

高速道路段差管理への地点乗り心地評価の適用性について

Applicability to Expressway Bump Management of the Momentary Riding Comfort Evaluation Method

北見工業大学 工学部 社会環境工学科 ○正員 白川 龍生 (Tatsuo Shirakawa)
株式会社ネクソ・エンジニアリング北海道 横川 勇樹 (Yuuki Yokokawa)
同 上 岡部 浩紀 (Hiroki Okabe)

1. はじめに

わが国における高速道路及び主要幹線道路は整備水準が高く、路面上を走行する車両の乗り心地は全体としては良好な水準にある¹⁾が、路面上に局在する構造物付近の段差等において著大な振動が発生することがあり、過去に実施された道路ユーザーへのアンケート調査結果からは当該箇所への関心の高さが見られる²⁾。北海道では上記の段差等に加え、路盤凍上に伴う路面性状の局所的な不陸が生じやすい環境下であり、冬期にはすべりの問題に加えこのことがクローズアップされることがある³⁾。このことから、今後の道路維持管理においては段差付近等で生ずる著大な振動に主眼を置いた乗り心地評価を積極的に導入することが望ましいと思われる⁴⁾。

そこで著者らは、個々の地点の振動を制御すれば結果的に全区間を通した乗り心地を向上させることができるという「地点乗り心地」の考え方⁵⁾を道路維持管理分野で具現化するため、高速道路、特に段差管理をターゲットとした地点乗り心地評価法を現在開発中である。本報告では、試行的に実施した地点乗り心地評価試験の結果および適用性について考察する。

2. 地点乗り心地評価法の考え方及び検討事項

高速道路の路面プロファイルと平坦度合いを表す区間評価値である IRI (国際ラフネス指数)、および車両振動 (バネ上) の関係を並べて表記した例を図-1 に示す。この例において最も大きな車両振動が発生した箇所は始点から約 300m の地点であり、当該箇所に生ずる路面凹凸 (構造物始点の段差及び段差近傍、例えば写真-1) が起因となり片振幅 4m/s^2 程度の著大な振動 (上下動、瞬時値) が発生している。

乗員である道路ユーザーの立場で考えると、図-1 の範囲内における道路維持管理の優先順位は当該箇所が第一となるべきである。しかし仮に路面評価を区間評価値である IRI のみにより求めるとすれば、評価区間長を 100m とした場合、当該箇所は区間平均効果によって隣接セグメントと値に差がなくなるため、ユーザーのニーズには直接結びつかない評価となる可能性がある。したがって、現行の管理体制では、当該ニーズに応える指標として段差量など別の評価指標を用意する必要がある。最も現実的には日常の道路パトロール結果 (担当者の主観的評価) に依存する形が大半と思われる。

そこで著者らは、高速道路のユーザーにとって不快と感じる車両振動の特徴をあらかじめ分析・蓄積し、

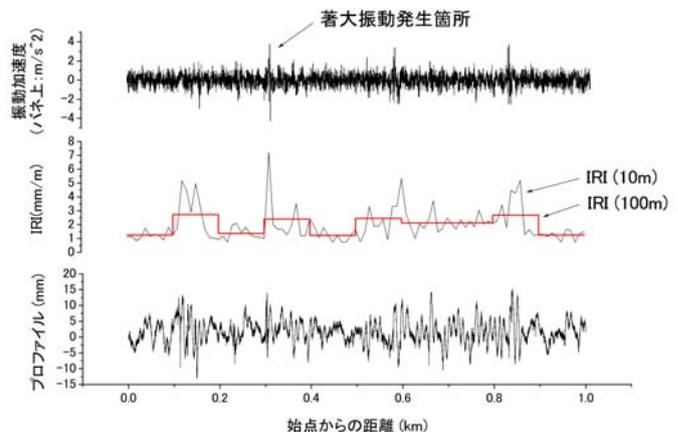


図-1 路面プロファイルと区間評価値、車両振動の関係



写真-1 著大な振動の起因となる高速道路上の段差例

巡回中の道路パトロール車両の振動データから不快な車両振動の起因となる路面コンディション (主として段差量とその形状) を局所的に検知・定量評価する方法の開発を行っている。振動加速度データは変位データに比べ簡便に計測できるとともに、データ自体が動的値であるため、道路ユーザーの瞬時的な乗り心地評価 (地点乗り心地評価) との関連付けを行いやすい。

