スマートフォンによる角速度計測を利用したVIMSの汎用化と路面の局所変状評価

東京大学大学院工学系研究科　学生会員　○木村俊也　正会員　長山智則　フェロー会員　藤野陽三

1. はじめに　東京大学橋梁研究室では低コスト，高頻度，かつ定量的に路面状態を把握するために路面の平坦性を表す国際的な指標であるIRI(International Roughness Index)を推定するVIMS(Vehicle Intelligent Monitoring System)を開発している[1)]. 図1に示すように計測車両の鉛直加速度応答を, 計測車両とクオーターカーモデル(以下QC)間の応答振幅比を用いて，QCばね上質量加速度RMSに変換し，さらにこれとIRIの関係を表す回帰式を用いてIRIを推定する．VIMSは安価である一方，MEMS型加速度計をAD変換機に配線する必要があるなど，計測機器の配線が煩雑であり，必ずしも扱いが容易でない．また，配線間違いの恐れもある．そこで，近年急速に普及したスマートフォンをVIMSの計測機器として利用することを提案する．しかし，計測機器と操作部が一体であるスマートフォンは，雨や埃などの影響を受ける車外への設置よりも，車内で操作者によるアクセスが容易な場所への設置が好まれるなど設置場所の制約が大きい．本研究では角速度計測を利用することで計測位置に依存しないIRI推定法を提案する．さらに，スマートフォンを用いれば動画と加速度の同期計測が容易であることを利用して，ジョイントや舗装打継目など局所変状の分析を行う．

2. 計測位置に依存しないIRI推定

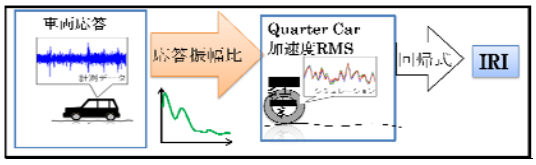

図1　VIMSによるIRI推定プロセス

(1)原理　従来計測に利用していた加速度応答は，計測位置に依存すると考えられる．一方，角速度応答は車体が剛体運動する場合には，計測位置に依存しない．そこで，車両のピッチング角速度応答を計測し，計測車両の角速度応答とQC加速度応答との間の応答振幅比に乗じることで，QCばね上質量加速度RMSを推定することとした．ばね上質量加速度RMSからは，従来と同様に回帰式によりIRIを推定する．

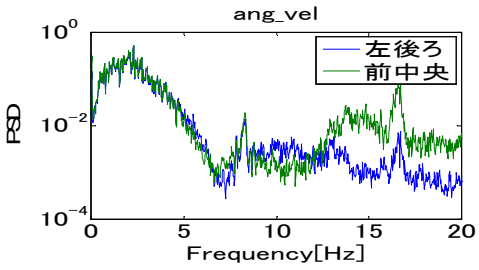

図2　計測位置による角速度応答の比較

(2)周波数帯域の選定　角速度の計測位置依存性を周波数帯域別に調べ，利用する周波数帯域を選定する．車内の2箇所(左後輪上と運転席・助手席間の水平面)において角速度を計測し，パワースペクトルを比較すると図2に示すように1次モードを含む7Hz以下の帯域において応答がほぼ一致した．これより1次モードの帯域のみを用いることとする．

(3)スマートフォンの計測精度　スマートフォンと高精度ジャイロを同じ位置に設置し，走行中の角速度応答を比較する．図 3 に示すように応答の大きな周波数帯では計測値はほぼ一致し，本研究においては十分な精度であるといえる．

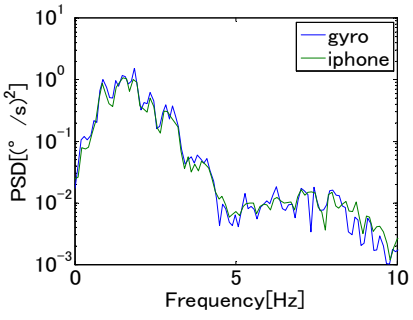

図 3　スマートフォンの精度検証

(4)検証　プロファイルが既知であるNEXCO中日本管内の路線約 6km区間において計測を行い，計測位置が異なる際のIRI推定精度を検証した. 1 例を図 4 に示す. 高性能検査車との計測区間における誤差の平均は既往研究が 10.1%,

キーワード　路面診断，IRI，スマートフォン，角速度応答，平坦性，加速度応答
連絡先　〒113-8656　東京都文京区本郷 7-3-1　　TEL03-5841-6099　FAX03-5841-7454

