

論文 携帯情報端末を活用した 低コストな軌道状態管理に関する基礎的検討

田中 博文¹・蘇 迪²・長山 智則³

¹正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail:tanaka.hirofumi.96@rtri.or.jp

²正会員 東京大学大学院特任講師 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail:su@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学大学院准教授 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail:nagayama@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

軌道の維持管理のために、大手鉄道事業者では、軌道検測車や動揺測定装置等を活用している。これらは高精度に動的な軌道の挙動を管理できる一方で高価なため、地域鉄道事業者等では、自社でこれらの設備を導入することは困難であり、軌道の維持管理のレベルに差が生じているのが実態である。このような背景に対し、著者らは地域鉄道事業者等においても導入可能な、低コストな軌道状態管理手法の構築を目指している。本研究では、安価な携帯情報端末を用いた、営業車による軌道状態モニタリングについて、基礎的な検討結果を報告する。具体的には、携帯情報端末にインストールした計測専用のアプリケーションによって、これを設置した営業車両の走行速度、加速度・角速度、車内の音声データ等を取得し、これらの取得データの軌道の維持管理への適用を検討した。また、携帯情報端末による取得データを、鉄道専用の測定機材による取得データと比較し、列車動揺や、レール波状摩耗等の軌道状態管理への活用可能性について検討した。

Key Words : on-board monitoring, track maintenance, position identification, car body acceleration, rail corrugation, smartphone

1. はじめに

鉄道事業者にとって、軌道の維持管理は鉄道の安全安定輸送のために必須である。2007年に国土交通省から通達された「鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）¹⁾」（以下、「維持管理標準」という。）およびそれを補足するための鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）の手引き²⁾」（以下、「維持管理標準の手引き」という。）では、技術基準の性能規定化の流れに沿って、軌道の維持管理のうち、主に検査に関わる事項について標準的な方法が示されている。この中では、各種検査を適切に行うことが規定されている一方で検査機器は高価であることから、鉄道事業者の規模によっては、簡易な方法による検査に寄らざるを得ないことも示されている。

このような状況は道路分野においても同様であり、道路の維持管理のために、簡易な検査装置や検査方法の検討が進められてきている。既に複数の会社がサービスの提供を開始しており、道路分野では携帯情報端末を用いた路面性状評価技術が普及しつつある³⁾⁴⁾。これらの技

術は、携帯情報端末の特徴、すなわち、汎用かつ低コストな装置、および内蔵されている各種センサを活用したものである。

また、鉄道分野においても、簡易な装置構成による軌道状態診断技術の開発⁵⁾や、携帯情報端末を軌道の維持管理に活用する検討⁷⁾⁸⁾⁹⁾が近年行われている。しかしながら、携帯情報端末の特性を考慮した上での、適用範囲について明確には言及されていない。また、GPSおよび加速度センサのみに着目しており、その他のセンサの活用については十分な検討がなされていない。

本研究では、これらの背景に鑑み、鉄道の維持管理の低コスト化を目的として、携帯情報端末を活用することを全般的に検討した結果をとりまとめた。具体的には、①携帯情報端末を活用した計測方法およびデータ処理方法、②測定データからキロ程を把握するための位置同定手法、③列車動揺管理への適用性、④レール波状摩耗管理への適用性、⑤その他の軌道状態管理への応用、についてそれぞれ検討した。以下、検討結果を詳述する。

2. 携帯情報端末を用いた計測方法およびデータ処理方法

本章では、一般に市販されている携帯情報端末を用いて、鉄道車両で各種データを計測するための方法、および取得データの処理方法について述べる。

(1) 計測に用いた携帯情報端末

本研究では、簡易かつ低コストな計測を実現するために、汎用の携帯情報端末として、アップル社製の iPod touch (第5世代)¹⁰および iPhone SE¹¹を用いることとした。これらの携帯情報端末はセンサとして、3軸の加速度センサ、3軸のジャイロ、マイクロフォンとカメラを内蔵している。また、iPhone SEはGPSレシーバを内蔵しているが、iPod touch (第5世代)は内蔵していない。しかし、外付けのGPSレシーバをライトニングコネクタに装着し、GPS信号を受信させることは可能である。

(2) 計測に用いたアプリケーション

計測には、著者らの研究グループが開発した携帯情報端末用のアプリケーション「iDRIMS measurement」¹²

(Dynamic Response Intelligent Monitoring System measurement app for iOS) を活用した。iDRIMSは、主に道路の乗り心地を評価するために、加速度・角速度センサおよびGPSを用いて車両応答を計測するアプリケーションであり、計測データはサーバに送信し、道路舗装面の凹凸性状の評価指標であるIRI (International Roughness Index : 国際ラフネス指数) や路面プロファイルを推定することが可能である¹²。著者らは振動台実験を行って、道路舗装評価に関わる周波数帯域において、加速度及び角速度の十分な計測精度を検証した¹³。iDRIMSを搭載した一般乗用車は、(一財)土木研究センターの実施する路面性状自動測定装置性能確認試験において、平坦性指標に関する合格実績を有している。また、iDRIMSは、道路舗装面の管理以外の用途においても、携帯情報端末の各種センサを用いて、それを設置した対象の各種応答を計測することができる。

