うとともに、横断歩行者や分離島の有無などの道路構造を考慮した交通容量推定手法について検討を行った。このとき、理論的定式化を試みる一方で、交通流シミュレータを用いてラウンドアバウトの交通容量状態の再現を行った。交通容量の推定に際して必要となるクリティカルギャップやフォローアップタイムなどの車頭時間パラメータや各種挙動に関わるデータについては、国内のラウンドアバウトにおいて観測された実測値を用いた。なお、自転車については十分な観測サンプル数が得られなかったため、今回は横断歩行者に含めて考えることとした。これらの結果に基づき、歩行者や道路構造の影響を考慮した実用的なラウンドアバウトの交通容量の推定式を提案し、研究成果として全体のとりまとめを行った。

4. 研究成果

(1)ラウンドアバウト流入交通容量推定手法の検討

ラウンドアバウトの流入交通容量の推定手法は、幾何構造や交通量と実測交通容量の関係に回帰モデルを適用して推定したマクロモデルと、ギャップアクセプタンス理論に基づくミクロモデルに大きく分けることができる。

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、今回は式(1)に示すドイツで適用されているミクロモデルを補正することで、横断歩行者などの影響を考

慮した流入部*i*における交通容量*c_i*を推定するモデルを検討することとした。

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

ここに、*q_{ci}*: 流入部*i*正面の環道車両交通量 [pcu/h], *t_c*: 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 [sec], *t_f*: フォローアップタイム [sec], *τ*: 最小環道車頭時間 [sec] である。

(2)交通流シミュレーションによる交通容量の推定

(1)の式を補正することで一般的な交通容量推定式を求めるためには、横断歩行者や分離島の有無などの様々な状況を考慮し、その時の各パラメータと流入交通容量の関係を知る必要がある。

そこで、一般的な4枝ラウンドアバウトの流入交通容量の推定方法を確立するために、図1に示すような4枝で外径*D*=27mの仮想標準ラウンドアバウトを対象として、交通流シミュレーションVISSIMを用いて様々な幾何構造条件や交通条件における交通容量分析を行った。本分析でのシミュレーション適用に際しては、飯田市東和町の観測データに基づき、車両・歩行者速度のキャリブレーションを行っている。

① 車両交通量

車両交通量は、流入部別(S/N/E/W)・方向別(直進/右折/左折)に設定した。EW方向を主方向、NS方向を従方向とし、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。流入交通容量を対象流入部*S*で観測するため、飽和状態となるよう*Q_S*=1,600[台/時]を上流端から発生させた。各流入部の右折左折率を、表1に示す。設定する流入部別・方向別の比率を一定に保ちつつ、交通量を変化させることによって、様々な環道交通量が再現できる。対象流入部*S*に正対する環道交通流は、流入部*N*から流入する右折交通量*r_RQ_N*と、流入部*E*から流入する直進交通量及び右折交通量(*r_{Th}*+*r_R*)*Q_E*で構成される。

② 横断歩行者交通量

対象流入部の横断歩行者だけではなく、下流流出部の横断歩行者も、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した。本研究では、*S*以外の流入部*N*, *E*, *W*について、一律の横断歩行者交通量を仮定した。歩行者は流入車両のドライバーから見て右側(以下、*Far-side*)と左側(同、*Near-side*)から発生させた。日本の状況を考慮し、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, 50, 100, 200[人/時]の4段階を想定した。

③ 車両のギャップパラメータ設定

国内複数箇所における実測データ分析の結果、日本のラウンドアバウトにおけるギャップパラメータの一般的な値として、 $t_c=4.5[\text{sec}]$, $t_f=3.2[\text{sec}]$, 並びに $\tau=2.2[\text{sec}]$ を得た。

④ 横断歩行者のギャップパラメータ設定

本研究では、流入車両が環道交通流に合流する挙動と歩行者交通流を通過する挙動が独立であることを仮定し、歩行者交通流を通過するフォローアップタイム t_{f_ped} を環道交通流に合流する t_f の値と同様に $t_{f_ped} = t_f = 3.2[\text{sec}]$ と設定した。

