

ドライビングシミュレータを活用した縦断勾配特例値における走行安全性の検証*

Examination on Safety of Vertical Grades Exceeding Guide Values in Road Structure Ordinance using Driving Simulator*

宗広裕司**・米山喜之***・赤松幹之****・今長信浩*****・佐藤稔久*****・佐藤貴志*****

By Yuji MUNEHIRO**・Yoshiyuki YONEYAMA***・Motoyuki AKAMATSU****・Nobuhiro IMACHOU*****

Toshihisa SATO*****・Takashi SATO*****

1. はじめに

本検討で対象とする都市近郊部の国道区間（約1km）は、前後4車線区間に挟まれた2車線区間であり、小高い丘陵部の頂点を過ぎてからS字カーブと急な下り勾配を経て、市街地の連続信号交差点を含んでいる。このような厳しい道路線形に加え、坂下の信号交差点（以下、坂下交差点）が交通渋滞のボトルネックとなっているため、駐停車車両への追突事故が発生している。現在、当該区間の走行安全性と円滑性を向上させることをねらいとした道路改良工事が計画されており、完成形（4車線、最急縦断勾配7%）と暫定形（2車線、最急縦断勾配8%）の検討が進められている。

計画では坂下交差点付近を先行整備する必要があったことから、完成形に擦り付ける区間において暫定的に縦断勾配8%が採用された。これは、第4種第1級道路の設計速度特例値（50km/h）における縦断勾配の特例値¹⁾であり、関係機関との協議を受けて、ドライバーが急勾配や坂下交差点を正しく認識し、交差点手前で減速行動が適切に取られているかについて事前に検証しておくことが求められた。しかしながら、供用前の複雑な道路線形や安全性向上のための道路付属物設置による走行への影響を机上で検証することは困難であった。

このため、一般の道路利用者を被験者として、ドライビングシミュレータ（以下DS）を用いた模擬走行実験を行い、上記の走行安全性を検証することとした。なお、

*キーワード：交通安全、ドライビングシミュレータ

**正員、工修、株式会社長大ITS計画部（東京都北区東田端2-1-3、TEL03-3894-3245、munehiro-y@chodai.co.jp）

***正員、株式会社長大社会・環境計画部（東京都北区東田端2-1-3、TEL03-3894-3204、yoneyama-y@chodai.co.jp）

****工博、独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門（茨城県つくば市東1-1-1つくば中央第6事業所、TEL029-861-6605、akamatsu-m@aist.go.jp）

*****国土交通省関東地方整備局東京湾岸道路調査事務所（千葉県船橋市浜町2-5-2、TEL047-433-3201、imachou-n8310@ktr.mlit.go.jp）

*****工博、独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門（茨城県つくば市東1-1-1つくば中央第6事業所、TEL029-861-9476、toshihisa-sato@aist.go.jp）

*****国土交通省関東地方整備局首都国道事務所（千葉県松戸市竹ヶ花86、TEL047-362-4111、satou-t85ag@ktr.mlit.go.jp）

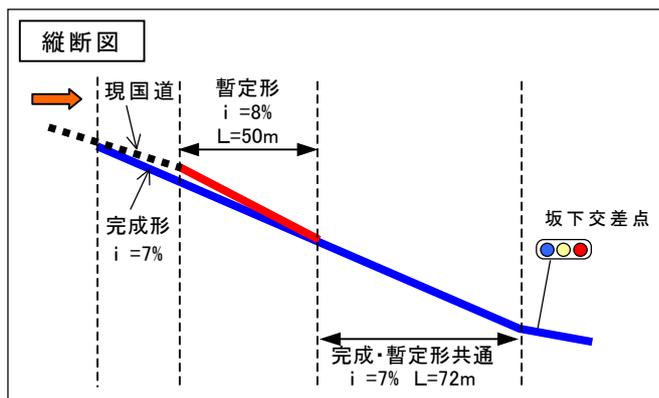


図-1 対象区間の概要

完成形の縦断勾配7%も特例値であったが、同規格道路において下り勾配での走行安全性に問題はないとの報告²⁾があり、既に供用されている実績がある。

本稿では、暫定形8%の縦断勾配特例値が走行安全性に与える影響を検証するとともに、暫定形に設置を検討している道路付属物が走行安全性をどれだけ向上させるかについて検証した結果を報告する。