車両に加速度計測センサを設置するに際しては、路面コンディションとの相互作用の観点から、情報量の多いバネ下部 (車軸付近) に設置するのが望ましいが、センサ防護やスペックの簡素化、配線等の条件が厳しい場合はバネ上部 (コックピット内) に設置する必要が生じる。北海道や東北地方など、冬期の降雪や低温環境下での運用を考えた場合、後者の適合度が高いと思われる。最近ではワイヤレスセンサも普及しており、

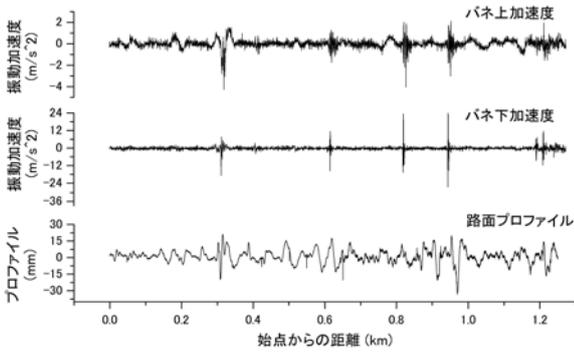


図-2 プロファイルとバネ上/下加速度の関係例^{注1,2)}
 注1) プロファイルと振動加速度は測定時期にズレがある
 注2) 位置照合基準の違いにより若干の位相差が生じている

以前に比べバネ上部での計測環境が整いつつある。

バネ上部の振動加速度データを用いるに際しては、段差を識別できる程度の解像度が要求されるが、図-2に示すように段差とそれ以外の箇所では振幅量に相対差があり明確に識別できるため、実用上問題のない識別レベルを有していると思われる。

実用化に際しては、当該データと現地キロポスト (KP) との照合 (同期) 作業を要する。振動加速度測定は路面性状測定のように空間列データではなく時系列データとして記録されるため、従前は KP との照合作業は非常に困難であった。しかし昨今の全地球測位システム (GPS) の普及・精度向上に伴い、車両の振動加速度と緯度・経度データを同時に計測し、後者を現地 KP へ変換することにより、振動加速度を空間列データとして取り扱うことができるようになった。このことから、本方法の実用可能性は以前に比べ高まっ

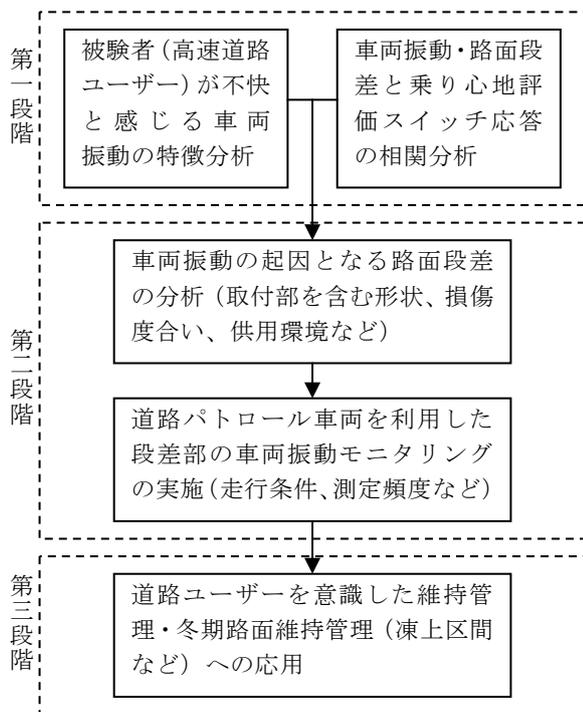


図-3 地点乗り心地評価法の主な開発手順

ている。地点乗り心地評価法の主な開発手順は図-3の通りである。今回報告する内容は、このうち第一段階における知見の一部である。

3. 地点乗り心地評価試験 (試行) の概要

車両振動および当該振動発生の原因となる路面段差がユーザーの地点乗り心地に及ぼす影響を分析するため、試行的な地点乗り心地評価試験を実施した。実施条件は以下の通りである。

