

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15118

研究課題名（和文）ラウンドアバウト幾何構造の安全性能評価ツールの開発

研究課題名（英文）Development of a safety performance evaluation tool for roundabout geometric design

研究代表者

吉岡 慶祐（YOSHIOKA, Keisuke）

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：30755541

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：国内3箇所のラウンドアバウトにおいて無人航空機による走行挙動調査を実施し、ラウンドアバウトの幾何構造条件から走行挙動を推定するためのモデリングを行った。また、ラウンドアバウトにおける衝突の起きやすさと、仮に衝突したときの重度を危害の程度の両方を考慮したリスク指標を提案し、走行挙動モデルに基づいて算出した。さらに、リスク指標と幾何構造条件の関係性についての感度分析と定式化を行い、幾何構造条件を入力することでリスク指標が算出される幾何構造評価フォームを試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的に交差点の安全性能は、事故データ等の統計データに基づいて分析されるが、本研究で提案する評価指標は、幾何構造条件のみから安全性能を客観的に評価するものである。安全性能の評価指標として、衝突の起きやすさと、仮に衝突したときの重度を危害の程度の両方を考慮したリスク指標を提案し、これを幾何構造条件から推定するための定式化をした。この評価手法は、実際の事故データとの関係性については課題が残るものの、実務の幾何構造設計における評価や判断基準の根拠になり得るものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Driving behavior survey by the unmanned aerial vehicle at three roundabouts and modeling to estimate driving behavior based on the geometric conditions of the roundabout are conducted. A risk index accounting for both the likelihood of collision and the severity of collision was proposed and calculated based on the driving behavior model. Furthermore, sensitivity analysis and formulation of the relationship between the risk index and geometric conditions were conducted, and a prototype evaluation form was developed in which the risk index is calculated by inputting the geometric conditions.

研究分野：交通工学

キーワード：ラウンドアバウト 幾何構造 安全性能 設計 リスク

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ラウンドアバウトは、信号交差点や一時停止交差点に代わる新たな平面交差点の制御方式である。安全性の向上・円滑性の向上が期待されるほか、停電時も自律的に機能するなど災害にも強い交差点として注目されており、近年全国各地で導入が検討されている。警察庁の資料によると、ラウンドアバウト（道路交通法で環状交差点の指定を受けたもの）の導入箇所数は、2015年3月時点の15都府県43箇所から、2018年3月末時点で27都府県75箇所と右肩上がりに増加している。導入箇所はさらに増加傾向にあり、今後はこれまでに導入の経験がなかった地域へも展開していくことが想定される。ラウンドアバウトでは信号による制御を行わないため、幾何構造設計が走行挙動（速度・走行軌跡）に大きく影響する。すなわち、幾何構造設計が適切に行われることではじめてラウンドアバウト本来の安全性能が発揮されると言い換えることもできる。一方、実務設計の現場では、用地等の様々な制約条件の中での検討が求められ、複数の検討案を比較評価する必要性がしばしば発生する。しかし、客観的にラウンドアバウトの安全性能を評価する方法を持ち合わせておらず、最適な幾何構造設計を実現するうえでの課題となっている。これに対し、申請者は実務での幾何構造設計における活用を念頭に、幾何構造から安全性能を評価するための手法について検討してきた。しかし、わが国ではラウンドアバウトの導入経験が乏しく、事故に関するデータも十分に蓄積されていないことから、幾何構造と安全性能の関係性については明らかになっていない現状にある。そこで本研究では、事故データを必要としないで幾何構造のみから客観的に安全性能を評価するアプローチを検討しており、その評価手法の過程で必要となる走行挙動を推定するためのモデルの構築に関して先行して研究を進めてきた。しかし、走行挙動モデルの精度や適用範囲、さらには安全性能を評価するための指標の導入について検討課題が残存しており、上記で述べたような評価方法の確立には至っていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ラウンドアバウトの幾何構造から安全性能を評価する方法を構築し、さらには実務設計の場面において活用可能な幾何構造設計の評価ツールを開発することにある。この目的を達成するために、これまでに申請者が検討を進めてきたラウンドアバウトの安全性能を評価するための評価指標モデルの精度向上、適用範囲の拡大を図るための調査・分析を進めるものとする。加えてこれらの結果を活用し、実務における幾何構造設計を支援するためのラウンドアバウト幾何構造評価ツールの開発も試みる。

