

交差点条件による平面交差点の性能評価*

At-grade Intersections Analysis by Combining Directional Ratio and Geometric Conditions*

馬淵 太樹**, 中村 英樹***

By Taiki MABUCHI** and Hideki NAKAMURA***

1. はじめに

筆者らはこれまで、比較的交通量の少ない交差点の制御方式としての、ラウンドアバウトの導入妥当性に関する検討を行ってきた。その際、遅れの大小はドライバーの他者との交錯挙動に影響を与えているとの考え方¹⁾に基づき、平面交差点流入部での遅れと交錯挙動をドライバーの被る不効用と捉え、これらを定量化することで平面交差点を評価する手法を提案²⁾している。この手法により、4枝の交差点で各流入部の交通量が同一である場合にラウンドアバウトの導入が妥当である交通量条件を明らかにした。

本稿では、本手法をより一般的な交通条件に対して適用することを意図して、平面交差点の右左折率、流入部交通量比による感度分析を行う。また、5枝以上の多枝交差点では、信号制御を行うと信号現示を複雑にする必要がある。そこで、多枝の信号交差点と、その交差点をラウンドアバウトとした場合の性能比較を試みる。

2. 遅れと交錯を考慮した性能評価手法

平面交差点におけるドライバーの不効用として、他者との交錯、交錯を回避することにより被る遅れの2つを考える。本研究での交錯は、ラウンドアバウトでは流入車両の環道走行車両に対してのギャップアクセプタンス、一方、信号交差点では右折車両の対向直進・左折車両に対してのギャップアクセプタンスとする。平面交差点での交錯は、自動車相互の交錯のみでなく、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に着目する。

本研究では、交錯・遅れの各事象の発生確率と強度の積の加重和より不効用を定量化し、それを評価指標とする。

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

$$= \tau \int_0^{\infty} h(t) p(t) \frac{1}{PET(t)} dt + \int_0^{\infty} \{1 - h(t) p(t)\} i_{del}(t) dt \quad (2)$$

ここで、 τ : 交錯・遅れ事象間のトレードオフ係数、 P : 事象の発生確率、 I : 事象の強度、 del : 遅れ、 con : 交錯、 acc : ギャップを受け入れる事象、 rej : ギャップを拒絶する事象、 $h(t)$: 環道交通流中にギャップ t が出現する確率(車頭時間分布の確率密度関数)、 $p(t)$: ギャップ t に流入車両が流入する確率、 $PET(t)$: 流入車と後方の環道車両間のPETである。PETとは交錯を起こそうとする2車の軌跡が、その交差点を通過する時間差として定義され、値が小さいほど衝突の危険性が高いことを表す。

遅れ強度 I_{del} は、ラウンドアバウトでは、Akcelikらによる式(3)のAdams delay³⁾を用いる。

$$I_{del} = D_m + (T/4) \cdot [x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + 8x/C \cdot T}] \quad (3)$$

$$D_m = \frac{e^{\lambda(t_c - \tau)}}{\alpha q_c} - t_f - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda \tau^2 - 2\tau(1 - \alpha)}{2(\lambda \tau + \alpha)} \quad (4)$$

ここで、 $x = q_e / C$ 、 T : 分析時間、 t_c : クリティカルギャップ、 t_f : フォローアップタイム、 α : 自由走行確率である。また、信号交差点にはWebsterの平均遅れの式⁴⁾を用いる。

$$I_{del} = \frac{(1-g)^2}{2(1-x)} c + (T/4) [x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + 8x/C \cdot T}] \quad (5)$$

ここで、 g : 青時間比、 c : サイクル長である。なお、右折車については、対向直進車に対してギャップアクセプタンスする際に生じる遅れを式(5)に加える。

ラウンドアバウトが物理的に機能する条件を示すため、交通容量 C を示す必要がある。これには、Austroadsで紹介されているギャップアクセプタンス理論に基づく容量算定式⁵⁾を用いる。環道交通流中のギャップの分布 $h(t)$ とギャップ t に対し流入可能な車両台数の関数 $g(t)$ より、1ギャップあたりに流入可能な車両台数の期待値を算出し、環道中のギャップの個数(環道交通量) q_c を掛けることで流入部の交通容量が求められる。

$$C = q_c \int_0^{\infty} h(t) g(t) dt = \frac{\alpha q_c \exp\{-\lambda(t_c - \tau)\}}{1 - \exp(-\lambda t_f)} \quad (6)$$

* キーワード: ラウンドアバウト, 多枝交差点, 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 名古屋市千種区不老町, E-mail: tmabuchi@genv.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

表1 流入部交通量比による感度分析シナリオ

交通量比	右折：直進：左折		青時間	
	主道路	従道路	主道路	従道路
5：5	1.5：7：1.5		35s	35s
7：3	1：8：1	4：2：4	49s	21s
9：1	1：8：1	4：2：4	63s	7s

