

令和元年10月15日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06533

研究課題名（和文）安全性や旅行時間を考慮した地方部の高速道路整備のあり方に関する基礎的研究

研究課題名（英文）Fundamental Research on the Way of Expressway Construction in the Rural Area considering Safety and Travel Time

研究代表者

佐野 可寸志（SANO, KAZUSHI）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：00215881

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、著者らの既往研究において構築された暫定2車線区間道路における追越挙動モデルを基にし、暫定2車線高速道路を走行する各車両の希望走行速度による所要時間からの遅れ時間を短縮させるためにより効果的な、追い越しを行うための付加車線の長さおよび、その設置位置を検討した。その結果、与えられた交通量、大型車混入率、インターチェンジ位置のもとで、最適な付加車線長や設置位置を提案することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

交通量が少ない地方部の高速道路では暫定的2車線での整備が進められている箇所が多いが、低速車を先頭とする車群が形成され、低速移動が余儀なくされる。そこで本研究では、暫定2車線高速道路の経済損失を所要時間の増大という側面から定量的に明らかにし、交通量の少ない地方部の高速道路整備のあり方を議論する際に必要となる定量的なデータを提供することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：We have developed a simulation model which based on the overtaking behavior model on the provisional two-lane section and have analyzed the optimal additional lane with safety drive and the optimal location of the lane. As this result we have proposed the optimal lane length and its location considering the traffic volume, the large vehicle mix rate, and the location of the exit of expressway.

研究分野：交通工学

キーワード：暫定2車線 追従挙動 追い越しモデル

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

暫定2車線高速道路は、高速道路であっても一旦低速で走行する車両の後ろにつけば利用者が期待する高速サービスが得られないという問題がある。この対策として、車線利用率の均等化を狙った追い越し車線（以下、付加車線）設置対策がある。現在、高速道路2車線区間では6~10km間隔で付加車線が設けられることとなっている。しかし、付加車線長など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。暫定2車線高速道路において、速達性や確実性という高速道路が本来持つべき機能を発揮させるためには、合理的な基準により、付加車線の区間長や設置位置を決定する必要がある。既往研究において根川らは暫定2車線高速道路の実態調査から車両の挙動分析を行い、それに基づいた追い越し挙動モデルを構築し、そのモデルを基に交通量に対する効果的な付加車線長を検討している。交通量に応じた最適な付加車線の設置方法については論じられていない。よって、所要時間の短縮を目的に付加車線の設置方法を検討していく必要がある。本研究では、根川らの構築した追い越し挙動モデルを基に、暫定2車線高速道路を走行する各車両の遅れ時間を短縮するために効果的な付加車線長および、その設置位置の検討を行う。

2. 研究の目的

暫定2車線高速道路において、速達性や確実性という高速道路が本来持つべき機能を発揮させるためには、合理的な基準により、付加車線の区間長や設置位置を決定する必要がある。既往研究において根川らは暫定2車線高速道路の実態調査から車両の挙動分析を行い、それに基づいた追い越し挙動モデルを構築し、そのモデルを基に交通量に対する効果的な付加車線長を検討している。交通量に応じた最適な付加車線の設置方法については論じられていない。よって、所要時間の短縮を目的に付加車線の設置方法を検討していく必要がある。本研究では、根川らの構築した追い越し挙動モデルを基に、暫定2車線高速道路を走行する各車両の遅れ時間を短縮するために効果的な付加車線長および、その設置位置の検討を行う。

3. 研究の方法

本研究のフローを図に示す。

現実に存在する暫定2車線高速道路(磐越自動車道)がどのような実態になっているかを調査し、分析を行う。本章で明らかになった暫定2車線高速道路の実態を元にシミュレーション分析を実施していく。

