

ドライビング・シミュレータを用いた道路線形と追従挙動特性に関する研究*

Analysis of Road Alignment and Car-following Behavior with Driving Simulator*

大口敬**・金子哲也***・飯田克弘****・渡邊亨*****

By Takashi OGUCHI**・Tetsuya KANEKO***・Katsuhiko IIDA****・Tohru WATANABE*****

1. はじめに

高速道路単路部では縦断曲線のサグ部やトンネル入口部が交通容量上のボトルネックとなり、ここを先頭として交通渋滞が発生することが知られており、これが個々の運転者の追従挙動特性に起因していることが検証されてきた^{1)~3)}。高速道路サグ部では、交通需要が多いと追越車線上に密な車群が形成され、この時の追従挙動特性が車群中の減速波の上流増幅伝播を引き起こし、交通渋滞の発生原因になる。

追従挙動の観測・解析の方法には、実験車両による実交通流におけるフローティング走行実験やカイトバルーンなどによる上空からのVTR観測、跨道橋などからの地点観測による方法などが主であった。しかし近年のコンピュータ処理能力と画像処理技術のハードウェア・ソフトウェア技術の進歩で、ドライビング・シミュレータ(DS)を活用して交通流特性を分析できる可能性が出てきた^{4)~5)}。筆者らは既にDSによる追従挙動特性の解析可能性を探っているが⁶⁾、本稿では、実際の交通流における追従挙動データを用いたDS実験の再現性能検証、及びDS上で道路線形条件を変化させた場合の交通流現象の解析結果について報告する。

2. ドライビング・シミュレータ(DS)の概要

実験に用いたDSは3次元仮想空間上に高速道路を構築し、被験者に擬似的な走行体験をさせるものであり、実際の車両による走行実験と比較して被験者が感じる速度感はやや不足するものの、一定の再

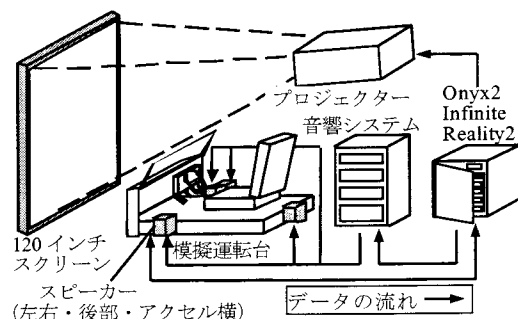


図-1 実験システム構成図

現性能が認められている⁵⁾。

図-1にこのDSのシステム構成を示す。本システムでは、周辺走行車両に対して初期配置(位置、台数)、走行パターン(速度、車線、車間距離、追越ルールなど)、車種の設定が可能である⁵⁾。またDSのリアルタイム性能を維持したまま、多数の周辺走行車両を同時に描画し、これらの車両を一定のロジックで動かして、被験者と周辺走行車両との関係を制御した擬似的な追従走行実験が可能である。また実験走行軌跡を別の車両として再現することもできる⁶⁾。DS実験から得られる複数被験者の複数回の追従走行記録を用いて、実現象における運転者属性などが複雑に影響し合う状況を排除した同一特性の交通流現象を解析することができる。このような各種条件の制御性の高さがDSの特徴である。

3. ドライビング・シミュレータの再現性能検証

(1) 検証方法

本システムの性能の検証は、これまで他の車両による影響を排除した条件で行われている。しかし追従挙動を解析するためには、特に前方車両との相対距離、相対速度など追従挙動特性の再現性能を確認する必要がある。本研究は、サグ部などにおけるボ

*キーワード：交通流，交通容量

** 正会員 博士(工学) 東京都立大学大学院工学研究科 助教授
(oguchi-takashi@c.metro-u.ac.jp, 0426-77-1111 内線 4545)

*** 正会員 修士(工学) エム・アールアイシステムズ株式会社

**** 正会員 博士(工学) 大阪大学大学院工学研究科 講師

***** 正会員 M.Sc. 日本道路公団試験研究所交通環境研究部 室長

トルネック現象の特性解析に資することが目的であるので、システムの性能検証も、サグ部において十分な交通量レベルの場合の追越車線上の車群中の走行挙動で、しかし完全に渋滞した低速走行ではない状態で、追従走行挙動の再現性を確認するべきである。これまでも車間距離や速度などを計測できる実験車両を用いた追従走行データの収集は様々に行われているが、上記の条件を満たすような追従挙動データはごく少量しか収集できていない。これは、上記の状態は渋滞発生直前において実現するが、この状態は長続きせず、この条件を狙った実験走行を成功させるには非常に困難を伴うためである。