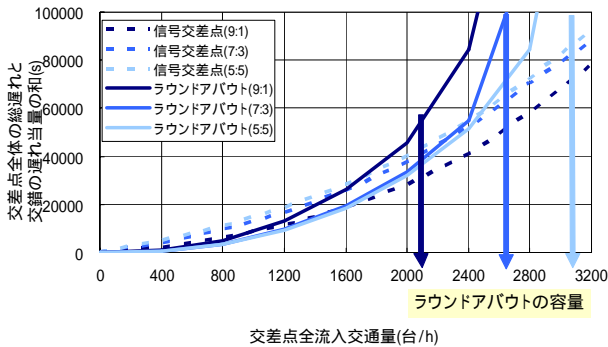


図1 流入部交通量比による感度分析

ここで、 λ は到着分布である。

なお、式(2)中の $p(t)$ 、PET、 τ 、及び容量・遅れを算出するために必要なパラメータは、長野県飯田市及び京都府京都市のラウンドアバウト型交差点の現地調査により取得した。

3. 遅れと交錯挙動を考慮した4枝交差点の性能比較

筆者らが提案したモデルにより、交差点流入部別交通量比、および右左折直進率が平面交差点の性能に与える影響の感度分析をそれぞれ行う。交差点条件は、図3に示すような4枝交差点である。なお、信号交差点における結果は、設定する信号現示パターン、サイクル長により異なるが、なるべく一般的な設定となるように留意した。

3.1 流入部別交通量比による感度分析

まず各流入部の方向別の流入交通量が異なる場合の感度分析を行う。右左折直進率、各流入部の青時間を表1に示す。

図1に、交差点全流入部の交通量比による性能比較結果を示す。まず、図中実線のラウンドアバウトに着目すると、交通量の差が大きいほど、同じ交差点流入交通量でも評価値は大きくなる。これは、主・従道路の交通量の比が大きいほど、主道路側の流入交通量が増えることで、交錯・遅れを被る車両が増加するためである。ラウンドアバウトと信号交差点の評価値の曲線の上下関係が逆転する交点は、主・従道路の交通量比が大きいほど、図の左側に位置す

表2 右左折率による感度分析シナリオ

	主道路			従道路		
	右折	直進	左折	右折	直進	左折
A	5	70	25	25	70	5
B	15	70	15	15	70	15
C	25	70	5	5	70	25

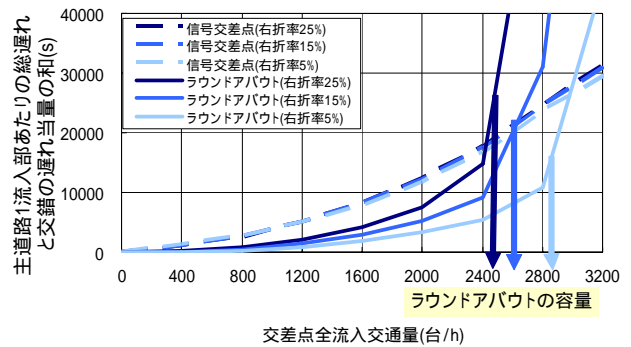


図2 右左折直進率による感度分析

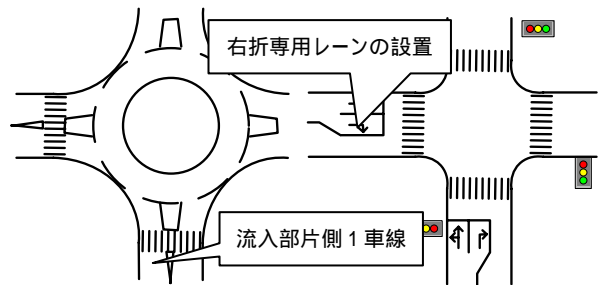


図3 4枝交差点の幾何構造物

る。すなわち、各流入部の交通量の差が開いてくると、ラウンドアバウトのパフォーマンスが低下することを示している。

3.2 流入部の右左折直進率による感度分析

次に、右左折直進率が評価値に与える影響を分析する。主・従道路の流入交通量比を70:30とし、右左折直進率は表2の3ケースを想定する。主道路1流入部あたりの評価値の算出結果を図2に示す。なお、信号交差点での青時間は主道路側を49(s)、従道路側を21(s)とした。

図2よりラウンドアバウトでは、右折率が高くなるほど流入交通量が同じでも評価値は大きくなるのがわかる。これは、右折率が高くなると、環道走行車両の台数が多くなるのに伴って環道内の交通量が増加し、小さなギャップの出現頻度が高くなるため、高強度の交錯が発生し易くなるとともに、ギャップを見送る確率が高くなり、遅れが増大するためである。

