

# 移動式たわみ測定装置の実用化に向けた取り組み

綾部孝之・寺田 剛・渡邊真一・藪 雅行

## 1. はじめに

わが国では、高度成長期に集中的に整備された道路が建設後30年以上経過し、その多くで老朽化が進行している。また、道路延長が約100万km<sup>2</sup>に達し、そのストックも膨大なものになっている。限られた予算の中、道路を適切に管理するためには、適切なメンテナイスサイクルを確立し、効率的な維持修繕を行うことが重要である。

そのような中、平成28年10月に国土交通省により舗装点検要領<sup>2)</sup>が策定された。舗装点検要領では、路盤以下の層の保護など舗装構造に着目した道路管理の重要性が示されている。そのため、今後は路盤以下も含めた舗装構造の健全性を考慮した維持修繕の実施が求められる。

舗装構造の健全性を把握する手法としては、開削調査、コア調査の他、近年多くの現場で活用されているFWD (Falling Weight Deflectometer) によるたわみ量調査があげられる。FWDたわみ量調査は、路面に重錘を落下させた時に得られるたわみ量を計測し、そのデータから解析により舗装構造の健全性を把握できる手法である。しかし、落下地点のみの測定であるため、連続して舗装構造の健全性を把握することができず、局所的に支持力が低下している箇所を見逃す可能性があるとともに、1点の測定に2~3分の時間を要し、交通規制が必要であるため、広範囲な調査においては極めて非効率となる。舗装の計画的な管理を実施するためには、「管理路線全体にどの程度問題がある区間が存在するのか」といったネットワークレベルで広範囲の舗装の健全性を把握することが



写真-1 FWDによる調査

重要であり、効率的にデータを取得できるモニタリング手法が求められている。

そのような背景の中、国立研究開発法人土木研究所（以下「土研」という）では、移動しながら舗装のたわみ量を測定する移動式たわみ測定装置 (Moving Wheel Deflectometer (以下「MWD」という。)) の開発を進めてきた。本報文では、これまで実施してきた開発の取り組みについて紹介する。

## 2. MWDについて

### 2.1 MWDの概要

MWDは、自らの輪荷重で生じた路面のたわみ量を走行しながら計測することが可能な測定車である。測定時に交通規制を必要とせず、連続して路盤以下も含めた舗装構造の健全性を把握できるため、図-1に示すようにネットワークレベルでの舗装の点検に適したモニタリング手法として利用が可能である。



図-1 MWDによるネットワークレベルでの調査イメージ

### 2.2 海外での事例と日本での適用

移動式たわみ測定装置は、海外において開発が進められている<sup>3)</sup>。海外で開発された装置は、写真-2に示すように牽引式のトレーラーを用いるなど車体が極めて大きいのが特徴である。

日本の道路は、海外に比べ幅員が狭く、曲線部も多いことから、これらの海外の測定車で調査可



写真-2 米国で開発された移動式たわみ測定装置<sup>4)</sup>

能である路線は高規格幹線道路や国道など一部であると考えられる。そのため、土研では、舗装の構造解析や測定データの分析などに知見を有する大学・研究機関、路面性状測定車などによる移動式測定などに知見を有する舗装会社・計測会社、測定機器などに知見を有する機器メーカーとの共同研究により、日本の道路事情に合う装置の開発を行っている。

### 3. MWDによるたわみ量測定手法

走行しながら路面のたわみ量を測定する手法として、レーザー変位計で路面の変位を直接計測する方法と、ドップラー振動計を用いたたわみ速度を計測する方法があり、本検討では両方の手法を採用している。

#### 3.1 レーザー変位計による方法

レーザー変位計は、対象物との距離を計測することができるセンサであり、路面に照射することで路面との相対的な距離を計測できる。図-2にレーザー変位計によるたわみ量測定の方法を示す。非荷重時の測定値 $h_0$ と荷重時の測定値 $h_1$ の差からたわみ量を算出することができる。

