特集≫ 維持管理・延命化,リニューアル

スマートフォンを用いた舗装路面評価手法の開発

白 井 悠

舗装の維持管理において必要となる路面の凹凸や段差などの舗装路面性状を低コストで評価する手法として、スマートフォンにより収集可能な加速度データを活用するシステムツールを開発したので報告する。本システムは、自動車のバネ上振動加速度と段差量や国際ラフネス指数 (IRI) の相関関係に着目し、スマートフォンに内蔵された加速度計から得られるデータを専用のアプリケーションで処理することにより、調査の低コスト化を実現している。本報告では、本システムツールの概要について述べるとともに、性能規定型維持工事の自主管理に活用した事例について紹介する。

キーワード:舗装、維持管理、低コスト、道路利用者、加速度、乗り心地、スマートフォン

1. はじめに

2012年の笹子トンネル事故以来, 平成26年7月に 定期点検に関する省令・告示が施行されるなど、我が 国の維持管理に対する重要性が高まっている。舗装分 野においても、舗装の維持修繕ガイドブック 2013 で は、我が国の舗装管理のあるべき姿の理想として「道 路利用者および納税者にとってわかりやすい透明性の ある管理の実現、および最小コストで最適な効果を調 達する効率的な管理の実現」¹⁾が示されている。この 理想を達成するためには、計画から評価に至る一貫し たマネジメントを実施するといったメンテナンスサイ クルを構築・実行することが重要である。この中で、 特に、調査・点検はインフラの劣化予測を行う上で不 可欠であるが、実際にはこれらの継続的実施と、これ に伴うコスト負担が課題となっている。そこで、筆者 は、スマートフォンを用いた舗装路面評価装置を開発 した。本測定装置の大きな特長は2つある。第一は道 路利用者が受ける振動(バネ上振動加速度)を路面評 価に用いている点であり、第二は、導入が容易かつ低 コストという点である。本測定装置を活用すること で、本調査箇所の選定を行うための事前調査(一次評 価)が可能となり、また、道路利用者感応評価での管 理への展開が期待でき、結果として維持管理業務全体 のコストダウンにつながるものと筆者は考えている。

本論文では、まず、スマートフォンを用いた本測定 装置の紹介を行い、以下①路面性状値(IRI/段差量) と加速度の関係、②路面の形状と加速度の関係、③性 能規定型維持工事における適用事例について述べる。

2. スマートフォンを用いた路面評価システムツール

(1) 装置の概要

本システムツールで用いる測定装置は専用のアプリを内蔵したスマートフォンである。写真—1に,本測定装置の車載状況を示す。本測定装置は普通乗用車に設置が可能であり,写真—1に示すように,自動車のダッシュボード付近の運転に支障のない箇所に設置し測定を行う。スマートフォンに内蔵された加速度センサーと GPS 受信機を用いることで,自動車のバネ上振動と位置情報を専用アプリで収集し,解析を行うものである。



写真— 1 本測定装置設置例

図―1に本測定装置を用いたデータ測定から路面 性状値算出までのシステムフローを示す。

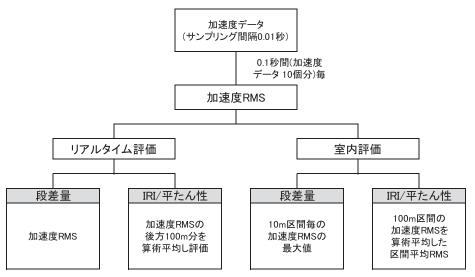


図-1 データ測定から路面性状値算出までのフロー

図-1のシステムフローより、まず、本測定装置 を車両に設置したのち、勾配の小さい場所で初期値(補 正を目的とした計測)を行う。データ抽出の所要時間 は 10 秒である。初期値は,スマートフォンの傾きす なわち、鉛直方向軸がスマートフォン内の X, Y, Z 軸のどの軸に該当するかを自動判定すると同時に、ス マートフォン設置時の微妙な傾きを加速度として保有 し、加速度をゼロ補正するために用いられる。次に、 初期値抽出後、測定を開始する。走行時に発生する鉛 直方向の振動加速度(以下加速度)は、スマートフォ ン内蔵の加速度センサ(サンプリング間隔 0.01 秒) を用いて収集する。収集した加速度から段差や IRI と いった路面性状値を算出する。加速度データは10個 分のデータ、つまり 0.1 秒間毎に RMS (Root Mean Square: 実効値) に変換する (以下、加速度 RMS)。 本測定装置は加速度 RMS を用いて「リアルタイム評 価」と「室内評価」の2つの方法にて段差と乗り心地 の評価を行うことができる。「リアルタイム評価」と は測定しながらスマートフォン画面上に評価結果を表 示するものである。一方「室内評価」とは測定データ を事務所に持ち帰り、PC を用いて解析/評価する手 法である。本測定装置を活用したシステムは簡易かつ 低コストで路面性状を評価する装置であることから、 日常点検パトロールにおいてデータを収集することが 望ましいと考えている。