3.1 車両発生時刻分布

平成21年度に稲垣らが暫定2車線高速道路を走行する車両を撮影したビデオデータを観測し、その結果を元に分布の適合度検定を行う。

(1)調査概要

稲垣が行ったビデオ撮影調査の概要について、以下に記す。

調査日時：平成21年8月22日(土)AM7:40~AM11:40

調査場所：磐越自動車道

熊渡付近 kp180 上り (a 地点：1 地点)

津川 IC 付近 kp165 上り (b 地点：1 地点)

東山付近 kp155.4~kp154.6 上り (c~i 地点：7 地点)

西会津 IC 付近 kp144 上り

調査項目：ビデオカメラによる通過時刻の測定

(2)分布の適合度検定

観測したビデオデータから、暫定2車線道路を走行する車両の発生時刻がどのような分布に従っているかを確認し、その分布を用いて車両挙動シミュレーションを行う。車両の発生確率分布をポアソン分布と仮定し検定を行った結果を表に示す。有意水準=5%における χ^2 値(自由度9)は16.9である。想定した車両の発生確率分布をポアソン分布と仮定して検定を行った結果、従わないとはいえない。よって本シミュレーションの車両の発生時刻分布にはポアソン分布を用いる。

3.2 車両交通状況

磐越自動車道における車両の平均速度およびその標準偏差、大型車混入率について調査した。データはETC2.0から得られた値を元にしている。また、データを取得する地域は稲垣ら⁶⁾がビデオ撮影を行った箇所のものについて調査を行った。得られた値を

4.1 付加車線設置位置検討に反映する。平均速度、標準偏差、大型車混入率を表2~3に示す。

3.3 暫定2車線における諸車線長

シミュレーションにおける車両を走行させる距離を得るために、暫定2車線高速道路内の平均付加車線長およびインターチェンジ間距離の測定を行った。新潟県内を通過する暫定2車線高速道路(磐越自動車道および日本海東北道)における平均付加車線長と平均IC間距離を表5~6に示す。

3.4 モデル変更点

本研究におけるシミュレーションモデルは根川ら²⁾が構築したものを基本モデルとしている。しかし、既存のモデルのままであると、本研究の目的である暫定2車線区間内における車両の走行性についての分析が行えない状態であった。そこで本研究の目的に合わせたものにモデルを改良した。

具体的なモデルの変更点は大きく分け、二点ある。一つは、シミュレーション内を走行する車両の数である。既存研究においては、暫定2車線道路上において構成される車群(1車線区間走行時の前車との車頭時間が5秒より小さい車両を前車に追従してい

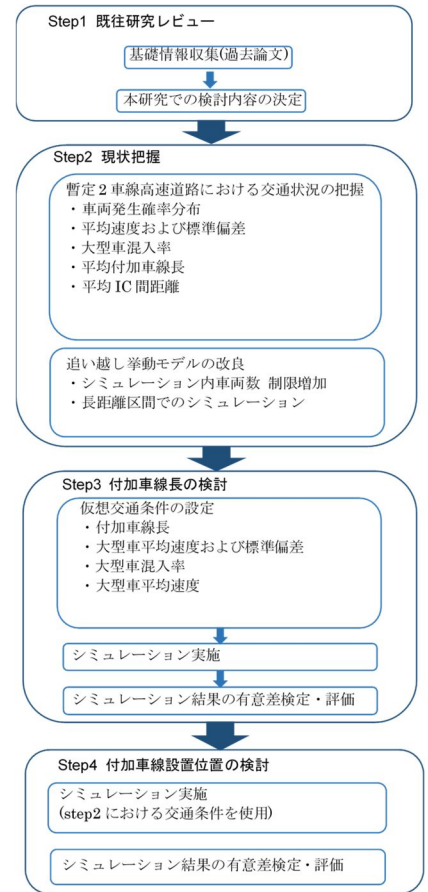


図1 研究フロー

表1 適合度検定

| 地点 | 2 値 |
|----|------|
| b | 1.59 |
| c | 0.33 |
| g | 2.77 |

表2 車両平均速度

| 車種 | 平均速度(km/h) |
|-----|------------|
| 普通車 | 87.1 |
| 大型車 | 78.8 |

表3 車両速度標準偏差表

| 車種 | 標準偏差(km/h) |
|-----|------------|
| 普通車 | 15.8 |
| 大型車 | 6.9 |

表4 大型車混入率

| 地域名 | 大型車混入率(%) |
|-----|-----------|
| 熊渡 | 46.5 |
| 津川 | 44.8 |
| 東山 | 49.4 |
| 西会津 | 41.5 |

