

車両の交錯挙動に着目したラウンドアバウトの性能評価*

A Methodology on Performance Evaluation of Roundabouts Considering Traffic Conflicts*

馬淵 太樹**, 中村 英樹***

By Taiki MABUCHI** and Hideki NAKAMURA***

1. はじめに

交通量の極めて少ない交差点においても、特に安全上の理由から信号機を設置することがある。これは、利用者に遅れを強いるだけでなく、信号無視等の危険な行為を誘発する可能性がある。

遅れの削減が期待できる平面交差点の制御方法として、ラウンドアバウトが挙げられる。欧米では、近年その導入が積極的に行われているが、これらは通常の無信号交差点の安全性向上を目的とした場合が多く¹⁾、今回検討対象とする、信号交差点をラウンドアバウトに置き換える事例はこれまでのところあまり見られない。

信号交差点の代替としてラウンドアバウトを導入する際には、交差点の性能を遅れのみで評価することは必ずしも妥当ではなく、当然のことながら安全性についても慎重に検討する必要がある。筆者らは交通量の少ない平面交差点での、ラウンドアバウトの設置可能性について検討を進めているが、これらは容量・遅れの観点からの評価²⁾にとどまっていた。また、従来の研究では、遅れと安全性とが個別に分析されているが、遅れの大小がドライバーの他者との交錯挙動に影響を与えていることが明らかになっており³⁾、これら双方を関連づけた評価を行う必要がある。ここで扱う交錯挙動とは、交通事故などの形で顕在化はしないものの、交錯強度などの指標を用いて潜在的な危険性として表現されるものである。また、平面交差点での交錯は、自動車相互の交錯、自動車と歩行者・自転車の交錯が起こりうるが、今回は自動車相互の交錯のみに着目する。

本稿では、平面交差点流入部においてドライバーが被る遅れと交錯挙動に着目し、これら両者のトレードオフ関係を考慮した平面交差点の性能評価手法を提案する。平面交差点でドライバーが被る遅れと交錯とを同じ単位で定量的に扱うことにより、これ

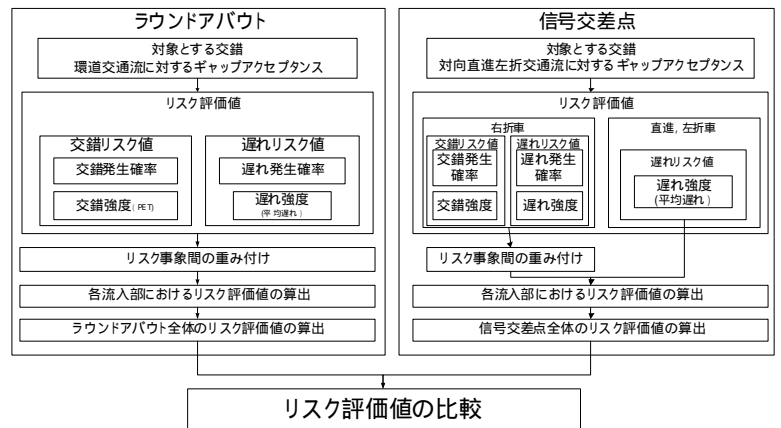


図1 平面交差点性能比較の検討アプローチ

ら双方を考慮した平面交差点の性能評価を可能とするものである。本手法を用いてラウンドアバウトと信号交差点の性能比較を行うことで、ラウンドアバウトを適用することが妥当である交通量条件を示す。

2. 平面交差点の性能評価手法

2.1 リスクの概念に基づいた平面交差点の性能評価

本稿では、平面交差点でドライバーの被る不効用の程度を定量化し、これをリスクの概念により評価する。このような考え方をを用いた信号交差点の評価手法は、鈴木ら⁴⁾によって提案されている。本研究では、この概念をラウンドアバウトに拡張し、信号交差点との性能比較することを試みる。性能評価のための検討アプローチを図1に示す。

