

都市高速道路合流部における加速車線利用実態に関する研究*

Reexamination of Merging Maneuver in Acceleration Lane of Urban Expressway On-ramps*

大澤 昂**, 浅野美帆***, 中村英樹****

By Akira OHSAWA**, Miho ASANO***, and Hideki NAKAMURA****

1. はじめに

合流部は都市内高速道路における渋滞発生の特長地点の一つである。合流車両が円滑かつ安全に合流する為に検討すべき重要な要素の一つとして、加速車線長が挙げられる。

加速車線には、合流車両へ十分な加速と流入機会を与えるだけの長さが必要であるが、その長さは一意には定まらず、本線や加速車線の交通状態量に応じて変化するものと考えられる。しかし、現状の加速車線長の設定方法は、十分に精査されているとは言い難い。

既存の加速車線長算出方法^{1), 2)}では、本線交通量が少なく自由合流が可能な交通状態を仮定した上で、等加速度運動方程式によって算出されるが、本線車両のギャップ探索による複雑な加減速といった合流車両挙動を反映していない。また、算出に用いる速度の妥当性が不明確である。実測データを用いて構築したシミュレーションモデルにより合流区間の長さを評価する手法³⁾も提案されているが、都市間高速道路を対象としており、線形条件の異なる都市内高速道路に対しても適用できるとは限らない。また、都市内高速道路の合流車両のギャップ探索モデル及び加速度調整行動のモデルに関する研究も多く見られる⁴⁾が、加速車線長や合流位置との関連性については分析されていない。

そこで本研究は、都市高速道路における合流車両の合流挙動実態に応じた加速車線長の設計に向け、非渋滞流における合流車両の合流位置と本線車両挙動や幾何構造との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 対象合流部と交通状況

2.1. 対象合流部の概要

まず、合流部に関する用語の定義を図-1に示す。

本線交通状況の異なる状態での合流車両の挙動を分析するため、次の2箇所を選定した。

* キーワード：都市高速道路，合流部，加速車線
** 学生会員 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
(名古屋市千種区不老町, E-mail: osawa@genv.nagoya-u.ac.jp)
*** 正会員 博(工) 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻
**** 正会員 工博 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻

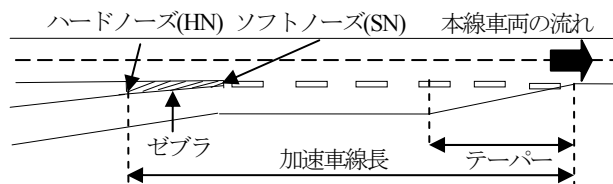


図-1 合流部における用語の定義

表-2 対象合流部の概要

	堀田入口	黒川南入口
ランプ設計速度 v_0 [km/h]	40	40
本線設計速度[km/h]	60	60
到達速度 v_1 [km/h]	60	60
算出式による 加速車線長[m]	164	164
実際の加速車線長[m]	185	165

- 名古屋高速3号大高線，堀田入口
- 名古屋高速1号楠線，黒川南入口

これらの対象合流部の概要、および「道路構造令の解説と運用」¹⁾の加速車線長算出式により算出される加速車線長(以下、算出長とする)を表-2に示す。これらはいずれも右側合流であり、黒川南入口は合流部手前のランプに急カーブが存在する。加速車線長の算出式は次のように表される。

$$L = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2\alpha} \quad \text{式(1)}$$

ここに、

L : 加速車線長[m], α : 加速性能 [m/s²],

v_1 : 到達速度[km/h], v_0 : 初速度 [km/h]

である。初速度 v_0 はランプの設計速度、本線合流時の到達速度 v_1 は本線の設計速度に則して設定される。ここでは初速度 v_0 をハードノーズ(HN)通過速度、到達速度 v_1 を合流完了時速度とおき、加速性能は文献¹⁾の通り0.47m/s²とした。

堀田入口と黒川南入口は合流部・本線の設計速度が等しく、算出長も等しい。実際の加速車線長は黒川南入口では算出長と等しいが、堀田入口ではそれよりも長い車線長が確保されている。

