

都市内高速道路における 交通流状態領域別車線数別事故発生リスク

兵頭 知¹・吉井 稔雄²・高山 雄貴³

1学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: hyodo.satoshi.07@cee.ehime-u.ac.jp

2正会員 愛媛大学教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

3正会員 愛媛大学助教 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: takayama@cee.ehime-u.ac.jp

本研究では、事故発生リスクに与える影響に焦点をあて、都市内高速道路における多車線区間と片側2車線区間の別に、交通流状態が事故発生リスクに与える影響を分析した。具体的には、阪神高速道路ネットワークを対象に、2006年1月1日から2008年12月31日の3年間の交通事故データと交通流観測データ、道路構造データを用いて、車両感知器より観測された交通流率と交通密度の2指標を用いて交通流状態を自由流、混合流、渋滞流に分類し交通流状態領域別ならびに多車線区間である環状線区間と片側2車線区間の別に事故発生リスクを算定した。その結果、多車線区間の交通事故発生リスクが片側2車線区間のリスクよりも高いことを示し、さらに交通流状態が交通事故発生リスクに与える影響が事故形態の違いにより異なることなどを示した。

Key Words : traffic state, traffic accident risk, urban expressway

1. 背景

交通事故発生件数は、近年減少傾向にあるものの、平成22年で72万件を超える事故が発生しており¹⁾、交通事故の削減に向けた努力が求められている。そこで、有効な交通事故対策を実施するためには、交通事故発生に影響を与える事故要因を知ることが有用であることから、これまでに交通事故要因に関する多数の分析がなされている。代表的な交通事故要因としては、縦断勾配、曲線半径や分合流部区間といった道路幾何構造要因、天候等の環境要因、渋滞非渋滞といった交通流状態で表現される交通流要因、あるいはドライバー特性による人的要因の4つが挙げられる。そして、これらの事故要因に関する研究成果を活用することで、様々な交通事故対策が実施されてきた。しかしながら、雨天時の事故削減を目的とする透水性舗装などの例外はあるものの、これまで、道路幾何構造以外の要因に着目した交通事故対策が十分には実施されていない。

高速道路本線上の事故に関しては、交通密度の高い渋滞流中において発生リスクが高いとの報告²⁾がされており、交通流要因が、事故発生に大きな影響を与えることが知られており、同要因に関する研究成果を活用した有効な交通事故対策の実施が期待される。そこで、先行

研究³⁾では、高速道路片側2車線区間を対象に、交通流要因、道路幾何構造要因と環境要因を考慮して、各種要因が事故発生リスクに与える影響を分析した。

対する本研究では、事故発生リスクに与える影響に焦点をあて、交通流状態を自由流、混合流、渋滞流に分類し、都市内高速道路を対象に交通流状態領域別、多車線区間と片側2車線区間の別に事故発生リスクを算定する。

2. 既往研究

交通流状態と事故発生リスクとの関係を調べた研究として、井上⁴⁾は、阪神高速道路を対象とした分析を行い、2台以上が絡む車両相互の事故は渋滞時に発生しやすく、単独事故は非渋滞時に発生しやすいこと、さらにその合計では、渋滞時が非渋滞時に比べて交通事故が発生しやすいとの知見を得ている。Shefer⁴⁾、Shefer⁵⁾は交通流状態を示す指標として、交通流率(v)を交通容量(c)で除した値(vc)を用いた事故リスク分析手法を提案し、事故の重大さと交通状況との関係を調べた。また、Zhou⁶⁾は、同指標値を用いた分析を通して、 vc の増加に伴って重大事故発生リスクが低減する傾向にあることを示した。また、彦坂⁷⁾は、東名高速道路三ヶ日IC~小牧ICを対象として、車両感知器による15分間交

通流率を交通容量で除した値を指標に用いた分析を行い、同指標値0.6付近で事故発生リスクが最小になるとの結果を得ている。また、大口ら⁸⁾は、東名高速道路綾瀬バス停付近を対象に、交通流を非拘束状態（自由流）、臨界状態、渋滞状態の3状態に分類し、各状態別の事故発生リスクを評価した。その結果、臨界状態、すなわち高密度な非渋滞交通流状態において事故発生リスクが高いことを示した。これらの研究を通して、交通流状態の差異が事故発生リスクに影響を与えることが示されている。

