

信号交差点における 車両挙動と幾何構造との関係性分析

鈴木 弘司¹・佐藤 佑我²・渡部 数樹³・池田 一星⁴

¹正会員 名古屋工業大学大学院准教授 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: suzuki.koji@nitech.ac.jp

²学生会員 名古屋工業大学都市社会工学科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: 27117038@stn.nitech.ac.jp

³正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル)

E-mail: watanabe-kz@oriconsul.com

⁴非会員 株式会社 長大 都市マネジメント事業部 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-18-24)

E-mail: ikedai-i@chodai.co.jp

近年、交差点内事故対策として、交差点のコンパクト化事業が注目されている。本研究では、近年交差点のコンパクト化が行われた5交差点と構造条件の異なる3交差点において行われたビデオ観測調査のデータを用いて車両挙動の分析を行った。その結果、停止線セットバック量が大きくなると左折車の進入部速度が上昇すること、隅切り半径が大きくなると左折車の進入部、隅角部、流出部速度が上昇することが示された。また、交差点内ゼブラ標示だけでは左折車の速度抑制効果があまりみられないことや、停止線間距離が大きくなると直進車の信号切り替わり時の危険挙動が生じやすくなることが示された。

Key Words : Traffic Safety, Vehicle Movement, Signalized Intersection, Inetrsection Design

1. はじめに

都市内多車線道路や都市間バイパス道路の大規模な信号交差点では、交通量が多いために生じる左折車滞留による後続直進車への阻害を回避するなどの円滑な交通処理のため、停止線セットバック量や隅切半径などが大きく設定されがちである。その結果、左折車の交差点通過時の速度が高くなるため、歩行者と左折車の巻き込み事故の危険性が増加する¹⁾。こうした状況を改善すべく、近年、停止線・横断歩道の前出しや、隅切半径を小さくする交差点のコンパクト化事業が注目されている。交差点コンパクト化に関する既存研究として、川瀬ら²⁾は隣接する複数の信号交差点を対象としてロバスト回帰分析により類型別事故リスクと交差点の幾何構造との関係を明らかにした。また、佐藤ら³⁾は、交差点のコンパクト化事業が行われた1つの信号交差点において、事前事後の車両挙動分析を行い、駆け込み進入の減少、右左折車両の速度の低下を示した。赤羽ら⁴⁾は、構造の異なる2つの信号交差点の車両挙動を分析し、交差点停止線セットバック量が短い方が、停止判断確率が高いことを示した。しかし、複数の信号交差点における車両挙動分析に基づき、挙動と交差点幾何構造との関係を統計モデルにより

表-1 調査交差点の概要

分析 流入部	R[m]	L ₁ [m]	左折角 [°]	流出 車線数	信号 サイクル[s]
Ac事前	14	18.4	90	3	180
Ae事後	14*	18.4	90	3	180
Bw事前	9	25.2	100	1	160-170**
Bw事後	9	15.5	100	1	180-170**
Cn事前	7	10.8	60	2	130-140**
Cn事後	3.2	10.2	60	2	130-140**
Bw	12	15.1	80	3	160
En	18	21.4	100	3	160
Ee	13	17.5	80	3	160
Pe	16	16.6	130	3	140
Gw	14	19.3	90	3	140-160**

表-2 交差点概要

分析 流入部	L ₂ [m]	規制速度 [km/h]
Bw事前	42.7	40
Bw事後	33.0	40
Ce事前	70.1	60
Ce事後	33.1	60
De事前	42.1	60
De事後	33.8	60
Hw事前	49.7	50
Hw事後	44.7	50

*ゼブラ新設

**時間帯により変化有

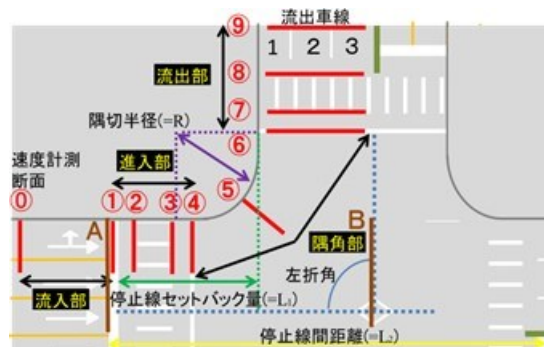


図-1 分析に用いる交差点構造、計測断面の定義図
表現し、巨視的に交差点の幾何構造の安全性評価を行った事例は少ない。

そこで、本研究では、近年交差点のコンパクト化事業

が行われた5つの交差点と構造条件が異なることに留意し、選定した他の3つの交差点において、平成24年10月から平成29年11月にかけて行われたビデオ観測調査のデータを用いて、左折車挙動、直進車挙動の取得し、停止線セットバック量と隅切半径の変化に伴う左折車両挙動の変化、停止線間距離の変化に伴う直進車両挙動の変化に着目して分析を行うことで、交差点のコンパクト化事業の安全性について検討を行う。

2. 調査概要

本研究では、近年交差点のコンパクト化が行われた A, B, C, D, H の 5 交差点と構造条件の異なる E, F, G の 3 交差点において、平成 24 年 10 月から平成 29 年 11 月にかけて行われたビデオ観測調査のデータを用いて、車両挙動を取得する。表-1, 表-2 に各交差点の構造諸量、信号サイクル、規制速度を、図-1 に分析に用いる構造、計測断面等の条件の定義を示す。交差点構造の特徴として、隅切半径は 3.2[m]から 16[m]程度で、Cn 事後が最も短く、停止線セットバック量は 10.8[m]から 25.2[m]程度で Ce 事後が最も短いことがわかる。左折角は 60° から 130°]である。Cnが 60°], Gsが 130°]と直角との差が大きくなっている。流出車線数は Ae, Ew, En, Ee, Fe, Gw が 3 車線, Cn が 2 車線, Bw が 1 車線となっている。停止線間距離は 33.0[m]から 70.1[m]程度で、Ce 事前が極端に長いことがわかる。また、規制速度は Bw で 40[km/h], Ce と De で 50[km/h], Hw で 60[km/h]となっている。

