

全道路一時停止制御(AWSC)交差点と ラウンドアバウトの性能比較

廣瀬 竜太郎¹・中村 英樹²・柿元 祐史³・井料 美帆⁴・張 馨⁵

¹非会員 名古屋大学 工学部環境土木・建築学科(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail:hirose.ryutaro@i.mbox.nagoya-u.ac.jp

²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

³正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 附属持続的共発展教育研究センター(同上)

E-mail:kakimoto@nagoya-u.jp

⁴正会員 名古屋大学大学院准教授 環境学研究科 都市環境学専攻(同上)

E-mail:iryo@nagoya-u.jp

⁵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(同上)

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

全道路一時停止制御交差点(AWSC)への流入車両の運転者は、全流入部の状況を確認して流入判断を行う。その流入判断にかかる時間の長さからAWSCの交通容量は低下してしまう傾向にある。一方でラウンドアバウト(RAB)の場合、環道右側の車両の確認のみを行って流入判断をすることができるため流入判断にかかる時間はAWSCに比べ小さく、交通容量は大きくなると考えられる。本研究では、流入部に十分な需要のあるAWSCを対象に、RABに改良することによる交通容量改善効果の推定を行った。さらに、AWSCの交通容量の低下要因を把握するため、対象交差点の他車両の流入状況に応じた流入車両の車頭時間を分析した。

Key Words: All-way-stop-controlled (AWSC) intersection, Roundabout, Performance comparison

1. はじめに

近年、日本において信号・無信号交差点に代わる新たな平面交差制御方式としてラウンドアバウト(RAB)の導入が進み、2019年3月末現在、31都道府県87か所¹⁾で環状交差点の運用がなされている。

日本では、RABの計画・設計、運用の際のガイドラインとしてラウンドアバウトマニュアル²⁾がまとめられている。平面交差形式を決定するうえで、交通容量は重要な指標であり、RABへの交差点改良の際にはその性能比較が必要となる。RABの交通容量に関して神戸ら³⁾は、交通容量推定に用いられるギャップパラメータを幾何構造要素から推定する回帰式を提案し、各要素が交通容量に与える影響を明らかにした。加えて、Fang, et al.⁴⁾は幾何構造の内RABの外径と流入部幅員が車頭時間パラメータに最も影響することを示した上で、幾何構造や環道交通量毎に大型車の乗用車換算係数PCEを推定した。それにより、ラウンドアバウトマニュアルの推奨値2.0よりも実際は小さい値となることを明らかにし、マニュアル値

では大型車の影響を過大に評価していることを指摘している。

このようにRABの交通容量に関しては、国内でも研究が進んでいる。一方、全道路一時停止制御交差点(AWSC)の交通容量については、Highway Capacity Manual 6th edition (以降、HCM)⁵⁾の式を用いて算出することとなり、研究はほとんど行われていない。AWSCの特徴として全流入部の車両の状況から流入判断を行うことが挙げられ、判断の遅れが生じ交通容量は低下してしまうと考えられる。AWSCからRABに交差点改良を検討する際、改良前改良後の交通容量を適切に評価することが必要である。

本稿では、待ち行列が発生しているAWSCを対象に交通容量を実測し、RABに改良した場合の交通容量との比較を行う。また、AWSCの交通容量の低下要因を把握するため、各流入部の車両の存在状況が車頭時間に与える影響を分析する。

2. AWSC交通容量の実測値と推定値の比較

(1) 対象交差点概要

対象交差点は、愛知県安城市里町の国道1号線と伊勢湾岸自動車道に挟まれた田園地帯の工場脇に位置する四枝のAWSCである。対象とするAWSCの構造は図-1に示すとおりであり、各流入部をN, E, S, Wと定義する。流入部Nでは、右左折が禁止されている。

交通流調査のビデオデータは2019年1月30日(水)6:32～9:32(3時間)に撮影されたもので、ピーク時(6:40～8:40)には流入部Wに絶えず待ち行列が生じている。

