

追越行動を考慮した高規格2車線道路における付加車線設置に関する研究

都市交通研究室 樋山 沙央里

指導教官 佐野 可寸志

1.はじめに

厳しい財政状況の中で、高速道路はより経済的で合理的な機能の提供が必要となっている。高規格2車線道路においては、利用者が期待する高速サービスを提供できる適切な付加車線設置を効果的に実現する必要がある。しかし、その構造を決定するにあたっての基本的な指針は取りまとめられておらず、現地での条件の範囲内で設置できる箇所に設置しているというのが実態である。そこで本研究では北陸自動車道をケーススタディとして車両の走行挙動分析を行い、それに基づいたシミュレーションモデルを開発する。またこのモデルを用いて付加車線設置数と付加車線長の適切な組み合わせを評価する。

2.車両の走行挙動分析

平成11年11月25日の北陸自動車道能生IC周辺を対象にした調査データ¹⁾から、2車線区間では希望速度、1車線区間では追従速度・Headway・車群先頭車両の希望速度のデータを取得し、追従挙動の分析を行った²⁾。

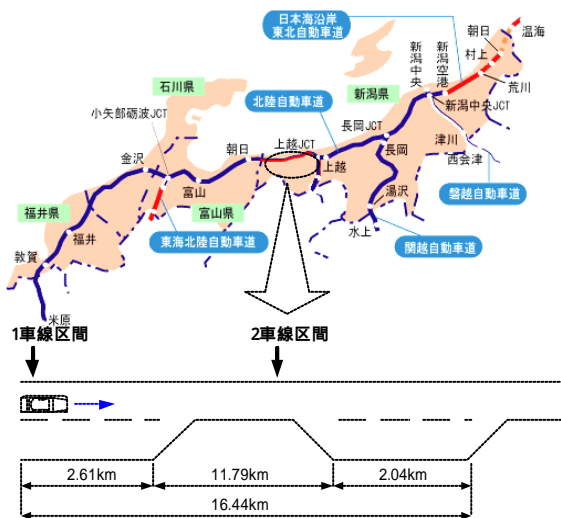


図-1 スタディーエリア

2-1 地点速度

図-2は2車線区間における普通乗用車の速度分布を表している。2車線区間では希望速度で走行し、その平均速度は約106km/hである。図-3は1車線区間における普通乗用車の速度分布で、その平均速度は約103km/hである。1車線になることで交通量が少ない区間にも関わらず速度低下が見られる。図-4は1車線区間における車群先頭車両の速度分布を表している。車群先頭車両は希望速度で走行し、その平均速度は約106km/hである。よって車両は希望速度を保持して走行するということになる。

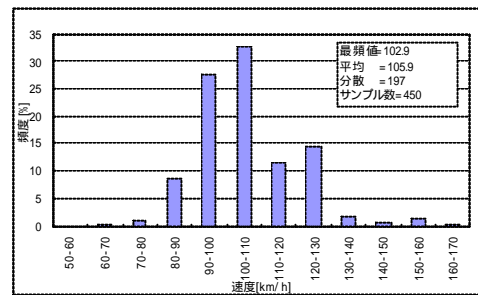


図-2 a地点(2車線区間)速度分布

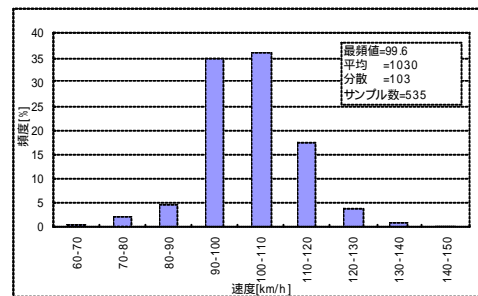


図-3 b地点(1車線区間)速度分布

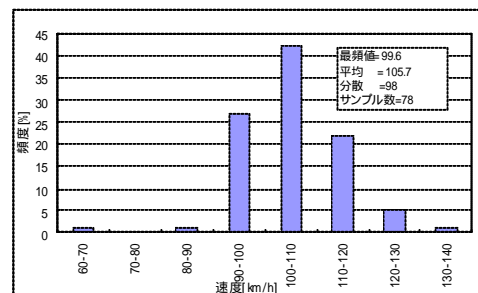


図-4 車群先頭車両(1車線区間)速度分布

2-2 車群の分析

図-5は追従車両速度と Headway の関係を表している。これは各速度の Headway 分布の平均値をプロットしたもので、速度が速くなることで Headway が大きくなることわかる。図-6は車群サイズと走行速度の関係を表している。車群サイズが大きくなると走行速度が遅くなることわかる。また車群サイズが小さいものと大きいものでは 10km/h 以上の速度差があることもわかる。