図-1にiDRIMSの計測画面を、表-1にiDRIMSによる計測項目の一覧を示す。

(3) 携帯情報端末の設置方法

鉄道分野においては、例えば、列車動揺管理のために加速度を測定する場合は、維持管理標準の手引き²⁾においては、正確な測定を行うために、センサは最前部前台車または最後部後台車上の床面上に、列車進行方向に対して真直ぐになるように配置すること、と示されている。また、レール波状摩耗管理のために車内音を測定する場合にも、転動音以外の雑音を可能な限り収録しないようにするために、マイクロフォンは床面に設置することを

推奨している¹⁴。これらを勘案し、通常は、運転室内の床面にセンサを設置することが多い。

一方で、運転室内の床面にセンサを設置した場合、携帯情報端末本体に内蔵されたGPSレシーバは、鉄道車両の構体が遮蔽物となるために受信感度が低下すると考えられる。GPSの受信感度を向上させるには、携帯情報端末そのものを、あるいは外付けのGPSレシーバのみをフロントガラス面近傍に設置することが考えられる。図-2に、携帯情報端末の設置方法の例を示す。なお、図-2(c)の設置方法は、床面での測定では無いために、測定データを評価する際に注意が必要である。

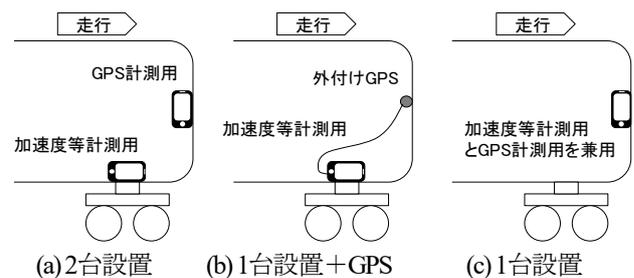


(a) メイン画面 (b) 計測項目設定画面

図-1 iDRIMSの計測画面

表-1 iDRIMSによる計測項目の一覧

項目	備考
GPS	移動速度 緯度・経度 iPod touch使用の場合は外付けが必要
加速度	X
	Y
	Z
角速度	X
	Y
	Z
音声	モノラル 外付けマイクを使用すればステレオでも収録可能
動画	静止画と動画の同時記録は不可
静止画	
地磁気	iPod touch使用の場合は計測不可



(a) 2台設置 (b) 1台設置+GPS (c) 1台設置

図-2 携帯情報端末の設置方法の例

(4) 計測データの事前処理方法

前述の携帯情報端末を用いて計測した場合、加速度と角速度データは100Hz、音データは44.1kHz、GPSによる速度データは1Hzサンプリングとなる。しかしながら、携帯情報端末を用いた測定データには、サンプリング間隔に微小な揺らぎが生じることがわかっている¹²⁾。

このサンプリング間隔の微小な揺らぎを補正し、かつデータ間のサンプリング時刻を同期させるために、著者らは別途開発した「iDRIMSResampler¹⁵⁾」を用いて補正処理（リサンプリング）を行っている。その概略的な原理としては、図-3に示すように、アップサンプリング、フィルタリング、ダウンサンプリングの組合せで実現される¹⁶⁾。同図は、リサンプリング前後のサンプリング周波数の比が LM の例である。

このリサンプリング処理を施すことによって、携帯情報端末を用いた計測でも、元の信号の歪みを抑制しつつ、測定時刻を等間隔かつデータ間で同期することが可能となり、測定データの品質向上が可能となる。

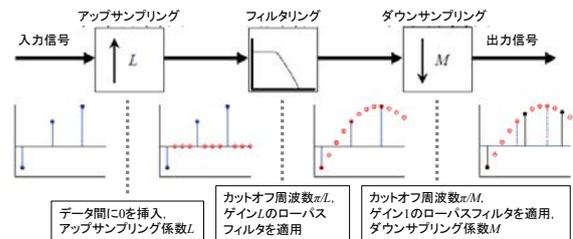


図-3 リサンプリングの原理¹⁶⁾



図-4 携帯情報端末による計測からデータ分析の手順

(5) 計測データの処理方法

前述のリサンプリングを施したデータに対し、鉄道事業者での導入を想定し、軌道保守管理データベースシステム「LABOCS¹⁷⁾」でのデータ処理手順を構築した。

図-4に、計測からデータ分析までの一連のデータ処理手順を示す。まず、計測用のソフトウェアをインストールした携帯情報端末を用いて、鉄道車両上で計測を行う。その後、計測した生データをPCに取込む。なお、この手順は、自動でサーバに生データを転送することも可能である。