(2) 実走行実験とDS実験

本研究では、本DSシステム上に昨年度作成した⁶⁾中央道上り、中野橋付近64.5kp～60.7kpの約5km区間(62.3kp～61.5kp間が-3.2%→+3.7%の勾配変化のサグ部)を対象とする。このサグは実際に休日の午後に渋滞が頻繁に発生している。渋滞発生直前の交通状況を狙って、のべ3日間に10往復以上の追越車線上の追従走行実験を行った結果、一応3回分の走行データ(各々異なる被験者)が上記の条件を満たす実験走行データとして収集された。

次にこの3人の実走行被験者に対して、実走行と同区間の模擬走行をDS上で18回繰返してもらう。この中には前方車や周辺条件が異なるものと、実際に各被験者が経験した実走行時と同じ条件とが含まれる。ただし前方車や周辺車両の車種を適宜変更し、同じ条件が繰返されていることや実走行と同一の条件があることを意識させない工夫をする。実際は、DS実験では実走行と同じ条件を3回繰返している。

前方車の走行軌跡は、実験車の速度と車間距離計の計測結果から推計された実走行時のものを与える。前方車よりさらに前方の追越車線と隣接走行車線には、実際の交通条件と同程度の密度と交通量の車両を、適度な速度で移動させて現実感を高める工夫をする。DSによる走行実験は64.5kpから開始し、実走行時の速度と車間距離を初期条件とする。

(3) 再現性評価

図-2は、3被験者の実走行実験と各3回のDS実験について、63kp～61kp間の走行結果を示す。被験者

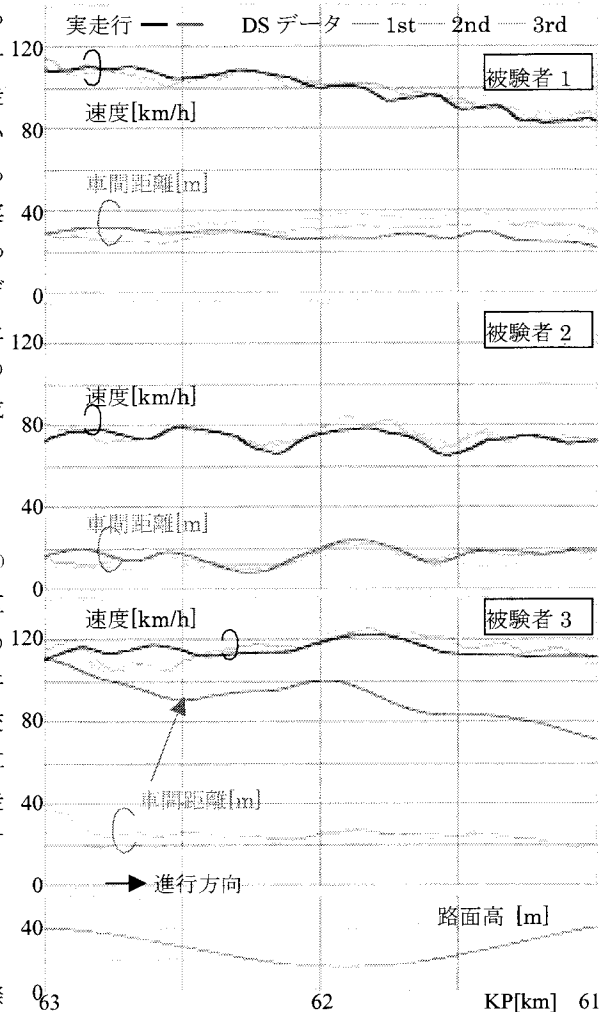


図-2 実走行実験と DS 実験の比較

1と2については、速度と車間距離の変動特性が非常に良く一致しており、特に縦断曲線付近で速度が低下して車間距離が広がる傾向が良く再現されている。一方被験者3については、車間距離の絶対値が実走行の場合とDSの場合では大きく異なっているが、それでも速度と車間距離の変動傾向は良く似ている。被験者3の実走行時の車間距離は、一般的な渋滞発生直前の追越車線における追従走行時の車間距離と考えるには少し長すぎる値であり、同様に速度も少し高すぎるものと考えられる。

各被験者の速度変動について実走行実験と各DS実験の相互相関係数を求めると、どの被験者についても相関係数は0.72～0.97と高い値を示す。一方車間距離の相互相関係数は、被験者3以外は0.61～0.94程度でやはり比較的高い値である。被験者3の実走