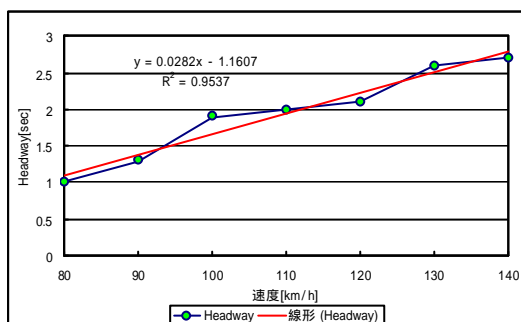


図-5 追従車両速度と Headway の関係

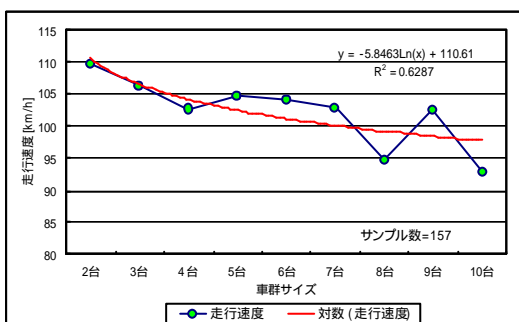


図-6 車群サイズと走行速度の関係

3. 交通シミュレーションモデル

付加車線の設置効果計測のため、北陸自動車道での車両挙動分析に基づき、追越行動を考慮した交通シミュレーションモデルを開発した。シミュレーションモデルには追従走行モデルと車線変更モデルから構成される。

3-1 追従走行モデル

追従モデルには、前方車両などの影響を受けず希望速度で走行する自由走行と、低速車両など前方車両の影響を受けてその後ろを追従して走行する追従走行がある。図-7は自由

由走行時の車両を表している。Headway(H)が目標 Headway(TH)よりも大きくなるときに車両は自由走行を行い、希望速度を上限として最大加速度の範囲内で加速する。図-8は追従走行時の車両を表している。追従走行は、Headway(H)が目標 Headway(TH)よりも小さくなるとに行き、前方車両の速度まで減速し前方車両に追従し走行を行う。なお、車両の希望速度は、平均と分散を与えた正規乱数より与え、各車両の希望速度は変化しないものとした。



図-7 自由走行



図-8 追従走行

3-2 車線変更モデル

通常のドライバーは、付加車線設置区間において前方車両が遅い場合、車線変更を行う。しかしながら、前方車両が遅いと感じる感覚には個人差があるので、本シミュレータでは、相対速度差、相対距離に応じた車線変更の実行確率を車種別・ドライバータイプ別に各車両に与え、実交通に近い車線変更モデルを組み込んでいる³⁾。図9-1は、走行車線から付加車線への車線変更の概念図である。走行車線から付加車線への移動は、前方車両との相対速度差に応じて車線変更を確率的に決定する。またこの際、付加車線の前方車両および後方車両との3秒後のギャップを予測し⁴⁾、安全と判断される場合は車線変更を行う。この予測時間は車線変更に要す時間に相当する(予見によるドライバーの行動)。付加車線から走行車線への車線変更は、任意の車線変更と強制的な車線変更の2モデルを組み込んでいる。図9-2は、付加車線から走行車線への任意の車線変更の概念図である。任意の車線変更は、付加車線を走行中の車両に対する走行車線の前方車両の相対距

離が大きい場合に行う車線変更であり、相対距離に応じて確率的に車線変更を行う。この際、車線変更を行う車両は走行車線の後方車両との3秒後のギャップを予測し、ギャップが安全であると判断される場合車線変更を行う。図9-3は、強制的な車線変更の概念図である。強制的な車線変更は、付加車線の終点に近づく車両が走行車線へ戻るドライバーの行動をモデリングしたもので、付加車線の手前 L_m に達した付加車線を走行中の車両に走行車線を走行中の車両は車線変更に協力し、安全ギャップを確保する。