しかしながら、いずれの研究も交通流要因のみに着目した分析に留まっており、前記の他の要因、道路構造要因、環境要因および人的要因による影響について考慮されていない。複数の交通事故要因を考慮した研究として、Golob ら⁹⁾は、30秒単位のセンサーデータと事故データを組み合わせ、路面状態（湿潤/乾燥）、明るさ（昼間/夜間）別に交通流状態と事故発生リスクとの関係を分析し、同関係が事故形態によって異なることを示している。しかしながら、同研究においては道路幾何構造要因に関して考慮されていない。一方、吉井ら³⁾は、交通流要因、道路構造要因、環境要因の3要因を複合的に考慮し、これらの要因が、追突、車両接触、および施設接触の事故形態別の事故発生リスクに与える影響について、高速道路片側2車線区間を対象とした分析を行い、事故形態別に事故発生リスクに影響を及ぼす要因が異なることを示した。同研究においては交通流要因として、平均速度を考えている。以上のように交通流状態と事故発生リスクの関係については、自由流/渋滞流あるいは平均速度別の分析がなされているものの、Q-K関係など2次元の状態量を用いて交通流状態を捉えた上での分析は行われていない。

そこで、本研究では一定の道路区間と時間帯別に2次元の状態量で規定する交通流状態に焦点を当て、車両センサーより観測された交通流率と交通密度の2量を用いて規定される交通流状態が事故発生リスクに与える影響を、事故形態別および多車線区間である環状線区間と片側2車線区間の別に分析する。

3. 分析概要

(1) 事故形態

本研究では、阪神高速道路（株）が定める事故形態の中から事故件数の多いものを取り上げ、以下の事故形態別に事故発生リスク要因分析を行う。なお、追突事故は、前車の後方部車両接触を、車両接触事故は車両側面接触をそれぞれ示す。

- 1) 追突事故
- 2) 車両接触事故
- 3) 施設接触事故

(2) 分析対象ネットワーク

本研究における分析対象ネットワークは、2号淀川左岸線、8号京都線、山北下渡り、山北上渡り、北上山渡りを除く阪神高速道路ネットワークである(図1)。なお、総延長は235.6kmである。本研究においては、車線数の違いに着目した分析を行うため、多車線区間である環状線区間とその他の片側2車線区間に二分する。このため、環状線区間以外の3車線以上の道路区間については分析から除外する。除外した道路区間は、表1に示す通りである。



図1 分析対象ネットワーク（総延長: 235.6km）

出典) wikipedia : <http://ja.wikipedia.org/wiki/>

表1 分析から除いた道路区間

路線名	道路区間(KP)
11号池田線下り	0~0.5
11号池田線上り	0~0.8
13号東大阪線下り	0.6~0.8
13号東大阪線上り	0.4~0.7
16号大阪港線下り	0.2~0.9
16号大阪港線上り	0.3~0.9
3号神戸線下り	4.2~11.7
3号神戸線上り	4.2~11.7, 16.8~17.1
4号湾岸線下り	0.0~4.7
4号湾岸線上り	0.0~4.7
5号湾岸線下り	3.7~22.2
5号湾岸線上り	3.7~23.0
千日前線	0~0.9
井池線西行き	0.3~0.9
井池線東行き	0.3~1.0

(3) 分析に使用したデータ

分析に使用したデータは、2006年1月1日から2008年12月31日の3年間の交通事故データ、交通流観測データ、道路構造データである。

a) 交通事故データ

交通事故データからは、発生した各事故の事故形態、発生路線・キロポスト、発生日時などの情報が獲得される。本分析では、発生日時、発生路線・キロポスト、事故形態の項目を利用した。表2にデータの一部を示す。なお、分析対象期間中、分析対象ネットワーク内において発生した事故形態別の事故件数は、追突事故6,722件、車両接触事故3,336件、施設接触事故4,273件であった。

b) 交通流観測データ

交通流観測データは、分析対象ネットワーク内の約500m間隔に設置された車両感知器による5分間集計値データを用いる。データ項目は、交通量、高車交通量、時間オキュパンシー、平均速度である。表3にデータの一部を示す。なお、阪神高速道路(株)では、車高2.3m以上の車両の交通量を高車交通量と定めている。加えて、分析に用いた感知器の数は、環状線区間68個、片側2車線区間753個の計821個である。

c) 道路構造データ

道路構造データからは、100m単位の各キロポストに対応する道路区間毎に区間番号、車線数などの情報を獲得することができる。本分析では、路線番号、系統番号、区間番号、キロポスト、車線数の項目を利用した。表4にデータの一部を示す。