表5 各道路平均付加車線長

| 道路名 | 平均付加車線長 |
|-----|---------|
| 磐越道 | 24/3.7 |
| 日東道 | 1590.7 |

ると判断し、先頭車から車頭時間が5秒以上になるまでの車両の群を車群とする。)内の車両の挙動について分析している。車群サイズ(車群内の車両数)は、根川らによる実測(日本海東北自動車道における実地調査)によると、車群数83を観測し、その内約8割が10台以下であった。そのため、シミュレーション内を走行する車両数は、実測より多く見積もり、20台に設定していた。本研究においては、時間当たりの交通量を考慮しているため、車両台数を増加させる必要がある。そこで、制限台数を既存の20台から、250台に増加させた。250台としたのは、シミュレーションの計算時間を考慮したためである。

表6 平均IC間距離

| | |
|--------------|---------|
| 新潟中央-新津西スマート | 8202.9 |
| 新津西スマート-新津 | 5537.4 |
| 新津-安田 | 9606.6 |
| 安田-三川 | 14770.3 |
| 三川-津川 | 7834.4 |
| 津川-西会津 | 22363 |
| 西会津-会津坂下 | 11477.1 |

二点目は車両が走行する区間距離である。既存の研究においては付加車線内部での挙動を分析するため、付加車線を1000~4000mの間で、200m刻みで変化させ、シミュレーションを行っている。本研究においては、二車線も含めた走行性についての分析を行うことを目的とする為、既存のモデルより区間の距離を長く設定することとした。

4. 研究成果

暫定2車線での追い越し挙動モデルを利用し、交通条件に応じた望ましい付加車線長を検討する。

4.1 付加車線長の検討方法

付加車線長の評価方法には、所要時間比(暫定2車線における所要時間/希望速度による所要時間)を用いる。この式の値が1に近いほど、その車両が希望速度に近い速度で走行できているということを意味する。

区間走行の所要時間に大きな影響を与えていると考えられる要因として、大型車混入率および大型車平均速度の標準偏差が挙げられる。それらの値および付加車線長を変化させシミュレーションを行った。変化させる交通条件のパターンを表1に示す。また、設置する付加車線は1km~5kmで1km刻みとし、暫定二車線区間の中央に設置することとした。また、乱数によって与えられる要因(車両発車時間、希望速度)による、所要時間比に与える影響の大きさを分析した。

表7 交通条件パターン

| 交通条件 | 大型車混入率(%) | 大型車平均速度 標準偏差(km/h) |
|------|-----------|--------------------|
| 1 | 50 | 20 |
| 2 | 50 | 12.5 |
| 3 | 50 | 5 |
| 4 | 25 | 20 |
| 5 | 25 | 12.5 |
| 6 | 25 | 5 |
| 7 | 10 | 20 |
| 8 | 10 | 12.5 |
| 9 | 10 | 5 |

4.2 付加車線長検討結果

シミュレーション結果である、交通条件のパターンごとの所要時間比と付加車線長の関係を図1に示す。値は、交通条件ごとに3回シミュレーションを実施した結果の平均値である。乱数によって与えられる要因(車両発車時間、希望速度)による、結果のばらつきをヒストグラムに示す。また、得られたシミュレーション結果を元に行った二元配置の分散分析の結果も合わせて示す。

所要時間比が最大であったのは、交通条件7であり、最小は交通条件6であった。二元配置分散分析表から、行(走行条件パターン)、列(付加車線長パターン)の共に、p-値は、と比較すると小さく、また観測された分散比は、F境界値より大きい。