(2) HCMによるAWSC流入交通容量の推定方法

AWSCの交通容量の推定値の算出は、HCM⁹⁾の方法を用いる。この方法では、停止線に到着した車両から逐次流入し、停止位置に同時に複数の車両が存在する場合にはそれぞれ右側の車両に優先権が与えられ、右方車両から流入が行われることを想定している(右側通行)。

この方法は、交通容量を求める流入部(対象流入部)の交通需要を増加させながら、対象流入部以外の流入部(他流入部)における車両の存在状況に応じて対象流入部の車頭時間を繰り返し計算し、需要率が1.0になるときの対象流入部交通需要を交通容量とする方法である。方法は以下に示す通りである。

Step1: 各流入部の交通需要Vを決定

各流入部の交通需要[台/時]Vを設定する。今回は実測が可能であるため、初期値には各流入部の交通量の実測値 V_{ij} [台/時]を用いた。なお、 i は流入部位置 $i = (W, S, E, N)$, j は進行方向 $j = (L, T, R)$ を指す。

Step2: 実測交通需要Vをピーク時間交通流率V'に変換

式(1)を用いて実測交通需要 V_{ij} をピーク時間交通流率 V'_{ij} に変換する。

$$V'_{ij} = \frac{V_{ij}}{PHF_i} \quad (1)$$

$$PHF_i = \frac{V_i}{V_{i(peak)} \cdot 4} \quad (2)$$

ここに V' はピーク時間交通流率[台/時]、 PHF はPeak Hour Factorで式(2)によって算出される。 $V_{(peak)}$ はピーク時の15分間交通量である。

Step3: h_{d0} を仮定し、各道路の需要率Xを算出

h_{d0} には、対象流入部の車頭時間の初期入力値で、HCMで標準値とされる3.2[秒]を用いる。各流入部の需要率 X は、各流入部に車両が存在する確率を表しており、 $1 - X$ は車両が存在していない確率となる。

Step4: 他流入部車両の存在確率Pを算出

他流入部の車両の存在状況を表-1の8パターンに分類し、それぞれの状況の発生確率 P を算出する。



図-1 分析対象AWSCの平面図

表-1 他流入部の車両の存在状況⁹⁾

パターンNo.	台数	対向車両	左側流入部	右側流入部	h_{base} [s]
1	0	-	-	-	3.9
2	1	✓	-	-	4.7
3		-	✓	-	
4	2	-	-	✓	7.0
5		✓	✓	-	
6		-	✓	✓	
7	3	✓	-	✓	9.6
8		✓	✓	✓	

✓：車両が存在, -：車両が存在しない

Step5: 飽和車頭時間 h_s の算出

各流入部の各パターンについて h_{base} に補正值 h_{adj} を加えるという方法で、飽和時車頭時間 h_s を式(3)のとおり算出する。なお、 h_{base} は交差点全体の流入部数と各流入部の車線数ごとに決定される値で、HCMでは複数箇所の交差点の実測結果をもとに標準値が示されている。今回の対象道路である4枝の片側一車線道路における h_{base} の標準値を表-1に示す。また、 h_{adj} は式(4)で算出され、各流入部での左折車や右折車、大型車の影響を考慮するための補正值と考えることができる。つまり、 h_{base} は左折車や右折車、大型車の影響を除いた車頭時間と考えられる。

$$h_s = h_{base} + h_{adj(i)} \quad (3)$$

$$h_{adj(i)} = h_L \cdot \alpha_{L(i)} + h_R \cdot \alpha_{R(i)} + h_{HV} \cdot \alpha_{HV(i)} \quad (4)$$

