

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*

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

今長信浩**・小林謙二***・赤松幹之****・米山喜之*****・松本章宏*****

By Nobuhiro IMACHOU**・Kenji KOBAYASHI***・Motoyuki AKAMATSU****・Yoshiyuki YONEYAMA*****・Akihiro MATSUMOTO*****

1. はじめに

国道 20 号日野バイパスは、国立市～八王子市の市街地の交通混雑と沿道環境の改善に対処するために計画された第 4 種第 1 級の道路である。当該路線の川辺堀之内地区は、環境保全・コスト縮減の観点から改築面積を極力小さくするため、道路構造令の縦断勾配の特例値である 7%¹⁾を採用している。また勾配区間前後には信号交差点が近接している(図 - 1)。この区間については、関係機関との協議で「安全性の確認」と「下り勾配への薄層舗装の導入」が求められた。しかしこのような「縦断勾配の特例値」と「薄層舗装」が道路利用者を与える影響を、机上で把握することは困難である。このため道路利用者を被験者として、ドライビングシミュレ

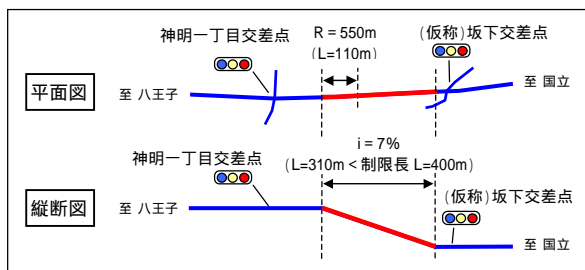


図 - 1 実験区間の概略図

*キーワード：交通安全、ドライビングシミュレータ、縦断勾配の特例値、薄層舗装

**国土交通省関東地方整備局 相武国道事務所 調査第一課 専門職
(東京都八王子市大和田町4-3-13、TEL0426-43-2009、FAX0426-44-3524、imachou-n8310@ktr.mlit.go.jp)

***国土交通省関東地方整備局 相武国道事務所 調査第一課 係長
(同上、kobayashi-k8325@ktr.mlit.go.jp)

****工博、独立行政法人 産業技術研究所 人間福祉医工学研究部門
部門長 (茨城県つくば市東1-1-1つくば中央第6事業所、TEL029-861-6605、FAX029-861-6621、akamatsu-m@aist.go.jp)

*****正員、株式会社 長大 社会計画事業部 社会基盤計画部 課長
代理 (東京都北区東田端2-1-3、TEL03-3894-3204、FAX03-3894-3299、yoneyama-y@chodai.co.jp)

*****株式会社 長大 社会計画事業部 ITS計画部 主任
(同上、matumo-a@chodai.co.jp)

ータを使用した走行実験を行った。

本稿では、下り勾配の安全性と薄層舗装導入の効果、上り勾配の効率性(走行性への影響)を検証することを目的にした検討の結果を報告する。

2. 実験の概要

(1) ドライビングシミュレータの概要

ドライビングシミュレータ(以下、DS)を用いた既往の研究は多数報告されており、有効な評価ツールとして活用されている。

赤松らは6自由度動揺装置を有したDSにより、供用前の国道のバイパスにおける実道とDSでの運転行動を比較してDS行動上の再現性を確認している。²⁾ 須田らは、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。³⁾ 大口らは、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。⁴⁾

今回の実験では、赤松らの国道バイパスを対象にしたDS走行実験の実績がある独立行政法人産業総合研究所のDSを用いた(図 - 2)。

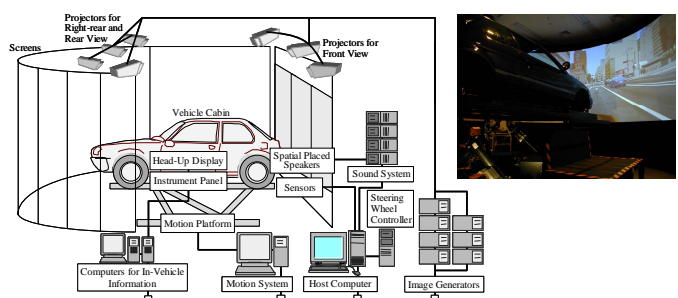


図 - 2 産業総合研究所のDSの概要

(2) 実験用データベースの作成

本実験の目的は、当該区間に縦断勾配の特例値を採用することの安全性と効率性への影響を検証することである。このため「事業計画の縦断勾配7%（道路構造令の特例値）のコース」と「縦断勾配5%のコース」を作成し、これらを走行した際の車両挙動や被験者の感覚の違いを比較した。また様々な周辺の環境条件の下で検証するために、昼夜別、進行方向別（勾配下り、上り）、薄層舗装の有無別（段差の体感あり）、車種（普通車、大型車）による視界別の画像のパターンを用意した。