3. 路面性状値と加速度 RMS の関係²⁾

(1) 実験概要

IRI および段差量と加速度 RMS との関係は、実車による走行実験により確認した。実験の概要を表一1

表一1 実験の概要

項	目	IRI 段差量		
車	種	RAV4(トヨタ)		
設定速度		30, 40, 50 km/h	20, 30, 40 km/h	
RMS 値		区間平均 RMS	加速度 RMS	
対	象	一般道路	模擬路面	
		IRI: $1.9 \sim 8.5 \text{ m/km}$	t = 9, 18, 27, 36 mm	
比較データ		路面性状測定車	実測値	

に示す。

IRIと加速度 RMS の関係は一般道路での走行データ、一方で段差量と加速度 RMS の関係実験はコンパネを重ねて作製した模擬段差で行った走行実験データにより検討を行った。なお、模擬段差の形状はコンクリート舗装版目地部を模擬している。IRI は区間平均 RMS(加速度 RMS を評価区間長で算術平均したもの)、段差量は 10 m 区間内で最大となる加速度 RMSにより、各路面性状値との相関を確認した。

(2) IRI と加速度 RMS との関係

路面性状測定車により測定した IRI の実測値と本システムにより算出した推定 IRI の関係を図-2に示す。図-2より, IRI と推定 IRI との関係は,バラツキがみられるものの,r=0.72 であり,概ね良好な相関が確認できた。本測定装置を用いることで路面のIRI を一次評価レベルとして把握できることがわかった。

(3) 段差量と加速度 RMS との関係

図─3に模擬段差の段差量と本システムより算出した推定段差量の関係を示す。図─3より、両者の

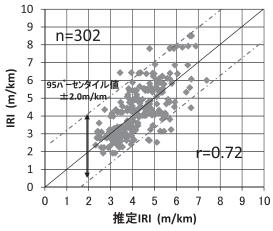


図-2 IRIと推定 IRI の関係

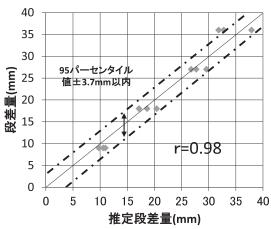


図-3 模擬段差の段差量と推定段差量の関係

相関係数は、r=0.98であり、推定段差量と模擬段差量の誤差の 95 パーセンタイル値は ± 3.7 mm 程度であった。推定 IRI と同様に、一次評価レベルにおいて段差量を把握できることがわかった。

4. 路面形状と加速度 RMS の関係 3)

段差と加速度 RMS との関係は、模擬段差路面のように同一形状の場合は高い相関が確認できた。しかし、実道には緩やかな段差や急な段差など様々な段差形状があり、模擬段差による実験結果ほど加速度 RMS と段差量との相関が得られるか疑問であった。そこで、実道における段差と加速度 RMS との関係を確認した。図―4に実道における段差量と加速度 RMS を示す。図―4より、実道における加速度 RMS と段差量の関係は模擬段差による実験結果よりもバラッキが大きい結果となった。バラッキの要因を調べるために、図―4中の特徴的な点①~④について段差形状と加速度 RMS の関係について確認した。①と②は段差量が同じでも加速度 RMS が異なっているケー

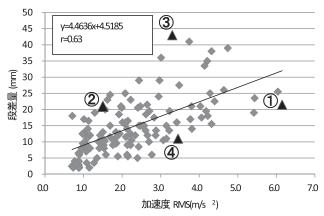
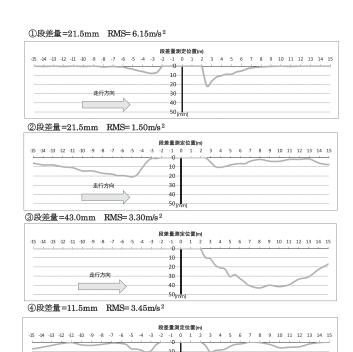


図-4 実道における加速度 RMS と段差量の関係



図―5 段差①~④における形状と加速度 RMS

走行方向

スであり、③と④は、加速度 RMS が同じでも段差量が異なっているケースを示している。

図─5に段差①~④の形状と加速度 RMS の関係を示す。

段差①,②をみると、段差量は同じであるが形状が 異なっている。また、段差③,④をみると、③は『段 差量は「大きい」が形状は「緩やか」』であるが、④ は『段差量は「小さい」が形状は「縦波状」』となっ ている。従って、加速度 RMS は段差の量の他に、段 差形状の影響も大きく受けるものであることがわかっ た。