ここに、 $h_{adj(i)}$ は流入部*i*の車頭時間補正值、 $\alpha_{L(i)}$ は流入部*i*での左折率、 $\alpha_{R(i)}$ は流入部*i*での右折率、 $\alpha_{HV(i)}$ は流入部*i*での大型車混入率、 h_L 、 h_R 、 h_{HV} はそれぞれ左折車両、右折車両、大型車両に関する車頭時間補正值で、 $h_L = -0.6$ 、 $h_R = 0.2$ 、 $h_{HV} = 1.7$ が標準値として用いられる。なお、アメリカ(HCM)は右側通行、日本では左側通行であるため h_L と h_R の値を入れ替えている。

Step6: P と h_s から期待値 h_d を算出

Step4で算出した P とStep5で算出した h_s を用いて、各流入部での飽和車頭時間 h_s の期待値 h_d を算出する。

Step7: (条件 I) $h_d - h_{d0} \leq 0.1$ を満たすかを確認

条件 I を満たす場合Step8へ進む。満たさない場合、Step6で算出した h_d を次の h_{d0} とし、条件Iを満たすまでStep3～Step7を繰り返す。

Step8: (条件 II) $X = 1.0$ かを確認

対象流入部の需要率 X が条件 II を満たす場合、仮定した対象流入部交通量が交通容量となる。

満たさない場合はStep1から計算をし直す。Step1に戻る際、対象流入部の交通需要を増加させる必要がある。今回は、対象流入部の、 $\alpha_{L(E)}$ 、 $\alpha_{R(E)}$ 、 $\alpha_{HV(E)}$ を一定にして、0.001の倍率で交通需要を増加させ、交通容量の値は小数第一位の四捨五入によって整数値とした。式(5)に*n*回目の繰り返し計算におけるStep1の流入部Wの交通需要設定値 $V_{Wj(n)}$ を示す。ここに、*n*は整数である。

$$V_{Wj(n)} = V_{Wj(0)}(1 + 0.001 \cdot n) \quad (5)$$

また、他流入部交通需要 $V_{Sj(n)}$ 、 $V_{Ej(n)}$ 、 $V_{Nj(n)}$ は常に一定値 $V_{Sj(0)}$ 、 $V_{Ej(0)}$ 、 $V_{Nj(0)}$ を用いる。

(3) AWSC交通容量の実測値と推定値の算出

推定に用いた各時間帯の各種交通量等を、表-2に示す。流入部Wは6:40～8:40の2時間の間絶えず待ち行列ができていたため、交通容量の実測値は6:40～7:40の1時間の流入部Wの交通量473[台/時]、7:40～8:40では同426[台/時]となる。HCMの方法を用いて交通容量の推定値を算出すると、6:40～7:40の交通状況では868[台/時]、7:40～8:40では782[台/時]となる。

以上の結果から、推定値は実測値の約1.84倍の値となり、既存の推定方法では過大に交通容量が推定されることがわかる。HCMの方法では、Step5の飽和車頭時間 h_s の算出の際に、標準値の h_{base} に対し右左折率や大型車割合を考慮した補正值 h_{adj} を足すことで各流入部の飽和車頭時間を算出している。表-1に示すように、 h_{base} はある流入部に対して、対向流入部と左右の流入部の車両の存在ごとに分類して値が与えられている。車両が1台のときは対向流入部に車両が存在する場合とそうでない場合で異なる h_{base} を与えているのに対して、車両が2台のときには対向流入部を区別していない。

表-2 対象交差点の交通状況

時間帯	流入部	交通量[台/時]				大型車混入率	PHF
		合計	左折	右折	直進		
6:40-7:40	W	473	0	193	280	0.00	0.88
	S	127	50	54	23	0.15	0.59
	E	163	45	0	118	0.01	0.72
	N	28	0	0	28	0.86	0.25
7:40-8:40	W	426	0	166	260	0.01	0.79
	S	117	30	50	37	0.33	0.54
	E	157	42	0	115	0.04	0.69
	N	51	1	0	50	0.59	0.46

また、左側に車両が存在する場合と右側に車両が存在する場合の区別もなされていない。しかしながら、実際には車両の存在する位置による影響は大きく、特に今回の対象交差点の様に正十字ではなく角度を有する幾何構造が特殊な場合にはその影響が顕著であると考えられる。