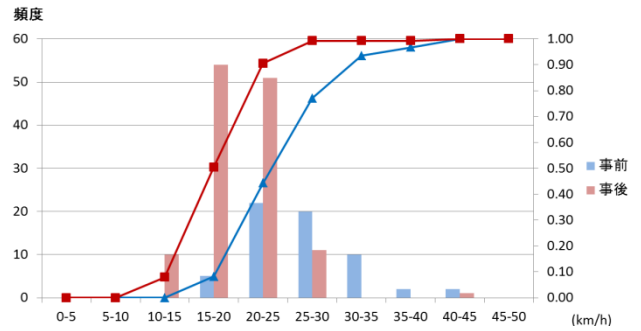
左折速度計測断面は全10断面を定義し、断面0から断面1を交差点流入部、断面1から断面4を交差点進入部、断面4から断面6を交差点隅角部、断面6から断面9を交差点流出部と定義する。直進速度計測断面は流入部側の停止線と交差点内部の2断面を定義する。

3. 停止線セットバック量が速度に与える影響分析

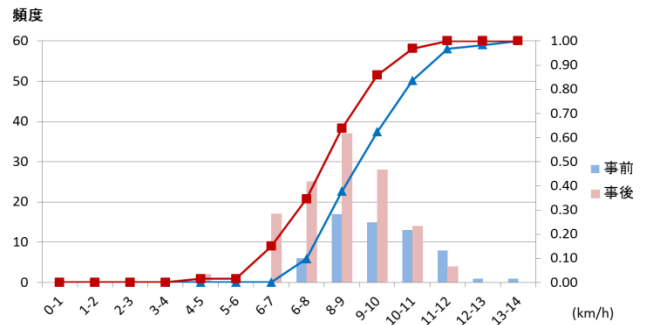
(1) 事例分析

停止線セットバック量が25.2[m] から15.5[m]に変更されたBwの自由走行左折車の事前事後の交差点流入部、隅角部、流出部の断面間の累積速度分布図を図-2に、基本統計量および検定、 χ^2 検定、コルモゴロフスミルノフ検定（以下、K-S検定）の結果を表-3に示す。なお事前01とは事前の断面0と断面1の断面間速度を示す。

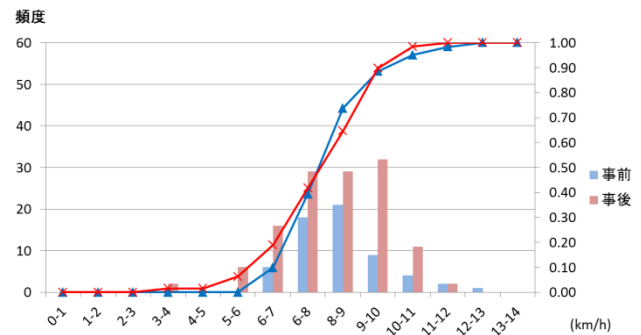
図-2より、事前に比べ、事後の方が交差点流入部、隅角部において高速車両が少ないことがわかる。また、表-3より、事後の速度の平均値は流入部において約23%、隅角部において約9%低下し（有意確率 $p<0.01$ ）、85percentile値は流入部において約25%、隅角部において



(a) 流入部速度累積分布図(断面01)



(b) 隅角部速度累積分布図(断面16)



(c) 流出部速度累積分布図(断面67)

図-2 Bwにおける累積速度分布図

表-3 Bwにおける基本統計量および各種検定結果

	流入部(断面01)		隅角部(断面16)		流出部(断面67)	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均値 [km/h]	26.60	20.17	9.58	8.54	8.55	8.41
85percentile値 [km/h]	32.45	24.37	11.33	9.97	9.67	9.67
標準偏差 [km/h]	5.35	4.17	1.38	1.35	1.31	1.54
変動係数	0.20	0.21	0.14	0.16	0.15	0.18
最頻値 [km/h]	22.5	17.5	8.5	8.5	8.5	9.5
p値(t検定)	3.84×10^{-13}		1.86×10^{-6}		2.58×10^{-1}	
p値(χ^2 検定)	2.15×10^{-11}		8.54×10^{-4}		1.58×10^{-1}	
p値(K-S検定)	2.14×10^{-8}		3.69×10^{-3}		4.98×10^{-1}	

標本数 N=61(事前), N=127(事後)

約12%低下していることがわかった。加えて、流入部において最頻値が22.5[km/h] から17.5[km/h]に低下していることがわかる。交差点流出部においては事前事後で速度特性に変化は見られなかった。また、変動係数の比較より、隅角部、流出部の速度のばらつきが若干大きくなったといえる。交差点流入部、隅角部における平均速度低下の要因としては、停止線セットバック量が小さくなったことで、運転者が交差点を視覚的に小さく感じ、速度を落として交差点に流入するようになったことが挙げられる。

(2) 速度に関する単回帰分析

次に、停止線セットバック量以外の構造条件が類似した交差点をグループ化するため、表-1 の全 11 カ所を対象として、隅切半径、左折角、流出車線数を説明変数としたクラスター分析を行い、3 グループに分類した。そのうち同グループの Ae 事前、Ew、En、Ee、Fe、Gw の進入部、隅角部、流出部における左折速度と停止線セットバック量との関係について単回帰分析を行った結果を表-4 に示す。なお、本研究では、式(1)に示す線形式を仮定している。

$$V_{nl} = b_l + a_l x_l \quad \dots (1)$$

ここで、 V_{nl} : 各分析区間における速度[km/h],

x_l : 停止線セットバック量[m], a_l, b_l : パラメータ

これより、停止線セットバック量が大きくなれば、速度が高くなる傾向が読み取れ、進入部ではセットバック量1mの増加に対して、速度が約1.3km/h上昇する傾向があることがわかる(有意確率 $p < 0.138$)。

4. 隅切半径の違いが速度に与える影響分析

(1) 事例分析

隅切半径が 18[m] と 12[m] で異なる En、Ew の自由走行左折車の交差点進入部、隅角部、流出部における累積速度分布図を図-3 に、基本統計量および t 検定、 χ^2 検定、K-S 検定の結果を表-5 に示す。なお En4 とは En の断面 4 における車両の速度を示す。

