

# 日本高速公路路段类别事故率特征比较研究

李蕊<sup>1</sup>, 吴勇<sup>2\*</sup>

(1. 重庆电子工程职业学院 智能制造与汽车学院, 重庆市 401331; 2. 重庆安全产业发展集团有限公司)

**摘要:**为研究路段类别对交通事故的影响,对日本东名高速公路4种路段类别的事故率随交通密度变化趋势进行了比较,分析了不同车道数断面的事故率特征差异。研究发现:随着交通密度的变化,各路段事故率均呈U形曲线变化,但服务区和合流段事故率值明显较大。拥堵状态时,各路段事故率随交通密度增加而增大,其中分流区事故率比较高。不同车道数断面的事故率变化趋势相似,但相较于两车道断面,三车道断面的事故率在非饱和流时明显较大,在饱和流时则明显较小。研究结果将对不同路段类别的交通安全控制策略提供有价值的参考依据。

**关键词:**交通安全;事故率特征;路段类别;线性回归;交通控制策略;断面类别

高速公路是日本各个大中城市间主要的交通联系通道,并可根据几何结构特征划分成不同路段类别。受交通行为影响,各路段类别交通流特征存在差异。即使在相同路段,交通行为也将受断面构造如车道数的影响。由于几何结构和交通行为的差异,高速公路各路段类别间事故特征存在区别。现有研究发现事故率特征与交通流状态密切相关,然而这些研究要么针对单一路段,要么基于整条路线而未划分路段类别。有文献对城市快速路不同路段的事故率特征差异进行了分析,但对高速公路上事故率特征在不同路段的差异仍然不清楚。交通事故的发生与人、车、路和环境等因素息息相关。通过对交通事故特征及其影响因素的研究,尤其是研究道路结构和交通流状态对事故的影响机理,将促进道路结构的优化设计方法和交通流的安全管理水平不断完善。因此,该文基于道路几何结构特征和交通行为的差异,对高速公路划分不同的路段类别,通过事故率与交通流参数的统计分析,比较不同路段间事故特征的差异。对基本段进行分析时,考虑了车道数不同引起的断面构造差异。

## 1 研究对象

### 1.1 研究路段与数据

选取日本东名一名神高速公路(八日市至三之日

互通段)为研究对象。该段高速公路设计速度为80~120 km/h,沿主线基本采用同向两车道断面构造,但在交通量较大,重车较多的路段,增设了附加车道。研究选取路段总里程为183.6 km,主线间距每2 km左右双向分别设置了近180个感应线圈,可检测通过该点的车流量和车速等指标。

研究使用4种数据:事故记录、检测器数据、几何构造参数和交通管制信息等。事故记录包含了事故发生时间和地点等信息。检测器数据可获得各检测点每5 min的交通量、平均速度和平均占有率等数据。几何构造参数可查阅该路段的平面和纵断面设计参数。交通管制信息提供了管制路段/车道的时间和地点信息。

### 1.2 路段类别划分

受事故样本和路段长度限制,研究选取基本段、合流段和分流段进行比较(图1)。根据车道数量,基本段进一步划分为同向两/三车道段。表1对各路段几何特征进行了统计。

研究中有一种特殊的几何构造,即服务区。服务区存在人一车冲突,其进出口通道也短于一般加减速车道。因此,将服务区划分成一种独立的路段类别,统一命名为服务区影响段。考虑到服务区交通指示牌通常位于其上游1 km处,其进出口通道长达数百米,与主线衔接处也存在分合流交通。因此,将服务区进出口通道上下游1 km区域定义为服务区影响段。

收稿日期:2020-04-04(修改稿)

基金项目:重庆市高等学校优秀人才支持计划项目(编号:800213)

作者简介:李蕊,女,硕士,讲师。E-mail: 306477829@qq.com

\* 通信作者:吴勇,男,博士,教授级高工。E-mail: 781913052@qq.com

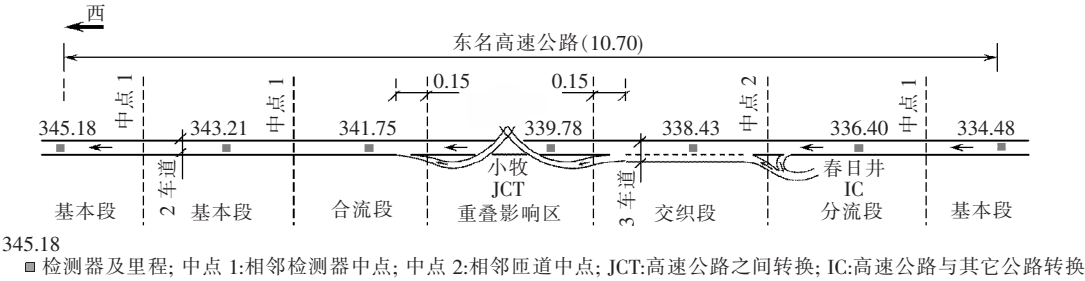


图 1 路段类别划分(单位:km)