3. 研究の方法

(1) 走行挙動調査

走行挙動のモデリングをするためのデータの取得のため、国内で供用されているラウンドアバウトの中から調査箇所を選定する。調査箇所の要件として、幾何構造（径の大きさ・幅員・流入部の接続角度等）のバラエティがあること、十分なサンプルが取得できる交通量があること、UAVの撮影調査に支障がないことが挙げられる。これらの条件を満たす箇所を、道路管理者へのヒアリングや現地踏査により選定し、走行挙動調査を実施する。調査においてはラウンドアバウトを走行する車両の流入から流出までの走行軌跡・速度の変化を連続的かつ一度に効率的に取得するため、無人航空機（UAV）を用いた上空からのビデオ撮影調査を行う。無人航空機による調査は、無人航空機を扱う専門の業者に委託するものとする。また、道路管理者の承諾を得ることとする。

(2) 走行挙動のモデリング

調査を実施した箇所から順次、撮影したビデオ映像を基に走行位置・速度などの走行挙動データを取得する。走行挙動の取得においては、映像から走行挙動を解析するためのソフトウェアを購入し、調査を実施した箇所から順次データの取得および解析を進めることとする。なお、長時間・大容量のビデオ映像データを扱うことになるため、新規にパソコンや保存メディアを購入する。次に、取得した走行挙動データを解析し、幾何構造が走行挙動に与える影響を把握するとともに幾何構造から車両挙動を推定するための走行挙動モデルを構築する。幾何構造から走行挙動を推定するためのモデルについてはこれまでの申請者らの研究で検討を進めてきたが、今回取得する走行挙動データを追加することでモデルの精度向上を行う。

(3) 安全性能評価指標の検討

ラウンドアバウトの幾何構造条件のみから安全性能を評価するための評価指標を導入し、幾何構造と安全性能の関係をモデル化する。評価指標については、申請者らが既に提案しているリスク指標を用いることを予定しているが、その算出方法や詳細な定義については課題が残存しているため本研究で改めて精査する。

(4) 幾何構造評価ツールの開発

実務設計への活用を念頭に、ラウンドアバウトの幾何構造設計を支援するためのツールとして、任意の幾何構造条件を入力条件することにより、平面図上に推定された走行軌跡や安全性能の評価結果を出力するツールを開発する。

4. 研究成果

(1) 走行挙動調査

ラウンドアバウトの幾何構造条件から走行挙動を推定するためのモデリングに必要なパラメータの精度向上を目的とした調査を、図-1に示す3箇所のラウンドアバウトにおいて実施した。調査においては、ラウンドアバウトを通行する際の流入から流出までの挙動を連続的に観測するため、無人航空機 (UAV) による撮影を実施した。また、撮影した上空からの動画をもとに、画像解析ソフトを使用して、走行位置や速度といった挙動データを取得した。



図-1 無人航空機による調査

(2) 走行挙動のモデリング

ラウンドアバウトを通過する際には、一般にS字の走行軌跡が生じるため、その走行軌跡を直線・クロソイド・円弧の組合せとして表現する。これは、ステアリングの操作を示す曲率の値が走行距離に対して線形に変化することと同値である。この仮定に基づき、走行軌跡に関するパラメータと幾何構造との関係を把握するため、(1)で取得したデータに過去の調査結果を加えた走行挙動データから重回帰分析によりパラメータを推定した。図-2は、焼津市山の手ラウンドアバウトにおいて観測された走行挙動データの一部である。