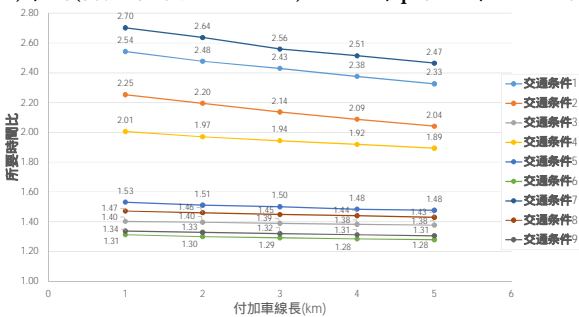


図2 所要時間比と付加車線長の関係

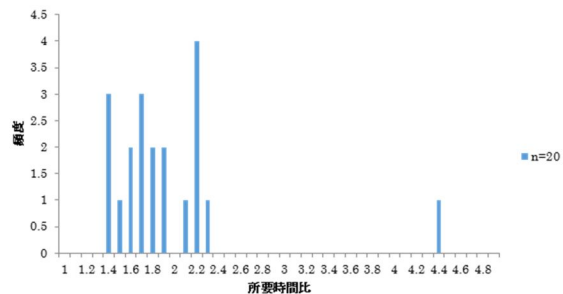


図3 所要時間比と付加車線長の関係

よって付加車線設置延長による所要時間短縮効果が認められることおよび、交通条件により所要時間に差が生じることが分かった。

いずれの交通条件下においても付加車線の延長により所要時間比が低下するが、単位付加車線長延長による所要時間比の低下率は交通条件によって異なることが分かった。本研究において変動させた交通条件は大型車混入率および大型車平均速度の標準偏差である。

その内、特に所要時間比の低下割合が大きい交通条件は、「大型車希望速度の標準偏差が大きい(本研究におけるシミュレーションでは20km/h)」という状態であることが分かった。大型車希望速度の標準偏差が大きい状況においては、大型車(低速車)内に極端に低速な車両が存在すると、普通車だけでなく大型車もその車両により速度を制限されてしまうため、全体として速度の低下が発生するためであると考えられる。付加車線長による所要時間短縮効果は交通条件によって異なる。そのため交通条件の特徴に適した付加車線長を計画する必要がある。また、乱数によって与えられる要因(車両発車時間、希望速度)による、結果のばらつきの分析から、データの大半は所要時間比が1.4~2.2に収束していることが分かる。一方、所要時間比が4以上となるケースもある。これは車両内の極端に低速な車両の存在により、車両全体が低速となっているためであると考えられる。

4.3 付加車線設置位置の検討方法

付加車線の設置位置による、所要時間の短縮に対する効果の違いを検証する。

付加車線の設置位置を区間先頭と区間最後尾の間で5パターン設定した。

暫定2車線区間を12000mで、その内部に設置する付加車線長は2500mとした。付加車線設置位置のパターンと諸区間長を図2に示す。

4.4 付加車線設置位置検討結果

シミュレーション結果である、付加車線位置と所要時間比の関係を図3に示す。値はシミュレーションを3回のシミュレーション結果の平均値である。

表8 二元配置分散分析

| 変動要因 | 変動 | 自由度 | 分散 | 観測された分散比 | P-値 | F境界値 |
|------|----------|-----|-------------|----------|----------|----------|
| 行 | 10.01638 | 8 | 1.252047672 | 982.5088 | 5.11E-36 | 2.244396 |
| 列 | 0.064694 | 4 | 0.016173569 | 12.69175 | 2.7E-06 | 2.668437 |
| 誤差 | 0.040779 | 32 | 0.001274337 | | | |
| 合計 | 10.12185 | 44 | | | | |