走行車線から付加車線への車線変更

前方車両の速度が遅く、車頭時間が2秒以下のときに行う。

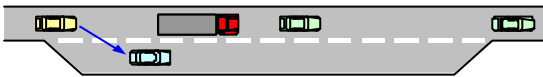


図-9-1 追越走行

付加車線から走行車線への任意の車線変更

前方車両との車頭時間が $3 \cdot TH$ 以上で後方ギャップが安全なときに行う。

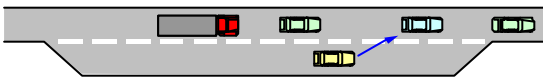


図-9-2 追越走行

付加車線から走行車線への強制的な車線変更

付加車線の終点の手前 L [m] 以下のときに行う。

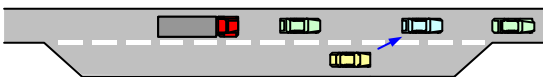


図-9-3 追越走行

3-3 交通シミュレーションのインターフェイス

本シミュレータは走行状況をアニメーションで確認することができる。アニメーション画面では、各車両は車種別に色分けされ表示され、希望速度、速度、旅行時間、遅れ時間など詳細な車両挙動を視覚的に確認できる。また、発生交通量、道路構造、シミュレーションのパラメータ等のシミュレーションの設定値は、GUIにより簡単なマウス操作で入力データ設定を行うことができる。車線変更確率や速度別の目標 Headway などは設定

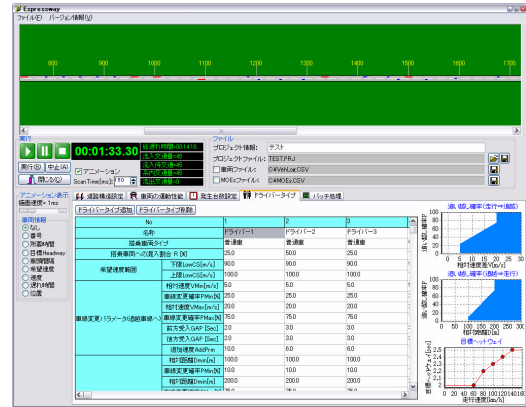


図-10 交通シミュレーションモデルの GUI

値をグラフで確認でき操作性も高い。シミュレーションモデルの入力データは、車種別時間交通量・車種別希望速度・車種別性能(加速度・減速度)・ドライバー別車線変更パラメータ・ドライバー別速度-Headway であり、シミュレーションが実行されると、出力ファイルとして1台毎1秒毎の車両位置・速度・加速度・旅行時間・遅れ時間を記録した車両ファイルと車種別ドライバー別に速度・加速度・旅行時間・旅行速度・遅れ時間を集計した MOEs (Measure Of EffectiveS) ファイルが出力される。これらの出力ファイルは、CSV(カンマ区切りテキストファイル)で出力され Excel 等の表計算ソフトで容易に編集が可能である。

3-4 シミュレーションモデルの検証

シミュレーションモデルの再現性の検証として、仮想データによる検証と北陸自動車道の調査区間を対象とした検証を行った。

A. 仮想データによる検証 (Verification)

3車種(普通車・中型車・大型車)をそれぞれ1,000台発生させ、車両の発生分布・車種別発生台数の検証を行った。図-11は車両の発生分布を示したもので、平均と分散ともに良く再現できていることを確認した。