当該区間の道路構造は、設計図面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。

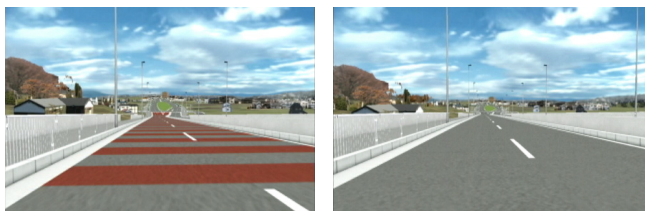


図-3 画像データ(左:7%勾配薄層舗装あり、右:5%勾配)

(3) 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25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。

(4) 実験方法

各被験者に対して、時間帯や進行方向、走行方法を組合わせた表-1に示す5つの実験を行った。

またDS実験の順序による影響を少なくするため、実験の実施順序、実験コース内の5%勾配と7%勾配の順序を、被験者毎に入れ替えて行った。

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（仮称）坂下交差点での走行速度を指示した。

表-1 実験の種類

実験の種類	コース内にある勾配	時間帯	走行方法
標準実験	5%下りと7%下り	昼	指定なし
標準実験		夜	
標準実験	5%上りと7%上り	昼	坂下交差点を40km/hまで減速して通過
速度指定実験	5%下りと7%下り		
付属物実験	7%下り(薄層舗装あり)と7%下り(薄層舗装なし)		指定なし

(注)各実験で2種類の勾配を連続的に走行し一対比較による評価を実施

(5) 収集データ、検証方法

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、車線内の走行位置、アクセル操作、ブレーキ操作を収集し、図-4のように被験者毎にとりまとめ、5%と7%の勾配を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、不安に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などが異なる2つの坂について被験者の感覚の違いを確認した。

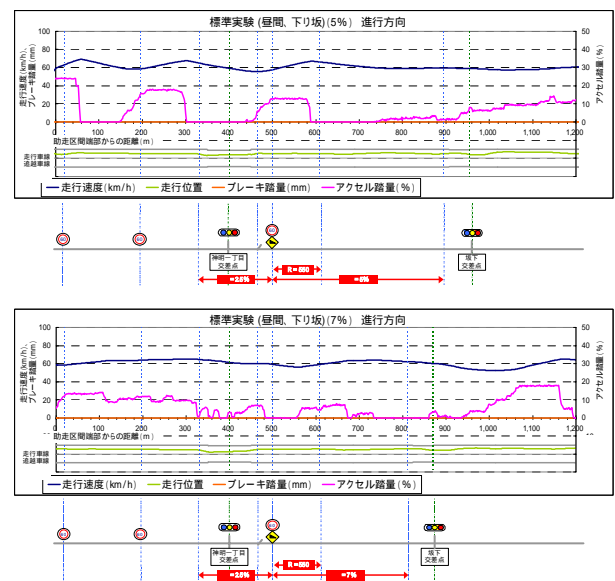


図-4 収集した走行データの例(標準実験・下り勾配・昼間)

3. 実験の結果

(1) 7%勾配下りの安全性に与える影響

a) 客観的評価

表-2は、標準実験（昼間）、標準実験（夜間）、速度指定実験について、下り勾配区間での全被験者の平均速度と最高速度を示したものである。

標準実験 と速度指定実験では、5%の坂と7%の

坂における平均速度の差は1km/h未満であった。夜間のコースの標準実験では、勾配の厳しい7%の方が2km/h程平均速度が低くなった。これらより5%の坂と7%の坂で平均速度に明確な差はない。また勾配区間の最高速度は当該区間の規制速度である60km/hを4~5km/h上回った。しかしいずれの実験においても7%の坂での速度超過の量は、5%の坂での速度超過の量よりも少なかった。