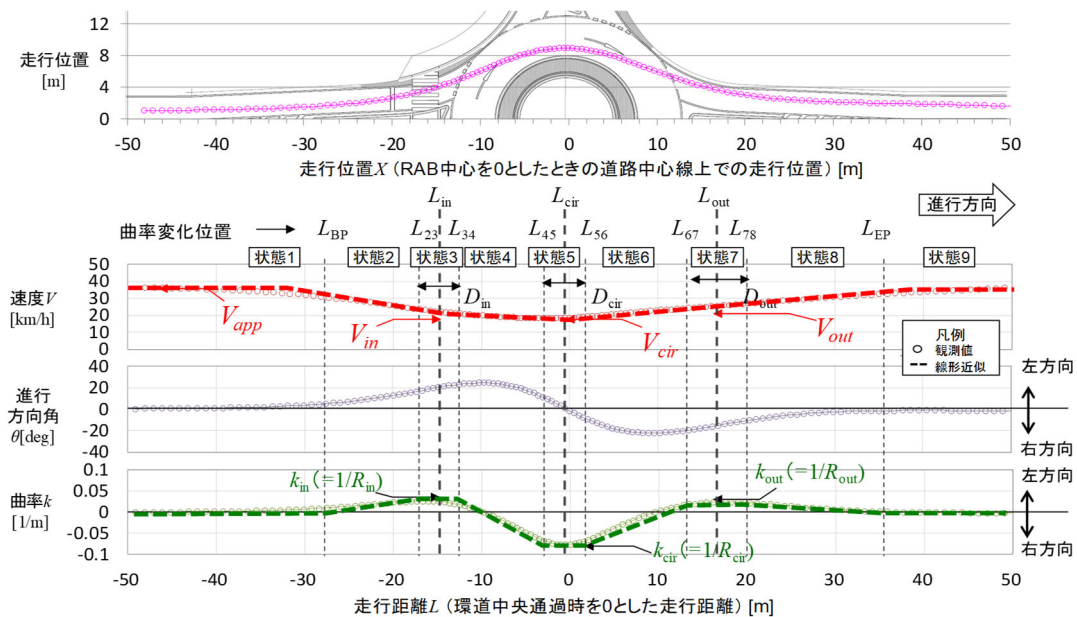


図-2 走行挙動プロファイルの例と走行挙動パラメータ

(3) 安全性能評価指標の検討

本研究では、ラウンドアバウトにおける衝突の起きやすさと、仮に衝突したときの重度を危害の程度の両方を考慮した以下の式(1)のリスク指標を提案する。

$$RI = P_{miss} \times I_{crs} \quad (1)$$

ここに、 RI : リスク指標 (Risk Index), P_{miss} : 見落とし確率, I_{crs} : 衝突強度である。

見落とし確率と衝突強度を算出するため、与えられた幾何構造条件から流入車両と環道車両が交錯する位置 (交錯位置) を推定し、さらに交錯位置を通過する際の速度と交錯位置に至るまでの軌跡を (2) のモデルから推定し、数値シミュレーションにより様々な幾何構造条件におけるリスク指標を算出することで幾何構造との関係を回帰モデルとして表現する。図-3は20,000通りの幾何構造条件について、数値シミュレーションにより算出された見落とし確率と衝突強

度の関係をプロットしたものである。見落とし確率と衝突強度は、全体的な傾向として見落とし確率が高い場合には衝突強度が小さく、逆に衝突強度が高い場合には見落とし確率が低いといったように、見落とし確率と衝突強度は相反関係の傾向がある。これは、合流に近い形状とすることで衝突の程度は軽減される一方、環道車両に対しては見落としやすくなることを示す結果である。

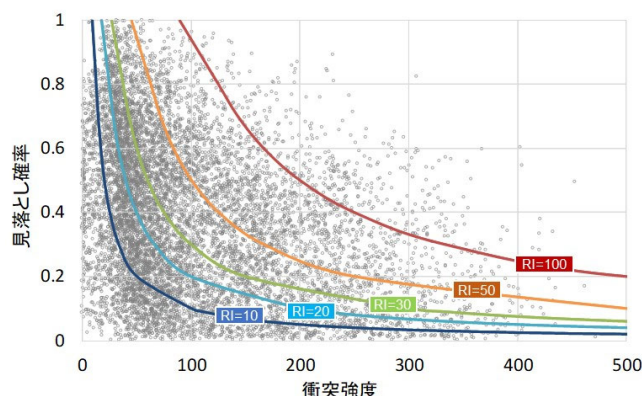


図-3 見落とし確率と衝突強度の関係

次に、見落とし確率と衝突強度のそれぞれに対してモデル化するため、図-4 に示す幾何構造から決定される評価関数 $V(x)$ に応じて、以下の式(2)、(3)に示すように、見落とし確率は、0 から 1 の範囲の成長曲線、衝突強度は累乗曲線を仮定した。

$$P_{miss} = \frac{1 - \exp\{b_2 \cdot V(x)\}}{1 + b_1 \cdot \exp\{b_2 \cdot V(x)\}} = \frac{1 - \exp\{b_2 \cdot (\sum_i^n a_i \cdot x_i + const)\}}{1 + b_1 \cdot \exp\{b_2 \cdot (\sum_i^n a_i \cdot x_i + const)\}} \quad (2)$$

$$I_{crash} = V(x)^{b_1} = \left(\sum_i^n a_i \cdot x_i + const\right)^{b_1} \quad (3)$$