横断歩行者のクリティカルギャップ t_{c_ped} は、歩行者に対して譲る挙動、及び分離島の有無によって異なる。「譲る」挙動に対してのクリティカルギャップの値は、歩行者が横断歩道に進入しようとした際に、流入車両が必ず停止するように調整して設定した。分離島ありの場合は、Far-side歩行者とは分離島上の歩行者を意味するため、歩行者の進行方向に関わらず、流入車両が歩行者に譲るようにクリティカルギャップ値を設定する。一方、「譲らず」挙動については、分離島がなく、かつFar-side歩行者の場合のみに発生すると仮定し、Far-side歩行者が横断歩道の半分の位置まで進入したときに、流入車両が必ず停止するように調整して設定した。歩行者クリティカルギャップ t_{c_ped} の入力値を表2に示す。

⑤ 設定シミュレーションシナリオ

シミュレーション分析で設定するシナリオは、環道交通量：0~1,200[台/時]、200[台/時]、対象流入部の歩行者交通量、下流流出部の歩行者交通量、分離島の有無、横断歩行者のFar-side率、Far-side歩行者に譲る率(FPYR)の合計3,150の組み合わせである。これらのシナリオについてpre-runを含めて75分間の演算を10回行い、求められた時間交通容量の平均値をシミュレーションによる代表値として用いることとした。

⑥ 横断歩行者による影響

横断歩行者交通量、横断方向、分離島の有無が、流入交通容量に与える影響を分析した。上記の様々なシナリオについて、シミュレーションによって得られた流入交通容量曲線を図2に示す。ここで、 c は流入部Sの流入交通容量である。横断歩行者が増加するほど、流入交通容量 c が減少する結果となっている。また、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、車両の待ち時間が短くなるため、流入交通容量が増加することもわかった。

(3) 流入交通容量推定のための重回帰モデル

本研究では、流入交通容量に対する影響要因として、前回の分析で用いた流入部および流出部における横断歩行者交通量、分離島の

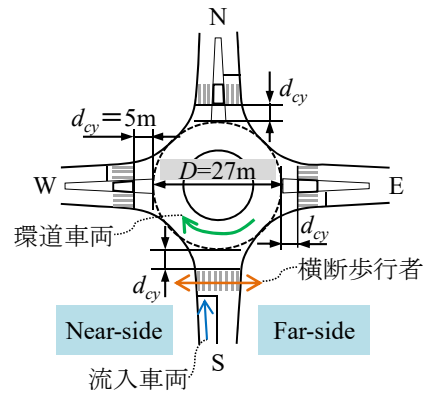


図1 対象ラウンドアバウトの構造

表1 仮定した各流入部の右左折率

流入部	主方向/ 従方向	右左折率 r		
		左折L	直進Th	右折R
S	対象流入部	0.4	0.2	0.4
N	従方向			
E	主方向	0.1	0.8	0.1
W				

表2 歩行者クリティカルギャップ [sec]

歩行者 進入方向	分離島あり		分離島なし	
	譲る	譲らず	譲る	譲らず
Far-side	6.2	10.5	6.2	
Near-side		6.2	/	

有無に加えて、Far-side歩行者に譲る率FPYRを考慮した重回帰モデルを推定する。図2より、(a)横断歩行者が増加するほど、また(c)分離島がない場合にはFar-side率が高い方が、流入交通容量 c が減少する結果となっている。(d)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、車両の待ち時間が短くなるため、流入交通容量が増加する。

式(1)を展開することにより、環道交通量と流入交通容量の関係は、式(2)のような2つの指数関数を合成したものとして表せる。

$$c = A \exp(-Bq_{cir}) - Cq_{cir} \exp(-Bq_{cir}) \quad (2)$$

いま、式(2)に横断歩行者による影響を導入するため、図2の各曲線の位置・形状を決定する係数 A, B, C を被説明変数として各種要因によりモデル化する。ここでは、式(2)の係数 A, B, C が、それぞれ式(3)~(5)で示す線形重回帰式で表されるものとする。

$$A = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_4 \quad (3)$$

$$B = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 \quad (4)$$

$$C = \gamma_0 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 + \gamma_3 x_3 + \gamma_4 x_4 \quad (5)$$

ここに、 x_1 :対象流入部Sの横断歩行者交通量[人/時], x_2 :下流流出部Wの横断歩行者交通量[人/時], x_3 :対象流入部SのFar-side率であり, x_4 :対象流入部SのFar-side歩行者に譲る率FPYR, $\alpha_0\sim\alpha_4, \beta_0\sim\beta_4, \gamma_0\sim\gamma_4$ はいずれもパラメータである. なお, モデルの説明変数である $x_1\sim x_4$ は互いに独立とする.