平面交差点におけるリスク事象として、ドライバーの他者との交錯を「交錯リスク」、交錯を回避することにより遅れを被ることを「遅れリスク」とする。各リスク事象の発生確率と強度の積との加重和をリスク評価値 r_e とし、式(1)のよう表す。

$$r_e = \tau \cdot P_{acc} \cdot I_{con} + P_{rej} \cdot I_{del} \quad (1)$$

ここで、 P :事象の発生確率、 I :事象の強度、 del :遅れ、 con :交錯、 acc :ギャップ t を受け入れる事象、 rej :ギャップ t を拒絶する事象、 τ :交錯・遅れ事象間のトレードオフ係数とする。

2.2 平面交差点性能評価のためのモデル構造

図1に沿って、ラウンドアバウト、信号交差点それぞれのリスク評価値の算出方法を以下に説明する。

* キーワーズ: ラウンドアバウト, 交錯, 遅れ

** 学生会員 修(工) 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻
(〒464-8603名古屋市中千種区不老町, E-mail:tmabuchi@geny.nagoya-u.ac.jp)

***正会員 工博 名古屋大学大学院助教授 工学研究科社会基盤工学専攻

2.2.1 交錯リスク評価値

(a) ラウンドアバウト

交錯発生確率 P_{acc} は、環道交通流中に大きさ t のギャップが発生する確率 $h(t)$ と、ある車両が環道交通流のギャップ t に対し流入する確率 $p(t)$ の同時生起確率の期待値として求められる。

$$P_{acc} = \int_0^{\infty} h(t) \cdot p(t) dt \quad (2)$$

環道交通流中の任意の1ギャップに流入する際に、車両が持つ平均的な交錯リスク値 r_{acc} は、ギャップ t のときの交錯強度の平均値を $i_{con}(t)$ とすると、式(3)のように表される。

$$r_{acc} = \int_0^{\infty} h(t) \cdot p(t) \cdot i_{con}(t) dt \quad (3)$$

流入部の環道交通量 q_c の状況下での交錯リスク値は、環道交通流中に q_c 個のギャップがあると捉え、式(4)のように表される。

$$r'_{acc} = q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot p(t) \cdot i_{con}(t) dt \quad (4)$$

式(4)で求められた交錯リスク値は、対象としている流入部の交通が飽和状態のとき、すなわち、環道交通流中に流入部交通容量に等しい車両台数が流入したときのリスク値である。しかし、実際の流入交通量は、流入部交通容量より低くなるはずである。そこで、流入交通容量に占める実際の流入交通量 q_e/C (q_e : 流入交通量, C : 流入交通容量)を掛けることにより、実際の流入交通量状況下でのリスク評価値とする。

$$r''_{acc} = \frac{q_e}{C} \cdot q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot p(t) \cdot i_{con}(t) dt \quad (5)$$

(b) 信号交差点

信号交差点における交錯リスク値 r''_{acc-s} は、右折車両が対向直進車、左折車に対してギャップアクセプトランスする際の交錯を基に算出し、ラウンドアバウトの場合と同様の手順により求められる。

$$r''_{acc-s} = \frac{q_r}{C} \cdot q_{c-ls} \int_0^{\infty} h_s(t) \cdot p_s(t) \cdot i_{con}(t) dt \quad (6)$$

ここで、 q_r : 右折車交通量、 q_{c-ls} : 対向直進、左折車交通量、 $h_s(t)$: 対向直進・左折車両の車頭時間分布、 $p_s(t)$: 対向直進車のギャップ t への流入確率、とする。

なお、今回の交錯の定義では、直進・左折車両は交錯を起こさないことになるため、これらの交錯リスク評価値は0とする。

2.2.2 遅れリスク評価値

(a) ラウンドアバウト

本研究では、ドライバーが交錯を被ることを回避した結果、遅れを被るという仮定に基づいている。従って、遅れ発生確率 P_{rej} は交錯発生確率 P_{acc} の排反事象で表される。

$$P_{rej} = 1 - P_{acc} \quad (7)$$

任意の環道交通流中のギャップに流入する際、流入車両の平均的な遅れリスク値 r_{rej} は、遅れ強度を $i_{del}(t)$ とすると、式(8)により表される。

$$r_{rej} = \int_0^{\infty} h(t) \cdot (1 - p(t)) \cdot i_{del}(t) dt \quad (8)$$