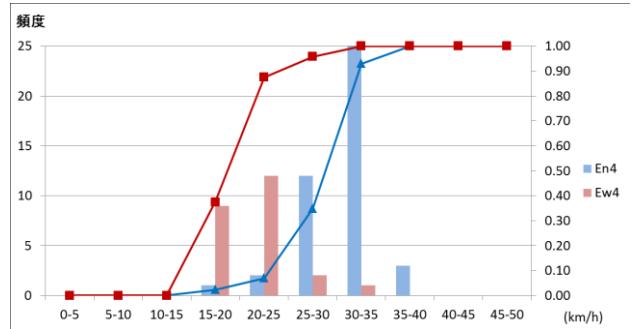
図-3 より、En に比べ、Ew の方が進入部、隅角部、流出部において高速車両が少ないことがわかる。また、表-5 より、En に比べ、Ew の速度の平均値は進入部において約 30%、隅角部において約 20%、流出部において約 27% 低く (有意確率 $p < 0.01$)、85percentile 値は流入部において約 28%、隅角部において約 32%、流出部において約 31% 低いことがわかった。加えて、最頻値が流入部において 32.5[km/h] から 22.5[km/h] に、隅角部において 22.5[km/h] から 17.5[km/h] に、流出部において 32.5[km/h] から 22.5[km/h] に低下していることがわかった。また、変動係数の比較より、進入部、隅角部、流出部において En に比べ、Ew の速度のばらつきが小さいといえる。平均速度の違いがみられる要因として、隅切半径が小さければ、運転者が巻き込み部に沿って曲がるために、減速して交差点に進入する必要があることが挙げられる。

(2) 速度に関する単回帰分析

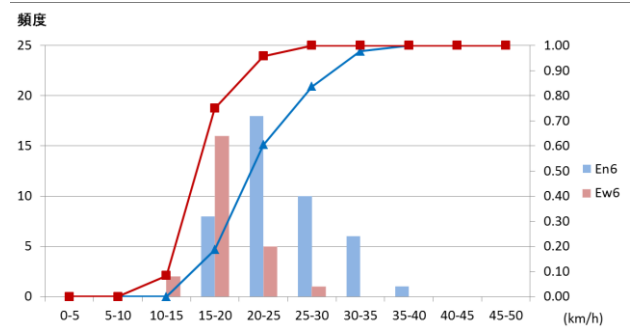
隅切半径以外の構造条件が類似した交差点をグループ化するため、表-1 の全 11 カ所を対象として、停止線の

表-4 停止線セットバック量と左折速度の単回帰分析結果

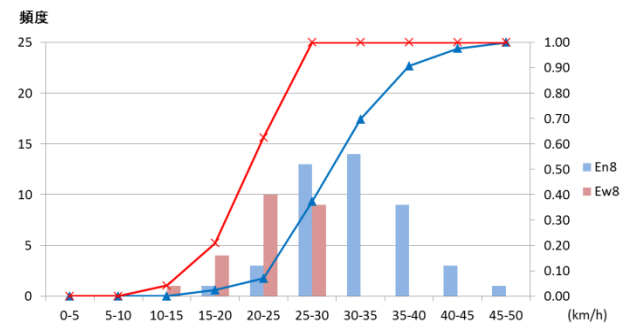
目的変数	切片	傾き	R2乗	F値	p値
進入部速度	3.253	1.294	0.461	3.426	0.138
隅角部速度	12.18	0.574	0.105	0.468	0.531
流出部速度	18.47	0.293	0.035	0.145	0.258



(a) 進入部速度累積分布図(断面 4)



(b) 隅角部速度累積分布図(断面 6)



(c) 流出部速度累積分布図(断面 8)

図-3 Eにおける累積速度分布図

表-5 Eにおける基本統計量および各種検定結果

	進入部 (断面4)		隅角部(断面6)		流出部(断面8)	
	En	Ew	En	Ew	En	Ew
平均値 [km/h]	30.84	21.50	24.27	18.57	31.80	23.21
85percentile値 [km/h]	34.59	25.01	31.02	20.95	38.81	26.69
標準偏差 [km/h]	3.96	3.49	5.15	2.97	5.60	3.78
変動係数	0.13	0.16	0.21	0.16	0.18	0.16
最頻値 [km/h]	32.5	22.5	22.5	17.5	32.5	22.5
p値(t検定)	4.07×10^{-14}		1.30×10^{-7}		1.57×10^{-10}	
p値(χ^2 検定)	6.45×10^{-9}		4.98×10^{-5}		6.47×10^{-5}	
p値(K-S検定)	2.11×10^{-9}		5.56×10^{-5}		5.31×10^{-6}	

標本数 N=43 (En) , N=24 (Ew)

セットバック量、左折角、流出車線数を説明変数としたクラスター分析を行い、3 グループに分類した。そのうち同グループの Ae 事前、Ew、En、Ee、Fe、Gw の交差点進入部、隅角部、流出部における平均速度と隅切半径の関係について単回帰分析を行った結果を表-6 に示す。なお、本研究では、式(2)に示す線形式を仮定している。

$$V_{i2}=b_2+a_2x_2 \quad \dots (2)$$

ここで、 V_{i2} ：各分析区間における速度[km/h]，
 x_2 ：隅切半径[m]， a_2 ， b_2 ：パラメータ

表-6より，隅切半径が大きくなれば，左折車の速度が高くなる傾向が読み取れ，交差点進入部では，隅切半径1[m]の増加に対して，速度が1.52[km/h]上昇し（有意確率 $p=0.063$ ），隅角部では，1.47[km/h]上昇し（有意確率 $p=0.045$ ），流出部では，1.20[km/h]上昇することがわかる（有意確率 $p=0.084$ ）。

5. 交差点内ゼブラ標示が左折車に与える影響分析

(1) 速度に与える影響

左折導流路内側にゼブラ標示がなされた Ae の事前事後の自由走行左折車の交差点進入部，隅角部，流出部の断面間の区間速度の累積速度分布図を図-4 に，基本統計量および t 検定， χ^2 検定，K-S 検定の結果を表-7 に示す。なお事前 14 とは事前の断面 1 と断面 4 の断面間速度を示す。

図-4 より，事前に比べ，事後の方が隅角部において高い速度で左折しようとする車両が多い傾向があることがわかる。また，表-7 より，事後の速度の平均値は進入部において約 6%（有意確率 $p=8.55 \times 10^{-2}$ ），隅角部において約 7%（有意確率 $p=8.38 \times 10^{-2}$ ），流出部において約 6%上昇し（有意確率 $p=6.66 \times 10^{-2}$ ），85%percentile 値は進入部において約 16%，隅角部において約 9%，流出部において約 6%上昇していることがわかった。加えて，隅角部において最頻値が 17.5[km/h] から 22.5[km/h]に上昇していることがわかった。一方，進入部，流出部においては最頻値に変化は見られなかった。また，変動係数の比較より，流入部，隅角部，流出部の速度のばらつきが大きくなったといえる。交差点進入部，隅角部，流出部における平均速度上昇の要因としては，左折導流路内側にゼブラ標示があることで，走行位置が明確となり，運転者が速度を出しやすくなったことが挙げられる。