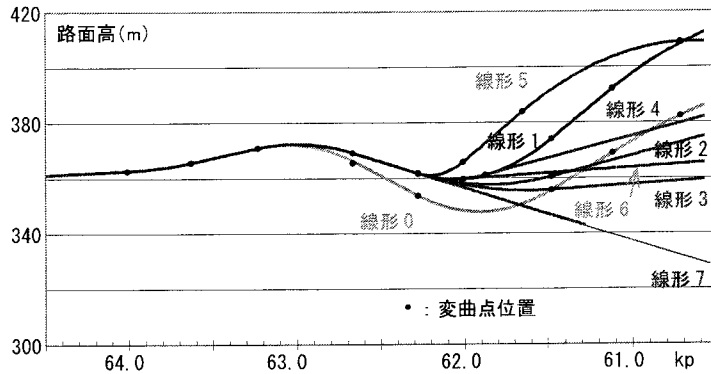


図-3 DS システムで設定した道路線形条件(縦断線形標高図)

行データは、前述のように追従挙動データとしては、多少一般性に欠いているものと考えられる。

以上より、DSシステムが高交通量時の密な車群中における追従挙動特性を再現する能力は、十分に高いものと評価できる。特に速度の絶対値についても十分な再現性が見られることは、単独走行の場合には速度の絶対値の再現性が低い傾向があること⁶⁾と比較して特筆すべきである。これは前方車両によって追従走行時の走行挙動が拘束されてしまうためであると考えられる。

4. 道路線形と追従挙動の関係解析

DSシステムでは、3次元CG機能により道路線形条件を変化させた仮想区間を作成することができる。サグ部における自然渋滞の原因となる追従挙動特性はサグ部の勾配変化と密接に関連しているはずであるが、実走行実験データ解析では、道路線形条件を制御できないため、勾配による影響を適切にモデル化した追従挙動モデル開発のために必要なデータの収集が困難であった。しかしDSシステムを用いることで、他の条件を揃えて勾配条件だけを変化させた追従挙動特性、その累積結果の交通流特性を解析することが可能となる。

(1) DSによる実験条件

中野橋付近サグを基準ケース(線形0)とし、サグ部の縦断曲線の曲線長(L)、曲線半径(R)、勾配差(Δ)を、Lと Δ を基準ケースより1/2、1/3とした組合せで実験条件を作成する。ここで基準ケースではサグ上

流側勾配が-3.2%と比較的急勾配であり、 Δ を小さくすると急な下り勾配サグとなって一般性が乏しくなる心配があるため、サグの上流側勾配値、下流側勾配値がいずれの勾配差(Δ)の条件でも不自然にならない範囲に絶対勾配の値を設定し直した。

基準ケースとL、R、 Δ 全て同じで絶対勾配のみ変更したケースを線形1とする。線形2、3はL一定で Δ を1/2、1/3(Rは2倍、3倍)としたものである。線形4、6は、Lと Δ を1/2、1/3(Rはいずれも変わらず)、線形5は Δ 一定でLを1/3(Rも1/3)としたものである。さらに線形7として上流側勾配のまま勾配変化しない線形条件(サグ無し)を設定した。

図-3は線形0から線形7までの各線形ケースを示す。図のように全ての線形ケースについて、対象サグの縦断曲線始点位置を揃えるものとし、前後の縦断線形や周囲の山の稜線などは、違和感が生じないように適当に調節した。

(2) 実験方法

再現性実験と同様、DSで模擬走行する被験者は追越車線上を前方車に追従して走行するものとし、走行車線上は適当に配置された十分に混雑した状況を模擬した車両が、制御ロジックにより各々自立的に走行している。但し追越車線と走行車線の車線間の速度差が著しくならないように、随時実験者が制御車から走行車線上の全車両の目標速度パラメータを調節し、車線間速度が適度に同期するように制御できるように、システムの改良を行った。

被験者は、ランダムな順番で2セットずつの8種類の線形条件を繰返し走行する。1人目の被験者は、

追越車線前方に3台の車両が走行している後ろを追従する。この最初の3台の車両は、線形条件によらず全て100km/h一定速度で実験区間を走行するようシステムにより制御される。各線形条件について1人目の追従走行軌跡が記録されて後、2人目の被験者は、1人目の走行軌跡の車両を前方車としてその後ろを追従走行する。以下これを繰り返す。