交錯リスク値の算出と同様の方法で、実際の流入交通量状況下での遅れリスク評価値 r''_{rej} は求められ、式(9)のように表される。

$$r''_{rej} = \frac{q_e}{C} \cdot q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot (1 - p(t)) \cdot i_{del}(t) dt \quad (9)$$

(b) 信号交差点(右折車)

信号交差点での右折車両の遅れリスク値 r''_{rej-s} も、ラウンドアバウトと同様の手順で求められる。

$$r''_{rej-s} = \frac{q_r}{C} \cdot q_{c-ls} \int_0^{\infty} h(t) \cdot (1 - p_s(t)) \cdot i_{del}(t) dt \quad (10)$$

(c) 信号交差点(直進車, 左折車)

信号交差点では、右折車両が対向直進、左折車両に対してギャップアクセプトランスする挙動を交錯としている。すなわち、直進、左折車両は交錯を起こさないこととなり、式(8)より、全ての直進・左折車両は遅れを被ることとなる。従って、直進・左折車両の遅れリスク評価値は式(11)により求められる。

$$r''_{rej-sls} = \frac{q_e - q_r}{C} \cdot (q_c \int_0^{\infty} 1 \cdot i_{del}(t) dt) = (q_e - q_r) \cdot I_{del} \quad (11)$$

2.2.3 リスク評価値の算出

以上より求められた、交錯リスク値、遅れリスク値より、ラウンドアバウト、信号交差点1流入部のリスク評価値はそれぞれ式(12)、(13)により求めることができる。

$$r_e = \frac{q_e}{C} \cdot [\tau \cdot q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot p(t) \cdot i_{con}(t) dt + q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot (1 - p(t)) \cdot i_{del}(t) dt] \quad (12)$$

$$r_{e-s} = \frac{q_r}{C} \cdot \{\tau \cdot q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot p_s(t) \cdot i_{con}(t) dt + q_c \int_0^{\infty} h(t) \cdot (1 - p_s(t)) \cdot i_{del}(t) dt\} + (q_e - q_r) \cdot I_{del} \quad (13)$$

2.3 リスク事象の強度Iの算出

(1) 交錯リスク強度 I_{con}

交錯リスク強度 I_{con} を表す指標として、交錯を起す2車が交錯ポイントを通る時間差として定義されるPETを用いる。PETが小さいほど高強度であることを表すため、PETの逆数を交錯強度とする。

$$I_{con} = 1/PET \quad (14)$$

(2) 遅れリスク強度 I_{del}

遅れリスク強度は、ラウンドアバウト・信号交差点ともに、遅れ推計式より求める。ラウンドアバウトでは、Akcelik, Troutbeckにより求められた式(15)のAdams delay⁵⁾を用いる。

$$I_{del} = D_m + (T/4) \cdot [x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + 8x/C \cdot T}] \quad (15)$$

$$D_m = \frac{e^{\lambda(t_c - \tau)} - t_f}{\alpha q_c} - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda \tau^2 - 2\tau(1 - \alpha)}{2(\lambda \tau + \alpha)} \quad (16)$$

ここで、 $x = q_e / C$ 、 T : 分析時間、 α : 自由走行確率、 τ : 最小車頭時間、 λ : 到着分布、 t_c : クリティカルギャップ、 t_f : フォローアップタイムである。

また、信号交差点の遅れの推計には、Websterによる平均遅れの式⁶⁾を用いる。

$$I_{del} = \frac{(1-g)^2}{2(1-x)} c + (T/4) [x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + 8x/C \cdot T}] \quad (17)$$