表2 交通事故データ

発生日時	路線番号	系統番号	KP	事故形態
2006/1/1 10:45	4	3	3.2	追突
2006/1/2 12:40	4	3	3.9	車両接触
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表3 交通流観測データ

日時	検知器番号	交通量(台/5分)	占有率(%)	平均速度(km/h)
2006/1/1 0:00	1	26	2	77
2006/1/1 0:05	1	24	1	80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表4 道路構造データ

路線番号	系統番号	区間番号	KP	車線数
4	3	33	0.2	3
4	3	33	0.3	4
4	3	33	0.4	4
4	3	33	0.5	4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4. 交通流状態

(1) 交通流状態分析

交通流観測データによる、1車線当たりの交通流率 Q [台/h]と1車線当たりの交通密度 K [台/km]とを用いて、環状線区間、片側2車線区間の車線数別に交通流状態の

出現状況を分析する。なお、交通密度 K [台/km]については、1車線当たりの交通流率 Q [台/h]を空間平均速度 V [km/h]で除して算出する。交通流率については、300台/h毎、交通密度については、1車線当たりの交通密度10台/km毎に区分し、計80の交通流状態領域別に出現頻度ここでは各交通流状態領域別の車両走行台kmを集計した。環状線区間ならびに片側2車線区間の交通流状態領域別の総走行台キロを図2、図3にそれぞれ示す。なお、同図では、総走行台キロが大きい領域ほど濃い網掛けの色を表示する。各領域の総走行台キロをみると、環状線区間については概ね1000万台km以上、片側2車線区間については概ね1億台km以上まで広く分布している。本研究においては、3つの領域を定め、自由流領域(図2、3中A)、混合流領域(図2、3中B)、渋滞流領域(図2、3中C)と命名する。自由流領域Aは1車線当たりの交通密度30台/km以下で、平均速度が約時速60km程度である交通流状態とする。この領域においては、総走行台キロが大きな値を示している。

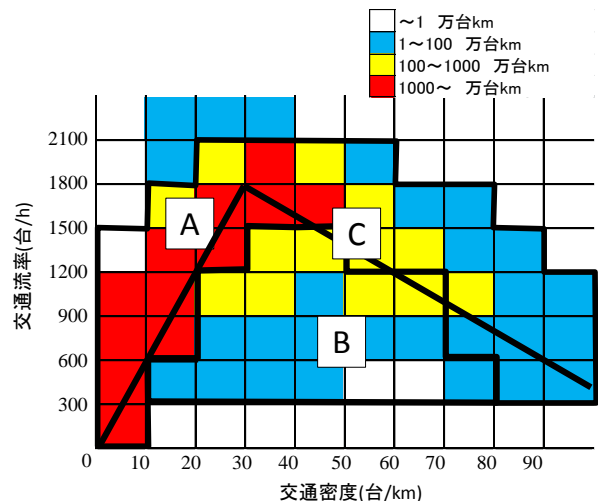


図2 交通流状態領域別の総走行台キロ (環状線区間)

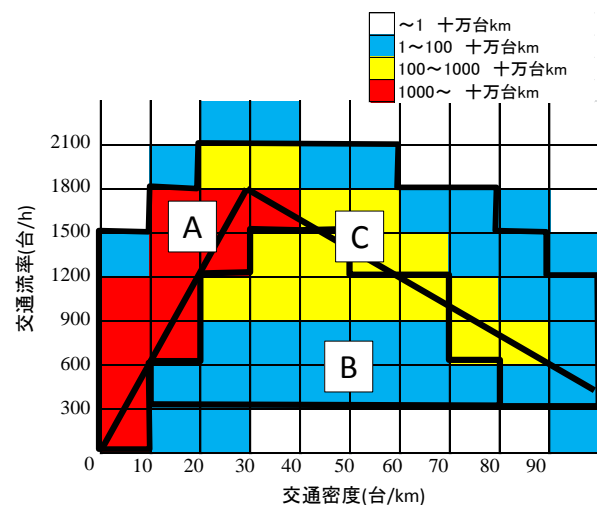


図3 交通流状態領域別の総走行台キロ (片側2車線区間)