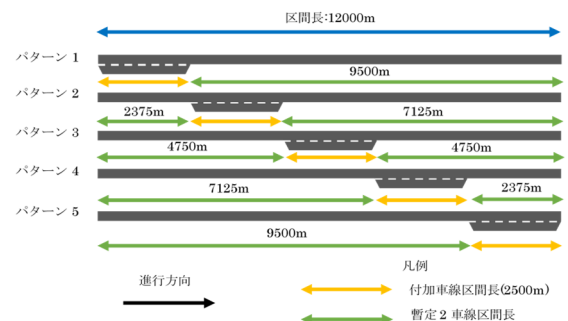


図4 付加車線設置位置のパターン

また、得られたシミュレーション結果を元に行った分散分析の結果も合わせて示す。所要時間比が最も小さくなった設置位置はどの交通量においても、区間の先頭に設置するパターンであった。また、所要時間比が最も大きくなった設置位置は区間の後方側に設置するパターンであった。また、設置位置による所要時間に有意差が存在するかどうかを判断するため、シミュレーションで得られた結果を用いて、区間前方内および区間前後でt検定(平均値の差の検定)を行った。結果を表に示す。

200台/hにおける分散分析表

| 変動要因 | 変動 | 自由度 | 分散 | 観測された分散比 | P-値 | F 境界値 |
|-------|----------|-----|----------|-------------|----------|---------|
| グループ間 | 0.665322 | 4 | 0.166331 | 6.946796724 | 0.006071 | 3.47805 |
| グループ内 | 0.239435 | 10 | 0.023943 | | | |
| 合計 | 0.904757 | 14 | | | | |

400台/hにおける分散分析表

| 変動要因 | 変動 | 自由度 | 分散 | 観測された分散比 | P-値 | F 境界値 |
|-------|----------|-----|-------------|-------------|----------|---------|
| グループ間 | 0.55092 | 4 | 0.137730096 | 5.613485943 | 0.012386 | 3.47805 |
| グループ内 | 0.245356 | 10 | 0.024535573 | | | |
| 合計 | 0.796276 | 14 | | | | |

600台/hにおける分散分析表

| 変動要因 | 変動 | 自由度 | 分散 | 観測された分散比 | P-値 | F 境界値 |
|-------|----------|-----|----------|-----------|----------|---------|
| グループ間 | 0.351131 | 4 | 0.087783 | 4.3026147 | 0.027904 | 3.47805 |
| グループ内 | 0.204022 | 10 | 0.020402 | | | |
| 合計 | 0.555153 | 14 | | | | |

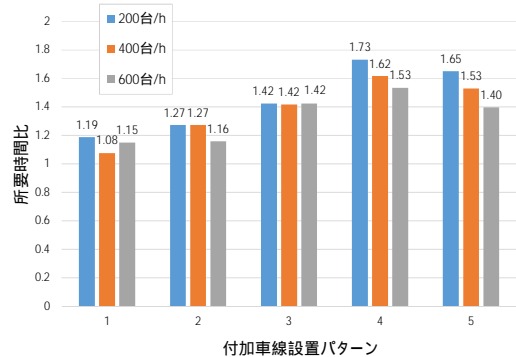


図5 設置パターン別所要時間

表9 200台/hにおける前方内比較結果

| | 変数 1 | 変数 2 |
|------------|----------|----------|
| 平均 | 1.1876 | 1.273333 |
| 分散 | 0.003697 | 0.039269 |
| 観測数 | 3 | 3 |
| ピアソン相関 | 0.625592 | |
| 仮説平均との差異 | 0 | |
| 自由度 | 2 | |
| t | -0.88917 | |
| P(T<=t) 片側 | 0.233864 | |
| t 境界値 片側 | 2.919986 | |
| P(T<=t) 両側 | 0.467728 | |
| t 境界値 両側 | 4.302653 | |