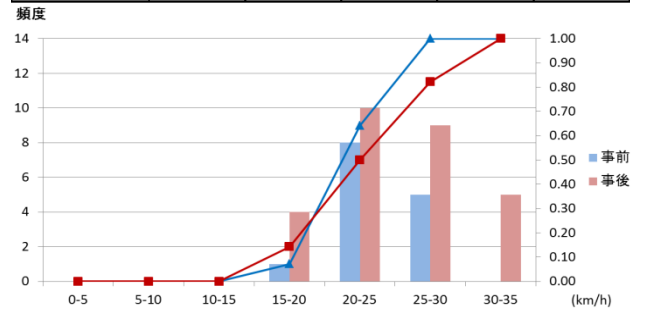
(2) 走行軌跡に与える影響

左折導流路内側にゼブラ標示がなされた Ae の事前事後の自由走行左折車の流出車線割合を図-5 に示す。

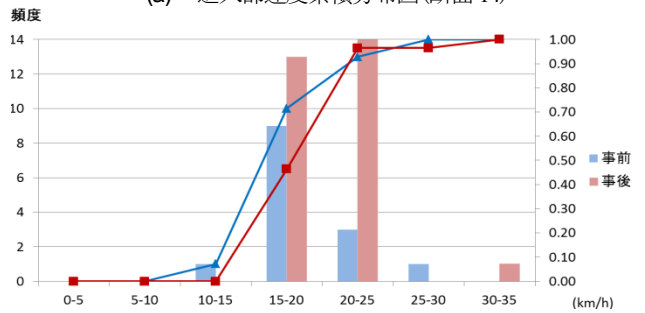
図-5 より事前に比べ事後の方が外側の車線への流出が増えていることがわかる（有意確率 $p=2.89 \times 10^{-2}$ ）。左折車の走行軌跡が膨らんだ要因としては，左折車の速度が上昇したことが挙げられる。

表-6 隅切半径と左折速度の単回帰分析結果

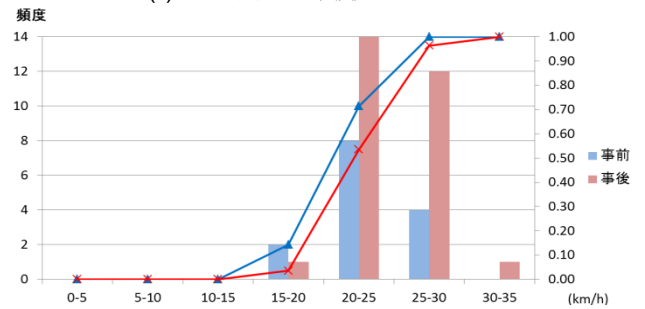
目的変数	切片	傾き	R2乗	F値	p値
進入部速度	4.558	1.521	0.624	6.628	0.063
隅角部速度	1.184	1.472	0.675	8.321	0.045
流出部速度	6.414	1.198	0.568	5.255	0.084



(a) 進入部速度累積分布図(断面 14)



(b) 隅角部速度累積分布図(断面 46)



(c) 流出部速度累積分布図(断面 68)

図-4 Aeにおける累積速度分布図

表-7 Aeにおける基本統計量および各種検定結果

	進入部 (断面14)		隅角部 (断面46)		流出部 (断面68)	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均値 [km/h]	24.05	25.41	19.35	20.75	23.12	24.38
85percentile値 [km/h]	26.06	30.19	21.63	23.49	25.13	26.64
標準偏差 [km/h]	2.07	4.25	2.62	3.71	2.26	2.91
変動係数	0.09	0.17	0.14	0.18	0.10	0.12
最頻値 [km/h]	22.5	22.5	17.5	22.5	22.5	22.5
p値(t検定)	8.55×10^{-2}		8.38×10^{-2}		6.66×10^{-2}	
p値(χ^2 検定)	2.68×10^{-1}		1.38×10^{-1}		4.59×10^{-1}	
p値(K-S検定)	5.51×10^{-1}		3.11×10^{-1}		5.51×10^{-1}	

標本数 N=14(事前)，N=28(事後)

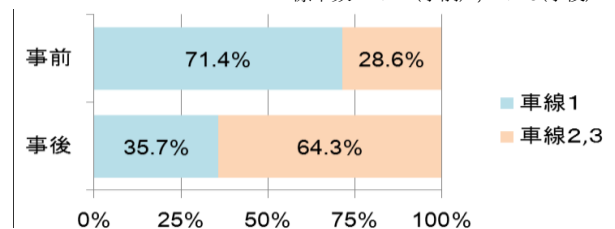
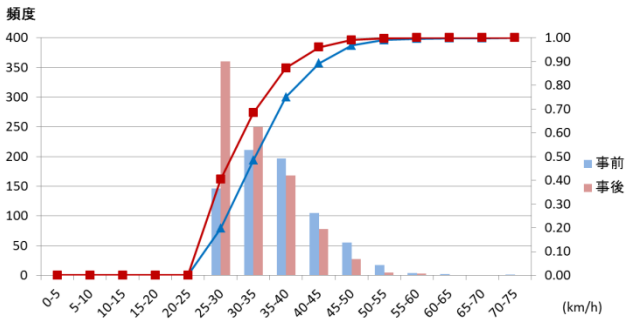
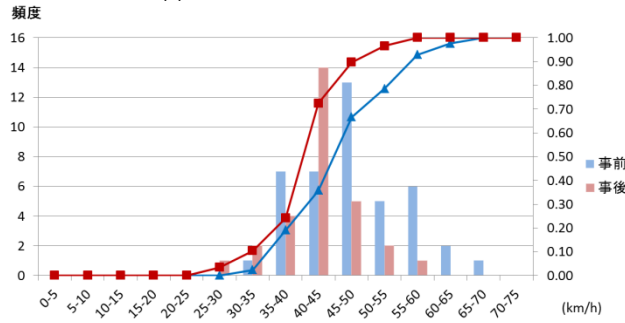