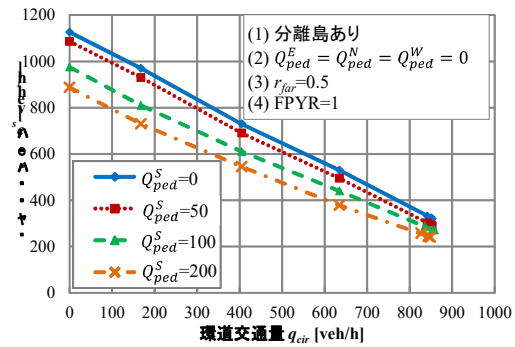
シミュレーションで推定された結果を用い, 式(2)に整合するように, 重回帰分析を用いて A, B, C を推定した. これより, 一つの流入交通容量推定曲線に対し, 一組の A, B, C の推定値が得られることになる. 推定式の重相関係数については, いずれも $R^2>0.99$ の結果が得られている. 推定された A, B, C の値を式(3)~(5)の線形重回帰式で表すため, 最小二乗法によるパラメータ推定を行った. 得られた推定式について, 軽井沢町六本辻ラウンドアバウトにおいて観測された交通容量状態のデータを用いて検証を行ったところ, 横断歩行者の影響による交通容量低下の状況を良好に再現していることが確認できた.

(4)知見と課題

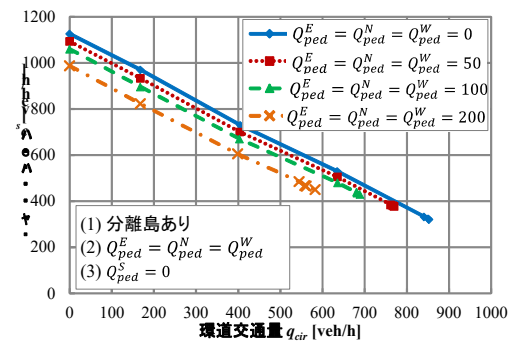
本研究では, 交通流シミュレーションによって様々な条件での流入車両のギャップアクセプタンス挙動を再現し, ラウンドアバウトの流入交通容量に横断歩行者が及ぼす影響について分析した. 流出入口分離島の有無, 横断歩道と流入線間の間隔, 横断歩行者に譲る率や下流流出部の横断歩行者交通量を影響要因として考慮した. これにより, 流出入口に分離島を設置することによって, 歩行者の横断方向及び譲る率が流入部交通容量に与える影響が異なることを定量的に示した. この結果の一部は, 2016年に(一社)交通工学研究会から出版された「ラウンドアバウトマニュアル」に掲載されることとなった.

そして, この結果をもとに, 各種条件における流入交通容量を推定する重回帰モデルを構築した. また, 既存の推定方法(HCM f_{ped} 補正係数)を用いると, 流入部交通容量を大幅に過大推計することとなり, 日本の状況にこれをそのまま適用することは適当でないことがわかった.

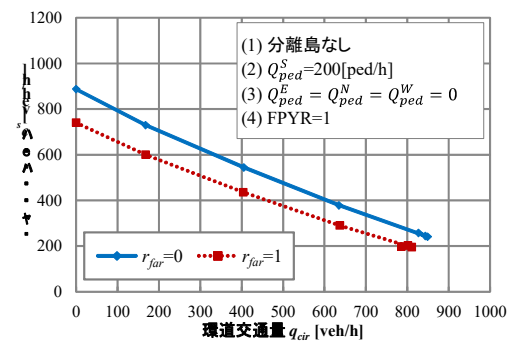
一方, 提案モデルによる推定誤差の要因としては, 重回帰モデルの作成環境と交通容量値を観測したラウンドアバウトにおける実環境との違いによることが考察された. 例えば, 流入枝間の角度などの幾何構造, 主従方向交通量比率と流入部の右左折率による環道交通流構成, FPYRの入力値, などが考えられる. 今後は, これらの点を考慮して, 今回扱った正十字の標準形とは異なる幾何構造条件や各種交通条件における流入交通容量を推定可能なモデルとして改良を行うことが課題である.