本研究に使用したビデオ観測の概要を表-3に、本研究で対象とした交通量レベルを図-2に示す。黒川南入口における本線交通量は少なく、合流車両の合流挙動は本線車の影響をほとんど受けるこ

表-3 ビデオ観測概要

ビデオ観測時間	2007/09/16 15:00-16:00	2009/12/08 09:42-10:42
交通状況	3106veh/h 非渋滞流～近飽和	1319veh/h 非渋滞流
到着車両台数(台)	398	269

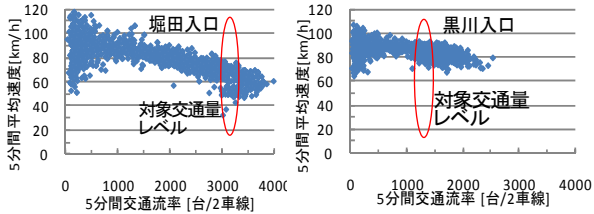


図-2 対象合流部の Q-V 図

となく合流できる状態(以下、自由合流とよぶ)であると考えられる。一方、堀田入口合流部は交通量が多く、本線車両の影響を受けた合流挙動を行うと考えられる。なお対象合流部において、到着合流車両が車群を形成していた場合は、後続車両は本線状況だけでなく前方車両の影響も受けると考えられるため、先頭車両のみを分析対象とした。さらに堀田入口はブレイクダウンが発生した15:40以降のデータを分析対象から除外した。

2.2. データ取得方法

堀田入口におけるビデオ画像分析には、ビデオ画像処理システム³⁾を用いた。本線車両は右前輪と、合流車両は右後輪と地面との接地点を0.5秒毎に取得した。合流車両はホイールベースを加えることで右前輪の位置座標に変換し、カルマンスムージングアルゴリズムを用いて0.1秒毎に出力された右前輪の位置データを車両の走行軌跡とした。ホイールベースは大型車、普通車をそれぞれ7m、3mとした。また、右後輪が加速車線と本線との車線境界線をまたぐ瞬間の右前輪の位置を合流完了位置とした。黒川南入口は、目視によってHN端とその手前10m地点を右前輪が通過した時間差によってHN通過速度を算出した。また、加速車線を5m毎に区切り右後輪が車線境界線を跨いだ瞬間に右前輪が属していた区間を合流位置とし、その区間を通過するために要した時間によって合流完了時速度を算出した。

3. 自由合流における合流挙動分析

3.1. ハードノーズ通過速度と合流完了時速度

まず、自由合流における実際の合流挙動と、既存の加速車線長算出式において設定している入力変数との関係を分析した。図-3は、各合流部のハ

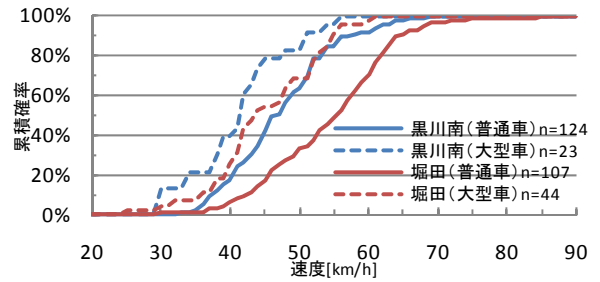


図-3 ハードノーズ通過速度分布

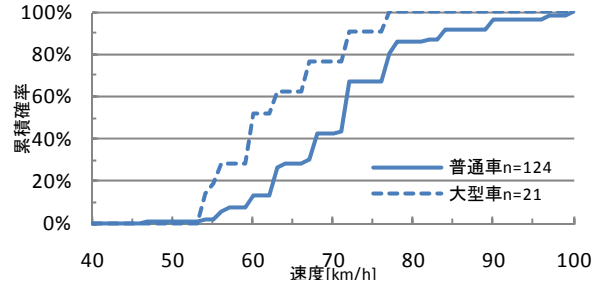


図-4 合流完了時速度分布(黒川南)

ードノーズ通過時における合流車速度分布を示し、図-4は合流完了時の合流車速度分布を示している。合流完了時速度は、堀田においては本線車の影響を大きく受けるため、分析対象から除いた。

