

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560160

研究課題名(和文) 悪路で自然発生する波状起伏の機構解明とそれに基づく道路管理技術の新構築

研究課題名(英文) Investigation of occurrence mechanism of washboard road phenomena

研究代表者

佐藤 太裕 (Sato, Motohiro)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00344482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では自動車が行った際に未舗装路に生じる「波状起伏現象」、および積雪・凍結路面特有のこぶ状の起伏、いわゆる「そろばん道路」について、その発生メカニズムを独自に考案した科学的アプローチにより解明することを目的とした挑戦的研究である。実験・理論・計測の三方向から現象の根源に迫り、成果報告書に後述するいくつかの興味深い知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate the occurrence mechanism of "washboard road" phenomena which are frequently found on unpaved or snow-covered roads. We consider a couple of original experimental, theoretical and measurement methods to investigate the origin of these phenomena and obtain some new findings which is written in the report below.

研究分野：応用力学

キーワード：数理工学 波状起伏 道路管理技術

1. 研究開始当初の背景

自動車利用がインフラ未発達地域にも広く普及して以来、未舗装路で自然発生する「波状起伏化」が問題になってきた(図-1)。この波状起伏化は、路上を車が繰り返して走行することで、洗濯板のような縞状の起伏が形成される現象である。この起伏により引き起こされる走行車の小刻みな縦揺れは、乗客と車体の両者に悪影響を及ぼす。更にタイヤと道路との接触面積を極端に減らし、タイヤのグリップ力を著しく低下させるため、走行車のスリップ事故を誘発する要因となる。

またこうした未舗装路で生じる波状起伏とは別に、積雪・凍結路面では安全走行を妨げる凹凸状の氷の隆起がタイヤ跡に沿って自然に形成される問題が近年顕在化している(図-2)。この道路状態は通称「そろばん道路」と呼ばれ、スタッドレスタイヤの使用とともに顕著に見られるようになった現象であるが、走行車のスピン事故を誘発する等、車体姿勢の制御を大きく損なう要因として広く認知されている。

最も注目すべき点は、これらの起伏化がいずれも通常の道路運用下で「自然に」起こってしまう点である。起伏が生じた路面を仮に一旦水平に補正したとしても、その後多数の車が通行すると、再び同様の起伏が自然発生する。こうした自然発生する凹凸起伏を効果的に除去するための手法確立が長年待ち望まれているが、その高い需要にも関わらず、現状では有効な手立てが存在しない。その主な理由は、そもそも起伏の自然発生する原因が科学的に全く解明されていないためである。

2. 研究の目的

本研究では上述の未舗装路、および積雪・凍結路面特有の「波状起伏現象」について、その発生メカニズムを独自に考案した科学的アプローチにより解明することを目的とした挑戦的研究である。この現象の根源にある生成要因に迫ることにより、道路管理技術に関する有益な知見を得ることが具体的な目標である。

3. 研究の方法

未舗装路に生じる波状起伏、および冬季路面に生じるそろばん道路の両現象について、その発生メカニズムを理論・実験・計測の三方向から解き明かすことを試みた。研究体制としては研究代表者の北海道大学・佐藤が研究全体を総括するとともに理論モデル構築を研究分担者の山梨大学・島准教授と共同で行った。また実験・計測面は北海道大学・蟹江教授が主導し、実験装置の開発、計測方法の確立に取り組んだ。さらに北海道開発技術センターにおいて冬季路面の問題に長年取



図-1 波状起伏が自然発生した未舗装路の一例 (D.C. Mays and B.A. Faybishenko, Complexity 5 (2000) 51より)



図-2 札幌市某所における顕著なそろばん道路発生の例

(撮影:北海道開発技術センター・永田氏、撮影日:2015年11月25日)

り組んでいる専門研究者2名にも本研究チームに加わっていただき、合同で計測を行うとともに、実験・計測結果に関する議論を密に行った。

4. 研究成果

主な研究成果を以下に列挙する。

- (1) 走行車のサスペンション、タイヤの上下振動と、車重による地面の圧縮効果、ならびにタイヤの回転に伴う土砂の飛散効果を取り入れた数理モデル(連立非線形方程式)を構築し、線形安定解析により解の特性について検証を行った。