従ってどの線形条件においても、各被験者の前方車はその一人前の被験者の走行挙動となる。ただし被験者にはこの事実は伝えておらず、単に前方車に追従して走行するよう指示する。こうして合計17名の被験者からなる交通流を得ることができた。なお各被験者にはあらかじめDSシステムの慣熟走行をしてもらう。本実験では、64.5kpにおける初期設定として、その被験者の慣熟走行時の平均車頭時間分だけ前方位置に前方車を配置し、初期速度はその時の前方車速度と等しい(相対速度ゼロ)ものとした。

(3) 実験結果

図-4は、1セット目について線形条件別に時間—距離図を描いた例である。2セット目も含めて勾配が無い線形7の場合には、特に明確な減速波は見られず、サグの勾配変化が減速波の原因であることが確認できる。

縦断曲線長 L が短く(267m)勾配差 Δ も小さい(2.3%)線形6は大きな減速波は見られないが、同じ勾配差で縦断曲線長が実際と同じ線形3では、線形1、2と同程度の減速波発生状況であり、縦断曲線長が短いと勾配変化の影響を受けにくいことが推測される。

縦断勾配を3段階に変化させた線形1、2、3を比較すると、勾配差の大きい(6.9%)場合や小さい(2.3%)場合よりも、中間の(3.5%)場合が最も急激な速度低下となり、減速波が多少上流側へ伝播する傾向を示している。これは必ずしも勾配差が大きいほど渋滞が発生するわけではないことを意味しているものと思われる。

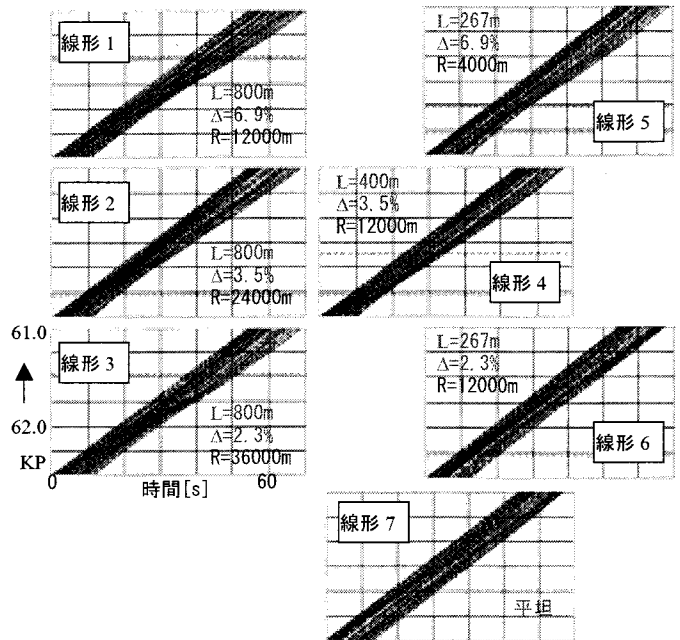


図-4 線形条件別の時間—距離図(1セット目の例)

5. おわりに

本稿では、高速道路単路部渋滞発生時の追従挙動解析において、DSシステムが実交通流における挙動を良好に再現することを示し、DSの特徴として道路線形条件を変更して、その他の条件を固定とした実験事例を紹介した。道路線形と追従挙動の関係については分析中であり、講演時にはより進んだ分析結果を発表できる予定である。

参考文献

- 1) 越正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，No.371/IV-5，pp.1-7，1986.
- 2) J. Xing, 越正毅，高速道路のサグにおける渋滞現象と車両追従挙動の研究，土木学会論文集，No.506/IV-26，pp.45-55，1995.
- 3) 越正毅，安井一彦，小林弘一：高速道路サグにおける車両の走行挙動に関する研究，交通工学研究発表会論文報告集，No17，pp.81-84，1997.
- 4) 飯田克弘，三木隆志，森康男，大口敬，松本晃一：実走実験とドライビングシミュレータを用いた室内実験によるサグ部の運転挙動分析，土木計画学研究・講演集，No.22(2)，pp.967-970，1999.
- 5) 松本晃一，古川健，野口雅弘，森康男，飯田克弘，池田武司：交通機能面から見たトンネル坑口のあり方に関する研究，交通工学，Vol.35，No.1，pp.28-37，2000.
- 6) 金子哲也，大口敬，飯田克弘，渡邊亨：ドライビング・シミュレータを用いた追従挙動特性の研究，土木計画学研究・講演集，No.23(2)，pp.801-804，2000.