ラウンドアバウトと信号交差点の比較をすると、右折率が高いほど、流入交通量の少ない場合にラウンドアバウトの方が不利になることがわかる。従っ

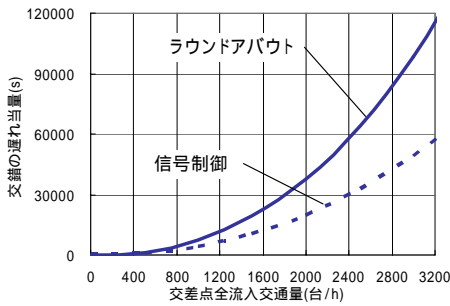


図4 交錯量の比較

て、交通量の多い流入部での右折率が高い場合には、ラウンドアバウトの適用は妥当ではない。

4. 5枝交差点の性能比較

従来、平面交差点は原則として5枝以上にはしてはならない⁶⁾とされているが、実際には5枝以上にせざるを得ない場合には、複雑な信号現示設定によって対応してきた。しかし、信号現示を複雑にすると、流入部あたりの青時間比が小さくなり、交差点でドライバーの被る遅れが増大する。また、交差点内での交錯箇所が増え、安全性からも、交差点のパフォーマンスが低下する。

そこで、5枝交差点をラウンドアバウト、信号それぞれで制御した場合の性能評価を行い、信号制御された多枝交差点を、ラウンドアバウトに置き換えることの妥当性を評価する。その際の交差点条件を図7のように仮定する。各流入部の交通量比は、A:B:C:D:E=10:8:2:10:10とする。交差点OD特性を表3に、信号現示パターンを図8に示す。

なお、今回使用する各種パラメータは、4枝交差点で取得したデータを基に算出²⁾しており、5枝交差点での行動特性を必ずしも反映していない可能性があることに注意が必要である。

(a) 交錯の比較

図4は、5枝の平面交差点部を交錯の遅れ当量により評価した結果である。ラウンドアバウトでは、全ての車両を交錯の対象と扱っているのに対し、信号交差点では、右折車両のみとしているため、交錯量は常にラウンドアバウトの方が大きいという結果が得られた。しかし実際には、5枝信号交差点は4枝に比

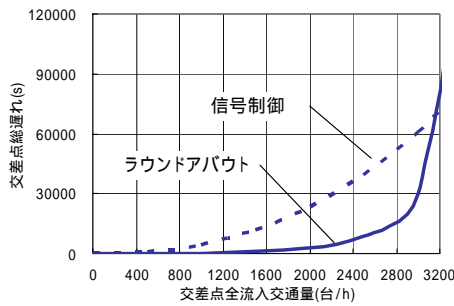


図5 遅れの比較

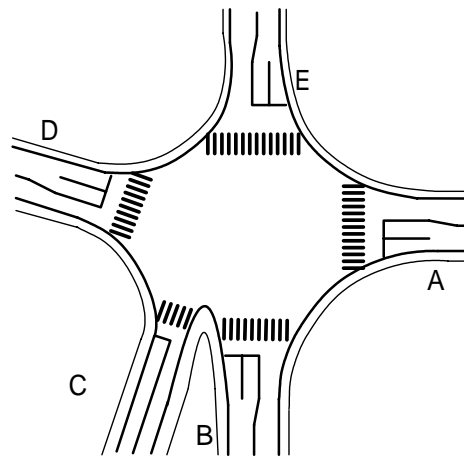


図7 5枝信号交差点の幾何構造

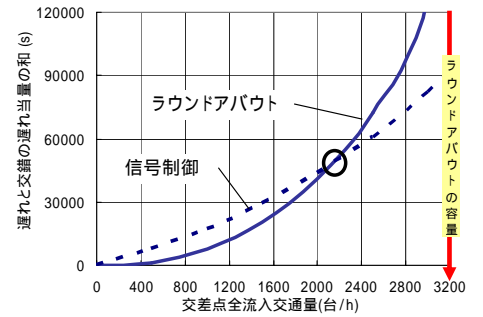


図6 交錯・遅れ双方を考慮した比較

表3 交差点OD特性

単位:%		流入				
		A	B	C	D	E
流出	A	0	15	10	70	15
	B	10	0	5	10	50
	C	5	5	0	5	20
	D	70	10	15	0	15
	E	15	70	70	15	0

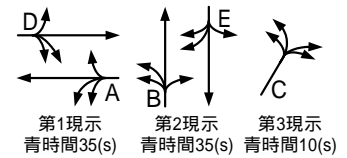


図8 信号現示パターン

べ交差点内の交錯点が多いこと、また4枝の場合とは車両間が交錯する角度が異なるので、これらの影響を考慮した交錯量を算出する必要がある。

(b) 遅れの比較

図5に、遅れにより性能比較を行った結果を示す。これより、交差点総流入交通量が3200台/h、すなわちラウンドアバウトの容量より少ない交通量であれば、ラウンドアバウトの方が有利であることが分かる。4枝の交差点(サイクル長:80(s))を遅れにより評価した場合²⁾と比較して、交差点全流入交通量が200台/h程度高い交通量までラウンドアバウトが有利である結果となった。