2. 実験の概要

(1) DSの概要

DSを用いた既往の研究は多数報告されており、様々なシーンについて実走行に対する再現性が確認されるなど、ドライバー挙動分析の有効な評価ツールとして活用されている。

赤松ら³⁾は6自由度動揺装置を有したDSにより、供用前の国道バイパスにおける実道とDSでの運転行動を比較して、DS上の走行速度および操舵輪角度の再現性を確認している。また、モーションベースを傾けることで縦断勾配や片勾配による傾斜の再現が可能としている⁴⁾。須田ら⁵⁾は、6自由度動揺装置およびターンテーブルを用いたDSにより、交差点での右左折、ダブルレーンチェンジ等の動作を行い、実車両に近い運転感覚を実現できることを示している。大口ら⁶⁾は、運転台が床に固定されているタイプのDSを用いて、高速道路サグにおける追従挙動特性の解析を行っており、DSから取得した被験者の走行速度や車間距離が実走行をほぼ再現できる

ことを示している。

今回の実験では、赤松ら³⁾により国道バイパスを対象にDSによる走行再現性を確認している、独立行政法人産業技術総合研究所のDSを用いた(図-2)。当該DS装置は、電動の6軸モーシオンと前方180° および右側方と後方のスクリーンを有し、実車両キャビンに加えて車体振動や音響などにより臨場感がリアルに再現できるものであった。

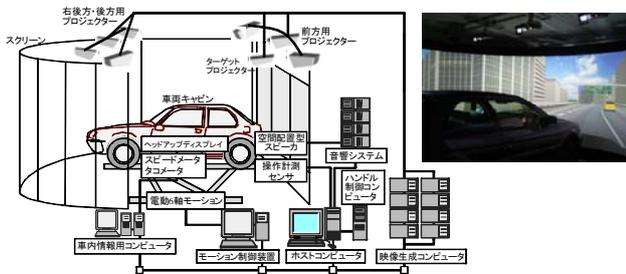


図-2 (独) 産業技術総合研究所のDS概要

(2) 実験用データベースの作成

本実験の目的は、暫定形8%の縦断勾配特例値が走行安全性に与える影響を検証するとともに、暫定形に設置を検討している道路付属物(カラー舗装とデリニエータ)が走行安全性をどれだけ向上させるかについて検証することであった。

このため、完成形(4車線、縦断勾配7%)と暫定形(2車線、縦断勾配8%)のコースを作成し、これらを行走した際の車両挙動や被験者の感覚の違いを比較した。様々な道路環境条件の下で検証するために、昼夜別、道路付属物の有無別(最急勾配区間に昼間はカラー舗装、夜間はデリニエータを設置)、車種(普通車、大型車)による視界別の画像パターンを用意した。

当該区間の道路構造は、設計図面(CAD)データより作成した。また周辺画像は、建設予定地で撮影した画像を用いた(図-3)。大型車の動作性能は、実道で収集した大型車のアクセル、ブレーキ操作に伴う加減速動作時のデータを基に設定した。



図-3 画像データ(左:完成形、右:暫定形カラー舗装有)

(3) 実験コース

対象区間の前後にはダミー画像による数百mの助走区間を設定した。また、完成形と暫定形の勾配の違いや暫定形で道路付属物の有無がドライバーの認知・判断・操作にどのように影響を及ぼしているかを把握するため、

①完成形と暫定形が連続する実験コース(図-4)と②暫定形同士で道路付属物の有無が連続するコースの2通りを作成した。ここで、連続する2つのコースの中間地点では霧のような状態を発生させることで、異なるコースの接続部走行時の違和感を極力なくすような配慮を行った。

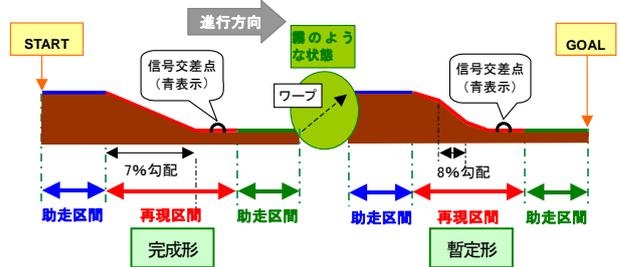


図-4 完成形と暫定形が連続する実験コース

(4) 被験者

運転免許保有者の分布を考慮して、年齢層、男女別に普通車ドライバー21名、大型車ドライバー(運送業従事者が主)10名の被験者で、実験を行った。

被験者は事前に(社)人間生活工学研究センターで開発された運転スタイルチェックシート(<http://www.hql.jp/project/kodo1999/koukai/checksheet.html>)により運転特性を把握し、特異な被験者を含まないことを確認した。