表10 400台/hにおける前方内比較結果

| | 変数 1 | 変数 2 |
|------------|-------------|-----------|
| 平均 | 1.0768 | 1.274 |
| 分散 | 0.00114064 | 0.0099803 |
| 観測数 | 3 | 3 |
| ピアソン相関 | -0.0838828 | |
| 仮説平均との差異 | 0 | |
| 自由度 | 2 | |
| t | -3.15947754 | |
| P(T<=t) 片側 | 0.04363197 | |
| t 境界値 片側 | 2.91998558 | |
| P(T<=t) 両側 | 0.087263941 | |
| t 境界値 両側 | 4.30265273 | |

表11 600台/hにおける前方内比較結果

| | 変数 1 | 変数 2 |
|------------|------------|----------|
| 平均 | 1.15013333 | 1.158267 |
| 分散 | 0.00314181 | 0.007466 |
| 観測数 | 3 | 3 |
| ピアソン相関 | -0.9890751 | |
| 仮説平均との差異 | 0 | |
| 自由度 | 2 | |
| t | -0.0991448 | |
| P(T<=t) 片側 | 0.46503284 | |
| t 境界値 片側 | 2.91998558 | |
| P(T<=t) 両側 | 0.93006569 | |
| t 境界値 両側 | 4.30265273 | |

表12 200台/hにおける前後比較結果

| | 変数 1 | 変数 2 |
|------------|----------|----------|
| 平均 | 1.230467 | 1.692667 |
| 分散 | 0.019391 | 0.025389 |
| 観測数 | 6 | 6 |
| ピアソン相関 | 0.534443 | |
| 仮説平均との差異 | 0 | |
| 自由度 | 5 | |
| t | -7.80083 | |
| P(T<=t) 片側 | 0.000277 | |
| t 境界値 片側 | 2.015048 | |
| P(T<=t) 両側 | 0.000555 | |
| t 境界値 両側 | 2.570582 | |

表13 400台/hにおける前比較結果

| | 変数 1 | 変数 2 |
|------------|-------------|-----------|
| 平均 | 1.1754 | 1.5739333 |
| 分散 | 0.016114736 | 0.0200491 |
| 観測数 | 6 | 6 |
| ピアソン相関 | 0.05529136 | |
| 仮説平均との差異 | 0 | |
| 自由度 | 5 | |
| t | -5.28054292 | |
| P(T<=t) 片側 | 0.001621749 | |
| t 境界値 片側 | 2.015048373 | |
| P(T<=t) 両側 | 0.003243499 | |
| t 境界値 両側 | 2.570581836 | |

表14 600台/hにおける前方内比較結果

| | 変数 1 | 変数 2 |
|------------|------------|----------|
| 平均 | 1.1542 | 1.466167 |
| 分散 | 0.00426315 | 0.016755 |
| 観測数 | 6 | 6 |
| ピアソン相関 | -0.3939652 | |
| 仮説平均との差異 | 0 | |
| 自由度 | 5 | |
| t | -4.5932152 | |
| P(T<=t) 片側 | 0.00293821 | |
| t 境界値 片側 | 2.01504837 | |
| P(T<=t) 両側 | 0.00587642 | |
| t 境界値 両側 | 2.57058184 | |

分散分析の検定結果より、いずれの交通量においても有意差が認められた。よって付加車線の設置位置による、所要時間の短縮効果に差があると言える。平均値の差の検定において、区間前方内での比較においては、区間先頭と前方側での付加車線設置による所要時間短縮効果の違いは確認できなかった。しかし、付加車線を区間後方側に設置するより、前方側に設置するほうが所要時間の短縮の効果は大きい可能性があると考えられる。区間前方側に付加車線を設置することによる所要時間が短縮される要因として、区間暫定2車線区間内の上流側に設置することで、早期に車両内順位の入れ替えが起こり、その後の暫定2車線内では希望速度が速い車両が先頭側になるため、所要時間比が小さくなっていると考えられる。