5. 加速度 RMS と乗り心地の関係

(1) 感応調査の概要

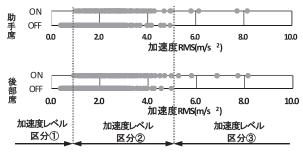
加速度 RMS と乗り心地との関係を把握することを目的に、被験者による感応調査を実施した。調査概要を表一2に示す。感応調査は車両に被験者が搭乗し、段差振動を感じたときと、その振動が不快に感じたときに、それぞれスイッチを押すことでデータを収集した。

表-2 感応調査の概要

項目	内容
人 数	6人
走行速度	$70 \pm 10 \mathrm{km/h}$
乗車位置	助手席,後部席
調査箇所	自動車専用道路

(2) 感応調査結果

図―6に段差振動の認識有無についての感応調査 結果を示す。



図一6 段差振動と感じる加速度

図―6は上段が助手席,下段が後部座席の結果を示しており,横軸が加速度 RMS,縦軸がスイッチの有無を表している。図―6より,感応調査結果は,助手席と後部座席とでは大きな差がなく,以下のとおりとなった。

加速度区分①:1 m/s² 以下: ほとんどの人が認識 しない

加速度区分②: $1 \sim 5 \, \text{m/s}^2$:人によっては認識する加速度区分③: $5 \, \text{m/s}^2$ 以上:ほとんどの人が認識する

次に、段差振動と感じた振動が、不快なものかどうかについて行った感応調査結果について図—7に示す。

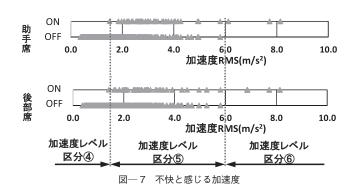
図―7より、助手席と後部座席とでは図―6に示す段差振動と感じる結果と同様に差がなかった。加速度 RMS と振動の不快感の関係については以下のとおりであった。

加速度区分 $4:0\sim 1.5\,\mathrm{m/s}^2:$ ほとんどの人が不快でない

加速度区分 \mathfrak{S} : $1.5 \sim 6 \, \text{m/s}^2$: 人によっては不快である

加速度区分⑥:6 m/s²以上:ほとんどの人が不快 である

図―6, 図―7の結果より,加速度 RMS と段差振動の認識有無,あるいは不快感の間には一定の関係があることと,加速度 RMS の大小に相関があることがわかった。



これらの感応調査より、本測定装置を用いたシステムは、道路利用者視点からの評価も可能といえる。本システムと従来の路面性状の関係を表すことで、より合理的な路面管理への活用に期待できることがわかった。

ここで、図一5に示す段差①、段差②について、 段差量と加速度 RMS から路面の補修要否について試 判定してみた。まず、段差①の加速度 RMS は 6 m/s² 以上であり、ほとんどの人が不快と感じるレベルであ る。段差量としては補修対象とはならないが、道路利 用者視点を考慮すると、早急な補修が必要と判定され る。次に段差②は加速度 RMS が 1.5 m/s² であり、不 快と感じないレベルである。段差量としても補修する 必要はないと判定できる。このように、本システムを 活用することで、従来の段差量に基づく補修の判定に 加えて、道路利用者の不快感の観点からも補修の要否 を判定することができる。

6. 実道における事例

(1) 工事概要

本測定装置を用いたシステムの実道への適用事例を紹介する。本事例は、一般国道における性能規定型維持工事の段差量管理に本測定装置を活用した事例である。工事の概要は表一3に示すとおりである。

表一3 工事概要

項目	内 容	
道路種	自動車専用道路(上下線:片側2車線)	
性能規定値	段差量:30 mm	
工事期間	2年間	
法定速度	80 km/h	
対象区間長	5.6 km	

この性能規定型維持工事の目的は、道路利用者の視点も考慮した管理を行うことで、従来よりも維持管理費用を削減させることであった。本工事においては、性能規定の項目の一つとして、道路利用者の乗り心地を考慮し、段差量が規定されていた。段差量を測定する方法には、舗装調査・試験法便覧による方法があるが、交通規制が必要となるなど、維持管理に用いる調査方法としては、コスト面において好ましくない。このことから本測定装置を用いた管理手法が適用された。ただし、図―4に示すように、実道の段差量と加速度RMS は段差の形状によっては明確な判定が期待できないことから、次に示す管理手法について検討を行った。

(2) 適用事例

(a) 加速度 RMS の再現性

本システムを用いた新たな段差管理手法を検討するにあたり、まずは、ある区間における加速度 RMS の再現性を確認した。 $\mathbf{図}$ —8に管理区間における加速度 RMS の再現性を示す。

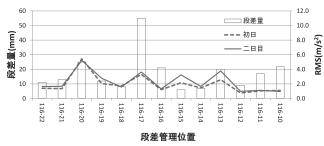


図-8 加速度 RMS の初日と二日目の測定値 (一部)