(5) 実験方法

各被験者に対して、昼夜や走行方法、道路付属物有無を組合せた表-1に示す8パターンの実験を行った。当初は、坂下交差点が赤信号時に接近する車両の停止状況を検証する予定であったが、DS実験では急停止行動によるシミュレータ酔いが懸念されたことから、交差点手前の指定位置で指定速度(40km/h)まで減速させるシナリオで代用させることとした。ここで指定位置は、指定速度での制動停止距離に信号停止車両2台分相当の長さを加えて停止線から55m手前とし、歩道上に赤ポストを目立つように置いて、減速時の目印とした。

またDS実験の順序による影響を少なくするため、実験シナリオの実施順序、実験コース内の完成形と暫定形の順序、道路付属物の有無の順序を、被験者毎に入れ替えて行った。

表-1 実験シナリオ

検証項目	昼夜	走行方法	線形	道路付属物	
勾配が走行安全性に与える影響	1	昼	任意	完成形と暫定形(7%と8%)	標準的な道路付属物のみ
			速度指定		
	3	夜	任意		
			速度指定		
道路付属物が走行安全性に与える影響	5	昼	任意	暫定形(8%)同士	カラー舗装有
			速度指定		無
	7	夜	任意		デリニエータ有無
			速度指定		

注)各シナリオとも2種類の勾配を連続走行し、一対比較による主観評価を実施

被験者にはコース上に坂が出てくることのみを事前に

伝え、実験の種類や勾配の順序については伝えずに行った。また速度指定実験では、走行直前に赤ポスト付近での走行速度 (40km/h) を指示した。

(6) 収集データ、検証方法

検証にあたり、次の基本的考え方を設定した。

当該区間を走行するドライバーが、**縦断勾配および坂下の信号交差点を適切に認識し、必要な減速行動が適切に取られているか否か**を検証する。

具体的には、下記の視点で実施した。

- ① 縦断勾配や安全対策に対するドライバーの「認知・判断・操作」状況について検証する。
- ② 「認知・判断」は主観データにより収集し、「操作」は客観データにより収集する。
- ③ 暫定形を例に検証の考え方を図-5に示す。検証項目は、検証1~15の中からシナリオ毎に選択した。

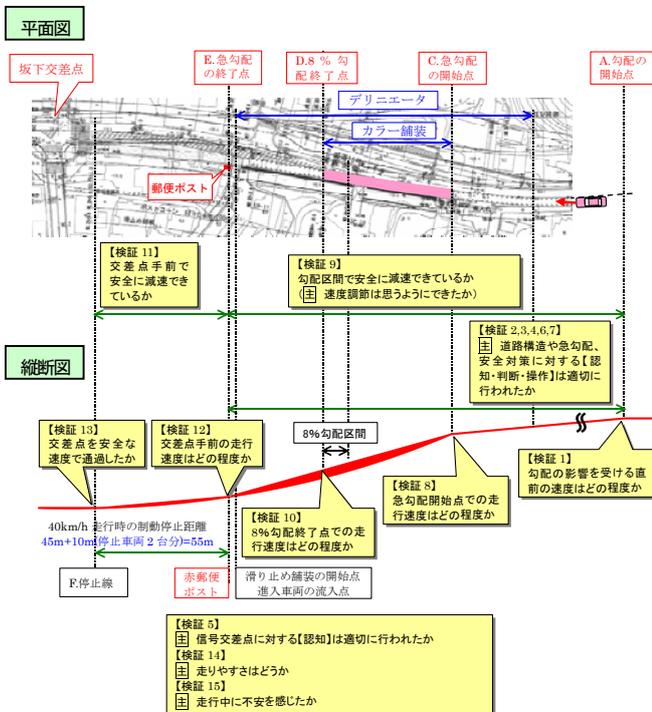


図-5 検証項目と検証内容(暫定形の例)

検証は、DSから収集できる走行データ (客観データ) と、模擬走行直後の被験者へのヒアリング調査の結果 (主観データ) をもとに行った。

客観的な評価は、走行速度、加速度、アクセル踏量、ブレーキ踏量を収集し、図-6のように被験者毎にとりまとめ、暫定形と完成形、暫定形同士で道路付属物有無別に走行したときの走行方法の違いを数値的に確認した。

主観的な評価は、勾配の差、見通しの差、スピード感の差、道路付属物に対する認識有無、運転行動の変化、不安を感じる内容等について意見を収集し、1回の走行中に出現する勾配や道路付属物が異なる2つの坂について被験者の認知・判断や感覚の違いを確認した。