3. RABへの改良による流入交通容量の変化

(1) 使用するRAB流入交通容量推定式

RABの流入交通容量の推定式として、ギャップアクセプタンス理論に基づく式(5)²⁾を適用する。

$$c_i = \frac{3600}{t_f} \cdot \left(1 - \tau \cdot \frac{Q_{ci}}{3600}\right) \cdot \exp\left\{-\frac{Q_{ci}}{3600} \cdot \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau\right)\right\} \quad (5)$$

ここに、 c_i は流入部*i*の交通容量[台/時・車線]、 Q_{ci} は流入部*i*正面右側直近断面の環道交通量[台/時]、 t_c は臨界流入ギャップ[秒]、 t_f は流入車両の追従車頭時間[秒]、 τ は環道交通流の最小車頭時間[秒]、である。

(2) AWSCとRABの流入交通容量の比較

式(5)のパラメータ値 t_c 、 t_f 、 τ には、ラウンドアバウトマニュアル²⁾に参考値として示されている、ドイツのガイドライン⁶⁾の標準値 $t_c = 4.1$ [秒]、 $t_f = 2.9$ [秒]、 $\tau = 2.1$ [秒]を用いるものとする。また Q_{ci} は各時間帯での南流入部Sからの直進(ST)および右折(SR)、東流入部Eからの右折(ER)、ならびに他流入部からのUターン車両の交通量の総和であり、これを各時間帯に関して算出すると、77[台/時](6:40～7:40)、87[台/時](7:40～8:40)となる。これよりRABに改良した場合の流入部Wの推定流入交通容量は、1172[台/時](6:40～7:40)、1163[台/時](7:40～8:40)となる。

これらの値をAWSCの流入部Wの交通容量実測値と比較すると、RABに改良することで流入交通容量が約2.48倍まで増加する。これは、AWSCでは他流入部全ての車両状況を確認してから流入判断を行うのに対し、ラウンドアバウトでは環道右側の状況のみを確認するだけでよ

いため、流入判断にかかる時間が短くなるためであると
考えられる。

4. AWSCの流入車頭時間分析

ここまで、AWSCの実測交通容量とHCMによる推定交通容量、およびRAB推定交通容量の比較を行い、AWSCの実測交通容量が最も小さいことが確認された。ここでは、AWSCの実測交通容量の低下要因を分析するため、対象流入部における流入車両の先行車との車頭時間の分析を行う。

(1) データの取得方法

待ち行列の出来ている流入部Wの車頭時間を、その流入判断に影響を与える可能性のある他流入部の車両(影響車両)の存在状況(存在台数, 存在位置, 進行方向)ごとに分類し、先行車両との車頭時間 h_s の分析を行う。

図-2に示すように、他流入部の車両との交錯の可能性のある領域を考え、その領域に進入する位置に流入線を定義し、この線に到達した車両は流入の判断を終え、流入が行われたと仮定する。このとき、対象車両 n が停止線を通過する前に前方車両が流入線を通じている場合(Case 1)と、先行車両 $n-1$ が流入線に到達する前に対象車両が停止線に到達する場合(Case 2)を考える。

Case 1では、対象車両 n が停止線を通過してから、流入線に到達するまでの時間 T に各流入線に到達した他流入部の車両を影響車両とする。

Case 2では、対象車両 n の先行車両 $n-1$ が流入線を通じてから、対象車両 n が流入線に到達するまでの時間 T' に各流入線に到達した他流入部の車両を影響車両とする。

影響車両の存在状況は、以下の3つの観点からそれぞれ分類した。これら各影響車両のサンプル数を表-3に示す。

存在台数：Wから流入する車両に対してその他流入部に存在する車両の台数

存在位置：Wから流入する車両に対して、その他流入部の存在車両の位置(N, E, W)