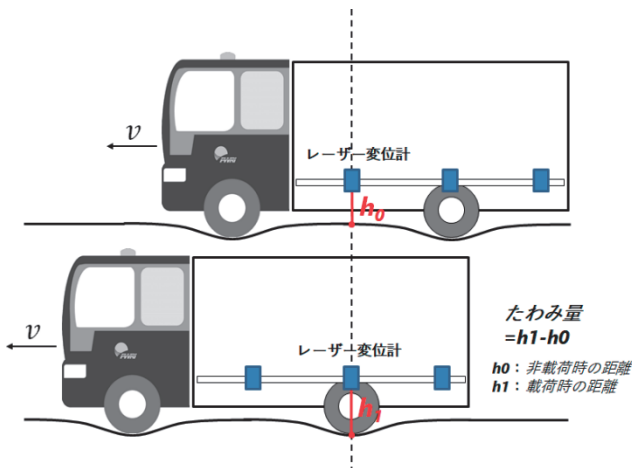


図-2 レーザー変位計による測定の方法

#### 3.2 ドップラー振動計による方法

ドップラー振動計は、レーザー光の入射光と反射光のドップラー効果による周波数変化を利用して、対象物の振動速度を計測する装置である。図-3にドップラー振動計によるたわみ量測定の方法を示す。本検討では3台のドップラー振動計で測定したたわみ速度から、路面のたわみ形状をガウス曲線により推定し、最大たわみ量（車輪直下）を算出している。

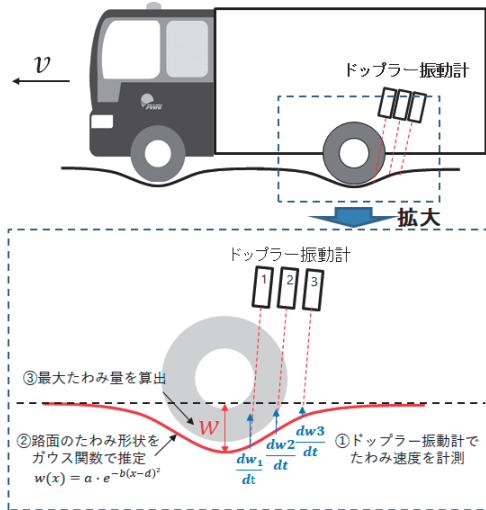


図-3 ドップラー振動計による測定の方法

### 4. 試作機の製作と各種検討

#### 4.1 大型車両を用いた試作機（1号機）

本検討で最初に製作した1号機は、土木研究所所有の促進荷重試験用の荷重車に計測機器を設置して製作した測定車である（写真-3）。1号機には、レーザー変位計及びドップラー振動計を設置し、3.で記載した方法の両方で測定ができるよう製作した。



写真-3 MWD（1号機）

なお、製作した試作機は計測結果の検証のため、土研構内の外周路（以下「外周路」という。）にてあらかじめFWDたわみ量を測定し、MWDの測定結果とFWDたわみ量を比較している。

製作当初、外周路における検証の結果、車両の振動と思われるノイズが多く、計測結果とFWDたわみ量に大きな差異が生じた。ノイズを低減するため、センサ架台に制振ゲルマットや振動抑制バネを用いたハード面の対策を実施したが、振動成分の波長が多岐にわたるため、多くのノイズを除去することができなかった。そのため、ハード面の対策ではなくソフト面の対策を検討することにした。

ソフト面での対策として、離散ウェーブレット解析によるノイズの除去を試みた。離散ウェーブレット解析は時系列周波数解析手法の1つで、車

両振動のような不規則な成分を処理できるという特徴がある。図-4に示すように、離散ウェーブレット解析を用いることで、測定データからノイズとなる車両の振動成分を除去することができる。

図-5に、土研の外周路において、ドップラー振動計で計測したデータから、離散ウェーブレット解析によりノイズを除去し、たわみ量を算出した結果を示す。FWDたわみ量との比較の結果、概ね一致することが分かる。これにより、ソフト面の対策でノイズを概ね除去できることが確認された。なお、レーザー変位計による方法でも測定したが、概ねFWDたわみ量と一致した結果が得られた。

#### 4.2 中型車を用いた試作機（2号機）

1号機は試験車両のため現道を走行できないことから、比較的幅員の狭い道路でも走行できる中型車へ機器の載せ替えを行った（写真-4）。



写真-4 MWD (2号機)