(1) 調査区間

- ・区間長：24.5km
- ・路面コンディション：夏季、乾燥路面
- ・特徴：主に盛土区間、主要構造物はボックスカルバート
- ・平坦性/IRI (国際ラフネス指数)^{注1)}：
中央値 1.2mm/m, 最大 3.9mm/m

注1) 管理基準長は200mであるが、本研究では地点評価を指向しているため、評価ロット長を短くし100mとした。

(2) 測定項目

- ・車両：SUV (道路パトロール車両と同等スペック)
- ・走行速度：80km/h, 100km/h の2段階
- ・計測データ：バネ上/バネ下部の上下方向加速度、乗員の乗り心地評価 (スイッチ応答式)、GPS 軌跡ログ (事後処理で KP に変換)、その他 (走行映像など)

(3) 被験者条件

評価はいずれもスイッチ応答方式とした。乗り心地評価方法は、一般的な区間乗り心地評価の場合は5段階式など複数の方法があり、これに応じたスイッチも製品化されている。

しかし、走行中の車内におけるリアルタイムによる地点乗り心地評価を行う場合は、5段階式のように選択肢が多いと反応時間を要するため局所評価には適していない⁵⁾。そこで評価方法を単純化し、各被験者にとって「不快」と判断した場合に写真-2に示すスイッチを操作する方法を採用した。なお、不快感が続く場合はスイッチを押し続けることとした。

試行段階のため、今回の被験者はいずれも道路関係者 (道路管理者以外の者) 2名とした。今後、一般ユーザーや被験者数を増やす計画である。

- ・助手席 (能動的に近い快適感⁵⁾) 1名
- ・後部座席 (受動的な快適感⁶⁾) 1名



写真-2 使用した乗り心地評価スイッチ (加速度・GPS ログと同期させる)

4. 試行結果と考察

(1) スイッチ応答箇所数の分布

試行の結果、被験者のスイッチ応答があった箇所数は表-1の通りである。後部座席(受動的な快適感)に比べ、助手席(能動的に近い快適感)のカウンタ数が多い。これは知覚情報処理の過程で視覚優位の統合が行われたことによると思われる⁵⁾。すなわち、助手席における評価では振動を認知する前に段差が視界内に入るため、過去の自動車運転経験や乗車経験から段差部の揺れが想像できるため、場所によっては実際の振動量に関わらず視覚優位の状態が生じる可能性がある。このことは図-4において反応時間が0.5秒以下の場合が多々確認されることから推察される。特に走行速度100km/hにおけるマイナス表示の箇所については、実際に振動を認知する以前に評価を行ったと考えられる。

一方、後部座席の場合は助手席に比べ前方が見えにくく、視覚の大半は側方からの情報であり、段差に関する視覚優位は働きにくい。その結果、後部座席の応答は実際の振動を認知した後に行われるため、助手席に比べ評価箇所数は少なくなり応答時間を要すると思われる。図-4にはこの仮説を裏付ける結果が現れており、評価の大半はバネ上加速度の発生後0.8~1.6秒の応答時間を要している。なお、評価までに1.8~2.4秒を要したケースが2箇所あるが、この箇所は「不快」と「不快ではない」を判断する際の境界に相当すると思われる。当該箇所のプロファイル、バネ上/下加速度とスイッチ応答の関係を図-5に示す。

表-1 において 100km/h の評価箇所数が少なくなっ

表-1 スイッチ評価箇所数の分布

単位: 箇所数		
	80km/h	100km/h
助手席	25	26
後部座席	15	4

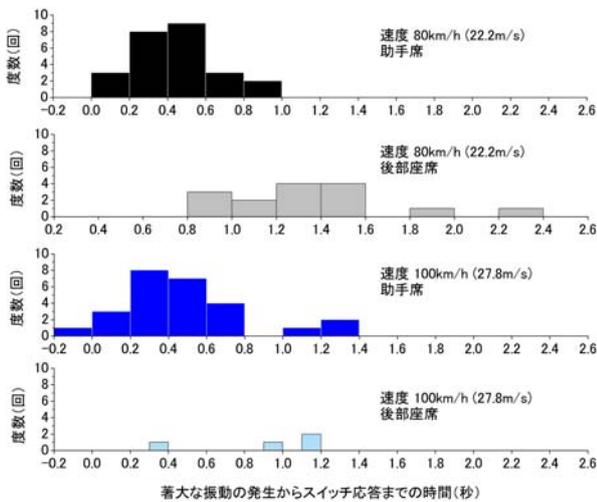


図-4 著大な振動の発生からスイッチ応答までの時間

ているが、この理由は 80km/h→100km/h の順に同一被験者による評価を行ったため、後部座席の被験者に振動に対する「慣れ」が生じ、2 回目の評価に影響したためであり(事後ヒアリングによる)、今後の被験者評価実施においてはこの点に留意する必要がある。