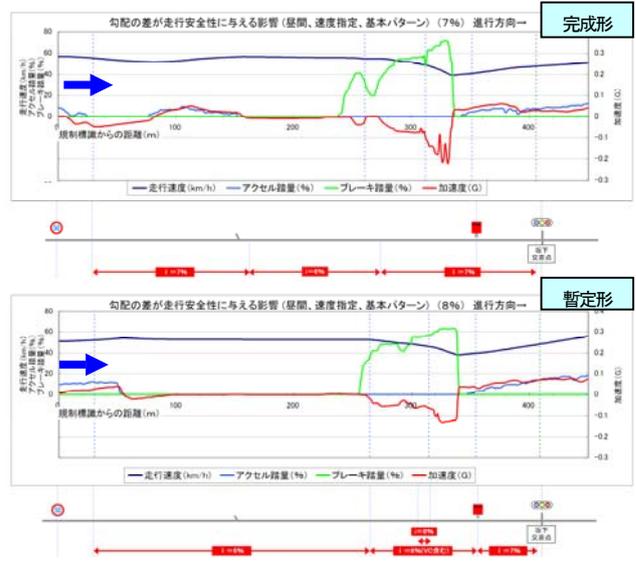


図-6 走行データ例(シナリオ 2:速度指定)

3. 実験の結果

(1) 縦断勾配特例値が走行安全性に与える影響

a) 認知・判断 (主観的評価)

標準的な道路付属物によるシナリオ1~4で、完成形7%と暫定形8%の「勾配差」を認識した被験者は2割強に留まった。特に普通ドライバーの認識率は2割未満と少なく、大半の被験者は勾配の違いを認識していない。「スピード感」については、大型ドライバーは暫定形の方で感じているとの回答が多く、普通ドライバーは完成形で感じるとの回答が多かった。また、速度指定実験(シナリオ2,4)において速度調節がしやすいと回答したのは、普通ドライバーで暫定形、大型ドライバーで完成形が多いことから、スピード感を感じている(勾配区間において感覚的に速度が抑制できていない)道路において速度調節が行いにくい傾向がうかがえた。

b) 操作 (客観的評価)

操作に関しては次の結果が得られた(表-2)。

- ① 交差点手前および交差点通過時における地点速度(平均値)は、完成形と暫定形でほとんど差は見られない。また、昼間と夜間でも速度の違いは見られない。
- ② 暫定形では、勾配手前のS字カーブと対面通行の影響により、急勾配開始点までに速度を抑制する傾向があるが、急勾配区間の速度差を見ると、完成形に比べて若干(1km/h程度)速度が増加する傾向がある。

表-2 急勾配区間における地点速度(シナリオ 1,3)

シナリオ	急勾配開始点 (km/h) C		交差点手前 (km/h) E		速度差 (km/h) C-E	
	完成	暫定	完成	暫定	完成	暫定
1 速度任意、昼	56.2	54.6	57.1	56.5	0.9	1.9
3 速度任意、夜	56.0	54.2	56.6	56.0	0.6	1.8

注1) シナリオ 1はN=30、シナリオ 3はN=31

注2) 交差点手前(E)は急勾配の終了点であり、停止線から55m上流側の地点

また、速度指定シナリオ(2,4)では、完成形、暫定形とも交差点手前での目標速度(45km/h以下)への減速は9割前後の被験者がねらいどおりできている。一部

の被験者でうまくできなかった理由として、「スピードが速すぎた」、「坂が思ったより急」等が挙げられた。

(2) 道路付属物の有効性

a) 認知・判断 (主観的評価)

道路付属物に対する認知・判断については次の結果が得られた。

- ① カラー舗装の認識率は3割程度と少なく、デリニエータでも6割程度に留まる。高齢層ではデリニエータに気付かない方の割合が高まる傾向が見られる。
- ② カラー舗装に気付いた方の9割が「注意」のみで「行動」にまで移していない。デリニエータに気付いた方の4割はアクセルからブレーキへの踏み替えなど「行動」を変えている。
- ③ カラー舗装は「交差点の存在」に対する注意喚起との認識が強く、「勾配」に対する注意喚起と意識する被験者は2割程度に留まる。一方、デリニエータは「カーブや道路幅員」に対する注意喚起という認識が特に強く「勾配」を意識する方は比較的少ない。

b) 操作 (客観的評価)

操作に関しては次の結果が得られた (図-7)。

- ① カラー舗装、デリニエータとも、急勾配区間 (②~④) で速度を抑制する効果は確認できていない。
- ② カラー舗装、デリニエータとも、交差点手前 (④) で速度のばらつきが小さくなる傾向が見られる。