2号機でも外周路での検証を行ったが、図-6に示すように、測定データが飛び現象が頻発した。この原因として、2号機はサスペンションにリーフスプリング（板バネ）を使用しているため、車両の振動が大きくなり、測定データに不具合が生じるのではないかと考えられた。そこで、より振動の少ないエアースプリングをサスペンションに使用することで振動成分の低減ができると考え、外周路にてリーフスプリング車とエアースプリング車を走行させ上下加速度を測定し比較した。比較した結果を図-7に示す。全体的にエアースプリング車の上下加速度が小さくなっていることから、エアースプリングを使用することで振動成分を抑制できることが確認できた。そのため、エアースプリング車に測定機器を載せ替えることとした。

#### 4.3 中型車を用いた試作機（3号機）

3号機は、4.2でサスペンションの検討時に用いたエアースプリング車を採用している（写真-5）。

3号機では、さらに精度を向上するため、車両

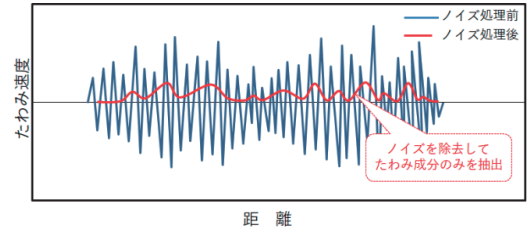


図-4 ノイズ処理前後のイメージ

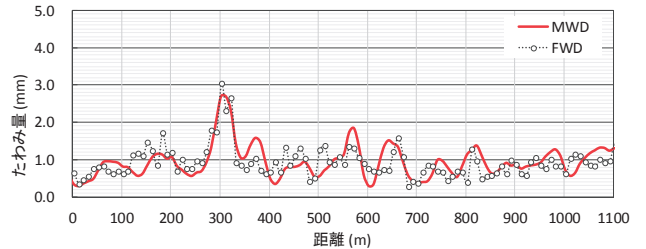


図-5 外周路での測定結果 (1号機:ドップラー振動計)

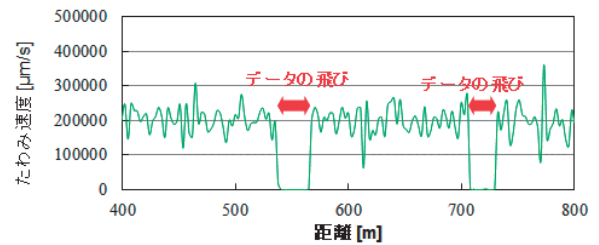


図-6 振動による測定データの飛び

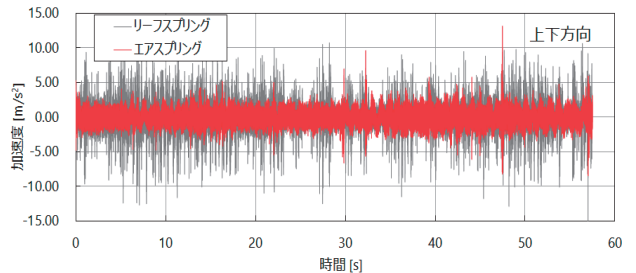


図-7 リーフスプリングとエアースプリングの比較



写真-5 MWD (3号機)

の傾きに注目したソフト面の対策を取り入れている。ドップラー振動計は図-8に示すように路面から取り付け角度 $\theta$ （ $2^\circ$ 程度）の傾斜をつけて設置している。そのため、計測された測定値には、たわみ速度成分のみでなく、車両速度成分も含まれるため、車両速度成分を除去する必要がある。これまでは $\theta$ を一定として計算してきたが、走行中の車両の傾きにより $\theta$ は絶えず変化しており、



その誤差は無視できないと考えた。そのため3号機の測定からは、車両の傾斜を測定し、たわみ量の算定に反映させることにした。なお、車両の傾斜は図-9に示すように、車両側面に設置したレーザー変位計の測定値から算定した。

3号機で外周路を計測した結果を図-10に示す。全体としてFWDたわみ量と同様の傾向を示しており、特に、300m付近のたわみ量が大きい箇所がよく一致している。また、本測定では3回走行させているが、いずれもデータが飛ぶ等の不具合が見られず安定的にデータ取得できた。ただし、たわみ量の小さい区間で差異がみられること、たわみ量の計算過程でたわみ速度がマイナスになり