表 1 各路段类别几何特征统计

路段类别	样本数/个	总长/km
基本段(同向两车道)	92	154.9
基本段(同向三车道)	10	9.7
合流段	33	67.6
分流段	34	67.4
服务区	24	34.3

2 数据采集和处理

2.1 检测器数据

每个基本段至少有 2 个感应线圈分布,其他路段基本上分布有 1 个感应线圈。因此,将基本路段相邻的 2 个线圈的中点作为分界点来划分对应的线圈检测区。由于事故记录时间多是事故后的推测时间,为减少误差,选用事故记录时间之前最少 5 min 间隔的检测数据来表征事故前的交通流状态。选用之前,无效的检测器数据和处于通行管制时段和路段的数据需要事先得排除。

选取路段内检测器分车道设置,但事故数据仅记录里程而没区分车道。因此,通过以下公式将检测器数据换算为基于整个断面的数据。

$$q_s = \sum q_i \tag{1}$$

$$v_s = \frac{\sum q_i \times v_i}{\sum q_i} \tag{2}$$

$$k_s = \frac{12 \times q_s}{v_s} \tag{3}$$

式中: $q_i$  为各车道在  $i$  个 5 min 的交通流 [veh/(5 min)]; $v_i$  为各车道此时对应的平均速度 (km/h); $q_s$ 、 $v_s$  和  $k_s$  分别为整个断面 5 min 交通流 [veh/(5 min)]、平均速度 (km/h) 和平均交通密度 (veh/km)。

2.2 交通流状态

饱和流作为一种典型的非稳定状态,具有与非饱

和流不同的交通特性,因此有必要对两种交通流状态进行区分。图 2 为一个典型交通瓶颈点处的速度—流量关系图。参照文献[1]、[3],交通瓶颈点处最大交通流对应的速度值可作为划分饱和流与非饱和流的临界指标。由图 2 可知:70 km/h 可作为该点的临界速度。

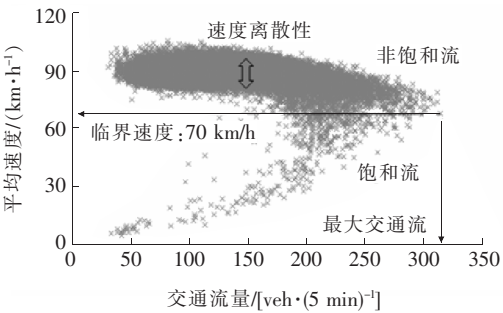


图 2 瓶颈点处交通流量—速度关系图

在非饱和流条件下,同一交通量对应的速度差异比较明显。同时占有率并非经常使用的参数。采用式(3)所得交通密度为指标划分交通流状态。考虑两种交通流条件下事故样本数量,采用 10、30 veh/km 为步长,对非饱和流与饱和流划分交通流状态。

2.3 数据匹配

各事故记录对应的路段类别和交通流参数可进行匹配,如表 2 所示。匹配前对事故数据进行了筛选,排除了处于通行管制路段和时段的数据和异常检测器数据对应的事故数据,3 年内(2007—2009 年)得到 3 716 个有效事故数据。

2.4 事故率统计

交通流状态  $j$  对应的事故率(简称为  $CR_j$ )可按照下式进行计算:

$$CR_j = \frac{NOC_j \times 10^6}{\sum Q_{jk} L_k} \tag{4}$$

式中: $j$  和  $k$  分别为交通流状态和线圈检测区对应的编号; $NOC_j$  为交通流状态  $j$  所对应的事故数; $Q_{jk} L_k$  则为检测区  $k$  内交通流状态  $j$  所对应的车公里值(vehicle—km of traveled,简称 VKMT)。

表2 各个事故相关数据匹配范例

事故ID	检测器ID <sup>a</sup>	路段类别	横断面特征	交通流条件				
				$q_s / [\text{veh} \cdot (5 \text{ min})^{-1}]$	$v_s / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$k_s / (\text{veh} \cdot \text{km}^{-1})$	交通流状态	密度分组/ ( $\text{veh} \cdot \text{km}^{-1}$ )
1	1-253.20	分流段	同向两车道	133	88.7	18	非饱和流	10~20
2	1-255.59	基本段	同向三车道	157	52.1	81	饱和流	60~90
3	2-260.09	服务区	同向两车道	58	89.9	8	非饱和流	0~10
4	1-267.60	合流段	同向两车道	62	103.2	7	非饱和流	0~10