渋滞領域 C は図中(30,1800)から傾き-20km/hとした直線付近の交通流状態とする。さらに領域 A と C の間の領域を混合流領域 B と命名する。混合流領域、渋滞領域は、自由流領域よりも小さな総走行台キロ値を示している。

(2) 混合流領域

上記で述べた混合流の出現状況としては、以下の2つが考えられる。1つは交通流状態の時間的偏りによって出現するもの(以下、「時間混合流」)、もう一つは交通流状態の空間的偏りによって出現するもの(以下、「空間混合流」)である。両者の出現状況を把握するため、混合流出現時における環状線区間ならびに片側2車線区間の車両感知器の5分間平均速度の時間変動を調べる。

a) 時間混合流

混合流は、時間的に交通流状態が変化している場合に出現すると想定される。そこで、図4に、混合流出現時における11号池田線上り5.4kp~9.7kp区間の各車両感知器の5分間平均速度時間変動図を示す。図中の枠で囲った時間帯は、混合流領域の交通流状態を示している。また、数値は、車線ごとの感知器による5分間平均速度を示す。全体として、shockwaveが上流に伝搬している状況が見取れることから、渋滞の延伸時、すなわち交通流が自由流から渋滞流に遷移する状況下で混合流が発生していることが確認できる。このように、交通流状態が自由流から渋滞流へ、あるいはその逆に渋滞流から自由流へと遷移する状況下では、集計時間内(ここでは5分間)に自由流状態と渋滞流状態が混在することになり、混合流領域の交通流状態が出現すると考えられる。以下、このような状況で出現する混合流を時間混合流と呼ぶ。なお、例えば区間248における感知器1,2の時間帯16:25の5分間平均速度は、それぞれ44km/h,46km/h(区間平均速度44km/h)を示しており、車線ごとの平均速度に大きな差を認めることはできない。

b) 空間混合流

一方で、混合流は、車線毎に交通状況が異なる状況下においても出現すると想定される。そこで、図5に、1号環状線0.8kp~2.3kp区間の各車両感知器の5分間平均速度時間変動図を示す。先の時間混合流の例と異なり、明確なshockwaveは認められない。一方で、例えば区間4において、時間帯11:00~11:25に混合流領域が出現しており、感知器間に大きな速度差が存在していることが見て取れる。例えば、時間帯11:10では、感知器1の5分間平均速度が38km/h、感知器2が26km/hと渋滞流であるのに対して、感知器3の平均速度は57km/h、感知器4が66km/hと自由流を示しており、車線間に交通流状態の差異を認めることができる。このことから、混

合流は、自由流の車線と、渋滞流の車線が混在している状況下で出現すると考えられる。以下、このような状況で出現する混合流を空間混合流と呼ぶ。ここで、多車線の環状線区間では、2車線区間と比して、この現象が発生しやすいと考えられることから、以下、この二つの混合流の違いに焦点をあて、環状線区間と片側2車線区間の別に、交通流状態が追突、車両接触、および施設接触の事故形態別の事故発生リスクに与える影響を分析する。

		上名神出口				上名神入口	
		248		247		246	
区間	感知器	1	2	1	2	1	2
2006/4/2 15:40		113	117	80	76	63	60
2006/4/2 15:45		89	120	75	70	61	57
2006/4/2 15:50		120	114	80	77	33	41
2006/4/2 15:55		118	115	75	75	34	32
2006/4/2 16:00		113	114	79	72	32	36
2006/4/2 16:05		110	95	77	67	25	39
2006/4/2 16:10		114	120	27	51	26	33
2006/4/2 16:15		115	101	42	57	30	38
2006/4/2 16:20		102	104	23	44	35	41
2006/4/2 16:25		44	46	19	25	39	40
2006/4/2 16:30		33	49	16	17	21	25
2006/4/2 16:35		35	30	18	29	28	25
2006/4/2 16:40		29	24	12	11	29	30

図4 平均速度の時空間変動(11号池田線上り)

		信濃橋出口				信濃橋入口							
		3				4				5			
区間	感知器	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2006/3/7 10:50		37	43	50	54	10	13	19	19	35	24	39	54
2006/3/7 10:55		29	26	34	41	18	19	24	16	43	38	50	53
2006/3/7 11:00		39	49	53	54	20	18	38	32	25	21	46	51
2006/3/7 11:05		35	47	56	60	17	21	42	50	34	26	47	57
2006/3/7 11:10		38	43	53	58	38	26	57	66	34	26	47	63
2006/3/7 11:15		40	51	56	58	42	31	52	55	37	24	44	57
2006/3/7 11:20		43	47	58	65	22	14	26	49	25	21	41	65
2006/3/7 11:25		31	41	51	61	15	19	22	19	41	36	52	62
2006/3/7 11:30		34	48	52	55	20	19	16	11	37	29	49	59