次に、PCあるいはサーバに取り込まれたデータを分析する。なお、データの分析では、生データをリサンプリングする前処理を行って中間データを生成し、これをLABOCS用の分析用のデータとしている。

最後に、LABOCSによるデータ分析を行うことになるが、この詳細については以降の各章で詳述する。

3. 位置同定およびキロ程補正手法の検討

通常、軌道検測車や常設型の軌道モニタリングシステムでは、速度発電機からの等距離パルス信号と地上子の検知信号を用いて、測定データを距離化するとともに、地上との位置照合を行っている。

一方、携帯情報端末のみならず、可搬型のモニタリングシステムを構成するにあたっては、これらに頼らない位置同定およびキロ程把握手法を確立する必要がある。そこで、本章では、携帯情報端末から得られる各種データを活用した位置同定およびキロ程把握手法とその精度

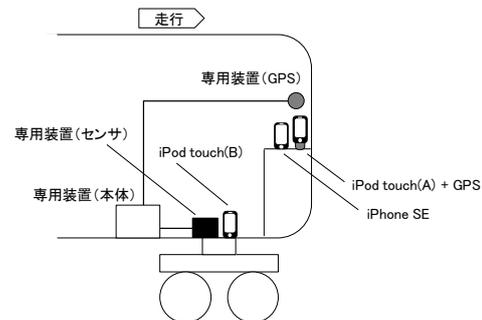


図-5 営業車での計測状況

を検証する。

(1) 営業車での計測概要

携帯情報端末による軌道状態管理を検証するにあたり、著者が鉄道の動揺・波状摩耗管理用に開発した可搬型の装置¹⁴⁾（以下、「専用装置」という。）と、携帯情報端末を用いた同時計測を実施した。図-5に、各測定機材の設置概要を示す。なお、計測は、特急型車両の運転室内で実施した。専用装置は、GPSレシーバ、加速度センサ、ヨーレートジャイロを搭載している。今回、センサは車体床面に、GPSレシーバはフロントガラス近傍に設置した。

携帯情報端末は、iPod touchを2台、iPhone SEを1台用いた。iPod touch (A) には、Bad ELF社の外付けのGPSレシーバ (Bad ELF GPS for Lightning Connector¹⁷⁾) を接続し、iPhone SEと合わせて、専用装置のGPSの近傍 (フロントガラス近傍) に設置した。iPod touch (B) は、専用装置のセンサ近傍 (車体床面) に設置した。

なお、計測した路線は、都市間を結ぶ延長約80km間に6つの停車駅 (特急停車駅) を有する地方路線である。

(2) GPSの速度データの活用

前述した通り、著者らが開発している専用装置¹⁴⁾においても、位置同定およびキロ程把握のために、GPSの速度データを活用している。本装置のGPSレシーバのサンプリング周波数は5Hzである。

図-6に、モニタリング装置のGPSによる速度データと、携帯情報端末および携帯情報端末に接続したGPSによる速度データの一例を示す。各図には、専用装置、iPod touchにGPSを外付けしたものの、iPhone SEの速度データを示している。

図-6(a)より、速度の生データは、計測手段に関わらず、同様の傾向を示している。また、何れの計測手段においても、一区部間でノイズが発生している。また、延長の長いトンネル区間において、何れの装置もGPSを受信できず、速度がホールドされる、あるいは0になっていることがわかる。一方で、延長数十m程度の短いトンネルにおいては、GPSの欠測は発生しなかった。

図-6(b)より、速度の移動平均処理後データは、何れの計測手段においても、ノイズが低減されていることがわかる。なお、この例の場合は、2秒間の移動平均処理を行った。

図-7に、図-6(b)に示した移動平均処理後の速度データから演算した距離について、軌道検測車による距離との比を算出した結果を示す。同図より、専用装置および携帯情報端末のGPSから演算した距離は、軌道検測車による距離と比較して、若干の差があることがわかる。今回の検証の結果、その差は最大で約2%程度であった。また、計測手段によって、大きな差は確認されなかった。

以上の結果より、GPSの受信状況にも依存するが、長大トンネルが少なく、測定区間の大部分が明かり区間でGPSの受信状況が良好な場合においては、GPS単独でもノイズ除去等の補正処理を行えば、一定の精度で距離を把握できることがわかった。

(3) キロ程補正による精度向上策の検討

a) 駅停車情報の活用

鉄道車両は駅で停車し、その停車キロ程および駅間のキロ程は一般的に既知である。この停車情報を活用することによって、キロ程補正が可能となる。具体的には、計測車両の停車位置に誤差が無ければ、各駅の停車目標間の距離で補正することによって、GPSによる速度データの距離化による移動距離の累積誤差を解消できる。

b) 曲線情報の活用

鉄道では、曲線のキロ程が既知である。そこで、例えば、ヨーレートによって曲線を検知し、そのキロ程を照合することによって、駅間においても詳細なキロ程を補正することが可能となる¹⁹⁾。この技術は、鉄道車両がトンネル等を通り、GPSの信号を受信できない区間があ

