

# 舗装の効率的評価のための新しい測定装置の開発 ～MWDの実用化に向けた取組み～

若林由弥・寺田 剛・藪 雅行・竹内 康

## 1. はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された膨大な道路ストックの多くが建設後30年経過している。人口減少に伴う技術者の不足が懸念されるなか、膨大な道路を管理するためには、より効率的な道路の点検手法の確立が求められる。

現在、舗装の点検による構造評価についてはひび割れによる評価が行われているが、ひび割れによって確認できるのは表層や基層といった上部の層の劣化の状況であり、路盤以下の層の支持力の低下については十分に評価できていない。しかし、雨水などの影響で路盤層以下の支持力が低下すると、舗装は交通荷重を十分に支えることができないため、路面の早期劣化や路盤層以下の損傷の拡大を招くことになる。このため、定期的に路盤層以下も含む舗装の支持力について評価し構造的破壊が発生する前に対策を施すことが、維持管理の観点から重要である。

一方、路盤層以下を含む舗装全体の構造評価手法として、FWD(Falling Weight Deflectometer)が広く用いられている。FWDは重錘を落下させて舗装に生じるたわみを測定し、各層の支持力を評価する装置であるが、落下地点毎の測定であるため、連続して舗装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。また、1点の測定に2～3分の時間を要し交通規制が必要なため、極めて非効率である。

こうした背景の中、土木研究所では移動しながら舗装たわみを測定する装置として、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。本報では、これまでのMWDの開発状況と、2015年に実施した実道での検証結果について報告する。

表-1 海外の移動式たわみ測定装置

名称	開発国	車両全長
Rolling Wheel Deflectometer (RWD)	アメリカ	53ft (16.2m)
Road Deflection Tester (RDT)	スウェーデン	8.95m
Traffic Speed Deflectometer (TSD)	デンマーク	14.9m

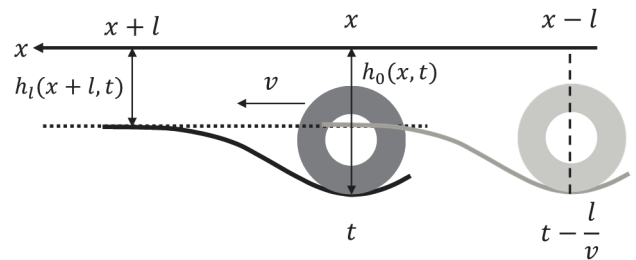


図-1 レーザー変位計によるたわみ測定手法

## 2. MWDの開発

### 2.1 MWDの概要

MWDは、車両の輪荷重によって舗装に生じるたわみを、走行しながら測定する装置である。

表-1に海外における移動式たわみ測定装置を示す。これらの技術は既に実用化されているものの、車体が大きいため一部の高規格幹線道路や国道でしか測定を行う事ができない。従って日本において同様の測定技術を普及させるためには、日本の道路事情に適合した装置の開発が必要である。

### 2.2 MWDの測定原理

走行しながら舗装のたわみを測定する手法として、MWDではレーザー変位計による測定方法とドップラー振動計による測定方法の2種類について検討している。以下では、その2種類の測定方法について紹介する。

#### 2.2.1 レーザー変位計によるたわみ測定手法

レーザー変位計は、対象物との距離の変動を測定できるセンサーで、路面とセンサーの相対距離の変動を測定することができる。

図-1にレーザー変位計によるたわみ測定のイメージを示す。時刻 $t$ に車輪が位置 $x$ にある時、車輪と同じ位置に設置したセンサーの測定値を

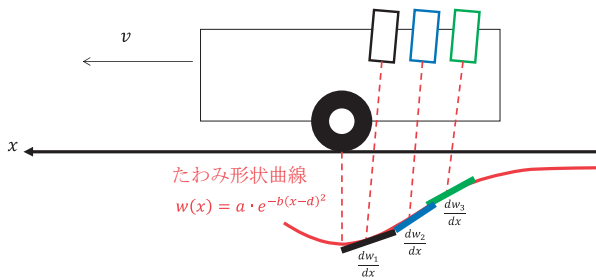


図-2 ドップラー振動計によるたわみ測定手法

$h_0(x, t)$ 、車輪から距離 $l$ だけ離れた箇所に設置したセンサーの測定値を $h_l(x+l, t)$ と表す。(距離 $l$ は車輪から十分離れて輪荷重の影響を受けない位置までの距離)。このとき、車両の速度を $v$ とすると、位置 $x$ における車輪直下に生じるたわみ量 $w(x)$ は、以下の式(1)で求めることができる。