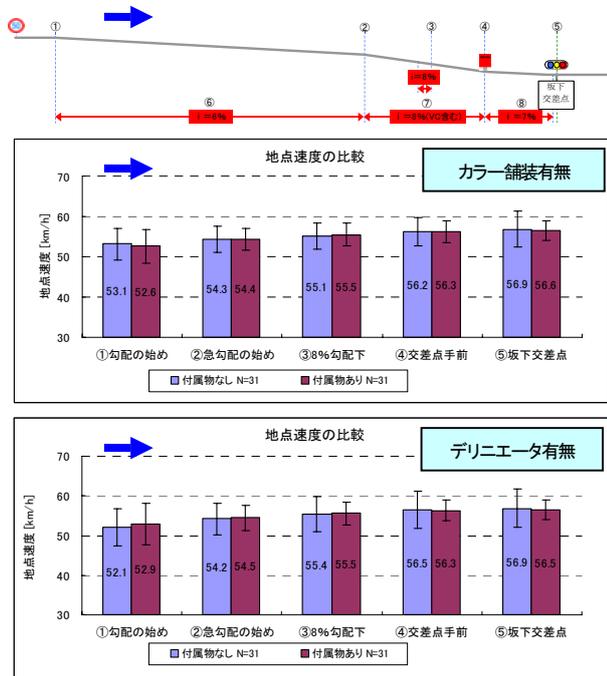


図-7 道路付属物有無による地点走行速度

4. まとめ

暫定形8%の縦断勾配特例値が走行安全性に与える影響については、認知・判断および操作に関する実験結果を踏まえると、完成形7%と比べて交差点手前における走行安全性に大きな差はないといえる。しかしながら、

完成形、暫定形とも一部の被験者で減速時の速度調節がねらい通りできていないことから、ドライバーに急勾配やスピード感を正しく認識させることが重要である。

また、縦断勾配に対する道路付属物の有効性については、カラー舗装やデリニエータに対して一定の認識はあるものの、勾配部の安全性向上のための情報伝達手段としてはねらい通りの効果が見受けられず課題が残る。カラー舗装やデリニエータは、「交差点やカーブなどへの注意喚起」という既存概念との区別ができていないため、「急勾配への注意喚起」という当該区間におけるねらいが伝わるような設置形態 (カラー舗装の色を変える、ストライプにする等) に対する配慮が必要である。

5. おわりに

現状では、急勾配を適切に認識し、走行安全性を向上させるための情報伝達手段 (安全対策) に対する基準は存在しておらず、ドライバーの混乱を回避するためにも、統一的なルール作りが求められる。上記のルール作りに向けては様々なシーンやパターンによる検証のための実験が必要であり、このための検証装置として今回使用したDSは有効と考えられる。

また、実際には勾配開始地点に高速で進入した車両による交差点手前での速度超過も想定されることから、当該区間における安全性をより高めるためには、勾配や交差点を事前に知らせるための仕組み (大型の注意喚起板、速度注意喚起情報板など) の導入や体感できる段差舗装 (薄層舗装) 等の設置が有効と考えられる。ただし、段差舗装の設置時には、夜間の騒音など沿道環境へ十分な配慮をする必要がある。

DSは、机上検討では明確な結論を得ることが困難な事象についても擬似空間上で安全かつ定量的な評価を行うことが可能である。計画段階の道路構造の評価、既存道路への新たな施策導入の事前評価、ドライバーへの適切な情報呈示方法、将来的な道路幾何構造基準導入の検討などに有効なツールとなりうる可能性を有しているといえる。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 丸善, 2004
- 2) 今長信尚ほか: ドライビングシミュレータを使用した道路構造令の縦断勾配の特例値における安全性と効率性の検証, 第36回土木計画学研究・講演集, 2006
- 3) M.Akamatsu, N.Imacho, Y.sasaki, H.Ushiro-Oka, T.Hamanaka, Y.Sakaguchi, M.Oonuki. : Simulator Study on Driver's Behavior while Driving Through a Tunnel in a Rolling Area, Proceedings of the 2003 Driving Simulator Conference North America, 2003
- 4) 赤松幹之ほか: ドライビングシミュレータにおけるリアルワールド再現技術の最新動向, 自動車技術, Vol.61, 2007
- 5) 須田義大ほか: ITS研究のためのユニバーサル・ドライビングシミュレータの開発, 日本機械学会第14回交通・物流部門大会講演論文集, 2005
- 6) 大口敬ほか: 高速道路サグにおける追従挙動特性解析におけるドライビング・シミュレータ技術の適用性, 交通工学, Vol.38, No.4, 2003