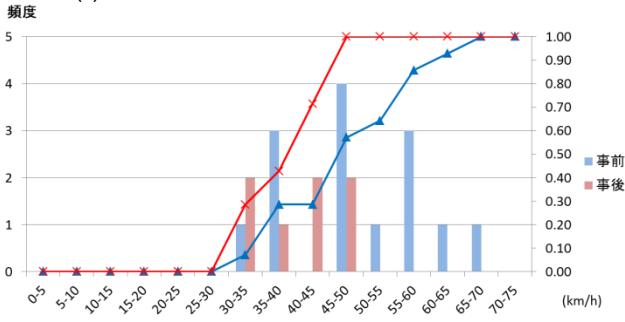
図-5 Aeにおける流出車線比較



(a) 速度累積分布図(全車両)



(b) 速度累積分布図(青後半5秒以降進入車両)



(c) 速度累積分布図(黄赤進入車両)

図-6 Bwにおける累積速度分布図

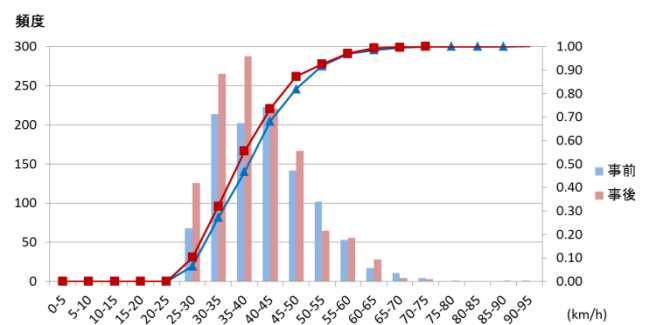
表-8 Bwにおける基本統計量および各種検定結果

	全車両		青後半5秒以降進入車両		黄赤進入車両	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均値 [km/h]	36.10	32.84	48.10	42.61	49.65	39.80
85percentile値 [km/h]	43.15	38.85	58.80	49.65	60.04	48.10
標準偏差 [km/h]	6.79	5.81	7.72	6.58	9.83	6.23
標本数	738	891	42	29	14	7
変動係数	0.19	0.18	0.16	0.15	0.20	0.16
最頻値 [km/h]	27.5	32.5	42.5	47.5	42.5	47.5
p値(t検定)	2.27×10^{-24}		1.02×10^{-3}		6.09×10^{-3}	
p値(χ^2 検定)	2.64×10^{-19}		8.21×10^{-2}		7.21×10^{-2}	
p値(K-S検定)	1.23×10^{-15}		9.84×10^{-3}		1.80×10^{-1}	

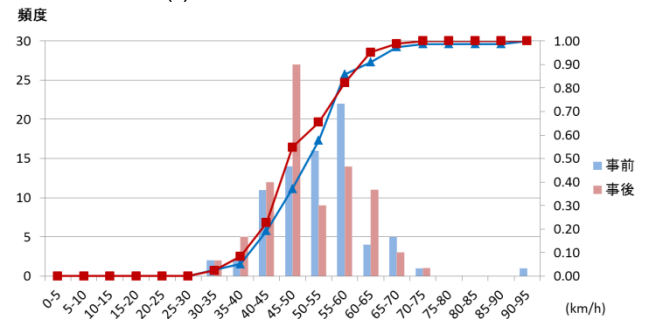
6. 停止線間距離が直進車挙動に与える影響分析

(1) 事例分析1

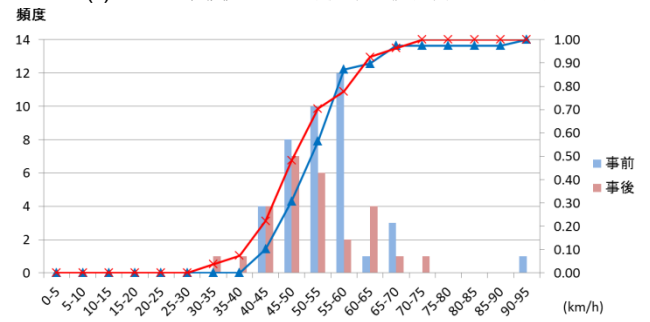
停止線間距離が 42.7[m] から 33.0[m]に変更された Bw の事前事後の直進車の断面間の速度特性として全車両、青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の累積速度分布図を図-6 に、また、基本統計量および t 検定、 χ^2 検定、K-S 検定の結果を表-8 に示す。なお、当交差点の信号現示設定は事前事後で大きく変更されていない。



(a) 速度累積分布図(全車両)



(b) 速度累積分布図(青後半5秒以降進入車両)



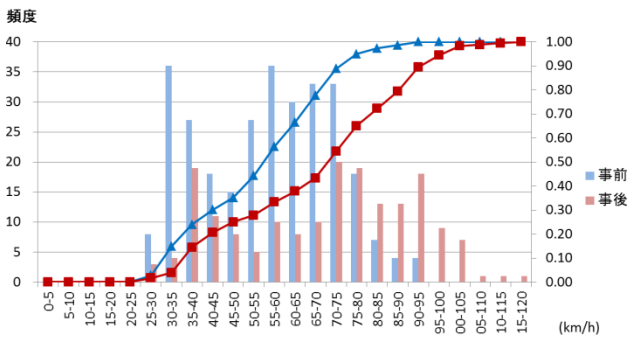
(c) 速度累積分布図(黄赤進入車両)

図-7 Deにおける累積速度分布図

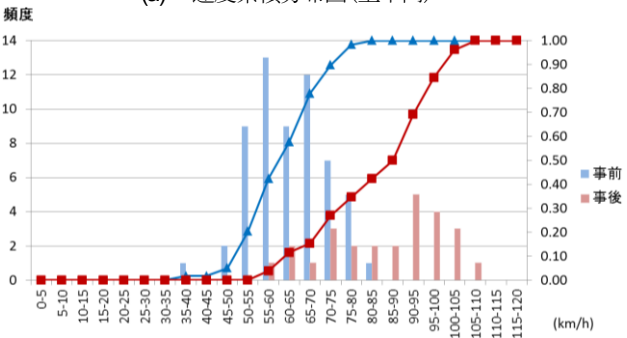
表-9 Deにおける基本統計量および各種検定結果

	全車両		青後半5秒以降進入車両		黄赤進入車両	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均値 [km/h]	41.68	40.30	53.45	51.10	54.59	51.41
85percentile値 [km/h]	51.03	49.80	60.24	60.59	59.94	61.35
標準偏差 [km/h]	9.15	8.87	9.18	8.48	8.96	8.92
標本数	1036	1223	78	84	39	27
変動係数	0.22	0.22	0.17	0.17	0.16	0.17
最頻値 [km/h]	42.5	37.5	57.5	47.5	47.5	57.5
p値(t検定)	1.43×10^{-4}		4.68×10^{-2}		8.04×10^{-2}	
p値(χ^2 検定)	3.33×10^{-5}		2.84×10^{-4}		1.51×10^{-1}	
p値(K-S検定)	1.68×10^{-4}		8.20×10^{-2}		3.81×10^{-1}	

