

自転車道を対象とした走行時の振動応答による舗装路面の簡易な状態評価

東京大学 学生会員 ○山口貴浩
 東京大学 正会員 長山智則
 東京大学 正会員 蘇迪

1. はじめに

近年、わが国において自転車交通の重要性が急速に増加している。しかし、自転車道における舗装路面の変状に対して、現状では適切なモニタリング方法が存在せず、主観的な目視による発見にゆだねられている。路面変状は、重大な事故につながることもあり、行政側に管理瑕疵責任を問われることがあるので、確実に簡易かつ低コストで利用可能なモニタリング方法の確立が求められる。

そこで、本研究では、自転車に搭載したスマートフォンの鉛直加速度データとサイクルメーターの走行速度データを用いて¹⁾、路面の縦断形状である路面プロファイルを推定することを目的とした。まず、自転車の振動特性を明らかにし、応答から路面プロファイルを推定する理論を提案、走行試験により推定精度を検証した。

2. 自転車の振動特性

図1に示す一般的なシティサイクルのハンドル上にホルダーを介して取り付けられたスマートフォンの鉛直振動加速度は、3つの要因の影響を受けている。1つ目は、前輪を自由落下させたときにスペクトル上に表れるタイヤの固有振動(図2-a 青)であり、走行時はタイヤ空気圧の影響を強く受けている(図2-b)。2つ目は、ホルダーを指ではじいたときにスペクトル上に表れるホルダーの固有振動(図2-a 緑)であり、走行時は振動特性にほとんど影響を与えない(図2-c)。3つ目は、前述のいずれの振動よりも振動数が低く、路面凹凸に等しい上下方向の運動によると推測される振動(図2-b, c 0-3cycle/m)であり、同一条件で走行再現性が高いため加速度の2回積分によって直接路面プロファイルを得ることができる。



図1 計測装置

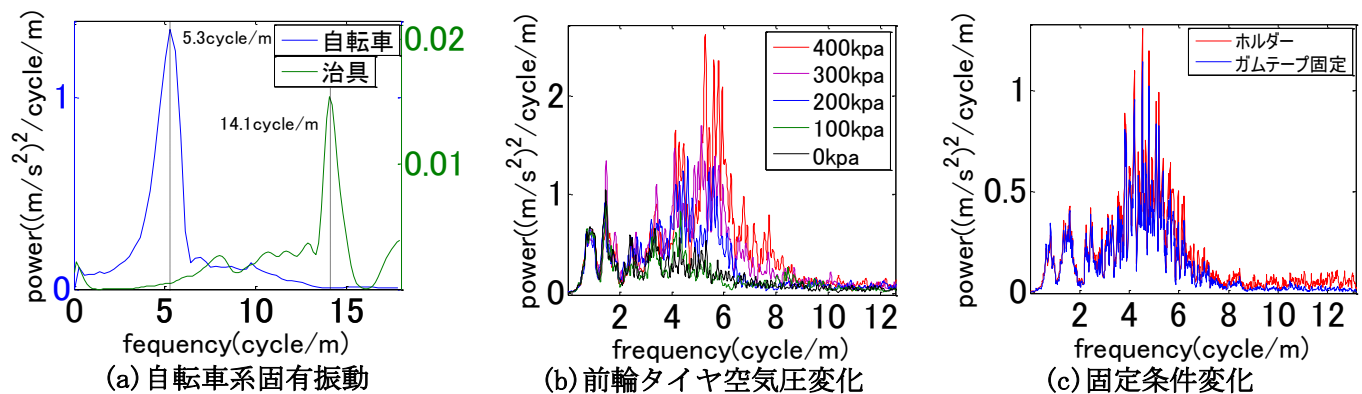


図2 計測条件とパワースペクトル(走行速度10km/h相当)

3. 路面プロファイル推定法

得られた加速度データは、線形ドリフトおよび0.2Hz以下の低周波数成分を除去し、2回積分により路面変位を算出する。つづいて、スマートフォン設置位置が前輪直上から15cm程度後方にあることを考慮し(図3)、ホルダーに対する前輪変位の倍率を表す補正関数 $k(f)$ を用いて(図4)、空間周波数上でホルダー位置における変位を前輪変位に変換する。ホルダー位置の鉛直加速度は、位相の異なる周波数 f の2つの正弦波の線形内挿から、以下の式によりもとめられる(式1, 式2, 式3)。

$$a_{holder} = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{L} \sin\left(\frac{2\pi f x}{v} + \tan^{-1} \frac{B}{A}\right) \quad (1)$$

キーワード 路面プロファイル, シティサイクル, 振動特性, サイクリングロード, 路面変状

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部橋梁研究室 TEL 03-5841-6099

$$A = L - d + d \cos \frac{2\pi f L}{v}, B = d \sin \frac{2\pi f L}{v}$$

(2)(3)

4. 走行試験の概要

路面プロファイル推定法の精度を検証するため、(A)城里テストセンター(図 5)、(B)小金井公園サイクリングコース(図 7)で走行試験を行った。それぞれ 600m 程度で、(A)では波状区間や凹凸ハンプ区間があり、(B)では多数のクラックが存在する。クラック位置について事前に調査が行われている。走行速度は任意であるが、いずれの試験も $10 \pm 1 \text{ km/h}$ 程度一定で走行している。