図5 平均速度の時空間変動(1号環状線)

5. 事故発生リスク要因分析

以下では、交通流状態が事故発生リスクに与える影響を多車線である環状線区間と片側2車線区間の別にそれぞれ分析する。

(1) 事故発生リスク

本研究においては、既往研究^{3)他}に習い、交通流状態領域カテゴリー別に

$$R_i = \frac{N_i}{L_i} \times 10^8 \quad (1)$$

R_i : 交通流状態領域区分*i*の事故発生リスク[件/億台km]

N_i : 交通流状態領域区分*i*で発生した事故件数[件]

L_i : 交通流状態領域区分*i*で走行した総走行台キロ[台km]にて算定する。

(2) 車線数別事故発生リスク

車線数の別、すなわち環状線区間と片側2車線区間の別に事故形態別の事故発生リスクを算定した結果を表5、図6に示す。全線合計の事故形態別事故発生リスクでは、57[件/億台km]と追突事故の事故発生リスクが高い値を示した。また、車線数別の事故発生リスクについては、事故形態にかかわらず、多車線の環状線区間における事故発生リスクが片側2車線区間によるリスクよりも大きいとの結果を得た。

表5 車線数別の事故発生リスク

車線数		環状線	片側2車	合計
事故件数[件]	追突	976	5,746	6,722
	車両接触	953	2,383	3,336
	施設接触	368	3,905	4,273
走行台キロ[百万台km]		792	11,042	11,834
事故発生リスク [件/億台km]	追突	123	52	57
	車両接触	120	22	28
	施設接触	46	35	36

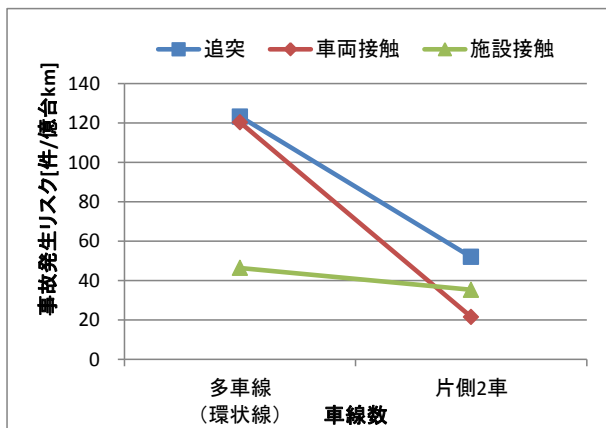


図6 車線数別の事故発生リスク

(3) 交通流状態領域別事故発生リスク

以下では、事故形態別に環状線区間、片側2車線区間の自由流領域、混合流領域および渋滞流領域の交通流状態領域別に事故発生リスクを算定した結果を示す。

a) 追突事故

環状線区間、片側2車線区間の別に交通流状態領域別の追突事故発生リスクを算定した結果を、図7、図8にそれぞれ示す。結果より、環状線区間については混合流領域において事故発生リスクが大きくなるとの結果が示された。片側2車線区間については、渋滞流領域において高い事故発生リスクを示した。

表6 交通流状態領域別追突事故発生リスク

交通流領域	追突事故件数 [件]		追突事故発生リスク [件/億台km]		車両走行台キロ [百万台km]	
	環状線	片側2車	環状線	片側2車	環状線	片側2車
自由流領域	204	2,237	36	22	560	9,947
混合流領域	555	2,233	387	280	144	797
渋滞流領域	217	1,276	245	428	89	298

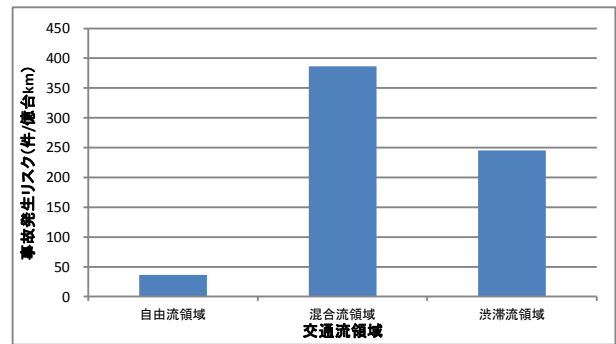


図7 交通流状態領域別追突事故発生リスク
(環状線区間)

