

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

北海道大学	学生会員	○横見瀬	大地
北海道大学	正会員	佐藤	太裕
北海道大学	フェロー会員	蟹江	俊仁
北海道開発技術センター	正会員	永田	泰浩
北海道開発技術センター	非会員	金田	安弘
山梨大学	非会員	島	弘幸

1. まえがき

積雪凍結路および未舗装路ではタイヤ跡にそって凹凸状の起伏が路面に発生することが確認されている。特に、凍結路面において図-1に示すようなこの凹凸状の起伏は「そろばん道路」と呼ばれている¹⁾。これはタイヤと道路の接地面積を減らし、タイヤのグリップ力を低下させ、自動車のスリップ事故や車体姿勢の制御を損なう要因として知られている。



図-1 そろばん道路の様子

そこで、本研究では積雪凍結路および未舗装路面で生じる凹凸路面の発生機構を理論・計測の双方から明らかにし比較検証を行う。

2. 理論によるアプローチ

2.1 未舗装路での解析モデル

未舗装路における凹凸上の起伏を解析するためのモデルとして、図-2のような自動車の質量、ばねの振動とタイヤ変形からなる減衰による二次元の減衰振動モデルを用いる²⁾。

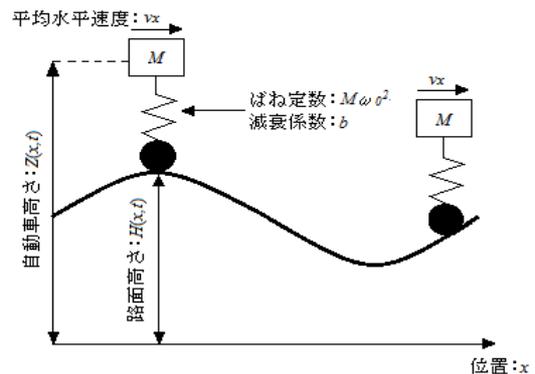


図-2 減衰振動モデル

ある任意の高さを基準とした時に、自動車が移動した時間を t とその時の位置を x の関数として路面の高さ $H(x,t)$ 、動いている自動車の高さ $Z(x,t)$ を置く。また、平均水平速度を v_x 、自動車の垂直固有振動数を ω_0 、自動車の質量を M 、ばね定数を $M\omega_0^2$ 、減衰係数を b と置く。

2.2 定式化

$H(x,t)-Z(x,t)$ をばねが圧縮した時に 0 として、自動車の垂直方向の運動方程式を立てる。

また、路面高さの変化 $D(H)$ を含む拡散方程式の項と地面の柔らかさ $a(H)$ を含む自動車による地面の圧縮の項より式を立てる。これらの式の変数を無次元化して(1)式、(2)式を得る。

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\right)^2 Z + 2\Gamma \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\right) [Z - H] + Z - H = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \Delta(H) \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \alpha(H) [1 + H - Z] \tag{2}$$

このとき無次元数は(3)式のように与えられる。ここで Γ は振動の減衰比であり、通常自動車の振動は減衰振動であるため $\Gamma < 1$ である。

$$\begin{aligned} \Gamma &= b/2M\omega_0^2 \\ \Delta(H) &= (\omega_0^2/v_x^2)D(H) \\ \alpha(H) &= M\omega_0^2 a(H) \end{aligned} \tag{3}$$

キーワード 凹凸路面, 積雪凍結路面, 未舗装路面, 線形安定解析

連絡先 〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目 北海道大学大学院工学院 TEL 011-706-6177

2.3 線形安定解析

(1), (2)式を解くため安定性解析を行う．線形成長率を σ としていくつかの Γ で $\text{Re}[\sigma]=0$ をプロットした物が図-3となる．これは $\text{Re}[\sigma]<0$ で安定するため、曲線より左下の領域で凹凸が発生することが示された．

2.4 結果

図-3の Δ/α は速度 v_x の逆数に比例し、 β/α は地面が硬くなると大きくなると考えられる．よって、未舗装路面では自動車の速度が大きく、地面が柔らかい状態で路面の凹凸が発生しやすくなる事が明らかになった．

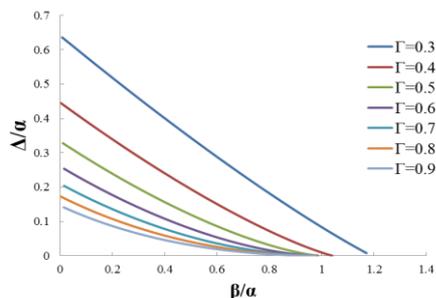


図-3 未舗装路面での凹凸発生条件 (曲線より左下の領域で凹凸が発生)

3. 計測によるアプローチ

3.1 計測の概要

そろばん道路は自動車が増減速する点で発生しやすいと考えられている³⁾．これを踏まえて2015年の2/6から3/5の期間にかけて北海道大学構内の13条門ゲート前で図-4のように定点カメラを用いて写真を取り、積雪凍結路での凹凸起伏発生を計測した．



図-4 北大13条門前の定点カメラの様子

3.2 結果

計測結果として、カメラを設置したポイントでは図-5のように凹凸路面が確認できた．



図-5 定点カメラで撮られた凹凸路面

その際、交通量の多くなる17時頃に凹凸路面の発生と成長が多く観測され、交通量の少なくなる深夜帯では成長があまり見られなかった．このことから、車の増減速や夕方の時間帯の環境条件が影響している可能性が考えられる．

また、気温が比較的高い時に凹凸路面が見られることから圧雪路面の一部が融解し柔らかくなると凹凸路面が発生しやすくなると考えられる．

4. まとめ

- ・未舗装路面では自動車の速度が大きく、地面が柔らかい条件で凹凸が発生しやすくなる．
- ・積雪凍結路面では自動車の増減速と路面の柔らかさが凹凸の発生に関連していると考えられる．
- ・今後の展望として、未舗装路面での減衰振動モデルを積雪凍結路面に適用し、自動車の増減速の影響を考慮するため(2)式を拡張することを考えていきたい．また、拡張した式を解析ソフトで解くことも考えている．

謝辞

本研究は科研費挑戦的萌芽研究(研究課題番号：26560160, 研究代表者：佐藤太裕)により実施されたことを付記し、関係各位にお礼申し上げます．

参考文献

- 1)高橋尚人, 丸山記美雄, 徳永ロベルト, 金子学, 安倍隆二, 住田則行, 川端優一, 切石亮, 藤本明宏, 武知洋太, 大上哲也, 小宮山一重, 三浦豪：冬期道路の走行性評価技術に関する研究, 土木研究所, 重点研究.48, (2012)
- 2)J. A, Both et al: Corrugation of roads, Physica A 301, 545 (2001)
- 3)永田泰浩, 金田安弘, 富田真未：そろばん道路の発生過程について, 北海道の雪氷, 第32号,80-83.(2013)