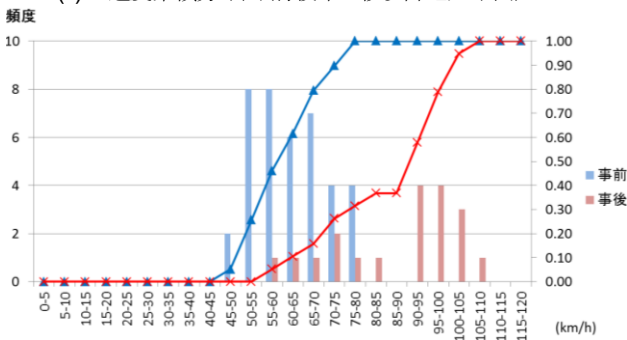
図-6 より、事前 compared to 事後の方が青後半 5 秒以降、黄赤進入車両の高速進入車両が少ないことがわかる。また、表-8 より、事後の速度の平均値は青後半 5 秒以降進入車両で約 11%、黄赤進入車両で約 20%低下し (有意確率 $p < 0.01$)、85percentile 値は青後半 5 秒以降進入車両で約 16%、黄赤進入車両で約 20%低下していることがわかる。加えて最頻値は、青後半 5 秒以降進入車両で 47.5[km/h] から 42.5[km/h]に低下していることがわかる。また、変動係数の比較より、黄赤進入車両の速度のばらつきが若干小さくなったといえる。



(a) 速度累積分布図(全車両)



(b) 速度累積分布図(青後半5秒以降進入車両)



(c) 速度累積分布図(黄赤進入車両)

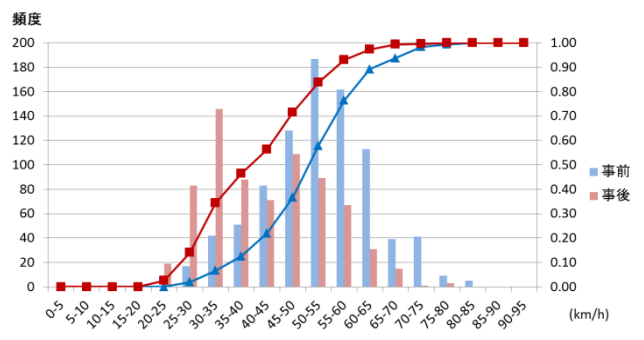
図-8 Hwにおける累積速度分布図

表-10 Hwにおける基本統計量および各種検定結果

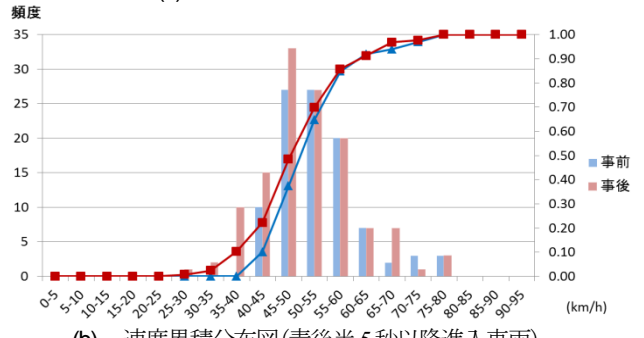
	全車両		青後半5秒以降進入車両		黄赤進入車両	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均値 [km/h]	55.83	66.17	63.12	81.48	62.46	82.01
85percentile値 [km/h]	72.10	86.14	73.20	101.22	73.20	104.96
標準偏差 [km/h]	16.09	20.13	8.92	16.33	8.62	19.80
標本数	296	180	59	26	39	19
変動係数	0.29	0.30	0.14	0.20	0.14	0.24
最頻値 [km/h]	32.5	57.5	37.5	72.5	57.5	92.5
p値(t検定)	2.43 × 10 ⁻⁸		9.21 × 10 ⁻⁵		4.26 × 10 ⁻³	
p値(χ ² 検定)	8.52 × 10 ⁻²⁸		6.00 × 10 ⁻⁷		2.70 × 10 ⁻⁴	
p値(K-S検定)	3.09 × 10 ⁻¹²		4.38 × 10 ⁻⁷		6.38 × 10 ⁻⁶	

(2) 事例分析2

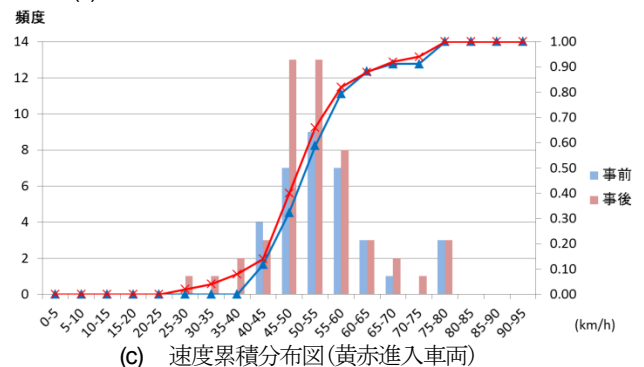
停止線間距離が 42.1[m] から 33.8[m]に変更された De の事前事後の直進車の断面間の速度特性として全車両、青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の累積速度分布図を図-7 に、また、基本統計量および t 検定、 χ^2 検定、K-S 検定の結果を表-9 に示す。なお、当交差点の信号現示設定は事前事後で大きく変更されていない。



(a) 速度累積分布図(全車両)



(b) 速度累積分布図(青後半5秒以降進入車両)



(c) 速度累積分布図(黄赤進入車両)