表-1は車種別発生台数を示す。検証の結果、各車種について1,000台に対する誤差率は大きいものの、3車種の割合に対する混入率誤

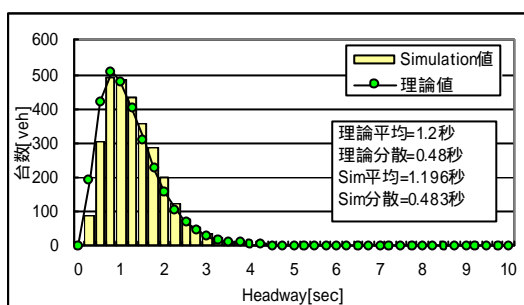


図-11 車両の発生分布

差は±0.5%以内となり、十分に再現性があるということが確認できた。

表-1 車種別発生台数

試行	台数			誤差率			混入率誤差		
	普通	中型	大型	普通	中型	大型	普通	中型	大型
1回目	1045	972	983	4.5%	-2.8%	-1.7%	0.5%	-0.3%	-0.2%
2回目	979	981	1040	-2.1%	-1.9%	4.0%	-0.2%	-0.2%	0.4%
3回目	978	984	1037	-2.1%	-1.6%	3.7%	-0.2%	-0.2%	0.4%
4回目	982	1015	1003	-1.8%	1.5%	0.3%	-0.2%	0.2%	0.0%
5回目	999	973	1028	-0.1%	-2.7%	2.8%	0.0%	-0.3%	0.3%
平均	996.8	985	1018.2	-0.3%	-1.5%	1.8%	0.0%	-0.2%	0.2%
最大	1045	1015	1040	4.5%	1.5%	4.0%	0.5%	0.2%	0.4%
最小	979	972	983	-2.1%	-2.8%	-1.7%	-0.2%	-0.3%	-0.2%

図-12 は目標 headway と飽和交通容量の関係を表したものである。最初の1時間に4,000台の車両を発生させ、目標 Headway を変化させて達成される交通容量の検証を行った。検証の結果、達成された交通容量は理論値よりも小さくなった。これは、目標 Headway をシミュレーションのパラメータとして設定しているが、厳密にはシミュレータ内で車両の衝突を避けるために車頭時間から車両長と停止車間長を差し引いた長さを入力した目標 Headway として保つように計算されるためである。よって交通工学で用いられる車頭時間は設定した目標 Headway よりも実際は大きく、結果として理論値よりも交通容量が若干小さい値が達成される。

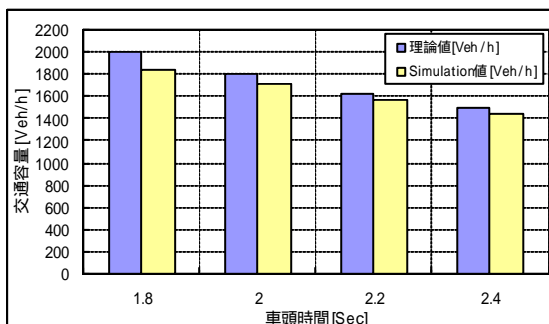


図-12 目標 Headway と交通容量の関係

B. 調査区間を対象とした検証(Validation)

調査を行った北陸自動車道の約 16km の区間について、シミュレーションモデルが実際の交通状況を再現できるかを確認する。入力データとして用いた、道路構造・車種別時間交通量を表-2 に示し、車種別希望速度表-3 に示す。なお、これらの発生交通量および希望速度分布は、北陸自動車道の調査データに基づくものがある。他に車種別性能(加速度・減速度)・ドライバー別車線変更パラメータ・ドライバー別速度-Headway を設定し、旅行時間について再現性の検証を行った。

表-2 発生交通量の1時間換算値

車種	2時間交通量	1時間交通量
普通乗用車 (クラス1)	446	223
貨物車 (クラス2+3)	161	81
特殊車 (クラス4)	51	26
計	658	329

表-3 発生交通量の希望速度分布

車種	希望速度の平均値[km/h]	希望速度の分散
普通乗用車 (クラス1)	106	197
貨物車 (クラス2+3)	103	163
特殊車 (クラス4)	94	114

図-13 は車種別平均旅行時間を、図-14 は平均旅行速度を表している。これより概ね旅行時間を再現していることがわかる。図-15 は普通乗用車の旅行時間分布を表している。検証の結果、平均旅行時間と旅行時間分布をほぼ満足に再現していることが確認できた。すべての車種についてシミュレーションの旅行時間が小さくなるが、これはシミュレーション区間にトンネル区間が存在することが