(2) スイッチ応答箇所数の分布と IRI の関係

図-6 は調査区間の IRI(100m ロット評価)とスイッチ応答箇所数の関係を示したものである。

助手席では IRI が 2.0mm/m を上回るロットについては、走行速度 80km/h, 100km/h いずれの場合も不快箇所数の占める割合が高い。2.0mm/m 以下のロットについては不快に感じる箇所とそれ以外の箇所が混在しているが、1.0mm/m など区間評価値としては非常に高い水準で管理されているロットについても「不快」の評価がなされる場合がある。ただし、助手席の場合は先述のように視覚優位の統合による誤差が生じている可能性もある。一方、後部座席については、特に 80km/h の分布は幅が広いが、今回の調査結果からは区間統計値である IRI は不快評価、特に段差についての説明変数としては一概に適当とはいえない可能性がある。2 章に記した仮説が成り立つとすれば、段差管理を中心とする高速道路の乗り心地評価指標としては局所評価に適した動的評価値を導入すべきと考える。

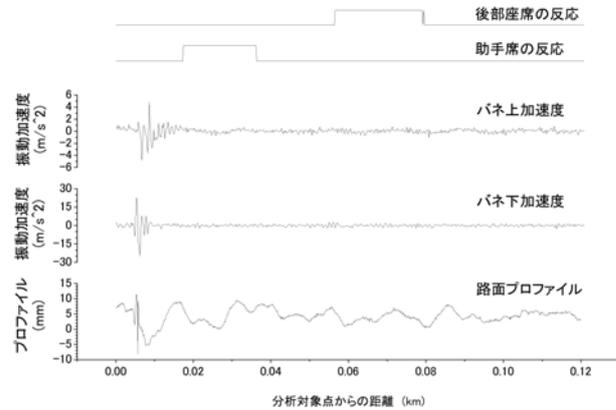


図-5 スイッチ応答に時間を要した箇所の例

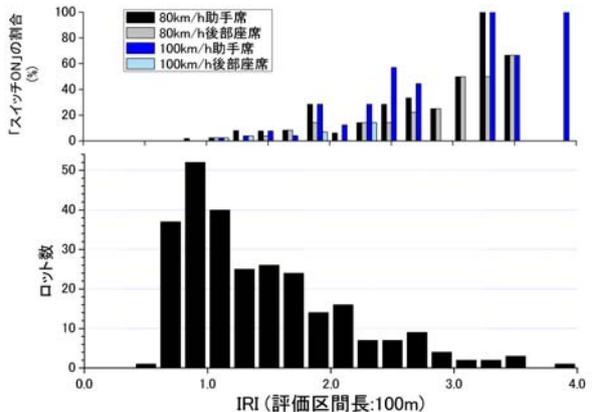


図-6 スイッチ応答箇所数の分布と IRI の関係

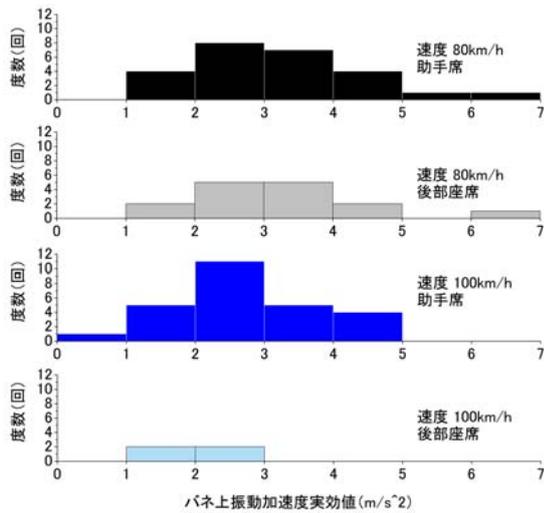


図-7 スイッチ応答箇所におけるバネ上加速度の分布

(3) 段差部に生じる振動加速度との関係

段差に起因する不快評価箇所におけるバネ上加速度(実効値, 片振幅)の分布を図-7に示す。個人差も十分考えられるが、助手席の場合は後部座席の場合に比べ、分布の幅は広い。これは先述の助手席評価における視覚優位の統合の影響、および後部座席における慣れの影響が現れていると考えられ、事後の詳細分析を要するが、走行速度 80km/h の場合、今回得られた不快評価の多くは $1\sim 5\text{m/s}^2$ の振幅を示している。