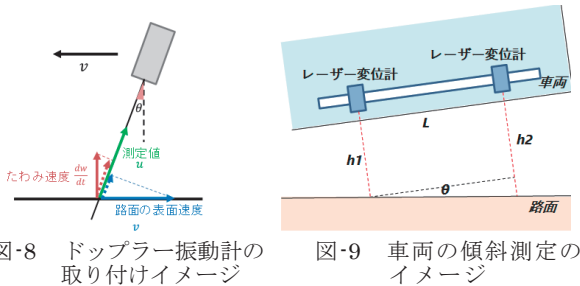


図-8 ドップラー振動計の取り付けイメージ

図-9 車両の傾斜測定のイメージ

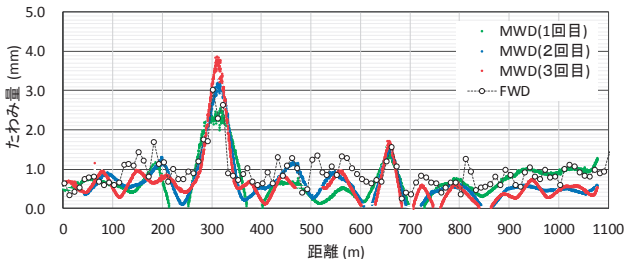


図-10 外周路での測定結果 (3号機:ドップラー振動計)

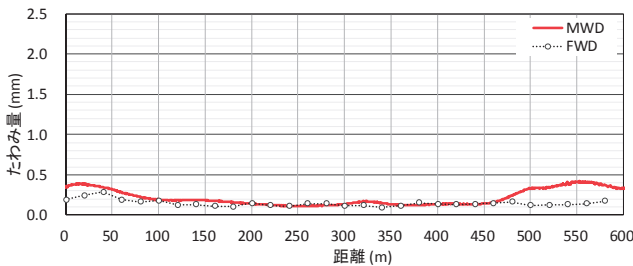


図-11 高速道路での測定結果 (3号機:ドップラー振動計)

たわみ量の算定ができないデータ (図-10のデータが途切れている区間) が存在するなどの現象がみられた。

3号機では、舗装断面が厚くたわみ量が小さい供用中の高速自動車国道での検証も行った。FWDたわみ量との比較を図-11に示す。全体的にFWDたわみ量と同じレベルのたわみ量が算出されており、厚い舗装においてもたわみ量の算出ができることが分かった。ただし、計測区間の後半でFWDたわみ量の傾向と異なる結果が算出されている。

これらの結果を踏まえて、FWDとの測定結果に差異が生じた要因等の調査を進めるとともに、より安定した計測結果を得るため、引き続き測定精度の向上等に向けた検討を行う予定である。

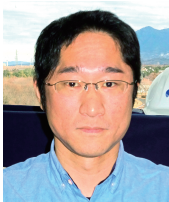
## 5. おわりに

本報文では、これまで実施してきたMWDの開発について紹介した。実用化に向けて、さらなる測定精度の向上や、MWDを用いた舗装の健全度の評価手法の検討が必要であることから、舗装の種類や断面、舗装の損傷状態の異なる舗装において測定を実施するなど、引き続き検討を継続する予定である。なお、本報文の内容は「移動式たわみ測定装置 (MWD) の実用化に関する共同研究」の成果を反映させたものであり、今後も共同研究にて、実用化に向けた開発を進める予定である。

## 参考文献

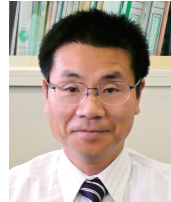
- 1) 国土交通省:道路統計年報、2018
- 2) 国土交通省:舗装点検要領、2016.10
- 3) 加納孝志他:移動式たわみ測定装置について-舗装のたわみ測定装置の変遷-、アスファルト、Vol.51、N No.244、pp.43-54、2008
- 4) Steele D, Hall J, Stubstad R, Peekna A, Walker Ronald: Development of high-speed rolling wheel deflectometer, Pavement Evaluation Conference, 2002, Toanoke, Virginia, USA

綾部 孝之



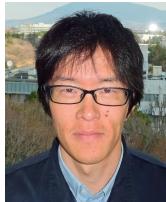
土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム  
研究員  
Takayuki AYABE

寺田 剛



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム  
総括主任研究員  
Masaru TERADA

渡邊 真一



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム  
交流研究員  
Shinichi WATANABE

藪 雅行



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム  
上席研究員  
Masayuki YABU