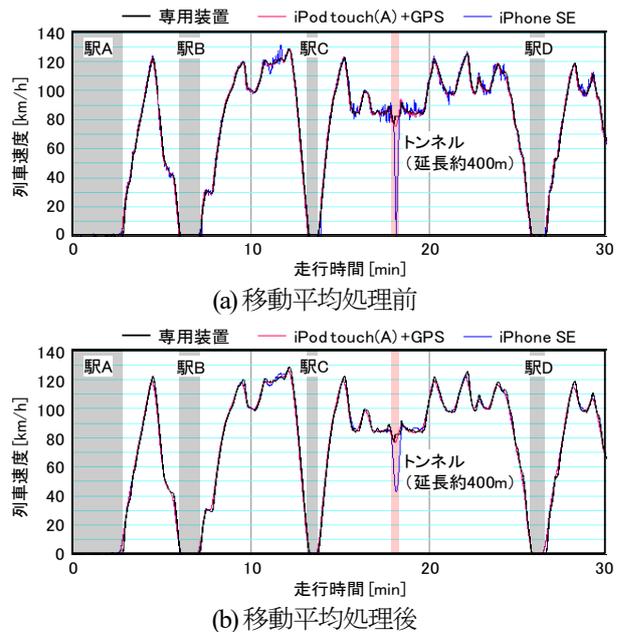


図-6 GPS速度データ（時間軸）の比較の例

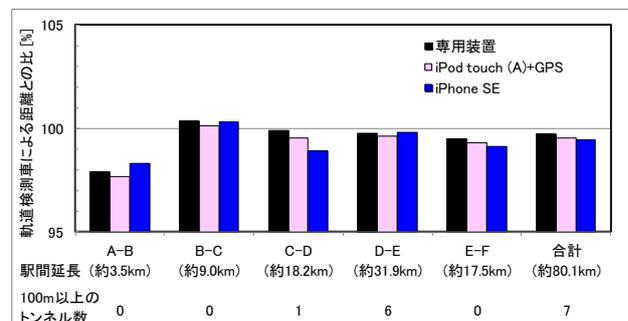


図-7 移動平均処理後の速度データから演算した距離と軌道検測車による距離との比

った場合においても、それが短時間であれば、実用上十分な精度でキロ程補正できることがわかっている。

c) 継目情報の活用

著者らは、継目検知による速度データの補正アルゴリズムも開発²⁰⁾している。これは、鉄道車両の台車が継目を通過する時に発生する2回の衝撃音をマイクロフォンで収録し、それと軸距との関係から、継目通過時の速度を算定し、速度データの補正を行うものである。

これらの各精度向上策を軌道状態管理に求められるキロ程補正の精度に合わせて、ソフトウェアに実装することにより、携帯情報端末のみならず、速度発電機パルスや地点検知信号に頼らない可搬型のモニタリングシステムの構築が可能となる。

4. 各種軌道状態管理への適用可能性の検討

低コストな軌道状態管理を実現するに際し、本章では、

列車動揺，レール波状摩耗，その他の軌道状態のそれぞれについて，携帯情報端末の適用可能性を検討した。

(1) 検討に用いたデータの概要

携帯情報端末による各種軌道状態管理を検討するにあたり，検討に使用したデータは，3章で位置同定およびキロ程補正手法の検討において使用したデータと同時に同じ計測手段で測定したデータである。

(2) 列車動揺管理への活用

本節では，携帯情報端末で測定した加速度データを用いた「列車動揺管理」について検討した。なお，本節の分析においては，iPod touchは床面で計測したiPod touch(B)のデータを，iPhone SEはフロントガラス近傍で計測したデータを用いており，加速度の計測位置が異なっている。

a) 列車動揺管理の実態

列車動揺は，維持管理標準¹⁾においては，「軌道状態全般を把握するため，必要により列車動揺検査を実施するものとする。」と規定されている。一方，軌道変位検査は，測定データの再現性が高いこと等を理由に，主たる軌道状態検査の項目のひとつとされており，列車動揺検査は軌道変位検査の従たる検査に位置付けられている。

一方で，動的な軌道検測は，専用の軌道検測車が必要となるが，これは非常に高価なため，大手鉄道事業者を中心とした一部の事業者のみしか実施できていない。そのため，列車動揺測定は専用の軌道検測車で軌道検測を行えない地域鉄道事業者においては，動的な軌道状態を把握する手段として，重要な検査である。しかしながら，専用の列車動揺測定装置²⁾は，一般的に高価であり，規模の小さな鉄道事業者では，その有用性は認識していても，導入できない実態もある。そのため，地域鉄道事業者では，体感による列車動揺の管理が行われたり，列車動揺管理を実施していない事業者もある。

b) 専用装置と携帯情報端末の比較

図-8に，上下加速度の波形の例を示す。何れの波形も，維持管理標準の手引き²⁾を参考に，10Hzでローパスフィルタ（以下，「LPF」という。）処理を施している。また，携帯情報端末では重力加速度成分を除去するために，0.5Hzのハイパスフィルタ（以下，「HPF」という。）処理も合わせて施している。同図より，何れの装置による加速度波形も同じ傾向を示していることがわかる。