注:a 检测器 ID:1—上行,2—下行,253.20 是该检测器桩号。

3 各路段类别事故率特征比较

3.1 非饱和流条件

图3为4种路段类别事故率CR随交通密度 $k_s$ 的变化趋势,4种路段横断面都为同向两车道。总体上,随着交通密度的增加,各路段事故率呈现先减小后增大的U形曲线变化,其回归函数如表3所示。在较低交通密度条件( $k_s < 25 \text{ veh/km}$ ),服务区事故率明显高于其他路段类别。当密度较高时,分流段事故率增大趋势相对缓慢。对各路段事故率的T检验(表4)

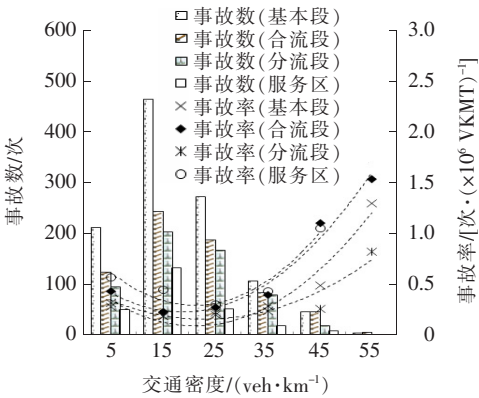


图3 各路段类别事故率随密度变化趋势(非饱和流)

表3 事故率回归模型(非饱和流)

路段类别	事故样本/个	回归模型
基本段	1 113	$CR = 9.82 \times 10^{-4} k_s^2 - 4.17 \times 10^{-2} k_s + 0.534, R^2 = 0.945$
合流段	694	$CR = 1.04 \times 10^{-3} k_s^2 - 3.88 \times 10^{-2} k_s + 0.589, R^2 = 0.971$
分流段	569	$CR = 5.75 \times 10^{-4} k_s^2 - 2.65 \times 10^{-2} k_s + 0.463, R^2 = 0.839$
服务区	263	$CR = 1.26 \times 10^{-3} k_s^2 - 5.34 \times 10^{-2} k_s + 0.859, R^2 = 0.918$

表4 各路段事故率T检验(非饱和流)

配对比较	T 值	自由度	Sig. 值
基本段—合流段	-2.819	5	0.045
基本段—分流段	1.149	5	0.303
基本段—服务区	-3.812	4	0.019
合流段—分流段	2.905	5	0.042
合流段—服务区	-1.719	4	0.161
分流段—服务区	-3.460	4	0.020

也能说明这种事故率特征差异。

上述事故率特征与各路段间交通流特性差异有关。服务区进出口通道一般较短,不能为进出服务区的车辆提供足够的速度变化空间。同时进出口间隔过小,进出车辆会在较短时间内对主线交通造成两次干扰。此外,服务区存在人一车冲突,进出车辆的速度变化如不充足,这种冲突将被加剧。随着主线交通密度的增大,合流区间主线交通的避让行为和合流交通的汇入行为将越来越困难;此时服务区进出车辆对主线交通干扰也变得更加强烈。相对而言,分流段的分流行为将增大主线车辆间距;同时,一旦驾驶员感知分流换道的困难,他们往往会提前换道,以便驶入靠近减速车道的主线车道。如此分流段匝道和主线车辆的冲突也就小于服务区和合流段。

3.2 饱和流条件

随着交通密度的进一步增加,饱和流随之产生,其典型交通特性就是波动交通。图4为饱和流条件下4种路段(横断面为单向两车道)事故率随交通密度的分布趋势。

由图4可知:4种路段类别事故率随交通密度的增加而增大。受事故样本限制,研究没有对以上变化趋势进行曲线拟合。各路段类别之间,分流段具有较高的事故率,对应T检验(表5)也反映了这种相对大小关系。

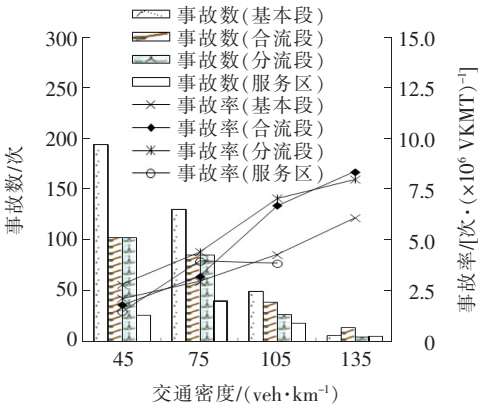


图 4 各路段类别事故率随密度变化趋势(饱和流)