5. まとめ及び今後の課題

本報告は高速道路ユーザーに快適な乗り心地を提供するため、特に段差管理を意識した動的な地点乗り心地評価の適用性について、開発の最も初期段階における試験結果をまとめたものである。要約すると以下のようなになる。

- (1) 道路パトロール車両と同等スペックの SUV 車両を用いて、走行速度 2 段階 (80km/h および 100km/h)、被験者 2 名 (助手席、後部座席) における地点乗り心地評価を実施した。
- (2) スイッチ応答箇所数の分布は、後部座席に比べ助手席のカウント数が多い。これは知覚情報処理の過程で視覚優位の統合が行われたことによると思われる。また、後部座席の評価結果からは振動に対する「慣れ」の影響が考えられるので、今後の試験計画では留意する必要がある。
- (3) 助手席では IRI が 2.0mm/m を上回るロットについては、走行速度 80km/h、100km/h いずれの場合も不快箇所数の占める割合が高い。一方、後部座席の場合は IRI の大きさと不快評価が一概に比例せず、乗り心地評価の説明変数として IRI は適当ではないと思われる。
- (4) 事後の詳細分析を要するが、走行速度 80km/h の場合、今回スイッチ応答が見られた箇所の多くはバネ上加速度実効値で $1\sim 5\text{m/s}^2$ の範囲内にある。

本研究は試行段階にあり、実用化に向け以下のような取り組みおよびデータ分析を行う必要がある。

- ・異なる車種や条件に基づく走行試験を実施する。
- ・同一条件において実用上問題のないレベルでの再現性を確認する。
- ・個人差を考慮した被験者評価を実施する。また、一般ユーザーを含めた被験者数を適宜増員する。
- ・波長や波高が同程度でも波形が異なるとユーザーの不快感に及ぼす影響が異なるため、スイッチ応答箇所における段差形状の学習を行う⁹⁾。

謝辞

本研究の実施にあたり、東日本高速道路株式会社北海道支社、ならびに株式会社共和電業の関係各位にご協力いただきました。また地点乗り心地評価試験については平成 20 年度科学研究費補助金 (若手研究 B)、乗り心地評価ツール開発については平成 19 年度 JST シーズ発掘試験の助成を受け実施しました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 熊田一彦ほか：高速道路の構造・交通諸元と IRI の関係について、舗装工学論文集, Vol.7, pp.10.1-10.6, 2002.
- 2) 佐伯博三ほか：高速道路における舗装路面の管理-車両の振動加速度の舗装評価への応用-, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部, Vol.44, pp.76-77, 1989.
- 3) 例えば、亀山修一ほか：凍上の影響を受けた高速道路の縦断プロファイル特性, 土木学会論文集, No.802, pp.233-234, 2005.
- 4) 白川龍生ほか：車の地点乗り心地を考慮した道路利用者のための平坦性管理方法, 舗装工学論文集, Vol.10, pp.83-89, 2005.
- 5) 鈴木浩明：快適さを測る -その心理・行動・生理的影響の評価-, 日本出版サービス, 1999.
- 6) 例えば、海保博之・加藤隆(編)：シリーズ・心理学の技法 認知研究の技法, 福村出版, 1999.
- 7) 例えば、土居俊一：自動車の乗り心地評価と快適性向上技術, RRR, Vol.62, No.12, pp.2-5, 2005.
- 8) Shirakawa, T. et al: Study on an Experimental Method for Road Surface Evaluation Using a Driving Simulator, Proc.DSC Asia/Pacific 2006, CD-ROM, 2006.
- 9) Shirakawa, T. et al: Lifting Scheme Theory to Detect Road Surface Waveform Influencing Vehicle Vibration, Transportation Research Record, No. 1949, pp.164-172, 2006.