本研究が 11.7%であり計測位置を変更してもほぼ同精度である．

3. 高周波成分による局所変状抽出と同期計測した動画による検証　(1)原理　スマートフォンをホルダーによりフロントガラスに固定し，車両応答の計測と動画撮影を行う．一方で，車体上でも加速度応答を計測し，加速度波形を用いて同期する．局所変状通過時は衝撃応答により高周波成分が含まれると考えられるため，車体の加速度応答にwavelet変換を施し，高周波成分から局所変状通過時刻を特定する．図 5 に示すようにwavelet変換の高周波数成分のwavelet係数のRMS(データ長は前後 0.1 秒分)が閾値以上の区間を抽出する．さらに，同期撮影された動画から対応する部分を抽出し，画像から変状を読み取ることで，局所変状抽出の正誤を判断する．

(2)検証　局所変状が多く見られたNEXCO中日本管内の路線約 3km区間において検証を行った．加速度応答から抽出された 34 個のピーク中，局所変状は 32 個であり，高い精度で局所変状を抽出できた．

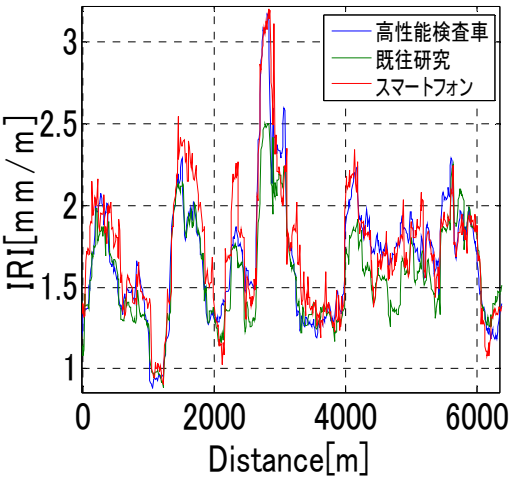

図 4　IRI 推定結果

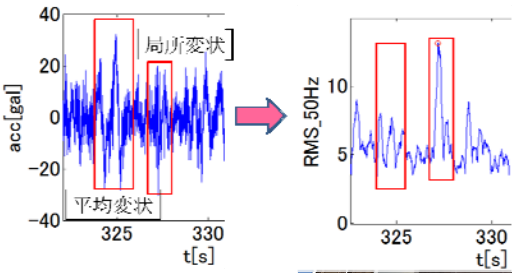

図 5　局所変状の抽出

4. 局所変状と IRI　図 6 に示すように加速度応答の高周波成分 RMS と IRI を併せて図示することにより， IRI 値とその区間における局所変状の寄与を確認できる．局所変状が多く検出された区間の IRI は概ね大きい値となっているが 7700～8000m 区間などのように局所変状の影響を受けていない箇所もあり，IRI と局所変状の間に明確な関係があるとは言えない．

5. まとめ　計測位置変更による影響の少ない車両応答であるピッチング角速度を用いることで， IRI 推定が可能であることを示し，スマートフォンを用いた IRI 推定精度も既往研究とほぼ同等であることを示した．また，加速度応答の高周波成分を用いて，局所変状の抽出に成功した．さらに，IRI と局所変状には一定の相関があることがわかった．抽出した動画の画像解析 [2]による局所変状の分類が今後の課題である．

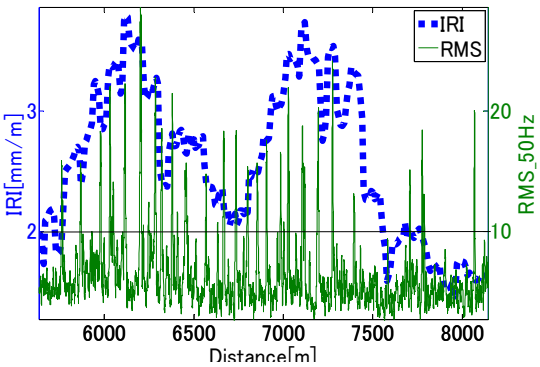

図 6　局所変状と IRI

【謝辞】ニチレキ株式会社の本田拓巳氏，株式会社高速道路総合技術研究所・中日本高速道路株式会社の皆様には数々の有益な助言をいただきました．ここに感謝の意を表します．

【参考文献】1)朝川 皓之，長山 智則，藤野 陽三，西川 貴文，秋本 隆，和泉 公比古：一般車両の走行自動的応答を利用した舗装路面の簡易状態評価システムの開発，土木学会論文集 E1，68(1)pp.20-31，2012，2)三輪陽彦，西川 貴文，長山 智則，藤野 陽三：路面診断のための多目的画像処理と簡易路面診断システム(VIMS)の統合，第 66 回土木学会年次学術講演会概要集，VI-240，2011.9