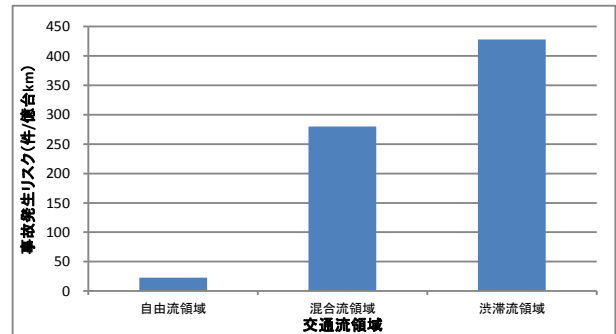


図8 交通流状態領域別追突事故発生リスク
(片側2車線区間)

b) 車両接触事故

環状線区間、片側2車線区間の別に交通流状態領域別の車両接触事故発生リスクを算定した結果を、それぞれ図9、図10に示す。結果に示すように、環状線区間については混合流領域において事故発生リスクが大きくなるとの結果が示された。一方、片側2車線区間については、渋滞流領域において高い事故発生リスクを示した。

表7 交通流状態領域別車両接触事故発生リスク

交通流領域	車両接触事故件数 [件]		車両接触事故発生リスク [件/億台km]		車両走行台キロ [百万台km]	
	環状線	片側2車	環状線	片側2車	環状線	片側2車
自由流領域	461	1,648	82	17	560	9,947
混合流領域	355	460	247	58	144	797
渋滞流領域	137	275	155	92	89	298

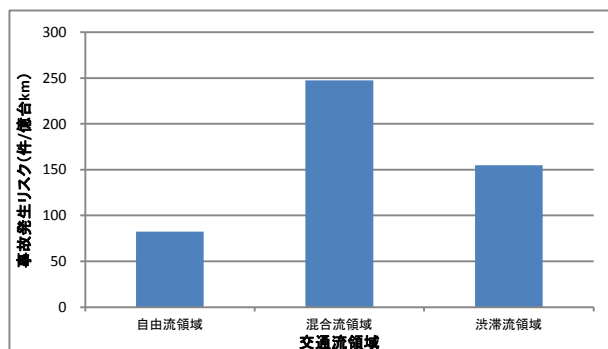


図9 交通流状態領域別車両接触事故発生リスク
(環状線区間)

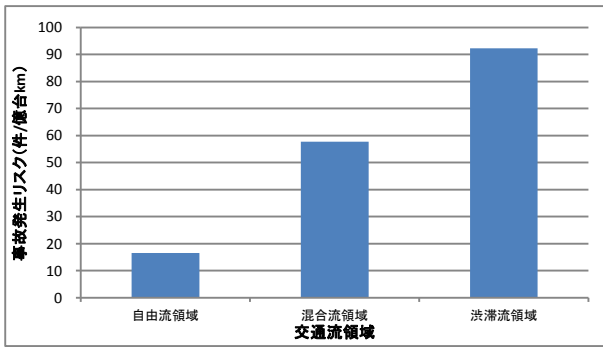


図 10 交通流状態領域別車両接触事故発生リスク (片側 2 車線区間)

c) 施設接触事故

環状線区間、片側 2 車線区間の別に交通流状態領域別の施設接触事故発生リスクを算定した結果を、それぞれ図 11、図 12 に示す。結果に示すように、環状線区間については自由流領域ならびに混合流領域において事故発生リスクが大きくなるとの結果が示された。片側 2 車線区間については、混合流領域において高い事故発生リスクを示した。

表 8 交通流状態領域別施設接触事故発生リスク

交通流領域	施設接触事故件数 [件]		施設接触事故発生リスク [件/億台km]		車両走行台キロ [百万台km]	
	環状線	片側2車	環状線	片側2車	環状線	片側2車
自由流領域	294	3,363	53	34	560	9,947
混合流領域	63	459	44	58	144	797
渋滞流領域	11	83	12	28	89	298