図-9に，上下加速度の波形の全振幅の比較を示す。なお，全振幅は，10HzでLPF処理した波形に対して算出した。同図より，床面に設置したiPod touch(B)は，専用装置と比較してほとんど差はない。一方で，フロントガラス近傍に設置したiPhone SEでは，専用装置と比較して約13%程度大きい。この差は，設置位置の差が影響しているものと考えられる。

図-10に，上下加速度の波形のパワースペクトル密度

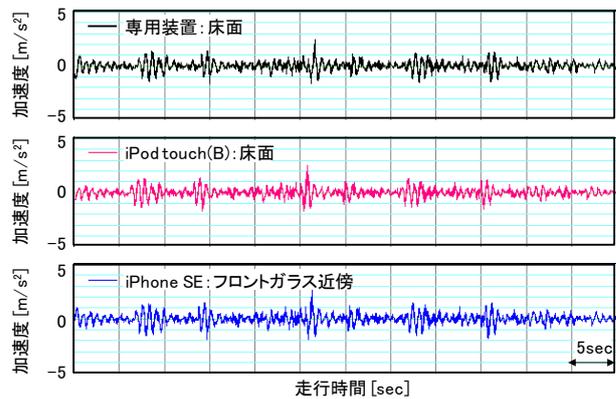


図-8 上下加速度の波形の例
(何れも10Hz-LPF処理波形)

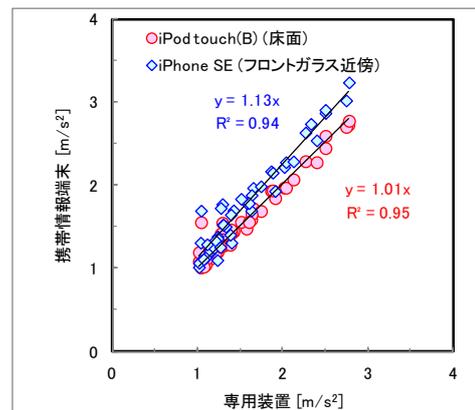


図-9 上下加速度の全振幅の比較 (10Hz-LPF)

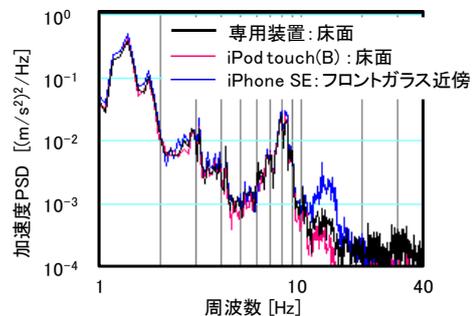


図-10 上下加速度のPSDの例

（以下，「PSD」という。）を示す。なお，PSDは，10HzでLPF処理する前の波形に対して算出した。同図より，10Hz以下の周波数帯域においては専用装置と比較して，何れの携帯情報端末も顕著な差は無い。ただし，フロントガラス近傍に設置したiPhone SEでは，12Hz帯域に床面に設置した専用装置およびiPod touch(B)には見られなかったピークが見られる。この差は，設置位置の差によるものと考えられる。

c) 列車動揺管理への活用法

以上の検討結果より，携帯情報端末で測定した加速度データは，携帯情報端末を適切に設置し，かつ適切なフィルタ処理を行えば，専用装置で測定した加速度データと，振幅および周波数特性は概ね一致することが確認で

きた。したがって、今回検証した限りでは、一定の精度で列車動揺管理に活用できることがわかった。なお、紙面の都合上割愛するが、左右加速度においても同様の傾向が得られた。

ここで、列車動揺は管理値が厳密に設定されている。一方で、携帯情報端末に内蔵されている加速度センサの特性は、不明な点も多い。例えば、同じ型番の携帯情報端末であっても、製造ロットあるいは個体によっては内蔵されているセンサに性能差が生じる可能性もある。なお、著者らがこれまでに利用した携帯情報端末では顕著な個体差は確認されていない。これらのことを理解した上で、個体ごとにキャリブレーションを行って一定の精度を確保する、あるいは汎用の廉価品であることを割り切った上で列車巡視の際に動揺発生箇所を把握するためのモニタリング用の支援装置とする、等の活用法が考えられる。