両合流部とも、ランプ設計速度は40km/hである。加速性能が小さい大型車に着目すると、ハードノーズ通過速度が40km/h以上となる車両は、黒川南入口では約60%、堀田入口では約80%であった。黒川南入口ではランプ直前に急カーブがあるため、ハードノーズ速度が全体的に低くなったと考えられる。このように、合流部周辺の幾何構造に応じて合流初速度が異なることに留意する必要があると考えられる。一方、合流完了時速度は、大型車の約半数が本線設計速度(=到達速度)60km/h以上となっていた。ただし、設計速度以下で合流した車両の多くは、本線車両がないために加速車線をほとんど使わずに合流し、本線上で加速した車両であった。

3.2. 合流位置分布

これらのHN通過速度や合流完了時速度が合流位置に与える影響について分析を行う。加速車線をハードノーズ～ソフトノーズ部分、テーパー部分と、それ以外の加速車線区間を5等分したものの7区間に分けた。図-5は、各合流部における個々の車両の合流位置をこれらの区間別、HN通過速度別に集計し、HN通過速度別に累積分布で示している。同様に、図-6は合流完了時速度別に合流位置を示している。これらの図から、HN通過速度や合流完了速度と合流位置とは必ずしも相関がみられない

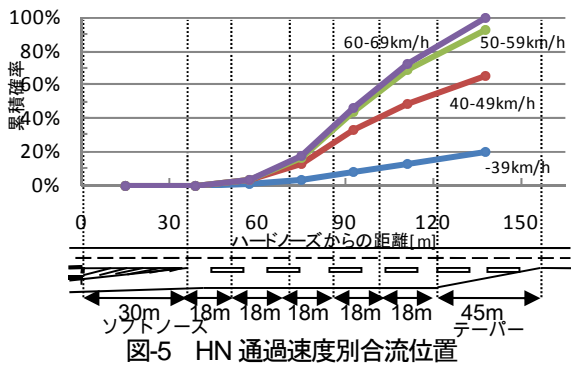


図-5 HN 通過速度別合流位置

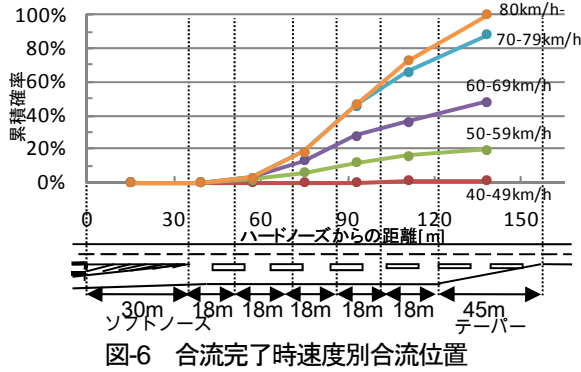


図-6 合流完了時速度別合流位置

ことがわかる。

4. 本線車の影響を考慮した合流挙動の詳細分析

4.1. 合流形態と合流位置

次に、本線交通量が多い堀田入口を対象として、本線車の影響と合流位置の関係を分析した。

合流車両のHN通過時における本線車両との位置関係を基準として図-7のように本線車両を定義した。HN通過時に合流車の直上流にいる本線車両をB、その上流車両をA、合流車の直下流の車両をC、Cの下流の車両をDとした。A-B, B-C, C-D間のどの本線車ギャップを選択して合流したかによって合流形態を分類し、それぞれ見送合流、直近合流、追越合流と定義した。

加速車線の利用を始めた合流車両は、HNからSNに至るまでの間に、上流も含めた本線全体の状況を把握して、SN通過後から合流行動を開始すると考えられる。そこで、合流車両がSNを通過した瞬間の車両B及び車両Cの速度の平均値を本線速度とし、本線速度が合流位置へ与える影響について分析を行う。なお、車両Cまたは車両Cのいずれかと合流車両とのラグが5秒以上である場合は、相対距離が十分大きく合流挙動への影響が非常に少ないと考えられるため、ラグが5秒以内である本線車両の速度を本線速度とした。