$$w(x) = h_0(x, t) - h_l(x, t - \frac{l}{v}) \text{-----式(1)}$$

このように2つのレーザー変位計の測定値からたわみを算出することができる。

### 2.2.2 ドップラー振動計によるたわみ測定手法

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測定する装置である。従って、ドップラー振動計で直接測定できるのは、舗装のたわみではなくたわみ速度である。

図-2にドップラー振動計によるたわみ測定のイメージを示す。ドップラー振動計によって得られるたわみ速度 $dw/dt$ と車両速度 $v$ から以下のようなたわみ角 $dw/dx$ を求めることができる。

$$\frac{dw}{dx} = \frac{dt}{dx} \cdot \frac{dw}{dt} = \frac{1}{v} \cdot \frac{dw}{dt} \text{-----式(2)}$$

このたわみ角を積分することでたわみ形状 $w(x)$ を算出することができる。MWDではたわみ形状をガウス関数で近似し係数を算出している。

## 2.3 試作機の作製と振動ノイズ除去手法の検討

### 2.3.1 荷重車をベースとした試作機の製作

MWDを実際に開発するにあたり、はじめに土木研究所の舗装走行実験場にて促進載荷試験に用いる荷重車をベースとした試作機を製作した。図-3に試作機の外観を示す。

図-4に示す土木研究所構内の外周路にて試作機を用いて測定を実施し、FWD試験の結果と比較したところ、車両の振動と思われるノイズ成分により、測定結果に大きな差異が生じた。そこで、レーザー変位計の測定値に対しスペクトル解析を



図-3 荷重車をベースにした試作機

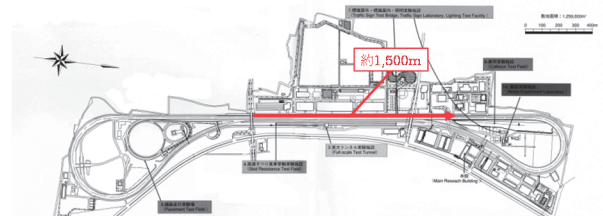


図-4 土木研究所構内の測定区間

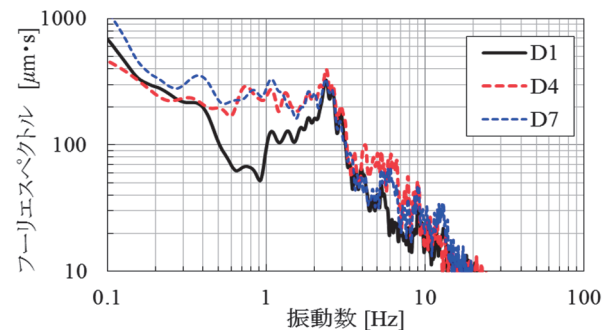


図-5 レーザー変位計のスペクトル解析結果

行った。図-5に解析結果を示す。図中のD1、D4、D7はレーザー変位計の番号である。2~3Hz付近の成分が卓越しており、この部分が車体の振動成分であると考えられる。舗装のたわみに比べ車体の振動は非常に大きいため、たわみを正確に求めるにはこの振動成分を取り除く必要がある。

はじめに、センサーの架台にインシュレータやゲルマットを用いたハード的振動対策を施したが、かえって様々な振動成分が増大するという結果となった。そこで、センサーの架台は車両に剛結させることで車体とセンサーの振動を一致させ、振動成分は離散ウェーブレット解析によるソフト的振動対策により除去することとした。

### 2.3.2 離散ウェーブレット解析による振動除去

離散ウェーブレット解析は時系列周波数解析の手法の1つで、ウェーブレットと呼ばれる短い波の集合体としてデータを解析する。図-6にノイズ除去のイメージを示す。上下方向の加速度がフラットになるようにフィルタを設定し、センサーの測定値に対して設定したフィルタを適用することで車両の振動成分を概ね取り除くことができると考えた。