4.5 結論

暫定2車線高速道路の実態調査・分析では、暫定2車線高速道路の実態についての調査を行った。車両の発生時刻分布、車両走行速度、車両走行速度の標準偏差、車線長の実態を調査し、シミュレーションに使用した。車両の発生時刻分布については、平成21年に稲垣らがビデオ撮影したデータを観測し、分布の適合度検定を行った。分布の適合度検定(2検定)を行った結果、暫定2車線高速道路(磐越自動車道)における車両の発生時刻はポアソン分布に従っているといえることが分かった。本研究における車両発生時刻にはポアソン分布に従う乱数を採用した。

付加車線長の検討では、暫定2車線区間内に設置する付加車線長の検討を行った。追い越し挙動モデルについての説明と本研究における付加車線長の評価方法について述べた。付加車線の評価方法としては、所要時間比を用いた。

シミュレーション結果を用いて二元配置の分散分析を行ったところ、付加車線長および交通条件の違いにより、区間走行に要する所要時間に差が生じることが分かった。

どの交通条件下においても付加車線の延長により所要時間比が低下するが、単位付加車線長延長による所要時間比の低下割合は交通条件によって異なることが分かった。特に所要時間比の低下割合が大きい交通条件は、「大型車混入率が低い(本研究にお

るシミュレーションでは 10%)」,「大型車希望速度の標準偏差が大きい(本研究におけるシミュレーションでは 20km/h)」という状態であることが分かった。所要時間比の低下割合が大きくなる要因として、大型車混入率が低い状況においては、普通車(高速車)の割合が高い。ゆえに大型車(低速車)のによって速度を制限されてしまう車両数が多いためであると考えられる。また、大型車希望速度の標準偏差が大きい状況においては、大型車(低速車)内に極端に低速な車両が存在すると、普通車だけでなく大型車もその車両により速度を制限されてしまうため、全体として速度の低下が発生するためであると考えられる。

付加車線の延長による所要時間短縮の効果は、設置延長に比例はするが、交通条件によって大きな効果が得られる場合(大型車混入率が低く、大型車希望速度の標準偏差が大きい)と効果が薄い場合(大型車希望速度の標準偏差が小さい)があることが分かった。

付加車線設置位置の検討では、暫定 2 車線区間内における付加車線の設置位置の検討を行った。付加車線長を固定し、位置を 5 パターン(区間先頭部~区間最後部)に分けてシミュレーションを行った。また、交通量による設置効果の違いを分析するため、時間交通量を 3 パターン(200 台/h, 400 台/h, 600 台/h)設定してシミュレーションを行った。付加車線設置位置の評価方法として、付加車線長の検討と同様に所要時間比を用いて評価を行った。

シミュレーション結果を用いて一元配置の分散分析を行ったところ、付加車線設置の設置位置により、区間走行に要する所要時間に差があることが分かった。よって、付加車線設置位置が区間走行に影響を与えている可能性があるといえる。

所要時間比が最も小さくなった設置位置はどの交通量においても、区間の先頭に設置するパターンであった。また、所要時間比が最も大きくなった設置位置は区間の後方側に設置するパターンであった。

また、シミュレーションで得られた結果を用いて、区間前方内および区間前後で t 検定(平均値の差の検定)を行ったところ、区間前方側での設置間での所要時間には有意な差が得られなかったが、区間前後においては有意差が確認できた。よって暫定 2 車線道路区間の前方側に設置するほうが、後方に設置するよりも所要時間の短縮に対して効果の可能性があると分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

高倉拓実, 塩嶋耕平, 佐野可寸志, 鳩山紀一郎: 暫定 2 車線高速道路の効果的な付加車線長の検討, 第 35 回土木学会新潟会研究調査発表論文集, pp.238-241, 2017.11.09

〔学会発表〕(計 1 件)

佐野可寸志: 機能階層型道路ネットワークへの期待, 階層型道路ネットワークシンポジウム, 2018.12.14

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 川端光昭

ローマ字氏名: Mitsuaki KAWARATA

所属研究機関名: 岐阜工業高等専門学校

部局名: その他部局等

職名: 助教

研究者番号(8桁): 40795176

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。