ここで、 g : 青時間比、 c : サイクル長である。

3. ドライバーが認識する交錯と遅れの関係

交差点に流入しようとするドライバーは、他車に対してギャップアクセプタンスする際、交錯と遅れのトレードオフ関係を意識しつつ、停止・通過についての合理的な判断を行っているものと考えられる。そこで、停止、通過の選択行動を、式(18)、(19)の非集計2項選択ロジットモデルにより表現する。

$$P = \frac{e^u}{1 + e^u} \quad (18)$$

$$u = \alpha X_{PET^{-1}} + \beta X_{del} + \delta \quad (19)$$

$$\tau = \alpha / \beta \quad (20)$$

ここで、 u : 効用関数、 α, β : パラメータ、 δ : 定数項、 τ : 交錯と遅れのトレードオフ係数である。

式(20)のトレードオフ係数を用いて、交錯を遅れの単位に変換することが可能となるので、これら両者を足し合わせたリスク評価値を求めることができる。

表1に、ラウンドアバウト、信号交差点それぞれで得られたデータを基に式(19)のパラメータ推計を行

表1 トレードオフ係数推計結果

	ラウンドアバウト		信号交差点	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
定数項	4.91	13.16	4.75	5.61
(a) 1/PET [s ⁻¹]	8.46	16.38	6.74	6.09
(b) 遅れ [s]	-0.0742	-4.03	-0.0217	-2.50
トレードオフ係数 (a)/(b)	114		311	
的中率 [%]	88.8		76.0	
サンプル数	reject: 516, accept: 555		reject: 122, accept: 74	

った結果を示す。これより、ラウンドアバウト・信号交差点とも、交錯強度が大きくなるほど、ギャップを拒絶するようになり、被る遅れが大きくなるほど、ギャップを受け入れやすくなるのがわかる。

次に、遅れに対する交錯の重み、すなわちトレードオフ係数の持つ意味を解釈する。ラウンドアバウトでは114、信号交差点では311と、信号交差点でのトレードオフ係数は、ラウンドアバウトの約3倍となった。これは、信号交差点では交錯を起す車両の速度が高いこと、また、ラウンドアバウトでは合流車と被合流車が側面で接近するのに対し、信号交差点では直進車と右折車の正面同士であることが挙げられる。すなわち、衝突したときの損傷の程度が信号交差点の方が著しく大きくなると考えられることから、ドライバーは信号交差点での交錯を3倍程度重く評価しているものと考えられる。

4. 平面交差点の性能比較

2章で示したモデルにより、ラウンドアバウトと信号交差点との性能比較を行う。交差点条件は、ラウンドアバウトでは各流入部とも片側1車線、信号交差点では直進・左折混用車線と右折専用車線を設置した、4肢の交差点とする。流入交通量は各流入部とも同一とし、0~800台/hを仮定した場合のリスク値を算出する。また、右左折直進率は各流入部とも右折:直進:左折=20:60:20とする。なお、信号交差点は、信号サイクル長は80(s)、方向別青時間比は1:1の2現示制御を仮定する。

図2は1流入部あたりの流入交通量と交錯リスク評価値の関係、図3は流入交通量と遅れリスク評価値の関係、図4は流入交通量と交錯・遅れリスク評価値の和の関係を示したものである。

まず、図2より、交錯リスク値は流入交通量によらず、常にラウンドアバウトの方が大きいことがわか

る。これは今回扱っている交錯が、ギャップアクセプタンス挙動に着目しているためであり、ラウンドアバウトでは、交錯を起こす車両が全車両であるのに対し、信号交差点では、右折車両のみが交錯の対象になっているためである。

次に、図3より遅れリスク値に着目すると、流入交通量が約750台/h、すなわちラウンドアバウトが飽和状態になる交通量までは、ラウンドアバウトの方がリスク評価値は小さいことがわかる。

交錯・遅れの双方を考慮して評価した図4より、流入交通量が600台/h程度までであれば、遅れのみならず交錯を考慮しても、ラウンドアバウトの方が有利であることがわかる。