以上より2%の勾配の差は、走行速度に影響を与えないことが示された。また各坂とも勾配区間の平均速度が規制速度の60km/hを越えていないことから、特例値の7%を含む勾配は速度超過の原因にはならないと言える。

表 - 2 下り勾配区間における平均・最高速度

	平均速度[km/h]		最高速度[km/h]	
	5%	7%	5%	7%
標準実験 (昼間)	59.7	59.1	64.5	64.2
標準実験 (夜間)	59.8	57.7	64.0	61.8
速度指定実験	51.0	51.0	56.2	56.0

(注) 平均速度は、勾配区間における全被験者(N=35)の走行速度の平均値。最高速度は、勾配区間における全被験者の走行データ中における最高速度。

車線内での横方向の位置の変化は、いずれの勾配(カーブ区間を含む)も車線幅(3.25m)に対して最大で10~15%程(約30~45cm)であり、車線の逸脱に繋がるようなふらつきは発生しなかった。

ブレーキ操作による減速行動は、標準実験ではほとんど行われなかったが、速度指定実験では7%勾配の方がブレーキ操作の回数や時間、踏む強さが全て5%勾配を上回る結果となった(図 - 5)。

なお速度指定実験で出た平均減速度は、 1.2m/s^2 (約0.1G)、最大減速度は 2.7m/s^2 (約0.3G)であった。ISO/TC204で議論されているACCでは通常走行で

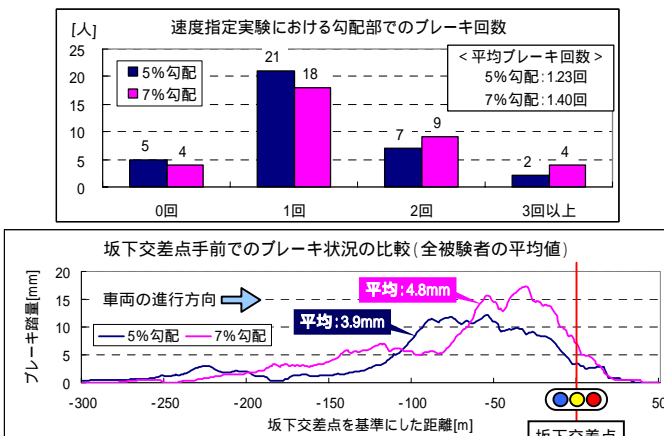


図 - 5 速度指定実験におけるブレーキ状況

発生する減速度を0.3G以下としており⁵⁾、今回の減速度は許容範囲と考えられる。

b) 主観的評価

模擬走行後のヒアリング調査の結果では、「特例値の7%勾配について特に嫌な印象はない」、「漠然と走行している際には5%の勾配と7%の勾配の差を感知できないが、ブレーキ操作を行った際に勾配の差が判る」、「特に7%勾配ではブレーキ操作はイメージしていたよりも効かない」、「坂を下った先にある交差点で信号が変わった際に停まれるかどうか多少不安を感じる」という意見があった。

本来、ドライバーは坂の勾配の程度を認識した上で走行するのが望ましい。今回は、5%と7%の勾配の差を正しく認識できた被験者は全体の1/4と少なかったが、走行データでは極端な速度超過など危険な状況は発生しなかった。

以上より7%の坂の安全性に問題は見られないが、ドライバーに対する坂への注意を喚起させるという点で何らかの対策をとることが有効と考えられる。

(2) 7%勾配上りの効率性に与える影響

a) 客観的評価

表 - 3は、標準実験について上り勾配区間での全被験者の平均速度と最高速度を示したものである。平均速度は、7%勾配の方が平均で1.5km/h低くなった。しかし7%勾配でも規制速度の60km/hを超えて走行している。最高速度は、上り勾配部での速度低下を予想して勾配部に進入する被験者がいることから、規制速度の7~8km/hの超過が見られた。