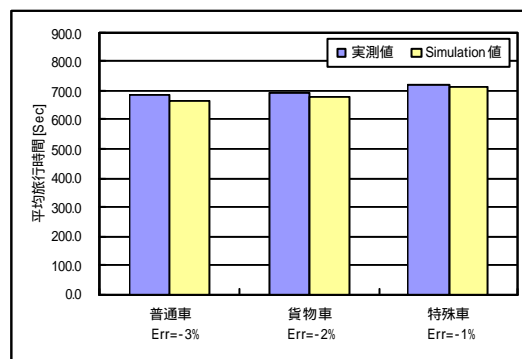


図-13 車種別平均旅行時間

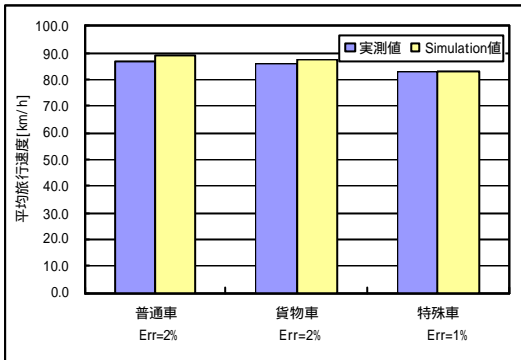


図-14 車種別平均旅行速度

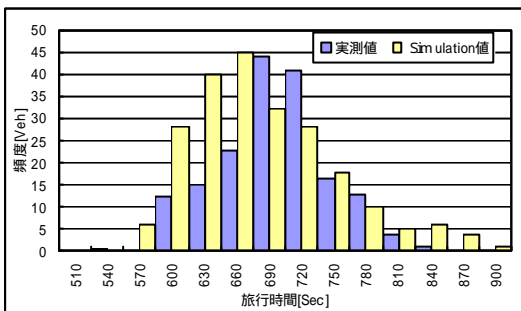


図-15 普通乗用車の旅行時間分布

原因と考えられる。飯田ら⁵⁾は、トンネル出口付近では走行速度が低下することを報告しているが、シミュレーションではトンネル区間の速度低下を考慮していないことで旅行速度の高めに見積もられ、結果として旅行時間が小さめに見積もられている。

4. 付加車線設置のシミュレーション分析

付加車線設置のシミュレーションは交通量 200～1000[台/h]を 50 台刻みに非飽和時から飽和時までの交通需要を与え、大型車混入率 5～40%を 5%刻みに設定した。付加車線の設置方法は、1 箇所設置のシミュレーションと 付加車線の総延長固定のシミュレーションを行った。1 箇所設置のシミュレーションでは、500m 刻みに 1～7km の付加車線を設置し、総延長固定の場合は付加車線の総延長が等しくなるように等間隔に複数個の付加車線を設置した。図-15 は、一箇所設置および 総延長固定のケースの付加車線の配置条件である。

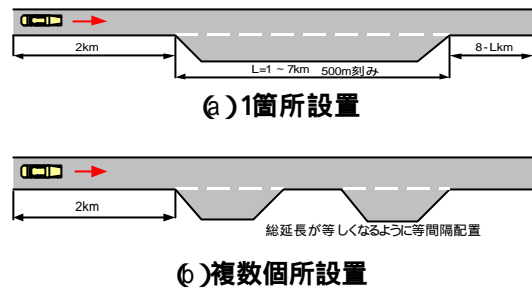


図-15 付加車線配置条件

4-1 1 箇所設置のシミュレーション

図-16 は、1 箇所設置のシミュレーション結果で、付加車線長と平均遅れ時間の関係を示したものである。まず、 $Q=200\text{Veh/h}$ の遅れ時間を見ると、付加車線長 3000m 位から遅れ時間の変化が 5 秒以下となる。遅れ時間の変化が 5 秒以下となる場合、整備効果が無いものと考えたと図中の緑色の領域となる。この領域と付加車線長 - 遅れ時間曲線の交点を最適な付加車線長と考え、 $Q=200\text{Veh/h}$ では約 3500m、 $Q=800\text{Veh/h}$ では、約 5500m となる。