図-9 Ceにおける累積速度分布図

表-11 Ceにおける基本統計量および各種検定結果

	全車両		青後半5秒以降進入車両		黄赤進入車両	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均値 [km/h]	52.71	42.69	53.33	51.35	54.48	53.31
85percentile値 [km/h]	62.80	55.98	60.89	59.55	62.94	63.61
標準偏差 [km/h]	10.74	11.50	8.19	9.28	9.92	10.38
標本数	877	722	99	126	34	50
変動係数	0.20	0.27	0.15	0.18	0.18	0.19
最頻値 [km/h]	32.5	52.5	50	47.5	52.5	50
p値(t検定)	4.11 × 10 ⁻⁶⁵		4.54 × 10 ⁻²		3.02 × 10 ⁻¹	
p値(χ ² 検定)	5.86 × 10 ⁻⁵⁴		4.29 × 10 ⁻²		8.77 × 10 ⁻¹	
p値(K-S検定)	1.68 × 10 ⁻⁴		1.96 × 10 ⁻¹		7.72 × 10 ⁻¹	

図-7 より、事前 compared to 事後の方が青後半 5 秒以降進入車両の高速進入車両が少ないことがわかる。また、表-9 より、事後の速度の平均値は青後半 5 秒以降進入車両で約 4%低下していることがわかる (有意確率 $p=0.046$)。一方、85percentile 値と変動係数はほぼ変わりなく、最頻値は 57.5[km/h] から 47.5[km/h]に低下していることがわかる。

(3) 事例分析3

停止線間距離が 49.7[m] から 44.7[m]に変更された Hw の事前事後の直進車の断面間の速度特性として全車両、青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の累積速度分布図をそれぞれ図-8 に、また、基本統計量および t 検定、 χ^2 検定、K-S 検定の結果を表-10 に示す。なお、当交差点の信号現示設定は事前事後で大きく変更されていない。

図-8 より、事前に比べ、事後の方がすべての進入タイミングにおいて、高速進入車両が多いことがわかる。また、表-10 より、事後の速度の平均値は全車両で約 19%、青後半 5 秒以降進入車両で約 29%、黄赤進入車両で約 31%上昇していることがわかる（有意確率 $p < 0.01$ ）。加えて、85percentile 値は全車両で約 19%、青後半 5 秒以降進入車両で約 38%、黄赤進入車両で約 43%上昇していることがわかる。また、全車両の累積速度分布図には二峰性があり、最頻値はそれぞれ 32.5[km/h] から 57.5[km/h]、57.5[km/h] から 72.5[km/h]に上昇している。二峰性が生じた要因としては青前半進入車両とその他の車両の速度差が大きいことが挙げられる。加えて青後半 5 秒以降進入車両では最頻値が 57.5[km/h] から 92.5[km/h]に上昇し、赤進入車両では 57.5[km/h] から 72.5[km/h]に上昇していることがわかる。変動係数は青 5 秒以降進入車両で高くなり、速度のばらつきが大きくなっていることがわかる。

(4) 事例分析4

停止線間距離が 70.1[m] から 33.1[m]に変更された Ce の事前事後の直進車の断面間の速度特性として全車両、青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の累積速度分布図をそれぞれ図-9 に、また、基本統計量および t 検定、 χ^2 検定、K-S 検定の結果を表-11 に示す。なお、本交差点の信号現示設定は事前事後で大きく変更されており、今回の分析方向の青時間が短縮されていることが大きな特徴である。

図-9 より、事前に比べ、事後の方が青後半 5 秒以降進入車両の高速進入車両が少ないことがわかる。また、表-11 より、事後の速度の平均値は青後半 5 秒以降進入車両で約 4%低下し（有意確率 $p = 0.045$ ）、85percentile 値は約 2%低下していることがわかる。また、最頻値は 50[km/h] から 47.5[km/h]に低下しており、変動係数は青 5 秒以降進入車両で高くなり、速度のばらつきが大きくなっていることがわかる。

(5) 事例分析まとめ

4 つの事例分析より、青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の速度の平均値は Bw でそれぞれ約 11%、約 20%と最大の下げ幅となり、85percentile 値についても Bw でそれぞれ約 16%、約 20%と最大の下げ幅となっていることがわかる。また、最頻値は De で 10[km/h]と最大の

表-12 相関分析結果

	黄赤進入車両 平均速度超過比	黄赤進入車両速度 85percentile値超過比	黄赤進入車両 平均速度上昇比	黄赤進入車両速度 85percentile値超過比
停止線間距離 [m]	0.6275	0.5396	0.4491	0.4242

表-13 停止線間距離と黄赤進入車両速度との単回帰分析結果

b_3	a_3	R2乗	F値	p値
-0.0119	0.0283	0.394	2.598	1.82×10^{-1}

下げ幅となっていることがわかる。Bw において青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の速度低下が最大となった要因としては、Bw の停止線間距離短縮幅が 12.7[m]と大きく、停止線間距離が短縮されたことで、信号切り替わり時において、速度を上げて無理に交差点に進入、流出しようとする車両が減少したことがあげられる。一方、停止線間距離が大きく短縮された Ce における青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の速度低下が大きく見られなかった要因としては、Ce では構造改良のみならず、信号現示が改定されたことで今回の分析方向の青時間が大きく短縮されることとなったために、信号待ちをすることで大きな時間損失を被ることから、信号切り替わり時において、長い信号待ち時間を回避し、無理に交差点に進入しようとする車両が増加したことが挙げられる。Hw における全車両、青後半 5 秒以降進入車両、黄赤進入車両の速度上昇の要因としては、事前事後の平均交通流率がそれぞれ 565.8[台/時]、436.5[台/時]と、事前に比べ、事後の方が、交通流率が小さく、高い速度で走行しやすい交通状況であったことが挙げられる。

(6) 停止線間距離と黄赤進入車の速度との相関分析

停止線間距離短縮が行われ、信号現示設定が大きく変更されていない Bw、De、Hw の事前事後の直進車挙動について、停止線間距離と黄赤進入車両平均速度超過比、黄赤進入車両速度 85percentile 値超過比、黄赤進入車両平均速度上昇比、黄赤進入車両速度 85percentile 値上昇比の関係性について相関分析を行った結果を表-12 に示す。

なお、黄赤進入車両の速度の平均値を規制速度で除したものを黄赤進入車両平均速度超過比、黄赤進入車両の速度の 85percentile 値を規制速度で除したものを黄赤進入車両速度 85percentile 値超過比、黄赤進入車両の速度の平均値を青後半 5 秒以降進入車両の速度の平均値で除したものを黄赤進入車両平均速度上昇比、黄赤進入車両の速度の 85percentile 値を青後半 5 秒以降進入車両の速度の 85percentile 値で除したものを黄赤進入車両速度 85percentile 値上昇比とそれぞれ定義する。