(これは現状では未舗装路のみを対象としたモデルに対して、様々な条件下における凹凸が成長または消失する条件を同定するものであり、今後後述する実験結果との比較を行っていく予定である。また冬季路面については温度その他の考慮すべき要因が存在するため、それらを考慮することにより凹凸発生現象を数理モデル化することに継続して取り組んでいる。)

- (2) 札幌市内のそろばん道路が発生しやすい路面を調査し、気温と路面凹凸状況の関連について検証を行った。また冬季凹凸路面調査に関する SNS (Facebook) のグループを立ち上げ、研究分担者、研究協力者以外からも広くそろばん道路発生状況の写真や情報をアップできる環境を整備し、多くのデータ蓄積を行った。現在もメンバーを増やすべく周知を行っており、本研究終了後の来冬以降も継続的にそろばん道路発生状況の情報収集を行う予定である。
- (3) 悪路・積雪路面の波状起伏発生メカニズムを実験的なアプローチで検証すべく、室内実験装置 (図-3) を独自に開発した。これは自動車を模擬した鉛直方向振動子 (水平回転方向に固定) と接する路面を模擬した媒体 (砂・雪など) を敷いた円盤を回転させることにより、路面 - 振動子間の動的相互作用に起因する凹凸の生成を観察するものである。併せて解析において用いる係数を決定するために、敷き詰めた媒体の力学的性質を貫入試験装置により計測し、荷重-変位関係についても新たな結果を得た。
- (4) 上記の実験により、回転速度、振動子の固有振動数が凹凸生成の有無、凹凸の波長、振幅に大きく影響を及ぼすことが確認できた。現在これらの関係について定量的な精査を行っているところである。また理論モデルによる実験結果の説明、検証も実施予定である。
- (5) 北海道大学構内の車の加減速が頻繁になされるゲート付きの門の路面において、冬期間に定点カメラを設置し観測することで、これまで明らかではなかった凹凸起伏の時間発展の様子のいくつかのパターンを把握することができた。初年度である平成 26 年度冬から実施したが、カメラの設置期間が短く、雪解けも早かったため、初年度は十分なデータを収集できなかった。この反省を踏まえ、次年度である平成 27 年度は初冬から同様のカメラを設置するとともに、タイムラプスカメラを設置することにより、時間変化によるそろばん道路の生成過程を詳細に追うことに成功した。
- (6) 気象データとの比較により、積雪が 10~20cm 程度以上となる降雪終了後



図-3 路面凹凸生成を模擬する室内実験装置

かつ気温が $0^{\circ}\text{C} \sim -2^{\circ}\text{C}$ 近辺となる気象条件が重なった際にそろばん道路の発生頻度が高くなること、および自動車走行そのものに伴う路面温度上昇によるそろばん道路発生頻度の上昇傾向を新たに確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- 1) 横見瀬大地、佐藤太裕、蟹江俊仁、永田泰浩、金田安弘、島 弘幸: 積雪凍結路および未舗装路に生じる凹凸路面の発生機構に関する基礎的研究、平成 27 年度土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集 (査読無)、V-381, 2015.

[学会発表] (計 2 件)

- 2) 永田泰浩、金田安弘、佐藤太裕、島 弘幸、蟹江俊仁: 波状雪氷路面とそろばん道路のはじまり~定点カメラ観測に基づく一考察、2016 年度公益財団法人日本雪氷学会北海道支部研究発表会、2016 年 5 月 14 日、北海道大学学術交流会館第 1 会議室 (北海道札幌市)
- 3) 蟹江俊仁、Zheng Hao、横見瀬大地、正木智、永田泰浩: そろばん道路の発生過程とその条件: 定点カメラ観測に基づく一考察、2016 年度公益財団法人日本雪氷学会北海道支部研究発表会、2016 年 5 月 14 日、北海道大学学術交流会館第 1 会議室 (北海道札幌市)

[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]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 太裕 (SATO, Motohiro)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：00344482

(2) 研究分担者

蟹江 俊仁 (KANIE, Shunji)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：10332470

島 弘幸 (SHIMA, Hiroyuki)
山梨大学・総合研究部・准教授
研究者番号：40312392

(3) 連携研究者

なし