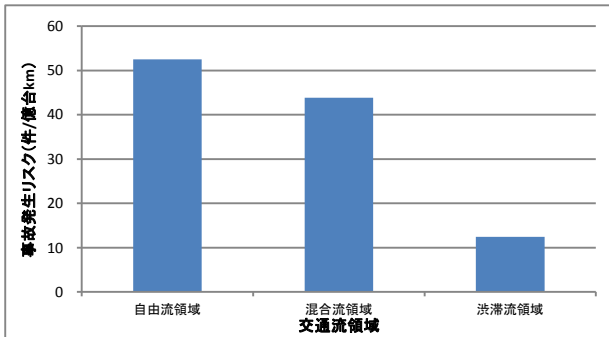


図 11 交通流状態領域別施設接触事故発生リスク (環状線区間)

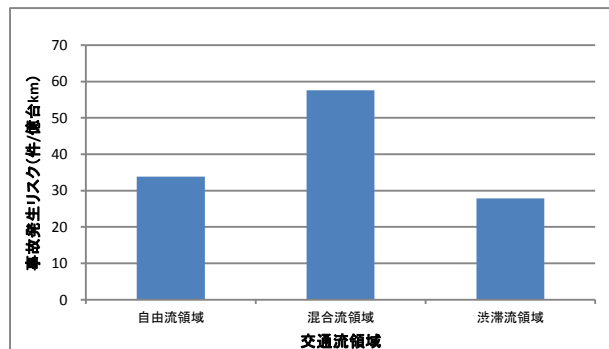


図 12 交通流状態領域別施設接触事故発生リスク (片側 2 車線区間)

6. おわりに

本研究では、自由流、渋滞流の 2 相に加え、時間的・空間的に両交通流状態が混在することで出現する混合流からなる交通流状態領域を考慮して、交通流状態領域別ならびに多車線区間である環状線区間と片側 2 車線区間の別に事故発生リスクを算定した。

結果、事故形態の違いによって交通流状態領域別の事故発生リスクの傾向が異なることを示した。また、環状線区間においては、事故形態の違いに関わらず混合流領域において高い事故発生リスク値を示した。このことから、多車線区間では自由流状態、渋滞流状態よりも、これらの状態が混在する混合流状態において、事故発生リスクが高まる可能性が示された。加えて環状線区間においては、追突事故ならびに車両接触事故の事故発生リスクが片側 2 車線区間よりも極めて大きくなるとの結果が得られた。

今後は、道路幾何構造要因ならびに環境要因を複合的に取り扱った分析、Q-K 平面上での交通流状態の時間遷移と事故発生リスクとの関係分析を行う。

謝辞：本研究を進めるにあたっては、阪神高速道路株式会社より貴重なデータをご提供いただきました。また、(株)交通システム研究所の大藤武彦氏、小澤友記子氏からは多くの貴重なご意見をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 22 年版交通事故統計年報
- 2) 阪神高速道路公団：阪神高速道路の交通管制に関する研究報告書，交通工学研究会，1978.
- 3) 吉井稔雄・兵頭知・倉内慎也：都市内高速道路における事故発生リスク要因分析，第 31 回交通工学研究発表会論文集(CD-ROM)，2011.
- 4) Shefer, D., Congestion, air pollution, and road fatalities in urban areas. *Accident Analysis and Prevention* 26 (4), pp.501-509, 1944.
- 5) Shefer, D., Rietveld, P., Congestion and safety on highways: towards an analytical model. *Urban Studies* 34 (4), pp. 679-692, 1977.
- 6) Zhou, M., Sisiopiku, V., Relationship between volume-to-capacity ratios and accident rates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. TRB, National Research Council, Washington, DC, 1581, pp.47-52, 1997.
- 7) 彦坂崇夫，中村英樹：高速道路単路部における交通状況と事故発生リスクとの関連に関する統計的分析，第21回交通工学研究発表会論文報告集，pp.173-176, 2001.
- 8) 彦坂崇夫，中村英樹：高速道路単路部における交通状況と事故発生リスクとの関連に関する統計的分析，第21回交通工学研究発表会論文報告集，pp.173-176, 2001.
- 9) 大口敬，赤羽弘和，山田芳嗣：高速道路交通流の臨界領域における事故発生リスクの検討，交通工学，第 39 卷 3 号，pp.41-45, 2004.
- 10) Golob, T. and Recker, W., A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. *Transportation research Part A*, No.38, Issue 1, pp.53-80, 2004.

(2012. 8. 3 受付)