表-12より、停止線間距離と黄赤進入車両平均速度超過比に最も相関関係があることがわかる。

(7) 停止線間距離と黄赤進入車の速度との回帰分析

停止線間距離短縮が行われ、信号現示設定が大きく変更されていない Bw、De、Hw の事前事後について、停

止線間距離と黄赤進入車両平均速度超過比の関係性について回帰分析を行った結果を表-13 に示す。なお、本研究では、式(3)に示す線形式を仮定している。

$$R = b_3 + a_3 x_3 \cdots \quad (3)$$

ここで、 R ：黄赤進入車両平均速度超過比，
 x_3 ：停止線間距離[m]， a_3 ， b_3 ：パラメータ

表-13より、停止線間距離が大きくなれば、黄赤進入車両平均速度超過比が高くなる傾向が読み取れ、停止線間距離1[m]の増加に対して、黄赤進入車両平均速度超過比が2.83[%]上昇することがわかる（有意確率 $p=0.182$ ）

(8) 停止線間距離が駆け込み進入に与える影響分析

停止線間距離短縮が行われた Bw, Ce, De, Hw の事前事後の黄赤進入率を表-14 に示す。なお、黄赤進入車両数を青後半 5 秒以降進入車両数で除したものを黄赤進入率と定義する。

表-14 より、信号現示設定が大きく変更されていない Bw, De, Hw では事前に比べ、事後の方が、黄赤進入率が低下していることがわかる。一方、信号現示設定が変更されている Ce において、事前に比べ、事後の方が、黄赤進入率が上昇していることがわかる。Bw, De において、黄赤進入率が低下した要因としては停止線間距離が短縮されたことで、信号切り替わり時において、速度を上げて無理に交差点に進入しようとする車両が減少したことが挙げられる。Hw において、黄赤進入率が低下した要因としては停止線間距離が短縮されたことで、運転者が信号切り替わり時における通過停止判断を行いやすくなり、停止判断確率が上昇したことが挙げられる。一方、Ce では構造改良のみならず、信号現示も改定され、分析方向の青時間が大きく短縮されたため、信号待ちにより大きな時間損失を被ることとなった。そのため、信号切り替わり時に、長い信号待ち時間を回避し、無理に交差点に進入しようとする車両が増加したと考えられ、これが黄赤進入率が上昇した要因として挙げられる。

(9) 停止線間距離と黄赤進入率との単回帰分析

停止線間距離短縮が行われ、信号現示設定が大きく変更されていない Bw, De, Hw の事前事後について、停止線間距離と黄赤進入率の関係性について単回帰分析を行った結果を表-15 に示す。なお、本研究では、式(4)に示す線形式を仮定している。

$$P = b_4 + a_4 x_4 \cdots \quad (4)$$

ここで、 P ：黄赤進入率， x_4 ：停止線間距離[m]，
 a_4 ， b_4 ：パラメータ

表-14 交差点別の黄赤進入率

	Bw事前	Bw事後	De事前	De事後	Hw事前	Hw事後
黄赤進入率	33.3%	24.1%	50.0%	32.2%	66.1%	61.1%

表-15 停止線間距離と黄赤進入率との単回帰分析結果

b_4	a_4	R2乗	F値	p値
-0.641	0.0262	0.790	15.12	1.77×10^{-2}

表-15 より、停止線間距離が長くなれば、黄赤進入率が高くなる傾向が読み取れ、停止線間距離 1[m]の増加に対して、黄赤進入率が 2.62[%]上昇することがわかる（有意確率 $p=1.77 \times 10^{-2}$ ）。その要因としては、停止線間距離が長くなることで、信号切り替わり時において、運転者が停止通過判断を迷い、結果的に惰性で通過する判断を下すことが挙げられる。

7. おわりに

本研究では、観測調査データに基づいた左折車両および直進車両の車両挙動分析により、交差点構造が速度や信号切り替わり時の駆け込み進入に与える影響を明らかにし、交差点のコンパクト化事業の安全性の検討を行った。以下に本研究により得られた知見を示す。

- ・停止線セットバック量1[m]の増加に対して、左折車の進入部速度が1.29[km/h]上昇する傾向がある。
- ・交差点進入部では、隅切半径1[m]の増加に対して、速度が1.52[km/h]上昇し、隅角部では、1.47[km/h]上昇し、流出部では、1.20[km/h]上昇する。
- ・左折導流路内側にゼブラ舗装がなされると、交差点進入部、隅角部、流出部における左折車の平均速度が若干上昇し、走行軌跡が膨らむ傾向がみられ、ゼブラ舗装だけでは速度抑制効果はあまりみられない。
- ・停止線間距離1[m]の増加に対して、黄赤進入車両平均速度超過比が2.83[%]上昇する傾向がある
- ・停止線間距離 1[m]の増加に対して、黄赤進入率が 2.62[%]上昇する。

以上の知見より、信号交差点の構造改良において、隅切半径の短縮を行うことで左折車の交差点流入から流出までの区間での速度抑制に効果があり、停止線間距離の短縮を行うことで直進車の信号切り替わり時の危険挙動の抑制に効果があるといえる。今後の課題としては、具体的な隅切半径の縮小範囲の検討を行うことや、分析対象交差点数を増やしてより精度の高いモデル構築を行うことが挙げられる。

謝辞

本研究は、一般社団法人交通工学研究会「平面交差幾何構造改良効果評価分科会」の一環として実施したものである。分析に使用した映像データを提供いただいた関係各位に対して謝意を表する。

参考文献

- 1) 交通工学研究会：改訂 交差点改良のキーポイント， 2011.
- 2) 川渕翔太郎 他：交差点規模が安全性に及ぼす効果の巨視的・微視的分析，交通工学論文集，第4巻，第1号 pp.A265-A273， 2018. (2019.3.10 受付)
- 3) 佐藤大士 他：交差点コンパクト化の影響に関する実証分析，第39回土木計画学研究講演会，4ページ， 2009.
- 4) 赤羽弘和 他：香川研究—事故発生要因の分析と対策への提言— 中間報告，国際交通安全学会誌 Vol.41, No.2, pp.145-153, 2016.

ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN VEHICLE MOVEMENTS AND INTERSECTION GEOMETRIES AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

Koji SUZUKI, Yuga SATO, Kazuki WATANABE, and Issei IKEDA