図―8は初日と二日目の測定結果の一部を示したものである。図―8より、同一の段差量でも加速度RMS大小が異なっていることがわかる。しかしながら同一地点における再現性をみると、初日と二日目では加速度RMSは同等の値となった。加速度RMSの初日と二日目との差の標準偏差は0.62 m/s²であり、同日の3回測定結果のバラツキが小さく良好であったことから、加速度RMSは再現性を有していることを

確認した。そこで、段差管理位置ごとに加速度 RMS の管理目標値をそれぞれ設定し、その目標値に基づき 段差判定の管理を実施した。

(b) 段差量管理方法

本工事に適用した段差量管理方法のフローを図—9に示す。図—9に示すように、自主管理として要注意箇所の抽出ツールとして本測定装置を用い、加速度RMSが目標値を超えた箇所のみを舗装調査・試験法の測定法によって測定することとした。

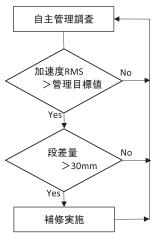


図-9 自主管理測定のフロー

表―4に自主管理測定時の条件を示す。測定結果のバラツキを小さくするためには、車両、タイヤ、速度を同一として測定することが有効であり、測定は走行速度を一定とするために、交通量の少なくなる夜間に実施した。

表-4 自主管理測定の条件

項目	内 容
使用スマートフォン	SONY Ericson SO-02C
使用車種	TOYOTA カローラフィールダー
使用タイヤ	ブリヂストン BLIZZAK REVO2
測定速度	80 km/h
測定回数	3回/車線・速度

(c) 実施結果

図―9に示すフローにて管理を実施した結果,工 事期間中において,加速度 RMS が管理目標値を超え た箇所が4箇所発生した。そのうち,実測により段差 量が規定値を超えて補修を実施した箇所は1箇所のみ であり,他3箇所は段差量が既定値内だったので,経 過観察とした。

本測定装置を用い, 段差不良箇所の抽出を行ったことで, 段差量測定の調査日数は大幅に低減し, コスト

縮減を図ることができた。さらには、利用者便益など を含めた全体的なコストについても低減効果を得るこ とができたと考える。

7. まとめ

本論文から得られたことについてまとめると以下のとおりである。

- ①本測定装置により得られた加速度 RMS からの路面性状値(IRI/段差量)の推定については、精度を概ね有していることから、一次評価であれば十分活用できるレベルにあることが分かった。
- ②加速度 RMS には段差の量と形状が大きく影響することが分かった。また、加速度 RMS は搭乗者が受ける振動そのものであることから、加速度 RMS を用いて管理を行うことで、従来の路面の形状による管理に道路利用者の視点をプラスアルファとした路面管理が可能になることが分かった。
- ③実道における試行より、本測定装置を適切に活用 することで維持管理業務全体のコストを低減でき ることが分かった。

8. おわりに

本論文ではスマートフォンを用いた舗装路面評価手法について述べた。本システムを活用することで調査の低コスト化,あるいは調査労力の低減を図ることが可能であることから、今後の活用に期待できると考える。今後は本システムの使いやすさや、精度の向上に向けて、さらなるデータの収集を図るとともに、実道への適用を進めていく所存である。最後に、本論文が、我が国の今後の舗装維持管理技術向上の一助となれば幸甚である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 日本道路協会:維持修繕ガイドブック, 丸善出版㈱, pp5-7, 2013
- 2) 白井, 井原, 細谷: 簡易測定装置による IRI・段差量推定手法の検討, 第68 回土木学会年次学術講演会 V-470 2012
- 3) 白井, 井原, 吉田: 簡易測定装置によるバネ上振動加速度 RMS と路 面段差の関係, 第69 回土木学会年次学術講演会 V-562, 2014



[筆者紹介] 白井 悠 (しらい ゆう) (株) NIPPO 総合技術部 技術研究所 研究第一グループ 副主任研究員

平成 27 年度版 建設機械等損料表 発売中

- ■平成 26 年度版に対する変更点
 - ・損料算定表の諸元記載要領も変更し読み易さを 改善
 - ・「機械運転単価表」の作成例を、現行歩掛に合 わせて見直し
 - ・関連通達・告示に「東日本大震災の被災地で使用する建設機械の機械損料の補正 |を追加
- ■B5 判 モノクロ 本編 592 ページ
- ■一般価格 7,920 円(本体 7,334 円)
- ■会員価格 6,787 円(本体 6,285 円)
- ■送料(単価) 600円(但し沖縄県を除く日本国内) 注1)沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会 (電話:098-879-2097)にお申し込み下さい。
- ■発刊 平成27年5月9日

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 http://www.jcmanet.or.jp