図-8は、合流車両HN通過時における本線速度別で合流形態の頻度を示している。本線速度が低い場合には追越合流が観測されており、本線速度が

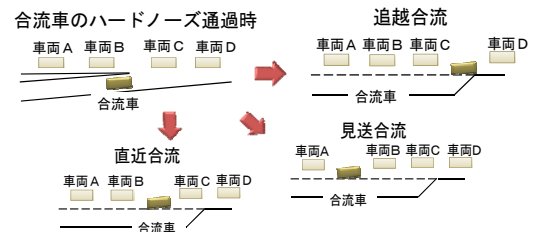


図-7 合流形態の分類

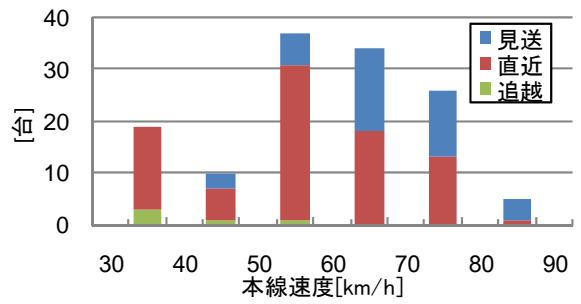


図-8 本線速度別合流位置

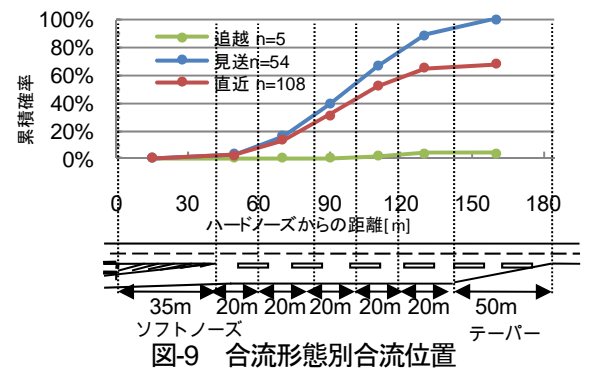


図-9 合流形態別合流位置

高くなるにつれて見送合流の割合が増加することがいえる。図-9は合流形態別に合流位置を示したものである。追越合流、見送合流は、直近合流よりも合流位置が遠くなる傾向が見られる。見送合流と直近合流との合流完了位置の分布は有意(5%水準)に異なっており、合流形態の違いが合流位置の差に影響を及ぼしていると考えられる。

特に見送合流の場合に加速車線の終端部まで到達しやすいことがわかり、本線速度が大きいと加速に時間がかかるだけでなく、合流判断に少し余分に時間を要しただけで終端部に到達してしまうためであると考えられる。

合流車両SN通過時における本線車両Bとの相対速度 - 相対距離関係を合流形態別に示したところ(図-11)、TTC=5-7秒を境に見送合流の行動が分離されることがわかる。

4.2. 見送合流の合流挙動

分類した合流形態のうち、加速車線の終端部まで利用した車両の比率が多い見送合流に着目し、その合流挙動について分析した。見送合流を選択

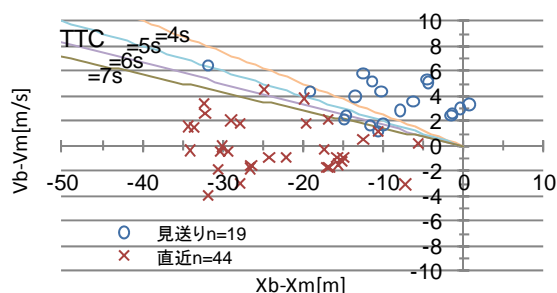


図-11 SN通過時の車両Bとの
相対速度-相対距離関係

した合流車は、本線車両に追い抜かれてから合流を行う。合流車がSNを通過してから本線車に追い抜かれるまでの間、合流車、本線車ともに速度変化を行わないと仮定すると、式2の通り追い抜かれる位置 d' を推定することができる。この推定値を以下予想見送位置と呼ぶ。

$$d[m] = \frac{d_{B,s} - d_{M,s}}{v_{B,s} - v_{M,s}} \cdot v_{M,s} + d_s \quad (式2)$$