交錯動線：Wから流入する車両の動線に対して、交錯する可能性のあるその他流入部車両の有無(図-3)

(2) 影響車両の存在台数による車頭時間の分析

対象車両に対し、影響車両が何台存在するかによって分類する。同方向からの影響車両は最大2台まで存在し、影響車両の最大数は4台であった。車頭時間のサンプル数を累積した結果を図-4に示す。影響車両が3台、4台の

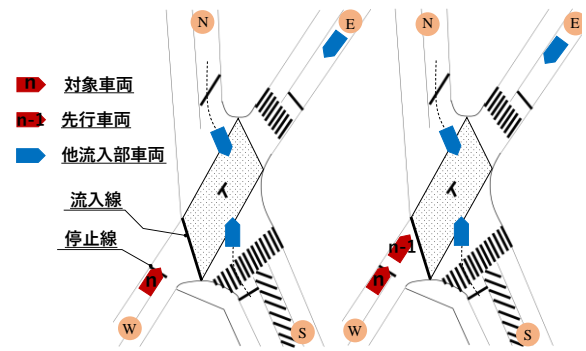
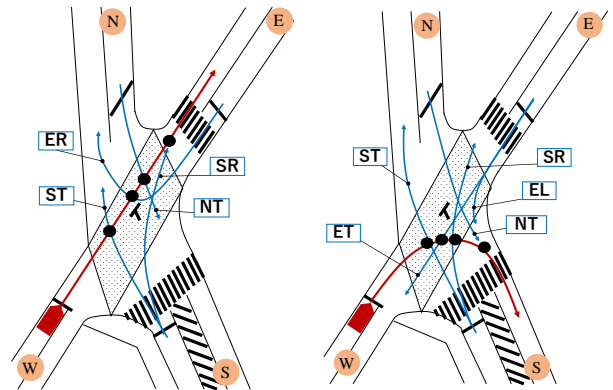


図-2 Case1(左)と Case2(右)のイメージ図



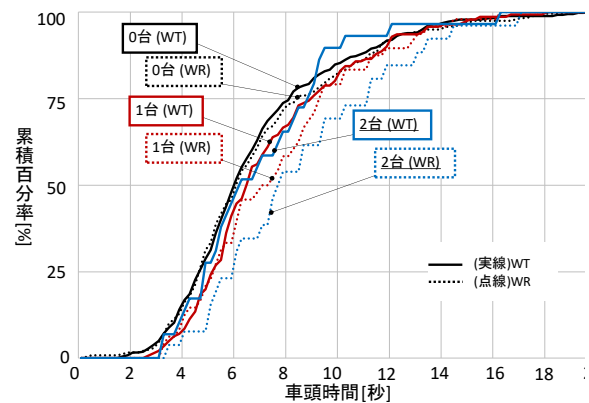
(a) W 流入部からの直進(WT) (b) W 流入部からの右折(WR)

図-3 AWSCの進行方向別の交錯の有無

表-3 影響車両の状況別サンプル数

状況別	条件	W 車両の進行方向	
		WR	WT
存在台数	0	240	342
	1	79	141
	2	26	29
	3以上	5	3
存在位置	S	39	62
	E	29	56
	N	11	23
交錯動線	あり	90	89
	なし	179	178

*サンプル数, 30以上, 10以上30未満, 10未満



*下線を引いたものはサンプル数が 10 以上 30 未満のものである。

図-4 影響車両台数による車頭時間分布

状況は、いずれもサンプル数が10未満であるため同図上には示していない。

影響車両の台数の増加によって、車頭時間の増加に影響していることがわかる。また、右折車両の車頭時間が直進車両に比べて長くなっていることもわかる。影響車両が増加することは、運転者が注意すべき箇所の増加を意味し、流入判断により時間を要するためであると考えられる。さらに、右折車両は、図-3で示したようにコンフリクトの可能性が直進車両よりも大きいため車頭時間が長くなったと考えられる。