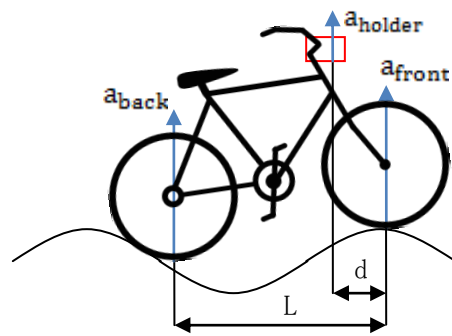
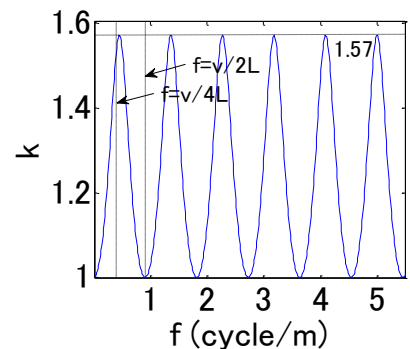


図3 ホルダー位置補正

図4 補正関数 $k(f)$ の倍率

5. 路面プロファイル推定結果

図 6 は(A)における路面プロファイル推定値と DAM²による計測値の 0.2 cycle/m 以上における比較である。比較的高周波であると考えられる凹凸ハンプ区間(図 6-a)、低周波であると考えられる波状区間(図 6-b) いずれにおいても、位置高さともに良く一致しており、高精度でプロファイル推定が可能であることが分かる。図 8 は(B)における路面プロファイル推定結果であるが、いずれもピーク位置が正確に再現されており、推定誤差も2つ目ピーク高さで最大13%以下に収まっている。

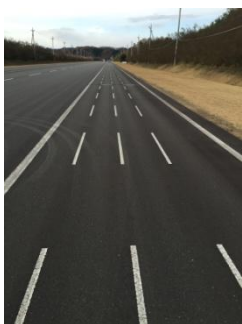


図5 城里テストセンター

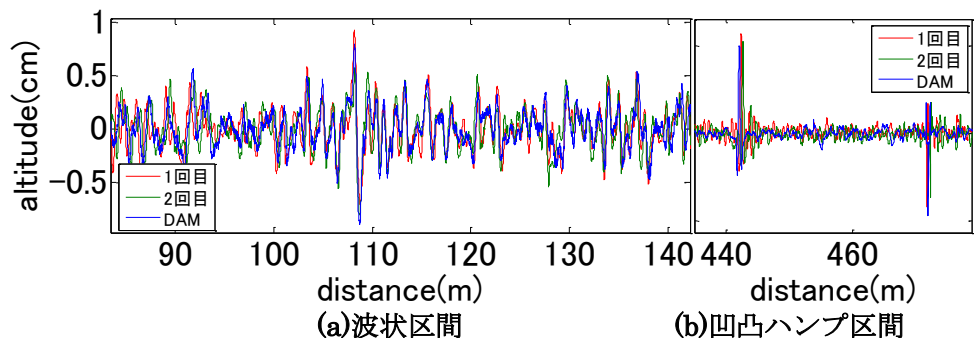


図6 城里テストセンターの路面プロファイル推定結果

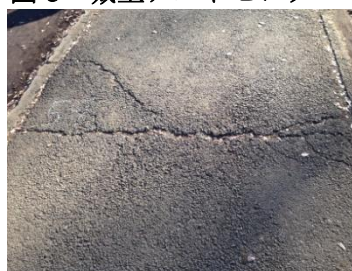
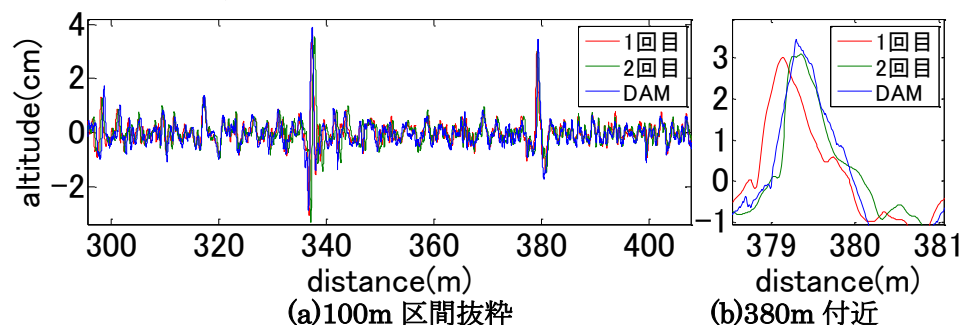
図7 小金井公園サイクリングコースのひび割れ例
(380m 付近)

図8 小金井公園サイクリングコースの路面プロファイル推定結果

6. 結論

自転車の振動特性を明らかにし、自転車とスマートフォンを用いて簡易に高精度な路面プロファイルを推定する手法を提案した。 0.2 cycle/m 以上の波長では計測値に整合的なプロファイル推定値が得られたが、低周波では推定精度の向上が必要であり、高精度加速度計の利用や走行速度の増加による改善を検討している。

謝辞：ニチレキ（株）の伊藤様には貴重なご意見を賜りました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 小花ら：自転車走行時の路面情報抽出：基本検討及び実計測，情報処理学会研究報告，2014.5.15
- 2) サントップテクノ：縦横断形状測定装置 DAM (<http://suntop.jp/DAM.html> 2015.4.5 アクセス)