表 5 各路段类别事故率  $T$  检验(饱和流)

配对比较	$T$ 值	自由度	Sig. 值
基本段—合流段	-1.645	3	0.199
基本段—分流段	-3.196	3	0.049
基本段—服务区	-0.616	2	0.601
合流段—分流段	-0.702	3	0.533
合流段—服务区	0.631	2	0.592
分流段—服务区	3.162	2	0.050

在分流段,饱和流条件时提前分流换道较为困难,大多数分流交通将不得不穿过主线车道而驶入减速车道,对主线交通产生严重干扰。在合流段,除靠近加速车道的主线交通,其他车道交通受合流行为干扰严重性小于分流段。随着主线交通密度进一步增加,将有越来越多的合流交通无法及时汇入主线车流。这种合流压力逐渐累积,对主线交通的干扰势必扩大,乃至整个主线将受到严重干扰。在服务区,一旦进出服务区域困难,一些驾驶员将放弃进入而继续随主线交通行驶,或者推迟驶出而继续留在服务区。

## 4 同向两/三车道基本段事故率特征比较

### 4.1 非饱和流条件

图 5 为同向两/三车道基本段事故率  $CR$  随交通密度  $k_s$  的变化趋势。

由图 5 可知:与上述同向两车道基本段类似,三车道段事故率也呈现 U 形曲线变化趋势,且其事故率值大于两车道段事故率值,而且这种趋势随交通密度增大更为明显。表 6 为两种差异的  $T$  检验结果。

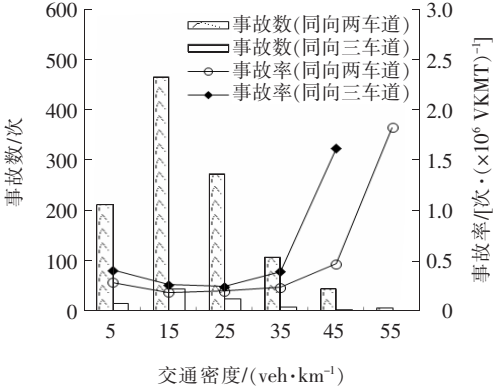


图 5 同向两/三车道段事故率变化趋势(非饱和流)

表 6 同向两/三车道基本段事故率值  $T$  检验

交通流状态	$T$ 值	自由度	Sig. 值
非饱和流	-2.397	4	0.040
饱和流	3.741	3	0.028

该路段上同向三车道通常是在两车道外侧增设一条附加车道,便于重车或超车行驶。以超车行驶为例,一旦有超车需求,快车将驶离原有车道而进入附加车道。超车行为完成,这些车辆又汇入原有车道。这种超车行为将对下游车辆产生干扰。随着交通密度逐渐增加,快车被迫驶入附加车道需求增加,这种行为和强制换道行驶相似,此时换道车辆和主线车辆冲突会增强。因此,同向三车道段事故率增大的趋势随着交通密度增加而更为明显。

在交通需求不大时,由于其不合理的换道行为,较多车道断面设计反而对交通安全产生不利影响,因而有必要对这些换道行为产生的诱因进行控制。如 Duret 等建议采用可变速度限制(简称 VSLs)能有效地控制各车道间速度差异,重车限制手段(简称 DBTs)能协调各车道行车速度,减少车辆换道的交通需求。

### 4.2 饱和流条件

图 6 为两种断面类别事故率  $CR$  在饱和流条件下与交通密度  $k_s$  的关系。

由图 6 可知:与两车道相似,同向三车道段事故率随交通密度快速增大,但此时同向三车道段事故率明显小于两车道段,相应  $T$  检验(表 6)也反映出这种事故率差异。

在饱和流条件下,各车道间速度差异性逐渐降低,车辆换道行驶将受到限制。此时事故率特征就与同车道交通行为相关。如果交通需求相同,同向三车道段行车条件,如车辆间隙和驾驶自由度会优于两车道段。



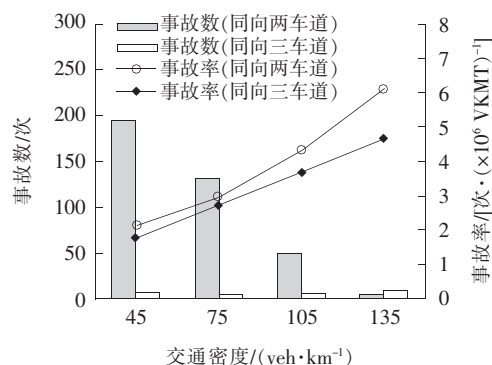


图6 同向两/三车道基本段事故率变化趋势(饱和流)