以上より上り勾配の効率性に影響を与えるほどの速度低下は出ていない。

表 - 3 上り勾配部における平均・最高速度

	平均速度[km/h]		最高速度[km/h]	
	5%	7%	5%	7%
標準実験	61.8	60.3	68.2	66.7

b) 主観的評価

模擬走行後のヒアリング調査の結果では、「7%の勾配の方が5%の勾配よりも速度の低下を感じる」、「特に「大型車のドライバーはこの差を強く感じる」という結果になった。また「勾配の終わり(右カーブ部)での見通しが多少悪い」という意見、「(仮称)坂下交差点の手前から上り坂が見えるため速度を

上げて上り坂に侵入したいが急に交差点の信号が赤になった場合は怖い」という意見があった。

以上より上り勾配部での効率性と安全性を両立させるために、勾配前後の交差点の存在をドライバーに強く認識させる必要性が明らかになった。

(3) 薄層舗装導入の必要性、効果

a) 客観的評価

図 - 6 は、付属物実験の勾配開始地点、カーブ終端部、勾配終端部における薄層舗装有無別の全被験者平均の走行速度を示したものである。

勾配開始地点において、薄層舗装ありの走行速度が1.6km/h低い。その後坂を下った地点においても薄層舗装ありの方が2~3km/h走行速度が低く、坂の全区間において一定の速度低下が見られる。また坂の中の何れかの地点で2km/h以上の速度低下が発生している被験者は、全体の7割にのぼる。薄層舗装なしでも当該区間の規制速度である60km/h以内に入っている。しかしより一層の安全対策として薄層舗装は有効と考えられる。

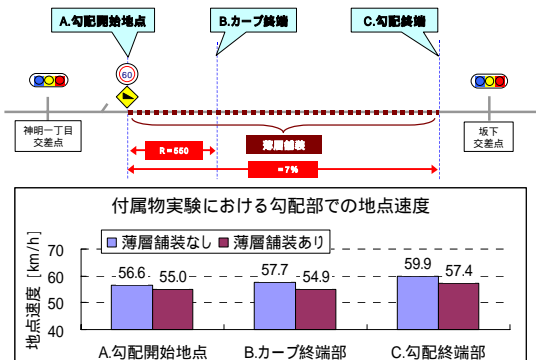


図 - 6 付属物実験における地点走行速度

b) 主観的評価

ほとんどの被験者が薄層舗装を「わかりやすい」と答えた。また薄層舗装の振動の大きさは「適度」と答えた人が大多数だった。しかし「積荷を積んだトラックで走ると段差が気になる」や「乳児などを乗せている時には段差がない方が良い」という意見もあった。薄層舗装による減速行動への影響は、「減速動作を早めに行うようになった」という行動の変化が生じた人が6割いた。行動の変化はないが、赤い舗装が事前に見えることで「この先に何かがある」という意識を植え付けられた」という人も複数いた。

このことよりドライバーは薄層舗装の赤色を視覚的に認識し、事前の注意が喚起され、進入速度の低

下に繋がっていると考えられる。薄層舗装の有効性については、9割の人が「有効だ」と評価した。

以上をまとめると、薄層舗装は被験者の認識率が高い安全対策であり、減速のタイミングの変化や勾配の事前認知の支援、また走行速度の低下などの効果がある。ドライバーもその有効性を感じており、導入に当り同意が得やすい施策であると言える。

4. まとめ

本検討を通して以下のことが明らかになった。

縦断勾配の特例値7%勾配の採用は、下りの安全性、上りの効率性の両面で、特に問題はみられなかった。

ドライバーは道路からの視覚的情報だけでは勾配の差(2%)を認識できないが、車両挙動からは判断できている。本来、勾配に入る前にドライバーがこの差を認識して走行するのが安全上好ましい。勾配を認識させる対策が必要である。

薄層舗装はドライバーの走行に物理的、心理的に働きかけ、速度超過対策として有効である。

5. おわりに

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、既存の道路での新たな施策の導入の事前評価、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。ただし道路データや道路付属物が安価に変更可能なこと、周辺車両の挙動がリアルに再現可能なことなどが今後の課題である。今後、道路構造を評価するためのDS仕様検討の場が整備されることを望む。

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) 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
- 3) 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 P.283-284, 2005
- 4) 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, P.41-50, 2003
- 5) ISO/TC204: "Transport information and control systems - Adaptive Cruise Control systems - Performance requirements and test procedures", ISO/FDIS 15622, 2002