ここに、 $V(x)$: 評価関数、 x_i : 幾何構造要素 i の諸元値、 a_i : 幾何構造要素 i の係数パラメータ、 b_1, b_2 : 形状パラメータ、 $const$: 定数パラメータである。

幾何構造条件における見落とし確率、衝突強度の算出結果を基に、最小二乗法による非線形重回帰分析を行ったところ、表-1 の推定結果が得られた。

表-1 見落とし確率と衝突強度のパラメータ推定結果

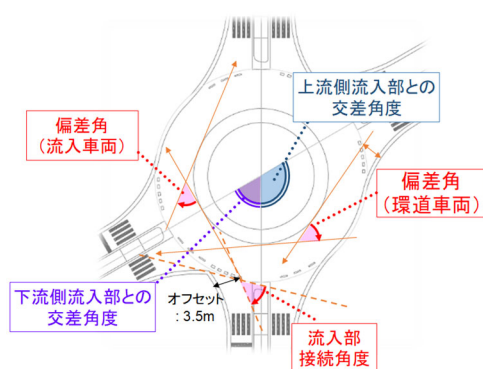


図-4 モデル式で考慮する幾何構造

幾何構造要素		見落とし確率		衝突強度	
		係数	t 値	係数	t 値
定数項	$const$	-23.9	-0.0046	1.04	0.018
上流側流入部 交差角 [deg]	a_1	5.48×10^{-2} ($\theta_{up} < 90deg$)	3.03***	4.88×10^{-5}	18.1***
下流側流入部 交差角 [deg]	a_2	-2.59×10^{-2}	-3.21***	-1.66×10^{-4}	-16.2***
偏差角 (流入車両) [deg]	a_3	-3.57×10^{-3}	-2.42***	-1.50×10^{-5}	1.47*
偏差角 (環道車両) [deg]	a_4	1.97×10^{-2}	2.84***	-5.67×10^{-5}	-15.0***
流入部接続角度 [deg]	a_5	3.12×10^{-1}	3.44***	4.97×10^{-5}	6.05***
形状パラメータ	b_1	47.3	0.0651	138.4	0.0067
	b_2	3.59×10^{-1}	0.00034	-	-
補正後 R^2		0.64		0.85	
サンプル数		20,000		20,000	

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

図-5 は、得られた推定結果から、モデルの説明変数である幾何構造要素が見落とし確率、衝突強度に与える影響の感度を見たものである。上流側流入部との交差角度については、90deg 以下では見落とし確率が增大することがわかる。衝突強度については、交差角度が大きいほど衝突強度も高くなっている。次に偏差角に関しては、流入車両・環道車両ともに見落とし確率に対し

ては感度が小さい。しかし、衝突強度に対しては感度が見られ、偏差角が小さいほど衝突強度は高い。これは、偏差角が小さいほど軌跡の曲線半径が大きくなり、その結果速度が高くなるためである。とくに環道車両に対しては、その影響が顕著である。さらに、流入部接続角度に関しては、流入部接続角度が大きいほど見落とし確率は減少し、一方で衝突強度は増加する。ただし、見落とし確率に対しての影響が極めて大きいため、流入部接続角度は大きい方が良いものと判断される。