例如将附加车道作为重车行驶专用道(简称HVL),将有更多的重车聚集在这种车道,从而减小重车对其他车辆的影响。

在高峰期间充分利用现有道路断面让重车与其他车辆分道行驶,能有效提高交通安全。针对拥堵交通,德国在高速公路交通管理时临时开放路肩作为车行道,能有效提高交通安全,降低拥堵水平。

## 5 结论与展望

通过对日本东名高速公路4种路段的事故率调查、分析,可以得到如下结论:

(1) 对非饱和流,4种路段事故率随交通密度呈U形变化,服务区和合流段事故率明显较高。对饱和流,事故率则随交通密度增加而增加,此时合流段事故率随交通密度变化敏感,其值从较低水平快速增加,在饱和流后期成为最大值。

(2) 对非饱和流,同向三车道基本段事故率亦随交通密度呈现U形变化,其值显著大于两车道段。对饱和流,三车道段事故率也随交通密度增加而增加,但事故率值明显小于两车道段。

以上结果表明:由几何条件和交通流状态变化引起的事故率特征差异分析对几何设计和交通管理具有重要意义,如路段类别、断面车道分布以及事故率随交通密度变化趋势等;另一方面,该文对事故特征差异的分析结果,还需要更多的几何条件样本和事故样本验证。同时,曲线和隧道等结构对驾驶行为也有影响,为更好研究事故发生机理,研究还需要对各路段类别的相应路段车辆行为和交通流状态进行分析。

## 参考文献:

- [1] WU Yong, NAKAMURA Hideki, ASANO Miho. A Comparative Study on Crash Influencing Factors by Facility Type on Urban Expressways in Japan[J]. Journal of Modern Transportation, 2013, 21(4): 224—235.
- [2] HOSSAIN Moinul, MUROMACHI Yasunori. Understanding Crash Mechanism on Urban Expressways Using High-Resolution Traffic Data[J]. Accident Analysis & Prevention, 2013(57): 17—29.
- [3] 李蕊, 吴勇. 日本城市快速路小半径曲线交通事故因素研究[J]. 交通信息与安全, 2019(1).
- [4] 吴勇, 刘新荣. 快速路路段类别事故率与交通流状态的关系[J]. 中国公路学报, 2013(3).
- [5] 孟祥海, 方豪星. 基于可靠度的高速公路安全性评价方法研究[J]. 中外公路, 2016(6).
- [6] 吴勇, 刘新荣, 李蕊. 快速路分流区事故率与交通密度的关系[J]. 西南交通大学学报, 2014(1).
- [7] 钟连德, 孙小端, 陈永胜, 等. 高速公路V/C与事故率的关系研究[J]. 北京工业大学学报, 2007(1).
- [8] WU Yong, NAKAMURA Hideki, ASANO Miho. A Comparative Study on Crash Characteristics between Urban and Intercity Expressway Basic Segments[A]. The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research[C]. Rio de Janeiro, Brazil: 13th WC-TR, 2013.
- [9] 吴勇, 孙棣华, 李蕊, 等. 快速路合流区交通事故影响因素研究[J]. 中国公路学报, 2015(9).
- [10] MA Dan-peng. Analysis on Stochastic Characteristics of Breakdown Phenomena on Intercity Expressway Section[D]. Nagoya, Japan: Nagoya University, 2013.
- [11] ZHENG Zu-duo, AHN Soyoung. Impact of Traffic Oscillation on Freeway Crash Occurrences[J]. Accident Analysis & Prevention, 2013(42): 626—636.
- [12] DURET Aurelien, AHN Soyoung, BUISSON Christine Marie. Lane Flow Distribution on a Three-Lane Freeway: General Features and the Effects of Traffic Controls[J]. Transportation Research Part C, 2012(24): 157—167.
- [13] Wu Yong. A Study on Crash Risk at Expressway Basic Segments and its Influencing Factors[D]. Nagoya, Japan: Nagoya University, 2013.
- [14] 曹友露, 高建平. 圆曲线与缓和曲线组合对高速公路运营安全的影响[J]. 中外公路, 2016(6).
- [15] 杨文臣, 田毕江, 胡澄宇, 等. 山区高速公路隧道路段运行速度分析与预测[J]. 中外公路, 2018(6).