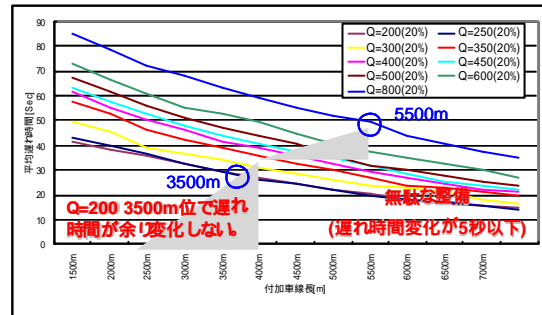
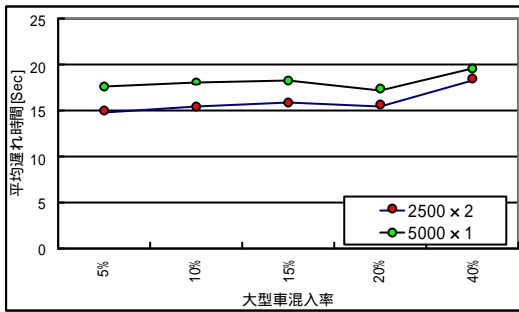


図-16 付加車線長と遅れ時間の関係

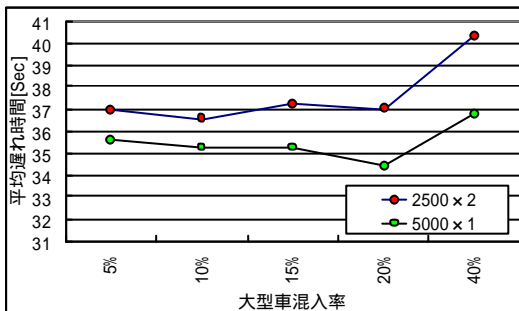
4-2 付加車線の総延長固定のシミュレーション

付加車線の総延長を 2000m(1000×2)、3000m(1000×3、1500×2)、4000m(1000×4、2000×2)、5000m(1000×5、2500×2)を道路の構造条件とし、1 箇所設置と同様の交通需要にてシミュレーションを行った。図-17 に、総延長 5000m のときの遅れ時間を示す。交通量 Q が 200Veh/h の時では、2500m の付加車線を 2 箇所設置するほうが 5000m を 1 箇所設置する場合より遅れ時間が小さい。一方、交通量 Q が 600Veh/h の時では、5000m

の付加車線を 1 箇所設置するほうが 2500m を 2 箇所設置する場合より遅れ時間が小さい。総延長が 3000m,4000m の場合についても同様な分析を行ったが、いずれのケースにおいても、交通需要により最適な設置箇所数が存在することを確認した。



(a) 交通量 Q=200Veh/h のとき



(b) 交通量 Q=600Veh/h のとき

図-17 総延長 5000m の場合の遅れ時間

5.まとめ

本研究では、北陸自動車道を対象として、車両の挙動分析を行い、先頭車両の挙動・追従車両の挙動(速度、Headway)分析を行った。次に追越挙動を考慮した交通シミュレーションの開発を行い、仮想データによるシミュレーションモデルの検証(Verification)および北陸自動車道の実交通を対象とした検証(Validation)を行い、交通状況を再現することを確認した。最後に付加車線の設置条件を変え効率的な設置方法の検討を行った。付加車線が 1 箇所設置のケースでは、交通需要に応じた適切な付加車線の延長が存在することを示した。また、延長固定のケースでは、交通量に応じて最適な設置個数を求めることができ、これは交通量や大型車混入率で

決定されることを確認した。

参考文献

- 1) 佐野可寸志・松本昌二・成田純友：高速道路の追越車線における車両挙動の分析、第 20 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.53 ~ 56, 2000.
- 2) Matsuda, M., Matsumoto, S., Sano, K., Traffic Detecting and Tracking for the Measurement of Traffic Flow at Intersections:The 10TH International CONFERENCE OF HONG KONG SOCIETY FOR TRANSPORTATION STUDIES, 2005.
- 3) Rene, B., Lyudmila, M., A composition stochastic model for real time freeway traffic simulation. : Transportation Research Part B 40, pp.319-334, 2006.
- 4) 花房比佐友・堀口良太・桑原雅夫・田中伸治・牧野浩志・大内浩之：高速道路サグ部における AHS 円滑化サービス評価運用用交通シミュレータの開発、第 4 回 ITS シンポジウム,2005.
- 5) 飯田克弘・池田武司・臼井宏至：実走実験結果に基づく高速道路トンネル部の車両速度変動に関する分析、第 21 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.317 ~ 320, 2001.