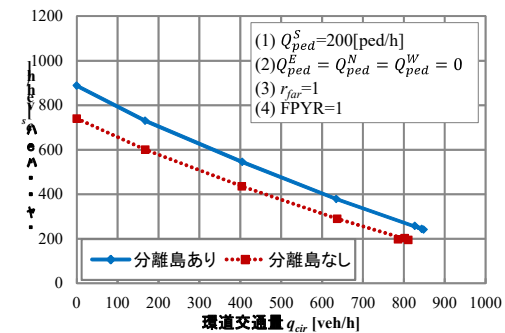
(a) 対象流入部Sの横断歩行者による影響



(b) 下流流出部の横断歩行者による影響



(c) Far-side率 r_{far} による影響



(d) 分離島による影響

図2 各影響要因と流入交通容量曲線

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- 1) 神戸信人・尾高慎二・康 楠・中村英樹・森田紳之：日本におけるラウンドアバウトの実測最大交通量と交通容量の分析，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.71，No.5，pp.I_889-I_901，2015.12. 査読有
- 2) 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.19-28，2015.10. 査読有
- 3) Kang, N. and Nakamura, H.: Estimation of Roundabout Entry Capacity That Considers Conflict with Pedestrians, Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, No.2517, pp.61-70, 2015.9. 査読有
- 4) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: Estimation of Roundabout Entry Capacity Under the Impact of Pedestrians by Applying Microscopic Simulation, Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, Vol.2461, pp.113-120, 2015.3. 査読有
- 5) Kang, N. and Nakamura, H.: An Estimation Method of Roundabout Entry Capacity Considering Pedestrian Impact, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol.138, pp.460-469, 2014.8. 査読有
- 6) 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, 2014.5. 査読有

[学会発表] (計8件)

- 1) Kang, N., Kanbe, N., Nakamura, H. and Odaka, S.: Development and Validation of a Roundabout Entry Capacity Model Considering Pedestrians under Japanese Conditions, Proceedings of the 11th International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), 16 pages, Cebu, Philippines, 2015.9.11-13.
- 2) Kang, N. and Nakamura, H.: Estimation of Roundabout Entry Capacity Considering Conflict with Pedestrians, 94th Transportation Research Board Annual Meeting, 21 pages, Washington, D.C., 2015.1.11-15.
- 3) 康 楠・真島君騎・後藤 梓・中村英樹：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的検討，

土木計画学研究・講演集No.50, 7ページ, 第50回土木計画学研究発表会, 鳥取県, 2014.11.2.

- 4) 神戸信人・尾高慎二・中村英樹・森田紳之：ラウンドアバウトの実測交通量に関する分析，土木計画学研究・講演集No.50, 6ページ, 第50回土木計画学研究発表会, 鳥取県, 2014.11.2.
- 5) Kang, N., Nakamura, H. and Iryo-Asano, M.: Examination of Influencing Factors on Roundabout Capacity at Entry with Crosswalk, Proceedings of Infrastructure Planning, No.49, 8 pages, 第49回土木計画学研究発表会, 宮城県, 2014.6.8.
- 6) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: Estimation of Roundabout Entry Capacity under the Impact of Pedestrians by Applying Microscopic Simulation, 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, 17 pages, Washington, D.C., 2014.1.12-16.
- 7) Kang, N., Nakamura, H., Chen, P. and Asano, M.: Simulation Analysis of Entry Capacity at Single-lane Roundabout Considering Pedestrian Impact, Proceedings of the 10th International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 12 pages, USB, Taipei, Taiwan, 2013.9.9-11.
- 8) Kang, N., Nakamura, H. and Asano, M.: Estimation of Roundabout Entry Capacity Considering Impact of Pedestrians by Applying Microscopic Simulation, Proceedings of Infrastructure Planning, No.47, 8 pages, 第48回土木計画学研究発表会, 広島県, 2013.6.2.

[図書] (計1件)

- 1) 中村英樹，一般社団法人 交通工学研究会，ラウンドアバウトマニュアル，2016，pp.3-31.

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 英樹 (NAKAMURA HIDEKI)

名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号：10212101

(2)研究分担者

井料(浅野) 美帆 (IRYO-ASANO MIHO)

東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号：80469858

(3)連携研究者

鈴木 弘司 (SUZUKI KOJI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30362320