(3) 影響車両の存在位置による車頭時間の分析

影響車両の存在する位置に応じた車頭時間を累積した結果を図-5に示す。この際、台数による影響を除くため影響車両台数はすべて1台のものを用いた。

流入部Nや流入部Sに車両が存在する場合、車頭時間が長くなっている。これは流入部Nや流入部Sでの大型車割合の高さと、対象交差点が正十字型ではなく角度を有しているため、運転者にとって見通しが悪くなってしまっていることが原因として考えられる。

(4) 影響車両の進行方向による車頭時間の分析

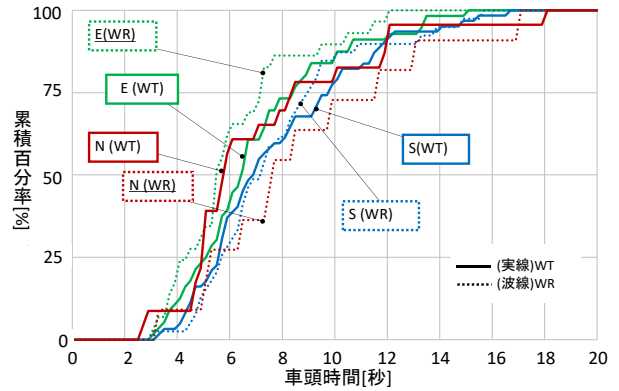
影響車両の進行方向が、対象車両の進行方向に対して交錯の可能性がある場合とない場合の車頭時間の分析を行う。対象車両の動線と交錯する動線は、流入部Wの直進車(WT)に対しては、SR, ST, ER, NTが該当し、流入部Wの右折車(WR)に対しては、SR, ST, EL, ET, NTが該当する。図-6は対象車両の動線と交錯する動線のいずれか1台が他流入部に存在する場合と、対象車両の動線と交錯しない動線が1つ他流入部に存在する場合を比較したグラフである。

対象車両の動線と交錯する動線が存在する場合には、車頭時間が長くなっていることがわかる。これは、対象車両の動線と交錯する動線が対象車両に対して向かってくる挙動であることから、運転者は対象車両の動線と交錯しない動線の場合に比べてより流入判断に時間を要するためであると考えられる。

(5) AWSC交通容量の推定方法の改良方針

以上のように、AWSCでは対象流入部の車頭時間は影響車両の台数や位置によって変化することがわかった。実測した流入部Wの飽和車頭時間 h_s 、さらに、右左折車や大型車の影響を取り除いた車頭時間 h_{base} の平均値を表-1のパターンごとに算出したものを、表-4に示す。なお、表-4中の h_{adj} 値は、式(3)を用いて算出している。

パターンNo. 2, 3, 4の h_s の値からもわかるように、車頭時間は他流入部の存在位置による影響を大きく受ける。しかしながら、現在の交通容量推定方法では対向流入部、