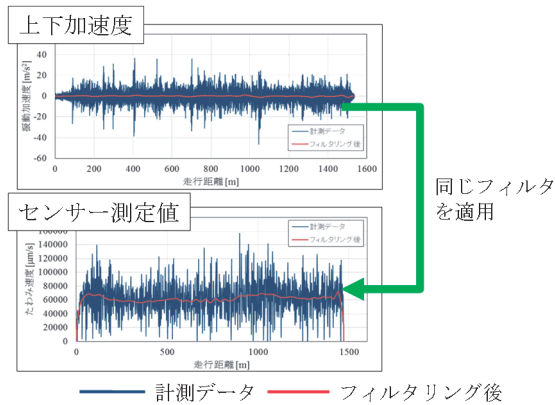


図-6 ウェーブレット解析によるノイズ除去

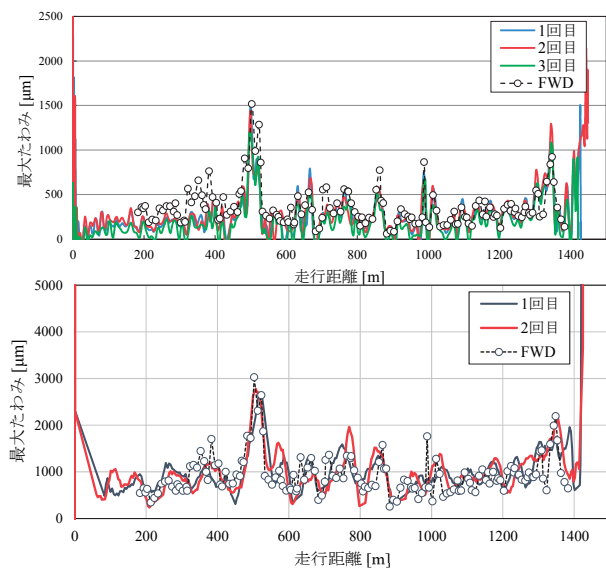


図-7 土木研究所構内道路での測定結果  
(上：レーザー変位計，下：ドップラー振動計)

土木研究所構内における測定結果に対し、離散ウェーブレット解析による振動の除去を行い、たわみを算出した結果を図-7に示す。レーザー変位計とドップラーセンサー振動計のいずれの場合もMWDたわみ量はFWDのたわみ量と概ね一致し、離散ウェーブレット変換によって車両振動成分を除去できていることが確認された。

### 2.3.3 実道を走行可能な試作機の製作

ここまで使用した促進載荷試験用の荷重車は、実道を走行することができない。MWDを実用化するには、実道を走行可能な装置の開発および検証が不可欠であるため、図-8に示すような、路面性状測定車をベースとした新たな試作機を製作した。この試作機を用いて土木研究所構内を測定した結果、新しい試験機でも概ねFWDと一致するたわみを得ることができており、良好な結果が得られた。



図-8 実道を走行可能な試作機  
(左：車両外観，右：車両内部)



図-9 試験区間概要  
(北向きが往路，南向きが復路)

## 3. 実道での検証

続いて、試験機を用いて2015年2月に実施した実道での検証結果について紹介する。なお、本検証における測定結果は、国土交通省新道路技術開発の採択技術「舗装路面の動的たわみ計測装置の開発と健全度評価に関する研究」(研究代表者:東京農業大学 竹内康教授)により得られた研究成果の一部である。

試験対象区間は、つくば市の市道で、MWDによる測定の日後にFWD調査を実施した。なお、本検証においては、ドップラー振動計による測定方法で検証を実施した。

### 3.1 試験区間概要

試験区間は、土木研究所の西側約2.5kmの場所に位置する片側1車線の市道1.5km区間車線である。図-9に試験区間の概要を示す。当該区間は市道ではあるものの、県道45号の旧道とバイパスの間に位置し、また県道24号とも接続するため、大型車交通量が比較的多く、舗装表面のひび割れも比較的多くみられる区間である。