(c) 交錯・遅れの双方を考慮した比較

図6に遅れ・交錯の双方を考慮し、比較を行った結果を示す。交錯のみで比較を行うと、ラウンドアバウトの方が不利であったが、遅れを加味することで、交差点全流入交通量が2200台/h程度までであれば、ラウンドアバウトが有利という結果が得られた。

今回は、3現示制御を仮定したが、交差点内での交錯を減らすために更に現示を増やすと、サイクル長を長くする必要があり、遅れが増大する。現示を変更した場合の交錯量と遅れの関係についての分析も行う必要がある。

5. ラウンドアバウト導入のために考慮すべき要因

以上の分析より、平面交差点においてドライバーが被る遅れ、交錯挙動を考慮したラウンドアバウトの導入が妥当である交通量条件を、いくつかの交差点条件について示した。しかし、上記条件に当てはまれば、必ずしもラウンドアバウト適用できるわけではないと考えられる。以下、実際にラウンドアバウトの導入が可能と考えられる条件について考察する。

5.1 歩行者の少ない交差点

ラウンドアバウトでは、歩行者は交差点に流入・流出する車両の間を横断する必要がある。そのため、歩行者にとってラウンドアバウトは信号交差点と比較すると危険であると考えられる。しかし、京都市、及び飯田市で行ったラウンドアバウトの実態調査によれば、両交差点とも流入部の横断歩道の手前で「止まれ制御」がなされていることもあり、ドライバーは横断歩道に歩行者の存在を認めれば高い確率で停止しているのが実態であった。従って、ラウンドアバウト流入部でドライバーに対し注意を促す対策を施せば、歩行者を安全に捌くことは可能である。

しかし、歩行者が多い場合には、ドライバーが歩行者のために停止する頻度が高くなり、交差点容量にも影響を及ぼすことが考えられる。どの程度の歩行者数であれば、ラウンドアバウトを導入できるか明らかにすることが重要な課題であろう。

5.2 道路機能に応じたラウンドアバウトの適用⁷⁾

市街地では、生活道路等の細街路相互の交差点においての適用が妥当である。一方、地方部では本研究で示した交通量の片側1車線の主要道、市町村道相互の交差点であれば適用可能であろう。

また、ラウンドアバウトは、円形の交差点ということから、ドライバーに対し速度低減効果を与えることが可能である。従って、ドライバーに速度を低下させる必要がある箇所で適用することが有効といえる。例えば、京都市のようにニュータウンの入口への適用、また、地方部での高速道路のランプを降りた直後の交差点など、道路の階層区分が変わるところでの適用が考えられる。

5.3 交差点構造の決定方法

本研究で提案した平面交差点評価のためのモデル

は、交差点幾何構造による影響は考慮されていない。しかし実際には、ラウンドアバウトの幾何構造、特に流入車両と環道車両が合流する角度、またラウンドアバウトの半径は、ラウンドアバウトの容量、安全性に影響を与えていると考えられる。

日本ではこれらを分析するために十分な数のラウンドアバウトが存在しないため、海外のラウンドアバウト、もしくは国内の合流挙動を伴う交差点等での交通実態調査により、幾何構造がラウンドアバウトの性能に与える影響を評価する必要がある。

6. おわりに

本研究では、平面交差点の主従関係、右左折直進率が、平面交差点の性能に与える影響、また、多肢交差点でラウンドアバウトの導入が妥当である交通条件を示した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 交差点各流入部での交通量の差が大きい場合には、交通量の比が大きくなるほどラウンドアバウトの適用が不向きとなる。
- (2) 右折率が高くなると、ラウンドアバウトでは環道交通量が増加し交錯機会が増すとともに、遅れも増大するためラウンドアバウトの適用は困難である。従って、交通量が多く、右折率も高い場合には信号による制御の方がよい。
- (3) 5肢交差点に関しては、交錯のみで評価すると常に信号制御の方が有利であった。しかし、遅れを加味する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が明らかになった。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 馬淵太樹・中村英樹：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，土木計画学研究・講演集vol.31, 2005.
- 3) 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.
- 4) (社)交通工学研究会：交通信号の手引き，pp.11-12, 1994.
- 5) AUSTRROADS: Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6, Roundabouts, Australia, 1993.
- 6) (社)交通工学研究会：改訂 平面交差の計画と設計，2002.7.
- 7) 中村英樹，大口 敬，森田緯之，桑原雅夫，尾崎晴男：機能に対応した道路幾何構造設計のための道路階層区分の試案，土木計画学研究・講演集vol.31, CD-ROM, 2005.