*下線を引いたものはサンプル数が10以上30未満のものである。

図-5 影響車両台数による車頭時間分布

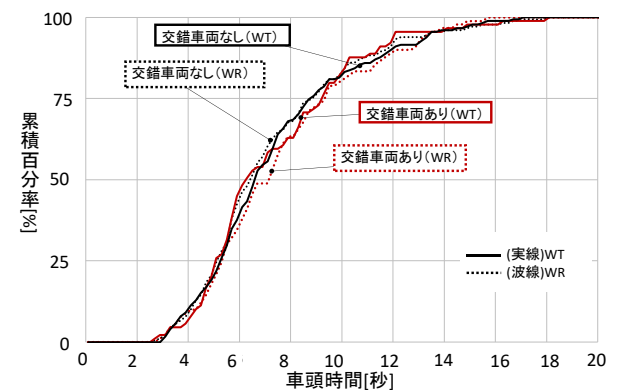


図-6 影響車両の進行方向による車頭時間分布

表-4 流入部Wの各車頭時間実測値

パターンNo.	台数	対向車両 (E)	左側流入部 (N)	右側流入部 (S)	h_s [s] 平均値	h_{base} [s] 平均値	h_{adj} [s]
1	0	-	-	-	7.13	7.04	0.09
2	1	✓	-	-	6.71	6.97	-0.26
3		-	✓	-	8.40	6.87	1.53
4	2	-	-	✓	8.04	7.68	0.37
5		✓	✓	-	9.29	-	-
6		-	✓	✓	8.81	10.31	-1.50
7	3	✓	-	✓	7.20	5.47	1.73
8		✓	✓	✓	4.85	-	-

✓: 車両が存在, -: 車両が存在しない

*サンプル数,

30以上, 10以上30未満, 10未満, -: サンプル無し

左側流入部、右側流入部の区別が曖昧であるため、今後すべてを区別して標準値を設定し直す必要があると考えられる。また、表-1の現在の交通容量推定方法で用いられる標準値の h_{base} に比べ、実測値 h_{base} は大きく算出されているため、 h_{base} あるいは h_{adj} を現在の標準値より大きい値に改善する必要があると考えられる。

5. おわりに

本稿では、AWSCの交通容量の実測値と推定値を算出し、ラウンドアバウトに改良した場合の推定流入交通容量との比較を行った。また、AWSCの車頭時間分布を他流入部の交通状況ごとに分類して行った。

現在用いられているHCMによるAWSCの交通容量推定方法では、交通容量を過大評価してしまう傾向にあることが示された。HCMが前提としているAWSCの運用は、交差点流入部に到着した順に逐次流入していく状況を想定しているが、これは日本の実情と大きく異なっていると考えられる。したがって、HCMの方法を日本で適用するためには、各種設定値を精査する必要があるとともに、日本のAWSC固有の挙動について分析したうえで、独自の方法を検討する必要があると考えられる。

また、車頭時間の分析から、流入車両に影響する他流入部車両数の増加によって車頭時間は長くなることが示された。さらに、影響車両の位置も車頭時間を変化させ、影響車両の進行方向が対象車両の動線と交錯する場合にはより車頭時間が長くなることが示された。

以上のことから、今回分析対象としたAWSCでは交通容量が極めて低く、このような交差点をRABに改良することで、劇的に交通容量が改善されることが確認された。

課題として、本稿では大型車の影響に関しては考えていないが、実際には今回対象としたAWSCでは大型車割合が高いという特徴がある。また、形状も正十字ではな

く、幾何構造による流入判断の遅れも存在すると考えられる。さらに、RABの流入交通容量の算出に際して、各種パラメータ値をドイツの推奨値を用いて比較を行ったが、対象交差点の設計に適したパラメータ値を適用して比較する必要がある。

謝辞：本研究にご協力いただいた、共和設計株式会社の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 警察庁資料,
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/kisei/roundabout/roundabout.pdf>, 2019年10月1日閲覧.
- 2) (一社)交通工学研究会：ラウンドアバウトマニュアル, 2016.4.
- 3) 神戸信人, 張馨, 中村英樹, 尾高慎二：幾何構造要因を考慮したラウンドアバウト流入交通容量推定モデル, 土木学会論文集 D3(特集号)Vol.74, No.5, pp.1_1411-1_1418, 2019.
- 4) Fang, Y., Zhang, X. and Nakamura, H.: Estimation of Passenger Car Equivalent for Heavy Vehicles Considering Geometric Elements of Roundabout, 土木計画学研究・講演集No.38, 2018.
- 5) Highway Capacity Manual 6th edition, Volume 3 Interrupted Flow, Transportation Research Board, 2016.
- 6) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, p.110-119, 1996.

(2019.10.4受付)

PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN ALL-WAY-STOP-CONTROLLED INTERSECTION AND ROUNDABOUT

Ryutaro HIROSE, Hideki NAKAMURA, Yuji KAKIMOTO, Miho IRYO and Xin ZHANG