(3) レール波状摩耗管理への活用

本節では、携帯情報端末で測定した音データを用いた「レール波状摩耗管理」について検討した。なお、本節の分析においては、iPod touchは床面で計測したiPod touch(B)のデータを、iPhone SEはフロントガラス近傍で計測したデータを用いており、車内音の計測位置が異なっている。

a) レール波状摩耗管理の実態

レール波状摩耗は、維持管理標準¹⁾においては、直接は管理すべき軌道状態として明記されていない。維持管理標準の手引き²⁾においては、軌道部材検査中のレール一般検査において、一部の鉄道事業者で管理項目に挙げられていることが読み取れるが、その管理方法については明記されていない。

著者らが過去に実施した調査の結果²⁾、多くの鉄道事業者においては、レール波状摩耗の管理の必要性は認識されているものの、線路長手方向に点在する波状摩耗を適切に管理する手法が存在しておらず、線路巡視の際にその発生の有無を調査する程度である。なお、一部の鉄道事業者においては、軌道検測車の軸箱加速度を用いた管理手法が検討されている²⁾。

しかし、レール波状摩耗は、鉄道事業者の規模に関わらず、騒音・振動を引き起こしたり、軌道部材の劣化や軌道変位進みを助長し、軌道の保守コストを増大させることから、適切に管理することは軌道管理の低コスト化につながると考えられる。

b) 専用装置と携帯情報端末の比較

4章において検証した列車動揺測定と同時に、専用装置と携帯情報端末を用いて、同時に車内音の測定も実施した。

図-11に、車内音の波形の例を示す。当該区間の列車

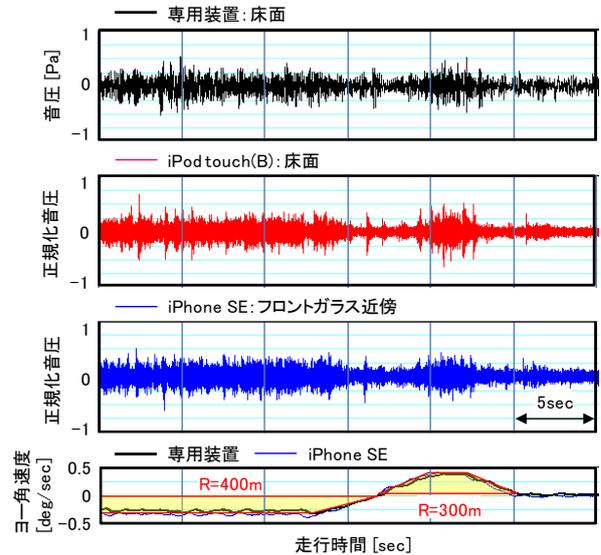
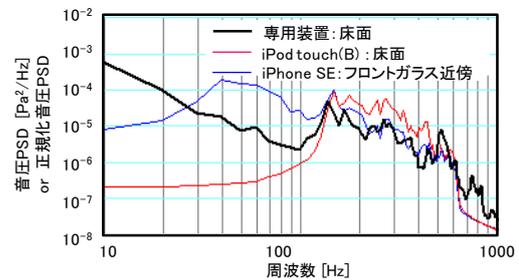
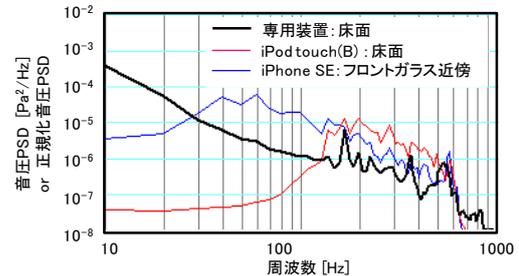


図-11 車内音の波形の例 (何れも600Hz-LPF処理波形)



(a) 曲線区間 (レール波状摩耗有り)



(b) 直線区間 (レール波状摩耗無し)

図-12 車内音のPSDの例

の走行速度は約80km/hであった。何れの波形も、600HzでLPF処理を施している。図中には、曲線区間を判別するために、ヨー角速度を併記している。同図より、何れの装置による車内音の波形も、曲線区間で振幅が大きくなっており、レール波状摩耗に起因する音を検出していることがわかる。なお、携帯情報端末で収録した音圧は、データ処理の過程で正規化されており、無次元量として取り扱っている。

図-12に、車内音の波形のPSDを示す。図-12(a)はレール波状摩耗が発生している曲線区間、図-12(b)はレール波状摩耗が発生していない直線区間のPSDである。同図より、MEMSのマイクロフォンを使用している専用装置のPSDと比較して、携帯情報端末のPSDは低周波側で傾向が異なっている。iPod touch(B)では、150Hzより低周波側でゲインを有していない。iPhone SEでは、150Hzより