ただし、 $d_{B,s}$ 、 $d_{M,s}$:合流車SN通過時の車両B、合流車の位置、 $v_{B,s}$ 、 $v_{M,s}$:合流車SN通過時の車両B、合流車の速度、 d_s :SNの位置とした(ただしHN位置を原点とする)。

図-12に算出した予想見送位置と実際の見送位置との関係を示した。予想見送位置が短い合流車両は、予想位置と実際に追い抜かれた位置がほぼ一致している。一方予想見送位置が増加すると、実際の追い抜き位置が予想位置を下回る傾向がある。これは加速車線の終端部に近づいてしまい、合流車がやむを得ず減速のためと考えられる。

見送位置を通過した後、合流車は本線車との速度調整を行った上で合流すると考えられることから、予想見送位置、および合流車SN通過時における車両Bと合流車との相対速度を説明変数として、見送合流車の合流位置を重回帰分析により推定した。この結果を表-4と図-13に示す。なお、 v_B 、 v_M はそれぞれ、合流車がSNを通過した時の車両Bと合流車の速度である。本モデルは、サンプル数は少ないものの、加速車線区間内における詳細な車両挙動によらず、SNでの合流車と本線車の相対位置・速度情報のみに基づいて合流位置を推定しており、本線車・合流車の速度分布や車頭時間分布等の統計量のみから合流位置分布を算出するのに有効と考えられる。

5. おわりに

本研究では、非渋滞流における都市内高速道路の加速車線利用実態分析を行った。見送合流形態において、

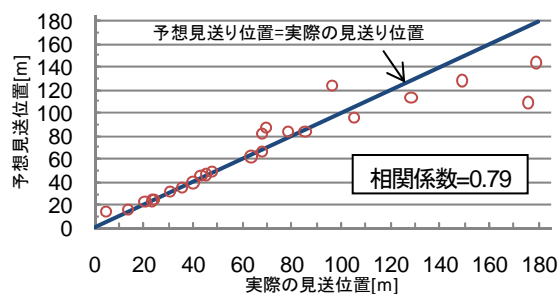


図-12 予想見送位置と実際の見送位置

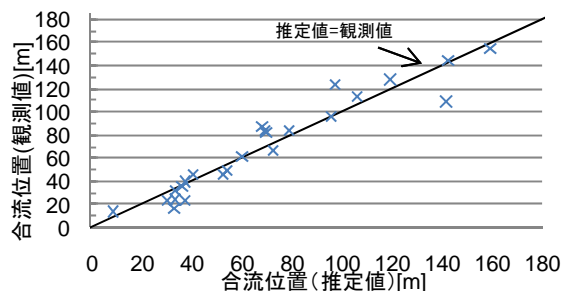


図-13 合流位置の推定値と観測値

表-4 見送合流車の合流位置推定モデル

変数	推定値(t値)
定数項	-3.475(-0.32)
予想見送位置	0.779(13.98)
相対速度($v_B - v_M$)	1.119(2.04)
補正 R^2 値	0.909
サンプル数	24

ソフトノーズ通過時の合流車・本線車の速度、位置より合流位置を推計するモデルを提案した。

今後の課題としては、交通量別・合流形態別の出現頻度から合流位置を確率的に推計する手法の構築を行うことが考えられる。また、調査対象合流部、対象サンプル数を増やすこと、異なる交通条件での挙動比較を行うことが挙げられる。

謝辞

本研究を行うに当たり、ビデオデータ画像を提供していただいた名古屋高速道路公社に深く感謝します。

参考文献

- (社)日本道路協会(2004):道路構造令の解説と運用 改訂版
- AASHTO(2004): A Policy on Geometric Design of Highway and Streets
- (社)交通工学研究会(1987):合流部の設計に関する調査研究(その2)報告書
- 渡辺将光・中村英樹(2005):ビデオ画像を用いた都市高速合流部における合流挙動に関する分析, 土木計画学研究・講演集 No.32, CD-ROM.
- 鈴木一史・中村英樹(2006):交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の開発と性能検証, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3, pp.276-287.