5. 今後の課題

本研究では、ドライバーの被る遅れと交錯挙動との関係に着目した、平面交差点の性能評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) ドライバーは信号交差点で被る交錯をラウンドアバウトの約3倍重く認識していることが分かった。この理由として、ラウンドアバウトは信号交差点に比べ車両の速度が低いこと、交錯を起こす二者が側面同士で接近することから、事故が発生した際の程度がラウンドアバウトの方が低いためと考えられる。
- (2) 交錯に着目して性能比較を行うと、交通量によらず、常にラウンドアバウトが信号交差点より不利になった。1回の交錯の程度は信号交差点の方が大きいものの、ラウンドアバウトでは交錯を起こす車両台数が多くなるためである。
- (3) 交錯のみでなく、遅れを加味すると、1流入部あたりの流入交通量が600台/h程度まではラウンドアバウトが有利である。

今後の課題として、以下のことが挙げられる。

- 様々な流入部交通量、右左折直進率条件下での感度分析と一般化。
- 交差点の幾何構造による影響を考慮可能なモデルの構築とそれに基づく安全なラウンドアバウト幾何構造の明示。
- 通常は無信号交差点と比較した場合の、ラウンドアバウトの導入が妥当である条件の明示。
- 歩行者、自転車を考慮した評価。

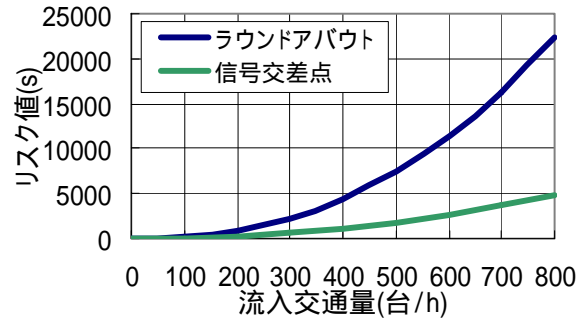


図2 交錯リスク評価値と流入交通量の関係

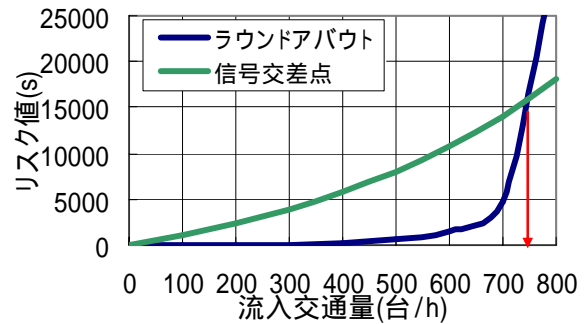


図3 遅れリスク評価値と流入交通量の関係

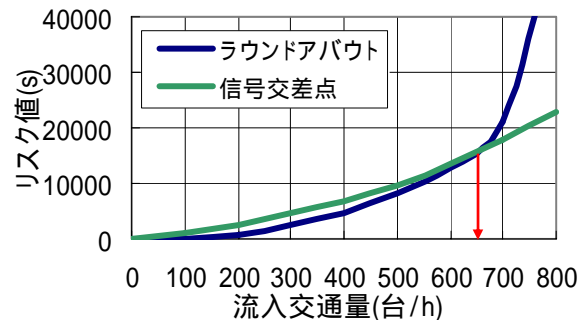


図4 リスク評価値と流入交通量の関係

参考文献

- 1) FHWA: Roundabouts: An Informational Guide, pp. 101-126, 2000.
- 2) Manage, S., Nakamura, H., Suzuki, K.: Performance Analysis of Roundabouts as an Alternative for Intersection Control in Japan, Journal of EASTS '03, pp.871-883, 2003.
- 3) Suzuki, K., Nakamura, H. and Yamaguchi, S.: Analysis on Driver's and Pedestrian's Perception for the Evaluation of Cycle Length at Under-saturated Signalized Intersections, 10th World Conference on Transport Research, 12 pages in CD-ROM, 2004.
- 4) 鈴木弘司, 中村英樹, 山口 哲: リスク概念を用いた信号交差点のサイクル長評価フレームワーク, 土木計画学講演集vol.28, 2003.
- 5) Troutbeck, R. J.: Average Delay at an Unsignalized Intersection with Two Major Streams Each Having a Dichotomized Headway Distribution, Transportation Science, Vol.20, No.4, pp.272-286, 1986.
- 6) 社団法人交通工学研究会: 交通信号の手引き, pp.11-12, 1994.