低周波数側で専用装置よりもゲインが大きくなっている。これらのPSDの差は、機種に依存するものと考えられるが詳細は不明である。

ここで、一般的なレール波状摩耗によって励起される転動音の周波数は、約150Hzであることがわかっている¹³⁾。図-12(a)に着目すると、何れの計測装置も約150Hzに明瞭なピークを有しており、レール波状摩耗に起因する転動音を検出していることがわかる。一方で、図-12(b)は、何れの計測装置も図-12(a)と比較して全体的にパワーが小さくなっている。

c) レール波状摩耗管理への活用法

以上の検討結果より、携帯情報端末で測定した音声データは、適切な信号処理を行えば、今回検証した限りでは、専用装置で測定した音データと、周波数特性が概ね一致することが確認できた。一方で、振幅については、信号処理の過程で正規化されてしまい、物理量として取り扱うことができなかった。これについては、引き続き、検討を進める。

しかしながら、レール波状摩耗の管理は、列車動揺とは異なり、厳密な管理値や管理手法が規定されていない。上記の管理の実態でも述べたが、現状では、レール波状摩耗の発生区間やその程度を把握する手法は、著者が開発している専用装置（レール波状摩耗モニタリング装置）を始め、僅かである。したがって、携帯情報端末によってレール波状摩耗の発生位置が把握できることは、非常に有意義であると考ええる。

(4) その他の軌道状態管理への活用の検討

携帯情報端末では、位置同定のために活用したGPSの速度データおよび姿勢角データ、列車動揺管理のために活用した加速度データ、レール波状摩耗管理のために活用した音データ以外にも、動画や静止画も取得可能である。さらには、GPSデータからは、現在は速度情報のみを活用しているが、緯度・経度情報も取得している。本章では、これらのデータを活用した、列車動揺管理およびレール波状摩耗管理以外の軌道状態管理への適用可能性を検討した。

a) 簡易な列車巡視システムへの適用

携帯情報端末を、鉄道車両のフロントガラス部に、列車進行方向を撮影可能なように設置することによって、前方画像（動画）の取得が可能となる。この前方画像を用いて、簡易な列車巡視システムの構築が可能となる。この場合、前述の列車動揺や車内音を測定する携帯情報端末の設置方法とは異なることから、同時に測定する場合には別の端末を用いる、あるいは固定方法を工夫する等の必要が生じる。

b) 軌道変位の推定

列車動揺管理のために測定した加速度データを用いて、

軌道変位データを推定することも可能と考える。道路分野においては、既に路面プロファイル（道路の縦断形状）の推定が実現されている¹³⁾。この技術を活用し、著者らは、鉄道軌道の軌道変位の推定手法の開発を進めている²²⁾。しかしながら、鉄道車両の場合、レール面と車体床面の間には、軸ばねと空気ばねの2次のばね系が介在していること、左右レールの軌道変位を個別に管理する必要があること等から、実用的な推定精度を得るには、今後も手法の改良が必要である。

c) 高頻度検測・多編成検測

携帯情報端末を鉄道車両に常設することによって、各種データの高頻度検測が可能となる。場合によっては、複数の鉄道車両に常設することも想定される。電源供給については別途検討が必要であるが、検測データについては、既に予め設定したサーバに自動で転送される機能を有しているため、自動計測が可能な状態となっている。

何れにしても、これまで鉄道の軌道管理においては、各種検査に専用の検査機器・装置が活用されることが多かったが、これらの機器は高価なため、導入できない事業者も多数あった。これに対し、携帯情報端末は、比較的安価なため、今後、その精度や個体差の有無等についてより詳細な分析を進める必要はあるが、その特性を理解した上であれば検査機器への適用は十分に可能であると考ええる。また、現状においても、検査を補完するためのモニタリングへの利活用については十分に可能であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、鉄道の維持管理の低コスト化を目的として、携帯情報端末を軌道状態管理に活用することを検討した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 携帯情報端末のGPSによって計測された速度データを用いた位置同定精度を検討した。その結果、GPSの測データから演算した移動距離は、実距離と比較して最大で2%程度の誤差であった。駅停車や曲線検知によるキロ程補正を併用すれば、実用上十分な精度でキロ程把握が可能であることがわかった。
- (2) 携帯情報端末で測定された加速度データを用いた列車動揺管理の可能性について検討した。その結果、携帯情報端末による加速度データは、適切なフィルタ処理を行えば、専用装置による加速度データと、振幅、周波数特性ともに高い精度で一致することがわかった。したがって、携帯情報端末は、列車動揺管理に活用できる可能性が示された。
- (3) 携帯情報端末で測定された音声データを用いたレー

ル波状摩耗管理の可能性について検討した。その結果、携帯情報端末による音声データは、適切なフィルタ処理を行えば、専用装置による音声データと周波数特性が一致することがわかった。したがって、携帯情報端末は、レール波状摩耗管理に活用できる可能性が示された。