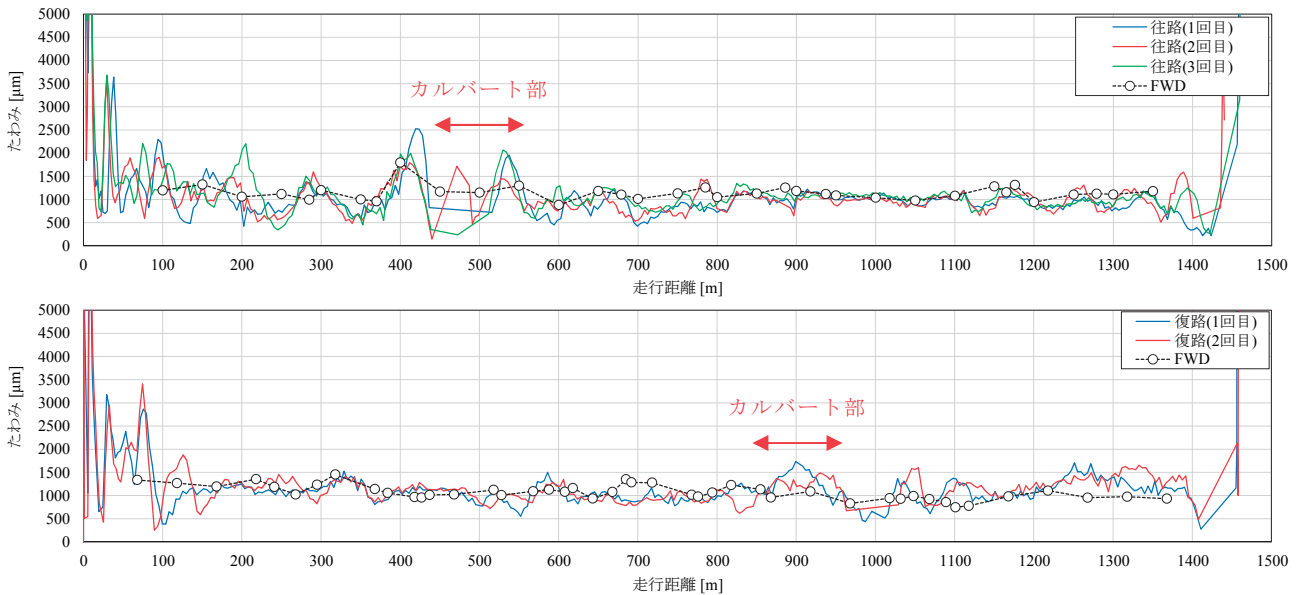


図-10 つくば市内実道での測定結果（上：往路，下：復路）

また、県道24号との交差部から約500mの地点で農業用水路と交差し、横断カルバート部の前後で段差が生じていた。

### 3.2 試験結果

MWDによるたわみ測定結果とFWD試験の結果について、図-10に示す。図より、往路の500m地点付近および復路の900m地点付近のMWDたわみ量にバラつきが生じており、FWDたわみ量との差異が大きくなっている。この地点は前述の横断カルバート部で段差が生じている箇所であり、段差による過度な振動が原因と考えられる。また、復路の1,100m地点付近などカルバート部以外の一部の区間においてもFWDたわみ量との差異が大きくなっており、測定精度の向上に向けて原因の解明も含めて引き続き検討する予定である。それ以外の箇所については概ねFWD調査の結果と一致しており、本区間が支持力の極端に低下している箇所がない、構造的に健全な区間であることをMWDによって評価できることが確認できた。

### 4. おわりに

本報では、土木研究所で開発中の移動式たわみ測定装置(MWD)について、現在に至るまでの開発状況と実道での検証結果について紹介した。測定した実道は比較的健全な区間であり、局所的に支持力の低下している箇所がないことについて評価できることが、今回の検証で確認できた。今後は局所的な支持力低下箇所を含む区間で測定を行い、不健全箇所を正確に検出できるか検証する。また、段差部など車体の振動が大きくなる箇所での振動対策やその他の測定精度が悪くなる原因の検討を行い、測定精度向上に向けた装置の改良を実施していく予定である。

具体的な計画として、今年度より「移動式たわみ測定装置(MWD)の実用化に関する共同研究」(H28~H30)を実施しており、実用化に向け研究開発を進める予定である。

若林由弥



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

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

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

竹内 康



東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科  
教授  
Dr. Yasushi TAKEUCHI