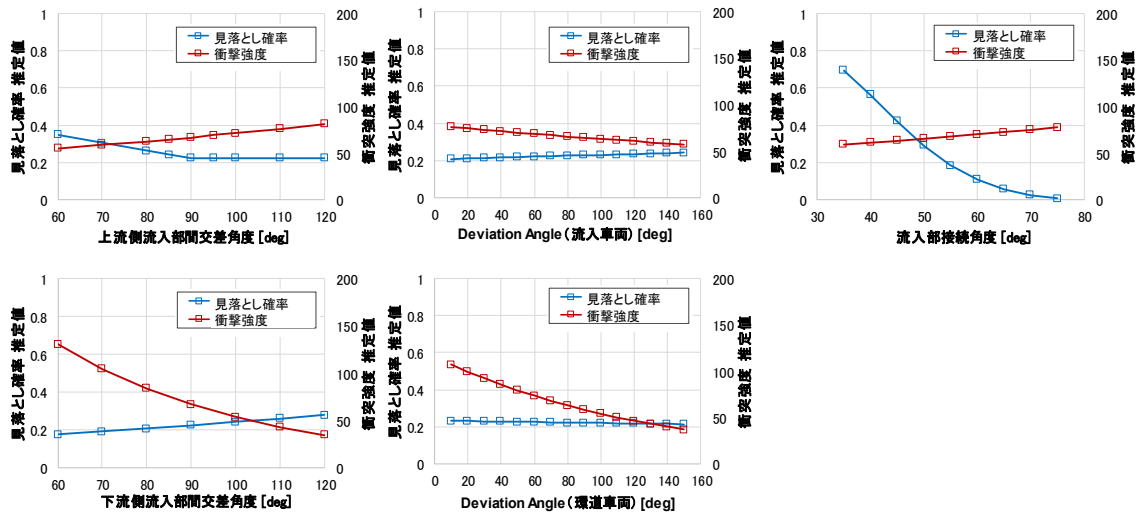


図-5 各幾何構造要素の感度分析

(4) 幾何構造評価ツールの開発

(3) で構築したモデルをベースに、Microsoft office の EXCEL VBA を用いて、幾何構造条件に応じて走行軌跡を図面上に描画されるような計算シート (図-6) を作成するとともに、主要な幾何構造条件を入力することで、見落とし確率と衝突強度およびリスク指標値を算出する入力フォーム (図-7) を作成した。

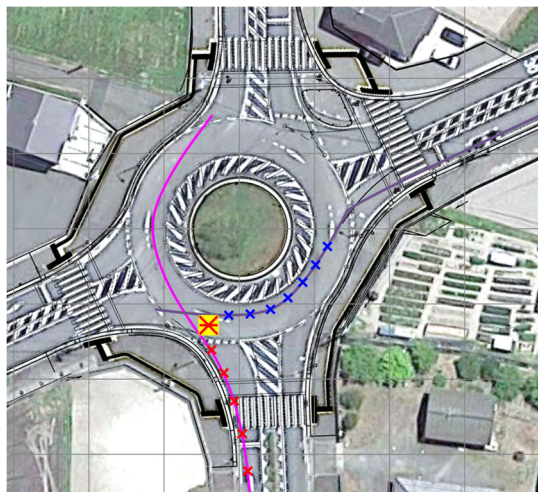


図-6 走行軌跡の推定例

Figure 7 is a screenshot of a software form titled 'UserForm1'. It is used for inputting geometric conditions and calculating risk indicators.

幾何構造条件の入力		リスク指標 計算	
上流側流入部交差角度	120 (deg)	見落とし確率	<input type="text"/>
下流側流入部交差角度	60 (deg)	衝突強度	<input type="text"/>
偏差角(流入車両)	21 (deg)	リスク指標	<input type="text"/>
偏差角(環道車両)	45 (deg)		
流入部接続角度	48 (deg)		

図-7 リスク指標算出フォーム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshioka, K., Nakamura, H., Shimokawa, S. and Morita, H	4. 巻 145
2. 論文標題 Modeling of a Novel Risk Index for Evaluating the Geometric Designs of Roundabouts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Accident Analysis & Prevention	6. 最初と最後の頁 105702-105702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aap.2020.105702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉岡慶祐・中村英樹・下川澄雄・森田緯之	4. 巻 Vol.75, No.3
2. 論文標題 ラウンドアバウト幾何構造の安全性能評価のためのリスク指標モデリング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3(土木計画学)	6. 最初と最後の頁 191-201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejpm.75.191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久野裕大・吉岡慶祐・下川澄雄
2. 発表標題 中心位置が偏心するラウンドアバウトの走行速度特性分析
3. 学会等名 第49回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉岡慶祐・下川澄雄・村松久・金淵信秋・斎藤和樹
2. 発表標題 ラウンドアバウト導入後一定期間における走行挙動の変化
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------