なお、鉄道の軌道状態は、管理項目によっては厳密な管理値が規定されているために、校正が行われていない機材を検査に使用することは十分に注意が必要である。しかしながら、携帯情報端末の特性を理解した上で、検査を補完するための各種モニタリングへの活用については現状でも十分に可能と考えられる。今後も引き続き、鉄道事業者の軌道管理の高度化を支援するため、低コストな軌道状態管理手法について研究を進める。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：通達 鉄道構造物等維持管理標準の制定について，国鉄技第 73 号，2007.1.16.
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）の手引き，2007.
- 3) JIP テクノサイエンス：https://www.jip-ts.co.jp/news/2018/01/31-1.html，2018.03.30 閲覧.
- 4) バンプレコーダー：http://www.bumprecorder.com/，2018.03.30 閲覧.
- 5) 富士通交通・道路データサービス：http://www.fujitsu.com/jp/group/ftd/activities/presentation/index.html，2018.03.30 閲覧.
- 6) 小島崇，綱島均，松本陽，水間毅：車上測定データによる軌道の異常検出（第 2 報，プローブシステムの開発と検証），日本機械学会論文集（C 編），Vol.75，No.754，pp.264-271，2009.
- 7) 奥村悠樹：列車巡視情報活用に向けた取組み - 列車巡視支援型ポータブル動揺計の開発 - ，鉄道工学シンポジウム論文集，Vol.18，pp.1-4，2014.
- 8) 河野皓治，幸野茂，佐古武彦：スマートフォン列車動揺測定システムの開発，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，Vol.52，532，pp.1-4，2015.
- 9) 八木浩一：スマートフォン内蔵加速度センサによる鉄道軌道の日常点検に向けた一試行，鉄道工学シンポジウム論文集，Vol.21，pp.261-266，2017.
- 10) iPod touch（第 5 世代） - 技術仕様：https://support.apple.com/kb/SP657?viewlocale=ja_JP&locale=ja_JP，2018.03.30 閲覧.
- 11) iPhoneSE - 技術使用：https://support.apple.com/kb/SP738?viewlocale=ja_JP&locale=ja_JP，2018.03.30 閲覧.
- 12) JIP Techno Science Corporation：iDRIMS measurement，<https://itunes.apple.com/jp/app/idrims-measurement/id1076491984?mt=8>，2018.03.30 閲覧.
- 13) Zhao B., Nagayama T., Toyoda M., Makihata N., Takahashi M., Ieiri M.: Vehicle model calibration in the frequency domain and its application to large-scale IRI estimation, Journal of Disaster Research, Vol. 12, No. 3, pp. 446-455, 2017.
- 14) 田中博文，芳賀昭弘：車上からレール波状摩耗を捉える，RRR，Vol.68，No.4，pp.10-13，2011.
- 15) Tomonori Nagayama：iDRIMS Resampler，<http://www.bridge.t.u-tokyo.ac.jp/nagayama/iDRIMSResampler.pdf#search=%27iDRIMS+resampler%27>，2018.03.30 閲覧.
- 16) 長山智則，B.F. Spencer Jr.，藤野陽三：スマートセンサを用いた多点構造振動計測のためのミドルウェア開発，土木学会論文集 A，Vol.65，No.2，pp.523-535，2009.
- 17) 田中博文：軌道保守管理データベースシステム LABOCS（ラボックス）の機能紹介と新バージョンのリリース，新線路，Vol.69，No.7，pp.24-26，2015.
- 18) BADEL GPS FOR LIGHTNING CONNECTOR：<https://badelf.com/pages/be-gps-1008-detail>，2018.03.30 閲覧.
- 19) 田中博文，猿木雄三，芳賀昭弘，福山幹康：可搬式軌道状態モニタリング装置のための車上測定データ距離化手法，第 17 回鉄道技術連合シンポジウム（JRail2010），pp.337-340，2010.
- 20) 蘇迪，佐野聡，田中博文，長山智則，水谷司：加速度と車内音の相互補正による鉄道車両の位置同定手法，構造工学論文集，Vol.62A，pp.571-584，2016.
- 21) 田中博文，松本麻美，原田祐樹，桶谷栄一：軌道検測車で測定される軸箱加速度を活用したレール波状摩耗の状態評価と管理手法に関する研究，構造工学論文集，Vol.63A，pp.541-549，2017.
- 22) Jothi S. T., Su D., Tanaka H., Zhao B. and Nagayama T.: Inverse analysis for rail track profile estimation from in-service railway vehicle, The 13th International Workshop on ANCRiSST, 2017.

(2018.4.6 受付)

FUNDAMENTAL STUDY OF LOW-COST TRACK CONDITION MONITORING BY USING SMARTPHONES AND TABLETS

Hirofumi TANAKA, Di SU and Tomonori NAGAYAMA

In this study, we examined an on-board track condition monitoring in commercial train by using smartphones and tablets. First, we constructed a measurement method of train speed, acceleration and sound data by using these devices with an application. Next, we examined the data processing method to apply these measured data to the maintenance of the railway track conditions. Finally, we compared the data measured with the smartphones with the data measured with a highly accurate measuring device for railway condition monitoring. As a result, we confirmed that the smartphones can be used for the management of car body acceleration responses and monitoring of rail corrugation.